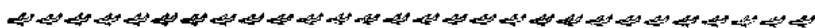


第9章 典型设备的润滑

张学正 苟珍玺 谷振云

倪熙安 曹玉书



第1节 金属切削机床的润滑

(一) 典型金属切削机床的润滑

1. 普通车床的润滑

各种类型车床都是由一些相似的共性部件，如主轴箱、溜板箱、走刀箱、挂轮箱、丝杠以及导轨等组成，有的还有液压部件。润滑情况基本相同，简介如下：

(1) 主轴箱的润滑 主轴是车床的重要部位，任何故障都将影响零件的加工质量。主轴轴承对机床加工精度起决定性的影响。因此，主轴轴承必须经常保证有均匀可靠的润滑油膜。

目前多数车床的主轴都采用滚动轴承，此种结构需要润滑油量较少，一般与主轴箱共同润滑即可。如采用飞溅润滑或柱塞油泵自动给油润滑等即可满足润滑要求。但也有个别车床采用滑动轴承，要求间隙为 $0.005\sim 0.015\text{mm}$ 。此种结构有的采用油杯、油线等润滑方法，常常因供油量不足而造成发热或“抱轴”故障。若采用压力润滑，则润滑效果较好。中小型车床床头箱主轴轴承不论是采用滚动轴承或滑动轴承一般均采用L-HL32液压油（原称机床通用润滑油）。要求稍低的可采用LAN全损耗系统用油（即普通机械油）（下同）但有些机床的传动齿轮要求较高粘度的润滑油（即L-HL46等液压油）。主轴箱内的其它摩擦副，则采用集中润滑系统，利用飞溅或油浴润滑。齿轮溅油润滑结构简单，但易加速油的氧化。故有的车床采用无压力滴油润滑；而高速精加工车床，重型车床则用油泵喷油润滑；精密车床，特别是重型车床主轴近年有的改用了静压轴承，除其旋转精度能大幅度提高外，对于主轴润滑也极为有利。过去重型车床主要应用液体动压

轴承或滚动轴承。虽然结构并不复杂，但在不同速度下轴心位置是变化的。重型车床在设计时因兼顾多种速度不同要求，用油粘度因而要受到限制。这种车床在低速运动的时间很多，但在低速时难以形成流体润滑，这样就难免要出现半干摩擦。所以在重载下起动困难，而且精度不能长期保持，维修较为复杂。另外大型滚动轴承的寿命也有一定限度，而且购买和更换都有困难。这是重型机床主轴改为静压轴承的原因。

(2) 车床滑动导轨的润滑 导轨一般用铸铁制成，也有少数镶有铜片或塑料复合材料。由于车床导轨承受负荷及滑动速度都不大，所以用矿物油就可保证一定的边界油膜。中、小型机床常用与主轴箱同样的润滑油。如使润滑油能在导轨上形成一层很薄的油膜（一般要求油膜厚度为 $0.005\sim 0.008\mu\text{m}$ 为好，经验是用手指刮导轨面，在全长 2m 的床身导轨上，看附着于手指上油的多少，如欲滴不滴，通常认为油膜的厚度适当）。用手轻轻接触后，能在手上看出油迹对于一般机床即可满足要求。

(3) 进给丝杠、溜板箱和走刀机构的润滑 一般用L-HL46液压油。由于走刀丝杠油膜不容易保持，因此要求润滑油应具有较好的油性。挂轮箱内的交换齿轮对润滑油的要求较少，经常是按开式齿轮所用润滑油进行润滑。

2. 自动车床的润滑

自动车床的润滑特点是切削液和润滑油难于截然分开，所以有些工厂利用具有防腐蚀及油性添加剂的两用润滑油，既进行机床润滑，同时又为工件冷却使用。此油用于负荷大的切削加工不如用硫化油的效果好。除加工合金钢外，一般都可满足工艺要求，其粘度相当于L-HL32液压油润滑性能应符合机床所有零件的润滑要求。

虽然在自动车床的润滑与冷却系统上,通常采用相同品种的油液,但仍应尽量减少切削油进入润滑系统。因为切削油中含有金属碎屑,如大量混入润滑系统的油中,就将损坏机床的零、部件。

3. 立式车床的润滑

立式车床一般采用集中循环润滑系统。但应在工作台起动前将润滑油送入导轨起到卸荷作用,防止产生粘着的危险。主传动变速箱内的螺旋齿轮、双曲线齿轮、蜗轮、蜗杆均由集中润滑系统供油。立式车床采用的润滑油按其负荷分别要求如下:

(1) 工作台直径在1600mm以内者用L-HL46液压油。

(2) 工作台直径在1600~4500mm之间者,夏季用L-HL100液压油,冬季用L-HL68液压油。

(3) 工作台直径在4500~9000mm之间者,夏天用L-AN150全损耗系统用油,冬天用L-HL100液压油。

立柱及横梁的纵横导轨以及侧刀架导轨等均采用L-HL46或L-HL68液压油,用手摇泵给油。变速箱及升降进给、压紧等机构的润滑常用齿轮泵。大型丝杠负荷较重,应用带有油性或极压添加剂的油品,以提高其抗磨能力。有的立车工作台密封不严,冷却油可能渗入工作台下的润滑系统,必要时可采用适当粘度的两用油来满足两种不同的要求。大型立车一般装有安全装置,在润滑出现故障时立即报警。操作工人可及时采取措施,以排除临时出现的各种润滑故障。

4. 钻床及攻螺纹机床的润滑

一般立钻,摇臂钻及攻螺纹机床在润滑上的问题较少,少数带有青铜轴套的机床,在钻套内加L-HL46液压油就可以保证机床的正常运行。当铜套过度磨损后,润滑油会从立式主轴中大量流失,此时应采用粘度较高与油性较好的润滑油。以便于能够形成可靠的润滑油膜。以保证机床能够得到良好的润滑。

多轴钻床对润滑油有较高的要求,机床变速箱应按其速度、负荷及结构特点,按照说明书规定加油,此种机床的集中循环润滑系统多采用L-HL46液压油。

5. 磨床的润滑

(1) 磨床主轴滚动轴承的润滑 近年来磨床主轴有采用预加负荷的滚动轴承。但这种滚动轴

承常需很高的精度如C级、B级或更高级,其价格比标准普通级轴承高出4~10倍。其制造工艺复杂,购置也不容易,所以必须加强维护和保养,搞好润滑以充分发挥其优异的运转性能和使用寿命。精密滚动轴承的润滑一般可从三方面加以考虑。

1) 常用的磨床主轴滚动轴承有3182100, 36000, 46000, 7200, 7500等系列,由于这些轴承中,圆柱滚子、圆锥滚子和向心推力球轴承的结构不同,要求的配合和运转条件也不相同,所以对润滑的要求也不一致。例如,滚动轴承与主轴为过盈配合,通常应采用较低粘度(40°C时 $7\sim 10\text{mm}^2/\text{s}$)基础油的润滑材料,使温升不致过高。

2) 主轴的速度因素,根据技术资料和实践证明 dn 值小于 0.5×10^6 才能采用脂润滑。如超过时需油润滑或采用专用润滑脂。如果有条件,最好采用油雾润滑。也可采用特殊的喷油润滑装置。

3) 用于精加工的磨床主轴所承受的负荷都很轻,故选用润滑材料时不存在负荷问题。但精密磨床主轴的温度必须控制,不能太高。一般标准精度轴承在外圈的温度不许超过70°C,温升不超过40°C(GB9091),精密级及高精度轴承温升不超过20°C或甚至10°C(根据机床要求而定)。

(2) 磨床主轴滑动轴承的润滑 磨床多油楔滑动轴承的特点是旋转精度高,因此要求轴和瓦的加工精度高,配合间隙小,并通过润滑来降低摩擦和磨损,限制热变形至最小程度,有不少磨床还采用了静压轴承。磨床滑动轴承的润滑,一般常采用主轴油,而其粘度必须根据以下的条件进行认真的选择。

1) 主轴转数 主轴的线速度愈高,其形成动压油楔的作用就愈强,所以对转速较高(1000r/min)以上的主轴轴承采用低粘度的主轴油就可以形成动压润滑。但在一些低速的主轴上(各种磨床工件主轴每分钟只有100~200转),形成动压油膜有赖于较高的粘度,故必须选用较高粘度的主轴油或其他油品。

2) 轴承负荷 精加工磨床的负荷都不高,但有时为了减小加工表面粗糙度而需提高对振动的阻尼作用,应适当提高用油的粘度。

3) 轴承间隙 主轴与轴承之间的间隙取决于所受负荷、工作温度、最小油膜厚度、轴与轴承的

$$\ominus \quad d - \text{轴颈直径}(\text{mm}), \quad n - \text{主轴转速}(\text{r}/\text{min}).$$

表9-1-1 数控液压油暂行技术标准

项	目	质 量 指 标
运动精度 (40°C)(mm ² /s)		32±3
粘度指数	不小于	170
水溶性酸或碱		无
闪点(开口) (°C)	不低于	130
凝点, (°C)	不高于	-10
水分, (%)		无
机械杂质 (%)		无
腐蚀性(蒸馏水, 16钢)		合格
铜片腐蚀(T3铜片, 100°C, 3h)		合格
氧化安定性(酸值到2.0mgKOH/g), h	不小于	1000
抗泡沫性(93°C)(mL/mL)	不大于	50/10
剪切安定性(40°C粘度下降率)(%)	不大于	8
密封适应性指数	不大于	13
最大无卡咬负荷F _B (N)	不小于	637
油泵试验(总失重)(mg)	不大于	100
抗乳化性(54°C), (min)	不大于	35

距离。当两者之间达到规定的距离，而通过的电流达到相应的适当值时，油品的介电强度被破坏，形成脉冲放电，电流会跳过间隙而出现流动的电火花。这样，就在放电面积上起到腐蚀的作用，而在模具上蚀除（或溶解掉）极小量的金属粒子。如果将工

具向模具缓慢的移动，同时维持规定距离的间隙时，就能连续蚀除（或溶解）掉更多的金属粒子，直至要在加工的模具上刻划成精确的廓形，而得以完成加工任务时为止。这种电腐蚀蚀除的金属粒子同时将由介电油品冲刷离开，并沉降在箱底下面。

表9-1-2为电火花加工介电油品的规格介绍，可供选用油料时参考。

表9-1-2 电火花加工介电油品技术规格

油品性能	精加工	半精加工	粗加工
A. P. I 度	45	42	39
闪点(开口), (°C)	82	132	154
粘度(40°C), (mm ² /s)	3	6	8
颜 色	+25~+30	+25~+30	+35~+30
腐 蚀	通过	通过	通过

(二) 金属切削机床润滑剂的选用

由于金属切削机床的品种繁多，结构及部件情况有很大变化，很难对其主要部件润滑剂的选用提出明确意见，表9-1-3是根据有关标准整理的一些机床主要部件合理应用润滑剂的推荐意见，供选用润滑剂时参考。

表9-1-3 机床用润滑剂选用推荐表

字母	一般应用	特殊应用	更特殊应用	组成和特性	L类(润滑剂)的符号	典型应用	备 注
A	全损耗系统			精制矿油	AN32 AN68 AN220	轻负荷部件	
C	齿轮	闭式齿轮	连续润滑(飞溅、循环或喷射)	精制矿油，并改善其抗氧化性、抗腐蚀性（黑色金属和有色金属）和抗泡性	CKB32* CKB68* CKB100 CKE150	在轻负荷下操作的闭式齿轮（有关主轴箱轴承、走刀箱、滑架等）	CKB32和CKB68也能用于机械控制离合器的溢流润滑，CKB68可代替AN68。对机床主轴箱常用HL类极压油
				精制矿油，并改善其抗氧化性、抗腐蚀性（黑色和有色金属）、抗泡性、极压性和抗磨性	CKC100 CKC150* CKC200 CKC320* CKC460	在正常或中等恒定温度和重负荷下运转的任何类型闭式齿轮（双曲线齿轮除外）和有关轴承	也能用于丝杠，进刀架杆和轻负荷导轨的手控和集中润滑
F	主轴、轴承和离合器		主轴、轴承和离合器	精制矿油，并由添加剂改善其抗氧化性和抗氧化性	FC2 FC5 FC10 FC22	滑轴轴承或滚动轴承和有关离合器的压力、油浴和的雾润滑	在有离合器的系统中，由于有腐蚀的危险，所以采用无抗磨和极压剂的本产品是需要的

(续)

字母	一般应用	特殊应用	更特殊应用	组成和特性	L类(润滑剂)的符号	典型应用	备注
F	主轴、轴承和离合器		主轴、轴承	精制矿油, 并由添加剂改善其抗腐蚀性、抗氧化和抗磨性	FD 2 FD 5 FD10* FD22*	滑动轴承或滚动轴承的压力、油浴和油雾润滑	也能用于要求高的精度特别低的部件, 如精密机械、液压或液气动的机械、电磁封、风管润滑器和静压轴承的润滑
G	导轨			精制矿油, 并改善其润滑性和粘-滑性	G 68* G 100 G 150 G 220*	用于滑动轴承、导轨的润滑, 特别适用于低速运动的导轨的润滑, 使导轨的“爬行”现象减少到最小	也能用于各种滑动部件, 如丝杠、进刀螺杆、凸轮、棘轮和间断工作的轻负荷蜗轮的润滑
H	液压系统	液压系统		精制矿油, 并改善其防锈、抗氧化和抗泡性	HL32 HL46 HL68		
				精制矿油, 并改善其防锈、抗氧化、抗磨和抗泡性	HM15 HM32* HM46* HM68*	包括重负荷元件的一般液压系统	也适用于作滑动轴承、滚动轴承和各类正常负荷的齿轮(蜗轮和双曲线齿轮除外)的润滑, HM32和HM68可分别代替CKB32和CKB68
				精制矿油, 并改善其防锈、抗氧化、粘温性和抗泡性	HV22 HV32 HV46	数控机床	在某些情况下, HV油可代替HM油
	液气系统		精制矿油, 并改善其抗氧化、防锈、抗磨、抗泡和粘-滑性	HG32* HG68*	用于滑动轴承、液气导轨润滑系统合用的机械以减少导轨在低速下运动的“爬行”现象	如果油的粘度合适, 也可用于单独的导轨系统, HG68代替G68	
X	用润滑脂的场合	通用润滑脂		润滑脂, 并改善其抗氧化和抗腐蚀性	XBA或XEB1 XBA或XEB2 XBA或XEB3	普通滚动轴承、开式齿轮和各种需加脂的部位	

注: 1.*为优先选用的产品。

2.L类代号说明: AN——全损耗系统用油 CKB——抗氧化、防锈工业齿轮油 CKC——中负荷工业齿轮油 FC——轴承油 FD——改善抗磨性的FC轴承油 G——导轨油 HL液压油 HM液压油(抗磨型)HV低凝液压油 HG——液气-导轨油 XBA——抗氧及防锈润滑脂 XEB——抗氧、防锈及抗磨润滑脂

有许多类似的润滑方式和系统, 但由于功用不同, 速度、负荷等有较大差异, 故润滑特点也有较大差异。

第2节 锻压设备的润滑

(一) 机械压力机的润滑

机械压力机包括热模锻压力机、冲压力机、精压机及平锻机等类。它们都采用类似的带轮与齿轮传动机构、离合器与制动器机构、曲柄连杆或肘杆机构、凸轮机构、螺杆机构等。图9-2-1及图9-2-2是曲柄压力机及平锻机的传动原理图。各类产品

1. 润滑方式

由于机械压力机是机械传动, 传动环节多, 摩擦副多, 润滑点必然多。同时, 大型压力机高度很高, 上去人工加油也不方便。为了保证润滑效果, 减少维修工作量, 机械压力机通常采用集中润滑。对于不易实现集中润滑, 或采用某些专用润滑方式更好时, 才辅以分散润滑。

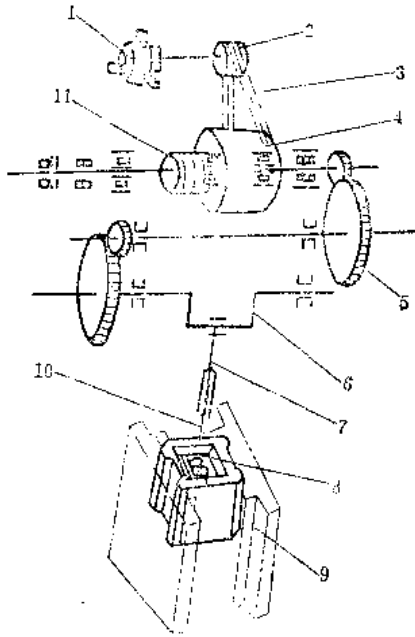


图9-2-1 曲柄压力机的传动原理图

- 1—主电机 2—小带轮 3—V型带 4—飞轮 5—齿轮
6—曲轴 7—连杆 8—滑块 9—立柱导轨 10—调整
螺钉 11—离合器

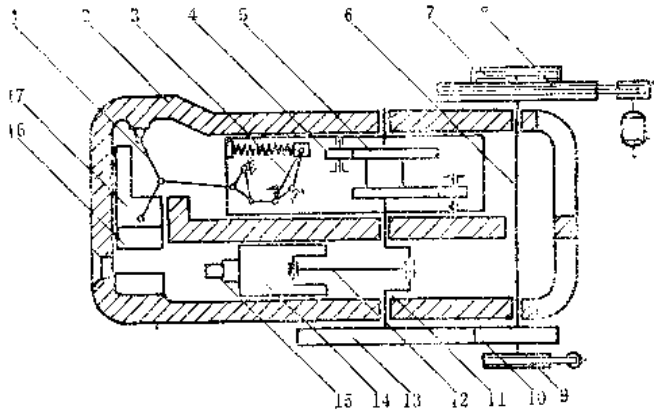


图9-2-2 平锻机的传动原理图

- 1—驱动机构 2—机身 3—过载保护装置 4—凸轮块
5—凸轮机构 6—传动轴 7—离合器 8—大V带轮
9—制动器 10—小齿轮 11—曲轴 12—连杆 13—大齿
轮 14—主滑块 15—冲头 16—凹模 17—夹紧滑块

(1) 稀油集中润滑 稀油集中润滑多数情况是压力循环润滑。一般是把润滑站(油箱、泵、阀等)安放在压力机的底座旁边或地坑内,用齿轮泵通过控制阀将润滑油送到各润滑点。

优点是:①油可以循环使用;②摩擦阻力小;③可以把摩擦产生的热量和磨损的金属微粒及各种杂质带走。

缺点是:①容易漏油,密封要求高;②承载力小;③润滑装置复杂,初始成本高。

稀油集中润滑常用在小吨位机械压力机的轴承、导轨、连杆上。

(2) 稀油分散润滑 稀油分散润滑有人工润滑和自动润滑两种。人工加油润滑一般只用在不经常动作的小部件上,不易接通由集中润滑站供油的部位或不易回收的部位,例如凸轮、滚轮。稀油分散自动润滑在机械压力机上常被采用的有油池润滑和油雾润滑。封闭齿轮采用油池润滑,维护简单,润滑效果也不错。气缸采用油雾润滑是结构上的特殊需要。

(3) 干油集中润滑 干油集中润滑分机油泵和手动油泵两种。机油泵一般放在压力机顶部,也有安装在底座旁边的。手动油泵都安装在立柱上

操作方便的地方。机油泵由专用电动机带动,可以根据压力机运转的需要,开动或停止油泵供油,也有的油泵没有电动机,而是靠主传动通过一套另加的传动装置来驱动油泵。

大型机械压力机的轴承、导轨常采用干油集中润滑。

(4) 干油分散润滑 干油分散润滑用在供油不易到达的部位,如一些旋转部件上。一般是定期用油枪加少量的油或直接涂抹。干油分散润滑比稀油分散人工润滑用得广泛些。机械压力机上的开式齿轮、连杆螺纹、离合器轴承常采用干油分散润滑。

2. 润滑材料选用

在机械压力机的润滑中,以采用全损耗系统用油和钙基润滑脂为主。当这两种润滑材料不满足需要时,再选用其它材料。

采用集中润滑时,润滑点较多,而这些润滑点的负荷、速度、温度有可能不同,又不可能采用多种粘度的润滑材料来满足各润滑点的需要。在这种情况下,可采用两种办法:①按照最关键的润滑点的需要选择润滑材料;②采取折中的办法,即选择的润滑材料的粘度比这些润滑点所需粘度的中间值偏高一些。

3. 机械压力机主要摩擦副的润滑

(1) 离合器飞轮轴承的润滑

1) 工作特点 离合器与飞轮组成一个部件, 一般安置在第一级传动轴上, 即电动机通过皮带轮带动飞轮。极个别的也有离合器安置在曲轴一端。

压力机不工作时, 电动机带动飞轮空转, 其余各级的传动机构不运动, 减少了能量的损耗和机件的磨损。压力机工作时, 离合器结合, 飞轮通过传动机构带动曲柄—连杆机构使滑块作往复直线运动。

由此可见, 离合器飞轮轴承一直处于运转状态, 而且在第一级传动轴上, 速度较高、负荷较小。新设计方案常采用滚动轴承。滚动轴承摩擦系数很小, 但仍需要润滑, 只不过要求不如滑动轴承那样高。

2) 润滑方式 离合器飞轮轴承装在飞轮内, 飞轮端部与离合器连接, 飞轮又处于不停运转状态, 即轴承处于不停运转状态, 采用集中润滑很困难。因为油管要和飞轮一起旋转, 结构上难实现。过去离合器飞轮轴承采用滑动轴承, 油池飞溅润滑效果不错, 既避免了集中润滑的困难, 轴承又连续运转, 也不造成油膜的破裂。但需封闭油池和密封装置, 结构复杂, 尺寸加大。现常采用滚动轴承, 干油润滑, 油枪定期加油。二班制每月一次。

3) 润滑材料 离合器飞轮轴承离热工件较远, 环境温度不高。但在高速、瞬时高负荷下连续运转, 如果采用滑动轴承, 润滑不良, 仍可能产生很高的温度。前述的油池飞溅润滑, 能形成稳定的油膜, 实现液体动压润滑不会造成大的温升。但在每次停止工作后重新开机时, 油膜已经被破坏, 必须先让飞轮空转一段时间, 轴承油膜重新建立后再负荷运转。从速度高这点出发, 应选用低粘度的油, 从负荷较高这点看, 又应选用高粘度的油。综合考虑, 油池润滑可采用中等偏高粘度的 L-AN150 或 L-AN100 全损耗系统用油。

当采用滚动轴承时, 润滑脂是最合适的润滑材料, 它保存时间长, 不需经常加油, 又能达到良好的润滑效果。润滑脂虽不能带走热量, 但滚动轴承摩擦系数小, 产生的热量少。离合器飞轮滚动轴承可采用 2 号、3 号钙基脂或短纤维 4 号钠基脂。

(2) 传动轴轴承的润滑 在主传动系统中除曲轴轴承和离合器飞轮轴承以外的一切轴承都是传动轴轴承。实际上离合器轴的支承轴承也属于传动

轴轴承, 只不过它常采用滚动轴承, 其润滑情况就和飞轮轴承一样, 这里不再讨论。

传动轴轴承处于中间传动级上, 速度比飞轮轴承低, 又比曲轴轴承高。负荷比飞轮轴承高, 又比曲轴轴承低。由于机械压力机大多数属重载工作, 传动轴轴承上的负荷已经相当高了, 通常采用滑动轴承。

滚动轴承和滑动轴承各有其适用场合, 但有一个主要标志是滚动轴承承载能力小, 滑动轴承承载能力大。这就是离合器飞轮轴承采用滚动轴承, 而以后各级传动轴轴承采用滑动轴承的基本原因。

综合起来看滑动轴承优于滚动轴承。除承载能力大以外, 寿命长、刚性好、吸振性、耐冲击性强、无噪声。

1) 工作特点 传动轴轴承处于第二、三级传动轴上, 速度比离合器轴低, 负荷比离合器轴高、瞬时重负荷、间断运动、离热加工件远, 周围环境温度不高、无特别杂质污染。

所谓间断运动, 是因为只有当离合器结合时, 传动轴才旋转。在取出工件, 放上坯料这段时间内, 飞轮空转, 传动轴停止不动。

所谓瞬时重负荷, 是因为在一个工作循环中, 只有当上砧块接触坯料那一刻开始压力机才承受负荷, 而且负荷越来越大, 直至加工完成。

所谓速度较低、负荷较高也很易理解。主传动系统是减速传动, 各级转动速度越来越低, 而传动功率不变, 速度低的轴承承受的力就大。

2) 润滑方式 传动轴轴承都是支承轴承, 轴承座和轴承固定, 轴旋转。轴承座固定便于安装油管及油管接头, 有条件进行集中润滑。采用稀油或干油集中润滑均可。

稀油集中润滑以自动供油、压力循环方式为好, 可以形成稳定的油膜。这就需要单独的油泵装置, 供给大量的润滑油。另一种方法是由曲轴带动的自动给油装置, 只有在工作行程时才供给油量, 难以形成稳定的油膜。

主传动轴承和曲轴轴承, 这两种轴承在同样情况下工作, 一般不采用滴油、油环、油轮、油链以及手工稀油集中润滑。

采用干油集中润滑, 润滑脂粘度大, 能承受高负荷, 不易从摩擦面挤出来, 能保持一定厚度的油膜。干油润滑的主要缺点是不能带走热量, 正好主轴运转速度较慢, 又是间歇运动, 主轴运转的时间

仅占一个工作循环的很小部分，发热不成问题。大型压力机供油量较大，可采用电动干油站，小型压力机可采用手动干油站。

干油集中润滑和稀油集中润滑比较，根据主轴运转的特性，一般说来采用干油集中润滑为好。对于小型快速的压力机，也可采用稀油集中润滑。

3) 润滑材料 按照较低速度(或中速)、瞬时较重负荷、间歇运动的情况来看，随着各类压力机速度的不同，主轴轴承有可能是液体动压润滑，也有可能是边界润滑。因此，应选用润滑脂或较高粘度的润滑油。干油润滑采用2号压延机脂、钙基脂或润滑脂与机械油的混合物。稀油润滑采用L-AN150号、L-AN100全损耗系统用油。

(3) 曲轴轴承的润滑

1) 工作特点 曲轴轴承指的是曲轴的支承轴承。它除具有传动轴轴承的瞬时高负荷、间歇运动的特点外，由于它是最后一级传动，速度最低、负荷最高，瞬时负荷可达40MPa以上。另外，曲轴轴承为安装方便大多做成剖分式。由于重负荷和剖分式的特点，在机械压力机上的曲轴轴承无例外的都采用滑动轴承。

2) 润滑方式 和传动轴轴承一样多采用干油集中润滑，只有小型快速压力机才考虑采用稀油集中润滑。

3) 润滑材料 曲轴轴承承受最高负荷，且是最慢速度，因此，应选用比传动轴轴承更高粘度的润滑材料。对某些负荷特别高的压力机可添加极压添加剂。干油集中润滑可采用2号压延机脂、2号、3号钙基脂或这些润滑脂与机械油的混合物。稀油集中润滑可采用L-AN150、L-AN100全损耗系统用油。总之，是采用润滑脂或润滑脂与机械油的混合物还是稀油，决定于压力机的负荷和速度。

所采用的润滑脂的锥入度一般应不小于3号润滑脂的锥入度。因为润滑脂从轴承摩擦面挤出后，要靠自行脱落而重新填满间隙，需要锥入度大一点的润滑脂。

集中润滑时所采用的润滑油的粘度也不能过高，否则压力循环过程中将引起很大温升，油将会变质，密封寿命降低。

曲轴轴承和传动轴轴承在工作特点、润滑方式和润滑材料方面有很多相似之处。鉴于传动轴轴承在这方面已作了详细分析，曲轴轴承这方面的问题就不再赘述了。

(4) 连杆轴承的润滑

1) 连杆轴承的润滑 连杆轴承指的是连杆与曲轴连接处的轴承。为了装配方便，采用剖分式，故又称轴瓦。和曲轴轴承同样的理由，必须采用滑动轴承。

① 工作特点 和曲轴轴承一样处于低速间断运转状态，承受很大的瞬时负荷。

② 润滑方式 连杆轴瓦承受很高的载荷，需要十分良好的润滑，宜采用集中润滑方式。由于连杆在运转过程中有一定摆动，而油管接头又只能设置在连杆端部，油管接头也跟着摆动，因而与之连接的那一段油管必须是软管。

③ 润滑材料 连杆轴瓦与曲轴轴承工作情况极其相似，可采用曲轴轴承的润滑材料。

2) 连杆小端轴瓦和销轴轴承的润滑 连杆小端轴瓦指的是连杆与滑块接触端的轴瓦，也可以是半球壳状。销轴轴承指的是将滑块与连杆连接起来使滑块能够回程的销轴的轴承，见图9-2-3。采用销轴结构，连杆与滑块接触端为轴瓦。使滑块回程的另一种方法是在连杆与滑块接触端的球头的上部设

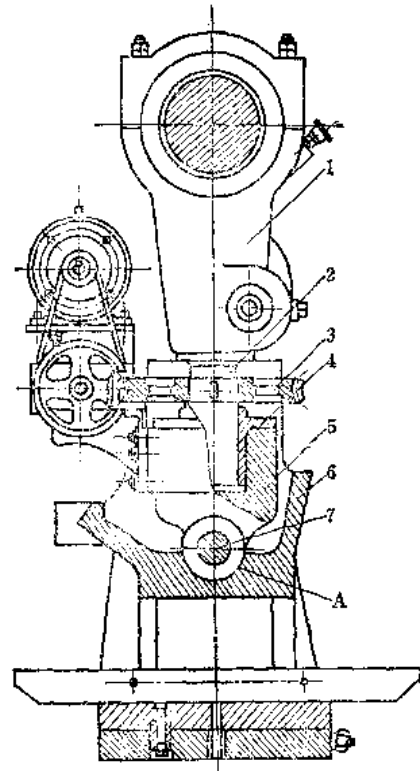
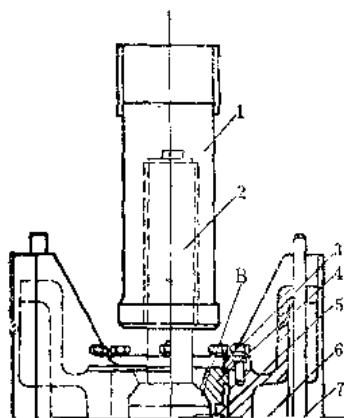


图9-2-3 销轴连接的连杆滑块

1—连杆 2—调节螺杆 3—蜗轮 4—长套
5—插杆 6—滑块 7—连接销



② 润滑方式 连杆小端摩擦面承受特别高的负荷，需要良好润滑，应采用集中润滑方式。

通常，连杆大端轴承、销轴轴承、连杆小端轴瓦的润滑油路是相通的。即从连杆大端的端部的润滑油管接头进油，通过曲轴轴瓦上的环形油槽进入连杆中心轴向孔道，再通过调节螺杆的中心轴向孔道、销轴轴承环向油槽到达与滑块接触的摩擦面。也

油浴润滑, 将它们都浸泡在油池内。当调节螺杆在连杆内时, 无法采用油浴润滑, 可在连杆上端螺纹根端退刀槽处开环形油槽, 用油枪定期加油。

② 稀油集中润滑 当调节螺杆在连杆内, 而连杆又采用稀油集中润滑时, 连杆和螺杆中心都有通油孔, 稀油会顺着螺纹往下流而将全部螺纹润滑。

3) 润滑材料 调节螺杆螺纹承受较低负荷, 低速间歇运动, 可采用中等粘度的 L-AN16、L-AN68 全损耗系统用油。

(6) 闭合高度调整机构的润滑

1) 工作特点 闭合高度调整机构一般采用蜗轮蜗杆传动。闭式双点压力机除蜗轮蜗杆之外, 还有伞齿轮机构。当蜗轮蜗杆设置在滑块内时是封闭式, 如图 9-2-4 所示。当蜗轮蜗杆设置在连杆上时是开式, 如图 9-2-3 所示。

蜗轮蜗杆传动的工作情况类似于齿轮传动, 局部接触、比压很高。蜗杆的速度较高, 发热较大。但是蜗轮蜗杆很少启动, 绝大部分时间处于停止状态, 磨损问题不是主要的, 而是防止粘着、咬伤。

2) 润滑方式

① 封闭式蜗轮蜗杆 油池润滑。

② 开式蜗轮蜗杆 人工定期涂抹。

3) 润滑材料

① 封闭式 N150 工业齿轮油或蜗轮蜗杆油。

② 开式 2 号二硫化钼润滑脂。

(7) 滑块导轨的润滑 热模锻压力机、冲压压力机、精压机只有一个主滑块, 滑块导轨是垂直的。平锻机除主滑块外, 还有侧滑块和夹紧滑块, 滑块导轨是水平的。

1) 工作特点

① 热模锻压力机、平锻机滑块速度稍高于冲压压力机和精压机。但总的说来, 机械压力机的滑块是低速或中速运动, 运动是间歇的, 又不像轴承那样有油楔作用, 通常导轨处于边界润滑状态。

② 较重的负荷 当加工件不偏心时, 由曲柄—连杆机构的性质决定了连杆与压力机的中心轴线间存在某一角度, 这一角度随行程的加大而减小, 达到下死点时夹角为零。所以在滑块行程过程中, 连杆始终作一个侧推力到导轨上。当加工件有偏心时, 导轨还承受偏心力矩形成的侧推力。这两种

侧推力并不均匀作用在导轨上, 而是使滑块翻转, 结果滑块的导板与机柱导轨间是线接触或局部接触, 使比压很高。

③ 环境温度较高 热模锻压力机、平锻机用于热加工, 滑块导轨离热工件近, 且暴露在旁, 经过辐射、传导、对流作用, 导轨表面温度必然增高。热模锻压力机导轨是垂直的, 工件热量往上传播, 导轨温度较高。平锻机导轨是水平的, 导轨温度低一些。

2) 润滑方式 滑块导轨往往由若干块导板组成, 润滑面积大、润滑点多, 加之, 大型压力机, 导轨离地面高, 人工加油不方便, 多采用集中润滑。导轨采用油绳润滑也比较经济适用。垂直导轨可在导轨上端设置油箱, 油顺着密封材料流到导轨上或油直接流到油槽内。水平导轨可在导轨两端设置油箱。

导轨两端应设置刮板密封, 既可把导轨上的脏物刮掉, 又可防止杂质进入导轨面。

3) 润滑材料 按滑块导轨的工作特点, 较重负荷、低速、间歇运动来看集中润滑, 应选润滑脂或中、高粘度的润滑油。热模锻压力机, 导轨垂直、温度高, 可采用 2 号钠基脂或 2 号二硫化钼润滑脂。其它压力机可采用 2 号钙基脂或 L-AN100 全损耗性系统用油。

实际应用时, 集中润滑所采用润滑材料决定于传动轴和曲轴的工作特性。同一台设备一般只有一套集中润滑装置, 导轨的润滑材料就应和传动轴、曲轴一致。好在传动轴、曲轴和滑块导轨的工作特性相距不远。

油绳润滑可采用 L-AN100 全损耗系统用油。

机柱上的导轨面是本身材料, 而滑块导轨是安装了铜合金导板, 所以润滑油槽开在铜合金导板内。在滑块上有一个共同的进油口, 通向各个润滑点。与进油口连接的油管必须是软管。

(8) 主传动齿轮的润滑 机械压力机的主传动齿轮有开式和闭式两种。

1) 工作特点 机械压力机承受的载荷较大, 转速较低, 在冲压工作的短时间内承受最大的工作载荷。而曲轴或偏心轮上的齿轮总是在固定的几个齿上承受最大载荷。当压力机开动和停止的瞬间, 齿轮承受冲击载荷。在这种条件下工作的齿轮, 很难形成液体动压润滑, 而常处于边界润滑状态。

良好的润滑可以减少磨损和疲劳点蚀。磨损和点蚀主要发生在小齿轮上。

2) 润滑方式

① 闭式齿轮 齿轮封闭在齿轮箱内,有密封装置防止油漏出,采用油池润滑。在齿轮箱内装润滑油,油面高度以浸入2~3齿为宜。

油池润滑投产成本中等、散热率中等、维修费用低。

② 开式齿轮 开式齿轮采用油雾润滑效果良好,但投产成本高、耗油大且污染环境,故多采用人工定期涂抹。

3) 润滑材料

① 闭式齿轮 高载荷、低速度、间歇运动、有冲击,油池润滑的润滑油应有较大的粘度和较好的油性。通常采用L-AN100、L-AN150全损耗系统用油或工业齿轮油。对特别大负荷的齿轮,还应在油中加入极压添加剂。

② 开式齿轮 通常采用润滑脂润滑。润滑脂既可满足边界润滑的需要,又能保持较长时间,还可防止齿轮运转过程中润滑油抛出,污染环境。常用的润滑脂是2号、3号二硫化钼锂基脂或2号、3号钙基脂。

(9) 离合器和制动器气缸的润滑

1) 工作特点 离合器和制动器的气缸分置在离合器轴的两端,常采用橡胶密封。

① 负荷 气缸的动力采用压缩空气,通常在1MPa以下。但采用橡胶密封,摩擦系数大,如没有良好的润滑,橡胶密封的寿命很低,气缸壁也很易磨损。

② 速度 为了使离合器、制动器动作灵活,离合器能即时接合和松开,所以气缸活塞运动速度快。但行程很小,发热问题并不严重。

2) 润滑方式 离合器和制动器气缸的润滑面是气缸内表面。由于气缸行程很小,缸体长度很短,无法在缸体侧面设置润滑油管接头,利用活塞头上的油槽及活塞的运动来均匀润滑缸壁。在气缸端盖上设置油管接头,润滑油能进入缸内,但无法均匀润滑缸壁。

喷雾润滑是一种比较合适的方式。将喷雾装置安装在气缸的进气管道上,利用压缩空气流过喷嘴时产生的压力差将油雾送入气缸,可以均匀的撒向缸壁。油雾润滑的供油量可以调整。油雾润滑的缺点是润滑油不能回收,消耗大,排出的空气中含有

悬浮的油雾,对操作者及环境卫生不利。

3) 润滑材料 由于气缸活塞运动速度快、负荷小,且为了便于形成雾状,应采用粘度较小的L-AN32、L-AN46全损耗系统用油。

(10) 凸轮及滚轮外表面的润滑 在机械压力机中,只有平锻机才有凸轮及滚轮。

1) 工作特点 凸轮及滚轮以滚动为主兼有滑动,通常是线接触,局部压力很高,速度较低。

2) 润滑方式 凸轮和滚轮通常处于裸露状态,一般采用人工定期涂抹。

3) 润滑材料 2号、3号钙基脂及二硫化钼锂基脂。

(11) 销轴轴承润滑 平锻机上有各种销轴轴承,前滚轮轴、后滚轮轴、夹紧机构小轴、夹紧机构保险装置小轴、后滚轮杠杆小轴、挡料机构小轴等。

1) 工作特点 除后滚轮小轴外,其它小轴都必须承受夹紧滑块夹紧时所传递的力,负载很大。但速度很低,杠杆小轴在一次工作循环中还转不了一圈,造成局部磨损。从承载很大的特点来看,应选用滑动轴承。

2) 润滑方式 由于这些销轴大都承受很大载荷。间歇运动、速度很慢,较难形成液体动力润滑,应尽量采用集中润滑。除杠杆支点小轴外,其余小轴在工作过程中都是移动的,与润滑接头的连接管应采用软管。不能采用集中润滑的,可采用干油分散润滑。

夹紧机构前滚轮小轴负荷特别重,应给以重点润滑。随时检查铜套是否有发热现象,防止铜套与轴咬死。夹紧机构保险装置小轴因不常工作,故每月用油枪加油一次即可。

3) 润滑材料 一般情况,各小轴和主轴、曲轴采用同一润滑装置,故与主轴、曲轴采用同一种润滑材料。当单独进行压力循环润滑时,可采用L-AN100全损耗系统用油。当进行分散润滑时,可采用2号、3号钙基脂,每班用油枪加油一次。

(二) 螺旋压力机的润滑

螺旋压力机适用于模锻、精密锻造、锻锻、挤压、校正、切边、弯曲和板料压制。它们的行程比机械压力机大,而每分钟行程次数比机械压力机小。螺旋压力机分摩擦压力机和液压螺旋压力机两类。

摩擦压力机的传动原理是电动机经带轮带动可作轴向往复移动的两个同轴摩擦盘旋转,交替压向飞轮,使其正、反旋转,并通过与飞轮联接的螺杆推动滑块上、下移动。滑块向下接触工件时,储存在旋转的飞轮中的动能转换为冲击能,打击工件成形。

液压螺旋压力机的传动原理是利用推力油缸或液压马达迫使螺杆和与螺杆联结在一起的飞轮旋转储存能量。螺母与机架固定,螺杆旋转时必然推动滑块上、下运动。滑块向下接触工件时,储存在旋转的飞轮中的动能转换为冲击能,打击工件成形。

从液压螺旋压力机的传动原理可知:它采用油作液压传动介质,液压缸、液压马达、顶出器等自身可以润滑。需要润滑的是螺旋副、导轨。润滑点少,一般采用分散润滑,但亦有对导轨采用集中润滑的。

摩擦压力机是机械传动,润滑部件较多,除螺杆、导轨外,还有摩擦轮轴承、操纵杆销轴轴承、各种气缸。可以采用分散润滑,也可以采用集中润滑。

1. 螺杆的润滑

螺旋副之间的摩擦是滑动摩擦,润滑的主要任务是减少摩擦,提高传动效率,其次是减小磨损。螺杆是螺旋压力机的关键润滑部件。

(1) 工作特点 螺旋副的平均压力为 $4 \sim 6 \text{ MPa}$,工作时最大线速度可达 0.1 m/s 。在锻造过程中,实际压力比平均值大 $3 \sim 4$ 倍。这是因为加工制造的误差造成接触不均匀以及工件偏心引起的压力不均,局部压力增大所致。工作过程中还承受沉重的冲击负荷。

(2) 润滑方式 通常采用手动油枪干油润滑,每班加油一次。个别的也有采用压力供油的。可在螺母中部内径处开环形油槽。用油枪将干油注入环形油槽,螺杆上、下运动,将干油带到螺母内螺纹的各部分。若采用稀油集中润滑,稀油粘度较小,压力油将通过螺纹间隙渗透到螺母内螺纹的各个部分。

(3) 润滑材料 由于螺杆副负荷大,有冲击、速度较慢、间歇运动,要求润滑材料有较高粘度、较大油性。常用的润滑剂为二硫化铝钙基脂与机油的混合物。若是压力循环润滑,可采用 N150 号工业齿轮油或 L-AN100 油加 1% 的极压添加剂。

2. 导轨的润滑

(1) 工作特点 螺杆不能承受过大的偏心,最大的偏心不能超过螺杆直径,因此作用在导轨上的载荷比机械压力机小;中等速度,滑块工作速度约 0.5 m/s ;温度较高;导轨垂直。

(2) 润滑方式 用油枪注入,每班一次。

(3) 润滑材料 采用润滑脂。为了简化润滑剂品种,可采用与螺杆相同的润滑剂,也可采用 2 号、3 号钠基脂。

3. 摩擦轮轴承的润滑

(1) 工作特点

1) 摩擦轮轴承在工作过程中处于连续运转状态。辅助工作时间,摩擦轮与飞轮脱离,摩擦轮空转。当摩擦轮与飞轮接触后,摩擦轮承受螺旋副的摩擦负荷。当砧块与工件接触后,摩擦轮承受工作负荷。由此可见,摩擦压力机中的摩擦轮类似于机械压力机中的飞轮,与机械压力机相同的理由,摩擦轮轴承最好采用滚动轴承。

2) 摩擦轮在旋转过程中有轴向移动,同时承受很大的轴向力,必须采用止推轴承。

3) 润滑剂不能滴到摩擦轮上,最好采用密封式的干油润滑。

4) 摩擦轮同时承受轴向和径向负荷,负荷中等,有冲击。

5) 摩擦轮承受偏心载荷,轴承承受的压力不均匀,局部压力很大。

(2) 润滑方法 滚动轴承干油润滑,油枪加油,每班一次。如采用滑动轴承,可用油环法润滑。

(3) 润滑材料 2 号、3 号钙基润滑脂, L-AN 全损耗系统用油。

4. 气缸的润滑

摩擦压力机上的气缸有平衡缸、缓冲缸、顶出缸和操纵气缸等。

气缸采用油雾润滑。润滑剂为 L-AN32、L-AN46 全损耗系统用油。关于油雾润滑的详细情况可参看机械压力机离合器、制动器、气缸部分。

5. 拨杆轴承的润滑

拨杆用来推动摩擦轮作轴向移动,其上有三个销轴轴承,其润滑情况可参看锻锤部分。

(三) 锻锤的润滑

锻锤分空气锤、蒸汽—空气锤、无砧座锤,液

压锤等。

空气锤用于自由锻和胎模锻进行中、小批量生产,落下部分重量65~750kg,每分钟锤击次数105~245次。空气锤自带电动的压缩空气装置,不需要外供工作气体。

蒸汽—空气锤常用0.6~0.9MPa的蒸汽或压缩空气驱动。锤头打击速度7~9m/s。每分钟打击次数:自由锻锤90~110次,模锻锤40~80次。落下部分重量:自由锻锤630~5000kg,模锻锤1000~16000kg。自由锻锤用于中小批量生产,可进行自由锻和模锻。模锻锤用于大中批量生产,可进行多模膛模锻。

无砧座锤由蒸汽或压缩空气驱动,工作时上下锤头同时运动而对击,使工件变形。打击时的震动不传到基础上去。有立式钢带联动和液压联动两种。打击能量16~160×10⁴N·m。最高打击次数,每分钟25~45次。

液压锤采用液压驱动油缸,当压力油进入油缸下腔,使锤头上升到所需高度后,进油阀关闭,排油阀开,锤头落下,靠位能打击。液压锤用油作传压介质,油缸自身可以润滑。导轨可以利用打击时油缸密封处渗漏的油飞溅到导轨上的油滴进行润滑,所以液压锤无须特别加以润滑。

锻锤的特点是打击速度非常快,且伴有冲击、震动。使用蒸汽的锤,汽缸温度很高,给润滑剂提出了很高要求。

1. 蒸汽—空气锤、无砧座锤的润滑

蒸汽—空气锤、无砧座锤结构较简单。共同的润滑部件是汽缸、分配阀、导轨,不同的润滑部件,蒸汽—空气锤是操纵机构的销轴,无砧座锤是滑轮。

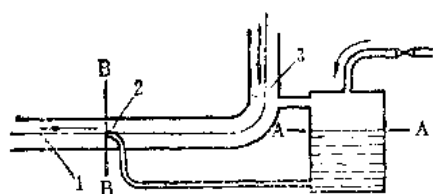


图9-2-5 蒸汽—空气锤的蒸汽汽缸自动加油装置原理图
1—压力气体管 2—油管嘴 3—储油箱与压力气体管道连接处

(1) 汽缸的润滑

1) 工作特点 大型自由锻锤、模锻锤等采用过热蒸汽,温度高达300℃以上,故对润滑油提出了十分严格的要求。蒸汽缸和分配阀的润滑油应具有较高的闪点、最小的蒸发量,较高的精度与优良的油性、较好的抗水性和防锈性。

2) 润滑方式 最早蒸汽锤的汽缸润滑是用稀油泵安装在锤柱上靠操纵机构杠杆的活动向各润滑点注油。由于锻锤震动过大,固定螺钉和泵内机件常被震松或震坏,使泵不能达到预期的效果。现通常改用油雾润滑。

当锻锤为单台时,锤的汽缸的润滑除采用机械压力机的离合器、制动器气缸采用的喷雾油杯润滑装置外,还可采用图9-2-5所示的自动加油装置。将润滑油加入容器内,并采用浮标装置保持容器内的油面高度A-A与油管2末端出口处的高度相同。当管1中无空气流动时,润滑油亦保持静止不动。但当开动汽锤,有蒸汽或压缩空气在管1流过时,点3与断面B-B之间由于克服摩擦阻力而产生一定的压力降,形成两点之间的压力差,润滑油因之不断被压入管1中而雾化,随着气流进入汽缸内润滑缸壁。

润滑油管道上应设置阀门,以便调节进油量。盛油容器应安置在远离锤身的地方,以防止锤振动震松了调节阀,使润滑油失控。

当锻锤为多台时,车间内各台锻锤的汽缸可采用稀油集中润滑,见图9-2-6。设置单独的油泵装置,油泵以3MPa的压力喷入蒸汽总管,经过安置在总管内的细小喷嘴将润滑油喷成雾状与蒸汽混合进入各锻锤的汽缸内。根据锻锤开动数量的多少来改变泵的出油量。这种润滑装置较简单、便于维修、能

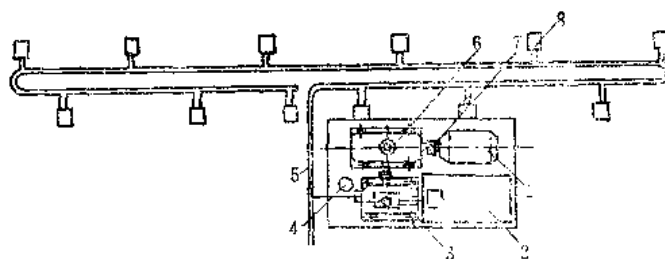


图9-2-6 锻锤集中润滑示意图
1—电动机 2—油箱 3—油泵 4—压力表 5—进气管
6—蜗轮减速器 7—联轴器 8—银插

保证连续供油,对拥有多台锻锤的工厂是适用的。它的缺点是对近点供油量小,而对远点供油量小。

无论采用何种喷雾润滑装置都不是很理想的润滑方式,它是在特定条件下被迫使用的。因为蒸汽或压缩空气中的油雾有相当部分不能落到缸壁上,而随空气排出,污染环境。或随蒸汽排回锅炉,当油过量时会引起锅炉内沸水发泡,甚至造成事故。因此,要求进入锅炉凝结水的油含量不应超过 10^{-6}mg/kg 。

3) 润滑材料

① 汽缸内壁 采用过热蒸汽的汽缸应使用38、52、62号汽缸油,采用饱和蒸汽的汽缸应使用11号和24号汽缸油。

② 活塞杆(锤杆) 活塞杆的密封通常采用高压石棉铜丝布V形密封圈或聚四氟乙烯塑料密封圈。采用这两种密封圈,润滑油常被擦掉,不易进入密封圈内,故常采用固体润滑方式。

高压石棉铜丝布V形密封圈是用长纤维石棉绳加上铜丝织成布,每层石棉铜丝布之间刷一层二硫化钼、石墨润滑脂和耐热橡胶一起经压制而成。石墨、二硫化钼润滑脂起润滑作用,铜丝除作加强筋外,也可减小摩擦。

聚四氟乙烯塑料密封圈是采用聚四氟乙烯树脂、填料经常温模压,再经高温烧结而成,其成分见表9-2-1所示。

表9-2-1 聚四氟乙烯密封圈成分

成分(%)	编号	
	1号	2号
聚四氟乙烯树脂	78	83
青瓷粉	15	15
二硫化钼	2	2
石墨	5	

青瓷粉提高了强度和硬度,又能减少摩擦。二硫化钼、石墨起润滑作用。

(2) 导轨的润滑

1) 工作特点 ①由于锤杆易坏,锤击时不允许出现大的偏心;②滑块速度快,7~9m/s;③锻锤结构紧凑,导轨离热工件很近,加上汽缸温度高,所以导轨温度高;④导轨垂直。

由于这些特点,要求润滑剂耐高温,并具有中等粘度。

2) 润滑方式 如果汽缸采用稀油集中润滑,有单独的润滑油泵,导轨也采用稀油集中润滑,否则采用稀油或干油分散润滑。用油枪每班加油一次。

3) 润滑材料 当采用稀油集中润滑时,导轨与汽缸采用同一种汽缸油。当采用干油分散润滑时可采用复合钙基脂或钠基脂与汽缸油的混合物。当采用稀油分散润滑时,可采用11号或24号汽缸油。

(3) 操纵机构和滑轮销轴的润滑 由于负荷小、速度低,发热不严重。可采用稀油或干油分散润滑,用油枪每班加油一次。润滑材料为L-AN46 L-AN68全损耗系统油或1号、2号钙基脂。

2. 空气锤的润滑

空气锤的结构如图9-2-7所示。电动机通过带轮、齿轮带动曲轴旋转,曲拐的转动使压缩气缸活塞上下运动而供给压缩空气,通过旋阀的分配而进入工作气缸上下腔,迫使活塞往复运动进行锻击。

空气锤比蒸汽—空气锤复杂得多,除蒸汽锤具有的相同部分外,还有空压机的一套装置。其中,工作汽缸、导轨、操作机构销轴等润滑部件是相同的。但增加了传动轴轴承、曲拐轴承、连杆、齿轮、压缩缸等润滑部件。

空气锤润滑点多,有采用集中润滑的必要。同时,空气锤由于安装传动轴、压缩缸等的需要,锤身刚性很大,另外,吨位小,所以震动较小。润滑泵及元件不易被震松、震坏,锤身内又有足够空间安装这些元件,这就具备了采用集中润滑的可能性。空气锤摩擦副的负荷一般较小,且速度较快,所以采用稀油集中润滑。

稀油集中润滑的自动油泵可用气动油泵或单柱塞油泵。

气动油泵是利用压缩气缸的气压作动力,其结构如图9-2-8所示。上部为一个油桶,下部有一个水平活塞,油桶和活塞之间的通路有一个止回阀,压缩空气接口与压缩气缸的上腔相通。空转、提锤和压锤工位时,压缩气缸上腔始终与大气相通,气体无压力,气动油泵不动作。当锤处于轻、重连续打击工位时,压缩气缸上腔随曲拐的转动而处于压气和吸气的交替过程中。曲拐在轴线上部、压缩气缸上腔空气被压缩,压缩空气进入水平活塞左端,推动活塞向右移动,将活塞右端的润滑油压向各润

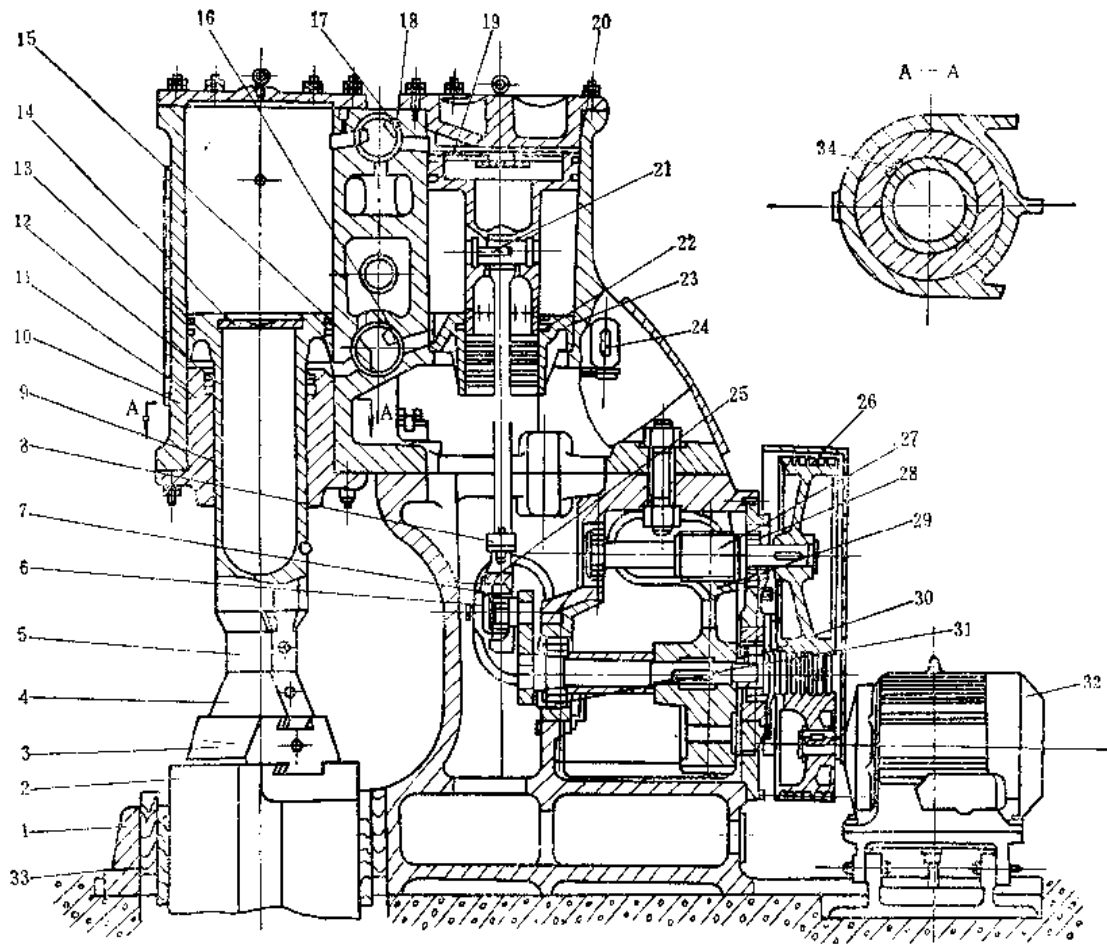


图9-2-7 空气锤的结构

1—底座 2—胎座 3—胎垫 4—下砧块 5—上砧块 6—拐轴 7—轴承 8—连杆 9—摆杆 10—工作缸
 11—导程 12—阻漏阀 13—活塞环 14—堵流 15—下放阀 16—下阀套 17—上放阀 18—上阀套 19—
 压缩活塞 20—活塞环 21—连杆销轴 22—阻漏阀 23—导程 24—气动油泵 25—连杆接头 26—V型
 皮带 27—小齿轮 28—轴承 29—大齿轮 30、31—轴承 32—电动机 33—木楔 34—导向板

滑点。由于止回阀的作用，活塞右端的油不会压回油箱。当压缩缸上腔吸气（与大气相通）时，水平活塞在弹簧力的作用下回到原始位置，同时油桶里的油被吸到活塞右端。锤头每下落一次，就供给一定的润滑油，调节活塞的行程即可调节供油量。相反，压缩空气接口也可与压缩缸下腔相接，其原理相同，而供油时间略有差别。

单一柱塞泵可利用传动轴作动力，经过带驱动另一带凸轮（或曲拐）的轴，传动轴旋转带动凸轮轴旋转，凸轮轴旋转一圈，泵的柱塞就工作一个循环，结构比气动油泵复杂得多。

（1）气缸的润滑 气缸包括工作缸和压缩

缸。润滑的部位是缸壁和活塞杆。

1) 工作特点 ①和蒸汽锤的汽缸一样采用金属活塞环，靠环的弹力使环与缸壁紧贴起密封作用，故缸壁磨损快，要特别注意润滑；②运动速度极快，线速度可达 $7 \sim 9 \text{ m/s}$ ；③工作温度比常温高得多，比蒸汽锤汽缸温度低，大约 $70 \sim 100^\circ\text{C}$ ；④压缩空气水湿严重。

从上述工作特点可以看出，润滑油的粘度应稍高，在较高温度下仍能保持一定的粘度，足以抵抗活塞环的挤压；较高的挥发点和闪点，以减少在高温条件下的蒸发并防止偶然产生火花引起燃烧；良好的抗氧化安定性，以降低氧化速度。

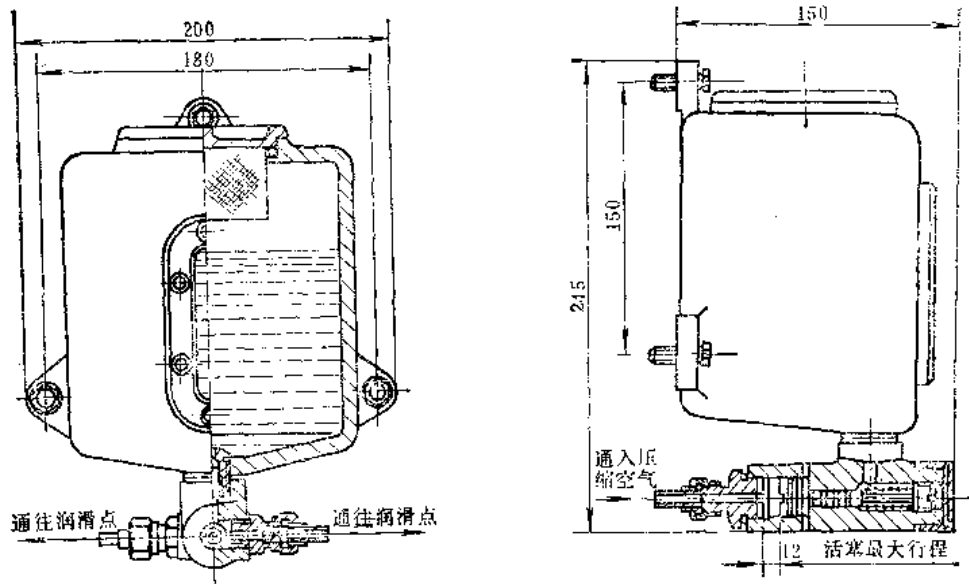


图9-2-8 气动油泵

因为气缸内壁发热面很大，而润滑油只能注入很小面积的润滑槽内，靠活塞往复运动把润滑油带到缸内壁的其它部分上去，这部分油不能构成循环，因而也无法降低温度。

2) 润滑方式

① 工作气缸和压缩气缸内壁的润滑 如前所述，蒸汽锤的汽缸由于锤震动大，泵、阀元件易坏而改用喷雾润滑。空气锤震动较小，仍采用稀油集中润滑。压缩气缸上腔空气被压缩的同时，润滑油泵就供给定量的油。压缩气缸压力增加到某一值，锤头就开始下落，进行锤击。也就是说供给润滑油是在锤下落前一瞬间，然后活塞头将润滑油带至整个缸内壁。为了实现这一点，活塞头上开有环形润滑槽。开润滑槽有两种方式：第一种是环形润滑槽开在两活塞环之间。第二种是环形润滑槽开在活塞环的下部。油管接头设置在气缸壁上，其位置正好和活塞头处于最上位置时的环形润滑油槽相对应。当油泵把润滑油注入气缸内活塞头的环形润滑槽后，锤头就开始下落，活塞环就把润滑油刮至整个缸内壁表面。压缩缸的润滑和工作气缸的润滑是同样道理。不同的是并不是压缩气缸的活塞每动作一次就注一次油，而是压缩气缸上腔空气被压缩时才注一次油。

当压缩空气接口与压缩缸下腔相接时，在提锤工位（锤头悬于上部）和锤击工位，压缩缸下腔部供给压缩空气，气动油泵也同时供给润滑油，比接

通上腔有更多的供油次数。

② 锤杆和活塞杆的润滑 工作气缸和压缩气缸下部是导轨，导轨采用HT200铸铁，耐磨性很好。锤杆和压缩缸活塞杆在各自的导轨内滑动。导轨上部有阻漏圈，防止压力气体漏出。为了便于安装，阻漏圈由四片弧形金属块组成，各块接头处有0.3~0.75mm的间隙。导轨内表面全长有迷宫式小槽，既可以贮存润滑油，又可以起密封作用。工作气缸和压缩气缸内壁的润滑油会不断沿内壁流下来，沉积在缸底部，并通过阻漏圈之间的间隙流到迷宫式油槽内对锤杆和活塞杆进行润滑。

压缩气缸活塞杆与连杆连接的销轴位于活塞杆内部，不便直接润滑，而是在活塞杆上设有V形油槽，油槽与销轴上的润滑油孔对准，并有小孔相通。当活塞杆在导程内往复运动时，粘附在导轨上的润滑油被刮至V形油槽内，顺小孔流至销轴的油孔中，使销轴和轴套之间得到润滑。

有些空气锤，气缸上的导轨很短，有单独的锤头导轨，其工作特点和蒸汽—空气锤的导轨相同，可用润滑气缸的油泵集中润滑，也可用二硫化钼润滑脂，用油枪分散润滑。

③ 润滑材料 从速度低、温度较高两个因素综合考虑，应采用中等偏高粘度，有较高闪点的润滑油，可采用L-DA A100压缩机油或11号饱和汽缸油。

(2) 轴承的润滑 空气锤的传动系统的轴承

和机械压力机主传动系统的轴承有很大的不同。机械压力机由于属重负荷传动,除离合器—飞轮轴轴承采用滚动轴承外,其余的传动轴和曲轴均采用滑动轴承。空气锤属轻负荷传动,新式的全部采用滚动轴承,只有老式的才是滑动轴承。

空气锤传动系统的滚动轴承通常可采用2号、3号钙基润滑脂油枪加油,每月一次。也可用润滑气缸的油泵进行集中润滑。

(3) 齿轮的润滑 齿轮的润滑和机械压力机的齿轮相同。

(4) 操纵机械销轴的润滑 与蒸汽—空气锤同。

(四) 液压机的润滑

液压机按传压介质不同分为水压机和油压机,按工艺用途不同主要分为锻造液压机、模锻液压机、冲压液压机和挤压液压机等。从润滑观点出发,只需考虑水压机和油压机两大类。

由于液压机是液压传动,没有机械传动中的轴承、齿轮等摩擦副,而且传压介质的液体,本身可以同时起到润滑和冷却双重作用,所以,液压机的润滑问题简单得多。主要润滑部件是泵、阀元件、液压缸和导轨。

油压机用油作传压介质,泵、阀元件浸泡在油中,不必考虑润滑问题,只有导轨需要润滑。

水压机用水作传压介质,水虽有一定的润滑性,但润滑性能很低,而且有很强的腐蚀性,泵、阀元件和水压缸会很快锈蚀,有必要在水中加入乳化剂,以提高水的润滑性和防锈性。

无论是水压机,还是油压机,需要单独润滑的是导轨,润滑点少,通常不必采用集中润滑,而是采用分散润滑。只有大型水压机的移动工作台,有采用稀油集中润滑的。

1. 水压油泵、阀元件和水压缸的润滑

(1) 工作特点

1) 负荷较大 通常主系统采用21~32MPa的工作压力,运动件间常采用橡胶或夹布橡胶作密封材料,摩擦力很大;

2) 元件浸泡在水中,锈蚀严重;

3) 水的过滤不良,水中含有杂质。

(2) 润滑方式和润滑材料 水压油泵、阀元件的润滑靠采用乳化水。把2%~5%的乳化剂加入软水中经乳化水搅拌器搅拌后送入水箱。现介绍

两种乳化脂的配方供参考。

第一种配方(按重量比): L-AN15~L-AN32全损耗系统用油68%;松香10%;油酸(工业用)12%;碱液(浓度32%NaOH)5%;酒精(工业用)5%。

配制工艺:①将机油、油酸、松香混合在一起,加热到120℃左右,使松香全部熔化为止,搅拌均匀;②松香熔化后将温度保持在110℃左右,徐徐加入碱液,边加边搅拌;③待冷至35~40℃时加入酒精,搅拌20min即可。

第二种配方(按重量比): L-AN15~L-AN68全损耗系统用油70%;油酸(工业用)12%;苯酚(工业用)2%;三乙醇胺(工业用)4%;联环己胺(工业用)2%;石油磺酸钡和甲苯(1:2)溶液10%。

配制工艺:①在15~30℃常温下将磺酸钡加入甲苯中溶解,可加热到80~100℃;②将苯酚用温水烫化加入油酸中,同时加入机械油、磺酸钡甲苯溶液,搅拌40~80min后加入三乙醇胺和联环己胺,再搅拌20min即成。

两种配方操作过程中要一直搅拌。原料妥善保管,防止暴晒、雨淋。制成的乳化脂需用筛网过滤,除去浮皮及沉淀物。

如能正确选用乳化脂的配方,可以对水压机各部分起润滑、防锈、冷却、洗涤等作用。有的泵站由于管理不善,漏水严重,乳化水很快流失。或者嫌配制乳化水麻烦,或因乳化水易变腐发臭,长期不使用乳化水,直接使用未经软化的清水。更有甚者,使用含泥沙极重的河水,造成严重恶果。它一方面容易带进杂质,研伤运动部件,另一方面加速管道、泵、阀、容器的冲刷和锈蚀,大大缩短了零件和密封的寿命。

乳化水的冷却对负荷重和地处南方的水泵站非常重要,不仅可以防止乳化水变质发臭,而且可以延长密封的使用寿命。为此,应考虑采用较大容积的水箱,增大自然散热面积,同时要设置冷却器。

对水压工作缸这样的承受重载摩擦的部件,仅仅采用乳化水还嫌不够,必须给以单独的重点润滑。过去的润滑方法是在缸的压套上开环形油槽,用油枪注入润滑脂或润滑油,但大多数压机是立式,工作缸离地面很高,加油十分不便,结果形同虚设。时间长了之后,油路堵塞,想加油也加不进去。比较简便的办法是在安装V形夹布橡胶密封圈时,在密封圈的所有表面上涂上二硫化钼润滑脂,更换一

改密封就涂一次，并在一个月左右定期在柱塞表面涂一层，二硫化钼润滑脂有很强的附着力并具有抗水性，能保持较长时间。

对水压缸的柱塞来说，耐磨是主要的，减少摩擦阻力是次要的。因此，更彻底的办法是提高柱塞表面硬度和减小粗糙度，在柱塞表面镀铬。这样表面硬度提高，柱塞不易磨损和拉伤，提高了密封的寿命。

2. 导轨的润滑

(1) 工作特点

1) 速度较慢 (除快锻液压机)、间歇运动。其中速度较快的锻造液压机，工作行程速度60~150mm/s;

2) 各种液压机作用在导轨上的负荷各不相同。锻造液压机有时操作不当会出现较大的偏心负荷，立柱上会出现较大局部压力。它的移动工作台负荷也较大；模锻液压机、冲压液压机的加工作件是预先设计的，偏心较小，因而作用在立柱上的负荷也较小；挤压液压机承受中心载荷，导轨只承受运动部件重量，负荷最小。一般说来，液压机的导轨载荷为低到中等，只有个别情况才出现重载。

3) 大部分液压机用于热加工，导轨温度高一些，特别是挤压机的挤压筒导轨，紧靠始终保持400℃的挤压筒，导轨表面温度接近100℃。

4) 水压机导轨有被水浸蚀的可能，润滑材料要求抗湿性。

综合上述特点，润滑材料应具有中等粘度、较好的抗腐蚀性 and 一定的油性。

(2) 润滑材料

1) 垂直导轨的润滑材料要求粘度大一些，以防止流失，可采用1号、2号钙基润滑脂或L-AN109、L-AN150全损耗系统用油。

2) 水平导轨的润滑材料一般采用L-AN32、L-AN46全损耗系统用油。挤压液压机的挤压筒导轨和移动模架导轨温度较高，可采用11号汽缸油。

(3) 润滑方式 以前通用的方法是在立柱铜套或导向板中开油槽，用油枪加油。这种方法只要能保证定时加油，润滑效果还是可以的。但是在实际使用中，由于这些导轨负荷较轻，短时间内看不出明显的损伤、润滑问题往往被忽视，长期不加油，油槽、油孔中的油被污染、变质、积炭而堵塞，不能继续润滑。因此，在某程度上讲润滑的管理和维护比选择合适的润滑材料和润滑方式更重要。

导轨采用油线润滑在维护管理上比较简单些。

在水平导轨的导向装置两端而设置防尘刷，防尘刷与导轨紧密接触，刷子由羊毛毡制作，在刷子上面适当位置安放一个油盒，油盒和刷子之间连接着线绳，由线绳的毛细管作用而将油盒中的油输向毛刷。毛刷随导向装置的移动而将润滑油涂到导轨面上。这样，润滑油量由线绳的粗细来控制、导轨上润滑油的分布也均匀。维护工作量是隔较长一段时间向油盒加油并清洗羊毛毡。

立式压机用立柱作导轨，活动横梁回程时，限位套有可能与上梁接触，限位套上端无法设置油盒，油盒可安置在限位套侧面，比上端面略低一些。立柱铜套比限位套短若干，在铜套上部放置防尘毡，其它情况与水平导轨相同。

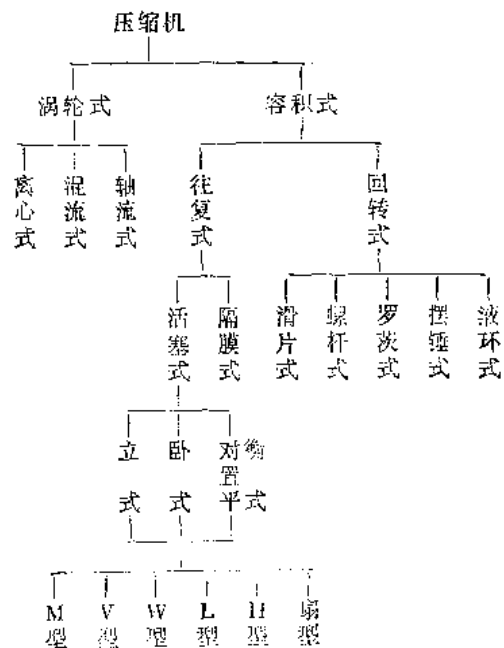
锻造液压机和模锻液压机移动工作台的防尘问题要加以特别重视。当需要取出锻件时，移动工作台移出，导轨面暴露出来，移动工作台上的锻件氧化皮易落入导轨，造成导轨拉伤。

第3节 气体压缩机的润滑

(一) 概述

气体压缩机是把机械能转换为气体压力能的一种动力装置，常用于为风动工具提供气体动力，在石油化工、钻采、冶金等行业也常用于压送氧、氢、氨、天然气、焦炉煤气、惰性气体等介质。

按压缩机的结构工作原理可大致分类如下



按排气压力不同压缩机还可分为低压压缩机——排气压力小于1.0MPa；中压压缩机——排气压力1.0~10MPa；高压压缩机——排气压力10~100MPa；超高压压缩机——排气压力大于100MPa等等。低压压缩机多为单级式，中压、高压和超高压压缩机多为多级式，最多级数可达8级，目前国外已制成压力达343MPa聚乙烯用的超高压压缩机。按压缩介质的不同，一般压缩机还可称之为：空气压缩机、氧气压缩机、氮气压缩机、氢气压缩机等等。压缩介质的类型如表9-3-1所示：

表9-3-1 压缩机工作介质的类型

一般气体和惰性气体	碳氢化合物气体	化学活性气体
空气	石油裂解气	氧
二氧化碳	石油废气	氮
氢	天然气	氯化氢
氯	焦炉煤气	硫化氢
氨	城市煤气	二氧化硫
氮		

表9-3-1 所列举的碳氢化合物气体中，石油裂解气和石油废气的主要成分为氢、甲烷、丁烷、乙烯、丙烯等；焦炉煤气和城市煤气的主要成分为氢、甲烷、一氧化碳、二氧化碳及氮等；天然气的主要成分为甲烷。碳氢化合物气体可以作为单一成分气体被制取和压送，也可作为混合成分的气体被制取和压送。在气体压缩机中，压缩介质的成分和性质将与所采用的润滑方式和润滑材料的选取密切相关。

(二) 气体压缩机的润滑方式及特点

在压缩机中润滑不仅可降低机器的摩擦和磨损，同时还起到密封、冷却和降低运转噪声的作用，良好的润滑条件是压缩机长期可靠工作的重要保证。但对某些类型的压缩机如罗茨式压缩机，因转子相互间和转子与壳体间可经常保持一定间隙而无滑动接触，故可无油润滑；小型干式的螺杆式和滑片式压缩机也可在无润滑的条件下工作；在极低温度下（-20~-50℃或更低）工作或压缩高纯度的气体的活塞式压缩机，为防止润滑介质冷凝或润滑油混入到压送气体中去也可采用无油润滑方式，但这时活塞环和活塞杆可采用迷宫式的密封结构，或采用石墨或聚四氟乙烯等抗磨材料制造的活塞环或

密封填料，迷宫式无油润滑压缩机的活塞和填料箱的结构如图9-3-1所示。本节将重点说明“油”润滑压缩机的润滑方式。

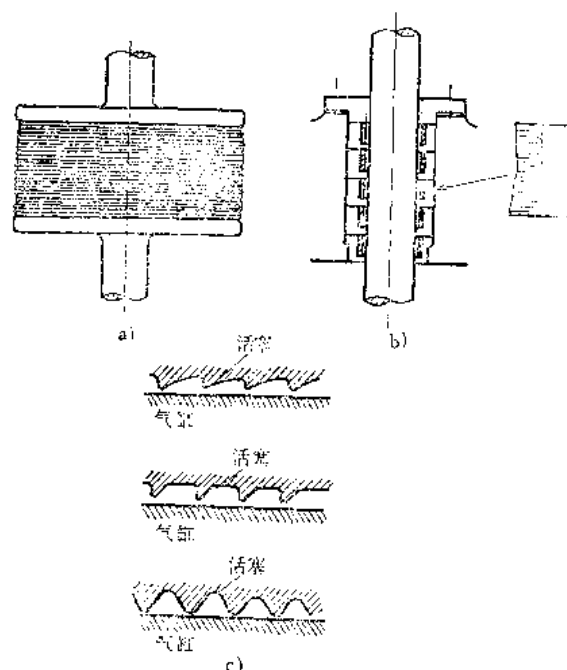


图9-3-1 迷宫式无油润滑压缩机
a) 活塞 b) 填料箱 c) 迷宫形状

1. 活塞式气体压缩机的润滑

活塞式压缩机是在各种压力级下广泛应用的压缩机，其润滑部位原则上可分为两类，其一为与压缩气体直接接触的气缸与活塞、密封填料与活塞杆等内部零件的润滑，其二为不与压缩气体接触的外部传动机构诸如曲柄销、曲柄轴承、连杆滑块、滑道、十字头等零部件的润滑。同时具有内部零件和外部零件的润滑是压缩机区别于其它机器润滑方式的重要特点之一。

压缩机内部零件的润滑常用以下两种方式：

- (1) 飞溅式；
- (2) 强制注油给油式。

飞溅式润滑多用于无“十字头”的可移动单作用小型压缩机，对这种小型机内部零件和外部零件的润滑因结构限制难以分开，故此时可采用同一种润滑油，以曲轴箱为油池，靠连杆自身的运动将油液飞溅到气缸表面和转动的轴承上。这种润滑方式无法调节各润滑部位所需要的润滑油量，当曲轴箱中油面较低时飞溅的油量少，可能出现润滑油量不足的情况，从而引起气缸和轴承发热；反之，当油

面过高时油的搅动损失大，同样也会引起油液和轴承发热。此外，飞溅式润滑无法对润滑介质进行强制性的冷却和过滤。在这种润滑条件下，使用维护时应十分注意定期换油和清洗油池（曲轴箱），以防止出现“脏油”而加剧磨损的恶性循环。

通常对大、中容量，多级、带十字头传动的中、高压压缩机，以上所说的内部零件和外部零件的润滑均为相互分开的独立系统，可分别采用各自所要求的润滑介质或润滑油。外部零件润滑为油泵压力供油强制循环式润滑系统，其润滑原理如图9-3-2所示。该系统不仅可单独调节和分配各润滑点的给油量，并因设有独立的油泵、油箱、冷却器和过滤器等，可使润滑油液得到充分冷却和过滤，从而可长时间保持油液的清洁和相对恒定的油温。内部零件的润滑则采用多头注油器将压力油强制注入到气缸及活塞杆的填料密封处。注油器的结构如图9-3-3所示。

注油器实际上是一个小型柱塞泵，通常它的吸（压）油柱塞是通过机械如压缩机曲轴上的凸轮带动，因此当压缩机停止工作时，注油器也将随之停止供油。注油器可直接从油池中吸油，并把油压向润滑点，它的供油是间歇性的，通过调节柱塞的工作行程，可方便地调节注油器每次的供油量。注油器可以单独使用，也可将几个注油器组合在一起集中供油，单头注油器的基本参数，参见表9-3-2。

采用注油器强制给油时，应注意气缸上给油接头的位置，它应置于活塞在死点位置靠近缸头的第一道活塞环和第二道活塞环之间，这样不仅在全行程上润滑比较充分，而且对密封有利。给油接头的合理位置如图9-3-4所示。

气缸内部润滑所需要的油量可大致按以下公式计算：

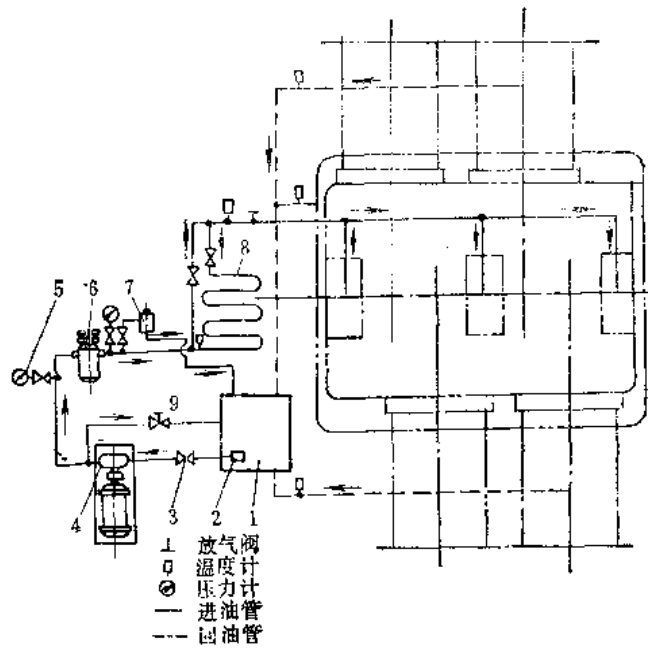


图9-3-2 外传动循环油路

- 1—集油箱 2—粗过滤器 3—逆止阀 4—油泵 5—压力计 6—细过滤器
7—离心式过滤器 8—油冷却器 9—安全溢流阀

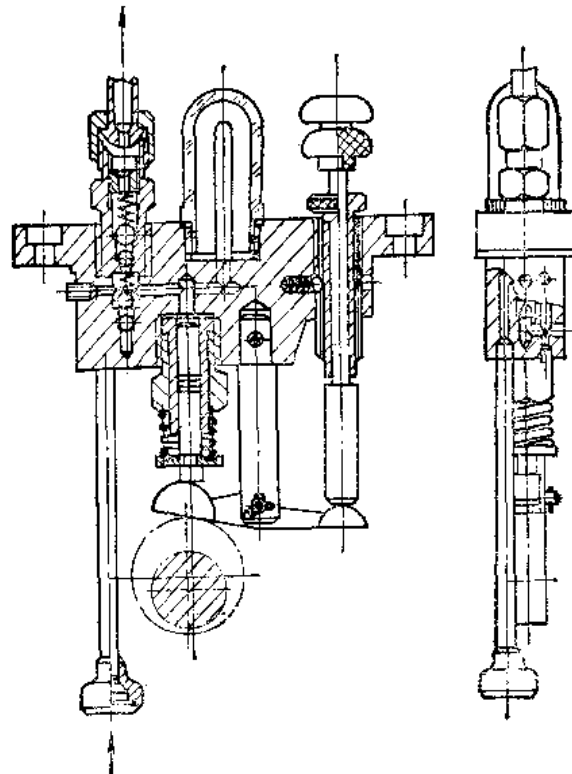


图9-3-3 注油器结构

表9-3-2 单头注油器的基本参数

类别	代号	注油压力 (MPa)	每双程最大注油量 (cm^3)	柱塞直径 (mm)	油量调节范围 (每双行程) (cm^3)
高压	G	31.5	0.18	8	0~0.18
中压	Z	16.0	0.32	9	0~0.32

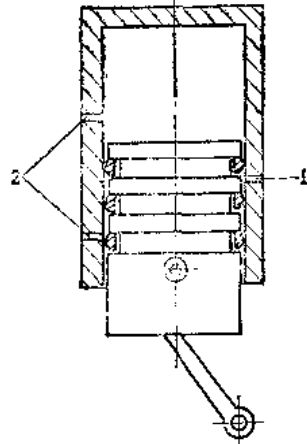


图9-3-1 气缸的合理给油示意图

1—正确配置的油管接头位置 2—错误配置的油管接头位置

$$Q = k \times 2\pi DLN \quad (\text{cm}^3/24\text{h})$$

式中 Q ——润滑油量 ($\text{cm}^3/24\text{h}$);

D ——气缸直径 (m);

L ——气缸行程 (m);

N ——曲轴转速, (r/min);

k ——系数, 与压缩机的工作压力有关。当工作压力小于1.0MPa时, k 取1~2; 当工作压力大于5.0MPa时, k 取3~5; 当工作压力小于30.0MPa时, k 取20~50。

计算出的 Q 值仅为润滑油量的大致数值, 实际油量可按压缩机的运行情况(如噪声大小, 发热状况、磨损程度等)及所采用的润滑介质的类型、工作温度、冷凝液混入的多少等予以适当调整, 并以停机检查气缸内部和气阀被油湿润的程度适当为宜。

对多级活塞式压缩机, 通常只需在最初的一级或二级气缸施以润滑。如多级气缸每级都设有中间冷却器和油气分离器吸收气体中所含的油分时, 则每级气缸都需单独润滑, 但后级气缸所需的润滑油量要比初级气缸小得多。

不论是小型或大、中容量的压缩机, 内部零件

润滑油量的不足不仅加大了气缸和活塞杆的磨损、压缩机的功率损耗, 引起气缸和密封填料的发热, 并因容易漏气而降低了压缩机的效率, 同时也会加速气阀的磨损, 甚至可能引起锈蚀。反之, 润滑油量过大, 润滑油容易残留在气缸和阀室里, 易造成析碳和淤透, 从而导致气阀发生故障和成为排气温度异常上升的原因。

对外部传动机构零件的润滑, 如采用独立的强制循环润滑系统, 其循环油量可按传动件的发热状况进行计算:

$$Q_0 = \frac{(0.2 \sim 0.3) \times 860 N_s (1 - \eta_m)}{60 \rho C \Delta t} \quad (\text{L}/\text{min})$$

式中: N ——压缩机的轴功率 (kW);

η_m ——压缩机的机械效率,

大中型压缩机 $\eta_m = 0.90 \sim 0.95$

小型压缩机 $\eta_m = 0.85 \sim 0.90$

微型压缩机 $\eta_m = 0.80 \sim 0.87$;

ρ ——润滑油的密度 (kg/L), 可取 $\rho = 0.9 \text{ kg}/\text{L}$;

C ——润滑油的比热容, $C = 1884 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Δt ——润滑油的温升 ($^{\circ}\text{C}$), 可取 $\Delta t = 15 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

不论压缩机压缩的气体类型如何, 外部传动零件的润滑几乎均为油润滑, 所以上述公式对活塞式气体压缩机是普遍适用的。强制循环系统的供油压力一般为0.05~0.3MPa, 并按上式计算的循环油量, 依此可用来选择设计系统中的润滑油泵、冷却器、过滤器、管路、阀门等元件组成系统, 也可按系统的压力流量参数选择标准的稀油润滑装置。

2. 膜片式压缩机的润滑

它是利用膜片的往复振动压送气体, 膜片由液压缸的容积变化加以驱动, 因此气缸和液压缸是相互隔离的, 气缸中无活塞也无需润滑, 仅外部传动机构和液压缸部件需要润滑。因膜片的密封性很好, 不存在象活塞式压缩机那样的漏气和油气混合的问题, 因此润滑条件较为优越。液压缸是在充满油液条件下工作的, 本身已自行润滑, 而外部传动机构的润滑多为滴漏式, 即利用液压缸中缸体和活塞间隙中泄漏的油液流到连杆和曲轴上, 再分散到各个润滑点进行润滑。外部润滑的工作条件和对润滑的要求与普通机器类似, 润滑介质多采用N32液压油或相当粘度的汽轮机油或机械油。除非有特

殊要求,绝大多数机型的膜片式压缩机,其外部传动机构的润滑都与液缸的工作介质采用同一牌号的润滑油。

3. 滑片式压缩机的润滑

滑片式压缩机属回转容积式气体压缩机,其结构简单,制造方便,易于维修,但因滑片在转子槽中和滑片头部在气缸内壁上的滑动摩擦损失大、机械效率低,故只做成可移动式或小型固定式的压气装置。滑片式压缩机一般不超过二级,单级最高压力不大于0.7MPa,两级可达0.8~1.0MPa,排气温度多在70~120℃之间,最大排气量可达9000m³/h。

滑片式压缩机的主要滑动和润滑的部位有:滑片与气缸内壁(亦称定子),滑片与转子上的滑片槽,滑片、转子与气室的前后端盖,以及支持转子转动的轴承等。

滑片式压缩机按其润滑方式有以下三种:

(1) 干式亦称无油润滑的滑片式压缩机 这种压缩机的单级压力比和非气量都较小,滑片可由酚醛夹布层压板或由以聚四氟乙烯为基体充填青铜粉、石墨、玻璃纤维等材料制成。这些滑片材料的吸水性小、耐热和抗磨性好,在与金属有滑动接触的地方可不予专门润滑,而压缩机中的转子轴承可采用润滑脂润滑。

(2) 滴油润滑的滑片式压缩机 这种压缩机也用于单级压力比较低但排气量较大的场合。这时滑片多为采用优质合金钢制成的金属滑片。润滑多用针筒式的滴油油杯,(GB1158,参见第7章)借油的自重向气缸内部自动滴油进行润滑。转子轴承也多采用润滑脂润滑。

(3) 喷油式的滑片式压缩机 该型式的压缩机用于中等容量、单级压力比较高的场合。滑片可由金属或非金属材料制成。喷油式的润滑系统如图9-3-5所示。在滑片开始压排气的位罝,通过喷油嘴向气室内喷入润滑油,从而使压缩机气室内的相对滑动的零件得到润滑、冷却和密封。压缩机排出的气体将为油气混合物,该混合气在贮气罐中直径较大的油滴(20~50μm)首先得到分离,而8μm以下的雾状油汽将进一步在精密的油分离器中分离,分离后的油液再经过滤和冷却,重新被油泵吸入,由泵再将压力油供给喷嘴连续喷油,它的润滑油也是强制循环的。喷油润滑系统的喷油量可按下式计算:

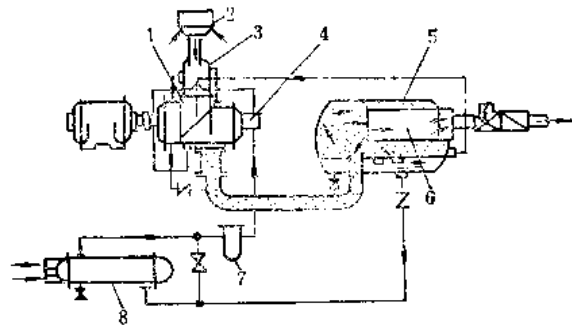


图9-3-5 喷油压缩机系统

1—压缩机 2—过滤器 3—进气调节阀 4—油泵 5—贮气罐 6—油分离器 7—过滤器 8—冷却器

$$G_0 = \frac{860N_s - GC_p(t_d - t_s)}{C_{p_o}(t_d - t_{s_o})} \quad (\text{kg/h})$$

式中 N_s ——压缩机的轴功率(kW);

G ——被压缩气体的质量流量(kg/h);

C_p ——气体的比热容[J/(kg·K)];

C_{p_o} ——油的比热容, $C_{p_o} = 1884$ [J/(kg·K)];

t_s ——进气温度(℃)

t_d ——排气(油)温度(℃)

t_{s_o} ——喷入气缸的油的温度(℃)

计算出的 G_0 是喷油润滑系统的质量流量,如已知润滑油的密度,也可将 G_0 换算为体积流量。对采用喷油润滑的滑片式压缩机,其转子轴承也将用喷油润滑系统的油泵供油,进行强制循环润滑,考虑到这类机械零部件的润滑,总的循环流量应取得比用上式计算出来的喷油量(G_0)大20%~30%。

对这类喷油润滑系统宜采用化学稳定性良好,粘度稍低的轻质润滑油,如N32回转式压缩机油或粘度与其相当的汽轮机油、锭子油,或N100回转式压缩机油等,参见第5章。

4. 螺杆式压缩机的润滑

螺杆式压缩机零件少,结构简单,运行平稳,寿命长,也可做成多级筒型式,但转子的型线复杂,加工难度较大,噪声较大,只适用于中低压、中小排气量的场合。

螺杆式压缩机的润滑方式也有干式(无油润滑)和湿式(喷油润滑)两种。它的摩擦和润滑的主要部位有:阴阳转子(从、主动螺杆)与定子(气缸或机壳),阴阳转子之间及其同步回传齿轮,以及支撑转子回转的外部轴承等。

干式的螺杆式压缩机机壳与转子间经常保持微小间隙,转子之间可借同步齿轮保持一定间隙,作

无接触回转，能够达到无润滑压缩。而外部轴承和同步齿轮仍需单独润滑，润滑介质可采用N32~N68的汽轮机油、全损耗系统用油或2号润滑脂等。

喷油式的螺杆式压缩机其润滑系统的组成及原理、喷油量的计算方法等与喷油式的滑片式压缩机完全类似，故不予赘述。喷油式的螺杆式压缩机由于其润滑作用，与干式相比可获得较高的效率，并且阳转子可直接驱动阴转子回转，而无需同步齿轮传动。喷油式的螺杆式压缩机的外部支撑轴承通常都与喷油系统采用同一种牌号的润滑油，也为强制循环润滑。常用N32或N100号回转式压缩机油。

5. 涡轮式压缩机的润滑

涡轮式压缩机是借高速转动的叶轮赋予气体以速度能，后经涡壳和排气管再将气体的速度能转换为压力能。涡轮式压缩机因其转速高、运转平稳，结构紧凑，使用寿命长，可以做到高压和大排气量，因此在冶金、石油化学工业以及作为一般的空气动力均获得了广泛应用。涡轮式压缩机与活塞式或回转容积式压缩机相比，因叶轮与壳体均可保持固定的相对间隙，无相对滑动接触的零件，故气室内零件无需润滑，润滑的部位仅为支撑叶轮转动的轴承及轴端的密封等。小型的涡轮式压缩机多为滚动轴承，可用化学和机械稳定性良好的2号轴承润滑脂润滑；中、大型高速的涡轮式压缩机多为液体动压或静压滑动轴承，采用强制循环润滑，最典型的润滑介质是N32~N68粘度等级的抗氧、防锈汽轮机油，速度高时，采用油品的粘度也应稍高。

图9-3-6为一离心式高压气体压缩机的润滑系统简图。由图可见，系统中除具有油箱、润滑泵、过滤器、冷却器、阀门、管路等基本组成元件外，作为润滑系统的动力源，还采用了一台备用的润滑泵，一旦在运行中工作泵出现故障，润滑压力下降，借助于压力继电器发讯，备用泵可立即启动，投入工作。其次系统中还备有高位油箱，当电网发

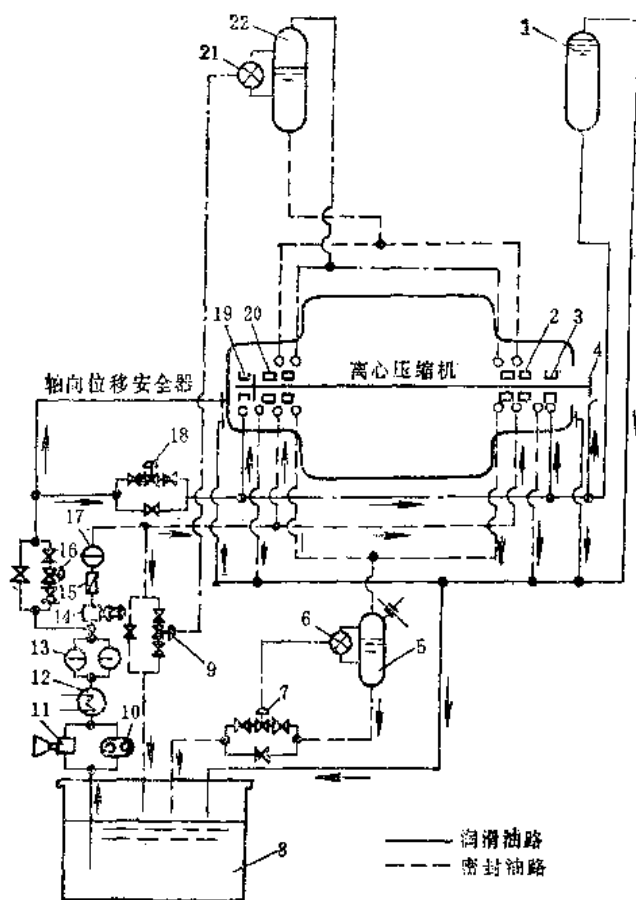


图9-3-6 油路系统

- 1、22—高位罐 2、20—浮环密封 3、19—轴承 4—联轴器 5—
油气分离器 6、21—压差变送器 7、9、16、18—调节阀 8—油箱
10—主油泵 11—备用油泵 12—冷油器 13、17—滤油器 14—高
压油泵 15—单向阀

生故障，突然断电时，高速回转的压缩机仍借惯性继续旋转，为防止轴承被烧毁，这时高位油箱中的油液因具有“位置头”，可自动流出，临时性的润滑转子轴承。高位油箱距机组中心线约5 m高，可相当于保持0.055MPa大小的润滑压力，这种高位油箱也可用有压油箱或压力罐代替，可使系统的布置更为紧凑。润滑泵输出的压力油经冷却过滤后被送入转子轴承，进行冷却和润滑；同时，另一路润滑压力油供给液压式轴向位移安全器的喷嘴，作为安全信号的发讯元件（采用其它型式的安全器时则无需供油）。因轴承中的润滑油不与高压气体接触，返回的油可不经油气分离器直接回到油箱。其次，在该系统里，润滑泵还作为高压小流量泵的前置级，为高压泵的进油口供油。高压泵输出的压力油

用于浮动环内环的密封和润滑，因在浮动环式密封中油液与高压气体接触，为保证密封，高压泵的供油压力应略高于气体的排出压力，并且因密封腔中的油液可能混入压缩空气，故从密封室中返回的油液须经油气分离器分离后返回油箱。该原理图仅为粗略和示意性的，详细原理及细致的组成，应参照润滑系统的设计。此外，目前国内已有额定工作压力为0.5MPa带压力罐的标准稀油润滑装置可供选用。

有关气体压缩机的润滑介质的要求，可参看本书第3章有关部分。

(三) 润滑剂的选择

压缩机润滑剂的选择取决于压缩机的结构类型、工作参数（压缩比、排气压力和排气温度等）及被压缩气体的性质等多种因素。活塞式压缩机工作条件较为苛刻，对润滑剂选择也较为严格，这里

将重点予以说明。

1. 不同的压缩气体决定了对润滑剂类型的选择

在氧气压缩机里，氧分会使矿物性润滑油剧烈氧化而引起压缩机燃烧和爆炸，因此避免采用油润滑，或者采用无油润滑的方式，或者采用水型乳化液或蒸馏水添加6%~8%的工业甘油进行润滑；在氯气压缩机里，烃基润滑油可与氯气化合生成氯化氢，对金属（铸铁和钢）具有强烈的腐蚀作用，因此一般均采用无油润滑或固体（石墨）润滑。对于压缩高纯气体的乙烯压缩机等为防止润滑油混入气体中去影响产品的质量和性能，通常也不采用矿物油润滑，而多用医用白油或液态石蜡润滑等等。只是在一般空气、惰性气体、烃类（碳氢化合物）气体、氮、氢等类气体压缩机中，大量广泛采用了矿物油润滑。

表9-3-3列出了压缩机压送不同气体时所用润

表9-3-3 压缩机压送不同气体时润滑剂选用参考表

介质类型	对 润 滑 剂 的 要 求	推 荐 润 滑 剂
空气 (1)	因有氧，油的抗氧化性能要好，油的闪点应比最高排气温度高40℃	L-DAB100或L-DAB150号防锈抗氧压缩机油
氢、氮	无特殊影响，可用与(1)相同的油	普通压缩机油传动部件用 L-AN100 全损耗系统用油
氧、氯、氟	气体较贵重，气体中应不含水分和油，多用膜片式压缩机压送	内腔用L-HL32液压油、汽轮机油或全损耗系统用油
氧	会使润滑油剧烈氧化和爆炸，不用矿物油润滑	用无油润滑或蒸馏水加6%~8%工业甘油
氯	在一定条件下与烃作用生成氯化氢	无油润滑(石墨)
硫化氢，二氧化碳，一氧化碳	润滑油应不含水分，否则水解解气可生成酸，会破坏润滑性	防锈抗氧压缩机油或汽轮机油
二氧化氮，二氧化硫 (2)	能与油互溶，降低粘度，油中应不含水分并应防止生成腐蚀性酸	防锈抗氧汽轮机油
氢	如有水分会与油的酸性氧化物生成沉淀，与酸性防锈剂生成不溶性皂	防锈抗氧汽轮机油
天然气	湿而含油	湿气用复合压缩机油干气用压缩机油
石油气	会产生冷凝液稀释润滑油	L-DAB100或L-DAB150号防锈抗氧压缩机油
乙烯	避免润滑油与采送气体混合而影响产品性能，不用矿物油润滑	白油或液体石蜡
丙烷	与油混合可被稀释，高纯度的丙烷应用无油润滑	乙醇肥皂润滑剂，防锈抗氧汽轮机油
焦炉气，水煤气	对润滑油无特殊影响，但气体较脏，含硫多，可有腐蚀作用	压缩机油
煤气	杂质多，易弄脏润滑油	经过滤的压缩机油，传动部件用 L-AN46、L-AN68、L-AN100全损耗系统用油

滑剂的选用参考表。

2. 润滑油粘度的选择

在多级空气压缩机中,前一级气缸输出的压缩气体通常经冷却后恢复到略高于进气时的温度被送入下一级气缸,因气体已被压缩故相对湿度较高,当超过饱和点时,气体中的水分将可能凝结,该水分具有洗净作用,可使气缸表面失去润滑油,其次在烃类气体压缩机中,它不仅可溶解在润滑油中降低了油的粘度,而且凝结的液态烃也同水分一样对缸壁具有洗涤作用,因此对于多级、高压、排气温度较高的烃类气体压缩机和空气湿度较大的空气压缩机易选用粘度较高的油品,粘度较高的油品对金属的附着性好,并对密封有利。如中低压烃类气体和空气压缩机宜用L-DAA100的压缩机油,高压多级宜用L-DAA150的压缩机油。喷油回转式压缩机选油粘度情况也与此类似,压力较低时选用100°C运动粘度为5 mm²/s的N32回转式压缩机油,压力较高时选用100°C运动粘度为11~14 mm²/s的N100回转式压缩机油。

其次为防止凝结的液态烃和空气中的水分对润滑油的洗净作用,可采用3%~5%的动物性油(如猪油或牛油)与矿物油相混合的润滑油,动物性油与金属的附着力强,容易抵抗“水洗”,阻止润滑油的流失。

3. 油品的代用

在采用油润滑的往复式和回转容积式压缩机中除用相应牌号的压缩机油外,还可采用防锈抗氧的汽轮机油、航空润滑油、汽缸油等作为代用的油品,但这些代用油品的性能不应低于相应的压缩机油的质量指标,或应满足在具体条件下的使用要求。当气体压缩机采用油润滑时,外部零件和内部零件的润滑可用同一牌号的润滑油,也可采用不同牌号的润滑油,但不论内部零件采用何种类型的润滑介质,而外部传动零件的润滑都应采用矿物性的润滑油。

表9-3-4为各种油润滑的气体压缩机选油的参考表。

表9-3-4 压缩机润滑油选油参考表①

压缩机型式	进气压力 (MPa)	压缩级数	润滑部位	润滑方式	合适粘度 (100°C) (mm ² /s)	推荐油品
往复式	0.7~0.8	1~2	气缸及传动部件	飞溅式润滑	7~10	L-DAA190或L-DAB190
		2~3			10~12	
固定式	20~100	3~5	气缸及传动部件	压力强制润滑及压力注油润滑	12~18	N100, N150(L-DAA)或(L-DAB), 4502-3合成油4502-3合成油
		5~7			18	
回转容积式	干式	<0.3	气缸	无油润滑		2号轴承润滑脂
		0.7	轴承	油环或油脂润滑		
	喷油式	0.7~0.8	气缸及轴承	喷油循环式	4~5	N32, N46, N100回转压缩机油
		0.7~2			5~7	
螺杆式	喷油式	0.3~0.5	轴承及同步齿轮	油环或油脂润滑		2号轴承润滑脂
		0.6~0.7	气缸及轴承	喷油循环式	5~7	N32~N68, N100回转压缩机油
1.2~2.0	3~4					
离心式			轴承及密封环	压力循环式、油环式或油脂润滑	5~8	L-TSA32, L-TSA46, L-TSA68 抗氧汽轮机油或2*轴承润滑脂

① 带“十字头”的压缩机的外部传动零件可用L-AN68、L-AN100全损耗系统用油,不带“十字头”的压缩机外部传动零件可用与气缸相同牌号的压缩机油。

(四) 气体压缩机润滑系统的使用及维护

气体压缩机中最常见的故障是活塞与活塞环、转子部件、滑动支承处的异常磨损和胶合，十字头滑块的咬合，及异常发热等。这些故障都直接或间接地与润滑系统和润滑装置的使用维护不当有关。作为使用维护人员除了应学习掌握有关的润滑系统及其装置的组成原理、性能结构、使用要求等一般知识外，还应在实践中不断总结积累经验，加强日常使用维护工作，以保证压缩机及其润滑系统经常保持良好的运行状态。在日常点检和定期维修中应注意以下几点：

1. 注意保持润滑油液的清洁

脏油或变质的润滑油会引起加速零件磨损的恶性循环，对强制循环式的润滑系统应注意及时更换和清洗发生堵塞的滤油器中的滤芯；应避免油箱或油池中的油液暴露在空气中，以防灰尘和污物等混入油中，对无压的油箱和油池一般可采用空气滤清器使其与大气沟通；中、大修时应从油中取样化验其成分，如达到或超过换油指标，应全部或部分更换和补充新油。通常每3个月至半年（或工作2000~4000h）可更换一次新油。回转式压缩机油的换油指标如表9-3-5所示，可供参考。

表9-3-5 回转式压缩机油换油标准（参考）

项 目	换油标准
运动粘度（40℃）	新油粘度的±10%
总酸值（mgKOH/g）	大于0.5
水分（%）（体）	大于0.1
沉淀（mg/100ml）	大于20
颜色	急剧变深

2. 应定期检查

应定期检查气缸、气阀及排气管道等处是否积聚有固体的炭粒和胶泥，一经发现应及时清除，否则可能引起气缸的燃烧爆炸、加大排气阻力，造成异常发热。

3. 应注意压缩机的工作状态

应注意观察压缩机的工作状态，定期检查气缸气阀的润滑磨损状况，适时调整润滑油量，防止出现润滑油量过大和润滑油量不足的情况。对强制循环系统，润滑压力指示过低或明显下降，往往使润

滑油量不足，此时应及时停机维修，必要时更换备件和备品。

4. 注意保持润滑系统中的油温

油箱或油池中油液的正常温度以40~50℃为宜，油温过高，油液的粘度降低，油易氧化变质，油温过低，粘度增高，流动性变差，两者都会引起润滑不足的状况。油温除可从温度表（计）得到直接地观测指示外，从气缸内冷循环水或油冷却器的冷却水温也可得到间接的反应，冷却水温过高和过低都将影响润滑油的工作温度及润滑油的粘度。

第4节 冷冻机的润滑

(一) 概述

冷冻机系指压缩制冷方式所采用的压缩机，因其使用条件和压缩工作介质的不同，它又不同于一般的空气压缩机。按冷冻机结构和工作原理上的差别，它与空气压缩机类似，也可分为活塞式、螺杆式、离心式等几种不同型式。冷冻机是压缩制冷设备中最重要的组成部分之一。

冷冻机的工作介质即为制冷系统中担负着传递热量任务的制冷剂，常用的制冷剂有：氟里昂、氨、二氧化碳、甲烷、乙烯、水等，其中氟里昂按其汽化温度及化学分子式的不同有氟11（R-11）、氟12（R-12）、氟13（R-13）、氟21（R-21）、氟22（R-22）、氟113（R-113）、氟114（R-114）、氟142（R-142）等多种。上述制冷剂可分别用于低压（冷凝压力小于0.2~0.3MPa）高温（蒸发温度大于0℃）、中压（冷凝压力1~2MPa）中温（蒸发温度0~-50℃）及高压（冷凝压力大于2MPa）低温（蒸发温度小于-50℃）的制冷系统里。

(二) 冷冻机润滑的特点

1. 活塞式冷冻机

在活塞式冷冻机中，需要润滑的摩擦部位有：活塞与汽缸的壁面；连杆大头轴瓦与曲柄销；连杆小头轴瓦与活塞销；活瓣销与活瓣销座；前后滑动轴承的轴瓦与主轴颈以及主轴轴封的静动摩擦密封面等。

在小型低速冷冻机中最简单的润滑方式是飞溅润滑，即在冷冻机的曲轴箱内，借助于曲轴和连杆

大头的回转搅动油面，将润滑油甩到各摩擦表面使之润滑，但对有些摩擦表面润滑油难以达到，润滑不充分，易造成大的摩擦和磨损，故这种润滑方式可靠性差，已很少单独采用。

在新、老系列的冷冻机中大多采用着强制性循环润滑，即利用油泵将压力油强制性地输送到各润滑点。活塞式冷冻机的润滑多为内传动系统，即润滑系统不单独设立油箱和油泵站，而是采用冷冻机的曲轴箱兼作润滑油箱，专门的润滑泵直接与曲轴的一端相连，润滑装置与冷冻机构成了

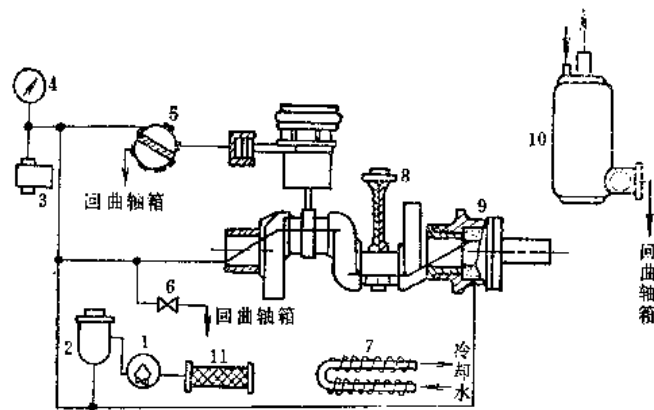


图9-4-1 活塞式冷冻机润滑系统原理图

- 1—转子式油泵 2—精细滤油器 3—压力继电器 4—压力表
5—油量调节阀 6—安全溢流阀 7—油冷却器 8—活塞销
9—轴封 10—氨油分离器 11—粗滤油器

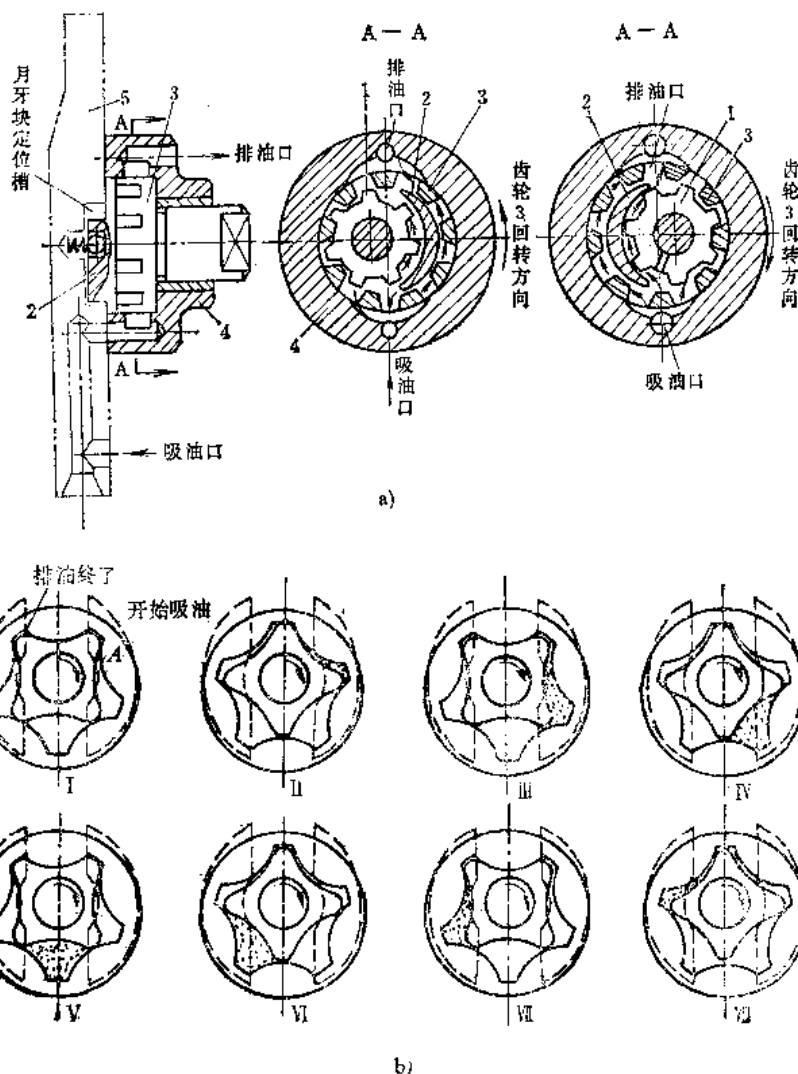


图9-4-2 内啮合齿轮泵及摆线转子泵结构原理

- a) 内啮合齿轮泵正反转供油示意图 b) 摆线转子泵工作原理图
1—从动齿轮 2—月牙块 3—主动齿轮 4—油泵体 5—油泵盖

一个整体。润滑系统的原理如图 9-4-1 所示。在该图中油泵经 60~100 目的网式粗滤器从曲轴箱中吸油，而后经过滤精度为 10~20μm 的纸质或粉末冶金式的精细滤油器将冷冻机油压出，一路润滑油被送到曲轴的前端，润滑轴封、前主轴承、曲柄销及连杆小头，另一路压力油进到曲轴的后端，润滑后主轴承、曲柄销及连杆小头，此外该压力油还同时被送到油分配阀，用于控制能量调节机构。润滑系统中还应带有压力表、调压阀等必备元件，调压阀用于调节润滑油的压力并可使多余的润滑油流回曲轴箱。在该系统中汽缸面是利用连杆小头挤出的油和连杆大头甩出的油实现摩擦面的润滑。

冷冻机中所采用的润滑泵通常有外啮合齿轮式油泵、内啮合齿轮式油泵（俗称月牙泵）和摆线转子式油泵（俗称梅花泵）等 3 种。对于外啮合齿轮泵吸压油口的位置确定后，泵的旋转方向是一定的，不可逆转，对全封闭和半封闭式冷冻机，因冷冻机机壳与电动机机壳连成一体，从外部难以辨别泵的转向，容易造成齿轮泵旋向的错误而使润滑失灵，故外啮合齿轮泵在冷冻机中已较少应用。对内啮合齿轮泵而言，月牙体（分开吸、压油腔，保证内外齿轮齿顶密封的构件）可做成具有自动定位的结构，不论齿轮的旋转方向如何都不改变吸、压油口的位置，故对油泵的转向无限制，因此在新系列封闭和半封闭式冷冻机中广为应用。摆线转子泵与内啮合齿轮泵类似，也可做到对泵的旋转方向无限制，此外摆线转子泵齿形简单，加工容易，结构紧凑，在冷冻机中有着广阔的应用前景。内啮合齿轮泵及摆线转子泵的结构原理如图 9-4-2 所示。

2. 螺杆式冷冻机

螺杆式冷冻机的润滑部位有：凸凹螺杆（亦称阴阳转子）的转动啮合部；转动的螺杆与壳体的相对滑动表面；螺杆前后的滑动轴承；主动螺杆的平衡活塞及轴端的机械密封摩擦面。在上述润滑部位均开有与压力油相通的油口。在能量调节滑阀上或壳体上开设的大小不同、相隔一定距离的油孔可使润滑压力油直接喷射到转子上，即可冷却润滑转子和壳体，又可对运动部位的间隙进行密封，以减少被压缩气体的泄漏，并降低运转噪声。

润滑系统的原理图请见图 9-4-3。由调压阀调节的润滑油的压力通常比冷凝压力高 0.2~0.3MPa，润滑油量可相当于冷冻机输气量的 1%~2%。润滑泵可直接用转子本身驱动，也可做成外

传动式的。通常都将油分离器作为润滑系统的油箱。目前应用较广的是离心—重力型和填料—重力型的油分离器，结构如图 9-4-4 a、b 所示。

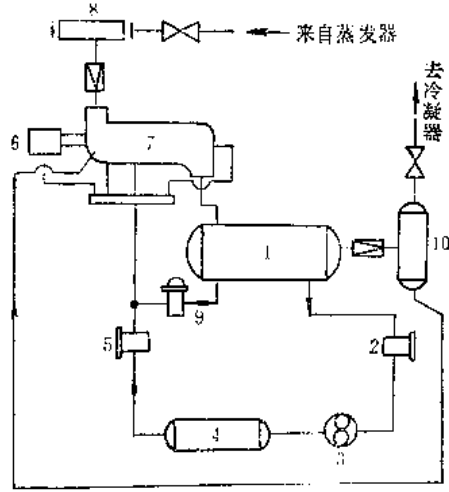


图9-4-3 单级螺杆式冷冻机润滑系统原理图
1—油分离器 2—粗滤油器 3—滑油泵 4—油冷却器 5—细滤油器 6—油量调节阀 7—螺杆式压缩机 8—吸气过滤器 9—油压调节阀 10—二次油分离器

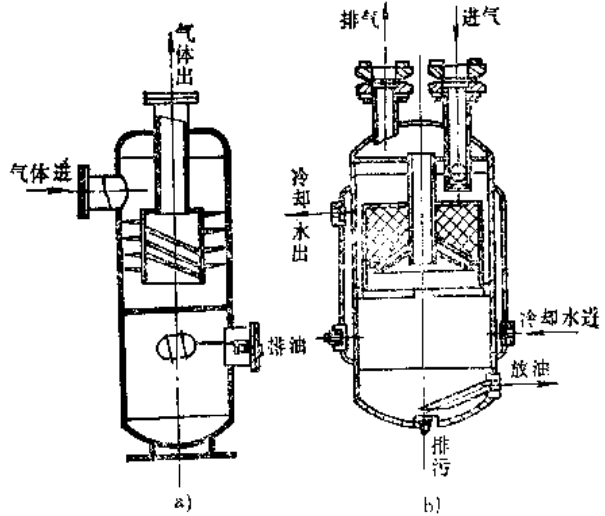


图9-4-4 油分离器结构图

a) 离心—重力型 b) 填料—重力型

此外在螺杆式冷冻机中也多采用二级油分离器，如图 9-4-3，二级油分离器分离出的润滑油可利用吸、排气压差不经油泵直接被压送到吸气腔，对轴承、平衡活塞等处进行润滑。在该种润滑系统中普遍采用着列管式油冷却器，使油温保持在 20~50℃，冷却介质可用水或用冷冻机自身的制冷剂来蒸发冷却润滑油。润滑系统中的粗滤油器的进出口压差不应超过 0.1MPa，否则应清洗或更换滤芯。

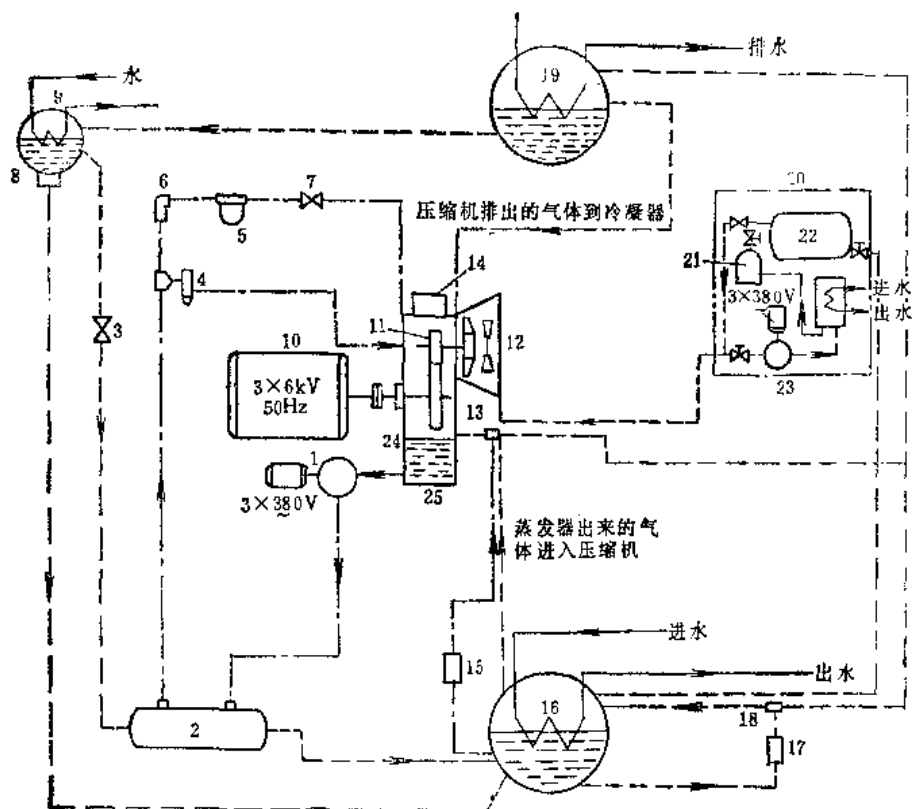


图9-4-5 离心式冷冻机润滑系统及制冷流程图

1—油泵 2—油冷却器 3—油量调节阀 4—安全溢流阀 5—油过滤器 6—调压阀 7—逆止阀
8—节流管 9—过冷器 10—主机 11—增速箱 12—压缩机 13、18—喷嘴 14—高位油箱
15—油分离器 16—蒸发器 17—干燥器 19—冷凝器 20—抽油设备 21—均压缓冲器
22—储液罐 23—活塞压缩机 24—机械密封 25—油箱

3. 离心式冷冻机

离心式冷冻机的主要润滑部位是增速齿轮、主轴承及轴端的机械密封。润滑系统如图9-4-5所示。通常齿轮箱可兼做润滑油箱，其中装有电加热器可对润滑油进行预热，油泵用于将油抽送到专设的高位油箱，再由高位油箱把油引到所需的润滑部位，该种方式可防止油泵供油系统突然故障或冷冻机突然断电停机时，油泵无油供给而冷冻机仍保持运转或借惯性继续高速回转，因无润滑而造成设备摩擦部位的“烧伤”或“咬合”事故。

（三）冷冻机润滑系统的故障及维护

冷冻机润滑系统正常工作的主要标志是：

- 1) 油压表指针稳定，指示压力对活塞式冷冻机应比吸气压力高 $0.05\sim 0.3\text{MPa}$ ，对螺杆式冷冻机应比冷凝压力高 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。
- 2) 曲轴箱中的油温应保持在 $10\sim 65^{\circ}\text{C}$ 之

间，最适宜的工作温度为 $35\sim 55^{\circ}\text{C}$ 。

3) 曲轴箱中的油面应足够，并应长期稳定。

4) 滤油器的滤芯不应堵塞，对带压差发讯的精细滤油器应具有堵塞的发讯指示。

润滑系统最常见的故障是：油泵无压、调压失灵及压力表指针剧烈摆动。其主要原因在于：

- 1) 曲轴箱中油温过低，冷冻润滑油的粘度过大，泵进口滤油器滤网过密，滤芯被堵塞，以及油面太低，油泵吸油困难，造成吸空现象。
- 2) 油泵长期工作，泵的磨损严重，内漏过大，容积效率明显降低。
- 3) 调压阀芯被卡死在开启位置或调压阀的弹簧失效。
- 4) 系统严重外漏。

冷冻机润滑部位的故障不属润滑系统自身的问题，但也会终将导致系统的故障。如汽缸处活塞环

结构选用、加工装配不当可造成大量跑油现象,以及轴封处异常渗漏将使曲轴箱中油面明显下降,进而导致油泵的吸空现象;再如连杆大小头轴瓦及前后主轴承装配间隙太小,润滑油太脏以及长期使用润滑油变质等都将加大运动部件的摩擦和磨损,或同时因汽缸磨损严重出现高低压窜汽,都将导致曲轴箱发热,油温升高,润滑油粘度降低,从而形成润滑条件的恶性循环和造成润滑系统的故障。因此对润滑系统的故障分析应是综合性的,即除润滑系统自身的问题外还应从冷冻机的运行情况予以检查、分析和判断,如有无异常的振动、声响、发热及渗漏等等。

润滑系统的维护应注意以下各点:

- 1) 按冷冻润滑油规定的换油指标定期检查油质,更换或补充经过滤的新油。
- 2) 定期更换或清洗滤芯、管路及曲轴箱。
- 3) 日常点检中注意观察油面、油温、油压是否正常。
- 4) 在中、大修时应注意检查和调整油泵的端面间隙,必要时应予换泵。泵的端面间隙视大小规格不同约为 $0.03\sim 0.08\text{mm}$,具体数值请参看有关泵的装配技术要求和出厂规定。

(四) 冷冻机润滑油的选用

鉴于冷冻机特殊的工作性质,对其润滑介质也提出了某些相应的具体要求,为此而研制了专用冷冻机润滑油。请参看第3章的有关部分内容。

在选用润滑油时,应根据冷冻机的型式、所用制冷剂的类型及其蒸发温度、以及冷冻机的具体工作条件(如速度高低、负荷大小、工作环境等)加以综合分析比较,以便确定冷冻机润滑油的具体规格或牌号。

对小型低速(平均线速度小于 2 m/s)双缸活塞式冷冻机可选用N15或N22号冷冻机油,对大、中型高速(平均线速度大于 3 m/s)多缸活塞式冷冻机可选用N32或N46的冷冻机油,对排气温度高、负荷重,使用条件特别恶劣的活塞式冷冻机可选用N68的冷冻机油;对喷油润滑的螺杆式冷冻机可选用N32、或N46冷冻机油;对小型干式(非喷油润滑)螺杆式冷冻机和离心式冷冻机,因润滑油不可与制冷剂接触,可按齿轮箱和主轴系的负荷情况选用N32或N46的冷冻油,也可选用粘度等级相当于L-TSA32或L-TSA46的汽轮机油。

第5节 起重运输机械的润滑

(一) 概述

起重运输机械是指吊运或顶举重物以及在一定线路上搬运、输送、装卸物料的物料搬运机械。涉及千斤顶、葫芦、卷扬机、提升机、起重机、电梯、输送机、搬运及装卸车辆等,它们具有不同的润滑特点,简述如下:

1) 由于起重运输机械使用的范围很广,环境与工况条件不同,包括室内或露天环境、常温及高温环境下使用等。因此在润滑材料的选择,润滑方法、更换补充周期常常会有很大差异。所以,对于两个完全相同的设备,常常因工况条件不同而选用不同的润滑材料。一些中、小吨位的桥式及门式起重机械,常常采用分散润滑,一些不易加油部件的滚动轴承及滑动轴承常采用集中供脂的润滑方法,一些大型起重机的减速器,又常用集中供油系统,包括油浴润滑或由油泵供油。

2) 起重运输机械使用的润滑材料,通常需要耐水、耐高温、耐低温以及有防锈蚀和抗极压的特性。

3) 润滑材料的选用一定要遵照说明书及有关资料,并结合起重运输机械的实际使用条件进行综合考虑。

4) 起重运输设备不同部位的润滑材料差异较大。所以,千万不能混用,否则将要引起设备事故,导致零部件损坏。

(二) 起重运输机械润滑点的分布

起重运输机械的润滑点大致分布如下:

- 1) 吊钩滑轮轴两端及吊钩螺母下的推力轴承。
- 2) 固定滑轮轴两端(在小车架上)。
- 3) 钢丝绳。
- 4) 各减速器(中心距大的立式减速器、高速一、二轴承处设有单独的润滑点)。
- 5) 各齿轮联轴器。
- 6) 各轴承箱(包括车轮组角型轴承箱)。
- 7) 电动机轴承。
- 8) 制动器上的各铰节点。
- 9) 长行程制动电磁铁(MZSI型)的活塞部

分:

- 10) 反滚轮。
- 11) 电缆卷筒, 电缆拖车。
- 12) 抓斗的上、下滑轮轴, 导向滚轮。
- 13) 夹轨器上的齿轮, 丝杆和各节点。

(三) 起重运输机械典型零部件的润滑

1. 钢丝绳的润滑

钢丝绳的用油选择主要是根据环境温度及绳的直径来考虑, 环境温度愈高和绳的直径愈大, 应选择粘度大的油, 因为直径大时, 钢丝绳的负荷也大。另外钢丝绳的运动速度愈高, 润滑油被甩出愈厉害, 所以油需要更粘稠些, 用油选择可参看表9-6-1。

表9-6-1 钢丝绳润滑油的选用

钢丝绳直径	工作条件	选用润滑油
任意直径	在潮湿环境中工作	夏季用44号车轴油
40mm以下	夏季在露天工作	夏季用44号车轴油
40mm以下	冬季在露天工作	冬季用23号车轴油
40mm以下	在高温环境中	钢丝绳脂
40mm以上	夏季在露天工作	钢丝绳脂
40mm以上	冬季在露天工作	冬季用23号车轴油
40mm以上	在高温环境中	钢丝绳脂

2. 减速器的润滑

使用初期为每季一次, 以后可根据油的清洁程度半年到一年更换一次, 随着使用季节和环境的不同, 选用油料也有所不同, 可参见表9-6-2。

表9-6-2 减速器润滑油的选用

工作条件	选用润滑油
夏季或高温环境下	N46齿轮油
冬季不低于-20℃	N46齿轮油
冬季低于-20℃	N22冷冻机油

3. 开式齿轮的润滑

一般要求每半月添油一次, 每季或半年清洗一次并添加新油脂, 所选用润滑材料是1号齿轮脂。

4. 齿轮联轴器、滚动轴承、卷筒内齿盘以及滑动轴承的润滑 请参看表9-6-3。

5. 液压推杆与液压电磁铁的润滑

一瓶每半年更换一次, 使用润滑条件在-10℃

表9-6-3 齿轮联轴器、滚动轴承、卷筒内齿盘以及滑动轴承的润滑

零部件名称	添加时间	润滑条件	润滑材料的选用
齿轮联轴器	每月一次	1. 工作温度在-20~50℃	1. 冬季用1~2号锂基稠齿脂夏季用3号锂基稠齿脂但不能混合使用
滚动轴承	3~6个月一次	2. 工作温度高于50℃	2. 用锂基稠齿脂冬季用1号, 夏季用3号
卷筒内齿盘	每3~6年添加一次(添满)	3. 工作温度低于-20℃	3. 用1, 2号特种稠齿脂
滑动轴承	每1~2年添加一次		

以上时可用25号变压器油。

使用润滑条件低于-10℃时, 可用10号航空液压油。

(四) 起重运输机械润滑注意事项

起重运输机械润滑通常需注意以下几点:

- 1) 润滑材料必须保持清洁。
- 2) 不同牌号的润滑油, 不能混合使用。
- 3) 要经常(每月)检查润滑系统的密封情况。
- 4) 按设备说明书等有关资料介绍选用润滑材料, 并按规定时间添加润滑油脂, 要正确地进行润滑工作。
- 5) 尽量应用压方法(油枪或油泵)注脂, 避免用涂抹方法添加润滑油脂, 以便较容易把润滑油脂供送到摩擦面上。
- 6) 只有在起重机完全断电后, 才允许进行润滑工作(电动干油集中润滑除外)。
- 7) 注意维护保养好润滑管路, 防止挤、压、碰、伤。
- 8) 拆卸管路时, 要注意保护好管端或联接处, 以免碰伤或混进机械杂质。重新安装时, 要认真清除接头处的污垢, 以确保油路系统的清洁。
- 9) 对高温部位的润滑点或管路要相应的增加润滑次数或装设隔热装置。
- 10) 潮湿地区不要选用钠基稠齿脂, 因其亲水性强, 易失效。
- 11) 凡机构没有注脂点的转动部位, 应定期用稀油壶点注在各转动的缝隙中, 以减少机件的磨损和防止锈蚀。

(五) 起重运输机械常用润滑材料

起重运输机械常用的润滑材料有以下几种:

1) L-HL液压油、变压器油和齿轮油 它们是起重运输设备常用的矿物润滑油。前两种沥青质和胶质含量少粘度小,流动性好,可进入到极小的缝隙中,但油膜易破坏。而齿轮油沥青质和胶质含量较高,粘度较大,在较大的压力下,仍能形成油膜。

2) 钙基润滑脂 它的特点是不易溶于水,但滴点低,耐热能力差,适用于工作温度不高于60°C的开式传动机构,易于和空气或水气接触的摩擦部位上。

3) 钠基润滑脂 它的耐热性好,可在温度120°C以下工作,但亲水性强,不可用在潮湿或与水接触的润滑部位。

4) 复合铝基润滑脂 它有抗热(0号脂可在100°C以下工作,4号脂可在200°C以下工作)抗潮湿的特性,没有硬化现象,对金属表面有良好的保护作用。

5) 工业锂基润滑脂 它是一种高效能的润滑脂,有良好的抗水性,适用于-20~+120°C的温度范围内高速工作的部位上。

6) 特种润滑脂 具有耐热,抗磨和防水性能,可在-30~+120°C的温度范围内工作。

7) 合成石墨钙基润滑脂 有极大的抗压能力,能耐较高的温度,抗水,抗磨性能均较好。

(六) 典型起重运输机械的润滑

典型起重运输机械的润滑材料选择可参看表9-6-4。

表9-6-4 典型起重运输机械润滑油的选用

设备名称	润滑材料选用
桥式与电动单梁起重机	30t以下 L-HL46、L-HL68 液压油(全损耗系统用油或通用机床润滑油,下同) 2号, 3号钙基脂
	30t以上 L-AN100、L-AN150 全损耗系统用油 11号汽缸油, 2号、3号钙基脂
各种回转式起重机; 铁路蒸汽机车10t以下;	11号汽缸油 2号, 3号钙基脂

(续)

设备名称	润滑材料选用	
各种回转式起重机: 履带式, 轮式起重机, 其中: 液压传动装置	30号汽缸油, 30号柴油机油, L-HL32 液压油, L-TSA32汽缸机油, 2号, 3号钙基脂	
电动, 手动旋臂吊车及电动葫芦, 电铲加料斗, 提升机, 抓斗吊车	L-HL68、L-HL100 液压油 2号, 3号钙基脂	
各型运输机(带式、链式、裙式、螺旋式、斗式)	手浇润滑	L-HL68、L-HL100 液压油
	滚珠轴承	2号, 3号钙基润滑脂
	链 索	L-HL68、L-HL100 液压油 1号齿轮脂
	开式齿轮	1号齿轮脂
卷扬机 2.2~150kW	滚珠轴承	2号, 3号钙基脂
	滑动轴承及闸	L-HL46~L-HL100 液压油(按功率大小选用)
	闭式齿轮	L-HL100 液压油, L-AN150 全损耗系统用油 24号汽缸油(按功率大小选用)
	开式齿轮	1号齿轮脂
液压系统	L-HL15、L-HL32 液压油	
电梯(减速箱)	L-HL68、L-HL100 液压油	
起重机, 挖泥机, 电铲等(低速重负荷)	38号汽缸油或钢丝绳脂	
电梯, 卷扬机等(高速、重负荷)	11号汽缸油或24号汽缸油	
矿山提升斗车, 锅炉运煤车(在斜坡上高速重负荷的牵引绳)	38号汽缸油或钢丝绳脂	
牵引机, 吊货车(中高速, 轻中负荷的牵引绳)	11号汽缸油或24号汽缸油	
支承及悬挂用的钢丝绳(无运动, 暴露在水、湿气或化学气体中的钢丝绳)	钢丝绳脂	

第6节 轧钢机的润滑

(一) 轧钢机对润滑的要求

1. 轧钢机

轧钢机的组成如图9-6-1所示,其主要设备包括轧钢机工作机座、万向联轴及其平衡装置、齿轮机座、主联轴器、减速机、电动机联轴器和电动机以及图中未表示的前后卷取机、开卷机等。

2. 轧钢机对润滑的要求

(1) 干油润滑 如热带钢连轧机中炉子的筒

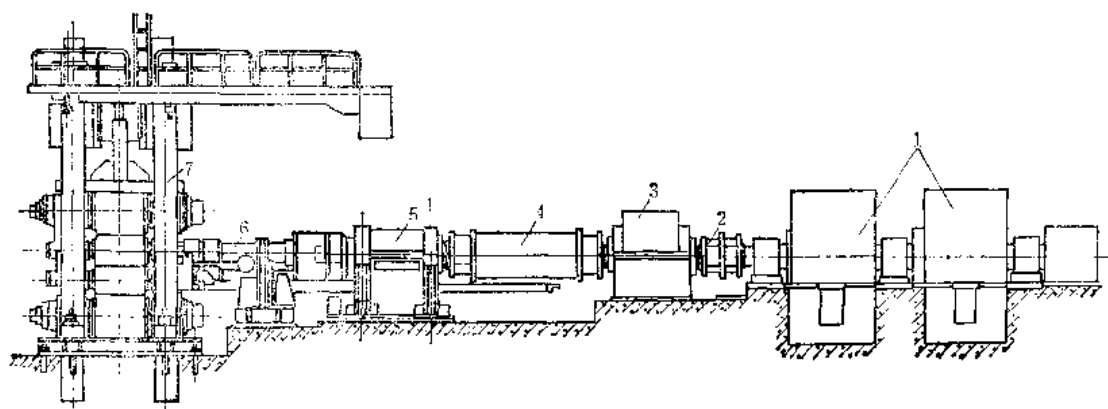


图9-6-1 带有减速机和齿轮机座的轧机主机

1—电动机 2—电动机联轴器 3—减速机 4—联轴器 5—齿轮机座 6—万向接轴及平衡装置 7—轧机机座

入辊道、推钢机、出料机、立辊、机座、轧机辊道、轧机工作辊、轧机压下装置、万向接轴和支架、切头机、活套、导板、输出辊道、翻卷机、卷取机、清洗机、翻锭机、剪切机、圆盘剪、碎边机、垛板机等都用干油润滑。

(2) 稀油循环润滑 如宝钢2030五机架冷连轧机为例，带钢冷却与润滑的乳液系统和给油系统；开卷机、五机架、送料辊、滚动剪、导辊、转向辊和卷取机、齿轮轴、平整机等设备润滑；各机架的油膜轴承系统等。

(3) 高速高精度轧机的轴承，用油雾润滑和油气润滑。

3. 轧钢机典型部位润滑形式的选择

(1) 轧钢机工作辊辊缝间、轧材、工作辊和支承辊的润滑与冷却、轧机工艺润滑与冷却系统采用稀油循环润滑（含分段冷却润滑系统）。

(2) 轧钢机工作辊和支承辊轴承一般用干油润滑，高速时用油膜轴承和油雾、油气润滑。

(3) 轧钢机齿轮机座、减速机、电动机轴承、电动压下装置中的减速器，采用稀油循环润滑。

(4) 轧钢机辊道、联轴器，万向接轴及其平衡机构、轧机窗口平面导向摩擦副采用干油润滑。

(二) 轧钢机润滑采用的润滑油、脂

1. 轧钢机采用的润滑油、脂

轧钢机经常采用的润滑油、脂，参看表9-6-1。

有关轧钢机应用的润滑油、脂性能，请参看本书第3章。

表9-6-1 轧钢机经常选用的润滑油、脂举例

设备名称	润滑材料选用
中小功率齿轮减速机	L-AN68、L-AN100全损耗系统用油或中负荷工业齿轮油
小型轧钢机	L-AN100、L-AN150全损耗系统用油或中负荷工业齿轮油
高负荷及苛刻条件用齿轮、蜗轮、链轮	中、重负荷工业齿轮油
轧机主传动齿轮和压下装置、剪切机、推床	轧钢机油（见表9-6-2），中、重负荷工业齿轮油
轧钢机油膜轴承	油膜轴承油（见表9-6-3）
干油集中润滑系统、滚动轴承	1号、2号钙基脂
重型机械、轧钢机	3号、4号、5号钙基脂
干油集中润滑系统，轧机辊道	压延机脂（1号用于冬季，2号用于夏季）或极压锂基脂、中、重负荷工业齿轮油
干油集中润滑系统、齿轮箱、联轴器1700轧机	复合钙基脂、中、重负荷工业齿轮油

2. 轧钢机工艺润滑冷却常用介质

在轧钢过程中，为了减小轧辊与轧材之间的摩擦力，降低轧制力和功率消耗，使轧材易于延伸，控制轧制温度，提高轧制产品质量，必须在轧辊和轧材接触面向加入工艺润滑冷却介质。

对轧钢机工艺润滑冷却介质的基本要求有：

- 1) 适当的油性；
- 2) 良好的冷却能力；
- 3) 良好的抗氧化安定性、防锈性和理化稳定性；
- 4) 过滤性能好；
- 5) 对轧辊和制品表面有良好的冲洗清洁作用；
- 6) 对冷轧带钢的退火性能好；
- 7) 不损害

表9-6-2 轧钢机油技术性能 (SY1224—77)

项 目	代 号	
	HJ3-23	试验方法
运动粘度 (100°C), (mm ² /s)	26~30	GB/T265
酸值 (mgKOH/g), 不大于	0.1	GB/T264
残炭 (%), 不大于	0.8	GB/T268
闪点 (开口) (°C), 不低于	250	GB/T267
凝点 (°C), 不高于	-10	GB/T510
水溶性酸或碱	无	GB/T259
机械杂质 (%), 不大于	无	GB/T511
水分 (%)	无	GB/T260
腐蚀 (铜片100°C3h)	合格	SH/T0195

注: 23号轧钢机油行业标准 (SY1224—77) 已于1988年废除, 本表仅供参考, 应用时可考虑选用中、重负荷工业齿轮油。

表9-6-3 油膜轴承油技术性能表

项 目	牌 号				
	16号	21号	26号	31号	35号
粘度 (100°C) (mm ² /s)	15~17	20~22	25~27	30~32	34~36
粘度指数, 不低于	90	90	90	90	90
凝点 (°C), 不高于	-8	-8	-5	-5	-5
闪点 (°C), 不低于	266	275	286	288	298
残炭 (%), 不大于	0.4	0.5	0.65	0.5	0.85
酸值 (mgKOH/g)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无
腐蚀 (铜片100°C, 3h)	合格	合格	合格	合格	合格
抗乳化性, (分) 不大于	30	30	30	30	30
防锈性 (ASTM D665A)	合格	合格	合格	合格	合格
氧化安定性 (95°C, 48h)					
氧化后粘度比变化不大于	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
氧化后酸度增加不大于	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

表9-6-4 轧制乳液性能表

项 目	单 位	使 用 范 围	极 限 值
乳液浓度	%	2.5~3.5	0.8~7
活性油含量	%	780	70
杂油	%	720	30
pH值		6~7.5	5.5~8
传导性	μs/cm	<300	500
铁含量	mg/L	<200	400
铜含量	mg/L	<20	30
皂化值	mgKOH/g	<35	45
电铁含量	mg/L	<80	100
游离脂肪酸	%为油酸	1.5~4	4.5
灰分	mg/L		2000

人体健康；8) 易于获得油源，成本低。

轧钢机工艺润滑冷却介质品种繁多，不同的轧材需用不同的介质；这里简单介绍如下：

轧制铝带、铝箔材，用加添加剂的煤油作冷却润滑介质。

武钢1700冷轧机、轧制乳液夏天45~50℃，冬天50~55℃，所用乳液浓度1.2%~4.5%，最高用浓度7%，常用为30%以上。轧薄带浓度高一些，轧厚带浓度低一些。所用的乳化液每8h验一次pH值、浓度、铁皂指标，每周一次全面分析化验。其使用范围和极限值见表9-6-4。

(三) 轧钢机常用润滑系统简介

1. 稀油和干油集中润滑系统

由于各种轧钢机结构与对润滑的要求有很大差别，故在轧钢机上采用了不同的润滑系统和方法。如一些简单结构的滑动轴承、滚动轴承等零件可以采用油杯、油环等单体分散润滑方式。而对复杂的卷机及较为重要的摩擦副，则采用了稀油或干油集中润滑系统。从驱动方式看，集中润滑系统可分为手动、半自动及自动操纵三类系统，从管线布置等方面看可分为节流式、单线式、双线式、多线式、递进式等类，有关集中润滑系统的分类、性能及设计等可参见本书第7章中有关部分，此处不重复。例如，图9-6-2是电动双线干油润滑系统简图。

2. 轧钢机工艺润滑系统

根据工况和所用介质不同，轧机工艺润滑系统(参见图9-6-3)压力常在0.4~1.8MPa左右，每分钟流量可大至几百至几千升，介质过滤精度小于5μm。常用喷嘴和分段冷却装置将介质喷射到轧辊及轧材上，对喷出介质的压力、温度等有严格的要求。所以，对喷出介质、油(介质)液温度由压力、温度控制阀控制。冷却水调节阀的原理是当供油温度升高时，温度控制器的温度敏感套8带着连杆7伸长，连杆3克服弹簧力摆动，喷嘴1的开口度增大，压气经喷嘴放出，进入气控水隔膜阀的压气腔减少，阀芯15由弹簧力作用上升，阀的开口度增

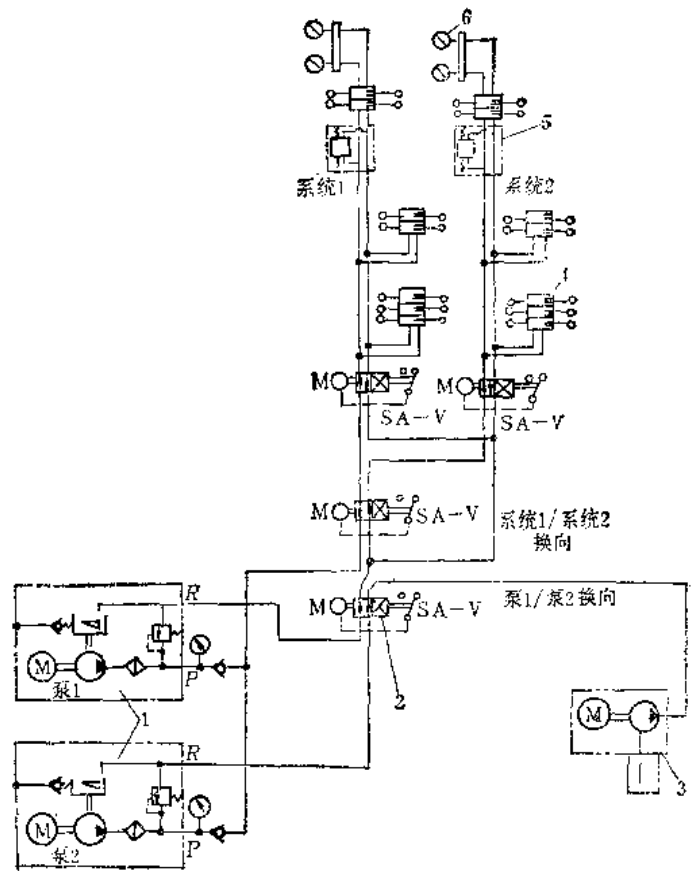


图9-6-2 电动双线干油润滑系统
1—泵装置 2—换向阀 3—补油泵 4—分配器
5—压差开关 6—压力表

大，进入冷却器的冷却水量增大，使油温下降。当供油温度降低时，温度敏感套带着连杆收缩，连杆由弹簧力摆动，喷嘴的开口度减少，进入气控水隔膜阀的压气量增加，薄膜13压缩弹簧14，阀芯15下降，阀的开口度减小，进入冷却器的冷却水量减少，油温逐渐上升，见图9-6-4。

蒸汽调节系统的温度调节阀安在蒸汽的进口管路上，由波纹管1、阀芯2和阀体3等组成。温度控制器安在油箱壁上，由温度敏感螺旋管5、调节装置4、连接管6、波纹管7、阀杆8和套管9等组成，插入油箱内的螺旋管内装有易膨胀的液体，套管等与调节阀相连，见图9-6-5。

温度控制器根据油箱内的油温操纵温度调节阀的开口度，改变进入蒸汽加热器的蒸汽量，而自动调节油温。其工作原理如下：当油箱内的油温升高时，螺旋管5内的液体膨胀，经连接管6进入套管9，作用在波纹管7上，使阀杆8向上推动阀芯

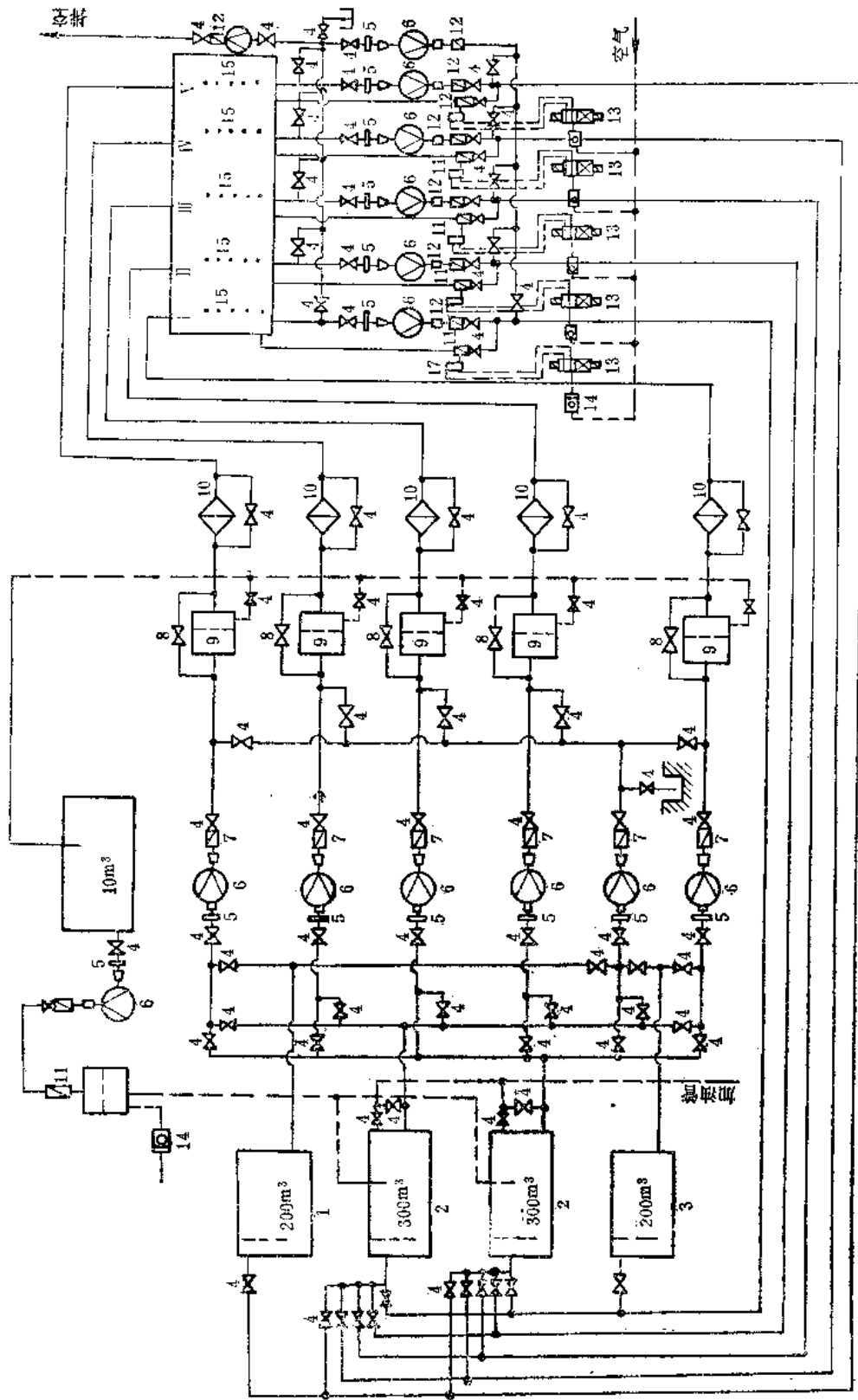


图9-6-3 五机液冷却系统

- 1—冷却水箱 2—乳化液箱 3—清洗剂箱 4—闸阀 5—膨胀器 6—离心泵 7—逆止阀 8—压差器 9—反冲过滤器
- 10—冷却器 11—气动闸板阀 12—逆止阀 13—电磁换向阀 14—空气电磁减压阀 15—液位表 16—带式过滤器
- 17—气缸

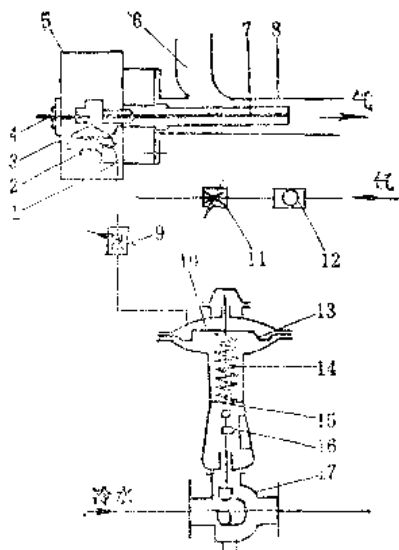


图9-6-1 温度调节阀

1—喷嘴 2—弹簧 3—杠杆 4—调节螺丝 5—温度控制
器 6—供油管 7—连杆 8—温度敏感套 9—阻尼节流
阀 10—气控水隔膜阀 11—节流阀 12—压气过滤减压
装置 13—薄膜 14—弹簧 15—阀芯 16—位置指示器

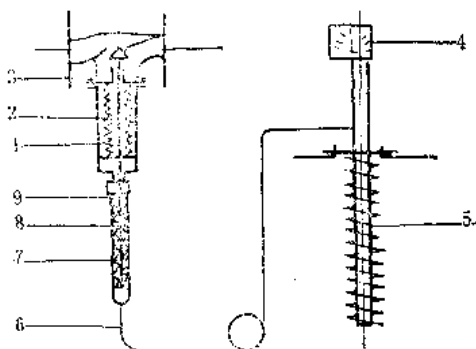


图9-6-5 温度调节阀

1—波纹管 2—阀芯 3—阀体 4—调节装置 5—温度敏
感螺旋管 6—连接管 7—波纹管 8—阀杆 9—套管
2, 阀的开口度减小, 进入蒸汽加热器的蒸汽量减
少, 油箱内的油温就下降。

供油压力调节系统由压力过滤减压装置 1、节
流阀 2、阻尼节流阀 3、气控压力调节阀 8 和压力
控制器 9 等组成, 见图 9-6-6。气控压力调节阀 装
在供油管和回油管间的连接管上, 其结构与气控水
隔膜阀 (图 9-6-4) 相同。压力控制器安装在压力
调节阀上, 由压杆 10、波纹管 11、喷嘴 4、杠杆
5、调节螺杆 6 和弹簧 7 等组成。压力控制器根据
供油压力操纵气控压力调节阀的开口度, 使油溢流
回油箱, 以保持供油压力的稳定。其工作原理如
下: 当供油压力增加时, 压力控制器的波纹管 11 和
压杆 10 上升, 杠杆 5 向上摆动, 喷嘴 3 的开口度增

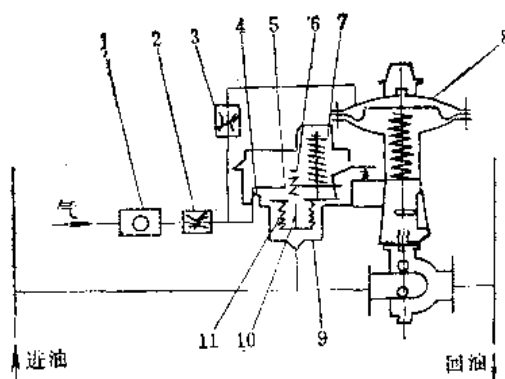


图9-6-6 供油压力调节阀

1—压气过滤减压装置 2—节流阀 3—阻尼节流阀
4—喷嘴 5—杠杆 6—调节螺丝 7—弹簧 8—气
控压力调节阀 9—压力控制器 10—压杆 11—波纹管

大, 压气经喷嘴排放, 进入气控压力调节阀的压气
量减小, 阀芯由弹簧力作用而上升, 阀的开口度增
大, 压力油经阀溢流到回油管, 使供油压力降到正
常值。

3. 轧钢机油膜轴承润滑系统

轧钢机油膜轴承润滑系统有动压系统、静压系
系统和动静压混合系统。动压轴承的液体摩擦条件在
轧辊有一定转速时才能形成。当轧钢机启动、制动
或反转时, 其速度变化就不能保障液体摩擦条件,
限制了动压轴承的使用范围。静压轴承靠静压力使
轴颈浮在轴承中, 高压油膜的形成和转速无关, 在
启动、制动、反转, 甚至静止时, 都能保障液体摩
擦条件, 承载能力大、刚性好, 可满足任何载荷、
速度的要求, 但需专用高压系统, 费用高。所以,
在启动、制动、反转、低速时用静压系统供高压
油。而高速时关闭静压系统, 用动压系统供油的动
静压混合系统效果更为理想。

图 9-6-7~图 9-6-10 为动压系统、静压系统、动
静压混合系统简图, 其设计计算可参考有关文献资
料。

4. 轧钢机油雾润滑和油气润滑系统

油雾润滑以压缩空气为动力使油液雾化, 经管
道, 凝缩嘴送入润滑部位。用于齿轮、蜗轮、特别
常用于大型、高速, 重载的滚动轴承润滑。它润
滑、冷却效率高, 且可节约用油, 因油雾有一定压
力 (2~3kPa) 又可防杂质和水侵入摩擦副, 使轴
承寿命提高 40%。

油雾润滑系统图如图 9-6-11, 包括分水滤气

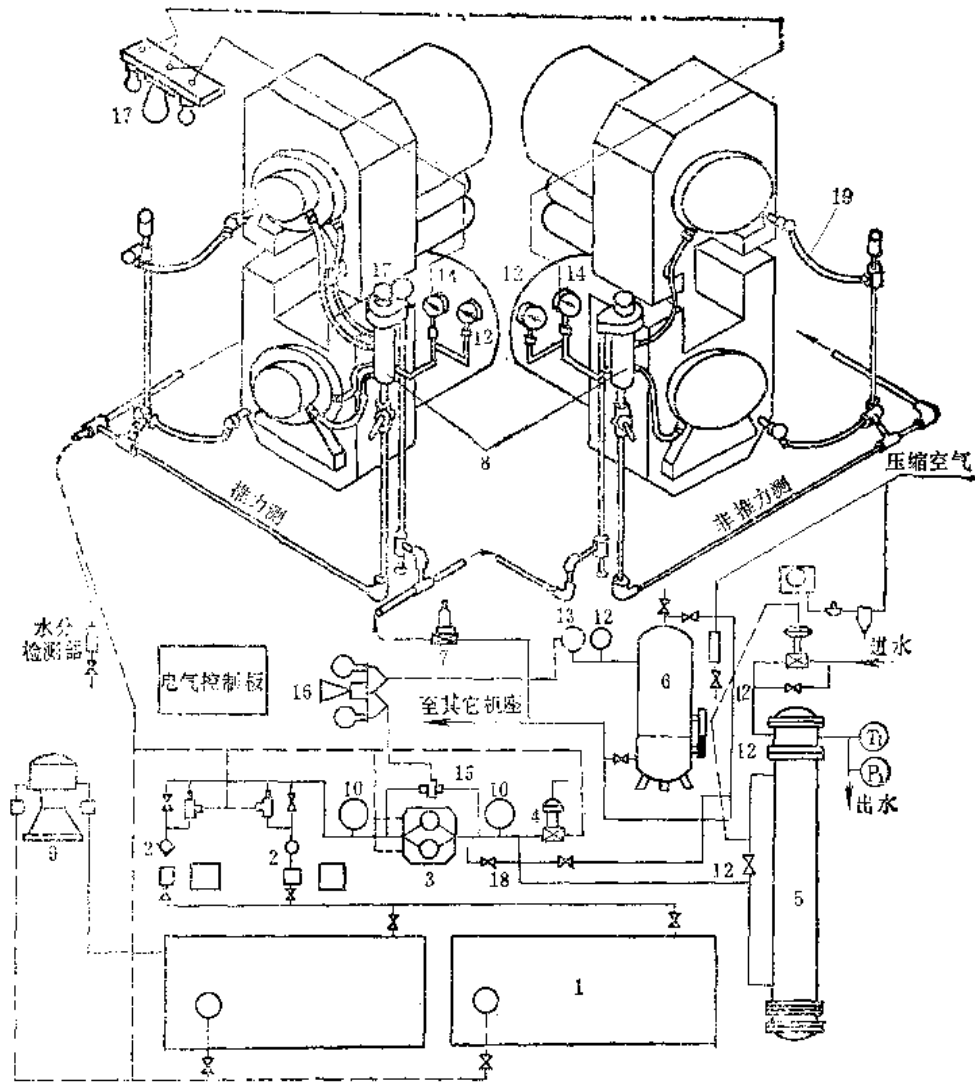


图9-6-7 轧钢机动压油膜轴承润滑系统

1—油箱 2—泵 3—主过滤器 4—系统压力控制阀 5—冷却器 6—压力箱 7—减压阀 8—机架旁立管辅助过滤器 9—净油机 10—压力计 (0~0.7MPa) 11—压力计 (0~0.23MPa) 12—温度计 (6~94℃) 13—水银接点开关 (0~0.42MPa) 14—水银接点开关 (0~0.1MPa) 15—水银差动开关, 调节在0.035MPa 16—警笛和信号灯 17—警笛和信号灯 18—过滤器反冲装置 19—软管

器、电磁阀、调压阀, 油雾发生器、输送管道、凝缩嘴、控制检测仪表等, 油雾发生器是核心装置。

油雾润滑装置启动前, 先检查油位高低, 如油位低, 加油至规定油位。将温度指示调节仪调至规定温度, 再合上主开关, 将电操纵开关拧至“1”位上, 打开手动进气阀、调调压阀, 使供气压力在规定范围内, 即可投入工作。

油雾压力的调节, 可调减压阀3 (见图9-6-11), 但气压不得小于0.04MPa, 此法油雾压力波动较大。若想使气源压力恒定, 可通过调节阀体上

(见图9-6-12、图9-6-13) 针形阀改善油雾压力。两个针形阀关闭, 输出油雾压力最小, 单开针阀Ⅰ, 可相应使压力升高。调节输出流量时可旋转针阀Ⅰ, 当关闭针阀、流量恒定时, 输出油量最大, 否则可变小。

针阀Ⅰ顺时针旋转油量增大, 针阀Ⅱ反时针旋转时压力增大。但开启度都不可过大, 以防失误。

油雾发生装置, 调节装置见图9-6-12和图9-6-13。凝缩嘴见图9-6-14。

油雾润滑系统设计计算见表9-6-5。

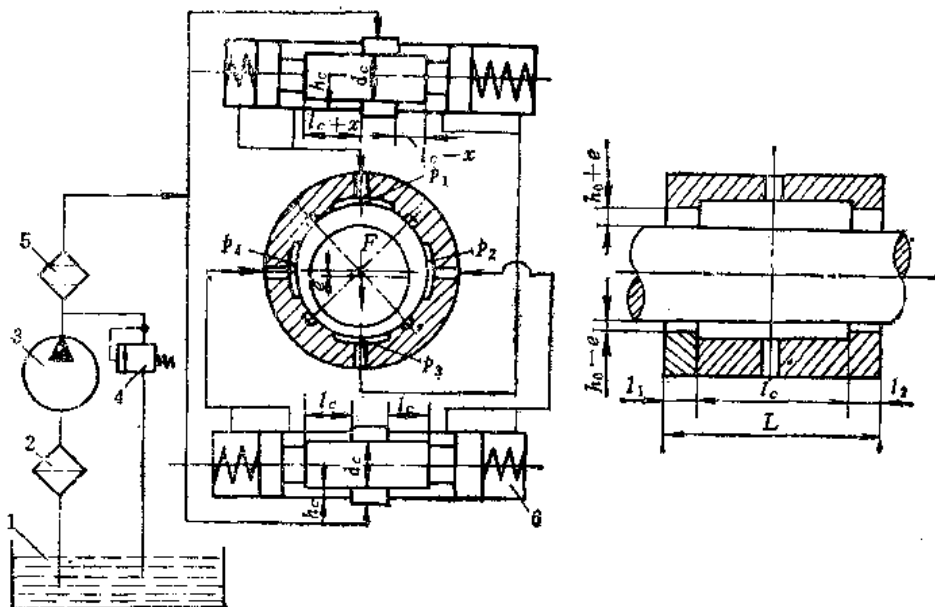


图9-6-8 滑阀反馈节流静压轴承

1—油箱 2—粗过滤 3—油泵 4—溢流阀 5—精过滤 6—节流器

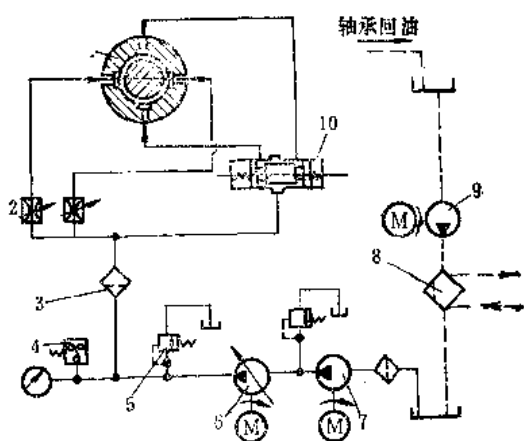


图9-6-9 静压轴承的供油系统

1—轴承 2—毛细管节流器 3—过滤器 4—压力继电器 5—溢流阀 6—高压泵 7—低压泵 8—冷却器 9—回油泵 10—反馈滑阀

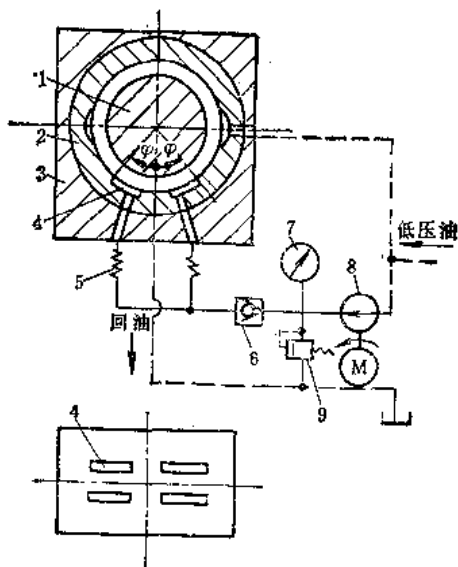


图9-6-10 回油腔的动-静压轴承示意图

1—轴颈 2—衬套 3—轴承座 4—油腔 5—毛细管 6—止回阀 7—压力表 8—高压泵 9—安全阀 ($\varphi = 30^\circ$)

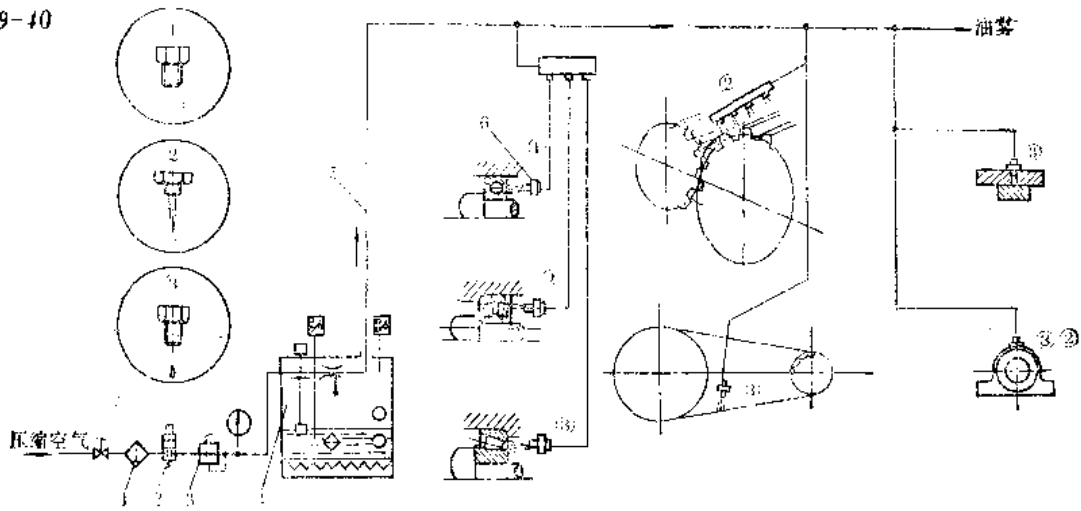


图9-6-11 油雾润滑系统图

1—分水滤气器 2—电磁阀 3—调压阀 4—油雾发生器 5—油雾输送管道 6—喷嘴
①、②、③—各工况下用喷嘴的情况

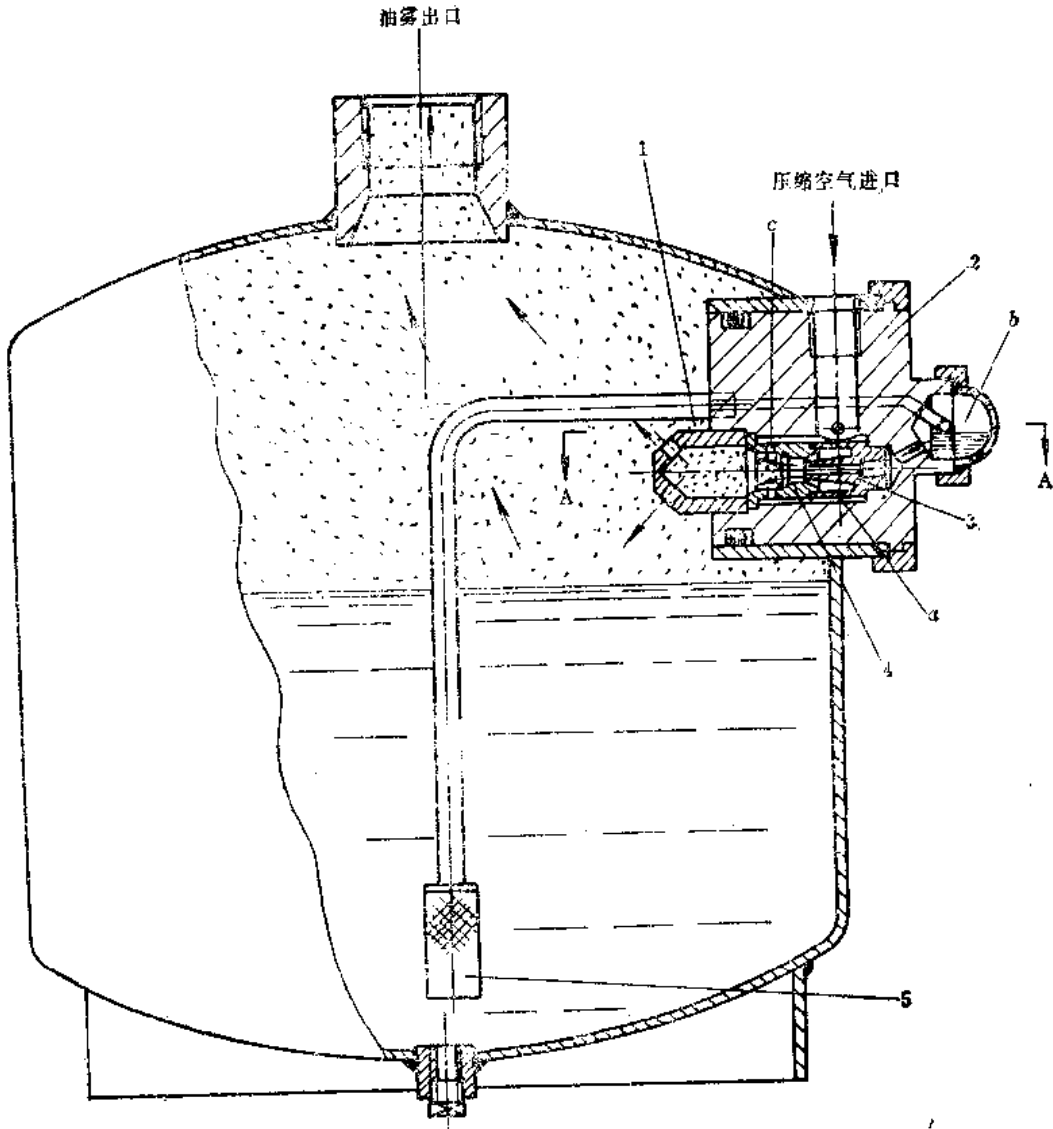


图9-6-12 油雾发生器结构及工作原理图

1—喷雾头 2—阀体 3—喷油嘴 4—文氏管 5—过滤网

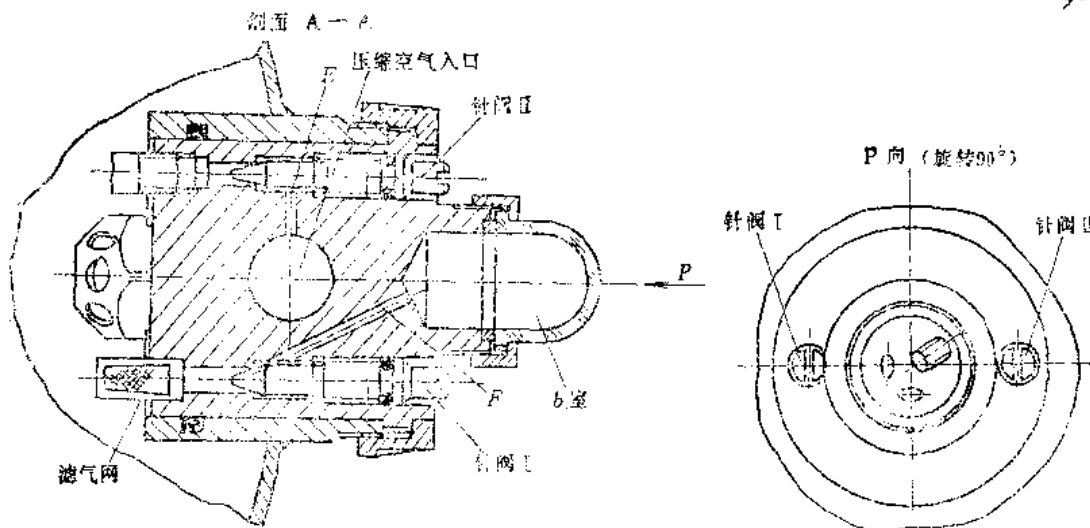


图9-6-13 油雾控制装置 (图9-6-12的A-A剖面)

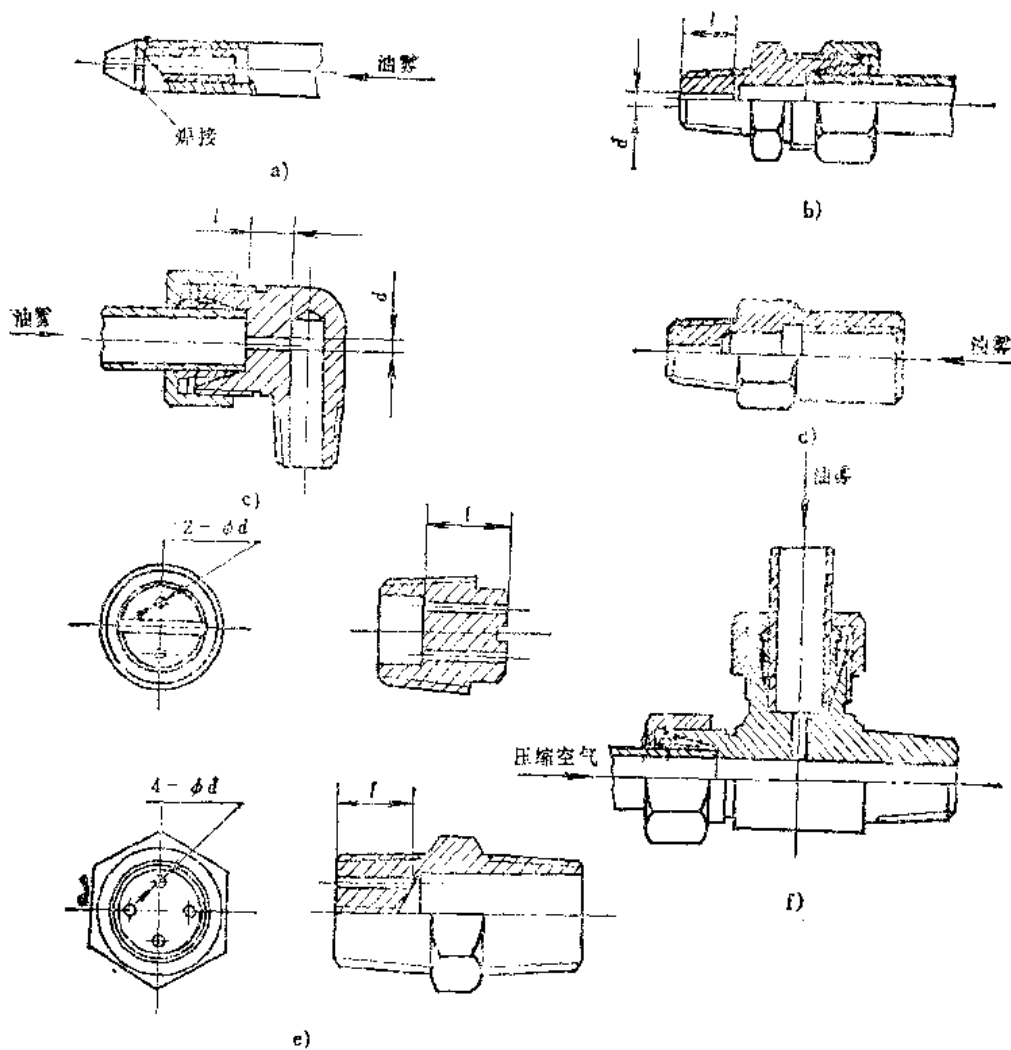


图9-6-14 凝雾嘴的各种结构型式

- a) 焊接式凝雾嘴 b) 直通卡套式凝雾嘴 c) 直角卡套式凝雾嘴 d) 直通螺纹式凝雾嘴
 e) 轧辊轴承用大凝雾嘴 f) 压力喷嘴式凝雾嘴

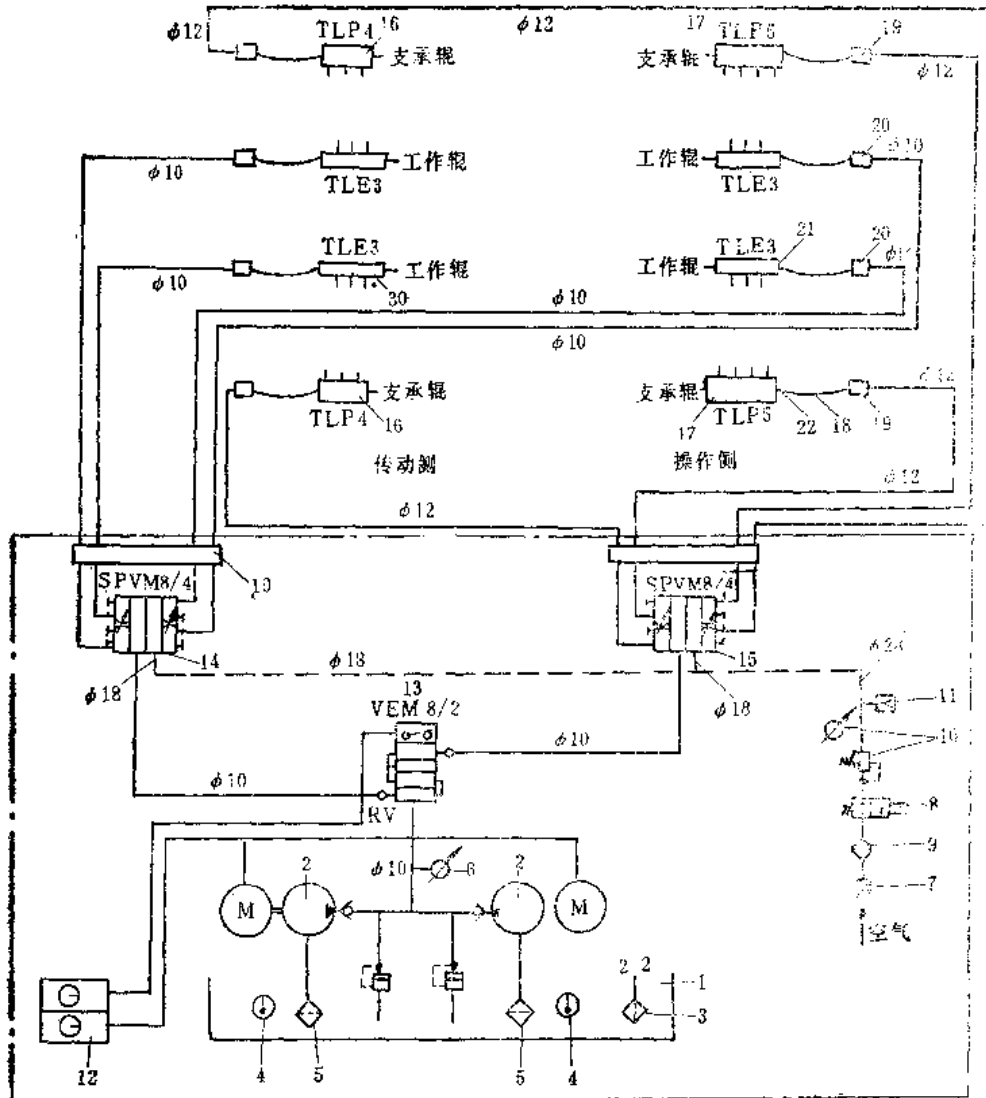


图9-6-15 四重式轧机轴承油气润滑系统

1—油箱 2—油泵 3—油位控制器 4—油位镜 5—过滤器 6—压力计 7—阀 8—电磁阀 9—过滤器
 10—减压阀 11—压力监测器 12—电子监控装置 13—步进式给油器(带接近开关) 14、15—油气混合器(两种规格) 16、17、30—油气分配器(不同规格) 18—软管 19、20—管路固定架 21、22—软管快速接头

油雾润滑用油精度，见表9-6-6，选择凝缩喷嘴时如需参考有关压力—流量曲线请参阅参考文献(13)。

油气润滑比油雾润滑的效果更好，它是靠压缩空气流动把油沿管路送至润滑点的。

油气润滑的系统组成，简介于图9-6-15，关键的是油气混合器和油气分配器，国内仅在个别引进设备上采用油气润滑，国内缺乏资料，正在科研攻关油气润滑系统和装置。

表9-6-5 不同摩擦副所需油雾量计算公式

摩擦副	滚动轴承	滑动轴承	滑动面	齿轮传动	蜗杆传动	链条传动	密封副
油雾量 q (m^3/h)	轻负荷 $q = 0.85dN$	轻负荷 $q = 26Ld$	滑动导轨 $q = 3.3A$	不可逆转 $q = 16.4B$	不可逆转 $q = 16.4B(2d_1 + d_2)$	滚子链 $q = 8.2fd_1 \sqrt{v} \times \sqrt{(0.01 \times n_1)^2}$	$q = 2.3d$
	中等负荷 $q = 1.7dN$	中等负荷 $q = 4Ld$	滑板 $q = 6.6A$	可逆转 $q = 23.9B$	可逆转 $q = 23.9B(2d_1 + d_2)$	套筒链 $q = 4.3Bd_1 \times \sqrt{(0.01 \times n_1)^2}$	
	重负荷 $q = 3.5dN$	重负荷 $q = 8Ld$	滑块、刀向联轴器 $q = 19A$			运输链 $q = (0.064d_2 + 1.1L)B$	
符号说明	d —轴承内径 (mm) N —球或滚子的列数	d —轴的直径 (m) L —轴承长度 (m)	A —接触面积 (m^2)	B —齿宽 (m) d —节圆直径 (m) 如果 $d_2, d_3 \dots$ 比 d_1 两倍大, 计算时只取 $2d_1$	d_1 —蜗杆节圆直径 (m) d_2 —蜗轮节圆直径 (m) B —蜗轮宽度 (m)	l —链条节距 (m) d_1 —链轮节圆直径 (m) B —链宽 (m) n_1 —主动链轮转速, (r/min) N —链条排数 L —运输链长度 (m) d_2 —运输链主动链轮节圆直径 (m)	d —密封圈内径 (m)

表9-6-8 油雾润滑用油粘度选用表

粘度(38°C) (mm^2/s)	摩擦副类型
20~100	高速轻负荷滚动轴承
100~200	中等负荷滚动轴承
150~300	较高负荷滚动轴承
330~520	大型、高负荷滚动轴承; 冷轧机颈轴轴承
440~550	热轧机轧辊颈轴轴承
440~650	低中重载滚子轴承; 联轴器、滑板等
650~1200	连续运转的低速重载齿轮及蜗轮传动

(四) 轧钢机常用润滑装置设备

连铸机械(包括轧钢机及其辅助机械设备)常用润滑装置有干油、稀油、油雾润滑装置; 国内润滑机械设备已基本可成套供给。这里介绍的是其中主要的润滑装置设备, 其名称、性能如下:

连铸机械标准稀油润滑装置 (JB/ZQ4586-1-36)

本标准适用于冶金、重型、矿山等机械设备稀油循环润滑系统中的稀油润滑装置, 工作介质粘度等级为 N22~N460 的工业润滑油, 循环冷却装置采用列管式油冷却器。

稀油润滑装置的公称压力为 0.63MPa; 过滤精

度低粘度为 0.08mm; 高粘度为 0.12mm; 冷却水温度小于或等于 30°C 的工业用水; 冷却水压力小于 0.4MPa; 冷却器的进油温度为 50°C 时, 润滑油的温降大于或等于 8°C; 蒸汽压力为 0.2~0.4MPa。

稀油润滑装置的参数性能见表 9-6-7。

稀油润滑装置 (630~2000) 的系统图参见图 9-6-16。

油液出油箱后经截止阀、经齿轮泵排出, 再经单向阀、截止阀、双筒过滤器、油冷却器送至润滑点; 回油经过滤器至油箱。泵的公称压力 0.63MPa, 系统公称压力 0.5MPa, 稀油站的公称流量 6.3~2000 L/min, 过滤精度 0.08~0.12mm。

两台泵, 一台备用, 可自动启动停车。双筒过滤器有压差显示。对冷却器进水有电磁阀控制, 用来调节出口油温。油箱有液位控制显示, 空气帽、电接点温度计, 用蒸气加热控制油温。

该系统和设备, 是国内机电部系统最新的稀油站装置。常用在设备稀油润滑上。

对要求不高的轧钢工艺润滑系统, 国内也常采用此系统。

轧钢机常用干、稀油主要润滑件标准简介见表 9-6-8。

以上主要润滑元件压力范围是 10MPa、20MPa、

表9-6-7 稀油润滑装置的性能参数

型号	公称 流量 (L/ min)	油箱 容积 (m ³)	电动机		过滤 面积 (m ²)	换热 面积 (m ²)	冷却水 管直径 (mm)	冷却水 耗量 (m ³ /h)	电加热 器功率 (kW)	蒸汽管 直径 (mm)	蒸汽 耗量 (kg/h)	压力罐 容量 (m ³)	出油口 直径 (mm)	回油口 直径 (mm)	重量 (kg)
			极数 P	功率 (kW)											
XHZ-6.3	6.3	0.2	6	0.75	0.05	1.3	25	0.6	3	—	—	—	15	40	510
XHZ-10	10														
XHZ-16	16	0.5	6	1.1	0.13	3	25	1.5	6	—	—	—	25	50	760
XHZ-25	25														
XHZ-40	40	1.25	6	2.2	0.20	6	32	3.8	12	—	—	—	32	65	1298
XHZ-68	68														
XHZ-100	100	2.5	6	5.5	0.54	11	32	7.5	18	—	—	—	50	80	2415
XHZ-125	125														
XHZ-160	160	5	4.6	7.5	0.62	20	65	20	—	50	40	—	65	125	4362
XHZ-200	200														
XHZ-250	250	10	4.6	11	0.88	35	100	30	—	50	65	—	80	150	6585
XHZ-315	315														
XHZ-400	400	16	4.6	15	1.31	50	100	45	—	50	90	—	100	200	7111
XHZ-500	500														
XHZ-630	630	20	6	18.5	1.31	60	100	55	—	50	120	2	100	250	860 ^a
XHZ-630A															9768
XHZ-800	800	25	6	22	2.2	80	125	70	—	50	140	2.5	125	250	11343
XHZ-800A															13205
XHZ-1000	1000	31.5	6	30	2.2	100	125	90	—	50	180	3.15	125	300	13196
XHZ-1000A															15179
XHZ-1250	1250	40	6	37	3.8	120	150	110	—	50	220	4	150	300	15194
XHZ-1250A															17792
XHZ-1600	1600	50	6	45	3.8	160	150	145	—	50	260	5	150	350	20020
XHZ-1600A															22026
XHZ-2000	2000	63	8	55	6	200	200	180	—	50	310	6.3	200	400	23010
XHZ-2000A															28180

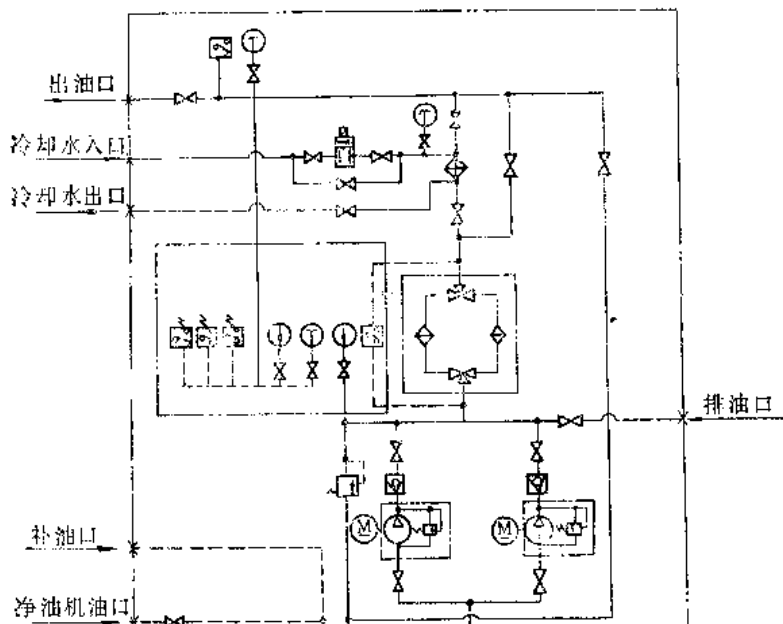
注：1. A为带互力罐的稀油润滑装置。

2. 斜齿轮油泵为4极电机，人字齿轮油泵为6极电机。

3. 如冷却水质采用河水，需经过滤沉淀，水温不应超过32℃。

表9-6-8 轧钢机常用干、稀油主要标准润滑件介绍

标准号	产品名称	标准号	产品名称
GB1154--89	旋盖式油杯	JB/ZQ4564--86	压力控制阀 (20MPa)
JB/ZQ4087--85	手动润滑泵 (7MPa)	JB/ZQ4565--86	液压换向阀 (20MPa)
JB/ZQ4088--85	多点干油泵 (10MPa)	JB/ZQ4569--86	管接头 (20MPa)
JB/ZQ4089--85	双线给油器 (10MPa)	JB/ZQ4579--86	多点润滑泵 (20MPa)
JB2304--78	电动干油泵及装置型式、参数与尺寸	JB/ZQ4580--86	单线润滑泵 (20MPa)
JB2306--78	单线干油泵及装置型式、参数与尺寸	JB/ZQ4582--86	电动润滑泵 (40MPa)
JB2308--78	片式给油器型式、参数与尺寸	JB/ZQ4583--86	双线分配器 (40MPa)
JB/ZQ4533--86	压力操纵阀 (10MPa)	JB/ZQ4584--86	二位四通换向阀 (40MPa)
JB/ZQ4534--86	电磁换向阀 (10MPa)	JB/ZQ4585--86	溢流开关 (40MPa)
JB/ZQ4535--86	干油过滤器 (10MPa)	JB/ZQ4586--86	稀油润滑装置
JB/ZQ4536--86	干油压力表减压器 (10MPa)	JB/ZQ4587--86	油箱
JB/ZQ4542--86	手动加油泵 (3.15MPa)	JB/ZQ4588--86	人字齿轮油泵及装置
JB/ZQ4544--86	电动加油泵 (2.15MPa)	JB/ZQ4591--86	斜齿轮油泵及装置
JB/ZQ4557--86	手动润滑泵 (10MPa)	JB/ZQ4592--86	双级网式磁芯过滤器
JB/ZQ4558--86	电动润滑泵 (20MPa)	JB/ZQ4004--86	列管式油冷却器
JB/ZQ4559--86	电动润滑泵 (20MPa)	JB/ZQ4593--86	板式油冷却器
JB/ZQ4560--86	双线分配器 (20MPa)	JB/ZQ4594--86	安全阀
JB/ZQ4561--86	递进分配器 (20MPa)	JB/ZQ4596--86	油流信号器
JB/ZQ4562--86	压力操纵阀 (20MPa)	JB/ZQ4085--86	精密滤油机
JB/ZQ4563--86	电磁换向阀 (20MPa)	JB/ZQ4601--86	平床滤油机



40MPa, 其中20MPa、40MPa是国外引进技术生产产品, 由太原润滑设备厂和上海润滑设备厂生产。其它产品, 除上两家外, 还有沈阳润滑设备厂和西安润滑设备厂生产等。稀油系统、元件四家都生产。

(五) 轧钢机常用润滑设备的安装维修

1. 设备的安装

认真审查润滑装置、润滑装置和机械设备的布管图纸、审查地基图纸, 确认连接、安装关系无误后, 进行安装。

安装前对装置、元件进行检查, 产品必须有合格证, 必要的装置和元件要检查清洗, 然后进行预安装(对较复杂系统)。

预安装后, 清洗管道; 检查元件和接头, 如有损失、损伤, 则用合格、清洁件增补。

清洗方法: 用四氯化碳脱脂; 或用氢氧化钠脱脂后, 用温水清洗。再用盐酸10%~15%, 乌洛托品1%、浸渍或清洗20~30min、溶液温度为40~50℃, 然后用温水清洗。再用1%的氨水溶液, 浸渍和清洗10~15min, 溶液温度20~40℃中和之后, 用蒸气或温水清洗。最后用清洁的干燥空气吹干, 涂上防锈油, 待正式安装使用。

2. 设备的清洗、试压、调试

设备正式安装后, 再清洗循环一次为好, 以保证可靠。

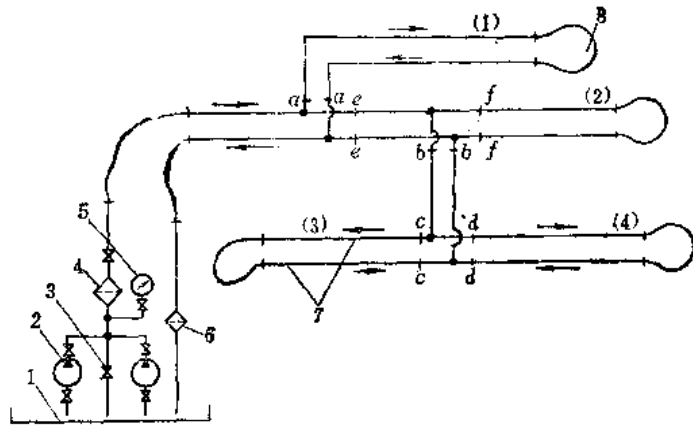


图9-6-17 干油系统循环清洗图

- 1—油箱 2—油泵 3—回流阀门 4—过滤器 5—压力表 6—过滤器
7—干油主管 8—连接胶管

干油和稀油系统的循环清洗图, 可参考图9-6-17和图9-6-18。循环时间为8~12h, 稀油压力为5~3MPa; 清洁度为YBJ84.8 G、H (相似于NAS 11、12)。

对清洗后的系统, 应以额定压力保压10~15 min试验。逐渐升压, 及时观察处理问题。

试验之后, 按设计说明书对压力继电器、温度调节、液位调节和诸电器联锁进行调定, 然后方可投入使用。

3. 设备维修

现场使用者, 一定要努力了解设备、装置、元件图纸, 说明书等资料, 从技术上掌握使用、维护修理的相关资料, 以便使用维护与修理。

对于稀油、干油系统的维修, 参见表9-6-9至表9-6-15。

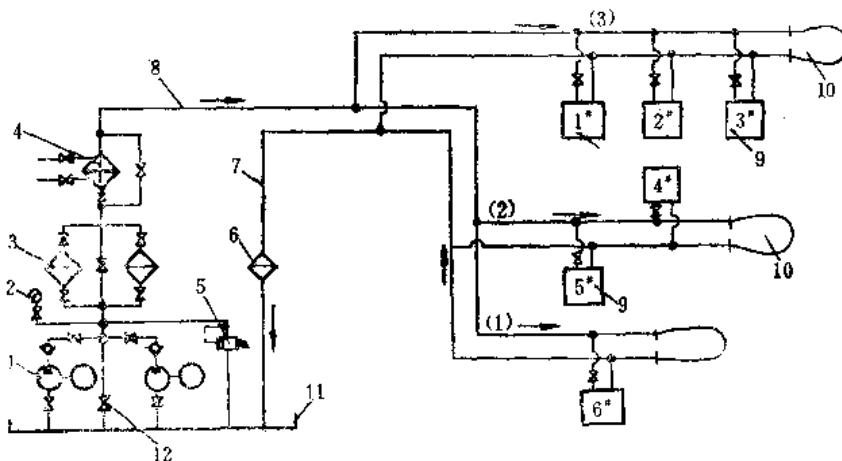


图9-6-18 稀油系统循环清洗图

- 1—油泵 2—压力表 3—过滤器 4—冷却器 5—安全阀 6—过滤器 7—回油管
8—给油管 9—减速机 10—连接胶管 11—油箱 12—油站回油阀

表9-6-9 稀油站、干油站常见事故与处理

发生的问题	原因分析	解决方法
稀油泵轴承发热(滑块泵)	轴承间隙太小, 润滑油不足	检查间隙, 重新研瓦, 间隙调整到0.06~0.08mm
油站压力骤然增高	管路堵塞不通	检查管路, 取出堵塞物
稀油泵发热(滑块泵)	1) 泵间隙不当 2) 油液粘度太大 3) 压力调节不当, 超过实际需要压力 4) 油泵各连接处的漏泄造成容积损失而发热	1) 调整泵的间隙 2) 合理选择油品 3) 合理调整系统中各种压力 4) 紧固各连接处, 并检查密封, 防止漏泄
干油站减速机轴承发热	滚动轴承间隙小, 轴套太紧; 蜗轮接触不好	调整轴承间隙, 修理轴套; 研合蜗轮
液压换向阀(环式)回油压力表不动作	油路堵塞	将阀拆开清洗、检查、使油路畅通
压力操纵阀拉杆在压力很低时动作	逆止阀不正常	检查弹簧及钢球, 并进行清洗修理或换新的
干油站压力表挺不住压力	安全阀坏了, 给油器活塞配合不良, 油内进入空气; 换向阀柱塞配合不严, 油泵柱塞间隙过大	修理安全阀; 更换不良的给油器; 排出管内空气; 更换柱塞; 研配柱塞间隙
连接处与焊接处漏油	法兰盘端面不平, 连接处没有放垫; 管子连接时短了; 焊口有砂眼	拆下修理法兰盘端面; 放垫紧螺丝; 多放一个垫并锁紧; 拆下管子重新焊接

表9-6-10 小修项目

项目	修理内容	检修周期
滑块泵	检修清洗各部件, 并更换磨损件; 检查配合处间隙大小; 更换密封	4~6个月
齿轮泵	检查清洗机件; 更换密封圈; 检查接手胶块	4~6个月
电动干油站	各传动部件及电磁换向阀、油缸、柱塞、曲轴轴承、减速机检查、修理或更换; 电动机轴承检查、修理或更换; 更换活接头垫圈	3~6个月
圆盘过滤器	油出过滤筒, 用压缩空气将杂质吹掉, 然后用煤油洗净, 检查清洗出入口开闭器和外壳	2~4个月
网式过滤器	清洗过滤网, 过滤网有损坏者进行修理	15~30天
管道	检查各连接处有无漏油、损坏现象, 并处理漏油及更换损坏的配件; 清洗干油过滤网, 更换损坏的给油器; 检查油标, 更换损坏的管路	1~2个月

表9-6-11 齿轮泵装配及检修技术要求

标准名称	间隙(mm)	
齿顶与泵壳间隙	0.06~0.10	
齿端面与端盖间隙	0.06~0.10	
接手误差	径向偏差	0.05~0.10
	倾斜度	<1mm/m

表9-6-12 中修项目

项 目	修 理 内 容	检修周期
滑块泵	拆卸清洗检查各零件使用情况, 更换已损坏零件, 对内外滑块、外滑块与转子, 转子与外壳配合间隙进行检查; 检查清洗电动机轴承, 更换损坏V型皮带	8~12个月
齿轮泵	清洗检查各零件, 更换易损件如密封圈; 检查滚针轴承	8~12个月
圆盘过滤器	拆卸过滤器进行清洗、检查, 更换损坏的垫片及刀片; 清洗外壳并检查有无损坏处; 马达清扫和检查; 传动齿轮的清洗和检查	8~12个月
电动干油站	检查清洗各机件、减速机换油; 检查清洗马达轴承; 检查接手胶块并更换损坏者	8~12个月
各种仪表	检查线路情况, 校对表的灵敏度, 更换损坏了的仪表和零件; 清扫仪表盘; 检查各种信号是否准确可靠	8~12个月
管 路	对受高温影响严重的管道进行检查并更换损坏者; 更换受酸腐蚀严重的管道、对管路系统油质较脏的管道进行清洗, 如初轧机床下螺母润滑系统	6~12个月
手动干油站	清洗检查过滤网、逆止阀; 并检查柱塞与换向阀配合间隙	8~12个月

表9-6-13 大修项目

项 目	修 理 内 容	检修周期
冷却器	检查冷却水管有无漏损处; 检查两端压盖及隔板有无损坏; 清洗所有冷却水管; 装配后进行试压, 5min不漏方可装配	1~2年
油 箱	更换油箱内润滑油; 检查油标有无损坏; 清洗油箱内的网状过滤器, 并检查修理; 检查蛇形管, 有无漏损并清除脏物进行试压; 检查温度计、冷凝器、油面指示器有无损坏	2~4年
齿轮泵	更换密封圈; 更换齿轮轴; 更换泵体(全部更换)	2~5年
滑块泵	更换内外柱塞及转子; 更换泵体(全部更换)	2~5年
电动干油站	清洗各机件, 更换易损件如柱塞、油缸、曲轴轴承; 清洗检查更换电机轴承, 并检修电气部分	2~5年
净油机	清洗检查各零件, 换易损件如摩擦接手凸块、油泵密封垫、缸体抱闸皮带等	2~5年
管路系统	检查所有管路是否有腐蚀、碰坏等现象; 更换已损坏管路; 更换所有配件垫片; 清洗管内油垢; 检查清洗管路配件、油标、阀门并更换损坏者; 更换并清洗干油给油器、换向阀、压力操纵阀等; 干稀油管试压; 管路除锈刷油与涂漆等	2~5年

表9-6-14 电动干油站装配及检修技术要求

标 准 名 称	间 隙 (mm)	
柱塞与油缸间隙	<0.02	
曲轴与轴瓦间隙	0.10~0.12	
柱塞颈间隙	1~2	
泵体水平误差	0.20mm/m	
贮油筒垂直度误差	0.50~1.0mm/m	
接手误差	径向偏差	0.05~0.10
	倾斜度	<1mm/m

表9-6-15 油雾润滑系统故障分析

故障	原因分析	解决办法
油雾压力下降	供气压力太低 分水滤气器积水过多, 管道不畅通 油雾发生器堵塞 油雾管或漏气	检查气源压力, 重新调整减压阀 放水、清洗或更换滤气器 卸下阀体, 清洗吹扫 检修
油雾压力升高	供气压力太高 管道有U形弯, 或坡度过小, 凝聚油堵塞管道 管道不清洁, 凝缩嘴堵塞	调整空气减压阀 消除U形弯, 加大管道坡度或装设泄油管 检查清洗
油雾压力正常, 但雾化不良, 或吹纯空气, 油位不正常	加错润滑油, 粘度太高 油温太低 吸油管过滤器堵塞 喷油嘴堵塞 油位太低 油量调节阀开启太大 空气针阀开启太大, 压缩空气直接输至管道	换油 检查温度调节器和电加热器使其正常工作 清洗或更换 卸下喷嘴, 清洗检查 补充至正常油位 关小或完全关闭油量针阀 调节空气针阀

第7节 移动发动机组的润滑

发动机实际上是将不同形式的热能转化为机械能的机器, 如蒸汽机、汽轮机、内燃机、燃气轮机和喷气发动机等。

内燃机是燃料直接在发动机气缸内燃烧而产生动力的热力发动机。由气缸、活塞、连杆、曲轴和其它部件组成。使用汽油、柴油、煤气等作燃料。燃料产生的高温高压燃气在气缸内膨胀, 推动活塞做功, 将热能转化为机械能。内燃机按它所用燃料的不同分为汽油机与柴油机, 前者结构较柴油机轻巧, 转速高, 起动方便, 运转较平稳。但功率范围窄。在汽车上应用最广。又称点燃式内燃机。后者功率范围较宽, 可用作拖拉机、船舶、内燃机车、载重汽车、小型发电机和农田排灌机的发动机等。内燃机按工作循环的行程数, 分别称四冲程和二冲程的内燃机。其主要机构是曲柄连杆机构。

(一) 内燃机润滑的特征与要求

1. 内燃机的润滑特征

内燃机(汽油机和柴油机)和其它机械一样, 有各种轴和轴承、活塞和气缸、曲轴、凸轮和推杆、齿轮、阀等作相对滑动的表面。这些表面能够

在多大程度上维持原始状态, 归根到底是耐磨性和润滑的措施。但内燃机和其他机械相比, 又有以下难点。

1) 由于通常对发动机要求是体积小、重量轻、功率大, 因此单位摩擦表面的负荷量较大。

2) 零、部件除了摩擦热之外, 还受燃烧热量的影响, 所以摩擦表面的温度较高。

3) 在燃烧室生成的燃气和其它固态物, 由于高温和化学反应, 危害金属与润滑油; 同时, 燃料和润滑油中的杂质和添加剂等由于燃烧发生变化, 其生成物堆积在活塞等处, 起着促进磨损的作用。

4) 活塞等零件的运动在某一瞬间变为零, 使油膜形成困难。

5) 在燃烧室附近, 为保证良好润滑所供给的润滑油, 由于经过燃烧室时可能损失掉, 所以难以充分供给。

6) 摩擦表面的间隙由于热膨胀和热变形而变小, 有引起咬粘的危险。

7) 吸气中含有尘埃、盐份等有害物质。

8) 由于振动、冲击负荷和压力的急剧上升等, 有时会产生气蚀等异常现象。

9) 对润滑油特性的要求各不相同。如对于活塞上方主要考虑耐热措施, 对于曲轴轴承处则考虑粘度, 对于齿轮和凸轮则考虑边界润滑特性等等。

尽管如此，却必须用同一种润滑油来润滑。

2. 轴承合金的摩擦特性

一般轴承均使用特殊合金制成，在理想的情况下，摩擦表面由油膜隔开，避免金属与金属的接触。但是，在开始起动，停止时，油膜在瞬间内或在局部地方发生破裂，不可避免地产生金属接触。为了不使这种状态扩大，确保能正常运转，必须选用摩擦特性良好的配副材料。

(1) 铜-铅合金 铜-铅合金有两种。一种是在均匀铜的硬基体中分布有27%粒状的铅，另一种是在铜基体中分布有20%网状的铅。这两种都是有代表性的铜-铅合金。前者的机械强度大。对平面金属表面和另一球面金属表面相接触构成的摩擦副，如果二个接触面都是硬金属或平面是软金属而球面是硬金属，此时两者的摩擦系数大致相近，一般在0.6~1.2之间。如果在平面的硬金属上贴上一层软金属膜与硬金属球面相摩擦，其摩擦系数则很小。一般软金属用铅。表9-7-1为不同金属组合的摩擦系数值。其中铜铅和钢组成的摩擦副，就相当于在钢表面上附着一层极薄的铅，具有很低的摩擦系数。这是由于在铜-铅合金上，负荷大部分由铜来支承，被剪断的仅是在表面上熔出的铅层。其原因由表9-7-2实验结果进一步证明。表中列出反复摩擦20次的摩擦系数值。在纯金属组成的摩擦副中，由于擦伤的情况不变，所以摩擦系数也不变。但是在附着有铅薄层的条件下，由于铅层逐渐磨损，基体金属铜开始直接接触，导致其摩擦阻力增大。

表9-7-1 铜-铅合金和铅薄膜的摩擦系数（静摩擦）

静止平面	半球形滑块			
	钢	铜	铅	铜-铅合金
钢	1.0	0.7	0.9	0.3
铜	0.9	2.0	1.6	
铅	1.2	1.3	1.6	
附铅膜的铜面	0.18			
铜-铅合金	0.18			

(2) 巴氏合金 由主成分为铅或主成分为锡的巴氏合金，无论那一种都和铜-铅合金相反，为软的基体中分散有硬的结晶点合金。例如铅78.5%、锡15%、铜0.5%、锡6%，基体为铅、锡、锡共晶合金。经实验证明，硬的结晶点在合金

表9-7-2 在同一处反复摩擦的实验情况

摩擦表面		静摩擦系数		
静止表面	滑块	第1回	第2回	第20回
钢	钢	0.9	0.9	0.8
钢	铜	0.7	0.9	0.85
铅	钢	1.2	1.4	1.4
铜	铜	0.9	1.0	0.8
附10 ⁻³ m厚铅膜的铜	钢	0.18	0.18	0.27
铜-铅合金	钢	0.18	0.17	0.26

中并不起多大作用。由钢半球实验，用含有硬的结晶点合金与不含有硬结晶点合金比较，其摩擦系数均在0.4左右，由于纯铜与纯铅构成摩擦副时其摩擦系数为1.0~1.2。而巴氏合金只有0.4，所以巴氏合金作为轴承合金具有良好的摩擦性能。

这完全与铜-铅合金相似，是由于熔点低的巴氏合金在运转时熔于摩擦表面，可增加其润滑性能。

3. 内燃机对润滑油的要求

润滑油必须具有润滑作用，以减轻配副零件表面的摩擦，从而减少零件的磨损和功率消耗。因而要求润滑油要有适当的粘度和油性，有利于润滑油膜的生成，同时要求润滑油在边界润滑条件下，不出现金属表面的直接接触。有时还要在润滑油中加入极压添加剂。

另外还要求润滑油具有清净作用，利用循环润滑油冲洗零件表面，带走磨屑。在内燃机燃烧生成物中，炭粒和油泥之类极细微（在1μm以下）的颗粒，集结或堆积在气缸的壁上，沉积在活塞环槽中，使活塞环粘着或者使二行程内燃机排气口堵塞。为不使这些细微的颗粒聚积起来，常常需在润滑油中加入清净分散添加剂。

润滑油在内燃机中的密封作用也十分重要。利用润滑油的粘性，附着在运动零件表面上以提高其密封效果。如果活塞与缸壁间保持一层油膜，就将增加活塞的密封作用。但一般润滑油在温度较高的情况下会使粘度降低，此时不但不能保证正常的润滑，而且也失去了密封作用。为了使润滑油能保持较好的粘温特性，一般需加粘度指数改进剂或降凝剂。

润滑油还应具有防腐、防锈性。润滑油附于零件表面，防止零件表面与水分、空气、燃气接触而产生锈蚀。一般润滑油将根据不同内燃机要求加入

防锈剂、抗泡剂以及抗氧抗腐剂。为达到上述要求，多数润滑油还要经过精制。

(二) 活塞环、气缸及曲轴轴承的润滑

1. 活塞环和气缸的润滑

在内燃机中活塞环是具有一定弹性的金属开口圆环，按功用不同分为气环和油环两种。

其中气环的功用是密封气缸，防止燃气漏入曲轴箱，并传递活塞顶部所吸收的热量。油环的功用是将缸壁上多余的润滑油刮下，防止机油窜入燃烧室。

活塞与缸套之间必须留有一定的间隙，在低温时，活塞环靠弹力保证气缸不漏气。活塞环摩擦表面由于磨合面的上下端倒角，形成接近理想流体润滑的楔形摩擦表面。活塞在上死点与下死点附近，速度接近于零，油膜厚度减小。这是由于油膜挤压作用。在上下死点处仍有可能形成油膜，所以活塞环主要应该是流体润滑状态。

新出厂的内燃机或刚修理更换过气缸套与活塞环的内燃机，零件加工表面虽然都具有较小的表面粗糙度，但从微观来看，仍然是高低不平的。所以在初期运转时油膜不易形成，有时会出现干摩擦，如果在这种情况下高速转动，必然会出现活塞及气缸表面拉毛、擦伤，甚至发生“咬死”现象，即“拉缸”。为了避免拉缸现象的出现，内燃机在初期运转时必须进行磨合，使活塞环与气缸套之间相互进行“配研”以消除微观不平度，并逐渐形成有利于建立油楔。从而改善润滑条件，使内燃机寿命延长。

活塞环沿气缸套内往复运动时处于流体动力润滑状态。但是在高温高压下润滑油供应不足，在长期停车后启动润滑油不能及时供给，会产生磨损。有时由于装配不当，活塞与气缸壁贴合不好，造成局部接触应力过大，使油膜破裂产生局部干摩擦。

缸套与活塞环还有一个重要的磨损原因就是燃料和机油燃烧后所产生的固体微粒和金属零件表面摩擦落下的磨屑，以及随空气进入气缸内的灰尘等。

对汽油机来说，由于突爆会引起活塞环与气缸的异常磨损。气缸壁由于冷却水作用常常会有气蚀现象发生。

为了减少磨损，必须做到：

1) 内燃机冷车起动前，应先摇动曲轴，使气缸内表面得到润滑。

2) 内燃机在规定温度范围内运行。

3) 按规定选用润滑油，保持清洁，并经严格过滤。经常检查机油数量和质量，经常清洗过滤器。

4) 内燃机必须装置空气滤清器，并定期进行清洗。

5) 按规定要求，使用润滑装置，保证活塞环及气缸能得到正常的润滑。

2. 曲轴轴承的润滑

曲轴轴承分两类，一类是滚动轴承；另一类是滑动轴承。这里重点介绍其特殊性。主轴承、连杆轴承、连杆小头的衬套等的性能对内燃机的使用寿命起决定性影响。

这些轴承负荷的大小和方向以及速度的大小变化很大，轴承温度高，而且其值难以进行测定。所以目前对轴承的油膜厚度，必要的供油量、摩擦力，发热量等虽尚不能作出精确的计算，但其计算结果已具有一定的精度，可供设计、运行人员采用或参考。

(三) 内燃机润滑系统

内燃机的润滑系统特别复杂。由于内燃机的类型和润滑部位不同，润滑方式也不同。实际上，除个别采用单一润滑方式外，多数采用压力润滑、飞溅润滑与油雾润滑等组成的润滑系统。

内燃机的典型润滑系统有湿式油底壳润滑系统和干式油底壳润滑系统。其中干式油底壳润滑系统特点是：

1) 用于移动式机械上时，可以防止工作过程中油面产生波动，影响机械正常润滑。

2) 油底壳容积可以大大缩小，使内燃机结构高度降低。

3) 减少曲轴箱内高温气体对机油的影响，防止润滑油氧化变质，延长机油使用期限。

4) 干式油底壳润滑系统一般用于移动式发电机组的润滑。

润滑油直接贮存在油底壳内，称为湿式油底壳润滑系统。其特点是：只要一个油泵，而不需要吸油泵便可以实现润滑油循环，从而简化了内燃机的附属设备及整体布置。

机油泵是润滑系统的重要部件，它使压力升高，强制地将润滑油送到各个摩擦表面上去。一般使用齿轮泵。因为它具有工作可靠、结构简单、制

造方便、能产生较大的压力等优点。

为保证机油泵和润滑系统中各个部件的工作安全可靠，机油泵出油压力必须限制在一定范围内，因此在机油泵上装有安全阀。

另外一个润滑系统部件是滤清器，作用是除去润滑油中的杂质，防止杂质随润滑油进入零件摩擦表面。保证润滑油在使用过程中有良好的润滑性能，延长其使用期限。按过滤能力不同分为粗滤器和细滤器两大类。粗滤器只能除去润滑油中较大颗粒杂质，它的特点是流动阻力小，大多数串联在主油道中，细滤器能够除去润滑油中的机械杂质和氧化生成的胶状物。其特点是滤清效果好，对润滑油有一定再生能力。能延长内燃机的使用寿命。但它的流动阻力大，通常与主油道并联使用。

预供油泵是内燃机起动时将润滑油送到各润滑表面上去，保证在起动过程中能得到充分润滑。预供油泵种类很多，根据驱动方式不同，可分为电动机油泵和手动机油泵两类。电动机油泵采用电动机作为动力，油泵通常采用齿轮泵。手动机油泵是人力驱动，按照结构不同可分为蝶门式、柱塞式等型式。

在润滑系统中有的还装有油压自动停车装置，可确保内燃机在允许油压范围内，保持在正常润滑条件下进行工作，当润滑油压力低于最低压力时自动地停止内燃机的工作，以防止内燃机因润滑不良造成重大事故。

(四) 内燃机润滑油的选择

按内燃机类型选油，即按汽油机和柴油机两种类型进行选油。在确定内燃机类型后，在满足部件要求前提下尽量选用低粘度油。原因是粘度越低，摩擦损失越小，而且可以改善内燃机的起动性能。通常要结合以下条件进行选油：

1) 温度 部件温度越高，要求选用油的粘度越高；周围环境温度升高（如夏天），也应选用粘度高一些的润滑油。

2) 负荷 内燃机功率大，轴承负荷大，也应选用粘度高一些的润滑油。

3) 速度 在相同温度及负荷条件下，轴承转速越高应选用低一些粘度的油。

4) 间隙 零配件配合间隙大，应选用粘度大一些的润滑油，如磨损后及陈旧的内燃机等。

1. 汽油机润滑油的选择

(1) 按汽油机的不同情况选油

1) 新的汽油机应使用20号汽油机油。

2) 东北和西北地区的汽油机，在严寒季节使用20W号汽油机油。

3) 北方地区的汽油机，在冬季使用20W、夏季使用30号汽油机油。

4) 南方地区的汽油机，全年可使用30号汽油机油，夏季特热时可使用40号汽油机油。

5) 磨损严重、负荷重或工作环境污秽的汽油机，夏季使用40号汽油机油。

(2) 提高汽油机润滑油的措施 为了提高汽油机润滑油的质量，可以在现用的汽油机润滑油中加入抗氧，抗腐蚀和清净分散的添加剂，汽油机使用后，有下列好处：

1) 活塞和燃烧室较为清洁，漆膜和胶状物生成量少。

2) 润滑油路和细滤器上的沉积物少。

3) 抗氧抗腐蚀性好，减轻机械磨损、延长换油周期，一般换油周期可延长到500 h以上。

(3) 使用添加剂后应注意事项

1) 轴承会生成暗色保护膜，这是正常现象，不要人为刮去。

2) 加添加剂的汽油机油呈碱性反应，不要用在其他机械上。

3) 装过添加剂的汽油机油的容器（大桶）要洗干净，然后才可装别的油料。

4) 在用加添加剂的汽油机油替换无添加剂的油时，应先清除汽油机内部的积炭和沉积物或及时更换清洗机油滤清器，以免这些污物被洗下来从而堵塞滤清器。

5) 加添加剂的汽油机油可以与无添加剂的同牌号汽油机油混存，但加添加剂的油使用性能要优越得多，为了充分发挥有添加剂汽油机油的作用，故一般尽量不要混存保管。

2. 柴油机润滑油的选择

为柴油机选用润滑油的主要依据是柴油机的转速、轴承的合金以及使用季节：

(1) 高速柴油机（转速在1000 r/min以上）润滑油的选择。

1) 新出厂的高速柴油机冬季使用20号柴油机油，夏季使用30号柴油机油。

2) 北方地区的高速柴油机冬季使用20号柴油

机油，夏季使用30号柴油机油，负荷较重和磨损较大的在夏季可以使用40号柴油机油。

3) 南方地区的高速柴油机冬季使用30号柴油机油，夏季使用40号柴油机油。

4) 大型高速柴油机冬季使用40号柴油机油，夏季使用50号柴油机油。

5) 高速柴油机由于它们的压缩比高，因此工作温度和压力都比汽油机高得多。所以多数采用铜铅合金轴承，铜铅合金轴承的特点是耐高温、高压，但耐腐蚀性差，它对腐蚀特别敏感。为了适应铜铅合金轴承的需要，必须使用带有添加剂的柴油机油，它能在轴承表面上生成一种暗色的保护膜，从而使轴承不受腐蚀侵害。

6) 要判断柴油机原来使用什么润滑油，一是要看说明书，二是可以拆开轴承看一下，如果轴瓦是白色的（巴氏合金），就可以使用汽油机油；如果轴瓦是赤色的，就应使用柴油机油。

7) 在柴油机油缺乏时，也可以使用相应牌号的汽油机油代用。

(2) 低速柴油机润滑油的选择

1) 小于36kW/缸的柴油机

内部压送用30号柴油机润滑油；

内部飞溅用40号柴油机润滑油；

外部压送与飞溅用30号、40号柴油机润滑油。

2) 36~110kW/缸的低速柴油机

内部压送选用40号、50号柴油机润滑油；

内部飞溅选用40号、50号柴油机润滑油；

外部压送与飞溅用30号、40号柴油机润滑油。

3) 110~260kW/缸的低速柴油机

内部压送用40号、50号柴油机润滑油；

外部飞溅用40号、50号柴油机润滑油。

4) 大于260kW/缸的低速柴油机一般应选用50号柴油机润滑油或中、重负荷工业齿轮油。

(3) 识别柴油机润滑油是否更换的方法 柴油机润滑油是否需要更换，主要应按其质量是否变质来确定，在没有化验条件下，通常可用下列简易方法进行判断

1) 将新油和使用中的油各滴一滴在白色的滤纸上，观察其变化情况（最好用放大镜）。如果使用中的油滴中有较多的黑点（硬沥青质及炭粒），表明滤清器不好，并不说明油已变质；如果整滴油呈深黑色且均匀无颗粒，则表明润滑油已严重变质，需要换油；如果油滴中间有较小的黑点而色较浅，四周

的黄色浸润痕迹较大，表明油还可以继续使用。对于加有添加剂的柴油机油来说，如果油滴中间黑点与四周的黄色浸润痕迹的边界不很明显，有扩散的花边，表明添加剂并未完全失效，如果边界很清晰，表示添加剂已消耗到不起作用了，此时应该换油。

2) 用直径5mm、长200mm的玻璃试管，装入190mm高的新油，封好；另用一支同样的玻璃试管装入等量的使用中的润滑油，也封好；在相同的温度下，使两者同时颠倒，记录气泡上升的时间，如果两者相差超过20%时，就说明使用中的润滑油的粘度已增或减20%，此时应更换油料。

3) 取使用中的润滑油100mL，加入无铅汽油200mL稀释，然后用滤纸过滤并干燥，当油泥沉淀物重量达到2g时，就应该换油。

(五) 润滑系统使用注意事项

1) 应经常检查油底壳或机油箱内的油面高度，保证有足够的油量，如柴油机起动前或连续运行一段时间后，必须检查油面高度。一般内燃机都装有油标尺，上面刻有规定油面高度位置，根据规定标志，可确定油量是否够。如发现油量不足要及时添加，但不能过多，否则会造成机油消耗增加，排气带烟及产生积炭等故障。所以在添加润滑油过量时应将多余部分及时放出。

2) 选用合格的润滑油，按照内燃机（如汽油机、柴油机）使用说明书规定牌号选用合适的润滑油。并且在油品贮存及添加时都严格保持其清洁，严防杂质，尘土和水分混入润滑油，加油时应保持加油工具的清洁，并要过滤。在低温环境下，冷起动不要直接用火烤机油。必要时可用热水或蒸汽间接加热。

3) 内燃机起动前，必须先开动预供油泵，没有预供油泵的小型发动机应盘几圈车，使各摩擦表面得到润滑后方可起动。

4) 内燃机运转过程中，应经常注意润滑油压力和温度，保持在规定范围内。

现举一常用柴油机润滑系统润滑油压力与温度要求范围如表9-7-3所示。

5) 注意检查润滑油的消耗和润滑油的质量，如发现不正常情况，应找出原因及时排除。

润滑油如消耗过大及过量，应引起注意并及时排除。

表9-7-3 柴油机润滑系统润滑油压力与温度要求范围明细表

机 型	润滑油压力 (MPa)		油底壳油温 度(°C)	润滑油 容 量 (L)	
	运动时	最低转 速时			
Z12V190B	>0.1	>0.35	0.5~0.8	≤90	200
12V150	>0.1	>0.2	0.6~0.9	≤90	80
4125	—	≥0.05	0.16~0.3	15~90	22
4125	—	>0.1	0.2~0.3	70~90	25

6) 定时清洗润滑系统各部件, 保持各条油路畅通, 定期检查油的质量, 实行按质换油, 以确保设备的正常润滑。

第 8 节 注塑机的润滑

塑料注射成型机是将固态塑料塑化, 然后借助于螺杆, 以一定压力和速度注入闭合模腔内, 经过固化定型后, 取得制品的一种热塑性成型设备。

注塑机一般由注射装置、合模装置、机架、变速箱、液压和电气系统等主要部件组合而成。在注塑过程中, 注塑机既有机械设备的回转、直线和螺旋运动, 也有液压设备的动能传递, 还有电加热装置的热能转换, 这就给润滑工作提出了较多的要求。当然, 对于注塑机的润滑我们可以按运动方式分别遵循机械设备、液压设备和电加热设备润滑的通则进行, 但有些部件(如注射部件及变速箱等)就需综合考虑, 采用混合润滑的方法。

由于各种型号的注塑机注射重量相差很多, 设备的自动化程度高低悬殊较大, 故对注塑机润滑要求也很不一致。一般可参照注塑机出厂使用说明书进行润滑。

(一) 手动或半自动塑料注射成型机的润滑

1. 齿轮变速箱的润滑

变速箱的任何故障都将影响到加工的质量和数量。对箱内的经济硬处理的正齿轮和调质轴应保证均匀可靠的润滑油膜, 一般采用油杯和飞溅润滑法即可满足润滑要求。

2. 注射部件的润滑

注射部件的作用是经电加热圈, 使塑料受热均匀达到注射温度, 由压料杆螺旋加压形成注塑压力。压料杆的润滑一般采用油杯、油绳等润滑方法。

3. 锁模部分的润滑

锁模部件由皮带轮、丝杠、螺母、虎钳等组成。调整虎钳一侧上的撞块位置与机座上的行程开关相配合, 控制丝杆进给行程, 使虎钳达到开模与合模。因丝杆、螺母摩擦结点较小, 油膜容易被挤裂, 因此, 润滑油应具有较好的油性, 一般采用 L-AN46 油或 HL 液压油(下同)通过油杯、油绳润滑。

4. 机座部分的润滑

机座上的滑动导轨一般用铸铁制成。因导轨承受的负荷及滑动速度都不大, 故用矿物润滑油即可保证一定的边界油膜。一般用手轻轻接触导轨面后, 能在手上看出油迹即认为在导轨面上已经维持了一层油膜。

(二) 自动液压注塑机的润滑

这种注塑机的特点是: 自动化程度高、性能稳定, 并有电气、液压联锁保护装置, 精度高、结构较复杂。

1. 注射部分的润滑

由于这部分是完成注射双油缸拉动预塑变速齿轮箱, 经齿轮箱推动螺杆, 将均匀塑化的塑料射入模腔内, 实行注射成型的关键部件。运动比较频繁, 又有电加热装置, 必须严格执行润滑制度。本部分的主要润滑部位:

- 1) 注射座与机架导轨面上加 L-AN46 全损耗系统用油, 每班一次。
- 2) 齿轮箱底部(滚柱)导轨面上加 L-AN46 全损耗系统用油, 每班一次。
- 3) 回转中心加油脂, 约 0.3 L。
- 4) 变速齿轮箱内加 L-AN46 全损耗系统用油约 10 L。

2. 移模部件的润滑

移模采用液压动力, 选用直压式充液装置, 结构简单, 动作可靠, 润滑点少。主要是保证在四根导柱上形成润滑油膜, 可用 L-AN46 机械油通过油杯、油绳润滑。

3. 电动机的润滑

自动液压注塑机多数都是由多台电动机驱动, 在进行日常润滑时, 电动机应按要求进行润滑。

参 考 文 献

- [1] 陈田才, 夏顺明主编. 设备润滑基础. 北京: 冶金工业出版社, 1982

- [2] 庞树生编, 金属切削机床维修. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1977
- [3] 吴福堂, 进口设备液压油的合理选用·设备管理与维修, 1990(4), 35~36
- [4] 广州机床研究所, 武汉材料保护研究所主编, 机械工程手册第22篇, 摩擦磨损与润滑, 北京: 机械工业出版社, 1978
- [5] 北京机电研究所等主编, 机械工程手册第40篇·锻压, 北京: 机械工业出版社, 1978
- [6] [英] 尼尔 M J. 摩擦学手册, 王自新译, 北京: 机械工业出版社, 1984
- [7] [日] 日本润滑学会编, 润滑故障及其预防措施, 北京: 机械工业出版社, 1984
- [8] [苏] 穆柔林 M B. 机器的润滑装置, 袁平译, 上海: 上海科学技术出版社, 1964
- [9] [日] 日本机械学会编, 机械技术手册, 北京: 机械工业出版社, 1984
- [10] 合肥通用机械研究所等主编, 机械工程手册第76篇, 通风机、鼓风机、压缩机, 北京: 机械工业出版社, 1978
- [11] 董浚修编, 润滑原理及润滑油, 北京: 轻工业出版社, 1987
- [12] 刘贻铭等编, 设备用油与润滑手册, 北京: 煤炭工业出版社
- [13] 通用桥式和门式起重机, 北京: 机械工业出版社, 1989
- [14] 冶金工业部有色金属加工设计研究院主编, 板带车间机械设备设计(上册), 北京: 冶金工业出版社, 1983
- [15] 高晖, 李芳宽, 1700冷连轧机工艺润滑系统研究, 武汉: 武汉钢铁公司
- [16] 倪熙安, 冷轧带钢的工艺润滑与冷却系统, 冶金设备, 1988(1)