

电气工程及自动化应用丛书

变频器控制 技术与应用

● 姚锡禄 主编

福建科学技术出版社

《变频器控制技术与应用》

《电力电子技术与应用》

《PLC技术与应用》

《电气控制技术与应用》

《电机技术与应用》

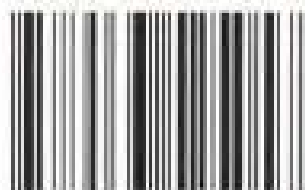
《数控机床编程与加工技术》

责任编辑 何 莉

封面设计 郑 元

责任校对 陈 照

ISBN 7-5335-2505-1



9 787533 525057 >

定价:23.80元

电气工程及自动化应用丛书

变频器控制

技术与应用

姚锡禄 主编

福建科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变频器控制技术与应用/姚锡禄编著. 福州: 福建科学技术出版社, 2005.2

(电气工程及自动化应用丛书)

ISBN 7-5335-2505-1

I. 变… II. 姚… III. 变频器 基本知识
IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 122051 号

书 名	变频器控制技术与应用 电气工程及自动化应用丛书
编 著	姚锡禄
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 26 号, 邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福建三新华印刷有限公司
开 本	720 毫米×980 毫米 1/16
印 张	16
字 数	315 千字
版 次	2005 年 2 月第 1 版
印 次	2005 年 2 月第 1 次印刷
印 数	1 -4 000
书 号	ISBN 7-5335-2505-1·TN·314
定 价	23.80 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

编辑的话

——写在《电气工程及自动化应用丛书》出版之时

经济全球化的大潮，已使我国跻身制造大国，并逐步成为世界制造中心之一。在这期间，以电子信息技术为代表的高新技术迅猛发展，带动和提升了传统的工业技术产业，新技术、新设备不断涌现。同时，这也引起现代社会职业岗位结构的调整，产生了一些技术含量较高的新岗位，并对人才的结构、素质和能力提出了新要求。

电气工程及自动化技术，一端承接着信息技术革命最新的成果，另一端服务于几乎所有的工业部门，是当今最为活跃的技术领域之一。其从业者更需要不断汲取新知识、新技术，不断提高分析能力、创新能力和实践能力。我们编辑出版这套《电气工程及自动化应用丛书》，就是为从事这一领域的工程技术人员及相关专业的院校师生提供一套实用的新技术读本。他们有一定的专业理论基础，更希望获得新技术资料，以及指导工程实践的经验。因而本丛书采取理论从略、应用从详的原则，“淡化”理论知识，“强化”实际技能，从工程实例入手，重点介绍电气工程及自动化领域中的实用技术和新产品应用，将理论与实践紧密结合起来，以提高读者的分析能力和动手能力。我们的努力能否获得预期的效果，还有待时间的检验。

本丛书现已出版《PLC 技术与应用》、《变频器控制技术与应用》、《电气控制技术与应用》、《电机技术与应用》、《电力电子技术与应用》、《数控机床编程与加工技术》等六种，今后我们还将根据技术的发展与需求，进一步出版新的图书品种，也希望广大专家学者、工程技术人员提出建议，共同参与编写，为推广普及电气工程与自动化新技术而努力。

前 言

在工业控制领域中，除了液压、气动等控制外，绝大多数是电动控制系统，其最终的控制对象和执行机构均为电机。电机的自动控制系统有调速系统、位置随动系统、张力控制系统、多电机同步控制系统等多种类型。各种系统往往都是通过控制转速来实现的，因此调速系统是最基本的电机拖动控制系统。随着电力电子技术和微机控制技术的飞速发展，现代交流变频调速技术在电机控制系统中的应用也越来越广，交流调速传动系统在很大程度上取代了直流调速系统而上升为电气调速传动的主流。在中、小容量范围内，采用自关断器件的全数字控制 PWM 变频器已经实现了通用化，通用变频器具有调速范围宽、调速精度高、动态响应快、运行效率高、功率因数高、操作方便、易与其他设备接口等优点，在机电控制技术中占有非常重要的地位。变频器的发展与普及应用提高了现代工业的自动化水平，提高了产品质量和劳动生产率，节约了能源及原材料，降低了生产成本，其社会经济效益十分显著。目前，变频器的应用几乎遍及生产、生活的各个领域。

本书共分九章。第一章主要介绍电力电子功率器件和微机控制技术与变频调速技术之间的互动发展。第二章介绍通用变频器的电路结构和工作原理，以交-直-交间接型变频器为典型，重点介绍电压控制方式和正弦波脉冲宽度调制方法（SPWM 方式）。第三章介绍变频器功能及选用方法。第四章介绍变频器的使用、运行与维护。第五至第九章分别介绍变频器在电梯、水泵、风机、机床、起重机、机电设备、生产线等方面的应用实例，重点介绍当前变频调速领域中的两大热点，即变频器在总线控制系统中的应用和高压大功率变频器的应用。

本书由姚锡禄主编。姚锡禄编写了第一、二、三、六、八、九章；丁肃然编写了第五、七章；吉林大学的徐峰编写了第四章。全书由天津大学信息与控制研究所的王以直老师审阅。在编写中，程周、刘国存、涂道恒、张健、赵景田、宋卫国、张义、范立平、白峰、王紫娟、朱世晶、周静和西门子公司天津办事处的汪林等同志给予了大力帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2004 年 10 月

目 录

第一章 变频器概述	(1)
第一节 电力电子器件	(1)
一、电力电子器件的分类	(2)
二、变频器常用电力电子器件	(3)
三、其他电力电子器件	(5)
四、各种电力电子器件的比较	(5)
第二节 变频器的全数字微机控制	(8)
一、单片机	(8)
二、数字信号处理器	(9)
三、简指令集计算机	(9)
四、高级专用集成电路	(10)
第二章 变频器电路结构及工作原理	(11)
第一节 变频调速与变频装置	(11)
一、变频调速的控制方式	(11)
二、变频装置	(12)
第二节 变频器的分类	(15)
一、按直流电源的性质分	(15)
二、按输出电压调节方式分	(16)
三、按控制方式分	(17)
四、按电压等级分	(19)
五、按用途分	(20)
第三节 正弦波脉宽调制逆变器	(21)
一、正弦脉宽调制原理	(21)
二、同步调制与异步调制	(24)
三、谐波分析与输出电压调节	(25)
四、脉宽调制的控制方法	(26)
第四节 变频器的控制方式	(30)
一、变频器的 U/f 控制	(31)
二、转差频率控制	(33)

三、矢量控制	(35)
四、直接转矩控制	(38)
第五节 高性能通用变频器	(39)
一、主要类型	(39)
二、有速度传感器的矢量控制变频器	(40)
三、无速度传感器的矢量控制变频器	(41)
四、直接转矩控制变频器	(42)
五、使用注意事项	(43)
第六节 高压变频器	(46)
一、主电路拓扑结构	(46)
二、控制方式	(50)
三、对电网与电动机的影响	(51)
第三章 变频器构成的调速系统	(52)
第一节 通用变频器的特点	(52)
一、应用特点	(52)
二、技术优势	(58)
第二节 通用变频器的主要功能	(60)
一、系统功能	(60)
二、频率设定功能	(63)
三、保护功能	(66)
四、与运行方式有关的功能	(69)
五、与状态监测有关的功能	(70)
六、其他功能	(71)
七、多控制方式	(72)
第三节 生产机械的驱动	(73)
一、机械负载与电动机转矩	(73)
二、转速-转矩特性	(74)
三、变频器驱动不同负载	(75)
第四节 异步电动机的选择	(79)
一、异步电动机形式与容量的选择	(79)
二、负载功率的计算	(81)
三、变频器专用电机的选择	(84)
第五节 变频器的选择	(86)
一、变频器类型的选择	(87)
二、变频器容量的计算	(87)

三、变频器外围设备的选择	(88)
第四章 变频器的运行与维护	(92)
第一节 通用变频器的铭牌、结构与面板	(92)
一、通用变频器的铭牌	(92)
二、通用变频器的结构	(94)
三、通用变频器的面板	(95)
四、变频器的功能码	(96)
第二节 通用变频器标准接线	(102)
一、主电路接线	(102)
二、控制电路接线	(104)
三、控制电源与辅助电源的连接	(106)
四、制动单元与制动电阻的连接	(107)
五、控制端子外部接线	(107)
第三节 变频器与 PLC 的连接	(109)
一、变频器的接口电路	(109)
二、连接注意事项	(112)
三、接地和电源系统	(114)
第四节 变频器的其他功能	(114)
一、特殊功能	(114)
二、自保护功能	(116)
第五节 变频器的使用与测量	(119)
一、使用变频器的注意事项	(119)
二、变频器的测量	(122)
第五章 变频器在电梯上的应用	(125)
第一节 电梯的变频器控制	(125)
一、高速电梯	(125)
二、低速电梯	(127)
第二节 双 CPU 变频器	(130)
一、G7 系列特点	(130)
二、G7 系列用于电梯控制	(131)
第三节 电梯的传动控制系统	(133)
一、液压电梯的传动控制系统	(133)
二、电梯门的传动控制系统	(134)
三、电梯自动脉冲选层控制系统	(135)

第六章 变频器在水泵、风机控制方面的应用	(138)
第一节 泵类负载	(138)
一、泵的特性.....	(138)
二、变频器控制的几个问题.....	(139)
第二节 水泵的变频器控制	(140)
一、排水泵.....	(140)
二、空调冷水泵.....	(141)
三、陈列柜水泵.....	(141)
四、灌药泵.....	(143)
五、大型高压水泵.....	(143)
第三节 变频器恒压供水系统	(145)
一、微电脑控制恒压供水.....	(145)
二、PLC 控制恒压供水.....	(147)
第四节 风机的变频器控制	(149)
一、冷却塔风扇.....	(149)
二、发电厂锅炉鼓风机.....	(150)
三、大功率电动机冷却风扇.....	(151)
四、工业锅炉燃烧过程的变频调速系统.....	(152)
第七章 变频器在机床、起重机方面的应用	(157)
第一节 机床的变频器控制	(157)
一、自动车床.....	(157)
二、数控车床.....	(158)
三、立式车床.....	(160)
四、单臂龙门刨床走刀系统.....	(161)
五、Y7520W 螺纹磨床.....	(163)
六、剃齿机.....	(167)
第二节 起重机方面的变频器控制	(168)
一、升降吊车.....	(168)
二、输送平台车.....	(170)
三、塔式起重机.....	(173)
四、焦化桥式起重机.....	(175)
第三节 粉末供料器与卧螺离心机的控制	(179)
一、出料传送带与粉末供料器.....	(179)
二、卧螺离心机.....	(180)

第八章	变频器在机电设备中的应用	(184)
第一节	空调设备的变频器控制	(184)
一、	中央空调系统	(184)
二、	多重分隔空调	(186)
三、	房间空调	(186)
四、	毛纺厂中央空调系统	(188)
五、	楼房空调外调扇	(189)
第二节	洗衣机、压缩机的变频器控制	(190)
一、	工业洗衣机	(190)
二、	压缩机	(191)
三、	单相电容电机	(193)
第九章	变频器在生产线上的应用	(195)
第一节	变频器在冶金方面的应用	(195)
一、	炼钢转炉倾动和氧枪升降	(195)
二、	输送辊道	(198)
三、	线材精轧机组	(203)
第二节	变频器在纺织行业的应用	(207)
一、	涤纶高速纺丝机	(207)
二、	粗纱机	(208)
第三节	变频器在造纸等方面的应用	(210)
一、	胶片及造纸生产线	(210)
二、	光缆护套机	(211)
第四节	变频器在总线控制系统中的应用	(214)
一、	DeviceNet 网络	(214)
二、	TE 变频器在烧结厂的应用	(217)
附录 1	西门子公司系列变频器技术规格	(220)
附录 2	富士 FRENIC5000-G9S、P9S 系列变频器技术规格	(231)
附录 3	三菱 Vsamco-Vm05 变频器技术规格	(233)
附录 4	安川 CIMR-G5A 变频器技术规格	(239)

第一章 变频器概述

三相交流异步电机的结构简单、坚固、运行可靠、价格低廉，在冶金、建材、矿山、化工等重工业领域发挥着巨大作用。人们希望在许多场合下能够用可调速的交流电机来代替直流电机，从而降低成本，提高运行的可靠性。如果实现交流调速，每台电机可节能 20% 以上，而且在恒转矩条件下，能降低轴上的输出功率，既提高了电机效率，又可获得节能效果。

异步电机调速系统的种类很多，但是效率最高、性能最好、应用最广的是变频调速，它可以构成高动态性能的交流调速系统来取代直流调速系统，是交流调速的主要发展方向。变频调速是以变频器向交流电机供电，并构成开环或闭环系统，从而实现对交流电机的宽范围内无级调速。变频器可把固定电压、固定频率的交流电变换为可调电压、可调频率的交流电。在变换过程中，没有直流环节的称为交-交变频器，有中间直流环节的称为交-直-交变频器。由直流电变为交流电的变换器称为逆变器。目前应用最广的交-直-交变频器通常由整流器（AC-DC 变换）、中间直流储能电路和逆变器（DC-AC 变换）三部分构成。其中最关键的就是“逆变”。

随着电力电子技术的发展，出现了高耐压、大功率、具有自关断的全控型电力电子器件，它具有驱动功率小、开关频率高等特点，应用在逆变电路中可极大提高变频的性能。脉宽调制（PWM）变频就是把通讯系统中的调制技术推广应用到交流变频中，可使变频器具有良好的输出波形，降低了噪声和谐波，提高了系统的性能。采用全数字微机控制技术，使变频器减小了体积、降低了成本、提高了效率、增强了功能。

以上三项技术的应用，使电机基本能够平稳运行、无噪声、无抖动。交流变频调速已成为电气调速传动的主流。目前变频器不但在传统的电力拖动系统中得到了广泛的应用，而且已扩展到了工业生产的所有领域，以及空调器、洗衣机、电冰箱等家电产品中。

第一节 电力电子器件

电力电子器件是变频器中的核心器件，其性能对变频器的内在品质起至关重要的影响。绝缘栅双极型晶体管（IGBT）的许多性能为变频调速的迅速普及和进一步提高奠定了基础。随着高频化全控型器件的迅速发展，IGBT 也逐步完成集成化、模块化过程。新型电力电子器件的产生使电力电子技术由传统阶段跨入了现代阶段。现代电力电子技术在器件、电路及其控制技术方面有以下特点：集成化，高频

化，全控化，控制电路弱电化，控制技术数字化。

一、电力电子器件的分类

电力电子器件的分类方法很多，常见的有以下几种。

(一) 根据开关特性分类

(1) 不控器件。这种器件通常为两端器件，一般只有整流的作用而无可控的功能，如整流二极管、肖特基势垒二极管等。

(2) 半控型器件。这种器件通常为三端器件，只能控制其开通而不能控制其关断，如普通晶闸管（SCR）及其大部分派生器件。

(3) 全控型器件。这种器件为三端器件。通过控制信号，既可以控制其开通，又可以控制其关断，如 GTR、GTO、IGBT 及大部分新型电力电子器件。

(二) 根据器件内参与导电的载流子分类

(1) 双极型。凡由电子和空穴两种载流子参与导电的称为双极型器件，如普通晶闸管、电力晶体管等。

(2) 单极型。凡只有一种载流子参与导电的称为单极型器件，如大部分场控器件（功率 MOSFET 等）。

(3) 混合型。由单极型和双极型两种器件组成的复合型器件称为混合型器件，如 IGBT、MOS 控制晶闸管（MCT）等。

(三) 根据控制信号分类

(1) 电流控制型。这种器件一般从控制极的电流变化来控制器件的开通或关断，有时我们又称之为电流驱动型。应用比较广泛的电流控制器件有：晶体管类，如电力晶体管（GTR）、达林顿晶体管等，适用于 500kW 以下、380V 交流供电的领域；晶闸管类，如 SCR、GTO 等，适用于电压过高、电流更大的应用领域。

(2) 电压控制型。这种器件的开通和关断由电压信号进行控制，如功率 MOSFET、IGBT 和 MOS 控制晶闸管（MCT）等。从广义上讲，一切用场控原理进行控制的电力电子器件均属电压控制型，因此也称之为场效应电力电子器件或场控电力电子器件。

场控电力电子器件一般也分为两类：结型场效应器件，如静电感应晶体管（SIT）、静电感应晶闸管（SITH）等，这类器件多为常开型器件，日前多用于高频感应加热系统；绝缘栅场效应器件，如绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、MOS 控制晶闸管（MCT）等。由于 IGBT 的性能优于 GTR，因此近年来基本取代了 GTR。而 MCT 是集高电压、大电流和高频化于一体的电压控制型器件，是未来与 SCR、GTO 相竞争的新型器件。所有电压控制器件都是用场控原理对其通断状态进行控制的，但是它们不一定全是单极型器件，大部分混合型器件及少量双极型器件（如 SITH）也属电压控制器件。

二、变频器常用电力电子器件

(一) 电力晶体管

电力晶体管 (GTR) 又称大功率双极型晶体管或巨型晶体管。单个电力晶体管的放大系数很小, 一般只有 10 左右, 通常采用至少由两个晶体管, 按达林顿接法组成单元结构。一个成品 GTR 要由许多这种单元结构并联而成。

图 1-1-1 所示为富士公司生产的 EV1298 型 GTR 的内部线路, 它只相当于一单元模块。VD1 为续流二极管, VD2、VD3 为加速二极管, R1、R2、R3 的电流增益可达 10000 左右。单元模块可分为一单元、二单元、四单元和六单元。通常四单元模块可构成单相桥式电路, 而六单元结构可构成三相桥式电路。不同单元的简化结构如图 1-1-2 所示。

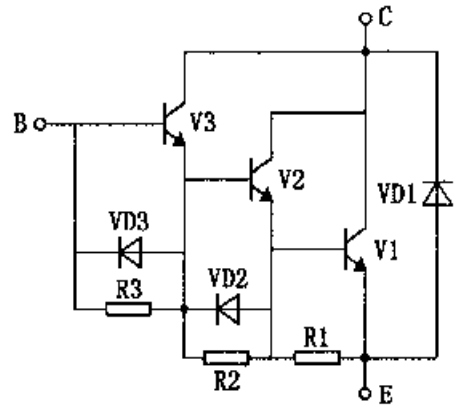


图 1-1-1 EV1298 型 GTR 的内部线路

GTR 最主要的特性是耐压高、电流大、开关特性好, 与其他电流控制型半导体开关器件一

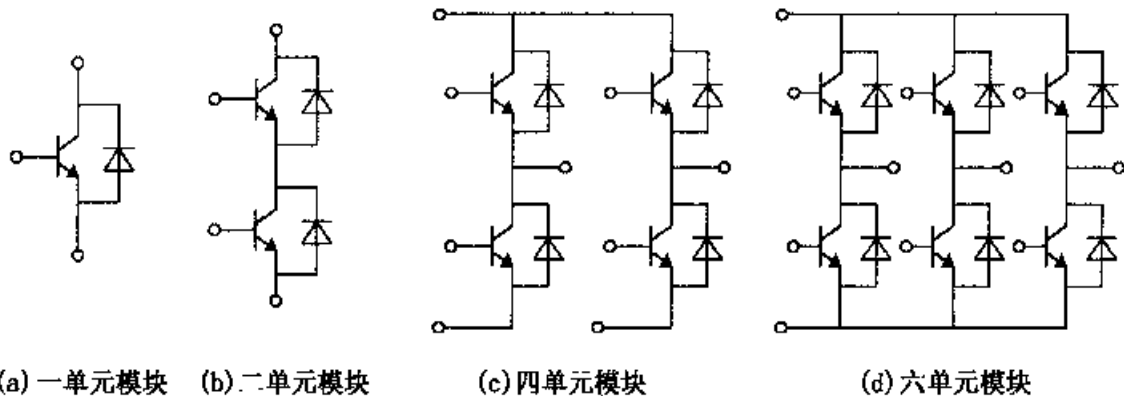


图 1-1-2 模块化 GTR 的内部简化结构

样, 具有导通压降小、导通损耗低等优点。由于其内部是达林顿结构且为双极型, 因此开关时间较长, 一般工作频率为 2kHz。GTR 的缺点是: 电流波形较差; 电动机的转矩略小; 电动机内的电磁噪声较大; 在开关期间可能发生局部过热的二次击穿, 这是具有极大破坏力的多发性故障。GTR 在早期的变频器中使用, 而后逐步被 IGBT 取代, 现在它只是在中小容量的变频器中使用。

(二) 门极可关断晶闸管

门极可关断晶闸管简称 GTO, 是普通晶闸管的派生器件, 目前已达 9000V/1000A 或 6000V/3000A。GTO 具有门极控制的自关断性能, 是比较理想的全控型电力电子器件之一。随着高电压、大功率 GTO 器件的迅速发展, 它在牵引机车、

大功率风机、泵类（水泵、油泵）和冶金轧钢的变频调速系统中获得了越来越广泛的应用。由于 GTO 开关频率的提高，变频器可采用如 PWM（脉宽调制）等先进控制技术，既降低了谐波损耗及转矩脉动，又提高了系统快速性，还改善了功率因数。这些特点在电力机车、内燃机车和电动车辆变频系统中表现得更为突出。

GTO 应用中的问题主要有两个：

(1) 缓冲问题。关断 GTO 时，其阳极电流很快下降，而阳极电压 V_A 升高，电路中很小的电感都会引起尖峰电压。虽然尖峰电压的幅值未必很高，但却极为有害，因为它会使局部的密集电流造成局部发热，导致二次击穿损坏。为抑制尖峰电压、减少功率损耗，必须设计合适的缓冲电路，如图 1-1-3 所示。 C_s 为缓冲电容， R_s 用来限制电容的放电电流，二极管 VD_s 可使电阻旁路。

(2) 驱动问题。GTO 在导通时与普通晶闸管一样，只是在关断时其门极要流过相当大的负电流。虽然关断时间很短，但负电流必须要有很大幅值，其典型数值为被关断阳极电流的三分之一。

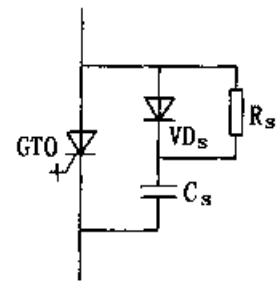


图 1-1-3 GTO 的缓冲电路

(三) 功率场效应晶体管

功率场效应晶体管又称电力 MOSFET。它分为 VMOSFET 和 VDMOSFET（即 VDMOS）两种基本类型，其中 VDMOSFET 具有高集成度、高耐压、低结电容和高速等特点，使用更为广泛。

功率 MOSFET 是单极型电压控制器件，具有工作频率高、输入阻抗高、驱动功率小、无热电反馈二次击穿和跨导线性度高等优点。其主要缺点是通态电阻比较大，通态损耗相应也较大，当器件耐压提高后，通态电阻也随之提高。受这种限制，功率 MOSFET 的单管功率难以做得很大，一般在 10kW 以下的低压开关电源中应用。

(四) 绝缘栅双极型晶体管

绝缘栅双极型晶体管（IGBT）是由 MOSFET 与 GTR 组成达林顿结构，因此综合了功率 MOSFET 和 GTR 的优点，具有驱动简单、保护容易、不用缓冲电路、开关频率高等特点。IGBT 应用在变频器中，使变频器具有以下优点：输出电流波形大为改善，电动机的转矩增大；电磁噪声极小，有“静音式”美称；增强了对常见故障（过流、过压瞬间断电等）的自处理能力，故障率大为减少；变频器自身的损耗也大为减少。IGBT 的导通压降为 1.5~2.0V，关断时间为 0.2~0.3 μ s。

普通晶闸管（SCR）由于制作工艺简单，便于制作高耐压、大电流的管子。目前，中小功率变频器中的核心开关器件主要是 IGBT，600VA~4000kVA 的中大功率装置则以 GTO 为主，而 SCR 多在 4000kVA 以上的大容量装置中使用。

三、其他电力电子器件

(一) MOS 控制晶闸管

MOS 控制晶闸管 (MCT) 属于单极型和双极型器件组合而成的复合器件, 其输入侧为 MOSFET 结构, 而输出侧为晶闸管结构, 因此兼有 MOSFET 的高输入阻抗、低驱动功率、快速开关与晶闸管的高电压、大电流的特性。同时, 它又克服了晶闸管开关速度慢且不能自关断以及 MOSFET 通态压降大的缺点, 具有耐高温、 di/dt 和 du/dt 的耐量大等优点。

(二) 门极换流晶闸管

门极换流晶闸管 (IGCT) 又称门极换向晶闸管, 是一种改进型 GTO 和集成门极驱动器组成的新型 GTO 组件, 具有晶闸管的高电压、大电流、低导通损耗和 IGBT 的关断均匀、开关速度快以及无缓冲电路、可靠性好、紧凑、安全等特点。目前, IGCT 已用于电压等级为 2.3kV、3.3kV、4.16kV、6.9kV, 功率范围为 0.5~100MVA 的装置中。

(三) 静电感应晶体管

静电感应晶体管 (SIT) 具有工作频率高、输出功率大、线性度好、无二次击穿现象、热稳定性好、抗辐射能力强、输入阻抗高等优点, 在雷达通信设备、超声波功率放大、开关电源、脉动功率放大和高频感应加热等方面有广泛的应用。SIT 是常开型器件, 目前在变频器中用得比较少。

(四) 静电感应晶闸管

静电感应晶闸管 (SITH) 的优点有: 通态电阻小, 正向压降低, 允许电流密度大, 耐压高; 开关速度快, 损耗小; di/dt 和 dv/dt 耐量大, 抗辐射能力强, 工作温度高; 工作频率可达 100kHz 以上, 比 GTO 高出 1~2 个数量级; 可控功率达 100kW 以上。但 SITH 的制造工艺比 GTO 复杂得多, 且关断时需要较大的门极驱动电流, 其关断电流增益也略比 GTO 低。

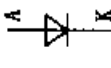

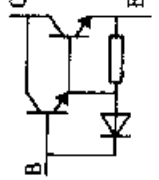
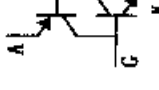
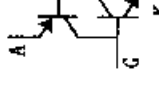
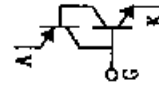
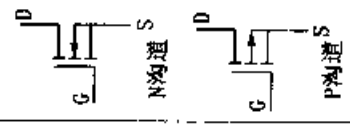
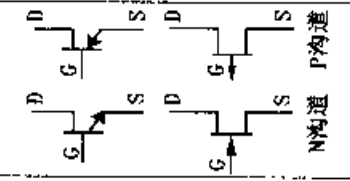
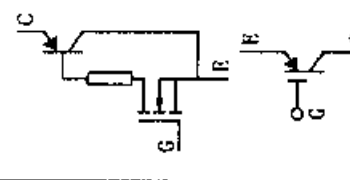
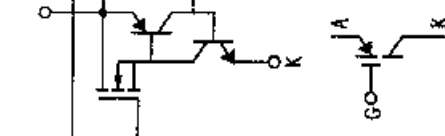
(五) 智能电力模块

智能电力模块 (IPM) 就是电力集成电路 (PIC), 或称智能集成电路 (SPIC)。在电力电子变流电路中, 电力电子器件必须有驱动电路 (或触发电路)、控制电路和保护电路的配合, 才能按人们的要求实现一定的电力控制功能。这些电路是将电力电子器件及其配套的相关电路集成在一个半导体芯片上, 形成功率集成电路。功率集成电路满足了电力电子技术高频化的需要。由于高度集成化, 其结构十分紧凑, 避免了由于分布参数、保护延迟等所带来的技术难题。以 IGBT 为主开关器件的 IPM 在小容量变频器中开始采用, 如日本三菱公司的 SAMCO-I 系列。

四、各种电力电子器件的比较

各种电力电子器件的符号及等效电路见表 1-1-1。表 1-1-2 给出了常用的全控型

表 1-1-1 各种电力电子器件的符号及等效电路

类型	双极型器件						单极型器件			复合器件	
	PN结整流二极管	电力晶体管	达林顿晶体管	普通晶闸管	可关断晶闸管	静电感应晶闸管	功率场效应晶体管	静电感应晶体管	绝缘栅双极晶体管	MOS控制晶闸管	
名称											
代号		GTR		SCR	GTO	SITH	MOSFET 功率	SIT	IGBT	MCT	
等效电路与符号											

器件的基本参数和各种性能的比较。从表中可以看出，电流控制器件制造相对容易，但使用难度较大；而电压控制型器件制造较难，但使用比较方便。

表 1-1-2 全控型电力电子器件的比较

器件名称	GTR	GTO	IGBT	VDMOS	SIT	SITH
控制方式	电流	电流	电压	电压	电压	电流
常态	阻断	阻断	阻断	阻断	导通/关断	导通/关断
反向电压阻断能力(V)	< 50	500~6500	200~2500	0	0	500~4500
正向电压阻断能力(V)	100~1400	500~9000	200~2500	50~1000	50~1500	500~4500
正向电流范围(A)	400	3500	400~100	100~120	200	2200
正向导通 电流密度(A/cm ²)	30	40	60	6	30	100~500
浪涌电流耐量	3倍额定量	10倍额定量	5倍额定量	5倍额定量	5倍额定量	10倍额定量
最大开关速度(kHz)	5	10	50	20000	200000	100
门栅极驱动功耗	高	中等	很低	低	低	中等
dv/dt	中等	低	高	高	高	高
di/dt	中等	低	高	高	高	中等
最高工作结温(°C)	150	125	200	200	200	200
抗辐射能力	差	很差	中等	中等	好	好
制造工艺	复杂	复杂	很复杂	很复杂	很复杂	很复杂
典型线宽(μm)	20	50	10	5	5	5
使用难易程度	较难	难	中等	很容易	容易	容易

图 1-1-4 给出了常用电子电力器件的单个器件输出功率与工作频率的关系。从图上看，IGBT 各项指标已超过 GTR，因此已逐步取代 GTR。随着 MCT 的逐步成熟，也将在大部分应用领域中取代 SCR 和 GTO。

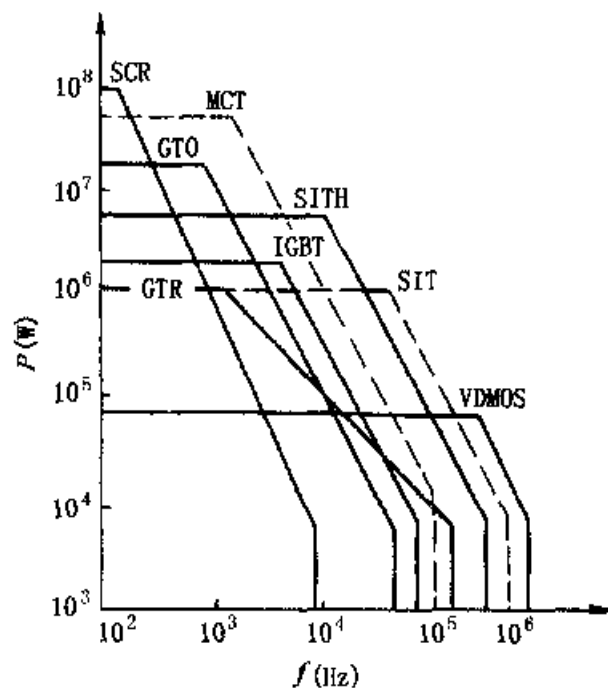


图 1-1-4 单个器件输出功率与工作频率的关系

第二节 变频器的全数字微机控制

变频器主控制电路的中心是一个高性能的微处理器。早期的 SCR 变流电路大多采用模拟控制电路。而后，结构复杂而功能齐全的数字控制系统逐渐发展为控制专用的计算机，而各种控制规律软件化的实施又使通用计算机走进自动控制领域。大规模集成电路微机处理器的出现，把电子控制推上了新台阶，以微机处理器为核心的数字控制已成为现代自动控制系统中控制器的主要形式。

一、单片机

20 世纪 70 年代，变频器控制广泛使用单片机。单片机的最大优点是，用同一芯片可以进行各种条件判断，并做出相适应的处理。图 1-2-1 所示为变频器控制

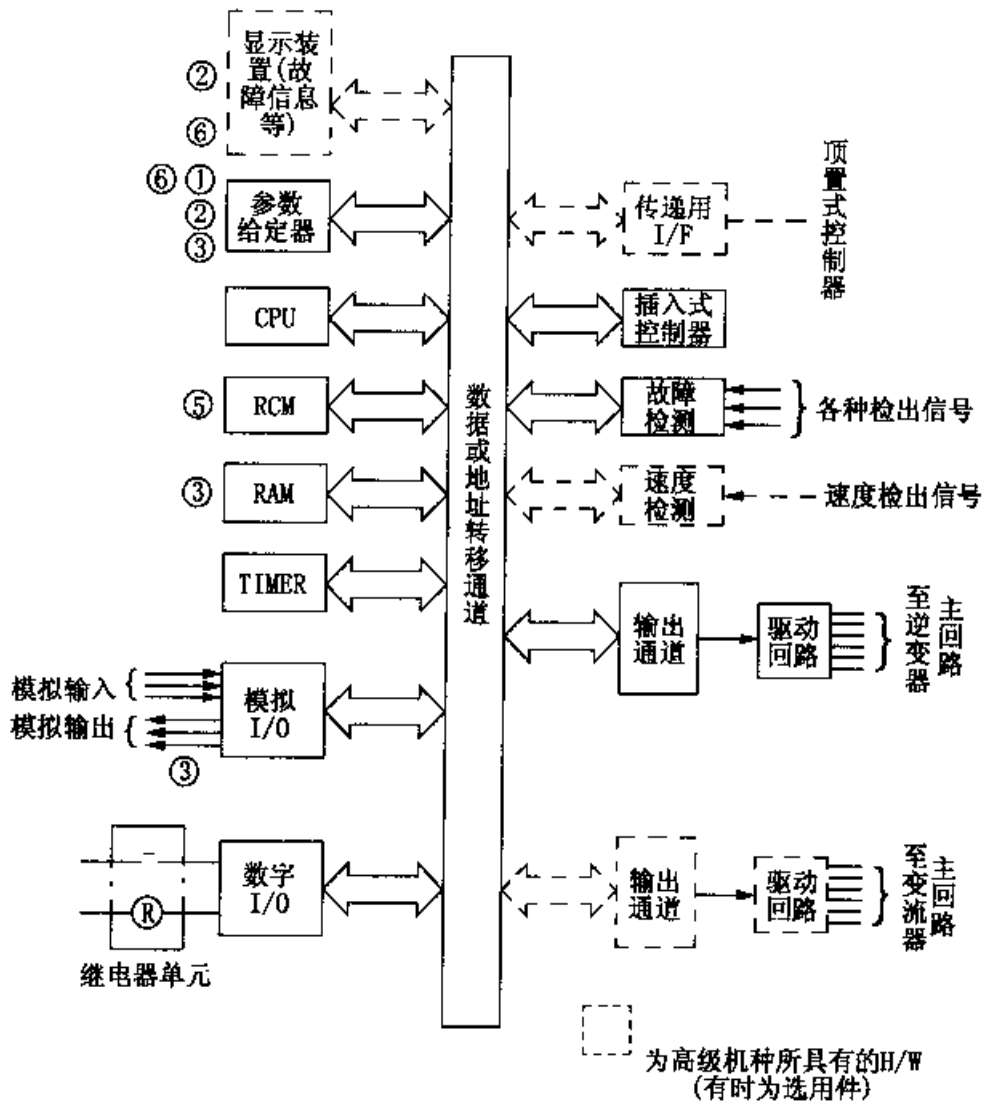


图 1-2-1 单片机控制变频器的基本构成

用单片机的 H/W (硬件) 方框图。图中的①~⑥表示软件处理功能：①为启动/停止顺序；②为保护顺序 (变频器保护+电机保护)；③为输出脉冲波形处理 (PWM/PAM)；④为控制用运算处理；⑤为控制用常数设定；⑥为各种检查。

由于采用了单片机控制，出现了更小型化、可靠性更高的廉价变频器。随着单片机产品的质量与性能的不不断提高，其指令执行周期不断缩短，CPU 的位数不断增加。

二、数字信号处理器

数字信号处理器 (DSP) 中采取了一系列措施，包括：改变集成电路结构，提高时钟频率，支持浮点运算，采用指令列排队方式以提高运行效率，集成了硬件乘法器使乘法运算也能在一个指令周期内完成等。开始时，DSP 只用作提高运算的协处理器，其自身的 I/O 接口很少，不适于单独作控制器的单片机使用。随着 DSP 产品性能的提高，其控制能力逐步扩大，已成为高速的单片机了。表 1-2-1 列出了美国 TEXAS 仪器公司开发的 TMS320 系列数字信号处理器。

表 1-2-1 TEXAS 仪器公司生产的 TMS320 系列 DSP

TMS320 系列 DSP	CPU 位数	指令执行时间
TMS320-10	16	160ns (含 16 位乘法)
TMS320C25	16 (定点)	100ns (含乘法)
TMS320C30	32 (浮点)	60ns (含乘法)
TMS320C40		40~50ns (含乘法)
TMS320C50	32 (定点)	35ns (含乘法)

三、简指令集计算机

简指令集计算机 (RISC) 依靠硬件与软件的优化组合来提高速度，它放弃了某些运算复杂而用处不大的指令，省出这些指令所占用的硬件资源，以提高简单指令的运行速度，提高软件运行的总体效率。RISC 是一种矢量处理器，在一个给定周期内，能并行执行多条指令，其运算速度为“每秒百万条指令” (MIPS)。表 1-2-2 介绍了几种 RISC 的特色和性能。

表 1-2-2 几种 RISC 的特点和性能

公司	型号	体系结构	时钟主频 (MHz)	位数	流水线级数	工作速度
INTEL	80860 (i860)	超长指令 (VLIW)	25/40/50	32 64 浮点	4	40 MHz 时可达 80MFLOPS (每秒浮点操作 百万次数)

续表

公司	型号	体系结构	时钟主频 (MHz)	位数	流水线级数	工作速度
INTEL	80960 (i960)	超标量	16/25/33/40	32 80 浮点	3	33MHz 时可达 66MIPS
IBM	RS/6000	超标量	33	32	5	
DEC	Alpha	超标量 超级 流水线	200 (内部)	64	7	工作周期 5~6.6ns 峰值速度理论上 可达 300~400MIPS
MOTOROLA	88110	超标量	50	32	4	

四、高级专用集成电路

能完成特定功能的高级专用集成电路 (ASIC) 往往能够包括一些特定的控制系统。例如, 德国 IAM (应用微电子研究所) 推出的 VECON 就是一个交流伺服系统的单片机矢量控制器, 它包含控制器、能完成矢量运算的 DSP 协处理器、PWM 定时器、其他外围和接口电路。高级专用集成电路都集成在一个芯片之内, 使可靠性大为提高, 而成本大为降低。

第二章 变频器电路结构及工作原理

第一节 变频调速与变频装置

一、变频调速的控制方式

在异步电动机调速时，总希望保持主磁通 Φ_m 为额定值不变。磁通太弱时，铁心利用不充分，同样的转子电流下，电磁转矩小，电动机负载能力下降；磁通太强时，电机处于过励磁状态，励磁电流过大，这就限制了定子电流的负载分量，为使电动机不过热，负载能力也要下降。

异步电动机的气隙磁通（主磁通）是定、转子合成磁动势产生的。三相异步电动机定子每相电动势的有效值为 $E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m$ 。 E_1 为定子每相由气隙磁通感应的电动势的方均根值（V）； f_1 为定子频率（Hz）； N_1 为定子相绕组有效匝数； Φ_m 为每极磁通量（Wb）。因此，只要控制 E_1 和 f_1 ，便可达到控制磁通 Φ_m 的目的。

（一）基频以下的恒磁通变频调速

要保持 Φ_m 不变，当频率 f_1 从额定值向下调节时，必须降低 E_1 ，使 $E_1/f_1 =$ 常数，即采用恒定电势频率比的控制方式。这种控制又称为恒磁通变频率调速，属于恒转矩调速方式。绕组中的感应电动势是难以直接检测和控制的，当电势较高时，可以认为定子相电压 $U_1 \approx E_1$ ，则有 $U_1/f_1 =$ 常数。这就是恒压频比的控制方式，是近似的恒磁通控制。

低频时， U_1 和 E_1 都比较小，定子阻抗压降就比较显著起来，不能再忽略了。这时，可以人为地把 U_1 抬高一些，以便近似地补偿定子压降，使气隙磁通基本保持不变，如图 2-1-1 所示。

（二）基频以上的弱磁变频调速

在基频以上调速时，频率可以从 f_{1N} 往上增高，但是电压 U_1 却不能增加得比额定电压 U_{1N} 还要大，这是由于受到电源电压的制约，最多只能保持 $U_1 = U_{1N}$ 不变。这样，必

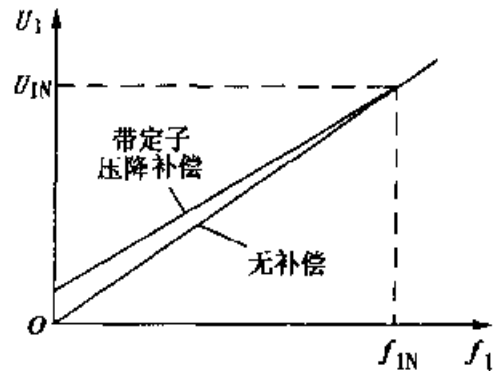


图 2-1-1 恒压频比控制特性

然会使主磁通随着 f_1 的上升而减小，相当于直流电动机弱磁调速的情况，属于近似的恒功率调速方式。

综合上述两种情况，异步电动机变频调速的基本控制方式如图 2-1-2 所示。异步电动机的变频调速必须按照一定的规律同时改变其定子电压和频率，即必须通过变频装置获得电压、频率均可调节的供电电源，实现 VVVF 调速控制。用 VVVF 变频器对异步电动机进行变频控制时的机械特性如图 2-1-3 所示。图 (a) 表示在 $U_1/f_1=C$ 的条件下得到的机械特性，在低速时由于定子电阻压降的影响使机械特性向左移动，这是主磁通减小造成的。图 (b) 表示采用了定子电压补偿时的机械特性。图 (c) 表示端电压补偿的 U_1 与 f_1 之间的函数关系。

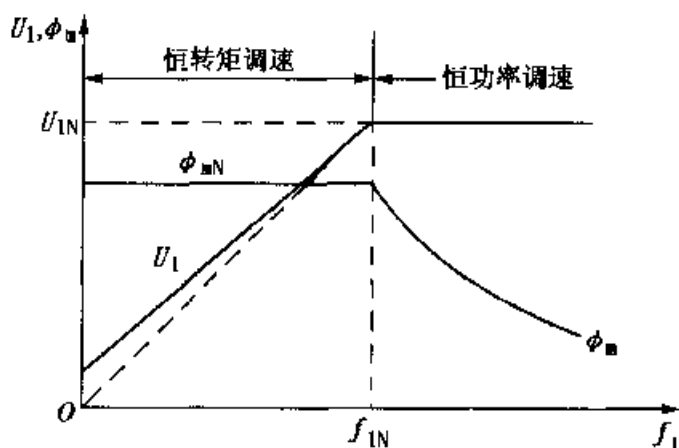


图 2-1-2 异步电动机变压变频调速控制特性

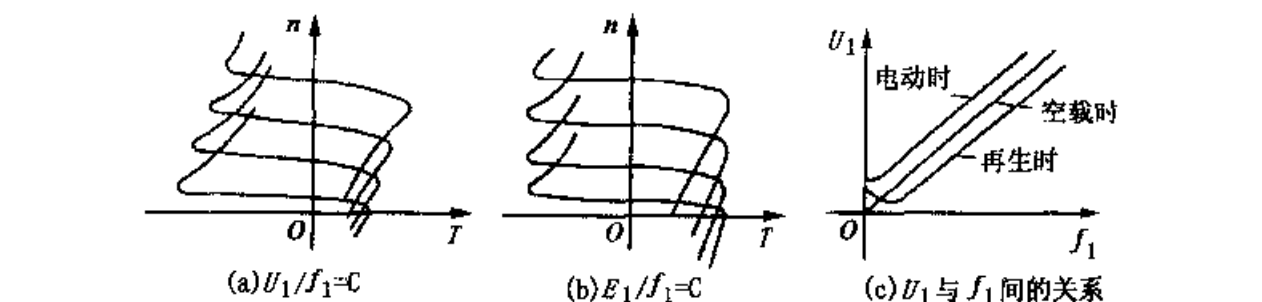


图 2-1-3 异步电动机变频调速的机械特性

二、变频装置

变频器分为交-交和交-直-交两种。交-交变频器可将工频交流电直接变换成频率、电压均可控制的交流电，又称直接式变频器。交-直-交变频器则是先把工频交流电通过整流器变成直流电，然后再把直流电变换成频率、电压均可控制的交流电，又称间接式变频器。

(一) 直接变频装置

交-交直接变频装置的结构如图 2-1-4 所示，它只用一个变换环节就可以把恒压恒频 (CVCF) 的交流电源变换成 VVVF 电源，因此又称交-交变频装置或周波变换器。

单相输出的交-交变频器如图 2-1-5 所示，它实质上是一套三相桥式无环流反并

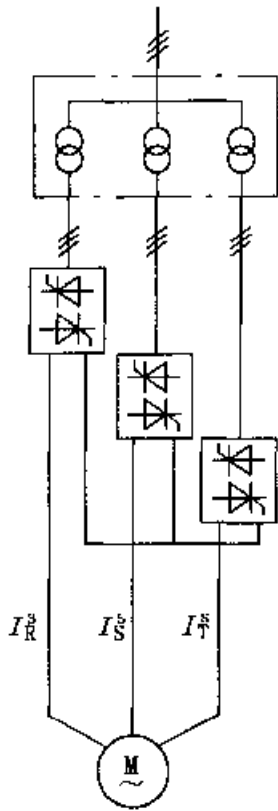


图 2-1-4 交-交直接变频装置

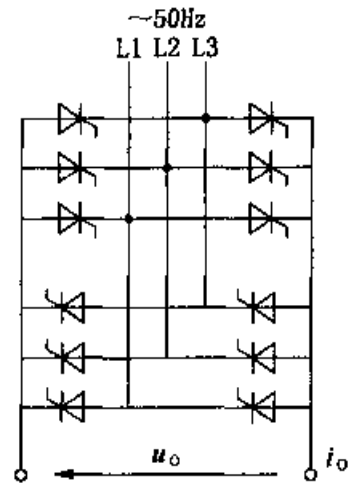


图 2-1-5 单相输出交-交变频器

联的可逆整流装置。装置中工作晶闸管的关断通过电源交流电压的自然换相实现，如果触发装置的控制信号 u_c 是直流信号，则变频器的输出电压也是直流；若 u_c 是交流信号，则变频器的输出电压也是交流，因而实现变频。

图 2-1-6 所示为输出端接有感性负载的交-交变频器的输出电压和电流波形。三相输出的交-交变频器由 3 套输出电压彼此差 120° 的单相输出交-交变频器组成。若 3 个触发控制信号是一组频率和幅值可调的三相正弦信号，则变频器输出相应的三相交流电压，实现变频。交-交变频器的特点如下。

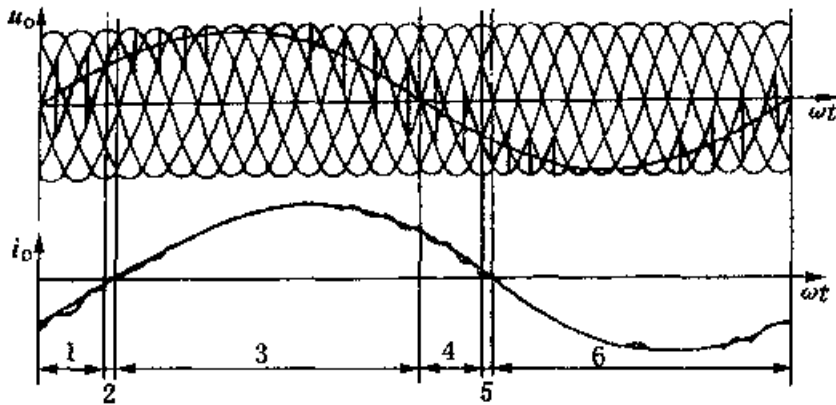


图 2-1-6 单相输出交-交变频器的输出电压和电流波形

(1) 可逆整流、工作可靠，可直接套用成熟的直流可逆调速技术、经验及装置。

(2) 流过电动机的电流近似于三相正弦，附加损耗小，脉动转矩小，电动机属普通交流电动机类。

(3) 当电源为 50Hz 时，最大输出频率超过 20Hz，电动机最高转速小于 600r/min（对应于 4 极电动机）。

(4) 主回路较复杂，器件多（桥式线路需 36 个晶闸管），小容量时不合算；一般只用于低转速、大容量的调速系统，如轧钢机、球磨机、水泥回转窑等。

(二) 间接变频装置

间接变频装置（交-直-交变频器）结构如图 2-1-7 所示。它由主电路（包括整流器、中间直流环节和逆变器）和控制电路组成。

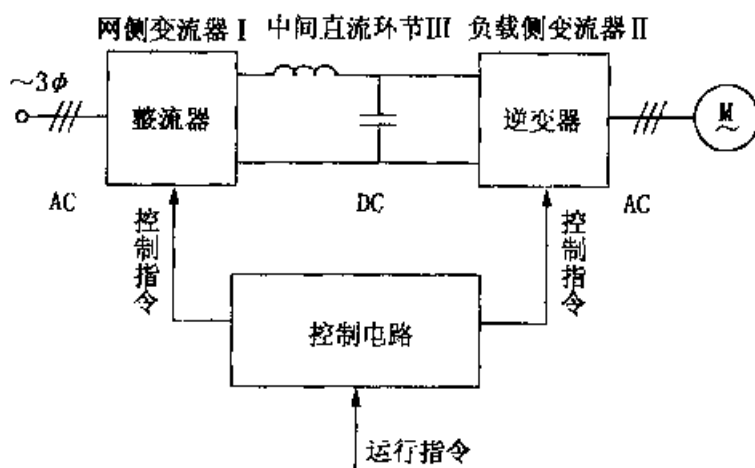


图 2-1-7 变频器的构成

1. 主电路

(1) 整流器。它又称电网侧变流器，是把三相（或单相）交流电整流成直流电。常见的整流器有用二极管构成的不可控三相桥式电路和用晶闸管构成的可控三相桥式电路。

(2) 逆变器。它又称负载侧变流器，最常见的结构形式是利用 6 个半导体主开关器件组成三相桥式逆变电路。有规律地控制逆变器中主开关器件的通与断，可以得到任意频率的三相交流电输出。

(3) 中间直流环节。由于逆变器的负载为异步电动机，属于感性负载，因此在中间直流环节和电动机之间总会有无功功率的交换。这种无功能量要靠中间直流环节的储能元件（电容或电抗）来缓冲，所以又常称中间直流环节为中间直流储能环节。

2. 控制电路

控制电路由运算电路、检测电路、控制信号的输入/输出电路和驱动电路等构成，其主要任务是完成对逆变器的开关控制、对整流器的电压控制以及各种保护功

能等，可采用模拟控制或数字控制。高性能的变频器目前已采用嵌入式微型计算机进行全数字控制，采用尽可能简单的硬件电路，主要靠软件来完成各种功能。由于软件的灵活性，数字控制方式可以完成模拟控制方式难以完成的功能。

第二节 变频器的分类

变频器的分类方式很多，这里主要对交-直-交变频器进行讨论。

一、按直流电源的性质分

变频器中间直流环节用于缓冲无功功率的储能元件可以是电容或是电感，因此变频器可分成电压型和电流型两大类。

(一) 电流型变频器

电流型变频器主电路的典型构成如图 2-2-1 所示，其特点是中间直流环节采用大电感作为储能元件，无功功率将由该电感来缓冲。由于电感的作用，直流电流趋于平稳，电动机的电流波形为方波或阶梯波，电压波形接近于正弦波。由于直流电源的内阻较大，近似于电流源，故称其为电流源型变频器或电流型变频器。

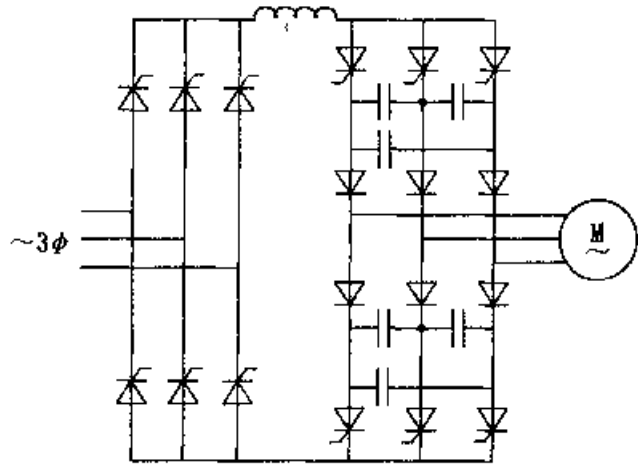


图 2-2-1 电流型变频器的主电路

电流型变频器的一个较突出优点是，当电动机处于再生发电状态时，回馈到直流侧的再生电能可以方便地回馈到交流电网，不需要在主电路内附加任何设备。电流型变频器可用于频繁急加、减速的大容量电动机的传动，以及大容量风机、泵类的节能调速。

(二) 电压型变频器

电压型变频器的主电路半导体开关器件经历了晶闸管、电力晶体管 (GTR) 和绝缘栅晶体管 (IGBT) 3 个阶段，目前市场上变频器的逆变器件基本上是 IGBT，其性能远优于前两种器件。早期电压变频器的电路结构如图 2-2-2 所示，电路中间直流环节的储能元件采用大电容，负载的无功功率将由它来缓冲。由于大电容的作用，主电路直流电压比较平稳，电动机端的电压为方波或阶梯波。直流电源内阻比较小，相当于电压源，故称其为电压源型变频器或电压型变频器。

对负载而言，变频器是一个交流电压源，在不超出容量限度的情况下，可以驱动多台电动机并联运行，具有不选择负载的通用性。其缺点是电动机处于再生发电状态时，回馈到直流侧的无功能量难以回馈给交流电网，而要实现这部分能量向电

网的回馈，必须采用可逆变流器。

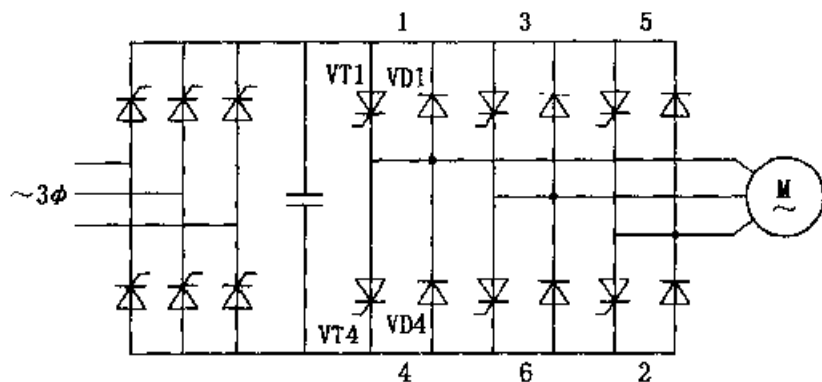


图 2-2-2 电压型变频器的主电路

二、按输出电压调节方式分

变频调速时，需要同时调节逆变器的输出电压和频率，以保证电动机主磁通的恒定。对输出电压的调节主要有 PAM 方式、PWM 方式和高载波变频率 PWM 方式。

（一）PAM 方式

脉冲幅值调节方式简称 PAM 方式，是通过改变直流电压的幅值进行调压的方式。在变频器中，逆变器只负责调节输出频率，而输出电压的调节则由相控整流器或直流斩波器（见图 2-2-3）通过调节直流电压去实现。采用此种方式，当系统在低速运行时，谐波与噪声都比较大，只有在与高速电机配套的高速变频器中才采用。

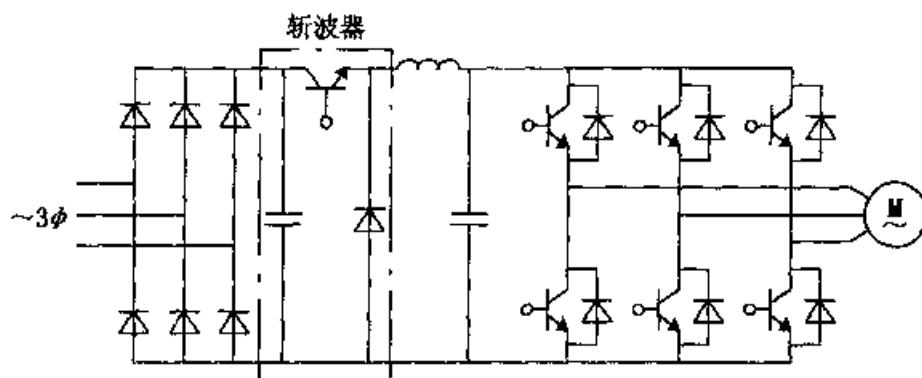


图 2-2-3 采用直流斩波器的 PAM 方式

（二）PWM 方式

脉冲宽度调制方式简称 PWM 方式，如图 2-2-4 所示。变频器中的整流电路采用不可控的二极管整流电路，变频器的输出频率和输出电压的调节均由逆变器按 PWM 方式来完成。利用参考电压波与载频三角波互相比，来决定主开关器件的导通时间，从而实现调压。利用脉冲宽度的改变来得到幅值不同的正弦基波电压。

这种参考信号为正弦波、输出电压平均值近似为正弦波的 PWM 方式，称为正弦 PWM 调制，简称 SPWM 方式。通用变频器中常采用 SPWM 方式调压。

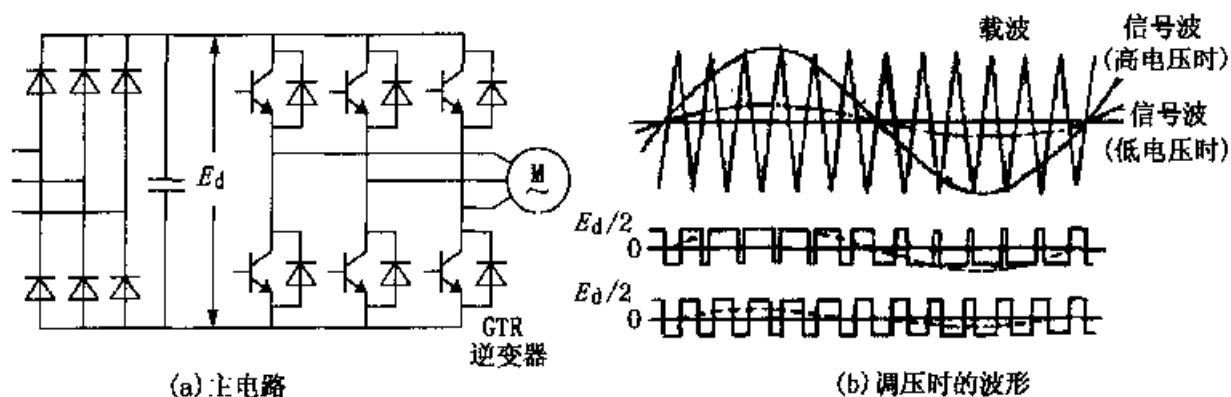


图 2-2-4 PWM 变频器

(三) 高载波变频率 PWM 方式

此种方式与上述 PWM 方式的差别仅在于调制频率有了很大的提高。主开关器件的工作频率较高，常采用 IGBT 或 MOSFET 为主开关器件，开关频率可达 10~20kHz，可以大幅度地降低电动机的噪声，达到静音水平。图 2-2-5 所示为以 IGBT 为逆变器开关器件的变频器主电路，目前这种高载波变频器已成为中小容量通用变频器的主流。

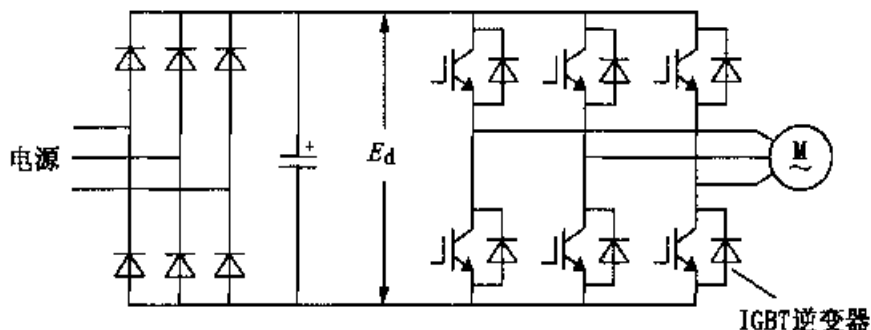


图 2-2-5 高载波变频率 PWM 变频器

三、按控制方式分

(一) U/f 控制

U/f 控制方式又称为 VVVF 控制方式，如图 2-2-6 所示。主电路中的逆变器采用 IGBT 用 PWM 方式进行控制。逆变器的控制脉冲发生器同时受控制于频

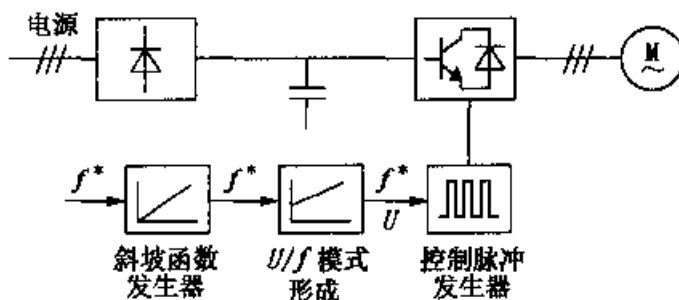


图 2-2-6 U/f 控制方式

率指令 f^* 和电压指令 U ，而 f^* 和 U 之间的关系是由 U/f 曲线发生器 (U/f 模式形成) 决定的。经过 PWM 控制之后，变频器的输出频率 f 与输出电压 U 之间的关系，就是 U/f 曲线发生器所确定的关系。转速的改变是靠改变频率的设定值 f^* 来实现的。电动机的实际转速要根据负载的大小 (即转差率的大小) 来决定。负载变化时，在 f^* 不变条件下，转子转速将随负载转矩的变化而变化，故它常用于对速度精度要求不十分严格或负载变动较小的场合。

U/f 控制是转速开环控制，无需速度传感器，控制电路简单，负载可以是通用标准异步电动机，所以通用性好，是目前通用变频器产品中使用较多的一种控制方式。

(二) 转差频率控制

如果没有任何附加措施，在 U/f 控制方式下，如果负载变化，转速也会随之变化，转速的变化量与转差率成正比，显然静态调速精度较差。为了提高调速精度，可采用转差频率控制方式。

根据速度传感器的检测，可以求出转差频率 Δf ，把它与速度设定值 f^* 相叠加，以该叠加值作为逆变器的频率设定值 f_1^* ，就实现了转差补偿。这种实现转差补偿的闭环控制方式称为转差频率控制方式。与 U/f 控制方式相比，其调速精度大为提高。但是，使用速度传感器求取转差频率，要针对具体电动机的机械特性调整控制参数，因此这种控制方式的通用性较差。转差频率控制方式如图 2-2-7 所示。对应于转速的频率设定值为 f^* ，经转差补偿后定子频率的实际设定值则为 $f_1^* = f^* + \Delta f$ 。由图可见，由于转差补偿的作用，调速精度提高了。

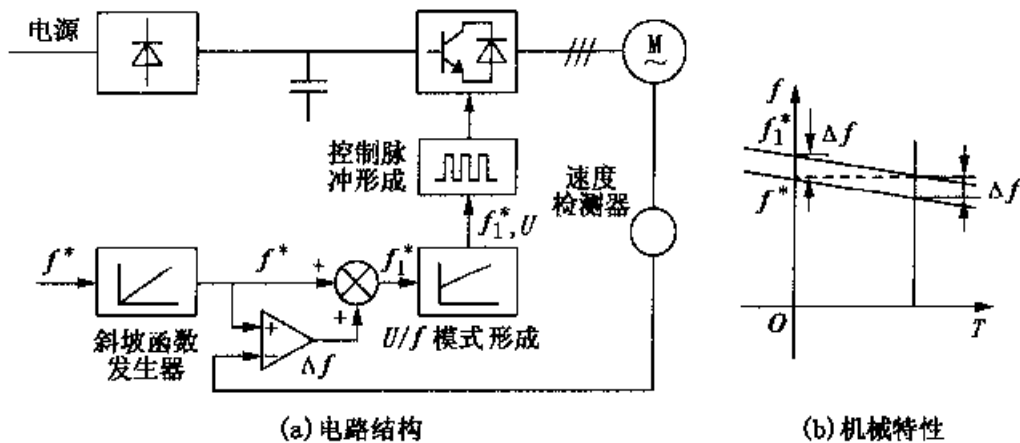


图 2-2-7 转差频率控制方式

(三) 矢量控制

U/f 控制方式和转差频率控制方式的控制思想都建立在异步电动机的静态数学模型上，因此动态性能指标不高。对于轧钢、造纸设备等对动态性能要求较高的场合，可采用矢量控制变频器。

采用矢量控制方式主要是为了提高变频器调速的动态性能。根据交流电动机的动态数学模型，利用坐标变换的手段，将交流电动机的定子电流分解成磁场分量电流和转矩分量电流，并分别加以控制，即模仿自然解耦的直流电动机的控制方式，对电动机的磁场和转矩分别进行控制，以获得类似于直流调速系统的动态性能。

在矢量控制方式中，磁场电流 i_m 和转矩电流 i_t 可以根据可测定的电动机定子电压、电流求得。磁场电流和转矩电流再与相应的设定值相比较，并根据需要进行必要的校正。高性能速度调节器的输出信号可以作为转矩电流（或称有功电流）的设定值，如图 2-2-8 所示。动态频率前馈控制 df/dt 可以保证快速动态响应。

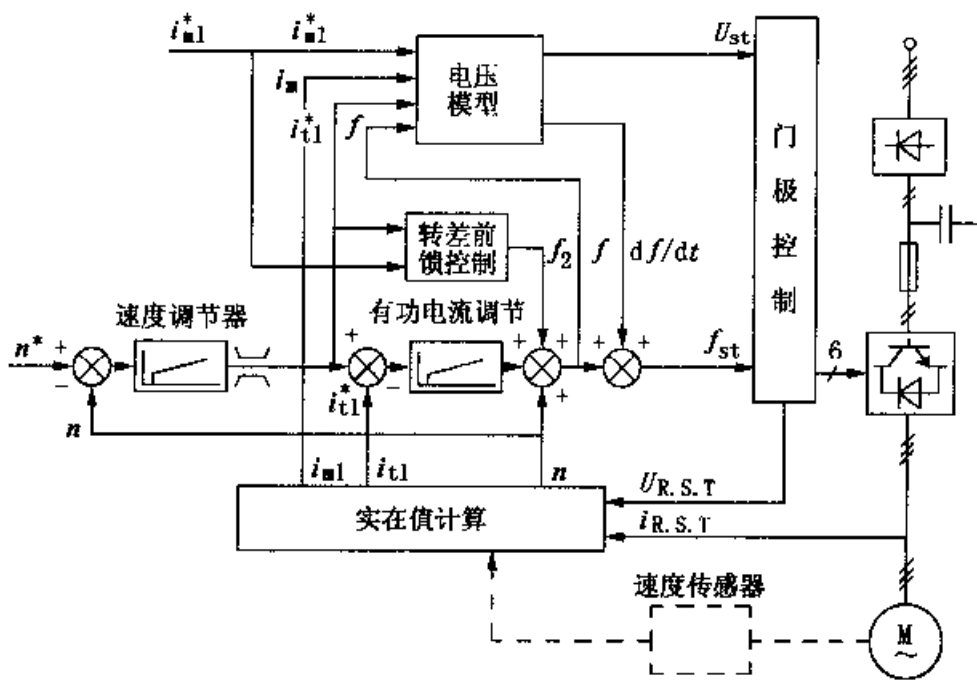


图 2-2-8 矢量控制原理框图

四、按电压等级分

变频器按电压等级可分成两类：380~460V 的低压型变频器；高压型变频器，如电压等级为 3kV、6kV、10kV。

(一) 低压型变频器

常见的中小容量通用变频器均属此类，单相变频器额定输入电压为 220~240V，三相变频器额定输入电压为 220V 或 380~400V，容量为 0.2~280kW 及 280~500kW。

(二) 高压大容量变频器

通常高（中）压（3kV、6kV、10kV 等级）电动机多采用变极或电机外配置机械减速器的方式调速，综合性能不高，在此领域节能及提高调速性能的潜力巨大。因此，高（中）压变频传动成为自动控制技术中的热点。

五、按用途分

变频器按用途分类也有多种方式。若根据各行各业应用的特点来分，有轧钢机用变频器、空调用变频器、电梯用变频器、机车用变频器等。若根据变频器性能及应用范围进行分类，则可分为以下几种类型。

(一) 通用变频器

通用变频器的特点是其通用性，可应用在标准异步电动机传动、工业生产及民用各个领域。随着变频器技术的发展，通用变频器也在向低成本的简易型和高性能多功能型发展。

简易型通用变频器是一种以节能为主要目的而削减了一些系统功能的通用变频器，它主要应用于水泵、风扇、鼓风机等对系统调速性能要求不高的场所，有体积小、价格低等方面的优势。

目前一些大厂家已推出了采用矢量控制方式的高性能多功能通用变频器，其性能已经接近以往高端的矢量控制变频器，但价格与普通 U/f 控制方式的通用变频器相差不多。

(二) 高性能专用变频器

高性能专用变频器基本采用了矢量控制方式，其驱动对象通常是变频器厂家指定的专用电动机，且主要应用于对电动机的控制性能要求比较高的系统。此外，高性能专用变频器往往是为了满足某些特定产业或区域的需要，使变频器在该区域中具有最好的性能价格比而设计生产的。例如，在专用来驱动机床主轴的高性能变频器中，为了便于与数控装置配合完成各种工作，变频器的主电路、回馈制动电路和各种接口电路等被制成一体，从而达到了缩小体积和降低成本的要求；在纤维机械驱动方面，为了便于大系统的维修保养，其变频器采用了可以进行简单拆装的盒式结构。

(三) 高频变频器

在超精密加工和高性能机械中，常常要用到高速电动机，可采用 PAM 控制方式的高速电动机驱动用变频器。这类变频器的输出频率可以达到 3kHz，在驱动两极异步电动机时，电动机最高转速可以达到 180000r/min。

(四) 小型变频器

为适应现场总线控制技术的要求，变频器必须小型化，与异步电机结合在一起，组成总线上一个执行单元。目前市场上已经出现了“迷你”型变频器，其功能比较齐全，而且通用性好，如安川公司的 VS-mini-J7 型变频器以及三垦公司的 SAMCO-ES、EF、ET 系列等。

第三节 正弦波脉宽调制逆变器

在VVVF控制技术发展的早期,均采用PAM(即脉冲幅值调制)方式,其主开关器件是普通的晶闸管等半控器件,因此开关频率低,逆变器输出的交流电压波形只能是方波,谐波成分多;而且VV与VF分开完成,网侧整流电路采取相控整流器,致使电路复杂,电动机在低频区转矩脉动、谐波损耗及噪声均很大。随着全控型快速半导体器件(如GTR、IGBT、GTO等)的应用,VVVF控制发展为PWM方式。利用PWM控制技术,可控制逆变器输出电压的频率,也可以控制输出电压的波形及其基波的幅值,从而同时实现变压和变频。

一、正弦脉宽调制原理

正弦脉宽调制(SPWM)波形,就是与正弦波等效的一系列等幅不等宽的矩形脉冲波形,如图2-3-1所示,等效的原则是每一区间的面积相等。如果把一个正弦半波分作 n 等分(图中 $n=12$),然后把每一等分的正弦曲线与横轴所包围的面积都用一个与此面积相等的矩形脉冲来代替,矩形脉冲的幅值不变,各脉冲的中点与正弦波每一等分的中点相重合。这样,由 n 个等幅不等宽的矩形脉冲所组成的波形就与正弦波的半周等效,称作SPWM波形。同样,正弦波的负半周也可用相同的方法与一系列负脉冲等效。这种正弦波正、负半周分别用正、负脉冲等效的SPWM波形称单极式SPWM。图2-3-2是SPWM变压变频器的主电路,图中V1~V6是逆变器的六个全控式功率开关器件,它们各有一个续流二极管反向并联。整个逆变器由三相不可控整流器供电,所提供的直流恒压为 U_s (E_d)。异步电机定子绕组Y连接,其中点O与整流器输出端滤波电容器中点O'相连,因而当逆变器任一相导通时,电机绕组上所获得的相电压为 $U_s/2$ ($E_d/2$)。

图2-3-3绘出了单极式SPWM波形,它是由逆变器上桥臂中一个电力开关器件反复导通和关断形成的。其等效正弦波为 $U_m \sin \omega t$,而SPWM脉冲序列波的幅值为 $U_s/2$,各脉冲不等宽,但中心间距相同,都等于 π/n 。 n 为正弦波半个周期内的脉冲数; U_m 为等效正弦波的幅值; U_s 为整流电路提供的直流电压。第 i 个脉冲的宽度与该处正弦波值近似成正

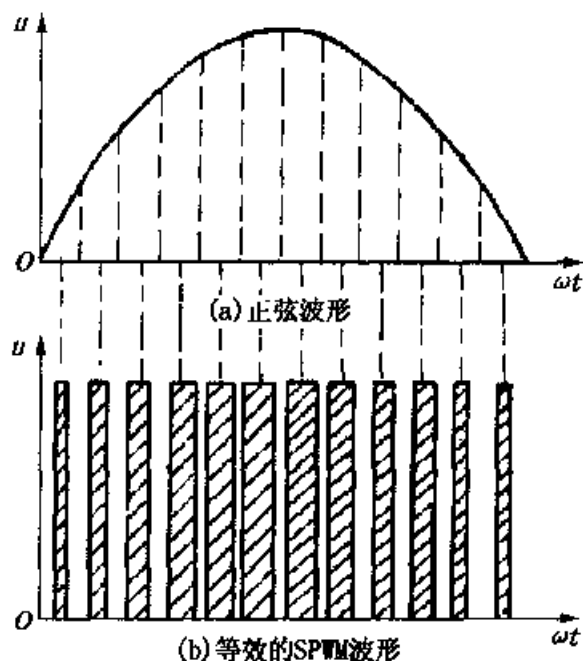


图2-3-1 与正弦波等效的等幅不等宽矩形脉冲序列波

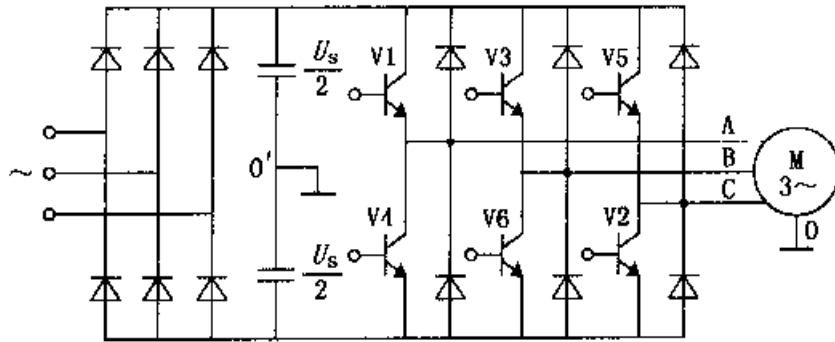


图 2-3-2 SPWM 变压变频器主电路

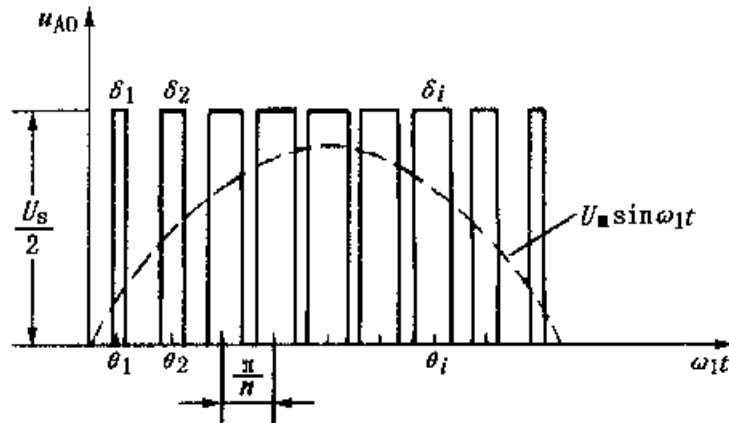


图 2-3-3 单极式 SPWM 波形

比。因此，与半个周期正弦波等效的 SPWM 波是两侧窄、中间宽、脉宽按正弦规律逐渐变化的序列脉冲波。

最初的脉冲宽度调制方法是利用正弦波作为基准的调制波，受其调制的信号为载波，在 SPWM 中常用等腰三角波当作载波。如图 2-3-4 所示，当调制波与载波相交时，由它们的交点确定逆变器开关器件的通断时刻。当 A 相的调制波电压 u_{ra} 高于载波电压 u_c 时，使相应的开关器件 VT1 导通，输出正的脉冲电压；当 u_{ra} 低于 u_c 时，VT1 关断，输出电压为零。在 u_{ra} 的负半周中，可用类似的方法控制下桥臂的 VT4，输出负的脉冲电压序列。改变调制波的频率时，输出电压基波的频率也随之改变；降低调制波幅值时，各段脉冲的宽度都将变窄，从而使输出电压基波的幅值也相应减小。

单极式 SPWM 波形在半周内的脉冲电压只在“正”（或是“负”）和“零”之间变化，主电路每相只有一个开关器件反复通断。如果让同一桥臂上、下两个开关器件交替地导通与关断，则输出脉冲在“正”和“负”之间变化，就得到双极式的 SPWM 波形。图 2-3-5 所示为三相双极式的正弦脉宽调制波形，其调制方法与单极式相似，其中图 (b) 是 A 相电压 $U_{AO} = f(t)$ 以 $\pm U_s/2$ 为幅值做正、负跳变的脉冲

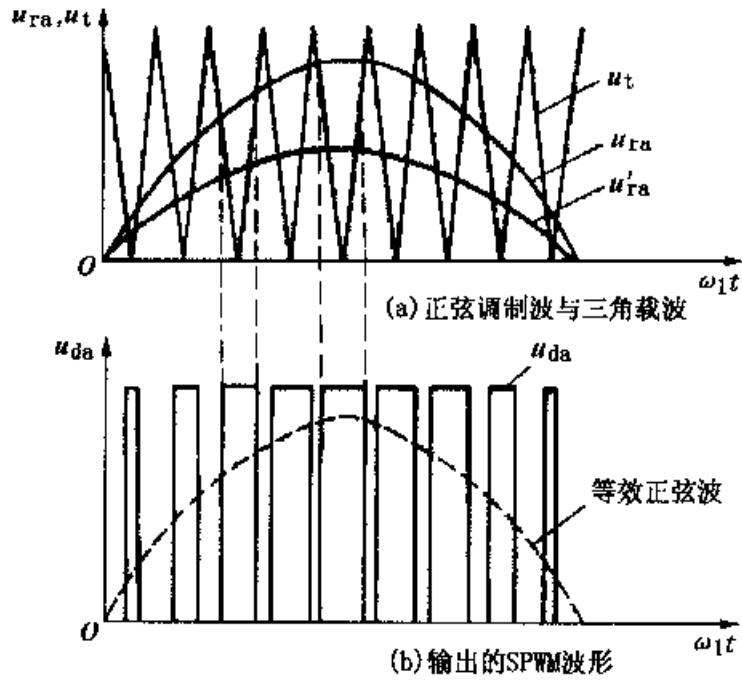


图 2-3-4 单极式脉宽调制波的形成

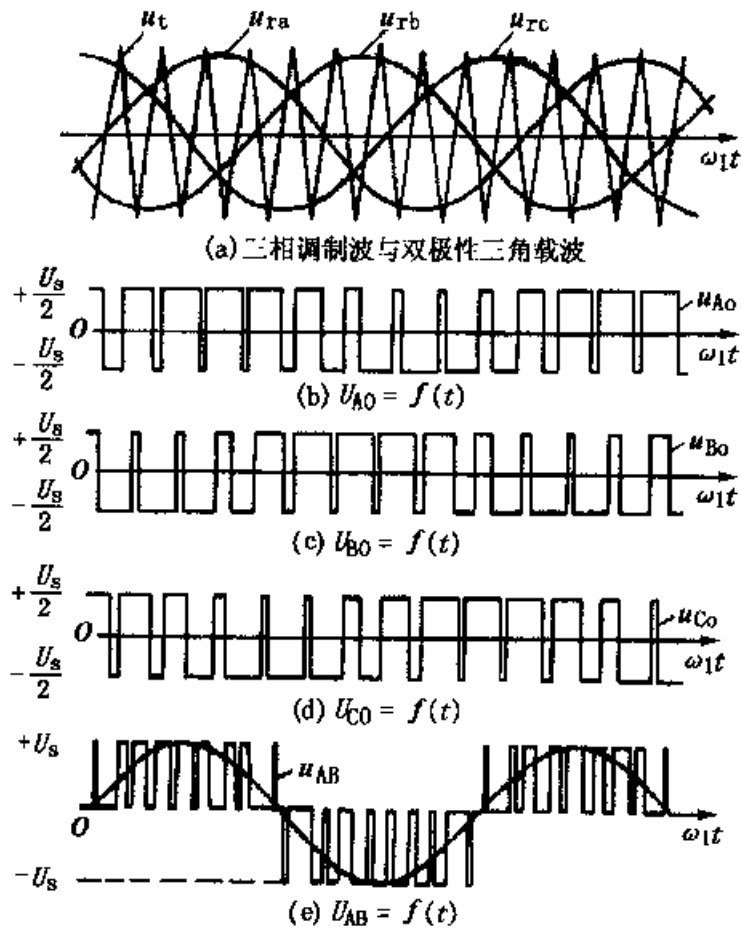


图 2-3-5 三相双极式 SPWM 波形

波形。

同理，图（c）、图（d）表示B相和C相 U_{BO} 和 U_{CO} 的脉冲波形，图（e）是由 U_{AO} 和 U_{BO} 相减，得到逆变器输出的线电压 $U_{AB}=f(t)$ 的脉冲波形，其幅值为 $\pm U_s$ 。

二、同步调制与异步调制

SPWM逆变器的性能与调制比 M 和载频比（载波比） N 有关。 $M=\frac{U_m}{U_{im}}$ ， $N=\frac{f_c}{f_r}=\frac{W_c}{W_r}=\frac{T_r}{T_c}$ 。其中， U_m 、 f_r （ W_r 、 T_r ）为调制信号 U_r 的幅值、频率（角频率、周期）； U_{im} 、 f_c （ W_c 、 T_c ）为载波信号 U_c 的幅值、频率（角频率、周期）。在SPWM方式中， U_{im} 值常保持不变， M 值的改变由改变 U_m 来实现。在调速过程中，根据载频比 N 的变化与否，调速方式有同步调制与异步调制之分。

（一）同步调制

在同步调制方式中， N 为常数。变频时，三角载波的频率与正弦调制的频率同步改变，因而输出电压半波内的矩形脉冲数是固定不变的。如果取 N 等于3的倍数，则同步调制能保证输出波形的正、负半波始终保持对称，并能严格保证三相输出波形间具有互差 120° 的对称关系。但是，当输出频率较低时，由于相邻两脉冲间的间距增大，谐波会显著增加，使负载电机产生较大的脉动转矩和较强的噪声，这是同步调制方式的主要缺点。

（二）异步调制

在异步调制方式中，改变调制波频率 f_r 时保持三角载波频率 f_c 不变，因而提高了低频时的载频化。这样输出电压半波内的矩形脉冲数可随输出频率的降低而增加，相应地减少了负载电机的转矩脉动与噪声，改善了系统的低频工作性能。

异步调制方式在改善低频工作性能的同时，又失去了同步调制的优势。当载频比 N 随着输出频率的降低而连续变化时，它不可能总是3的倍数，这势必使输出电压波形及其相位都发生变化，难以保持三相输出的对称性，因而引起电机工作不平稳。但若电力器件开关频率能满足要求，使得 N 足够大，这个问题就不很突出了。采用IGBT作为主开关器件的变频器，以及全速度范围内异步调制方案的机种，能克服分段同步调制的关键弱点。

（三）分段同步调制

将同步调制和异步调制结合起来，就成为分段同步调制方式。分段同步调制是把整个变频范围划分成若干频段，在每个频段内都维持载频比 N 恒定。对不同的频段应取不同的 N 值，频率低时， N 值应取大些，一般大致按等比级数安排。表2-3-1给出了一个实际系统的频段和载频比分配。图2-3-6所示为与表相对应的 f_c 和 f_r 的关系曲线。由图可见，在输出频率 f_r 的不同频段内用不同的 N 值进行同步调制，可使各频段开关频率的变化范围基本一致。

表 2-3-1 分段同步调制的频段和载波比

输出频率 f_1 (Hz)	载波比 N	开关频率 f_s (Hz)
41~62	18	738~1116
27~41	27	729~1107
17~27	42	714~1134
11~17	66	726~1122
7~11	102	714~1122
4.6~7	159	731.4~1113

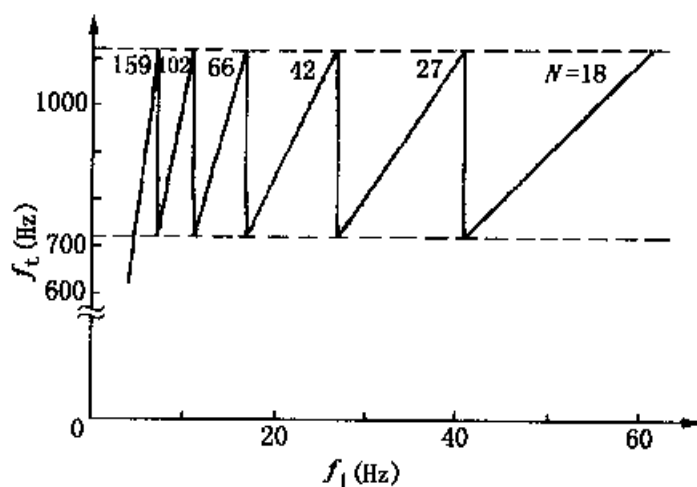


图 2-3-6 分段同步调制时输出频率与开关频率的关系

分段同步调制的弱点是在 N 值切换时可能出现电压突变乃至振荡，为此要注意：在 N 值切换时不能出现电压突变；应在临界点处造成一个滞后点，以避免不同 N 值之间出现振荡。

三、谐波分析与输出电压调节

对于交-直-交变频器，不论是电压型还是电流型，其输出都不是正弦波而是阶梯波，此阶梯波可分解成正弦基波与一系列的各次谐波。

(一) 谐波分析

SPWM 变频器虽然以输出波形接近正弦为目的，但其输出电压中仍然存在着谐波分量。产生谐波的主要原因是：在工程应用中对 SPWM 波形的生成采用规则采样方法或专用集成电路器件，并不能保证脉宽调制序列波的波形面积与各段正弦波面积完全相等；在实现控制时，为防止逆变器同一桥臂上、下两器件的同时导通而导致直流侧短路，当同一桥臂内上、下两器件作互补工作时，设置了一个导通时滞环节，时滞的出现不可避免地造成逆变器输出的 SPWM 波形有所失真。

关于谐波含量，可以得出以下结论。

(1) 只要载频比 N 足够大, 较低次谐波 (通常对电动机的转矩脉动影响较大) 就可被有效地抑制, 特别是深调节时更是如此。

(2) 深调节时, 较高次谐波反而增加, 即当 M 较小时, 高次谐波的幅值增加。这是由于 M 接近于零时, $U_m \ll U_c$, U_c 和 U_i 的交点贴近横轴, 各调制脉冲的宽度近于不变, 导致与 N 相近次数的高次谐波幅值很大。

(3) 用于三相对称系统中时, 3 的整数倍次谐波可自行消失, 不必考虑。

(二) 输出电压调节

(1) 只要控制 U_m 不大于 U_c , 即 $M < 1$, 则输出电压的基波幅值与调制比 M 成线性关系, 说明 SPWM 具有良好的调压性能。

(2) PWM 逆变器输出电压的基波均方根值将低于普通的方波逆变器, 为了得到同样的输出均方根值, PWM 逆变器需要更高的直流输入电压 U_c 。

(3) 对于 SPWM 而言, 应控制 U_m 使 $M < 1$ 。也可以使 $M > 1$, 但此时电压利用率将提高, 调压灵敏度下降且低次谐波成分有增加的趋势。

在 SPWM 方式下, 谐波较小, 特别是低次谐波的影响显著减小, 基波电压与 M 基本成正比。改变 U_c 的幅值 U_m 即可调节输出电压。在 $M < 1$ 时, 输出电压与 U_m 成正比。

四、脉宽调制的控制方法

(一) SPWM 的模拟控制

图 2-3-7 所示是 SPWM 变压变频器的模拟控制电路框图。三相对称参考正弦电压调制信号 u_{ra} 、 u_{rb} 、 u_{rc} 由参考信号发生器提供, 其频率和幅值均可调。三角载波信号 u_t 由三角波发生器提供, 各相共用, 分别与每相调制信号在比较器上进行比较, 给出“正”或“零”的输出, 并产生 SPWM 脉冲序列波 u_{da} 、 u_{db} 、 u_{dc} 作为变压变频器功率开关器件的驱动信号。由于 SPWM 的模拟控制精度差, 已经很少应用, 但其原理仍是其他控制方法的基础。

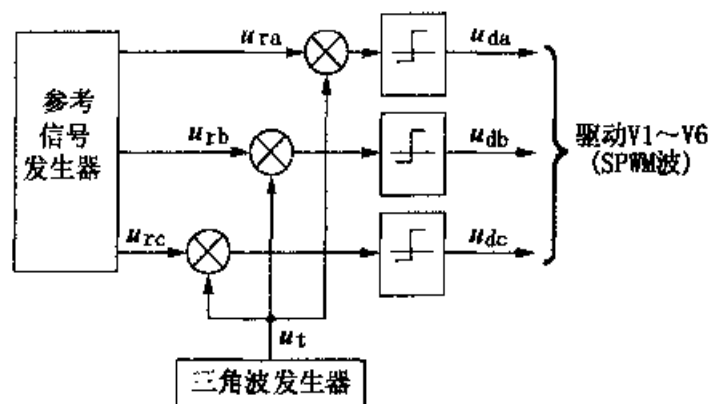


图 2-3-7 SPWM 变压变频器的模拟控制电路

(二) SPWM 的数字控制

数字控制是 SPWM 常用的控制方法。可采用微机存储预先计算好的 SPWM 数据表格，控制时根据指令调出；也可通过软件实时生成 SPWM 波形；还可采用大规模集成电路专用芯片产生 SPWM 信号。

1. 等效面积算法

正弦脉宽调制的基本原理就是按面积相等的原则构成与正弦波等效的一系列等幅不等宽的矩形脉冲波。按照已给出的脉冲宽度计算公式，根据已知数据和正弦数值可以依次算出每个脉冲的宽度，用于查表或实时控制。

2. 自然采样法

移植模拟控制方法，计算正弦调制波与三角载波的交点，从而求出相应的脉宽和脉冲间歇时间，生成 SPWM 波形，如图 2-3-8 所示。

3. 规则采样法

自然采样法的主要问题是，SPWM 波形每个脉冲的起始和终止时刻对三角波的中心线不对称，因而求解困难。工程上实用的方法要求算法简单，只要误差不太大，允许做一些近似处理，于是就提出了各种规则采样法。常用的一种方法是根据三角载波每一周的正峰值找到正弦调制波上对应点，求得基准电压值，然后对三角波进行采样，取得脉宽时间，但此方法误差较大。另一种方法与之相似，只不过所取的是三角载波的负峰值，其误差就减小了许多，所得的 SPWM 波形也就更准确了，如图 2-3-9 所示规则采样法的实质是用阶梯波来代替正弦波，从而简化了算法。只要载波比足够大，不同的阶梯波都很逼近正弦波，所造成的误差就可忽略不计了。

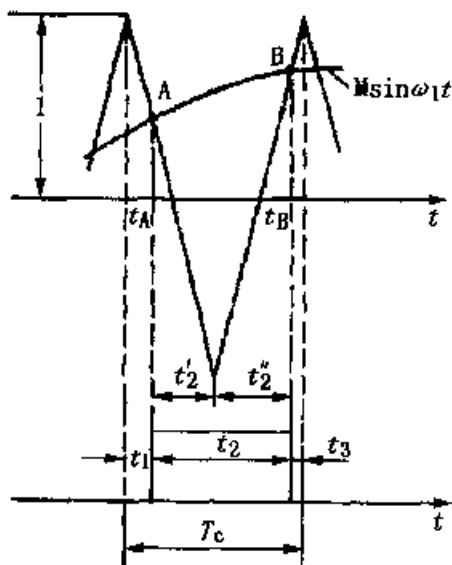


图 2-3-8 生成 SPWM 波形的自然采样法

实用的变频器多是三相的，因此还应形成三相的 SPWM 波形。三相正弦调制波在时间上互差 $2\pi/3$ ，而三角载波是共用的，这样就可以在同一个三角载波周期内获得图 2-3-10 所示的三相 SPWM 脉冲波形。在数字控制中用计算机实时产生 SPWM 波形正是基于上述的采样原理和计算公式。一般可以离线先在通用计算机上算出相应的脉宽 t_2 或 $(T_c/2) \cdot M \sin \omega_1 t_c$ 后写入 EPROM，然后由调速系统的微机通过查表和加减运算求出各相脉宽时间和间歇时间，这就是查表法；也可在内存中存储正弦函数和 $T_c/2$ 值，控制时先取出正弦值与调速系统所需的调制度 M 作乘法运算，再根据给定的载波频率取出对应的 $T_c/2$ 值，与 $M \sin \omega_1 t_c$ 作乘法运算，然后运用加、减移位即可算出脉宽时间 t_2 和间歇时间 t_1, t_3 ，此即实时算法。按查表或实时算法所得的脉冲数据都送入定时器，利用定时中断向接口电路送出相应

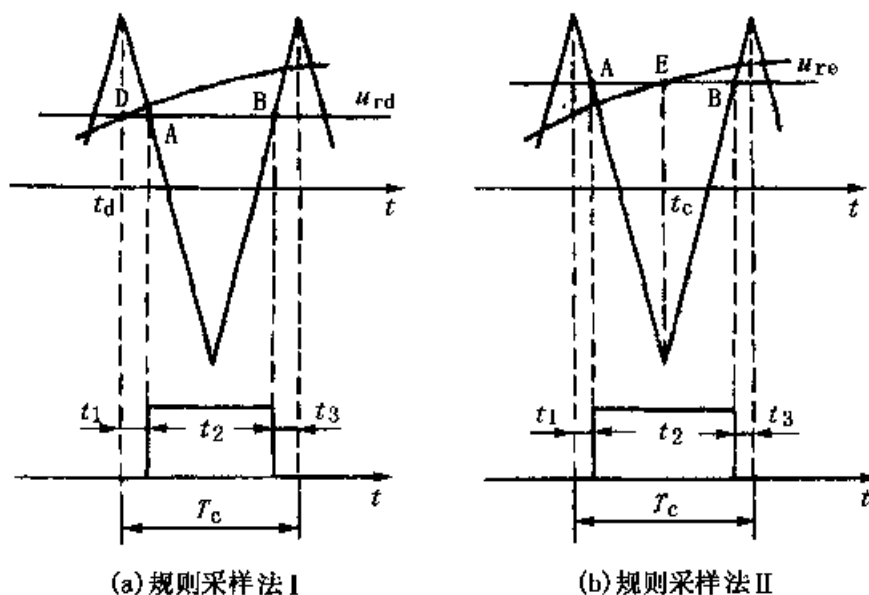


图 2-3-9 生成 SPWM 波形的规则采样法

的高、低电平，以实时产生 SPWM 波形的一系列脉冲。对于开环控制系统，在某一给定转速下其调制度 M 与频率 ω_1 都有确定值，所以宜采用查表法。对于闭环控制的调速系统，在系统运行中调制度 M 需随时被调节（因为有反馈控制的调节作用），所以用实时算法更为适宜。

上述 SPWM 生成方法可以用单片机实现，目前多采用 16 位机、双 16 位机或嵌入式 32 位单片机，其控制功能和波形精度均可达到极高的程度。

4. SPWM 专用集成电路芯片

目前逆变器中广泛采用高频电力电子器件，其载波频率均采用高频。完全依靠软件生成 SPWM 波的方法实际上很难适应高开关频率的要求，一些专门用于发生 SPWM 控制信号的集成电路芯片比用微机生成 SPWM 信号要方便得多，如 Mullard 公司的 HEF4752、Philips 公司的 MK II、Siemens 公司的 SLE4520 以及日本 Sanken 公司的 MB63H110 等。

(三) 电流跟踪控制

PWM 变压变频器一般都是电压源型，可以方便地按需要控制输出电压。但在

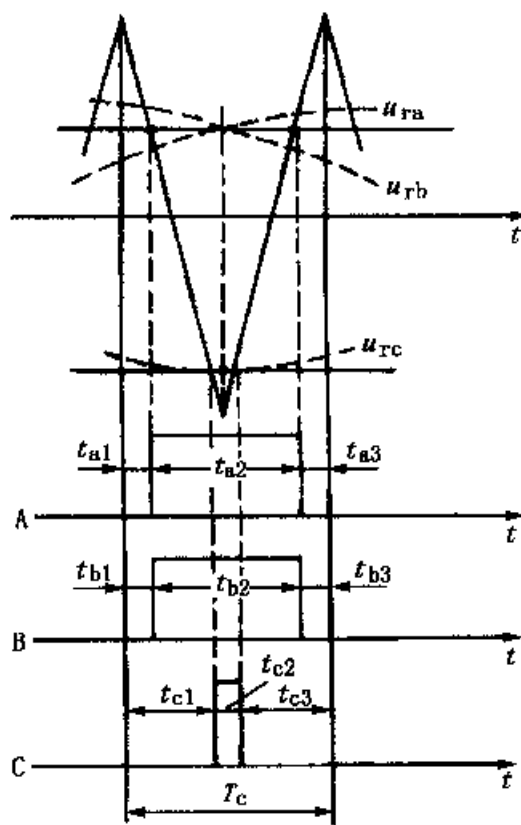


图 2-3-10 三相 SPWM 波形的生成

交流变频调速系统中实际需要保证的是正弦波电流，在电机绕组中通以三相平衡的正弦波电流才能使合成的电磁转矩恒定，不含脉动分量。因此，若能对电流实行闭环控制，并保证其正弦波形，显然会比开环控制电压获得更好的性能。

电流跟踪控制的脉宽调制变频器由通常的 PWM 电压源型变频器和电流控制环组成，使变频器输出可控的正弦波电流，如图 2-3-11 所示。其基本控制方法是给定三相正弦电流信号 i_a^* 、 i_b^* 、 i_c^* ，并分别与由电流传感器实测的变频器三相输出电流 i_a 、 i_b 、 i_c 相比较，以其差值通过电流控制器 ACR 控制 PWM 逆变器相应的功率开关器件。若实际电流值大于给定值，则逆变器开关器件的动作使之减小；反之，则使之增加。这样，实际输出电流将基本按照给定的正弦波电流变化。与此同时，变频器输出的电压仍为 PWM 波形。当开关器件具有足够高的开关频率时，可以使电动机的电流得到高品质的动态响应。

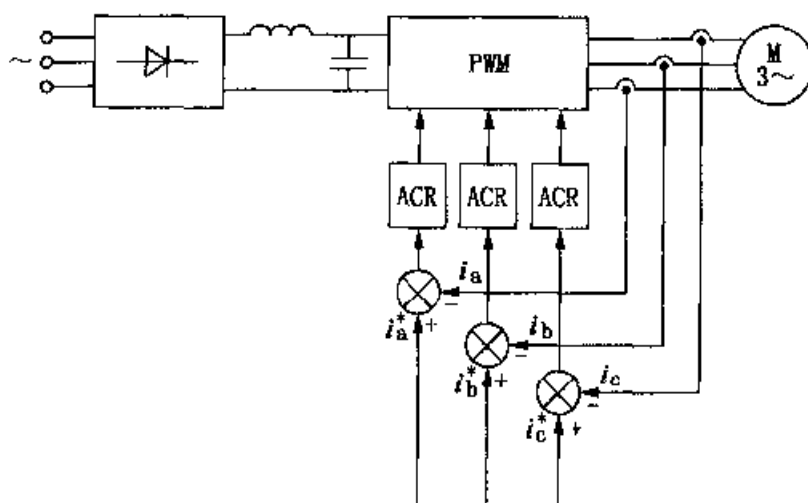


图 2-3-11 电流跟踪控制的脉宽调制变频器

（四）磁链跟踪控制

经典的 SPWM 控制主要着眼于使逆变器输出电压尽量接近正弦波，或者说希望输出 PWM 电压波形的基波成分尽量大，谐波成分尽量小。至于电流波形，则还会受负载电路参数的影响。电流跟踪控制直接着眼于输出电流是否按正弦变化，这比只考查输出电压波形有了进步，但异步电动机需要输入三相正弦电流的最终目的是在空间产生圆形旋转磁场，从而产生恒定的电磁转矩。若把逆变器和异步电动机视为一体，按照跟踪圆形旋转磁场来控制 PWM 电压，这样的控制方法就叫做“磁链跟踪控制”，磁链的轨迹是靠电压空间矢量相加得到的，所以又称“电压空间矢量控制”。

电压空间矢量是按照电压所加绕组的空间位置来定义的，图 2-3-12 中 A、B、C 分别表示空间静止不动的电机定子三相绕组的轴线，它们在空间互差 120° 。三相定子电压 U_{A0} 、 U_{B0} 、 U_{C0} 分别加在三相绕组上，可以定义三个电压空间矢量 $u_{\hat{A}0}$ 、 $u_{\hat{B}0}$ 和 $u_{\hat{C}0}$ ，它们的方向始终在各相的轴线上，而大小则随时间按正弦规律作脉动式

变化，时间相位互差 120° 。三相电压空间矢量相加的合成空间矢量 u_1 是一个旋转的空间矢量，其幅值不变，是每相电压值的 $3/2$ 倍；当频率不变时，它以电源角频率 ω_1 为电气角速度作恒速同步旋转。

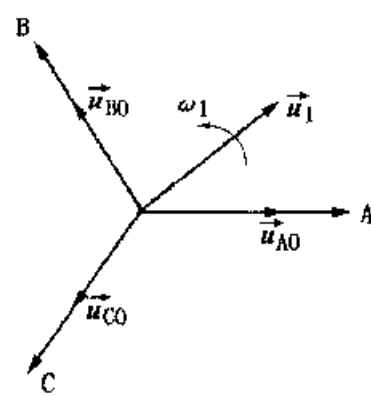


图 2-3-12 电压空间矢量

在由三相平衡正弦电压供电时，电机定子磁链幅值恒定，其空间矢量以恒速旋转。磁链矢量顶端的运动轨迹形成圆形的空间旋转磁场，简称为磁链圆。当磁链幅值一定时，电压空间矢量 u_1 的大小与 ω_1 （或供电电压频率 f_1 ）成正比，其方向为磁链圆形轨迹的切线方向。当磁链矢量在空间旋转一周时，电压矢量也连续地按磁链圆的切线方向运动 2π 弧度，其轨迹与磁链圆重合，如图 2-3-13 所示。这样，电机旋转磁场的形状问题就可转换为电压空间矢量运动轨迹的形状问题。

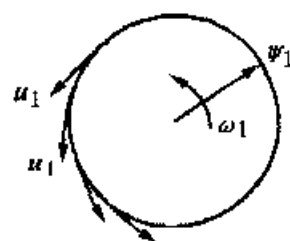


图 2-3-13 旋转磁场与电压空间矢量的运动轨迹

在变频调速系统中，异步电机由三相 PWM 逆变器供电。这时供电电压和三相平衡正弦电压有所不同。由于变频器输出的是脉冲波，其电压空间矢量的运动轨迹是由一段一段直线连接成的多边形而不是圆形。例如，异步电机在六拍阶梯波逆变器供电时，产生的是正六边形旋转磁场，而不是圆形旋转磁场。如果想获得更多边形或逼近圆形旋转磁场，就必须增加逆变器的开关状态，以形成更多的电压空间矢量，最终构成一组等幅不同相的电压空间矢量，从而形成尽可能逼近圆形的旋转磁场。增加逆变器的开关状态，使之输出一系列等幅不等宽的脉冲波，就形成了电压空间控制的 PWM 逆变器。由于它间接控制了电机的旋转磁场，所以也可称作磁链跟踪（或磁链轨迹）控制的 PWM 逆变器。

第四节 变频器的控制方式

异步电动机调速传动时，变频器可以根据电动机的特性对供电电压、电流、频率进行适当的控制，不同的控制方式所得到的调速性能、特性以及用途是不同的。

控制方式大体可分为开环控制和闭环控制两种。开环控制有 U/f 控制方式，闭环控制有转差频率控制、矢量控制和直接转矩控制等方式。

各种控制方式是按 U/f 控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制的顺序发展起来的。越是后来的控制方式性能越优良，特别是矢量控制，具有与直流电机电枢电流控制一样的传动性能。

直接转矩控制技术是用空间矢量的分析方法，直接在定子坐标系下计算与控制交流电机的转矩，采用定子磁场定向，借助于离散的两点式调节产生 PWM 信号，

直接对逆变器的开关状态进行最佳控制，以获得转矩的高动态性能。它在很大程度上解决了矢量控制中计算控制复杂、特性易受电动机参数影响的一些重大问题。直接转矩控制系统的转矩响应迅速，限制在一拍之内，且无超调，是一种具有高静态性能的交流调速方法。

一、变频器的 U/f 控制

作为变频器调速控制方式， U/f 控制比较简单，多用于通用变频器、风机、泵类机械的节能运行、生产流水线的工作台传动及一些家用电器等。

图 2-4-1 绘出了一种典型的全数字 U/f 控制 IGBT-SPWM 变频调速系统原理图。它包括主电路、驱动电路、控制电路、保护信号采集与综合电路。

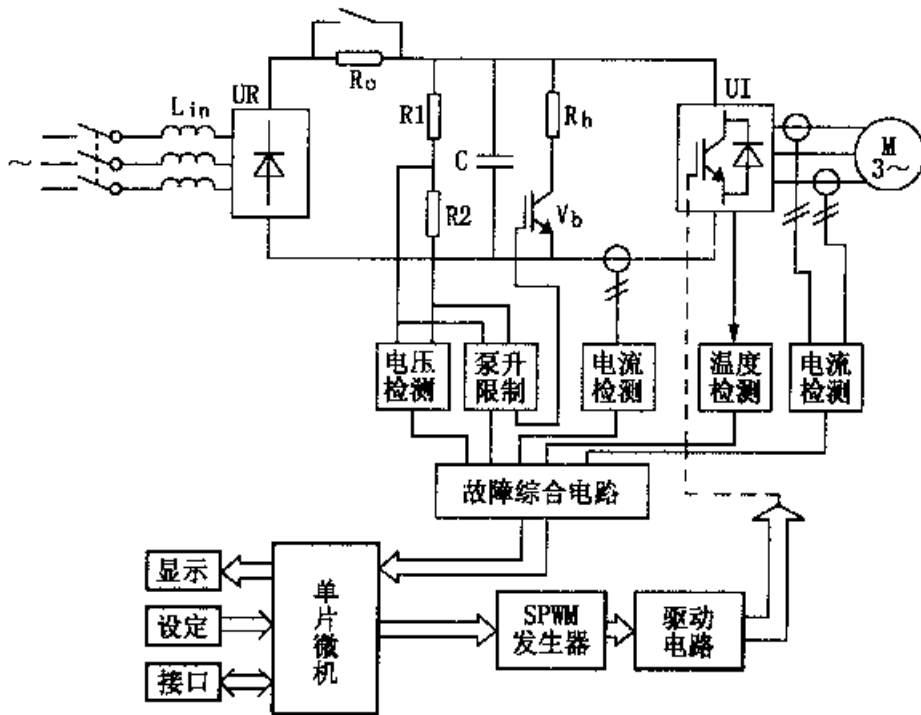


图 2-4-1 IGBT-SPWM 变频调速系统原理图

变频器的主电路由不可控整流器 UR、SPWM 逆变器 UI 和中间直流电路三部分组成，一般都是电压源型采用大电容 C 滤波，同时对感性负载电流衰减时起储能作用。由于电容容量较大，突加电源时相当于短路，势必产生很大的充电电流，容易损坏整流二极管。为了限制充电电流，在整流器和滤波电容之间串入限流电阻（或电抗） R_0 。合上电源后，延时开关将 R_0 短路，以免造成附加损耗。

二极管整流器不能为异步电机再生制动提供反向电流的途径，因此除特殊情况外，通用变频器一般都用电阻 (R_b) 吸收制动能量。制动时，异步电机进入发电状态，首先通过逆变器的续流二极管向电容 C 充电。当中间直流回路电压（通称泵升电压）升高到一定限制值时，通过泵升限制电路使开关器件 V_b 导通，将电机

释放的动能消耗在制动电阻 R_b 上。为了便于散热，制动电阻器常作为附件单独装在变频器机箱外边。

整流器 UR 采用三相桥式全波整流，由于其输出端接有滤波的大电容，其导通角必定小，因此输入电流呈脉冲波形，这样的电流会有较大的谐波成分，使电源受到污染。为了抑制谐波电流，对于容量较大的 SPWM 变频器，都应在输入端设进线电抗器 L_{in} ，有时也可在整流器和电容器之间串接直流电抗器。 L_{in} 也可用来抑制电源电压不平衡的影响。

现代 SPWM 变频器的控制电路基本以微处理器为核心，其功能主要是接受各种设定信息和指令，再根据它们的要求形成驱动逆变器工作的 SPWM 信号。微机芯片主要采用 16 位的单片机或 32 位的 DSP，有些变频器采用 RISC。

市场上的 U/f 控制变频器分为两大类：一类是价格比较便宜的普通功能型；另一类则是新一代的高功能型。

(一) 普通功能型的 U/f 控制通用变频器

这类变频器采用近似恒磁通控制方式，是一种频率开环控制系统。定子频率和电压之间的关系曲线的形状（即 U/f 模式）可在控制面板上进行设定或选择。 U/f 模式是普通功能型通用变频器的核心功能，为保证通用变频器的性能，通常还设有瞬停再启动功能、变频器和电网间的自动切换功能、控制信号的设定与调整功能、连锁信号的输入和输出功能、对变频器及电动机的保护功能、对故障信息的存储和显示功能等。

这种控制方式虽属普通功能型，但由于全数字控制方式软件的灵活性，其表现出较优异的功能和性能，有较强的通用性，因此应用广泛。

此类变频器由于是人为选定 U/f 曲线模式，很难根据负载转矩的变化恰当地调整电动机的转矩，负载冲击或启动过快，有时会引起过电流跳闸。由于定子电流不总是与转子电流成正比，根据定子电流调节变频器电压的方法并不反映负载转矩，因此定子电压也不能根据负载转矩的改变而恰当地改变电磁转矩，特别是在低速下定子电压的设定值相对较低，很难准确实行电压补偿。采用 U/f 控制方式无法准确地控制电动机的实际转速，这是因为设定频率值是定子电流的频率，而电动机的转速由转差率（负载）决定，所以 U/f 控制方式的静态稳定性不高。另外，当转速很低时，其转矩不足。这些缺点都是由于变频器没有转矩控制功能引起的。

(二) 新一代高功能型通用变频器

这类变频器是指具有转矩控制功能的（无速度传感器） U/f 控制式通用变频器，如富士公司的 FRENIC5000G7/P7、G9/P9 及三星公司的 SAMCO-L 系列等，它们采用 32 位 DSP 或双 16 位 CPU 进行控制，运算速度大幅度提高，且采用了磁通补偿器、转差补偿器和电流限制控制器，用以实现转矩控制功能。

采用这种控制方式，可使极低速度下的转矩过载能力达到或超过 150%；频率设定范围达到 1:30；电动机的静态机械特性的硬度高于在工频电网上运行的自然

机械特性的硬度，具有“挖土机”特性和“无跳闸”能力。

具有转矩控制功能的高功能型通用变频器如图 2-4-2 所示。其控制电路包括转矩控制和对逆变器进行 PWM 控制两部分，后一部分保证输出波形为正弦，且具有足够的响应速度。

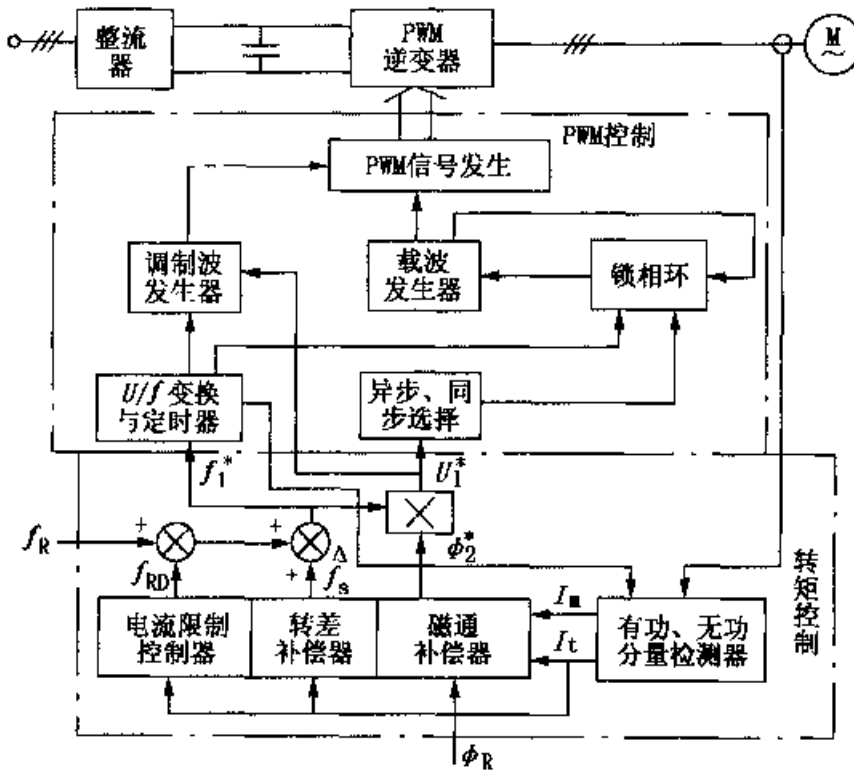


图 2-4-2 具有转矩控制功能的高功能型变频器框图

转矩控制部分包括有功与无功电流检测器、磁通补偿器、转差补偿器和电流限制控制器。后三者的作用是根据定子电流的有功分量 I_t 和无功分量 I_m 来计算变频器的频率参考值和电压参考值（即 f_1^* 和 U_1^* ），以保证转子磁场的恒定，并在负载出现冲击的情况下适当地补偿 ϕ_s^* ，以防止过电流跳闸。这种控制方式除需要定子电流传感器外，不再要任何传感器，其通用性强，适于各种型号的通用异步电动机。

二、转差频率控制

转差频率控制需要检出电动机的转速，构成速度闭环，速度调节器的输出为转差频率，然后以电机速度与转差频率之和作为变频器的给定输出频率。由于是通过控制转差频率来控制转矩和电流，与 U/f 控制相比，其加减速特性和限制过电流的能力得到了提高。另外，它有速度调节器，利用速度反馈进行速度闭环控制，速度的静态差小，适用于自动控制系统。该控制通常用于单机运转。

如果保持电动机的气隙磁通一定，则电动机的转矩及电流由转差角频率决定。

因此如果增加控制电动机转差角频率的功能，那么就可以控制异步电动机产生的转矩。

转差频率是施加于电动机的交流电压频率与电动机速度（电气角频率）的差频率，在电动机轴上安装测速发电机（TG）等速度检测器可以检测出电动机的速度。检测出的转子速度加上转差频率（与产生所要求的转矩相对应）就是逆变器的输出频率。在电动机允许的过载转矩 T_{em} （额定转矩的 150%~200%）以下，大体上可以认为产生的转矩与转差频率成比例，如图 2-4-3 所示。另外，电流随转差频率的增加而单调增加。如果我们给出的转差频率不超过允许过载时的转差频率，那么就可以具有限制电流的功能。

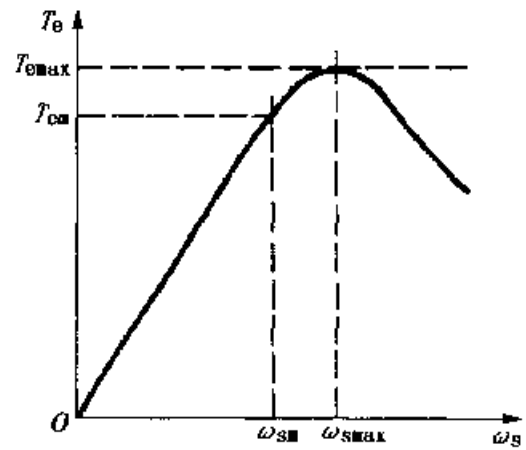


图 2-4-3 按恒 Φ_m 控制的 $T_e - f(\omega_s)$ 特性

一种实现上述转差频率控制的转速闭环变压变频调速系统框图如图 2-4-4 所示。图中，UR 为整流器，CSI 为逆变器，GF 为函数发生器，ASR 为转速调节器，ACR 为电流调节器，GAB 为绝对值变换器，DPI 为极性鉴别器，GVF 为压频变换器，DRC 为环形分配器，AP 为脉冲放大器。

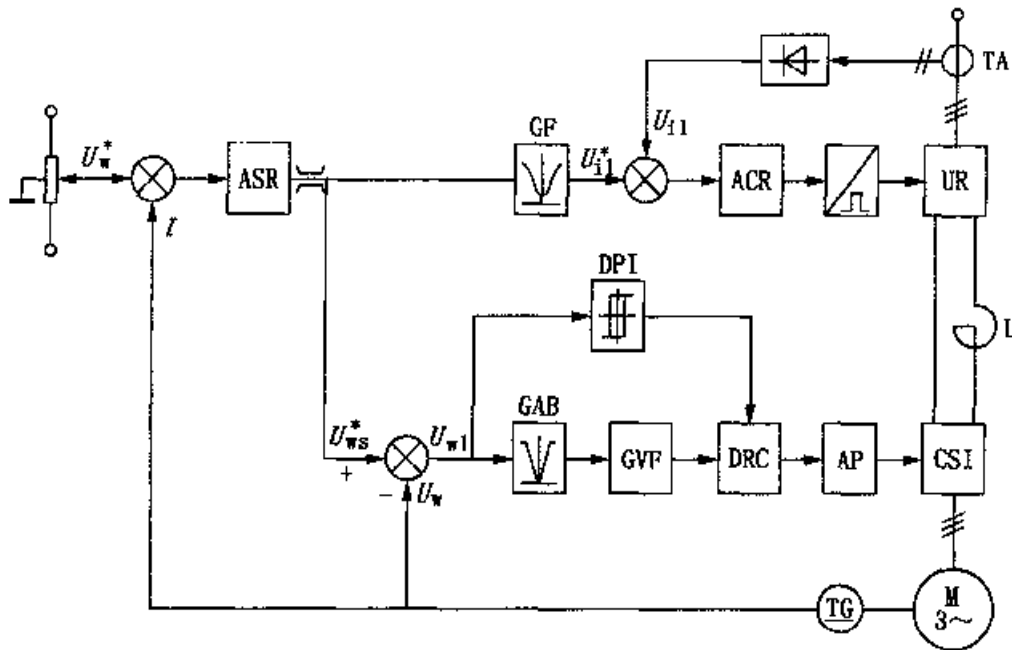


图 2-4-4 转速闭环变压变频调速系统框图

(1) 采用电流源型变频器，使控制对象具有较好的动态响应，且便于回馈制动，实现四象限运行，这是提高系统动态性能的基础。

(2) 与直流电机双闭环调速系统一样，其外环是转速环，内环是电流环。转速

调节器 ASR 的输出是转差频率给定值 U_{ω}^* ，代表转矩给定。

(3) 转差频率信号分两路分别作用在可控整流器 UR 和逆变器 CSI 上，前者通过定子电流 $I_1 = f(\omega_s)$ 函数发生器 GF，按 U_{ω}^* 的大小产生相应的 U_{Ω}^* 信号，再通过电流调节器 ACR 控制定子电流，以保持气隙磁通 Φ_m 为恒值；另一路按 $\omega_s + \omega = \omega_1$ （转差频率 + 转子频率 = 定子频率）的规律产生对应于定子频率 ω_1 的控制电压 U_{ω_1} ，决定逆变器的输出频率。这样就形成了在转速外环内的电流频率协调控制。

(4) 转速给定信号 U_{ω}^* 反向时， U_{ω}^* 、 U_{Ω}^* 、 $U_{\omega_1}^*$ 都反向。用极性鉴别器 DPI 判断 $U_{\omega_1}^*$ 的极性，以决定环形分配器 DRC 的输出相序，而 $U_{\omega_1}^*$ 信号本身则经过绝对值变换器 GAB 决定输出频率的高低，这样就很方便地实现了可逆运行。

转差频率控制系统的突出优点就在于频率控制环节的输入频率信号是由转差信号和实测转速信号相加后得到的，即 $U_{\omega_1} = U_{\omega}^* + U_{\omega}$ 。这样，在转速变化过程中，实际频率 ω_1 随着实际转速 ω 同步上升或下降。与转速开环系统中频率给定信号与电压成正比的情况相比，其加、减速更平滑，且容易稳定。

转速闭环转差频率控制的频率调速系统基本具备了直流电机双闭环控制系统的优点，且结构也不复杂，有广泛的应用价值。其主要缺点如下：

(1) “保持气隙磁通 Φ_m 恒定”只能在电机稳态情况下才能成立，而在动态情况下， Φ_m 肯定不会恒定，这不得不影响系统的实际动态性能；

(2) 电流调节器 ACR 只控制了定子电流的幅值，并没有控制到电流的相位，而在动态时电流相位如果不能及时赶上去，将延缓动态转矩的变化；

(3) 以模拟运算放大器为核心组成的函数发生器 GF 存在一定的误差；

(4) 在频率控制环节中，测速环节、反馈环节如果存在误差和干扰，都会以正反馈形式毫无衰减地传递到频率控制信号上来。

三、矢量控制

采用转速闭环、转差频率控制的变频调速系统，在动态性能上仍赶不上直流双闭环调速系统，这主要是因为直流电机与交流电机有着很大的差异。

(一) 交、直流电机的差异

直流电机的动态数学模型只有一个输入变量（电枢电压）和一个输出变量（转速），在控制对象中含有机电时间常数 T_m 和电枢回路电磁时间常数 T_l 以及晶闸管的滞后时间常数 T_s ，可以描述为单变量的三阶线性系统。异步电机在变频调速时需要进行电压（或电流）和频率的协调控制，有电压（电流）和频率两种独立的输入变量，如果要考虑三相交流电，其实际输入变量还要多。电机只有一个三相电源，磁通的建立和转速的变化是同时进行的，为获得良好的动态性能，还希望对磁通施加某种控制，使它在动态过程中尽量保持恒定，才能产生较大的转矩。在异步电机中，电压（电流）、频率、磁通、转速之间相互都有影响，是强耦合的多变量系统。三相异步电机定子有 3 个绕组，转子也可等效为 3 个绕组，每个绕组产生磁

通时都有自己的电磁惯性，再加上运动系统的机电惯性，因此异步电机是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统。

在研究交流异步电机时，常将其理想化：忽略空间谐波，设三相绕组对称（在空间互差 120° 电角度），所产生的磁动势沿气隙圆周按正弦规律分布；忽略磁路饱和，各绕组的自感和互感都是恒定的；忽略铁心损耗；不考虑频率和温度变化对绕组电阻的影响。无论电机转子是绕线型还是笼型的，都将其等效成绕线转子，并折算到定子侧，折算后的每相绕组匝数都相等，并规定各绕组电压、电流、磁链的正方向符合电动机惯例和右手螺旋定则。而直流电机则比较简单，其主磁通基本上唯一地由励磁电流决定。

(二) 矢量控制系统

以产生同样的旋转磁动势为准则，可将三相坐标系下的交流电机等效为两相旋转坐标系下的直流电机，其坐标变换结构如图 2-4-5 所示。从整体上看，输入为 A、B、C 三相电压，输出为转速 ω ，这是一台异步电机。而从内部看，经过 3/2 相（三相-两相）变换和同步旋转变换，变成一台由 i_{m1} 、 i_{t1} 输入， ω 输出的直流电机。

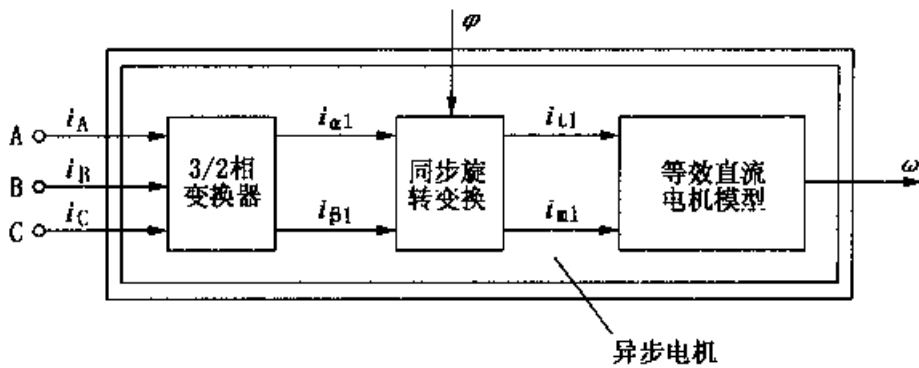


图 2-4-5 异步电机的坐标变换结构图

既然异步电机经过坐标变换可以等效成直流电机，那么模仿直流电机的控制方法，求得直流电机的控制量，经过相应的坐标反变换，就能控制异步电机了。由于进行坐标变换的是电流（代表磁动势）的空间矢量，所以此种控制系统称做矢量变换控制系统或矢量控制系统。

矢量控制系统的结构如图 2-4-6 所示。给定和反馈信号经过类似直流调速系统所用的控制器，产生励磁电流的给定信号 i_{m1}^* 和电枢电流给定信号 i_{t1}^* ，经过反转变换 VR^{-1} 得到 $i_{\alpha 1}^*$ 和 $i_{\beta 1}^*$ ，再经过 2/3 变换得到 i_A^* 、 i_B^* 和 i_C^* 。把这三个电流控制信号和由控制器直接得到的频率控制信号 ω_1 加到带电流控制的变频器上，就可以输出异步电机调速所需的三相变频电流。

(三) 采用 PWM 变频器的矢量控制系统

图 2-4-7 为采用电压型 PWM 变频器所构成的转子磁场定向的矢量控制系统。图中点画线框为矢量变换部分。

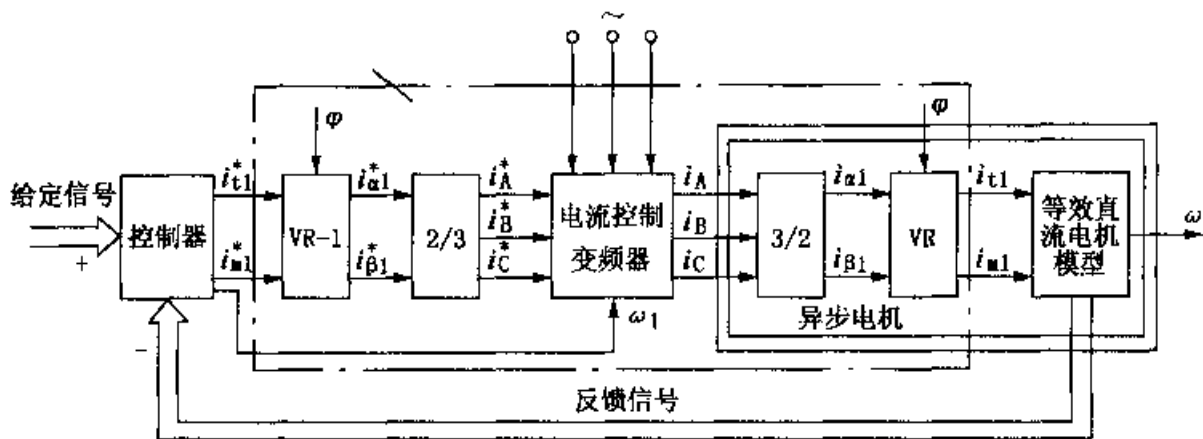


图 2-4-6 矢量控制系统的构想

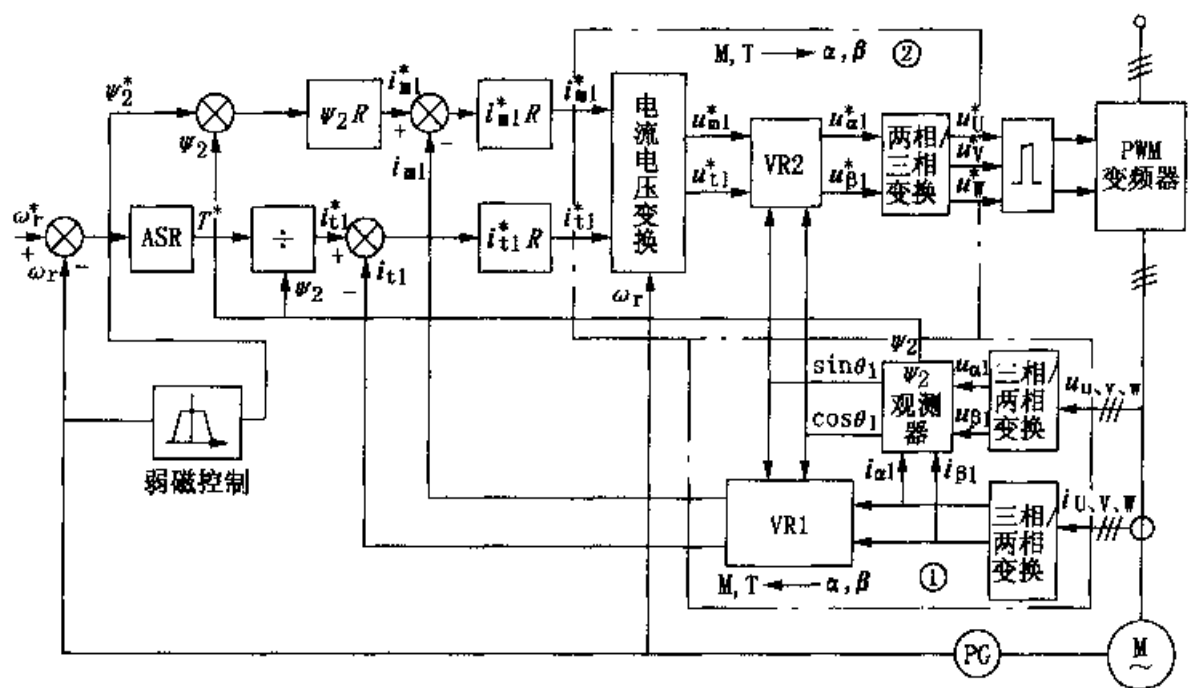


图 2-4-7 矢量控制系统原理框图

①框部分相当于直流电动机模型部分。其中三相交流系统分别用 U 、 V 、 W 表示，三相/两相变换器实现 i_U 、 i_V 、 i_W 到 $i_{\alpha 1}$ 、 $i_{\beta 1}$ 之间的变换，矢量旋转变换器 VR1 实现 $i_{\alpha 1}$ 、 $i_{\beta 1}$ 到 i_{m1} 、 i_{t1} 之间的变换。

②框部分是给定参考值构成部分，为适应电压型 PWM 逆变器的需要，增加了电流/电压变换器。矢量变换器 VR2 实现由 u_{m1}^* 、 u_{t1}^* 到 $u_{\alpha 1}^*$ 、 $u_{\beta 1}^*$ 的变换。两相/三相变换器实现由 $u_{\alpha 1}^*$ 、 $u_{\beta 1}^*$ 到 u_U^* 、 u_V^* 、 u_W^* 之间的变换。 ψ_2 为转子全磁链，为在动态过程中瞬时调节 ψ_2 ，设置了 ψ_2 调节器 $\psi_2 R$ ，其输出作为定子电流励磁分量的给定值 i_{m1}^* 。速度调节器 ASR 的输出是电磁转矩的给定值 T^* ， T^*/ψ_2 则是定子电流转矩分量的给定值 i_{t1}^* 。经过 $i_{m1}^* R$ 和 $i_{t1}^* R$ 调节器后的输出送给电流电压变换器，以

控制 PWM 变频器的电压与频率，实现转子磁场定向的矢量控制。

点画线框以外部分可看成是带有磁通闭环和弱磁控制的直流双环（外环为速度环，内环为电流环）调速系统。

按转子磁场定向的矢量控制系统是高性能交流调速系统，其调节设计方便，动态性能好，调速范围变化采用一般的转速传感器时可达 1 : 100，但其控制性能会受电机参数变化的影响。

四、直接转矩控制

(一) 原理和特点

直接转矩控制系统是高动态性能的交流变频调速系统，图 2-4-8 为按定子磁场控制的直接转矩控制系统的原理框图。与矢量控制系统一样，它也是分别控制异步电机的转速和磁链，而且采用在转速环内设置转矩内环的方法，以抑制磁链变化对转子系统的影响，因此转速与磁链子系统也是近似独立的。

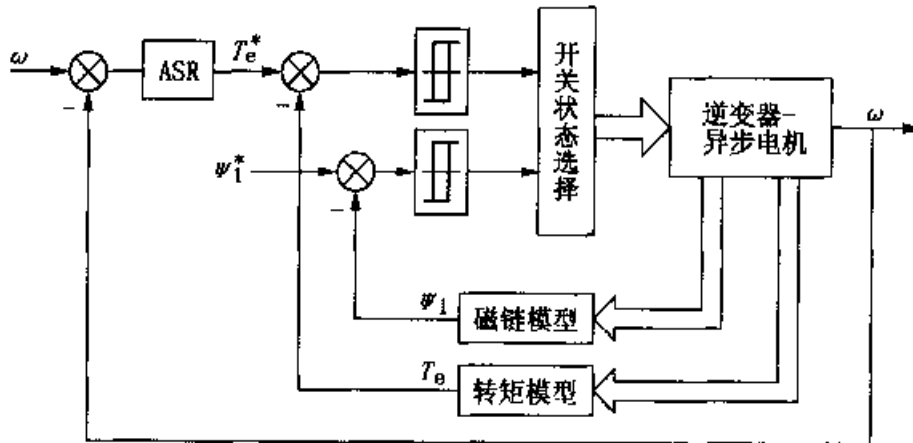


图 2-4-8 按定子磁场控制的直接转矩控制系统

直接转矩控制系统具有以下特点：转矩和磁链都采用直接反馈的双位式砰-砰控制（继电器控制），从而避开了将定子电流分解成转矩和励磁分量，简化了控制器的结构，但缺点是带来了转矩脉动，因而限制了调速范围；选择定子磁链作为被控制的磁链，而不像矢量控制系统那样选择转子磁链，这样可使其控制性能不受转子参数变化的影响；PWM 逆变器采用磁链跟踪控制方式，性能优越。

(二) 直接转矩控制系统与矢量控制系统的比较

直接转矩控制系统与矢量控制系统都采用转矩和磁链分别控制。矢量控制系统强调转矩 T_e 与转子磁链 ψ_2 的解耦，有利于分别设计转速与磁链调节器；实行连续控制，调速范围宽，可达 1 : 100 以上；按 ψ_2 定向时受电机转子参数影响，降低了适应性。直接转矩控制系统则直接进行转矩砰-砰控制，避开了旋转坐标交换；控制定子磁链 ψ_1 ，而不是转子磁链 ψ_2 ，不受转子参数的影响；不可避免地产生转

矩脉动，降低了调速性能，因此只适用于风机、水泵以及牵引传动等对调速范围要求不高的场合。表 2-4-1 列出了两种系统的特点和性能比较。

表 2-4-1 直接转矩控制系统与矢量控制系统的比较

特点与性能	直接转矩控制系统	矢量控制系统
磁链控制	定子磁链	转子磁链
转矩控制	砰-砰控制，脉动	连续控制，平滑
旋转坐标变换	不需要	需要
转子参数变化影响	无	有
调速范围	不够宽	较宽

第五节 高性能通用变频器

目前市场上的变频器可分为两类：适于一般负载的一般通用变频器；适于高精度控制的高性能通用变频器。

高性能变频器具有以下性能：宽的调速范围（1：100 以上）；良好的低频启动特性；额定电压下的全范围恒转矩输出；良好的静态特性和动态特性；完整和快速的故障诊断、保护和报警功能；具有网络通信功能；变频器及其驱动的电动机噪声低。其产品主要有西门子公司的 6SE70 系列、ABB 公司的 ACS600 系列、施耐德公司的 Altivor66 系列、罗克韦尔公司的 A-B1336FORCE 系列等。

一、主要类型

高性能通用变频器主要有三类：有速度传感器的矢量控制变频器；无速度传感器的矢量控制变频器；无速度传感器的直接转矩控制变频器。其中，第一种控制精度高且性能好，但价格昂贵；第二种和第三种的控制精度和性能稍逊一筹，但系统简单，价格便宜。

为满足不同的工程需要，高性能通用变频器在硬件结构上有 3 种类型：独立式变频器、公共直流母线式变频器和带能量回馈单元的变频器。

独立式变频器是将整流单元和逆变单元放置在一个机壳内，是目前应用最多的变频器，一般只驱动一台电动机，用于一般的工业负载。

公共直流母线式变频器是将变频器的整流单元和逆变单元分离开来，分别装置在各自的机壳内；整流单元的功能是将电压和频率不变的交流电转换成电压恒定的直流电，形成公共直流母线；逆变单元挂到公共直流母线上，将电压恒定的直流电转换成电压和频率均可调的交流电，用于驱动电机。这类变频器的最大特点是在一

一个整流单元下可挂多个逆变单元，驱动多台电动机，特别适用于生产线上的辊道传动。

高性能通用变频器驱动电梯、升降机、可逆轧机等负载时，都要求四象限运行，所以必须配置能量回馈单元。能量回馈单元是将电动机制动时产生的能量回馈给电网。能量回馈单元不单独使用，必须接到变频器上才能运行。

6SE70 系列变频器是一种工程型高性能变频器，有 4 种控制模式，如图 2-5-1 所示。

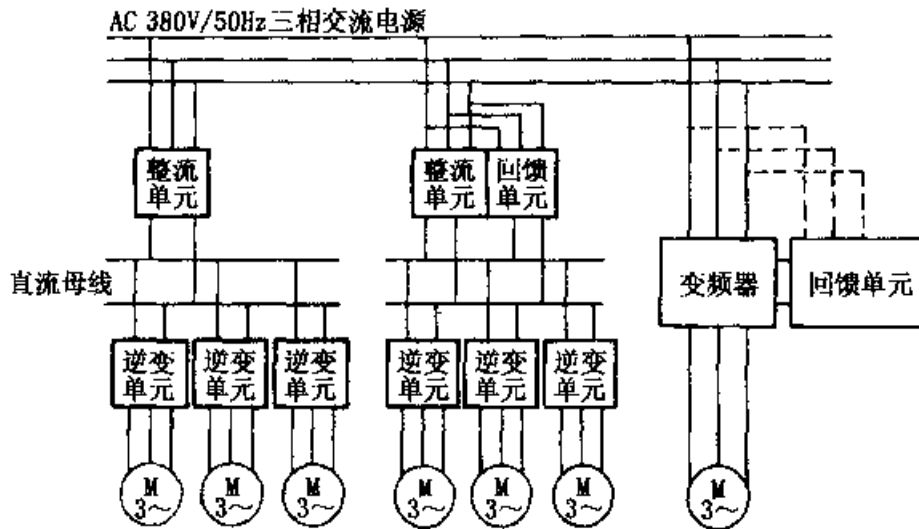


图 2-5-1 6SE70 系列变频器控制模式

(1) 一台独立的变频器，驱动一台电动机，适用于一般工业负载。

(2) 一台独立的变频器，带一个能量回馈单元，驱动一台电动机，适用于电梯、升降机等四象限运行的负载。

(3) 一个整流单元下挂多个逆变单元，驱动多台电动机，适用于生产线等辊道传动的负载。

(4) 一个整流单元带一台能量回馈单元，下挂多个逆变单元驱动多台电动机，适用于四象限运行的负载。

二、有速度传感器的矢量控制变频器

高性能变频器的主要控制方法是矢量控制，它是将用于产生转矩的电流和用于产生磁场的电流进行解耦，然后分别控制。有速度传感器的矢量控制变频器的原理图如图 2-5-2 所示，S1、S2 为软件开关。由 6SE70 系列变频器组成的这种控制模式的主要特点如下。

(1) 调速范围宽，可达到 1:100 以上。

(2) 转速控制精度高，在 $n > 10\%$ 额定转速时为 0.0005%，在 $n < 5\%$ 额定转速时为 0.001%，在弱磁工作区间约为 0.001%。

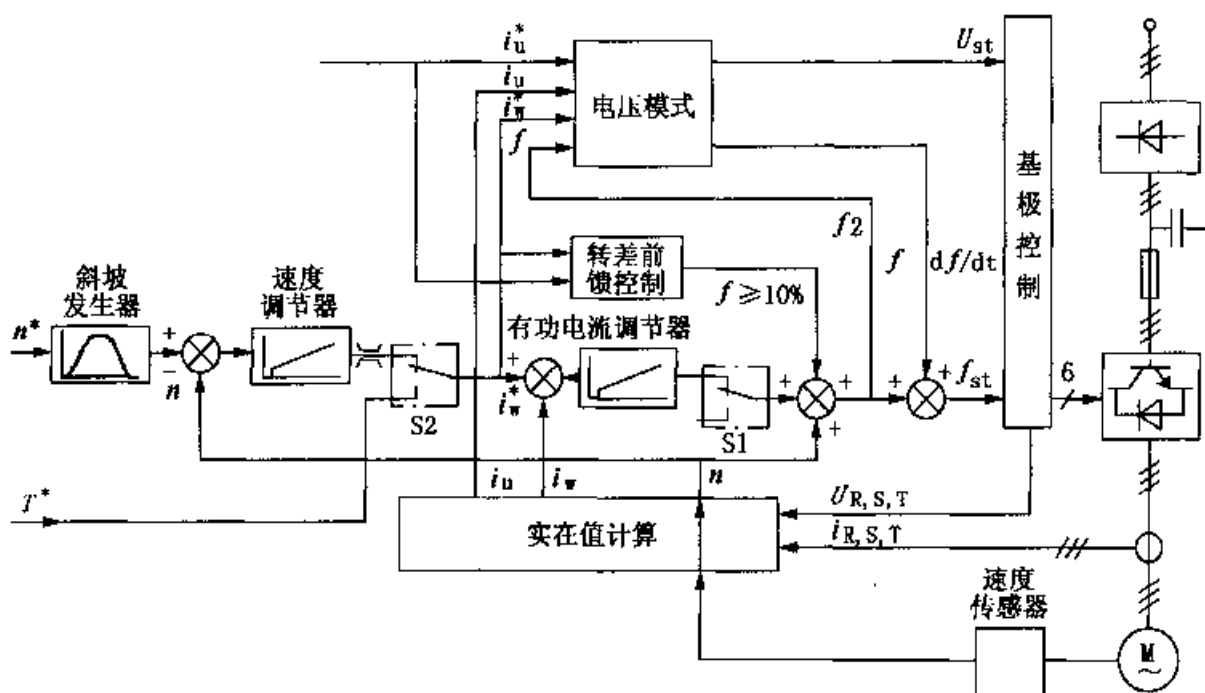


图 2-5-2 有速度传感器的矢量控制原理框图

(3) 在全速度设定范围内，转矩上升时间约为 5ms，转矩波动小于 2% 额定转矩。

(4) 转矩控制精度在恒磁通工作区间小于 2.5%，在弱磁工作区间小于 5%。

以上这些性能指标需要 1024 脉冲/转以上的脉冲编码器。利用有速度传感器的矢量控制变频器驱动电动机时，一般适于单机传动和较低转速时有较高的动态特性和较高的转速控制精度的场合，如轧钢机传动控制、货物运输控制、升降机控制和位置控制等。

三、无速度传感器的矢量控制变频器

无速度传感器的矢量控制变频器的控制模式，是在有速度传感器矢量控制模式基础上，去掉速度检测环节，通过计算来估测电动机速度的反馈值，其原理框图如图 2-5-3 所示。此种控制方式的特点是：在额定频率 10% 的范围内，采用带电流闭环控制的转速开环控制。当工作频率高于 10% 额定频率时，软件开关 S1、S2 置于图中所示的位置，进入矢量控制状态。转速的实际值可利用由微机支持的对异步电动机进行模拟的仿真模型来计算。低速时，频率在 0~10% 额定频率的范围内，开关 S1、S2 切换到与图示相反的位置。在这种情况下，斜坡发生器被切换到直接控制频率的通道，电流的闭环控制（或者说电流的施加）将同时完成。

两种电流的设定值 (I_{ref} 和 I_{Accel}) 可根据需要设定：稳定值必须设定得适合于有效负载转矩；附加设定值只在加、减速过程中有效，可以设定得与加速或制动转矩相适应。由 6SE70 系列变频器组成的这种控制模式的主要特点如下。

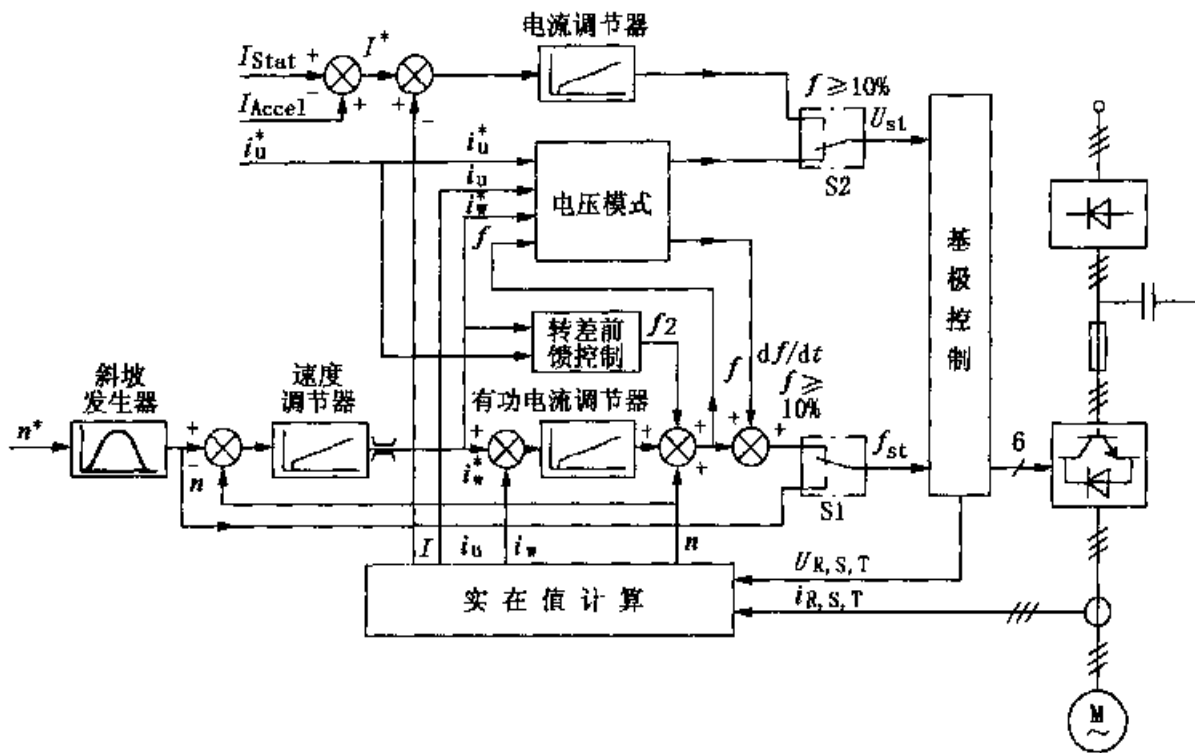


图 2-5-3 无速度传感器的矢量控制原理框图

- (1) 调速范围可达 1 : 10。
- (2) 转速控制精度在 $n > 10\%$ 额定转速时为 $20\% f_s$ ，在 $n < 5\%$ 额定转速时为 f 。（ f_s 为额定转差频率）。
- (3) 转矩控制精度在恒磁通工作区间、 $n > 5\%$ 额定转速时小于 2.5%，在弱磁工作区间小于 5%。
- (4) 在全速度设定范围内的转速上升时间，在 $n > 10\%$ 额定速度时约为 5ms，转矩波动小于 2% 额定转矩。

无速度传感器的矢量控制变频器一般用于单机传动、调速范围要求不高且低速转矩要求不高的场合，如风机、泵类和移动装置。虽然控制精度、系统的动态性能和带速度闭环的矢量控制相比有所下降，但变频器系统简单、操作方便、价格便宜。

四、直接转矩控制变频器

直接转矩控制（DTC）是通过实时检测磁通幅值和转矩值，分别与磁通和转矩给定值比较，由磁通和转矩调节器直接输出所需的电压矢量。图 2-5-4 所示是 ABB 公司 ACS600 系列变频器直接转矩控制系统框图。直接转矩控制系统由速度控制环和转矩控制环组成，其中转矩控制环是该系统中心。转矩控制环由电压和电流检测环节、自适应电动机模型、转矩比较器和磁通比较器、脉冲优化选择器四部分组成。

- (1) 电压和电流检测环节。该环节将变频器两相输出电流检测值和变频器直流

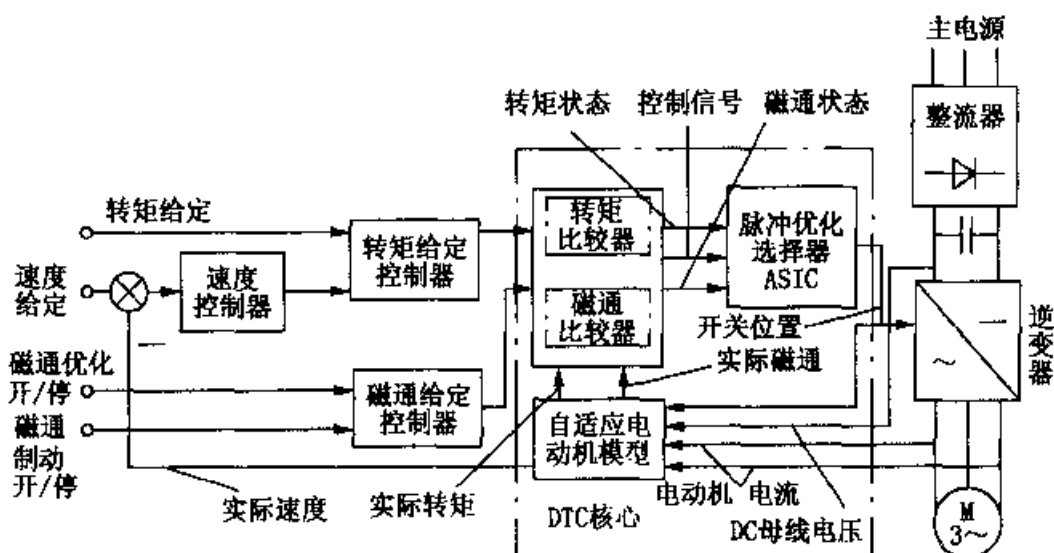


图 2-5-4 ACS600 系列变频器直接转矩控制系统框图

侧电压检测值以及变频器开关位置信号，一并输入到自适应电动机模型单元。

(2) 自适应电动机模型单元。该单元通过检测输入电动机的电压和电流来自动识别电动机的基本参数（定子电阻、定子和转子互感以及磁通饱和系数），然后直接输出电动机的转矩和磁场反馈值。该电动机模型是直接转矩控制的关键单元。对于大多数工业应用场合，如果转速控制精度大于 0.5%，可用转速闭环反馈。

(3) 转矩比较器和磁通比较器。这类比较器的作用是将反馈值分别与其参考值 25ms 比较一次，通过用两点式滞环调节器来输出转矩或磁场的状态。

(4) 脉冲优化选择器。它是具有 ASIC 技术的 40MHz 数字信号处理器 (DSP)，所有控制信号均经过光电传输，这使得该单元具有很高的处理速度，从而使驱动变频器脉冲信号得到优化。

DTC 控制模式的主要特点是如下。

- (1) 调速范围在无速度传感器时为 1:50。
- (2) 速度控制精度在无速度传感器时小于 0.5%，在速度闭环时为 0.001%。
- (3) 在全速度范围内，转矩波动为 2% 额定转矩以下；无速度传感器时转矩上升时间小于 2ms；且在 0.5Hz 以上时，转矩可达到 100% 额定转矩。
- (4) 无预置开关控制模式。

五、使用注意事项

(一) 变频器选型注意事项

高性能变频器的选型主要根据它所驱动的负载类型，在变频器输入电压恒定的情况下，主要考虑变频器的额定输出电流、最大电流和最小电流。

1. 连续工作时的额定电流

不同厂家的变频器，其额定电流的定义也不相同。例如，西门子 6SE70 系列

变频器的额定电流是以 400V 电源电压为基准，按西门子公司 6 极标准电动机的额定电流来定义的。变频器主电路部分一般都通过 $I^2 \cdot t$ 监视器进行过载保护。

当变频器的输出电流等于或小于其定义的额定电流时，变频器可连续工作。如果变频器的输出电流超过其定义的额定电流，运行一定时间后，变频器将达到它的最大允许工作温度，因而不允许再过载或 $I^2 \cdot t$ 监视器将不允许再继续运行下去，因此变频器的连续工作的额定电流必须大于或等于负载电流。高性能变频器为了降低电动机噪声和改善输出波形，一般都将变频器的调制频率设定得很高（6SE70 系列为 0~16kHz），但这样就不可避免地造成了线路损耗过大和线间分布电容的产生，所以当调制频率设定值不同，针对不同容量的变频器选型时，要适当地减载。

2. 变频器的过载能力

6SE70 系列变频器将输出电流定义为额定电流、基本负载电流和过载电流。变频器的基本负载电流定义为额定电流的 0.91 倍。变频器的过载电流是指变频器驱动的电动机在短时工作制时具有的过载电流，当变频器根据负载情况在短时工作且需要过载运行时，必须使变频器的输出电流在过载前为基本负载电流。如果定义变频器的工作周期为 300s，当过载时间小于或等于 60s 时，其过载倍数可达到额定电流的 1.36 倍；当过载时间小于或等于 30s 时，其过载倍数可达到额定电流的 1.6 倍。

3. 单电动机驱动

高性能变频器为使驱动系统获得良好的动态特性和静态特性，一般都采用矢量控制模式。变频器采用矢量控制模式时必须遵循以下原则。

- (1) 一台变频器只允许驱动一台电动机。
- (2) 变频器的额定电流必须大于或等于所驱动电动机的额定电流。
- (3) 电动机额定电流最小应为其所驱动变频器额定电流的 1/8。
- (4) 变频器应用矢量控制模式驱动普通电动机时，要对电动机在冷却状态下进行参数辨识。

4. 多电动机驱动

多电动机驱动有两种工作方式：一台变频器驱动多台电动机；使用一台整流/回馈单元带多台逆变器，每台逆变器各驱动一台电动机，如图 2-5-5 所示。当一台

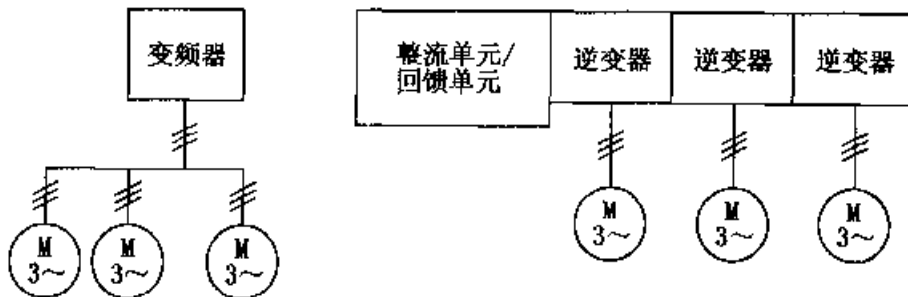


图 2-5-5 多电动机驱动的工作方式

变频器驱动多台电动机时，应选择 U/f 控制模式，并且使变频器额定电流大于或等于所驱动多台电动机额定电流的总和。当采用整流/回馈单元逆变器组合驱动多台电动机时，应注意整流/回馈单元的容量。

(二) 变频器系统组态

高性能变频器进行简单应用时，使用固定设置或简单功能设定即可，但是进行复杂应用时，必须进行系统组态。

1. 控制系统类型的选择

高性能变频器的系统组态是硬件系统选择完成后而进行的软件编程。编程时，首先根据现场的工艺要求，确定控制系统的类型，然后才能进行详细的功能码设定。6SE70 系列变频器根据负载类型的不同，选择组成不同类型的控制系统。 U/f 控制模式系统适于控制精度一般、系统低频特性要求不高的调速场合；矢量控制模式系统适于恒转矩负载，特别是要求低频转矩大的场合。

2. 电动机参数的调整

变频器在出厂时，已对控制系统组态完成，其所使用的电动机参数一般都是该变频器厂家自己生产的 4、6 极标准电动机。而实际上变频器所驱动的电动机不一定是该变频器厂家生产的电动机，有时电动机的极数也有所变化，这在一定程度上降低了高性能变频器的控制精度，所以系统组态时，必须对这部分参数进行调整。

(1) 变频器额定输出电压值应根据电动机连接类型进行设定。

(2) 变频器驱动的电动机一般分为标准电动机和变频专用电动机。变频专用电动机应进行强制通风，电动机铭牌上有两个不同的额定电流值，应选择恒转矩输出的那个电流值。

(3) 一台变频器驱动多台电动机进行成组传动时，变频器额定电流要设定为所有电动机额定电流的总和。

(4) 如果已知电动机额定励磁电流，应将其输入到变频器中。对于 6SE70 系列，当电动机功率大于 800kW 时其计算值偏大，而在小于 800kW 时其计算值偏小。

(5) 对于低频恒转矩电动机，当电动机额定频率低于 8Hz 时，变频器中关于电动机额定频率的值一定要设定为 8Hz，电动机额定电压按 $U/f = \text{const}$ 的比率做相应设定。

3. 组态软件的选择

对 6SE70 系列，简单的组态应用操作单元 OPIS 即可完成，但对于复杂的系统组态，必须应用装有 SIMOVIS 的计算机编程单元。在计算机上，根据工艺要求，组成变频调速系统，完成系统的各项功能设定，最后将组态完成的系统下载到变频器中。

(三) 变频器功能模板

高性能变频器的功能模板一般都很多。6SE70 系列变频器的功能模板按完成功能可分为三类：端子扩展功能模板、通信功能模板和完成复杂控制系统功能的工艺模板。每种功能模板均为通用标准产品，可应用于同系列不同型号的变频器。在电

子箱中，每种功能模板都必须插入相对应的插槽中，不可互换位置。每种功能模板在插入变频器电子箱后，必须经过单独的功能设定后才能使用。但在功能模板设定前，要通过功能码来显示各功能模板的编码，然后根据编码确定功能模板类型，进行相应的功能设定。

第六节 高压变频器

我们习惯所称的高压变频器和高压电机，实际上电压一般为 3~10kV，国内主要为 3kV、6kV 和 10kV。与电网电压相比，它只能算作中压，所以有的国外资料也称之为中压变频器和中压电气设备。

高压变频器的发展和应用离不开高电压、大电流的电力电子器件。与低压变频器中的功率开关器件相比，高压开关器件最重要的特性就是在阻断状态时能承受高电压，同时还要求在导通状态下具有高的电流密度和低的导通压降；在开关状态转换时具有足够短的导通时间和关断时间，并能承受高的 di/dt 和 du/dt 。

目前在高压变频器中得到广泛应用的电力电子器件主要有：GTO、IGBT、IGCT 等。

一、主电路拓扑结构

高压变频器不像低压变频器那样具有相同的拓扑结构，其主电路拓扑结构不尽相同，常见的主电路拓扑结构有高-低-高结构、高-低结构和高-高直接高压结构 3 种。

(一) 高-低-高结构

图 2-6-1 是高-低-高变频器的结构示意图。该结构将输入高压经降压变压器变成 380V 的低电压，然后用普通变频器进行变频，再由升压变压器将电压升到高压。

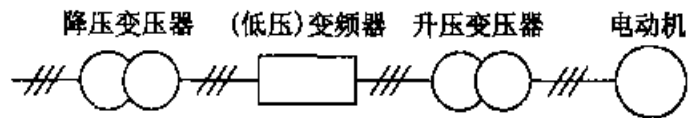


图 2-6-1 高-低-高变频器结构

该类高压变频器利用了现有的低压变频技术来实现高压变频，但用降压和升压两台变压器，降低了节能效率，而且变压器需要相应的启停和保护装置，成本高，设备占地面积大，导致系统的可靠性降低。

(二) 高-低结构

高-低结构高压变频器为单元串联多重化电压源型变频器，如图 2-6-2 所示。它由多个低功率单

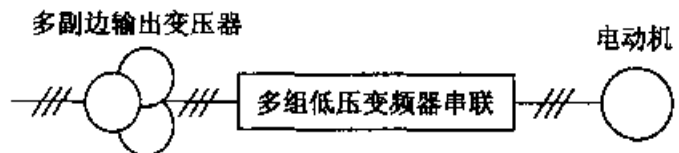


图 2-6-2 高-低结构高(中)压变频器结构

元串联叠加而达到高压输出，各功率单元由一体化的输入隔离变压器的副边分别供电（以低压形式输出），由若干个低压变频功率单元以输出电压串联方式（功率单元为三相输入单相输出）来实现高压输出。

图 2-6-3 是高-低结构高压变频器的电气连接。功率单元单相桥式逆变电路系用

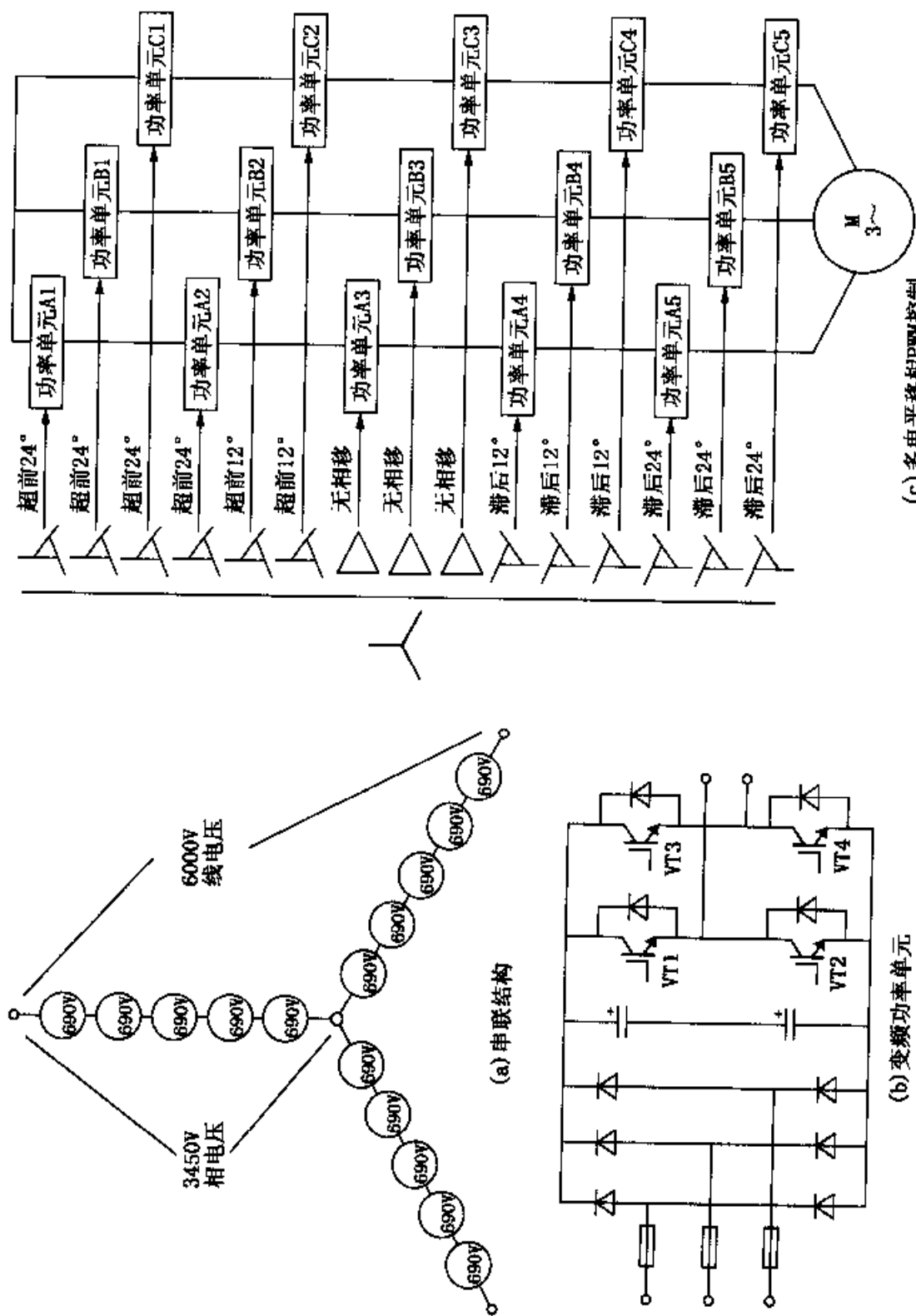


图 2-6-3 高-低结构高压变频器的电气连接

4 种不同的开关模式，可输出 0 和 ± 1 三种电平。每个单元采用多电平移相 PWM 控制，即同一项每个单元的调制信号相同，而载波信号互差一个电角度且正反相对，这样每个单元的输出便是同样形状的 PWM 波，但彼此相差一个角度。每个单元串联功率单元越多，输出越接近正弦波。此类变频器又称为“完美无谐波”变频器，其缺点主要有以下两点。

(1) 所用元器件多，因而出现故障的可能性增多。

(2) 串联元件主要以 IGBT、GTO 和 IGCT 等为主，因而这种类型变频器属于电压型，只能实现能量的单向流动，不能将电能反馈电网。

(三) 高·高直接高压结构

直接高压方式就是直接对高压进行整流后逆变输出，无需降压/升压变压器，可选择有隔离变压器或采用进线电抗器，整流部分可采用 PWM 整流器或移相整流器，如图 2-6-4 所示。常见的高-高直接高压结构有功率器件串联二电平电流型高压变频器、中性点钳位三电平 PWM 高压变频器、多电平高压变频器等。

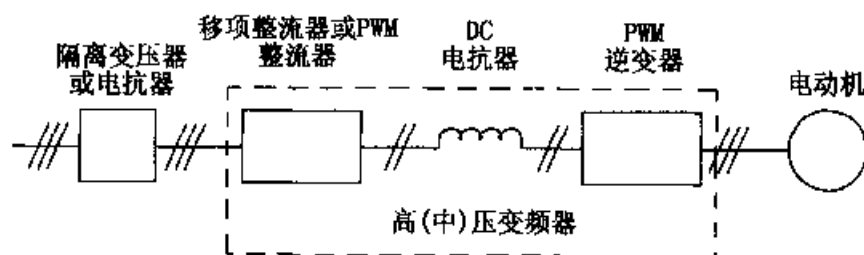


图 2-6-4 高-高直接高压结构

1. 功率器件串联二电平电流型高压变频器

这类变频器多为电流源型变频器，采用大电感作为中间直流滤波环节。整流电路一般采用晶闸管作为功率元件，根据电源电压的不同，每个桥臂需由晶闸管串联，而逆变器则采用晶闸管或 GTO、SGCT 等功率元件串联。图 2-6-5 是此类变频器的结构示意图。

美国 A-B 公司生产的中（高）压变频器 Bulletin1557 系列，其电路结构为交-直-交电流源型，采用功率器件 GTO 串联的两电平逆变器，采用无速度传感器直接矢量控制，电机转矩可快速变化而不影响磁通，综合了脉宽调制和电流源结构优点，其运行效果近似直传动装置。

2. 中性点钳位三电平 PWM 高压变频器

在 PWM 电压型变频器中，当输出电压较高时，为了避免器件串联引起静态和动态均压问题，同时降低输出谐波及 du/dt 的影响，逆变器部分可采用中性点钳位的三电平方式。逆变器的功率器件可采用高压 IGBT 或 IGCT，如图 2-6-6 所示。ABB 公司生产的 ACS1000 系列变频器为采用新型功率器件（集成门极换流晶闸管 IGCT）的三电平变频器，其输出电压等级有 2.2kV、3.3kV 和 4.16kV。

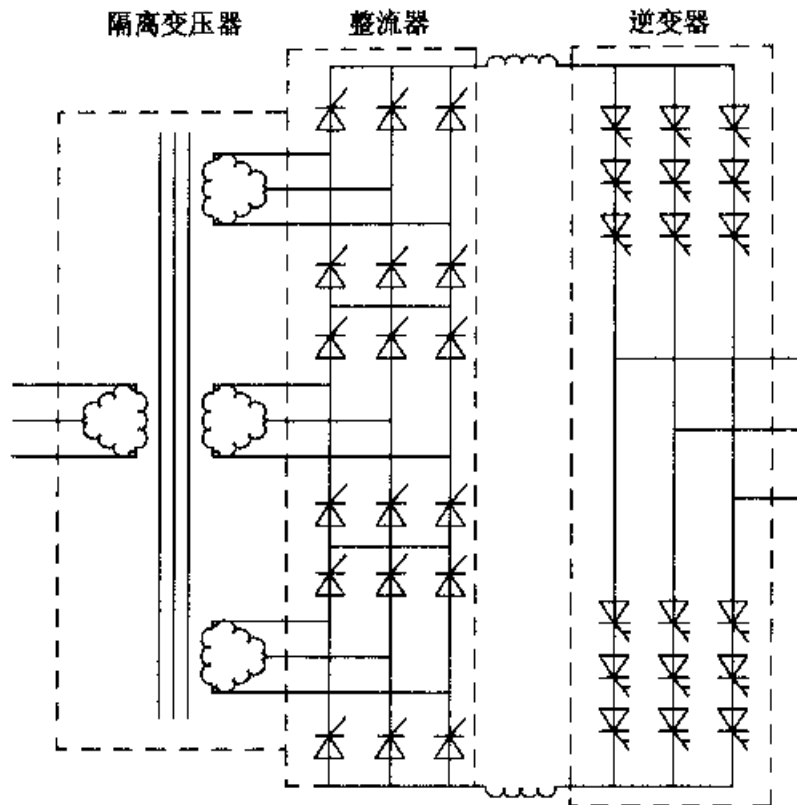


图 2-6-5 功率器件串联二电平电流型高（中）压变频器结构

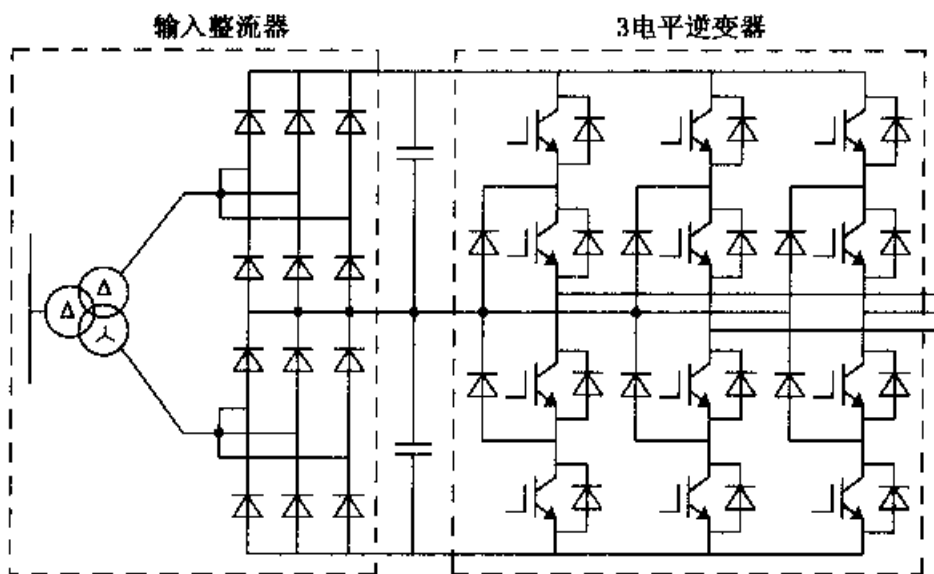


图 2 6 6 中性点钳位二电平 PWM 高压变频器结构

3. 多电平高压变频器

采用多电平结构的高压变频器有法国 AISTOM 公司的 AISPA VDM6000 系列，如图 2-6-7 所示为四电平高压变频器的结构。该系统采用模块结构，有效保证了功率元件的串联连接，它不是元器件的简单地串联，而是结构上的串联，这就保证了电压的安全和自然匹配。其特点是：

(1) 过整体单元装置的串并联拓扑结构以满足不同的电压等级（如 3.3kV、6.6kV 和 10kV）的需要。

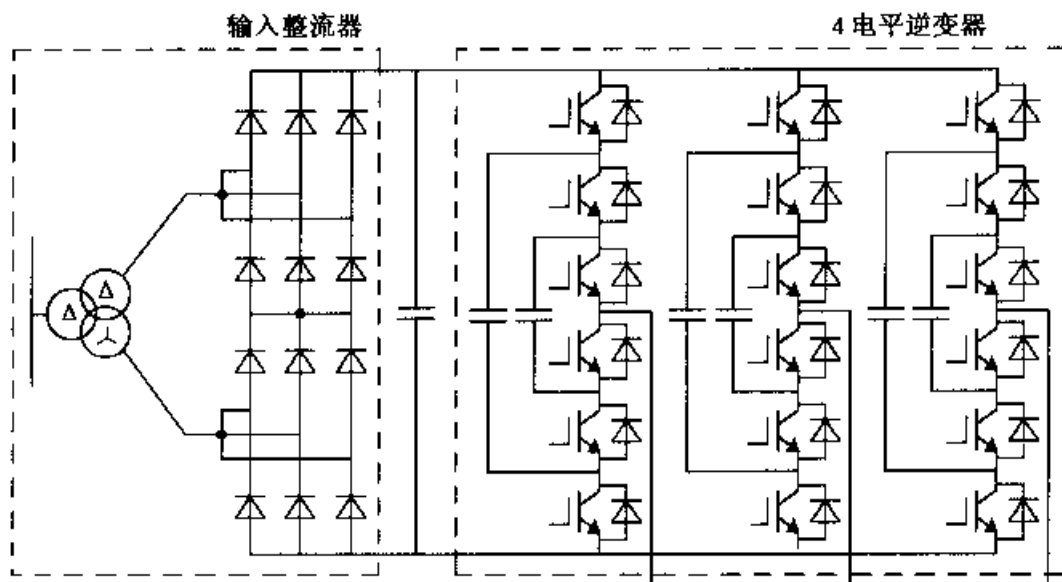


图 2-6-7 四电平高压变频器结构

(2) 系统普遍采用直流母线方案，以实现多台高压变频器之间能量互相交换。

(3) 没有传统结构中各级功率器件上的众多分压分流装置，消除了系统的可靠性低的因素。

(4) 输出波形非常接近正弦波，适用于普通感应电机和同步电机调速，而无需降低容量，没有 du/dt 对电机绝缘等的影响，电机没有额外的温升。

(5) ALSPA VDM6000 系列可根据电网对谐波的不同要求，采用 12 脉冲、18 脉冲的二极管整流或晶闸管整流；将电能反馈回电网时可用晶闸管整流桥；要控制电网的谐波功率因数及实现四象限运行时，可选择有源前端。

二、控制方式

(一) 恒 U/f 控制

在工业传动上，一般应用场合采用变压变频 (VVVF) 即 U/f 恒定的开环控制，这种方法的优点是实现简单，成本相对较低，比较适用于风机、水泵等大容量的拖动性工业负载。主要问题是系统的低速性能较差，不能保持磁通 Ψ_m 恒定，需要电压补偿，同时异步电动机要强迫通风制冷。

(二) 矢量控制

矢量控制可以获得很高的动、静态性能指标，由于异步电动机的参数对其影响比较大，因此此类系统多配备专用电动机，对于诸如大型轧机类对动态性能要求较高的场合，常用到矢量控制双 PWM 结构的三电平电压源型高压变频器。

(三) 直接转矩控制

直接转矩控制系统的转矩响应迅速，限制在一拍以内，且无超调，与矢量控制相比，不受转子参数变化的影响，是一种高静、动态性能的交流调速方法，常用于三电平高压变频装置中。

(四) 无速度传感器矢量控制

此种控制方式又称为直接矢量控制，罗克韦尔公司的 Powerflex7000 型变频器

就采用了这种控制方式。实现无速度传感器控制的关键是如何从容易得到的定子电流、定子电压中计算出与速度有关的量。

矢量控制的核心是控制电机的磁通，因此磁通的观测也是无速度传感器控制的关键之一，为保证控制的精度，在无速度传感器控制中均有参考辨识系统。

三、对电网与电动机的影响

(一) 对电网的影响

由于高压变频器容量一般较大，占整个电网比重较为显著，所以高压变频器对电网的谐波污染已不容忽视。解决谐波污染有两种方法：一是采取谐波滤波器，对高压变频器产生的谐波进行治理，以达到供电部门的要求；二是采用谐波电流较小的变频器，变频器本身基本不对电网造成谐波污染，即采用所谓的“绿色”电力电子产品，从本质上解决谐波污染问题。

一般电流源型变频器用的6脉波晶闸管电流源型整流电路，其总的谐波电流失真约为30%，远高于IEEE519 1992标准所规定的电流失真小于5%的要求，所以必须设置输入谐波滤波器。对12脉波晶闸管整流电路其总谐波电流失真约为10%，仍需安装谐波滤波装置。大多数PWM电压源型变频器都采用二极管整流电路，如果整流电路也采用PWM控制，则可以做到输入电流基本为正弦波，谐波电流很低。单元串联多电平变频器采用多重化结构，输入脉波数很高。总的谐波电流失真可低于10%，不加任何滤波器就可满足电网对谐波失真的要求。

高压变频器的另一项综合性能指标是输入功率因数，普通电流源型变频器的输入功率因数较低，且会随着转速的下降而线性下降，因此需要设置功率因数补偿装置。二极管整流电路在整个运行范围内都有较高的功率因数，一般不必设置功率因数补偿装置。采用全控型电力电子器件构成的PWM型整流电路，其功率因数可调，可以做到接近1。单元串联多电平PWM变频器功率因数较高，实际功率因数在整个调速范围内可达到0.95以上。

从以上两项指标来看，全控型电力电子器件的PWM型整流电路和单元串联多电平PWM（高-低结构）变频器均属“绿色”电力电子产品。

(二) 对电动机的影响

高压变频器输出谐波会在电动机中引起谐波发热（铁心）和转矩脉动，且输出 du/dt 、共模电压与噪声等也会对电动机有负面影响。电流源型变频器由于输出谐波和共模电压较大，电动机需降额使用和加强绝缘，且存在转矩脉动问题，使其应用受到限制。三电平电压源型变频器存在输出谐波和 du/dt 等问题，一般要设置输出滤波器，否则必须使用专用电动机。对风机和水泵等一般不要求四象限运行的设备，单元串联多电平PWM电压源型变频器在输出谐波、 du/dt 等方面有明显的优势，对电动机没有特殊的要求，具有较大的应用前景。

第三章 变频器构成的调速系统

第一节 通用变频器的特点

一、应用特点

变频器和异步电动机相结合，可实现对生产机械的调速传动控制，简称为变频器传动。变频器传动具有固有的优势，应用到不同的生产机械或设备上可体现出不同的功能，达到不同的目的。变频器传动具有的效能，如表 3-1-1 所示。

表 3 1-1 变频器的应用领域

变频器传动的效能	应用领域	主要相关技术	适用变频器
节能	风扇、鼓风机、泵、提升机、挤压机、搅拌机、传送带、工业用洗衣机	为提高运行可靠性，台数控制和调速控制并用	通用变频器
提高生产率	提升机、起重机、机床、食品机械、挤压机和自动仓库中所需的传动	运行程序或加工工艺的最佳速度，原有设备的增速运行运转可靠性提高	通用变频器、专用型通用变频器
提高产品质量	风扇、鼓风机、泵、机床、食品机械、造纸机、薄膜生产线、钢板加工生产线、印制电路板基板钻孔机、高速刻纹机	平滑加减速，加工对象所需最佳速度选定，高精度转矩控制，高精度定位停止，无转矩脉动，高速传动	通用变频器、系统用矢量控制式通用变频器，高速通用变频器
设备合理化，少维护，低成本，机械的标准化、简单化与全自动化（FA化）	搬送机械，金属加工机械、纤维机械，造纸生产线、薄膜生产线、钢板加工生产线	原有设备的增速运行，高精度转矩控制，多台电动机联动运行，多台电动机联动比例运行，提高运转可靠性，传送控制	通用变频器、通用矢量控制变频器、系统用矢量控制变频器
改善或适应环境	空调机、风扇、鼓风机、压缩机、电梯	静音化，平滑加减速，使用防爆电动机、安全性等技术	通用变频器、专用型通用变频器

(一) 节能应用

利用变频器可实现调速节能运行，其中以风机和泵类机械的节能效果最为显著。另外，传送带、搅拌机恒转矩负载的机械，若能在较低速下运行，也可获得一定的节能效果。生产设备的节能可通过削减其输入功率或缩短其运行时间（亦可两者兼用）来实现。以风机、泵类为例，采用变频器调速可减小输入功率，在生产工艺允许的情况下，使其间歇运转以缩短运行时间。某些大容量设备因受电网容量限制，一般不允许频繁启停，若利用变频器实现调频软启动，可以减小启动电流，而频繁启动并不影响电网供电，就可实现间歇运转。

1. 风机的节能

在风扇、鼓风机类的负载中，通常调节风量和压力的方法有两种：控制输出或输入端的风门；控制旋转速度。前者基本上不采用。图 3-1-1 所示为两种控制方式下风机运行的特性。其中 r 表示原有的管道阻抗 R 加上调节风门后新增的节流阻抗，图中的 (p, u) 均表示标么值。

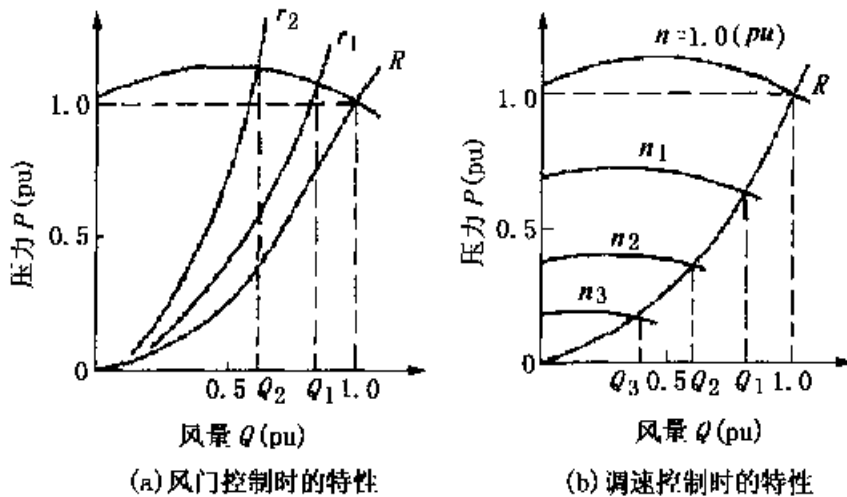


图 3-1-1 调节风机工作点的方法

图 3-1-2 所示为采用不同的调节方法时电动机的输入功率、轴输出功率（即风机轴功率）与风量的关系曲线。曲线 1 为输出端风门控制时电动机的输入功率，曲线 2 为输入端风门控制时电动机的输入功率，曲线 3 为转差功率调速控制时电动机的输入功率，曲线 4 为变频器调速控制时的输入功率。采用不同的调节方法时，电动机的输入功率也不同。

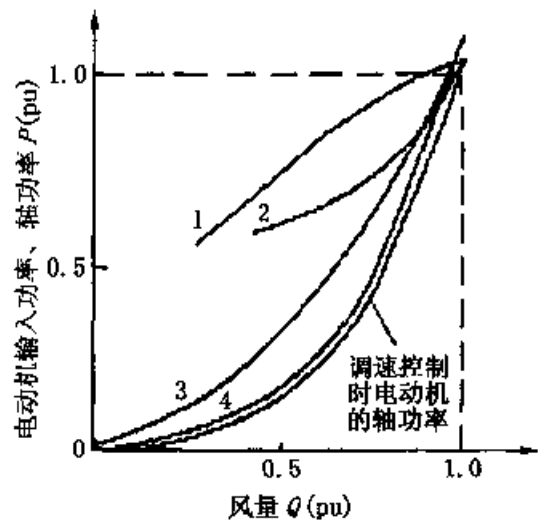


图 3-1-2 风机的输入功率与风量特性

图 3-1-3 所示为输出端风门控制、电磁转差调速电动机控制以及变频器调速控制方

式下将风量调节到 50% 时的节电情况，图中画斜线部分的面积表示节电量，正方形面积表示全风量时的电动机轴功率。在变频调速时，所需电源功率仅为全风量的 12.5%。

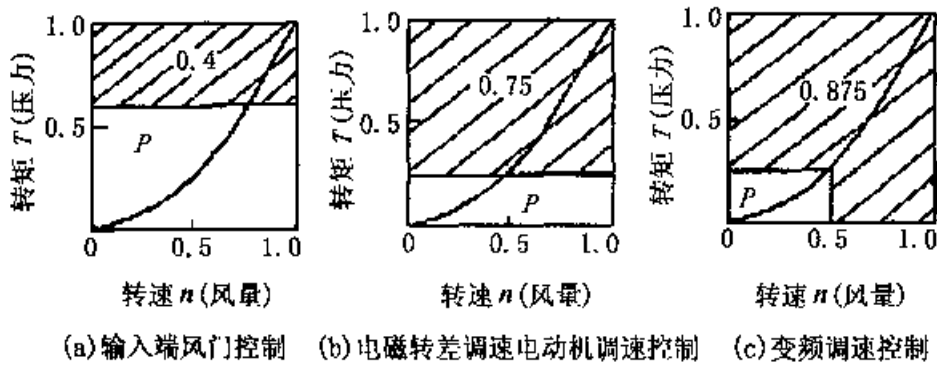


图 3-1-3 风量为 50% 时可节约的电能

2. 泵类的节能

泵类所输送的是液态物质，如水。泵装置中存在一个由吸入侧和排出侧之间液位差所造成的固定的管路阻抗分量，即实际扬程，如图 3-1-4 所示。其管路阻抗曲线不再通过原点，如图 3-1-5 所示。

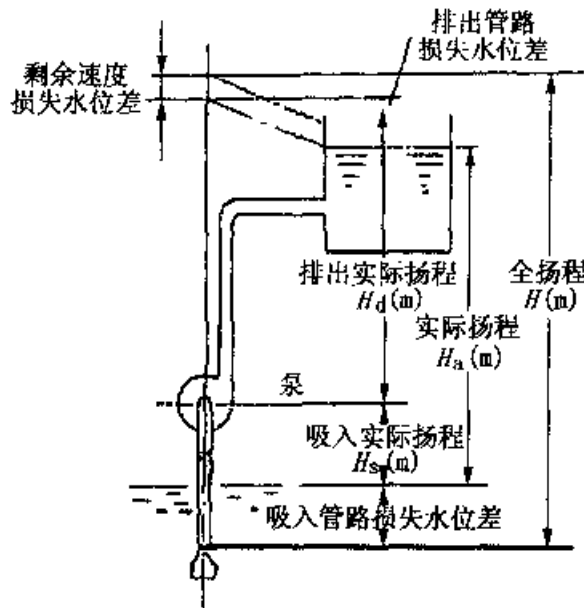


图 3-1-4 泵装置模型

全扬程 H 表示为 $H = H_a + H_L$ ，其中 H_a 为实际扬程(m)， H_L 为损失扬程(m)。

损失扬程中包括吸入管路损失水位差、排出管路损失水位差和剩余速度损失水位差。图 3-1-5 所示为 50% 流量情况下的运行特性。在排出管路阀门控制的情况下工作点为 A，转速控制情况下工作点为 B（采用管端压一定的控制方式）。与全流量（工作点 C）相比，在 50% 流量时，工作点 A 与 B 所需轴功率都减小了，但 T

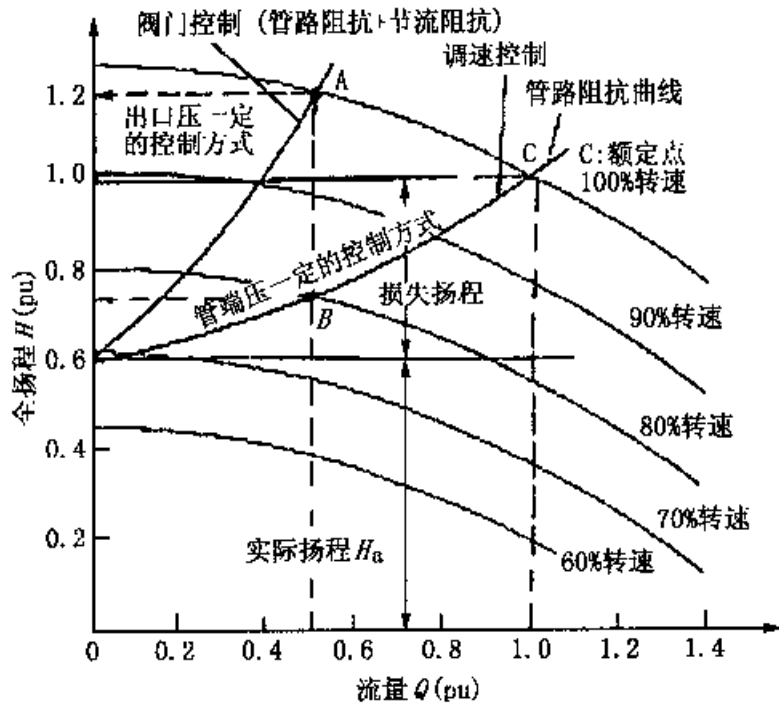


图 3-1-5 水泵的全扬程流量特性

作点 B (调速控制) 所需轴功率更小。可见, 采用调速方式节能效果更大。

图 3-1-6 为采用不同的调节方式时, 电动机输入功率 (即电源提供的功率)、轴输出功率 (泵的轴功率) 与流量之间的函数关系曲线。曲线 1 为排出管路阀门控制时电动机输入功率, 曲线 2 为转差功率调速时电动机的输入功率, 曲线 3 为变频器调速控制时电动机的输入功率。由图可见, 变频调速控制时, 节能效果最好。

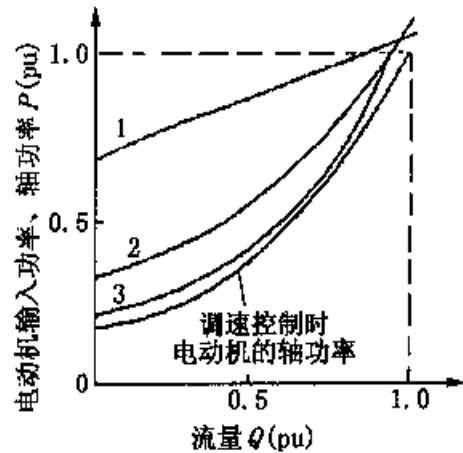


图 3-1-6 泵的输入功率与流量特性

风机、泵类是一种减转矩负载, 随着转速的降低, 负载转矩与转速的平方成正比地减小。对于这种节能调速运行, 通用变频器的 U/f 曲线的图形 (模式) 应采用图 3-1-7 所示的专用模式。这种模式与恒转矩负载所采用的模式有所不同, 这是因为电动机在低速时负载转矩更小, 采用这种模式有利于节能。采用不同 U/f 模式时变频器和电动机总效率的差别如图 3-1-8 所示 (对于风机负载)。

(二) 提高生产率

(1) 保证加工工艺中的最佳转速。恰当地选择食品加工机械、金属加工机械、工业洗衣机等在工艺过程中的转速, 可缩短运行时间、稳定产品质量。

(2) 适应负载不同工作情况的最佳转速。提升机和传送带货物搬运车等运载工具的最佳运行速度的确定, 可采用变频器调速, 采用两段或多段速度运行。高速运行可缩短搬运时间, 低速运行虽慢但有利于精确定位停车。

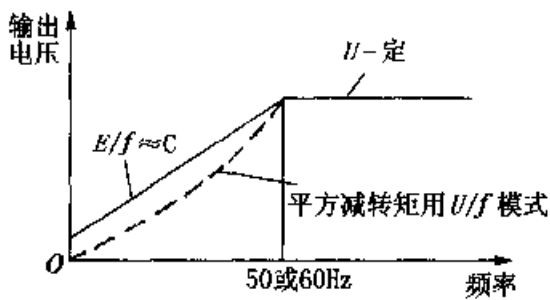


图 3-1-7 风机、泵类节能用 U/f 模式

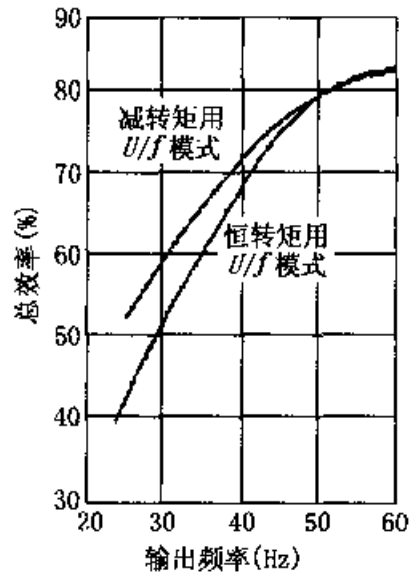


图 3-1-8 U/f 在不同模式时总效率的差别

(3) 原有设备的增速运转。许多原来不调速的机械设备，其机械结构常由主机和转动机构（如皮带传动、齿轮传动）组成，动力机械多数采用异步电机，其最大速度被异步电机的额定转速所限制。大多数工业机械设备不可能总是工作在额定状态下，保持着最大生产能力，因此轻载运行是常见情况。例如，当输送带以恒速电机传动时，电动机容量由搬运材料的最大重量决定，当搬运的材料重量较轻或原设计的电动机容量有余量时，采用变频器传动适当提高转速（超过电网频率），则很容易提高生产率。无论是恒转矩负载、恒功率负载还是风机泵类的负载，当负荷率没有达到 100% 时，均可适当增速。

原来恒速运行的设备，适当增速是可行的，但要考虑增速后机械上的种种问题，如电机轴承等的耐高速程度及其负载能力是否允许。电动机增速后可能出现的问题及解决办法见表 3-1-2，若出现表中后两种现象，表明电机不适应增速。

表 3-1-2 异步电动机增速时的异常原因及解决办法

现象	原因	对策
振动增加	因速度增加，转动部分的不平衡加剧	修正转动部分的不平衡
共振声音异常	运行频率与电动机的结构件及安装部位的固有振动频率相接近	增加安装部位强度
轴承寿命下降，烧坏	轴承受热增加，润滑油流出冷却劣化，振动增加	换轴承，使用耐热润滑油
噪声增加	冷却风扇噪声、轴承噪声增加	改小风扇直径
电动机过热	风阻损耗、机械损耗、铁损耗增加	
冷却风扇等旋转部件损坏	转速增加，离心力增加，共振	

(4) 高精度准确停车。提升机和自动仓库等在生产过程中间歇时间的缩短，对提高生产率起到很大作用。在预定位置的准确停车，对减小间歇时间来说十分必要。水平方向运转的机械采用两段速度运行，即在到达预定停车位置之前以低速爬行一小段时间，再采用直流制动，则可保证精确地停在预定位置上。提升机和自动仓库升降机构的传动位能性负载亦可采用两段速度控制，但是停车时应配以机械制动器，以免重物自由滑落。

(三) 设备的合理化

高性能的调速系统可实现交流化，逐渐取代直流电动机。利用通用变频器的功能，可改造传统恒速运行的异步电动机传动的生产机械，使大部分生产机械的功能得以“升级”。

通用变频器的使用，可以把如传送带、给料机、干燥机风扇泵等多种机械，根据生产工艺的内在联系适当地组合起来、协调运行，以实现自动化控制。图 3-1-9 所示是一种多原料配料输送装置，由几台振动给料机和一条传送带组成。该装置由多台变频器协调传动，各变频器之间的关系由 PLC 来协调，以完成原料配比的自动调整和输送速度与给料量之间的自动协调。这种给料装置是熔炼炉的矿石配料输送系统或家畜饲料生产设备中不可缺少的环节。

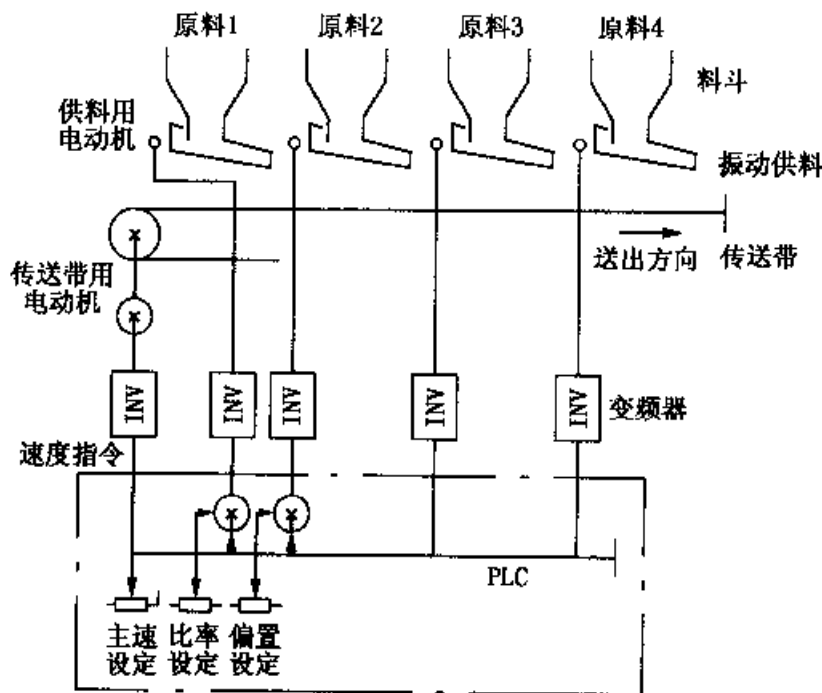


图 3-1-9 多台变频器的协调传动

用一台变频器同时控制多台电动机，是 U/f 控制型通用变频器的特点，如轧钢厂中钢坯或成品的输送车轱道就是用一台变频器传动多台异步电动机。

传统工业洗衣机的洗涤、清洗和脱水等不同工艺环节，由于转速差别较大，同一台洗衣机常需要 2~3 台电动机按时间顺序切换运行。如果改用变频器传动，由

于转速调节范围很宽，只需一台电动机就够了，机械装置相应地得到简化。我国工业电网频率为 50Hz，而日本的电网频率为 60Hz，在电动机的选用和机械装置的设计上都有所区别。如果采用变频传动，在新引进其他国家的某些生产线时，不必改变机械设备的结构和电动机型号，即在不同的电网频率下，也可以实现可靠的调速传动运行。

（四）改善环境

1. 对环境的适应性

某些有爆炸危险性的气体和可燃性溶剂的生产设备，其传动应采用防爆电动机，其他易燃、易爆场合的传动也应如此。在这些场合选用笼型异步电动机制成防爆结构，再配以变频器构成交流变频器调速系统，可宽范围平滑调速且运行可靠。有腐蚀性气体的场合，户外、极度潮湿的场合或潜水电机的调速传动，一般都采用各种特殊型号的笼型异步电动机。

2. 静音化

新一代的通用 PWM 式变频器，其逆变电路的开关器件已由 IGBT（或 MOSFET）取代了老式的 GTR，将载波频率提高到 10~15kHz，极大地降低了噪音，电动机的运行声音已接近于接在工频电网上运行的情况，即变频器传动实现了“静音化”。

在自动化领域中，现场总线控制技术已成为热点之一，而由变频器控制的交流电机是总线控制系统中的一个基本执行单元（节点）。现在的通用变频器中均有 RS-485 或 RS-232 通讯接口，其通讯功能非常强。无论哪种类型的总线结构，变频器与之相配合的异步电机总是这些总线中不可缺少的一部分。

二、技术优势

（一）原有恒速运行的异步电动机的调速控制

应用变频器可方便地改变异步电动机的频率和电压，实现调速运行。对标准型电动机，低速时散热能力变差，这是因为电动机轴上起冷却作用的风扇转速变慢所致，这就需要应用变频器所具有的电子热保护功能，对电动机实行保护。

（二）实现软启动、软停机及频繁启停

笼型异步电动机在工频条件下，启动电流是额定电流的 5~7 倍，电机的容量越大，启动时对电网的影响越大。利用变频器采用变频启动或停车，可以预先设定加、减速时间（0.1~6000s），并可在较小的电流条件下实现软启动，从而减小对电网的影响并降低电动机发热。加、减速时的动态转矩不足，而变频器具有自动转矩提升功能和加、减速过程中的防失速功能。

（三）不用接触器就可实现正、反转控制

在变频器中利用逆变电路中电力电子器件（IGBT）的开关功能，实现电动机正、反转的切换控制是很容易的，避免了使用主电路中接触器进行机械切换的弊

端，且能可靠地实现正、反转之间的连锁。

(四) 可方便地实现电气制动

变频器传动时很容易实现电动机的电气制动。在很多情况下，如水平传送带、风机、起重机和斜面传送带的应用中，为产生静止时的保持转矩，应与机械式制动器配合使用。

电气制动包括动力制动、电源再生制动和直流制动三种制动方式。当变频器的输出频率为零时，电动机就处于直流能耗制动状态。一般情况下，某些机床、大型起重机、高速电梯等为了有效地利用再生电能，常采用电源再生制动方式。小型升降机等则采用电路结构相对简单的动力制动（采用制动电阻）方式。制动频度很低的一类生产机械，当仅要求停车时，也可采用全范围直流制动方式。

(五) 可实现恶劣环境下电动机的调速运行

电磁转差调速电动机和直流电动机一般难以用到环境恶劣的场合。这项功能使得用防爆电动机在技术上的复杂性大大降低。在一般情况下可采用通用笼型异步电动机，特殊情况下可选用防爆型、防水型、户外型等特殊类型电动机。防爆型电动机与变频器配合时，禁止采用非变频器专用的防爆电动机。

(六) 实现高频电动机的高速运行

在超精密加工和高性能机械区域中常用到高速电动机，为满足这些高速电动机驱动的需要，出现了采用 PAM 控制方式的高速电动机驱动用变频器。这类变频器的输出频率可达到 3kHz，驱动两极异步电动机时，电动机的最高速度可以达到 180000r/min。高速电动机由高频变频器驱动的场所，变频器的压频关系应该按高速电动机固有的 U/f 关系来决定。如果将通用异步电动机升速运行，应校核电动机的机械强度。

(七) 单台变频器的多电动机调速运行

变频器的多电动机传动方式是用一台变频器同时为多台电动机供电，多用于轧钢的辊道和纤维机械中的卷筒等的传动。电动机可采用异步电动机，也可采用同步电动机。各台电动机的容量不必相同，但电动机的容量之和不得超过变频器的额定容量。如果采用异步电动机，各电动机的转速可能因为转差率的不同而略有差异；而采用同步电动机时，各电动机的转速则完全相同。多台同步电动机传动方式中，如果在运行中有一台电动机突然接入，则必须考虑新接入的电动机启动时和接近同步时的过大电流对运行中的其他电动机的冲击。

(八) 电网的功率因数可以保持较高的值

变频器中的整流电路采用三相全波整流将交流电变换成直流电，电流的相位基本没有滞后，较之电动机直接接到电网上，电网的功率因数要高得多，基本上接近 1。变频器的电源侧功率因数在低速时有所减小。图 3-1-10 (a) 为采用二极管整流器的 PWM 变频器的功率因数特性。图 3-1-10 (b) 为采用晶闸管整流器的 PWM 变频器的功率因数特性。电动机的输入侧（变频器的输出端）不能接改善功率因数

用的电容器，因为电容器可流入过人的高次谐波电流，并因此而损坏。

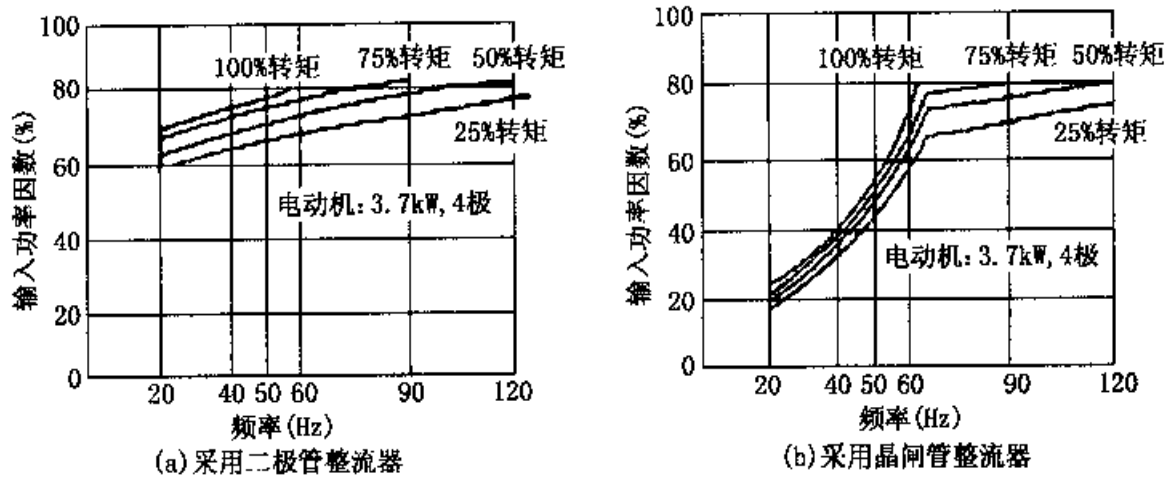


图 3-1-10 PWM 变频器的输入特性

第二节 通用变频器的主要功能

一、系统功能

(一) 全区域自动转矩补偿功能

由于电动机转子绕组中阻抗的作用，当采用 U/f 控制方式时，在电动机的低速区域将出现转矩不足的情况。因此，为了在电动机进行低速运行时对其输出转矩进行补偿，在变频器中采取了在低频区域提高 U/f 值的方法。这种方法称为变频器的转矩补偿功能或转矩增强功能。全区域自动转矩补偿功能指的是变频器在电动机的加速、减速和稳定恒速运行的所有区域中可以根据负载情况自动调节 U/f 值，对电动机的输出转矩进行必要的补偿。

(二) 防失速功能

变频器的防失速功能包括加速过程中的防失速功能、恒速运行过程中的防失速功能和减速过程中的防失速功能三种。

加速过程和恒速运行过程中的防失速功能是：当电动机由于加速过快或负载过大等原因出现过电流现象时，变频器将自动降低输出频率，以避免因电动机过电流而出现保护电路动作和停止工作的情况。

对于电压型变频器来说，由于在电动机的减速过程中回馈能量将使变频器直流中间电路的电压上升，并有可能出现因保护电路动作带来的变频器停止工作的情况，减速过程中防失速功能是：在电压保护电路未动作之前暂时停止降低变频器的输出频率或减少输出频率的降低速率，从而达到防止失速的目的。

对于具有上述防失速功能的变频器来说，即使变频器的加速或减速时间设置过

短，也不会出现过电流、失速或变频器跳闸的现象，所以可以充分保证变频器驱动能力的发挥。

(三) 过转矩限定运行

过转矩限定运行功能的作用是对机械设备进行保护和保证运行的连续性。利用该功能可对电动机的输出转矩极限值进行设定，使得当电动机的输出转矩达到该设定值时，变频器停止工作并给出报警信号。

(四) 无速度传感器简易速度控制功能

无速度传感器简易速度控制功能可提高通用变频器的速度控制精度。当选用该功能时，变频器将通过检测电动机电流而得到负载转矩，并根据负载转矩进行必要的转差补偿，从而提高速度控制精度。利用该功能通常可使速度变动率得到 $1/3 \sim 1/5$ 的改善。在利用该功能时，为了能够正确地进行转差补偿，必须将电动机的空载电流和额定转差等参数事先输入变频器。因此，必须对每一台电动机分别进行设定。

(五) 带励磁释放型制动器电动机的运行

带励磁释放型制动器电动机运行的功能是为了使变频器能够对带励磁释放制动器的电动机进行可靠驱动和调速控制。对于起重机、自动仓库等负载来说，为了防止滑落和进行稳定可靠的停止，需要使用带励磁释放制动器的电动机。为与这种电动机进行有效配合，变频器中采取了在低频区提高输出电压的同时，设定一个防止电动机长时间流过饱和电流区域的措施，以保证在使用这种电动机时制动器能够可靠释放，如图 3-2-1 所示。

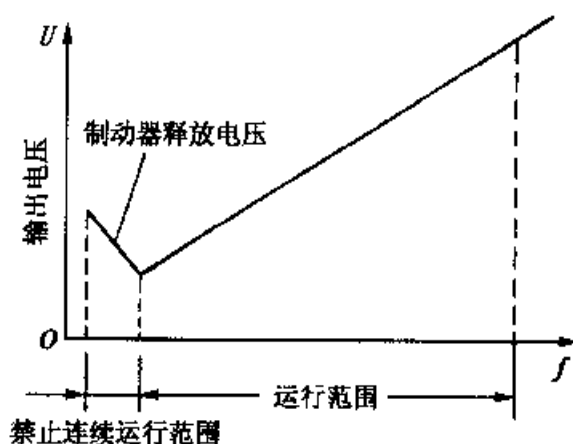


图 3-2-1 带励磁释放型制动器电动机的运行

(六) 减少机械振动、降低冲击动能

减少机械振动、降低冲击的动能主要用于机床、传送带和起重机等，其作用是为了达到减少机械振动、减低冲击、保护机械设备和提高产品质量。这些功能包

括：对 U/f 和转矩补偿值进行调节，选择 S 型加减速模式；选择停止方式，对载频进行调节，对电动机参数设定值进行调节，设定跳跃频率等。表 3-2-1 给出了通用变频器减轻冲击和减少机械振动的方法。

表 3-2-1 通用变频器减轻冲击和机械振动的方法

目的	作用	变频器操作
减轻冲击	降低产生的转矩	对 U/f 进行调节与切换
	增加产生的转矩	调节转矩
	减轻加速时的冲击	选择 S 型加减速模式，并适当设定加速时间
	减轻减速时的冲击	选择 S 型加减速模式，并适当设定减速时间
减少振动	调节输出频率	调节速度上下限和增益
	调节速度控制增益	改变电动机参数设定值
	避免产生共振	合理设置跳跃频率

(七) 运行状态检测显示

运行状态检测显示功能主要用于检测变频器的工作状态，根据工作状态设定机械运行的互锁，对机械进行保护并使操作者及时了解变频器的工作状态，如表 3-2-2 所示。

表 3-2-2 运行状态检测显示

名称	内容
运行中信号	在电机运行时为“闭”状态，可作为与停止状态进行互锁的信号
零速信号	当输出变频器在最低频率以下时可为“闭”状态，可以作为机床的送刀、反转信号
速度一致信号	当频率指令（速度指令）和输出频率一致时为“闭”状态，可以作为切削等用途时的互锁信号
任意速度一致信号	仅在和任意速度的速度一致时才成为“闭合”状态
输出频率检测 1	输出频率高于设定频率时成为“闭合”状态
输出频率检测 2	输出频率低于设定频率时成为“闭合”状态
过转矩信号	当电机产生的转矩超过设定的过转矩检测值时成为“闭合”状态，用于检测机床刀具磨损和过载时主要用于机械保护的互锁信号
低电压信号	当变频器检测出电压过低并切断输出时成为“闭合”状态，当外部采用了停电对策时可作为停电检测继电器使用
基极遮断信号	当变频器的输出被切断时处于“闭合”状态
频率指令急变检测	当检测出频率指令发生设定值 10% 以上的急变时成为“闭合”状态，主要用于检测上位 PLC 异常

(八) 出现异常后的再启动功能

当变频器检测到某些系统异常时将进行自我诊断和再试，并在这些异常消失后自动进行复位操作和启动，重新进入运行状态。具有这项功能的变频器在系统发生某些轻微异常时无需使系统本身停止工作，所以可增加系统可靠性和提高系统运行效率。

由于在进行自我诊断的过程中变频器处于停止输出的状态，在此过程中电动机的转速将会有一定程度的降低。对于这种速度降低，变频器将通过自己的自寻速功能对电动机的实际转速进行检测后输出相应的频率，直至电动机恢复原有的速度。通常用户可根据需要设定 10 以内的再试次数。

(九) 3 线顺序控制

3 线顺序控制功能主要用于构成简单的顺序控制，通过自动复位型按键开关进行“启/停”和“正/反”转操作，如图 3-2-2 所示。

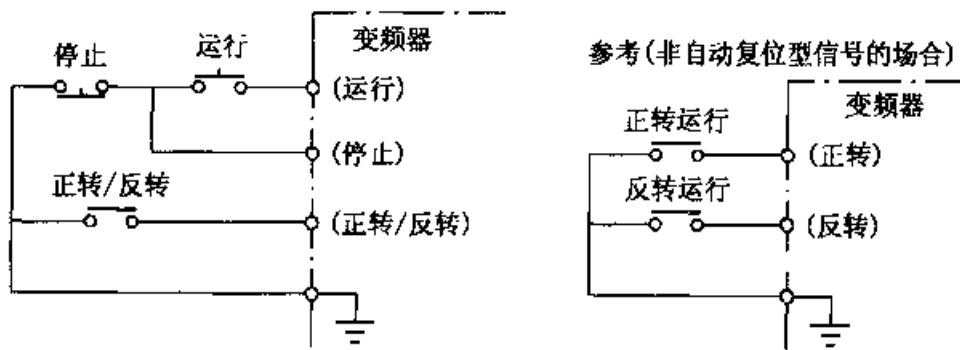


图 3-2-2 3 线顺序控制接线

(十) 通过外部信号对变频器进行“启/停”控制

变频器通常都具有通过外部信号强制性地使变频器停止工作的功能，这类功能包括：通过外部基极遮断信号接点的外部信号强制性地关断变频器逆变电路的基极（门极）信号，使变频器停止工作；当被驱动的机械设备出现异常时，也可利用外部异常停止信号接点的外部信号强制性地使变频器停止工作。

二、频率设定功能

(一) 多级转速设定功能

多级转速设定功能又称多段速度运行设定功能，是为了使电动机能够以预定速度按一定的程序运行。用户可通过对多功能端子的组合选择记忆在内存中的频率指令，如图 3-2-3 所示。与用模拟信号设定输入频率相比，采用此种控制方式可对频率进行精确设定和避免噪音影响。此外，该功能还为与 PLC 进行连接提供了方便的条件，并可通过极限开关（行程开关或限位开关）实现简易位置控制。

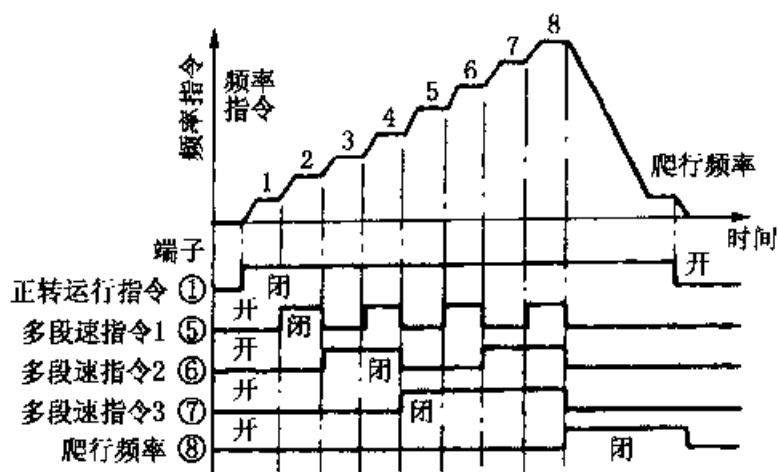


图 3-2-3 频率指令

(二) 频率上下限设定功能

频率上下限设定功能是为了限制电动机的转速，从而达到保护机械设备而设置的。它通过设置频率指令的上下限，相对于输入信号偏置值和信号增益完成，如图 3-2-4 所示。

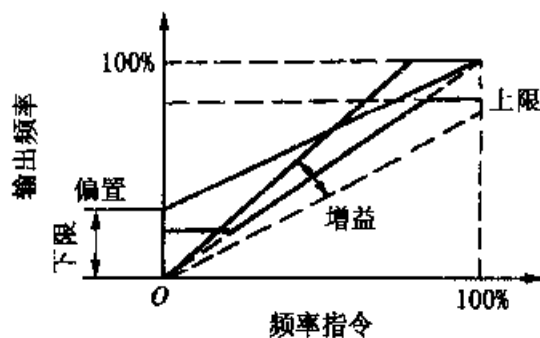


图 3-2-4 频率设定

(三) 禁止特定频率功能

由于在进行调速控制的过程中，机械设备在某些频率上可能因与系统的固有频率形成共振而造成较大振动。应避开这些共振频率，以防止机械系统发生共振。禁止特定频率功能的工作状态如图 3-2-5 所示。

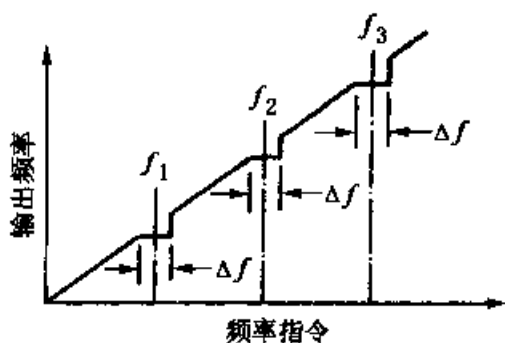


图 3-2-5 避开共振频率

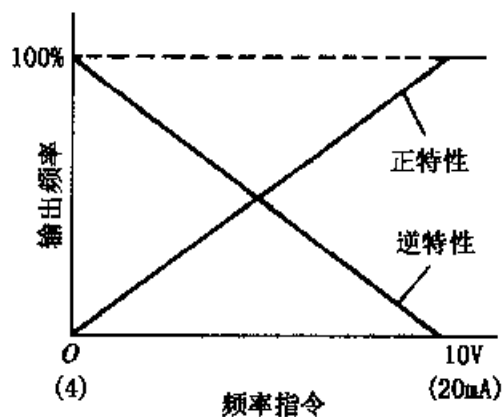


图 3-2-6 输入频率特性反转功能

(四) 指令丢失时的自动运行功能

指令丢失时的自动运行功能是指当模拟频率指令由于系统故障等原因急剧减少时，使变频器按照原设定频率的 80% 继续运行，以保证整个系统正常工作。

(五) 频率指令特性反转功能

为与检测仪器等配合使用，某些变频器中设置了将输入频率特性进行反转的功能，如图 3-2-6 所示。

(六) 禁止加减速功能

为提高变频器的可操作性，在加减速过程中，可通过外部信号使频率的上升/下降在短时间暂时保持不变，如图 3-2-7 所示。

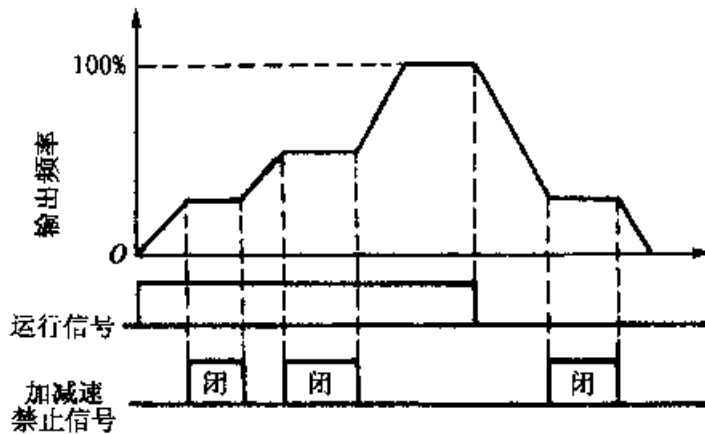


图 3-2-7 频率保持功能

(七) 加减速时间切换功能

加减速时间切换功能是利用外部信号对变频器的加减速时间进行切换，变频器的加减速时间通常可以分别设为两种，并通过外部信号进行选择。该功能主要用于机械设备的紧急停止，用一台变频器控制两台不同用途的电动机，或在调速控制过程中对加减速速率进行切换等用途，如图 3-2-8 所示。

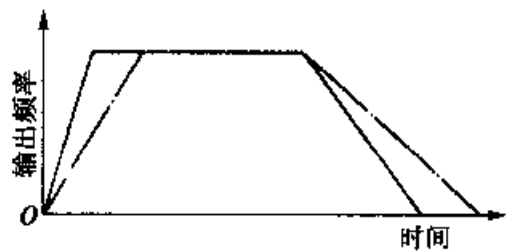


图 3-2-8 加减速时间切换

(八) S型加减速功能

S型加减速功能可使被驱动的机械设备能够进行无冲击的启/停和加/减速运行。选择该功能时，变频器在受到控制指令后，可在加减速的起点和终点使频率输出的变化成为弧形，从而减轻冲击，如图 3-2-9 所示。

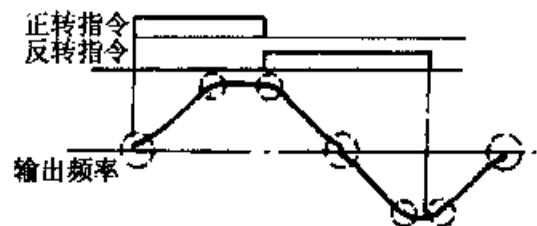


图 3-2-9 S 型加减速功能

三、保护功能

在变频调速系统中，驱动对象往往相当重要，不允许发生故障。随着变频技术的发展，变频器的保护功能也越来越强，以保证系统在遇到意外情况时也不出现破坏性故障。

在变频器的保护功能中，有些功能是通过变频器内部的软件和硬件直接完成的；而另外一些功能则与变频器的外部工作环境有密切关系，需要与外部信号配合完成，或需要用户根据系统要求对其动作条件进行设定。前一类保护主要针对变频器本身，而后一类保护则主要针对变频器所驱动的电动机以及系统等。

(一) 变频器的保护

1. 瞬时过电流保护

当变频器输出端由于对电动机进行直接启动、相间短路或对地短路等原因而出现过大的电流峰值，并有可能超过主电路换流器件的容许值时，变频器将关断主电路换流器件并停止输出。过电流保护的电流峰值通常设为变频器额定电流的200%，当变频器输出电流的瞬时值超过此电流时，保护功能动作。

2. 对地短路保护

当检测出变频器输出电路对地短路，并且该短路电流超过变频器输出的50%时，该保护功能将起作用，停止变频器的输出。对地短路的检测是通过检测变频器输出电流的不平衡成分，并经CPU的计算而完成。

3. 过电压保护

过电压保护就是当直流中间电路的直流电压超过过电压规定值时，停止变频器输出，以避免主电路的换流器件因过电压而烧毁。过电压规定值因厂家的不同而不同，通常200V级的晶体管变频器为400V，而400V级的则为800V。

应该注意的是，对于错误地在输入端施加过高电压的情况，该功能并不能提供保护。

4. 欠电压保护

欠电压保护就是在检测到直流中间电路的直流电压出现规定时间以上的电压过低现象时，使变频器停止工作，以避免变频器出现因控制电路电压不足而造成的误动作。此外，当变频器检测到电压不足并进行了欠电压保护时，变频器的全部保护功能也将自动复位。欠电压的规定值也因厂家的不同而不同，通常220V级的晶体管变频器为220V，而400V级的则为400V。

当电源出现瞬时停电时，直流中间电路的电压也将下降，并可能出现欠电压现象。新型的高性能变频器都具有瞬时停电再启动功能。当停电时间在2s以内时，如果变频器及系统没有出现异常，变频器将自动复位并重新启动，进行正常工作，此时变频器不向集中报警输出端子输出报警信号，因此也不影响系统的正常工作。

5. 变频器过载保护（电子热保护）

当变频器的输出电流处于 110%~115% 额定电流的过载状态时，变频器将启动自己的电子热保护功能，对变频器主电路的换流器件进行保护。变频器的过载保护特性被设定为当变频器的过电流值为 150% 的额定电流并持续 1min 时，保护功能动作。

6. 散热片过热保护

当冷却风扇发生故障或空气过滤器堵塞时，散热片将发生过热现象。此时，装在散热片上的热敏继电器将动作，使变频器停止工作或给出报警信号，以保护变频器。

7. 由保险丝进行过电流保护

在晶闸管变频器中，使用具有快速熔断特性的保险丝对晶闸管进行保护。而对 GTR、IGBT、GTO 等具有自关断功能的换流器件来说，为防止由于换流器件破损而造成更大的损失，也使用保险丝对电路进行保护。当由于滤波电容器、IGBT 电路的短路等原因造成主电路直流部分保险丝熔断时，保护功能起作用。

8. 控制电路异常保护

当变频器在自检过程或工作过程中检测到控制电路异常，或在控制电路内发现信号传输错误以及元器件故障时，保护功能将起作用，并停止变频器的输出，以免造成主电路损坏给整个系统带来更大破坏。控制电路异常主要包括：数字操作盒（液晶面板）连接错误，存储器数据写入异常，数字操作盒通讯异常，由于外部干扰信号等原因造成 CPU 异常等。

（二）电动机的保护

1. 电动机过载保护

该功能的主要作用是通过根据温度模拟而得到的电子热继电器功能为电动机提供过载保护。当电动机电流（变频器输出电流）超过电子热保护功能所设定的保护值时，电子热继电器动作，使变频器停止输出，从而保护电动机。图 3-2-10 给出了电子热继电器的动作特性，对于普通异步电动机来说，均采用在轴上安装风扇的方式进行风冷降温。

当采用变频器驱动时，由于在低速范围内风扇转数降低而使风冷效果变差，电动机允许温升也降低了。普通电动机的电子热保护功能在低频范围，按允许温升范围对保护特性进行了一定的补偿，如图 3-2-11 (a) 所示。而对于变频器专用电动机来说，因为可用 100% 的转矩进行连续

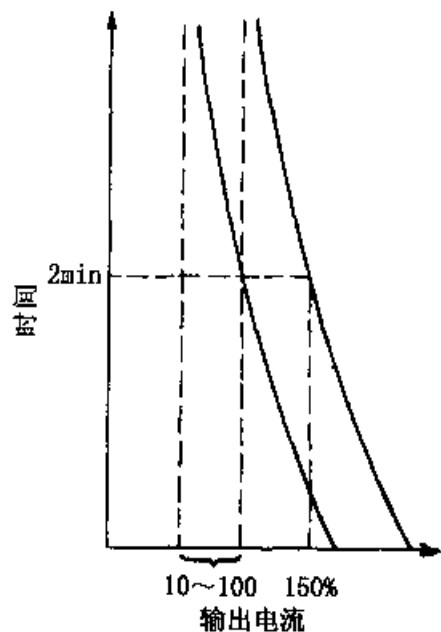


图 3-2-10 电子热继电器动作特性

运行，所以即使在低速区域也可使用恒转矩特性下的电子热继电器动作特性，如图 3-2-11 (b) 所示。用户可根据需要在一定范围内对电子热继电器的动作点和动作特性（热能时间常数）进行调节，以最大限度地发挥电动机的作用并为电动机提供过载保护。这种功能的保护对象主要是三相四极异步电动机，而对其他类型的电动机有时则不能提供保护，因此必须注意电动机的特性。当用同一台变频器同时驱动数台电动机时，则应该另外接入热敏继电器。

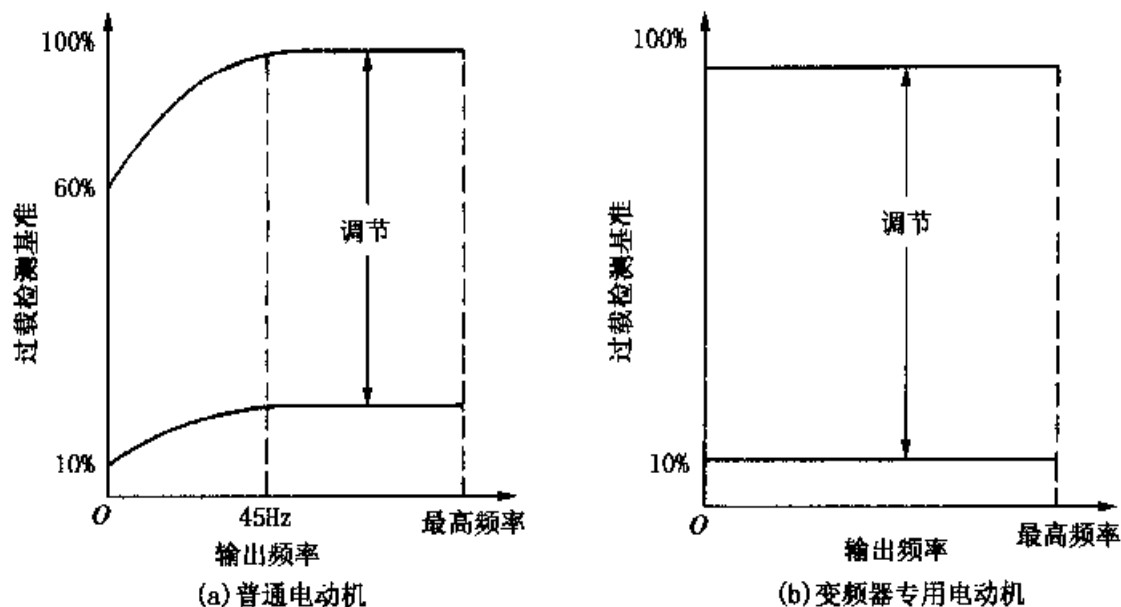


图 3-2-11 电子热继电器动作特性

2. 电动机失速保护

通过光码盘等速度检测装置对电动机的速度进行检测，并在由于负载等原因使电动机发生失速时对电动机进行保护。

3. 光（磁）码盘断线保护

在转差频率控制和矢量控制方式中需要采用光（磁）码盘进行速度检测。当光（磁）码盘出现断线时，变频器的控制电路可根据信号的波形和电流检测出现码盘的故障，从而避免变频器和驱动系统出现故障。

（三）系统保护

1. 过转矩检测功能

该功能是为了被驱动的机械系统进行保护而设置的。当变频器的输出电流达到了事先设定的过转矩检测值时，保护功能动作，变频器停止工作，并给出警报信号。

2. 外部报警输入功能

该功能是为了使变频器能够与各种周边设备配合构成稳定可靠的调速控制系统而设置的。例如，当把制动电阻等周边设备的报警信号接点连在控制电路端子 THR 上时，若这些周边设备发生故障并给出警报信号，则变频器将停止工作，从

而避免更大故障的发生。

3. 变频器过热预报

该功能主要是为了给变频器驱动的空调系统等提供安全保障措施。当变频器周围的温度接近危险温度时发出报警，以便采取相应的保护措施，在利用该功能时，需要在变频器外部安装热敏开关。

4. 制动电路异常保护

该功能的作用是为了给系统提供安全保障措施。当检测到制动电路晶体管出现异常或制动电阻过热时给出报警信号，并使变频器停止工作。

四、与运行方式有关的功能

(一) 直流制动 (DC 制动) 停机

该功能的作用是不用机械制动器实现制动和准确停车。在变频器通过降低输出频率使电动机减速过程中，当频率减小到设定的 DC 制动起始频率时，电动机定子绕组通入直流电流，实现直流制动停机，其中 DC 制动电流 I_{DB} 、DC 制动时间 t_{DB} 、DC 制动起始频率 f_{DB} 都可在控制面板上通过功能码人为设定，图 3-2-12 为直流制动特性。

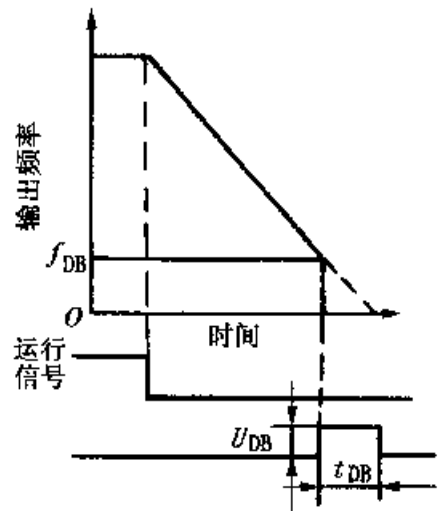


图 3-2-12 直流制动特性

(二) 无制动电阻的直流制动快速停机

该功能的作用是：对于如高速刻纹机一类的高速轻载机械，不用制动电阻和机械闸实现快速停机。通常是通直流电的制动在高速时进行，其制动量（用暂载率 ED 表示）常小于 5%，此时制动力矩可达到 50%~70%。

(三) 运行前的直流制动

对于泵、风机等机械设备来说，由于电动机本身有时能处于在外力的作用下进行自由运行的状态，其旋转方向不定。该功能能使此类电机在启动前通过直流制动使其迅速停转，然后开始正常的调速控制，图 3-2-13 给出了运行前的制动特性。

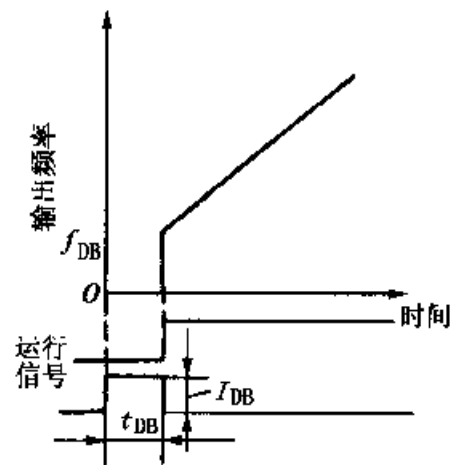


图 3-2-13 运行前的直流制动

(四) 自寻速跟踪功能

此种功能又称滑行再启动功能。对于风机、绕线机等惯性负载来说，当由于某种原因使变频器暂时停止输出时，电动机处于滑行状态，变频器可以在没有速度传感器的情况下，通过检测其残余电动势的频率，

自动寻找电动机的实际转速，使变频器的输出频率自动与之适应，并且自动地按设定的加速时间加速到设定的所需转速，而无需等到电动机停止后再进行驱动。自寻速跟踪功能使得瞬时停电再启动、故障后再启动的功能得到保证。

(五) 瞬时停电后自动再启动功能

该功能的作用是在发生瞬时停电时，使变频器仍能根据原定工作条件自动进入运行状态，从而避免进行复位、再启动等烦琐操作，保证整个系统的连续运行。该功能的具体实现是在发生瞬时停电时利用变频器的自寻速跟踪功能，使电动机自动返回预先设定的速度。一般通用变频器，当电源瞬时停电 $\leq 2s$ 时，可保证不出现停机而连续运行。

(六) 电网电源/变频器切换运行功能

在用变频器进行调速控制时，变频器内部总会有一些功率损失，所以在需要以电网电源频率进行较长时间的恒速驱动时，有必要将电动机由变频器驱动改为电网电源直接驱动，从而达到节能目的。与此相反，当需要对电动机进行调速驱动时，又需要将电动机由电网电源直接驱动改为变频器驱动。变频器的电网电源/变频器切换运行功能就可满足上述目的。在需要将电动机由电网电源直接驱动改为变频器驱动时，用到变频器的自寻速跟踪功能，以避免电流的冲击。

(七) 节能运行

该功能主要用于冲压机械和精密机床，其目的是为了节能和降低振动。在利用该功能时，变频器在电动机的加速过程中将以最大输出功率运行，而在电动机进行恒速运行的过程中，则自动将功率降至设定值。图 3-2-14 给出了节能运行时的输出电压特性。

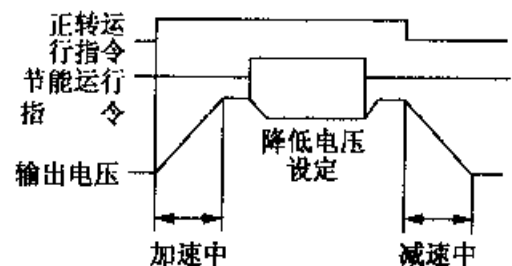


图 3-2-14 节能运行时的电压特性

(八) 多 U/f 选择功能

该功能的作用是用一台变频器分别驱动几台特性各异的电动机，或用变频器驱动变极电动机以得到较宽的调速范围。该功能可根据电动机的不同特性设定不同的 U/f 值，然后通过功能输入端子进行选择驱动。

五、与状态监测有关的功能

(一) 显示负载速度

变频器的 LCD 显示窗（数字操作盒）除了可显示变频器的输出频率外，还可显示电动机的转速（ r/min ）、负载机械的转速（ r/min ）、线速度（ m/min ）和流量（ m^3/min ）等。

(二) 脉冲监测功能

变频器可与数字计数器配合，准确地显示出变频器的输出频率。可能的显示方

式为 1、6、10、12、36 倍的输出频率（由用户设定）。

（三）频率/电流计的刻度校正

该功能的作用是，当需要对接在模拟量监测端子上的输出频率计和输出电流计进行刻度校正时，可以不专门接入刻度校正用电阻，而是通过调节输出增益来达到进行刻度校正的目的。

（四）LCD 显示窗（数字操作盒）的监测功能

通过 LCD 显示窗不但可以监测变频器的输出频率和电流，还可以检测输出电压、直流电压、输出功率、输入输出端子的开闭状态、电动机电流以及故障内容等，也可检测机械设备的运行状态。即使在断电情况下，LCD 显示窗仍可通过记忆功能保持已发生的异常内容和顺序。

六、其他功能

（一）载波频率设定功能

该功能的作用主要是为了通过适当地调节逆变器 PWM 的载波频率，以降低电动机和机械装置的运行噪声，避免共振现象。如图 3-2-15 所示，载波频率和运行频率的关系可以通过调整最低频率和增益来实现。

（二）高载波频率运行

变频器中主开关器件采用 IGBT 及其他高频率开关器件时，可提高载波频率，实现静音控制。图 3-2-16 所示为变频器中采用功率晶体管与采用 IGBT 作为开关器件产生噪声的比较。

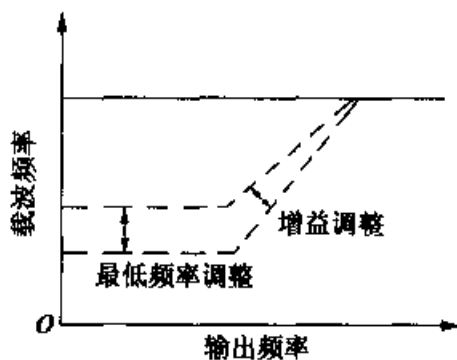


图 3-2-15 载波频率与运行频率的调整

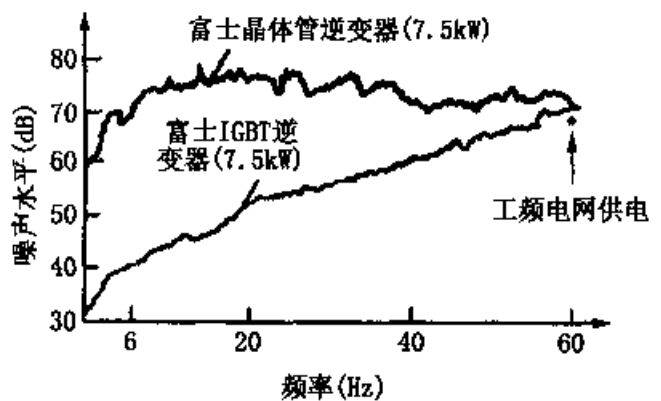


图 3-2-16 高载波频率运行

（三）平滑运行

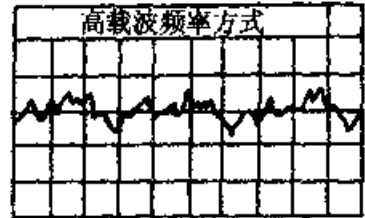
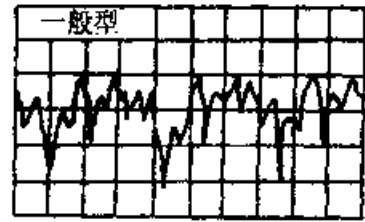
在新型变频器中，通过提高载频等方法使变频器的输出电流更趋近正弦波，尤其在低速状态下，使电动机的转矩脉动减轻，达到平滑运行的目的。图 3-2-17 所示为在不同载波频率下，电动机旋转平稳性比较。

(四) 全封闭结构

为使变频器能够在恶劣的环境下使用,某些变频器采用了将散热片移至变频器箱体之外安装的全封闭结构,以保证变频器内部不受外部环境的影响。

七、多控制方式

通用变频器产品有多控制方式的趋势,如安川公司的 VS-616G5 系列就有 4 种控制方式可供选用:无 PG (速度传感器) U/f 控制方式;有 PG U/f 控制方式;无 PG 矢量控制方式;有 PG 矢量控制方式。4 种控制方式的性能与应用见表 3-2-3。



转速平稳性的比较 (1.5Hz 运行
4.5r·min⁻¹/div)

图 3-2-17 平稳运转

表 3-2-3 4 种控制方式的性能与应用

控制方式	无 PG U/f 控制	有 PG U/f 控制	无 PG 矢量控制	有 PG 矢量控制
基本控制	电压/频率控制	带速度补偿电压/频率控制	无 PG 电流矢量控制	有 PG 电流矢量控制
速度检测器	不要	要 (编码器)	不要	要 (编码器)
速度检测用可选件	不要	PG-A2 或 PG-D2	不要	PG-B2 或 PG-X2
速度控制范围	1:40	1:40	1:100	1:1000
启动转矩	150%/3Hz	150%/3Hz	150%/1Hz	150%/0Hz
速度控制精度 (%)	±2~±3	±3	±20	±2
转矩限制	不可	不可	可能	可能
转矩控制	不可	不可	不可	可能
应用举例	多电动机传动,不能自学习的场合	简单速度反馈控制,机械附有 PG 场合	变速传动	简易伺服驱动,高精度速度控制,转矩控制

这种多控制方式通用变频器的性能,可满足多数工业传动装置的需要。变频器出厂时,厂家将其控制方式设定在无 PG 矢量控制方式下,用户可根据自己的需要改变这种设置。

第三节 生产机械的驱动

一、机械负载与电动机转矩

变频器传动系统就是可调速交流电流电动机驱动系统，常由变频器、异步电动机和生产机械构成一个整体。就电动机和生产机械之间的关系看，多数情况下是通过一种机械传动装置互相连接起来，这就构成了由电动机和生产机械及传动装置所组成的统一的旋转运动系统。其运行规律可以用运动方程式来描述：

$$T_M - T_L = \frac{GD^2 dn}{375dt}$$

式中， T_M 为电动机产生的转矩 ($N \cdot m$)； T_L 为机械负载转矩 ($N \cdot m$)； GD^2 为折合到电动机轴上的总飞轮惯量 ($N \cdot m^2$)； n 为电动机轴转速 (r/min)； t 为时间 (s)；375 为具有加速度量纲的系数。

电动机的转矩 T_M 由电动机的类型及其控制方式决定，而生产机械的负载转矩 T_L 则是由生产机械的负载特性决定。两者是相互独立的，如果人为地控制 T_M ，使之与 T_L 之间存在某种关系，就可以控制旋转系统的运转状态。例如，当 $T_M > T_L$ 时，系统处于加速状态；当 $T_M < T_L$ 时，系统处于减速状态；而 $T_M = T_L$ 时，系统处于稳速状态（或静止状态）。

以异步电动机驱动风机、泵类生产机械为例，电动机负担着由生产机械的转矩特性所决定的负载转矩和电动机转子、联轴及制动轮等旋转部件在加（减）速过程中所需要的加（减）速转矩。以加速为例，电动机的转矩包括两部分：电动机的转矩 = 负载转矩 + 加速转矩。

在加速转矩基本恒定时，其加速运行的情况如图 3-3-1 所示。为使负载从速度

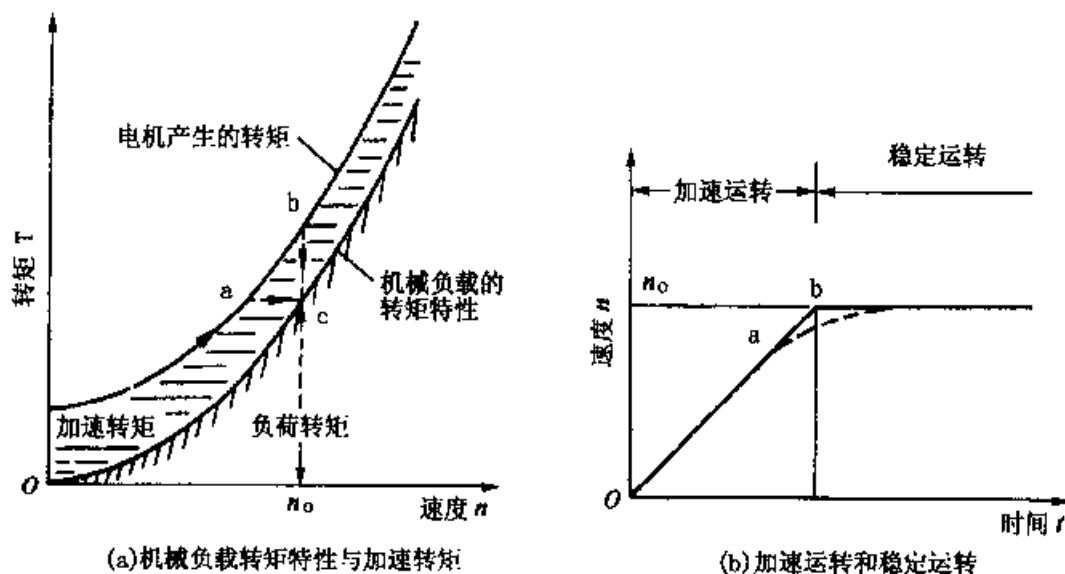


图 3-3-1 驱动负载所需产生的转矩

$n=0$ 加速到速度 $n=n_0$ ，必须控制电动机的转矩，使之大于负载转矩。若保持加速转矩恒定，则速度随时间按直线规律上升，如图 (b) 中实线，加速过程结束时，电动机的转矩在图 (a) 中由 b 点变到 c 点。若使电机转矩从图 (a) 中的 a 点变化到 c 点，则电动机转速随时间的变化规律，如图 (b) 中的虚线所示。

二、转速-转矩特性

正确地把握变频器驱动的机械负载对象的转速-转矩特性，是选择电动机及变频器容量、决定其控制方式的基础。机械负载包罗万象，但归纳其转速-转矩的特性，主要有以下三大类：恒转矩负载、平方降转矩负载、恒功率负载。

(一) 恒转矩负载

对于传送带、搅拌机、挤压成形机等摩擦负载及吊车或升降机等重力负载，无论其速度变化与否，负载所需要的转矩大体上是一个定值。此类负载为恒转矩负载，其特性如图 3-3-2 (a) 所示。例如，吊车所吊起的重物，其重量在地球引力作用下产生的重力是永远不变的。所以，无论升降速度大小，在近似匀速运行条件下，即为恒转矩负载。由于功率与转矩、转速两者之积成正比，所以生产机械所需的功率与转矩、转速成正比。电动机的功率应与最高转速下的负载功率相适应。

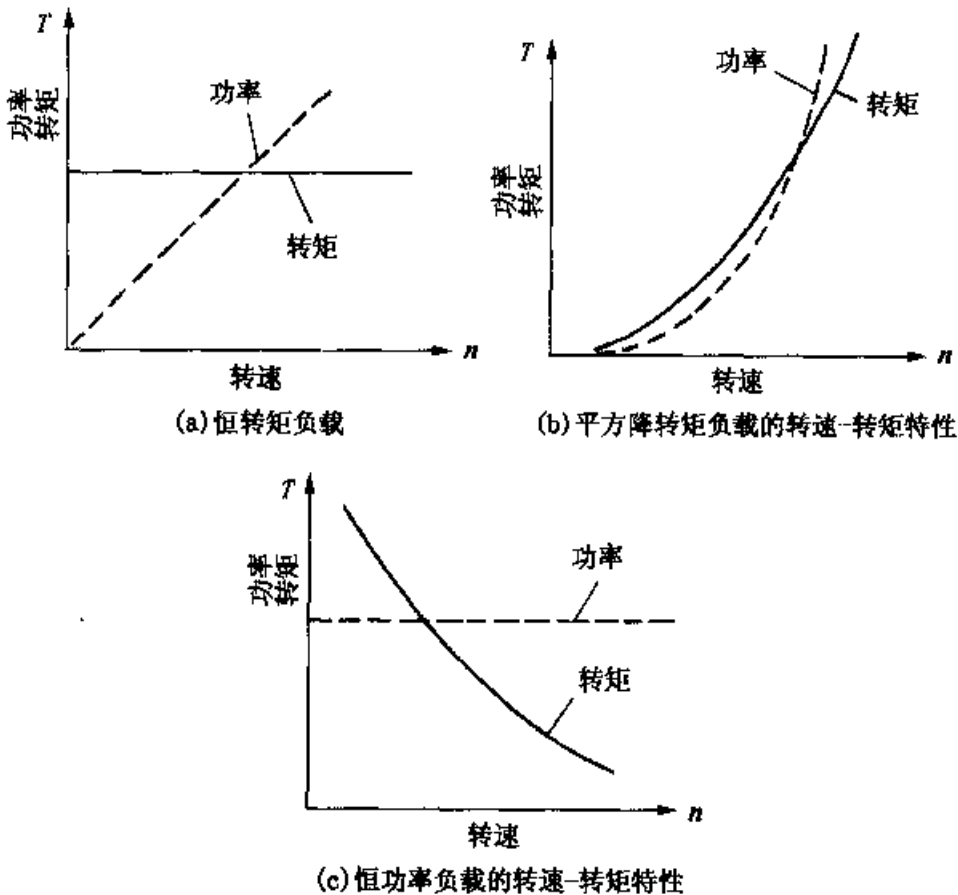


图 3-3-2 平方降转矩负载的转速-转矩特性

(二) 平方降转矩负载

风扇、风机、泵等流体机械，在低速时由于流体的流速低，所以负载只需很小的转矩。随着电动机转速的增加流速加快，所需的转矩大小以转速平方的比例增减，这样的负载特性称为平方降转矩负载，其特性如图 3-3-2 (b) 所示。在这种场合，因为负载所消耗的能量正比于转速的三次方，所以通过变频器控制流体机械的转速可以得到显著的节能效果。

(三) 恒功率负载

机床的主轴驱动、造纸机及塑料胶片生产机械的中央传动部分、卷扬机等输出功率为恒值，与转速无关，这样的负载特性称为恒功率负载，如图 3-3-2 (c) 所示。例如，卷纸机要求以一定的速度和相同的张力卷取纸张。在卷取初期，由于纸卷的直径较小，所以为保持恒定的线速度，纸卷必须以较高转速旋转，而且转矩可以较小。但随着纸卷直径的逐渐变大，纸卷的转速也应随之变低，而转矩必须相应增大。

(四) 电动机的转矩特性

在采用变频器驱动的电动机调速控制系统中，电动机的输出特性取决于变频器的输出特性。其中，变频器输出的 U/f 值决定电动机的连续额定输出，而变频器的最大输出电流将决定电动机瞬间最大输出。图 3-3-3 给出了普通电动机在 U/f 控制方式变频器驱动下的输出特性。当电动机在 50Hz 以上运行时，属恒功率调速运行，其转矩与转速成反比。当变频器的输出频率为 $f_1 \sim 50\text{Hz}$ 时，可按原来的恒转矩特性考虑，但由于转速的降低会导致电机冷却能力的下降，所以可允许连续运转转矩也将下降；当输出频率为 $6\text{Hz} \sim f_1$ 时，电动机冷却能力下降，且电动机定子线圈阻抗压降的相对影响增大，使连续运转转矩大幅度下降。此时，运转频率越低、变频器输出电压越低，电动机内部压降的影响就越大，使转矩急剧减小。

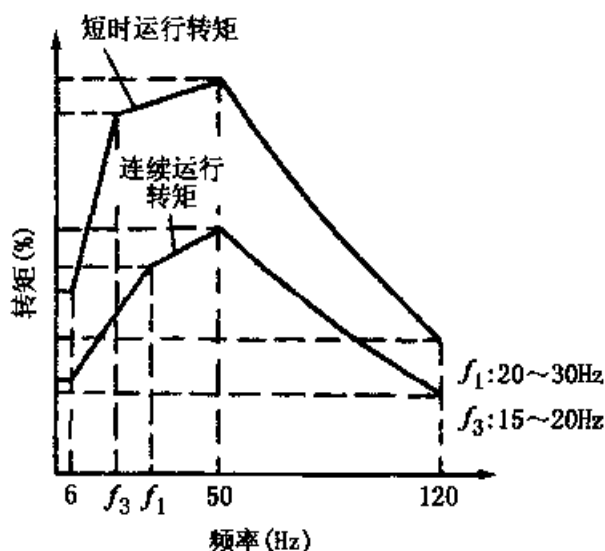


图 3-3-3 通用标准电动机的输出转矩特性

三、变频器驱动不同负载

(一) 驱动恒转矩负载

采用变频器和普通异步电动机驱动恒转矩负载，如传送带、升降机等，由于高次谐波的原因，电机的温升增大。由于低速时风扇的冷却效果变差，在选择电机

时，根据变频器的不同，转矩要作相应的折扣，因此电动机的容量要适当增大。由于是恒转矩负载，即使转速变化，电动机的电流也基本不变，若电动机构造为全封闭外扇型，则低速运转时电机的冷却能力下降，会发生过热现象。为此，要考虑为恒转矩负载选用变频器专用电机、加装专用冷却风扇或增大一档电机容量以降低负载率。若增大了电动机的容量，空载电流或启动电流及波动电流也随之增加，有时也要同时增大变频器的容量。

变频器驱动恒转矩负载时，低速下的转矩要足够大，并且有足够的转矩过载能力，对于 U/f 控制方式的变频器而言，应有低速下的转矩提升功能。

(二) 驱动平方降转矩负载

对于平方降转矩负载来说，随着转速的降低，所需转矩以平方的比例下降，所以低频时的负载电流很小，即使选用普通异步电动机也不会过热，因此一般的风机、水力机械很适合由 U/f 控制的变频器进行驱动。一般 U/f 控制变频器都预先设置了平方降转矩负载用的 U/f 特性。由于机械种类不同，飞轮转矩 GD^2 有很大差别。当电动机以超过基频转速以上的速度运转时，所需功率随转速增长过快，与转速 n^3 成正比，所以通常不应使此类负载超工频运行。

(三) 驱动恒功率负载

卷扬机、机床主轴等恒功率负载，通常在基频 50Hz 以下恒转矩调速，而在基频以上属弱磁调速，即恒功率调速。如果驱动系统的恒转矩和恒功率调速范围与负载的恒转矩和恒功率范围相一致时（即匹配），不仅运行良好而且所需驱动系统的容量最小。如图 3-3-4 所示，驱动恒功率负载时，一般将转速 0~1.0 (Pu 标准值) 之间作为恒转矩区域，1.0 (Pu) 的转速称为基频转速。以基频转速的 m ($m > 1$) 倍转速进行恒功率运转，称为 1:m 的恒功率运转。图 (a) 为 1:2 的恒功率控制时的特性，例如采用矢量控制，当转差频率 f_s 一定时，在恒功率区域对电动机电压（变频器输出电压）与转速（变频器输出频率）的比以 \sqrt{m} 的比例进行控制，可推算出转矩与 $(E/f)^2$ 成正比，因此在转速 2.0 (Pu) 点上，转矩 $T_L \propto (E/f)^2 = (1/\sqrt{m})^2 = 1/m = 1/2$ ，即转矩为基频转速时的 1/2。

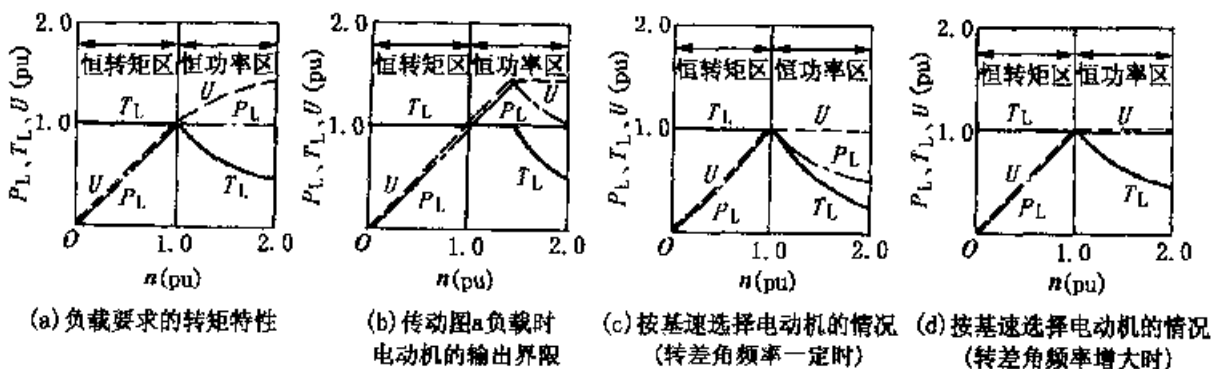


图 3-3-4 恒功率负载的传动方式

图 (a) 中忽略了定子漏阻抗压降的影响, 认为电动机端电压近似等于感应电动势, 即 $U=E$, 并且略去低速所需的电压补偿。例如, 变频器电源电压为 380V, 转速为 2.0 (pu) 时, 电动机电压为 380V; 而在基频转速即 $n=1.0$ (pu) 时, 电动机电压为上述电压的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍, 约 266V。此时, 与所选变频器相匹配的电动机输出能力的界限则如图 (b) 所示。若将恒转矩控制的范围延伸到 n (pu) = 1.4 处, 相应的电动机的输出功率也为负载所需功率的 1.4 倍, 即 $\sqrt{2}$ 倍。这时, $P_M = P_L \times \sqrt{m}$, 其中 P_M 为电动机额定功率; P_L 为负载功率; m 为恒功率调速范围的转速比。

图 (c) 是以基频转速点为变频器最大输出电压, 恒功率区域电压固定的输出特性, 在最高转速 $n=2$ (Pu) 时的 E/f 值是基频转速以下 E/f 恒值时的 1/2, 转矩是恒转矩时的 1/4, 功率是恒功率时的 1/2。以上是保持转矩差频率 f_s 为一定的情况, 实际 U/f 控制的变频器会使 f_s 增大, 输出的是如图 (d) 的恒功率特性。

对于一般的普通异步电动机来说, 由于结构的限制, 只能实现 1:2、最大 1:3 的恒功率运转。当采用矢量控制的变频器对其驱动时, 恒功率范围可达到 1:12 以上。

(四) 驱动四象限运行的负载

以起重机、电梯、吊车等为代表的机械设备, 要求在四象限运转。例如, 吊车将重物提升与放下时需要克服地球的引力 (重力), 重物与电机运转的关系如图 3-3-5 所示。当电动机的能量输出为正时, 电动机将电能转换为势能; 反之, 输出为负时, 重物受地球引力的作用, 势能反馈回电机或由抱闸吸收。所以驱动四象限的负载时, 必须考虑到电动机和变频器不仅能进行电动驱动, 而且也能进行回馈制

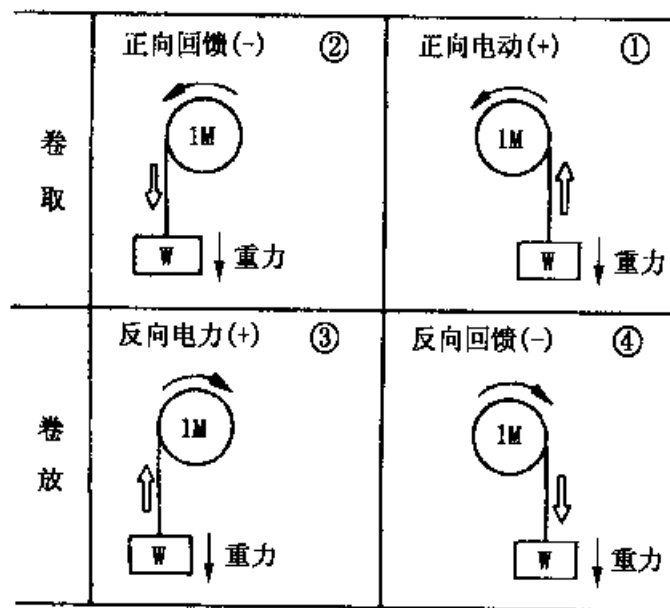


图 3-3-5 四象限运转特性

动。在回馈制动频繁的场所，需特别注意制动电阻容量的选定，同时，确定抱闸动作的时序、电机能否产生足够的制动转矩和考虑驱动系统的运转顺序也非常重要。

(五) 驱动脉动转矩负载

往复式压缩机中利用曲轴将电机的旋转运动转换成往返运动，转矩随着曲轴的角度而变动。在这种情况下，电动机的电流随着负载的变动而产生大的脉动，若脉动电流的尖峰达到了使变频器防失速功能动作的程度，就可能由于变频器防失速功能动作而迫使频率下降，导致系统不能加速到所规定的速度。在这种场合，可采用加大飞轮的方法平滑脉动转矩，但此时的 GD^2 很大，加减速时间必须设长一些。此外，因为减速时的回馈能量变大，所以需要缩短减速时间时，必须考虑变频器的回馈放电回路。

(六) 驱动冲击负载

对冲击机械等用离合器开合的负载机械来说，重负载被瞬间加上，电动机的速度瞬间下降，电流急剧增加。为避免变频器因过流保护动作而跳闸，一般采用增加变频器容量和加装大飞轮等措施。

(七) 驱动大惯性负载

离心分离机等惯性负载的 GD^2 比较大，若加速时间设定太短，则在启动时防失速功能动作而不能加速，因此应适当加大加速时间，否则变频器会因过流而跳闸。而在减速时由于回馈能量很大，减速时间过短也会使变频器产生过压跳闸，此时可将加、减速时间设定长一些。若希望比自由停止更快些停止时，应确认回馈放电回路和核算制动电阻的容量。

(八) 驱动高速运转的负载

木工机械、机床、纺织机械、印刷机械、离心分离机、真空泵、电子部件加工机及电动工具等一般使用 $3600 \sim 30000 \text{r/min}$ 的高速电机。若采用 PWM 控制的通用变频器驱动，则由于电动机的电流波形失真较大，极易发生电机过热、变频器跳闸、加速时防失速功能动作而无法加速等。因此，需考虑变频器容量的选定以及在变频器输出端设置减低电流波动用的电抗器，或采用 PAM 控制方式的变频器。

(九) 驱动大启动转矩负载

对于挤压成形机、搬运机械、金属加工机床等需要大启动转矩的负载，若采用 U/f 控制通用变频器和普通异步电动机组合，启动转矩能保证 $70\% \sim 120\%$ (50Hz 电动机容量在几十千瓦以下)。 U/f 特性的转矩补偿量增大，启动转矩也会增大，

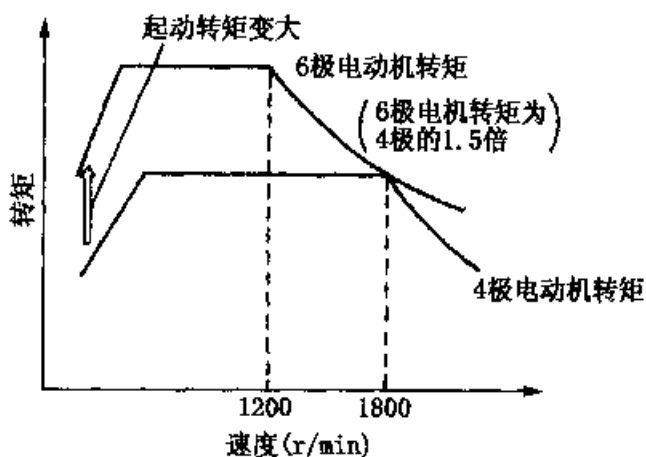


图 3-3-6 4 极与 6 极电机的转矩特性

但若补偿量过大，则低速运转时会出现电动机过励磁并产生振动、噪音、过热、过流等现象。通常启动时的转矩补偿量应为额定电压的 10%。当需要更大的启动转矩时，可采取以下措施：将电动机的极数由 4 极改为 6 极，此时启动转矩增大，如图 3-3-6 所示；增加变频器的容量，提高过载电流值，再加上转矩补偿的量，可使启动转矩增大。

第四节 异步电动机的选择

电动机的选择，应根据生产机械选择其容量；根据用途和使用环境选择适当的结构形式、通风方式和防护等级等。

一、异步电动机形式与容量的选择

(一) 形式的选择

选择电动机形式除了根据使用状况和被驱动机械的要求、安装方式以及与传动机械的连接方式外，还应根据温升情况和使用环境，选择合适的通风方式和防护等级等。

电动机的防护等级有：防止人体接触电机内带电或转动部分和防止固体异物进入电机内的防护等级；防止水进入电机内的防护等级。防护标志由特征字母 IP 和 2 个表示防护等级的表征数字组成，见表 3-4-1 和表 3-4-2。

表 3-4-1 第一位表征数字表示的防护等级

第一位表征数字	防护等级定义
0	无专门防护
1 ^①	能防止大面积的人体（如手）偶然或意外地接触及接近机内带电或转动部件（但不能防故意接触）；能防止直径大于 50mm 的固体异物进入机内
2 ^①	能防止手或长度不超过 80mm 的物件触及或接近机内带电或转动部件；能防止直径大于 12mm 的固体异物进入机内
3 ^①	能防止直径大于 2.5mm 的工具或导线触及或接近机内带电或转动部件；能防止直径大于 2.5mm 的固体异物进入机内
4 ^①	能防止直径或厚度大于 1mm 的导线或金属条触及或接近机内带电或转动部件，能防止直径大于 1mm 的固体异物进入机内
5 ^②	能防止触及或接近机内带电或转动部件，不能完全防止尘埃进入，但进入量不足以影响电动机的正常运行

注：①如固体的三个相互垂直的尺寸大于“定义”栏中规定的数值时，能防止形状规则和不规则的固体异物进入；②当规定了尘埃的性质时，试验条件可由用户和制造厂协商确定。

表 3-4-2 第二位表征数字表示的防护等级

第二位表征数字	防护等级定义
0	无专门防护
1	垂直滴水应无有害影响
2	当电机从正常位置倾斜至 15°以内任意角度时，垂直滴水应无有害影响
3	与垂线成 60°以内任一角度的淋水应无有害影响
4	任何方向的溅水应无有害影响
5	用喷水从任何方向喷向电机时应无有害影响
6	在猛烈的海浪冲击或强烈喷水时，电机的进水量不应达到有害程度
7	电机在规定的压力下和时间内浸入水中时，进水量不应达到有害的程度
8	按制造厂规定的条件，电机可连续浸在水中 ^①

注：①电机是气密的，但对某些典型的电机，意味着水可以进入，但不产生有害的影响。

防护标志根据需要还常采用附加特征字母。例如 IPW23S 中，IP 为特征字母；W 为附加特征字母（气候防护式）；2 为第一位表征数字（防接触和防异物等级）；3 为第二位表征数字（防水等级）；S 为防水实验在电机静止时进行。此外，M 为防水实验在电机旋转时进行。根据使用环境可按表 3-4-3 选择电动机的类型。

表 3-4-3 按环境条件选择电动机的类型

环境条件	要求的防护类型	可选用的电动机类型
正常环境条件	一般防护型	各类普通型电动机
湿热带或潮湿场所	湿热带型	湿热带型电动机，普通型电动机加强防潮处理
干热带或高温车间	干热带型	干热带型电动机，采用高温升等级绝缘材料的电动机或外加管道通风
粉尘较多的场所	封闭型或管道通风型	
户外、露天场所	气候防护型，外壳防护等级不低于 IP23，接线盒应为 IP54，封闭型电动机外壳防护等级应为 IP54	
户外，有腐蚀性及爆炸性气体	户外，防腐、防爆型防护等级不低于 IP54	YBDF-WF

续表

环境条件		要求的防护类型	可选用的电动机类型
有腐蚀性气体或游离物		化工防腐型或采用管道通风	
有爆炸危险的场所	0区	隔爆型、防爆通风充气型	YB、BJ03、JBR、UB、JBJ等
	1区	任意防爆类型	
	2区	防护等级不低于IP43	
	10区	任意一级隔爆型、防爆通风充气型	
	11区	防护等级不低于IP44	
有火灾危险的场所	21区	防护等级至少应为IP22	
	22区	防护等级至少应为IP44	
	23区	防护等级至少应为IP44	
水中		潜水型	JQS、JQB、QY、JL、B2、JQSY

(二) 容量的选择

电动机容量选择的方向及步骤如图 3-4-1 所示。在校核电动机的温升、最小启动转矩、最大飞轮转矩等时，应从生产机械诸项负载中选择最繁重的条件进行计算，并且明确电机运行的工作制（连续工作制、短时工作制、周期性断续工作制）。

选择电动机的容量时，应注意：所选择的电动机容量应大于负载所需功率；电动机的启动转矩必须大于负载所需启动转矩；电源电压下降 10% 时转矩仍能满足启动或运行中的需要；考虑传动装置的效率和负载波动等因素时，必须要有一定的裕量；从电动机温升角度考虑，为不降低电动机的寿命，温升必须在绝缘所限制的范围以内；与负载性质相配合，对电动机应选用合适的工作制。

二、负载功率的计算

(一) 重力负载

起重机、提升机等负载作垂直移动的设备所需要的功率为

$$P = \frac{W \cdot V}{\eta} \times 10^{-3}$$

式中， P 为电动机功率 (kW)； W 为额定载荷重力加吊钩重力加钢绳重力之和 (N)； V 为提升速度 (m/s)； η 为机械效率。

机械效率主要考虑各种齿轮箱的传动效率，一般约为 0.9，如果是用涡轮传动则效率较低 (< 0.8)。图 3-4-2 所示为 $\eta = 0.75$ 条件下所需提升功率和不同的提升力、提升速度之间的关系曲线。由该曲线可以查得，当 $V = 0.1 \text{ m/s}$ 、 $W = 9800 \text{ N}$

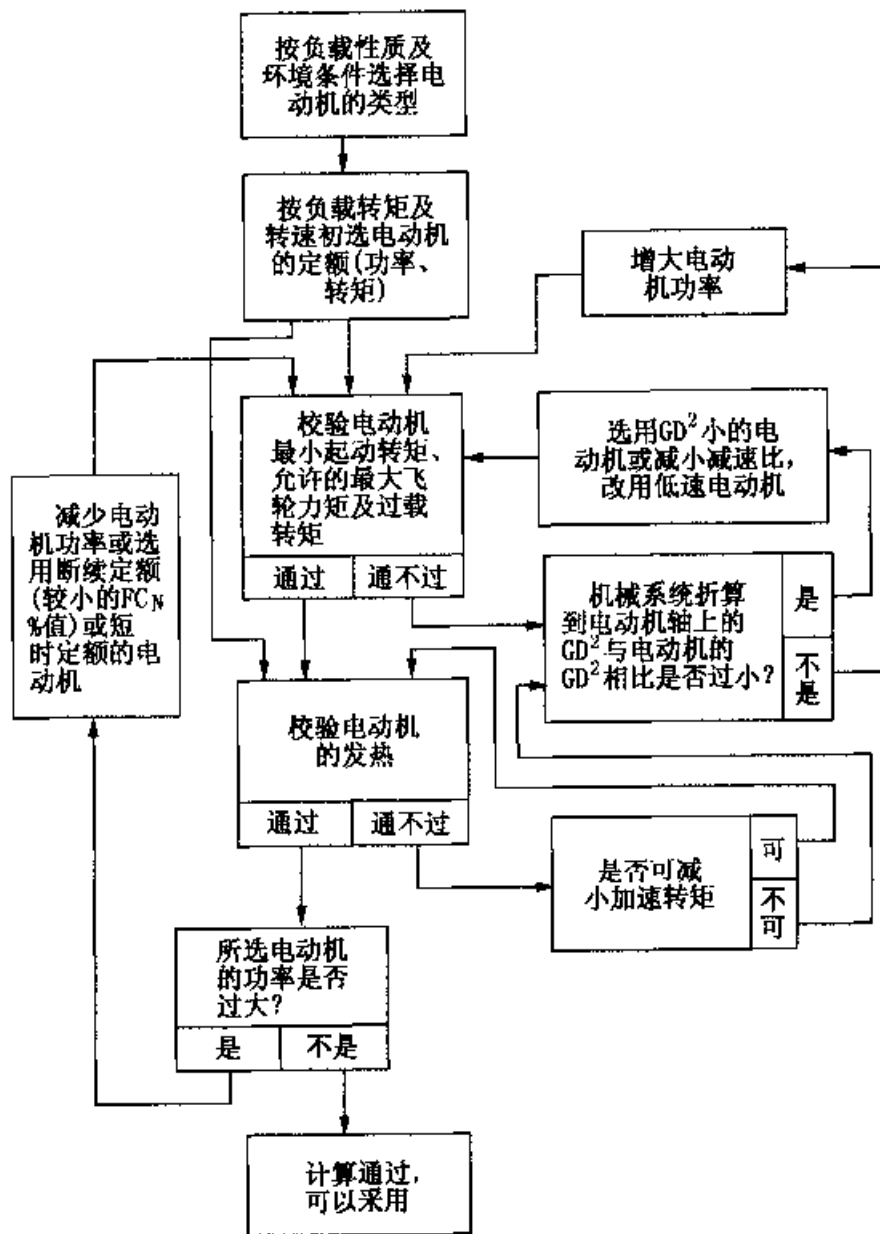


图 3-4-1 选择电动机的步骤

时，所需电动机的容量为 1.5kW。

(二) 摩擦负载

起重机的平移机构、轨道上移动的水平台车等搬送机械，其负载与重力负载的不同之处在于负载的运动方向不同，在功率计算中需要考虑摩擦系统 μ ，见图 3-4-3 (a)。

$$P = \frac{\mu W \cdot V}{\eta} \times 10^{-3}$$

式中， P 为电动机功率 (kW)； W 为负载重力 (N)； V 为负载移动速度 (m/s)； μ 为摩擦系数； η 为机械效率。

如图 3-4-3 (b) 所示，斜面上的移动台车以一定速度行走时牵引钢绳的张力为

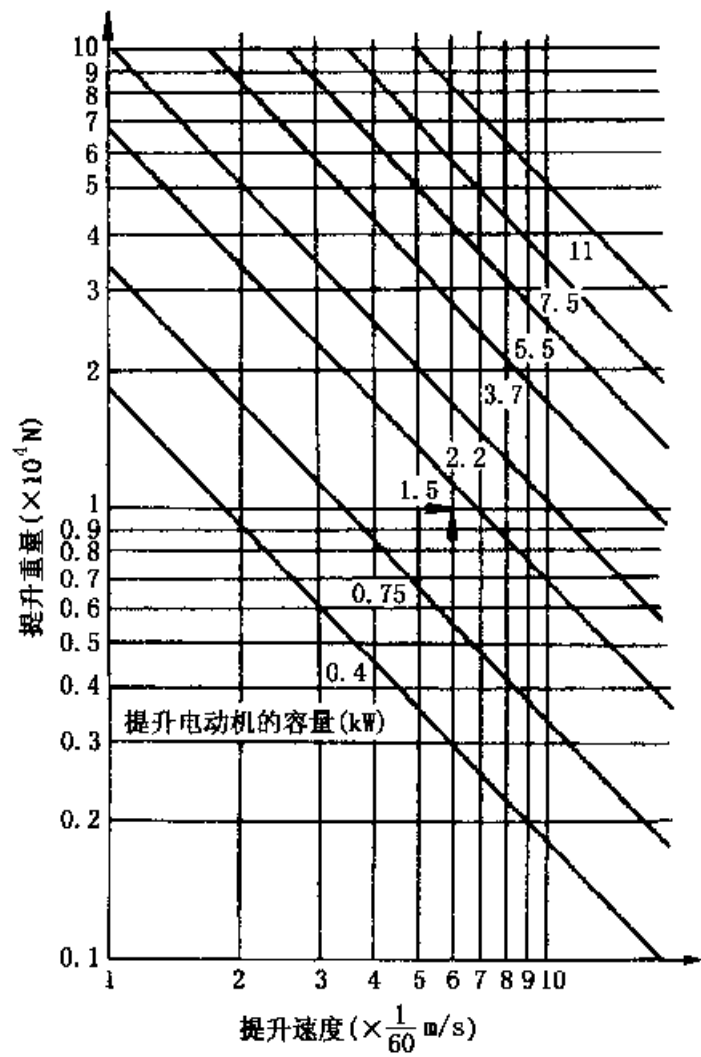
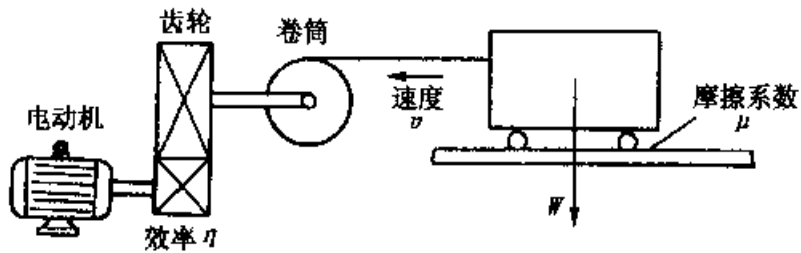
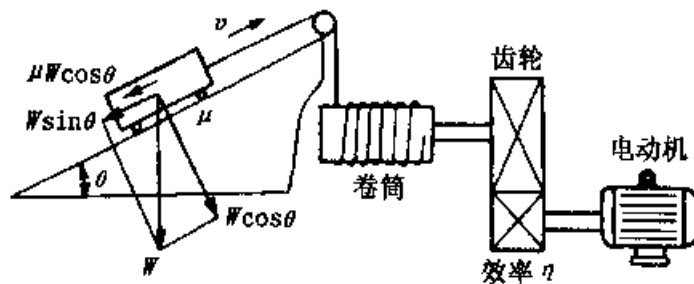


图 3-4-2 $\eta=0.75$ 条件下提升所需的功率



(a) 水平运动



(b) 斜面运动

图 3-4-3 摩擦负载

$F=W(\sin\theta+\mu\cos\theta)$ ，其中 θ 为斜面的倾斜角。这时所需要功率则为

$$P=\frac{W \cdot V}{\eta}(\sin\theta+\mu\cos\theta)$$

(三) 离心式泵

离心式泵所需的驱动功率，即电动机功率为

$$P=\frac{\kappa \cdot \gamma \cdot Q(H+\Delta H)}{\eta \cdot \eta_c} \times 10^{-2}$$

式中， P 为电动机功率 (kW)； γ 为流体密度 (kg/m^3)； Q 为泵的流量 (m^3/s)； H 为水头 (m)； ΔH 为主管损失水头 (m)； η 为泵的效率，一般取 0.6~0.84； η_c 为传动效率，如果与电动机直接连接则 $\eta_c=1$ ； κ 为裕量系数，常数 1.05~1.7，功率越小，该数应取得越大。当管道长、流速快、弯头与阀门数量较多时，裕量系数还应酌情放大。

为离心泵选择电动机时，必须注意转速的配合。因为其水头 H 、流量 Q 、转矩 T 、轴功率 P 与转速 n 之间有以下关系：

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{T_1}{T_2}=\frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{P_1}{P_2}=\frac{n_1^3}{n_2^3};$$

(四) 离心式风机

$$P=\frac{\kappa \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot \eta_c} \times 10^{-3}$$

式中， P 为电动机功率 (kW)； Q 为送风量 (m^3/S)； H 为空气压力 (Pa)； η 为风机效率 0.4~0.75； η_c 为传动效率，直接传动时 $\eta_c=1$ ； κ 为裕量系数，容量为 5kW 以上取 1.15~1.10，小于 5kW 时，取 1.25~1.2。

(五) 离心式压缩机

$$P=\frac{Q(A_d+A_r)}{2\eta} \times 10^{-3}$$

式中， P 为电动机功率 (kW)； Q 为压缩机生产率 (m^3/S)； A_d 为压缩 1m^3 空气至绝对压力 P_1 的等温功 ($\text{N} \cdot \text{m}$)； A_r 为压缩 1m^3 空气至绝对压力 P_1 的绝热功 ($\text{N} \cdot \text{m}$)； η 为压缩机总效率，为 0.62~0.8。 A_d 与 A_r 与终点压力的关系见表 3-4-4。

表 3-4-4 A_d 、 A_r 与终点压力 P_1 的关系

P_1 大气压	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
A_d ($\text{N} \cdot \text{m}$)	39717	67666	107873	136312	157887	175539	191230	203978	215746	225553
A_r ($\text{N} \cdot \text{m}$)	42169	75511	126506	167694	201036	230456	255954	280470	301064	320677

三、变频器专用电机的选择

变频器专用电机是适合于变频器传动的电机，选用时要十分注意。

(一) 低噪声低振动的专用电机

磨床、自动车床等机床，由于加工精度上的原因要求低振动。电机的调速多使用变频器，变频器专用电机与一般电机相比，大多解决了噪声和振动问题。这种专用电机用变频器传动时，其噪声、振动与标准电机的比较如图 3-4-4 和 3-4-5 所示（全封闭式，3.7kW，4 极）。

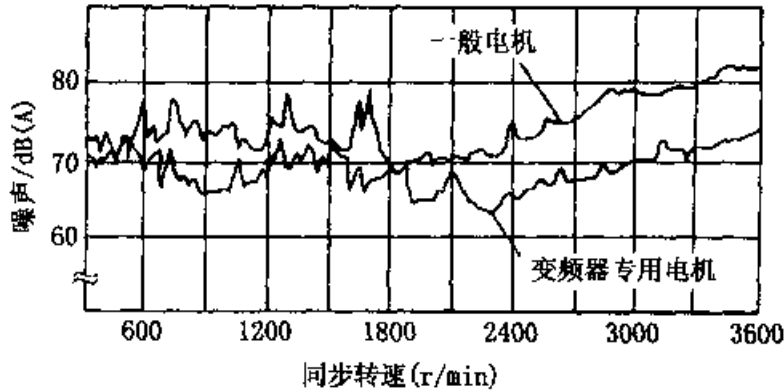


图 3-4-4 标准电机与变频器专用电机的噪声比较

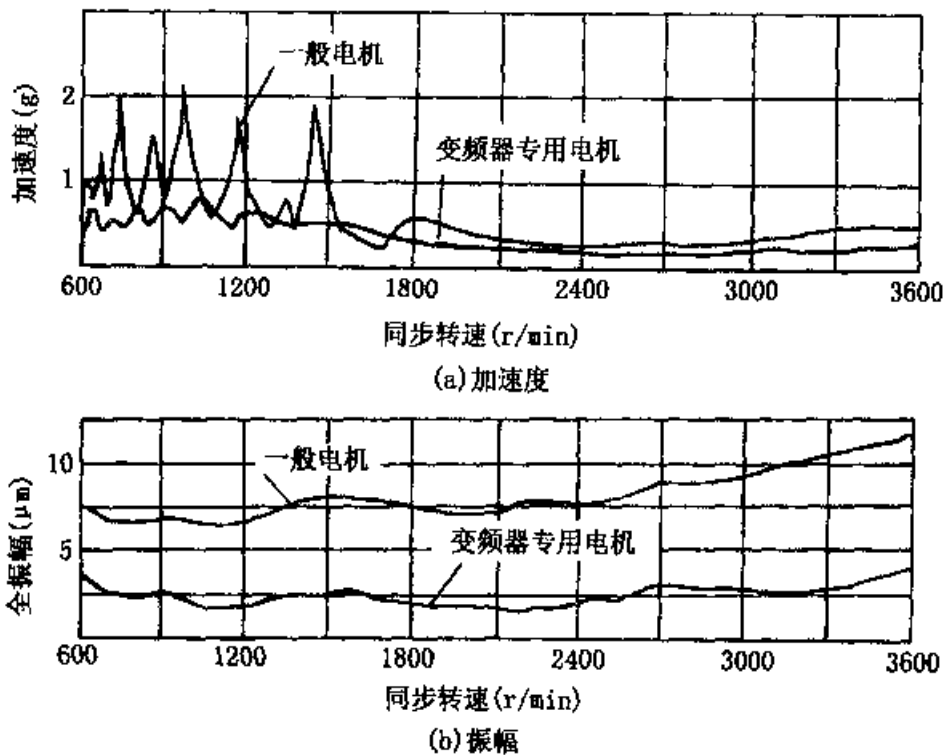


图 3-4-5 标准电机与变频器专用电机的振动比较

为降低振动与电磁噪声，可考虑以下几点：减小气隙不平衡；使各部件的固有频率与脉动的分量错开；减少电磁脉动；采用五相集中绕组变频器调速异步电动机。

(二) 提高转矩特性的变频器专用电机

标准电机用变频器传动时,即使频率与工频电源相同,电流也会增加约10%,温升则要提高20%;在低速区,其冷却效果和电机产生的最大转矩均降低,因而必须减轻负载。但是有些场合要求低速有100%的转矩,或者为了缩短加速时间要求低速输出大转矩。这时就要用到100%转矩可连续使用到低速区的专用电机,如图3-4-6所示。从图中可以看出,6~60Hz可用额定转矩连续运转。

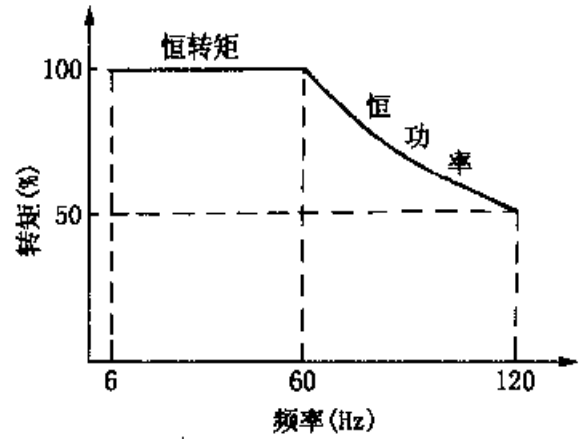


图 3-4-6 100%转矩专用电机的连续定额范围

(三) 高速度变频器专用电机

高速传动变频器专用电机的使用转速为10000~30000r/min。为抑制高频铁损产生的温升,多采用水冷却,另外还采用空气轴承、油雾轴承、磁轴承等。在高速化时应注意以下几点:轴承的极限转速;冷却风扇、端子的强度;由于机械损耗的增加造成的轴承温度升高;噪声的增加;转子的不平衡等。因此,可采取去掉端环风叶或冷却风扇(采用全封闭自冷或冷却风扇单独传动的强迫通风方式)、设置平衡环等措施。

(四) 带测速发电机的专用电机

为变频器闭环控制而设计的带测速发电机的专用电机,多用于为了提高速度精度、要求采用转差频率控制的闭环控制。测速发电机的规格是三相交流式,能产生较高的输出电压。

(五) 矢量控制用电机

矢量控制调速系统要求电机惯性小,其专用电机已系列化,采用磁编码器、光编码器等。当电机为特殊构造时,其变频器也是专用的。

第五节 变频器的选择

异步电动机利用变频器进行调速转动时,应合理选择变频器的容量及其外围设备。通用变频器的选择包括变频器类型选择和容量选择两个方面。富士公司的FRENIC5000-G9S系列变频器属于具有转矩限制功能的“无跳闸”高性能型变频器,安川公司的VS-616G5系列和西门子公司的SIMOVERT MASTERDRIVES 6SE70系列变频器都属于“多控制方式”的集 U/f 控制和矢量控制方式于一体的高性能型通用变频器。

一、变频器类型的选择

通用变频器通常分为三种类型：普通功能型 U/f 控制变频器，具有转矩控制功能的高功能型 U/f 控制变频器和矢量控制高性能型变频器。变频器类型的选择，要根据负载的要求来进行。

风机、泵类负载，其低速下负载转矩较小，通常可选择普通功能型。

恒转矩类负载，如挤压机、搅拌机、传送机、厂内运输电车、起重机等，则有两种情况。一种是采用普通功能型变频器，为实现恒转矩调速，常采用加大电动机和变频器容量的办法，以提高低速转矩。另一种是采用具有转矩控制功能的高功能型变频器，以实现恒转矩负载下的调速运行，这种变频器低速转矩大，静态机械特性硬度大，不怕冲击负载，具有挖土机特性。

恒转矩负载下的传动电动机，如采用通用标准电动机，则应考虑低速下的强迫通风冷却；若是新设备，可考虑专为变频调速设计的加强了绝缘等级并考虑了低速强迫通风的变频专用电动机。

轧钢、造纸、塑料薄膜加工线这类对动态性能要求较高的生产机械，采用矢量控制高性能型通用变频器。

二、变频器容量的计算

(一) 连续恒载运转时所需的变频器容量

$$P_{CN} \geq \frac{\kappa P_M}{\eta \cos \phi} \text{ 或 } P_{CN} \geq K \cdot \sqrt{3} U_M I_M \times 10^{-3}$$

$$I_{CN} \geq K I_M$$

式中， P_M 为负载所要求的电动机的轴输出功率； η 为电动机的效率（通常约为 0.85）； $\cos \phi$ 为电动机的功率因数（通常约为 0.75）； U_M 为电动机电压（V）； I_M 为电动机电流（A）、工频电源时的电流； K 为电流波形的修正系数（PWM 方式时取 1.05~1.0）； P_{CN} 为变频器的额定容量（kVA）； I_{CN} 为变频器的额定电流（A）。

(二) 一台变频器驱动多台电动机并联运行时的变频器容量

$$P_{CN} \geq \frac{2}{3} \frac{\kappa P_M}{\eta \cos \phi} [n_T + n_S (K_S - 1)] = \frac{2}{3} P_{CN1} [1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1)]$$

$$I_{CN} \geq \frac{2}{3} n_1 I_M [1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1)]$$

当电动机加速时间在 1min 以上时，

$$P_{CN} \geq \frac{\kappa P_M}{\eta \cos \phi} [n_T + n_S (K_S - 1)] = P_{CN1} [1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1)]$$

$$I_{CN} \geq n_1 I_M [1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1)]$$

式中, P_M 为负载所要求的电动机的轴输出功率 (kW); n_1 为并联电动机的台数; n_s 为同时启动的台数; η 为电动机效率 (通常约为 0.85); $\cos\phi$ 为电动机的功率因数 (通常约为 0.75); P_{CN1} 为连续容量 (kVA), $P_{CN1} = \kappa P_M n_T / \eta \cdot \cos\phi$; K_s 为电动机启动电流与额定电流之比; κ 为电流波形的修正系数 (PWM 方式时取 1.05~1.10); P_{CN} 为变频器的额定容量 (kVA); I_{CN} 为变频器的额定电流 (A)。

(三) 大惯性负载启动时的变频器容量计算

$$P_{CN} \geq \frac{\kappa n_M}{9550 \eta \cos\phi} \left(T_L + \frac{GD^2 n_M}{375 t_A} \right)$$

式中, GD^2 为换算到电动机轴上的总 GD^2 ($N \cdot m^2$); T_L 为负载转矩 ($N \cdot m$); η 为电动机效率 (0.85); $\cos\phi$ 为电动机的功率因数 (0.75); t_A 为电动机加速时间 (s); κ 为电流波形的修正系数 (PWM 方式时取 1.05~1.10); n_M 为电动机额定转速 (r/min); P_{CN} 为变频器容量 (kVA)。

三、变频器外围设备的选择

变频器的运行离不开一些外围设备, 这些外围设备通常都是选购件。选用外围设备可提高变频器的某种性能、提高对变频器和电动机的保护、减小变频器对其他设备的影响等。

(一) 变频器外围设备的种类与用途

不同类型及不同品牌的变频器, 其外围设备不尽相同。这里以中等容量通用变频器为例, 其外围设备如图 3-5-1 所示。

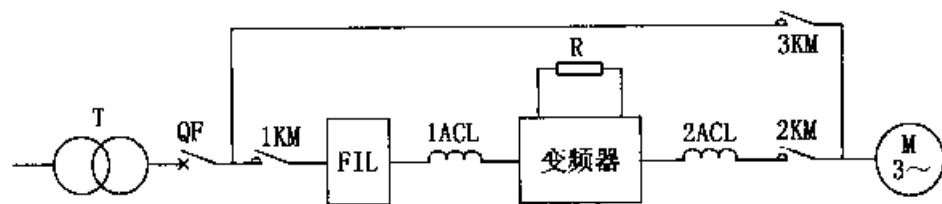


图 3-5-1 变频器的外围设备

(1) 电源变压器 T。它用于将高压电源变换到通用变频器所需的电压等级, 如 200V 量级或 400V 量级等。由于变频器的输入电流含有一定量的高次谐波, 使电源侧的功率因数降低, 若再考虑变频器的运行效率, 则应满足:

$$\text{变压器的容量 (kVA)} = \frac{\text{变频器的输出功率}}{\text{变频器的输入功率因数}} \times \text{变频器效率}$$

其中, 变频器功率因数在有输入交流电抗器 IACL 时取 0.8~0.85, 无输入电抗器 IACL 时则取 0.6~0.8。变频器效率可取 0.95, 变频器输出功率应为所接电动机的总功率。

一些变频器生产厂家所推荐的变压器容量的参考值常按经验取变频器容量的

130%左右。电源侧断路器 QF：用于电源回路的开闭，在出现过流或短路事故时自动切断电源，以防事故扩大。如果需要进行接地保护，也可采用漏电保护式断路器。使用变频器时都应采用 QF。

(2) 电源侧电磁接触器 1KM。它用于电源的开闭，在变频器保护功能起作用时切断电源；对于电网停电后的复电，可防止自动再投入以保护设备及人身安全。

(3) 无线电噪声滤波器 FIL。它用于限制变频器高次谐波对外界的干扰。

(4) 交流电抗器 1ACL 和 2ACL。电源侧的 1ACL 用于节制变频器输入侧的微波电流，改善功率因数。电动机侧的 2ACL 用于改善变频器输出电流的波形，降低电动机的噪声。

(5) 制动电阻单元 R。它用于吸收电动机再生制动的再生电能，可缩短大惯量负载的自由停车时间，还可在位能负载下放时实现再生运行。

(6) 电磁接触器 2KM 和 3KM。它们分别用于变频器和工频电网之间的切换运行。在这种方式下 2KM 是必不可少的，它和 3KM 之间的连锁可防止变频器的输出端接到工频电网上。如果不需要变频器-工频电网的切换功能，可以不要 2KM。

(二) 制动电阻的计算

在异步电动机因设定频率突降而减速时，如果轴转速高于由频率所决定的同步转速，则异步电动机处于再生发电运行状态。运动系统中所存储的动能经逆变器回馈到直流侧，中间直流回路的滤波电容器的电压会因吸收这部分回馈能量而提高。如果回馈能量较大，则有可能使变频器的过电压保护功能动作。利用制动电阻可耗散这部分能量，使电动机的制动能力提高。制动电阻的选择，包括制动电阻的阻值及容量的计算。

1. 制动转矩

$$T_B = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2)(n_1 - n_2)}{375t_s} - T_L$$

式中， GD_M^2 为电动机的 GD^2 ($N \cdot M^2$)； GD_L^2 为负载折算到电动机轴上的 GD^2 ($N \cdot M^2$)； T_L 为负载转矩 ($N \cdot m$)； n_1 为减速开始速度 (r/min)； n_2 为减速毕速度 (r/min)； t_s 为减速时间 (s)。

2. 制动电阻阻值

在附加制动电阻进行制动的情况下，电动机内部的有功损耗部分折合成制动转矩，大约为电动机额定转矩的 20%。制动电阻 (Ω) 为：

$$R_{R0} = \frac{U_c^2}{0.1047(T_B - 0.2T_M)n_1}$$

式中， U_c 为直流回路电压 (V)； T_B 为制动转矩 ($N \cdot m$)； T_M 为电动机额定转矩 ($N \cdot m$)； n_1 为开始减速时的速度 (r/min)。

当系统所需制动转矩 $T_B < 0.2T_M$ ，即制动转矩在额定转矩的 20% 以下时，则不需要另外的制动电阻，仅电动机内部有功损耗的作用，就可使中间直流回路电压

限制在过压保护的動作水平以下。

由制动晶体管和制动电阻构成的放电回路中，其最大电流受制动晶体的最大允许电流 I_c 的限制。制动电阻的最小允许值 $R_{min} = U_c / I_c$ ， U_c 为直流回路电压 (V)。

因此，选用的制动电阻 R_B 应按下式来决定：

$$R_{min} < R_B < R_{DC}$$

表 3-5-1 列出了以安川 VS-616G3 系列变频器为例，不同容量变频器的制动电阻的最小允许值。

表 3-5-1 允许的最小制动电阻 (例)

电压 (V)	电动机功率 (kW)	变频器的形式 (VS-616G3)	制动单元的形式 (大容量时采用)	允许的最小制动阻 R_{min} (Ω)
200	0.4	0P4	-	48
	0.75	0P7	-	48
	2.2	2P2	-	16
	3.7	CIMR- 3P7	-	16
	5.5	G3A2 5P5	-	9.6
	7.5	7P5	-	9.6
	11~30	011~022	CDBR- [] [] II	6.4 ^①
400	0.1	0P1	-	96
	0.75	0P7	-	96
	2.2	2P2	-	64
	3.7	CIMR- 3P7	-	32
	5.5	G3A4 5P5	-	32
	7.5	7P5	-	32
	11	011	-	20
	15	015	-	20
18.5~45	018~045	CDBR- [] [] H	12.8 ^②	

注：①表示单台制动单元所允许的最小制动电阻。如果需要可以采用多台制动单元并联。

3. 制动时平均消耗功率

制动中电动机自身损耗的功率相当于 20% 额定值的制动转矩，因此制动电阻器上消耗的平均功率 P_{av} (kW) 为：
$$P_{av} = 0.1047(T_B - 0.2T_M) \frac{n_1 + n_2}{2} \times 10^{-3}$$

4. 电阻器额定功率

制动电阻器额定功率的选择与电动机的工作方式相关。图 3-5-2 所示为电动机减速模式。当非重复减速时，如图 (b) 所示，制动电阻的间歇时间 $(T - t_s) > 600s$ ，其中 T 为工作周期。通常采用连续工作制电阻器，当间歇制动时，电阻器的允许功率将增加。允许功率增加系数 m 与减速时间的关系如图 3-5-3 (b) 所示。重复减速情况下，允许功率增加系数 m 和制动电阻使用率 $D = t_s/T$ 之间的关系曲线如图 3-5-3 (a) 所示。

根据电动机运行的模式，可以确定制动时的平均消耗功率和电阻器的允许功率增加系数，那么制动电阻器的额定功率 $P_r = P_{ro}/m$ 。根据计算得到的 R_{Bo} 和 P_r ，可在市场上选择合乎要求的标准电阻器。

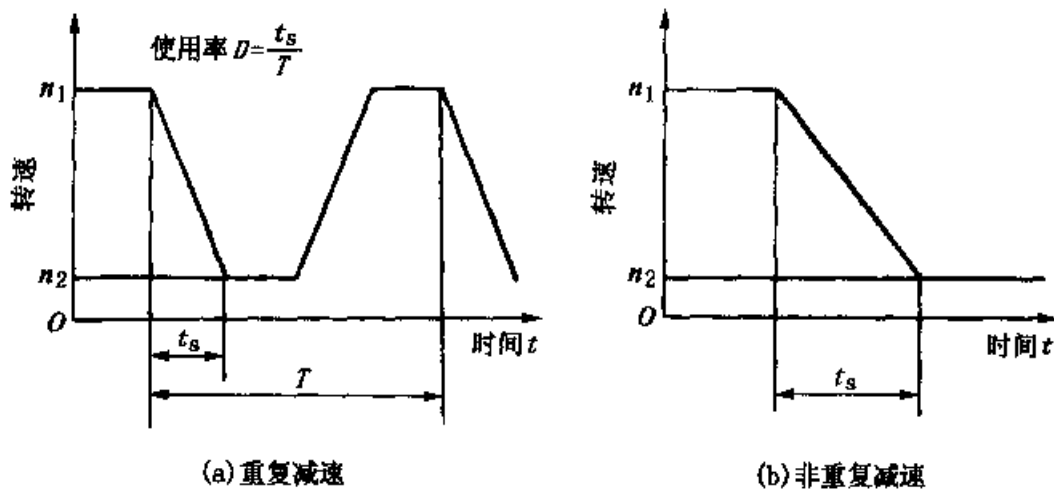


图 3-5-2 减速模式

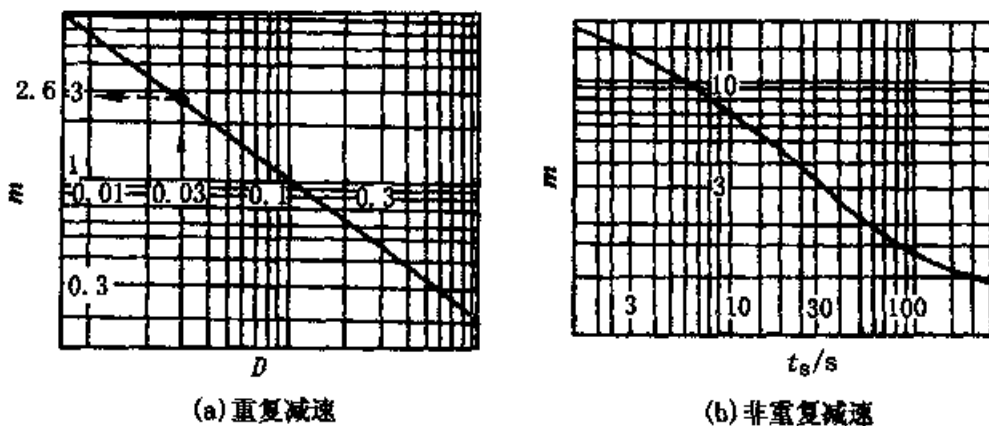


图 3-5-3 制动电阻允许功率增加系数

第四章 变频器的运行与维护

第一节 通用变频器的铭牌、结构与面板

一、通用变频器的铭牌

当我们使用变频器时，首先应注意变频器的铭牌数据，它用最简洁的方式给出了变频器最重要的信息。图 4-1-1 是富士公司 FRN30G9S-4JE 变频器的铭牌，铭牌上各部分含义如下：

①为变频器型号，FRN-G9S 的过载能力为 150% 额定电流，FRN-PQS 的过载能力为 120% 额定电流；

②为电源系列，有 4JE-400V 交流电源系列和 2JE-200V 交流电源系列；

③为相数，3Φ 表示三相；

④为输入电压范围，有 200~230V-AC200V 系列和 380~420V-AC400V 系列；

⑤为输入电压频率，50Hz/60Hz；

⑥为变频器额定容量和电流，AC400V 系列见表 4-1-1；

⑦为输出频率范围，0.2~400Hz；

⑧为生产序列号。

TYPE	FRN30G9S-4JE	FUJI	← ①②
SOURCE	3Φ 380~420/380~460V	50/60Hz	← ③④⑤
OUTPUT	46kVA 60A	0.2~400Hz	← ⑥⑦
SER. NO.	49HB12345R678-9H		← ⑧
Fuji Electric Co., Ltd Made in japan			

图 4-1-1 FRN30G9S-4JE 变频器的铭牌

知道了变频器的命名方法，就能从铭牌数据中直接读取电源电压、变频器容量、变频器电流、输出频率范围。图 4-1-2 为三菱电机公司 FR-A540 系列变频器铭牌。

MITSUBISHI	INVERTER	
MODEL	FR-A540-45k/	← 变频器型号
POWER	45kW	← 适用电机容量
AC INPUT	380~460V 50Hz/60Hz	← 适用电源
OUTPUT	86A	← 额定输出电流
SERIAL		← 制造编号
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION MADE IN JAPAN		

图 4-1-2 三菱 FR-A540 系列变频器铭牌

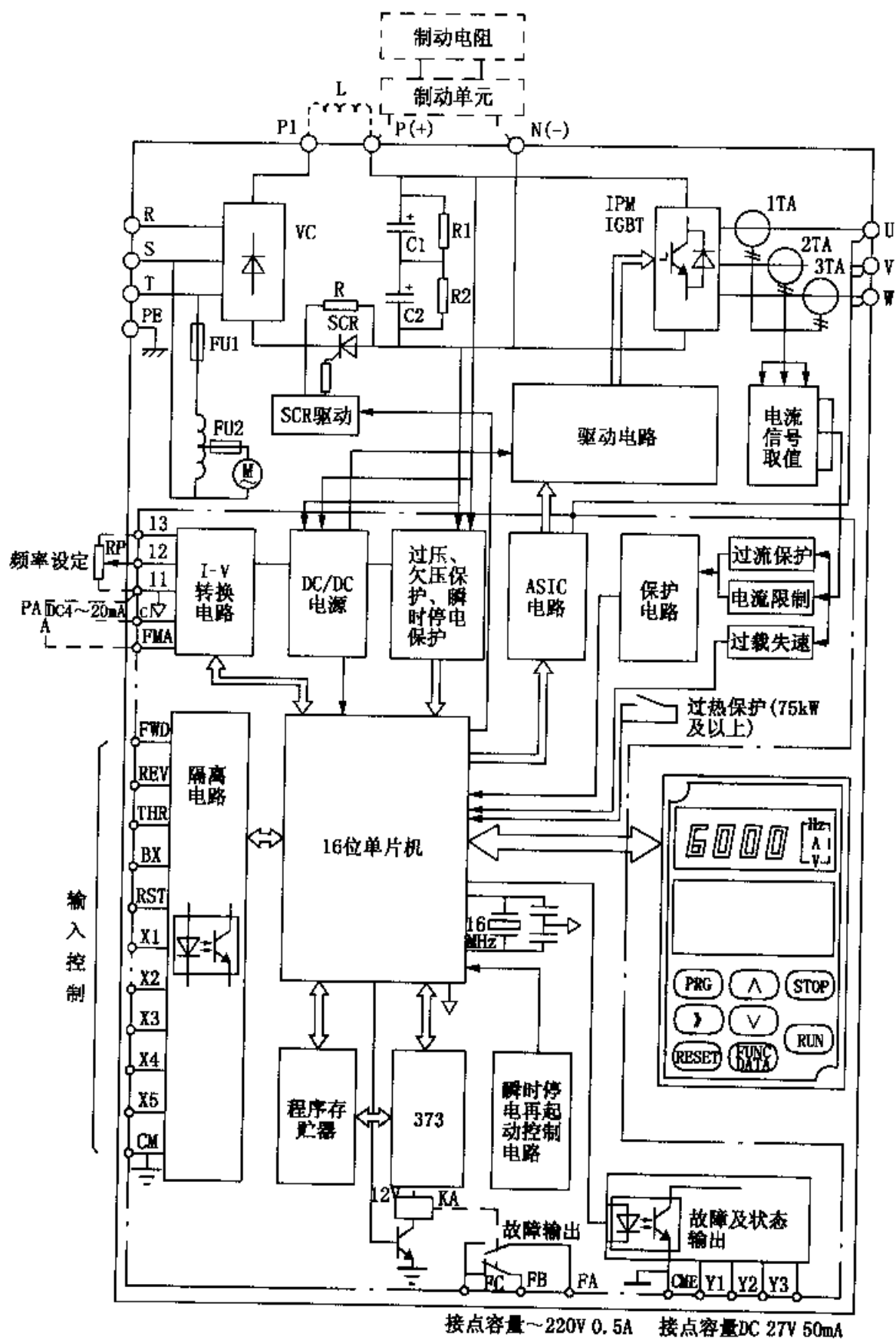


图 4-1-3 变频器结构框图

表 4-1-1 AC400 系列额定容量及适配电机

变频器型号	额定容量 (kVA)	适配电动 (kW)	电流 (A)
FRN0.4G9S-4JE	1.1	0.4	1.5
FRN0.75G95-4JE	1.9	0.75	2.5
FRN1.5G9S-4JE	2.8	1.5	3.7
FRN2.2G9S-4JE	4.2	2.2	5.5
FRN3.7G9S-4JE	6.9	3.7	9.0
FRN5.5G9S-4JE	10	5.5	13
FRN7.5G9S/P9S-4JE	14	7.5	18
FRN11G9S/P9S-4JE	18	11	24
FRN15G9S/P9S-4JE	23	15	30
FRN18.5G9S/P9S-4JE	30	18.5	39
FRN22G9S/P9S-4JE	34	22	45
FRN30G9S/P9S-4JE	46	30	60
FRN37G9S/P9S-4JE	57	37	75
FRN45G9S/P9S-4JE	69	45	91
FRN55G9S/P9S-4JE	85	55	112
FRN75G9S/P9S-4JE	114	75	150
FRN90G9S/P9S-4JE	134	90	176
FRN110G9S/P9S-4JE	160	110	210
FRN132G9S/P9S-4JE	193	132	253
FRN160G9S/P9S-4JE	232	160	304
FRN200G9S/P9S-4JE	287	200	377
FRN220G9S/P9S-4JE	316	220	415
FRP280P9S-4JE	400	280	520

二、通用变频器的结构

低压主流机型的通用变频器一般由以下几部分组成（见图 4-1-3）。

(1) 整流单元 (VC)，即二极管三相桥式整流模块。

(2) 逆变单元 (IPM)，由 6 个大功率开关管组成的三相桥式电路，大功率开关管一般都用 IGBT 模块。

(3) 滤波单元，主要是电解电容器。

(4) 微机控制单元，用于控制整个系统的运行，是变频器的核心。

(5) 主电流接线端子，包括电源接线端子 (R、S、T)、电动机接线端子 (U、V、W)、直流电抗器接线端子 P1 与 P (+)、制动单元和制动电阻接线端子 P (+) 与 N (-)。

(6) 控制端子，用于控制变频器的起动与停止、外部频率信号的给定、故障报警输出等。

(7) 功能单元（操作面板），用于设定变频器的功能及频率。

(8) 通讯端子接口，一些变频器有 RS-485 通讯接口。

(9) 冷却风扇，用于变频器体内的通风（图中未标）。图 4-1-4 是该变频器的基本接线。

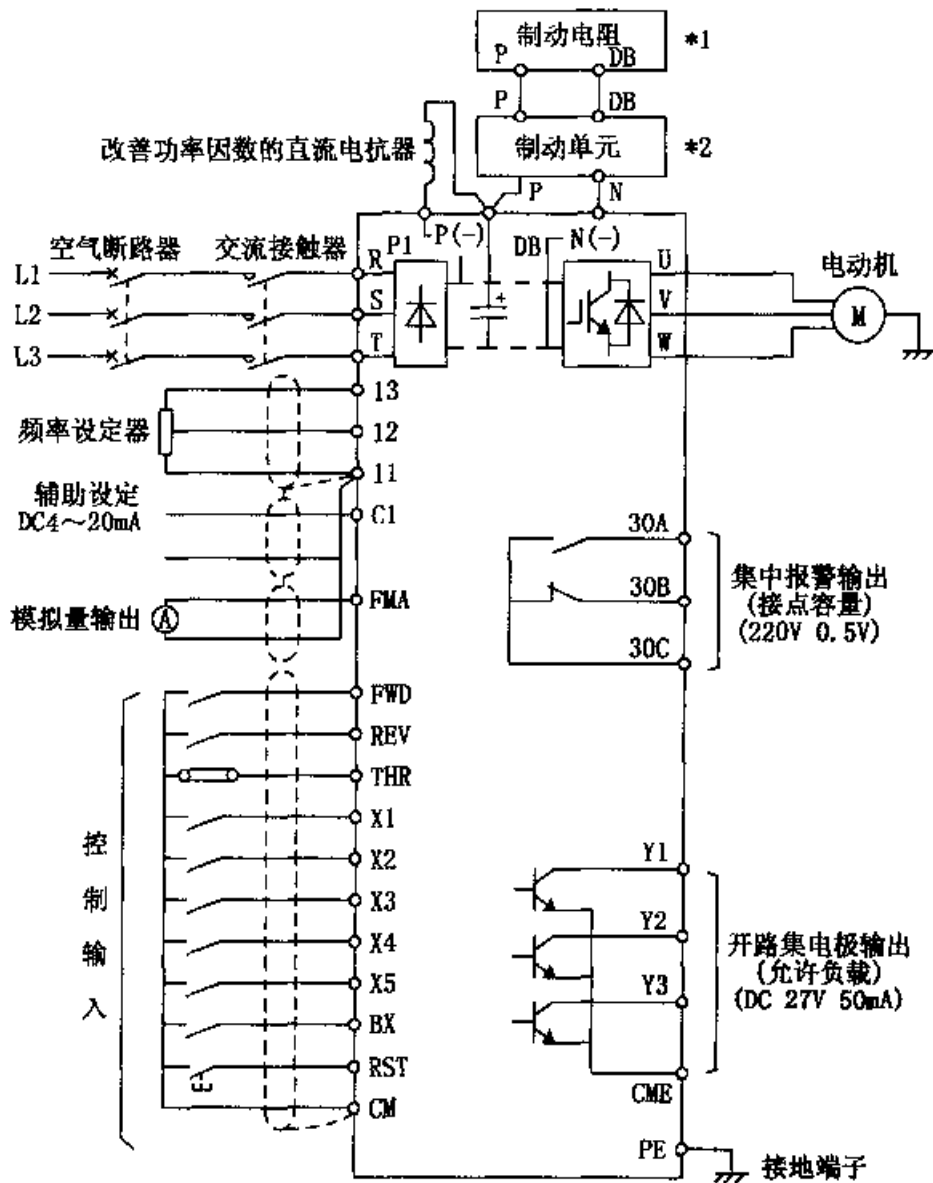


图 4-1-4 变频器的基本接线

三、通用变频器的面板

通用变频器的控制面板又称功能单元，是指变频器上有数字和画面的显示窗口及其数个按键的部分，其主要功能是：显示频率、电流、电压等；设定操作模式、操作命令、功能码；读取变频器运行信息和故障报警信息；监视变频器运行；变频器运行参数的自整定；故障报警状态的复位。

图 4-1-5 是富士 FRN-G9S/P9S 系列变频器的控制面板。面板上各部分名称及

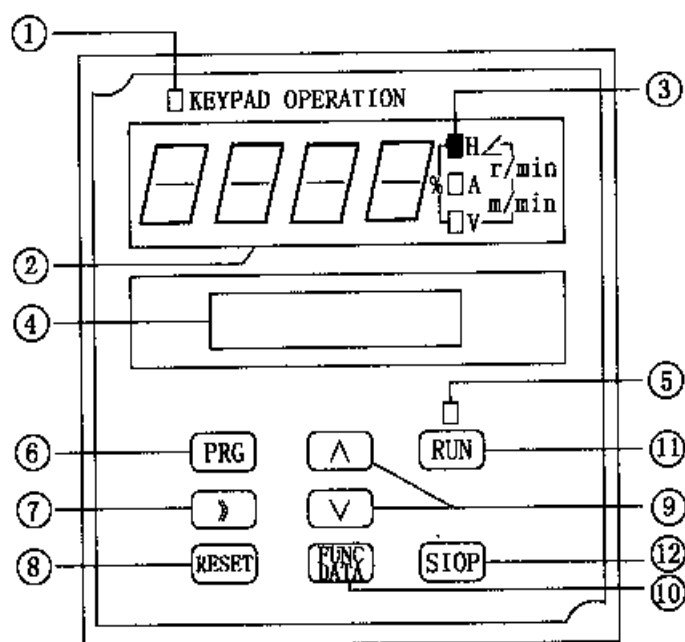


图 4-1-5 FRN-G9S/P9S 变频器的功能单元

功能如下：①为功能单元指示；②为 LED 数字监视器；③为单位显示；④为 LCD 监视器，主要有 3 种显示运行监视画面，即由表 4-1-2 中功能码 64 设定的运行监视画面、功能选择画面和设定画面；⑤为运行指示；⑥为编程键 PRG；⑦为移位键；⑧为复位键 RESET；⑨为增/减键 Δ / ∇ ；⑩为功能/数据键 FUNC/DATA；⑪为运行键 RUN，变频器功能码 01 选择 1 时该键不起作用；⑫为停止键 STOP，当变频器功能码 01 选择 1 时该键不起作用。

四、变频器的功能码

变频器一般由功能码的定义来表示其功能。富士 FRN-G9S/P9S 属于具有转矩限制功能的“无跳闸”高性能型变频器，其功能码见表 4-1-2。利用功能单元对变频器进行功能设定和运行监视时，有 4 种操作模式：运行模式、数据设定模式、数据监视模式和故障报警模式。变频器停止和运行时，这 4 种模式之间互相转换，每种模式的设定是通过功能单元上的按键来完成的。

表 4-1-2 功能码表

分类	功能码	名称	LCD 画面显示	可设定范围 $\leq 22\text{kW}$, $\geq 30\text{kW}$	最小数据	出厂设定值 $\leq 22\text{kW}$, $\geq 30\text{kW}$
基本功能	00	频率设定	00 频率设定	0: 触摸面板(Δ 键、 ∇ 键) 1: 模拟电压 (0~10V, 端子 12+V1) 2: 模拟电压+电流 (端子 12+V1+C1)	—	0

续表

分类	功能码	名称	LCD 画面显示	可设定范围 ≤22kW, ≥30kW	最小 数据	出厂设定值 ≤22kW, ≥30kW
基本功能	01	运转、操作	01 运转操作	0: 触摸面板 (RUN 键、STOP 键) 1: 基于外部信号 FWD、REV 的运转	—	0
	02	最高频率	02 最高 Hz	G9S: 50~400Hz; P9S: 50~120Hz	1Hz	60Hz
	03	基本频率 1	03 基本 Hz 1	G9S: 50~400Hz; P9S: 50~120Hz	1Hz	50Hz
	04	额定电压 1 (最高输出电压)	04 额定 V-1	80~240V (电源电压 160~230V) 320~480V (电源电压 320~480V)	1V	200V 400V
	05	加速时间 1	05 加速时间 1	0.01~3600s	0.01s	6.00s 20.0s
	06	减速时间 1	06 减速时间 1	0.01~3600s		
	07	转矩提升 1	07 转矩提升 1	0.0(自动), 0.1~0.9(风 扇、泵负载), 1.0~1.9 (比例转矩负载), 2.0~ 20.0(恒转矩负载)	0.1%	0.0%
	08	电子热保护 (工 作选择, 电动机 保护)	08 电子热保护	0: 不动作 1: 动作 (通用电机) 2: 动作 (富士变频电机)	—	1
	09	保护值	09 电子热保 护值	相当于适用电动机 (20%~105%) 的电流值	0.0A	相当于 100%
	10	瞬间停电后再启 动 (工作选择)	10 再启动	0: 不动作 (不再启动, LU 立即跳闸) 1: 不动作 (不再启动, 电源恢复时 LU 跳闸) 2: 动作 (继续运转, 重 惯性负载或一般负载用) 3: 动作 (由停电时的频 率再启动, 一般负载用) 4: 动作 (由开始时频率 再启动, 低惯性负载用)	—	1
	11	频率限制器上限	11 上限频率	G9S: 4~400Hz; P9S: 0~120Hz	1Hz	70Hz
	12	频率限制器下限	12 下限频率	G9S: 4~400Hz; P9S: 0~120Hz	1Hz	0Hz

续表

分类	功能码	名称	LCD 画面显示	可设定范围 ≤22kW, ≥30kW	最小 数据	出厂设定值 ≤22kW, ≥30kW
基本功能	13	偏置频率	13 偏置频率	G9S: 4~400Hz; P9S: 0~120Hz	1Hz	0Hz
	14	增益 (频率设定信号)	14 设定增益	0.0~200.0%	0.1%	100%
	15	转矩限制(驱动)	15 驱动转矩	20% ~ 180%, 999% (无限制)	0.1%	180%, 150%
	16	转矩限制(制动)	16 制动转矩	0:(再生回馈)20%~ 180%,999%(无限制)	1%	150%
	17	直流制动开始 频率	17DC 制动器	0.0~60.0Hz	0.1Hz	0.00Hz
	18	直流制动程度	18DC 制动器	0~200%	1%	0%
	19	直流制动时间	19DC 制动器	0.0 (直流制动不动 作), 0.1~300s	0.1s	0.00s
	20	多级频率 1	20 多级 Hz 1	G9S: 0~400Hz P9S: 0~120Hz	0.01Hz	5.0Hz
	21	多级频率 2	21 多级 Hz 2			10.0Hz
	22	多级频率 3	22 多级 Hz-3			20.0Hz
	23	多级频率 4	23 多级 Hz-4			30.0Hz
	24	多级频率 5	24 多级 Hz 5			40.0Hz
	25	多级频率 6	25 多级 Hz 6			50.0Hz
	26	多级频率 7	26 多级 Hz-7			60.0Hz
	27	电子热保护 (DB 电阻)	27DBR 热保护	0: 不动; 1: 动作 (内装 DB 电阻), 仅限于 7.5kW 以下; 2: 动作(外部 DB 电阻), 7.5kW 以上	—	1
	28	自动补偿控制	28 自动补偿	-9.9~5.0Hz	0.1Hz	0Hz
	29	转矩矢量控制	29 转矩矢量	0: 不动作; 1: 动作	—	1, 0
	30	电动机极数	30 电动机极数	2~14 极	2 极	4 极
	31	功能模块	31, 32~41	0: 不显示功能码 32~41 1: 显示功能码32~41	—	1, 0
	32	1~X5 端子 (功能选择)	32X1~X5 功能	0000~2222		0000
	33	加速时间 2	33 加速时间 2	0.01~3600s	0.01s	10.0s, 100s
	34	减速时间 2	34 减速时间 2			10.0s, 100s
	35	加速时间 3	35 加速时间 3			15s, 100s
	36	减速时间 3	36 减速时间 3			15s, 100s
	37	加速时间 4	37 加速时间 4			3.0s, 100s
	38	减速时间 4	38 减速时间 4			3.0s, 100s

续表

分类	功能码	名称	LCD 画面显示	可设定范围 ≤22kW, ≥30kW	最小数据	出厂设定值 ≤22kW, ≥30kW
第 2 U/f 功能	39	基本频率 2	39 基本 Hz	G9S: 50 ~ 400Hz, P9S: 50~120Hz	1Hz	50Hz
	40	额定电压 2 (最高输出电压 2)	40 额定 V-2	80~240V (电源电压 160~230V) 20~480V (电源电压 320~480V)	1V	200V 400V
	41	转矩提升 2	41 转矩提升 2	0.1%~20.0%	0.1%	2.0%
FM 端子 功能	42	功能模块 (43~51)	42, 43~51	0: 不显示功能码 43~51 1: 显示功能码 43~51	—	0
	43	FMP 端子	43FMP 倍数	6~100	1	24
	44	脉冲倍数 电压调整	44FMP 调整	50~120	1	100
	45 46	FMA 端子 电压调整 信号选择	45FMA 调整 46FMA 功能	65~200 0: 输出频率; 1: 输出 电流; 2: 输出转矩; 3: 负载率	—	100 0
输出 端子 功能	47	Y1~Y5 输出 (功能选择)	47 Y1~Y5 功能	00000~FFFFFF 5 种输 出信号 (Y1~Y5) 可 用 5 个, 框内数字独 立设定 0: RUN 运转信号; 1: FAR 频率到达; 2: FDT 频率等级检测; 3: OL 过载预报; 4: LU 欠电 压停止中; 5: 触摸面 板运转中; 6: TL 转矩 限制中; 7: STOP 停止 中; 8: RES 瞬间停电 后恢复电源动作中; 9: 重新执行动作中; A, B: 未使用; C: TP 模 式运转中级别转移; D: TO 模式运转 1 周期结 束; E: STG 模式级别 号码 (Y3~Y5); F: 单 个报警信号 (Y2~Y5)	—	01234

续表

分类	功能码	名称	LCD画面显示	可设定范围 $\leq 22\text{kW}$, $\geq 30\text{kW}$	最小数据	出厂设定值 $\leq 22\text{kW}$, $\geq 30\text{kW}$	
输出端子功能	48	频率到达 (FAR) 检出宽度	48FMR 宽度	0.0~10Hz	0.1Hz	2.5Hz	
	49	频率检测 (FDT) (动作等级) (滞后宽度)	49FDT 等级	G9S: 0~400Hz; P9S: 0~120Hz	1Hz	60Hz	
	50		50FDT 宽度	0.0~30.0Hz	0.1Hz	1.0Hz	
	51	过载预报设定 (OL) 报警值	51OL 预报 (报警值)	相当于适用电动机额定电流 \times (20%~150%) 的电流值	0.01A	相当于 100%	
频率控制	52	功能模块 (53~59)	52, 53~59	0: 不显示功能码 53~59 1: 显示功能码 53~59	—	0	
	53	跳变频率 1	53 跳变 Hz-1	G9S: 0~400Hz P9S: 0~120Hz	1Hz	3Hz	
	54	跳变频率 2	54 跳变 Hz-2				
	55	跳变频率 3	55 跳变 Hz-3				
	56	跳变频率 (宽度)	56 跳变宽度	0~30Hz	0.1Hz	3Hz	
	57	启动频率 (频率)	57 启动 Hz	0.2~60.0Hz	0.1Hz	0.5Hz	
	58	继续时间	58 启动时间	0.0~10.0s	0.1s	0.0s	
	59	频率设定滤波器	59Hz 设定滤波器	0.01~5.00s	0.01s	0.0s	
LED LCD 显示	60	功能模块 (61~79)	60, 61~79	0: 不显示功能码 61~79 1: 显示功能码 61~79	—	0	
	61	LED 监视器 (表示选择)	61LED 监视器 1	0~8 (9种选择)	—	0	
	62	LED 监视器 (停止中显示)	62LED 监视器 2	0: 显示 (闪烁) 设定值 1: 显示输出值 (闪烁)	—	0	
	63	速度系数 (负载速度)	63 速度系数	0.01~200.0 (对频率的系数)	0.01	0.01	
	64	LCD 监视器 (显示选择)	64LCD 监视器	0: RUN 或 STOP 显示 1: 棒图 (设定频率/输出频率) 2: 棒图 (输出频率/输出电流) 3: 棒图 (设定频率/输出转矩) 4: 棒图 (GE 动转矩/制动转矩)	—	0	

续表

分类	功能码	名称	LCD画面显示	可设定范围 ≤22kW, ≥30kW			最小数据	出厂设定值 ≤22kW, ≥30kW
特性 曲线 运转	65	模式运转 (方式选择)	65 模式运转-1	0: 不动作; 1: 断续周期; 2: 连续周期; 3: 保持最终值			—	0
	66	计时器-1	66 特征曲线-1	计时器: 0.00~600s			0.01s	0.00s
	67	计时器-2	67 特征曲线 2	旋转方向、加减时间; F1~F4、R1~R4				
	68	计时器-3	68 特征曲线-3	设定	旋转方向	加减速 时间选择		
	69	计时器-4	69 特征曲线-4	F1	正	1		
	70	计时器-5	70 特征曲线-5	F2	正	2		
	71	计时器-6	71 特征曲线-6	F3	正	3	—	F1
	72	计时器-7	72 特征曲线-7	F4	止	4		
				R1	反	1	—	F1
				R2	反	2		
				R3	反	3		
			R4	反	4			
	73	曲线加减速 (方式选择)	73 曲线加减速	0: 线性加减速; 1: S型加减速; 2: 曲线加减速			—	0
特殊 功能 1	74	带串联式制动器 电动机驱动	74 带 S 制动器的 电动机	0: 不动作; 1: 动作			—	0
	75	自动节能运转	75 节能	0: 不动作; 1: 动作			—	0
	76	防止反转	76 防止反转	0: 不动作; 1: 动作			—	0
	77	数据初始化	77 数据初始化	0: 手动设定值 1: 初始值(工厂出厂值)				
	78	语言(日语/英语)	78 日语/英语	0: 日语; 1: 英语			—	0
	79	LCD(亮度调整)	79LCD 亮度	0: (自动); 1(淡)~10 (浓)				5
	80	功能模块(80~94)	80, 81~94	0: 不显示功能码 81~94 1: 显示功能码 81~94			—	0
81	运转声音调整 (载波频率)	81 运转声音	0 (低载波频率) ~ 10 (高载波频率)			—	10	

续表

分类	功能码	名称	LCD画面显示	可设定范围 ≤22kW, ≥30kW	最小数据	出厂设定值 ≤22kW, ≥30kW
特殊功能 1	82	瞬间停电后再启动	82再启动等待时间	0.0~5.0s	0.1s	0.1s, 0.55s
	83	(等待时间) (频率降低率)	83再启动降低率	0.00~100.00Hz	0.01Hz	10.0Hz, 100Hz
	84	再执行(次数)	84再执行次数	0~7次	1次	0次
	85	(等待时间)	85再执行等待时间	2~20s	1s	5s
电动机特性	86	电动机1(容量)	86电动机容量	0: 提高值; 1: 标准; 2: 降低1级; 3: 降低2级	—	1
	87	(额定电流)	87电动机1-Ir	0.00~2000A	0.01A	标准额定值
	88	(无负载电流)	88电动机1-I0	0.00~2000A	0.01A	标准额定值
	89	电动机2 (额定电流)	89电动机2-Ir	0.00~2000A	0.01A	标准额定值
	90	电动机 (整定: %R·1, %X)	90整定	0: 不动作; 1: 动作		0
	91	%R1 额定	91 %R1 设定	0: 0.00~50.0%	0.01%	标准值
92	%K 设定	92 %X 设定	0: 0.00~50.0%	0.01%	标准值	
特殊功能	93	93 制造厂用 1	93 制造厂用 1	0.00~1.00	0.01	
	94	94 制造厂用 2	94 制造厂用 2	0.00~1.00	0.01	
	95	95 数据保护	95 数据保护	0: 可变更数; 1: 数据保护	—	0

第二节 通用变频器标准接线

各种系列的变频器都有其标准接线端子, 这些接线端子与其自身功能的实现密切相关。变频器接线主要包括主电路接线和控制电路接线。FRN-G9S/P9S 系列变频器的基本接线如图 4-2-1 所示。

一、主电路接线

图 4-2-2 为 FRN-G9S/P9S 系列变频器的主电路接线端子。

(一) 主电路电源端子 (R、S、T)

交流电源通过断路器或漏电保护的断路器连接至主电路电源端子 (R、S、T),

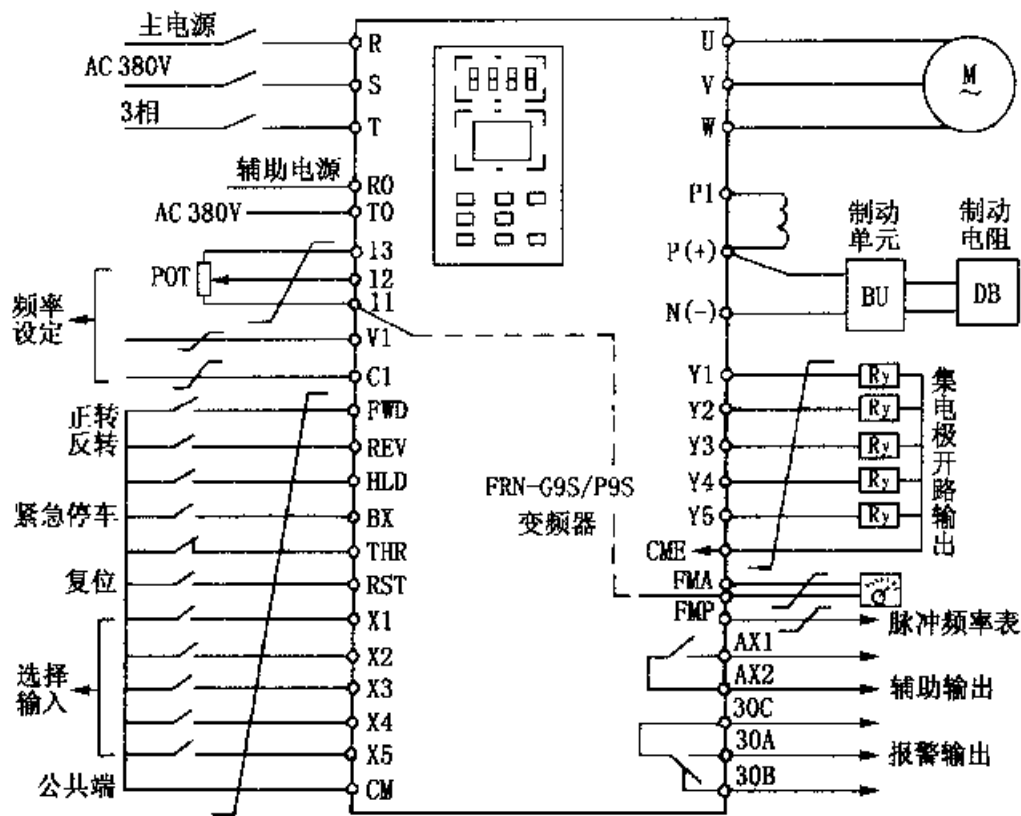


图 4-2-1 FRN-G9S/P9S 变频器的基本接线

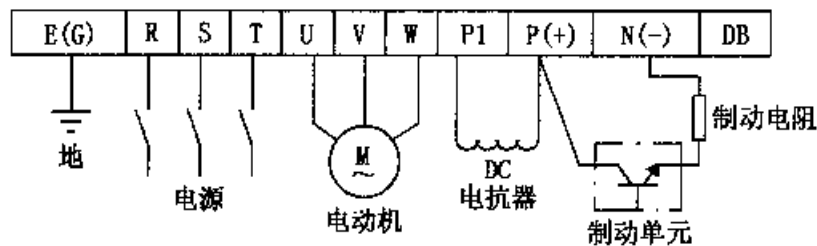


图 4-2-2 主电路接线端子

电源的连接不需考虑相序。交流电源最好通过一个电磁接触器连接至变频器。不要用主电源开关的接通和断开来启动和停止变频器运行，而应使用控制端子 FWD/REV 或控制面板上的 RUN/STOP 键。不要将三相变频器连接至单相电源。

(二) 变频器输出端子 (U、V、W)

变频器输出端子 (U、V、W) 按正确相序连接三相电动机。当运行命令和电动机的旋转方向不一致时，可在 U、V、W 三相中任意更改两相接线，或将控制电路端子 FWD/REV 更换一下。从负载端看进去，电动机逆时针旋转时转向为正转。不要将功率因数校正电容器或浪涌吸收器连接至变频器的输出端，更不要将交流电源连接至变频器的输出端。

(三) DC 端子 P1、P(+)

这两个端子用于连接改善功率因数 DC 电抗器选件。当不用 DC 电抗器时，应

将 P1 和 P(+)-之间牢固连接。

(四) 外部制动电阻端子 P(+)、DB

额定容量比较小的变频器有内装的制动单元和制动电阻，故才有 DB 端子。如果内装制动电阻的容量不够，则需要将较大容量的外部制动电阻选件连接至 P(+)、DB。

(五) 制动单元和制动电阻端子 P(+)、N(-)

7.5kW 或更大功率的变频器没有内装制动电阻。为了增加制动能力，必须外接制动单元选(购)件。制动单元接于 P(+)、N(-)端，制动电阻接于制动单元 P(+)-和 DB 端。制动单元与制动电阻间若采用双绞线，其间距应小于 10m。

(六) 接地端子 E (G)

为了安全和减小噪声，接地端子必须接地。接地导线应尽量粗，距离应尽量短并应采用变频器系统的专用接地方式。

二、控制电路接线

FRN-G9S/P9S 系列变频器的控制端子如图 4-2-3 所示。在变频器出厂时，已将 FWD 和 CM、THR 和 CM 短接，此时当变频器送电后，可直接利用控制面板(功能单元)操作变频器的运行。变频器的控制端子分为五部分：频率输入端子、控制信号输入端子、控制信号输出端子、输出信号显示端子和无源触点端子。

30kW以上		22kW以下	
AX2	AX1	30C	30A
30A	30C	30B	30B
30B	Y1	Y1	Y1
CME	Y3	Y2	Y3
Y2	Y5	Y4	Y5
Y4	C1	11	C1
11	V1	12	FMA
12	FMA	13	FMP
13	FMP	CM	X1
CM	X1	FWD	X2
FWD	X2	REV	X3
REV	X3	CM	X4
CM	X4	THR	X5
THR	X5	HLD	RST
HLD	RST	BX	
BX			

图 4-2-3 控制电路连接端子

(一) 频率输入端子

11、12、13 这 3 个端子接电位器 (POT) 进行频率的外部设定。其中 13 为正电源端 +10V, 12 为中间滑动端, 11 为电压设定和电流设定的公共地。

V1 为电压输入信号 0~10V, 进行频率的外部给定。

C1 为电流输入信号 4~20mA, 进行频率的外部设定。

(二) 控制信号输入端子

CM 为公共端, 是所有开关量输入信号的参考点。

FWD、REV 为输入正反转操作命令, FWD-CM 闭合时为正转命令, REV-CM 闭合时为反转命令。如果 FWD-CM 和 REV-CM 同时闭合, 则减速停止

HLD 是 FWD/REV 命令保持信号, 图 4-2-4 是应用 HLD 端子的接线和工作原理图。

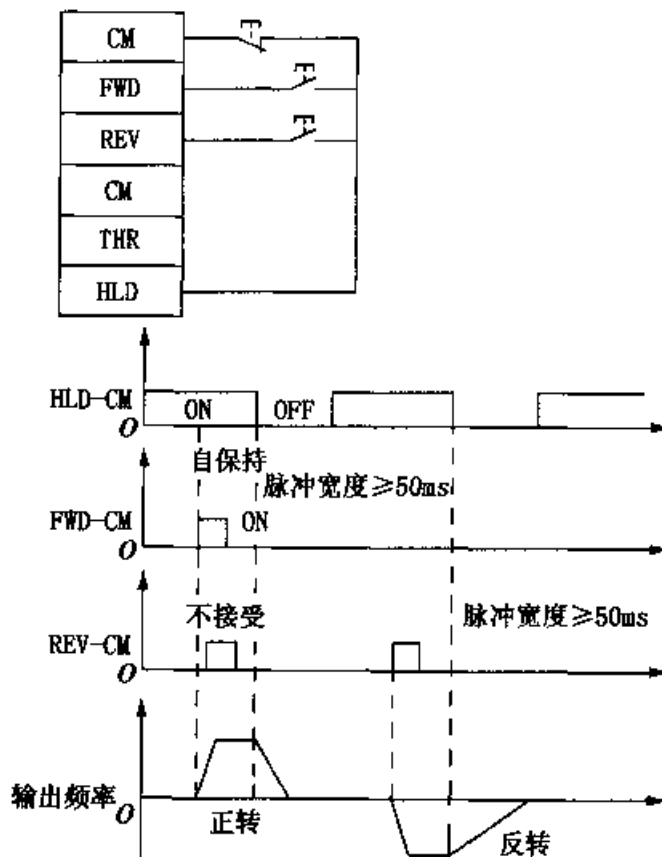


图 4-2-4 自保持端子 HLD 的接线

THR 为外部报警输入端, 当电动机过载或制动电阻过热时, 可使其报警信号输入到该端子, 让变频器停止工作, THR-CM 为常闭触点。

BX 为自由停车命令, 当 BX-CM 闭合时电动机自由停车。

RST 为报警复位信号, 当 RST-CM 闭合时保护动作复位。

X1、X2、X3、X4、X5 这 5 个输入端子的公共端均是 CM。X1-CM 闭合时为 X1 有效, 断开时为无效。X1~X5 各个端子有效时, 可完成的功能是通过程序设

定来改变的，参见表 4-1-2 中的功能码 32，可设定为多段速度运行模式。

(三) 控制信号输出端子

控制信号输出端子为 Y1~Y5，均为集电极开路输出端，CME 为 Y1~Y5 的公共端。图 4-2-5 为 Y1~Y5 输出接线，每个端子输出的信号可自由设定，参见表 4-1-2 中的功能码 47。

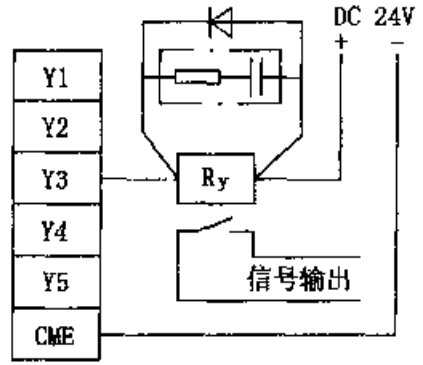


图 4-2-5 Y1~Y5 端子输出接线

(四) 输出信号显示端子

FMA 为模拟信号输出端子。可通过功能码 46 设定输出信号，输出 DC 0~10V 电压信号、输出频率、输出电流、输出转矩和负载率。该输出信号可用于显示或驱动其他设备，一般应将 FMA 端子的输出信号种类设定为频率输出。

FMP 为脉冲频率输出端子。脉冲频率 ($\leq 6\text{kHz}$) = 变频器输出频率脉冲倍率 (6~100)。FMP-CM 信号可用于显示或驱动其他设备。

(五) 无源触点端子

30A、30B、30C 为故障报警继电器输出端子。当变频器保护功能动作时，输出继电器触点信号。当变频器正常时，触点信号如图 4-2-6 (a) 所示；当故障报警时，触点信号如图 4-2-6 (b) 所示。触点容量为 250V/0.3A。

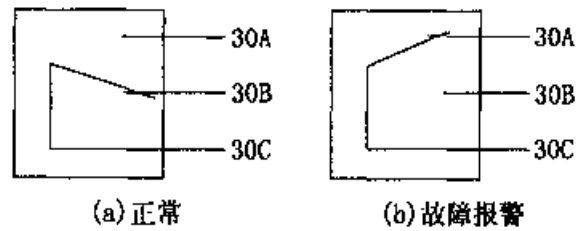


图 4-2-6 报警继电器的内部结构

AX1、AX2 为电源侧接触器断开指令输出端子。在主电源的输入部分中设有接触器时，可利用无源触点 AX1 和 AX2 的输出信号断开该接触器。触点容量为 250V/0.3A。22kW 以下的变频器无此端子。

三、控制电源与辅助电源的连接

目前的通用变频器除了有主电源端子外，还有控制电源和辅助电源的端子，如图 4-2-7 所示。

(一) 控制电源端子

变频器的控制电源取自变频器主电路的直流侧。当变频器发生故障报警而跳闸时，主接触器有可能被断开，此时变频器主电路直流侧断电，从而使控制电源无法供电，导致故障报警指示消失。因此，应在断路器和接触器之间引电源至 RO 和 TO 端。

(二) 辅助电源端子

U1 和 U2 端子仅为 400V 系列变频器提供。当主电路输入电压处在表 4-2-1 所示的范围内时，辅助电源端应接至 U1 或 U2 上。变频器出厂时，接至 U2 端。

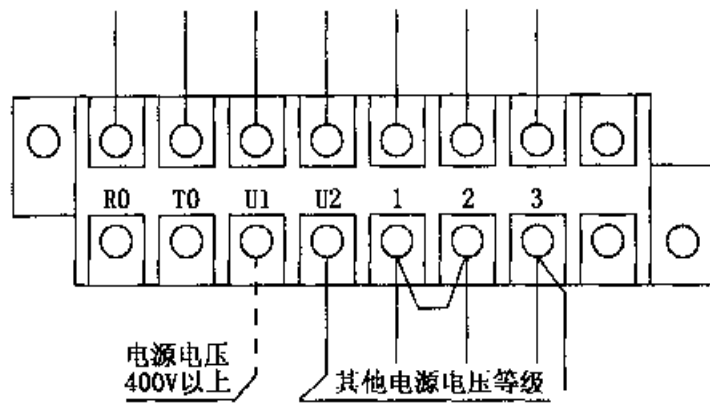


图 4-2-7 控制电源和辅助电源端子

表 4-2-1 辅助电源端子接线

接至端子	电源电压 (V, 50Hz)	电源电压 (V, 60Hz)
U1	400~420	430~480
U2	400 以下	430 以下

(三) 冷却风扇电源端子

冷却风扇电源端子 1、2、3 是为维护和更换冷却风扇时而用的，一般最好不要使用。

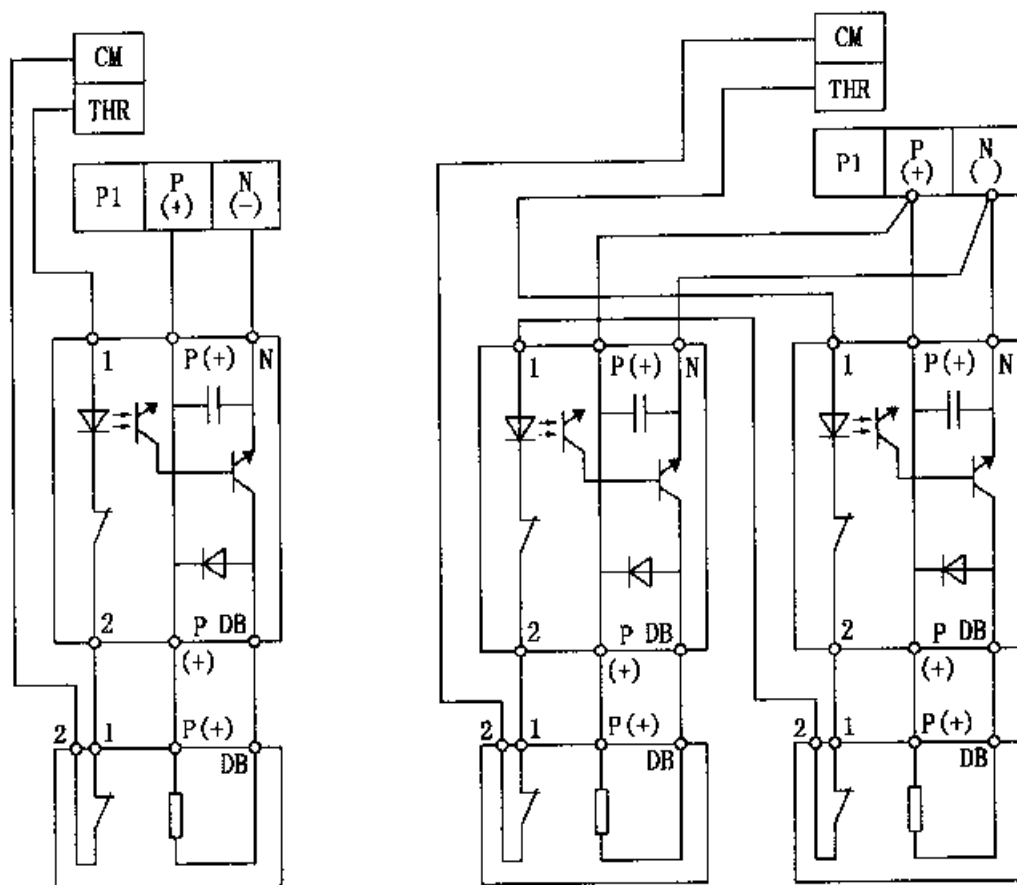
四、制动单元与制动电阻的连接

变频器运行时，当需要进行频繁制动或高转矩制动时，应按照规定连接制动单元和制动电阻，如图 4-2-8 所示。制动单元的 P(+)、N 端分别接至变频器主电路 P(+)、N(-) 端子，制动电阻 P(+)、DB 端、分别接至制动单元 P(+)、DB 端。制动单元和制动电阻的过热保护装置 1、2 端接至变频器控制电路 THR、CM 端子。变频器在连接制动单元和制动电阻时，应根据其使用率、放电能力和最大转矩来选择。

五、控制端子外部接线

变频器在实际系统中往往不是独立运行而是相互连锁的，共同完成系统的变频调速控制，如图 4-2-9 所示。图中，KM 为主接触器，SBZ、SBF、SBT 分别为变频器的正转、反转、停止按钮，SBA、SBD 分别为送电、断电按钮，Ry 为控制继电器，HA 为报警灯，HL1、HL2 分别为报警灯和变频器运行指示灯，FM 为变频器输出频率显示表。

变频器频率给定信号通过计算机集散系统 DCS 输出 4~20mA 电流信号给端子



(a) 1个制动单元和1个制动电阻连接

(b) 2个制动单元和2个制动电阻连接

图 4-2-8 制动单元和制动电阻的连接

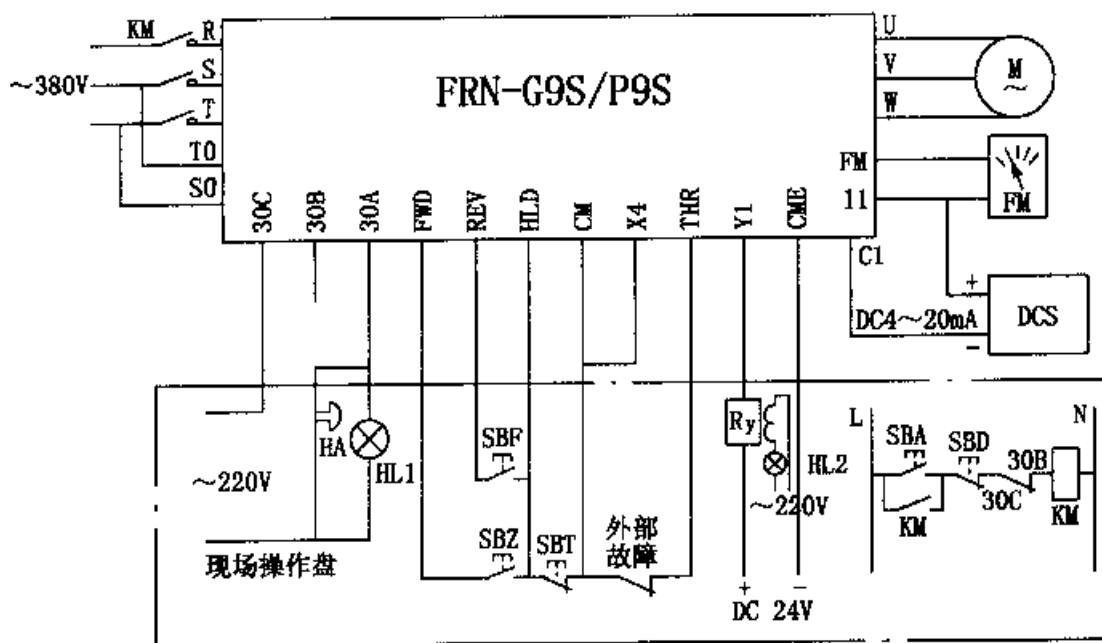


图 4-2-9 变频器控制端子接线

1~11, 同时设定功能码 32, 使 X4、CM 闭合。FWD、CM 闭合为电动机正转; REV、CM 闭合为电动机反转; Y1、CME 输出变频器运行信号; 当变频器出现故障报警而跳闸时, 30A、30C 闭合, 报警指示灯亮, 报警铃响, 同时 30B、30C 断开, 切断主接触器 MC。FM-11 输出 DC 0~10V, 用于输出频率显示。THR-CM 为制动电阻, 控制电动机和电动机外部报警输入。

第三节 变频器与 PLC 的连接

当利用变频器构成自动控制系统时, 往往需要与 PLC 等上位机配合使用, 如电梯控制、包装机控制等。

一、变频器的接口电路

(一) 运行信号的输出

变频器的输出信号中包括对运行/停止、正转/反转、微动(寸动)等运行状态进行操作的运行信号(数字输入信号)。变频器通常利用与 PLC 连接, 得到这些运行信号。常用的 PLC 输出有两种类型: 继电器接点输出和晶体管输出。图 4-3-1 所示为变频器与 PLC 连接的两种方式。在使用继电器接点输出的场合, 为防止出现因接触不良而带来的误动作, 要考虑接点容量及继电器的可靠性。而当使用晶体管集电极开路形式连接时, 也同样需要考虑晶体管本身的耐压容量和额定电流等因素, 使所构成的接口电路具有一定的裕量, 以达到提高系统可靠性的目的。

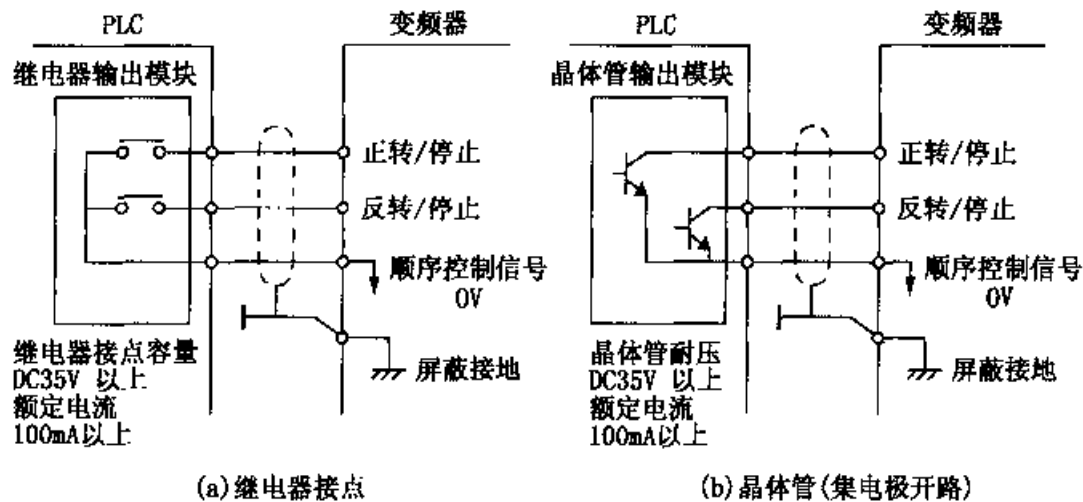


图 4-3-1 运行信号的连接方式

(二) 频率指令信号的输入

如图 4-3-2 所示, 频率指令信号可以通过 0~10V、0~5V、0~6V 等电压信号和 4~20mA 的电流信号输入。由于接口电路因输入信号而异, 必须根据变频器的

输入阻抗选择 PLC 的输出模块。而连线阻抗的电压降以及温度变化、器件老化等带来的漂移则可通过 PLC 内部的调节电阻和变频器内部参数进行调节。

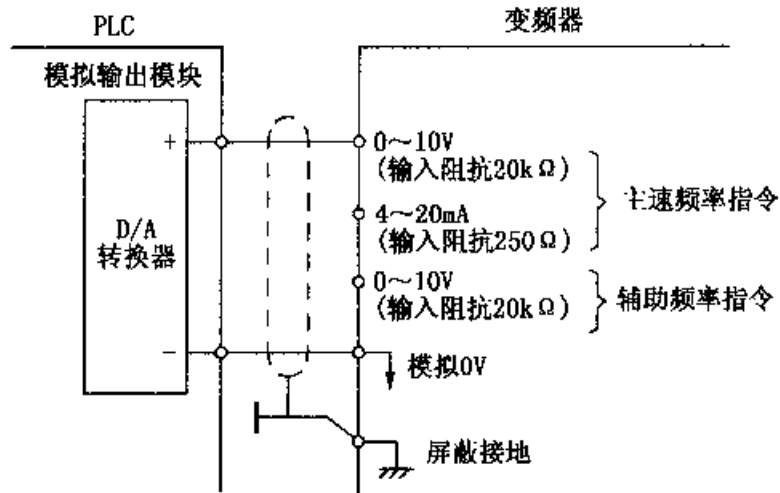


图 4-3-2 频率指令信号与 PLC 的连接

当变频器和 PLC 的电压信号范围不同时（例如，变频器的输入信号为 0~10V 而 PLC 的输出电压信号为 0~5V），也可通过变频器的内部参数进行调节，如图 4-3-3 所示。但由于在这种情况下只能利用变频器 A/D 转换器的 0~5V 部分，所以和输出信号在 0~10V 范围的 PLC 相比，进行频率设定时的分辨率将会更差。反之，当 PLC 一侧的输出信号电压为 0~10V 而变频器的输入信号电压为 0~5V 时，虽然也可通过降低变频器内部增益的方法使系统工作，但由于变频器内部的 A/D 转换被限制在 0~5V，将无法使用高速区域。这时若要使用高速区域，可调节 PLC 的参数或电阻的方式将输出电压降低。

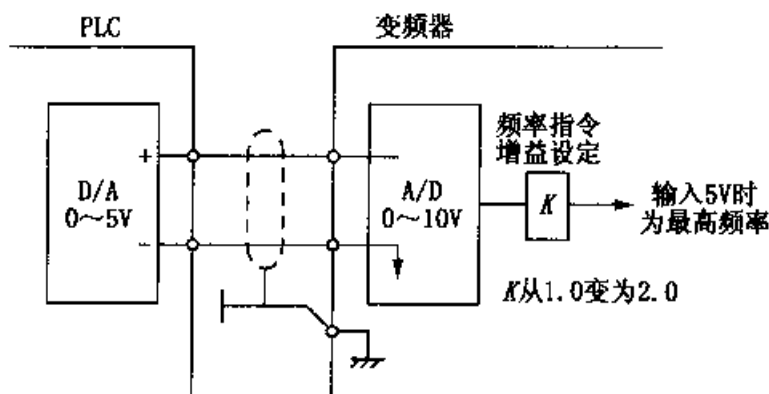


图 4-3-3 输入信号电平转换

通用变频器通常都还备有作为选件的数字信号输入接口卡，可直接利用 BCD 信号或二进制信号设定频率指令，如图 4-3-4 所示。使用数字信号输入接口卡进行频率设定可避免模拟信号电路所具有的电压降和温差变化带来的误差，以保证必要

的频率设定精度。

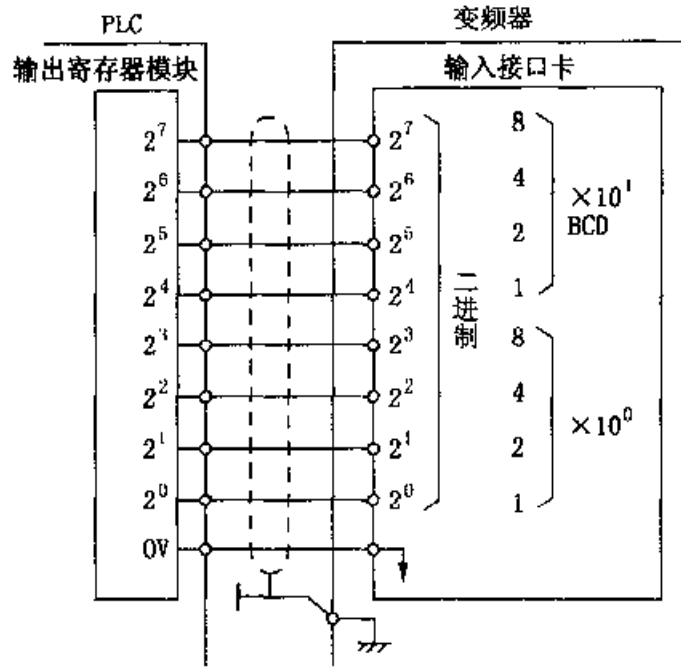


图 4-3-4 二进制信号和 BCD 信号连接

变频器也可将脉冲序列作为频率指令，如图 4-3-5 所示。由于当以脉冲序列作为频率指令时需要使用 F/V 转换器将脉冲转换为模拟信号，当利用这种方式进行精密的转速控制时，必须考虑 F/V 转换器电路和变频器内部 A/D 转换电路的零漂、由温度变化带来的漂移以及分辨率等问题。

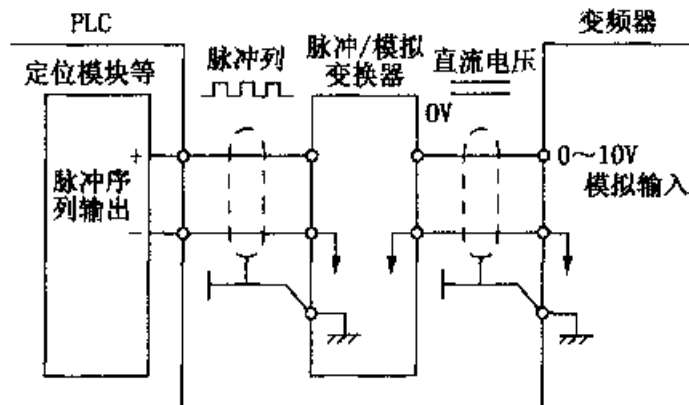


图 4-3-5 脉冲序列作为频率指令时的连接

当不需要进行无级调速时，可利用 X1~X3（FRNG9/P9 系列为 X1~X5）输入端子，通过接点的组合使变频器按照事先设定的频率进行调速运行，这些运行频率可通过变频器的内部参数进行设定，而运行时间可由 PLC 输出的开关量来控制。与利用模拟信号进行调速给定的方式相比，这种方式的设定精度高，也不存在由漂

移和噪声带来的各种问题。

(三) 接点输出信号

在变频器的工作过程中，常需要通过继电器接点或晶体管集电极开路输出的形式将变频器的内部状态（运行状态）通知外部，如图 4-3-6 所示。而在连接这些送给外部的信号时，也必须考虑继电器和晶体管的允许电压、允许电流等因素，以及噪声的影响。例如，在主电路（AC 200V）的开闭是以继电器进行而控制信号（DC 12~24V）的开闭是以晶体管进行的场合，应注意将布线分开，以保证主电路一侧的噪声不传至控制电路。

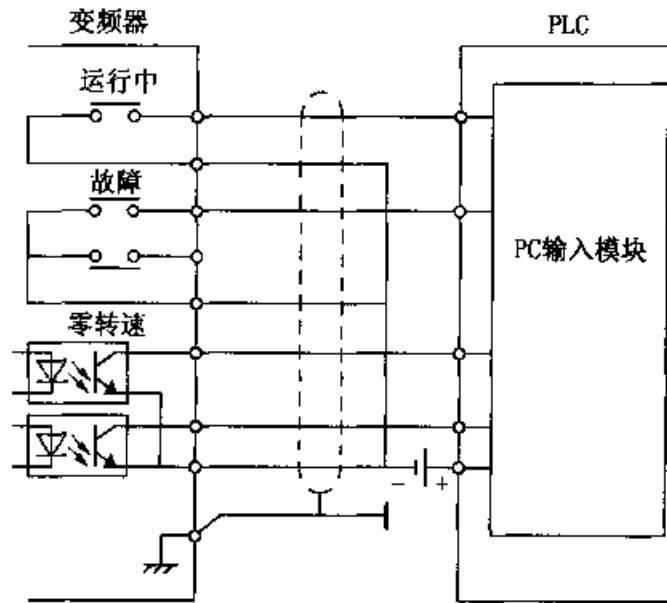


图 4-3-6 接点输出信号的连接

在对带有线圈的继电器等感性负载进行开闭时，必须以和感性负载并联的方式接上浪涌吸收器或续流二极管；而在对容性负载进行开闭时，则应以串联的方式接入限流电阻，以保证开闭时的浪涌电流值不超过继电器和晶体管的容许电流值。

二、连接注意事项

(一) 瞬时停电后的继续运行

在利用变频器的瞬时停电后继续运行的功能时，如果系统连接正确，则变频器在系统恢复供电后将进入自寻速过程，并将根据电动机的实际转速自动设置相应的输出频率后重新启动。但是，也会出现由于瞬时停电，变频器可能将运行指令丢失的情况，在重新恢复供电后不能进入自寻速模式，仍然处于停止输出状态，甚至出现过电流的情况。因此，在使用该功能时，应通过保持继电器或为 PLC 本身准备无停电电源等方法将变频器的运行信号保存下来，以保证恢复供电后系统能够进入正常的工作状态，如图 4-3-7 所示。在这种情况下，频率指令信号将在保持运行信

号的同时被自动保持在变频器内部。

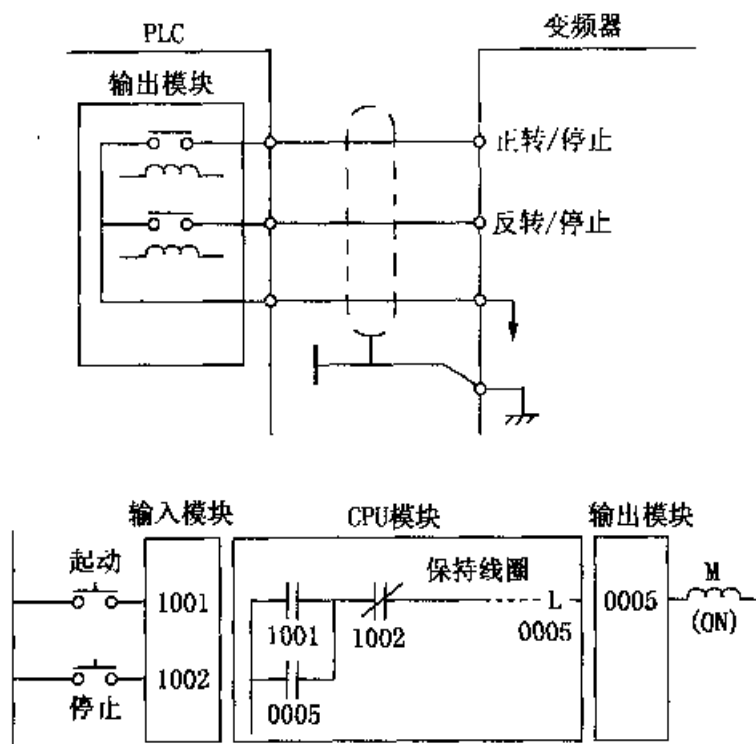


图 4-3-7 PLC 保持继电器回路

(二) PLC 扫描时间的影响

在使用 PLC 进行顺序控制时，由于 CPU 进行处理需要时间，总是存在一定时间（扫描时间）的延迟。在设计控制系统时必须考虑上述扫描时间的影响，尤其在某些场合下，当变频器运行信号投入的时刻不确定时，变频器将不能正常运行，在构成系统时必须加以注意。图 4-3-8 给出了以自寻速功能为例的例子，图中“*”表示寻速信号应比运行（正转、反转）信号先接通或同时接通。

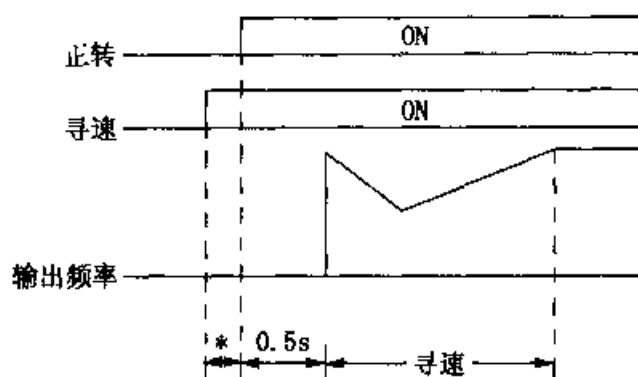


图 4-3-8 PLC 扫描时间的影响

(三) 通过数据传输进行的控制

在某些情况下，变频器的控制（包括各种内部参数的设定）是通过 PLC 或其

他上位机进行的。在这种情况下，必须注意信号线的连接以及所传数据顺序格式等是否正确，否则将不能得到预期的结果。此外，在需要对数据进行高速处理时，往往需要利用专用总线构成系统。

三、接地和电源系统

为保证 PLC 不因变频器主电路断路器产生的噪声而出现误动作，必须注意以下几点。

(1) 对 PLC 本体按照规定的标准和接地条件进行接地，应避免与变频器使用共同的接地线，并在接地时尽可能使二者分开。

(2) 当电源条件不好时，应在 PLC 的电源模块以及输入、输出模块的电源线上接入噪声滤波器和降低噪声用的变压器等，或在变频器一侧采取相应措施，如图 4-3-9 所示。

(3) 当把变频器和 PLC 安装在同一操作柜中时，应尽可能使与变频器有关的电线和与 PLC 有关的电线分开。

(4) 通过使用屏蔽线和双绞线达到提高抗噪声水平的目的。当配线距离较长时，对于模拟信号来说应采取 4~20mA 的电流信号或在途中加入放大电路等措施。

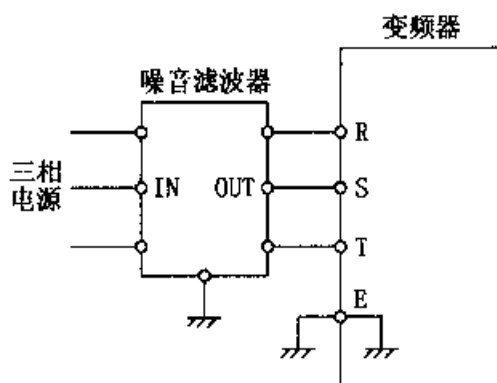


图 4-3-9 噪声滤波器的连接

第四节 变频器的其他功能

一、特殊功能

(一) 电动机转矩提升的设定

所有的通用变频器都有转矩提升的功能码设定，也就是基于电压/频率曲线协调控制原理的 U/f 曲线而设定。 U/f 对于电动机合理运行的意义重大，图 4-4-1 是变频器的转矩提升曲线。

为使电动机合理运行，在 $f=0\text{Hz}$ 时，电压 U 为某一确定的大于零的值，即 A 点。该点的值与负载性质有关，如果 A 点过高，系统效

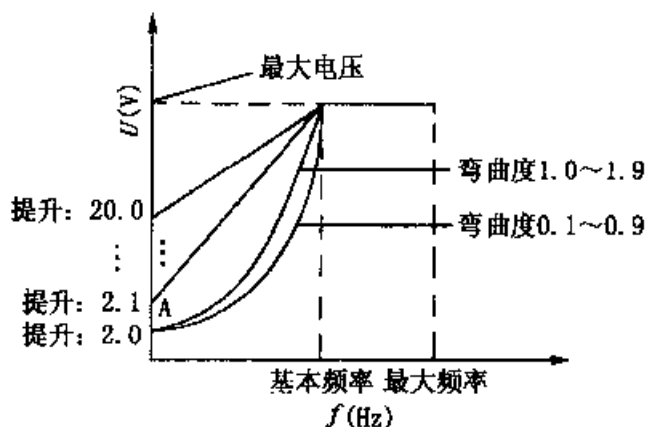


图 4-4-1 变频器转矩提升曲线

率就会降低，电动机容易发热；如果 A 点偏低，电动机的低频转矩变小。因此，人们也把选择 U/f 曲线称为转矩提升。在 FRN-G9S/P9S 系列中，可选择自动转矩提升和手动转矩提升模式。自动转矩提升模式的设定是变频器自身完成的；手动转矩提升模式是按照使用情况设定合适的提升值，其提升值的范围为 0.1~20 曲线弯曲度，强 1.0~1.9、弱 0.1~0.9。

(二) 跳跃频率

用变频器为交流电动机供电时，系统可能发生振荡现象，使变频器过电流保护或系统跳闸。发生振荡的原因有两个：电气频率与机械频率发生共振；纯电气电路引起的，如功率开关管的死区控制时间、中间直流回路电容电压的波动及电动机滞后电流的影响等。振荡现象在以下的情况下容易发生：轻负载或没有负载，系统机械惯量小，变频器 PWM 波形的载波频率高，电动机和负载连接松动。

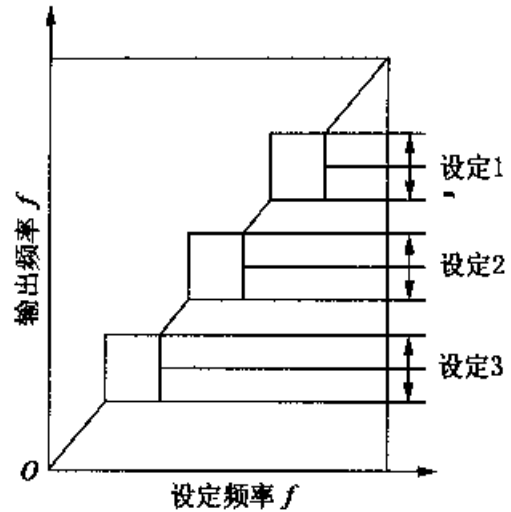


图 4-4-2 跳跃频率

为避免振荡现象的发生，通用变频器都设有跳跃频率，以避开那些振荡频率。FRN-G9S/P9S 系列可通过功能码 53、54、55 设定 3 个跳跃频率。跳跃频率的宽度范围为 0~30Hz，由功能码 56 设定。如图 4-4-2 所示，跳跃频率宽度以设定值为中心，上下各为 50%。

(三) 瞬时停电再启动

由于工业现场比较复杂，有时会发生瞬时停电或瞬时欠电压情况。在负载运行中，发生瞬时停电或电压下降时，变频器一般在大约数秒内即停止输出。当恢复供电时，对大多数变频器来说，均有再启动和自寻速功能，但也会出现电动机处于旋转中（惯性）而变频器却启动不起来的现象，有效的方法是设定瞬时停电再启动功能。瞬时停电后，只要变频器功能单元有显示，再启动功能始终维持。当供电恢复时，变频器瞬时停电再启动功能可与电流限制功能同时作用，使正在自由旋转的电动机平滑地加速再启动。FRN-G9S/P9S 系列变频器瞬时停电再启动共有 5 种工作方式：0—不动作（不再启动，瞬时欠电压跳闸）；1—不动作（不再启动，供电恢复后欠电压跳闸）；2—动作（继续运行，运用于重惯性负载和一般负载）；3—动作（按停电时的频率再启动，适用于一般负载）；4—动作（按启动频率再启动，适用于小惯性负载）。

(四) 第二电动机功能

变频器第二电动机功能主要用于一台变频器驱动两台电动机时的分时工作，当第二台电动机的一些工作特性不同于第一台电动机时，需另设一套参数与之配合，

这套参数称为第二电动机功能。在 FRN-G9S/P9S 系列变频器中，主要有转矩提升 2、基本频率 2、额定电压 2、加速时间 2、减速时间 2 和额定电流 2。将功能码 32 中 X5 设定为 1 且控制电路端子 X5-CM 闭合后，才能使第二电动机功能有效。第二电动机功能应用时，变频器的某些功能可能失效或降低，故应特别引起注意。对于 FRN-G9S/P9S 系列，可能发生的主要影响有：转矩矢量控制失效；自动转矩提升失效；转矩限制失效；再生能量限制失效；瞬时停电后再启动功能降低；电子热过载继电器积算动作失效；转矩输出的误差大；节能运行时效果欠佳；转差补偿效果不好；数据保护功能改变；直流制动功能减弱。

二、自保护功能

目前市场上主流机型的通用变频器不仅产品性能好，而且自诊断功能、报警及保护功能也非常齐全，熟悉这些功能对于正确使用变频器极其重要。FRN-G9S/P9S 系列的保护功能见表 4-4-1。

当变频器出现表 4-4-1 所示的保护功能显示时，说明变频器保护功能动作，这时应该检查原因并及时处理。对于不同的保护动作，应按表 4-4-2 所列的检查要点和处理方法进行。

表 4-4-1 FRN-G9S/P9S 系列变频器的自保护功能

保护功能	键盘面板显示		保护动作	
	LED	LCD		
过电流	OC1 OC2 OC3	OC DURING ACC OC DURING DEC OC AT SET SPD	加速时 减速时 恒速运转时	电动机过电流或输出端发生短路等情况，逆变器的输出电流瞬时值大于电流检测值时，过电流保护功能动作
过电压	OU1 OU2 OU3	OV DURING ACC OV DURING DEC OV AT SET SPD	加速时 减速时 恒速运转时	由于电动机的再生电压增加，使主电路直流电压达到过电压检测值时保护动作；但当逆变器输入侧错误地施加过高的电压时，则不能保护 过电压检测值：200V 系列时为 400V；400V 系列时为 800V
欠电压	LU	UNDERVOLTAGE		当电源电压降低等使主电路直流电压低至欠电压检测值时，保护功能动作。如选择瞬时停电再启动功能则电源中断，显示 LU；电源恢复时 LU 自动复位，进行再启动，这时不输出报警信号。如当电压值降至不能维持逆变器控制电路电压时，则全部保护功能动作将自动复位。欠电压检测值：200V 系列时为 200V；400V 系列时为 400V

保护功能	键盘面板显示		保护动作
	LED	LCD	
散热板过热	OH1	FIN OVERHEAT	如冷却风扇发生故障, 则冷却整流二极管和 IGBT 功率模块的散热板温度上升, 保护动作
外部报警输入	OH2	EXT FAULT	当控制电路端子 THR-CM 间连接制动单元、制动电阻, 外部热过载继电器等设备的报警常闭接点断开时, 按接到的信号动作
逆变器过热	OH3	HIGH AMB TEMP	如逆变器内部通风散热不良, 其内部 (主要是控制部分) 温度上升, 则保护动作
电动机过载	OL	MOTOR OL 更换冷却风扇	当电动机电流 (逆变器输出电流) 超过电子热过载继电器的设定值时, 动作保护, 此功能可保护标准 4 极三相电动机, 由一台逆变器驱动多台电动机时, 各台电动机都必须安装各自的热过载继电器
逆变器过载	OLU	INVERTER OL	当逆变器输出电流超过规定的反时限特性的额定过载电流时, 保护动作
熔断器烧断	FUS	DC FUSE OPEN	当由于 IGBT 功率模块烧损、短路等原因使主电路直流部分的熔断器烧断时, 动作保护 (仅对 $\geq 11\text{kW}$ 逆变器)
存储器出错	Er1	MEMORY ERROR	存储器发生数据写入错误时, 动作保护
通信出错	Er2	KEYPD COM ERROR	当由键盘面板输入 RUN 或 STOP 命令时, 如键盘面板和控制部分传递的信号不正确或检测出传送停止, 则动作保护
CPU 出错	Er3 Er4 Er5	CPU ERROR	由于噪声、CPU 出错、动作保护、使用选件卡出错时, 保护动作
自整定出错	Er7	TUNING ERROR	在自动调整时, 如逆变器与电动机之间的连接线断路或接触不好, 则保护动作

表 4-4-2 检查要点和处理方法

显示	检查要点	处理方法
OC1	电源电压是否在允许的极限内 输出回路短路 不合适的转矩提升 不合适的加速时间 其他	调整电源电压 输出回路绝缘, 用兆欧表测量电动机绝缘 调整到适当的值 延长加速时间 增大变频器容量或减轻负载

续表

显示	检查要点	处理方法
OC2	电源电压是否在允许的极限内 输出回路短路 不合适的减速时间 其他	调整电源电压 输出回路绝缘, 用兆欧表测量电动机绝缘 延长加速时间 增大变频器容量或减轻负载
OC3	电源电压是否在允许的极限内 输出回路短路 负载突然改变 其他	调整电源电压 输出回路绝缘, 用兆欧表测量电动机绝缘 消除突变负载, 增大变频器容量或减轻负载 查找噪声干扰
OU1 OU2 OU3	电源电压是否在允许的极限内 输出回路短路 加速时间 负载突然改变	调整电源电压 输出回路绝缘 延长加速时间 连接制动电阻
OH1 OH3	环境温度是否在允许极限内 冷却风扇的运行 (1.5kW 以上) 负载超过允许极限	调整到合适的温度 清除散热片堵塞, 更换冷却风扇 减轻负载, 增大变频器容量
OH2	THR-CM 间接线有无错误 检查外部制动单元端子 1、2	重新接线 减轻负载, 调整环境温度, 降低制动频率
LU	电源电压是否在允许的极限内 KM、QF 闭合状态 电源断相 在同一电源系统中是否有人起电流 负载	调整电源电压 闭合 KM、QF 改变供电系统 改正接线 检查电源电容
OLU	电子热过载继电器不正确设定 负载超过允许极限	适当设定热过载继电器 减轻负载, 增大变频器容量
FUS	变频器内主电路是否短路	更换熔断器
Er1	存储出错	切断电源后重新给电
Er2	关闭出错	将功能单元插好
Er3	CPU 出错	变频器故障, 维修
Er7	端子 U、V、W 开路 功能单元没接好	将 U、V、W 端子接电动机将功能单元接好

第五节 变频器的使用与测量

一、使用变频器的注意事项

(一) 接线与防止噪声

(1) 选用在输出侧最大电流时的电压降为额定电压 2% 以下的电缆尺寸。

(2) 弱电控制线距离电力电源线至少 100mm 以上，绝对不可放在同一导线槽内。控制电路配线相交时要成直角，如图 4-5-1 (a) 所示。

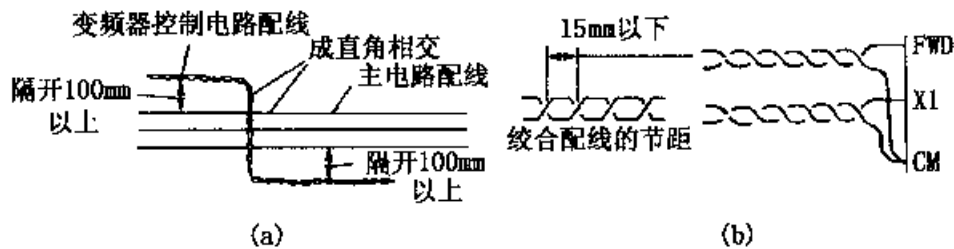


图 4-5-1 防电磁噪声的布线方法

(3) 控制回路的配线应采用屏蔽双绞线，双绞线的节距应在 15mm 以下，如图 4-5-1 (b) 所示。

(4) 为防止多路信号的相互干扰，信号线以采用分别绞合为宜。

(5) 如果操作指令来自远方，需要控制电路配线变长，可采用中间继电器控制，如图 4-5-2 所示。

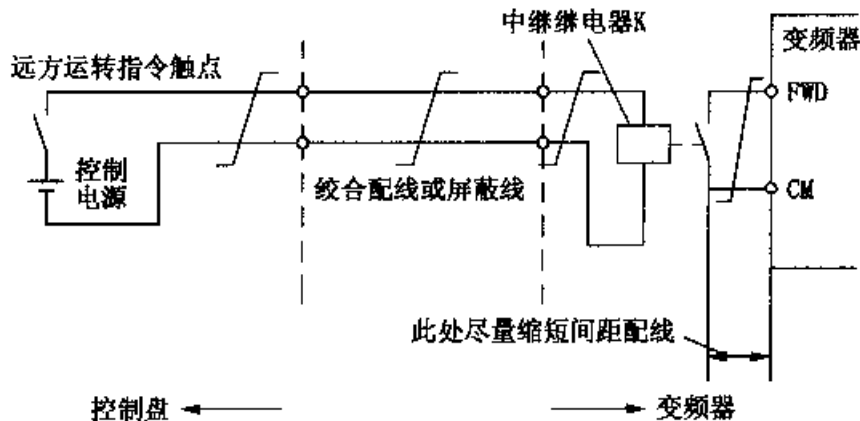


图 4-5-2 使用中间继电器的连接方法

(6) 地线除了可防触电之外，对防止噪声也很有效，所以请务必接地。

(二) 输入与输出

虽然变频器有很多优点，但亦可能引起一些问题，例如产生高次谐波对电源的

污染、功率因数降低、无线电干扰、噪声、振动等。可采取的措施就是在变频器的主电路中安装适当的电抗器，如图 4-5-3 所示。

(1) 在变频器中使用电力晶体管或 IGBT 高速开关管可能会引起噪声，对附近 10MHz 以下频率的无线电测量及控制设备等无线电波产生影响，必要时选用无线电干扰 (RFI) 抑制电抗器，能降低这类噪声。RFI 抑制电抗器的连接方法因变频器的容量不同而异。小容量时，每相导线按相同方向绕 4 圈以上，如图 4-5-4 (b) 所示。当容量变大时，若导线的线径太粗，可将 4 个电抗器固定在一起，三相导线按同方向穿过其内孔，如图 (a) 和 (c) 所示。

(2) 图 4-5-3 中的电抗器，以电源侧 AC 电抗器最为重要。当电源容量大 (即电源阻抗小) 时，会使输入电流的高次谐波增高，使整流二极管或电解电容器的损耗增大而发生故障。为减少外部干扰，在电源容量为 500kVA 以上，并且是变频器额定容量的 10 倍以上时，如图 4-5-5 所示，应连接选购件

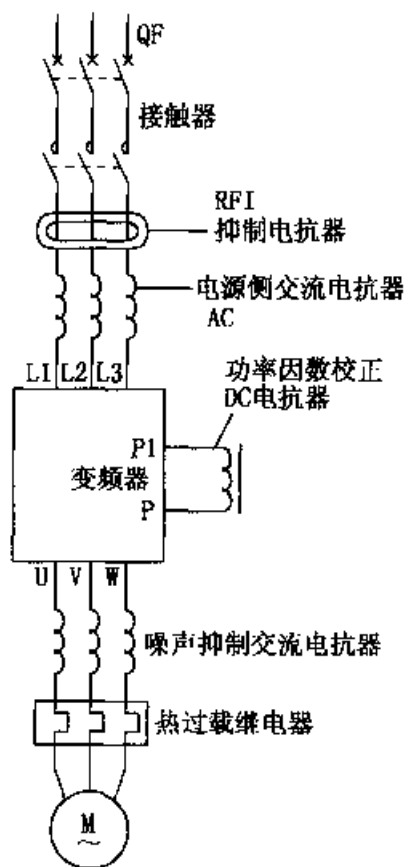


图 4-5-3 各种电抗器的连接

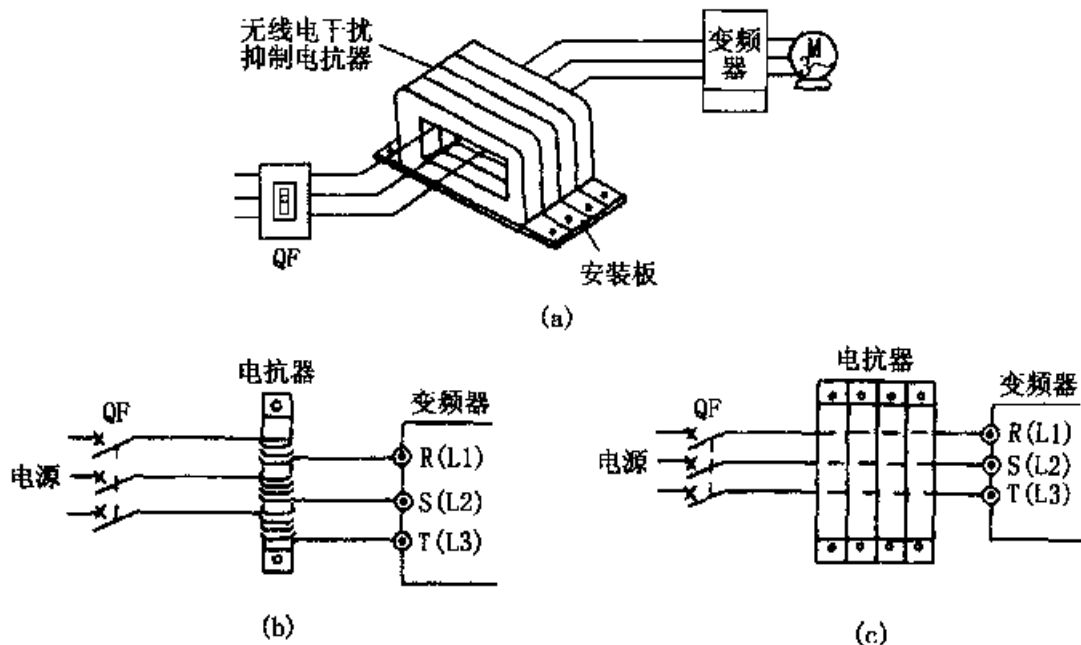


图 4-5-4 无线电干扰 (RFI) 抑制电抗器的连接

电源侧 AC 电抗器 (也称电源协调用电抗器)。G9S/P9S 系列变频器的 AC 电抗器为 ACR 系列，参见表 4-5-1。如果配线较长，电感较大，其阻抗超过电源协调用电抗器值以上时，就没有连接的必要。另外，当电源电压的不均衡度超过 3% 时，也

须如上所述连接电源协调用电抗器。不平衡度过大时，可能会导致输入电缆异常过热。

(3) 功率因数校正 DC 电抗器用于校正功率因数，校正后的功率因数为 0.9~0.95。

(4) 由变频器驱动的电动机，其振动和噪声比用常规电网驱动的要大，这是因为变频器输出的谐波所致。如在变频器和电动机之间加入降低噪声用电抗器，则具有缓和金属音质的效果，噪声可降低 5dB 左右。

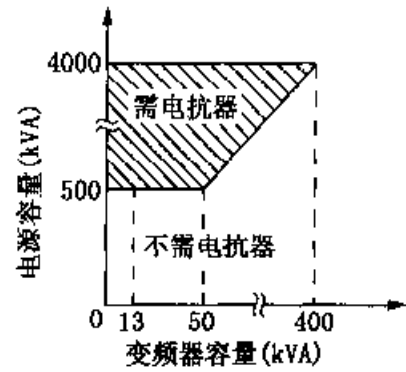


图 4-5-5 需要 AC 电抗器的容量范围

表 4-5-1 电源协调用交流电抗器的特性 (400V 系列)

变频器型号	电抗器型号	额定电流(A)	电抗(Ω/相,50Hz)	线圈电阻(Ω/相)	损耗(W)
FRN30G9S/P9S-4JE	ACR4 37	100	0.0417	0.00273	38.9
FRN37G9S/P9S-4JE	ACR4-37	100	0.0417	0.00273	55.7
FRN45G9S/P9S-4JE	ACR4-55	135	0.0308	0.00161	50.2
FRN55G9S/P9S-4JE	ACR4-55	135	0.0308	0.00161	70.7
FRN75G9S/P9S-4JE	ACR4-75	160	0.0258	0.00161	65.3
FRN90G9S/P9S-4JE	ACR4-110	250	0.0167	0.00523	42.2
FRN110G9S/P9S-4JE	ACR4 110	250	0.0167	0.00523	60.3
FRN132G9S/P9S-4JE	ACR4-132	270	0.0208	0.000741	119
FRN160G9S/P9S-4JE	ACR4-220	561	0.0100	0.000236	56.4
FRN200G9S/P9S-4JE	ACR4-220	561	0.0100	0.000236	90.4
FRN220G9S/P9S-4JE	ACR4-220	561	0.0100	0.000236	107
FRN280P9S-4JE	ACR4-280	852	0.00667	0.000144	108

(5) 输入电压不能超过最大值，200V 系列的极限是 242V (220V×1.1)，400V 系列的极限是 418V (380V×1.1)。

(6) 功率因数补偿可使用 DC 电抗器，绝不可在变频器的输出端连接电容器补偿功率因数。变频器的输入侧功率因数取决于变频器的 AC-DC 变换电路系统，而不取决于电动机的功率因数，所以在变频器的输出端连接电容器并不能改善输入功率因数。

(7) 当电动机运行于恒转矩调速范围内时，电动机电流 (变频器输出电流) 基

本恒定，所以铜损耗不变。当电动机转速下降时，电动机自冷却电扇的冷却效果将会下降，即当频率下降时，由于散热变差，允许的电动机连续运行电流下降，即转矩下降。

(8) 单相电动机必须用单相变频器驱动，不能用三相变频器驱动。

二、变频器的测量

由于通用变频器的波形都是斩波波形，其中 PWM 波形是最常见的，这使变频器的输入和输出含有高次谐波，所以在选择测量仪表和测试方式时应该区分不同的情况。

(一) 测量仪表

1. 动铁式仪表

这种仪表测量的是有效值，其值由固定线圈的磁场与其内部可动铁之间相互作用的磁场力所确定的偏转角度决定。读数误差是由动铁的磁饱和以及谐波对线圈内电感的影响引起的。仪表精度一般是 0.5 级。

2. 整流式仪表

交流电流经整流后作用于动圈式直流表，按交流电流的有效值确定刻度，其有效值由整流平均值乘以波形系数求出。该仪表基本用于测量正弦电流，而正弦电流的波形系数是 $\pi/2\sqrt{2}=1.11$ 。因此在测量非正弦电流的波形时，应注意波形系数。典型的仪表精度是 1.0 级。

3. 热电式仪表

温升与测量电流产生的热量成正比，该温升被热电偶转换为直流电动力，其电流有效值由直流毫伏表指示。

4. 电动式仪表

电流指示值具有均匀的刻度，其指针偏转角度等于两个线圈间的力，即驱动转矩。其典型精度为 0.5 级。

5. 谐波分析仪

输入信号由高速 A/D 采样，存储于缓冲存储器内，结果显示在屏幕上。可测量电压、电流、功率等基波值和谐波值，并显示其曲线。

(二) 变频器仪表的选择

对变频器进行测量的电路如图 4-5-6 所示。

变频器的输出电流与电动机铜损引起的温升有关，可使用热电式电流表，而使用动铁式仪表是最佳选择。

电动机的输出转矩依赖于电压基波有效值。由于 PWM 变频器的电压平均值正比于其输出电压基波有效值，那么测量变频器输出电压最好使用整流式电压表，并考虑适当的转换因子表示其实际基波的有效值。

变频器的输入/输出功率可用 3 个测量表分别测量各相的功率。当三相不对称

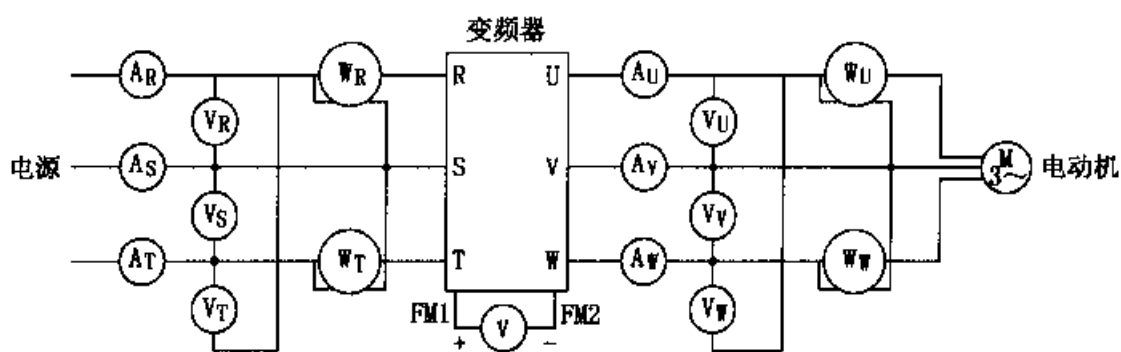


图 4-5-6 变频器的测量电路

时，用 2 个功率表测量将会带来误差；当不平衡率 $> 5\%$ 额定电流时，应用 3 个功率表测量。

(三) 输入侧的测量

变频器输入电源为交流 50Hz，其测量基本与标准交流工业电源的测量相同，但由于变频器的逆变侧得到的 PWM 波形影响到一次侧波形，因此应该注意以下几点。

1. 输入电流的测量

使用动铁式电流表测量有效值。当输入电流不平衡时，测量三相电流，取其平均值，用下式计算：

$$I_{ave} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

2. 输入功率的测量

使用电动式功率表测量输入功率，通常可采用图中的两个功率表测量。如果额定电流不平衡率超过 5%，应使用 3 个功率表测量。

$$\text{电流不平衡率} = \frac{\text{最大电流} - \text{最小电流}}{\text{三相平均电流}} \times 100\%$$

3. 输入功率因数的测量

输入电流包括高次谐波，测量输入电流时会产生较大误差，因此应注意输入功率因数。

$$\text{输入功率因数} = \frac{\text{输入功率}}{3 \times \text{输入电压} \times \text{输入电流 (三相平均值)}}$$

表 4-5-2 是使用不同电源系统测量的例子。

4. 电源阻抗的影响

电源阻抗的大小会影响输入功率因数和输出电压。有条件时，最好进行精确测量，可采用谐波分析仪对各次谐波进行分析，然后对系统进行综合分析判断，综合电压畸变率

$$D = \frac{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}{U_1} \times 100\%$$

表 4-5-2 不同电源系统测量的例子

系统结构	输出频率(Hz)	电动机负载率 (%)	输入电压 (V)			输入电流 (A)				输入功率 (kW)		功率因数
			R-S	S-T	T-R	R	S	T	a*	b*	c*	d*
没有电抗器系统	60	100	200	200	198	11.2	12.7	11.8	11.9	2.80	2.82	99
	60	0	200	200	199	1.10	1.35	1.30	1.25	0.22	0.22	96
	30	100	200	200	198	7.45	8.30	7.80	7.85	1.72	1.74	98
	30	0	200	200	199	1.15	1.45	1.40	1.33	0.24	0.24	95
有交流电抗器系统	60	100	200	200	198	8.65	9.15	9.65	9.15	2.73	2.74	99
	60	0	200	200	199	0.85	1.10	1.05	1.00	0.22	0.22	96
	30	100	200	200	198	5.55	5.85	6.25	5.88	1.60	1.62	99
	30	0	200	200	199	0.85	1.15	1.10	1.03	0.23	0.23	97
有直流电抗器系统	60	100	200	200	198	8.25	8.55	8.80	8.53	2.76	2.78	100
	60	0	200	200	199	0.70	0.98	0.98	0.89	0.21	0.20	96
	30	100	200	200	198	4.95	5.40	5.50	5.28	1.62	1.64	100
	30	0	200	200	199	0.77	1.01	1.00	0.93	0.22	0.22	98

式中, U_1 为基波电压; U_2 为二次谐波电压; U_3 为三次谐波电压。作为对低压配电线的高次谐波的管理指导值, 电压的综合畸变率 D 应在 5% 以下。所以当 D 为 5% 以上时, 应接入交流电抗器或直流电抗器, 以抑制高次谐波电流。

(四) 输出侧的测量

1. 输出电压的测量

变频器的输出为 PWM 波形, 含有高次谐波, 而电动机转矩主要依赖于基波电压有效值。采用整流式电压表是最合适的选择, 其测量结果最接近谐波分析仪测量的谐波电压值, 而且结果与变频器的输出频率有极好的线性关系。

2. 输出电流的测量

输出电流需要测量包括基波和其他高次谐波在内的总有效值, 常用动圈式电流表 (在有电动机负载时, 基波有效值和总有效值差别不大)。当考虑到测量方便而采用电流互感器时, 必须选择适当的容量。

3. 输出功率与功率因数

测量功率可采用两个功率表, 但是当电流不平衡率超过 5% 时, 应使用 3 个功率表。对变频器而言, 通常不使用标准的功率因数, 因为变频器的输出电压随着频率而变化。在实际中往往不测量变频器的输出功率因数。

4. 变频器的效率

变频器的效率需要经过输入、输出实验, 测出有功功率。

$$\text{变频器的效率} = \frac{\text{输出有功功率}}{\text{输入有功功率}} \times 100\%$$

第五章 变频器在电梯上的应用

电梯传动方式根据升降轿厢动力媒体的不同，可分为绳索式和液压式两种。液压式电梯采用变频器控制泵的转速，以调节泵的输出流量，从而提高系统控制品质。绳索式电梯又分为低速电梯与高速电梯，采用变频器控制。

电梯门的传动方式可分为联杆式与带动式，基于各自的要求，可应用感应电动机的调压控制与直流电动机的斩波调压控制，采用变频器控制也是一种有效方法。

第一节 电梯的变频器控制

一、高速电梯

超高层大厦需要利用超高速电梯，采用变频器控制的高速电梯传动系统如图 5-1-1 所示。

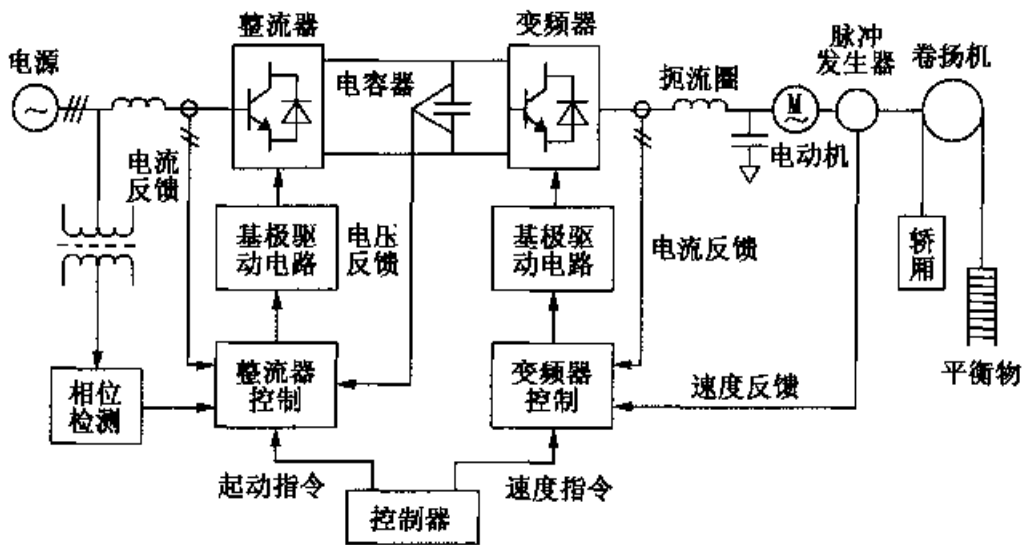


图 5-1-1 高速电梯的变频器控制

三相交流电源由晶体管整流器转换成直流，再由晶体管变频器转换成电压与频率可调的交流，向卷扬机供电。整流器与变频器由并联耐高压的大容量晶体管组件构成。输入与输出电流由 PWM 调制成正弦波后控制。控制回路采用高功能数字信息处理器进行高精度控制，即整流器将输出电压作为反馈信号控制输出电压使其恒定，同时检测电源电压相位，使输入电流的功率因数在上升时为 +1，再生制动时为 -1。变频器在速度反馈中使用高分辨率的脉冲编码器，设置电流环路进行高速

响应控制，提高了乘坐舒适度。这种传动控制系统的优点是：使用正弦波 PWM 调制整流器，使输入电流成为正弦波，故降低了高次谐波含量，且功率因数为 1，电源设备容量降低；选用大型无齿轮卷扬机，由于强化了交流电动机的刚性、选定最佳开槽数，故降低了由电动机产生的电磁噪声，与直流电动机相比，其效率高、耗电量下降。

为使高速电梯乘坐舒适，必须降低振动和噪声。特别是超高速电梯，由于楼层高、绳索较长，使绳索驱动系统弹性系数变小，故容易产生轿厢纵振动。电动机产生的转矩脉动频率随转动变化，故难以避免与机械系统共振。因此，应减低共振强度，降低振荡源（即卷扬电动机产生的转矩脉动）。

20 世纪 80 年代出现的 VVVF 控制交流调速电梯，可节能 5%~10%。该调速系统根据电机和电梯为恒转矩负载的要求，在变频调速时需保持电机的最大转矩不变，维持磁通恒定，这就要求定子绕组供电电压做相应的调节。因此，其电动机供电电源的驱动系统应能同时改变电压和频率，即对电动机供电的变频器要求有良好的 U/f 控制性能。为使电梯运行获得更好的动、静态性能，目前常使用具有“矢量控制”功能的变频器，这对于交流调速电梯速度不小于 4m/s 时尤为重要。

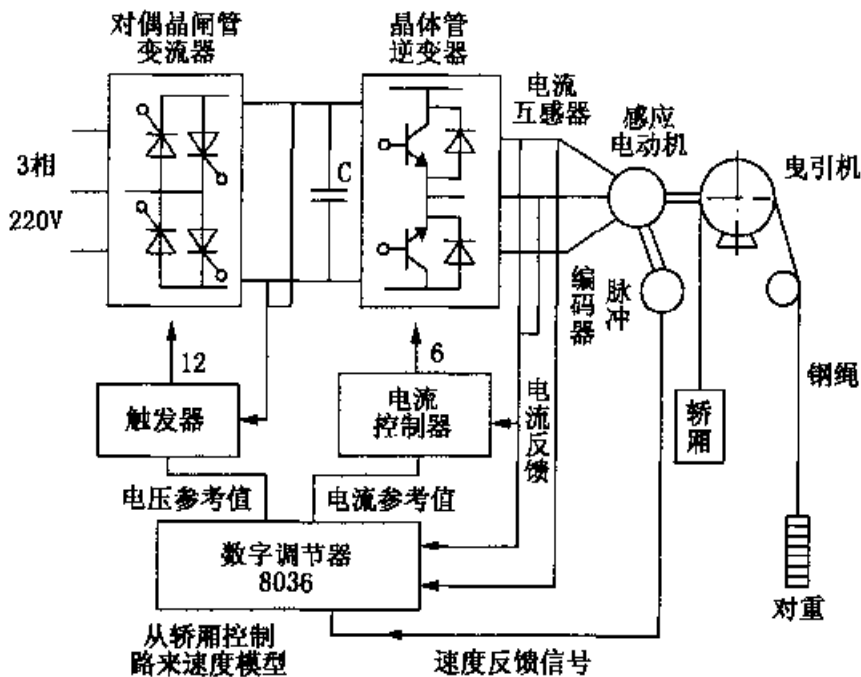


图 5-1-2 高速-超高速 VVVF 电梯控制系统

图 5-1-2 是一种用于高速-超高速 VVVF 电梯的控制系统。在交流部分，晶闸管转换器将三相交流电压转换为直流电压。电动机转速由脉冲发生器检测作为速度反馈信号送到数字调节器，数字调节器比较速度指令和反馈信号后输出电压参考值及电流参考值。触发器控制根据电压参考值和晶闸管转换器的输出电压，这种方式称为 PAM，即脉冲幅值调节。它改变了逆变器输入直流电压的大小，从而调节逆

变器输出矩形脉冲的幅值，实现变压。如果电动机运行在再生状态，使晶闸管转换器的另一组晶闸管工作于逆变状态，可将功率回送入电网，达到节能目的。PWM控制器根据数字调节器输出的电流参考值与电流反馈进行比较运算，输出一系列触发脉冲控制晶体管逆变器处于变频状态，相应地调节电动机电流。

图 5-1-3 为数字调节器内部框图，它控制晶闸管转换器和晶体管逆变器。其软件由三部分组成：速度控制，电压、电流参量运算速度调节器。由速度给定和速度反馈计算出偏差值送到电流和电压调节器，电流调节器计算出电流参量，经 D/A 转换、信号放大后给出电流指令，控制 PWM。电压调节器亦以相似的方式控制晶闸管触发器，实现 PAM 控制（脉冲振幅调制）。

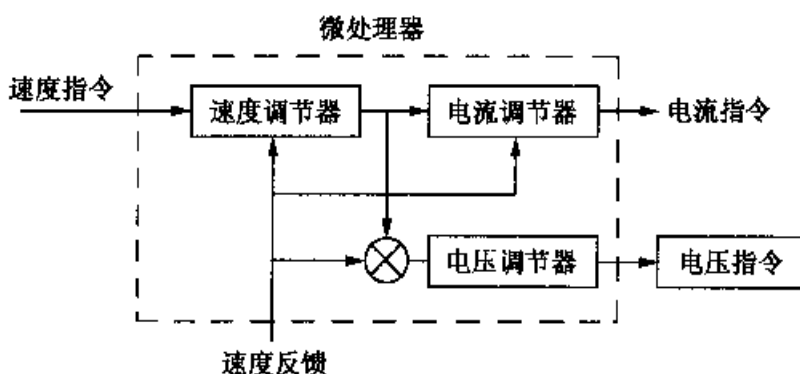


图 5-1-3 数字调节器内部框图

二、低速电梯

(一) 低速电梯的高载波频率变频器控制

利用变频器驱动电动机时，通常采用 PWM 控制方式。而用频率为 f_c 的三角波作载波进行 PWM 控制，会产生 nf_c ($n=1, 2, \dots$) 及其旁频高次谐波电压，因而产生电动机噪声。降低噪声的方法是使载波频率高于声频，可采用大容量高速开关 IGBT，低速电梯采用低噪声高载波频率 PWM 变频器。

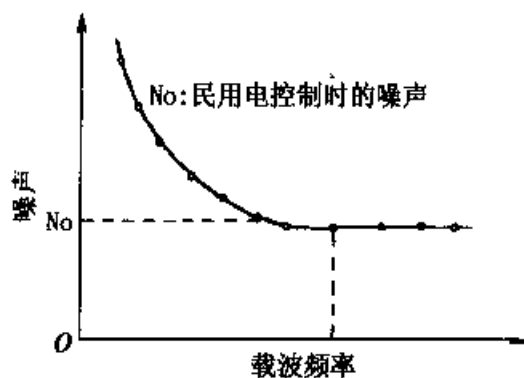


图 5-1-4 载波频率与噪声的关系

IGBT 开关速度是双极晶体管的数倍，

但不能只从开关速度决定载波频率。如果载波频率过高，会出现开关元件及其缓冲电路损耗过大等副作用；另一方面，电动机噪声随载波频率的增大而减小，当达到一定频率时，则与使用市电驱动的电动机几乎相同，在噪声强度 N_0 处达到饱和，如图 5-1-4 所示。在此范围内，上述副作用实际不产生影响，且电动机噪声与用市电驱动时相同，变频器载波频率为 10kHz。由于载波高频化，噪声大幅度降低，

即使不用滤波器也可使电梯噪声很小。由于 IGBT 为电压型驱动器件，故可减小驱动回路耗电量，提高驱动回路的可靠性，并使其小型化，也使得变频器体积变小。

(二) 安川 VS-616G5 通用变频器电梯调速系统

通用变频器 616G5 可直接控制交流异步电动机的电流，使电动机保持较高的输出转矩；它适用于各种应用场合，可在低速下实现平稳启动并且极其精确地运行，其自动调整功能可使各种电动机达到高性能的控制。VS-616G5 将 U/f 控制、矢量控制、闭环 U/f 控制、闭环矢量控制 4 种控制方式融为一体，其中闭环矢量控制是最适合电梯控制要求的。

1. 变频器的配置及容量选择

VS-616G5 变频器用在电梯调速系统中时，必须配 PG 卡及旋转编码器，以供电动机测速及反馈。旋转编码器与电动机同轴连接，对电动机进行测速。旋转编码器输出 A、B 两相脉冲，当 A 相脉冲超前 B 相脉冲 90° 时，可认为电动机处于正转状态；当 A 相脉冲滞后于 B 相脉冲 90° 时，可认为电动机处于反转状态。旋转编码器根据 AB 脉冲的相序，可判断电动机转动的方向，并根据 A、B 脉冲的频率（或周期）测得电动机的转速。旋转编码器将此脉冲输出给 PG 卡，PG 卡再将此反馈信号送给 616G5 内部，以便进行运算调节。A、B 两相脉冲波形如图 5-1-5 所示。

VS-616G5 用在电梯调速系统中时，还必须配置制动电阻。当电梯减速运行时，电动机处于再生发电状态，向变频器回馈电能。这时同步转速下降，交·直·交变频器的直流部分电压升高，制动电阻的作用就是消耗回馈电能，抑制直流电压升高。

除 PG 卡和制动电阻外，VS-616G5 还需配置 600 脉冲旋转编码器和电梯运行曲线输入板（可选配）。其容量可选 1:1 配置，即电动机容量和变频器容量相等。最好采用大一数量级选配，即 11kW 电动机选 15kW 的变频器、15kW 电动机选 18kW 的变频器。

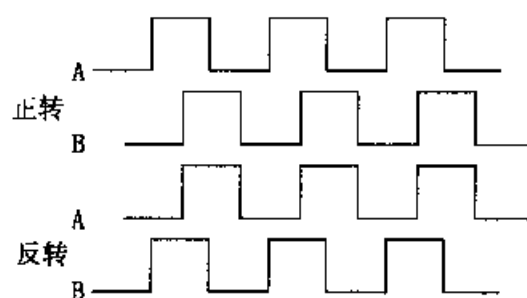


图 5-1-5 A、B 脉冲波形

2. 电梯变频器调速系统的构成

变频器控制的电梯系统中，变频器只完成调速功能，而逻辑控制部分是由 PLC 或微电脑来完成的。PLC 负责处理各种信号的逻辑关系，从而向变频器发出启停等信号，同时变频器也将本身的工作状态信号送给 PLC，形成双向联络关系。变频器通过与电动机同轴连接的旋转编码器和另配置的 PG 卡，完成速度检测及反馈，形成闭环系统。系统构成如图 5-1-6 所示。

3. 系统电路原理

电梯的一次完整的运行过程，就是曳引电动机从启动、匀速运行到减速停车的过程。当正转（或反转）及高速信号有效时，电动机从 $0 \sim 50\text{Hz}$ 开始启动，启动

时间在 3s 左右，然后维持 50Hz 的速度一直运行，完成启动及运行段的工作。当换速信号到来后，PLC 撤消高速信号，同时输出爬行信号。此时爬行的输出频率为 6Hz（也可用 4Hz）。从 50Hz 到 6Hz 的减速过程在 3s 内完成，当达到 6Hz 后，就以此速度爬行。当平层信号到来时，PLC 撤掉正转（或反转）信号

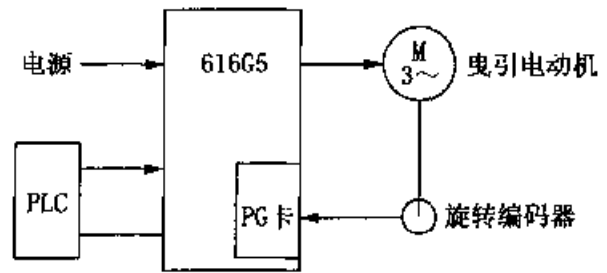


图 5-1-6 电梯变频器调速系统构成

及爬行信号，此时电动机从 6Hz 减速到 0Hz。正常情况，在整个启动、运行及减速爬行段内，变频器的零速输出点及异常输出点一直是闭合的，减至 0Hz 之后，零速输出点断开，通过 PLC 抱闸及自动开门。其电路原理如图 5-1-7 所示。

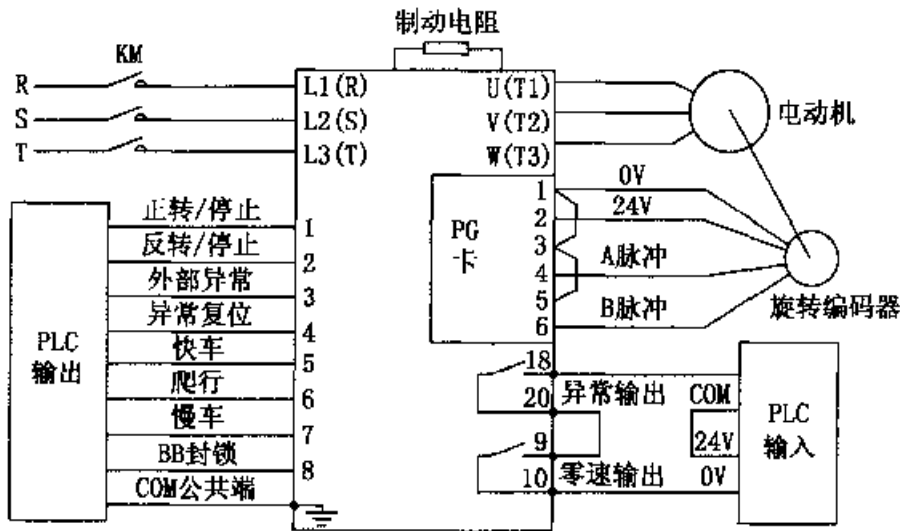


图 5-1-7 系统电路原理图

在现场调试中，应使爬行段尽可能短，并要求在各种负载下都以大于零为标准来调整减速起始点。电梯的运行曲线如图 5-1-8 所示。

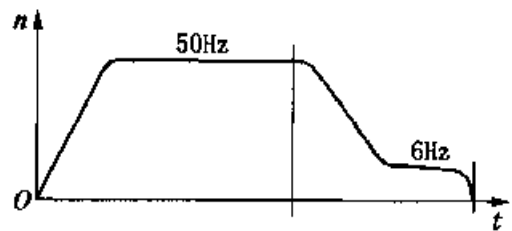


图 5-1-8 电梯运行曲线

如果配置运行曲线输入板，则将此板的模拟输出量送给变频器的频率指令模拟量输入端口，这样整个运行速度就完全以曲线板的输出为理想曲线，自适应调速运行。其优点是无爬行段，电梯可直接停靠。

4. 616G5 参数设置

- A1-01=4 存取级别为 ADVANCED
- A1-02=3 带 PG 的矢量控制
- BI-01=0 主速来自 D1-01

C1-01=3s	加速时间 3s
C1-02=3s	减速时间 3s
C2-01=0.8s	加速开始时的 S 曲线特性时间
C2-02=0.8s	加速完成时的 S 曲线特性时间
C2-03=0.8s	减速开始时的 S 曲线特性时间
C2-04=0.8s	减速完成时的 S 曲线特性时间
C5-01=5	速度环比例, 舒适感不好时在 5~40 间调整
C5-02=1s	速度环积分, 舒适感不好时在 0.5~5s 间调整
D1-02=50Hz	快车速度
D1-03=6Hz	爬行速度
D1-09=10Hz	慢车速度
E1-01=380V	输入电压
E1-04=50Hz	最高输出频率
E1-05=380V	最大电压输出
E2-01=24.4A	电动机额定电流 (按电动机铭牌输入)
E2-04=6	电极极数 (按电动机铭牌输入)
H2-01=37	变频器输出端子 9-10 为运转中 2
H3-05=1F	选 D1-02 不选端子 16 输入
L3-04=0	失速防止无效
L6-01=4	过转矩检出动作选择
L6-03=10s	过转矩检出时间 1
L6-04=4	过转矩检出动作选择 2
L6-05=200	过转矩检出标准 2
L6-06=2s	过转矩检出时间 2
L8-01=1	制动电阻过热
L8-05=1	输入缺相
L8-07=1	输出缺相
F1-01=600	PG 脉冲数
F1-05=1/0	编码器方向错时更改

第二节 双 CPU 变频器

一、G7 系列特点

高性能的双 CPU 变频器可用于电梯拖动控制系统中, 其节能效果较好。图 5-2-1 所示是日本 FUJI G7 系列变频器, 采用 PC 机集中处理电梯选层信号、上下

呼梯信号、楼层信号、拖动指令、开关门信号等，并用数字显示方式作为正常的楼层显示和门连锁及安全保护信号的故障自诊断优先显示，再配合 G7 系列本身具有的双 CPU 高速转矩计算、多段速度控制以及高性能的自动转差补偿功能、故障自诊断功能、显示、存储功能和设定数字化等功能，使整个系统具有高性能和高可靠性。

G7 变频器具有转差补偿功能，可根据实际负荷情况，自动补偿频率 $\pm 0 \sim 5\text{Hz}$ ，这对于轻重车的上下运行在稳速方面十分有效，避免了超速、欠速行驶，使运行十分平稳。例如，空车上行应为 50Hz 的正常速度，由于是空载上行，速度较平稳运行时快，所以自动转差补偿起作用，补偿 -0.1Hz ；而重车上行相对于平衡运行时速度为慢，即欠速，补偿 $+0.1\text{Hz}$ 。正因为频率可自动补偿，适时调节速度，所以可用开环代替闭环。

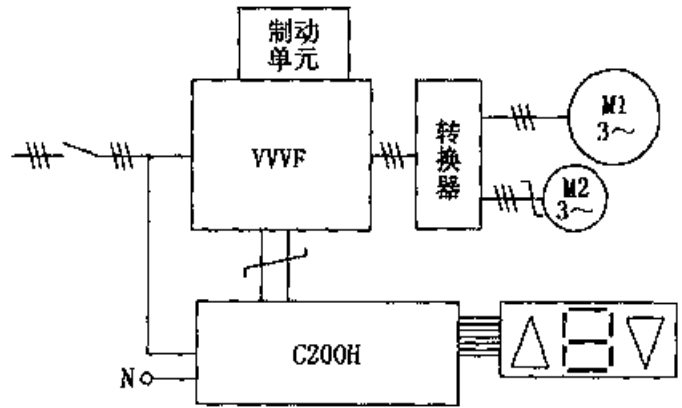


图 5-2-1 G7 系列系统框图

G7 变频器的另一优点是“S”形曲线选择，S 形曲线最适于电梯运行，其启动、换速、制动无冲击，体现在加减运行的舒适感非常好。多条 S 形曲线可以通过端子转换，通过 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 3$ 端子的组合即得到 7 种不同的运行速度，通过键盘可设定不同曲线的频率以实现快速、中速、微动、开关门。通过试运行稍作调整，即可获得满意的舒适感。

例如，当需要远程运行时，自动选择快速，启动时间预先设定；当需要邻近层运行时，选择中速；行驶到换速点时自动减速到爬行至平层，到平层立即停车，然后执行开关门曲线特性。

该变频器具有的高速转矩计算功能对重车启动自动选取转矩提升十分有利，并且有转矩监测功能。4 极电机的重车上行启动转矩为 140% 左右。重车下行的制动转矩为 140% 左右。

G7 系列变频器还具有十分灵敏的故障检测、诊断、显示功能，并具有记忆功能，即使掉电，也能记忆 3 个历史故障，对维护十分方便。在数据设定方面，由于采用数字设定，因而通过所设定的频率通过线性转换与监测，就可以知道当前频率对应的线速是多少，便于调速参数。通过显示屏还可监测到此时的运行电压、电流、频率、同步转速、线速度、转矩等，但对设定时间无法监测。

二、G7 系列用于电梯控制

电梯减速时，电机在制动段运行，其本质上属于发电运行，所存储的势能和动

能在减速过程中转换为电能，通过变频器主晶体管中的反向二极管整流，对其回路中的电容叠加充电。当电容上的电压加到 600V 时，变频器的过压检测起作用，制动单元中的大功率晶体管导通，电能通过制动电阻将多余能量放掉。当电容上的电压由 600V 降至适当值时，制动晶体管关断，停止放电，又开始重新充电、放电，循环往复直到电梯停止。整个充放电过程进行很快，放电脉冲能量较大，电压为 600V，电阻为 15.4Ω，放电电流为 39A，脉冲功率为 23W，而电阻功率为 37W，使用功率为 63%。

在连接制动单元的施工中，应特别小心极性不能接反，最好用颜色来区分，其连接图如图 5-2-2 所示，其再生制动状态波形如图 5-2-3 所示。如果极性接反，将形成短路，导致变频器内部充电电阻爆炸。

电梯门调速系统通常为电阻分压调速的直流伺服系统或晶闸管调速，结构较复杂，体积稍大，也有的采用三相微电机调速。

通过 G7 变频器实现用一台变频器控制主机的运行调速及门机的开、关调速，其调速非常方便，即通过设置变频器的不同频率数即可改变速度值的大小及加减速过程。其结构简单，可靠性较高，且有关的保护功能有很大提高。门机上只设开关门到位开关即可，减速开关可通过变频器内的时间设置或 PC 机内的时间设置完成，以增强系统的可靠性。PC-VVVF 运行曲线如图 5-2-4 所示。

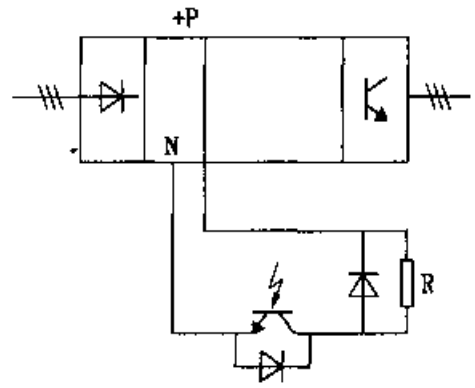


图 5-2-2 制动单元的连接

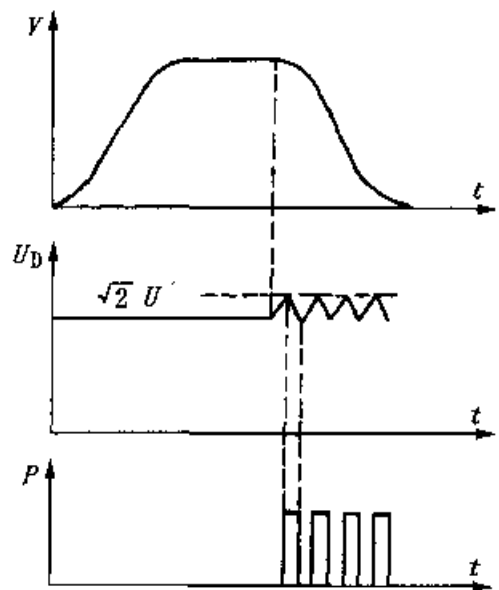


图 5-2-3 再生制动状态波形

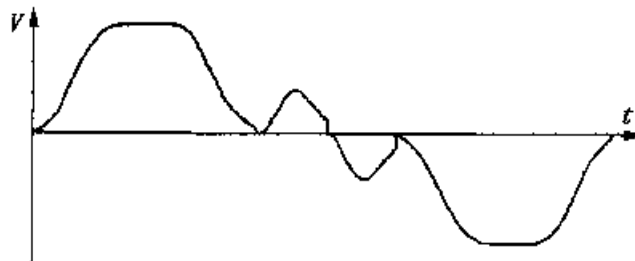


图 5-2-4 PC-VVVF 运行曲线

第三节 电梯的传动控制系统

一、液压电梯的传动控制系统

液压电梯与曳引式电梯不同，不必在大楼顶上设置机房，因此多用于低层楼房。采用变频器对交流电动机转速进行平滑控制，控制液压泵的输出量从而控制轿厢速度，可省去停车前的低速爬行区，有效地提高了电梯的性能。图 5-3-1 所示为液压电梯传动系统。

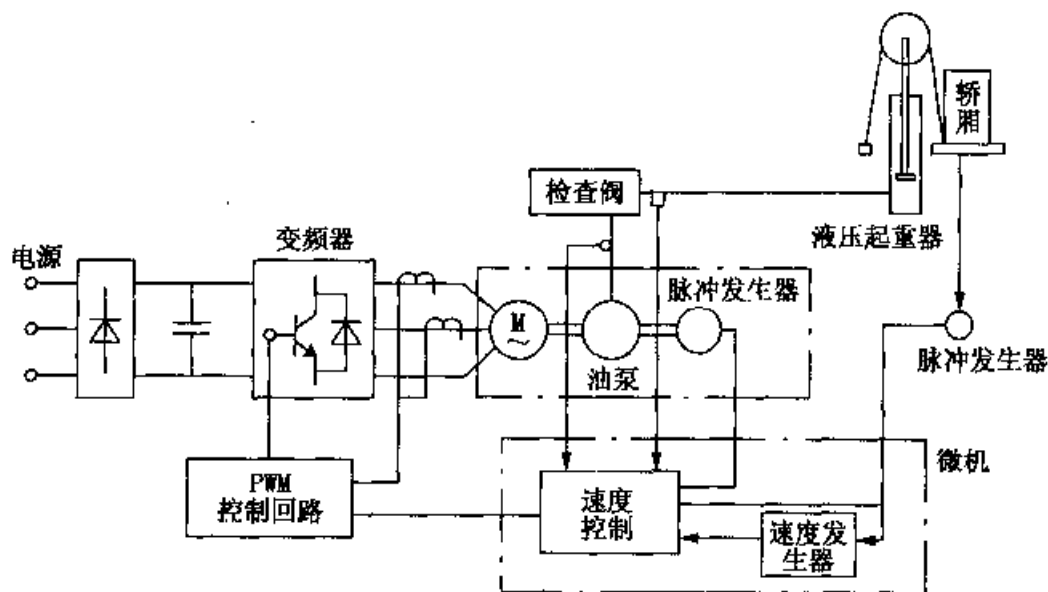


图 5-3-1 液压电梯的传动系统

由市电电网提供的交流电压，经二极管整流器和滤波电容器变换成直流电压后，再由变频器进行 PWM 调制，成为可调压调频的交流电压，供给驱动液压泵的电动机。电动机的转速根据脉冲发生器检测出的速度信号进行反馈控制。为确保轿厢处于停止状态，在连接液压泵与动力油缸之间的主油路中，设置了与启动、停止同步打开与闭合的检查阀。该传动系统有 3 个特点。

(1) 系统能进行压力平衡控制。液压泵与液压起重器之间设置的抑制阀打开时，液压泵侧的压力比起重器侧的压力低，轿厢启动时会发生振动，且液压起重器侧压力随轿厢内乘客人数和轿厢位置的不同而变化。如果期望抑制阀打开时保持轿厢静止，则需抑制液压起重器侧与液压泵侧的压力，预先得到平衡控制，此压力平衡控制抑制了启动时的振动，使轿厢启动平稳。

(2) 有振动时的抑制控制。液压泵、输油管、液压起重器等组成的液压系统与主绳索等机械系统，介于驱动液压泵电动机和轿厢之间，系统刚性低，如在液压部分与导轨、导辊之间发生机械干扰时，可导致轿厢低频振动，使乘坐条件变坏，因

此可在电动机速度控制回路设置反馈振动控制环，以液压起重器液体的振动分量及轿厢速度振动分量作为反馈信号，抑制轿厢振动。

(3) 进行溢漏量补偿控制。液压泵溢漏量随液压泵转速、输出压力及液体温度变化，仅由液压泵传动电动机速度控制环，难以补偿由于溢漏量变化引起的轿厢速度偏差，因此设置溢漏补偿环，可实现稳定的轿厢速度控制与精确的停止位置控制。

采用变频器速度控制系统的运行特性，与过去采用阀门控制的运行性能的比较如图 5-3-2 所示。变频器的液压电梯实现了以往控制方式达不到的平滑加、减速特性，没有停车前低速爬行区，直接进行准确停车。

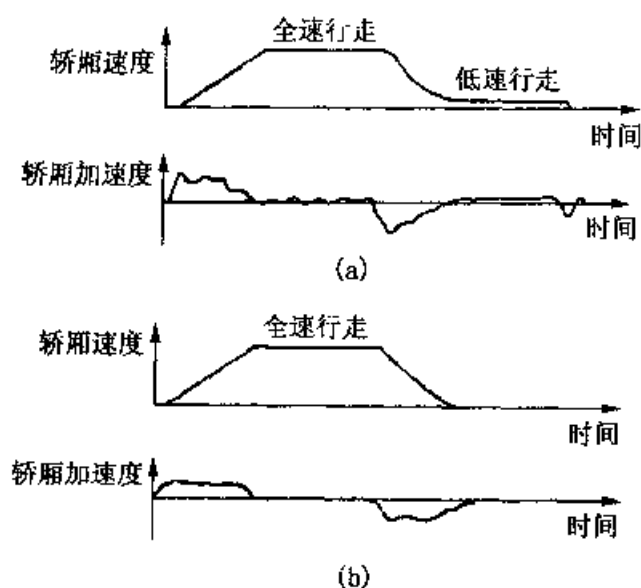


图 5-3-2 液压电梯的运行特性

二、电梯门的传动控制系统

电梯门与使用者接触最多，要求门的开关速度快、动作安静平衡、不使乘客有不舒适感。由于驱动器电动机设置在轿厢上部，要求低噪音、低振动。为防止电梯门夹伤乘客，门前端设置了安全器，要求安全装置动作时门迅速反转。由于各个门重量有差异，机械系统老化，使门驱动电动机负载变化，此时仍需保证稳定的开关动作。利用变频器及微机控制可满足这些要求，变频器控制的电梯门传动系统如图 5-3-3 所示。

变频器控制的电梯门系统具有以下特点。

(1) 开关性能好，基于脉冲发生器的输出对门的位置进行精确运算，对应各个门位置发出速度指令，根据该指令对门的开关速度进行反馈控制，实施快速且平稳的开关控制。

(2) 稳定的开关特性，在门的重量各异及机械系统老化的情况下，仍可得到稳

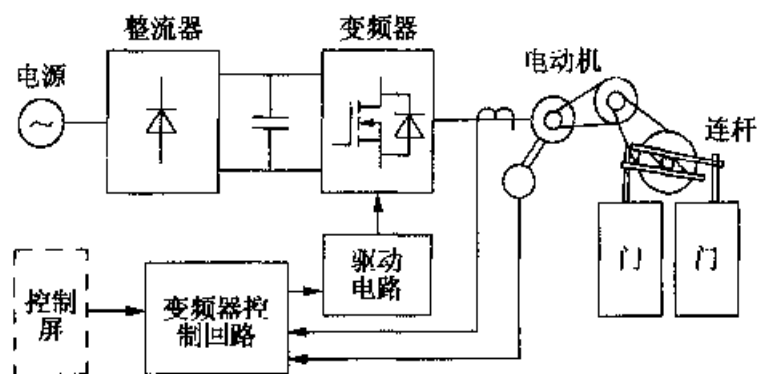


图 5-3-3 电梯门的变频器控制

定性良好的开关性能。

(3) 电动机无噪音，变频器开关元件载波频率高于声频，使门的开关动作平稳、安静，电动机的振动和噪音很小。

(4) 动作反应灵敏，控制装置体积小。

采用变频器控制后，对于中、低速电梯，变频器控制与通常的定子电压控制相比较，耗电量可减少 50% 以上，平均功率因数提高。可采用小型轻便曳引机，使效率提高、功率因数改善，故输入电流降低、变频器损耗相应减少，与通常的晶闸管直流供电方式相比，可节能 10% 以上。由于功率因数提高，电容量可减少 20% 以上。因此，变频器应用于电梯门控制，其效果是显著的。

三、电梯自动脉冲选层控制系统

在电梯控制机房或隔层内一般设有选层器，用来模拟电梯运行状态，向电气控制系统发出相应电信号的装置。选层器一般分为：机械式选层器、电动式选层器、电气选层器（继电器式选层器）、电脑选层器（电子选层器）几种类型。近几年电脑选层器的应用开始普及，它是利用数字脉冲信号、微处理机等手段组成选层器，将脉冲信号的数字量转换成速度的模拟量进行选层。利用如图 5-3-4 中装在牵引电动机或限速器轮上的光码盘，在电动机转动时产生光脉冲信号，其脉冲量的多少决定了电梯的平层精度。

利用 PLC 高速计算器的脉冲计数功能与变频器进行信号传递实现电梯位移控制。图 5-3-5 为采用富士 G11UD 变频器和 NB2PLC 控制的电梯系统结构框图。拖动系统主要由三相交流电源、变频器、交流接触器 K1 与 K2、驱动电动机 M 等几部分构成。与电动机同轴连接的旋转编码器 PG 产生 A、B 两相输出脉冲，经 PG 卡进入变频器形成速度反馈。

PLC 发往变频器的控制信号主要有：PLC 检测电梯门连锁、安全回路和系统工作正常，允许变频器工作的信号；电梯运行方向信号（上行或下行）；电梯运行速度信号（检修运行、单层运行、多层运行、爬行等）；电梯减速和平层停车信号。

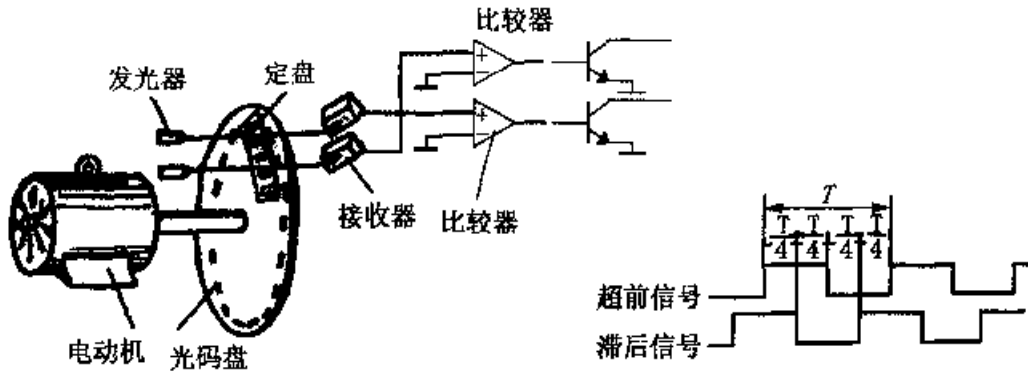


图 5-3-4 旋转编码器计算脉冲数

变频器反馈给 PLC 的信号主要有：变频器工作状态正常信号（变频器无报警输出，允许 PLC 控制其运行）；电梯有速度信号；速度一致信号（变频器上的速度指令与电动机实际运行速度相匹配）；减速及停车状态。

从变频器的分频器引入 PLC X000 端子的计数脉冲线即为高速计数器 0 的计数输入信号线，可实现对电梯的位移控制。

图 5-3-6 为电梯从 1 楼平层位置快速上行到 2 楼时的运行程序段。T017 为自学习/正常运行选择信号，M0210 为运行信号，M00F1 为门区信号，M8000 为 PLC 运行正常信号，Y033 为上行信号，L0000 为一楼位置信号，2ND 和 2SD 分别为 2 楼内召及外呼向上信号，M00FC 为快速运行信号，M00EB 为中间继电器，M00AB 为换速继电器。在 PLC 初始上电时就已将设定脉冲值 K2558 赋给了设定值寄存器 D0008，因此运行时首先取出 1、2 层间高脉冲值 WL010，赋给现在值预设寄存器 D0010，并自动转入 D0000。由于是正常运行，T017 处于复位状态，M0320 置 DW，因此 D0000 执行减计数。随着电梯的不断上行，D0000 中的设定值一致时，由于此时电梯有运行信号（M0210 置 ON）并已离开一楼门区（M00F1 复位），因此中断允许继电器 M0323 置 ON 状态，允许启动中断指针 I1000，执行中断，同时使中间继电器 M00EB 置 ON。这时如果二楼有呼梯信号（2ND 或 2SD 导通）且有电梯快速运行信号，M00FC 置 ON 并自保，发出减速指令。电梯减速后继续运行到二楼门区时，继电器 M0378 导通，使中断指针复位，同时也使中间继电器 M00EB 复位。

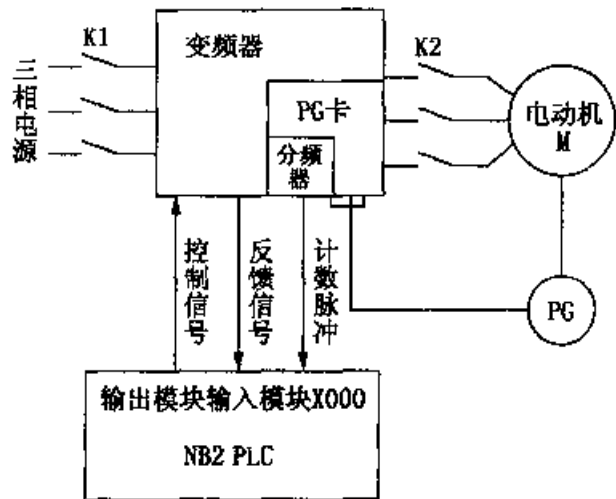


图 5-3-5 PLC 与变频器控制电梯系统的连接

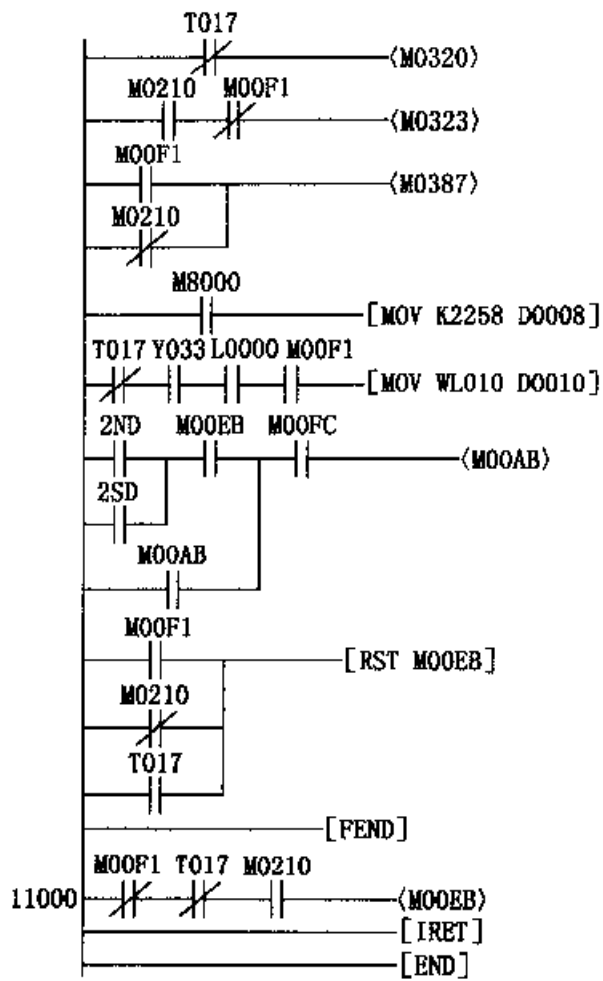


图 5-3-6 电梯快速运行梯形图

第六章 变频器在水泵、风机控制方面的应用

泵类负载和风机是目前工业现场中应用最多的设备，最具节能潜力，主要以离心泵和离心风机为主。本章以泵的特性分析为主，利用变频器对泵进行控制，主要通过对其流量的控制从而达到节能目的。

第一节 泵类负载

一、泵的特性

泵是一种平方转矩负载，其转速 n 与流量 Q 、扬程 H 及泵的轴功率 N 的关系如下：

$$Q_1 = Q_2 \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \quad H_1 = H_2 \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad N_1 = N_2 \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

上式表明，泵的流量与其转速成正比，泵的扬程与其转速的平方成正比，泵的轴功率与其转速的立方成正比。当电动机驱动泵时，电动机的轴功率 P (kW) 可按下式计算：

$$P = \frac{\rho Q H}{\eta_c \eta_p} \times 10^{-2}$$

图 6-1-1 是泵的流量 Q 与扬程 H 的关系曲线。图中，曲线①为泵在转速 n_1 下的扬程-流量 ($H-Q$) 特性；曲线⑤为泵在转速 n_2 下的扬程-流量 ($H-Q$) 特性；曲线②为泵在转速 n_1 下的功率-流量 ($P-Q$) 特性；曲线③、④为管阻特性。假设泵在标准工作点 A 的效率最高，输出流量 Q 为 100%，此时轴功率 P_1 与 Q_1 、 H_1 的乘积 AH_1OQ_1 成正比。当流量需从 Q_1 减小到 Q_2 时，如果采用调节阀方法（相当于增加管网阻力），使管阻特性从曲线③变到曲线④，系统由原来的标准工作点 A 变到新的工作点 B 运行。此时，泵扬程增加，轴功率 P_2 与面积 BH_2OQ_2 成正比。如果采用变频器控制方式，泵转速由 n_1 降到 n_2 ，在满足同样流量 Q_2 的情况下，泵扬程 H_3 大幅度降低，轴功率 P_3 与面积

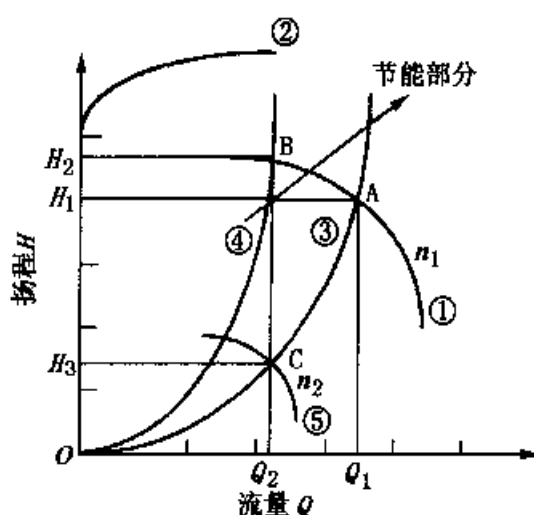


图 6-1-1 泵的扬程-流量曲线

CH_2OQ_3 成正比。轴功率 P_3 和 P_1 、 P_2 相比较，将显著减小，节省的功率损耗 ΔP 与面积 BH_2H_3C 成正比，节能的效果十分明显。

二、变频器控制的几个问题

(一) 电动机的再启动

一些要求高效率运行的泵，通常要求工频电源供电与变频器供电随时可以相互切换。例如某小区采用深井地热水供暖，3台45kW电机-水泵机组供水，1台富士P9S变频器控制，最高频率为工频50Hz，供水量最大时为3台机组均以工频电源供电运行。随气温变化及昼夜对供暖要求不同，3台机组可以分别以：2台工频运行，1台变频（50Hz以下）运行；1台停运，1台工频运行，1台变频运行；2台停运，1台变频运行。这样几种运行方式既满足了供热需要，又提高了运行效率，并能达到节能的目的。但是在运行过程中，特别是从工频电源切换到变频器时，要求变频器必须具有转速搜索功能。这样电动机从电网脱离后，在滑行情况下平滑切换，实现空转再启动功能，从而提高了连续运行的可靠性和稳定性。

(二) 自诊断连续运行

用于生产设备中的泵经常会因电源干扰发生跳闸事故，且原因难以查找。发生异常工况时，变频器首先进行自诊断，如果系统没有问题则自动复位后再启动。在这段时间内利用速度检测功能找出自诊断过程中电动机降速的原因，并使其达到原速度，即要求系统应具有异常恢复功能。

(三) 无跳闸功能

泵传动系统具有下降转矩特性，其有效的过载保护功能是其运行在过转矩设定检测方式下。此时，一旦达到设定的过载电流值，变频器的输出频率就降低，即在运行中失速。对于具有下降转矩特性的负载，只有在平衡点做短时间运行，待负载下降后便自动恢复到原来所设定的频率，其控制过程如图6-1-2所示。如果负载在A点连续运行，由于负载变化可能会引起跳闸。如果将转速降低到B点运行，恢复到正常的负载特性上，则可在C点上连续运行，没有跳闸现象。

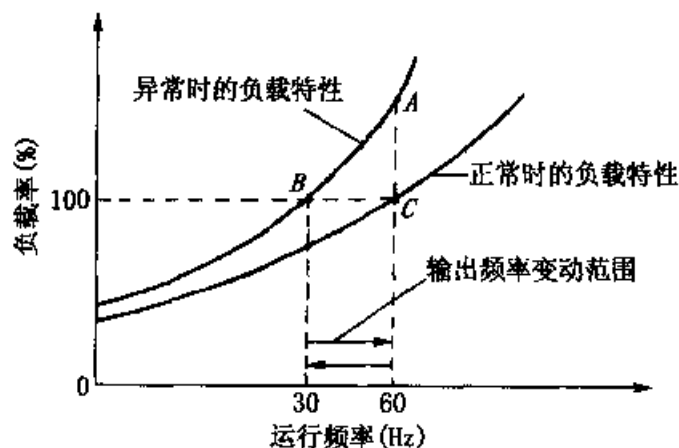


图 6-1-2 泵负载特性与过载保护

(四) 使用注意事项

变频器控制泵负载时，应该注意两方面的问题：

(1) 电动机的电磁噪声。利用正弦波 PWM 变频器控制通用电动机时，电动机因高次谐波的影响产生噪声。此时，可在变频器与电动机之间装设电抗器，约为负载阻抗的 3%~4%，也可将 U/f 降低到与负载相适应的程度。这可使噪声降低 5~10dB。目前已有面向中、小容量电动机的低噪声 PWM 变频器产品，其低速区域噪声可降低 20dB。

(2) 电动机的温升。利用正弦波 PWM 变频器对通用电动机调速时，电动机冷却风扇的能力下降，此时必须降低负载转矩或限定运行时间等。当低速时的负载转矩与转速的平方或立方成正比下降时，则没有温升问题。为了起到有效的保护作用，可利用变频器系统软件进行保护，即根据电动机的电流、输出频率、运行时间以及电动机冷却功能等，对电动机线圈温度进行仿真与控制。这种保护方式随运行频率变化，由于可以自动改变保护特性，故可以在整个控制范围内保护电动机。

第二节 水泵的变频器控制

一、排水泵

在化工厂等地方，雨水及工业用水经过净化处理后排放到河流中，其最终处理设备为排水池，水在池中停留一段时间进行沉淀。为了使雨水及处理水有适当的停留时间，要求控制流入量及流出量，使两者相等。若采用排水泵控制水位，使其维持恒定，如果此时排水池容积相对于流入量足够大，则对排水泵进行开停控制即可。但对于普通容积的排水池，电动机的启动次数会过于频繁，故需利用调节流出阀来控制水位恒定。由于水泵流出阀控制流量损耗很大，因此将流出阀全部开启，采用调速控制方式，则节能效果显著。在原有设备基础上引入调速控制，可采用变频器控制方式。排水泵变频器控制原理如图 6-2-1 所示。

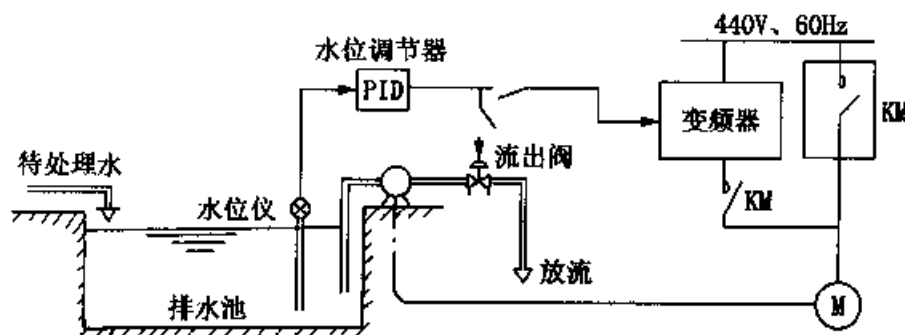


图 6-2-1 排水泵的变频器控制

系统设备由排水泵电动机、变频器、水位检测器以及水位指示调节装置组成。水位可通过调节器任意设定，并与排水池水位比较，根据其水位增、减情况，使水泵增速或减速运行，从而控制流量。如果变频器发生故障，则可切换到常规工频电源传动的定速运行，利用阀门控制流量。由于水泵额定值是根据处理最大雨量时的流入量确定的，因此在无雨情况下以二分之一额定值的低流量运行。图 6-2-2 所示为泵的平均运行模式。

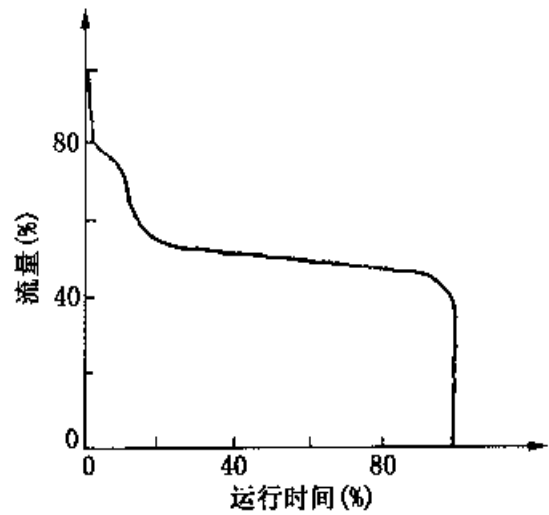


图 6-2-2 泵的平均运行模式

由于水泵的排水压力与转速的二次方成正比，当排水流量为零时，泵的排水压力应选择高于实际扬程时的转速。如果以实际扬程以下排水压力的转速运行，没有防倒流阀时会发生水倒流情况；即使设有防倒流阀，供给水泵的功率也浪费了一部分，降低了节电效果。

二、空调冷水泵

有些建筑物装有集中供气方式的冷暖空调，为给每层楼的空调机供给热交换用的冷水，设置了冷水泵。空调机根据热负载的变化而开闭冷水进口阀，从而调节室温，这样冷水泵流量经常变化，会导致高层水压变化较大。因此，要求控制冷水泵出水阀，以保持最高层水压基本恒定，对于较简单的设备，一般仅保持出水阀开度为确定值，任随其压力变化。

热负载变化引起冷水循环量变化，若不考虑压力变化或仅调节出水阀，将造成压力损失，降低系统效率。如果对冷水泵实施转速控制保持其最佳压力，则可防止压力损失，节省能源。对冷水泵进行调速控制，采用变频器控制方式较其他调速方式更为经济。例如，有 2 台冷水泵，选用 1 台变频器进行控制，使其中 1 台泵运行，系统设备组成如图 6-2-3 所示。该系统的调速控制基于最高层检出压力，利用 PID 调节器使其保持恒定。

三、陈列柜水泵

冷藏陈列柜热负载随外界气温的不同而变化较大，冷冻机、冷却水泵、冷却塔等设备容量需根据夏季最大负载量确定，这样，中等热负载时期及冬季负载很小时，就降低了运行效率。虽然此时可以对冷冻机采用卸载方法进行容量控制，降低所需功率，但冷却水泵基本与夏季一样定速运行。在冷冻机冷凝器热交换量大幅度下降情况下，对冷却水的需求量降低了。利用变频器控制使冷水泵调速运行，可抑制冷却水量，达到节能的目的。陈列柜水泵的变频器控制系统如图 6-2-4 所示。

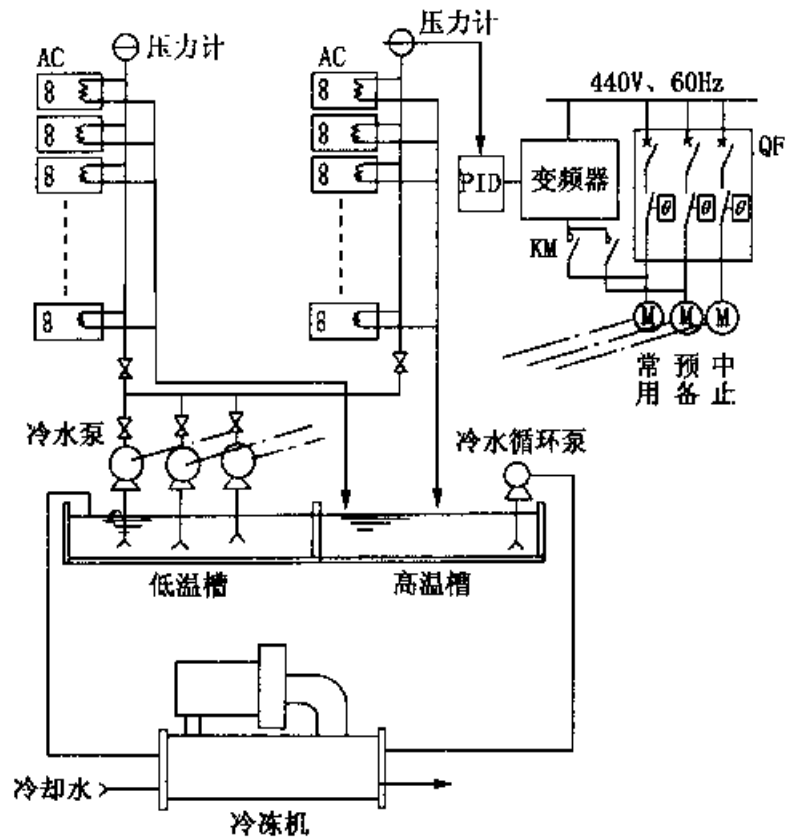


图 6-2-3 冷水泵的变频器控制

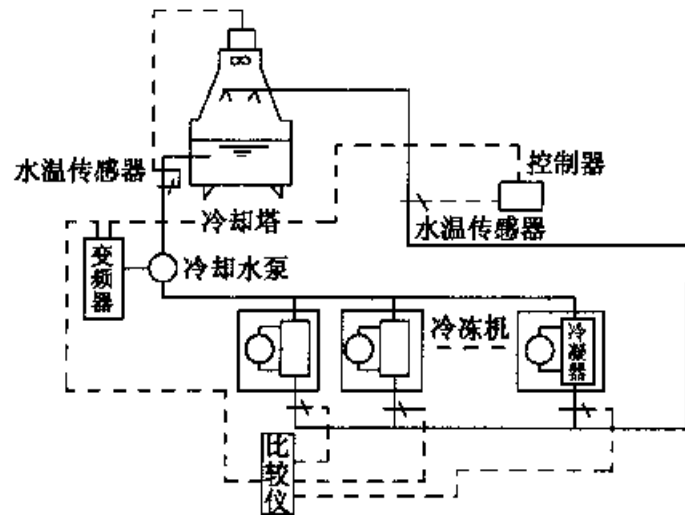


图 6-2-4 陈列柜的变频器控制

对冷冻机冷凝器的冷却水温进行检测，当水温高于设定值时加大冷却水量，低于设定值时减少冷却水量。因此，根据调节器的指示值，采用变频器控制冷却水泵的转速变化，可以充分节能。

四、灌药泵

将变频器应用于灌药泵控制，如图 6-2-5 所示。变频器对注入次氯酸盐定量泵的转速进行控制，采用的变频器为安川 VS-616GII 系列。变频器同时对生产线上的灌药泵、冷水循环泵、放水泵进行调速控制，其节能效果显著。

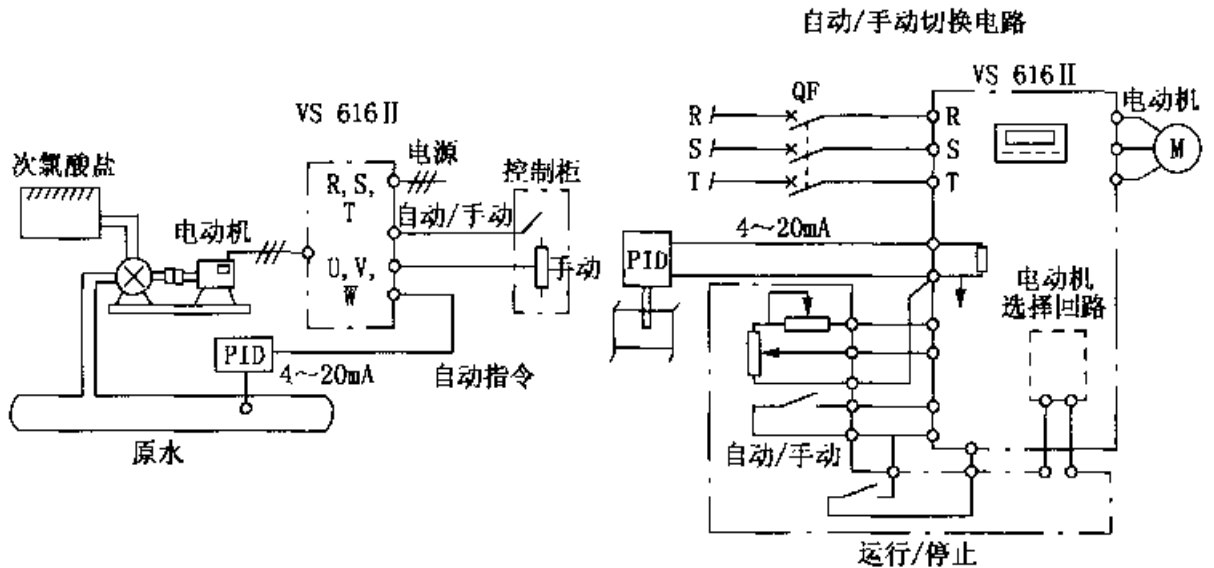


图 6-2-5 灌药泵的变频器控制

五、大型高压水泵

高压（中压）大型水泵、风机和潜油电泵广泛应用于矿山、冶金、油田、石化、电厂和水厂中，此类设备绝大部分处于变工况运行，依靠传统的机械方法来调节流量。

（一）高压（中压）变频器在取水泵房的应用

若取水泵房共有 6 台中压（6kV）取水泵，选用 150[#] 取水泵进行变频调速改造，选用 A-B 的 Power Flex-7000 系列，18 脉冲整流变频器来控制 150[#] 取水泵的变频调速运转，利用原 150[#] 泵电机断路器作为变频器的输入保护。

Power Flex-7000 系列变频器使用 6.5kV 最先进的中压大功率器件 SGCT（对称门极换流晶闸管），可阻断双方向的电压。其门极驱动集成化，开关频率高，双面冷却。功率结构为无熔断器，可能量回馈，具有电流抑制电抗器。可通过对控制 SGCT 的 PWM 模式的优化，将器件的导通和开关损耗降至最低。

Power Flex-7000 系列变频器适用于 2~6kV 输出电压，系统结构简单，输入波形好。采用 18 脉冲整流的变频器主电路见图 6-2-6，其主要技术指标见表 6-2-1。

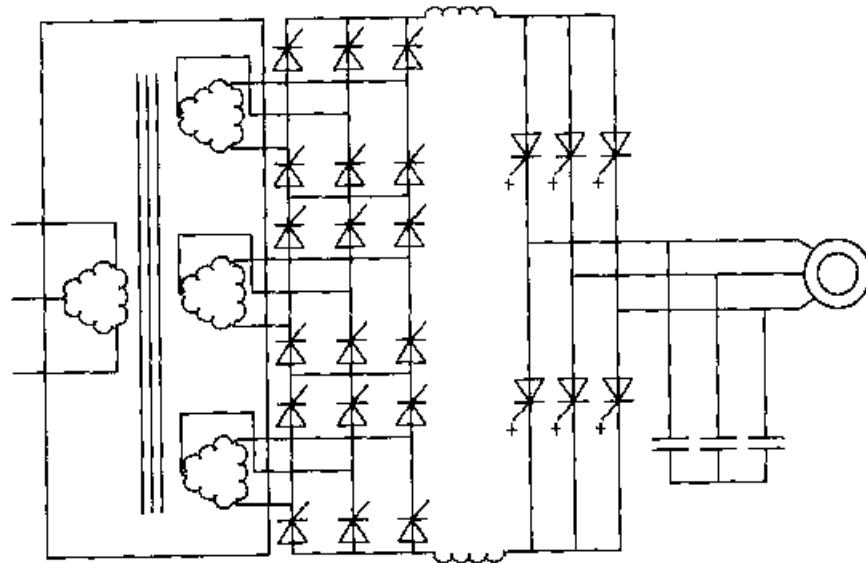


图 6-2-6 变频器主电路

表 6-2-1 A-B 变频器的主要技术指标

设计标准	CSA, UL, IEC, IEEE, NEMA, ANSI	逆变器开关	SECT
功率范围	373~4100kW	输入电压	±10%进线电压
电机类型	普通异步电机、同步电机	输入频率	(50/60±10%) Hz
输出电压	0~2.3kV, 0~3.3kV, 0~4.16kV, 0~6.6kV	输出频率	0~75Hz
输出波形	正弦电压电流波形	效率	>98%
控制电源	208~480V 3 相, 50/60Hz	逆变类型	PWM
过载能力	110%-1 分钟/150%-1 分钟	冷却	风冷

变频器的控制方式是利用原水泵房已有的监控系统 PLC 来实现变频器和断路器的逻辑控制，实现变频器的转速给定。其电气控制框图如图 6-2-7 所示。

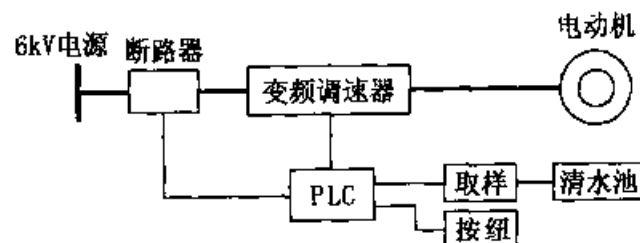


图 6-2-7 电气控制框图

(二) 工业水泵高压变频调速

某水厂工业水泵房共有 13 台 6kV 高压电动机水泵。若将工业水车间的 208[°]

机泵进行高压变频调速技术改造。高压变频器选定 ABB 公司 ACS1000 系列。该系列是 VSI (电压原型), 是一种三电平 (中性点钳位)、PWM 控制、带 IGCT 模块的高压变频器, 其系统原理图如图 6-2 8 所示。

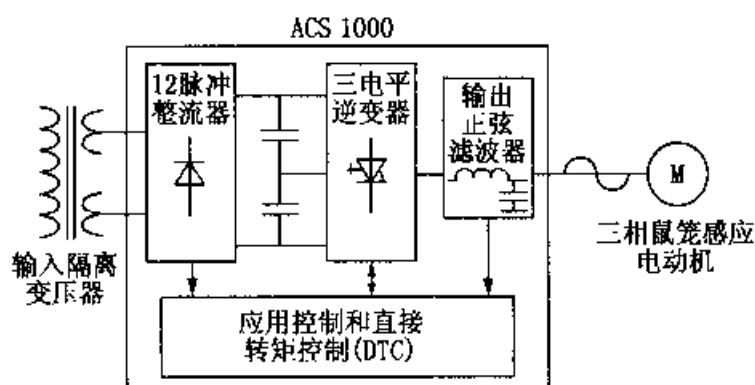


图 6 2 8 变频调速系统的原理框图

进线整流变压器 (输入隔离变压器) 取 1000kVA (或 1250kVA) 容量, 干式变压器, 6kV/3kV \times 2 Δ/Δ , Y 接法。

高压变频器取 ABB 公司 ACS1000 系列, 规格 ACS1013-A2-J0-00, 容量 950kVA (电机功率 800kW)。输出额定电流为 166A, 输出电压为 0~3kV, 输出频率为 0~66Hz。三相整流器为 12 脉冲、二极管不可控整流器。三相逆变器为三电平电路, 电力电子器件 IGCT, 内带输出正弦滤波器。

第三节 变频器恒压供水系统

变频调速恒压供水系统均为闭环系统, 有单片机、PID 及 PLC 等方式的控制。有的系统供水管网比较大, 所控制的水泵台数也比较多, 则可采取总线控制方式, 在系统内形成局域网, 以提高自动化程度和生产效率。

一、微电脑控制恒压供水

恒压供水是指不管用户端用水量大小, 总保持管网中水压基本恒定, 这样既可满足用户对水的需求, 又不使电动机空转而造成电能浪费。为实现上述目标, 需要变频器根据给定压力信号和反馈压力信号来调节水泵转速, 从而控制管网中水压恒定。变频器恒压供水系统如图 6-3-1 所示。

(一) 系统主电路

一用一备变频器恒压供水系统就是一台水泵供水, 另一台水泵备用, 当供水泵出现故障或需要定期检修时, 备用泵马上投入使用, 不使供水中断。两台水泵均为变频器驱动, 且当变频器出现故障时, 可自动实现变频/工频切换。其主电路如图 6-3-2 所示。M1 为主泵电动机; M2 为备用泵电动机; QF 为低压断路器; KM0、

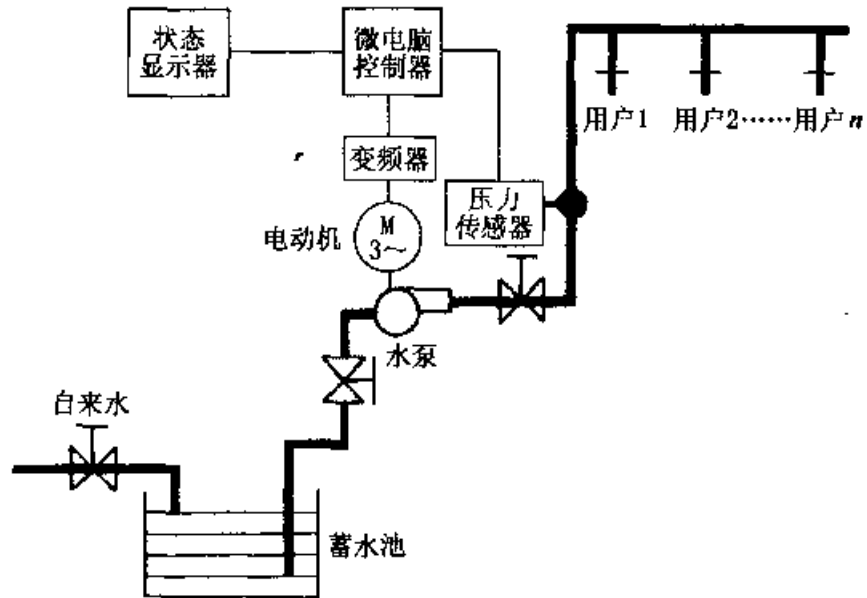


图 6-3-1 变频器恒压供水系统

KM1、KM2、KM3、KM4 为接触器；FR1、FR2 为热继电器。

(二) 控制系统

该系统主要由富士 FRN3.7G9S-4 变频器和微电脑控制器组成，控制系统接线如图 6-3-3 所示。该系统为一用一备、变频/工频自动转换的恒压供水系统，通过拨码开关设定开关量输出，RL1 和 RL2 控制主泵电动机和备用泵电动机，实现自动切换。压力给定和压力反馈补偿通过电位器 R1 和 R2 实现。微电脑控制器根据给定压力和反馈压力的大小，输出相应的 0~5V 电压信号给变频器，变频器依据输入电压信号的大小，控制水泵进行调速运行。微电脑

三相电源 AC380V、50/60Hz

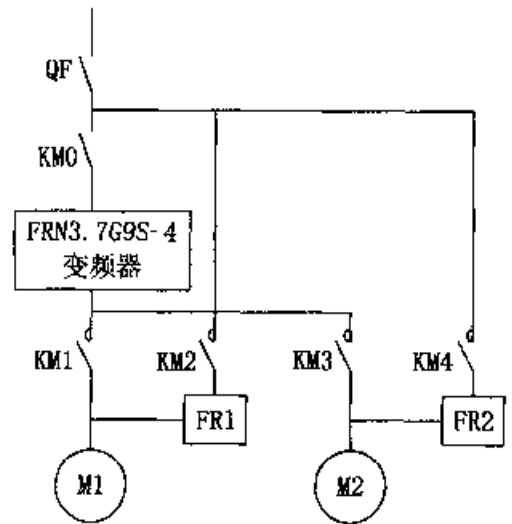


图 6-3-2 一用一备变频器恒压供水系统主电路

控制器给变频器起动信号和接收变频器故障报警信号。控制系统的给定压力、实际压力和系统的工作状态通过显示面板进行显示。微电脑自动检测水池中的水位，使变频器控制水泵电动机在无水后自动停机，有水后自动启动。该系统具有电动机过电流、过电压、过载、欠电压等故障保护功能。

(三) 变频器功能设定

变频器通电后，根据本系统的工艺情况，即可进行功能设定：最大频率 50Hz；最小频率 0Hz；基本频率 50Hz；额定电压 380V；加速时间 15s；减速时间 15s；电子热保护 105%；转矩限制 150%；转矩矢量控制不动作。其他功能按照变频器

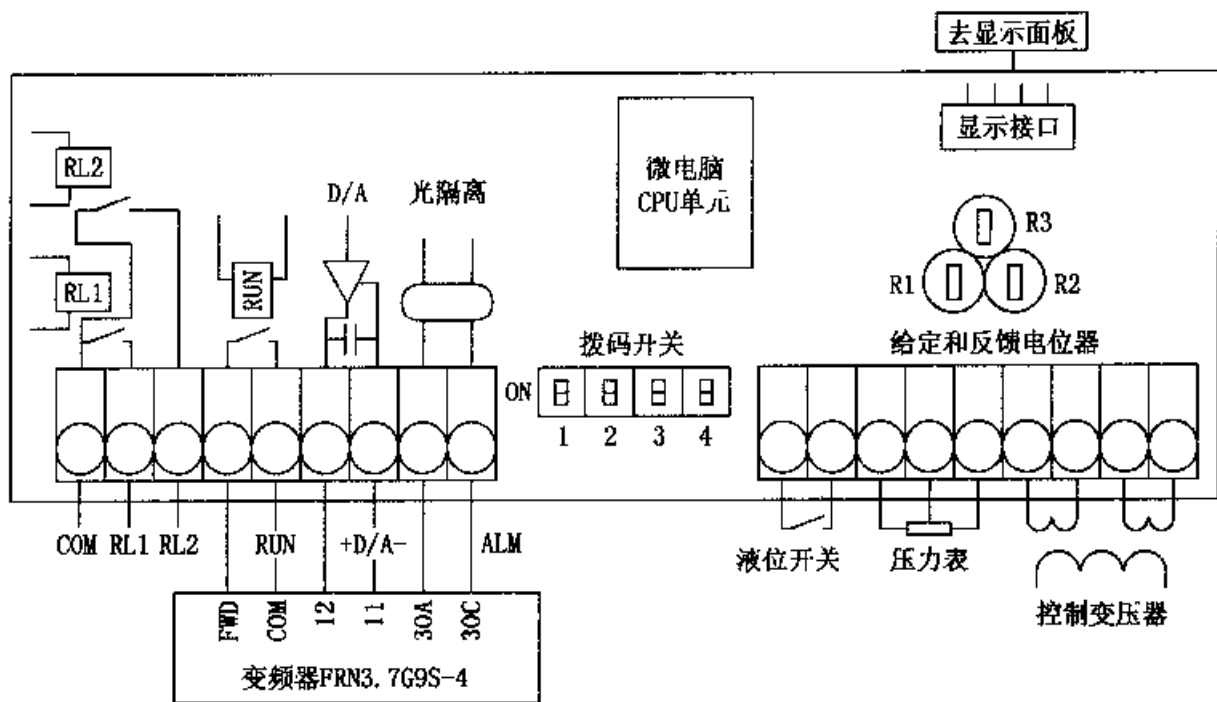


图 6-3-3 恒压供水控制系统接线

出厂设定值。

二、PLC 控制恒压供水

在中小型恒压供水系统中，采用 PXW9 智能型多功能控制器作为压力调节器，使 PLC 控制下的变频调速恒压供水控制系统，具有节能稳定运行、高可靠性、操作方便、结构简单、自动化程度高、经济易配置等优点。

(一) PXW9 的控制原理

水泵电机容量是根据使用高峰期的水压设计的。而很多时间用水量较少，如夜间。而水流量取决于水泵电机的转速。若水泵电机能根据实际用水量来调整，可大大减少电机功耗，节约电能，且使水压恒定。

由于驱动泵的电机输出功率 $P = 0.105M_2 \cdot n^2$ ，所以电机转速 n 稍有下降时，输出功率就会大幅度减小。而 n 与 f 成正比，所以采用变频器调速系统的节能效果非常显著，且具有供水质量高、灵活性强、操作方便、电机启动为软启动、延长水泵使用寿命等优点。变频调速系统控制框图如图 6-3-4 所示。

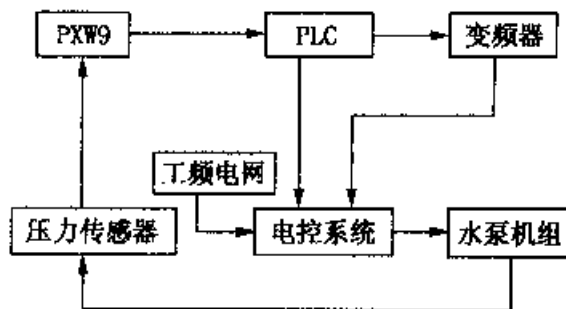


图 6-3-4 变频调速系统框图

PXW9BF1-IV 数字式多功能控制器

具有模糊逻辑控制功能，水泵出水管上安装一只压力传感器，将压力信号送到

PXW9 控制器，控制器采样并与压力设定信号比较求其偏差，经自身模糊控制，给出一个 DC 4~20mA 的信号。此信号由 PLC 控制变频器输出频率，从而改变水泵电机转速，以消除偏差。经反复调节，最终管网出口压力与设定值保持一致，从而实现恒压自动供水。图 6-3-5 所示为 PXW9 压力调节器电气原理图。

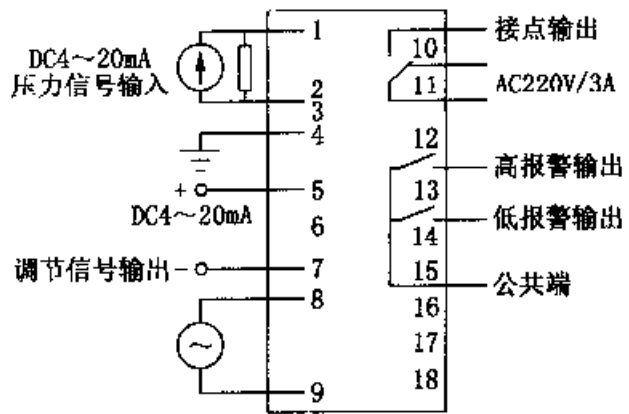


图 6-3-5 PXW9 压力调节器电气原理图

(二) PLC 控制下的变频调速控制原理

某小区楼群变频调速恒压供水系统共 3 台水泵 (7.5kW)。一台变频器通过 PLC 控制器的切换和控制，可使任一台电机处于工频或变频下运行，并分别依次进行软启动。图 6-3-6 是 PLC 控制下的变频调速主回路，KM1、KM3、KM5 分别是 3 台水泵工频运行接触器；KM2、KM4、KM6，分别是 3 台水泵变频运行时的接触器，它们都由 PLC 控制。

系统开始工作时，压力传感器将压力信号送到 PXW9 调节器。开始时水压低于设定值，PLC 启动升速程序，并按其设计好的程序控制变频器运行，频率逐渐上升，并使电机启动逐渐升速，同时管网水压也上升。当水压升至 PXW9 调节器设定值时，泵机在此频率下稳定运行，保持了水压恒定。若泵机频率达到电网工频时，水压还未达到设定值，此时 PXW9 调节器给出信号至 PLC。PLC 自动将 1 号泵切换至工频电网，接触器 KM2

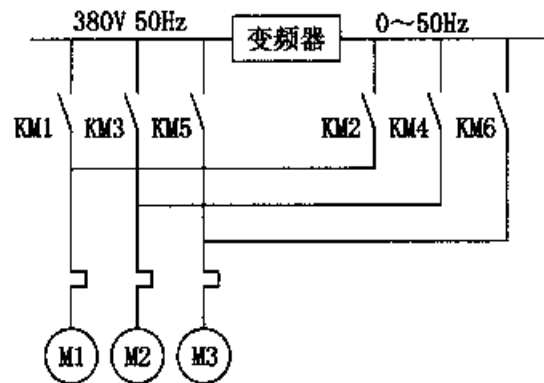


图 6-3-6 变频调速主回路

释放、KM1 吸合，变频器输出为零，PLC 发出指令使 2 号泵 KM4 闭合。2 号泵启动并调速至水压达 PXW9 的设定值，使水压转速恒定。3 号泵一般作为备用泵，当用水量变化，水压超过了设定值，水泵输出频率降低至频率为零时，KM4 释放，2 号泵停机。PLC 发出指令使变频器至工频输出，1 号泵工频运行，KM1 关，切换为变频，KM2 吸合并降频，使水泵转速降至 PXW9 调节器的设定值，水泵稳定恒压运行，整个系统可将用水量从最小至最大全面控制。对水泵进行工频和变频电网切换过程应尽量快，各接触器间的动作时间由 PLC 设定。

本系统中，PLC 可选用 OMRON 公司的 C28P，该小型整体式 PLC 具有 16 个输入点、12 个输出点并可扩展一块 D/A 模块，满足系统的要求。变频器可选用富士电机公司的 FRENIC 5000G9S，频率可调范围 0~60Hz。

第四节 风机的变频器控制

一、冷却塔风扇

冷却塔冷却扇根据四季及昼夜温度变化改变进风量，通过控制变极电动机的台数来节能。在此基础上，引入变频器及冷水温度反馈回路，可实现更精确的控制，以减少电能消耗。例如，现有一个冷却塔由 3 个室组成，各室的冷却扇由 4 极或 6 极组成变极电动机进行传动，如果仅根据季节的变化手动选择电动机的台数与极数，则年供电量高于理想状态，冷水温度过分降低，造成浪费。为此，对第三台冷却扇引入变频器控制，并用测温电阻检测冷水温度，由单回路控制器进行水温定值控制，其控制系统如图 6-4-1 所示。

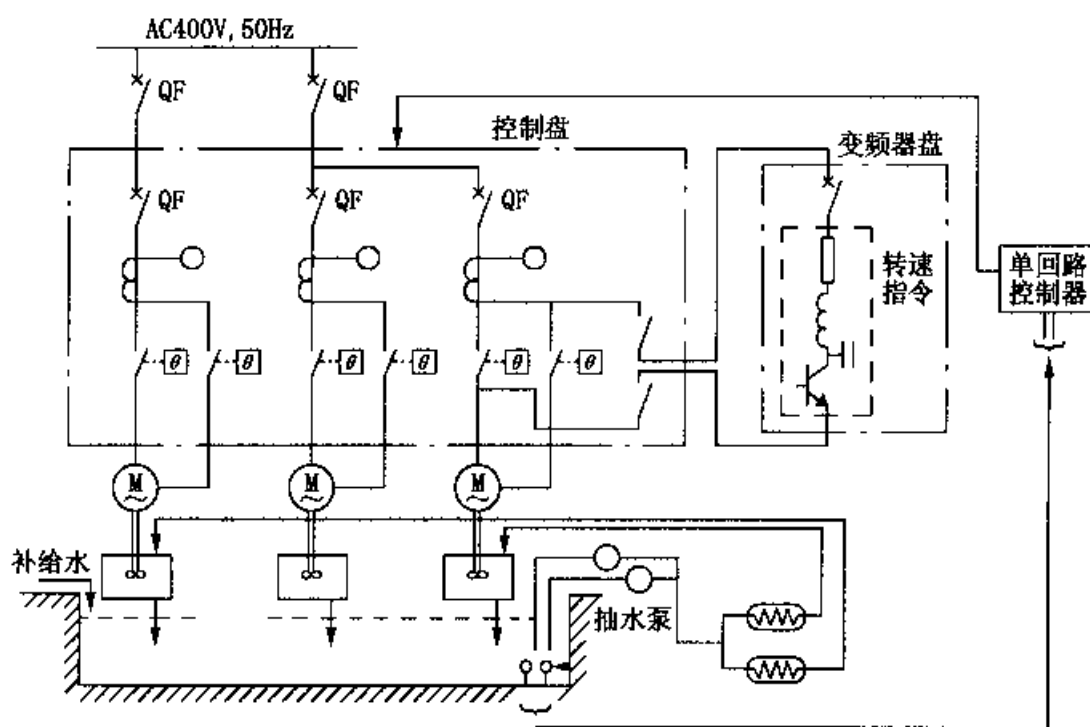


图 6-4-1 冷却塔的变频器控制

根据单回路控制器的变频器控制以及变极电动机的 4 极、6 极、停止分段控制模式，冷却塔的变频器控制如图 6-4-2 所示。单回路控制器冷水温度设定值与测量值的差值进行 PID 控制，同时根据测量值的变化率检验温度传感器故障，或将故障传感器切换到备用传感器。分段控制升、降信号按下列方式输出：第三台冷却扇转速指令达到 90% 以上，并且持续 5min 后，将分段控制上升一段；第三台冷却扇转速指令持续 5min 指示 35% 以下时，将分段控制下降一段；第一及第二台冷却扇都处于停止状态，第三台冷却扇转速指令连续 5min 指示 35% 以下时，变频器停止，使第三台冷却扇停转；第一至第三台冷却扇都处于停止状态；当第二台冷却扇

转速指令达到 90% 时，低频启动变频器，重新开始转速控制。图中引入变频器的电动机功率曲线是水温设定值为 32℃ 时的仿真结果，该曲线与表示常规功率折线所夹斜线部分，即为节省的电量。

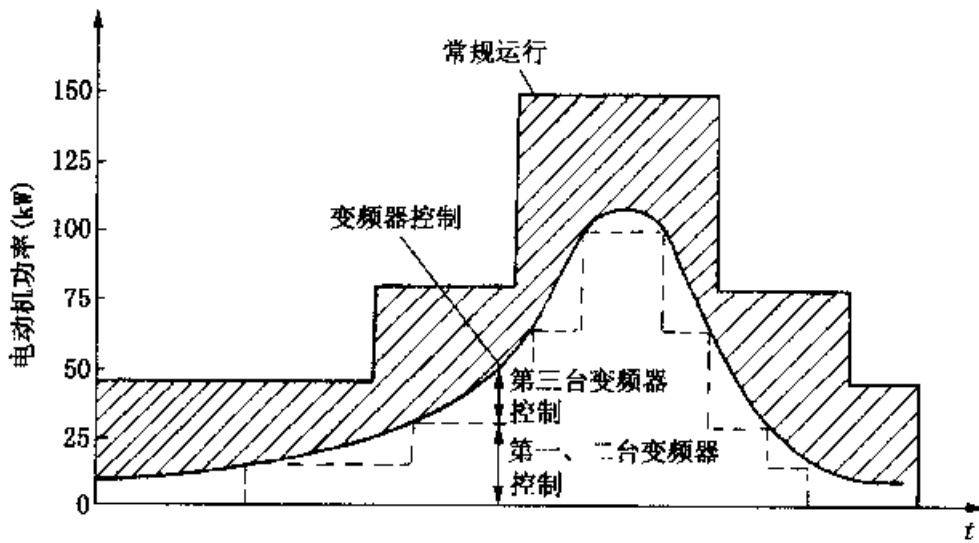


图 6-4-2 冷却扇运行模式与功率

把变频器引入冷却塔的冷却扇进行速度控制时，需注意以下两个问题：

(1) 最低转速问题。如果冷却扇减速器输出轴润滑为自动供油方式，则转速不能降到自动供油所允许的最低转速之下，此时应在变频器侧装设最低转速限制器。

(2) 空转时变频器启动问题。如果有强风，处于停止状态的冷却扇会发生空转，原则上变频器只能从电动机停止状态开始转动，因此如果有强风使电扇空转，则必须使用机械制动器停止空转后再启动，或直接利用工频电源启动后，再切换成变频器控制运行方式。

二、发电厂锅炉鼓风机

锅炉上的鼓风机通常有压力式鼓风机与吸引式鼓风机。一般的风量运行上限比鼓风机标称值小，通常取标准值的 80%。由于风量正比于转速，转速的运行上限也为转速 80%。火力发电经常调整负荷，白天高峰期基本上在 80% 上限转速附近运行，夜间则多运行在低速区域。采用变频器调速后，小风量低速运行时间越长，节能越明显，如图 6-4-3 所示。

对于小容量锅炉的燃烧控制，可采用检测烟道含氧量并使其最小的方法减少释放到烟道

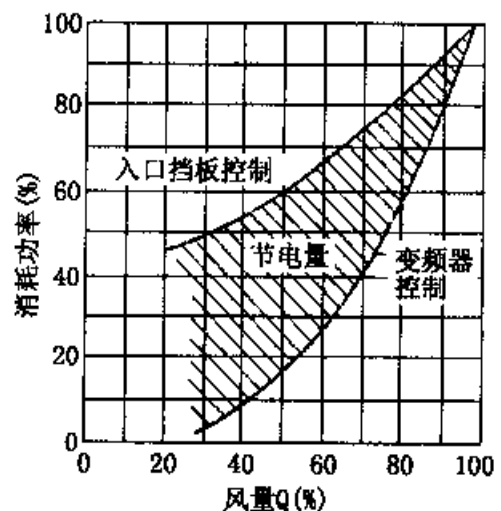


图 6-4-3 节能效果对比

的热量，即实施排气低氧控制，不仅可以节约电能，而且可以节省燃料。

锅炉鼓风机转速的变频器控制系统如图 6-4-4 所示。电感 L 的作用是抑制从变频器运行向工频电源运行切换时电动机加速，从而减少锅炉内压的变化，同时可减少切换时的机械振动。当运行超过变频器容量或变频器发生故障时，实施从变频器运行向工频电源运行切换，切换时应防止锅炉工作中断。

由于鼓风机风的阻力与转速的二次方成正比，轴功率与转速的三次方成正比，所以其负载特性即为图 6-4-3 中的耗电特性。如果在常规运行上限点以下采用变频器控制，超过上限时采用工频电源使电动机运转，则此时采用 50% 容量的变频器即可以满足要求。这样，就可根据运行模式确定变频器的转速上限。运行模式中，转速控制范围的下限根据轴承状况确定。如果转速太低，有可能使轴的润滑不起作用。

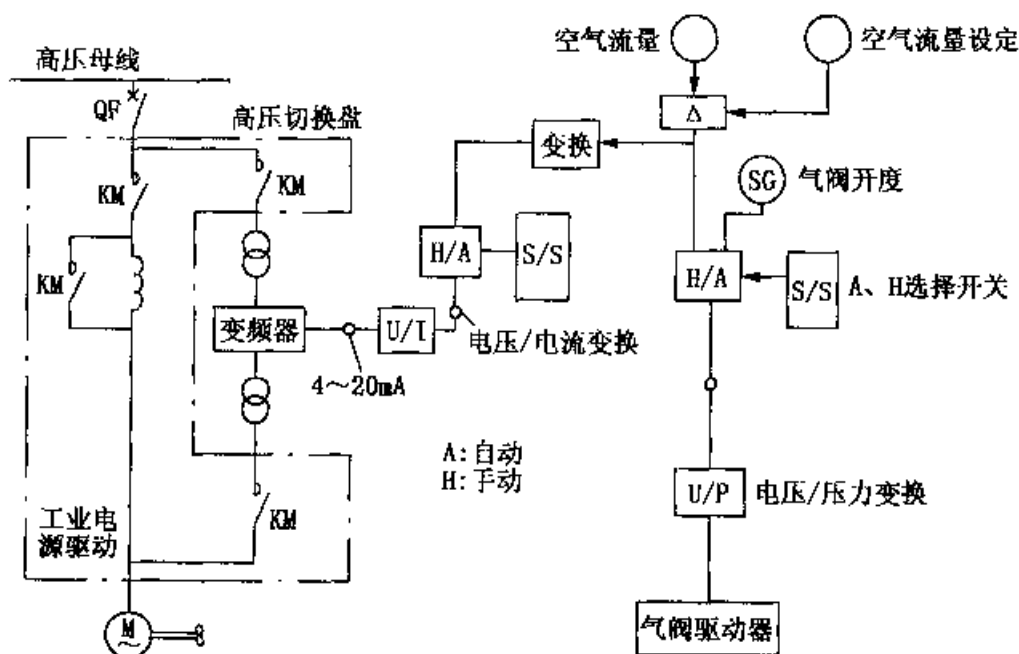


图 6-4-4 锅炉鼓风机转速的控制

将变频器应用于锅炉鼓风机控制，当变频器发生故障或过负载时，应在保证不使锅炉运行中断的前提下，把变频器运行方式切换到工频电源运行方式。另外，还需考虑电动机与风扇的机械与热强度、切换强度、谐振、负载变化引起的疲劳，以及高次谐波对电动机及高压母线的影响。

三、大功率电动机冷却风扇

较大型电动机，在其最大负载时，由于铜耗引起的发热量可达数百千瓦。为使这些热量散发掉，大型同步电动机以及用于轧钢机的直流电动机等采用不同动力源的风扇实行强制冷却降温。但这些大型电动机并不是一直运行在最大负载状态，如轧钢机采用的大型电动机，在轧钢过程中虽然接近额定负载，但从钢板轧制完毕到

新钢板传送过来这段时间，则基本上为空载运行。

冷却扇容量是基于最高环境温度以及额定负载时能充分冷却的要求确定的，这样在空载或轻载时就会产生过度冷却，气温较低时问题更严重。另外，用于轧机的直流电动机电刷相对于其电流大小及材料性质，存在最佳环境温度，过度冷却会造成不正常磨损，故应避免。采用变频器对冷却扇进行转速控制，不仅可充分节能，同时可防止过度冷却。例如，现有一台轧机电动机，采用他动力冷却扇，利用变频器及可编程控制器对冷却扇进行控制，如图 6-4-5 所示。

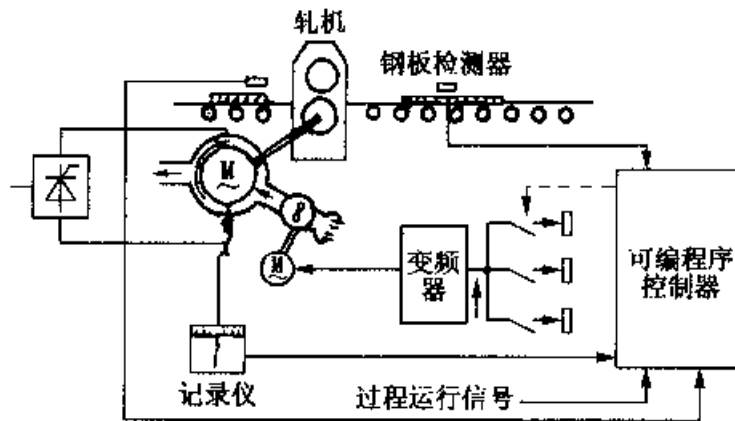


图 6-4-5 轧机冷却扇的控制

采用变频器控制冷却扇后，由于冷却扇的风量基本与转速成正比，耗电量与转速的三次方成正比，因此实现了大幅度节能，也避免了电刷过冷却，对电刷的检修及维护有利。

图 6-4-6 所示为多台大型电动机冷却扇的变频器控制，即轧机生产线同时使用多台压轧设备。利用 5 台变频器控制 7 台他动力电扇，基于吸气温度、排气温度、负载电流及触点信号获得过程的状态及运转情况，计算机进行运算，输出模拟信号，对变频器指令与运行指令、系统状态等信号进行控制，通过 CRT 操作，对各种计测值、运算结果、系统状态、操作指标等进行监控。变频器根据吸排气温度及负载电流推算的绕组温度实行控制，即该系统根据实际运行数据确定控制对象。

变频器 1、2、3 各驱动一台风扇，变频器 4 和 5 各驱动 2 台风扇，风扇 2、3 与风扇 6、7 及风扇 4、5 的工作情况相同。7 台风扇完成对 5 台大型电动机通风冷却的任务。变频器控制冷却扇时，对于大型设备，首先需要考虑系统的可靠性，设定运行模式时，应保证不会发生冷却不足现象。另外，设计监测器并使系统具有报警功能时，应相应地设计旁路运行系统，以备主系统故障时使用。

四、工业锅炉燃烧过程的变频调速系统

工业锅炉根据采用的燃料不同，通常分为燃煤、燃油和燃气三种。这三种锅炉的燃烧过程控制系统基本相同，只是燃料量的调节手段有所区别。对工业锅炉燃烧

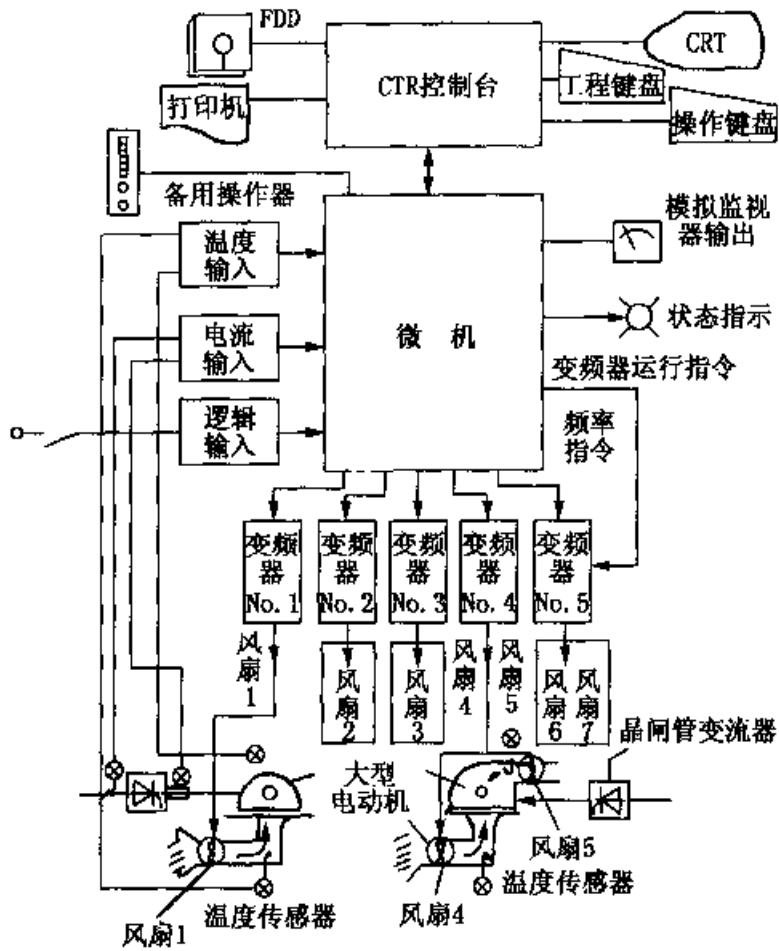


图 6-4-6 多台冷却风扇的控制

过程实现变频调节，主要是通过变频器调节送风机的送风量、引风机的引风量和燃料进给量来进行的。下面以 20t 燃煤蒸汽锅炉为例进行介绍。

(一) 燃煤蒸汽锅炉燃烧过程

由于蒸汽锅炉的过程控制系统包括汽包水位控制系统和燃烧过程控制系统，两系统在锅炉运行中互相耦合，所以控制起来非常困难，如图 6-4-7 是蒸汽锅炉燃烧控制过程系统原理图。

图中，FT 表示流量传感器，FIC 表示流量控制器，PT 表示压力传感器。FT1、FIC1 和变频器 1 组成送风机控制回路。由于煤的燃烧需要一定的空气量，所以要保持锅炉的最佳燃烧过程，就必须使给煤量和送风量保持一定比例，这主要通过变频器 1 调节送风机转速来实现。PT2、PIC2 和变频器 2 组成引风机控制回路。通常燃煤锅炉的运行都要求炉膛负压保持在 $20 \sim -40 \text{Pa}$ 范围内。如果炉膛负压太小，容易向外喷火，既影响环境卫生，又可能危及设备与操作人员的安全；若负压太大，炉膛漏风量增大，会增加引风机的电耗和烟气带走的热量损失。炉膛负压的控制主要通过变频器 2 来完成。PT、PIC、PT3、PIC3、FT3、FIC3、变频器 3 组成给煤量控制回路。锅炉运行时，蒸汽压力和蒸汽生产量直接反映了锅炉燃

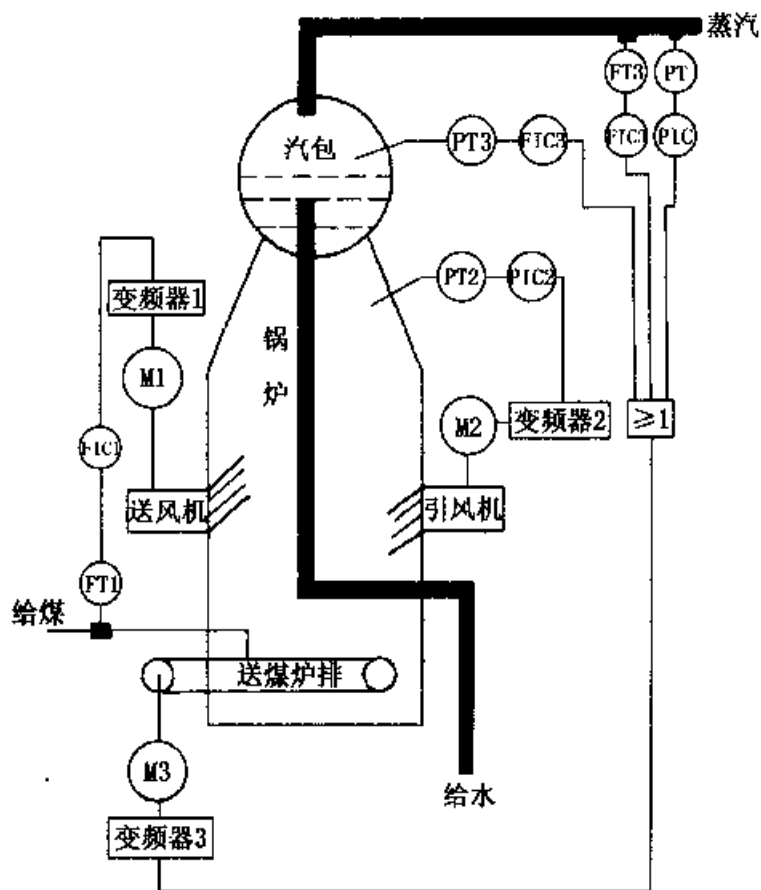


图 6-4-7 燃煤锅炉燃烧过程系统原理图

烧发热量，如果煤的进给量改变，在保持最佳燃烧工况下，蒸汽的生产量也会相应改变。所以通过变频器 3 调节给煤机的转速就可以调节煤的进给量，从而达到控制蒸汽生产量的目的。

锅炉燃烧控制系统框图如图 6-4-8 所示。图中， P 为蒸汽母管压力， P_3 为汽包压力， P_2 为炉膛压力， F_3 为蒸汽流量， F 为送风量。当负载蒸汽量变化时，主调节器接受蒸汽压力信号 P ，输入给煤量调节器，及时调节给煤量，以适应负载的变化。同时，给煤量调节器将负载变化的信号输给送风量调节器，以保持适当的煤风比例。由于送风量调节器与引风负压调节器之间有动态补偿信号，此时引风负压调节器也同时动作，这样就保证了燃烧控制系统的协调动作，以保证正确的煤风比例和适当的炉膛负压。送风量调节器接收风量反馈信号，及时反映送风量的变化，以提高调节的稳定性。引风负压调节器也接受炉膛负压信号，作为静态时对炉膛负压的校正作用。

(二) 变频调速系统的接线

该系统送风电动机为 380V、300kW 交流电动机，引风电动机为 380V、360kW 交流电动机，给煤机电动机为 380V、3.0kW 交流电动机。根据现场工艺要求，选择三菱公司的变频器 FR-F540-375K 驱动 300kW 送风电动机和 360kW 引风

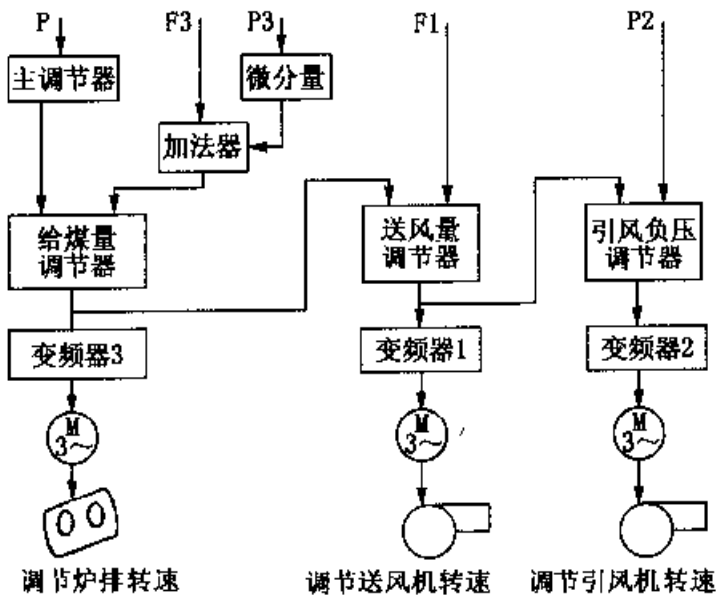


图 6 4 8 锅炉燃烧控制系统框图

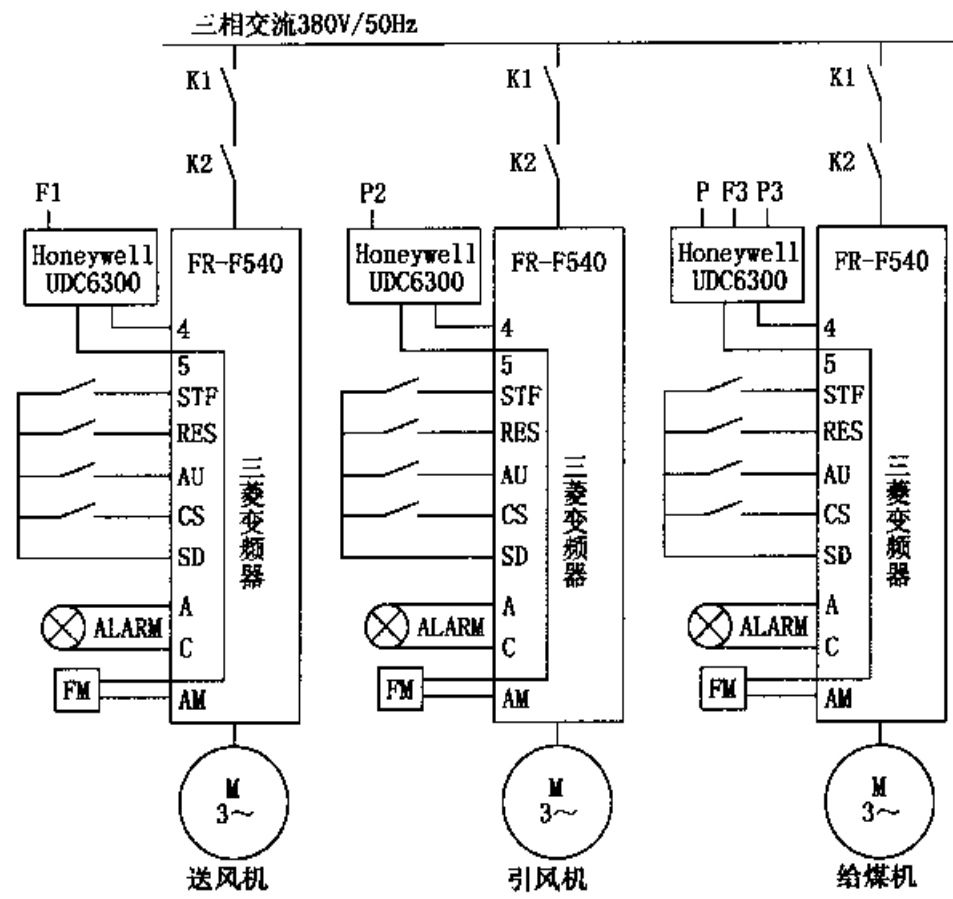


图 6-4-9 变频器调速系统的接线

4-频率给定 5-模拟量公共端 STF-正转 RES-复位 AU-电流输入信号有效
 SD-开关量公共量 A、C-故障报警继电器常开触点 AM-频率输出显示
 UDC6300-回路表 P-母管蒸汽压力 P2-锅炉炉膛压力 P3-锅炉汽包压力
 F1-给煤流量 F3-母管蒸汽流量

电动机，变频器 FR-F540-4.0K 驱动 3.0kW 给煤机电动机，给煤量调节器，送风量调节器和引风负压调节器均采用 VDC6300 回路调节器。变频调速系统的接线如图 6-4-9 所示。

本系统通过压力传感器和流量传感器将锅炉的蒸汽压力、蒸汽流量、风量等转换成 DC4~20 mA 信号，送给 VDC6300 回路调节器进行 PID 调节，然后输出 DC4~20 mA 信号送变频器，以调节电动机转速。

(三) 变频器功能设定

变频器通电后，根据锅炉系统的实际运行要求，可对其功能进行设定：最大频率 50Hz；最小频率 10Hz；基本频率 50Hz；额定电压 380V；加速时间 30s；减速时间 30s；瞬间停电再启动时间 0.5s。

第七章 变频器在机床、起重机方面的应用

第一节 机床的变频器控制

在机床主轴上采用变频器可实现无级变速，从而使磨具或刀具以最小的磨损产生最高的光洁度和加工精度。机床工作台由变频器取代液压传动，可缩短传动响应时间，变频器的调速范围宽、控制精度高，且具有很多自动功能，可有效提高机床的加工效率。

一、自动车床

自动车床主要用于高速加工滚珠丝杠等精密部件，由通常的凸轮控制改变为复合数控车床后，有效地提高了生产效率，成为具有稳定精密加工与良好性能的机械。人们将利用变频器控制与数控装置结合起来，缩短了自动车床的加工周期。

自动车床对变频器的要求有以下几个方面：不经过停止状态直接由正转状态变为反转状态；变频器的输出频率为 120Hz 以上；具有急剧减速的再生制动装置，同时具有制动功能，减速结束时不采用机械闸即可完全停车；低速时速度变化率小，运行平滑。

自动车床的变频器控制原理及输出特性如图 7-1-1 所示。制动装置的晶体管装在变频器内，制动电阻另外设置。数据装置检测的正转、反转及频率指令为变频器的输入信号。选用比电动机容量大一点的变频器可缩短加速时间，某运行周期模

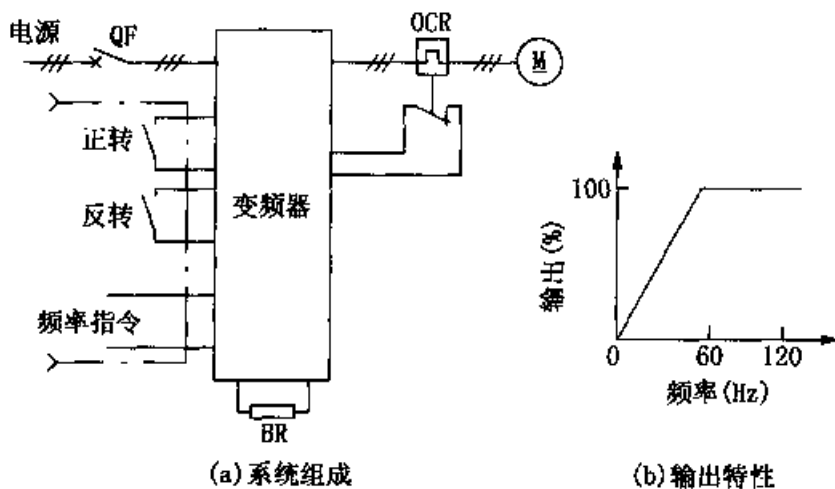


图 7-1-1 自动车床的控制

式如图 7-1-2 所示。工件加工时具有频繁的加速与停止操作，此例中加工模式为主轴停止，此时刀具旋转进行攻丝加工。

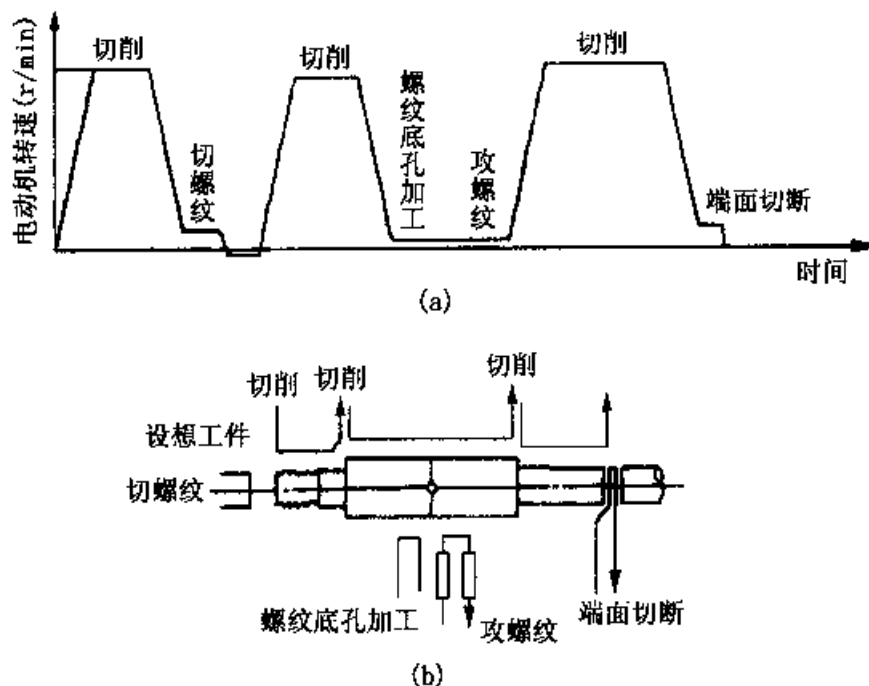


图 7-1-2 运行模式与工件形状

利用变频器控制后，缩短了加工周期、提高了生产率、速度再现性好、产品质量稳定，可将带制动器的电动机更换为通用电动机而不需要维护。制动电阻的大小由减速频率决定，故应该根据最繁重运行模式进行选择。由于温度高，应适当考虑安装位置，注意电动机的低频振动。如果在低速时要求充分大的转矩，则可使用通风型专用电动机；由于速度可调范围大，故需考虑机械部件的匹配，以防止发生谐振。

二、数控车床

数控车床的主轴如果采用齿轮变速，其速度最多只有 30 段可供选择，难以进行精密恒定线速度控制，且需要按时定期维修离合器。直流型主轴虽然可以无级调速，但必须维护换向器，其最高转速亦受到限制。数控车床的主轴若采用变频器控制即可消除这些限制，可对标准电动机直接变速传动，因此可以去掉离合器，实现主轴的无级调速。

NC50D 数控车床采用大森系统控制，进给系统采用日本安川交流伺服电机驱动，主传动采用变频器控制的变频调速电动机，可实现无级变速，如图 7-1-3 所示。图中，CNC 装置采用大森 R₂J50L 数控系统；变频器采用安川 VS-616G5 (5.5kW) 的变频器，具有多种保护功能，并有故障显示功能，使用变频器能提高电机转速的准确性，并能提高电机功率因数；变频电动机采用福田电机的 VFG 系

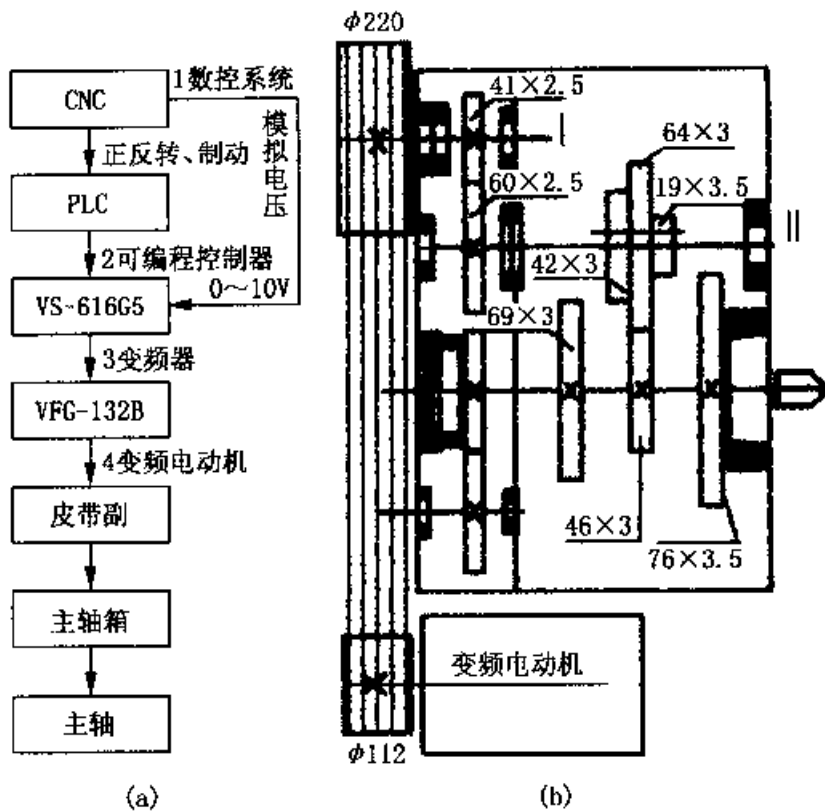


图 7-1-3 NC50D 数控车床控制原理

列，基频 33.3Hz，额定功率 5.5kW，调频范围 2~100Hz。数控系统的 CNC 装置通过 PLC 控制变频器的正反转和制动。变频器的变频是 CNC 系统通过 S 指令给出 0~10V 模拟电压，根据输入控制电压的值成比例输出对应频率的电流，使变频电动机在限定频率范围内调速。

CNC 装置输出 0~10V 模拟电压，经变频器将电流送给变频电动机，再通过皮带副传到主轴箱，依靠箱内手动三挡变速，可使主轴得到高、中、低三挡无级变速。其主轴转速如图 7-1-4 所示。

根据要求的主轴转速范围 9~1500r/min，确定电动机转速的转速范围 103~3000r/min，电动机的调频范围 3.43~100Hz。据此可对变频器进行电压参数设定，最高转速对应最高电压 10V，最低转速对应 0V 控制电压。这样，在 CNC 中每输入一个 S 转速位，机床主轴就能输出相应转速，实现了主轴的自动无级调速。变频调速系统变频电动机的功率转速特性曲线见图 7-1-5。

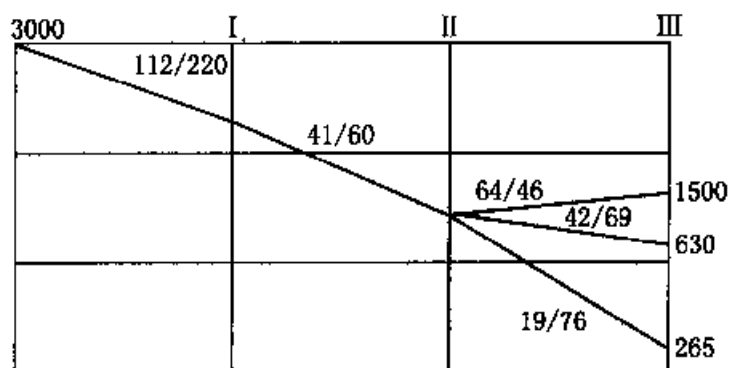


图 7-1-4 机床主轴转速

NC50D 数控车床主轴转速为 $9 \sim 1500 \text{ r/min}$ ，按照转速范围，可分别求出三挡转速：高速挡 H 为 $40 \sim 1500 \text{ r/min}$ ，中速挡 M 为 $212 \sim 630 \text{ r/min}$ ，低速挡 L 为 $9 \sim 265 \text{ r/min}$ 。并可分别求出三挡的基频转速： n_H

$= 484 \text{ r/min}$ ； $n_M = 212 \text{ r/min}$ ； $n_L = 87 \text{ r/min}$ 。由此得出车床主轴的功率转速特性曲

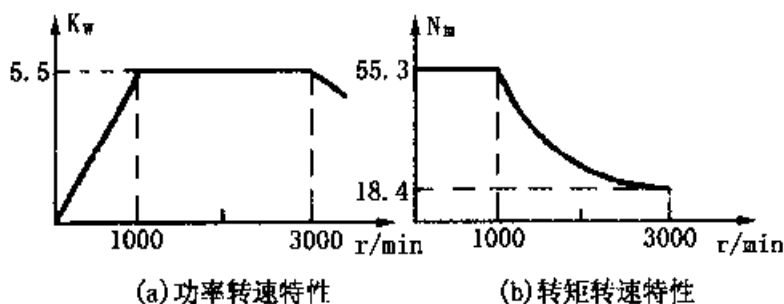


图 7-1-5 电动机功率转速特性曲线

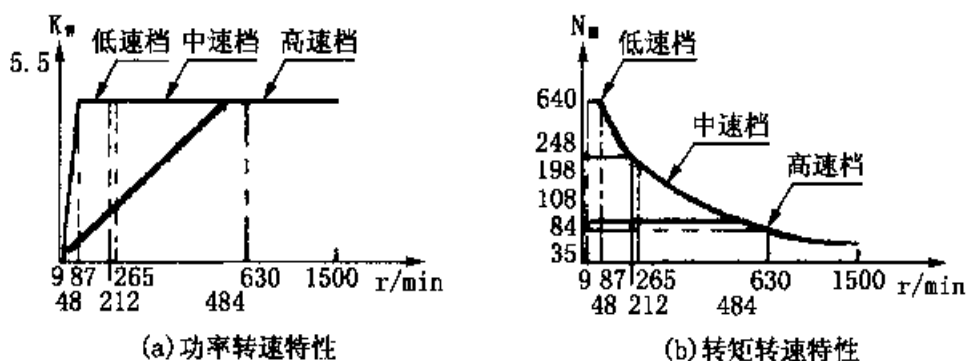


图 7-1-6 主轴功率转速特性曲线

线，见图 7-1-6。该机床低速时主轴转矩较大，高速时功率大、恒功率范围宽，完全符合机床切削的要求。

三、立式车床

立式车床主要用于加工铁路车辆的车轮、汽车的轮箍等内、外径及重量大的工件，其加工工件重量大，故主轴电动机的容量大，传动调速部件的齿轮、离合器等机械部分的尺寸也很大，可利用变频器进行控制。对于大外径工件，由外向内连续切削时，可采用变频器控制可实现恒线速切削，提高效率。由于立式车床一般不需要突然加、减速，因此，可选用通用变频器而不用专用变频器。主轴传动采用中容量变频器，刀架进给采用小容量变频器的立式车床控制原理如图 7-1-7 所示。

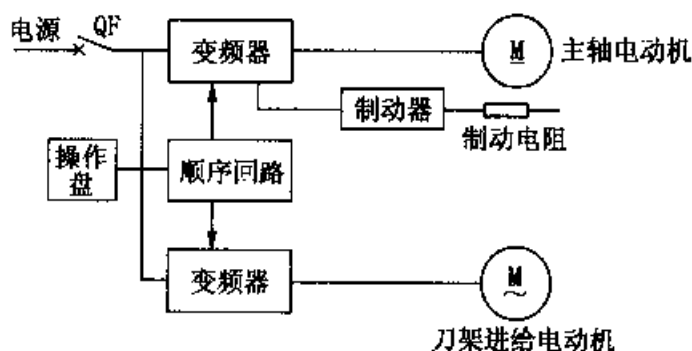


图 7-1-7 立式车床的变频器控制

工件的惯性是电动机惯性的 10 倍以上，因此必须设置制动装置，刀架进给虽然需要横向移动，但并不需要大的转矩，故一般可选用数千瓦的变频器。如果要求

高精度切换，则可为立式车床配置数控伺服电动机，某种运行模式如图 7-1-8 所示。图中的①、②、③、④对应刀具加工位置时的主轴转速。

由于工件的直径很大，因此可根据刀具的加工位置使主轴转速连续变化，实现恒线速度切削。采用变频器后，去掉了齿轮及离合器等机械部分，使得维护方便。因为立式车床的工件（包括底座）的惯性较大，因此将机械式制动替换为电气式制动；由于容易实现高速运转，故可高效率加工铝等软工件。无级变速可

满足恒线速度加工要求，故可提高生产效率。立式车床底座附件的惯性很大，在应用通用变频器时，需注意制动装置以及制动电阻的容量。

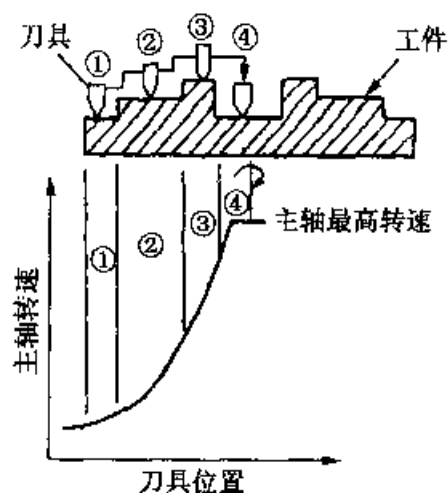


图 7-1-8 工件形状和运行模式

四、单臂龙门刨床走刀系统

(一) 改造前

国产单臂龙门刨床的走刀系统一般采用超越离合器，分为“快速”、“空”、“自动”三挡，刀架的选择由换挡实现。“快速”挡用于调整刀架的位置。“自动”挡用于正常刨削，在工作台前进换后退时电机反转，作走刀准备；在工作台后退换前进时电机正转刀架移动，移动的距离由调整超越离合器的行程确定，在刻度盘上指示。由于该机构比较复杂，在使用一段时间后经常出现不走刀或走刀距离不一致的情况，影响加工的质量。

(二) 改造方案

B1016A 单臂刨床存在电气及机械系统老化严重的问题，走刀系统经常出现故障。现采用中纺机电研究所生产的开关磁阻电机改造其主电机，采用 PLC 控制新电气柜，同时用变频器改造走刀系统。

刨床走刀电机的额定功率为 1.7kW，改造前启动电流为 4.5A，启行电流为 1.5A。考虑到需要较频繁地启、制动，可适当放大容量，选用启、制动性能较好的安川 VS606V7 变频器，该变频器的参数为：外接电机最大功率 2.2kW；变频器容量 4.2kVA；额定电流 5.5A；电压范围 380~460V，-15%~+10%；频率输出范围 0.1~400Hz。改造后走刀电机的电气连接如图 7-1-9 所示。

采用 PLC 控制可简化原来的操作；去掉超越离合器的部分可使电机与原减速机构直连；原“快速”、“空”、“自动”三挡在改造后只需要“快速”挡，无需换挡。利用变频器的点动功能将快速移动的速度设定为固定速度，频率可设为 50Hz 与改造前一致，也可根据需要设至 60Hz。当自动运行时，变频器的速度由面板的电位器给定，变频器运行的时间由 PLC 控制，这样就很好地控制了走刀的距离。

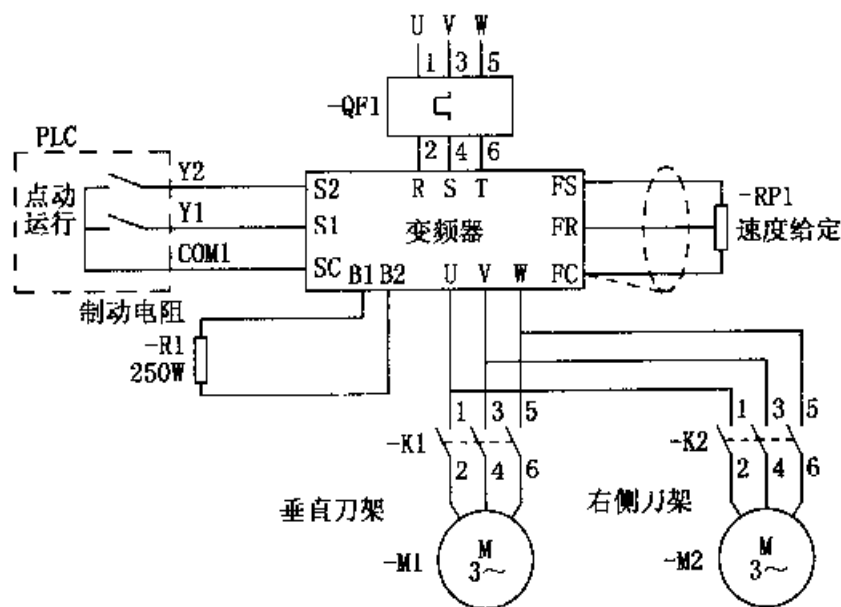


图 7-1-9 走刀电机的电气连接

单臂刨床只有 2 个走刀电机（横梁刀架电机和侧刀架电机），而且同时工作的机会较少，所以在面板上设置了选择开关。通过 PLC 控制接触器，切换变频器和 2 个刀架电机的连线，选择走刀的电机，同时将原控制电机的 4 个接触器去掉。

（三）改造实施

对变频器及 PLC 的参数进行适当调整，考虑到变频器在低速时出力较小，将变频器的输出频率下限定在 3Hz，将低速时的输出转矩适当提高。另外，虽然变频器的最高输出频率能达到 400Hz，但对于电机来说，超过 50Hz 后输出转矩会下降，可能会带不动负载，所以现场使用时将最高输出频率设定为 50Hz（最高不超过 60Hz）。变频器及 PLC 的设定参数为：最高输出频率 50Hz；最低输出频率 3Hz；点动频率（快速走刀）50Hz；速度上升、下降时间各为 0.3s；PLC 内设电机运行时间 0.7s。

将走刀速度的机械换挡分别放在高、低挡上，测得每次走刀的距离为：低速挡 0.25~4.5mm（对应 3~50Hz）；高速挡 0.9~15mm（对应 3~50Hz），重复误差小于 10%，满足机械加工要求。

（四）注意事项

在调试过程中需注意以下问题。

（1）干扰问题。由于变频器是高频电力电子设备，当其运行时（特别是低速时）会产生较大的干扰。现场发现与变频器输出线穿同一个蛇皮管的 24V 信号线受干扰特别严重，变频器一启动，原来的常开信号在 PLC 侧检测出来为常闭，使动作错误。后将这一触点信号改为常闭，使其形成回路，解决了该问题。抗干扰更彻底的解决办法是对变频器加隔离变压器或输入、输出电抗器。

（2）变频器启、制动问题。正常工作时，走刀电机每分钟需启、制动 5~10

次，较为频繁，而且启动时间也较短，电流冲击大，如果选用性能较差的变频器驱动，很可能会引起变频器及电机的过热和损坏。

(3) 接触器切换问题。该变频器可分别控制垂直和右侧刀架电机，由接触器切换。必须注意只能在电机停止时切换，否则可能引起变频器损坏，在 PLC 程序里要作必要的连锁。

利用 PLC 与变频器相结合来改造刨床走刀系统，可简化其结构、降低故障率、方便操作，具有较高的使用价值。

五、Y7520W 螺纹磨床

目前 Y7520W 螺纹磨床的数量较多，其电气控制部分大多采用继电器的顺序控制，机床采用交磁扩大机、直流电动机与测速发电机的闭环调速系统，但产品质量差、检修难度较大。为此，可采用 OMRON 公司的 CPM1A-30CDR-A 型 PLC 与富士 FRENIC500G9S (或 FVR-G7S-EX) 变频器进行改造，以实现无级调速，使其性能良好、维护方便。

(一) 机床的电气控制

主电路部分采用直接移置法，废除直流调速系统，加上变频器电路，其电路见图 7-1-10 和图 7-1-11。

根据该机床工作台负荷，选用 Y90L-6、1.1kW、910r/min 的异步电动机。将变频器的相关端子与 PLC 输出口上控制信号对号入座，并接入机床的各个模拟信号（如粗磨调整与精磨调整电位器）。制动电阻不应小于该变频器允许值，在达到制动要求的前提下，阻值宜大不宜小。根据机床所需功能，设置频率速度、快速频率、正反转及制动等相关参数功能指令，进行设置存储。

对控制回路全部重新设计，并对配电盘等改造后设计梯形图。本机床控制回路采用直接翻译法与逻辑化减法相结合。

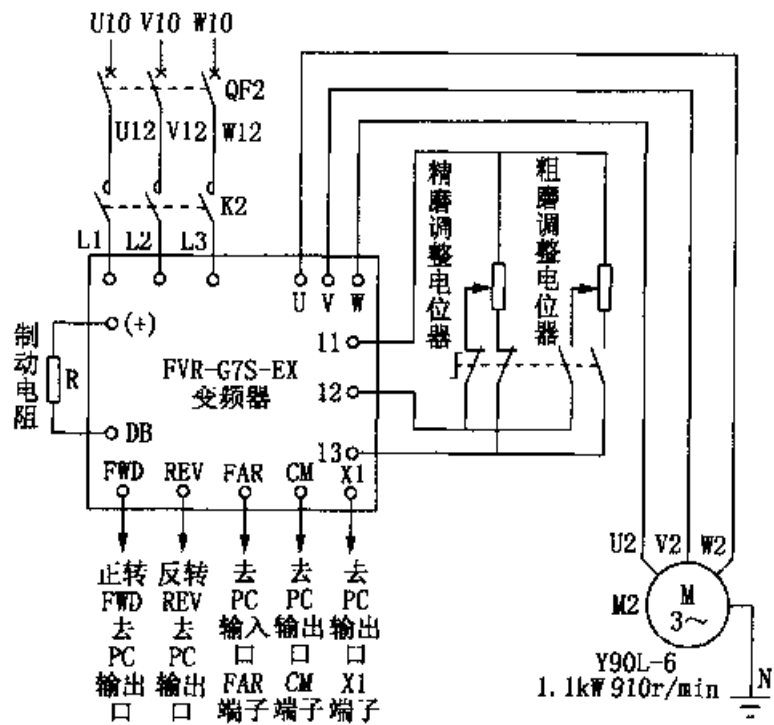


图 7-1-10 变频器的接线

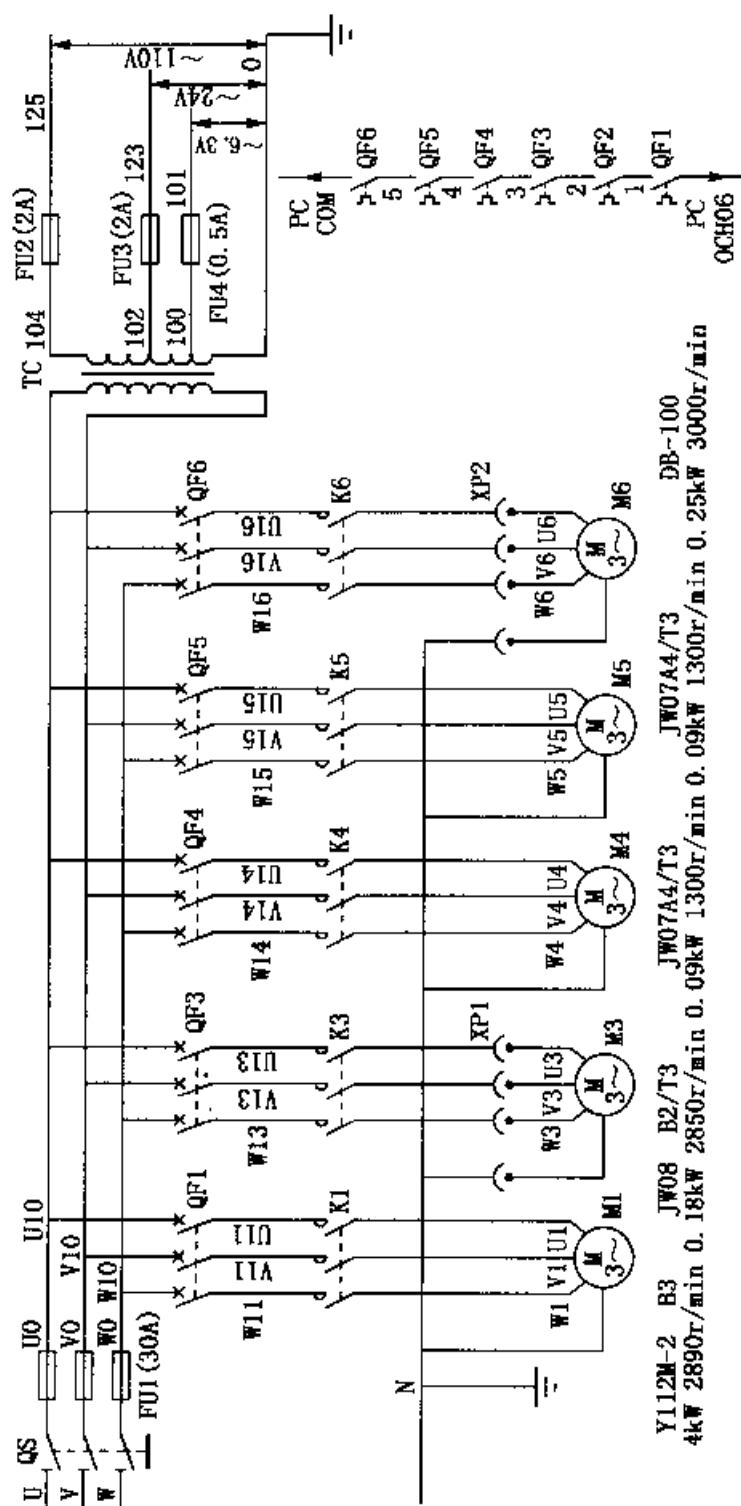


图 7-1-11 电机的接线

(二) 硬件接线设计

将该机床的所有控制元件、检测元件（如启动按钮、行程开关、多个过载继电器控制触点串联在一个 PC 输入接口上）合理安排在 PC 相应输入接口上，力求 PC 输入编号逻辑顺序合理，布局简单明了（见表 7-1-1）。将受控元器件（如接触器、电磁阀、信号灯和 PLC 发给变频器的开关信号指令等），设计安排输出编号，并画在 K 输出接口上，进行硬件连接，见图 7-1-12。

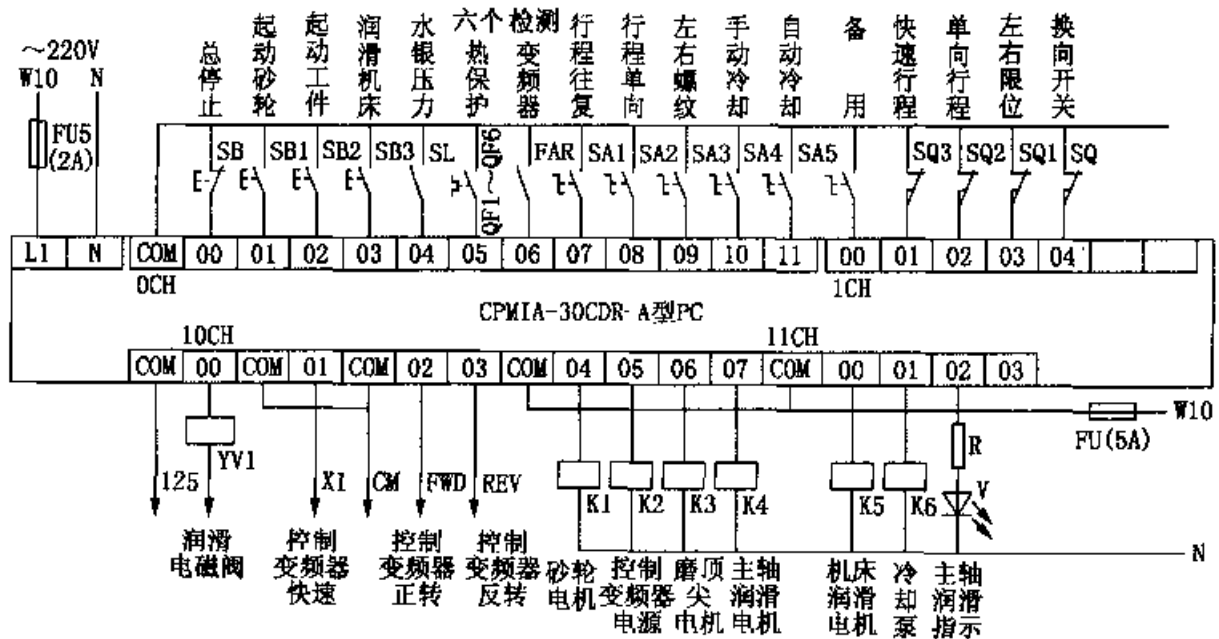


图 7-1-12 控制原理图

表 7-1-1 PLC 输入、输出点设定表

输入地址		输出地址	
00000	总停止按钮 SB	01000	润滑电磁阀 YV1
00001	启动砂轮按钮 SB1	01001	控制变频器速度 X1
00002	启动工件按钮 SB2	01002	控制变频器正转 FWD
00003	润滑机床按钮 SB3	01003	控制变频器反转 REV
00004	水银压力开关 SL	01004	控制砂轮电机 K1
00005	热保护触点 FQ	01005	控制变频器电源 K2
00006	检测变频器开关 FAR	01006	控制磨顶尖电机 K3
00007	行程往复开关 SA1	01007	控制主轴润滑电机 K4
00008	行程单向开关 SA2	01100	控制机床润滑电机 K5
00009	左右螺纹开关 SA3	01101	控制冷却泵 K6
00010	手动冷却开关 SA4	01102	主轴润滑指示 V
00011	自动冷却开关 SA5		
00100	备用		
00101	快速行程开关 SQ3		

输入地址		输出地址	
00102	单向行程开关 SQ2		
00103	左右限位开关 SQ1		
00104	换向开关 SQ		

(三) 梯形图设计

该系统的梯形图如图 7-1-13 所示。

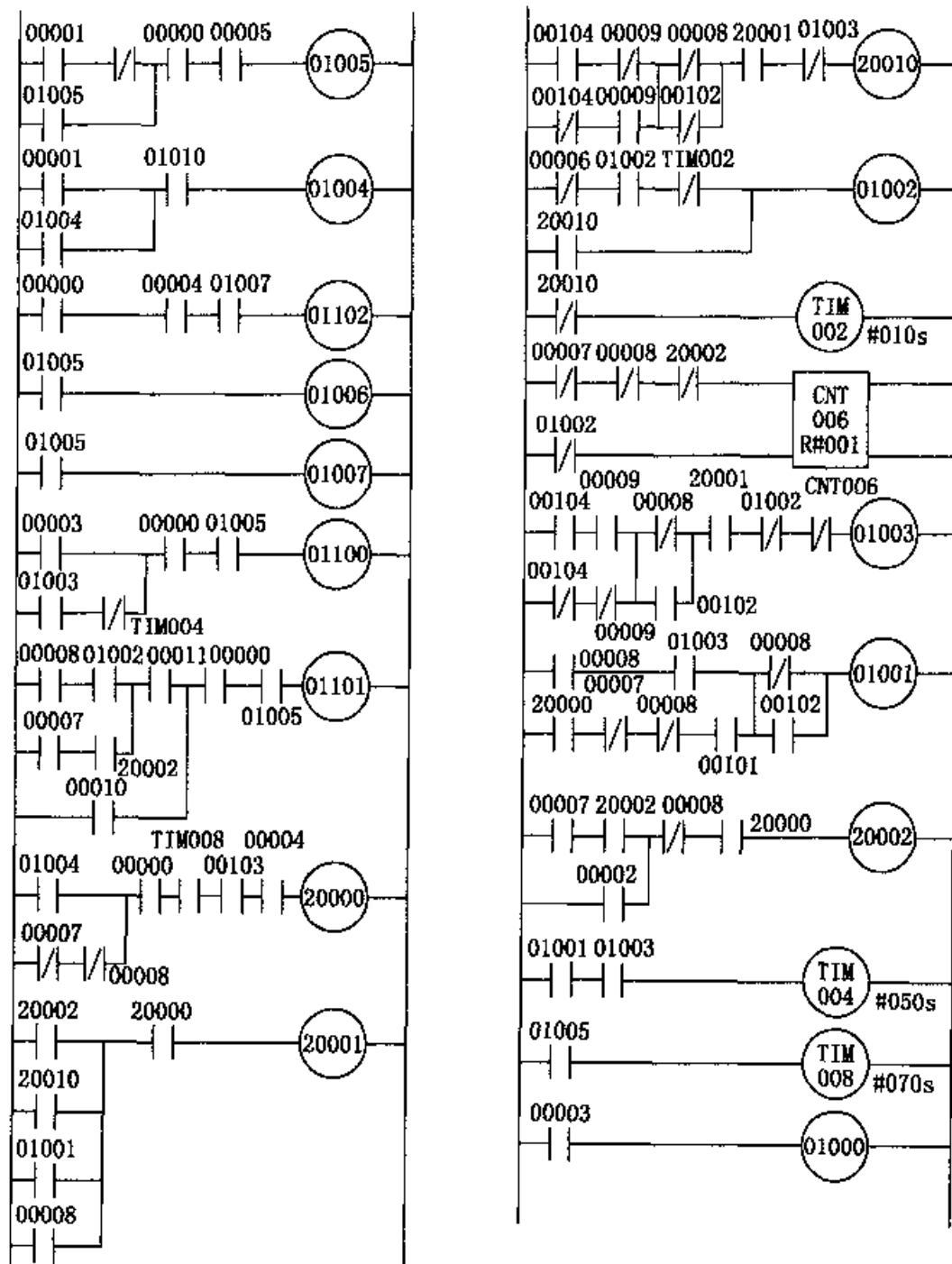


图 7-1-13 控制梯形图

六、剃齿机

整形机一般由电动机驱动整形器，对工件进行精密的研磨，它根据工件的材料、大小及加工要求等条件改变整形器速度，采用变频器控制可提高其性能。

剃齿机是整形机中的一种，其剃齿器与作为工件的齿轮啮合，根据正转及反转方向不断切换旋转，从而将齿轮部的两面打磨光滑。例如，加工汽车齿轮齿部的剃齿机，需要依据齿轮的尺寸、材料及加工条件等改变剃齿器的速度。利用高性能的变频器调速可有效地提高整形机的操作效率，缩短变速作业时间。剃齿机的变频器控制原理如图 7-1-14 所示，变频器根据控制盘交替变化的正、反转指令控制电动机，使其在一定速度范围内做正、反转变速运行。

剃齿机的某种运行模式如图 7-1-15 所示。进行数次正、反转运行后，即完成了一个齿轮的加工过程，缩短正、反转时间可压缩加工时间。恒定速度运行部分的数值因工件而异。

使用变频器控制剃齿机具有以下优点：由于是无触点正、反转运行，故不需要维修；正、反转换向时的冲击电流小，可采用较小容量的电源设备；可进行 60Hz 以上的高速运行，扩大了加工件的适用范围，提高了机械能力；与机械式变速器相比，缩短了变速时的作业时间，故可大幅度提高作业效率。

由于需要反复进行正、反转运行，而且要求尽可能缩短加工周期，因此应用时需注意两个问题：一是变频器的制动能力，通用变频器内装的制动电路并不是连续额定工作的，故应注意其是否工作在允许范围内；二是确定最短加、减速时间，为缩短加工周期，应尽可能减小与机器研磨无关的加、减速时间，通过计算出的加、减速时间来确定变频器及电动机的容量。

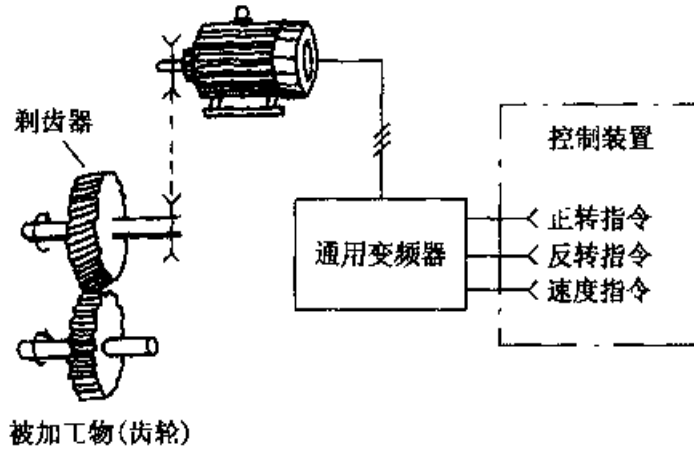


图 7-1-14 剃齿机的变频器控制

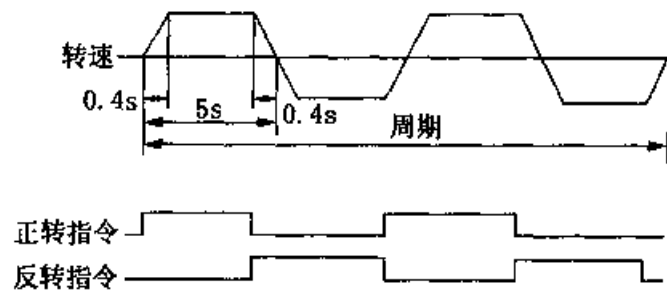


图 7-1-15 剃齿机的运行模式

第二节 起重机方面的变频器控制

一、升降吊车

(一) 一般升降吊车的控制

在工厂中，升降吊车是重物装卸时不可缺少的工具，有时是生产线的一个组成部分。升降吊车的控制主要采用手动操作方式，但作为生产过程的一个组成部分，实现高定位精度、防振动、平稳加减速等功能的自动控制是提高生产效率的有效方法。采用变频器控制可实现提升电动机与平移电动机的调速，且具有以下优点：平移时采用软启动和软停止，可避免直接启动或用电磁制动器急刹车时所造成的振动，实现吊车的平稳运行；吊车提升与放下速度可随负载的作业内容任意变化；采用高速及低速两挡切换，可提高停止精度，减少细微的位置校正次数，提高吊车的作业效率。

升降吊车配有升降、平移及行走目的的 2~3 台电动机，使其能在 x 、 y 、 z 轴 3 个方向自由移动。每台电动机根据其各自的用途分别配备变频器。选择电动机及变频器容量时，应充分考虑上升时所吊重物的安全系数，停止及保持控制利用电磁制动器实现。吊车下放时为负负载，变为连续的再生运行状态，如果通用变频器电源不具有反馈功能，当选用变频器及制动电阻时，其容量应留有充分的裕量。平移及行走电动机的变频器容量，应根据各自的需要选择相当于电动机容量或者大一点容量的变频器，尤其在减速时，如果希望在短时间内停止，由于负载的惯性很大，通常采用制动装置。装有升降及平移变频器的升降吊车系统如图 7-2-1 所示。

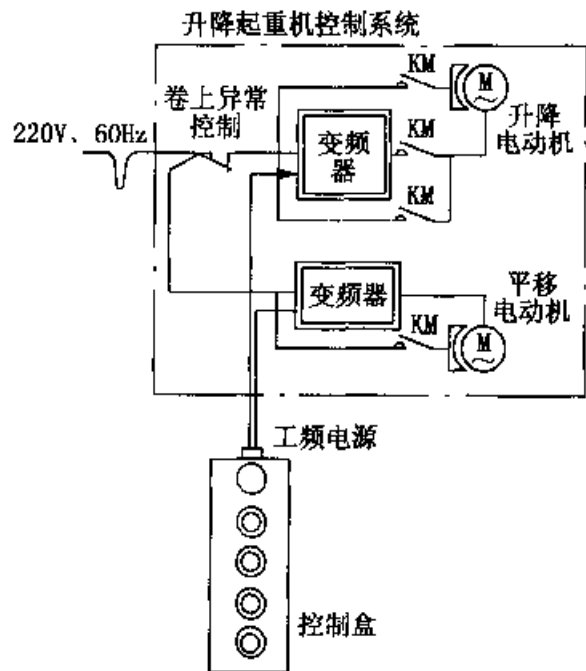


图 7-2-1 升降吊车的控制

该控制系统配置了防止提升超过极限的异常限制装置，一旦机器出现故障，则此限制开关动作，直接切断提升主电源，使电动机停止，同时由电磁制动器动作保持住重物。为防止因变频器故障时吊车停止在半空中，系统中设置了异常放大控制回路，可从地面的悬吊式操作盒进行控制操作。图 7-2 2 所示为一种升降吊车运行模式。

应用变频器控制后，由于使电动机运行的开关元件为无触点式，使得电磁接触

器具有半永久性寿命；电动机的启动电流被限制得很小，因此频繁启动及停止时电动机的热耗降低，寿命延长；由于电磁制动器在低速时动作，故其衬里使用期得到延长，保养费用降低；吊车运行平滑，在加、减速时的冲击和振动变小，减小了负载的摇晃，运行安全性大幅度提高；由于升降机精细的升降速度控制，有效提高了产品（如电镀抛光）的质量；对于锻模搬运升降机，可实现精确定位，以提高作业效率。

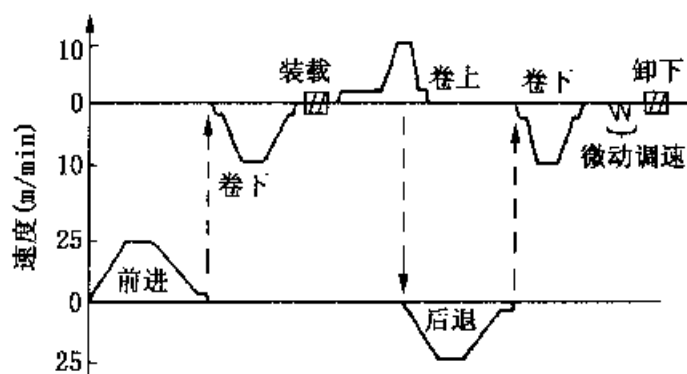


图 7-2-2 升降吊车运行模式

具体应用时应注意以下事项：变频器跳闸时电动机断电，因此行走失控或落下的危险性较大，应设计完善的安全装置，使得电磁制动器自动作用；在升降机上装置变频器时，应选用与变频器材料相同的耐高温及耐振材料；除了保证电滑轮不脱线外，还应采取其他安全措施，保证一旦突然断电时紧急制动器能够起作用，代替变频器工作；由于变频器控制时电动机转矩比直接电源时的小，故应使电动机容量适当增大；在下放时电动机为连续再生运行状态，应充分考虑包括变频器在内的容量问题。

(二) 热镀锌起重行吊车的控制

在热镀锌工艺中，工件浸入、引出锌液的速度及冷却速度直接影响锌层厚度及表面质量，对于不同材质的工件在相同的锌液配方及锌液温度下，要求不同的浸入、引出及冷却速度，这对速度的要求相对严格。即使是每分钟零点几米的差别，也会造成镀层质量的较大变化，这就对升降电机的转速控制提出了较高的要求。

以往的热镀锌起重行吊车为 2×3 吨双梁桥式行车，主升降电机为两台 JZR21-6/5kW 系列绕线式转子电机分别驱动工件升降，采用凸轮控制器进行控制，其调速原理是通过凸轮控制器接点组改变与绕线式转子串联的电阻来实现变速控制。这种调速控制方式的特点是启动平稳，但设备复杂、控制触头多、故障率高、操作不便、调速范围相对小且调速不连续。

现将这两台主电机的转子绕组短接，不用凸轮控制器，而改用两台英威腾 INVT-G9 7R5T4 型变频器驱动两台主电机升降。用 1 只 LW/6-2/D 组合开关切换控制一个预先任意设定好的速度，用一个选择开关来控制对一般常规运行和变频运行的选择。

为防止酸雾和氧化铵对变频器的侵蚀，将两台变频器安装在一个密封性较好的控制箱内。为便于散热，增加空气流动，在控制箱内安装两台轴流风扇。控制箱安装在驾驶室内便于操作的位置，变频器与主电机的一次、二次线路原理如图 7-2-3、

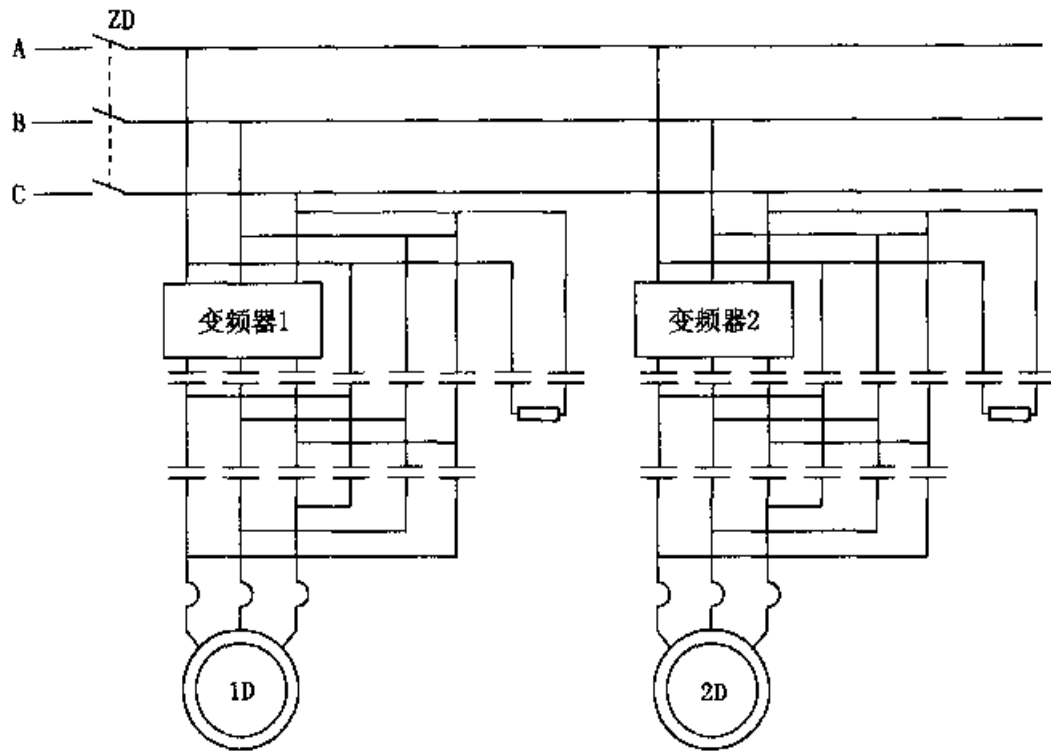


图 7-2-3 变频器与主机的一次接线

7-2-4 所示。

K1 为两位双触头开关。当 K1 拨到“1”位时，K1-1、K1-2 分别与 C1、C5 接通，此时在常规状态下工作。

当 K1 拨到“2”位时，K1-1、K1-2 分别与 C2、C6 接通，此时在变频状态下工作。C3、C4、C7、C8 分别控制 2 台主电机升降，C5、C10 分别控制主电机制动。2 台变频器可预先任意设定 8 种速度，这里只用 6 种速度。由两组联动组合开关分别控制两主电机的 6 种速度。组合开关的通断及变频器的接线如图 7-2-5 所示。

线路改造、安装并试车成功后，达到了设计要求，如启动、制动、各项保护、速度及调速范围等性能良好。其特点为调速范围广，从 5~60Hz 连续可调，也可预先设定好 6 种常用速度，调速精度高，启动、加速、减速、制动平衡，无电流和机械冲击，机械转动特性“硬”，效率高，节电明显。

二、输送平台车

在工厂内各工段之间运送钢材等重物时，经常使用平台车。为提高平台车的运送速度、增加运载重量、提高运输能力，需要增大电动机的输出功率，同时传动装置的尺寸及重量也会加大。为此，采用在工频以上的高速区内有恒功率输出特性的变频器控制，在不增加电动机尺寸的情况下，可有效增加运送能力。利用工频以上

频率使电动机加速，则不改变传动部分的尺寸即可实现高速化。对于平台车，在装载货物时，为防止货物倒塌，对其最高速度有限制。在卸货后，空载时负载转矩很小，可加快运行速度，故可利用变频器的高速运行区域。由于拖动电动机装设在平台车上，如果环境条件较差，如粉尘多、振动强烈时，最适宜使用易于变频器控制的笼型电动机。例如，现有一台运送平台车，采用两台电动机传动、变频器控制，其控制系统如图 7-2-6 所示。

变频器容量为两台电动机容量之和。两台电动机始终按同一频率控制，即电动机之间没有大幅度的负载不平衡，即使在加、减速运行时，两台电动机的负载转矩也适当分配。为防止在运行轨道的两端速度失控，必须考虑相应的安全措施，

一般通过变频器实现电气制动（即再生制动）使平台车停止。另外还应考虑在异常情况下能够使用电磁制动器紧急制动，实现停车。减速时负载能量一般全部由变频器的再生制动电阻消耗，故应选择大容量制动电阻。平台车的某种运行模式如图 7-2-7 所示。

输出平台车在装载时中速行驶，空载时高速行驶。减速度由变频器的加、减速时间设定最佳值，保证货物不倒塌、车轮不打滑。使用变频器控制后具有下列优点：由于加、减速时按恒加、减速运行，故运行平稳、没有振动，提高了作业安全性；可采用全封闭户外型标准电动机，故与通常的变速电动机一样不受设置场所限制，系统的维护性好，运行周期缩短。

在具体应用时，应注意以下问题：由于变频器装设在平台上，故需对其盘面采取可靠的防振措施；因变频器电源由滑轮供电，故应防止脱线，可采取双重导电方式。如果发生脱线事故，应具有紧急制动保护系统。

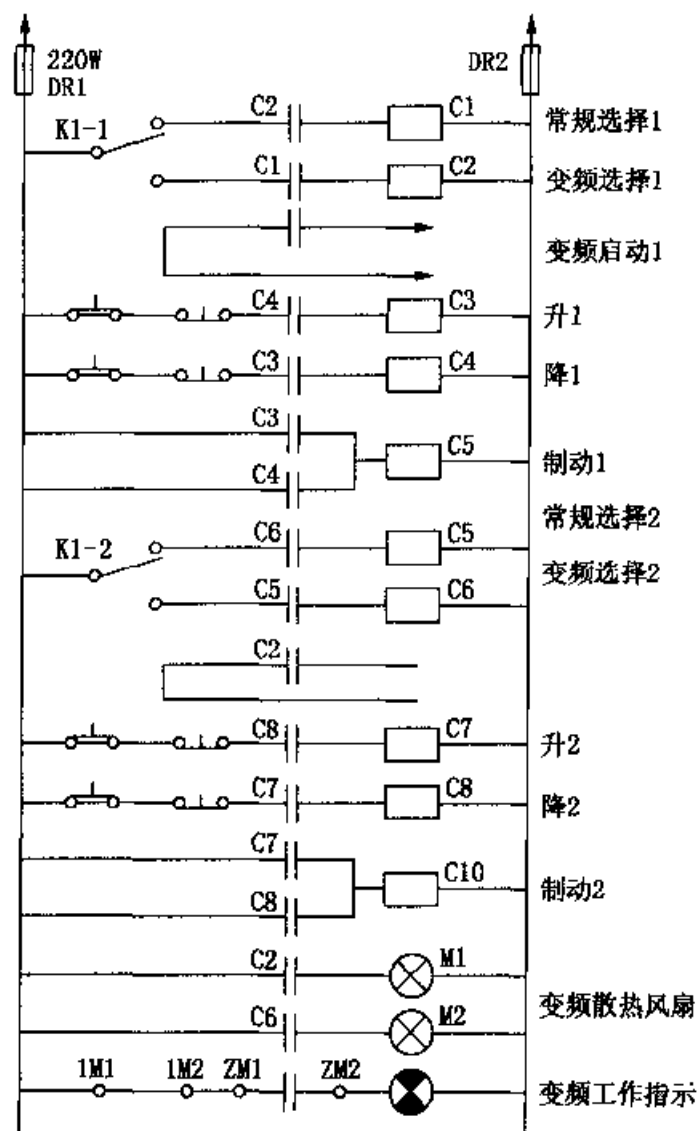


图 7-2-4 变频器与主机的二次接线

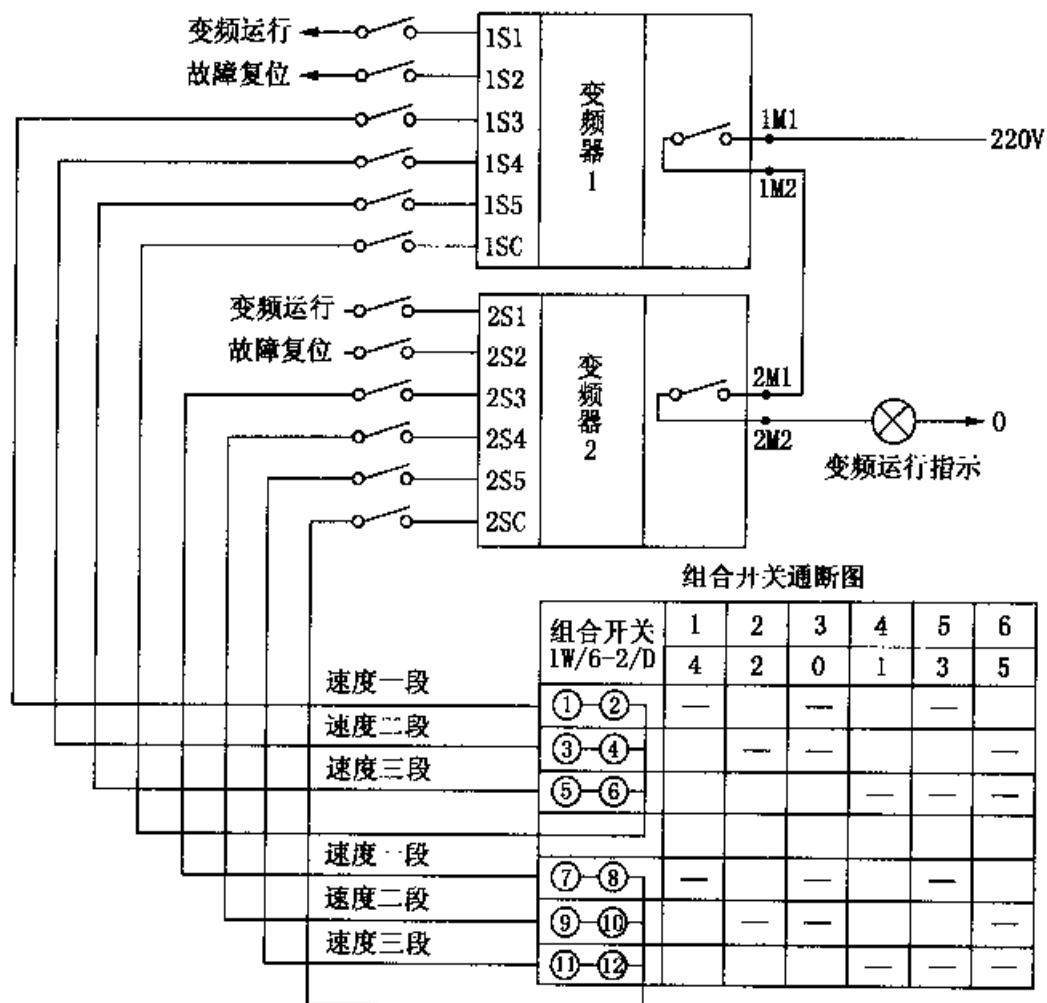


图 7-2-5 变频器的控制接线

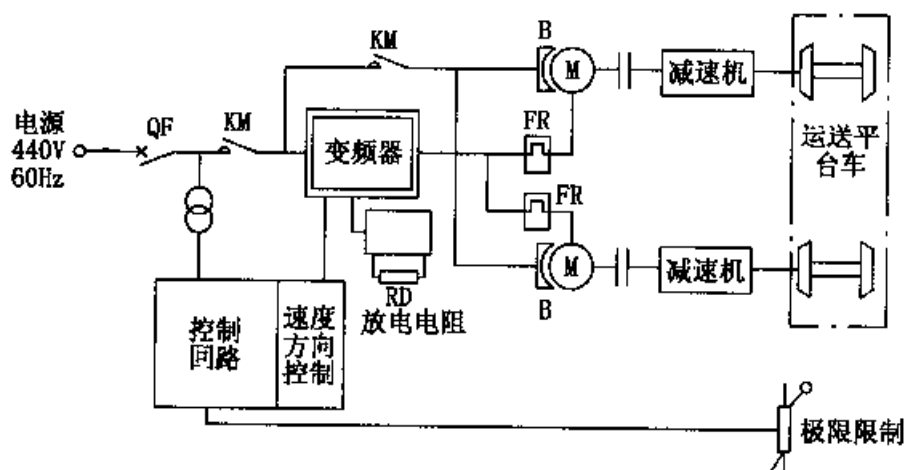


图 7-2-6 平台车的变频器控制

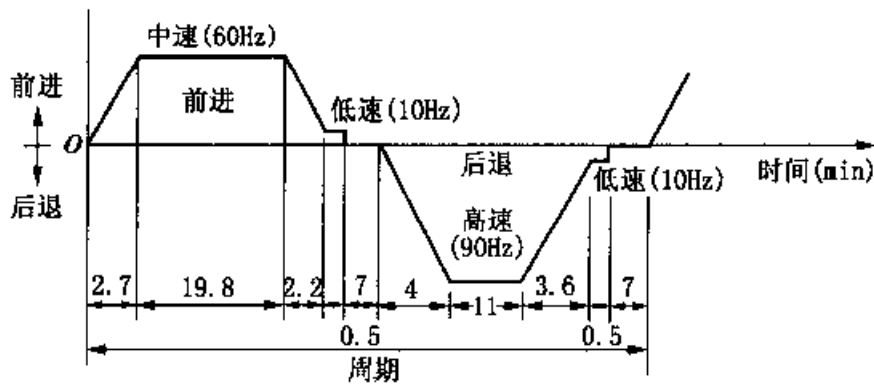


图 7-2-7 平台车的运行模式

三、塔式起重机

(一) 传统的起升机构

塔式起重机多用于工业与民用建筑施工，由于其提升高度大、司机室位置较高，因此操纵难度大，尤其是起吊时对吊重的快速、准确就位要求高，所以其起升机构调速性能要好。传统的起升机构调速方法较多，有变极多速电动机调速机构、能耗制动调速机构、涡流制动调速机构等。这些调速机构都存在调速范围小、速度稳定性差等缺点，无法长时间在低速下降载荷（大起重量的塔机低速运行时间都超过 20% 机构总运行时间），且可靠性低、维护量大、能耗高。

(二) 变频器控制的起升机构

塔机起升机构电机应选用适合频繁启动、转动惯量小、启动转矩大的变频电机，目前国外以 4 极作为变频电机的首选极数。用变频器驱动异步电动机时，由于变频器的换向以及开关元件瞬间开闭产生的冲击电压（浪涌电压）而引起电机绝缘恶化，因此对电压型 PWM 变频器，应尽量缩短变频器与电机之间的接线距离或考虑加入阻尼回路（滤波器）。

起升机构平均启动转矩一般为额定转矩值的 1.3~1.6 倍，考虑到电源电压波动及需要通过 110% 额载的动载试验要求等因素，其最大转矩应是负载转矩的 1.8~2.0 倍。对于普通笼型电机，等额变频器仅能提供 < 150% 的超载负载力矩值，为此可通过提高变频器容量或同时提高变频器和电机容量来获得 200% 的负载力矩值。变频器容量

$$P_{CN} \geq \frac{KkP_M}{\eta \cos\phi}$$

式中， K 为过载系数，取 1.8~2.0； P_M 为起升额定负载所需功率； η 为电机效率，取 0.85； $\cos\phi$ 为电机功率因数，取 0.75； k 为电流波形补偿系数，由于变频器的输出波形不是完全的正弦波，而含有高次谐波的成分，其电流应有所增加，PWM 方式变频器的 $k=1.05\sim 1.1$ 。

以上变频器的容量是依据负载功率来计算的，如果按在电机额定功率的基础上提高一档的方法选择变频器的容量，则可能由于电动机容量过剩而造成变频器的容量过剩，从而造成不必要的浪费。在确定变频器功率的基础上还须做电流验证，即 $I_{CN} > I_M$ 。 I_{CN} 为变频器额定电流 (A)； I_M 为电机额定电流 (A)。

塔机起升机构的运转具有大惯性、四象限运行等特点，与其他传动机械相比，它对变频器有着更为苛刻的安全和性能上的要求。安川 VS-616G5 变频器是多功能全数字式变频器，其特点是：全程磁通矢量控制，在 1Hz 的低频下，即使无速度反馈环节也能提供 150% 额定转矩的启动力矩；可配备制动单元实现四象限运行，且动态响应好；在全速范围内具有恒转矩特性。

塔机起升机构的控制原理如图 7-2-8 所示，该系统通过 PLC 无触点控制吊钩的升降及速度挡位，同时安装了旋转编码器速度反馈器件以实现闭环运行。

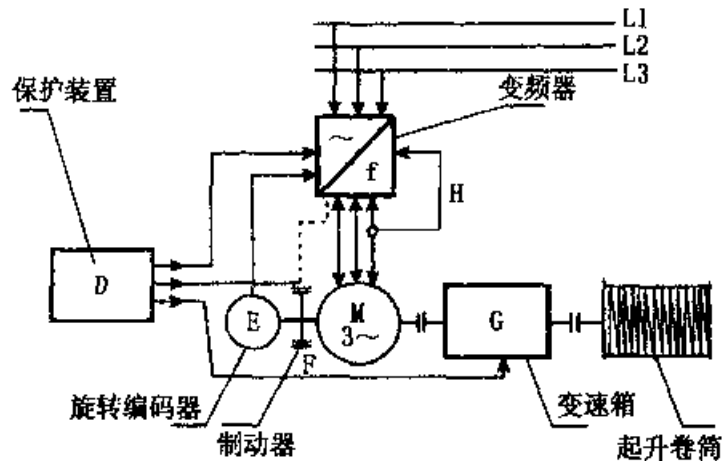


图 7-2-8 塔机起升机构的控制原理

(三) 防止溜钩

塔机起升机构控制系统

中特别需防止溜钩。在电磁制动器抱住之前和松开之后的瞬间，极易发生重物由停止状态下滑的现象，称为溜钩。本控制系统中通过 PLC 和变频器之间信号的适当配合，利用 VS-616G5 变频器具有的零速全转矩功能，可有效地防止溜钩。其原理是变频器在速度为 0 的状态下，保持电动机有足够大的转矩且不需要速度反馈，可保证当吊钩由升降状态降速为 0 时电机能使重物在空中停止，直到电磁制动器将轴抱住为止，从而防止了溜钩。

(四) 变频器制动单元

在采用变频器的交流调速控制系统中，电动机是通过降低变频器输出频率而实现减速的。当重载快速下降时，由于重力加速度的原因，电动机的旋转速度超过变频器输出频率所对应的同步转速，电动机处于发电制动状态，负载的机械能将被转换为电能并被反馈给变频器，变频器直流回路的电容因充电而使电压升高。为了不使电压过高而导致变频器的过电压保护电路动作切断变频器的输出，此时可在其直流电路中设一个三极管。当电压超过一定界限时，制动三极管将会导通，过剩的电能通过与之相接的制动电阻器转换为热能消耗掉，此装置即为变频器的制动单元。

借助制动单元可消耗电机发电制动状态下从动能转换来的能量。制动力矩

$$T_B = \frac{(J_M + J_L)(n_1 - n_2)}{9.55t_s} - T_L$$

式中, J_M 为电动机转动惯量 (kgm^2); J_L 为负载转动惯量 (折算至电动机轴, kgm^2); n_1 为减速开始时的转速 (r/min); n_2 为制动后的转速 (r/min); t_s 为制动时间 (s); T_L 为负载转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。

制动电阻平均消耗功率 $P_B = 0.1047(T_B - 0.2T_M) \frac{n_1}{n_2} \times 10^{-3}$ 。 T_M 为电动机额定转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。制动电阻 $R = \frac{V_c^2}{P_B}$ 。 V_c 为直流电路电压, 为 380V (200V 级) 或 760V (400V 级)。

四、焦化桥式起重机

(一) 原传动系统存在的问题

某炼油厂焦化车间的桥式起重机用于将石油焦从地面抓放到停在附近的列车上。桥式起重机的电气传动系统包括两台大车电动机、1 台小车电动机、1 台抓斗开合电动机和 1 台抓斗提升电动机, 它们均为交流绕线转子异步电动机, 采用转子串电阻的方法进行启动和调速。

由于工作环境差, 粉尘和有害气体对电动机的集电环、电刷以及 21 个接触器的腐蚀较大, 加上工作任务重、实际暂载率高于 40%、操作程序难以保证、冲击电流偏大, 因此触头烧损、电刷冒火、电动机以及转子所串电阻烧损和断裂故障时有发生。其故障率为 2.5 次/月, 对生产影响很大, 维修量和维修费用也很高。为防止提升和开合电动机烧毁, 将电动机由原来的 22kW 增大到 45kW, 但损坏现象仍有发生。转子串电阻调速的机械特性软, 负载变化时转速也变化, 调速不理想, 所串电阻长期发热、电能浪费大、效率低。要从根本上解决焦化桥式起重机故障率高的问题, 只有彻底改变绕线转子异步电动机转子串电阻调速的方式。

(二) 采用变频调速控制系统

通用的 VVVF 型变频调速器运行效率高, 可拖动笼型异步电动机运行, 其机械特性硬, 是交流电动机最理想的调速设备。富士 FRNIC5000G7 型变频器是一种电压型变频器, 可外接制动单元和制动电阻, 再生制动的能量通过制动电阻消耗掉。因焦化桥式起重机的电动机功率仅为几十千瓦, 采用电阻制动是可行的, 且此法接线简单, 可靠性也高。为防止因停电、变频器跳闸或制动单元失灵而使拖动负载快速下降, 原有的机械制动装置仍予以保留。

桥式起重机变频调速控制原理如图 7-2-9 至图 7-2-13 所示。利用主命令控制器的 5 对触头可方便地得到桥式起重机所要求的正反两个方向各 6 种速度, 见图 7-2-10。

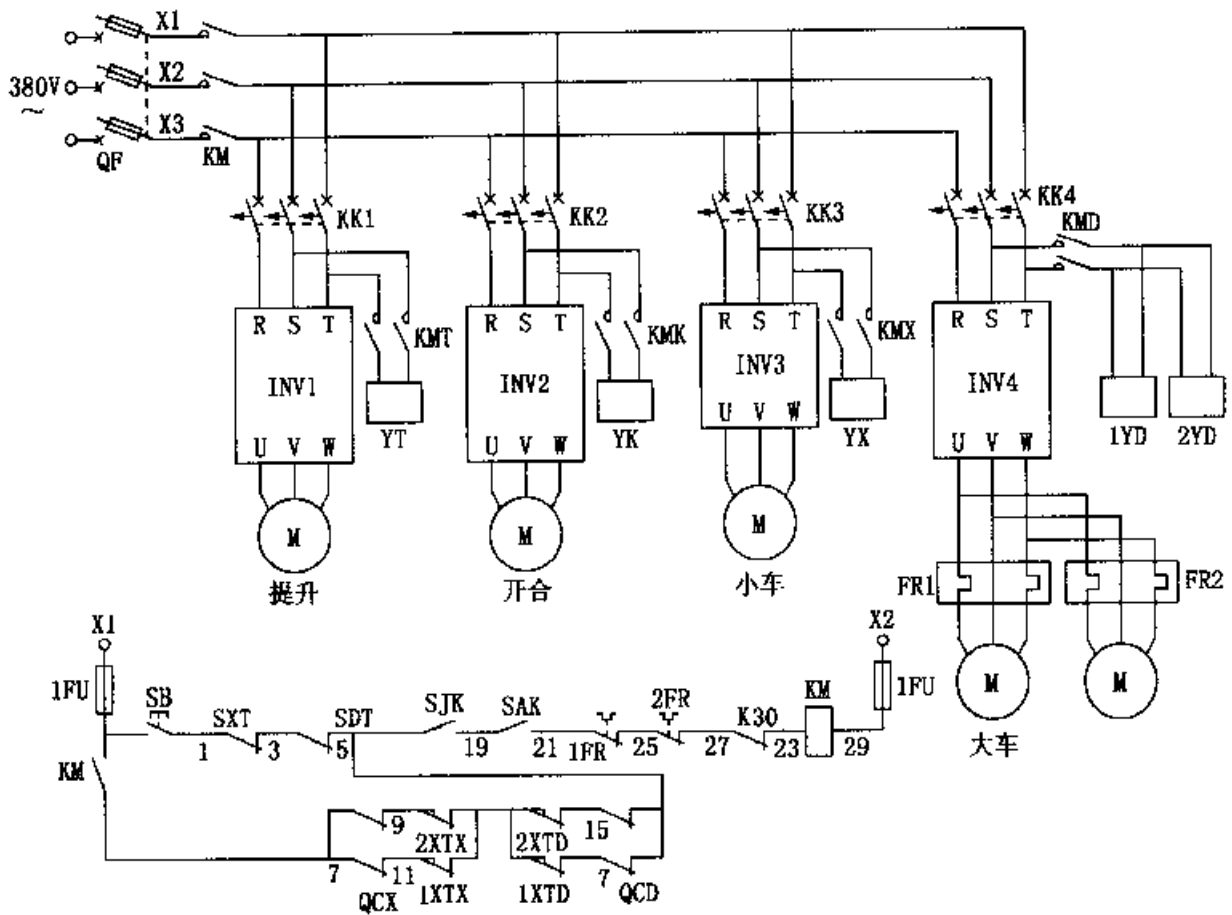


图 7-2-9 桥式起重机主电路

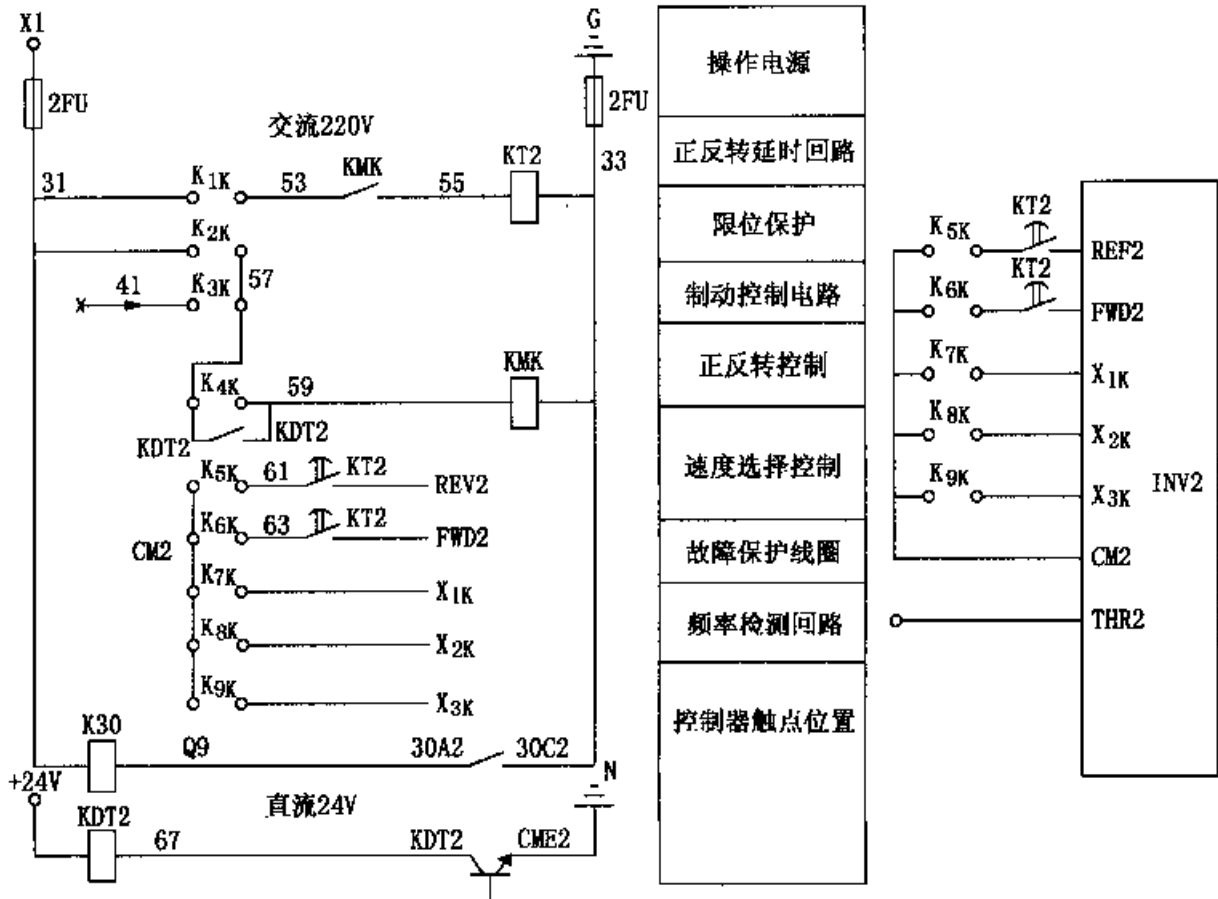


图 7-2-10 桥式起重机抓斗开合控制电路

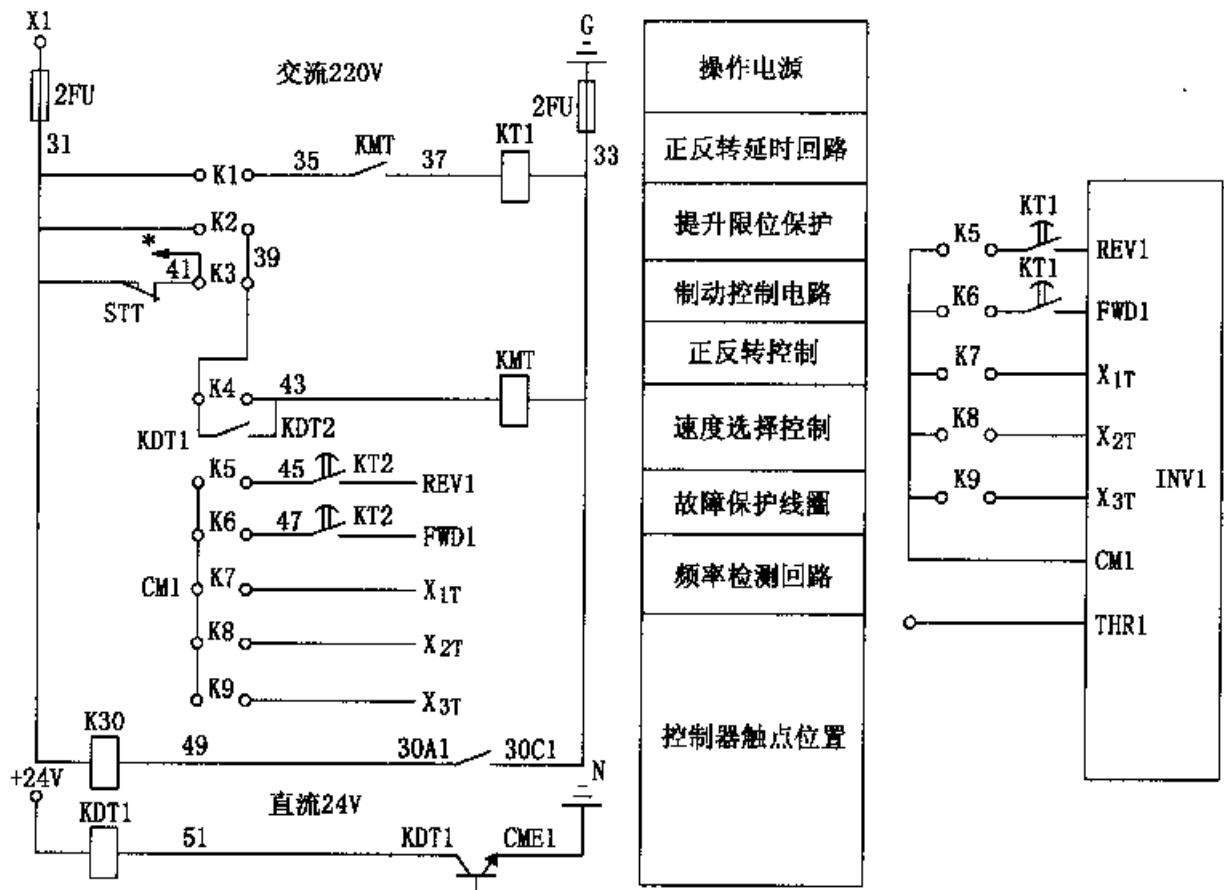


图 7-2-11 桥式起重机抓斗提升控制电路

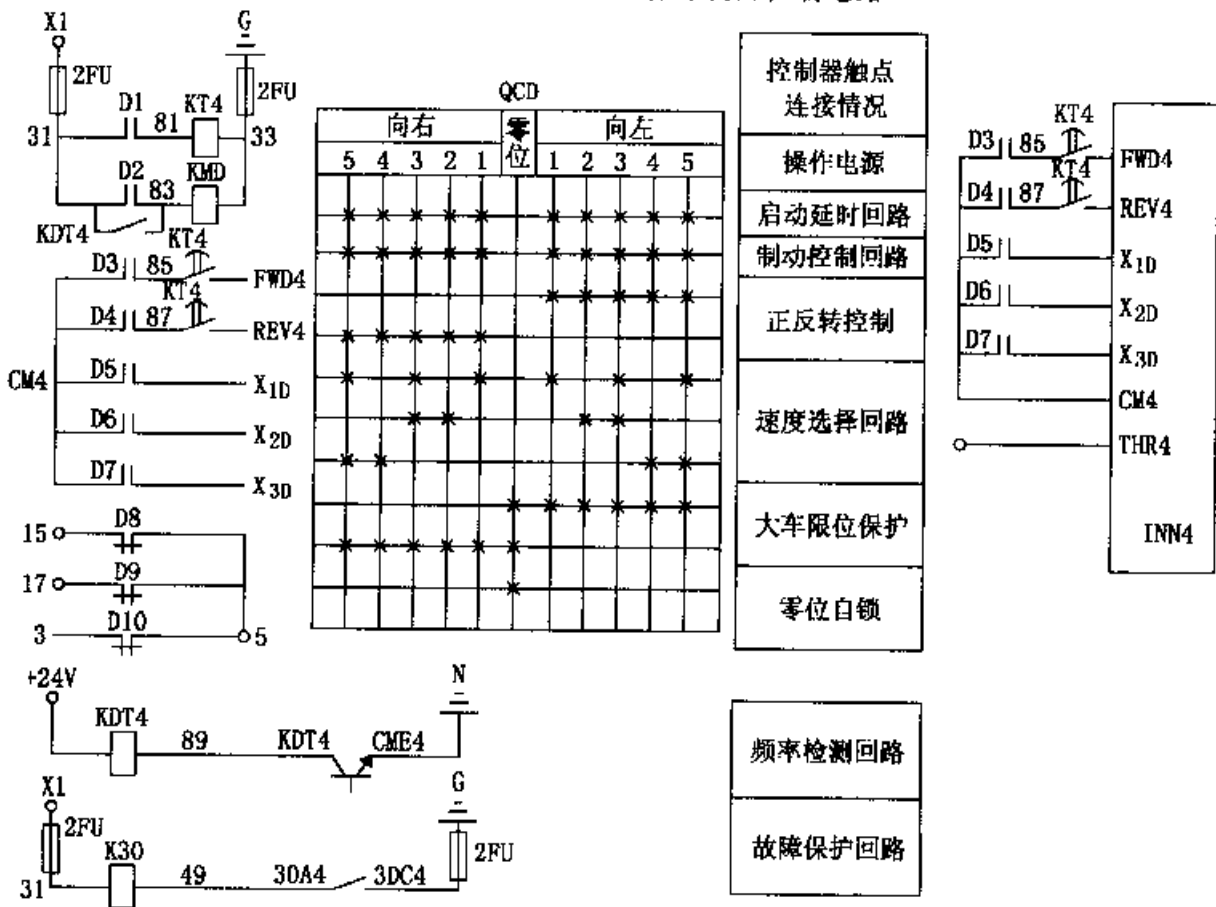


图 7-2-12 桥式起重机大车控制电路

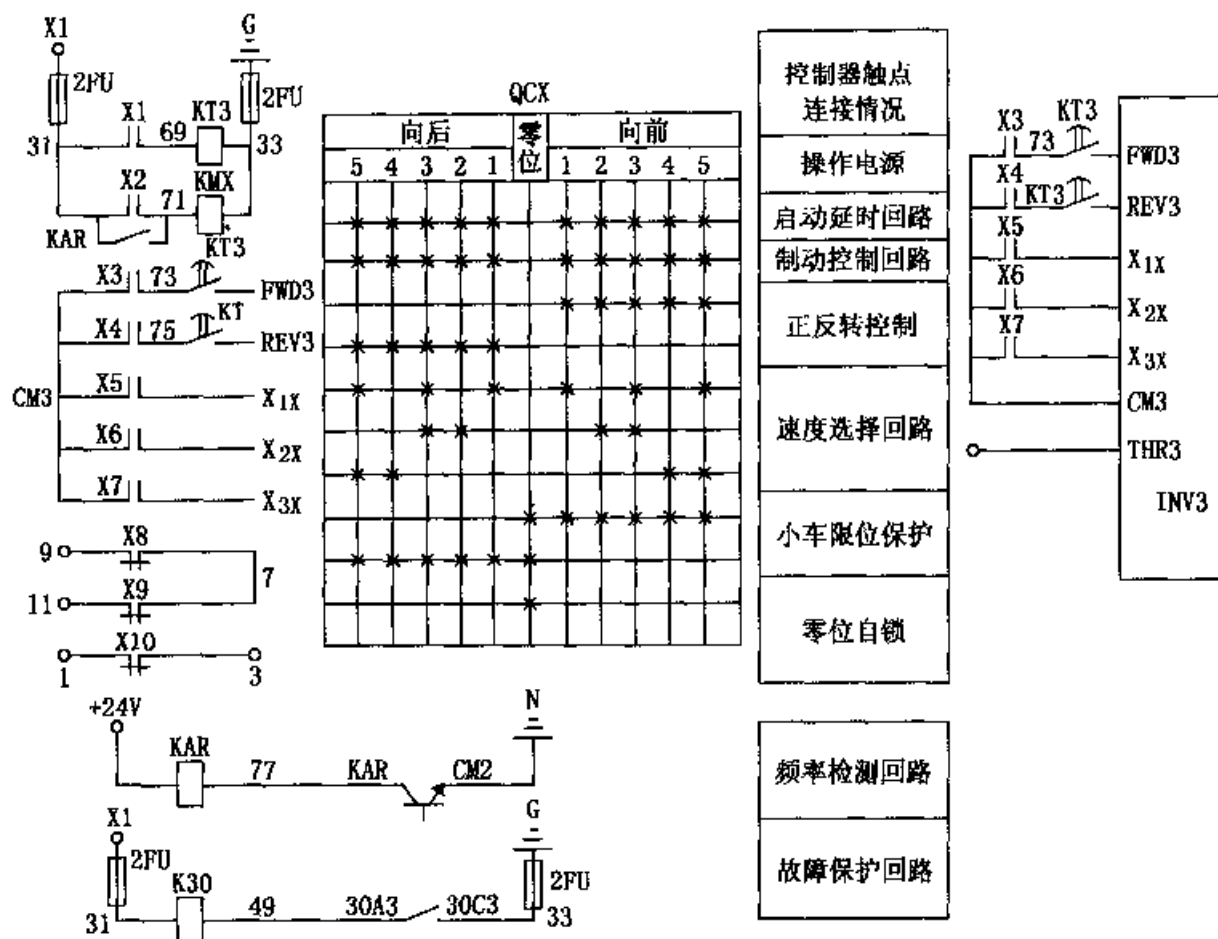


图 7-2-13 桥式起重机小车控制电路

采用变频调速后，桥式起重机抓斗开合电动机和提升电动机由原来的 45kW 绕线转子异步电动机改为 30kW 笼型异步电动机就能满足工艺要求。大车和小车的电动机仍采用原有的，但将转子绕组引出线短路，去掉电刷和集电环，节省了更换电动机的费用。

第一台桥式起重机的转速控制仍采用原有的主令控制器和凸轮控制器。为保证变频器启动时不会因机械制动而引起过电流跳闸，加设了时间继电器 KT1。主令控制器的触点 K1 闭合，机械制动器释放，经 KT1 稍微延时后变频器才启动。KT1 的延时应尽量小，否则起吊时抱闸释放，被重物拖动下降，然后再由变频器启动上升，也会引起变频器过电流或过电压跳闸。

抓斗由 4 根钢丝绳控制，其中两根由开合电动机控制，另两根由提升电动机控制。抓斗抓焦时仅开合电动机运转，抓满焦开始提升时，提升和开合两台电动机均要工作，相互间还需速度配合才能保证 4 根钢丝绳都拉直，均匀受力。通过调整开合变频器和提升变频器的频率、加速时间可使之相互配合，比老系统更为理想。

电动机减速靠变频器制动转矩进行，减速的时间可以调整。停机制动则分两步，先由变频器产生的制动转矩快速制动到一个较低转速，然后由变频器的频率检测回路发出信号，FDT 触点打开，机械制动接触器失压，机械制动器动作使电动

机停转。

(三) 变频调速传动系统的优点

变频调速系统与原有的绕线转子异步电动机转子串接电阻调速系统相比，有以下优点。

(1) 用结构简单、可靠性高的笼型异步电动机取代绕线转子异步电动机，避免了因集电环、电刷磨损或腐蚀引起接触不良而造成电动机损坏或不能启动的故障。

(2) 交流接触器的数量由原来的 21 个减少到 5 个，电动机主电路实现了无触点化，避免了因触头频繁动作而烧损，以及由于触头烧损而引起的电动机故障。

(3) 新系统可根据现场情况方便地调整各挡速度和加速时间，使得起重机操作更加灵活、响应快速。

(4) 机械特性硬，负载变化时各挡速度基本不变，轻载时不会因操作不当而出现下降变为上升的失控现象。

(5) 变频调速属高效调速系统，运行效率高，发热损耗少，比老系统节电。

用电压型交-直-交变频器控制桥式起重机的可靠性高，还可用 PLC 取代传统的主令控制器和凸轮控制器，减少控制触点、简化操作。在机械制动回路中增加变频器故障跳闸连锁，变频器一旦跳闸，机械制动立即动作，使之停车。

由于桥式起重机上抓斗的开合、提升，大车、小车都需要独立运行，因此采用了 4 台变频调速器分别控制。抓斗开合、大车、小车的电动机都运行在 I、III 象限，均为电动状态。抓斗的提升电机运行情况如图 7-2-14。

G7 型变频器使用了两个 CPU，功能多，参数设定和调试均很方便。桥式起重机的速度调节可利用变频器的多级频率选择功能来实现。将 FWD、CM 端子接通，则正转；将 REV、CM 接通，则反转。将 X1 与 CM、X2 与 CM、X3 与 CM 三对端子分别接通，也可将其中两对接通。

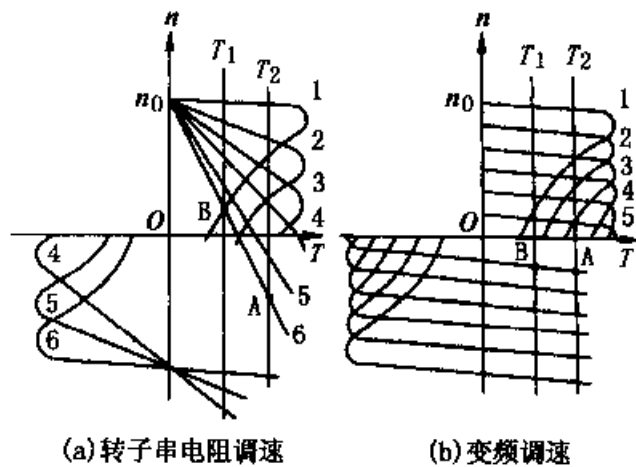


图 7-2-14 抓斗提升电动机的机械特性

第三节 粉末供料器与卧螺离心机的控制

一、出料传送带与粉末供料器

提高原料制造生产效率的关键是加强混料与计量的精度。粉末出料供给器位于计量器与混料器之前，根据原料的种类及大小控制供给量，并使出料传送带速度同

步变化。将变频器引入该生产过程，可使原料供给量均匀，提高混料与计量精度，保证产品质量稳定。粉末供料器电动机一般采用标准齿轮电动机恒速运行，或采用电磁转差离合器式变速电动机与机械式变速器。

引入变频器控制后，可以达到以下目的：通过使现有电动机高速化提高生产率；与机械式变速器相比可实现远程操作，且容易实现与下级传送带的连动比例运行；通过对供料器调速控制供给量，使其根据粉末的种类及大小而变化，故易实现原料混合比的最优化；可采用笼型全封闭户外电动机，容易维护。出料传送带与粉末供料器的变频器控制原理如图 7-3-1 所示。通过远程集中管理室设定相应于最佳粉末供给量的供料器速度，并与此连动，按一定比例控制传送带速度。传送带与供料器还可以分别手动操作。出料传送带选用齿轮式标准电动机，粉末供料器采用标准电动机。

采用变频器控制后，对于多种原料组合，可实现远程高精度控制，其控制系统维护与保养过程简单，提高了产品质量与材料利用率。

在控制系统设计与应用过程中，应该考虑两方面的问题：一是粉末供料器在启动时的负载转矩比恒速运行时大，而变频器控制的电动机的启动转矩比工频电源运转时的启动转矩小一些，故应考虑负载特性，选择比原来容量大的电动机与变频器；二是由于料斗内粉末或其温度的影响，可能产生堵塞现象，使得启动转矩异常大而无法启动，此时应用工频电源直接启动，然后利用工频电源与变频器切换选择开关，转换为变频器运行方式。

二、卧螺离心机

卧螺离心机用双电机驱动，判断主、副电机工作状态的方法是：与主动件相连的电机处于电动机工作状态，与从动件相连的电机处于发电机状态。因此，图 7-3-2 中主电机处于电动机状态，副电机处于发电机状态，这种传动方式的副电机再生电能不能合理利用。可采用普通变频器驱动副电机，再生能量以热能的形式消耗在制动电阻上；也可采用带有能量回馈单元的专用变频器驱动，将再生电能回送到交流电网，如富士公司的 RHR 系列能量回馈装置、ABB 公司的 ACS611 系列变频器等。共母线双电机双变频器驱动广泛应用在卧螺离心机上，即主、副电机各用

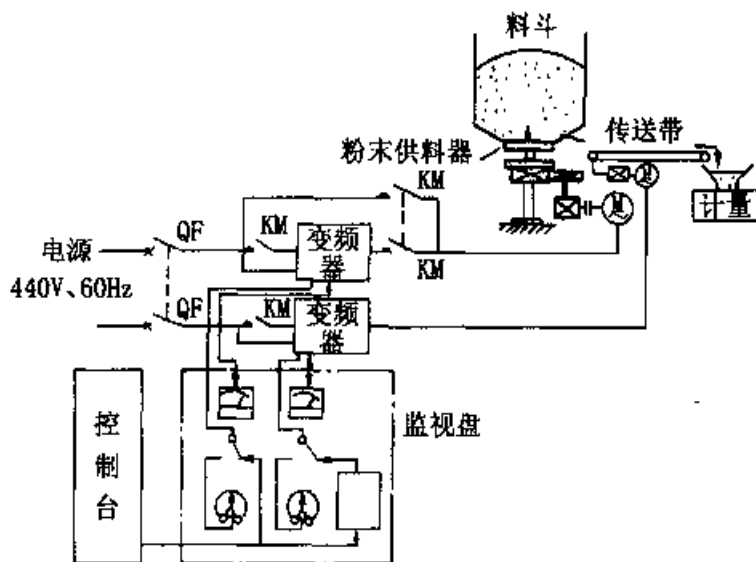


图 7-3-1 供料与出料传送带的控制

一台普通变频器驱动，其直流母线用适当的方式并网，较好的解决了以上问题。

(一) 工作原理

电动机处于再生制动状态时，其转子转速超过同步转速 ($n > n_0$) 且二者方向相同，工作点沿着机械特性曲线从第 I 象限向第 II 象限移动，这时电机产生的电磁力矩的方向和转子转向相反。图 7-3-3 中，A 点对应的电磁力矩 T_1 是制动力矩，用来使离心机螺旋产生足够的推料力矩，其大小是螺旋推料力矩的 i 分之一 (i 是差速器的速比)。由于电磁转矩只和主磁通 ϕ_M 与转子电流有功分量的乘积成正比，因此回馈到电网的定子电流有功分量经图 7-3-2 中的 VD1 和 VD2 全波整流，加到直流母线上。由于主、副变频器的母线并网，该能量就被主电机利用，使母线电压 V_d 维持在 610V 以内。这就是共母线双电机双变频节能的基础。

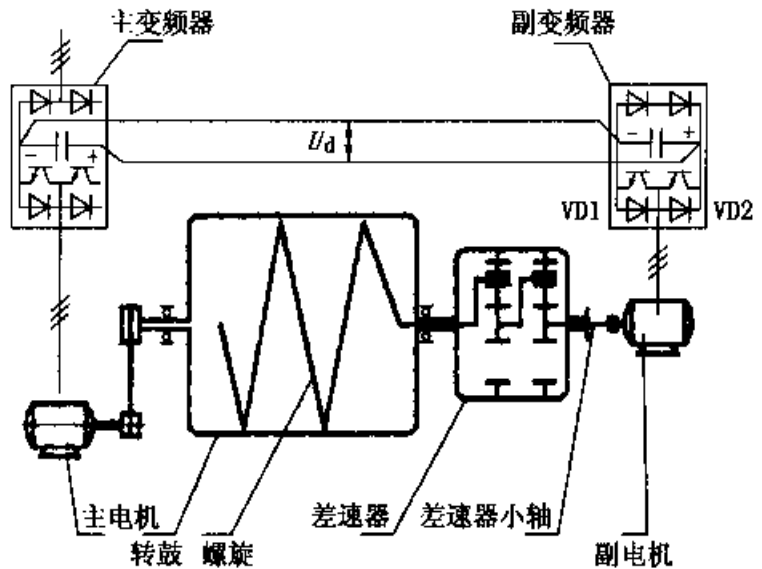


图 7-3-2 卧螺离心机的双电机驱动

电动机处于再生制动状态时，其转子转速超过同步转速 ($n > n_0$) 且二者方向相同，工作点沿着机械特性曲线从第 I 象限向第 II 象限移动，这时电机产生的电磁力矩的方向和转子转向相反。图 7-3-3 中，A 点对应的电磁力矩 T_1 是制动力矩，用来使离心机螺旋产生足够的推料力矩，其大小是螺旋推料力矩的 i 分之一 (i 是差速器的速比)。由于电磁转矩只和主磁通 ϕ_M 与转子电流有功分量的乘积成正比，因此回馈到电网的定子电流有功分量经图 7-3-2 中的 VD1 和 VD2 全波整流，加到直流母线上。由于主、副变频器的母线并网，该能量就被主电机利用，使母线电压 V_d 维持在 610V 以内。这就是共母线双电机双变频节能的基础。

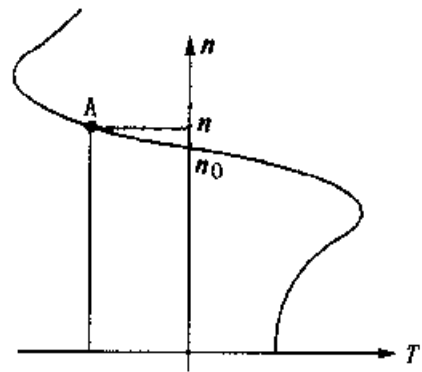


图 7-3-3 电机机械特性曲线

(二) 差转速的调节

螺旋担负着将沉积在转鼓内壁的干泥推出转鼓的使命，其差转速的快慢直接影响到离心机的产量和分离效果。差转速 $\Delta n = (n_{转鼓} - n_{臂}) / i$ ， $n_{转鼓}$ 为转鼓转速， $n_{臂}$ 为差速器小轴转速（以上单位为 r/min）， i 为差速器速比。由于转鼓转速和差速器速比一般固定不变，因此调节转臂转速即可调节差转速。差转速的调节通过改变副变频器输出频率来实现。设要减小差速，则增加输出频率，在频率刚刚增加的瞬间，由于机械惯性的原因，转速不可能突变，但机械特性已由曲线 I 变为曲线 II，见图 7-3-4 (a)，工作点由 A 点跳到 B 点。由于 B 点制动转矩小于 A 点，电机加速，工作点沿着曲线 II 向左移动，在 C 点力矩重新达到平衡，电机稳定运行在升高的转速上。图中阴影区域是过渡过程。

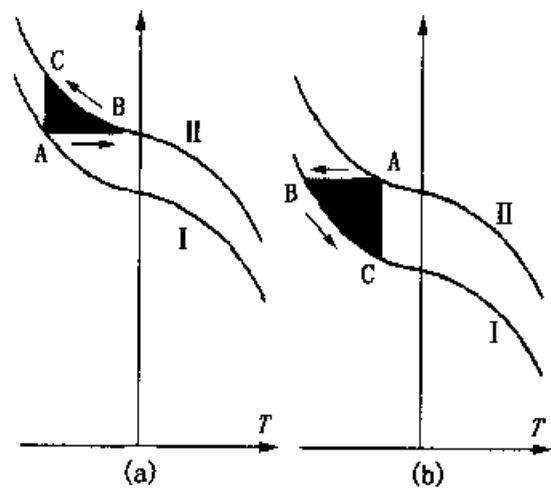


图 7-3-4 电机机械特性的变化

由于 B 点制动转矩小于 A 点，电机加速，工作点沿着曲线 II 向左移动，在 C 点力矩重新达到平衡，电机稳定运行在升高的转速上。图中阴影区域是过渡过程。

增加车速的过程见图 7-3-4 (b)。当调速范围较大时，副电机短期将运行于电动机状态。

副电机处于发电状态的必要条件是在气隙中建立主磁场，在绕组中感应工作电势，才能在 $n > n_0$ 的条件下向网路输送有功电流。但副电机本身并不产生建立磁场所需要的励磁无功电流，它将继续从变频器吸收作为电动机工作时同样的空载励磁电流。异步电机由电动机转变为发电机时，只是电流的有功分量改变了方向，而无功分量电流却是不变的。回馈到电网的是产生制动力矩的有功电流。

(三) 直流母线的两种并接方式

1. 单路供电法

交流电网接到主变频器的 R、S、T 端，两变频器的直流母线直接并联（见图 7-3-2）。由于副电机需要的无功励磁电流和副电机偶尔作为电动机运行（如启动阶段和加减速过渡过程）时的有功电流都由主变频器提供，因此选取主变频器的功率时应予以考虑。表 7-3-1 所示为某厂生产的城市污水处理卧螺离心机的主、副变频器功率搭配。该设计方案的特点是电路简单、无需调试、动作可靠性极高，缺点是成本稍高。由于副变频器的 R、S、T 端悬空，副变频器应有输入缺相保护禁止功能。

表 7-3-1 某卧螺离心机的主、副变频器功率搭配表

功率 (kW)	变频器型号	FU1/FU2 额定电流 (A)	MC2 额定电流 (A)
5.5	EV200-4T0055G	25	25
7.5	EV200-4T0075G	25	25
11	EV200-4T01100G	40	40
15	EV200-4T0150G	60	60
18.5	EV200-4T0185G	60	60
22	EV200-4T0220G	100	100
30	EV200-4T0300G	100	100

2. 双路供电法

两变频器的 R、S、T 端都接到交流电网，如图 7-3-5 所示。变频器用快熔保护，快熔型号可选 RSO/RS3 型，额定电流按整流管额定电流的 1.4 倍选取，分断能力可选 50kA 或 100kA。变频器母线应设置直流接触器并参与故障连锁，以保证在两台变频器完成充电后可以进行母线连接，或在任何一台变频器故障后将 MC2 断开，其控制逻辑见图 7-3-6。MC2 的电压选 DC660V，额定电流应为 FV2 额定电流的 1.5 倍，快熔和直流接触器的选型见表 7-3-2。本设计方案的优点是变频器功

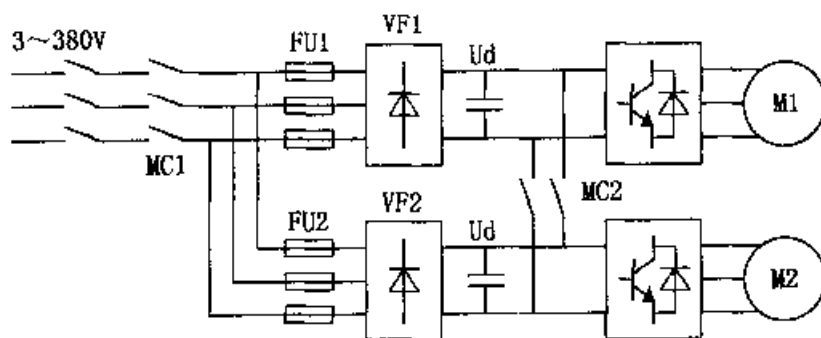


图 7-3-5 变频器的连接

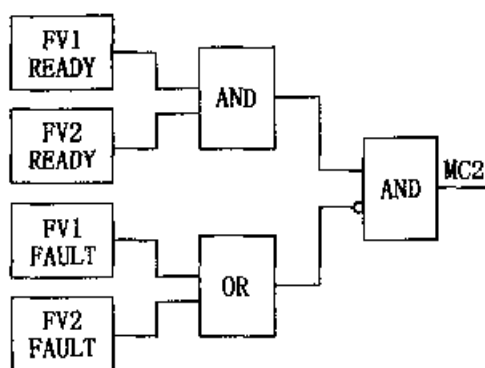


图 7-3-6 控制逻辑

率自由选配，成本较低；缺点是增加了接触器和快熔，降低了系统可靠性。

表 7-3-2 快熔和直流接触器的选型

离心机 型号	转鼓 直径	处理量 (m ³ /h)	主回路 kW		副回路 kW	
			电动机	变频器	电动机	变频器
LW350W	φ350	6-15	30	EV2000-4T0220G	5.5	EV2000-4T0055G
LW430W	φ430	20-30	30	EV2000-4T0300G	7.5	EV2000-4T0075G
LW520W	φ520	30-45	45	EV2000-4T0450G	11	EV2000-4T0110G
LW720W	φ720	60-85	110	EV2000-4T1100G	22	EV2000-4T0220G

第八章 变频器在机电设备中的应用

变压调速技术不仅在工业机电设备中得到广泛应用，而且在民间机电设备的应用中也得到了飞速发展，最为典型的的就是中央空调和大型制冷设备。目前，针对产量巨大的家用电器中常用的单相电容电机的变频调速技术飞快发展，如变频空调变频冰箱等。这些家用电器实现变频控制以后，不仅可节省电能，而且还可实现迅速制冷、精确温控、增加环境舒适感且避免压缩机的频繁启动，减小对电网的冲击和延长压缩机的使用寿命。机电类家用电器采用变频控制后，将具有更优越的性能和模糊化智能控制功能。

第一节 空调设备的变频器控制

一、中央空调系统

(一) 传统中央空调控制系统

大型中央空调一般由三部分组成：制冷、制热站，空调水管网系统，空调末端装置（空调机组、风机盘管和新风机组等）。传统中央空调控制系统如图 8-1-1 所示，采用设备中的风扇使室内空气循环，并通过设备中的冷温水盘管冷却或加热。盘管中的冷/热由机房中的制冷设备和锅炉提供。该系统的缺点是设备配置较大、风机噪音大。当环境温度变化或冷/热负荷变化时，只能通过增减冷、温水循环泵数量或使用挡风板的方法来调节室内温度，既耗费能源又会造成环境温度波动。

(二) 改造后的中央空调系统

空调系统分为压缩机、冷凝水泵和风机盘管三部分，可以通过如图 8-1-2 所示的变频器改造方案优化中央空调系统。该系统中，压缩机和冷凝水泵的变频改造可采用开环方式，根据季节的不同定时调节。整个自动温控系统可采用风机自调节，3 台变频器还可通过 RS-485 总线与中央控制室的微机联网，实现集中监控。

图 8-1-3 是恒温控制系统的原理图。将实际控制的温度与设定温度进行比较，通过变频器控制风机系统的冷风风量，达到恒温控制的目的。

表 8-1-1 所列是某中央空调风机变频改造前后的运行参数的对比。由表可知，该系统由于设计时裕量太大，变频器改造后的节电率高达 80% 以上；由于风量变小，且电机转速降低，房间的噪音明显下降。

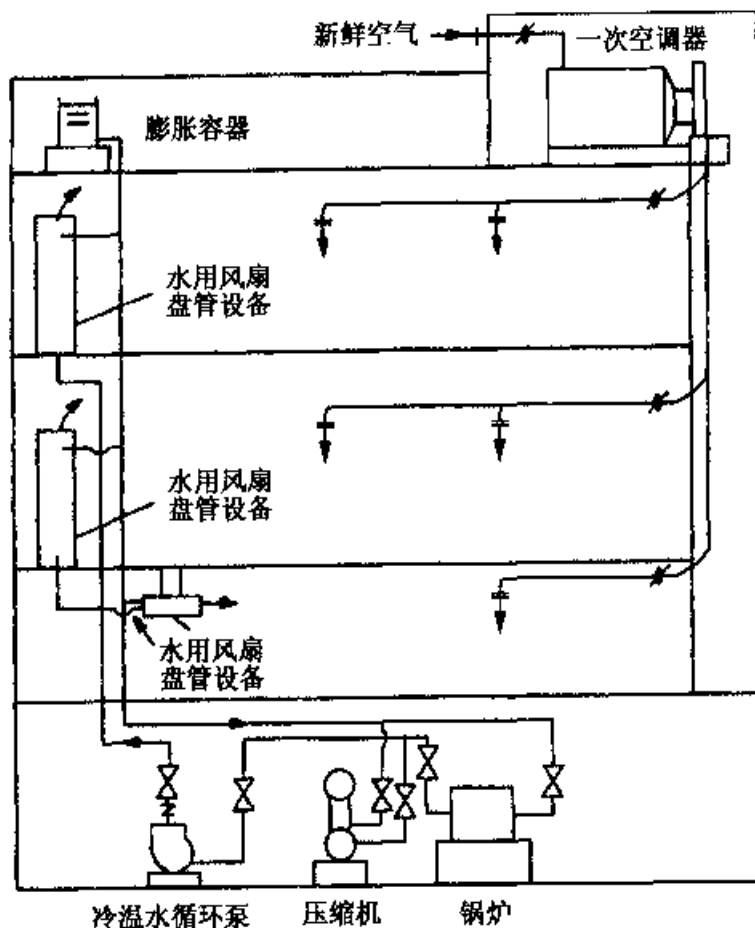


图 8-1-1 传统中央空调控制系统

表 8-1-1 中央空调变频改造前后运行参数的比较

项目	改造前	改造后
电流	29A	5.5A
噪声	75dB	60dB
耗电	74440 千瓦时/年	14200 千瓦时/年
舒适度	偏冷	舒适
轴承磨损	大	小

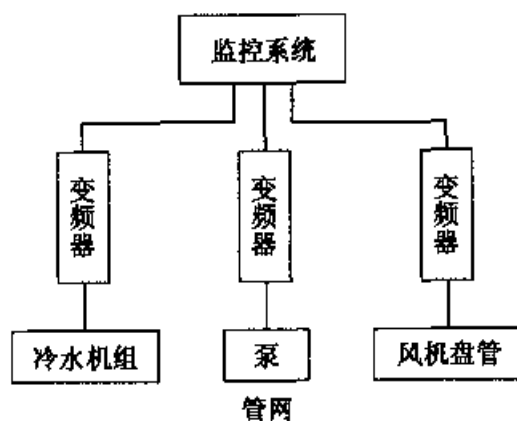


图 8-1-2 空调机房改造方案

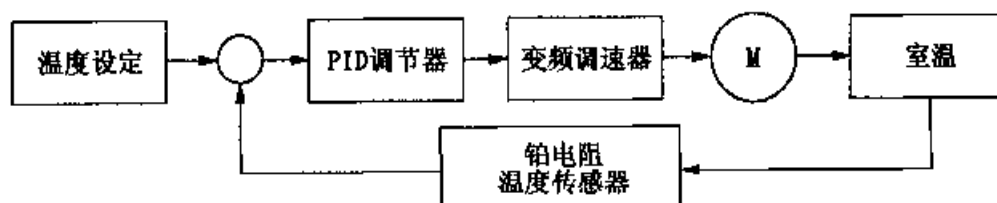


图 8-1-3 恒温控制系统

二、多重分隔空调

有的建筑物一部分用于办公室，一部分用于商店，每部分各装有空调机，采用变频器控制后，可按工作区与生活区时间带分开使用空调。这种控制方式也可满足高级住宅、套房的多室空调与多种要求，也可对应于冷暖气负载的变化而改变频率，从而调节压缩机转速，充分调节冷、暖气能力。对于同一台压缩机，其负载减少得越多，则对应于压缩机能力的相对热交换容量越大，可使压缩机低压缩比、高效率地运行。变频器控制可充分利用这一有利特性，调节冷气时的过热度和暖气时的过冷却度，同时利用电子线性膨胀阀来供给各房间负载的最佳制冷剂，从而达到节能及改善舒适性的目的。

现有 3 个房间采用多重分隔空调，利用变频器对多重制冷剂系统进行控制，如图 8-1-4 所示。压缩机与驱动电动机相连后由变频器控制，运行信号由变频器多重控制基板给定，此基板内的微机根据各室内单元输出的压缩机运行指令，以及冷、暖气指令决定运行状态，各个房间的遥控指令在冷气与暖气指令重叠时暖气优先，基于工作与生活区兼顾的要求，按照工作区域与生活区域时间带分开使用空调。

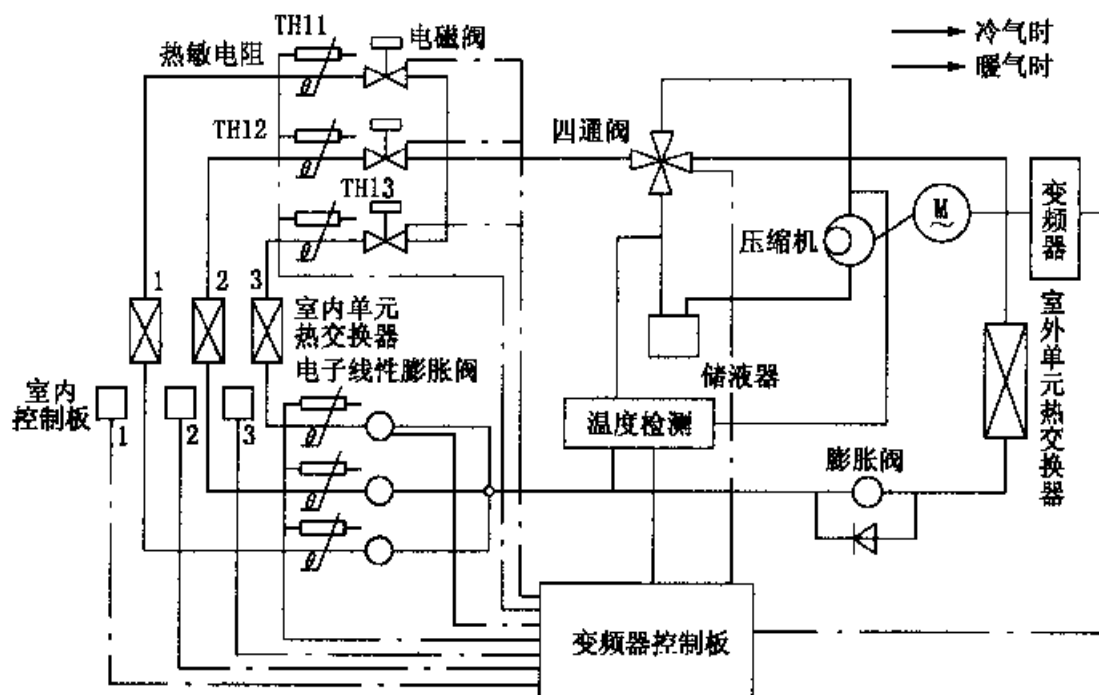


图 8-1-4 多重分隔空调的控制

分隔空调采用变频器控制后，可按时间分开使用，故基本费用与运行成本降低；利用变频器控制压缩机转速，可以低输入产生高冷、暖气。由于室外单元只需 1 台变频器，故设备所占空间减少。

二、房间空调

房间空调一般采取开关控制方式，利用笼型电动机控制压缩机调节冷、暖气。

这种控制方式有几点不足：由于采用开关方式运行，故室内温度与湿度会产生波动，引起不舒适感；基于建筑物的朝向及地区差等因素，估计一年中的最大负载以及选择适当的空调机较为困难；由于压缩机转速恒定，外面温度的变化会导致冷、暖空调能力的变化，尤其在暖气运行时，外面气温的下降会引起暖气效果下降；因为压缩机、电动机启动时冲击电流较大，因此需要的电源容量比连续运行时大一些。采用变频器控制房间空调，可连续调节笼型电动机的速度，从而方便地解决上述问题，其控制系统组成如图 8-1-5 所示。

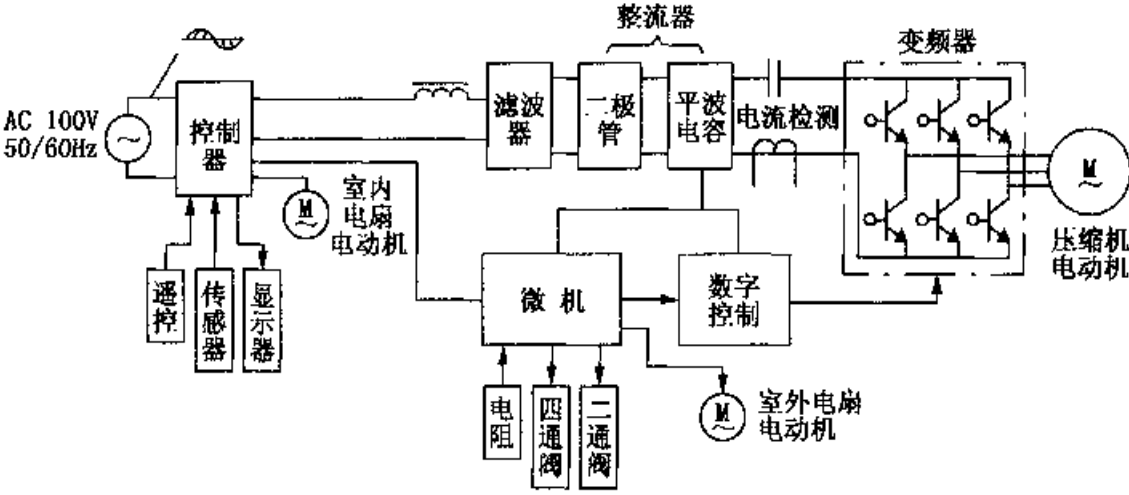


图 8-1-5 房间空调的变频器控制

房间空调的室内部分备有室温传感器，并把设定温度及运行状况等信息送给室外部分。室外部分通过分析此信息，了解温差及室温变化的时间等内容，然后运算且指定压缩机电动机的频率。如果初始运行时室温与设定温度温差较大，则采取高频率运行方式，当温差变小时转向低频运行。如果室温急剧变化，则控制频率使其大幅度变化；反之，则使频率小范围变化。控制压缩机输出平衡冷、暖气负载，以最短时间使室温达到希望值。

利用变频器控制可取得以下效果：基本为轻负载运行，采用变频器的调速控制，在负载下降时使压缩机能力降低，从而保持与负载平衡，提高运行效率，节约能源，电动机的启动电流降低；通过选择低电压及低频率抑制启动电流，并获得所需启动转矩；可消除 50/60Hz 地域差，始终具有最大能力；利用变频器调节轻负载，减少了压缩机开、停次数，降低了开关损耗；在室外气温下降、负载增加时，压缩机转速上升，可提高暖气效果，改善舒适性。

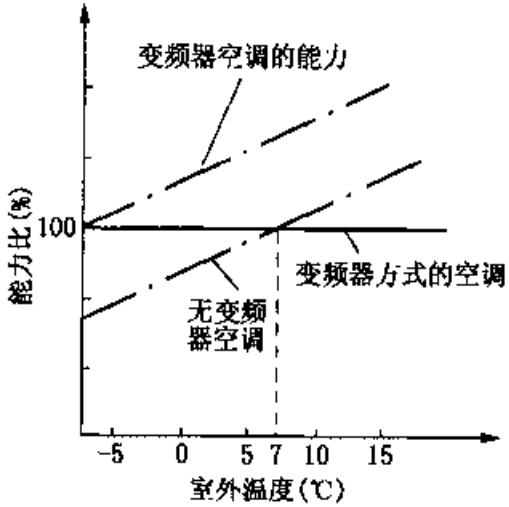


图 8-1-6 适应室外气温能力的比较
常规空调与变频器控制的空调适应气温变化的能力比较如图 8-1-6 所示。

四、毛纺厂中央空调系统

纺织行业的中央空调系统由风机和水泵组成的，如图 8-1-7 所示。通过调节鼓风机和新风机的风量可调节温度的高低，通过调节喷淋水泵可改变车间的温度。为保证厂房内一定范围的温度与湿度要求，必须对风机的风量和水泵的水量进行调节。传统的调节方法是机械调节或变极电动机传动，不仅调节不方便、能源浪费大，而且设备结构复杂，维修量大。采用变频器调速装置，不仅能节约大量的电能和水，而且能精确控制厂房内的温度与湿度。

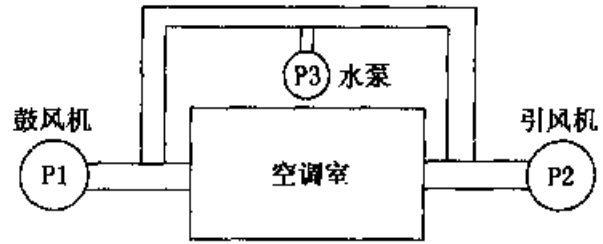


图 8-1-7 毛纺厂中央空调的结构

某毛纺厂精纺（织布、粗纱）车间的中央空调系统如图 8-1-8 所示，采用日本

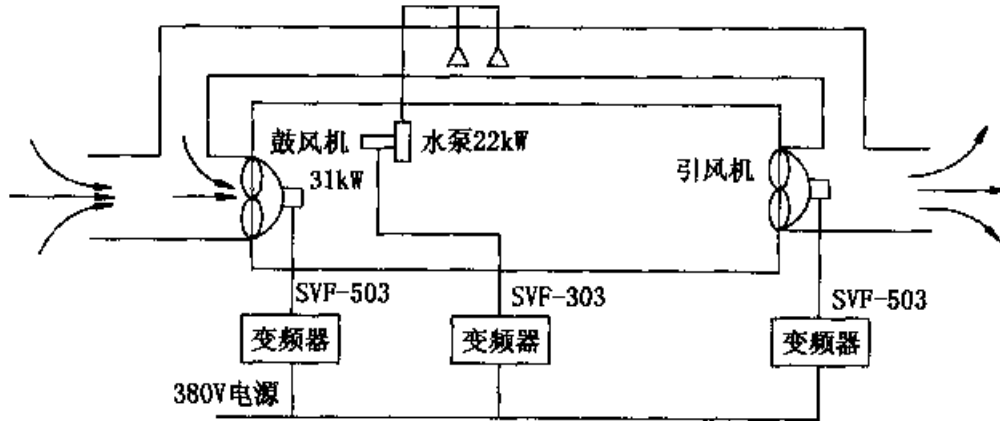


图 8-1-8 某毛纺厂的中央空调系统

SANKEN SVF（新型号为 SHF/SPF）系列调速。鼓风机和引风机均为轴流式风机 FZ35-11，额定流量为 $210000\text{m}^3/\text{h}$ ，风机电机为 Y250M-6， 37kW ，用 SVF-503 变频器驱动。喷淋水泵电机为 Y180M-2， 22kW ，带动 XA80/16 水泵，扬程 30.5m ，用 SVF-303 变频器驱动。变频器安装在中央空调室，风机和水泵的电气接线如图 8-1-9 所示。由于环境温度不同，风机的风量和水泵的喷淋水量需要大幅度调节，因此在风门或水泵阀门全开情况下，用变频调速装置调节风机和水泵的转速来调节风量和水量。

未装变频器前精纺车间的温度、湿度测量数据如下。

鼓风机： $U=384\text{V}$ ， $I=67.8\text{A}$ ， $\cos\phi=0.8$ ， $P=36\text{kW}$ 。

引风机： $U=384\text{V}$ ， $I=52.8\text{A}$ ， $\cos\phi=0.8$ ， $P=29.8\text{kW}$ 。

水泵： $U=384\text{V}$ ， $I=34.1\text{A}$ ， $\cos\phi=0.8$ ， $P=18.1\text{kW}$ 。

装用变频器后实测数据如下。

鼓风机： $U=384\text{V}$ ， $I=46.3\text{A}$ ， $\cos\phi=0.99$ ， $P=30.2\text{kW}$ 。

引风机： $U = 384V$ ， $I = 26A$ ， $\cos\phi = 0.99$ ， $P = 17.5kW$ 。

水泵： $U = 384V$ ， $I = 8.1A$ ， $\cos\phi = 0.98$ ， $P = 5.3kW$ 。

由测量可得，风机运行频率为 41Hz，水泵运行频率为 25Hz；风机节电 18%；引风机节电 41%；水泵节电 70.7%。由于车间面积较大，该系统仍处于开环控制，如果选择适当的位置装设温度、湿度传感器，再配上调节器，与变频器构成闭环控制，那就可以排除人工调节因素，实现高度自动化调节，达到提高空气调节质量。

五、楼房空调外调扇

楼房外空调机吸气扇将室外新鲜空气吸入，进行热交换后输送到楼房内，使用变频器对空调机吸气扇进行风量控制（即对转速进行控制）可达到节能的目的。

例如某高层楼房，地下二层到三楼作为商店，四楼到二十三楼作为办公室，要求对商店所在楼层使用外调机吸气扇进行调速控制，吸进的新鲜空气由外调机冷却或加热后，由空调机送入室内。因所需空气随楼内人数及昼夜气温的改变而变化，所以对风量进行调节可减少输入风扇的电能，并控制外调机热负载。由于人少时间带对风的需求量降低，故按适当的运行模式改变吸气扇的转速，控制进风量，不仅可减少吸气扇的耗电量，还可减轻加热时锅炉的热负荷以及冷却时制冷机的热负荷。通常的吸气扇只由工频电源恒速运转，没有采用风门控制进风量。引入变频器进行转速控制后，变频器的指令分高、中、低三挡，按适当模式用一周型时间控制器对其进行切换，可充分减少能耗，同时保留常规工频电源运转系统作为备用。

变频器控制的空调外调扇设备组成如图 8-1-10 所示。吸气扇的进风量根据二氧化碳浓度等环境标准确定基本必需量。对于现存的设备，

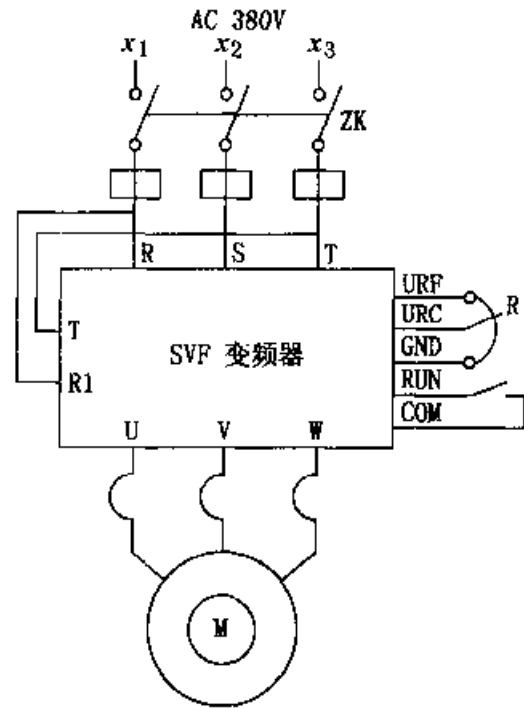


图 8-1-9 风机和水泵的电气接线

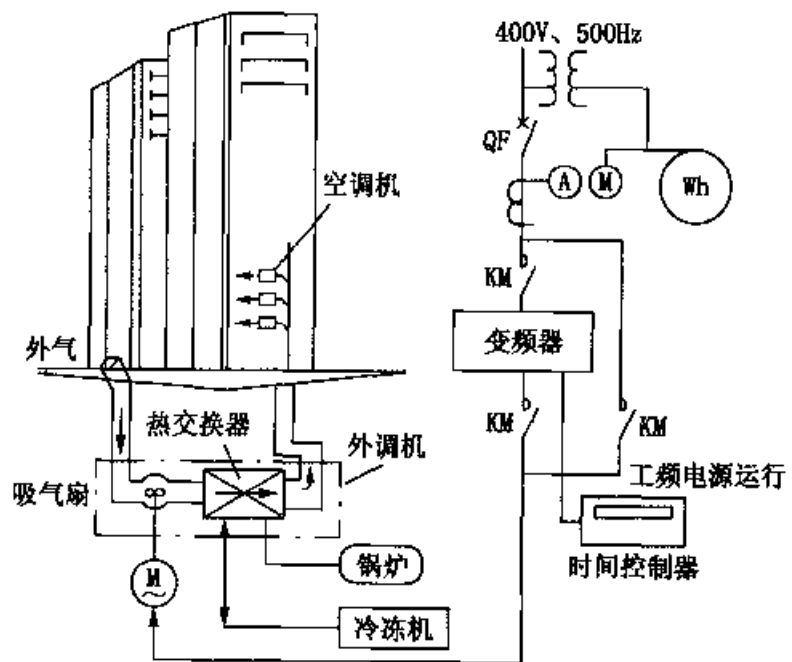


图 8-1-10 空调外调扇的变频器控制

由于其电扇设计留有余量，因此按高速时 86%、中速时 67%、低速时 57% 的进风量或转速设定。该系统中吸气扇电动机能耗减小，故输入电动机的功率也相应减少。其节能的关键是所需风量（即转速）可降低到何种程度，以及在该转速下持续运行的时间。

第二节 洗衣机、压缩机的变频器控制

一、工业洗衣机

工业洗衣机在洗净与脱水时转速差较大，一般使用变极电动机或数台标准电动机，利用离合器切换运转。由于负载惯性较大，为获得较大的启动转矩特性，需采用高转差电动机，减速时则另需制动装置。如果采用变频器控制，则可利用一台电动机从低速到高速大范围内调速，同时传动装置体积变小，控制性能得到改善，还可达到以下目的：基于衣料及洗涤剂条件，可任意控制洗涤、漂洗及平衡过程洗衣桶的转速，提高脱水时洗衣桶的转速，缩短周期时间；由于采用电气制动方式，故可以在较短时间内从高速脱水达到停止状态。

图 8-2-1 所示为老式工业洗衣机控制系统的构成。根据洗净、脱水等所需要的转速准备数台电动机，采用离合器切换使用电动机。脱水作业由高速脱水及中速脱水两台电动机分担，或采用变极电动机。该传动装置较复杂，需要离合器、带轮及制动闸等。

利用变频器可以有效解决上述问题。采用一台电动机可以包括高速、中速与低速运行，甚至包括制动器运行，使传动装置简单。在脱水结束后，变频器可用外部制动装置减速，使电动机的再生能量转变为热能放出，短时间内即可完成减速。工业洗衣机的变频器控制如图 8-2-2 所示。

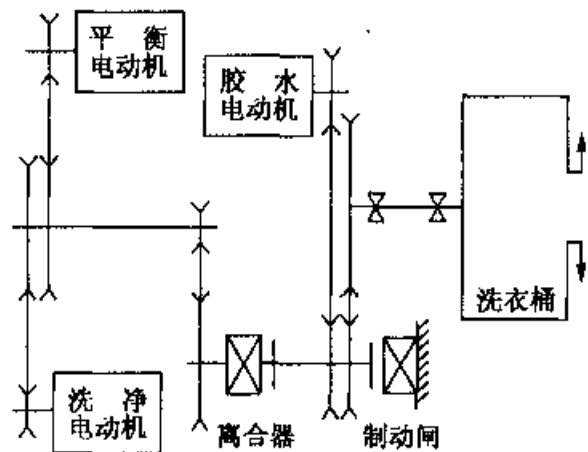


图 8-2-1 老式工业洗衣机的控制

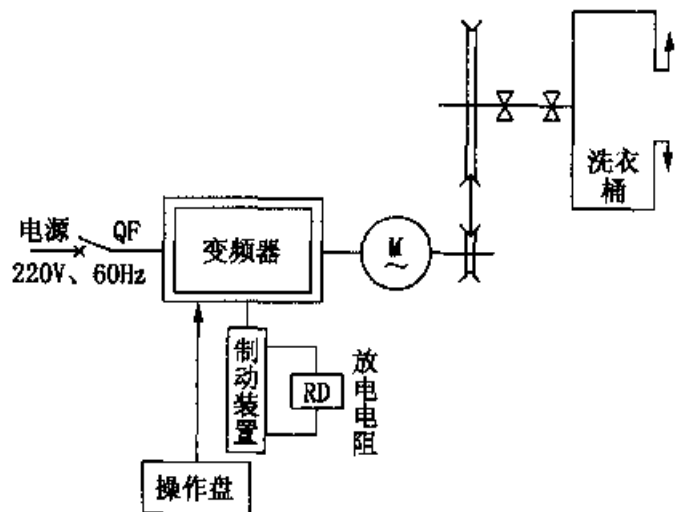


图 8-2-2 工业洗衣机的变频器控制

工业洗衣机的一种运行过程为：洗净→脱水→清洗→脱水→干燥。其中，洗净

与清洗过程由频繁的正、反转运行组成，脱水为高速旋转，干燥为长时间低速运行。在脱水前需要将衣料均匀分布在桶的周围，即平衡过程。图 8-2-3 为工业洗衣机的一种运行模式。洗衣机电动机轴的负载特性如图 8-2-4 所示。在洗净时由于有水阻力，负载转矩较大，而脱水时的负载转矩则减小。

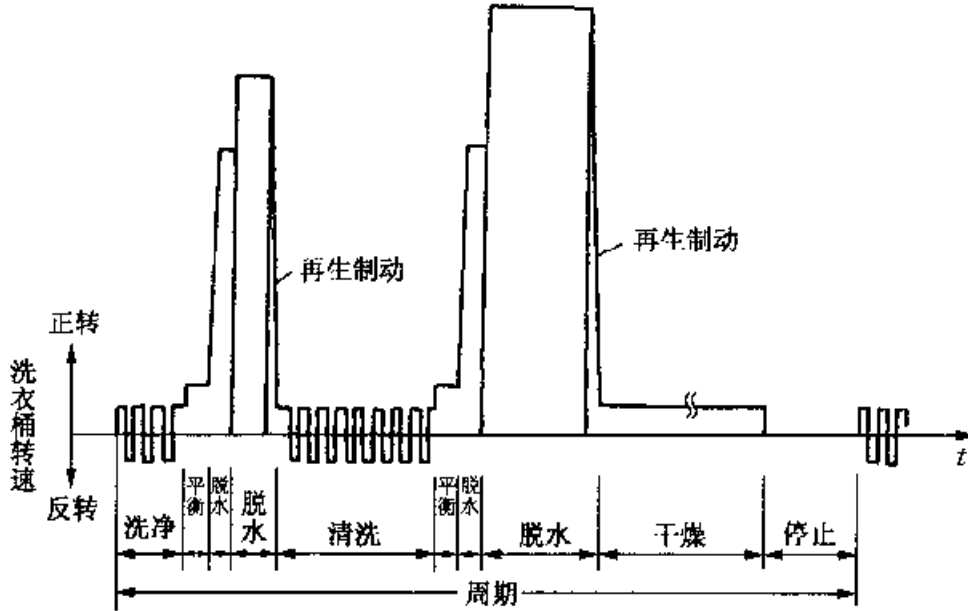


图 8-2-3 工业洗衣机的运行模式

工业洗衣机采用变频器调速后，可以取得以下效果：拖动装置只需一台电动机与洗衣桶连接，简化了机械部分，可使用标准电动机；利用超高速脱水可有效缩短脱水时间；洗净与脱水速度可通过操作盘任意设定，改善操作性能；由于取消了制动闸、离合器等磨损严重的部件，故系统维护工作量变小。

在系统设计与应用过程中，应该注意两方面的问题：使用标准电动机进行超高速脱水时，有可能出现电动机转矩不够导致失速的情况，因此采用变频器控制时，必须充分考虑电动机的机械特性；电动机高速运转时振动增加，有可能与洗衣桶形成谐振，故应避免谐振点，对控制系统的结构与控制品质进行综合考虑。

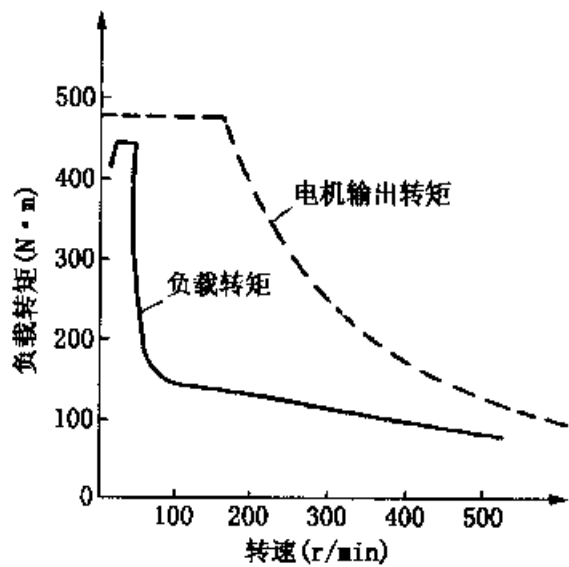


图 8-2-4 电动机轴的负载特性

二、压缩机

压缩机是冷冻机的核心，对压缩机进行变频器控制，可保证冷冻机在冷冻负载

变化的条件下高效率运行，其优点如下：对应于冷却负载的变化来改变压缩机的转速，使压缩机始终运行在最佳点，降低了所需动力，达到节能的目的；改善冷冻机冷冻能力，使得密闭式电动机的能力与电源频率无关；通过连续的容量控制可保证冷藏品的温度变化很小，使冷藏品保鲜。对于临时增加的冷冻负载，可利用加速制冷来降低冷藏品的温度。变频器控制冷冻机的原理如图 8-2-5 所示。

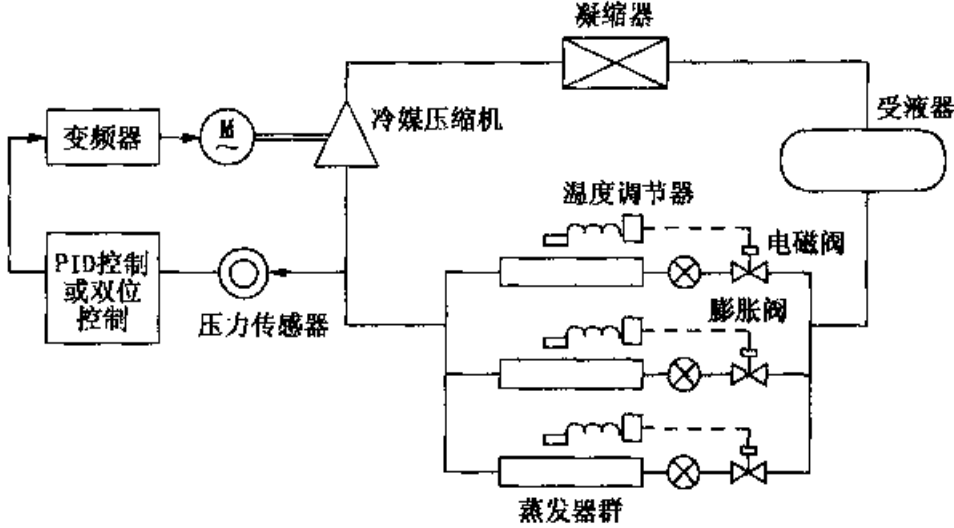


图 8-2-5 冷冻机的变频器控制

如果根据负载变化控制压缩机的转速，常用的方法是利用压力传感器检测压缩机的吸入压力。图 8-2-6 为压缩机的一种运行模式。由于压缩机为恒转矩特性，因此只要使变频器输出电压与频率成比例即可。冷冻机压缩机使用范围较广，一般与电动机设计条件不完全一致，且运行时电压也需改变，因此最终仍然需要实验确定最佳的 U/f 模式。

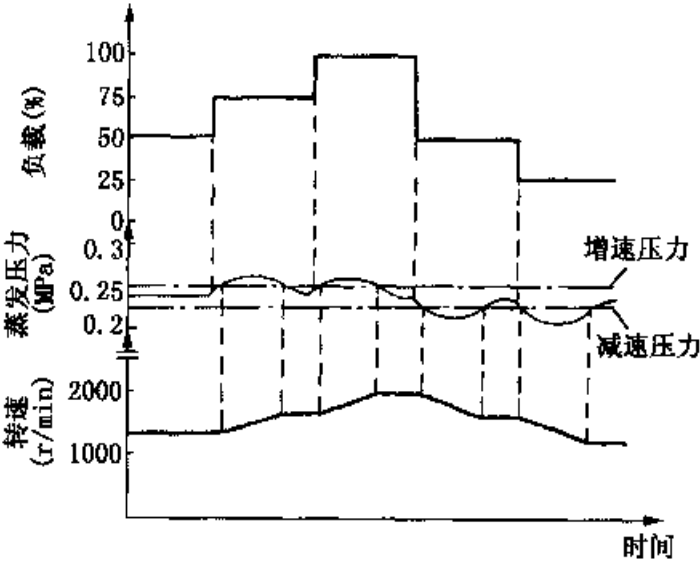


图 8-2-6 冷冻机的一种运行模式

由于冷冻机四季都在工作，其冷却负载因季节的不同而变化较大。针对这种负载变化，几种容量控制方法的节能效果对比如图 8-2-7 所示（维持冷库空库时的能量利用率为 1）。对于变频器控制方式，除电力变换损耗外，尚有 5% 的其他损耗，因此如果仅从节能效果来看，其节能效果不比常用的并联压缩式的控制方式优越。但变频器控制方式在夏季短时高峰负载时，可利用增速跟踪负载变化，还可实现精细的温度控制，所以在小型冷冻机系统控制方式中，变频器控制具有明显的优越性。

冷冻机负载具有特殊性，采用变频器控制时应注意：对于往复式压缩机，在额定转速下减速时，其活塞环等油膜厚度减小，有可能造成汽缸等部件严重磨损；对于离心式供油喷溅式供油方式，减速时会导致供油量异常降低，故应注意润滑问题；对于小容量半密闭压缩机或冷冻机，由于润滑问题，低负载时电动机绕组温度会升高。另外，还需要注意谐振问题。在往复式运动场合，由于振动、噪声、阀门寿命等限制，系统的最高频率实际上为额定频率的 125%~150%，因此在系统设计与运行时需要充分注意。

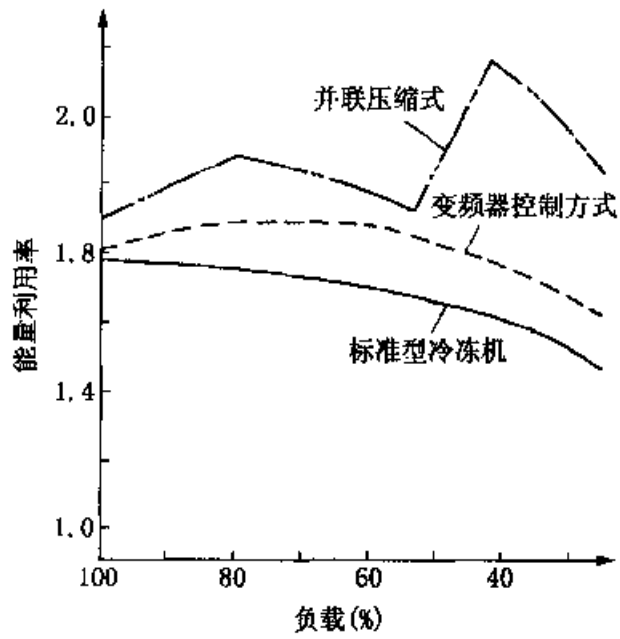


图 8-2-7 冷冻机的能量利用率

三、单相电容电机

单相电容电机是一种采用单相交流电源供电、电容移相的微型和小型交流电机，广泛用于家用电器、仪器仪表、小型电动工具中。单相电容电机因启动、运行以及电容接入方式的不同，可分成电容启动电机、电容运转电机和电容启动运转电机等。其中，电容运转电机的功率因数高、运转均匀、有一定的启动转矩、无需启动离心开关，因而使用最为广泛。

单相电容电机转速的调节，以往主要采用调节端电压和改变电机极对数的方法，前者只适用于小功率低力矩场合，如电风扇等；后者则不能无级调速。因此，变频控制成为这种电机转速调节最有效的方法。图 8-2-8 是单相电容电机的结构。

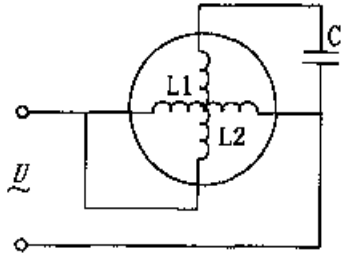


图 8-2-8 单相电容电机的结构

电机两相绕组在一般条件下对称安排并在空间正交分布，电容固定地串入一相绕组中，合理选择电容值的大小，使电机在启动与运行时尽量使两绕组电流平衡且正交，以获得圆形旋转磁场，得到尽量大的启动与运转转矩。如果采用变频调速技术控制这种单相电机，首先要解决好逆变器主电路的结构问题。逆变器结构有两种：一种是不改变电机与电容的原来接线方式，采用单相逆变器结构；另一种是去掉电容使其变为两相电机，采用两相逆变器结构。

对于前一种方案，逆变器电路结构称单 H 型（如图 8-2-9 所示），4 只 IGBT 功率管构成两相桥臂，不改变电容电机原有的接线串接在两桥臂间。这种电路结构简单，但最大问题在于 C 的串入。任何 SPWM 信号均有高次谐波，这些高次谐波

在电容中几乎是短路状态，在变频运行时两绕组处于不对称运行状态。随着激励两绕组的 SPWM 信号频率的改变，电容容抗亦改变，造成两绕组电流大小的不平衡以及相位不正交，且频率范围越大，这种不对称越甚，造成电机的运行性能变差、容易过热。因此单相电机不宜采用变频调速。而采用后一种方案，比较成熟的电路结构有双 H 型和电源中点 H 型。

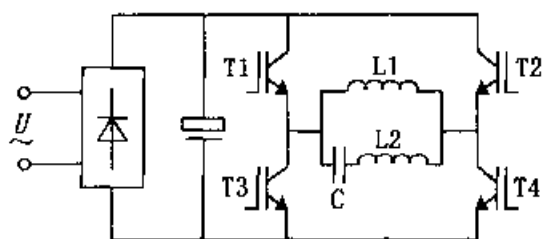


图 8-2-9 单 H 型逆变器

1. 双 H 型

这种电路是由两个单 H 型并联而成的交直-交变频电路，如图 8-2-10 所示。当单相电容电机去掉电容，两个绕组分别独立控制时，便会形成两相电机的运行方式。

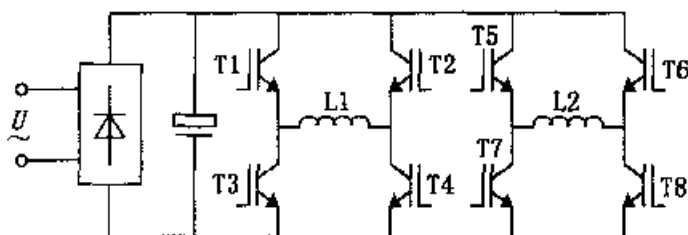


图 8-2-10 双 H 型逆变器

要使两相电机对称运行，逆变器提供的两绕组激励电压应大小相等、互差 90° ，如在整个频段都能做到这一点，就能达到三相电机平衡对称运行的效果。由此可知，相应的控制电路要产生两组 SPWM 信号，相位相差 90° ，分别控制两个绕组进行驱动。从信号产生的方法看，这与三相电机变频器中产生互差 120° 的三相正弦脉宽调制信号基本相同。从运行特征来看，由于克服了电机不对称运行的因素，因此除相数不同外，还可沿用三相电机变频调速的控制理论和方法。双 H 型电路的明显不足在于主电路功率元件多、电路结构复杂、成本比较高。

2. 电源中点 H 型

运用双极性电源来直接获得电源中点，可形成如图 8-2-11 所示的电源中点 H 型逆变电路。由于两绕组完全独立，该电路与双 H 型完全相同，而元件可以节省一半。但是有两个问题需要考虑：一是双极性电源的获得，除非用变压器隔离，一般很难从单相交流电网中获得高质量的双极性直流电源，采用单相双极半波整流又会大大增加滤波电容；二是功率管的电压定额，在这种电路结构中，功率管承受的最大反向电压将会是单极电压的两倍，这就存在着元件的选择和成本问题。

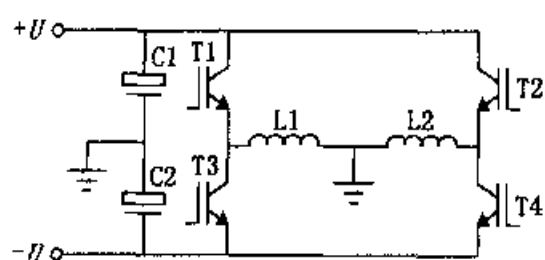


图 8-2-11 电源中点 H 型逆变器

总之，双 H 型和电源中点 H 型结构使电机运行于两相电机的对称工作方式，可获得相对最好的运行效果，这种变频技术有着广泛的应用前景。

第九章 变频器在生产线上的应用

在各个行业的生产线上，变频器的应用最突出的特点就是多台变频器-电动机组协调运行，共同完成一项生产过程。在控制方式上常采用 PC、PLC 控制，近年来现场总线控制技术（网络控制）发展很快，使变频器在网络控制中大有用武之地。

第一节 变频器在冶金方面的应用

一、炼钢转炉倾动和氧枪升降

变频调速技术在冶金行业中的应用最为广泛，遍布选矿、冶炼、连铸、连轧等各个领域。某炼钢厂有 3 座转炉，炉子倾动和氧枪升降的拖动系统采用模拟量逻辑控制，双闭环直流拖动系统，恒磁通调压调速。该系统具有 2 个闭环、1 个速度环和 1 个电流环。每座转炉倾动由 4 台 22kW、650r/min 的直流电机集中传动，每座转炉有两枝氧枪，每枝氧枪由一台 22kW、650r/min 的直流电机单独传动。该系统十分庞大，每座转炉电控柜达 14 台之多，继电器、接触器多达 160 个，插件是分立元件，且系统是模拟量的，因此调试周期很长（达 3 个月）。该系统长的热停工时间长、维修难度大、继电连锁和接插件部分故障率相当高，严重制约着生产。

（一）负载情况

氧枪是典型的恒转矩负载，具有四象限运转特性，其传动系统如图 9-1-1 所示。当氧枪提升时，电动机的电磁转矩要克服负载转矩使氧枪提升，故电动机处于电动运行状态，工作在第一象限。当氧枪下降时，在氧枪这一重载的作用下，电动机转速高于电机的同步转速，即重物力矩拉着电机转，因而电动机处于回馈制动状态，工作于第四象限。对氧枪的工艺要求是：高速 40m/min，低速 3.5m/min，行程 10.9m，氧枪静载 4.8t，静力矩 $M_{\text{静}}=0.6\text{t}\cdot\text{m}$ 。

转炉倾动方式为全悬挂四点啮合柔性传动，原设计最大倾动力矩为 $85\text{t}\cdot\text{m}$ ，倾动速度为 $0.1\sim 1\text{r}/\text{min}$ ，倾动角度为正反 360° ，速比为 $1:802.3$ 。转炉属反阻性位能负载，按正力矩设计，即炉子耳轴下部比上部高、下部比上部重，从而确保转炉电控系统失灵或抱闸力不够时，能靠炉体自身的正力矩来保证炉口向上，不发生倒钢事故。但当修炉拆除炉底后以及炉口粘钢渣太多（达到或超过 8 吨）时，炉体可能出现上部较下部重；由于液体钢水重心随转炉倾角的变化而变化，在修炉或出渣、出钢时，可能出现负力矩。当炉体在正力矩时，电动机处于电动状态，当炉体

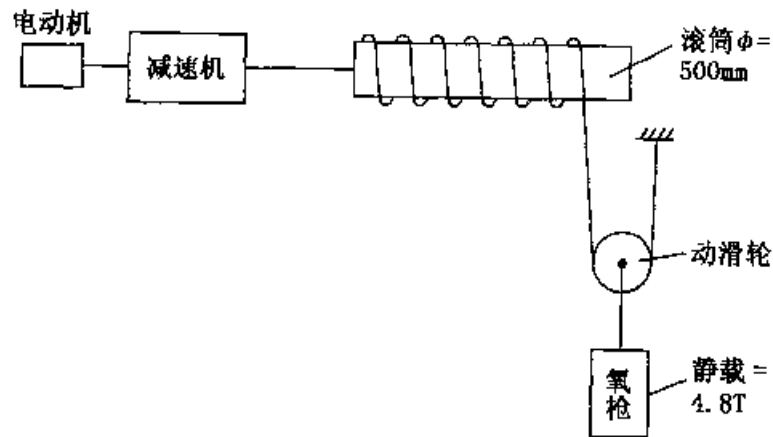


图 9-1-1 氧枪机械传动系统示意图

处于负力矩状态时，电动机处于回馈制动状态，所以转炉电动机也具有四象限运行特性。正常情况下，炉体重 $W_1 = 170t$ ，最大铁水重 $W_2 = 40t$ ，总重 $W = W_1 + W_2 = 170 + 40 = 210t$ ，炉体全高为 6.4m，耳轴中心距炉口为 3.1m（上部），耳轴中心距炉底为 3.3m（下部）。

(二) 变频改造后

1. 电动机的选用

考虑到原设备的四点啮合，转炉选用 4 台交流电动机集中传动。每座转炉有两根氧枪，分为左、右枪，仍由一台直流电动机单独传动，即两台交流电动机分别驱动左、右氧枪，其主回路如图 9-1-2 所示。

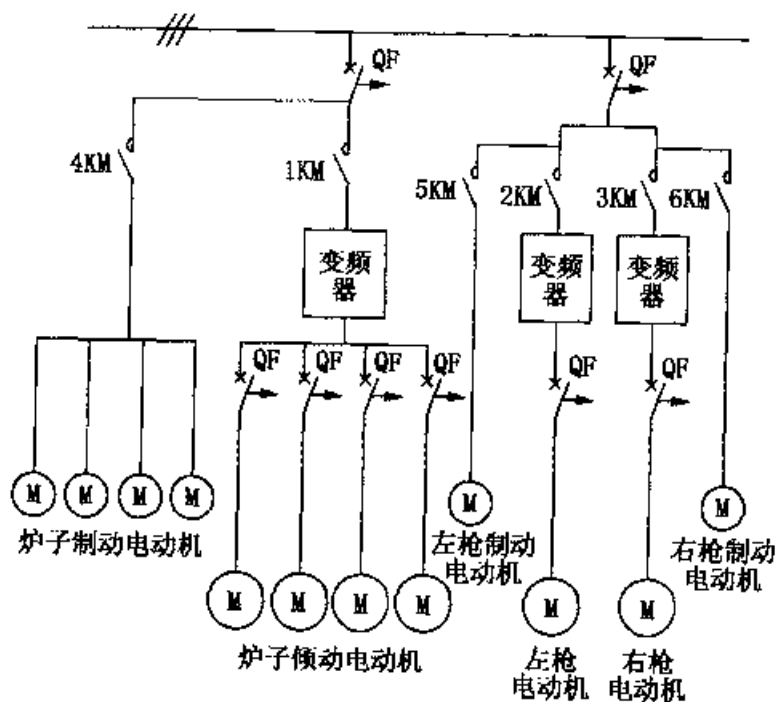


图 9-1-2 转炉主回路

主电动机均选用 YZ225M-8, 8 极交流电机, 22kW, AC 380V, 730r/min。每座转炉共 6 台, 其中 4 台倾动用, 2 台氧枪用。4 台倾动电机传递到转炉耳轴上的额定转矩为 $94.2t \cdot m$, 大于转炉最大倾动力矩 $85t \cdot m$ 。氧枪电机传递到卷筒上的额定转矩为 $0.565t \cdot m$, 略小于氧枪静载力矩 $0.6t \cdot m$, 但电机最大转矩为 $1.13t \cdot m$, 所以仍选用 22kW 电动机。

2. 变频器的选用

对于转炉倾动这种负载, 所选变频器必须具有在满载或过载时输出转矩恒定的功能, 也就是要用具有转矩限定的无跳闸变频器, 还要具有再生发电制动功能, 并注意低频运行时的散热、制冷。因此, 可选用富士公司的 FRENIC5000G7 型变频器。炉子倾动电机总容量为 $4 \times 22 = 88kW$, 选用 FRN110G7-4 型、400V 系列变频器, 另配制制动单元和制动电阻以及继电单元。氧枪升降电机容量为 22kW, 选用 FRN30G7-4、400V 系列变频器, 另配制制动单元和制动电阻以及继电单元。

3. 系统特点

转炉倾动仍采用三地可选操作 (操作室、炉前、炉后), 操作开关仍采用原来的无触点主令开关, 不改变原来的操作习惯。无触点主令开关后加一相敏整流插件, 以得到 $0 \sim \pm 10V$ 的模拟量控制电压, 其输入-输出特性如图 9-1-3 所示。

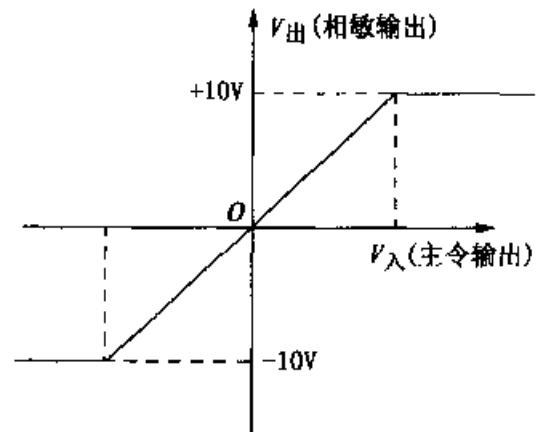


图 9-1-3 相敏元件的特性

变频器的频率控制信号为 $0 \sim \pm 10V$ 的模拟量电压信号, 用控制信号的极性来改变电动机的正反运动方向。变频器的运行命令 (即 FWD 或 REV 与 CM 端子之间的接通) 需在主电源接通几秒后方能接通。该变频器没有的 $0.5 \sim 5Hz$ 启动频率可维持 $0 \sim 10s$, 但 $5Hz$ 以下的谐波分量相对较大, 会造成启动转矩减小, 故不易使用。

为确保电机启动时有足够大的启动转矩以保证重载启动的安全性, 利用其频率水平检测信号端子 FDT 打开抱闸, 即 FDT 和 CME 端子的输出信号控制继电单元, 利用继电单元的动合点去控制抱闸接触器线圈。应注意制动单元和变频器之间连线的极性和线号不能接反, 否则制动单元将不能正常工作。辅助控制单元的 Ro、To 端子应于主电源接触器电源侧引接, 以确保在变频器故障跳闸或人为停运时, 变频器能正确显示故障类型。除主回路和辅助控制电源外, 变频器的所有输入和输出端子的接线均应采用屏蔽线, 从而解决电磁干扰问题。标有 E (G)、END 的端子均应单独良好接地, 不要跨接。将主令开关零位时的闭点接到变频器的滑行停止信号端子 BX 和 CM 端子上, 从而使变频器的主令开关回零位时或在零位时立即封锁无输出。

二、输送辊道

(一) 辊道传输

在自动化生产中，将要求加工、处理或搬运的工件按照工艺要求沿一定的路径连续输送时，大量采用辊道传送方式。这种传送方式组合方便，对物体与环境温度、湿度的适应范围极宽。辊道传送的动力源是辊道电动机，辊道电动机带动道辊滚动的方式主要有：电动机直接驱动单辊；电动机经减速器后驱动单辊；电动机直接经链条驱动多辊；电动机经减速器后由链条驱动多辊。

用电动机作为动力源的辊道称为主动辊，无动力源的道辊称为被动辊。被动辊处于两个主动辊之间，起滚动传递作用。并不是所有的辊道都有被动辊，视驱动物件的长度、重量及辊道电动机的驱动能力而定。通常将若干个主动辊（必须）和若干个被动辊（选用）组合在一条线上，以达到某一工艺要求，称之为一个辊道组。一条完整的生产线的辊道传动系统由若干个辊道组组成的。图 9-1-4 所示为一条钢铁生产线的辊道传动系统。图中，INV 为变频器，CONV 为变流器，TC 为矢量控制、转矩控制，SC 为矢量控制、转速控制，SFC 为转差频率控制。辊道传送主要控制辊道电动机的启停、转向和转速。

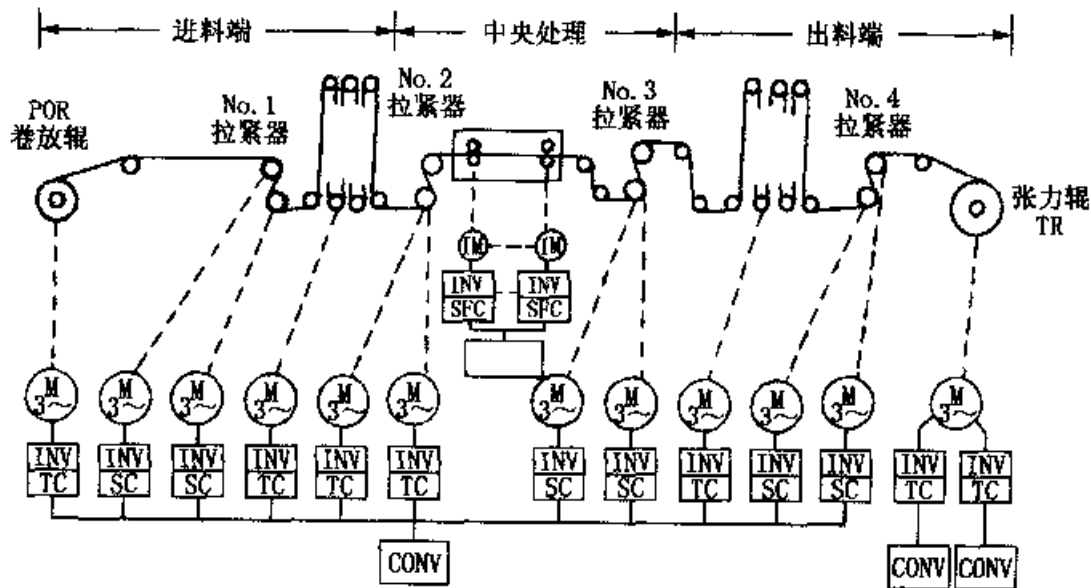


图 9-1-4 钢铁生产线辊道传动系统

(二) 交流辊道变频传动

辊道电动机主要分为交流电动机和直流电动机。交流变频传动逐步取代直流传动，交流辊道电动机控制方法由传统的接触器控制方式改变为变频器控制方式。这两种控制方法的性能分析如表 9-1-1 所示。

表 9-1-1 接触器控制和变频控制性能对比

特性	状态	接触器控制	变频控制
启停特性	启停电压	全电压	软启动, 软停止
	冲击电流	大	小
	机械冲击	大	小
	设备寿命	短	长
	控制设备故障率	高	低
	传输中工件掉轨与不正常撞击	较易发生	不易发生
	控制设备损坏更新	周期短	周期长
	人员安全性	较差	较好
	供电系统所需电力容量	大	可适当降低
调速特性	系统变速方法	更换减速器或电动机	调节变频器给定
	系统变速难易程度	极难	极易
	寻找最佳工艺速度	不可	容易
	不同产品不同工艺条件下速度质量对比分析调节	不易	容易
	位置控制	难	较易
	复杂速度曲线控制	难	较易
	系统工作耗能	大	可节能

(三) 辊道变频器的选用

辊道变频器的选用原则是：先保证工作可靠，再尽可能节省资金。

1. 变频器容量的选择

选择交流辊道电动机变频器容量时，要特别注意同等功率的辊道电动机比普通笼型异步电动机的额定电流大很多。如 YGA132M-12 型辊道电动机功率为 0.8kW，电压为三相 380V，额定电流为 3.5A，堵转电流为 11A；JG251-12 型辊道电动机功率为 1.7kW，额定电流为 7.6A，堵转电流为 21A。两者额定电流均为同容量笼型异步电动机电流的 2 倍以上。辊道电动机部分被堵转或接近被堵转的情况在所难免，与普通笼型异步电动机不同，辊道电动机短时堵转并不会造成损坏，辊道电动机的堵转电流仅为额定电流的 3 倍左右，这适应了辊道传送的要求，但堵转增加了变频器的电流负担。在大型生产线上，处在配电室中的变频器一般离负载电动机的距离可能超过 50m，电动机所处环境一般比较恶劣，这就要求增加变频器容量。选择变频器的容量时，

变频器的额定电流值 $\geq K [NI_{MN} + n (I_{MDN} \cdot I_{MN})]$

式中, N 为辊道组内辊道电动机台数; I_{MN} 为辊道电动机额定电流 (通常一个辊道组选用一台变频器, 一个辊道组内的辊道电动机型号通常相同, 极少例外); I_{MDN} 为辊道电动机堵转电流; n 为可能堵转的辊道电动机台数; K 为系数, 一般取 1.1 或大于 1.1。

例如, 某无缝钢管厂热处理生产线辊道传送采用日本富士 G7 型变频器驱动, 如表 9-1-2 所示。

表 9-1-2 辊道电动机参数和变频器的选用

辊道组内电动机状态				变频器型号	备注
电动机台数	总功率 (kW)	额定电流 (A)	负载型式		
1	5.5	11	减速器链条	FVR150G7S-4	普通电动机
1	7.5	14.8		FVR220G7S-4	
11	8.8	38.5	直接带辊道	FRN030G7-4	辊道电动机
13	10.4	46			
14	11.2	49			
8	13.6	61		FRN037G7-4	
15	12	52.5			
16	12.8	56		FRN045G7-4	
21	16.8	73.5			
22	17.6	77			

2. 制动单元与制动电阻的选择

要求频繁正反转控制的辊道, 其变频器一般应加制动单元和制动电阻, 在某些场合还需加直流制动, 以适应控制的快速变换。位置控制的场合, 一般也增加制动功能, 以克服惯性的不确定性对控制精度的影响。对用减速器经链条传送的辊道, 对精度要求不高的一般传送, 尤其是单方向的一般传送, 可不用制动单元。

(四) 无缝钢管热处理线变频控制系统

1. 系统组成

热处理线设备布置及传动组成框图如图 9-1-5 所示。传动系统的传动设备主要有 101~117 共 18 组辊道 (设计辊道电动机为 240 台); 链条传动机构 7 台, 其中双向链 1 台, 由 2 套传动机相对运动, 使工件在传送中同时产生滚动, 提高冷却效果; 翻料勺、圆盘给料器、活动蓖条等给料机构 16 套; 炉内步进梁机构各 1 套。

传动系统的传动控制设备与装置包括: 步进梁液压站及 PLC 控制设备 2 套;

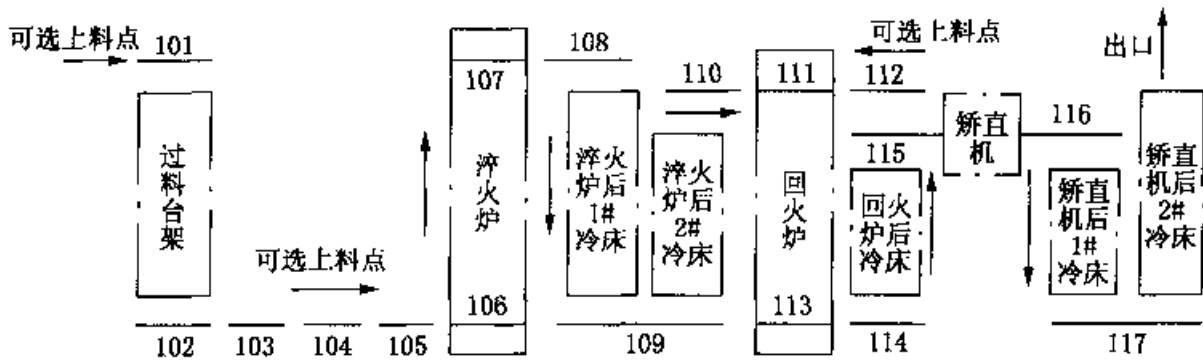


图 9-1-5 热处理线设备及辊道传动组成框图

辊道组和链条传动控制用变频器 25 台；淬火炉、回火炉控制 PLC 各 1 套（4 套 PLC 均选用日本欧姆龙 C200H 产品）；无触点开关柜 2 台，内装无触点开关 20 套（使用 16 套，备用 4 套）；现场操作室 8 个，内装操作台 18 台。

2. 传动系统控制方法

链条变频器控制方法如图 9-1-6 所示，图中点划线框内部分在操作台上。全部链条由操作台上主令控制器 Q 直接控制相应变频器的启、停，速度由操作台上的电位器调定，运动频率也在操作台上显示，变频器控制相应电动机带动链条按工艺要求工作。变频器不加制动单元和制动电阻，也不用直流制动功能。

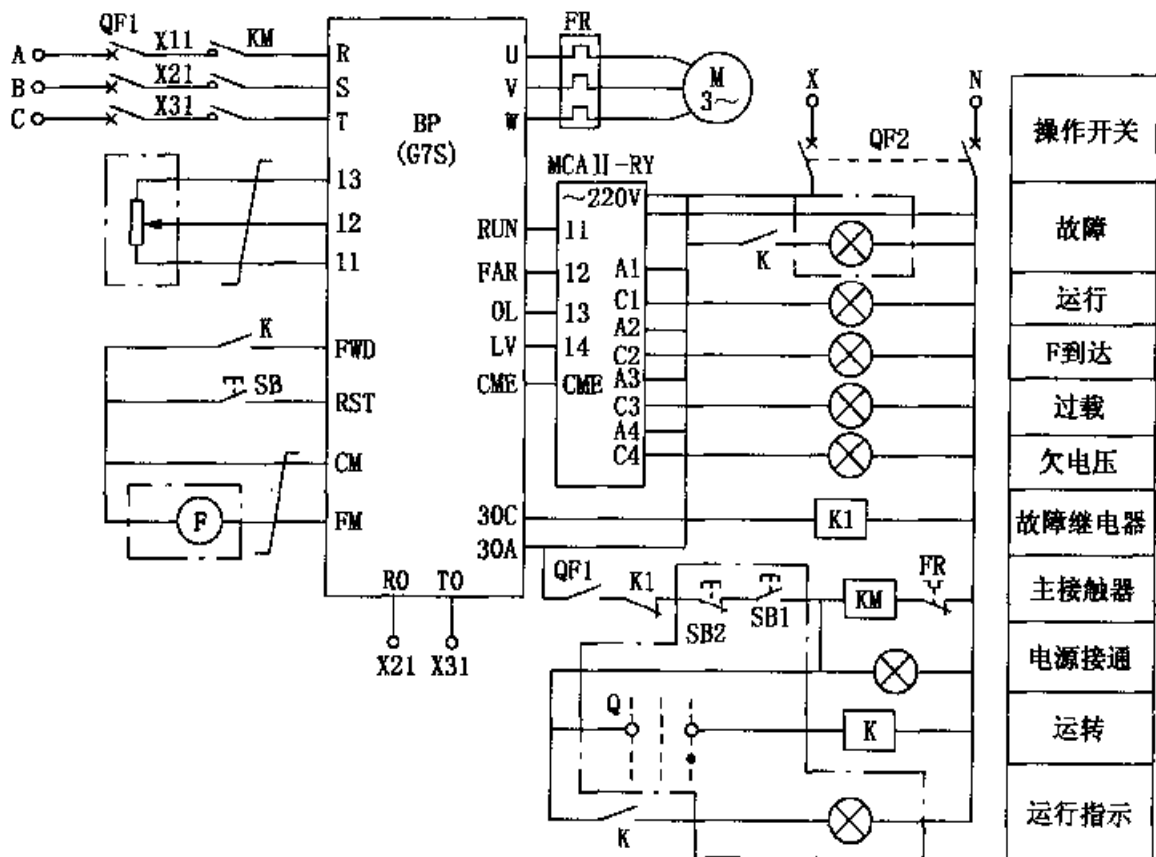


图 9-1-6 链条变频器控制原理

淬火炉、回火炉的相关辊道工作由各自的 PLC 控制。相关辊道组变频器与 PLC 之间的控制关系在硬件组成上相同，其控制原理如图 9-1-7 所示，与淬火炉或回火炉相关辊道组的变频器在各自 PLC 统一控制下进行工作，控制方式为手动方式或自动方式。

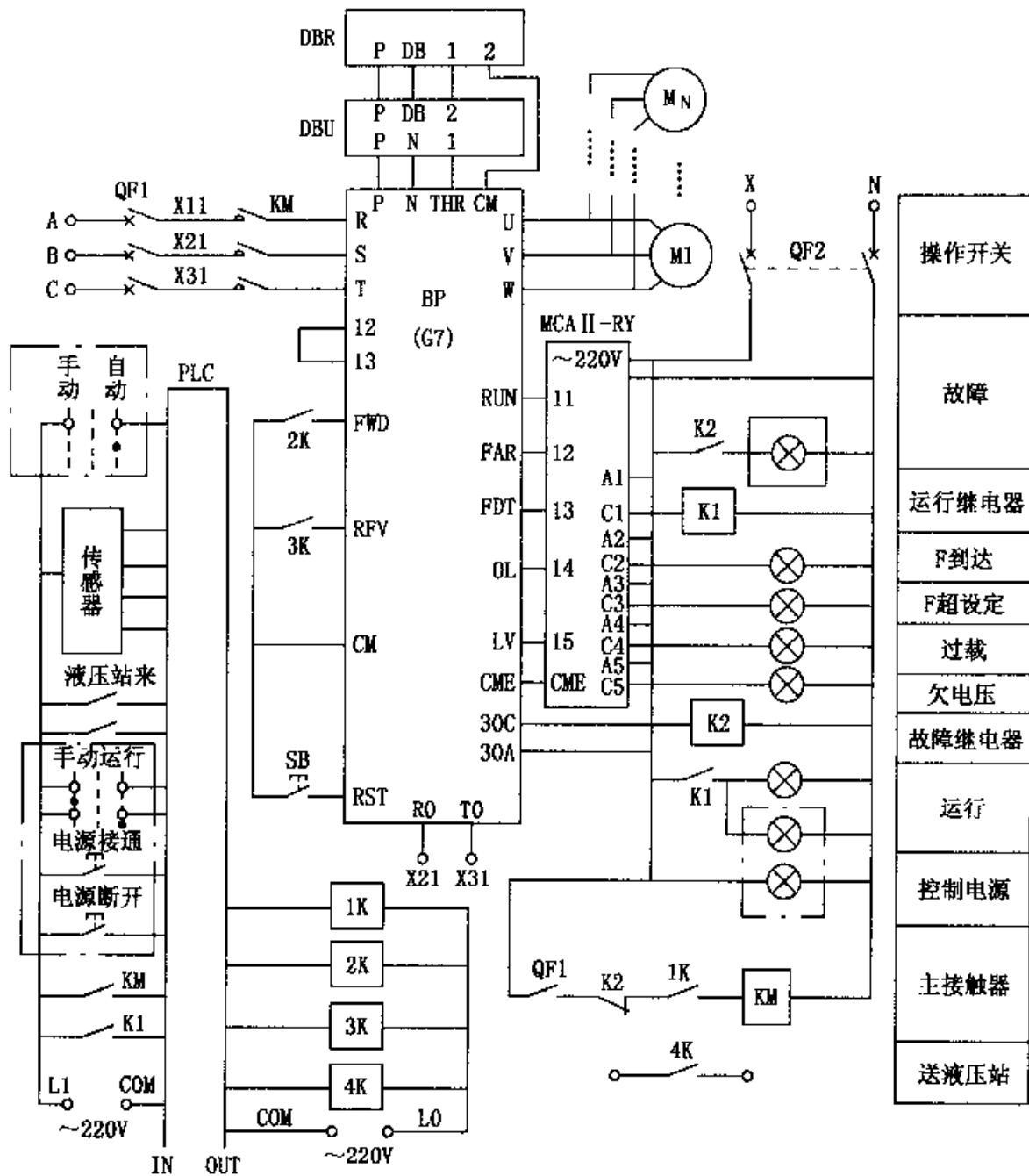


图 9-1-7 淬火炉、回火炉相关辊道组的变频器控制

在手动方式下，手动信号以及操作台主令控制器的正、反转和启、停控制信号进入 PLC，经 PLC 处理后控制变频器启、停与变换方向，使相应辊道组单机工作。只有相关辊道组均处于自动工作方式时，才可以进入自动工作方式。此时除电源通断信号是经操作台进入 PLC 从而受操作台控制外，全部相关变频器的控制均是由

PLC 自动完成。PLC 接收有关传感器信号和相应液压站 PLC 送来的相互应答信号，经处理后顺序启停有关变频器，使相应辊道按要求运行。炉内步进梁的运行是分四步进行：上升、返回、下降、前进。只有步进梁处于下降终点到上升开始前这一前进时段内，炉外工件才能进入炉内。同时，工件长短不同进入炉内所需的时间亦不相同，最优热处理要求工件处于炉内中央位置，工艺上叫作“对中”。在进料方向垂直于步进梁运送方向这一特定条件下，既要“对中”，又要不碰卡炉壁，这就要有计算机统一控制，因此常用工作方式是自动方式。与热处理炉相关的这些辊道组变频器均选用制动单元和制动电阻，并增加直流制动功能。

淬火炉、回火炉以外的辊道组变频器的控制方法与链条变频器控制方法的不同之处在于其工作速度的改变是在变频器内部而不是在现场操作台上进行。

翻料勺等给料装置也有手动和自动两种工作方式。手动工作时由操作台主令开关直接控制。自动工作时根据辊道适当部位安装的毛刷开关信号进行控制，有信号时启动给料，完成一个动作过程后信号自动清除，进入下一轮给料控制周期。

三、线材精轧机组

某钢铁集团 30 万吨高精度合金钢棒线材连轧生产线的 10 几架线材无扭精轧机组的主传动系统中，应用了全数字大功率交流变频调速技术，采用西门子的 SIMOVERT-S 电流源交-直-交变频器控制同步电动机，测速反馈采用脉冲发生器，构成全数字大功率交流变频调速系统，以满足生产工艺对线材精轧机组主传动系统转速高及调速范围宽的要求。

(一) SIMOVERT-S 的配置及功能

SIMOVERT-S 电流源交-直-交变频器是组合式全数字大功率交流变频装置，主要用于控制大功率、高转速的同步电动机。整套装置主要由功率单元、控制单元及励磁单元三部分组成，其软/硬件配置及控制框图如图 9-1-8 所示。图中，UTR/USV/UUK/ULS/ERD/USM/TUE 为监视功能包；EAL 为逻辑控制功能包；AST 为顺序控制功能包；BED 为操作员控制功能包；KLT 为通信控制功能包；NRG 为速度闭环控制功能包；MN1/2 为电流闭环控制功能包；SMS 为矢量控制功能包；TS12 为矢量控制板；OP1 为操作面板；ERW 为励磁给定功能包；MER 为励磁电流闭环控制功能包；1 为逆变器侧电压互感器；2 为逆变器侧电流互感器；3 为整流器侧电流互感器；4 为励磁单元；5 为光电转换器件；6 为触发单元； x 为电机参数；CJ 为触发角计算；A 为监控信息引至 DIA 过程诊断功能包；VM 为电压模型及实际值检测。

1. 功率单元

功率单元由两套完全电气隔离的 6 脉波电流源交-直-交变频器组成，从而构成 12 脉波电流交-直-交变频器。每套 6 脉波变频器主要由整流器、直流耦合电路及逆变器组成，其中整流器、逆变器均采用 SITOR 晶闸管模块组成三相全桥式整流电

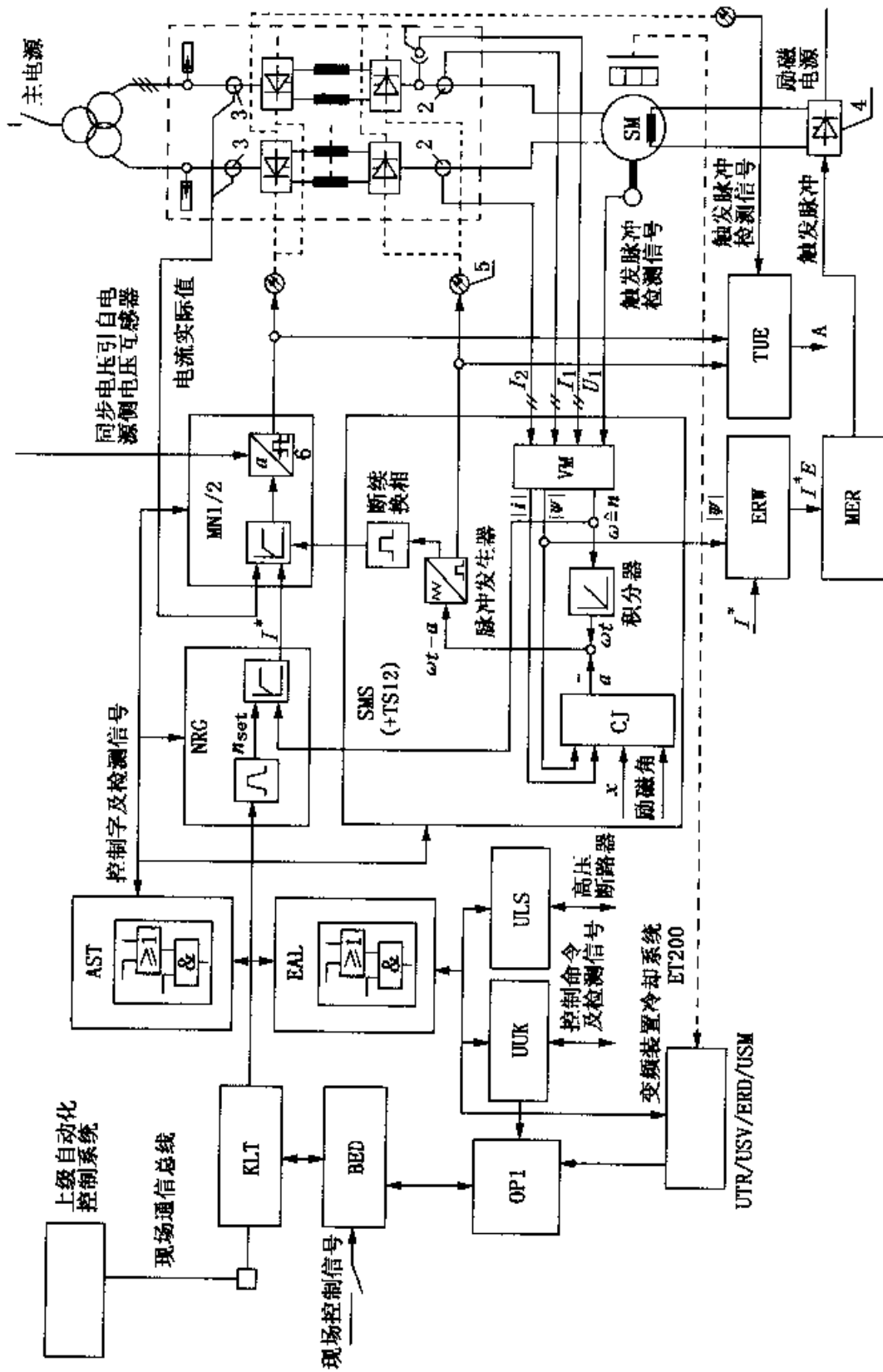


图 9-1 8 SIMOVERT-S 软/硬件配置及控制框图

路，直流耦合电路中的平波电抗器采用环氧树脂注型铁心电抗器。SIMOVERT-S 的调频范围较宽，因此逆变器侧的电流互感器及电压互感器均采用霍尔效应变换器。

2. 控制单元

控制单元采用 SIMADYN-D 全数字控制系统，是一种可以自由组态的多微处理器高速全数字控制系统，也是 SIMOVERT-S 的核心部分。它主要用于实现 SIMOVERT-S 功率单元及励磁单元的各种高速开/闭环控制，运算、检测、监视、报警及诊断等功能，其全部功能均由基于图形组态的控制软件来实现，并由各微处理器按功能分类进行实时处理，控制采样时间可小于 1ms。SIMOVERT-D 主要由硬件及软件两部分组成。

SIMADYN-D 的硬件结构采用模块组合方式，其全部功能由控制软件定义。各硬件模块均采用标准化模块，主要有电源板、微处理器板、I/O 板、I/O 接口板、诊断板、光电输入板、光电输出板及 OPI 操作面板等。SIMADYN-D 的各微处理器板之间以及微处理器板与其他外设控制板之间均通过局部总线及通信总线进行内部高速数据通信；而 SIMOVERT-S 与其他传动控制系统之间及 SIMOVERT-S 与上级自动化控制系统之间则通过 I/O 板、I/O 接口板及通信板等硬件模块实现内/外部高速数据通信。从控制单元到功率单元的触发及检测信号采用光电耦合技术，即采用光纤电缆及光电转换器件进行传输。

SIMADYN-D 的控制软件采用计算机软件技术，通常称作“用户程序”，其结构也采用模块组合方式。在用户程序中，有多种类型的功能块 (FB)，如开环控制块、闭环控制块、逻辑控制块、算术块、I/O 控制块及通信控制块等，每个功能块分别完成特定的控制任务。将各功能块进行正确的参数化赋值及有机连接，即构成了软件功能包 (FP)，而各种软件功能包的有机组合又构成了用户程序。SIMOVERT-S 的用户程序主要有监视、逻辑控制、操作点控制、通信控制、闭环控制及矢量控制等软件功能包，每个软件功能包均实现一定的系统控制功能。全部用户程序均采用 STRUC-G 图形组态语言进行组态开发。各软件功能包按功能类别均衡分配，分别由各微处理器进行实时处理，从而可以实现对 SIMOVERT-S 的高速控制。在线材精轧机组应用的 SIMOVERT-S 中，其全部控制及保护功能均由 MP-A200 用户程序来实现，整套用户程序分为供电控制、开/闭环控制及励磁控制三组软件功能包。

3. 励磁单元

SIMOVERT-S 的励磁单元与功率单元一样，也采用 SITOR 晶闸管模块组成三相全控桥式整流电路，实现 6 脉冲三相全控整流。

(二) SIMOVERT-S 的工作原理

在 SIMOVERT-S 中，功率单元整流器的晶闸管采用电源的交流电换相，逆变器的晶闸管采用负载同步电动机的定子反电势换相；输出电流的幅值由整流器控

制，输出电流的频率由逆变器控制。在额定转速以下采用恒磁调压/调频调速；在额定转速以上采用恒压弱磁/调频调速；也可进行强励控制。

整流器的控制方式采用速度及电流闭环的双环控制系统，类似于直流调速技术，同步控制电压取自电源侧的电压互感器。逆变器的控制方式采用矢量控制技术，其负载换相及强制换相控制均由矢量控制功能包 SMS 实现，晶闸管的触发脉冲由同步电动机的反电动势控制。在逆变器的运行过程中，采用霍尔效应变换器型的电压互感器检测电动机定子电压矢量的幅值及角位置，并进行综合补偿计算后产生同步电动机电压模型的磁通矢量，然后通过计算该磁通矢量的角位置，完成对逆变器晶闸管的触发脉冲的同步定位，实现对同步电动机的电压模型的矢量控制，使逆变器每次都选择在电动机转子磁通矢量与定子的磁通矢量互相成 90° 的时刻进行换相，保证电动机的输出转矩最大、效率最高。励磁单元的控制方式采用电流闭环的单环控制系统。

在正常运行时，逆变器通过同步电机定子电压及电流的实际值来确定转速实际值，当同步电动机的转速低于其额定值的 10% 时，则采用脉冲发生器提供附加的转速实际值。

(三) SIMOVERT-S 的特点及应用

SIMOVERT-S 在软/硬件结构、功能组态及操作方法等方面具有许多特点：组态灵活；功能全面，采用 SIMADYN-D 全数字控制系统；性能优越，采用矢量控制技术、多微处理器并行处理技术；操作简单；运行可靠；降低了对电网的干扰。该变频传动系统的典型工作状况如下：

(1) 额定工作状况。电压 = $2 \times 1450\text{V}$ ；电流 = $2 \times 1205\text{A}$ ；功率 = 5500kW ；转速 = 720r/min ；频率 = 36Hz ；励磁电压 = 86V ；励磁电流 = 390A ；转矩 = 72.9kNm ；工作制 = S9。

(2) 强励工作状况。电压 = $2 \times 1450\text{V}$ ；电流 = $2 \times 1932\text{A}$ ；功率 = 8800kW ；转速 = 720r/min ；频率 = 36Hz ；励磁电压 = 121V ；励磁电流 = 549A ；转矩 = 116.7kNm ；工况为峰值时持续时间为 60s 。

(3) 弱磁工作状况。电压 = $2 \times 2000\text{V}$ ；电流 = $2 \times 1405\text{A}$ ；功率 = 8800kW ；转速 = 1600r/min ；频率 = 80Hz ；励磁电压 = 76V ；励磁电流 = 348A ；转矩 = 52.5kNm ；工况为峰值时持续时间为 60s 。

针对电流源型变频器存在输出转矩脉动及过载能力低的缺点，在控制单元上采用矢量控制技术对转矩脉动进行专门的动态补偿，同时电动机采用双定子绕组结构的隐极式同步电动机；在功率单元和控制单元分别采用高性能功率器件和控制元件，使 SIMOVERT-S 的过载能力可达 150%。

第二节 变频器在纺织行业的应用

一、涤纶高速纺丝机

某化纤工厂的 12 部位高速纺丝机在生产中存在螺杆能力大、品种改变困难、改纺废丝量大、消耗高等缺陷。现将现有设备进行技术改造，增加一套变频装置，把 12 部位一分为二，计量泵、摩擦辊、槽辊六个位单独拖动，技改方案如图 9-2 1 所示。该机可同时纺两个品种，并且改纺品种时不必停螺杆，仅此一项一台机每年可降低消耗约 20 多万元。这里选择华为的 TD2000-4T0300G 变频器，它具有摆频功能。

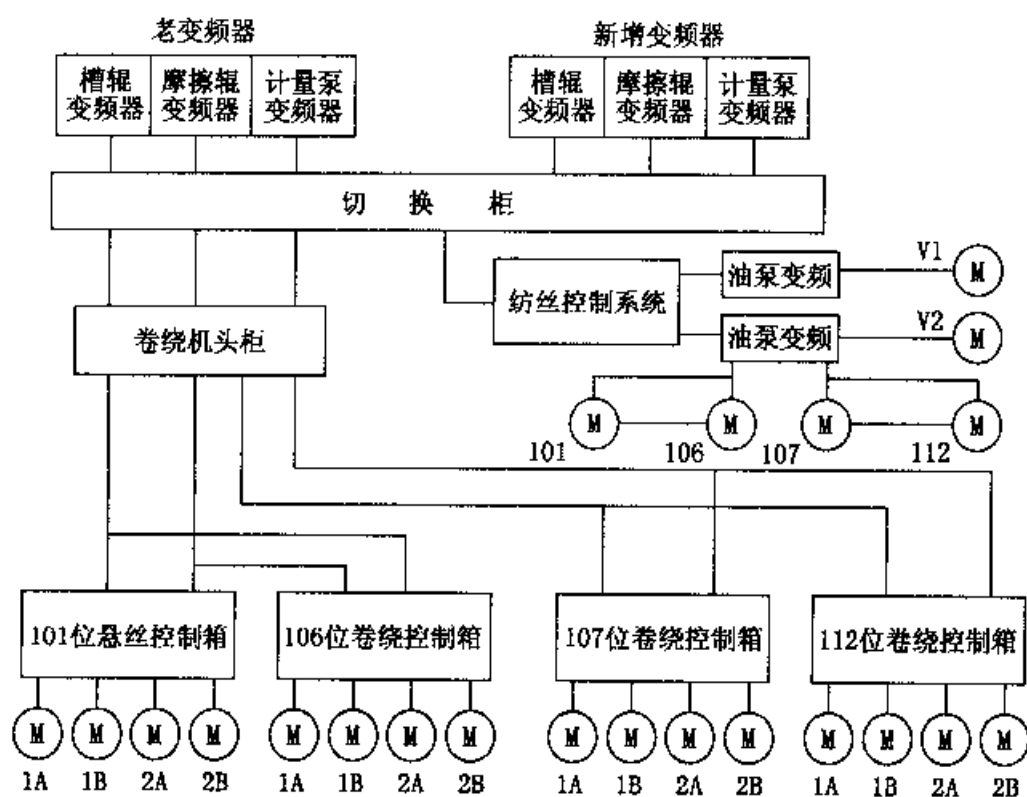


图 9-2-1 十二部位高速纺丝机技改方案

(一) 华为 TD2000 变频器的摆频功能

在化纤纺丝卷取过程中，应使卷绕端面平整、成丝排列紧密、成型良好无蛛网、凸肩塌边等，后道工序易退绕，要求成丝做周期性的变速横向往复运动。完成这个功能的装置为横动装置，通常由变频调速装置控制，需要变频器输出的频率在一定的周期内进行变化，频率变化范围及变化周期均可根据生产工艺的要求进行调整。

摆频功能主要为一个带阶跃的三角波，在一周期内达到正向最大值和负向最大

值，如图 9-2-2 所示。摆频周期 $T = T_1 + T_2$ 。摆频频率 $f_w = \frac{1}{T} = \frac{1}{(T_1 + T_2)}$ 。阶跃幅值 $= \Delta P$ 。摆频最高频率 $= f_1$ 。摆频最低频率 $= f_2$ 。

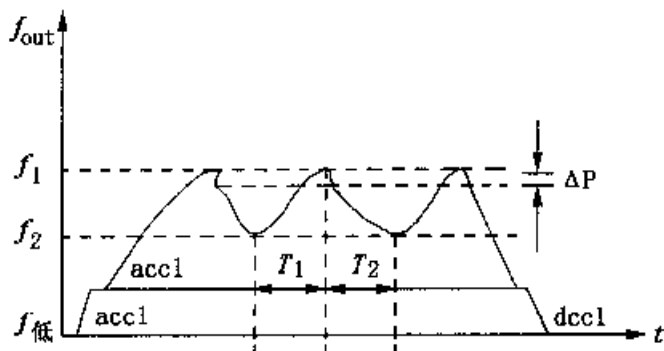


图 9-2-2 摆频控制的频率周期

TD2000 变频器利用多段频率和跳跃频率功能可实现摆频控制。例如，如果要求基频 $f_{set} = 50\text{Hz}$ 、 100cycles/min 、 $\text{ampl } 10\%$ 、 $p = 20\%$ ，那么变频器输出频率摆幅 $f_1 - f_2 = \pm 5\text{Hz}$ ，并且带一个 $\pm 1\text{Hz}$ 的阶跃三角波在 55Hz 和 45Hz 之间每分钟改变 10 次。

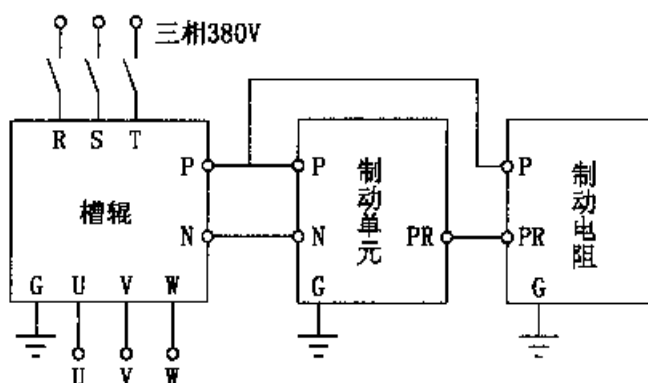


图 9-2-3 槽辊拖动制动单元与制动电阻

当摆频装置用较大惯性的负载或变化周期很快时，电机可能处于发电状态，影响中间回路电压，使 U/f 线性改变，因此需要

配装制动单元和制动电阻。TD2000 变频器在槽辊拖动中也配装了制动单元和制动电阻，如图 9-2-3 所示。TD2000 变频器摆频功能在涤纶高速技改中使用正常，POY 丝成型良好，无蛛网塌边凸肩等缺陷，各项指标均达到工艺要求。

(二) 两套变频器的切换

为保证一台纺丝机纺两个品种，在改纺时无需纺丝螺杆，可在两套变频器之间增加一个切换柜，切换柜对两套变频器有互锁功能，以避免切换时造成短路，如图 9-2-4 所示。KM1、KM3、KM5 控制老变频器，KM2、KM4、KM6 控制新变频器。如果两个品种只是纤度不同，那么仅改变泵的供应量就可以了，所以只切换计量泵，而摩擦辊和槽辊仍由原变频器拖动。

二、粗纱机

FA417/418 型高速悬锭粗纱机的纺纱稳定性、一致性、纺制质量的合格率明显高于托锭粗纱机，适用于普梳和精梳棉型纤维及化纤的纯纺或混纺，将并条后的熟条加工成不同支数和捻度的粗纱，供纺制高质量的细纱。该机取消了传统粗纱机中的差动机构、摆动机构、换向机构成形和铁炮变速等，采用工业控制计算机、PLC 及变频，实行同步控制，取消了捻度、升降、卷绕、张力、成形角度等齿轮，

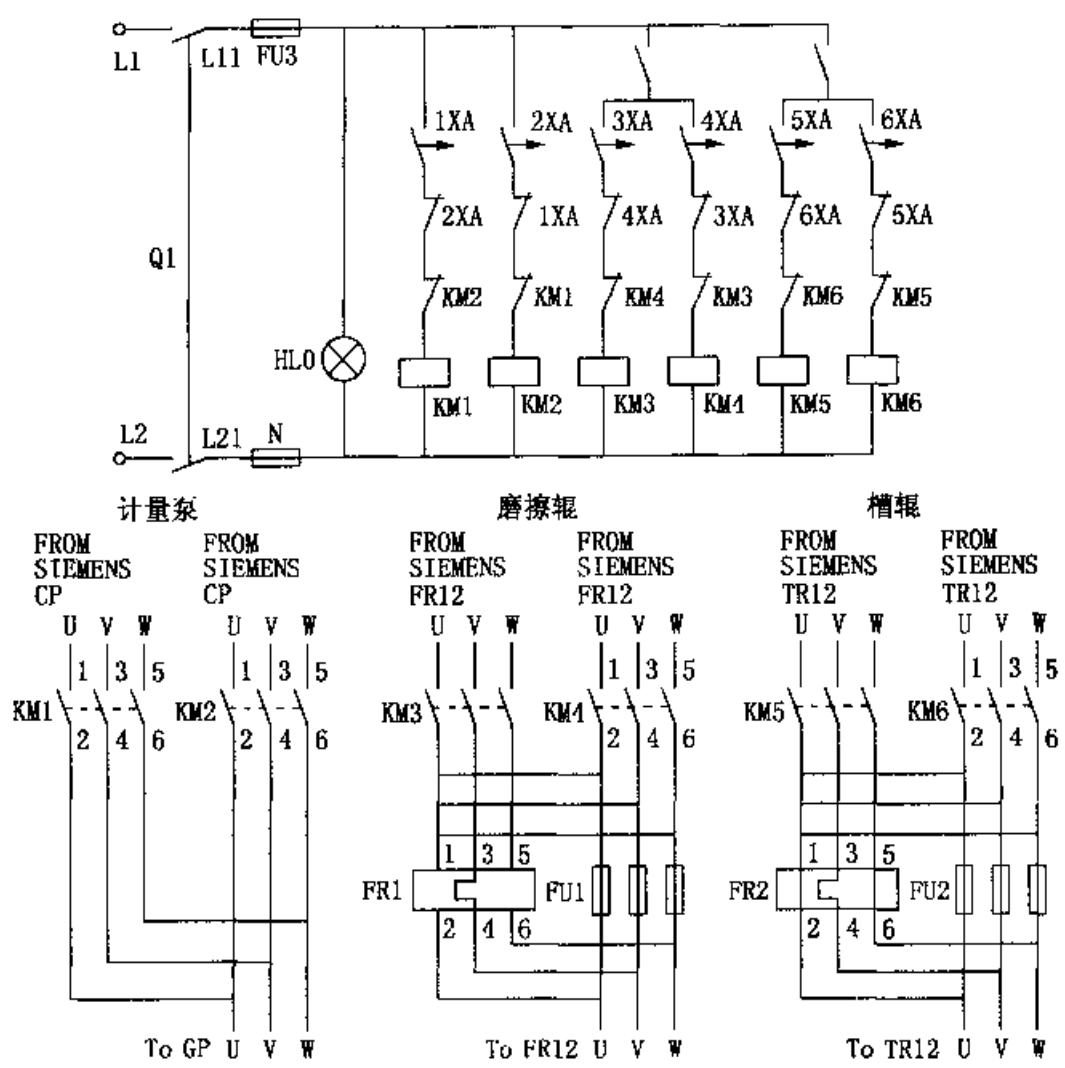


图 9 2 4 变频器切换柜

仅保留牵伸变换齿轮，使机构简化，可靠性提高。

日本 SANKEN 公司的 Sanken-Vm05 系列变频器具有完善的通信功能，独具卷绕控制功能，它与工控 PC 机和 PLC 组成粗纱机的控制、传动系统，图 9-2-5 为控制系统的框图。

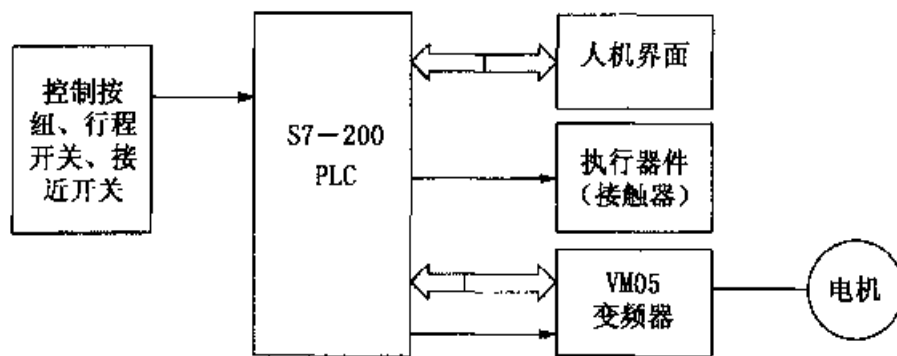


图 9-2-5 控制系统框图

在整个系统中，PLC 和变频器、触摸屏均通过 RS-485 进行串行通讯。PLC 选用西门子 S7-200P 型，该机有数种通信模式，在其中 Freeport 模式（自由通讯口模式）下，通信口完全由用户程序控制，通信协议也由用户设定。在 Freeport 模式下，PLC 与变频器之间是主从关系，PLC 始终处于主导地位。借助 XMT 与 RCV 命令分别来发送和接收数据。XMT 命令格式为：XMT TBL, PORT。RCV 命令格式为：RCV TBL, PORT。其中 PORT 为 PLC 的通信口，TBL 为数据存储区。TBL 的第 1 字节为要发送的数据长度。RCV 命令的第 1 字节和最后字节为设定的起始和结束字节。

在 Freeport 模式下，通信命令前必须先进行通信口的初始化，设定通信的速度、校验、停止位、通信模式，对通信方面的特殊寄存器进行赋值。三星 Vm05 系列变频器通信指令为：

起始字节 + 变频器号码 + 命令字节 [+数据] [+校验和] + 结束字节

其中 [] 中为可选部分，应确定参数设定是否需要附加校验和、命令是否需要数据。

第三节 变频器在造纸等方面的应用

一、胶片及造纸生产线

(一) 造纸生产线

造纸生产线的主要设备有造纸机、涂布机、超级压光机以及卷纸机，该生产线与钢铁生产线类似，需要对加工物品进行连续处理，故需要联合控制多台电动机。由于环境恶劣，故要求性能良好、便于维护的传动装置。采用变频器控制的笼型电动机传动系统可有效满足这些要求，造纸机生产线变频器控制原理如图 9-3-1 所示。图中，INV 为变频器，TC 为矢量控制、转矩控制，SC 为矢量控制、转速控制。

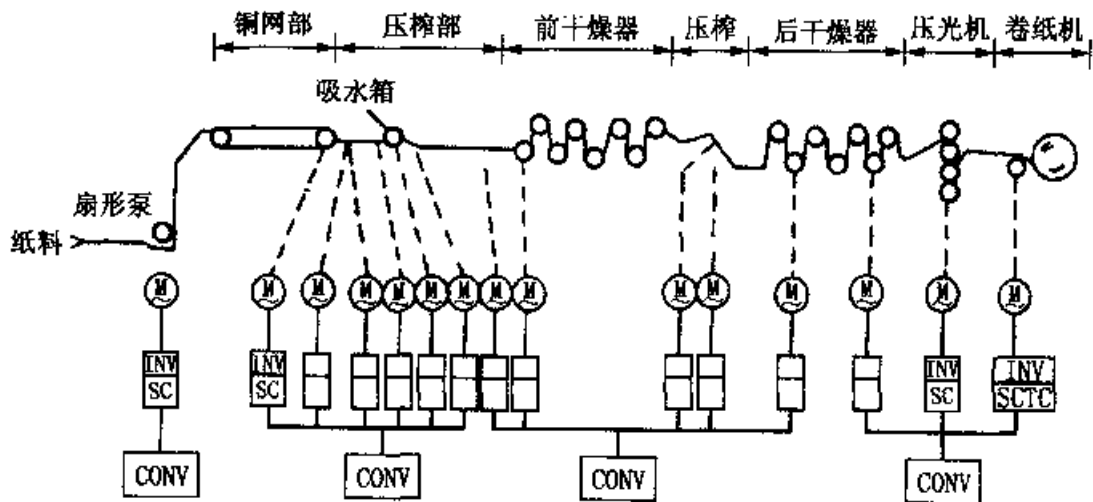


图 9-3-1 造纸机控制系统

流浆箱输出的纸浆由真空吸水箱脱水，再由压缩部分进行压缩使纸层均匀，经过干燥器干燥后，利用压光机压光使其光滑。

(二) 胶片生产线

胶片生产线传动系统与造纸机生产线类似，由挤出机输出的原料经铸造部分变成板状，再由纵向延伸部分沿传送方向延展，并由横向延伸部分边加热边横向延展。沿纵横两个方向延展后的胶片最后由引取机牵引出来，并通过卷取机收卷。

由于胶片及造纸生产线的产品细薄、脆弱，为防止生产时断裂损坏，要求进行高精度的速度控制，达到高质量的延展。系统中各部分之间采用拉力控制，使得造纸机生产线只对应于脱水和干燥度决定其伸缩性，保证胶片生产线分别按纵、横方向所限定的伸展率进行延展。对涂布机及卷取机装配了位置及张力传感器，由于涂布机的液体涂料及其干燥会引起较小的伸缩，因此对各部分之间按一定的张力控制，从而消除这些影响。造纸机和胶片生产线的一种运行模式如图 9-3-2 所示。

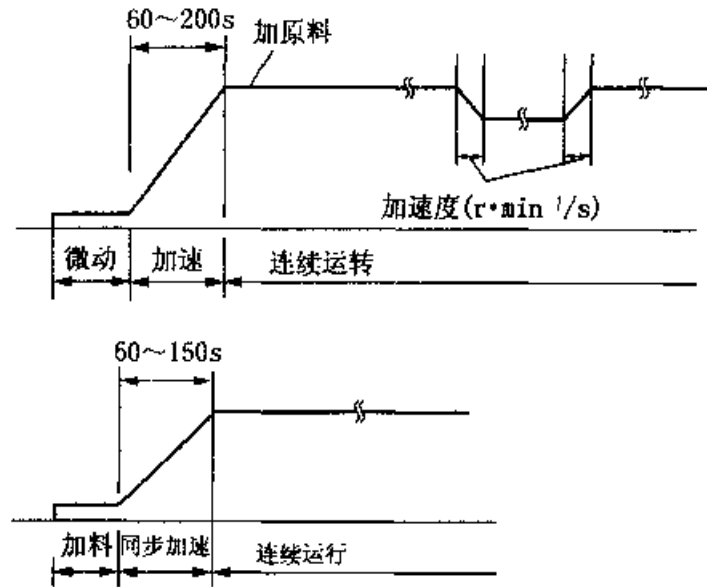


图 9-3-2 造纸机和胶片生产线的一种运行模式

造纸机与胶片两种生产线都要求高精度的同步性及很小的加、减特性。由于造纸机启动完成后才输出原料，故启动时不需要同步，但加料后速度变化的同步性十分重要。胶片生产线在达到加料速度前只有工作辊单独启动，加料并稳定后再同步加速，达到运行速度后需要长时间稳定运行。采用变频器控制的笼型异步电机后，造纸机与胶片生产线的同步性及负载分配控制性能大幅度提高，且电源功率因数高，不因电机调速而受影响，系统的综合性能得到了改善。

二、光缆护套机

光缆护套机是通信光缆制造过程中最后工序的设备，它的作用是在成缆后的缆芯上加综合保护层，以保护缆芯不受外界机械、热、化学、水及相关有害因素的影响。设备的传动部分主要由缆芯放线架、钢（铝）带轧纹机、挤塑机、履带式牵引机、收线架等组成，属卷绕式控制类型。整条生产线的速度必须保持稳定，各传动单元间的线速度比例必须协调。由于光缆价格昂贵、成本较高，一旦出现质量事故，如外径不均匀、钢（铝）带断裂甚至缆芯被拉断等，都将会给企业造成巨大的损失。某电缆公司的光缆护套生产线采用了西门子的 S7-226 PLC 与 MM440 变频

器组成电气控制系统，取得了很好的控制效果。

(一) 系统构成

在控制系统中，放线、轧纹、挤塑机、牵引机、收线和排线电机均采用交流变频专用电机，驱动器采用西门子的 MM440 系列变频器，操作和生产工艺参数的显示采用西门子的 TP-070 触摸屏作为上位监控，可以实时、形象地显示现场信号，并可实时地对现场控制点进行控制。全线控制采用西门子的 S7-226 PLC，外加模拟量输入模块 EM231。为提高设备的整体性能，采用 S7-226 PLC 的自由通讯口分别与上位机 TP-070 和变频器进行通讯。其中 S7-226 PLC 的端口 0 与 MM440 通讯 (USS4)，端口 1 与 TP-070 通讯。USS4 是适用于多台变频器控制，利用 RS-485 接口的 USS 协议。系统结构如图 9-3-3 所示。

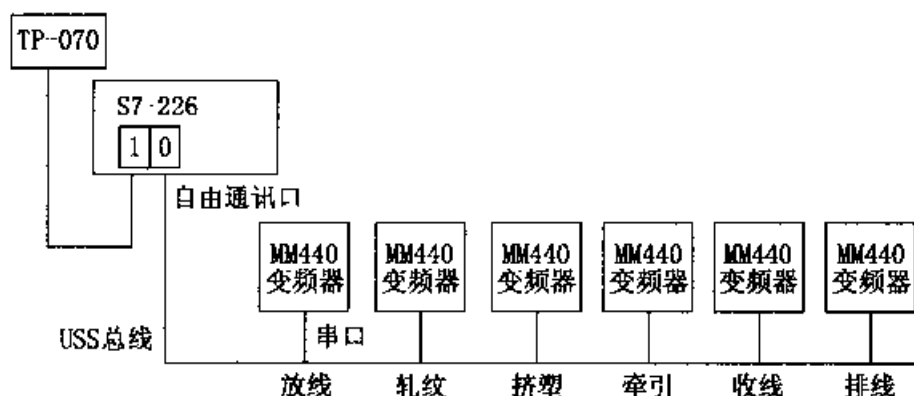


图 9-3-3 控制系统的结构

(二) 系统原理

由于该生产线无需频繁启动，且变速范围不大，所以稳速是自动控制最主要的目标。在系统的升降速过程中，各传动单元之间的速度比例必须保持协调。在整条生产线中，生产的线速度由牵引机的速度决定，因此各传动单元的速度随牵引速度的变化而变化，且各部分又能单独启动和停止。

1. 放线、轧纹和收线电机的速度控制

由于缆芯和钢（铝）带的盘具都是由满盘到空盘，收线盘则是由空盘到满盘，而牵引的速度不会经常变化，所以放线、轧纹、收线电机的线速度 $V = \omega D$ 。其中， ω 为电机角速度， D 为盘具直径。为与牵引保持同步，随着生产进程，必须根据盘具直径的变化不断对电机的角速度进行微调。该微调信号主要是通过各自的张力舞蹈轮上的电位器来给定。虽然生产线的速度并不是很快，但由于线盘具有较大的转动惯量，所以放线和收线电机的加速度不宜太大，因此其速度的设定应采用 PID 运算。

2. 挤塑机的控制

在光缆护套的开始阶段，挤塑机的挤出量必须有一个微调，也就是除了牵引的同步信号外，还要有一个微调信号对挤塑机加以控制，使挤出量达到规定的工艺要

求。该信号可通过 TP-070 进行设定并送入 PLC，与牵引的同步信号进行叠加后，再通过 USS4 协议送到 MM440 变频器，作为控制该电机的给定信号。在生产开始前，挤塑机一般都要排料，因此还必须有一个独立的手动信号对挤塑电机进行控制，该信号也可由 TP-070 设定再通过 USS4 协议送入变频器。

3. 牵引速度控制

牵引机的速度决定了整条生产线的线速度，其速度给定信号直接由 TP-070 设定后送入 PLC，再通过 USS4 协议从 PLC 传输到 MM440 变频器上。在生产过程中，改变牵引的速度给定值不仅改变牵引机本身的速度，还使其他各传动单元的速度随着它的变化而按一定速度比例相应变化，从而使整条生产线保持同步。线速度的检测主要采用旋转编码器，由 S7-226 的 I0.1 和 I0.2 端口（高速计数器 0）送入 PLC。单位时间内高速计数器的计数值即为该生产线的线速度，通过 TP-070 显示于屏幕上。

4. 排线控制

排线的速度需要根据光缆的直径自动跟踪收线的速度，即 $V = K\omega D$ ， K 为修正参数， ω 为收线速度， D 为光缆直径。排线电机驱动器的给定信号由以下两个因素决定：收线速度，它通过旋转编码器测定，其信号通过 S7-226 的 I0.6 和 I0.7 送入 PLC（高速计数器 4），PLC 编程采用定时中断，在单位时间内测量到的高速计数器的计数值即为收线速度；光缆的直径，直接由 TP-070 设定并送入 PLC。

PLC 将上述两个参数相乘后再乘以相应的修正参数，所得的值就是控制排线电机速度的给定信号，该信号通过 USS4 协议传输到其 MM440 变频器上。由于排线电机在工作过程中需要经常换向，因此该变频器需外接制动电阻。

5. 变频器设置

变频器的主要设置见表 9-3-1。

表 9-3-1 变频器的主要设置

参数号	变频器参数设定值						变频器参数说明
	放线电机	轧纹电机	挤塑电机	牵引电机	收线电机	排线电机	
P700	5	5	5	5	5	5	选择命令源：COM 链路的 USS 设定
P1000	5	5	5	5	5	5	通过 COM 链路的 USS 设定频率
P2009	1	1	1	1	1	1	USS 标称化
P2010	6	6	6	6	6	6	USS 波特率：9600bit
P2011	0	1	2	3	4	5	USS 地址

该系统采用了 S7-226 PLC 自由通讯口方式通讯, MM440 变频器上具有 RS-485 接口, 可方便地实现变频器给定的数字化控制。MM440 变频器具有一般通用变频器所设有的自由功能模块和 BICO 技术, 因此可实现灵活的组态设计, 完成工艺复杂的控制要求。变频器的矢量控制提高了系统的动态响应能力, 克服了速度波动, 保证了控制系统的稳定性。

第四节 变频器在总线控制系统中的应用

变频器是工业自动化系统中的基本电动机驱动设备, 采用网络控制变频器可极大地提高系统的自动化水平。目前各具特色的软/硬件产品有: 西门子公司 SIMATIC Wincc (视窗控制中心) 系统采用的 Windows 软件系统; 施耐德公司利用 Quantum (控制系统平台), 采用以太网构建的透明工厂等。

一、DeviceNet 网络

(一) DeviceNet 网络简介

目前, 国际上主要有 8 大现场总线标准, 其中 DeviceNet 是美国罗克韦尔公司开发的, 基于 CANbus (国际标准 ISO11898) 技术的一种现场总线, 用于实现低成本、高性能的设备层的网络互联, 在工业中的应用有很强的优势。

DeviceNet 是用于现场设备 (拖动装置、开关、I/O 和人机界面等) 与 PLC 之间的通讯网络, 传输速率为 125~500Kb/s, 传输距离最大 500m, 最大节点数 63 个。它采用生产者/客户通讯模式, 支持多种网络拓扑结构, 允许在线组态和带电插拔。它通过 SCANport 接口能与罗克韦尔自动化的各种拖动系统联网, 实现集中控制、智能保护和参数在线优化, 可满足全数字化拖动系统对电动机快速时间响应的要求, 可应用于大型立体仓库、机场、港口、矿山和供水等重要场合。

DeviceNet 作为设备层网络, 可通过控制层网络 ControlNet 和信息层网络 Ethernet 与 Internet 网络互联, 构成微软公司的基于 Internet 的分布式制造网络体系结构 (DNA), 实现异地监控和诊断功能。

(二) 变频器在 DeviceNet 中的网络结构

1. 网络结构

A-B 公司的 PowerFlex 系列变频器均可安装内嵌式 20-COMM-D DeviceNet 适配器, 变频器可通过 DeviceNet 进行组态、通信和控制, 其网络结构如图 9-4-1 所示。

2. 节点地址和数据速率的设定

DeviceNet 适配器上有可调节的旋钮, 通过旋钮可选定节点地址; 也可将适配器数据速率开关设置为“PGM”, 通过内部参数 03 [DN Addr Cfg] 来确定节点地址。注意不要将节点地址设置为 63, 该值是 A-B 公司所有产品出厂默认节点地址值。节点地址设置后要确保该地址是唯一的。

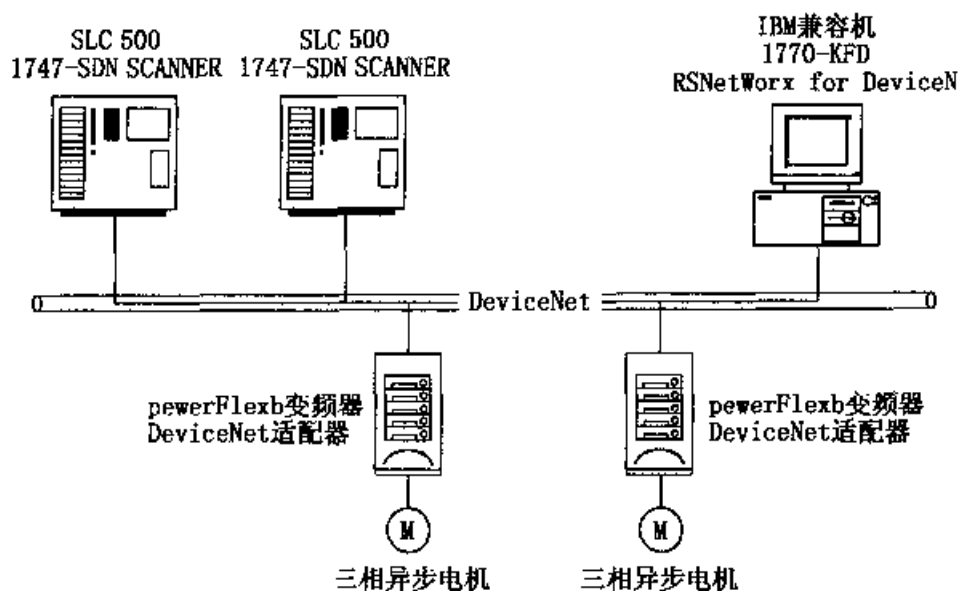


图 9-4-1 DeviceNet 的网络结构

通过参数 05 [DN Rate Cfg] 设置 DeviceNet 数据速率，若设置为“Auto-baud”，则适配器将自动检测所在 DeviceNet 网络的数据速率，并使用这一速率。

3. 通信的数据类型

通过 I/O 的配置确定变频器与 DeviceNet 通信的数据类型。参数 13 [DPI I/O Cfg] 确定 I/O 的组态，该参数的状态位如下：（置 1 使能）Bit 位 0，逻辑命令/参考值（默认）；Bit 位 1，数据连接 A；Bit 位 2，数据连接 B；Bit 位 3，数据连接 C；Bit 位 4，数据连接 D；Bit 位 5~15，未使用。

如果将 0 位设置为 1，则组态变频器中的参数使变频器通过适配器接收逻辑命令和参考值。例如，将参数 90 设置为“DPI Port5”，则变频器使用适配器的参考值；改变 mask 参数（如 276），则变频器通过适配器接收逻辑命令。

4. 通信结构

DeviceNet 支持主从、多主和对等通信，不同的通信结构将决定适配器与谁进行通信。主从结构、适配器通过 scanner 与其他设备交换数据；对等结构、适配器与一个或多个有类似数据结构的 PowerFlex 变频器的适配器交换数据。

以主从结构为例，在已经设置好参数 13 的前提下，设置参数 25 [M-S Input]、26 [M-S Output]。

参数 25 确定变频器从 scanner 输入数据，该参数的状态位如下：（置 1 使能）Bit 位 0，逻辑命令/参考值（默认）；Bit 位 1，数据连接 A 输入；Bit 位 2，数据连接 B 输入；Bit 位 3，数据连接 C 输入；Bit 位 4，数据连接 D 输入；Bit 位 5~15，未使用。

参数 26 确定变频器向 scanner 输出数据，该参数的状态位如下：（置 1 使能）Bit 位 0，逻辑命令/参考值（默认）；Bit 位 1，数据连接 A 输出；Bit 位 2，数据连

接 B 输出；Bit 位 3，数据连接 C 输出；Bit 位 4，数据连接 D 输出；Bit 位 5~15，未使用。

5. 通信方式

DeviceNet 支持多种数据通讯方式，如循环、状态改变、查询等。循环方式适用于一些模拟设备，可根据设备信号的发生速度，灵活设定循环进行数据通讯的时间间隔，大大降低对网络带宽的要求。状态改变方式用于离散的设备，使用事件触发方式，当设备状态发生改变时才发生通讯，而不是由主设备不断的查询来完成。查询方式下，I/O 报文直接依次发送到各个从设备（点对点）。多种可选的数据交换形式，均可由用户指定。通过选择合理的数据通讯方式，网络使用的效率明显提高。

20-COMM-D DeviceNet 适配器可配置为下列通讯方式：COS（状态改变），Polled and COS（查询和状态改变），Cyclic（循环），Polled and Cyclic（查询和循环），Polled（查询）。

若使用 Polled and COS 和 Polled and Cyclic 通讯方式，适配器利用 COS 或 Cyclic 消息传递逻辑状态和反馈信息，其他数据通过查询消息传递。Cyclic 和 Polled 数据交换方式在 Scanner 中设置，因而在适配器中只要设备 I/O 的配置就可以了。若要采用 COS 方式，则在 Scanner 和适配器中都要设置 I/O 和 COS 参数。

6. 设置故障保护

若变频器是通过网络 I/O 进行控制的，当通讯中断或 Scanner 停止工作时，在默认情况下变频器将停止工作，也可通过参数 10、11 更改设置。

7. 重新启动适配器

当上述设置完成后，需要重新启动适配器，以使设置有效。重新启动适配器有两种方法：给适配器重新上电；通过参数 09 进行设置。

参数 09 的状态位如下：0，Ready（默认）；1，Reset module；2，Set defaults。设置为 1 时，适配器立即重新启动；设置为 2 时，重新启动后，适配器将把所有参数变为出厂的默认设置，该参数的值将为 0。

（三）程序开发

A-B 公司提供了 SLC 5 的专门编程软件 RSLogix500，该软件可安装在 PC 机上，在 Windows 操作系统下使用。在开始编程前，首先要将 PC 机

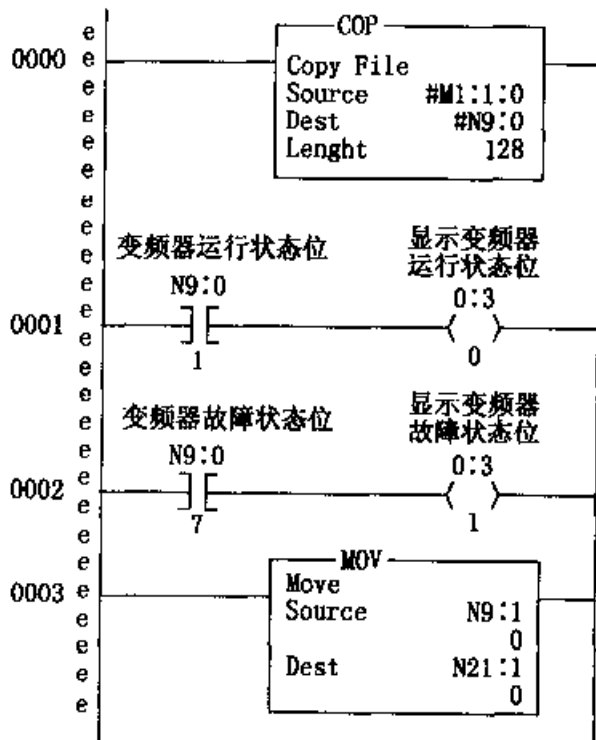


图 9-4-2 变频器控制的部分程序

与 SLC 建立通讯联系。PC 机与 SLC 通过 RS-232 串行通讯口相连，通过 RSLinx 软件建立通讯通道。在通讯建立后，将 SLC 设置在“PRG”状态，通过 RSLogix500 可获得 SLC 的组态参数以及目前在 SLC 中运行的程序。在修改或编辑新程序后，将程序下载到 SLC 中，将 SLC 设置在“RUN”状态，程序开始执行。图 9-4-2 是对变频器控制的部分程序。

这段程序是 SLC 5/05 利用 scanner 通过网络采用变频器的状态。Scanner 通过 DeviceNet 采集变频器的数据。将 M 文件复制到 SLC 的 N9 文件中，即将变频器状态信息复制到一个临时地点，并将变频器状态由 N9 文件移到显示器。图 9-4-3 是对变频器进行启动、停止的控制程序。将控制信号存储到 N10 文件中。由 scanner 将这些信号通过 DeviceNet 网络发送给变频器，变频器将按照控制信号运行。

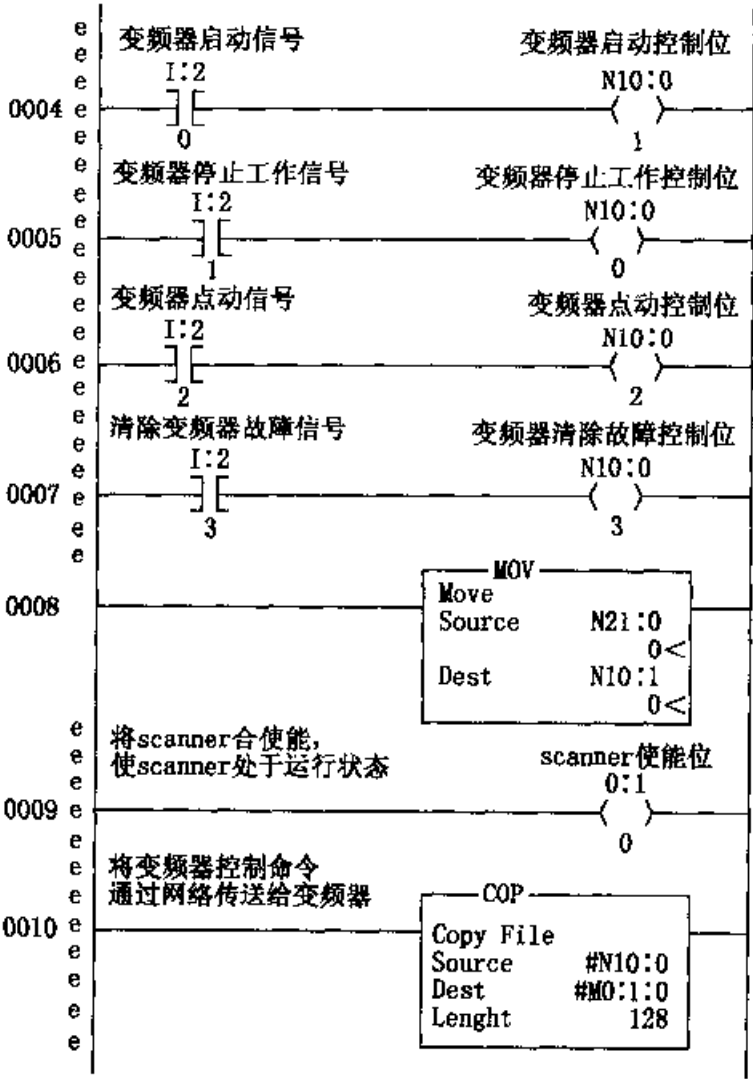


图 9-4-3 变频器的启动、停止控制程序

二、TE 变频器在烧结厂的应用

施耐德公司生产的 TE 变频器 ATV58 提供了 3 种通讯功能：集成在本机上的通讯接口，即操作面板上提供了一个 RS-486 连接的简化的 MODBUS 协议接口；

通过附加通讯卡实现最高传输速率达 1Mb/s 的通讯接口 (FIPIO 总线、MODBUS PLUS 网络、Interbus-S 总线、AS-I 总线、Profibus 现场总线); 通过附加通讯卡实现的低速通讯接口 (Uni-Telay、Modbus、RTU、Modubs ASCII)。

某烧结厂将变频器应用到烧结机、泥辊、配料圆盘等主要设备。烧结厂应用的 PLC 是施耐德公司的 Modicon Quatum 系列, Quatum 系列 PLC 提供了 MODBUS 和 MODBUS PLUS 通讯协议, 使烧结厂主要生产工序可以组成一个局域网, 实现总线控制。

(一) 通讯协议

1. MODBUS 协议

MODBUS 协议是一种主从式的异步半双工通讯协议, 可使主站对一个或多个智能型从站进行访问, 主站和从站之间允许多点连接, 主、从站之间可通过应答或广播方式对话。MODBUS 协议提供了 RTU (Remote Terminal Unit 远程终端单元) 和 ASCII 两种通讯模式, 物理接口是 RS-422/RS-485, 波特率为 (50 ~ 19200) b/s。

RTU 方式的格式:

地址	指令	数据	CRC 校验
----	----	----	--------

数据以字节传输, 包含 1 个起始位、8 个数据位、1 个奇/偶校验位 (或无校验位)、1 个停止位、CRC (循环冗余校验)。

ASCII 方式的格式:

头码	地址	指令	数据	LRC 校验	尾码
----	----	----	----	--------	----

数据以 ASCII 码传输, 包含 1 个起始位、7 个数据位、1 个奇/偶校验位 (或无校验位)、1 或 2 个停止位、LRC (纵向冗余校验)、头码 (;)、尾码 (CR、LF)。

2. MODBUS PLUS 协议

MODBUS PLUS 主要用于工业实时控制网络, 是一种异步半双工通讯的对等网络协议, 物理接口是 RS-485, 波特率 1Mb/s, 采用令牌总线访问协议。通讯介质采用屏蔽双绞线或光纤, 不使用其他附加设备, 最大支持 32 个节点, 双绞线最远传输距离 450m, 光纤 3km。如果采用中继站、桥等设备, 双绞线最远传输距离 1800m, 光纤 12km, 最大节点数 64 个。MODBUS PLUS 协议提供了 3 种连接: 主控计算机 (人机接口上位计算机)、现场控制器 (PLC 系统)、现场设备 (变频器等)。

(二) 实际应用

在实际应用中, 现场设备与控制器之间通过现场实时总线通讯, 上位计算机可以通过 RS-232 或现场总线与控制器之间通讯。烧结厂的变频器通过附加通讯卡与现场总线相连, 通过 MODBUS PLUS 网与 PLC 通讯, 上位计算机与控制器通过 RS-232 与 MODBUS 协议通讯。

MODBUS 指令的代码为 16 进制。

代码	说明	代码	说明
01	读线圈状态	05	强制一个线圈
02	读输入状态	06	预制一个寄存器
03	读 4X 寄存器	07	强制多个线圈
04	读 3X 寄存器	08	预制多个寄存器

在 PLC 与现场设备（变频器）之间，用户可通过 PEER CORP 或 MSTR 功能块进行控制。以 PEER CORP 为例，用户只需在 PLC 与变频器之间设定好地址映射关系即可。例如，一烧结厂 4 台 2 米 5 圆盘给料系统采用 TE 变频器调速，如图 9-4-4 所示。

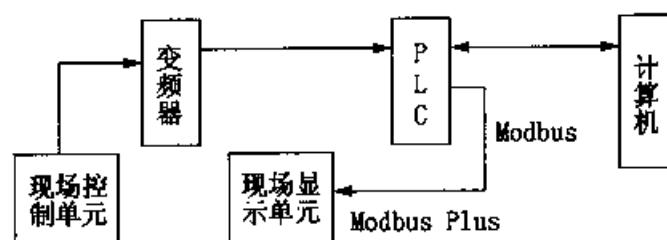


图 9-4-4 圆盘给料系统的变频调速方案

变频器通过 MODBUS PLUS 协议与 PLC 通讯，并通过输出模块输出给现场显示单元。计算机与 PLC 通过 MODBUS PLUS 协议进行通讯，用于监视控制现场设备的运行。

变频器的网络通讯功能有效解决了 0~5V 或 0~10V 电压信号输出干扰大的问题，为网络控制奠定了坚实的基础。

附录 1 西门子公司系列变频器技术规格

●6SE70 系列变频器、逆变器 (电网电压三相 AC 380~480V 和 DC 510~650V)

额定功率 (kW)	输出额定电流 I_{UN} (A)	基本负载电流 I_G (A)	短时电流 I_{max} (A)	中间回路额定电流 (A)	电源电流 (A, 仅用于变频器)	变频器型号	逆变器型号	2.5kHz 时的损耗功率 (kW)	
								变频器	逆变器
2.2	6.1	5.6	8.3	7.3	6.7	6SE7016-1EA61	6SE7016-1TA61	0.11	0.09
3	8	7.3	10.9	9.5	8.8	6SE7018-0EA61	6SE7018-0TA61	0.12	0.10
4	10.2	9.3	13.9	12.1	11.2	6SE7021-0EA61	6SE7021-0TA61	0.16	0.12
5.5	13.2	12	18.0	15.7	14.5	6SE7021-3EB61	6SE7021-3TB61	0.16	0.13
7.5	17.5	15.9	23.9	20.8	19.3	6SE7021-8EB61	6SE7021-8TB61	0.21	0.16
11	25.5	23.2	34.8	30.4	28.1	6SE7022-6EC61	6SE7022-6TC61	0.34	0.27
15	34	30.9	46.4	40.5	37.4	6SE7023-4EC61	6SE7023-4TC61	0.47	0.37
18.5	37.5	34.1	51.2	44.6	41.3	6SE7023-8ED61	6SE7023-8TD61	0.60	0.50
22	47	42.8	64.2	53.9	51.7	6SE7024-7ED61	6SE7024-7TD61	0.71	0.58
30	59	53.7	80.5	70.2	64.9	6SE7026-0ED61	6SE7026-0TD61	0.85	0.69
37	72	65.5	98.3	85.7	79.2	6SE7027-2ED61	6SE7027-2TD61	1.06	0.85
45	92	84	126	110	101	6SE7031-0EF60	6SE7031-0TE60	1.18	1.05
55	124	113	169	148	136	6SE7031-2EF60	6SE7031-2TF60	1.67	1.35
75	146	133	199	174	160	6SE7031-5EF60	6SE7031-5TF60	1.95	1.56
90	186	169	254	221	205	6SE7031-8EF60	6SE7031-8TF60	2.17	1.70
110	210	191	287	250	231	6SE7032-1EG60	6SE7032-1TG60	2.68	2.18
132	260	237	355	305	286	6SE7032-6EG60	6SE7032-6TG60	3.40	2.75
160	315	287	430	375	346	6SE7033-2EG60	6SE7033-2TG60	4.30	3.47
200	370	337	503	440	407	6SE7033-7EG60	6SE7033-7TG60	5.05	4.05
250	510	464	694	607			6SE7035-1TJ60		5.8
250	510	464	694	607	561	6SE7035-1EK60		7.1	
315	590	537	802	702			6SE7036-0TJ60		6.6
315	590	537	802	702	649	6SE7036-0EK60		8.2	

续表

额定功率 (kW)	输出 额定 电流 I_{UN} (A)	基本 负载 电流 I_C (A)	短时 电流 I_{max} (A)	中间 回路 额定 电流 (A)	电源电流 (A, 仅 用于变频 器)	变频器型号	逆变器型号	2.5kHz 时 的损耗功率 (kW)	
								变频器	逆变器
400	690	628	938	821			6SE7037-0TK60		8.8
500	860	782	1170	1023			6SE7038-6TK60		11.9
630	1100	1000	1496	1310			6SE7041-1TK60		13.4
701	1300	1183	1768	1551			6SE7041-3TL60 无平衡电抗器		14.5
900	1630	1483	2217	1940			6SE7041-6TQ60 有平衡电抗器		22.6
900	1630	1483	2217	1940			6SE7041-6YM60		23.6

注：短时电流在 $\leq 200\text{kW}$ 、过载时间 30s 时为 $1.6I_{UN}$ ；逆变器的中间回路不带熔断器且无“安全停车”功能。

●6SE70 系列整流单元 (电网电压三相 AC 380~480V)

额定功率 (kW)	直流母线 输出额定 电流 (A)	直流母线 基本负载 电流 (A)	直流母线 短时电流 (A)	输入 电流 (A)	逆变器直 流母线最 大额定电 流 (A)	整流单元型号	最大损耗 功率 (kW)
15	41	37	56	36	45	6SE7024-1EB85-0AA0	0.12
37	86	78	117	75	95	6SE7028-6EC85-0AA0	0.26
75	173	157	235	149	①	6SE7031-7EE85-0AA0	0.62
110	270	246	367	233	①	6SE7032-7EE85-0AA0	0.86
160	375	341	510	326	①	6SE7033-8FE85-0AA0	1.07
200	463	421	630	403	①	6SE7034-6EE85-0AA0	1.32
250	605	551	823	526	①	6SE7036-1EE85-0AA0	1.67
400	821	747	1117	710	①	6SE7038-2EH85-0AA0②	3.29
500	1023	931	1391	888	①	6SE7041-0EH85-0AA0②	3.70
630	1333	1213	1813	1156	①	6SE7041-3EK85-0AA0②	4.85
800	1780	1620	2421	1542	①	6SE7041-8EK85-0AA0②	6.24

注：①无限制，因为已通过晶闸管预充电。

②12 脉波工作时可带接口适配板 (6SE7090-0××85-1TA0)。

●6SE70 系列整流/回馈单元 (电网电压三相 AC 380~480V)

额定功率 (kW)	直流母线 输出额定 电流 (A)	直流母线 基本负载 电流 (A)	直流母线 短时电流 (A)	输入 电流 (A)	整流/回馈单元型号	最大损耗 功率 (kW)
7.5	21	19	29	18	6SE7022-1EC85-1AA0	0.15
15	41	37	56	35	6SE7024-1EC85-1AA0	0.20
37	86	78	117	74	6SE7028-6EC85-1AA0	0.31
75	173	157	235	149	6SE7031-7EE85-1AA0	0.69
90	222	202	302	192	6SE7032-2EE85-1AA0	0.97
132	310	282	422	269	6SE7033-1EE85-1AA0	1.07
160	375	341	510	326	6SE7033-8EE85-1AA0	1.16
200	463	421	630	403	6SE7034-6EE85-1AA0	1.43
250	605	551	823	526	6SE7036-1EE85-1AA0	1.77
400	821	747	1117	710	6SE7038-2EH85-1AA0	3.29
500	1023	931	1391	888	6SE7041-0EH85-1AA0	3.70
630	1333	1213	1813	1156	6SE7041-3EK85-1AA0	4.85
800	1780	1620	2421	1542	6SE7041-8EK85-1AA0	6.24

注: 12 脉波工作时可带接口适配板 (6SE7090-0××85-1TA0)。

●MM410 变频器的技术规格

项目	技术规格
电源电压和功率范围 (带有平板式散热器)	单相交流 220~240 (1±10%) V, 0.12~0.75kW 单相交流 100~120 (1±10%) V, 0.12~0.55kW 单相交流 200~240 (1±10%) V, 0.37~0.75kW
输入频率	47~63Hz
输出频率	0~650Hz
功率因数	0.98
变频器效率	96%~97%
过载能力	过载额定电流的 150%, 持续时间 60s; 可后续额定电流的 85%, 持续时间 240s, 周期时间 5min
合闸冲击电流	小于额定输入电流
控制方式	线性 U/f 控制, 平方 U/f 控制, 多点设定 U/f 控制 (可编程的 U/f 控制特性)

续表

项目	技术规格
脉冲调制频率	8kHz (标准设置), 2~16kHz (每级调整 2kHz)
固定频率	3 个, 可编程
跳转频带	1 个, 可编程
设定值的分辨率	10 位二进制数的模拟输入, 0.01Hz 串行通讯输入
数字输入	3 个可自由编程的数字输入, 不带隔离, PNP 型接线, 可与 SIMATIC 兼容
模拟输入	1 个 (0~10V), 可标定或作为第 4 个数字输入使用
继电器输出	1 个, 可编程, DC 30V/5A (电阻负载), AC250V/2A (感性负载)
串行接口	RS-485, 按 USS 协议操作
电动机电缆的长度	最大 30m (屏蔽电缆), 最大 50m (非带屏蔽电缆)
电磁兼容性	变频器带 EMC 滤波器时符合 EN61800-3 标准 (EN55011B 级标准的限定值) 的要求
制动	直流注入制动, 复合制动
散热器散发功率的典型值 (带有平板式散热器, 满负载和规定的最大运行温度下)	20W (0.37kW 的变频器) 37W (0.75kW 的变频器)
电源侧和电子控制装置的损耗 (230V, 50Hz, 脉冲调制频率 8Hz)	18W (0.37kW 的变频器) 34W (0.75kW 的变频器)
散热器的热阻推荐值	1.8kΩ/W (0.37kW 的变频器) 1.2kΩ/W (0.75kW 的变频器)
防护等级	IP20
工作温度	-10~+50℃
存放温度	-40~+70℃
相对湿度	<95%RH, 无结露
海拔高度	海拔 1000m 以下使用时不需要降低额定值运行
保护功能	欠电压, 过电压, 过负载, 接地, 短路, 电机失步, 电动机 I^2t 过温, 变频器过温
标准 (带有平板式散热器)	UL, cUL, CE, C-tick CE, C-tick

续表

项目	技术规格		
CE 标记	符合 EC 低电压规范 73/23/EEC 的要求, 带有滤波器时符合电磁兼容性规范 89/336/EEC 的要求		
外形尺寸和重量 (不包含选件) (带有平板式散热器)	外部尺寸	$W \times H \times D$ (mm)	重量 (kg)
	AA	150×69×118	0.8
	AB	150×69×138	1.0
	MM410:		
	AA	175×69×102	0.78
AB	175×69×102	0.8	

●MM420 变频器的技术规格

项目	技术规格
电源电压和功率范围	单相交流 220~240 (1±10%) V, 0.12~3kW 三相交流 220~240 (1±10%) V, 0.12~5.5kW 三相交流 380~480 (1±10%) V, 0.37~11kW
输入频率	47~63Hz
输出频率	0~650Hz
功率因数	0.98
变频器效率	96%~97%
过载能力	1.5 倍额定输出电流, 60s (重复周期每 300s 一次)
合闸冲击电流	小于额定输入电流
控制方式	线性 U/f , 平方 U/f , 多点 U/f 特性 (可编程的 U/f), 磁通电流控制 (FCC)
PWM 频率	16kHz (230V, 单相/三相交流变频器的标准配置) 4kHz (400V, 三相交流变频器的标准配置) 2~16kHz (每级调整 2kHz)
固定频率	7 个, 可编程
跳转频带	4 个, 可编程
频率设定值的分辨率	0.01Hz, 数字设定; 0.01Hz, 串行通讯设定; 10 位二进制数的模拟设定
数字输入	3 个完全可编程的带隔离的数字输入; 可切换为 PNP/NPN
模拟输入	1 个, 用于设定值输入或 PI 控制器输入 (0~10V), 可标定, 也可以作为第 4 个数字输入使用

续表

项目	技术规格												
继电器输出	1个, 可组态为 DC 30V/5A (电阻负载) 或 AC250V/2A (感性负载)												
模拟输出	1个, 可编程 (0~20mA)												
串行接口	RS-485、RS-232 可选												
电动机电缆的长度	不带输出电抗器时, 最大 50m(带屏蔽)或 100m(不带屏蔽) 带输出电抗器时, 最大 200m(带屏蔽)或 300m(不带屏蔽)												
电磁兼容性	变频器可带有内置 A 级 EMC 滤波器; 作为选件, 可带有 EMC 滤波器, 使之符合 EN55011A 级或 B 级标准的要求												
制动	直流制动, 复合制动												
防护等级	IP20												
工作温度	-10~+50℃												
存放温度	-40~+70℃												
相对湿度	95%RH, 无结露												
海拔高度	海拔 1000m 以下使用时, 不需降低额定参数												
保护功能	欠电压, 过电压, 过负载, 接地, 短路, 防止电机失速, 闭锁电动机, 电动机过温, 变频器过温, 参数 PIN 编号保护												
标准	UL, cUL, C-tick												
CE 标记	通过 EC 低电压规范 73/23/EEC 和电磁兼容性规范 89/336/EEC 的确认												
外形尺寸和重量 (不包含选件)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>箱体外部尺寸</th> <th>W×H×D (mm)</th> <th>重量 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>73×173×149</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>149×202×172</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>185×245×195</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table>	箱体外部尺寸	W×H×D (mm)	重量 (kg)	A	73×173×149	1.0	B	149×202×172	3.3	C	185×245×195	5.0
箱体外部尺寸	W×H×D (mm)	重量 (kg)											
A	73×173×149	1.0											
B	149×202×172	3.3											
C	185×245×195	5.0											

●MM430 变频器的技术规格

项目	技术规格
电源电压和功率范围	三相交流 380~480 (1±10%) V, 7.5~90.0kW (变转矩) 三相交流 380~480 (1±10%) V, 110~250kW (变转矩)
输入频率	47~63Hz

续表

项目	技术规格
输出频率	0~650Hz
功率因数	0.98
变频器效率	96%~97%
过载能力 (110~250kW), 变转矩	1.4 倍的额定输出电流 (即允许过载 140%), 持续时间 3s, 重复周期时间 300s; 1.1 倍额定输出电流, 持续时间 60s, 重复周期时间 300s 1.5 倍额定输出电流, 持续时间 1s, 重复周期时间 300s; 1.1 倍额定输出电流, 持续时间 59s, 重复周期时间 300s
合闸冲击电流	小于额定输入电流
控制方式	线性 U/f 控制, 平方 U/f 控制, 多点设定 U/f 控制 (可编程的 U/f 控制特性), 磁通电流控制 (FCC), 节能控制方式
脉冲调制频率	4kHz (标准设置), 2~16kHz (每级调整 2kHz)
固定频率	15 个, 可编程
跳转频带	4 个, 可编程
设定值的分辨率	0.01Hz 数字输入, 0.01Hz 串行通讯输入, 10 位二进制数的模拟输入
数字输入	6 个可自由编程的数字输入, 带电位隔离, 可切换为 PNP/NPN 型接线
模拟输入	2 个, 可编程 0~10V, 0~20mA, -10~+10V (AIN1) 0~10V, 0~20mA (AIN2) 两个模拟输入可作为第 7 和第 8 个数字输入
继电器输出	3 个, 可编程, DC 30V/5A (电阻负载), AC 250V/2A (感性负载)
模拟输出	2 个, 可编程 (0.4~20mA)
串行接口	RS-485, 可选 RS-232
电动机电缆的长度	不带输出电抗器时, 最大 50m(带屏蔽)或 100m(不带屏蔽) 带输出电抗器时, 最大 200m(带屏蔽)或 300m(不带屏蔽)
电磁兼容性	作为选件的 B 级 EMC 滤波器符合 EN55011B 级标准 (适用于外形尺寸为 C 的变频器), 变频器可以带有各种内置的 A 级 EMC 滤波器

续表

项目	技术规格		
制动	直流注入制动, 复合制动		
防护等级	IP20		
工作温度	-10~+40℃		
存放温度	-40~+70℃		
相对湿度	<95%RH, 无结露		
海拔高度	海拔 1000m 以下不需要降低额定值运行		
保护功能	欠电压, 过电压, 过负载, 接地, 短路, 防止电机失步, 电动机闭锁, 电动机过温, 变频器过温, 参数 PIN 编号保护		
标准	UL, cUL, CE, C-tick		
CE 标记	符合 EC 低电压规范 73/23/EEC 的要求, 变频器带有滤波器时, 也符合电磁兼容性规范 89/336/EEC 的要求		
外形尺寸和重量 (不包含选件)	外部尺寸	W×H×D(mm)	重量(kg)
	C	245×185×195	5.7
	D	520×275×245	17
	E	650×275×245	22
	F (不带滤波器)	850×350×320	56
	F (带滤波器)	1150×350×320	75
	FX 6SE6430-2UD41-1FA0	1400×326×356	110
	FX 6SE6430-2UD41-3FA0	1400×326×356	116
	GX 6SE6430-2UD41-6GA0	1533×326×545	170
	GX 6SE6430-2UD42-0GA0	1533×326×545	174
GX 6SE6430-2UD42-5GA0	1533×326×545	176	

●MM440 变频器的技术规格

项目	技术规格	
	CT(恒转矩)	VT(变转矩)
电源电压和功率范围	单相 200~240(1±10%)V, 0.12~3kW	—
	三相 200~240(1±10%)V, 0.12~45kW	5.5~45kW
	三相 380~480(1±10%)V, 0.37~200kW	7.5~250kW
	三相 500~600(1±10%)V, 0.75~75kW	1.5~90kW
输入频率	47~63Hz	

续表

项目	技术规格
输出频率	0~650Hz (在 U/f 方式下)
功率因数	0.98
变频器效率	96%~97%
过载能力 (恒转矩) 0.12~75kW 90~200kW (变转矩) 5.5~90kW 110~250kW	1.5 倍额定输出电流, 持续时间 60s, 间隔周期时间 300s; 2.0 倍额定输出电流, 持续时间 3s, 间隔周期时间 300s 1.36 倍额定输出电流, 持续时间 57s, 间隔周期时间 300s; 1.60 倍额定输出电流, 持续时间 3s, 间隔周期时间 300s 1.4 倍额定输出电流, 持续时间 3s, 间隔周期时间 300s; 1.1 倍额定输出电流, 持续时间 60s, 间隔周期时间 300s 1.5 倍额定输出电流, 持续时间 1s, 间隔周期时间 300s; 1.1 倍额定输出电流, 持续时间 59s, 间隔周期时间 300s
合闸冲击电流	小于额定输入电流
控制方式	矢量控制, 转矩控制、线性 U/f 控制特性, 平方 U/f 控制特性 (可编程 U/f 控制, 磁通电流控制 (FCC))
脉冲宽度调制 (PWM) 频率 0.12~75kW 90~200kW	4kHz (标准配置); 16kHz (230V, 0.12~5.5kW 变频器的标准配置) 2~16kHz (每级调整 2kHz) 2kHz (VT 运行方式下的标准配置); 4kHz (CT 运行方式下的标准配置) 2~8kHz (每级调整 2kHz)
固定频率	15 个, 可编程
跳转频率	4 个, 可编程
设定值的分辨率	0.01Hz 数字输入, 0.01Hz 串行通讯输入, 10 位二进制数的模拟输入
数字输入	6 个, 可编程 (带电位隔离), 可切换为高电平/低电平有效 (PNP/NPN 线路)
模拟输入	2 个可编程的模拟输入 0~10V, 0~20mA 和 -10~+10V (AIN1) 0~10V, 0~20mA (AIN2) 两个模拟输入可以作为第 7 和第 8 个数字输入使用

续表

项目	技术规格
继电器输出	3个, 可编程 DC 30V/5A (电阻负载), AC 250V/2A (感性负载)
模拟输出	2个, 可编程 (0~20mA)
串行接口	RS 485, 可选 RS-232
电动机电缆的长度 (0.12~250kW) (90~250kW)	不带输出电抗器时, 最长 50m(带屏蔽)或 100m(不带屏蔽) 带输出电抗器时, 最长 200m(带屏蔽)或 300m(不带屏蔽) 不带输出电抗器时, 最长 100m(带屏蔽)或 150m(不带屏蔽) 带有输出电抗器时, 正在准备中
电磁兼容性	可选用 EMC 滤波器符合 EN55011, A 级或 B 级标准的要求 (外形尺寸 A、B、C), 也可采用带有内置 A 级滤波器的变频器 (外形尺寸 A、B、C、D、E、F)
制动	带直流注入制动的电阻制动, 符合制动、集成的制动斩波器 (仅限功率为 0.12~75kW 的变频器)
防护等级	IP20
工作温度范围 0.12~75kW (不降额) 90~200kW	-10~+50°C (CT) -10~+40°C (VT) 0~+40°C
存放温度	-40~+70°C
相对湿度	<95%RH, 无结露
海拔高度 0.12~75kW 90~200kW	海拔 1000m 以下不需要降低额定值运行 海拔 2000m 以下不需要降低额定值运行
保护功能	欠电压, 过电压, 过负载, 接地, 短路, 电机失步保护, 电动机锁定, 电动机过温, 变频器过温, 参数 PIN 保护
标准	UL, cUL, CE, C tick
CE 标记	符合 EC 低电压规范 72/73/EEC 的要求, 带有滤波器的变频器符合电磁兼容性规范 89/336/EEC 的要求

续表

项目	技术规格		
外形尺寸和重量 (不包含选件)	外形尺寸 (FS)	$W \times H \times D(\text{mm})$	重量(kg)
	A	173×73×149	1.3
	B	202×149×172	3.4
	C	245×185×195	5.7
	D	520×275×245	17
	E	650×275×245	22
	F (不带滤波器)	850×350×320	56
	F (带有滤波器)	1150×350×320	75
	F×6SE66440-2UD38-8FA1	1400×326×356	110
	F×6SE66440-2UD41-1FA1	1400×326×356	116
	G×6SE66440-2UD41-3GA1	1533×326×545	170
	G×6SE66440-2UD41-6GA1	1533×326×545	174
	G×6SE66440-2UD42-0GA1	1533×326×545	176

附录 2 富士 FRENIC5000-G9S、P9S 系列变频器技术规格

●200V 系列

适配电动机功率 (kW)		30	37	45	55	75	90	110
G9S 系列	型号	FRN30 G9S-2JE	FRN37 G9S-2JE	FRN45 G9S-2JE	FRN55- G9S-2JE	FRN75 G9S-2JE	FRN90 G9S-2JE	—
	额定容量 (kVA)	44	55	69	82	108	132	—
	额定输出电流 (A)	115	145	180	215	283	346	—
	过载容量	150%额定电流, 1min; 180%额定电流, 0.5s						
	启动转矩	150% (转矩矢量控制)						
	重量 (kg)	31	40	53	56	75	140	
P9S 系列	型号	FRN30 P9S-2JE	FRN37 P9S-2JE	FRN45 P9S-2JE	FRN55 P9S-2JE	FRN75 P9S-2JE	FRN90 P9S-2JE	FRN110 P9S-2JE
	额定容量 (kVA)	44	55	69	82	108	132	158
	额定输出电流 (A)	115	145	180	215	283	346	415
	过载容量	120%额定电流, 1min						
	启动转矩	50% (转矩矢量控制)						
	重量 (kg)	31	31	41	53	75	140	140
输出 额定值	电压、频率	三相, 200V/50Hz, 200、220、230V/60Hz						
	U/f 特性	基本频率时 160~240V (有 AVR 控制)、可调整						
输入 额定值	电压、频率	三相, 200~210V/50Hz, 210~230V/50Hz, 200~230V/60Hz						
	允许波动	电压: +10%~15%, 三相电源不平衡度 $\leq 3\%$ 频率: +5%~-5%						

●400V 系列

适配电动机功率(kW)	30	37	45	55	75	90	110	132	160	200	220	280
型号	FRN30 G9S-4JE	FRN37 G9S-4JE	FRN45 G9S-4JE	FRN55 G9S-4JE	FRN75 G9S-4JE	FRN90 G9S-4JE	FRN110 G9S-4JE	FRN132 G9S-4JE	FRN160 G9S-4JE	FRN200 G9S-4JE	FRN220 G9S-4JE	—
额定容量(kVA)	46	57	69	85	114	134	160	193	232	287	316	—
额定输出电流(A)	60	75	91	112	150	176	210	253	304	377	415	—
过载容量	150%额定电流;1min,180%额定电流,0.5s											
启动转矩	150%(转矩矢量控制)											
重量(kg)	33	34	40	43	56	85	85	115	120	172	172	—
型号	FRN30 P9S-4JE	FRN37 P9S-4JE	FRN45 P9S-4JE	FRN55 P9S-4JE	FRN75 P9S-4JE	FRN90 P9S-4JE	FRN110 P9S-4JE	FRN132 P9S-4JE	FRN160 P9S-4JE	FRN200 P9S-4JE	FRN220 P9S-4JE	FRN280 P9S-4JE
额定容量(kVA)	46	57	69	85	114	134	160	193	232	287	316	400
额定输出电流(A)	60	75	91	112	150	176	210	253	304	377	415	520
过载容量	120%额定电流,1min											
启动转矩	50%(转矩矢量控制)											
重量(kg)	33	33	34	40	43	56	85	85	115	120	172	172
电压、频率	三相,380,400V/50Hz,380,400,440,460V/60Hz											
U/f 特性	基本频率时 320~480V(有 AVR 控制),可调整											
电压、频率	三相,380,400~420V/50Hz,380~420V,440~460V/60Hz											
允许波动	电压: +10%~15%, 三相电源不平衡度 \leq 3% 频率: +5%~-5%											

附录3 三星 Vsamco-Vm05 变频器技术规格

●400V 级 SHF 系列 (1.5~15kW)

型号		SHF-1.5k	SHF-2.2k	SHF-4.0k	SHF-5.5k	SHF-7.5k	SHF-11k	SHF-15k
标准适用电机 (kW)		1.5	2.2	4.0	5.5	7.5	11	15
输出	额定容量 (kVA)	2.8	4.2	6.2	8.7	11.8	17.3	22.2
	额定电流 (A)	4	6	9	12.6	17	25	32
	额定过载电流	150%, 60s						
	额定输出电压	三相, 380V/50Hz, 400V/50Hz, 460V/60Hz						
输入	额定电压、频率	三相 380~460V, 50/60Hz						
	变动容许值	电压-15%~+10%, 频率±5%, 电压不平衡率3%以内						
	电源阻抗	1%以上 (未满1%时, 使用选购电抗器)						
保护结构		封闭型 (IP20)						
冷却方式		强制风冷						
重量 (kg)		4	4.5	6.5	7	10		
控制功能	控制方式		U/f 控制或无速度传感器控制					
	高频载波频率		正弦波 PWM (载波频率 1~14kHz)					
	输出频率		0.05~600Hz (启动频率 0.05~20Hz 可变)					
	频率设定	数字设定	0.01Hz (0.05~600Hz)					
		模拟设定	0.1%(10bit, 0~10V, 4~20mA); 0.2%(9bit, 0~5V), 对于最大输出频率					
	频率精度	数字设定	输出频率的±0.01% (-10~40℃)					
		模拟设定	最大输出频率的±0.2% (25±10)℃					
	直流制动		开始频率 (0.2~20Hz), 动作时间 (0.1~10s), 制动力 (1~10 步进)					
附属功能		瞬停再启动、转速跟踪启动、多挡速运转、频率跳跃、报警自动恢复、PID 控制、图形运转、节能运转、转矩限制 (仅限无速度传感器控制模式时)						
运转功能	运转/停止设定		操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、控制回路端子					
	频率指令设定	数字设定	操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、端子台步进					
		模拟设定	2ch, 0~5V, 0~10V, 4~20mA、电位器 (5kΩ, 0.3W 以上)					
	输入信号		频率指令、正转指令、反转指令、加速/减速时间设定、空转停止/警报解除、紧急停止、JOG 选择、步进频率设定、运转信号保持、转矩限制 (仅限无速度传感器控制)、数字输入 (8ch 可任意设定分配)、模拟输入 (电压 1ch、电流、电压兼用 1ch)					
	输出信号	接点输出	报警总括以及多功能接点输出 (IC 接点, AC 250V、0.3A)					
		状态信号输出	运转中、频率一致、过载预报、欠压、频率到达 (集电极开路输出 3ch 可任意设定分配、模拟输出 2ch)					
		LED 显示	频率、输出电流、同步转速、负载率、输出电压、压力、线速度 (无单位)、运转中、报警					

续表

型号	SHF-1.5k	SHF-2.2k	SIIF 4.0k	SIIF-5.5k	SHF-7.5k	SHF-11k	SHF-15k
串行通信 I/F	RS-485, RS-232C						
功能扩张	通过 RS-232C 的串行通讯口进行软件版本升级 (专用型变频器)						
外部电源输出	DC 24V、150mA (控制端子台)						
保护功能	电流限制、过电流切断、电机过负载、外部热敏器、欠压、过电压、瞬时停电、散热片过热、输入/输出缺相保护						
警告功能	过电压防止中、加减速中电流限制动作、制动电阻过热警告、过载警告、散热片过热警告						
环境	周围温度	-10~+50℃ (+40℃以上时, 拆掉上部通风盖)					
	保存温度	-20~+65℃					
	周围湿度	90%RH 以下, 无水珠凝结现象					
	使用环境	海拔 1000m 以下, 屋内 (避免阳光直射, 无腐蚀性气体, 无易燃性气体, 无油雾及尘埃)					

●400V 级 SHF 系列 (18.5~55kW)

型号	SHF-18.5k	SHF-22k	SHF-30k	SHF-37k	SHF-45k	SHF-55k	
标准适用电机 (kW)	18.5	22	30	37	45	55	
输出	额定容量 (kVA)	26.3	31.9	42.3	51.3	62.4	76.2
	额定电流 (A)	38	46	61	74	90	110
	额定过载电流	150%, 60s					
	额定输出电压	三相, 380V/50Hz, 400V/50Hz, 460V/60Hz					
输入	额定电压、频率	三相, 380~460V, 50/60Hz					
	变动容许值	电压 -15%~+10%, 频率 ±5%, 电压不平衡率 3% 以内					
	电源阻抗	1% 以上 (未满 1% 时, 使用选购电抗器)					
保护结构	封闭型 (IP20)						
冷却方式	强制风冷						
重量 (kg)	12	15	20	25	32	33	

续表

型号		SHF 18.5k	SHF-22k	SHF-30k	SHF-37k	SHF-45k	SHF-55k	
控制功能	控制方式	U/f 控制或无速度传感器控制						
	高频载波频率	正弦波 PWM (载波频率 1~14kHz)						
	输出频率范围	0.05~600Hz (启动频率 0.05~20Hz 可变)						
	频率设定 分辨率	数字设定	0.01Hz (0.05~600Hz)					
		模拟设定	0.1%(10bit, 0~10V, 4~20mA); 0.2%(9bit, 0~5V), 对于最大输出频率					
	频率精度	数字设定	输出频率的 $\pm 0.01\%$ ($-10\sim 40^{\circ}\text{C}$)					
		模拟设定	最大输出频率的 $\pm 0.2\%$ ($25\pm 10^{\circ}\text{C}$)					
	直流制动	开始频率(0.2~20Hz), 动作时间(0.1~10s), 制动力(1~10 步进)						
附属功能	瞬停再启动、转速跟踪启动、多挡速运转、频率跳跃、报警自动恢复、PID 控制、图形运转、节能运转、转矩限制(仅限无速度传感器控制模式时)							
运转功能	运转/停止设定	操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、控制回路端子						
	频率 指令设定	数字设定	操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、端子台步进					
		模拟设定	2ch, 0~5V, 0~10V, 4~20mA、电位器 (5k Ω 、0.3W 以上)					
	输入信号	频率指令、正转指令、反转指令、加速/减速时间设定、空转停止/警报解除、紧急停止、JOG 选择、步进频率设定、运转信号保持、转矩限制(仅限无速度传感器控制)、数字输入 (8ch 可任意设定分配)、模拟输入 (电压 1ch、电流、电压兼用 1ch)						
	输出信号	接点输出	报警总括以及多功能接点输出 (IC 接点、AC 250V、0.3A)					
		状态信号输出	运转中、频率一致、过载预报、欠压、频率到达 (集电极开路输出 3ch 可任意设定分配、模拟输出 2ch)					
	LED 显示	频率、输出电流、同步转速、负载率、输出电压、压力、线速度(无单位)、运转中、报警						
串行通信 I/F	RS-485, RS-232C							
功能扩张	通过 RS-232C 的串行通讯口进行软件版本升级 (专用型变频器)							
外部电源输出	DC 24V, 150mA (控制端子台)							
保护功能	电流限制、过电流切断、电机过负载、外部热敏器、欠压、过电压、瞬时停电、散热片过热、输入/输出缺相保护							
警告功能	过电压防止中、加减速中电流限制动作、制动电阻过热警告、过载警告、散热片过热警告							
环境	周围温度	$-10\sim +50^{\circ}\text{C}$ ($+40^{\circ}\text{C}$ 以上时, 拆掉上部通风盖)						
	保存温度	$-20\sim +65^{\circ}\text{C}$						
	周围湿度	90%RH 以下, 无水珠凝结现象						
	使用环境	海拔 1000m 以下, 屋内 (避免阳光直射, 无腐蚀性气体, 无易燃性气体, 无油雾及尘埃)						

●400V级 SPF系列 (2.2~18.5kW)

型号		SPF-2.2k	SPF-4.0k	SPF-5.5k	SPF-7.5k	SPF-11k	SPF-15k	SPF-18.5k
标准适用电机 (kW)		2.2	4.0	5.5	7.5	11	15	18.5
输出	额定容量 (kVA)	3.8	6.2	8.7	11.4	16.6	22.2	22.2
	额定电流 (A)	5.5	8.9	12.6	16.4	24	32	38
	额定过载电流	120%, 60s						
	额定输出电压	三相, 380V/50Hz, 400V/50Hz, 460V/60Hz						
输入	额定电压、频率	三相, 380~460V, 50/60Hz						
	变动容许值	电压-15%~+10%, 频率-5%, 电压不平衡率3%以内						
	电源阻抗	1%以上 (未满1%时, 使用选购电抗器)						
保护结构		封闭型 (IP20)						
冷却方式		强制风冷						
重量 (kg)		4	4.5	6.5	7	10		
控制功能	控制方式		U/f控制或无速度传感器控制					
	高频载波频率		正弦波 PWM (载波频率 1~14kHz)					
	输出频率范围		0.05~200Hz (启动频率 0.05~20Hz 可变)					
	频率设定	数字设定	0.01Hz (0.05~200Hz)					
		模拟设定	0.1% (10bit, 0~10V, 4~20mA); 0.2% (9bit, 0~5V), 对于最大输出频率					
	频率精度	数字设定	输出频率的±0.01% (-10~40℃)					
		模拟设定	最大输出频率的±0.2% (25±10)℃					
	直流制动		开始频率 (0.2~20Hz), 动作时间 (0.1~10s), 制动力 (1~10 步进)					
	附属功能		瞬停再启动、转速跟踪启动、多挡速运转、频率跳跃、报警自动恢复、PID控制、图形运转、节能运转、转矩限制 (仅限无速度传感器控制模式时)					
运转功能	运转/停止设定		操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、控制回路端子					
	指令设定	频率	操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、端子台步进					
		模拟设定	2ch, 0~5V, 0~10V, 4~20mA、电位器 (5kΩ, 0.3W 以上)					
	输入信号		频率指令、正转指令、反转指令、加速/减速时间设定、空转停止/警报解除、紧急停止、JOG选择、步进频率设定、运转信号保持、转矩限制 (仅限无速度传感器控制)、数字输入 (8ch 可任意设定分配)、模拟输入 (电压 1ch, 电流、电压兼用 1ch)					
	输出信号	接点输出	报警总括以及多功能接点输出 (IC 接点, AC 250V, 0.3A)					
		状态信号输出	运转中、频率一致、过载预报、欠压、频率到达 (集电极开路输出 3ch 可任意设定分配、模拟输出 2ch)					
	LED 显示		频率、输出电流、同步转速、负载率、输出电压、压力、线速度 (无单位)、运转中、报警					

续表

型号	SPF 2.2k	SPF-4.0k	SPF-5.5k	SPF-7.5k	SPF-11k	SPF-15k	SPF-18.5k
串行通信 I/F	RS-485, RS-232C						
功能扩张	通过 RS-232C 的串行通讯口进行软件版本升级 (专用型变频器)						
外部电源输出	DC 24V、150mA (控制端子台)						
保护功能	电流限制、过电流切断、电机过负载、外部热敏器、欠压、过电压、瞬时停电、散热片过热、输入/输出缺相保护						
警告功能	过电压防止中、加减速中电流限制动作、制动电阻过热警告、过载警告、散热片过热警告						
环境	周围温度	-10~+40℃ (SPF-5.5k 以下、+30℃ 以上时, 拆掉上部通风盖)					
	保存温度	-20~+65℃					
	周围湿度	90%RH 以下, 无水珠凝结现象					
	使用环境	海拔 1000m 以下, 屋内 (避免阳光直射, 无腐蚀性气体, 无易燃性气体, 无油雾及尘埃)					

●400V 级 SPF 系列 (22~75kW)

型号	SPF-22k	SPF-30k	SPF-37k	SPF-45k	SPF-55k	SPF-75k	
标准适用电机 (kW)	22	30	37	45	55	75	
输出	额定容量 (kVA)	31.2	40.9	51.3	62.4	76.2	98.4
	额定电流 (A)	45	59	74	90	110	142
	额定过载电流	120%, 60s					
	额定输出电压	三相, 380V/50Hz, 400V/50Hz, 460V/60Hz					
输入	额定电压、频率	三相, 380~460V, 50/60Hz					
	变动容许值	电压 -15%~+10%, 频率 ±5%, 电压不平衡率 3% 以内					
	电源阻抗	1% 以上 (未满 1% 时, 使用选购电抗器)					
保护结构	封闭型 (IP20)						
冷却方式	强制风冷						
重量 (kg)	12	15	20	25	32	33	

续表

型号		SPF-22k	SPF 30k	SPF-37k	SPF-45k	SPF-55k	SPF-75k
控制功能	控制方式	U/f 控制或无速度传感器控制					
	高频载波频率	正弦波 PWM (载波频率 1~14kHz)					
	输出频率范围	0.05~200Hz (启动频率 0.05~20Hz 可变)					
	频率设定	数字设定	0.01Hz (0.05~200Hz)				
	分辨率	模拟设定	0.1%(10bit, 0~10V, 4~20mA); 0.2%(9bit, 0~5V), 对于最大输出频率				
	频率精度	数字设定	输出频率的 $\pm 0.01\%$ ($-10\sim 40^{\circ}\text{C}$)				
		模拟设定	最大输出频率的 $\pm 0.2\%$ ($25\pm 10^{\circ}\text{C}$)				
直流制动	开始频率(0.2~20Hz), 动作时间(0.1~10s), 制动力(1~10 步进)						
附属功能	瞬停再启动、转速跟踪启动、多挡速运转、频率跳跃、报警自动恢复、PID 控制、图形运转、节能运转、转矩限制(仅限无速度传感器控制模式时)						
运转功能	运转/停止设定	操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、控制回路端子					
	频率指令设定	数字设定	操作面板、串行通讯 (RS-485, RS-232C)、端子台步进				
		模拟设定	2ch, 0~5V, 0~10V, 4~20mA, 电位器 (5k Ω , 0.3W 以上)				
	输入信号	频率指令、正转指令、反转指令、加速/减速时间设定、空转停止/警报解除、紧急停止、JOG 选择、步进频率设定、运转信号保持、转矩限制(仅限无速度传感器控制)、数字输入 (8ch 可任意设定分配)、模拟输入 (电压 1ch、电流、电压兼用 1ch)					
	输出信号	接点输出	报警总括以及多功能接点输出 (IC 接点、AC 250V, 0.3A)				
		状态信号输出	运转中、频率一致、过载预报、欠压、频率到达 (集电极开路输出 3ch 可任意设定分配、模拟输出 2ch)				
	LED 显示	频率、输出电流、同步转速、负载率、输出电压、压力、线速度(无单位)、运转中、报警					
串行通信 I/F	RS-485, RS-232C						
功能扩张	通过 RS-232C 的串行通讯口进行软件版本升级 (专用型变频器)						
外部电源输出	DC 24V, 150mA (控制端子台)						
保护功能	电流限制、过电流切断、电机过负载、外部热敏器、欠压、过电压、瞬时停电、散热片过热、输入/输出缺相保护						
警告功能	过电压防止中、加减速中电流限制动作、制动电阻过热警告、过载警告、散热片过热警告						
环境	周围温度	$-10\sim +40^{\circ}\text{C}$ (SPF-5.5k 以下、 $+30^{\circ}\text{C}$ 以上时, 拆掉上部通风盖)					
	保存温度	$-20\sim +65^{\circ}\text{C}$					
	周围湿度	90%RH 以下, 无水珠凝结现象					
	使用环境	海拔 1000m 以下, 屋内 (避免阳光直射, 无腐蚀性气体, 无易燃性气体, 无油雾及尘埃)					

附录4 安川 CIMR-G5A 变频器技术规格

●200V 系列

CIMR-G5A 口		20P4	20P7	21P5	22P2	22P7	25P5	27P5	2011	2015	2018	2022	2030	2037	2045	2055	2075
最大可用的电动机输出 (kW)		0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75
输出特性	变频器容量(kVA)	1.2	2.3	3.0	4.2	6.7	9.5	13	19	24	30	37	50	61	70	85	110
	额定输出电流(A)	3.2	6	8	11	17.5	25	33	49	64	80	96	130	160	183	224	300
	最大输出电压	三相,200、208、220、230V(正比于输入电压)															
	额定输出频率	通过参数设定可获得,最大至400Hz															
电源	电压和频率	三相,200/208/220V,50Hz;200/208/220/230V,60Hz															
	允许电压波动	+10%, -15%															
	允许频率波动	±5%															
控制特性	控制方法	正弦波 PWM															
	启动转矩	150%/1Hz															
	速度控制范围	1:100(有 PG 为 1:1000)															
	速度控制精度	±0.2%(有 PG 为 ±0.02%)															
	速度响应	5Hz(有 PG 为 30Hz)															
	转矩限值	可得到(参数设定,4级可变)															
	转矩精度	±5%															
控制特性	转矩响应	20Hz(有 PG 为 40Hz)															
	频率控制范围	0.1~400Hz															
	频率精度 (温度范围)	数字指令:0.01%(-10~+40℃)															
		模拟指令:0.1%(25±10)℃															
	频率分辨率	数字指令:±0.01Hz(100Hz以下),0.1Hz(100Hz以上)															
		模拟指令:0.03Hz/60Hz(11位十符号位)															
	输出频率分辨率	0.001Hz															
	过载能力	150%额定输出电压,1min															
	频率设定信号	-10~10V,0~10V,4~20mA															
加速/减速时间	0.01~6000.0s(单独设定加速/减速时间,4种转换)																
制动力矩	约20%																

续表

CIMR-G5A 口		20P4	20P7	21P5	22P2	23P7	25P5	27P5	2011	2015	2018	2022	2030	2037	2045	2055	2075
保护功能	电动机保护	由电子热过载继电器保护															
	瞬时过流	额定输出电流 200%以上															
	熔断器熔断保护	熔断器熔断使电动机停止															
	过载	额定输出电流 150%, 1min															
	过电压	主电路直流电压 410V 以上使电动机停止															
	欠电压	主电路直流电压 190V 以下使电动机停止															
	瞬时掉电补偿	瞬时掉电 15ms 以上时停止(出厂设定);根据运转方式选择,掉电短于 2s 时继续运转															
	散热器过热	热敏电阻保护															
	失速防止	加减速中、运转中失速保护															
	接地保护	由电子回路保护(过电流基准)															
	充电中显示	主电路直流电压降至 50V 以下时显示															
环境	工作温度	-10~+40℃(封闭壁挂形), -10~45℃(敞开机架形)															
	湿度	90%RH 以下															
	存放温度	-20~60℃															
	使用场所	室内(防止腐蚀气体及尘埃等)															
	海拔	1000m 以下															
	振动	10~20Hz, 9.8m/s ² (1g); 20~50Hz, 2m/s ² (0.2g)															

●400V 系列

C1MR-G5A 口		40P4	40P7	41P5	42P2	43P7	45P5	47P5	4011	4015	4018	4022	4030	4037	4045	4055	4075	4110	4160	4185	4220	4300
最大可用的电动机输出 (kW)		0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	37	45	55	75	110	160	185	220	300
变频器容量(kVA)		1.4	2.6	3.7	4.7	6.1	11	14	21	26	31	37	50	61	73	98	130	170	230	260	340	460
额定输出电流(A)		1.8	3.4	4.8	6.2	8	14	18	27	34	41	48	65	80	96	128	165	224	302	340	450	605
最大输出电压		三相, 200, 208, 220, 230V(正比于输入电压)																				
额定输出频率		通过参数设定可获得, 最大至 400Hz																				
电压和频率		三相, 380/400/415/440/460V, 50/60Hz																				
允许电压波动		+10%, -15%																				
允许频率波动		±5%																				
控制方法		正弦波 PWM																				
启动转矩		150%/1Hz																				
速度控制范围		1:100(有 PG 为 1:1000)																				
速度控制精度		±0.2%(有 PG 为 ±0.02%)																				
速度响应		5Hz(有 PG 为 30Hz)																				
转矩限值		可得到(参数设定, 4级可变)																				
转矩精度		±5%																				

CIMR-G5A 口	40P4	40P7	41P5	42P2	43P7	45P5	47P5	40L1	40L5	40L8	40Z2	40Z3	40Z7	40A5	40Z5	40Z7	40Z5	40Z7	4110	4160	4185	4220	4300
转矩响应	20Hz(有PG为40Hz)																						
频率控制范围	0.1~400Hz																						
频率精度 (温度范围)	数字指令: $\pm 0.01\%$ ($-10 \sim +40^\circ\text{C}$) 模拟指令: $\pm 0.1\%$ ($25 \pm 10^\circ\text{C}$)																						
频率分辨率	数字指令: $\pm 0.01\text{Hz}$ (100Hz 以下), 0.1Hz (100Hz 以上) 模拟指令: $0.03\text{Hz}/60\text{Hz}$ (11位十符号位)																						
输出频率分辨率	0.001Hz																						
过载能力	150%额定输出电流, 1min																						
频率设定信号	-10~10V, 0~10V, 4~20mA																						
加速/减速时间	0.01~6000.0s(单独设定加速/减速时间, 4种转换)																						
制动力矩	约 20%																						
电动机保护	由电子热过载继电器保护																						
瞬时过流	约额定输出电流 200% 以上电动机停止																						
熔断器熔断保护	熔断器熔断使电动机停止																						
过载	150%额定输出电流 1min 后, 电动机滑行停止																						
过电压	主电路直流电压超过 820V 后, 电动机停止																						
欠电压	主电路直流电压降至 380V 或更低时电动机停止																						
瞬时掉电补偿	瞬时掉电 15ms 以上时停止(出厂设定); 根据运转方式选择, 掉电短于 2s 时继续运转																						
控制特性												保护功能											

续表

CTMR-G5A Ⅱ		10P4	40P7	41P5	42P2	43P7	43P5	47P5	4011	1015	4018	4022	4030	4037	4045	4055	4075	4110	4160	4185	4220	4300
散热电阻保护																						
保护功能	散热器过热																					
	失速防止	加、减速运转期间失速保护																				
接地保护	由电子回路保护(过电流基准)																					
充电中显示	主电路直流电压降至 50V 以下前通电发光二极管保持亮																					
工作温度	-10~+40℃(封闭壁挂形), -10~+45℃(敞开机架形)																					
湿度	90%RH 以下																					
存放温度	-20~+60℃																					
使用场所	室内(防止腐蚀性气体及尘埃等)																					
海拔	1000m 以下																					
振动	10~20Hz, 9.8m/s ² (1g); 20~50Hz, 2m/s ² (0.2g)																					
环境																						