

第一章 概 论

机器人技术的发展总是与社会经济情况相协调的。

当代的高技术除了在技术层次上比较高以外，其显著的特点是在经济上能够带来较大的效益。机器人技术是高技术的重要内容之一，纵观世界各国机器人的历史可以看出，能否与各国社会经济、社会需求相协调是机器人技术发展中生死攸关的大问题。这种协调的核心是市场观念问题，要为成熟的技术安排市场；又要不断提高技术水平，目的在于开拓新的市场。

第一节 高技术是技术、经济和社会相结合的综合性范畴

世界公认，1942年12月2日世界上第一座核反应堆在美国芝加哥大学投入运行是当代高技术发展的起点。时至今日，高技术在世界上的发展只不过40多个年头，但是，它给人类社会带来的影响却是十分巨大的。正因如此，继40年代美国的《曼哈顿计划》之后，70年代美国又完成了《阿波罗计划》。80年代以来世界上一切先进国家都先后推出了本国的发展高技术的计划，其中有美国的《星球大战计划》，法国等西欧国家的《尤里卡计划》，苏联的《2000年科技发展纲要》和日本的《多角化战略》等等。

高技术最近20年又成为思想理论研究讨论的大热门。1971年美国国家科学院在《技术和国际贸易》一书中正式给出高技术的定义，1981年美国出版了以《High Technology》（高技术）命名的专业杂志，1983年美国《韦氏第3版新国际辞典补充

9000词》中收入了高技术词条。

到目前为止，有关高技术的定义并不完全统一，但是在其基本含义的理解上，以下三个侧面又是比较一致的。

一、高技术首先是一个技术概念

它标志着技术发展的高层次和技术中的科学知识、智力密集的程度是“很高的”、“先进的”、“前沿的”和“新兴的”。美国韦氏词典所列高技术是“一名词，使用或包含尖端方法或仪器的用途的技术”。在日语中高技术 and 尖端技术是一致的。高技术总是以最新科学成就为基础的。美国众议院一个小组提供的《科学技术政策工作词汇汇编》认为，高技术是“指一些比其它技术具有高科学输入的某些技术创新”。

从技术的层次和技术与科学的相互关系上定义高技术无疑抓住了高技术 in 知识密集、科学与技术的相互作用的某些特征，但是，也有不足。至少关于技术发展的层次是相当模糊的。什么算高？中国古代四大发明算不算高？再则，技术依赖于科学仅说明科学和技术相互关系的一个方面，却没有说明科学也依赖于技术这一侧面。再次，这种定义很容易忽视高技术在社会经济方面的作用。

二、高技术是一个经济范畴

在西方，高技术概念获得普遍使用最先还是在经济、贸易领域开始的。美国的 B.W.Mar 认为高技术是一种能使产品周期缩短，减少有限资源的压力、改变人才资源匮乏、适应动荡不定环境的种种活动。日本的津曲一郎认为，高技术是提高现有产品功能、赋予产品以新功能、构成下一代产品的中心技术、主导技术的总称。美国学者纳尔逊则认为高技术是投入研究开发的资金很高，技术进步迅速的产业。美国科学基金会认为高技术是一种产品，生产该产品的人才技术构成很高，每千名职工中科学家和

工程师占25%以上；研究、试制费用很高，占净销售额的35%以上。

人们将高技术理解成经济范畴是有道理的。

首先，各发达国家发展高技术是从政治军事上入手的。这是因为，发展高技术能够有效地提高本国的国防实力，是激烈的国际冲突中做出的政治选择。美国的《曼哈顿计划》是为了赶在德国法西斯之前造出原子弹而实施的。美国为了赶上1961年4月12日苏联把尤·加加林送入太空这个“空间距离”，由肯尼迪在当年5月25日提出《阿波罗登月计划》。最近，1983年的《星球大战计划》则是美国面对苏联拥有足够摧毁地球的打击力量而由“确保摧毁”转为“确保生存”的战略计划。

第二，高技术得以广泛发展的原因在于它是提高经济实力、增强外贸竞争能力的强有力手段。在高技术应用于军事的同时，高技术在国民经济中成为举足轻重的部门。高技术产业生产总值占整个国民生产总值10%，高技术产品外贸总额占同期世界工业制成品出口总额的9.03%（近10%）；高技术能源主要指核能占世界总发电量13%。高技术产业成为整个产业中发展最快的产业部门。70—79年美国、英国、法国的电子工业每年平均增长13.8%；83—93年预测高技术产业比制造业和服务业快一倍以上。从美国、日本等国来看，高技术产业增长速度快、创造的产值多，增大了就业人数。预计到1995年美国将增加1500万个就业机会。

高技术产品原材料、能源消耗低，技术附加价值高，它所带来的利润是十分惊人的。美国在1970年时的22个高技术厂家拥有资金仅2亿元，9年后即1979年营业额达60亿，出口收入9亿，政府税收得4.5亿，估计到1989年它们的营业额将达到5400亿，每个职工平均年销售额6—20万美元。这22个厂家与此同时创造出13万人就业机会。高技术产品极大地提高了出口贸易的竞争力。美国IBM公司高技术电子产品占世界同类产品销售额的60%，营业利润中占70%，西欧各国仅占10%。

世界微机市场每年 27.5 亿美元销售额中，美国占 43%，日本占 34%，西欧占 18%。据统计，1984 年整个世界的国民生产总值为 12.6 万亿美元，美国、日本、西德、加拿大、意大利和法国等 7 国约占 60%。全世界贸易总额 1984 年为 2 万亿美元，美国占 11%，日本占 8.6%，西德占 8.6%，上述 7 国加在一起占 46%，外汇储备中，这 7 国占 43%。将高技术视为经济范畴很重要，它可以克服单纯技术的局限性，改变技术与经济相脱节的现象，推动技术和经济相结合，促进经济的发展。

三、高技术又是一个社会范畴

因为高技术是技术、经济、贸易等多方面的社会活动，同时又对社会政治产生强烈影响。高技术成为社会发展的重要动力，高技术是合理利用资源、提高工具水平和劳动者水平的决定性因素；高技术促使劳动结构、产业结构向新的形式变化；高技术促使政治观念、思维方式、生活方式发生变化；高技术对社会的影响是极其深刻和长远的，它也是社会形态变革的标志之一。目前已有“高技术文化”、“高技术社会”、“高技术时代”等说法。总之，对高技术从技术、经济和社会三者的结合上去理解才能深入认识其本质。

第二节 不同国家机器人发展的 不同模式和结果

回顾近二十多年比较发达国家发展机器人的历史大体为两种模式。

第一种，美国的曲折道路。世界上第一台工业机器人是美国最先制造出来的。Unimate 和 Versatran 型机器人是 60 年代初作为商品在美国市场上出售的，但是由于美国没有重视机器人技

术与本国的社会经济发展相结合，比较强调“基础研究”，到1973年美国反而从日本进口机器人。最近，由于国内外竞争的压力所迫，美国又重新重视机器人技术的发展。

第二种，日本的技术和经济相结合的实用型模式。日本的Unimate和Versatran等类型机器人是1967年从美国引进的。由于日本始终注意机器人技术和本国的社会经济发展实际相结合，到80年代初，就机器人的拥有量、机器人制造厂家等指标分析，日本均占前列，自称为“机器人王国”，与此同时，日本的国民经济、劳动就业都得到良好的发展。

第三种，西德的“以技术促经济”的发展模式。到1986年底，联邦德国已经是世界上屈指可数的机器人大国之一，使用机器人台数超过10000台大关，达到12400台名列世界第3位，仅次于美国和日本，使用机器人密度达到每万名工人使用14.4台，仅次于日本（78.1台/万名工人）和瑞典（38.7台/万名工人），超过法国（14.2台/万名工人）、美国（12.4台/万名工人）和意大利（10.2台/万名工人）。然而，联邦德国机器人工业发展的初始条件并不是很好的，起步较晚，又遇到困难。1971年不足50台，1972年找不到一个制造机器人的工厂。1970年联邦德国开始应用机器人时遇到了经济环境不景气的压力，研究开发费用不足，设备投资下降。但是，联邦德国认识到，他们在技术上有优势（据统计，在60年代后期，联邦德国在技术上处于领先地位，美国为100，西德为40，法国为24，英国为25，日本为22），可以实行以技术促进经济发展的政策。联邦德国的一位技术研究部长指出：“西德的研究开发费用在国民经济总产值中已占2.7%，超过美国和日本居世界第一位”。但是，他认为，“世界一切发达国家都在利用技术手段改进经济状况。国家之间的差距，关键在于是否开展被工业利用的技术革新。通过研究开发活动增强国际竞争能力就能很好地改善西德的整个经济状况。”后来，德国的实践证实了他的预言。联邦德国政府将机器

人技术列为 80 年代第一项，制订了专门的研究计划，同时政府又制订了一项改善劳动条件的计划，其中心内容就是用机器人代替危险有害作业，先后在玻璃、显像管生产中使用机器人，改善了劳动条件，提高了经济效益，结果机器人行业迅速发展。1978 年在联邦德国出现了 42 家制造机器人的公司，到 1983 年每万人中机器人拥有量达到 4.6 台，跃居世界第 3 位，仅次于瑞典（29.9 台）和日本（13 台）。

第四种，苏联的“统一计划”模式。苏联的机器人起步也很晚，但是发展速度相当快。1972 年正式将机器人列入国家发展计划。到 1975 年即第 9 个 5 年计划结束时，生产出 120 台机器人，占世界总数 3%。1980 年即第 10 个 5 年计划结束时，生产出 100 种 1579 台机器人，占世界总数 21.4%，1985 年即第 11 个 5 年计划结束时达到 40000 台，按万名工人平均数约 10 台/万人居世界前列，预计到 1990 年即第 12 个 5 年计划结束时达到 10 万台，经互会成员国达到 20 万台。苏联不仅数量增长快，而且升级也快。据已掌握资料看，带一定感觉功能的机器人无论在冷加工和热加工工序过程中已经在相当范围内使用。此外，农业用摘黄瓜的机器人、水下 6000 米作业的机器人、采矿用与联合挖掘机配套用的机器人和登月用的《金星—13》航天机器人都给人耳目一新的感觉，说明其应用范围和性能都达到较高的程度，原因在于机器人技术同整个社会经济发展紧密结合，将机器人作为提高社会生产率的手段安排和使用的。

苏联的统一计划，首先是统一机器人的研制和批量生产，其次是统一确定机器人的推广应用范围，第三是统一机器人的技术人才的培养教育。到目前为止，从机器人的研究、设计人才到机器人的操纵使用人才全有统一的安排。他们认为，没有使用维修机器人的人才，机器人不过是一堆废物。目前，正在有计划地向建筑、冶金、食品加工、医疗等行业推广机器人。结果，使用机器人行业的劳动生产率提高 1.5~2 倍，节省 10 万多劳动力，收

到5亿多卢布的经济效益。

苏联使用机器人十分注意机器人同其他生产设备的配套，提出机器人综合体、机器人化生产线、机器人化工段、车间等概念。目标是提高劳动生产率，宜用机器人则用机器人，如果其它设备或机器人的一个部件能发挥更大效益，则就用它，以便达到全面自动化生产。

综上所述可见，机器人技术能否与各国社会经济情况相互协调，是机器人技术也是各国社会经济健康发展的关键。日本、联邦德国和苏联属于协调发展比较好的国家。美国的曲折道路从两个方面说明机器人技术必须与本国社会经济相协调：一方面，忽视技术与经济相协调，尽管技术上很先进，但是技术发展受阻碍；另一方面，重视技术和社会经济相协调，技术得到发展，社会经济也相应得到发展。

第三节 核心是一个市场观念问题

怎样才能促进技术与经济相结合呢？关键在于形成机器人产业。

机器人产业同机器人技术相比是有本质区别的社会经济概念。机器人产业的形成除了具有机器人的科研设计系统之外，主要标志是具有专门生产机器人整机、主机元件以及主要配套设备的生产厂家，即机器人的制造系统，这个系统能够靠它自身的产品的销售收入维持扩大再生产。与此同时，具有一个机器人产品销售服务系统和需求不断增加的商品市场。机器人产业形成的关键在于机器人的研究制造与机器人的使用紧密结合，具体表现为机器人的技术性能和价格比例适宜，即使用机器人生产产品较之其它工艺方式在经济上更合算。目前世界上机器人市场主要在汽车制造业，用机器人从事点焊、弧焊和搬运物料作业，满足社会对机电产品的品种性能频繁变动的需要。

问题是怎样才能尽快形成机器人产业呢？从国外机器人发展的历史来看，核心问题是个市场观念问题。机器人技术制造出的产品有了市场，卖得出去才能收回投资，机器人扩大再生产才能进行，机器人技术的研究设计才有资金。现代化生产并不仅在于规模较大，而在于它具有与传统生产方式不同的模式，它不是从资源出发去找技术再去找市场，即“资源——技术——市场型”，而是首先从市场出发寻找恰当的技术再去找资源，即“市场——技术——资源型”。

结合机器人发展的历史来看，至少涉及以下几个问题。

一、社会经济需求刺激技术成熟和发展。

机器人技术最先在美国出现并不是偶然的，是美国社会技术经济发展的必然结果，是在社会需求的刺激之下经历了相当长的技术储备时间之后才实现的。美国机器人技术储备时间大约有100多年。工业机器人技术起源于1801年 J. Jacquard 穿孔操纵的“可编程织布机”和1830年 Christopher Spencer 的凸轮结构的可编程自动机。1948年数学家 N. Wiener 出版了《控制论——关于在动物和机器中控制和通信的科学》一书为现代机器人的产生奠定了理论基础。直到60年代美国 Unimation 和 AMF 机械与铸造公司生产出第一批工业机器人。为什么到60年代美国才生产出机器人？除了技术准备之外，还有其社会经济原因：①美国社会劳动力不足，迫切需要能部分地代替人力的生产工具，美国人口的高龄化从1920年到1960年由27%上升到34%。②各大厂商为了在竞争中立于不败之地迫切需要提高劳动生产率，影响劳动生产率增长的技术、资本、劳动、规模和资源五个因素中，技术提高占38.1%，在工业中应用自动化生产和机器人生产可提高生产率30%。③使用工业机器人比用人力劳动便宜。④适应生产的多种小批量的需要，人们在解决温饱以后要求产品更新换代，使用机器人进行柔性生产节省更新设备投资，

机器人技术适应了这种要求，才有了发展。

社会需求的刺激，促使技术准备时间愈来愈短。工业机器人经历近100多年的技术储备时间，而智能机器人技术储备时间，从 H.A.Ernst 发表《积木式探索作业》论文提出在机器人手上装上传感器，用计算机控制机械手想法，至今也不过20多年，可带一定传感机能的机器人已经有了很大的发展。

由此可见，强调技术和经济相适应，但并不否认科学技术要领先一步做好技术上的准备。问题在于技术储备要以社会需求为导向。

二、为成熟的技术安排市场

尽管第一台工业机器人诞生在美国，但是，从1960年到1974年十多年的时间里美国工业机器人的发展处于缓慢时期。到1974年美国工业机器人应用台数仅为1200台，总台数2500台。分析原因：①政府担心发展机器人会造成更严重的失业，因为美国失业率60年代为4.8%，70年代为6.65%，所以，对机器人不予投资，更不组织研制。②美国当时研制的机器人性能结构比较复杂、造价很高，12—18万美元/台。机器人使用厂家根本不敢问津。③美国机器人的研究制造和机器人的使用分属于不同的社会部门，不能及时沟通研究制造和使用单位之间关于不断改善机器人性能和生产需要之间的信息，使机器人不能适应生产的要求。

与美国形成鲜明对照的是日本机器人的发展。首先在机器人的性能和社会需求的结合上日本也是有教训的。1972年日本从美国引进机器人技术后，许多机器人制造厂家便走上了生产多功能机器人的道路。川崎重工生产8自由度、三菱重工生产9自由度多关节机器人，由于结构复杂，灵活性、精度和可靠性不能满足生产的需要，价格又很高，许多机器人使用厂家持观望态度，机器人的发展处于停滞状态。针对上述问题，1973年日本机器人

工业会及时制订出廉价自动化(LCA)方针,改变机器人生产的类型,生产关节、自由度、功能比较简单,价格比较便宜的机器人,使用厂家有可能接受。其次,日本在机器人制造厂和使用厂之间从社会组织上实行了联合。因为,1973年实行LCA方针以后,许多后来的用户事实上仍持观望态度。究其原因,要让机器人在生产中发挥作用尚有一系列技术问题需要解决。诸如,机器人自身的具体性能、机器人与周边装置的配套问题。日本吸取了美国的教训,尽早采取了使用厂家与生产厂家结合的措施。70年代中期,日本的川崎、三菱等大企业首先在本企业系统内部使用机器人。机器人是这些企业制造的,又在这些企业内部使用,就能及时沟通研制单位和使用单位的反馈信息。设计单位根据使用单位要求改进机器人的性能;使用单位及时得到研制单位的指导和支持,尽快掌握新设备性能,制定和实行新工艺,提高生产效率。再次,不断调整使用机器人的目的,调整机器人的性能,以便满足生产实际的需要。日本引进机器人初期目的在于节省劳动力的占第一批引进机器人265个厂家的32.5%。80年代对331个厂家调查,使用机器人的目的主要在于提高劳动生产率降低成本。再次,日本采取4项经济措施促进机器人的发展。①机器人租赁制度,24家机器人制造厂家和国家保险公司接受日本开发银行贷款,从机器人制造厂购买机器人向使用厂家出租,以便减少用户投资,促进设备更新,适合在中小企业推广机器人。②实行使用机器人的优待制度。1980年日本政府在《重要机械设备特别优待制度》中增加使用机器人的优待制度,在三年内除享受原有的普通优待外,还将享受机器人出售价格10%的优待制度。③在工业安全卫生制度中增加了使用机器人的新规定:凡在危险、恶劣作业环境下使用机器人的中小企业,可以获得低息贷款。④在原有的“中小企业设备现代化资金信贷制度”中增加使用机器人的内容,凡购买使用机器人的单位可获得设备现代化资金贷款。

对比美国和日本两国在机器人发展的初期，当机器人技术比较成熟时采取了不同的政策，在机器人市场上出现了不同的结果。日本从几个方面采取措施，使引进的技术在国内找到了市场，社会经济有了很大增长；美国尽管技术相当成熟，只是由于没有采取正确的政策，失去了市场，没能发挥先进技术推进经济发展的作用。

三、不断提高技术水平，开拓新的市场

适应一定技术性能的机器人产品市场总是有一定限度的，当该产品占领了一定市场之后，就应该考虑提高机器人的技术水平，开辟新的性能，拓宽机器人的市场。美国的机器人市场自1974—1984年出现了连续上升的趋势，1980—1985年达到每年年增长率42%的高速度。然而到了1986—1987年出现了下降的趋势。1984年安装5000台，1985年7000台，但是1986年仅安装5000台，净减少2000台，占1985年的28.5%。这种现象曾经引起许多美国学者的不安，有人乐观，有人悲观。甚至有些机器人公司退出机器人制造行业，转向其他生产领域。例如，GME公司转生产计算机。GE公司1987年关闭了奥兰多的机器人分厂与日本的Fanic公司合股组建GEF公司。那么，这种现象是否说明机器人根本没有发展前途了呢？

为了寻求此问题的答案，对比同期联邦德国和美国、日本的机器人生产情况、销售情况是十分有益的。正当美国的机器人安装台数从1985年的7000台下降到1986年的5000台的时候，联邦德国的机器人台数由1985年2200台增加到1986年的3600台，净增1400台，与此同时日本下降了1000台。为什么时间相同，不同国家有的上升，有的下降，差别完全是由国家地域不同造成的吗？

分析联邦德国和美国这两年不同类型的机器人的数量结构，可以明显看出，联邦德国的组装机器人安装台数增长很快，而

1985年的不到 800 台增至 1986 年的 1650 台，增长一倍多，约占联邦德国 1985—1986 年度机器人增长的总台数 1400 台的 60%，同时，焊接机器人也没减少。由此可见，联邦德国机器人台数上升的原因有二：第一，带有一定感知功能的组装机器人增长速度比美国、日本都快；第二，各汽车制造厂仍然不断地向机器人公司购置焊接用机器人。据了解，联邦德国的焊接机器人中相当一部分安装了视觉传感器，可以从事比较复杂的焊接任务。看来，及时提高机器人的技术水平，尽早实现从第一代示教再现型机器人向第二代，带有一定感知功能的机器人过渡是联邦德国在激烈的国际市场竞争中处于领先地位的决定性因素。

分析美国机器人类型的分布同样可以得出相同的结论。就在美国机器人总产量下降的 1985—1986 年这段时间里，美国的 Adept 公司，CA 公司的机器人生产量连年上升。Adept 公司 1986 年比 1985 年增长 20%，1987 年比 1986 年增长 31%，销售额达到 3400 万美元，原因是这些公司，针对美国的家电、电子行业的需求，发挥自己的专长，生产出带有视觉功能的装配机器人，结果占领了美国 60% 的机器人市场。看来适应示教再现型工业机器人市场已经饱和的变化，不断提高技术水平才能开拓新的市场，推进机器人产业的发展。目前发达国家的机器人正在向两个领域扩展，在机械制造业向非焊接领域扩展，如铸造、锻造、装配、搬运等领域扩展，这方面苏联较突出，用于铸造的浇铸、清理、去飞边机器人和配合锻锤可夹持较重的锻件的机器人很多；在整个社会生产领域，从机械加工行业向其它行业扩展，如能源核电站、建筑、采矿、轻工业、农业等行业。

日本扎扎实实地开拓机器人应用领域。日本发展建筑用机器人已有五年之久，开发了 20 多个型号。其中有清水建筑公司的喷涂耐火材料用机器人、顶棚装饰板定位用机器人、安装钢梁钢柱用机器人、地面磨光用机器人、用于地下结构和修筑隧道用机器人，混凝土切割机器人等。日本的 KAJIMA 公司生产组装

钢筋包括焊接机器人、地面抹平机器人、修筑隧道机器人、修筑墙面机器人等等，其中有许多已经以商品形式出售。

四、发展特种机器人是利用机器人的技术性能开拓广阔市场的重要手段。

所谓特种机器人有的国家称为极限作业机器人，是指能在高温、强辐射、压力很大、水下和火灾、地震灾害等条件下，从事检测、维修、抢险作业的机器人。研制特种机器人具有长远的战略意义。首先，极限条件均处于高温、高压、强辐射等恶劣条件，是正常人体不能承受的条件。这种条件恰好是充分发挥机器人具有的超过常人的物理的、机械的性能作用的条件，可谓“用其所长”。其次，特种条件下的劳动作业常常是社会生产中的关键岗位，常常是生产系统中卡脖子的瓶颈工程，一旦这个部位生产有了进展，对整个社会生产链条起巨大的推动作用，能够推动国民经济成番论倍地增长。这方面，日本的进展很快。由日本通产省支持，日本工业研究院制订的《极限作业机器人——Advanced Robot Technology (高级机器人技术)》大型计划认为，在现代社会中，不能用人直接从事和不能提供完善防护的作业日益增多，而这类作业在整个社会生产系统中的作用日益增强，例如核电站耐强辐射，石油开采水下作业、灾害时用于消火救援的机器人等。极限作业机器人计划就是为了研究制造在这种背景下对原子能、海洋开发、灾害救援工作中从事检测、保护和救援用的机器人安排的大型的投放资金多、消耗时间长、投放人力多的国际性计划中的一种。这项计划时间为 83—90 年，已经执行了 5 年，计划投入 100 亿日元，日本的大公司 20 家参加。该计划的主要内容：

1. 核电站机器人，包括双目视觉信息处理技术、力觉触觉技术、四足行走技术、远距离光通信技术、爬墙面技术等等，要求能够代替核电站中对机器设备进行检验的运转员、维修员的工

作。

2. 海底石油采掘生产用机器人。包括水中三维推进器的控制技术、海底生物体表面的固定技术，水下6自由度手臂和手爪技术、声纳信息反馈技术等。要求能在深海、黑暗、潮流环境下，从事石油生产活动。

3. 防灾、救险机器人。包括耐热技术、在火焰、高温条件下准确把握灾害状况的视觉技术，四足行走可跨越障碍在内的，能够防止灾害扩大从事救援工作的机器人。

五、扩大机器人技术应用范围，提高机器人的技术性能，为此必须进一步开展科学技术研究工作

主要包括以下几个内容：①提高抓取单元的柔性，力争设计出带传感器的通用性很高的手爪；②解决机器人用计算机的离线编程问题，在原有的机器人软件系统上增加模拟系统，包括判断程序、选择程序、控制错误程序等系统；③在伺服元件上进行新的探索，在一定功率下使用气动伺服元件；④运动方式、行走方式的研究等。

根据需要来发展机器人的智能。机器人的智能同常人智能比，发展的余地是很广泛的，但是，有些性能对机器人来说既无必要又无可能。比较有实际作用的智能往往集中在几个方面，集中力量认真解决，既满足了需要，又节省了精力。日本目前在集中研究传感器和离线编程，他们认为这是机器人智能化的第一步。而基于传感器的可离线编程的第二代机器人，在日本将很快进入实用阶段，这很可能是智能工业机器人的开端。

提高技术水平另一个表现为提高可靠性降低成本。

六、智能机器人是高技术，有很大辐射性和渗透性，对生产领域有很大影响

世界上先进国家大都采取由国家出面，采用大科学系统工程

方法加强科研、生产的组织工作和国际间合作研究。在这方面，法国、联邦德国、日本和苏联较为突出。

综上所述，机器人是一种高技术，高技术与经济效益是紧密相联的，国外发达国家采取多种措施加强技术和经济的结合，既为我们提供了成功的经验，也提供了具有借鉴意义的教训。我国机器人的研制刚刚起步，在人家那里已解决的问题，我们可能尚未遇到，但“他山之石，可以攻玉”，我们以此为参考，明确技术和经济相协调的思想，克服为技术而技术的思想，以加速我国机器人事业的发展。

从目前看，我国发展机器人首先应从简易、适用、经济型工业机器人入手。这样做，使用厂家容易接受，机器人容易找到市场。同时，在组织上，强化制造厂家和使用厂家的联合。其次，尽快为已经成熟的点焊、弧焊、喷漆等机器人找到销路，形成批量生产。第三，系统调查我国社会在特种机器人方面的现实需求和潜在需求，有计划地开发特种机器人。第四，加强机器人的技术与经济、技术与社会方面的研究，为机器人技术的发展铺平道路。总之，我们强调机器人技术与社会经济状况相结合，发展机器人初期需要制订必要的经济补贴、扶植政策，但是，关键还在于机器人技术要找到市场，通过技术与经济需求，技术与市场相互作用的良性循环来发展机器人技术，进而促进社会经济的发展。离开市场，离开性能和价格的相互关系，完全依靠国家的经济补贴，从长远看恐怕很难说是有益的。

第二章 美国机器人发展的曲折道路

美国是工业机器人的诞生地，也是智能机器人的故乡，经过二十多年的发展，美国已成为世界上机器人强国之一，基础雄厚，经验丰富。同时也有深刻的教训，在机器人发展史上走了一条从重视基础理论研究、忽视应用开发研究，转到基础理论研究和实际应用相结合的曲折道路，很值得我们研究。

第一节 机器人技术大国

一、美国对机器人的定义和分类

美国最早发明机器人技术，但“机器人”（Robot）一词并不是美国人的创造。据查，“机器人”一词最早是由捷克斯洛伐克剧作家卡雷尔·卡派克（Karel Capak）开始使用的。他在1920年创作的剧本《洛桑的万能机器人公司》中塑造了一个按照人的意志活动的劳动奴隶 Robot 的形象。此后，“Robot”一词广泛流传开来，但当时“Robot”还不具有机器人实体性意义。

那么，什么是技术形态上的机器人呢？1981年美国国家标准局（NBS）提出一个得到世界公认的机器人定义，即“一种通过编程可以自动完成操作或移动作业的机械装置。”^{〔1〕}基于这个定义，美国机器人发展从技术上看经过“三代”发展分期，见图 2-1。第一代机器人，是示教再现型和简单可编程机器人，即一般工业用机器人；第二代机器人，是低级智能机器人，又叫感觉机器人。获取作业环境和作业对象的有关信息，进行加工实时处理，识别分类，作出正确判断和选择并形成一定自适应能力操作，因此又叫“自适应机器人”；第三代机器人是高级智能机器

人，它不但具有第二代机器人的感知功能和简单的自适应能力，

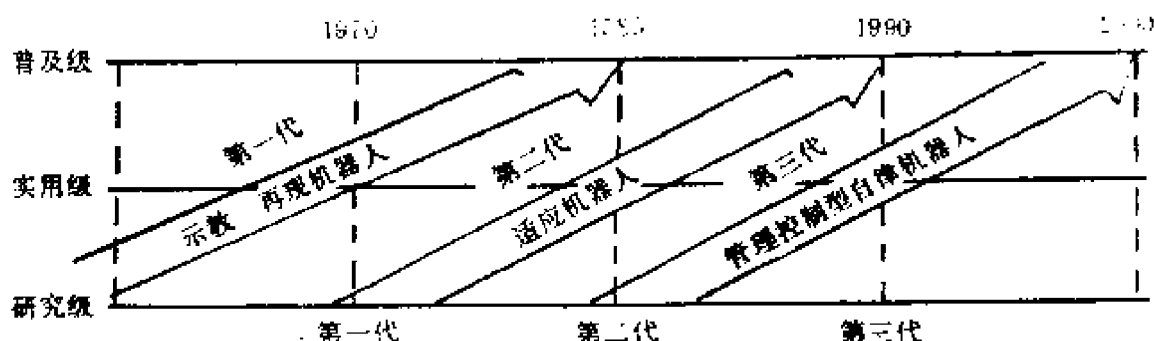


图 2-1 机器人发展“三代”分期〔2〕

而且具有灵活的思维功能和较强的自适应能力，因此又叫管理控制型自律机器人。这样，机器人就可以从技术理论上分为两大类：工业机器人和智能机器人。（在实际应用中两者没有严格的区别）。“工业机器人”（Industrial Robot）一词是美国“金属市场报”于1960年提出来的。美国工业机器人协会（RIA）定义工业机器人是“一种可改编程序的多功能操作机构，用以按照预先编制的能完成多种作业的动作程序运送材料、零件、工具或专用设备〔3〕”。它不包括机械手，这比日本对工业机器人的分类狭窄，日本将机械手也算作机器人之列。“智能机器人”一词是八十年代才出现的概念，但定义也不尽相同。日本把智能机器人称之为 Advanced Robot（高级机器人），定义智能机器人是“根据感觉功能和识别功能决定行动的机器人”。〔4〕定义的外延比较宽泛。美国把智能机器人称之为 Intelligent Robot，认为它“包括有感受器、传感器、计算机和附属设备而且象人一样在不可予知的条件下能完成各种任务的通用型机器加工系统”。〔5〕

从美、日对机器人的分类和定义的比较中，我们可以看出：
①机器人并不是“人”，而是一种机械与电子相结合的自动化机器。但这种自动化机器与一般自动化设备不同，它具有灵活性和

可改编程性，即是柔性自动化 (Flexible Automation)，而一般自动化设备是单一品种大批量生产，即刚性自动化 (Rigid Automation)。因此，机器人具有广阔的市场竞争能力。②日本的机器人分类和定义较宽泛，突出了机器人的应用意义，而美国则注重人工智能在机器人技术上的研究和应用，突出了机器人的技术上的尖端意义。

二、总数很多，应用很广

美国是机器人的故乡，至今仍是世界上机器人大国之一。截至 1986 年底，美国机器人总台数为 25000 台，仅次于日本，居世界第二位，见表 2-1。机器人在每万名工人使用密度，在世界范围内居第五位，次于日本、瑞典、西德、和法国，为 12.4%，见表 2-2。

表 2-1 世界各国机器人数量^[6]

国 家	总台数	安装台数
日 本	118000	25000
美 国	25000	5000
西 德	12400	3600
法 国	5273	1123
英 国	3683	475

注：截止1986年底

表 2-2 各国机器人使用密度^[7]

国 家	机器人/每万名工人
日 本	78.1%
瑞 典	38.7%
西 德	14.4%
法 国	14.4%
美 国	12.4%
英 国	5.9%

注：截止1986年底

过去，美国较重视机器人基础研究，忽视应用性开发。近二年，美国认识到机器人的社会经济效益，也开始重视应用研究，应用范围很广。就机器人应用种类来看，材料搬运占32%，焊接占26%，装配线占16%，加工占6%。主要是第一代机器人应用率较高；就机器人应用领域看，汽车工业占56%，居第一位，电子工业占23%，服务业占10%，航天航空占6%。机器人的广泛应用在社会经济生活中发挥着重要的作用，已成为美国运用高技术发展经济的重要工具。

目前，机器人正以每年35%的速度增长，尽管近年来美国机器人发展有所缓慢，但是，机器人发展的新的生长点已显示出必然的趋势，即带有感知功能和一定判断能力的智能机器人将成为美国机器人的“主力军”。因此，《星球大战》计划中制定了许多带有智能的机器人和智能技术计划，如空间机器人、军用机器人等，美国力图通过这个计划的实施，保持住它在机器人等高技术领域中的领先地位。

三、技术上世界领先

美国在近30年里能够一直保持机器人的技术领先地位，因为它有较强的研究实力和先进技术水平。目前，美国进行机器人研制和生产的单位有三个部门：大学、研究所和公司。大学和研究所的研究单位39个，公司及其所属研究单位22个，还有一些小的机构，总共105个单位，可谓阵容庞大，形成了研究、生产、销售、应用一条龙，是美国机器人发展的主要力量。各大学侧重基础研究，研究所兼顾基础研究和应用研究，各公司企业侧重应用开发和生产，并承担机器人的咨询和维修业务。表2-3，2-4，2-5表明美国现有主要机器人研究单位和研究项目。

美国机器人的技术水平是世界一流的，技术全面、先进、适应性强。具体表现在：①机器人语言研究发展较快，居世界之首，见表2-6。语言类型多，应用广，水平高；②智能技术发展

表 2-3

美国主要大学的机器人研究^[8]

大 学	研 究 方 向
斯坦福大学 卡内基梅隆大学 加利福尼亚工学院 麻省理工学院 罗德岛大学	计算机视觉系统 系统理论和视觉；机器人视觉控制问题 立体视觉系统研究 三维视觉识别 机器人学的综合研究

表 2-4

美国主要研究所的机器人研究^[9]

研 究 所	研 究 方 向
斯坦福研究所 机器人研究所 IIT 研究所 MIT 人工智能实验室	SRI 柔性制造自动化；机器人控制微机软件结构 传感器控制的模块系统 未来工厂；危险环境作业机器人；空间机器人 激光与机器人组合问题 二维操作器的静态与动态研究；运动规划空间推理； VLSI 触觉传感等

表 2-5

美国主要公司的机器人研究^[10]

公司名称	主要研究工作（部分）
Unimation 公司研究发 展部	计算机科学与机器人学 机器人计算机控制系统语言 机器人的可靠性、有效性和可维修性 机器人对经济和社会的影响 产品 PUMA
Cincinnati Milacron 公司研究发 展部	T3 机器人的设计 重载机器人的编程 应用工业机器人的自动加工系统

续表

Automatic 公司研究 发展部	自动视觉系统 弧焊系统 高级上下料系统
IBM公司	机器视觉予处理技术 机器人学和几何图形模拟 机器人仿真系统 机器人集成生产系统
GE公司	PUMA 机器人装配生产系统即应用 MIT 的 RCC (Remote Center Compliance) 系统 FMS生产线 传感系统 视觉系统
PrabRobotics 研究发展部	机器人学 机器人控制系统 电动液动机器人
Westing house Electric 公司	电机自动装配系统 小型机器人 焊接机器人
GCA 公司	机器人高精度装配系统 FMS 焊接机器人
Texas Instrument	机器人视觉 传感器

快，主要是视觉、触觉等人工智能技术，视觉技术已在航天、汽车工业中广泛应用；③性能可靠，机器人的精确程度由过去的几毫米精确到零点儿毫米，平均无故障时间由100—150小时增加到700—900小时，重复定位精确度提高；④军用机器人发展较

快，出于争夺世界霸权的军事目的，在 1980 年美国有计划地研制军用机器人，主要用于扫雷、布雷、侦察、站岗、装药等。一般说，军用机器人都具有智能技术。目前，美国的军用机器人研究已有相当进展，见表 2-7，居世界领先地位。

表 2-6 国外主要的机器人语言⁽¹¹⁾

序号	语言名称	国家	研究单位	简要说明
1	AL	美	Stanford Artificial Intelligence Laboratory	机器人动作及对象物记述，是今日所有机器人语言之源
2	AUTOPAS	美	IBM Watson Research Laboratory	组装机器人用语言
3	LAMAS	美	MIT	高级机器人语言
4	VAL	美	Unimation 公司	PUMA 机器人
5	RAIL	美	AUTMATIC 公司	
6	WAVE	美	Stanford Artificial Intelligence Laboratory	操作控制符号语言 在 T 型水泵装配中使用
7	DIAL	美	Charles Stark Draper Laboratory	Draper Remote Center Compliant 装置用
8	RPL	美	Stanford Research Institute International	可与 Unimation 机器人 、操作程序结合
9	TEACH	美	Bendix Corporation	面向两臂协调启动的语言

续表

10	MCL	美	McDonnell Douglas Corporation	编程机器人 NC 机床传 感器、摄象机及其控制 的计算机综合制造用语言
11	INDA	美国 英国	SRI International and Philips	
12	RAPT	英	University of Edinburgh	类似NC语言APT
13	LM	法	Artificial Intell Intelligence Group of IMAG	类似 PASCAL 数据定 义类似AL
14	ROBEX	西德	Machine Tool Laboratory TH Archen	联机编程语言
15	SIGLA	意	Olivetti	SIGMA 机器人语言
16	MAL	意	Milan Polytechnic	两臂机器人装配语言

表 2-7

美国现有军用机器人类型⁽¹²⁾

型 号	功 能	研 究 者
Robert- I 型自主式机 器人	室内或船上的哨兵机器人	海军水面兵器中心 (马里 兰州)
“马文” 机器人	代替人在核生化污染中完 成地面飞机维修	空军航天医学研究室 (赖特帕森空军基地)
SIR-1 自主机器人	巡逻、探测危险环境	柔迪亚国家实验室 (新墨西哥洲)
TOV 车辆	地对空战斗车辆	海军海洋系统中心 (夏威夷岛)
Robot 地面车辆	障碍突击坦克	防御系统公司、古尔得公 司制造
GuRV-1 GuRV-2	水下抢救、修补	海军海洋系统中心

总之，美国是世界机器人强国，也是世界机器人发展中心。那么，美国机器人是怎样发展起来的呢？不妨让我们简要回顾美国的机器人发展的历史过程。

第二节 “三起三落”的曲折历程

一、“三起三落”，五个阶段

美国机器人技术水平一直呈上升趋势发展。但是，从技术与社会相互作用的角度来看，呈现出“三起三落”的过程，经历了五个阶段，见表 2-8。

表 2-8 美国机器人发展五阶段

时 间	发 展 过 程
19 世纪初—1954年	储备阶段
1955—1960年	产生阶段
1961—1974年	缓慢阶段
1975—1984年	发展阶段
1985—1987年	低潮阶段

第一阶段：技术储备（19世纪初—1954年）

机器人做为自动化中高级的综合技术，经历了长达 150 多年的技术储备阶段，主要工作有两个方面：

1. 奠定技术基础，早在 19 世纪初，1801年 J. Jacquard 发明了一台由穿孔机操纵的“可编程序织布机”，很快投入批量生产。1830 年 Christopher Spencer 设计了凸轮机构的可编程序自动机。这是美国机器人发展史上重要的一步，1892 年 Seward Babbitt 研制成第一台机械手，它实际上是电力传动的吊车，上有一个机械手爪，用来在炼钢过程中搬运钢锭。1838 年 W. Pollard 和 H. Reselund 为 Devilbiss 公司设计一台可编程序喷漆

机器。1946年 G.Devol 发明了磁性存储过程控制器，从而开辟了工业设备普遍使用编程控制的年代。同年，J.Presper 和 J.mauchly 在宾西法尼亚大学研制了第一台大型电子计算机——ENIAC，接着第二台通用数字计算机“旋风”问世。1951年 R.Goetz 为原子能委员会（AEC）设计了遥控设备人工胳膊。上述各项发明创造，实质上是从机械制造和电子技术两个方面为机器人的产生奠定了技术基础。

2. 确立理论基础。1948年美国数学家 N.Winner 出版了《控制论》一书。他提出了“谷蛾”（向光源移动的自动装置）和“臭虫”（离开光源移动的自动装置）的设计原理图，还论述了电子、机械和生物系统中的“信息”和“控制”概念，为现代机器人的产生奠定了理论基础。1950年 Asimov 出版了《我是机器人》小说集，提出了著名的“机器人三原则”：第一条，机器人不可伤害人，或眼看人将遇害而袖手旁观；第二条，机器人必须服从人给它的命令，除非与第一条原则相抵触；第三条，机器人必须在不违反第一、二条原则的情况下来保护自己。这三条原则表示了在全人类社会生活中能够和人一起工作的机器人的特征，反映了人们要求研制能够驯服地为人类服务的机器人的强烈愿望，对机器人的产生具有一定的推动作用。

第二阶段：机器人诞生（1955—1960年）

经过长时间的准备工作，机器人终于在美国首先诞生。1954年 G.Devol发表了《适用重复作业的通用性工业机器人》的论文，研制成功世界上第一台可编程序机器人，它具有记忆功能，能实现示教再现编程方式，实现点到点的控制。为此提出专利申请，还创造了一个专门术语“Unimaersal Automation”，后来将这两个词合并，形成 Unimation，成为第一个机器人公司的名字。1959年 Planet 公司出售第一个商业性机器人。1960年美国联合控制公司买下了 Devol 的专利，成立 Unimaton公司，生产

了第一批工业机器人，称为Unimate。同年，H.Johnson 为美国机械与铸造公司（AMF）研制了机器人，称为 Verstran，这是世界上最早、最有名的、至今仍在使用中的两种机器人，标志着机器人的正式诞生。*

任何科学技术的产生和发展，都离不开社会的需要和物质技术的可能条件。社会需要是机器人产生之母，而物质技术的可能条件则是机器人产生之父。机器人在美国产生，这决不是偶然，除了上面提到的技术和理论条件之外，还有社会经济的原因。

第一，解决劳动力不足的需要。物质生产和人口生产理论说明，任何社会的生产没有足够的劳动力是不行的，对于工业化社会更需要大量的劳动力，本世纪五十年代，美国人口二亿，适龄劳动人数不能满足社会生产的需要，尤其是劳动力高龄化问题严重。据统计，1920 年到 1960 年 40 年间，美国劳动力的高龄化从 27% 上升到 34%。这样，为解决劳动力不足，需要一种能部分地代替人的体力和脑力劳动的工具。

第二，提高劳动生产率的需要。在美国，各大厂商为了在竞争中立于不败之地，必须不断提高生产率，而影响劳动生产率增长的五个因素中技术的作用最大占38.1%。见图 2-2。

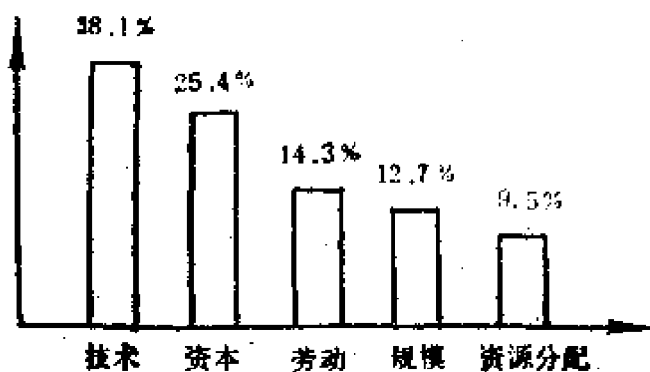


图 2-2 影响劳动生产率增长因素比较 [13]

* 又据 1987 年《国际工业机器人报告》讲，工业机器人技术最早是由英国发明家 C.W.Kenward 在 1957 年发明的，并取得了发明专利。美国的 Unimation 和 AMF 公司最早的机器人制造，对这项专利有侵权行为，为此还支付了罚金。

人们普遍要求提高劳动生产率，而高级的自动化技术是提高劳动生产率重要手段。美国国家标准局在制定自动化生产和机器人计划中指出：工业中应用自动化生产和机器人可提高生产率30%。

第三，工业机器人比人力劳动便宜。图 2-3 是美国 Unimation 公司关于机器人和人力劳动生产率的统计。

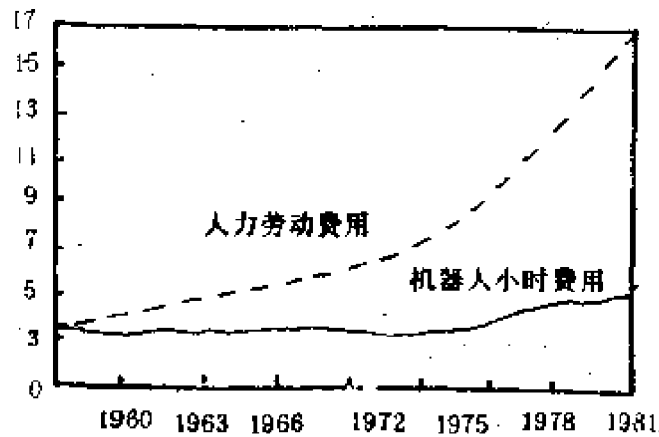


图 2-3 人力劳动与机器人费用比较⁽¹⁴⁾

注：人力费用包括福利费，机器人费用包括技术保险费。

此图说明：自 1960 年起，人力劳动每小时费用已增长 4 倍以上，而机器人费用仍保持在 4-6 美元之间。从经济角度上看，使用机器人更合算。

第四，提高企业市场竞争能力的需要。据调查，机械产品中 80% 是属于多品种中小批量的产品，原有的单一品种大批量生产线即刚性自动化 (Rigid Automation) 不能适应这种需要。因此，美国极力发展柔性生产线，即以数控机床、机器人和计算机为主要工具的柔性加工系统 (Flexible manufacturing systems) 这种生产线，改变产品品种和批量都比较容易，市场竞争能力强。引入带机器人的 FMS 可提高生产率 50.7%。美国是最早开发的国家之一，在六十年代就显示了它的优势。

第五，机器进化的结果。人类认识自然和改造自然的能力是

通过人的发明与创造来实现的。人在与自然相互作用中创造出人工自然力，于是有了机器，人在与机器的相互作用中又不断改进机器和发明新的机器，使机器不断进化，从简单到复杂，由低级到高级。机器人就是手工工具—工作机—控制机—机器人进化的结果。这是技术发展的内在规律。

可见，当时的美国，社会经济发展要求有新的自动化技术，机器人的诞生就是适应了社会的需要。这样，机器人技术在美国开始研制、应用起来。当然，初期的机器人质量不可靠，平均无故障时间只有 100—150 小时，就是说一星期左右要出一次故障；重复定位精度差，一般只能精确到几毫米；美国政府也没有采取积极扶植的政策，一定程度上影响了机器人的健康发展。

第三阶段：缓慢发展（1967年—1974年）

在这十几年时间里，美国机器人发展进入缓慢期，在应用方面，只有少数几家大公司生产和使用机器人。到 1969 年，销售额才达 15000 万美元，375 台。到 1974 年美国工业机器人应用台数为 1200 台，机器人总数 2500 台。

为什么这段时间里美国机器人发展会缓慢下来呢？

第一，美国政府对机器人发展重视不够，战略失误。美国是失业率较高的国家，这一直是严重的社会问题。见表 2-9。

表 2-9 美国各时代平均失业率⁽¹⁵⁾ (%)

时 代	平 均
40年代	4.4
50年代	4.5
60年代	4.8
70年代	6.65

不难看出，美国失业率近 40 年一直高于 4%，70 年代高达 6.65%。美国政府为此感到头痛，担心发展机器人会造成更

严重的失业。因此，政府不予投资，更不组织研制机器人。这是战略性的错误。

第二，美国各大厂商目光短浅，错过良机。他们长期固守使用刚性自动化机械，它在制造加工中比重为75%；它产量高，工时成本低，并可使厂商获取巨额利润。如果改变这种生产方式就会影响产量和资本家的收入，并且需要大量投资。因此，他们只看眼前不看长远，没有采用机器人等柔性自动化机械，这对机器人发展是个很大障碍。

第三，机器人发展初期，销售价格昂贵。现在售价4万到6万美元一台的机器人，当时售价竟高达12万到18万美元。恰恰在这个时期，美国可以从第三世界的发展中国家获取大量的廉价劳动力，满足汽车制造业的需要。因此，机器人技术得不到推广和发展。

第四，美国工业机器人结构复杂，功能多，不适用，不易被厂商接受。

第五，当时没有利用分级计算机控制机器人手臂、视觉、工作站和装配，因而早期机器人可靠性低，企业家投资兴趣不高。

尽管如此，这个时期，美国机器人发展也不是完全停止，还是有一定进步的，特别是在基础理论和制造技术方面有了相当进展。1962年美国通用汽车公司(GM)在生产线上安装第一台unimate。1964年MIT、SRI、SU、Edinburg大学相继成立人工智能研究试验室，开始了智能机器人的基础研究。1968年SRI研究成功世界上第一台智能机器人，它是带有视觉功能的移动机器人——Standford，标志着美国机器人技术的重大突破。1970年Stakey大学研制出一只机器人胳膊，即著名的“斯坦福胳膊(Standford Arm)”。1973年R.Hohn为Cincinnati Milacron公司研制成第一个微机控制工业机器人，即The Tomorrow Tool，简称T。这些成就为后来美国智能机器人的发展和世界机器人的发展奠定了技术基础，可惜的是，当时在美

国没有得到充分应用和广泛推广。

第四阶段：高潮时期（1975年～1984年）

这十年是美国机器人发展的黄金时代，主要表现在：第一，提出了机器人偿还期理论。使用机器人是否合算？人们首先从经济学角度来考虑这个问题，有关专家提出了机器人偿还期的理论，中心是一个公式。这个公式以机器人及其辅助设备的初期总投资为一方面，以每年所节省的劳务费（包括工资及津贴等）加上材料费再减去维修费为另一方面，计算出应用机器人能够在多少年收回成本，这个公式如下：〔16〕

$$P = \frac{I}{L - M}$$

式中 P ——偿还期

I ——机器人及其附属设备总投资

L ——全年节省劳务费用，包括工资津贴等

M ——全年维修费用

按照当时美国的单班、双班和三班制推算，机器人偿还期分别是3～4年，2～3年，1～2年。这一理论吸引了更多的人使用机器人，也表明了机器人学理论的发展。第二，机器人技术重大发展。在基础技术方面和移动技术、操作能力、动力系统技术、控制技术等都有重大突破；机器人种类增多，性能好，开始向空间机器人和军用机器人方向发展。1976年美国国家宇航局执行的“海盗”号宇宙飞船火星着陆计划，两台采集机器人在太空中工作。同时，军用机器人的发展进一步带动民用机器人的研究和发展。1979年又研制出水下机器人；它带有触觉、视觉、力觉等功能，1980年罗德岛大学研制出仓拣机器人（Bin-Picking），它使用机器人视觉，能拣起任意放在仓斗内的物品。到1981年10月止，美国已有2400台智能机器人，占美国机器人总数的17%。

进入八十年代，在第一代、第二代机器人继续研制、生产和应用的同时，开始了第三代即管理控制型自律机器人的研究。在视觉、触觉、力觉、听觉传感技术都有了相当的进展，表明了机器人技术自身的迅速发展。第三，机器人总的数量也在逐年增加，1975~1985年年平均增长率42%，1984年年增长率高达50%，见表2-10。这种增长前所未有，而且据预测到2000年前不会再出现。

表 2-10 美国机器人拥有量和销售额⁽¹⁷⁾

年 份	1980	1981	1982	1983	1984	1985
拥 有 量	3500	4500	6250	8000	13000	20000
销 售 额 (亿美元)	1		1.85	2.4	3.8	4.9

分析美国机器人迅速发展，有几个原因：

①形势所逼，奋起直追。1962年到1979年美国在知识密集型产品的世界总产量中所占比重从31%降至21%。在1973年到1984年间，美国制造业以单位工时计算的产量平均每年增长2%。而日本、法国和西德分别为6.7%、4.5%和3.5%。1960年外国人在美国持有专利中只占16%，而1982年则已上升到41%。这些数字表明，美国在二次大战以后的一段时间里享有的技术优势正在减弱。机器人是其中一个重要表现，1967年日本从美国引进第一台机器人，几年后，美国反过来从日本进口机器人。据美国国际贸易委员会报告说，1983年美国从日本进口机器人占美国进口机器人总数的78%。这些情况使美国政府和厂商意识到在国际市场竞争所受到的威胁，在高技术领域受到的挑战，形势所迫，美国决心东山再起，于是制定计划提高投资，加强研究，把机器人看成美国再次工业化的特征，使美国机器人得到迅速发展。②七十年代大量的企业由于经济危机关门破产，剩下的企业为了维持生存就必须高效生产，适应市场多变的需要，以机器人为核心的柔性自动化生产线恰好具有这样的优点，

所以各厂商乐于采用机器人，特别是在经济危机或零增长期采用机器人就更加必要。③在美国，通货膨胀长期存在，人工工时成本在过去的20年里已从3.8美元/小时，上升到14美元/小时，因此各大厂商大量压缩劳动力，采用工业机器人。④积极进行机器人技术的提高与推广工作。美国机器人协会、制造工程师协会积极主动进行机器人技术提高推广工作。从1976年开始每年举行一次北美工业机器人会议，进行广泛的推广和提高，从1977年开始每年以Engelberger命名奖励那些对机器人发展做出贡献的人。这些措施对于机器人的发展起了重大作用。

这样，美国机器人的迅速发展对社会经济产生了深远的影响。从经济上，1974—1984年国民生产总值及其年增长率远远高于1974年以前，见表2-11。以机器人为首的自动化技术在美

表 2-11 美国国民生产总值及其增长率变动情况⁽¹⁸⁾

(单位：十亿)

	1947	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1981	1982	1983
国民生产总值 (以现价美元)	233	287	400	507	691	993	1549	2633	2938	3078	3311
平常年增长率	-	7.2	6.7	6.7	6.4	7.5	9.3	11.2	11.6	4.6	7.7

国三大工业即钢铁工业、汽车工业和建筑业中发挥了重大作用。从社会影响来看，使用机器人和劳动就业的矛盾基本得到解决。过去，人们担心发展机器人会使美国本来就十分严重的失业问题更加严重，为此，专家们争论了好长时间。以美国著名经济学家、诺贝尔奖金获得者列昂惕夫为代表的悲观论者认为由于广泛应用机器人，美国会出现大规模失业。而以著名经济学家、诺贝尔奖金获得者西蒙等为代表的乐观论者认为使用机器人，部分行业可能会出现就业减少，但整个社会就业不会减少。因为在美国，一台机器人可以替代2.7人，而安装一台机器人就会在国民经济的其它部门创造出2-4个就业机会；被取代的工人经过职业培训有

85%可以重新就业。从国际竞争角度来看，只有使用机器人等先进技术，使本国产品在国际市场上有竞争力，才能保护本国的就业能力。事实证明了这个观点的正确性。1950—1980年，随着科学技术和经济的增长，美国的就业结构发生了重大变化，然而从整个社会来看，除农业和冶金业的就业人数有所减少外，其余大部分行业人数有所增加。在这30年里，美国汽车制造业就业人员却大幅度增长30%以上。可见，不发展机器人比积极主动发展机器人等先进技术带来的后果更加严重。英国首相撒切尔夫人在1981年6月伦敦国际机器人展览会上指出：“日本使用机器人数量是世界第一位，但其失业率是西方世界倒数第一，而英国应用机器人最少，但失业率是西方国家中最高的”。见表2-12。因此说，发展机器人与失业问题没有必然联系。美国应当积极发

表 2-12 各国机器人数量与失业率^[19]

国 家	机器人台数	失 业 率
日 本	14200	2.2%
西 德	1400	5.5%
美 国	4700	7.6%
英 国	713	11.3%

注：据美国1981年统计，全世界共有27000台机器人。

展机器人的观点被大多数人所接受。

第五阶段：低潮时期（1985年—1987年）

1985—1987年，全世界机器人发展出现低潮，美国也未能幸免，而且相当突出，这是美国机器人发展史上第二次低潮阶段。所不同的是，1961—1974年的低潮期主要原因是美国主观上忽视了机器人的发展，没有认识到发展机器人的重要性，而1985—1987年的低潮期则主要是美国现实的客观上的原因。

首先，美国机器人市场需求量下降，销售额减少，积压严

重。见表 2-13。

表 2-13 美国机器人市场情况^[20]

	1984		1985		1986		1987	
	台数	百万\$	台数	百万\$	台数	百万\$	台数	百万\$
新的总定货	6046	501.1	6748	483.2	5713	363.8	1365*	106.6*
发 货	5137	332.6	6209	442.7	6219	440.9	1171*	73.5*
积 压	2266	301.4	2288	247.0	1455	129.7	1515	140.5

注：*表明 1987年第一季度

其次，机器人总数虽然有增加，但年增长率下降。原因是客户需求量下降，生产厂家不敢大量生产机器人。1984年机器人总数为 13000 台，1985 年为 20000 台，1986 年为 25000 台，1980—1985 年年增长率 42%，1986 年以后是 35%。

第三，美国一些机器人制造公司生产下降或转产其它产品。全美国机器人制造公司有 200 多家，销售额占全国机器人产品销售额 60% 以上的有四大公司，即 GMF 公司、Westing House 公司、GE 公司和 IBM 公司。此外还有 Cincinnati Milacron、Adepte、GCA、Intellelex、Devilliss 等著名公司。

GMF 公司是美国最大的机器人制造公司，1986 年闲置了 1/3 的劳动力，销售额是 186 万美元，而 1987 年销售额跌到 100 万美元。见图 2-4。Frab 机器人公司 1982—1986 年连续

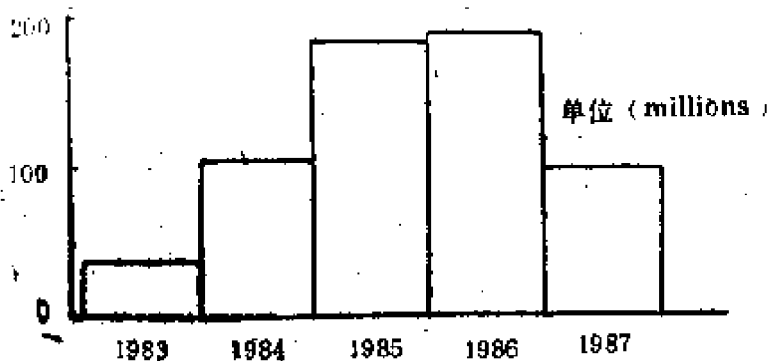


图 2-4 GMF 公司销售额^[21]

四年亏损，1987 年开始只好为 Unimation 公司维修加工 3600 台机器人。同时减少 15% 的劳动力。Unimation 公司是使美国机器人商品化的首批公司，但由于经营思想有问题，十分萧条，只好以 107 万美元卖给 Westing House 公司，裁减 1/4 的雇员，其领导人恩格尔博格另建立 Transition Research of Bethht 公司，开发生产服务性机器人去了。

还有些公司转向别的生产领域，退出机器人制造行业。例如，GME 公司转去生产电子计算机。GE 公司 1987 年关闭了奥兰多的机器人分厂与日本的 Fanice 公司合股，组建 GEF 自动化公司。总之，各大公司都不同程度地受到冲击。

那么，机器人市场不景气的原因何在？

首先，汽车制造业的所需机器人削减。过去 55% 的机器人用于汽车制造业，用来完成点焊、喷漆和机器加工上下料任务，其他分布在电子、铸造和重工业设备制造等行业。但是，近两年汽车行业机器人达到饱和，订货量减少 1/3，因为大多数汽车制造公司几乎都配备了这种自动生产线，由于机器人具有灵活特点，当新型号商品投入生产时，不一定要把原来的机器人替换下来。这些因素与目前汽车生产能力过剩结合在一起导致来自汽车工业的机器人定货减少。GM 公司是美国机器人最大的客户，它现有 6000 台机器人，原计划本世纪末要安装相当于今日三倍的机器人，于是各机器人制造商磨拳擦掌，想从 GM 公司赚一笔大钱，不想 GM 总裁说，他们已经完成了为下属分厂配置机器人购买计划，定货量突然下降，曾打这个公司主意的 GMF 公司眼看着 90 万美元的永久性定货化为乌有。

其次，机器人与其产品之间脱节。机器人的最大优点是灵活自如，这也是它区别于传统的自动化设备的特点之一。它可以根据其工作对象和要求进行编程工作，这样，就要求使产品适用于自动化生产的特点，时常更新产品设计，然而这一特点没有引起使用者的注意，没有不断更新产品设计致使机器人“吃不饱”，

不需要经常更换机器人，机器人需求量增长不大。

最后，高技术本身带有高风险，在美国，高技术企业竞争激烈，投资高，风险也大。据统计，高技术企业成功率仅为20%，平均一天内就有160多个企业破产，同时有680个新企业诞生。因此，时间性很强。开始时争先恐后，都来争食，结果市场饱和，产品过剩，接着就是需求量暴迭，生产厂家破产、合并或改变产品计划。机器人行业也不例外，制造商发现制造机器人有钱可赚，立即蜂涌而上，结果，同等水平的机器人供过于求。

这几年机器人发展总的状态出现低潮，但并不意味着毫无希望，用 D.Livingston 的话说：“机器人工业的长期发展远景仍然是令人鼓舞的”。何以见得呢？

第一，1986年和1987年两年的低潮阶段，是人们意料中的事。在1985年美国密执安大学根据 Delphi 方法予测到1986年以后，机器人年增长率将以35%速度进行。因此，这次低潮现象，人们并没有感到不理解。

第二，并不是所有的机器人制造公司都不景气。有些公司销售额还有所上升。例如，Adept 公司针对电子行业、家电行业的需求状况，发挥自己技术特长，生产带有视觉功能的装配机器人，情况相当好，占领了美国60%的机器人市场，见图2-5。1987年比1986年增加31%，销售额达到3400万美元。再

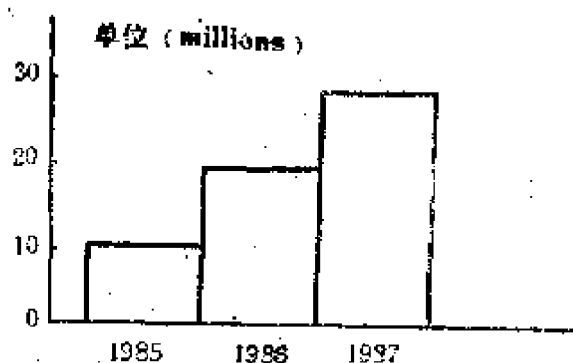


图 2-5 Adept公司销售额(22)

如，CA 公司，仅有 27 名职员，其中 16 人是大学生，10 名是博士生。该公司只从事装配机器人的生产，每年销售额 1000 万美元。由于公司小灵活性强，易于转产高技术产品，因而在激烈的竞争中占稳了脚跟。还有 Prorobot 公司，1987 年比 1986 年销售量增加 34%，产值增加 3400 万美元。美国的机器人制造商也从中看到了机器人发展的乐观前景。

第三，1986 年是这个阶段的低潮中波谷，1987 年情形又有好转。著名的 Tech. Tran 咨询公司经理 J.D.Meyer 认为在美国，全国安装使用的机器人数量仅为 20000 台，这说明机器人工业仍有潜力可挖。汽车制造业在 1988 年因新项目的实施可能购买一些机器人产品。美国机器人工业协会 (RIA) 认为 1987 年是一个恢复年，1988 年的发货量会再次增加，为此，他们还提供了最新数字来说明这个观点，见图 2-6。有人说，这预示着美国机器人高潮的再次到来。

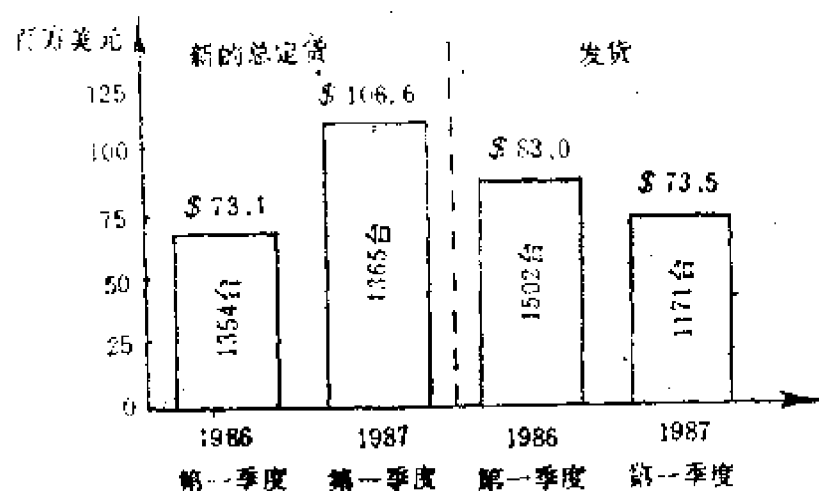


图 2-6 美国机器人制造厂 1987 年第一季度与 1986 年同期的发货、定货数比较 (23)

最后，与其说机器人市场饱和，不如说目前的机器人技术性能满足不了实际需要。从美国机器人几家大公司的不景气状况表面现象看，似乎是机器人供过于求，其实不然，我们只能说没有

实现“有效供给”。一般工业机器人（点焊、弧焊、搬运、喷漆等）供过于求，而装配机器人却供不应求。因此，机器人在汽车行业饱和，而在电子、家电行业则供不应求。见表 2-14。

表 2-14 1986 年几家大公司装配机器人销售额⁽²⁴⁾

单位：百万美元

公 司	销 售 额
GMF	15
Seiko	11
IBM	8
Intellelex	6

事实说明，目前在美国装配机器人和带有视觉、触觉等功能的智能机器人非常受欢迎，仍有广阔的市场。因此，不是社会不需要机器人，而是没有有效供给去满足社会需求。美国的制造商们认为“这是值得机器人制造者考虑的方向”。因此我们认为，这是美国机器人发展过程中一个小的插曲，他们经过认真总结经验教训，会重新振作起来掀起新的高潮的。

二、历史特点

通过美国机器人发展的历史回顾，可以看出美国机器人发展有其历史特点。

1. 道路曲折。曲折的根本原因并不在于美国机器人技术不先进，而在于技术性能和社会需求结合不好。六十年代美国在世界上最早发明了机器人，但是没有给机器人找到市场，先进技术被日本人利用发展汽车工业。八十年代初美国重视了技术和社会需求结合，出现了机器人发展的黄金时代。但是到了 1986—1987 年，没有看到社会需求结构已由示教再现型机器人转向带感知功能的智能机器人的变化，忽视了技术上的提高，结果又走了下坡路。这说明，只有技术经济和社会协调发展，才能制定出科学的技术战略，指导技术正常、顺利地发展，否则就会走弯路。

2. 政府对工业机器人支持较少，机器人研制生产的计划制定和投资主要依靠企业。这与日本不同，在日本，政府组织制定有关机器人发展计划，并且提供大部分资金，这样有利于全国机器人的统一协调发展。而在美国，政府不加干预，也不投资，与各企业严重脱节，缺乏组织性、统一性。各企业往往从自身利益出发，赚钱就干，不赚钱就不干，忽视机器人的长期战略发展。近几年美国政府的姿态有转变，开始投资，但步子不大。美国《新闻日报》在评论中指出：“一个重要原因，可以从过去二十年里用于研制的费用对比中看出来。在美国的研制投资减少 1/6 的同时，日本研制设备猛增 1/3”，“另一个原因是美国政府和日本政府对执行反托拉斯法所持的态度不同，日本鼓励其他工业力量集中起来合资进行研制，而美国公司则要冒被政府起诉的危险，这种起诉经常是由被排除在合资经营之外的竞争对手怂恿提出来的”。〔25〕可见，美国政府的姿态和投资政策影响了机器人的健康发展。

3. 重视基础研究，忽视应用。尽管近十几年来美国机器人产量屈居第二，但做为机器人技术的诞生地，美国机器人的基础研究却一直领先。在机构学、控制理论、计算机科学、人工智能方面的研究都超过日本和其他国家。美国是机器人技术的主要输出国，日本和苏联等许多国家都从美国引进机器人技术。美国有专门的机器人研究所和人工智能实验室。各大学和企业也都非常重视机器人技术的研究和开发，也肯于投资，因此，美国在技术上得以保持领先地位。

但美国忽视机器人的应用，他们应用机器人远不如日本。见表 2-15。日本对机器人的研制、生产和应用投资层次不同，越是应用机器人投资越高，国家优惠鼓励应用机器人。而美国只重视基础研究，忽视了技术的应用。智能机器人技术最早出现在美国，但到 1983 年美国启用 155 台智能机器人的时候，日本已启用 3741 台，并且很快在生产领域中发挥了作用。近二年，美

表 2-15 美日两国机器人类型比较⁽²⁵⁾

国 家	机器人类型数量 (台)				总 价 值			
	A	B	C	总计	A	B	C	总计
日 本	29113	29113	17644	75870	\$ 1.27 千万	\$ 1.27 千万	\$ 332.5 百万	\$ 1.60 千万
美 国	1686	5492	2312	9500	\$ 118.3 百万	\$ 406.9 百万	\$ 171.3 百万	\$ 196.5 百万

注：* A可编程序，连续轨迹伺服控制机器人； B可编程序，点位伺
服机控制机器人； C可编程序，点位非伺服控制机器人

* Robot Population by Robot Type (as of December 1983)

国对应用问题有所重视。

4. 机器人性能复杂，价格高。由于美国机器人技术先进，所以在设计上搞得很复杂，研制、生产时间长，价格昂贵，不易被用户所采用。日本在设计上以简单、适用、便宜为标准，大大地开拓了机器人销售市场，就连美国也要从日本进口机器人，可见，美国在这方面既有优势，也有不足。

5. 重视军用机器人。美国在与苏联争夺世界霸权过程中，时刻没有放松对军事先进技术的研究和应用。由于美国人口老化和国防需要，他们大量投资支持军用机器人的研制。结果，不但增强了国防实力，而且也提高了机器人技术水平，促进了非军事行业机器人的发展。目前，美国陆、海、空三军及海军陆战队都在发展遥控机器人（包括车辆、飞行器和潜水器等）。这种遥控机器人，在今后10年内，会在航天航空、地面及海洋中得到广泛的应用。此外，各军种还正在研究智能的、自主式的机器人。有人预测，2000年以后，美国将有一大批军用机器人投入战斗部队。可见，美国军用机器人比非军用机器人发展快，这反映了美国的机器人发展的战略指导思想。表 2-16 表明美国现有军用机器人研制情况。

表 2-16

美国现有军用机器人研制情况〔27〕

型 号	功 能	研 究 者
Robart- I 型自主式机器人	室内或船上的哨兵机器人	海军水面兵器中心 (马里兰州)
“马文”机器人	代替人在核生化污染中完成地面飞机维修	空军航天医学研究室 (赖特帕森空军基地)
SIR-1 自主机器人	巡逻、探测危险环境	桑迪亚国家实验室 (新墨西哥州)
TOV 车辆	地对空战争车辆	海军海洋系统中心 (夏威夷岛)
Robot地面车辆	障碍突击坦克	防务系统公司、古尔得公司制造
CuRV-1 CuRV-2	水下抢救、修补	海军海洋系统中心

第三节 智能化、多样化

一、美国机器人发展面临的问题

1. 进一步提高技术水平。长期的技术储备,使美国发展智能机器人有了技术上的保证,但也有一些问题。总的来说,存在四个问题:①较高的可靠性。机器人必须坚固结实,如果在使用中出现问題,它应该有能力检测出误差或故障并予以排除或复原或发出求助信号;②较高的速度。机器人应该有能力按照要尽可能快地完成任务;③可编程序性。机器人能完成各种不同工作,能感知问题并解决问题;④低成本。机器人的成本应该低到能证明它的应用是合算的。从技术微观角度说,涉及到力觉、视觉、触觉等感受技术、传感技术、计算机和附属设备等部门。这方面也有四个问题:①材料处理缺乏灵活性。现有机器人的应用要求被加工工件和其他物体的公差和机器人操纵臂的精度相匹配时,才能进行材料处理。这个要求限制了加工的灵活性,特别是

在混合产品的批量生产过程中，灵活性更小。②开环控制和闭环控制反馈控制技术。那些需要闭环反馈控制以校正局部误差的工作不能用机器人来完成。例如，现有的弧焊机器人不能跟踪随机可变形状和缝宽的焊接处，也就不能相应地改变焊距的移动和焊接参数。这一点限制了机器人市场的扩展。③不能检测并校正误差。对不期望出现的误差进行检测并进行相应的修复和改正，这点是现有机器人不能做的。机器人系统不能证明所有的机器人的动作是否都是按计划执行的，由此产生的后果是增加加工成本（因废品或增加工作量而产生的）。例如，如果在分装过程中的一个误差没有被检查出来，则总装中的调试和检修工作量或成本，要比在分装过程中检出校正所需的高很多倍。④有限的移动。现有机器人的运动是由固定导向单元（埋藏着的电缆线）确定的，它们本身不能随意行走，不能绕过障碍物，不能在无特殊附设物的环境中找到目标。这方面限制了机器人在批量生产的材料处理应用中的灵活性。美国机器人专家 David Nitzan 认为，克服目前机器人只有“肌体”的方法是给这些机器人提供智能，也就是适用的感知能力和思维能力。因此，继续攻克难关，提高技术水平，成为美国目前机器人发展技术上的核心问题。

2. 强化技术进步同社会经济的结合。美国机器人发展的历史的经验和教训充分说明，美国必须强化技术同社会经济的结合。第一，人们对机器人技术制定的方针政策、管理原则必须与机器人发展的需求相适应。如果不适应必然阻碍机器人事业的发展。美国机器人发展的第一阶段，客观上本来存在着对机器人的客观需求，但政府和企业界主观上没有制定发展机器人的政策和管理原则，结果阻碍了机器人的发展。美国机器人发展的第五阶段，政府和企业主观上都积极发展工业机器人，但是客观上工业机器人的性能仅适用生产汽车，而汽车生产又是有限的，结果也没能促进机器人的发展。第二，机器人的技术性能和经济效益必须相互协调。机器人是一项高技术，不仅技术层次高，经济效

益也高。经济效益是同技术满足社会需求紧密相联的，社会需求是不断变化且有层次的，因此，要求机器人的技术性能应当与之相适应。从美国经验看，生产汽车用的机器人，技术要求并不太复杂，当时美国造机器人过分复杂，价格偏高，机器人较难推广应用。这属于技术性能高不能满足社会需求而影响机器人技术发展。目前又出现另一种情况，汽车市场基本饱和，扩大机器人应用必须提高机器人智能水平，而目前机器人技术水平不能适应社会需要，也影响机器人的推广应用。这正是美国机器人当前面临的问题。被称为“机器人之父”的 J.G.Engerborger 早在八十年代初期就提出了发展智能机器人，服务机器人的思想，当时未被普遍接受，现在回过头看，他的观点是有远见的。

二、未来趋势

1. 经济上增加数量降低成本。据美国机器人发展的历史和现状，以及国内外有关专家的预测，我们认为，尽管美国机器人发展经历曲折，但是前景是乐观的。据有关专家对机器人市场的预测。①机器人销售量增加。预计工业机器人的销售量将从1984年的4000台增长到2000年的22000台，见图2-7。这意味着

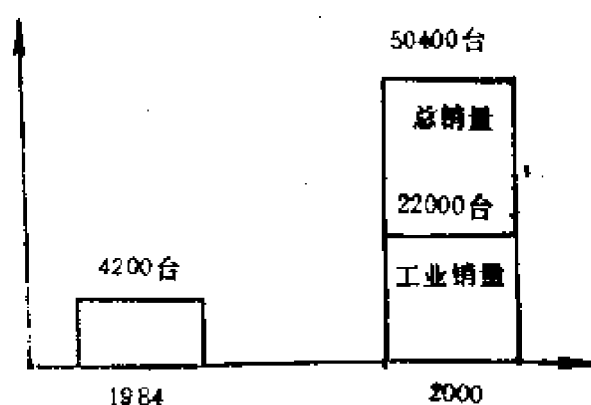


图 2-7 2000 年工业机器人销量〔28〕

从 1984 年到 2000 年平均年增长率为 11%，这与 1979—1985

年预测 35% 的增长率相差较大。预测到 2000 年总销量（包括工业用、军用、家用等品种）将达到 50400 台，除去前面估计的 22000 台工业机器人，剩下的 28000 台便是军用和家用机器人，这说明非工业应用机器人增长率更大。

在工业方面，机器人应用的变化是装配机器人在总数量中的比率增大，焊接、搬运比重减小。下面是专家预测的 2000 年与 1985 年的情况比较。见表 2-17。

表 2-17 工业机器人用途变化⁽²⁹⁾

用 途	1985年	2000年
焊 接	46.0%	25.0%
材料搬运	32.0%	30.0%
装 配	16.0%	33.0%
加 工	6.0%	10.0%

机器人应用最快的是装配，电子工业装配线将从 1985 年的 6% 增长到 14%，一般工业装配线从 5% 增长到 12%，检测设备的应用比例从 5% 增加到 10%。另一方面，用于点焊机器人的百分比有明显的下降，将从 26% 下降到 10%，物料传送机器人将成为最大的应用方面。见表 2-18。

② 机器人价格下降。有关价格问题是在性能相差不大及美元价值不变的基础上提出的。一般预测认为到 2000 年基本的、可编程序的，伺服控制的单臂机器人价格下降 29%，灰度视觉系统将下降 48%。这相当于两者年平均降价分别为 2% 和 4% 左右。可见，机器人价格越来越便宜，见表 2-19。

2. 技术上向“四化”方向发展。① 智能化。机器人智能始于 60 年代，到 1981 年已有相当发展，预计 80 年代将是智能机器人的实用阶段，而 90 年代将是智能机器人普及阶段。智能机器人相关技术迅速发展，特别是触觉、视觉、力觉等感知和

表 2-18

不同类型机器人价格情况预测^[30]

类 型	1985		1990		1995	
	台 数	金 额	台 数	金 额	台 数	金 额
与主机配套	800	28.0	1650	61.1	2250	69.2
物料传送	800	28	1650	62.7	2250	78.8
点 焊	1300	78.0	1100	66.0	1500	75.0
弧 焊	500	30.0	1100	66.0	1350	78.3
喷 漆	500	30.0	1100	66.0	1050	63.0
加工处理	250	11.3	770	38.5	1050	62.0
电子工业装配线	300	10.3	1320	52.8	2100	66.4
其他装配线	250	8.8	880	30.8	1800	63.0
检 测	250	13.0	770	38.5	1500	75.0
其 他	50	2.0	110	4.2	150	6.0
总 计	5000	240.0	11000	516.3	15000	637.3

注：金额单位为百万美元，按1983年美元值计算

表 2-19

不同用途新机器的平均价格^[31]

(单位：千美元 1983年不变价格)

用 途	1985	1990	1995
喷漆	60	60	60
弧焊	660	60	58
点焊	60	58	50
检验	52	50	50
加工处理	45	50	59
材料传送	36	38	35
电子装配线	35	40	32
机器维修	35	37	31
非电子装配线	35	35	35

行为能力将有所突破，人工智能研究的成果将不断应用到机器人技术上。据美国Michigan大学“自动化视觉研究协会”(AVA)

的 Delphi 法预测。视觉部件销售额年增长率在 1990 年以前可以保持在 62.9% 的水平上，销售额将由 1985 年的 5800 万美元增加到 1990 年的 4.57 亿美元。带有视觉部件完整系统的销售额将由 1985 年的 1.8 亿美元增长到 1990 年的 20 亿美元。触觉技术在材料传送、加工、电子装配线上将有广阔的用途前景，见表 2-20。

表 2-20 装有触觉感受器的机器人用于不同用途的百分比^[32] (%)

用 途	1985	1995
材料传送	5	30
点焊	5	10
弧焊	5	10
加工	5	40
电子装配线	10	40
非电子装配线	10	20
检验	5	20

②多样化。机器人类型将向多样化发展，用于产品检查、检测、维修、开矿、采矿、水下作业、航天和服务性领域。不再局限于汽车工业。③系统化。美国目前正在研究把机器人同电子计算机、数控机床等结合起来形成高度自动化的机器人生产系统——柔性制造系统。据估计，到 1990 年美国 50—60% 的工业企业将推行综合性自动化控制系统，70% 以上的机器人具有柔性自动控制的装置。④小型化。目前已研制出较少的、占用面积不大的机器人，如著名的 PUMA 机器人。今后，将越来越趋于小型化。

3. 区域上向西部地区发展。美国中西部地区在 1985 年到 1995 年期间，将拥有最多的机器人。但是，安装在那里的机器人的百分比将从 40% 下降到 28%，因为由于电子、空间工业不断

增加机器人，预计美国太平洋地区的机器人的百分比可能会上升，详情见表 2-21。

表 2-21 美国工业机器人地理分布⁽³³⁾ (%)

地 区	1985	1990	1995
新英格兰	10	11	11
中大西洋	10	11	10
南大西洋	8	9	9
东北部	40	34	28
西北部	5	5	6
东南部	5	5	6
西南部	5	5	7
山区 (mountain)	5	5	6
太平洋	12	15	17

4. 出口减少。原因是结构复杂，价格高。相反，美国从其它国家进口率越来越高。据统计，1982年美国产机器人出口总数为进口总值的 117%（顺差）。1985年该比例下降到 100%，或者说进口一台出口一台。到 1990 年该比例将下降到 90%（逆差），见表 2-22。

表 2-22 从不同国家进口机器人的百分比⁽³⁴⁾ (%)

国家 (地区)	1985	1990	1995
日本	69	61	54
西欧	28	31	33
南朝鲜	0	2	3
亚洲其它	0	0	1
其它	3	6	9
	100%	100%	100%

5. 工业机器人费用和偿还期缩短。美国密执安大学对美国工业机器人的费用及偿还期作了预测。表明，十年之后机器人应

用将有所减少，而偿还期有所提前，见表 2-23。

表 2-23 美国机器人费用和偿还期预测^[35]

类 型	1985		1995	
	费 用	偿 还 期	费 用	偿 还 期
	单位：美元	单位：年	单位：美元	单 位：年
机器维护	35	3	31	3
材料传送	36	3	35	2.5
点焊	60	2.5	50	2.1
弧焊	60	2.5	58	2.5
喷漆	60	3	60	2.1
加工处理	45	3	59	3
电子装配线	35	3	31.6	3
其它装配线	35	3	35	3
检验	52	3	50	2.5

三、美国的对策

1983 年 7 月美国华盛顿大学谈自忠教授来华讲学时指出：从 1985 年到本世纪末，在美国的四种现代高技术中，机器人的发展将占第一位，见图 2-8。1978 年美国开始认识到机器人技

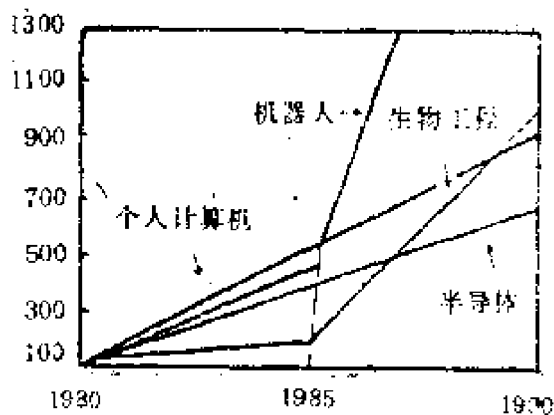


图 2-8 四种领先发展的现代技术^[36] (1980 年指标为 100)

术的社会经济价值，立志在本世纪超过日本，重登“机器人王国”宝座。为此，美国近几年纷纷采取措施，制定切实有效的对策。

1. 国家增加投资。1983年美国政府制定了著名的“星球大战计划”（SDI），投资10000亿美元用以发展高技术，其中包括空间机器人、核能机器人、军用机器人以及机器人相关技术。对美国机器人发展具有很大的作用。国家科学基金会（NST）每年投资100万美元，国家标准局（NBS）每年投资150万美元。1985—1995年用于研制军用机器人和智能机器人的经费从1.86亿美元增至9.75亿美元，陆海空军都有各自的研制计划，各大公司都有自己的规划。

2. 重视基础研究和技术的结合。美国从事机器人研究单位较多，包括高等学校如斯坦福大学、密执安大学、加利福尼亚工学院，它们主要承担机器人的基础研究，研究所如MIT、IIT、Stanford Research等，既重视基础研究，也重视开发研究，是较活跃的研究部门；各大公司企业出于长远发展和经济利益的目的，注重机器人技术的开发和应用研究。美国有关专家认为，美国机器人技术已到成熟期，该是应用技术得到发展的时代了。特别是日本“实用模式”的成功，使美国开始加强实用机器人的研制，立志在应用方面也要超过日本。

3. 加强国际交流与合作。美国并不自恃是“机器人大国”，主动和其它国家进行交流和合作，从日本进口低水平、结构简单而实用的机器人，从欧洲进口高水平、结构复杂的机器人，从中学习有益的技术来发展自己。同时，积极组织世界工业机器人大会，进行交流和学习。

4. 加强战略研究，在美国，有密执安大学、Unimation公司等单位在研究机器人技术的同时，组织专门开展战略研究，诸如，机器人的社会经济评价，机器人发展模式，机器人标准化问题，机器人发展趋势研究等等，力图为机器人技术的发展提供战

略性的指导思想。

*

*

几点启示

美国机器人发展经历曲折，终于又走上正轨，为我们积累了有益的经验 and 深刻的教训，非常值得我们注意。

首先，我们应充分认识到作为现代高技术之一的机器人技术关系到我国科技发展的前途，关系到四化建设，关系到我国在未来国际上的地位。正如一位日本专家所说：“到本世纪末，任何一个国家，如不拥有一定数量和质量的机器人，就不具有为进行国际竞争所必需的工业基础”〔31〕。因此我们必须认识发展机器人技术的重要性。其次，应当充分发挥我国统一领导的优势，由国家通过科技体制进行投资支持，向日本学习，不能象美国那样缺乏统一领导。注意研制、生产、应用相结合，统筹规划，明确分工。第三，应学习美国重视基础研究的经验，在高等院校、研究所和大工厂进行扎实的基础研究，同时也要注意发展应用机器人，争取获得一定的经济效益。第四，开展国际交流与合作，引进典型的机器人技术，象美国、日本那样，建立国际协作关系，提高我们的起点，争取良好的国际协作环境。第五，重视简易机器人和高级机器人并行发展。美国注重高级机器人的发展，因为它能拓宽机器人的应用范围，用途广泛。从长远来看，我们也应当研制第二代、第三代机器人，以跟踪世界机器人技术发展的水平。就目前看，从生产和应用角度，我们应加快研制结构简单而实用的机器人和某些特种机器人，以创造社会效益。

总之，“他山之石，可以攻玉”。美国有美国的国情，有美国的机器人发展的模式；中国有中国的国情，我们应当走出一条具有中国特色的机器人发展道路。

参考文献

- 〔1〕 NES, TR81-2340。

- [2] 孙耀明,《微型计算机在机器人中的应用》,科学技术文献出版社,1987年版第6页。
- [3] (美)尔尼.L.贺尔(Ernest L.Hall)等,《机器人学入门》,天津人民出版社,1987年版第4页。
- [4] IFAC,News better No.2,1893./ISBC 134-1979.
- [5] David Nitzan,Development of Intelligent Robotics Achievements and Issues/IEEE Journal of Robots, and Automation.vol.ra-1.No. 1, March, 1985.
- [6] 千里,《1986年各国机器人增长速度统计》,《机器人情报》1988年第1期。
- [7][25] 三木,《联邦德国工业机器人发展现状》,《机器人情报》,1988年第2期。
- [8][9][10][11] 沈阳自动化研究所,《国外机器人发展情况综合报告》。
- [12] 寒芯,《美国军用机器人研制概况》,《机器人情报》,1988年第2期。
- [13] (日)《机械与工具》编辑部,《机械加工新技术》,科技文献出版社,1985年版第54页。
- [14] 冯世新,《新技术革命中的机器人》,西安交通大学出版社,1985年版,第38页。
- [15] 朱传一,《科学技术发展与美国就业问题》,劳动人事出版社,1985年版,第2页。
- [16][17] 沈阳自动化研究所研究报告,《国外机器人发展概况》,第43页。
- [18] 国家统计局,《美国统计摘要》(1982-1983年),中国统计出版社,1984年版,第419页。
- [19] 根据[8]和[9]有关资料整理。
- [20] RIA, "Robotics news", June 1987, The Industrial Robot.p70.

- [21][22] Herb Brody, "US Robot Makers Try to Bounce Back", High Technology, October 1987 p18.
- [23] RIA, 转引自《机器人情报》, 1988年第1期, 第18页。
- [24] RIA, "International Industrial Robot Report-1987".
- [26] Burnstein, J. "RIA Robotics News." June 14, 1985
- [27] 寒芯, 《美国军用机器人研制情况》, 《机器人情报》, 1988年第2期, 第10页。
- [28][29] A.L.Porter, "Robotics in the Year 2000" Robotics Today, June 1987. p27.
- [30] SME, "Robotics Delphi Report". The Industrial Robot. Aug. 1985
- [31][32][33][34][35] Peter. G. Heytler, "Delphi forecast of Industrial robots" The University of Michigan U.S. 1986.
- [36] 谈自忠, 转引自《自然杂志》, 1985年第七卷第九期, 第655页。

第三章 日本机器人发展的 “实用型”模式

第一节 世界上的“机器人王国”

到目前为止，日本国不仅在产业机器人的数量、密度上在世界占领先地位，而且在智能机器人的应用和技术开发上也占世界领先地位。

一、对机器人的定义和分类

日本对机器人的分类、定义，一般都遵从日本工业标准(JIS, Japanese Industrial Standards)。JISB0134—1979按输入信息、记忆再现方式，将机器人分为六类：手控机械手、固定程序控制机器人、可变程序控制机器人、示教再现机器人、数控机器人、智能机器人。其中将智能机器人定义为：“可以根据感觉功能及识别功能独立地决定行动的机器人”^{〔1〕}。而其修订版JISB 0134—1986对机器人作了如表 3-1 所示的一般分类^{〔1〕}。其中将智能机器人定义为：“能够根据人工智能决定行动的机器人”。同时又将智能机器人划分为感觉控制、适应控制和学习控制三种类型。从对感觉控制机器人的定义来看，只要“利用感觉信息控制行动”就可以称为智能机器人。

日本电子技术综合研究所的柿仓正义提出：“所谓智能机器人是具有将数据、规则等作为知识加以记忆的能力，和利用这些知识从若干前提中引伸出结论的推理能力，并能够根据信号（包

表 3-1 JIS B0134—1986中关于机器人的一般分类

代号	术语	含 义	英语参考译名
1110	操纵机器人	能够在人的直接操作下, 完成人交给机器人的一部分或全部作业的机器人。	Operating robot
1120	程控机器人	按照预先给定的信息(顺序、条件及位置等)逐次完成各个运动阶段的机器人。	Sequence robot
1130	示教再现机器人	人通过开动机器人向其示教顺序、条件、位置及其他信息, 即可按照这种信息进行作业的机器人。	Playback robot
1140	数字控制机器人	无须开动机器人, 将顺序、条件、位置及其他信息以数值、语言的形式向其示教, 即可按照该信息进行作业的机器人。	numerically Control(NC) robot
1150	智能机器人	可以依靠人工智能决定行动的机器人。 备注: 人工智能系指人工实现的认识能力、学习能力、抽象思考能力、环境适应能力等。	intelligent robot
1151	感觉控制机器人	利用感觉信息控制行动的机器人。	sensory controlled robot
1152	适应控制机器人	具有适应控制功能的智能机器人。 备注: 适应控制功能是根据环境的变化改变控制特性以满足所要求的条件的控制功能。	adaptive controlled robot
1153	学习控制机器人	具有学习控制功能的智能机器人。 备注: 学习控制功能是反映作业经验, 进行适当作业的控制功能。	learning controlled robot

括图形、语言等)与外部世界进行交流的机器人”。要想构建这样的智能机器人,必须实现如图 3-1 所示的三大子系统以及它们的有机结合^[2]。即由感觉子系统获取并处理外部环境的各种信息,由智能子系统利用其结果决定机器人系统应该采取的行动计划,接着由行动子系统具体实施这个行动计划。然后再由感觉子系统根据行动的结果认识外部环境的变化……,如此循环反复。



图 3-1 智能机器人的三个子系统

在这期间,如果有必要,可以适当地与人类进行信息交流。实际上,以上构成智能机器人的三个子系统是与人类的感觉、思考、

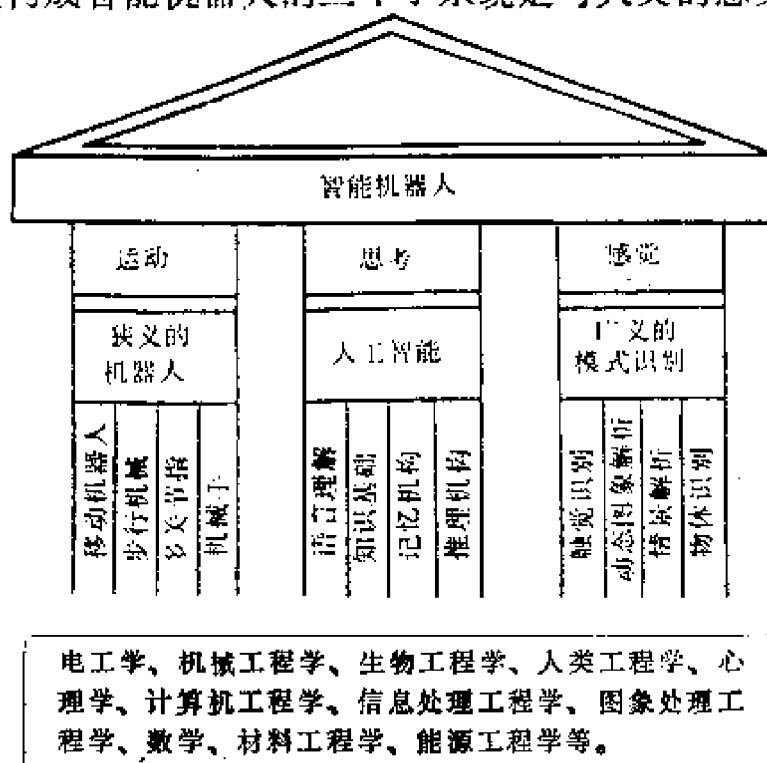


图 3-2 构建智能机器人的学科领域

运动三种功能相对应的。柿仓正义进一步提出，为了构建智能机器人，必须要有如图 3-2 所示的各个学科领域的知识^[3]。柿仓正义对智能机器人的理解属于智能机器人的高级类型，本文所论及的智能机器人从感觉控制类型开始。

二、高性能机器人逐年增长

在日本，一般将传统分类中的示教再现机器人、数控机器人和智能机器人统称为高性能机器人。高性能机器人的真正普及，是在“产业机器人普及元年”即1980年以后。图 3-3 分别为1975年、1980年、1985年各种类型机器人的生产台数及产值的比例^[4]。由图可见，1975年，高性能机器人的台数只占3%，产值只占14%；1980年，达到16%和53%，在产值上高性能机器人占了一半；到1985年，则达到58%和79%，在台数上高性能机器人占一半以上，产值达到近80%。

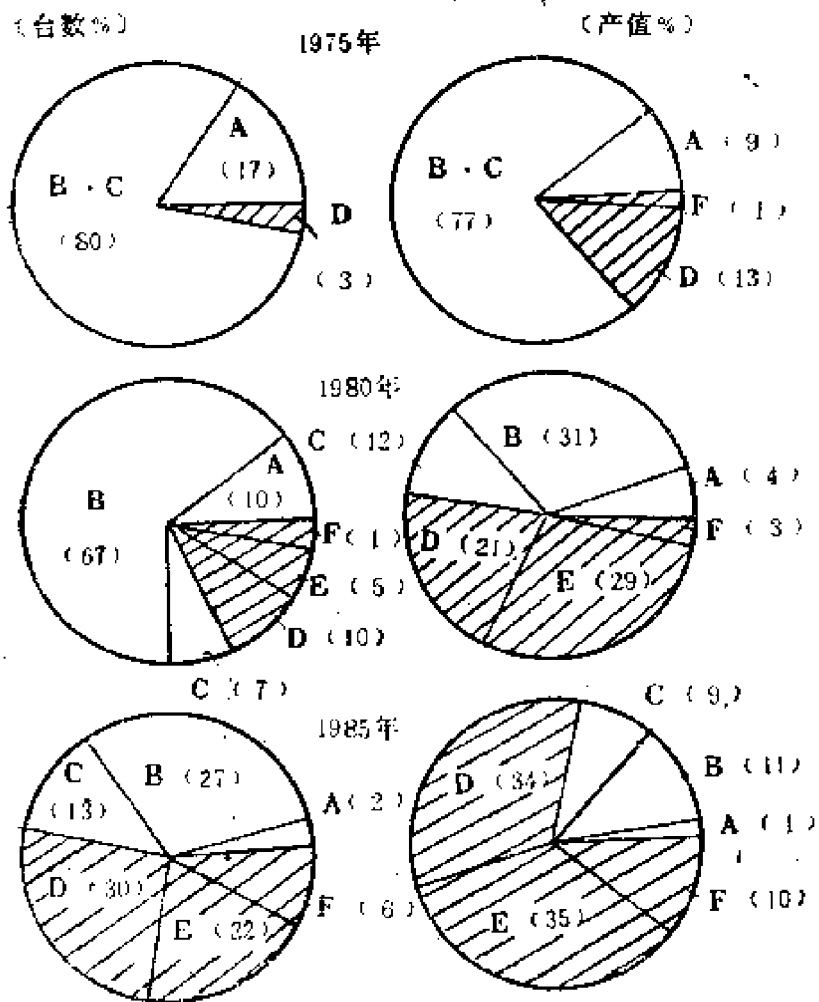
1. 应用的智能机器人主要分布在制造业。

据日本产业机器人工业会的统计和分析（参见表3-2）^[4]，目前的产业机器人几乎都应用于制造业。其分布大致如下。

弧焊、点焊及喷漆用机器人的主流是示教再现机器人，数控机器人和智能机器人的比例非常小。尤其是点焊作业，因为不需要检测焊线，所以几乎不用智能机器人。

在机械加工领域，大多数是示教再现和数控机器人，目前智能机器人的数量也极少。

在组装领域，以数控机器人为最多，其次为智能机器人及示教再现机器人。在电气机械制造业中的电子元件的装配，特别是向印刷电路上安装各种零件（电容、电阻、集成电路等），大量地应用了数控机器人，这是组装机器人增长的主要原因。数控机器人还极为有力地左右着组装机器人的普及。在智能机器人中，用于引线接合、芯片接合等作业的带视觉的组装机器人为主流，在直角坐标机器人上附加视觉功能的智能机器人最近也在增加。



A: 手控机械手
 B: 固定程序控制机器人
 C: 可变程序控制机器人
 D: 示教再现机器人
 E: 数字控制机器人
 F: 智能机器人

高性能机器人

图 3-3 各种类型机器人的生产台数及产值

在检测领域，从其作业特点来看，必须使用传感器，因此智能机器人应用也较多。

2. 目前应用的主要是具有初步智能的知觉、判断机器人。

为了了解产业机器人传感器的应用情况，日本产业机器人工业会向其会员中的制造商和用户进行了问卷调查。通过对61家机器人制造公司和23家机器人用户的调查，已经开发和应用的机器人种类如表 3-3 所示^[5]。在智能机器人中，感觉控制机器人的

表 3-3 机器人的种类

机器人分类	制造商	用户
(1) .操纵机器人	2	0
(2) .程控机器人	3	1
(3) .示教机器人	29	11
(4) .数字控制机器人	30	8
(5) .感觉控制机器人	10	4
(6) .适应控制机器人	1	0
(7) .学习控制机器人	0	1

生产逐渐增加，在数量上约占数控机器人的 1/3；适应控制机器人和学习控制机器人几乎还没有进行生产和应用。

表 3-4 为机器人感觉的种类^[5]。日本知觉、判断机器人的研究状况可参见表 3-5^[2]。机器人传感器可分为内传感器和外传感器。在内传感器方面，又有位置传感器、速度传感器和姿势传感器等之分。目前，在位置传感器方面，应用的是编码器和限位开关等；在速度传感器方面，应用的是转速表传感器等；在姿势传感器方面，应用的是倾斜传感器等。在外传感器上，有视觉传感器、触觉传感器、压觉传感器、邻近觉传感器等之分。在视觉传感器方面，使用工业电视摄像机和 Si-CCD 等。今后，随着 Si-CCD 价格的降低，将会更加普及。在触觉传感器方面，使用限位开关和微型开关等。在压觉传感器方面，应用较多的是导电高分子材料，如导电橡胶传感器。在邻近觉传感器方面，使用邻

表 3-4 机器人的感觉

感觉的种类	功能和目的
视觉	<ul style="list-style-type: none"> • 形状、记号、颜色等的识别 • 缺陷部位的识别 • 位置的识别
听觉	<ul style="list-style-type: none"> • 声音的识别 • 异常声音的感知、检测、识别等 • 位置的识别
触觉	<ul style="list-style-type: none"> • 形状识别 • 表面状态的识别 • 硬度等的识别 • 物体温度的检测(包括非接触检测)
嗅觉	<ul style="list-style-type: none"> • 环境气体的感知、检测、识别等 • 检查有无异常气体产生
平衡觉	<ul style="list-style-type: none"> • 保持机器人本身的平衡

近开关和光电开关等。在距离觉传感器方面，使用超声波传感器和光传感器等。表 3-6 是以视觉和触觉为主体的智能机器人应用实例^[2]。

三、有计划地开发智能机器人技术

日本极限作业机器人的开发，集中了日本政府、学术研究机构以及产业界的大批优秀力量，其进展可以集中反映日本智能机器人的技术开发水平。到目前为止，该项目已实施近6年了，取得了一批研究成果。

1. 实用核电设施作业机器人。

图 3-4 为核能机器人的总体开发设想^[6]。首先进行的是专用要素技术的开发。从1986年开始，在完善专用要素技术开发的

表 3-5

主要人工智能技术的研究开发现状

机 构	研 究 课 题	智 能 的 种 类	传 感 器 名 称	传 感 器 功 能	
机械技术研究所	带视觉的机械手的定位控制	视觉	电视摄像机	通过形状识别检测位置	
	顺应型机器人研究	触觉	力觉传感器	定位功能	
电子技术综合研究所	仿生机器人研究	视觉	电视摄像机	形状识别及图形记忆	
	扭矩控制型多关节机械手	力觉	磁粉离合器及制动装置	检测关节扭矩	
	配备识别眼的机械指(机器人模式识别现状)	视觉	电视摄像机、光邻近传感器	形状识别、邻近觉	
	高级自动化的研究开发(精密组装及自动控制方式)	触觉	差动变压器	检测反作用力	
	智能机器人系统的研究	触觉、视觉	应变计反作用力传感器、电视摄像机	反作用力检测、通过形状识别检测位置	
	机器人识别方式		视觉、触觉	电视摄像机、应变计反作用力传感器	距离检测,判断物体有出及位置检测,反作用力检测。
				用力传感器	

续表 3-5

机 构	研究课题	智能的 种类	传感器名称	传感器功能
东京大学研究生院	机器人视觉信息处理	视 觉	电视摄像机	形状识别
东京工业大学	利用相互作用的机器人简 易眼	视 觉	电视摄像机	距离计测
	网络状移动机器人—— 结构与控制	触 觉	机触觉传感器	曲面形状识别
	具有适应性的工业机器人 研究	触觉、视觉	微型开关、应变计、电视 摄像机	接触觉、压觉、滑觉的检 测及通过形状识别确定位置
京都大学	在自动组装中用机器人手 握持多种形状的机械零件	视 觉	电视摄像机	形状识别
名古屋大学	工业机器人的最佳握力控 制	视 觉	应变计	重量变化检测
大阪大学	机械零件识别系统	视 觉	电视摄像机	形状识别
早稻田大学	人造手的皮肤感觉	触 觉	导电橡胶触觉传感器	硬度检测

续表 3-5

机 构	研究课题	智能的 种类	传感器名称	传感器功能
中央大学	带人工触觉的人工手的实 验系统的开发	触 觉	应变计压觉、滑觉传感器	指面所受垂直力及平行力 检测
东京电机大学	与图像同步的工业机器人 的遥控	视 觉	电视照像机	通过形状识别检测位置。
	接触式滑移传感器	触 觉	在罗谢尔基面上安装记录 用蓝宝石针的触觉传感器	滑移觉检测

表 3-6

智能机器人在工业中应用的实例

厂家	机器人的名称	智能类别	传感器名称	传感器功能	使用机器人的作业 或工序名称
日立制作	阿罗斯先生	视觉	利用磁束变化的非接触间隙传感器 (gap Sensor)	学习功能、角点坐标运算功能、手麻矫正功能	弧焊 (建筑机械零件)
	少年阿罗斯先生	视觉	同上	同上	同上
紧螺丝机器人	紧螺丝机器人	视觉、触觉	电视摄像机、微型开关	通过形状识别检测形状、位置	水泥电杆成型框、螺栓旋紧
	HI-T-HAND EXPerT-2	触觉	触觉传感器及半导体压敏性传感器	探测反作用力、探测位置及决定位置功能	精密装配作业
	全自动晶体管组装系统	视觉	电视摄像机	通过模式识别确定位置及次品筛选	晶体管粘合
HI-T-HAND MK-2	HI-T-HAND MK-2	触觉	利用压敏导电橡胶的接触、压觉、力觉传感器	接触、压觉、力觉的检测	装箱作业
	视觉、触觉复合复眼机器人	视觉、触觉	电视摄像机, 接触、压觉、力觉传感器	接触、压觉、力觉的检测	组装

续表 3-6

	移动式核反应堆检修机器人	视觉、触觉、听觉	电视摄像机、温度计、湿度计、麦克风、离子电离室	各种检修作业(温度、螺栓疏松、放射线强度等)	核反应堆内的检修作业
富士电机	挑选装置	视觉	电视摄像机	通过形状识别挑选对象物的大小	蔬菜挑选
日本电机	声音识别装置	听觉	麦克风	识别连续发音的语言	分拣邮件:行李
NTN·东洋轴承	自动粘合系统	视觉	电视摄像机	通过形状识别确定位置	晶体管粘合
	自动目视检查装置	视觉	电视摄像机	通过形状识别检查尺寸、形状	从晶体管等小物体中拣出漏菜等中、大物体杂质
安川电机	电车司机	视觉	电视摄像机	通过形状识别确定作业的大致位置,确认作业条件、设定焊枪的姿势、位置。	弧焊
三菱电机	图形识别搬运机器人	视觉	电视摄像机	通过形状识别确定位置	组装
	自动粘合机	视觉	电视摄像机	通过形状识别确定位置并挑出杂质	晶体管粘合

续表 3-6

三井造船	大型弧焊机器人	视觉	CCD 图象传感器小型电视摄像机	通过形状识别探测角焊缝并确定焊缝位置	造船等工程的弧焊
住友重型机械	砂轮作业机器人	力觉	差动变压器	探测砂轮所受的力	活塞环磨研工序
东芝	移动机器人	视觉	将充氢气的钨灯与太阳能电池组合在一起的光学传感器	位置探测	工厂内部零件搬运
	自动粘合机	视觉	单件元件摄像机	通过形状识别决定位置	晶体管粘合
川崎重工 业	带视觉的搬运机器人	视觉	电视摄像机	通过形状识别决定位置	组装
	自动粘合系统	视觉	电视摄像机	通过形状识别决定位置	晶体管粘合
日本钢管	WEBLOT	触觉	差动变压器	探测焊缝	弧焊

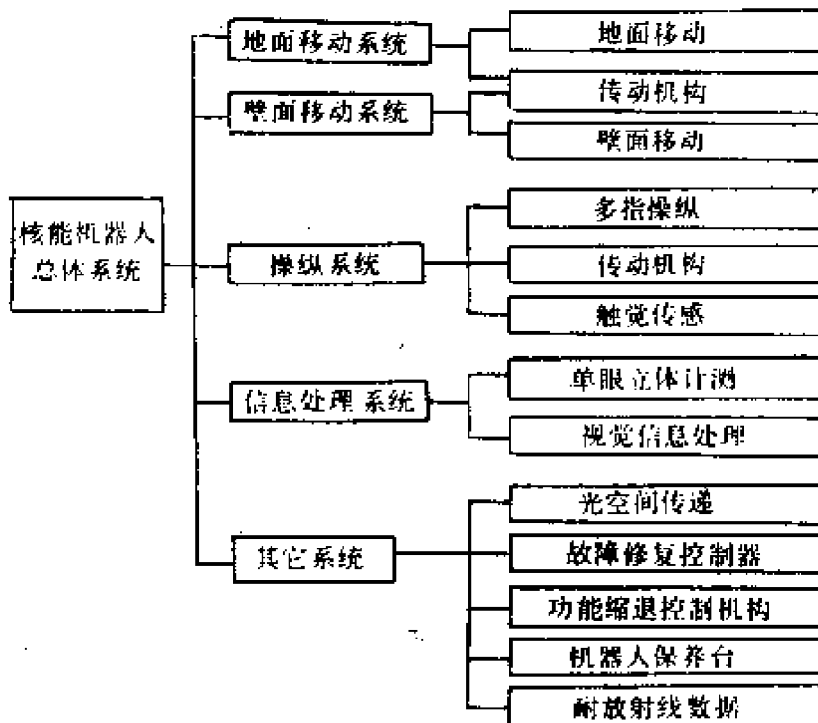


图 3-4 核能机器人开发的总体设想

同时，着手综合系统的开发。部分专用要素技术的开发现状如下。

① 地面移动技术。迄今为止，已经开发了模拟器与试制脚同步运动，并实时交换数据的分析实验一体化型设计工具，试制了3关节的单脚机构及4脚缩小实验机，进行各种步容实验和仿真，获得了开发4脚机构的数据。

② 壁面移动技术。移动机构由带4个小轮的2个吸盘及将它们连接起来的带多个关节的连接体(称为“节体杆”构成)。在没有障碍的平滑壁面上移动时，依靠耗能少、容易控制的小轮行走。在跨越障碍物或者由壁面到地面、由地面到壁面转换时则使用节体杆。目前已经完成了负压密封机构、车轮机构等基本部分的研究，正在进行吸盘及节体杆的试制、试验。

③ 多指操纵技术。到1986年为止，试制了带4根3个自由度的手指的主从手，反复进行作业实验，为研制多指机械手获得了各种

数据。1987年在此基础上开发了7个自由度的机械手。从指配备了力觉及触觉传感器。关于触觉传感器，已经通过实验对指表面的变形性能与作业性能的关系以及传感器的配置与作业性能的关系进行了定量研究。主指上配备了将从指感知的触觉传递到操作者的压觉发生机构，已经就其参数、位置进行了实验。

① 光空间传送技术。1986年前主要开发了电子精密偏光技术，消除水蒸汽、热流等障碍物对光强的影响的技术，移动物体跟踪技术，找到了实现光的空间传递的途径。今后将开发姿式变动时的高速跟踪技术。

2. 海底石油生产辅助机器人

图3-5为实用海洋机器人的研究开发系统^[7]。其专用要素技术的开发现状如下。

① 移动子系统的研究。1) 运动性能。1986年用模拟器进行了

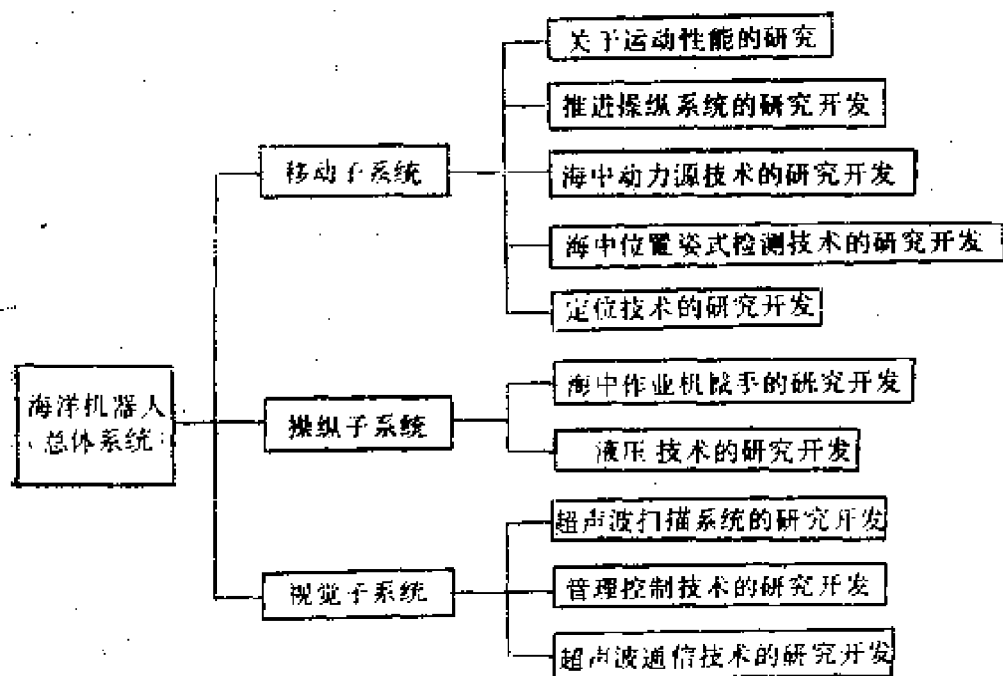


图 3-5 实用海洋机器人研究开发系统

船坞上行走实验，验证了设计模拟器。在编制关于3维行走的位置姿势算法的同时，试制了3维行走演算装置，进行了基础仿真实验。

2) 推进操纵系统。1986年试制了可以同时适应汇合节距变化及循环节距变化的节距可变机构,进行了性能试验。同时利用螺旋桨叶片模型进行性能实验,验证了其性能,还开发了按照机器人的运动分配推力的计算软件。3) 海中动力源技术。机器人必须海中充电,本项目采用中继基地充电方式,已经明确了其性能指标、系统构成、控制系统等基本思想。同时还探讨了为此所必需的机器人本体与中继基地的自动校合机构,还就水中耐压型单元电压扫描器进行了试制实验。4) 海中位置姿势检测技术。从理论上探讨了限制光缆陀螺仪的功能的因素,在此基础上进行了部分试制实验,并就其组件进行了特性评价研究。5) 定位技术。开发了 end-effector、轻量高强脚及其高效控制方式。

② 操纵子系统的研究。1) 海中作业机械手。为了探讨海中作业腕机构和探讨流体对机械手的摇动的补偿控制以及同时控制作业工具对作业对象的作用力及作业轨迹的“位置—力复合控制”,试制了单轴腕模型,将其放在回流水槽中,进行控制性能实验,验证了仿真结果。同时还进行了角度、距离、近距视觉、压觉及力觉等传感器的试制实验。2) 液压调节器。进行了液压泵、液压控制阀、关节驱动机构的试制实验,同时进行了滑动材料的海中滑动实验,对制造液压机械的材料进行了选择。

③ 视觉子系统的研究。1) 超声波扫描系统。超声波扫描传感器的研究,首先试制了耐高水压、高分辨率发送接收器阵列,通过水槽试验及海域实地实验进行了基本特性评价。其次,试制了高分辨率、高速信号处理装置,验证了高分辨率、高速扫描算法及信号处理速度。2) 管理控制技术。第一,利用环境模型辨认自己位置的技术。以便为移动传感器的校准和机械手作业提供有关机器人位置的必要信息。第二,3维位置测定技术。目的是向机器人示教作业开始点和作业路径,实现机械手作业的自我控制。关于第一项,构建了以CAD技术为基础的3维环境模型,开发了模型与TV计测图像相比照的软件以及位置辨别算法。关

于第二项,试制了使用TV摄像机及点光源的3维位置计测装置,通过实验求出了与海中的各种污物相对应的光的衰减、散乱特性,搞清了选择适合海中使用的激光光源的条件,同时对计测系统进行了探讨。3) 超声波通信技术。目标: 传送距离: 60m; 信息传递速度: 500kbit/秒; 误差率: $<10^{-4}$ 。为此试制了宽频带接受器,进行了水槽实验及真实海域实验,运用海中音响通信评价装置进行了评价。另外在自动减少真实海域音响传递通路变动的影响的研究上也取得了进展。

④ 总体系统的研究。从1987年开始,目前正在进行概念设计。主要研究内容包括:统括控制系统的探讨;人一机系统研究;小型轻量化探讨;移动、定位子系统的研究;操纵子系统研究;视觉子系统研究。在此基础上再设计、制造实证实验机器人,进行综合实证实验。

3. 石油生产设施防灾机器人。

研制出的防灾机器人所从事的作业是判断灾害情况、寻找泄漏点、关闭管道、堵塞泄漏点、关闭故障设备、开动灭火装置等(详见图3-6其中以底线标出的作业是本项目所研究的机器人能够完成的)[8]。这种机器人的主要功能和规格如表3-7所示。目前,专用要素技术的开发现状如下。

① 耐热技术。就耐热技术而言,曾设想绝热法、蓄热法、传热法、蒸发法等方法,1985年通过热力学分析,判断利用水的蒸发潜热的蒸发冷却法最理想,并展开了研究。目前按此原理试制的耐热结构体已经取得了成功。今后的工作是进一步改善冷却特性、轻量紧凑化、固定部分与可挠部分的一体化研究等。

② CO₂激光中距视觉传感器。由于热像传感器可以利用已有产品改造,所以目前致力于远红外频域的信息可见化技术。CO₂激光3维中距视觉传感器用AM调制的CO₂激光($\lambda=10.6\mu\text{m}$)照射对象,由其反射光的相位差来求出距离,激光进行高速二维扫描,由此得到3维图象。同时还进行了防止灾害环境损害

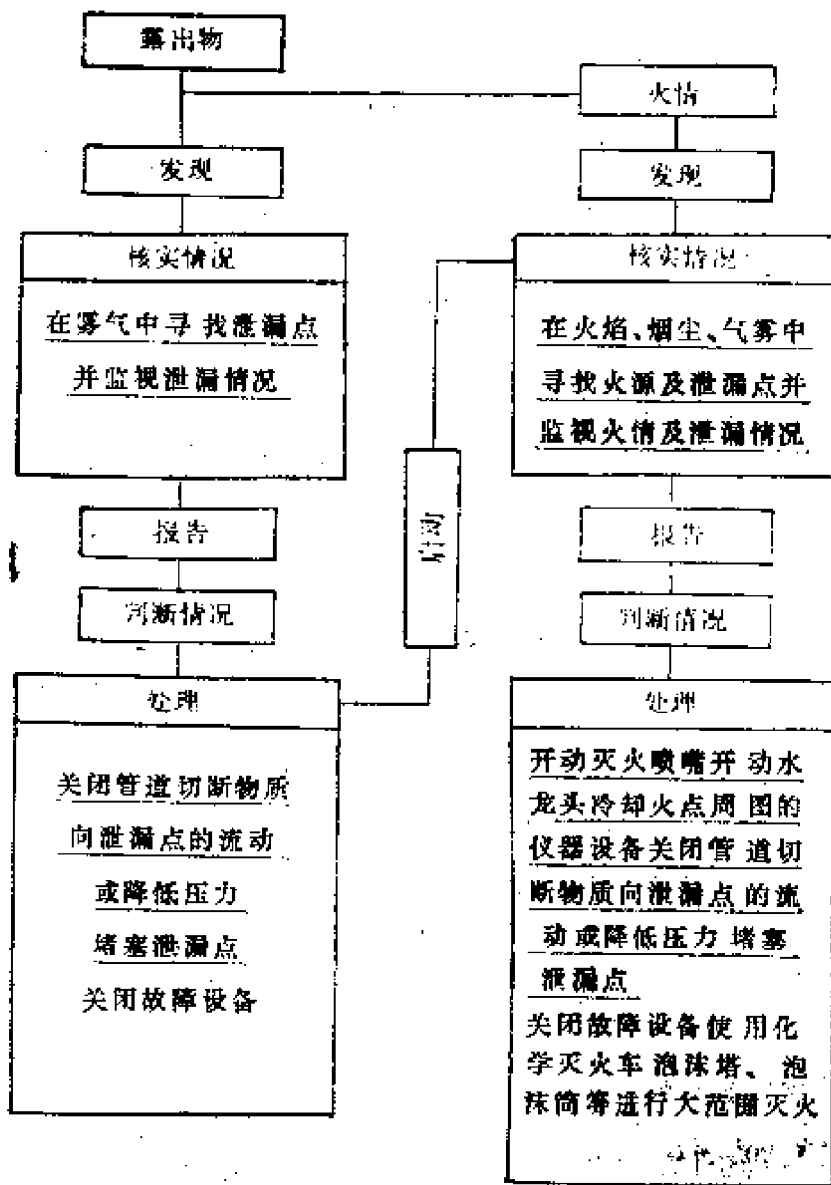


图 3-6 对应处理作业流程及机器人化作业

表 3-7

防灾机器人规格与功能

体 积 宽 高 长	850mm 1000-1750mm (可变) 1700mm
重 量 运动部分 其 它 总 计	约300kg 约300kg 约600kg
监视功能	寻找泄漏点 寻找起火点 环境监视 操作监视等
操作功能	灭火 关闭管道 紧急修理等
控制功能	主网温控 固定操作的自动控制 自动更换工具
机 械 手 数 量 自 由 度 长 度 型 号 反作用力	2 6 (臂3, 腕3) 约3000mm 垂直结合型 30kg 15kg·m
移动部分 数 量 脚自由度 型 号 速 度	6足 4 (移动2, 转向2) 滑动轮驱动混合型 最大 10km/h

续表 3-7

跨 跃	高度约500mm 宽度约450mm
激光传感器 工作方式 数量 距离	CO ₂ 激光雷达扫描方式 1套 3~30m
超声波传感器 工作方式 数 量 距 离	电子扫描脉冲反射方式 2套（装在机器人前面和机械手上） 0.1~2.0m
其它传感器	立体彩色视觉传感器 热像传感器 小尺寸工业电视等

图象质量的图象处理技术的研究开发。今后的工作是进一步提高距离分辨能力，改善高速扫描的全息分色效率，激光光源、光学系统、电气系统的轻量小型化，提高图象质量。

③ 超声波近距视觉传感器。利用集成电路技术将超声波元件点阵化，通过控制各元件的激励位相形成超声波束并进行扫描，通过孔径合成调焦在B型像中重视同种元件所接收的信息。今后的研究工作是，超声波元件点阵的最佳化、改善发射及接收电路、确定最佳的图象重视方式、实施电路、装置的轻量小型化研究。

④ 6足车轮混合移动机构。目前已经制出了模型，通过模型实验研究了各轴的控制特性，在此基础上，利用实验数据进行仿真，探讨了跨越动作的控制特性，设计了移动控制系统。今后的工作是开发阶层型控制装置，通过移动机构的轻量小型化、足运动的模式化提高移动速度，简化操作等。

⑤ 气压伺服传动机构。采用叶片式液压马达（额定转移

1000RPM,功率500W),目前对马达性能的改良取得了切实进展,并进行了一系列的理论分析和仿真实验。今后的研究工作是提高马达本身的容积效率,进行控制阀负荷试验,改善减速机的扭距传递系统,开发气压伺服马达最佳控制算法等,完成整个系统的开发用于机械手上,并与机械手的减振控制技术的研究开发相结合。

4. 极限作业机器人基础技术的研究开发。

基础技术即各种机器人通用的技术。极限作业机器人技术研究会主要负责3项基础技术的研究开发,即动力技术(电动传动机构)、传感器技术(触觉传感器)、辅助技术(机器人语言)。

① 动力技术。1)动力技术研究 的演变。动力技术的研究开发分为驱动各个部件传动机构和驱动控制传动机构的控制器两部分。从各年度研究工作的开展来看,首先以满足小型轻量化这一必要条件的研究为先行,接下来将是提高机械手双向控制水平即提高力控制性能的研究阶级。现在小型轻量化的基础研究已经结束,开始将其研究成果应用于核能相关作业机器人的机械手。表3-8 是表明这一演变的各年度主要进展^[9]。2) 小型轻量传动机构。极限作业机器人的先决条件是自主移动,因此传动机构的重量极容易危及机器人的存在。本项目研究的重点是将重量降低到已有技术所能达到程度的1/10,包括电动马达的轻量化、控制探测器和减速机构一体化的高密度结构等。目前关于传动机构的小型、轻量化的基础研究已经完成,进入了以提高力控制特性为目标的新阶段。3) 小型轻量控制器。在一般工业机器人中,通常驱动控制器与机器人是分离的。然而在极限作业的情况下,驱动控制器也必须与机器人结成一體,在作业现场移动。因此,要求实现控制器的小型、轻量化。从目前试制的样品来看,缩小尺寸的目标已经实现了。今后的课题是多轴搭载的研究。在完成小型、轻量化研究开发之后,也象传动机构一样,将致力于提高力控制性能。

表 3-8 动力技术研究的演变

项目	年度	~1985	1986	1987	1988	1989	1990
基础技术				力控制对应 传动机构		力控制传动机构	
动力技术的 研究开发		马达部分传动机构 的轻量化	的轻量化	高功能化研究			
核能相关小型、 轻量传动机构的研究开发			小型轻量化研究				
				从属机械手传动机构			
							(总体系统 机械手传动机构)

② 传感器技术(触觉传感器)。极限作业机器人在恶劣环境下代替人进行各种复杂作业，机器人的手必须具备与人同样的感觉，即需要具备检测接触觉、压觉、滑觉等感觉的触觉传感器。目前已经试制成功的有3轴1毫米传感器、1轴2毫米传感器、3轴1毫米传感器。接下来将要开发的是高密化及附加高级功能的软件。

③ 辅助技术(机器人语言)。极限作业机器人在人很难接近的环境中工作，对其复杂并且高级的作业必须进行自我调控或进行遥控。为此必须开发系统化、统一化的机器人程序语言。从1983年开始进行了机器人语言的体系化和确定机器人语言的语法规则的研究工作。1986年以前进行的是机器人语言的通用功能及与移动有关的功能的体系化。同时还探讨了机器人的各种移动形态，制定了机器人移动控制的必要的语法规则，还就机器人控制所必须的扩展性、并行处理等通用功能制定了基本法则。1987年在1986年制定的机器人语法规则的基础上，追加了关于操纵功能及移动与

操纵功能之协调的语法规则，同时还就通用功能、移动功能进行了追加、改良。1988年以后，在追加关于传感器的语法规则、制定较完备的语法规则的同时，将建立机器人的动作（移动、作业）模型，通过记述该动作的应用程序来验证语法规则的实用性。

从日本极限作业机器人研究项目的总体进展来看，到1987年7月，有关的发明专利253项，实用新型设计36项（参见表3-9）^{〔10〕}。对项目实施状况的中间评价工作已经结束。通过中间评价，为1988年各种机器人的专用要素技术研究指明了方向，开始着手综合系统的详细设计和部分子系统的制造工作。

表 3-9 工业所有权申请状况

种类	年度	基础技术		核能 机器人	海洋 机器人	防灾 机器人	计
		研究所	研究会				
专 利	1983	0	0	0	0	0	0
	1984	18	6	6	14	0	44
	1985	31	7	38	16	4	96
	1986	6	9	39	36	17	107
	1987*	0	1	1	1	3	6
	计	55	23	84	67	24	253
实 用 新 设 计	1983	0	0	0	0	0	0
	1984	0	0	0	2	0	2
	1985	0	0	8	9	0	17
	1986	4	1	4	5	1	15
	1987*	0	0	1	0	1	2
	计	4	1	13	16	2	36

* 截止到1987年7月1日

第二节 技术开发和社会需求紧密结合

一、日本机器人发展的三个阶段

日本机器人的发展，经过了60年代的摇篮期、70年代的实用化时期以及80年代的普及、提高期三个基本阶段。日本将1980年做为“产业机器人的普及元年”^{*}，开始在各领域广泛推广应用机器人。

1967年，日本东京机械贸易公司首次从美国 AMF 引进“Versatran”机器人，1968年，日本川崎飞机制造公司（现名川崎重工业公司）与美国Unimataon缔结国际技术合作协议，引进“Unimation”机器人（1970年实现国产化）^[11、12]。这样，日本在引进基础上，拉开了开发和应用机器人技术的帷幕。在日本，由于1979年、1980年的两次“石油危机”的冲击，曾使机器人的发展出现暂时的低潮，但其总趋势仍然是逐年扩大。这种发展的主要动力是：①提高生产率；②防止劳动事故和职业病，提高劳动福利；③解决技术工人不足；④稳定和提高产品质量；⑤降低废品率，提高设备利用率，节省资源和能源；⑥改善生产管理等^[13]。

1980年，日本产业机器人的发展进入了一个新的发展阶段。首先，机器人产值大幅度上升。这一产值达784亿日元，与1979年的424亿日元相比，增长了85%，使得日本产业机器人的总产值达到了3000亿日元的生产规模（见图3-7）^[14]。其次，日本政府将1980年作为“产业机器人的普及元年”，为促进产业机器人的普及，政府实施了四条政策措施：①制定了由财政投资贷款的

^{*} 最初，日本把美国取名为工业机器人（Industrial Robot）的自动操作机，译为“工业机器人”，后来又改为日语语义更广的“产业机器人”。目前，在日本用“产业机器人”的情况较多，故本文采用“产业机器人”的提法。

租借制度；②将高性能的计算机控制产业机器人，纳入重要复合机械设备特别折旧制度的对象范畴；③产业安全卫生设施特殊贷款制度（中小企业金融公库、国民金融公库）中，重新补充了劳动安全产业机器人；④中小企业现代化资金贷款及设备租借制度〔15〕。

目前，日本产业机器人的分布状况是，产业机器人的95%被应用于制造业，余下的5%则应用在核能、海洋开发和建设业等非制造业〔14〕。在制造业中应用机器人的主要部门是：电气机械制造业、合成树脂成型加工业、金属制品制造业等，另外还有食品制造业、纤维工业、化学工业、造船业等。1979年以前，汽车工业一直是机器人的最大的需求部门。但是1979年以后，电气机械制造业超过汽车工业，成为最大的机器人需求部门。这是由于装配印刷电路上的电子部件（电容、电阻、集成电路等），大量地使用了数控机器人（NC Robot）（参见图3-8）〔14〕。1978~1986年的9年中，日本产业界一共应用了近25万台机器人*（参见表3-2）。从机器人所从事的工种来看，应用数量依次为树脂成型加工、组装、焊接、切削加工、冲床加工、压铸等。

日本智能机器人的研究是从60年代末开始的。1970年，电子技术综合研究所研制出了油压驱动的具有6个关节的腕指机构，以及使用电视照相机的视觉系统构成的机器人——ETL机器人MK-I。这种机器人成功地利用来自视觉的信息，把正方形的积木嵌入积木堆。同时，日立中央研究所研制出了HIVIP MP-I机器人系统。这些都是日本有关智能机器人研究的最初成果〔17〕。经过10余年的发展，进入80年代，具有初步智能的“知觉判断机器人”进入了实用化时期，从事弧焊、组装、搬运等作业（参见

* 此数据是日本产业机器人工业会发布的，包括手控机械手和固定程序控制机器人。而国际机器人联合会的统计不包括上述两类机器人。故二者的统计数字不一致。据国际机器人联合会的统计，到1986年年底，日本共拥有118,000台机器人，占世界总数（180,000）的67%〔16〕。

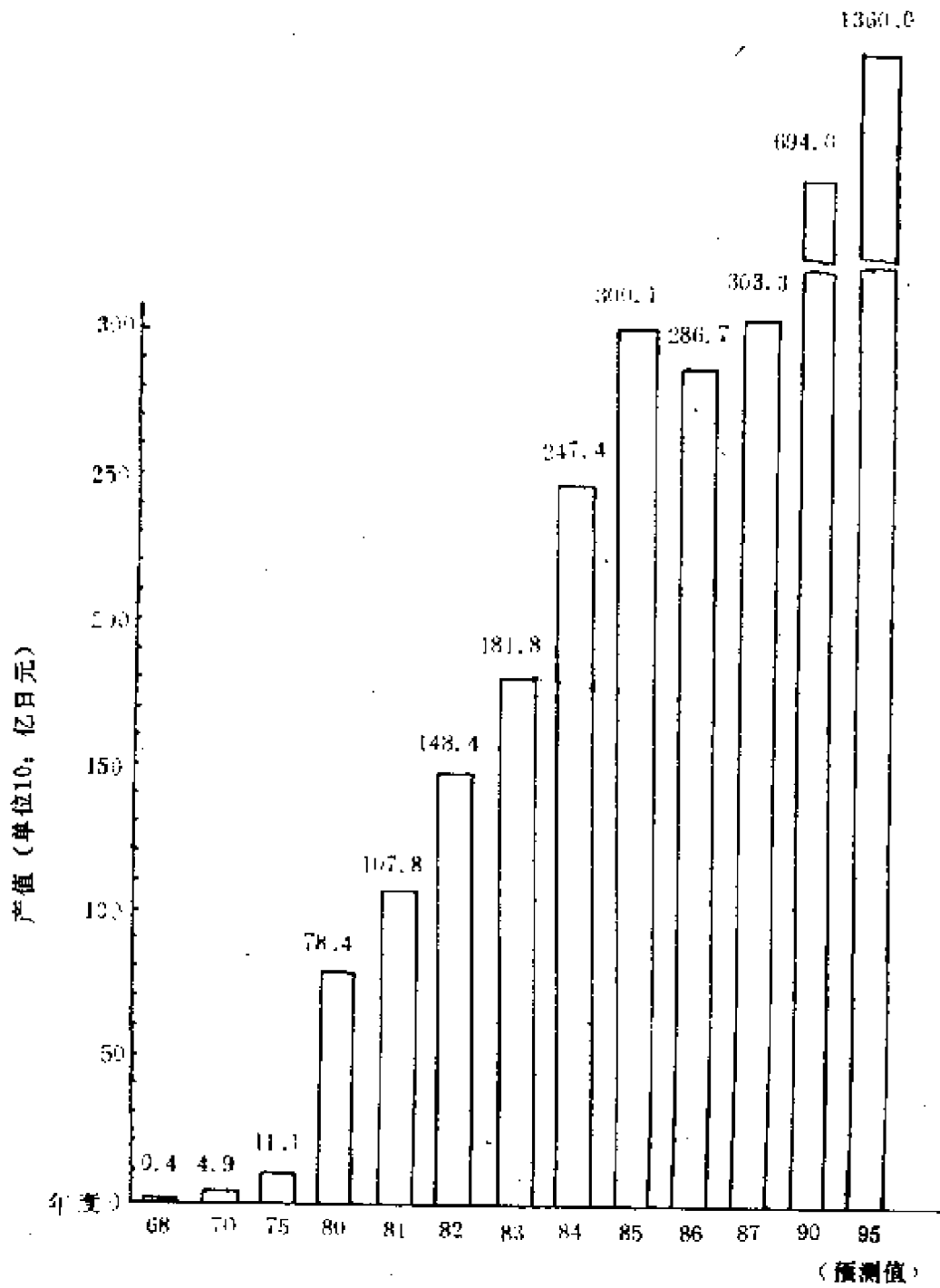
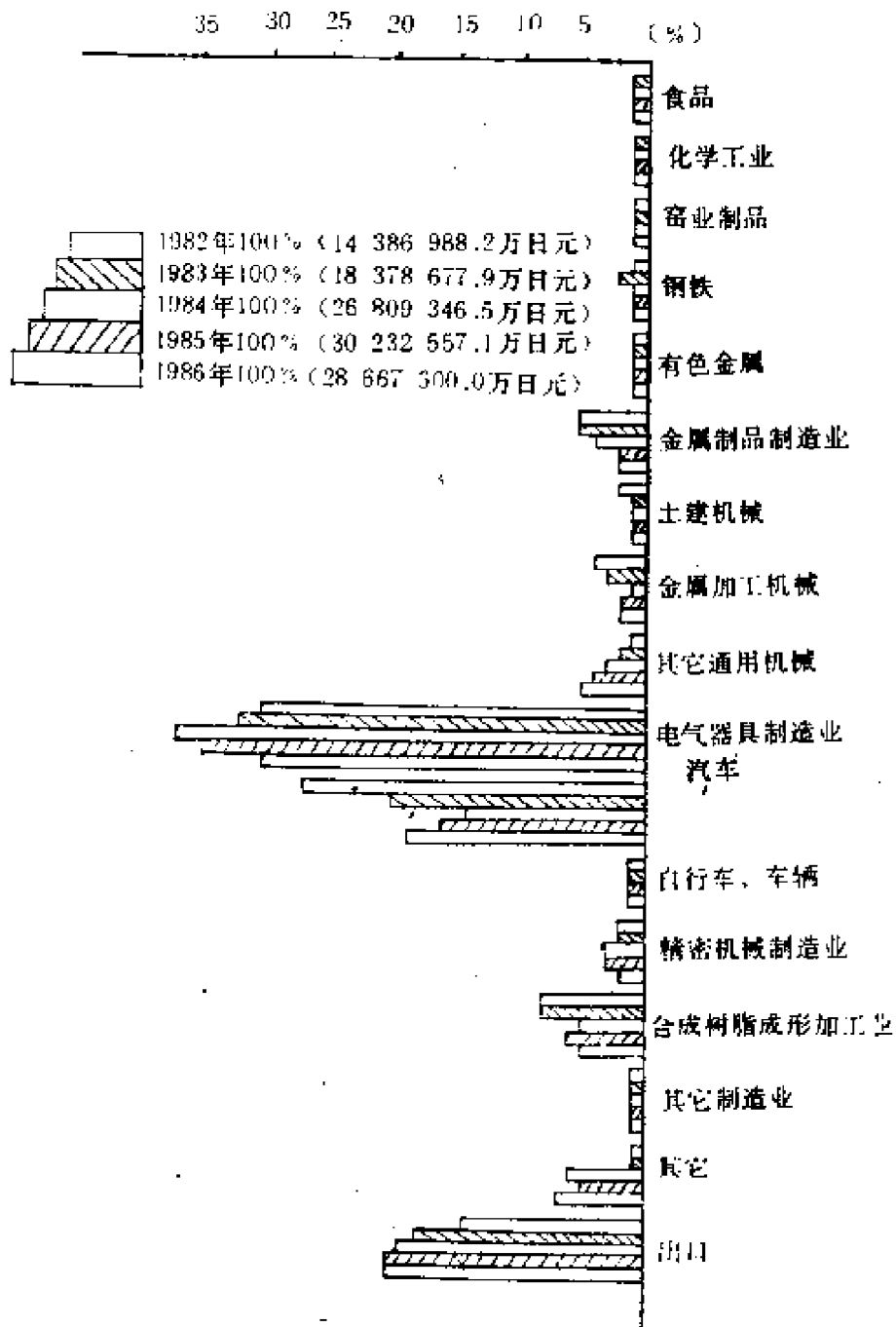


图 3-7 日本各年度产业机器人的产值



3-8 不同需求部门的应用比例 (按金额计算)

图3-9) [18]。80年代，为了适应日益广泛而强烈的社会需求，拓宽机器人的应用领域，日本以通产省工业技术院机械技术研究所

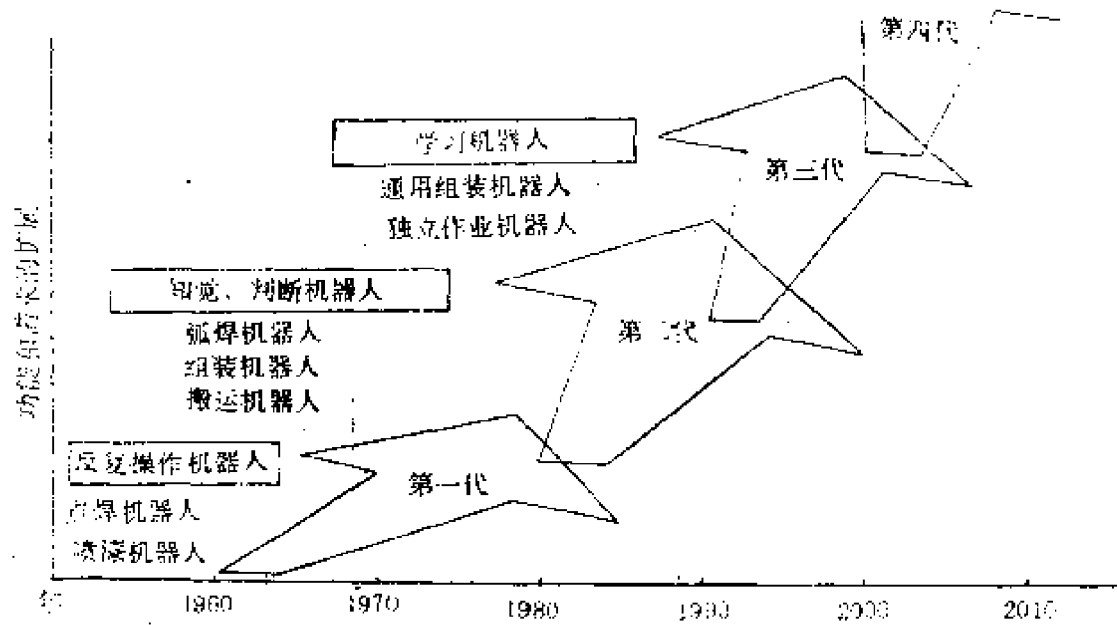


图 3-9 机器人的进步

为核心，在各大学、国立研究机构及民间企业中广泛地开展有关智能机器人的研究开发工作。这样日本不仅产业机器人，而且智能机器人的研究开发和初步应用也都处于世界领先地位。日本称1985年以后为“智能机器人的时代” [2]。研究分析表明，日本机器人的发展，始终注意技术开发同社会需求的紧密结合。这一历史特点在产业机器人的开发中已十分突出。下面着重分析在智能机器人开发上的表现。

二、日本发展智能机器人的社会背景

日本对智能机器人最初的研制可以追溯到60年代末，但是广泛的研究和开发是在80年代。这种大力研制和开发的动力来自于日本社会对智能机器人的广泛需求。同时为满足这种需求，日本政府也正在技术、经济及社会等各方面积极地创造条件。

1. 智能机器人的需求分析。

据日本产业技术振兴协会“关于高级自动化机械的调查研究

委员会”和日本产业机器人工业会“智能机器人调查研究专业委员会”的调查^[19]，日本对智能机器人需求较大的作业形式有：

①恶劣环境、危险作业占38.2%；②组装、搬运作业占24.2%；③保护、维修作业占12.4%。这几种作业形式又主要分布在以下的产业部门中：①恶劣环境作业：核能成套设备、建设、土木；②危险作业：建设、土木、坑道、电力、通信、救护、救援；③组装作业：电气器具、精密机械；④搬运作业：运输、仓库、建设；⑤保护、维修作业：电力、通信、核能成套设备、煤气、给排水；⑥辅助作业：医疗、福利设施。

由此可见，从应用领域来看，制造业对智能机器人的需求比较狭窄，主要是在组装作业方面；非制造业对智能机器人的需求相当广泛。从作业形式来看，危险、恶劣环境条件下的作业对智能机器人的需求最大，占需求量的38.3%。首先，在制造业，日本目前应用智能机器人最多的首推组装作业。但智能机器人在制造业中的应用领域尚有较大的拓展余地。如：精密装配——在集成电路、小型马达、显像管电子枪、轴承以及光通信设备、光连接器等方面的精密装配作业，需要复合连接（多个零件的连接）和柔软物体的连接（弹簧、橡皮型、塑料薄基板等的操纵）等高级装配技术。重物组装——造船业对超重物组装机器人的需求很大。因此，制造业的组装等行业对智能机器人的需求是推动日本智能机器人开发的动力之一。其次，非制造业的广泛需求，为智能机器人提供了更为广阔的用武之地，这是日本开发智能机器人的最强大的动力。

2. 对智能机器人的社会需求和技术上满足需求的可能性的相互关系分析。

社会需求对智能机器人的发展要求是带有两重性的，一方面它强烈地要求发展机器人以满足社会生活各方面的需求；另一方面，它对机器人的技术性能又提出了很高的要求，实现起来又很困难。前者我们称为对机器人发展的促进因素，后者称为阻碍因

素。日本在非制造业领域对机器人需求的促进因素和阻碍因素可参见图3-10〔20〕。由图我们可以看到，日本发展智能机器人的促进因素主要表现为，

第一，从宏观来看，经济持续地增长（今后10年中，国民生产总值的平均增长率预计为4.5%），人事费的持续上升和高龄化的进展，促使非制造业的各部门考虑通过节省人力来实现合理化。

第二，改善工人的作业环境，避免人直接去从事恶劣和危险环境下的作业。据日本劳动省的调查，由于在危险、恶劣环境下作业而引起的事故，每年要涉及35万人（参见表3-10）〔21〕。有的事故并未向劳动省报告，如果考虑到这一情况，据估计实际数字约为现在公布数字的2倍〔15〕。此外职业病（矽肺、白血病、腰痛等）也多有发生。正如日本通产省产业结构审议会机械信息产业分会在1977年11月的一份咨询报告中所指出的：“为了减少

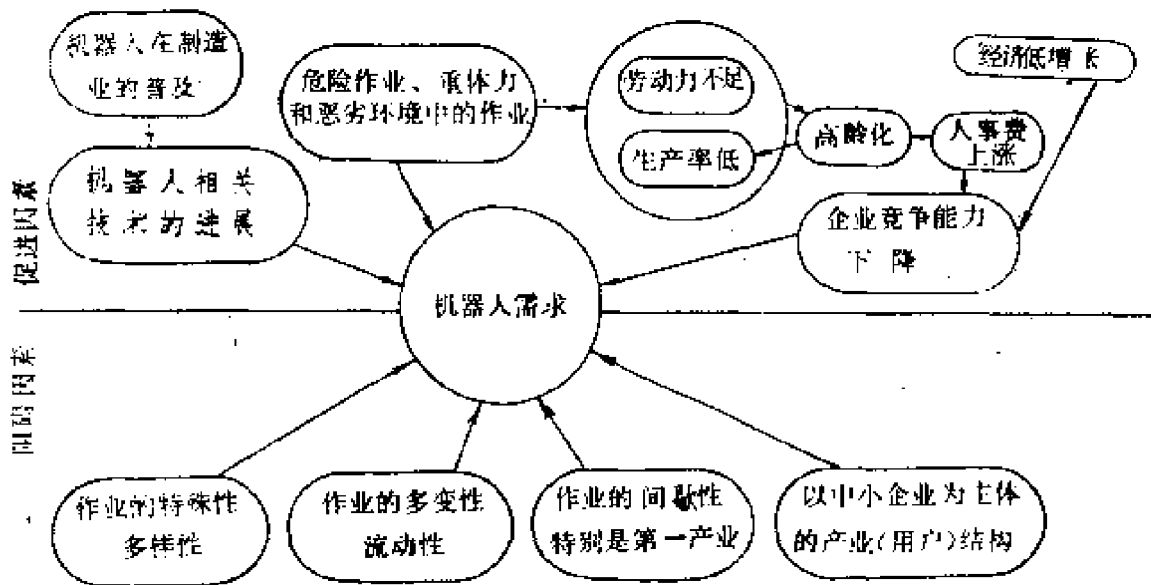


图 3-10 非制造业机器人需求因素分析

危险作业、单调劳动，通过实现 NC化、机器人化等手段来确保作业的安全、彻底防止产业公害，是十分必要的”〔15〕。

对机器人发展的阻碍因素为：第一，作业形式的多样性。工

表 3-10 各产业部门死伤事故统计 (1980年)

事故类型 产业部门	休息 4 天以上的工伤		死 亡	
	绝对数 (人)	相对数 (%)	绝对数 (人)	相对数 (%)
矿业	8800	2.6	105	3.5
林业	12800	3.8	117	3.9
陆路货运业	21900	6.5	261	8.7
制造业	108000	32.0	589	19.6
建筑业	112800	33.4	1374	45.7
其他	73300	21.7	563	18.7
总计	337600	100	3009	100

业、农业、海洋业、林业各有不同的要求。第二，技术性能上要求具有较高的感知功能、识别分析判断功能和高精度、大持重功能等。第三，在社会经济条件方面要求机器人可靠性高、造价低、维修简便等。总之，对智能机器人提出许多难以实现的苛刻条件。

这样在日本智能机器人的发展就处在矛盾之中，一方面，非制造业中对智能机器人存在着广泛的社会需求，向人们展现了发展机器人的诱人前景；另一方面，非制造业对智能机器人又提出了很难实现的苛刻要求。二者的矛盾如此之尖锐，以致彻底改变了日本机器人工业和其技术开发的方向，大力发展智能机器人。

三、日本智能机器人发展战略

1. 从深入分析智能机器人实用化的技术条件和智能机器人普及的社会经济条件中，寻找发展智能机器人的突破口和条件。

首先，通过广泛的社会调查，了解非制造行业对智能机器人技术性能上的要求。经过对农、牧、林、海洋开发、核能、医疗、垃圾处理等13个行业的调查，对智能机器人技术性能的要求依次为①视觉、听觉、触觉传感器的开发；②识别、判别、学习等高级判断功能的开发；③高精度、小重量、大搬运能力和高级高

速手腕的开发；④移动功能的开发等。详见表3-11^[20]。

其次，通过社会调查，了解智能机器人普及的社会经济条件。经过对上述13个行业的调查发现，降低机器人的价格、简化使用和维修程序是社会对机器人研制行业的主要要求。详见表3-12^[20]。

第三，深入分析非制造业领域机器人化的有利因素和不利因素发现：①核能、运输、装卸和宇宙开发有利因素很多，不利因素很少；②农业、畜牧业、林业和水产业，或者由于经济上资源极少；或者由于政治上的保护政策，推广使用机器人相当困难；③在土木建筑行业、垃圾处理、消防防灾业既有有利因素又有不利因素。详见表3-13^[20]。

通过上述分析不难看出，社会对智能机器人在技术上的要求比较集中在：①视觉、触觉等传感器的开发；②识别、判别、学习等判断功能的开发；③高精确度、超小型、大搬运力、高速的高级手爪的开发三个方面。社会对智能机器人在经济上主要要求表现在①降低机器人的造价②简化使用与维修程序两个方面。而开发智能机器人的起点、突破口应当选在上述两个方面的结合点上，即社会需求迫切程度很高，技术实现可能性很大的、造价低、维修比较简单的机器人类型上。

正是在这种周密、深入的技术与经济、技术与社会关系的分析基础上，集中全国研究、制造的主要力量，制订并实施了智能机器人的研究开发计划。

2. 日本有关智能机器人的若干开发计划。

① 极限作业机器人开发项目。

立项背景和目的。日本工业技术院在1966年建立了“大型工业技术研究开发制度”（通称“大项制度”），其宗旨是以国家为主体，产、官、学相结合，有计划地推进在贯彻“技术立国”方针时所面临的国民经济迫切需要开发的尖端、大型技术的研究开发工作，从而促进日本产业结构的高级化，增强国际竞争力，

表 3-11 智能机器人实用化的技术条件

技术 需求 课题 部门	视觉、听觉、触觉等传感器的开发	识别、判别、学习等高级判断功能的开发	高精度、小型轻量、大搬运力、高速的高级腕的开发	移动功能的开发	遥控技术的开发	可靠性技术的开发	机器人化的外围、配套技术的开发
农业	●	●	○	△		△	
畜牧	●	○	○	△			△
林业	●	●	●	○			
海洋开发、水产	●	●	○	●	○	○	○
土木建筑、矿业	●	●	●	●		○	
运输、仓库、装卸、流通	●	○	○	△		△	
煤气、给排水、电力、通信	●	○	○	△	△	△	
核能	●	●	●	●	○		
宇航	○	●	○	△	△	△	
医疗、福利	●	●	○	○		○	
垃圾处理 清扫设备检修	●	●	○	●	○		
消防、灾害防护	●	●	○	●	○	○	
服务业、其他	●	●	○	○		○	

〔出处〕：问卷调查结果。

〔注1〕：符号说明：●——最重要；○——其次；△——再次。

〔注2〕：表中所列技术课题均为从现状来看，尚需较大工作量方能实用化之技术。

表 3-12 智能机器人普及的社会经济条件

普及需求部门	完善机器人销售、服务网点等销售体制	降低机器人价格	简化使用与维修程序	推行租赁制度	机器人的标准化、系列化	用户方面的人员准备	对利用机器人的场所进行改造	机器人供给者提供工程服务
农业		●	●	⊙(2)			⊙	
畜牧	⊙	●	●	⊙(2)			⊙	⊙
林业	⊙	●	●	⊙		⊙	⊙	
海洋开发、水产		⊙	●			△	△	△
土木建筑、矿业		⊙	●	△		△	△	
运输、仓库、装卸、流通	⊙	●	●		⊙		⊙	⊙
煤气、给排水、电力、通信		●	●		⊙	⊙	⊙	⊙
核能		⊙	●			△	⊙	△
宇航		⊙	●			⊙	●	●
医疗、福利		●	●				⊙	⊙
垃圾处理、清扫设备检修		●	●				⊙	⊙
消防、灾害防护		⊙	●				△	△
服务业、其他		●	●	⊙	⊙		⊙	

〔出处〕：问卷两查结果。

注 (1)：符号说明：●——最重要；⊙——其次；△——再次。

注 (2)：工业机器人长期需求预测专业委员会的看法。

表 3-13 非制造领域内机器人化的有利因素及不利因素

领 域	有利因素	不利因素
农业	<ul style="list-style-type: none"> • 农业劳动力高龄化 • 农业领域中民间企业的事业化（设施农业） • 农地集约化趋势 	<ul style="list-style-type: none"> • 保护政策 • 农业机械的普及减少了对自动化作业的需求 • 兼业农户、小农户的存在 • 作业的季节性
畜牧业	<ul style="list-style-type: none"> • 畜牧场规模扩大，小型家庭畜牧业解体 • 产地肉食中心的建立 	<ul style="list-style-type: none"> • 以家庭成员为主体的劳动力结构（劳动的灵活性） • 畜牧业中的帮工制度
林业	<ul style="list-style-type: none"> • 林业劳动力的高龄化 • 事故几率大（重物搬运、振动引起的事故） 	<ul style="list-style-type: none"> • 作业的季节性、间歇性 • 农林兼业引起的林业萎缩 • 季节性劳动者和家族经营体制的存在
海洋开发 水产业	<ul style="list-style-type: none"> • 政府、公共事业体的海洋牧场开发计划 • 提高捕捞及饲养生产率的必要性增大 • 渔业劳动力的高龄化 	<ul style="list-style-type: none"> • 作业海域（北太平洋）的限制和捕捞范围的局限 • 中小渔业经营体收益的恶化 • 作业间歇性
建筑、土 木、矿业	<ul style="list-style-type: none"> • 事故多发性（跌落） • 大型建设物老化导致的维修作业的增加 • 核心企业对提高生产率的积极性 • 技术工人缺乏 	<ul style="list-style-type: none"> • 公共投资增长缓慢 • 劳动人口的流动（就业容易） • 中小企业比例大 • 资源采收地减少
运输、装卸 仓库	<ul style="list-style-type: none"> • 限制缓和引起的竞争激化 • 物流需求高级化（迅速，低成本、高质量等） • 流通中心、调剂中心的增加及高级化 	

续表

<p>煤气、给排水、电力、通信</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 对维修自动化的需求高涨（煤气、给排水、电力） 	<ul style="list-style-type: none"> • 劳动力结构均衡化
<p>核能</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 摆脱恶劣作业环境的要求增加 • 对核能的依赖性提高 • 大企业的垄断 • 提高开工率的迫切要求 	
<p>宇宙开发</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 宇宙开发计划的实施 —MFFT —无人宇宙实验系统 —宇宙环境利用中心的成立等 	
<p>医疗、福利</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 社会老龄化 • 卧床老人及残疾人对福利的需求增加 • 医疗高级化（外科手术等）的必要性增加 • 护士不足 	<ul style="list-style-type: none"> • 人际交往的必要性 • 机器人供给在流通方面的障碍
<p>垃圾处理、清扫</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 劳动力高龄化 • 脱离恶劣作业环境的要求 	<ul style="list-style-type: none"> • 以中小企业为主体的产业结构 • 低工资 • 固定处理地点的困难性
<p>消防、防灾防护</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 完善防灾、消防体制 • 脱离危险作业环境的需要 	<ul style="list-style-type: none"> • 作业频度、内容的多变性
<p>服务业及其他</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 从长远发展来看，由于对信息化及提高生产率的需求，对自动化的需求将相对提高 	<ul style="list-style-type: none"> • 人际交往的必要性 • 作业的随机应变性 • 劳动力供给较容易

合理地开发自然资源，防止产生公害。迄今为止，已经对24个项目总计投入了2330亿日元的研究开发费，“极限作业机器人”项目是它投资的第20个项目〔10〕。

在恶劣环境和危险空间条件下的作业，要求机器人在远远超出人的作业能力和生理忍耐极限的情况下作业，日本把这种机器人称作“极限作业机器人”（参见图3-11）〔10〕。

在核能、海洋开发、防灾等领域中，各种设备、机械的检修、保养、消火救援等极为复杂的作业，要求在高放射性、高水压、射流混乱、高温等各种人类很难承受的条件下完成。开发“极限作业机器人”的目的，就是开发可以在这些场合取代人的智能机器人系统。这一项目的具体开发目标是核能机器人、海洋开发机器人、救灾机器人。（参见表3-14）〔22〕。

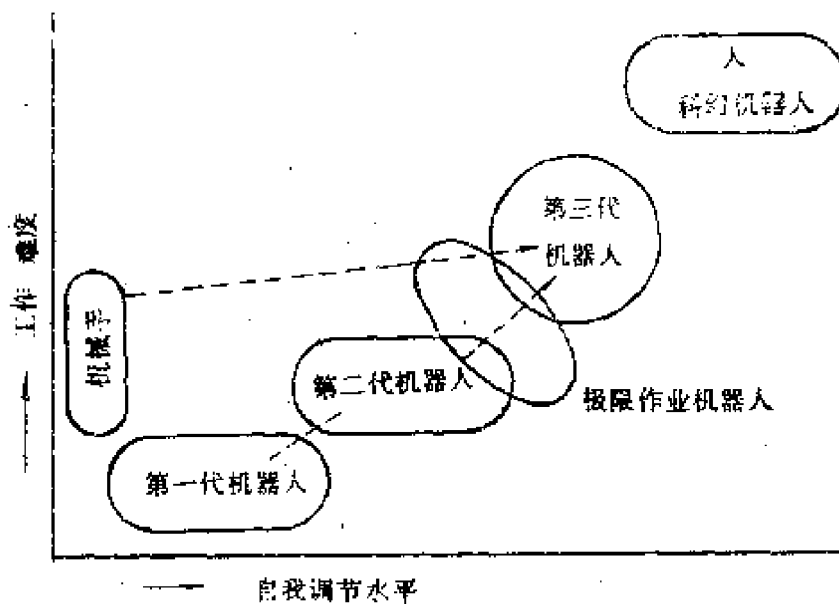


图 3-11 机器人的分代和功能水平

研究内容。包括基础技术和各领域的专用要素技术研究（参见表3-15）〔10〕。

研究期限。项目的研究开发时间为1983-1990年，共8年时间。研究开发经费总额约200亿日元。分为两个阶段：第1个阶段开发3个领域机器人的“专用要素技术”和各领域共同需要的

表 3-14 极限作业机器人的基本开发目标

项 目	目 标
实用核电设施作业机器人	开发用于核电站等与核能有关的设施的，能够在作业环境内移动，并在遥控操作者的帮助下，从事核能设备的检查、保修等高级作业的机器人。
海底石油生产辅助机器人	开发用于海洋石油开发有关设备的，可以在海水中进行三维移动并保持作业位置和姿势，在遥控操作者的帮助下，从事维修、检查、修理等高级作业的机器人。
石油生产设施防灾机器人	开发当石油生产设施中发生事故时，在遥控操作者的帮助下，进入灾害现场，从事了解灾害状况，防止灾害扩大，救援等高级作业的机器人。

“基础技术”，第2个阶段将第1个阶段的技术开发成果与已有的技术进行适当组合，研究开发分别满足于3个领域需求的总体系统（参见表3-16）〔10〕。

研究开发实施体制及分工。研究开发机构是极限作业机器人技术研究会，由通产省工业技术院的机械技术研究所、电子技术综合研究所及20个厂家组成。国立研究所承担“基础技术”的研究开发，技术研究会承担部分“基础技术”以及3个领域机器人的“专用要素技术”和“总体系统”的研究开发。（参见表3-17）〔10〕。

② 利用电子技术，实现建设技术高级化的系统开发项目〔23〕。

这是建设省从1983年度开始实施的五年计划综合研究项目。在土木和建筑两个领域应用CAD(计算机辅助设计)和机器人等，大幅度地提高劳动生产率。由建设省土木建筑研究所、建设业有关企业、机器人制造商以及经验丰富的学者进行合作研究。

③ 反应堆检修机器人开发项目〔23〕。

吸取三里岛核电站事故的教训，为防止核电站重大事故的发生，开发能在运转作业的同时从事核电站检修的机器人。此项目的发起人是九家电力公司，委托三家机器人制造商进行开发。通

表 3-15 研究开发总体设想

总体系统

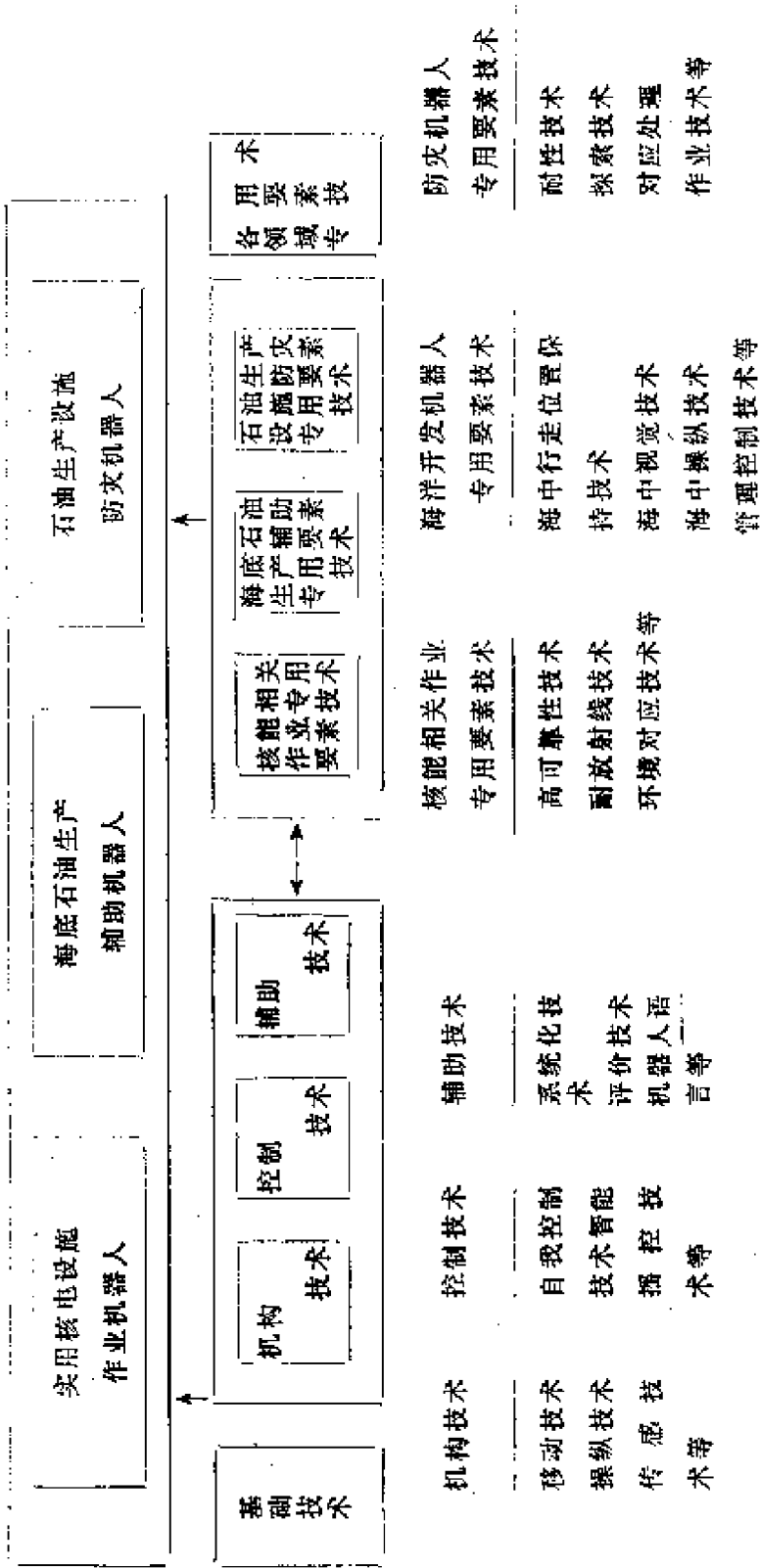


表 3-16 研究开发时间表

研究项目	年度		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
	要素技术	总体系统		概念 基础技术		试制及实验 概念设想	概念设计	试制及实验 详细设计	制造及实验	
作业机器人 实用核电设施										
设施辅助机器人					概念基础设计	试制及实验		试制及实验		
石油生产设施					概念基础设计	试制及实验	概念设计	详细设计	制造及实验	
基础技术										
机构技术				基础技术						
控制技术										
辅助技术						开发			技术定型	
研究开发预算 (百万元)			40	784	1896	2405	2425	2479		
							中间评价			综合评价

表 3-17

极限作业机器人研究分工

研究项目		承担单位
基 础 技 术	机构技术	机械技术研究所 电子技术综合研究所 (株) 富士电机综合研究所 (株) 安川电机制作所
	控制技术	机械技术研究所 电子技术综合研究所
	辅助技术	电子技术综合研究所 (财) 国际机器人及工厂自动化技术中心。
核 能 机 器 人	高可靠性技术	三菱电机(株) 三菱重工业(株) (财) 发电设备技术检查协会
	耐放射线技术	(株) 日立制作所 (株) 发电设备技术检查协会
	移动技术	(株) 日立制作所 日挥(株) (株) 东芝 (财) 发电设备技术检查协会
	操纵技术	三菱重工业(株) (株) 富士电机综合研究所 法那克(株)

续表

研 究 项 目	承 担 单 位	
核能机器人	操纵技术	(财)发电设备技术检查协会 富士通(株) (株)东芝
	遥控操作技术 总体系统	三菱电机(株) (财)发电设备技术检查协会
海洋机器人	海中行走位置 保持技术	三井造船(株) 川崎重工业(株) 住友电气工业(株)
	海中视觉技术	冲电气工业(株)
	海中操纵技术	川崎重工业(株) (株)小松制作所
	管理控制 技术	冲电气工业(株) 三井造船(株)
防实机器人	耐性技术	石川岛播磨重工业(株)
	探索技术	松下技研(株) 日本电气(株)
	对应处理 作业技术	石川岛播磨重工业(株) (株)神户制钢所 (财)国际机器人及工厂自动化技术中心

产省为此项目提供了援助。

④ 缝制作业机器人开发项目⁽²³⁾。

目的是为了强化服装产业的国际竞争能力。从1982年起用8年时间开发，是日本通产省的一个大型研究项目。

日本的智能机器人技术正在上述几个大型计划统率下健康地发展着。

第三节 高性能特种机器人显著增长

日本产业机器人工业会在1984、1985年实施了产业（包括制造业和非制造业）机器人长期需求预测。据预测结果，到1990和1995年日本产业机器人的发展趋势大致有以下几个特征。

一、总台数大幅度增长

据预测，制造业到1990年台数为51,300~59,900台，投资为6,000~6,900亿日元；1995年台数为81,100~115,700台，投资为9,700~13,900亿日元。在非制造业到1990年投资为493亿日元，1995年为1,825亿日元。如果将制造业和非制造业加起来，到1990年投资为7,000亿日元，1995年为13,609亿日元。上述投资与1985年相比分别增长为1.3倍和3.5倍。（参见表3-18⁽²⁴⁾、3-19⁽²⁰⁾）。

二、高性能机器人比重上升

从机器人需求类型来看，在制造业，高性能机器人的需求比例将大幅度上升。1990年，高性能机器人的需求为31,300~36,500台；3,000~3,550亿日元，其中智能机器人占18.36~24.92%（台数）或16.90~23.33%（金额）。1995年，为52,500~75,300台；5,045~7,210亿日元，其中智能机器人占21.51~

表 3-18 各种类型的产业机器人需求预测 (制造业)

项目	类 型	1990年	1995年
需 求	手控机械手	1000~1200	1400~1700
	固定程序控制机器人	13100~15300	19700~28100
	可变程序控制机器人	5900~6900	7500~10700
	示教再现机器人	11700~13600	18100~25900
	数字控制机器人	12900~15100	18200~26100
	智能机器人	6700~7800	16200~23300
	共 计	51300~59900	81100~115,700
需 求	手控机械人	30~40	45~60
	固定程序控制机器人	250~290	370~540
	可变程序控制机器人	270~320	340~490
	示教再现机器人	900~1050	1390~1990
	数字控制机器人	1500~1800	2195~3130
	智能机器人	600~700	1460~2090
	共 计	3600~4200	5800~8300
外部设备		900~1000	1500~2100
出口 (亿日元)		1500~1700	2400~3500
总计 (亿日元)		6000~6900	9700~13900

44.38% (台数) 或20.25~41.43% (金额)。

非制造业与制造业不同, 无处哪个应用领域, 大多数都要求有一定的移动功能和感觉功能, 所以几乎都属于高功能机器人。表3-20为非制造业各种机器人的预测结果^[14]。

表 3-19 机器人需求预测结果(非制造业) (单位: 亿日元)

需求领域	1990年			1995年		
	下限	上限	平均	下限	上限	平均
农业	5	16	11	27	188	108
畜牧	13	17	15	64	73	69
林业	4	15	10	42	77	60
海洋开发、水产	22	92	57	168	183	176
建筑、土木、矿业	25	68	47	193	226	210
运输、仓库、装卸、流通	8	70	39	197	220	209
煤气、给排水、电力、通信	17	19	18	84	97	91
核能	103	176	140	155	271	213
宇宙	30	50	40	50	60	55
医疗、福利	21	51	36	126	131	129
垃圾处理、清扫	12	23	18	128	133	131
消防、防灾、防护	0	30	15	70	97	84
服务业及其他	18	75	47	255	324	290
总 计	278	702	493	1559	2080	1825

(注) 不到1亿日元的四舍五入, 各需求领域的平均合计值中含有误差。

三、特种机器人将显著增加

据表3-19的预测, 在近期内(1990年), 核能、海洋开发、土木建筑、矿业及宇宙行业用高性能机器人的需求比重明显增长。在中期内(1995年), 除上述几个行业外, 运输装卸、垃圾处理和医疗福利行业用机器人所占比重比较大。

四、技术的重要突破将在1990年以后

如前所述, 社会需求是机器人发展的动力的一个方面, 而在技术上能否实现则是机器人发展的动力的另一方面。各种类型的机器人在技术上要求的难易程度不同, 实现时间就有早晚之别。据预测, 在日本技术上可能实现的机器人可分为早、中、远三个时期(参见表3-20)。

表 3-20 非制造业中机器人研究开发预测 (开发, 实用化)

产业部门	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
农业					喷洒农药机器人										
畜牧									收获物搬运机器人						
林业															
海洋开发															
水产															
建筑															
土木															
矿业															
运输															
仓库															
装卸															
煤气															
给排水															

续表

产业部门	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000
电力、通信															
															送电线路架设作业机器人
核能															
															送电线检修机器人
															焊接部位检查机器人
宇航															
															核能设备内部作业机器人
															宇宙基地建设作业机器人
医疗、福利															
															宇航员救援机器人
															护理机器人
															轮椅机器人
垃圾处 理、清 扫															
															不燃物挑选机器人
															垃圾收集机器人
消防 防灾 防护															
															火灾现场救护机器人
服务业 及其它															
															灭火机器人
															文件管理机器人
															油罐超声波检查机器人

早期实现：1986—1987年，喷洒农药、畜舍清扫、鸡蛋检查、进出仓库、焊接部件检查、轮椅、文件处理等8种机器人。

中期实现：1988—1990年，伐木、集材、海底矿物资源采收、掘进、钢筋预制构件、地下管道检查、煤气管道内移动、送电线检修、垃圾收集、灭火等十几种机器人。

远期实现：1992年以后，海底救援、送电线架设、宇宙基地建设、宇航员救援、火灾现场救护等机器人。

据预测，在感知识别功能、机构硬件技术和控制、信息处理等技术方面的重要突破将在1990年以后。（参见表3-21）〔4〕。

*

*

通过对日本智能机器人发展的分析，我们可以得到一些结论和启示。

第一，社会需求是智能机器人发展的强大动力之一。日本智能机器人的发展从60年代末、70年代初开始起步，至今已有近20年的历史。进入80年代，一方面具有初步智能的机器人投入实际应用，另一方面在政府、各研究机构及产业界，更广泛地开展起了对更高功能的智能机器人的研究开发。这是因为制造业的领域的更高级的作业（如精密装配）和非制造业的各部门，对智能机器人的应用提出了强烈、广泛的需求，正是这种社会需求推动着日本智能机器人的发展。

第二，日本智能机器人的发展，具有很强的计划性和组织性。较强的计划性使其智能机器人的发展目标明确，而良好的组织管理则可以避免智能机器人开发过程中人力、物力、财力的浪费，保证这些投入均能获得较好的效益。

第三，日本发展智能机器人注意考虑经济社会因素对技术的制约作用。发展智能机器人不仅是一个技术问题，经济、社会条件是技术生长的“土壤”，对技术的发展有很强的制约作用，没有良好的“土壤”，技术就不可能生根、开花、结果。日本不仅有明确的智能机器人发展的技术目标，而且还充分估计到智能机

表 3-21 机器人技术的实用化时期预测

研究领域	预测时期	1985~1987	1988~1990	1990~
感觉识别	<ul style="list-style-type: none"> • 非重合物体的识别 • 非距表形状计测系统 	<p>←(感觉、识别相关课题)→</p> <ul style="list-style-type: none"> • 视觉 <ul style="list-style-type: none"> • 立体识别, 多层次、高速跟踪、小型、轻量摄影机、视觉系统 • 触觉(接触觉、压觉; 力觉、滑觉等) • 听觉(声音识别等) • 距离觉 		
机构, 硬件	<ul style="list-style-type: none"> 传动机构 高效DC伺服马达 高效AC伺服马达 高效微型伺服马达·FRP • FRM的应用 	<p>←(机构 硬件)→</p> <ul style="list-style-type: none"> • 其它传动机构 <ul style="list-style-type: none"> • 油压伺服机构、形状记忆合金 • 压缩空气伺服动作筒、传动机构 • 磨机构 • 手机构(3指) • 移动机构(枪式、瓶道式) • 驱动用大容量电池 • 触觉应用 	<ul style="list-style-type: none"> • 仿肌肉传动机构(1994) • 2足步行(1995)(平地) • 2足步行(1997)(凸凹地) • 机器人液氢引擎 	1993~

	(控制、信息处理)			(应用系统)
控制、信息处理	<ul style="list-style-type: none"> • 控制(协调控制、遥控、分层控制) • 智能(解决问题、学习等) • 机器人语言 • 信息处理(高速元件、并列处理机、机器人OS) • 人步机器人通信 	<ul style="list-style-type: none"> • 平地2足步行控制(1994) • 2足步行(可走凸凹地)控制(1995) • 利用信息库解决问题系统(1994) • 学习系统(信息由外界输入)(1993) • 学习系统(信息自行收集)(1995) • 会话式机器人语言 	<ul style="list-style-type: none"> • 食品 • 螺栓旋紧 	
应用系统	<ul style="list-style-type: none"> • 食品(罐内加工) • 纤维(布料搬运、缝制检查等) • 纸(纸处理) • 化学(清扫、焊接、监视、检查搬运、转移等) • 橡胶(材料处理) • 玻璃、土石(瓷砖检查、搬运等) 	<ul style="list-style-type: none"> • 纤维(鞋袜搬运、布料检查) • 热交换器内部检查 • 轮胎加工 • 成套设备内部移动监视 • 大型钢铁构件的搬运、组装、焊接 		

续表

	<ul style="list-style-type: none"> • 钢铁 (初轧板坯补伤、喷漆) • 金属制品 (折弯、电镀、抛光、打磨) • 通用机械 (铸造、锻造、喷砂) • 电机 (布线作业、PCB组装等) • 汽车 (内外装饰部品组装) • 精密机械 (精密组装) • 其它 (木工作业) 	<ul style="list-style-type: none"> • 大尺寸焊件成型 • 通用机械 <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>〔范围〕</p> <ul style="list-style-type: none"> • 可修正色斑的喷漆 • 喷漆色差检查 • 自定作业程序喷漆 • 不定型物品捆包 • 与人同等程度的嵌合作业 • 声控作业机器人 </div> <ul style="list-style-type: none"> • 制作元件电线束
--	--	--

器人技术应用过程中的经济、社会等因素对它的制约作用，并将制约因素划分为促进因素和阻碍因素，这样就可以有针对性地克服不利因素，变不利因素为有利因素，为智能机器人的发展创造良好的环境，促进它的发展。

第四，日本重视“极限作业机器人”的开发具有重要意义。在非制造行业，有许多危险、恶劣环境下的作业，远远超出了人本身的作业能力和生理忍耐限度，严重地摧残着人的生命。而这类作业在现代社会经济的发展中是不可缺少的，并且其重要性日益增大。极限作业恰好是发挥机器人技术性能的领域。日本把智能机器人的开发目标，首先放在“极限作业机器人”的开发上，对于改善工人的劳动环境、解放劳动力和发展经济，以及充分发挥机器人的作用，都具有重大意义。这一战略目标的选择和实施，十分值得我们借鉴。

第五，日本不仅是产业机器人研制、应用的先进国家，同时在智能机器人的研究开发方面，也位于世界各国的前列。我国在研究智能机器人技术方面，应重视与日本可能进行的合作与交流，以促进我国智能机器人技术的研究开发。

参 考 文 献

- 〔1〕 安藤嘉则他：「产业用ロボットの知能化」，フグロウヒルブシク株式会社，1987年1月。
- 〔2〕 通产企画调查会：「日本のロボット——产业用ロボットのはたうき」通产企画调查会刊行，1983年4月。
- 〔3〕 柿仓正义：「感觉と认识に基づき行动するロボット」，『日本の科学と技术』，1986年。
- 〔4〕 日本产业用ロボット工业会：「最近の高机能型ロボットとその市场展望」，『自动化技术』，1987年第1期。
- 〔5〕 吉川昌范：「产业用ロボット・センサ类の标准化への課題」，『オートメーション』，1988年第4期。

- [6] 早坂好幸：「实用原子力发电施設作業ロボットの研究開発」，『ロボット』，№62 1988年。
- [7] 池田玉治：「海底石油生産支援ロボット」，『ロボット』，№62 1988年。
- [8] 鶴谷三郎：「石油生産施設防災ロボット」，『ロボット』，№63 1988年。
- [9] 岩金孝信 鷺澤忍 藤川昭雄：「极限作業ロボット技術研究組合における基盤技術の研究開発」，『ロボット』，№62 1988年。
- [10] 岡田泰：「大型プロジェクト・极限作業ロボットにおける」，『ロボット』，№62 1988年。
- [11] 贯井健：「黄色いロボット—富士通ファナックの奇迹」，读卖新闻社，1982年3月。
- [12] 大桥力他：『情绪ロボットの世界』，讲谈社，1985年1月。
- [13] 产业用ロボット工业会：「产业用ロボット普及の現状と展望」，『机械振兴』，1982年第2期。
- [14] 产业用ロボット工业会：「产业用ロボットの最近の动向」，『自动化技术』，1988年第1期。
- [15] 米本完二：「产业用ロボットの発展経緯，普及の現状と展望」，『ロボット』，№36 1982年。
- [16] 千里：1986年各国机器人增长速度统计，《机器人情报》，1988年第1期。
- [17] 赤掘寛：「知能ロボットの基础知识」，共立出版株式会社，1987年2月。
- [18] 中西康二：「FAと产业用ロボット」，产业图书株式会社，1985年10月。
- [19] 梅谷阳二：「知能ロボットの长期的开发ビジョン」，『ロボット』，№36 1982年。

- [20] 椎野謙次 波多野彻：「产业用ロボット长期需要予測（非制造业分野）概要报告」，『ロボット』，№56 1987年。
- [21] 川恒雄 菊川滋：「建设工事における自动化・ロボット化」，『ロボット』，№38 1983年。
- [22] 鹭泽忍：「极限作业ロボットの研究・开展动向」，『自动化技术』，1988年第1期。
- [23] 长谷川幸男：『ロボットと社会』，岩波书店，1985年8月。
- [24] 岛健介 波多野彻：「产业用ロボット长期需要予測（制造业分野）概要报告」，『ロボット』，№50 1986年。

第四章 苏联有组织有计划地 发展机器人

由于人所共知的原因，中国和苏联两国关系隔断了20多年，我们对苏联的情况包括机器人的情况缺乏了解。不知道是什么原因，在国内形成一种印象，似乎苏联的机器人水平不高，甚至相当落后^{〔1〕}。我们在研究了在国内能够搜集到的有关苏联机器人发展的资料之后感到，在我们认真学习美、日等西方国家机器人技术发展经验的同时，应当充分重视苏联和东欧国家机器人发展的经验。这是因为，苏联机器人技术水平、规模并不是像我们有些人想像的那样落后；苏联发展机器人的社会经济条件与西方资本主义国家迥然不同，与我国却十分相似；苏联除了在技术上有许多发展机器人的经验以外，在技术组织、技术与经济、技术与社会的相互关系方面有许多宝贵的经验值得我们认真学习借鉴。

第一节 值得瞩目的发展

苏联人探讨自动化机械的历史是相当久远的。早在上一个世纪30年代俄国科学家就着手探讨自动机技术，如1830年希格格就发明了磁电式继电器，1872年奇科列夫在莫斯科综合技术展览会上展出了电动缝纫机。但是，作为机电一体化的重要成果机器人的研制在苏联是从本世纪开始的。1960年苏联国民经济展览会展出了名为《CIOT》（即少年技术站的缩写）的机器人，能完成18条指令。1969年由契卡洛夫技术站制成一台电脑控机的机器人，1970年在日本世界博览会展出获得成功。但是，这些机器人

还不是现代意义上的生产工具。

在苏联，从理论和实践上探讨机器人技术是从 50 年代后半期开始的。1958 年 3 月在全苏第二届机械和机器理论讨论会上，著名科学家阿尔托博列夫斯基提出了机械学和控制论结合的理论问题。1955 年 7 月科布林斯基和斯捷潘诺夫报告了机械手的基本问题。

60 年代后期，苏联科学家开始了机器人样机研制工作。1963 年列宁格勒加里宁工艺研究所在列宁格勒航空仪器研究所和苏联科学院海洋研究所的协助下，成功地试制了一台深水作业机器人。这时，开始了带数字程序控制的工业机器人研制工作。1971 年别利亚宁和罗金领导研制的万能机器人《УМ—1》，苏林以及阿克肖诺夫领导研制的机器人都开始运转了。⁽²⁾ 经过十多年的努力，苏联的机器人无论在数量还是质量水平上均处于世界机器人发展的前列地位。

一、数量居世界前列

在苏联第 9 个 5 年计划中（1970—1975），发展机器人被列入国家科学技术发展纲领。在原来科学技术机构研制的《УМ—1》、《Универсал-50》和《УПМ-1》型等机器人的基础上，1972 年决定有计划地研究批量生产工业机器人。到 1975 年止，苏联研制成功 30 个型号 120 台机器人。从此以后，苏联机器人数量迅速增长。到 1980 年（第 10 个 5 年计划结束时）为止，苏联研制了 100 种型号生产出 1578 台机器人，较第 9 个 5 年计划结束时增长 2.7 倍。到 1985 年（即 11 个 5 年计划结束时）苏联机器人猛增至 40000 台，比第 10 个 5 年计划增长 31 倍，达到每万名工人 10 台的水平，列在日本、美国、瑞典之后成为世界上拥有机器人数量较多国家之一。根据苏联的计划到 1990 年预计达到 10 万台。经互会成员国预计达到 20 万台（详见表 4-1）。

表 4-1 苏联机器人数量表

5 年计划	年 代	机器人种类	数 量	增 长 率
第9个5年计划	1975年	30	120台	
第10个5年计划	1978年	增加19种	580台	4.8倍
	1979年		1321台	
	1980年	100种	1578台	2.7倍
第11个5年计划	1981年		3330台	
	1982年		5400台	
	1983年		10700台	
	1984年		(年产11000台)	
	1985年		40000台	31倍
第12个5年计划	1986年		年产15400台	
	1990年	经互会	100000台 200000台	2倍

据资料〔2〕、〔4〕、〔5〕、〔6〕整理。

苏联在第12个5年计划中规定柔性生产线应用速度为1.8倍，工业机器人应用速度为2倍。

二、制造业中的应用与普及

苏联的工业机器人在机器制造业中的冷加工和热加工过程中得到全面的系统的应用。据1987年在苏联莫斯科召开的《纪念十月革命70周年国民经济成就展览会》展出的情况来看，在铸造、锻压、焊接、切割等热加工工序中使用的机器人和机器人综合体就有7种型号。

- ① 由《Рост НИТМ》科学生产联合体研制的用《МП-9С》工业机器人与冷轧板材设备配套的机器人生产线。
- ② 《Краб》型用于锻压设备配套使用的机器人。
- ③ 《Гейм》型用于模压设备配套的机器人。
- ④ 《ДУ711В08》型用于铝、铜、锌合金材料浇铸、清理

毛刺、喷砂、模压工序的铸造机器人。

⑤ 用于《ЗИЛ型》汽车板材模压用的机器人生产线。

⑥ 由全苏列宁格勒电焊研究所研制的等离子切割机器人综合体。

⑦ 161/60和601/60型持重 60 公斤的点焊机器人；精度为 $\pm 1.2\text{mm}$ ，由 Вольга 汽车厂研制。〔7〕

在这个展览会上，在机械制造展厅里展出了机器人车、铣、镗、磨等机床配套的柔性生产装置，柔性生产单元和柔性生产线。如《ОП2МО4А型》多功能钻、铣、磨柔性生产单元；《ОЦ12АДОП-4КФ301》程序车床；《16Б16Г1С1-03型》机器人车削综合体；《ОС2754В0998型》机器人综合体；《РРТК-3А31型》机器人化综合体等等。

1986年展览会上展出的有：

⑧ 《ХШК-001型》机器人综合体，这是与《ХШК001、400型》数控自动磨床配套使用的，由哈里科夫机床制造联合体制造。

⑨ 《2754В0С9777 К型》机器人。这是在精密铣床《2754 В型》基础上设计，由奥德萨《列宁》经向钻床厂制造，装有两支龙门式自动机械臂，每支持重 40kg，可自动加工精镗壳体零件，精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 。〔10〕

三、智能技术达到一定水平

在苏联大量生产和普及应用工业机器人的基础上，苏联的高级机器人（Адаптивные роботы）也有了很大的发展。

苏联机器人的分类。

苏联对机器人的分类，一方面承认国际上通用的按机器人的功能分类的原则，将机器人分为：第一代机器人——工业机器人。定义为：“机器人是自动装置，被一个或几个‘手’装备起来的机器”。第二代机器人——自适应机器人（II Поколение-

Адаптивные работы) 即带有自适应控制系统的机器人。它们装备有反馈传感器——感觉装置, 能根据外界条件变化而改变自己的行动。第3代机器人——智能机器人 (Интегральные роботы) 或称人工智能机器人。另一方面苏联又很重视从意义上对机器人进行分类。(Не по Функциональному а по назначению) 因为据苏联国家标准 ГОСТ 25685~83 认为: “工业机器人和其它机器人的最大特点是应用于工业生产过程”。这样自适应机器人、智能机器人如果把它应用于工业生产过程也可以称为自适应工业机器人和智能工业机器人了。

根据上述原则, 早在1983年苏联国家标准委员会将工业机器人分了几类。

1. 按用途分类有①专用的机器人: 完成确定工序或辅助工序; 且利用功能具体的工艺设备的; ②专门化的机器人: 在具有确定工艺设备上实现一种工艺过程式辅助工序的; ③通用的机器人: 在功能不同的工艺设备上用于完成不同类型工艺过程或辅助过程的。

2. 按持重量大小分为超轻型 1kgm、轻型 1-10kg、中型 10-200kg、重型 200-1000kg、超重型1000kg以上。

3. 按控制方式分成程序控制机器人和自适应控制机器人(9)。

据上述分类, 苏联无论是在按功能和意义、用途上达到相当高的水平。从功能上看, 苏联研制了相当多种类型自适应机器人 (即Адаптивные роботы), 装有反馈传感系统感觉装置, 在用途上不仅局限于机器制造上, 而且广泛用于采矿业、农业、海洋渔业和航天工业。按国际标准已属于智能机器人范畴。

从已掌握到的资料看, 除有利用电视摄像、激光传感的焊缝跟踪弧焊机器人之外, 在机器制造业有以下几种机器人。

① 在苏联, 工业机器人应用视觉系统越来越广泛。《Электроника НЦТМ01 型》视觉技术系统便是其中应用之一。它能

在数控机床装夹毛坯和取卸已经装好的零件。工业机器人视觉系统可确定毛坯、零件的位置、调整毛坯或零件在存储器中的位置。对毛坯进行检测，确定随行存储器箱内毛坯的加工余量，确定加工程序。这种工业机器人适用于小批量生产中的辅助作业。该机器人技术参数：无错误识别对象概率0.95；视觉处理信息时间，依对象的复杂程度在200-1100mm之间；确定线性尺寸相对误差1~2%；夹具工件到位精度（对给定点的位置）2~4mm。（11）

② 组装技术视觉系统。在苏联运用技术视觉系统的实验开始于《Глаза две-руки》（即眼睛、两只手）系统中，该系统由包曼工学院研制的УЭВ-2型机械手和在摄像视觉模块的基础上，借助电子计算机《М-6000》来实现的。图象分析可确定组装台上零件的实际位置、规划和实现机器人的动作，抓取零件和安放到标准位置，具有必要的组装程序。

另外，在《Праг ма А-3000型》机器人的手上装有位移传感器用来组装油泵和减速器等组装工序上。（12）

实验运输机器人—Ⅰ型和实验运输机器人—Ⅱ型。苏联已经在《实验运输机器人—Ⅰ型》（1985年 АВТОМАТИКА-№4 报导过）的基础上研究设计《实验运输机器人—Ⅱ型》。这种机器人的设计中已经考虑解决在事先不知障碍物所在的环境中工作，要求这种机器人既能防止机器人在行走过程中与前进方向上所遇到的障碍物正面相撞，又能避免机器人壳体在行走中与相邻物集的碰撞。他们的设计利用旋转光学三角测距仪每秒1转的不断的扫描，发现大于1.5米以上距离的障碍物，搜集信息规划机器人的行动。同时，他们采取机器人壳体周围贴附传感器的办法搜集近距离和壳体周围障碍物的信息。上述两种传感系统相互结合规划机器人的行走。实验结果证明，《实验运输机器人—Ⅱ型》装置能够在复杂环境中大大减少与障碍物相撞的可能性。（13）

四、智能机器人的应用范围在扩大

在机械制造行业之外，苏联正在广泛开拓机器人的应用领域。据已掌握的资料看从工业到农业、从地面到地下、从天空到海洋在苏联活动着多种形式的机器人。

① 农业用机器人。苏联广泛研制农业用机器人，其中包括用于春种、夏锄、秋收以及畜牧业用机器人。苏联农业用机器人的技术水平也已达到相当可观的程度。

全苏农业机械制造研究所研制了在温室内收摘黄瓜的机器人。

它可以在温室中从这一头走到另一头把成熟的黄瓜采摘下来。这台机器人的“眼睛”采用的是“能量照射”法实现对成熟黄瓜识别的。机器人的“眼睛”“能够感受到被照射物反射的能量”，并且把这种能量变成电信号。机器人将收集到的信号同“标准黄瓜”的信号加以比较，如果相同，它就命令机械手开始采摘。

这种收获方法是有选择的，只采取具有一定尺寸的果实，不割倒，不碰倒禾苗。据说在技术上和经济上都是合算的，将来准备能摘胡椒、西红柿、葡萄等。这台机器人样机已经在“莫斯科”和“扎列奇耶”两个国营农场做了实验。

② 采煤、采掘用机器人。

《AK-3型》采煤机器人是1980年前根据苏共中央和部长会议《关于加速苏联煤炭工业部矿井技术改造的措施》决定研制的。发明人多林斯基，制造厂是基谢廖夫机器制造厂批量生产，1980年联邦德国一家工厂获得这种联动机的生产许可证。这种联动机构克服了过去联合采煤机单点掘进，支撑装置不能与采煤机联合行动的缺点，改为多点掘进（12把切刀）和支撑架联合行动。采煤效率2,595吨/每24小时，可代替4个工段450个人的工作。此机利用同位素分辨岩石与煤层的分界。

《矿石掘进机器人》，矿石掘进不同于采煤，因为矿石的硬度高于煤层，传统用爆破方法解决。苏联在离阿拉木图 100 公里的科普切盖坝附近一块岩石带作实验基地。他们设想设计一个系统，利用传感器摸到巷道的上缘，“自动”“瞄准”巷道壁，然后把钻头按规定的间隔布置好。钻孔过程由微机监视，微机根据岩石硬度调整钻头的转数和进给力，发出命令把旋转钻头变为冲击性转孔。程序规定了专门措施防止钻头卡塞或损坏，现在这种机器人可提高工作效率两三倍。这个系统包括钻孔、装矿石、计算和监督采矿量都有专用的机器人。设计人员已经展示出装有电视摄像机的带铲斗的轮车。下一步计划用红外探测器来代替电视摄像机，因为爆破以后的灰尘影响电视摄像机的视力什么也看不见，而爆破下来矿石温度高于巷道地面和井壁的温度，红外探测器可以发现其间的差别，灰尘却挡不住红外“眼睛”的视线。〔15〕

③ 潜水深度6000米以下的水下机器人。

1987年末苏联潜水舰队又充实了两个深水载人装置《МИР-1》和《МИР-2》，这是在以 П.П. Ширшова 命名的海洋学院专家们指导下，苏联科学院在芬兰《Раума-репсела》工厂制造的，它的设计指导者是这个学院载人入深水机构部定位技术科学博士、教授 Игорь. Евгеньевич. Михальцев。这个潜水器具有以下几个特点：①潜水深度6000米，因为约1%海底面积是很深的；②储能量大，100千瓦，它可以在海底从事能量消耗很大的工作；③两支手，每只手都具有7个自由度，持重可达80公斤，柔性程度可以拿住海底软体动物珊瑚虫、虾等等。④装有能感觉的照相和视觉装置，海员在舱内可以看到色调鲜明的录象和关于海底生物的立体摄象资料。试验实际深度《МИР-1》达到6170米，《МИР-2》达到6120米。1987年12月在大西洋实验。

与世界比较，6000米以下深水潜器，全世界共有四个，除苏联两个外尚有美国的《Сиклиф》和法国的《НАУТИЛУС》。

日本计划1989年下水一部《Синкам-6000》。〔16〕

④ 宇航机器人。苏联宇航技术的发展是与美国并驾齐驱的。早在1961年就将加加林送入太空。1969年美国“阿波罗11号”将两名宇航员送上月球之后，苏联在1971年发射《礼炮1号》与《联盟11号》对接成功。与此同时，苏联从未放弃有关宇航机器人的研制工作。苏联人引为骄傲的是他们早在70年代就研制了登月用机器人《Луноход》从此以后，在多种航天器中使用机器人。据已掌握资料看有与《礼炮号-7》配套的机器人，《金星13-14宇航机器人》。

《金星13-14宇航机器人》，金星宇航探测站《金星13》和《金星-14》是宇航机器人辉煌成就。《金星-13》路程漫长复杂，它用了4个地球月时间走完三亿多公里，按地球发出指令保证与金星相会，着陆舱一定要落在金星光照表面，全靠自动控制。到距离金星两昼夜路程时脱离轨道舱进入金星轨道，适时扔掉隔热套、降落在金星表面，测量金星的温度、压力、高度、取下金星的岩石。

《金星-15》和《金星-16》正在开始新的工作^[17]。

通过上述分析，不难看出，在苏联研究制造和应用机器人方面在数量上很大，属于世界上拥有机器人比较多的国家；在发展速度上十分迅速，可称为后来居上的国家；从技术水平，不仅拥有第一代程序控制型机器人，机器人综合体，而且出现了相当数量的第二代带有一定感知功能的自适应机器人（即 Адапти вные роботы）可称技术水平很高；在应用范围上，不仅有机器制造业与冷加工和热加工配套的工业机器人，而且在农业、矿业、海洋渔业和宇航业有各种类型的机器人，应用范围广泛。一句话，苏联机器人的技术发展是值得认真重视和研究的。

第二节 有组织有计划的发展

苏联机器人的发展的突出特点是有目的、有计划、有组织地进行研究、设计、制造和推广使用，完全不同于西方资本主义国

家的为追求超额利润而进行机器人生产。具体表现如下。

一、有目的研究技术进步和社会发展的相互关系

苏联有目的、有意识研究技术进步与社会发展的相互关系，从推动社会发展这个大前提出发，把提高科学技术进步水平当作推动社会发展的手段安排机器人的研究制造。如前所述，苏联机器人的应用研究始于60年代末，1972年正式列入国家发展计划。究其原因，不排除当时国际上其它技术先进国家对苏联的影响，但是根本原因是苏联人，尤其是其党组织和政府领导人认识到这种先进技术对推动苏联社会的发展有重要作用。这从苏联学者的著述中可以明显看出来，基本上有两个方面的原因。

① 在苏联广泛使用机器人的社会经济原因：第一、提高和改善劳动条件。在苏联虽然经过几十年的建设，机械化和自动化水平有了很大提高。但是，广大劳动者中的相当大的一部分不得不在高温、高辐射、有毒有害噪声等条件下从事繁重的单调的、枯燥的手工劳动。据苏联统计，到第11个五年计划结束时为止，在机械制造行业的工艺性生产中机械化生产比重占60—70%，体力劳动占30—40%，在辅助性生产中机械化劳动占30—40%，而体力劳动占60—70%（见表4-2）。

表 4-2 苏联体力手工和机械化劳动比重

工艺类别	比 重	
	体力手工劳动	机械化劳动
工艺生产	30-40%	60-70%
辅助生产	60-70%	30-40%

来源：根据资料。^[18]

第二、人口因素，缺少劳动力。在苏联，一方面经济建设急剧增长，新的无人烟地区、沿海大陆架、北极等地区的大量开发

需要大批劳动力；另一方面，苏联又缺乏劳动力。在苏联进入60年代以后，人口增长率下降。60年代为17-18%，70年代为8-9%。进入70年代，劳动力的增长速度也不断下降（见表4-3）。

表 4-3 苏联历年劳动适令人数表 单位：万人

年 份	76年	77年	78年	79年	80年
劳动适令人数	2803	2703	2203	1803	1503

来源见资料〔19〕

从表4-3可以看出1980年适令劳动人口几乎等于1976年的1/2，下降速度是十分迅速的。进入80年代还要下降2/3，只有500多万人。〔19〕

苏联共产党认为，减少在生产过程中的手工劳动和繁重的体力劳动不仅具有经济意义而且具有重大的社会意义。因为，在苏联，青年一代的知识和文化水平逐年提高，手工劳动，繁重体力劳动和低效率的劳动是吸引青年参加劳动的严重障碍，只有更有效率、具有丰富的内容的劳动才能吸引青年。在苏联还考虑到每增加一名工人，必须在住房，饮食供应、医疗保健、托儿所幼儿园、文化设施等方面的投资，尤其是在新建、边远地区。〔20〕

第三、从根本上提高劳动生产率和产品质量的需要。于是势必涉及到，使用机器人的技术原因。

② 在苏联学者的著述中，详细地分析了机器人自动化产生的技术原因，

从技术上看，发展机器人的必然性。机器人技术是机械制造技术发展的必然产物。生产的综合自动化在强化经济发展中起决定作用，同时，从根本上为改善劳动条件开辟了道路。综合自动化最先是通过提高通用机床的效率开始的。人所共知，由人操作的通用机床的效率是很低的。在批量生产条件下毛坯的90%的时间处于运输、调整机床、更换工艺等待加工状态。当它安装到机

床上以后，真正用于切削加工的时间只占 2-3%。这就是说，毛坯用在加工上的时间实际上只占整个生产时间的 2-3%，而 97-98%的时间处在待加工状态。这是提高机床加工效率的巨大潜力所在。

其次，自动机床把工人从繁重、单调的工作中解放了出来，但是，自动机床只能完成一种工序，一旦在需要改变产品工艺的条件下，自动机床的刚性就很不适应生产的多样性要求了。

第三，设计师们发明了程序控制机床可以很快地通过改变计算机的程序改变机床加工工艺过程，极大地提高了在改变产品品种条件下的效率，提高 5~6 级工人生产效率的 2~4 倍。因此，数控装置不仅运用于冷加工的车、铣、刨、钻、而且也用于热锻，冷冲压以及铸造工艺过程。但是，数控机床的使用经验表明，由于其它工序的影响，毛坯来源、程序调整等方面的问题，数控机床的实际利用系数是很低的。据计算数控机床全年 8700 小时实际工作仅 600~800 小时，其潜力只发挥出 7~10%。充分发挥电子学专家的作用，培训程序调整人员可以解决程序调整当中的问题，但是，毛坯、予加工零件的供应问题依赖手工劳动来满足。对工人来说，这种劳动是单调的、繁重的，常常是有害和危险的。于是产生了毛坯供应的机械化、自动化的问题。

第四，辅助生产的自动化并不简单地要求运输，上下料、移动、扭转…因此需要辅助工序的机器人。实际加工工序也需要类似的机器人。如焊接，喷漆和组装。因此，工艺机器人的出现又成了全面自动化发展的必然。〔21〕

二、有组织地开展机器人的研制

苏联有组织、有领导地开展机器人的研究、生产、应用、推广和提高工作。

苏联官方正式将研制机器人纳入国家计划开始于 1972 年。实际学者、科学家的研究工作要更早。整个发展大体上可分为 4 个

阶段：

第一阶段：1972-1975 年研制阶段。这段时间里，苏联研制了许多种型号实验性工业机器人。如《Универсал》、《ПР-5》、《Бриг-10》、《ИЭС-690》、《МП-9С》、《Тур-10》等型号。

第二阶段：1975-1980年，批量生产阶段。批量生产出100个品种 1578 台工业机器人，同时，开始研究第二代机器人。

第三阶段：1980-1985 年完善工业机器人阶段。科技工作者，创造出许多机器人、机器人综合体和机器人技术系统，扩大总数和使用范围。1984年产品目录有 270 个型号，1985年总数达到 40000 台。

第四阶段：1985-1990 年，提高阶段，目前正在进行。（详见本章最后一节，当前苏联机器人发展趋势问题）。〔22〕

苏联机器人的发展每一个阶段都是在苏共中央和部长会议的正式决议指导下进行的。

在第一阶段，即第 9 个 5 年计划中，1972年苏联将研制机器人列入国家发展计划。在第 9 个 5 年计划中规定：

创造出近 30 种批量生产的工艺机器人，其中包括，通用的，工艺的（用于与机床、冲床、铸造、电镀、点焊配套）和辅助的机器人。

在第二阶段：1975—1980年的第10个 5 年计划中为机器人化打下工艺基础。1974年 7 月 22 日苏联部长会议做出《按生产组织对于机械制造业实现程序控制自动操作装置（即工业机器人）》的决议，其中决定 1975—1980 年间要成批生产工业机器人和为机械部、仪器制造部等一系列部门生产综合性技术零件。在第 10 个 5 年计划中，装备了 7000 多台机器人，节约劳动人员数 20000 人，机器人总数增长了 20 倍（估计原数为 350 台）。

苏共第 25 次代表大会（1980 年 8 月）：“在国民经济各部门提高劳动生产率和加速科技进步工作的重要方向之一是在广泛应

用自动机械手的基础上的综合自动化和机械化。在这些领域工作规划的大规模实现将促进第11个、第12个五年计划中资源紧张问题的解决。”

在对1981年—1990年苏联的经济和社会发展方向指出：“在利用科学技术的成果基础上，发展生产，保证广泛应用自动机械手（工业机器人）”，兴建利用微处理技术和微型计算机的自控系统，创建自动化车间和工厂，“实现机器和设备系统的程序控制”机械手生产的扩大，以代替手工低能的、枯燥单调的特别繁重的有害劳动。

苏共中央第26次代表大会（1982年）通过：《发展生产、保证广泛应用自动操作装置（工业机器人），兴建利用微处理机的自动控制系统，创建自动化车间和工厂》的决议。此后在第11个5年计划的4年时间里科研机构和企业就研制出82种型号的工业机器人并且组织批量生产。与此同时，根据苏联国家标准委员会的纲领，在此基础上形成统一的、标准的机器人技术。有组织地推行2000多台工业机器人组成技术工艺综合体促使33000个劳动者从繁重的、单调的劳动中解脱出来，获得经济效益。

在第三阶段即1980—1985年期间，苏联部长会议和苏共中央1981年6月11日又做出：《关于1981—1985年扩大生产和向国民经济中推广运用程序控制自动操作装置（机器人）》的决议，提出加快机器人应用范围的任务，在机器制造、采矿、冶金、农业、建筑、运输、轻工、食品各行业推广使用机器人。

1984年5月苏联部长会议又作出：《关于利用先进工艺过程和柔性可调装置基础上加速机械制造生产》的决议，这个决议为苏联机器制造业的机器人化起了巨大的作用，它为机器人在机械制造业、金属加工业在研究、制造、推广应用和维修服务方面制定了统一的技术政策，为工作的相互协调开辟了道路。为此还专门建立了总设计师会。

为工业机器人下了定义和制定了分类标准。①苏联科学家建

议：把在没有人直接参与下能模拟人的某些运动、智力功能，完成辅助性的或主要生产工艺过程的自动操纵的功能性自动机叫工业机器人。当然，对这些机器人可以赋予听觉、视觉、触觉和记忆功能，甚至具有自我组织，自我训练和适应外界环境的功能等。②比较标准化的定义：“工业机器人是指它被用于工业生产过程中，在运送产品和工艺设备时完成人的运动、分析功能可重新编程的自动机械。”〔23〕

在这段时间里，苏联使用机器人取得了很大效益。首先，苏联是一个缺少劳动力的国家，使用机器人突出的是节省了劳动力。其次，使用新技术，提高了产品质量，降低了成本。第三，对在业劳动者来说，改善了劳动条件，改变了劳动性质。第四，在心理上刺激了劳动者劳动的积极性，促进了他们学习掌握先进科学技术的积极性。第五，在苏联的社会主义条件下发展机器人技术并没有淘汰原有的体力劳动者，而是提高他们的熟练程度、操作技能，以前的工人大都变成了调整、维护机器人的程序员、调整工。第六，从全社会看，研制、使用机器人成为改善提高群众物质生活条件的重要手段。〔24〕

由于在生产过程实行机器人化和柔性生产化，不但解决了机器制造业的发展方向而且成为推动整个国民经济发展的动力。因此，在机器人发展更新的历史阶段前夕即1985年4月和1985年6月苏共中央又做出了加速科技进步推动工业生产和经济发展的决定。在第四阶段即1985-1990年期间，1986年2月25-3月6日苏共中央召开了第27次党代表大会。这次党的代表大会米·谢·戈尔巴乔夫的政治报告中着重论证了加速国民经济发展使社会生活进一步民主化、深化人民的社会主义自我管理的战略方针，为此要求加速科技进步，要社会生产普遍过渡到高技术和高经济指标上去，生产出在国际市场上有竞争力的产品，为此，要求保证优先发展机器制造业、原子能、煤炭、化工业，保证提高基本的和辅助性生产的机械化和自动化水平。其中特别要求机器制造业进行

根本改造超前发展，扩大运用自动化程序设计系统、自动生产线、带有数字程序控制和微处理技术设备的机器人和机器人技术综合体。〔25〕

三、实施全面的机器人计划

早在1981年苏共中央和部长会议就制订了《1981—1990年创造和掌握自动操作装置》的科技发展计划。

① 这个计划是由苏联科学技术委员会，全苏科学院牵头有十几个部参加的全面计划。参加单位有：苏联高等、中等教育部以及机械、煤炭、黑色和有色冶金、农业、建设、轻工、食品、交通等各部级开发的单位，目标是机器人化。这个计划规定在第11个五年计划期间研制和推广大约50种新型机器人，38个《机器人自动操作机综合体》；17个用机器人装备的自动化工段和车间，与此同时要生产机器人和机器人所需要的成套零件。其中仅1984年就要创造出75个不同指标、针对不同生产类型的用机器人装备的自动化车间和工段，这些车间和工段也是各部门交流经验的基地。

② 仪器制造业机器人化的综合计划。

全国的机器人化首先需要研制、生产出来机器人，而仪器制造业的机器人化便首当其冲。因此，苏联首先制定了仪器制造业的机器人化的综合计划。让它成为全国机器人化的强有力的支持。仪器制造业机器人化计划的任务有三个基本方面：机器人的研制；机器人的生产和机器人的推广。1984年在这个部内企业推广近7000台工艺机器人和机械手。

该计划的分工：机器人的设计，原则上是由仪器制造部的科学研究所、在斯摩梭斯科的《Нинтех Ноприбор》承担。在列宁格勒、里加、罗斯拉夫尔、克麦尔等城市的研究所、设计局研究特殊的机器人。莫斯科科学生产联合体《Темп》承担机器人的推广工作。

机器人的制造，在 1980 年全国 3/4 的机器人是钟表厂制造的。在第 11 个五年计划中，一系列专门工厂批量生产机器人，其中大的是拉缅斯科和莫吉廖夫斯基两个工厂，其中每一个年产机器人 2000 台。机器人的基本的专业部门是全苏工业联合会《Союз техно прибор》。结构简单、价格便宜的机械手是仪器部的另一种型式的产品。在部内工厂使用这种装备只用很小的投入便能够带来很大的经济效益。到 1986 年初在仪器制造部的企业中已推广引进 20000 多个机器人和机械手。仪器制造部的专门计划中将要 120 个企业中推广机器人技术，而作为企业的成员，在这些企业内的所有工厂都计划使用机器人。

在科学研究所和试验设计局得到的不仅是比较简单的机器人研究任务，而且有智能机器人的研究任务。智能机器人可以完成复杂的工序并可识别模型。当然，谈论特别精细的《机器人的感觉》目前为时尚早，但是能够测量焊缝的焊接机器人在 1986 年确已经实现了。

这项计划实现的效益是很大的、总投资 25 亿卢布，经济效益每年为 13.5 亿。在社会效益上，改善了劳动条件，减少了干部流动，稳定了生产产业集团。实行综合自动化的结果到 1987 年在这个部门中将解脱出 45000 人，手工劳动比例将由 37% 降到 28%。

③ 科技人才干部组织计划。仪器制造部的规划不仅解决技术问题，而且包含了科技人才干部的组织内容。其中设工艺方面的主设计师负责机器人全面规划，设计不同类型的机器人，确定它们在生产中的应用位置以及其它部份的关系。在技术人员组织计划中，不仅包括高级技术人才的规划，同时也包括普通技术人员，如操作员、调整员的规划。因为，过去的技术工人处理的是两个零件相互配合问题，如果零件结合不好，通过去毛刺、调整小的尺寸就可以解决问题。今天一旦站在数控机床前的机器人出了什么问题，如果没必要的自动控制知识便无能为力。所以，

必须对所有的人员进行技术培训。该计划中提出了对各种层次技术人员包括设计专家，不同组织的领导干部、从事具体部门工作的工程师以及操作员、调整员，要求他们明确职责，具有实际工作能力。

④ 地区性开发问题。

在苏联机器人化的开发研制不仅注意设计生产和使用的纵向开发，而且十分注意不同地区的横向开发。为此，他们组织了地区性机器人开发研究中心。到1986年为止全苏约有20个机器人化的地区开发中心。在莫斯科、列宁格勒、基辅、新西伯利亚、切利亚赛斯克区、阿尔泰区、克拉斯诺亚尔斯克和普尔莫尔斯克区等都有这样的中心。区域性机器人化中心承担在该地区的机器人技术的使用和推广，为企业培训工程师和企业的领导人，为企业实行机器人化提供必要的咨询和可行性研究报告。例如在斯摩梭斯科地区奥尔沙城的《Легмаш》工厂使用推广了仪器制造部制造的机器人。当地党委会便召开其他企业领导人会议推广他们使用机器人的经验。在奥勒尔《Промприбор》工厂组成用机器人生产家用电冰箱温度控制器的机器人工艺综合体，可提高生产率6倍，解脱出120名工人，控制器的可靠性提高1.5倍。

⑤ 全国性技术开发研究中心及其规划。

为了交流机器人使用当中的经验，创造出更多的财富，在苏联以全苏科学院，全苏科学技术委员会、各加盟共和国、边区党的委员会组成联合中心。在这里科学家、技术专家、发明者、工人们组织在一起研究最新机械化工具、先进技术工艺、推进科学技术进步，他们常常给新采用机器人的企业以帮助。为此，苏联中央科学院根据科学组织委员会的倡议制定了《在企业应用机器人技术综合体和微处理手段基础上引进推广自动化系统和工艺综合体》的计划纲要，纲要中规定从1984—1990年要创造202个企业、25个部门工业化、9个自动化工厂、12个自动化车间，909个自动化工段和生产线（其中包括160个柔性生产系统）。2077个

机器人综合体和柔性生产装置,大约 900 个综合机械化生产线、27 个机器人和机器人检测生产线。实现这一计划可获得经济效益每年 8000 万卢布以上,解脱 12000 名工人,5600 多名体力劳动者改善劳动条件。

这种联合中心的作用是很大的。据说在新西伯利亚的委员会,依靠各方积极分子、组织考察了 30 个机械制造厂,搜集到实行机器人化的必要数据资料。在此基础上,在第 11 个 5 年计划初期研究推广机器人的综合规划。其中规定区内兵工厂不应少于 500 个机器人,在《Бердский》放射性工厂和《Электртрега》联合体兴建机器人自动化车间。决定中还规定在 7 个机械制造企业组建机器人自动化的联合体。这个计划的第一年在委员会的协调帮助下,已经成功地使 110 个《Мпяс 型》工业机器人在一批最需要和准备革新的企业中应用。

这个委员会同时还组织有关机器人的技术培训,将必要的资料普及到 50 个工厂中去。

与此同时,机器人的技术水平也较 10 年前有很大的不同。第三代机器人已经开始研究了。〔26〕

四、十分重视机器人和柔性生产方面的教育

苏联高等教育和中等教育部根据苏联近 20 年《科学—技术进步综合规划》已经制定并且批准了一个全面进行自动化技术教育的规划:《工艺过程自动化专家和程序控制机械手控制机械手制造专家的培养大纲》。目前在苏联的俄罗斯、白俄罗斯、乌克兰等加盟共和国已有 30 多所高等学校正在培养机器人的设计、制造和使用的工程师。其中较著名的有 10 多所大学。如包曼工学院、莫斯科机床工具学院、列宁格勒加里宁工业大学、托木斯科工学院、哈尔科夫工学院、白俄罗斯工学院等等。在苏联高等学校里进行机器人技术教育基本上采取两种形式,设立若干个与机器人有关的专门化即专业和建立机器人技术的系。

设立机器人的专业最先是从小莫斯科包曼工学院开始的。早在1981年这所学院就设立了《机器人技术系统》专业，培养大学本科生。据这所学院自动化系统教研室主任苏联科学院通讯院士 E. II. 波波夫说：“今天正在研究的是有感觉能力和装有微处理系统的自适应机器人，是一种由不同技术装置组成的技术综合体。它具有机械性元件、控制传动装置、测量传感器、程序存贮元件和输入、输出装置，是统一的动态信息控制系统。”可见这种人才不是原有的专业可能培养出来的。为此，他们在这个专门化里培养的有机械师、液压传动专家、程序设计专家，值得强调的是还培养机器人综合技术专家。因为，在他们看来，机器人的工作效率在很大程度上取决于与机器人技术有关的各个环节的协调程度。他们应当能够根据机器人的用途，设计出机器人的总体面貌，指明各个部分的柔性，在这类知识面比较宽的机器人的“特种建筑设计工程师”的设计之后，专业知识面比较窄的专家才能进入工作。

设立有关机器人的系的典型高校要属莫斯科机床工具学院。这个学院设立“自动化和生产过程控制系”已经多年了，不久前建立了《工业机器人和机器人技术系统》和《设计、控制自动化》2个研究室。该系主任、技术科学博士、教授 A. C. 基谢列夫指出：“建立这样一个新系，是我校对苏共中央的《关于提高生产和国民经济各部门广泛采用自动机械手的若干措施》这一著名决定的具体反应。其实，我校学生老早就开始学习机器人技术原理了。……但是设立一个专门的系可以使新专业的年青专家的培养工作更加深入、目的性更强。”

苏联机器人技术人才的培养不仅有高层次的工程师、专家，而且也注意培养具体使用、维修机器人设备的中等、初等技术人员。在莫斯科第148职业技术学校 and 列宁共产主义青年团汽车厂基础训练学校都办了机器人技师培训班，招收8年制中学毕业生。他们要求这些学生数学成绩好、逻辑思维能力强、反应灵

敏，因为，调整程序控制机器人能力是多方面的，他们要高于普通机修钳工，要求更高。到 1986 年已经培养出第一批维修工作人员，列宁共产主义青年团汽车厂已经建议采用柔性生产系统生产新型的《莫斯科人—2141》小汽车。为此，他们编制了教学大纲、教材，建立了新的机器人教学实验室，其中安装有几台现代通用机器人《Бетта》。这些学员都很年青大体在 15~16 岁，但校长、教师大胆地将昂贵的计算机和机器人交给他们操作。此外，在列宁格勒第 83 职业技术学校也在培养类似的人材，甚至在这所学校的夜校里也准备开设有关课程。在这个学校里有一个真正的无人车间，许多台机器人按程序进行工作，机器人检验台上的工作只是更换程序和调整设备，机器人调整工就从这里培养出来。校长斯米尔诺夫说：“不这样做，最好的技术和自动化设备都将成为废物。”〔22〕

五、十分重视基础研究工作

1. 十分重视科学家的分工合作研究。到 1986 年为止，由国家出面组织了各部门的有关机器人学者 50 多人从事机器人的研究设计。他们研究了 200 多个型号的机器人。在全苏科学院范围内组成了《机器人和机器人系统》科学委员会。

2. 在苏联已经出现一批机器人方面的著名学者。

1) И. И. Артоболевский, 全苏科学院机械研究所院士，从事机器人理论研究，主持机器人和机器人技术委员会。

2) Е. П. Попов, 包曼工学院通讯院士，从事自动控制理论研究。

3) Е. И. Юревич, 列宁格勒工业控制论技术学院，从事专用操作装置。

4) Е. О. Патон, 苏联科学院电焊研究所，自 1972 年从事焊接机器人研究，1977 年出版了《焊接机器人》专著。

5) П. Н. Беляник, 1977 年出版了《工业机器人》专著。

6) Б. Б. Тимфеев, 1986⁵ 年出版了《工业机器人设计和应用》。

7) В. А. Маслов 等, 出版《机器人技术—前沿起点》, 1986年莫斯科政治出版社。〔29〕

3. 重视实验研究和协作研究。据已见到的资料表明, 在有关高等学校培养人材的同时都建立若干个实际研究中心。例如, 白俄罗斯工业大学设有《工业机器人专业实验室》, 研究机器人综合技术装置。同时, 有关专业从不同方面进行分工合作。例如, 该校物理教研室正在与《机器人和机器人技术系统》系合作, 从事机器人视觉技术系统的研究。该院注意的中心是具有人工智能的第三代机器人, 莫斯科航空学院装配了一个完整的机器人综合体。这个综合体可用模锻方法制造出不同种类零件, 同时又利用这台装置培养学生。〔30〕

六、强化与经互会成员国的国际合作

① 合作时间开始很早。1979年经互会成员国主席团决议《创造焊接机器人》, 目的用于气体保护焊, 当时有8个国家参加, 包括苏联、保加利亚、匈牙利、民主德国、波兰、罗马尼亚、捷克、南斯拉夫。主设计师由苏联乌克兰科学院Е. О. Платон命名的焊接研究所承担。这是在制造机器人方面的第一次合作, 到1983年制造出《Интерробот-1》机器人。

② 1982年经互会成员国建立了制造工业机器人总设计委员会。其目标是研究设计世界第一流机器人的统一模型。这个委员会成立后, 提出了机器人技术发展的构思, 首批发展了工业机器人的品种、构件, 初步计算了各国对机器人需求数量。据统计当时共需要各种机器人165种, 包括正在生产的89种(54%), 已研制成功的23种(14%), 正在设计的53种(32%), 其中都用于机械制造。〔32〕

③ 1984年6月12~14日, 在莫斯科召开了经互会成员国会

议决定加速发展机器人，预计到1990年生产20万台机器人。

④ 1985年机器人国际间科学生产联合机构《интерробот》1985年12月举行经互会成员国第41次会议，研究确定到2000年经互会成员国科技总体进步计划，计划中规定将实现自动化作为提高经济发展、提高劳动生产率的主要方面，同时决定建立经互会成员国之间的机器人合作的国际分工。苏联承担机器人主设计师任务，波兰侧重在制造通用机器人方面、匈牙利在机器人与周边设备方面，保加利亚侧重在生产电力拖动装置方面进行合作。在此会议上，为发展自动化设计的国际分工和研究机器人技术手段上成立国际间科学生产联合体《Интерробот》。

经互会成员国在机器人专业化合作方面已经取得显著成果。到1985年已能生产150个品种机器人，其中装有多种感官“人造眼”的第二代机器人占很大比例，到1990年将生产出20万台机器人，其中主要品种是装有微处理机的，能对周围情况作出判断并采取适当的措施。〔33〕

综上所述，苏联的机器人发展具有其自身独有的特点，它是在完全自觉地利用技术进步推动社会发展的规律有目的有计划有组织的发展本国机器人，它的计划完全是在苏共中央和部长会议的决议指导下实施的，它的计划是全面的，既包括了机器人的科研设计，也包括了生产使用，更十分注意机器人人才的培养和国际合作。看来，有计划，有组织地利用本国人力物力和财力资源是社会主义国家发展高技术的良好途径。

第三节 全面的自动化

一、根据定货的需要设计机器人

苏联的机器人专家们指出，一般人大都认为，从技术上完善机器人的主要方向当然是“使机器人能够思维，教会它们做出各种决定。为此目的要使机器人能够接受视觉信息和触觉信息并且让这些信息进入电脑。还应有听力、味觉和嗅觉，使它们接受收

到人类接收不到的如红外波的辐射”。但是，完善机器人的各种参数，模仿人体使机器人具有各种能力在技术上是非常复杂的而且未必合理。苏联一些权威专家提出：“改进机器人应当有另一种基础，设计师应当根据生产提出的条件，如定货人的要求来设计机器人。”根据这一指导思想，苏联的机器人正在以下几个方面发展。

二、完善第一代工业机器人的能力，扩大应用范围

苏联计划在 12~13 第个五年计划期间主要任务是开发生产机器人技术装备和机器人外围设备的专业化工厂，降低工业机器人的成本；完善第一代工业机器人的技术特性。当前需要解决的是，扩大工业机器人的工作能力；其具体途径是用更加现代化的电力驱动装置、抓取装置、感觉装置、自适应装置（其中包括人工视觉装置）、带有专门软件的小型电子计算机和微型电子计算机的控制系统来装备工业机器人。苏联人认为，完成这项工作就可以为平稳地过渡到采用第二代工业机器人创造条件，就可以使机器人技术装备的使用领域得到扩大，特别是在机器制造业、仪表制造业、工具器具制造业的装配工作中，在焊接和喷漆操作中，在微电子工业的装配中扩大。苏联科学院机器人学研究所、金属切削机床实验科学研究所等单位的科学家们提出许多有益的想法正在实现。例如，建起了一座《红色无产者》新车间，目的在于实现机器人化过程，普及到越来越多的工厂。

三、提高应用机器人的技术组织形式

在第11个5年计划中，工业机器人的应用集中到柔性生产装置（Гибкий производственный модуль）上去，在以后的几个5年计划中机器人的使用就可以扩大到柔性生产线、生产工段和生产车间的范围中。莫斯科的两家钟表厂正在成为仪表制造业中第一批自动化工厂。厂内将使用多层次生产控制系统，对所有重

要工艺过程的自动化，这两个工厂成为继续扩大这类企业的试点单位。

在这类自动化工厂中，各生产部门、工段、工艺装备和辅助生产部门的自动化手段将采用组合形式，各种功能性部件将象孩子们手中的积木一样，按照生产需要采用不同方式构成各种不同用途的生产用组合机床。其中机器人承担装配不同用途的机床，供机床毛坯紧固位置取下加工后的零件承担铣削、磨削、钻削加工任务，承担零件的运输任务，承担由零部件组装成机器的任务等等。明天生产中使用的机器人不是单纯充当人类的助手，而是把人从繁重的体力劳动中解放出来的《高度熟练的机器》。

四、研究设计若干种新型机器人

① 研制自适应选料工业机器人。在苏联金属切削机床实验科学研究所试制一种名叫《VM-40Φ2》型选料机器人目的，在于能从装有多种零件的料斗中选出所需要的零件。与此相适，在苏联科学院情报传递研究所提出一种方案，设想把一块电磁铁装在机器人手爪上，当手爪伸进料斗时，最初可能有“一串儿”不同类型的零件被吸上来，控制系统分析这“一串儿”零件的重量，改变电磁铁的电流，选中所需零件，最后再加大电流运走所需零件。

② 试制能与人谈话、讨论提出问题具有记忆装置的机器人。这种机器人是由苏联中央通讯科学研究所莫斯科分所明斯科科研处研究人员研制的。设计者希望能够用人类语言直接与电子计算机对话，为此他们制成了一种装置，让电子计算机理解人的语言，教会电子计算机讲话。

现在在白俄罗斯住宅和公用事业部的《智能》系统工作的《语言合成器》能用清晰的语言向工作人员视贺新年，提醒工作人员注意最重要的业务工作。

③ 能在极限条件下从事作业的机器人在苏联也受到普遍重

视。

真空工艺机器人用来制造集成电路、半导体器件、人造红宝

石以及其它超纯材料等。它能在超真空条件下进行工作。

作者通过观察孔来控制机械手的动作。”机器人通过转动装置与操作者的手相联结，机械手得到电脉冲信号时便会重复人手的动作。每一条指令都在电子计算机的监督下执行。这个特殊的《脑子》不但要检查信号是否到达指定地点，而且还要不断地进行修正，以保持机械手的连续平稳动作。这个铁手有7个自由度，做出人手不到的事来，装上钻头可能钻孔、能装铁铲，可挖泥，安装拆卸阀门，手腕可像蜥蜴的尾巴似的在需要的时候从手上脱落下来。它也可按给定的程序进行工作。苏联渔业部准备将它安装到水下装置《Гинро-2》上去。今后的目标是把人从对这种装置的直接操纵中完全解放出来，达到只要把最终目的通知给机器人，它就能够自由选择达到目的的方法。为此它们正在研究水下行走装置、观察装置和与周围环境交换信息的装置以及了解外部环境信息的各种传感器、计算机系统。

在苏联海洋研究所里正在研制一种机器人程序管理系统，从而简化操作人员的动作。操作人员只要指出抓取对象的位置机械手根据编好的程序，通过各种传感器感知、判断，确定路程，完成抓取动作。苏联认为，这些程序在汽车、机床生产中也能用得上。

⑥ 苏联正在计划研制的轻工业、建筑和防险救灾机器人情况。食品包装机器人。因为涉及到人们饮食卫生，目前尚没实现机器人化。已实现的是高温条件下向烤炉取送面包的机械手。这是在莫斯科《布尔什维克》糖果点心厂使用的。苏联计划5~7年制成食品生产用机器人。

苏联在纺织工业部门里，正在研究能够代替挡车工人监督织机、纺织接头、染布、检查成品质量的机器人。

建筑行业用机器人。全苏建筑和筑路机器制造科学研究所的科学与生产联合体的总经理指出，在苏共中央和政府的一系列决议中都规定了要加速提高市政设施、民用住宅、运输干路的建筑效益，要达到此目的如果没有机器人技术是不可能的。为此，在

这个联合体中成立了第一个研究与推广建筑机器人的部。对未来建筑用机器人提出几种特殊要求：①露天工作；②较大功率；③搬运路线复杂；④安全可靠性能要高。计划在第12个5年计划中研制出第一批建筑机器人。

据有关专家们的意见，在不久的将来还将研究在救护、救火等领域活动的机器人，因为，在这个领域能充分发挥它们的特点。〔34〕

五、提出讨论生产的全面自动化、合理化和机器人化的关系问题

最近苏联学者 Л. И. Волчкевич 提出：“应当冷静地考虑机器人的发展问题”（《Вестник машиностроения 1988. № 3.31-33с》）。他认为，生产的全面自动化、合理化并不等于机器人化。机器人化目前遇到了许多困难，根源在于为机器人化而机器人化。他认为，目标应当是生产的合理化，该用机器人则用，如果有其他更经济，更科学的自动化设备则应当采用其他设备。其次，机器人化不等于“拟人化”和“代人化”而应当是采取科学的合理的方式解决生产中的问题。Л. И. Волчкевич 的主要观点如下：

生产的机器人化正处在艰难时期，因为投放的人力物力很多而取得的经济效益并不显著。这种得不偿失并非机器人化自身造成的，而是实施机器人化的政策造成的。国内国外都是如此。英国有44%的实施机器人化的公司宣告失败。

问题出在指导思想上面，长期以来机器人不是视为提高生产效益的有效设备的而被视为代替人做工的等价物，以摆脱繁重、单调的手工劳动生产，认为使用机器人可以解脱工人劳动、减少管理是一种新的天方夜谭。

机器人“代人化”在机器人设计初期起积极作用，今天以“代人化”机器人排斥其它机器的设计思想是使机器人陷入困境

的根源。因为，从提高经济效益角度来看，各种类型的机器人并不是等值的。有些机器人如焊接、喷漆、电镀机器人可以大大提高生产率，提高产品质量，经济效益很高；有些机器人如金属切削机床配备的机器人经济效益就不高。

从原则上讲，进行焊接生产的机器人发挥经济效益的潜力比较大，但是，实际上，由于提高机器人的柔性、可靠性和工作速度问题的解决是相当艰巨的过程，因此，充分发挥其经济效益还难实现。例如，机器人焊接汽车生产线同传统的流水线比较，只有在不断更新产品类型时才容易显现出来。即可以通过改变机器人的程序改变实际的操作工序。但是，目前机器人焊接生产线只能生产有限的几种产品，尤其是在改变工作程序时必须经过一个比较复杂的过程，尚需开发大容量、完善的程序语言才容易实现。相比之下，改变型号如果用人力就比较简单易行。再则是可靠性，机器人成套设备中，只要有一个部分发生故障，整个系统即将停机。到目前为止，在苏联设有机器人的工作区，手工劳动的比例仍然占30~40%，目的是保证可靠性。

机器人的安装问题。到目前为止机器人大都采用“立地式”，约占机器人总数的53%，固定在设备上的占39%，悬挂式的占8%。据苏联学者分析，“立地式”安装最不合理，占地面积大，多工位工作的可能性少，给人力劳动带来麻烦。他们认为工业机器人最好的安装方式是头部朝下。

控制程序和控制系统问题。在机器人研制的前期控制论专家起了重大作用不容否认，但是，他们控制设计的方向是让机器人的控制系统模拟人的行为，设计出类似人的行为的控制系统。苏联学者认为这种想法是错误的。他们举例说，在英国使用机器人比较成功的公司中83%积累了用其它设备进行自动化生产的经验，而使用机器人生产陷入困境的公司中，只有25%积累了用其它设备的经验。苏联学者认为，生产过程的自动化归根结底是原材料的获得，零件的加工、检测、装配等工艺过程的自动化、

合理化，而并非机器人化。使用哪种设备取决于整个生产过程的有益，而不是为机器人化，而机器人化。为此，苏联学者认为，应当在整个生产过程自动化过程中有选择地使用机器人同时也适当使用其他自动化设备，二者结合起来才能发挥出更大经济效益。〔35〕

几点启示

我们看到的有关苏联机器人的发展情况的资料是十分有限的，但是，从这些资料中已经可以给我们几点重要的启发。

第一，苏联的机器人无论从数量、品种和技术水平上看很难说是落后，不如说在世界上处在比较先进的地位，加之苏联是一个社会主义国家从制度上与中国接近，所以我们应当注意学习研究他们在机器人发展方面的经验。

第二，机器人作为一种先进技术，它是推进生产发展的一种工具，一种手段，发展机器人应当同社会生产的实际需要相结合，机器人的效益的发挥也应当同生产组织、机器人的用途紧密结合，苏联人从机器人的分类上就强调机器人的用途而不是单纯注意技术水平的思想是很重要的。苏联人积极扩大机器人的使用范围是充分发挥机器人技术的有益尝试。尤其是他们最近强调不要为机器人化而机器人化，应当冷静地考虑机器人的发展问题是耐人寻味的。机器人在工业生产中的使用应当和其他自动化技术相结合。

第三，机器人是高技术，投资高，风险大，国力有限，怎样合理地使用资金和人力？苏联人做出了有计划、有组织榜样。我们也是一个社会主义国家，应当学习苏联人的办法，把有限资源集中利用，加快我国机器人的发展。

第四，高技术是高智力知识密集型技术，它的发展不仅取决

于支持它的硬设备，更重要的还取决于支持它发展的人才智力。因此，苏联人在全面重视机器人、自动化技术人才培养教育方面的经验值得我们学习。不妨设想，我国的高技术机器人的发展只靠现有的科技人才，而我们的各个高校的有关教学仍然是过时的内容，今后不能源源不断地输送出合格的人才，我们的机器人事业是很难发展的。

第五，应当像苏联那样，不仅注意引进先进技术，同时要重视基础理论研究。

参 考 资 料

- 〔1〕 《苏联科技革命的影响及前景》，《今日苏联东欧》，1984年第3期。
- 〔2〕 В. Бусленко, “Наш Коллега”, Молодая гвардия, 1984.
- 〔3〕 日刊《自动化技术》，转自《苏联科学与技术》，1983年№3。
- 〔4〕 《柔性生产系统》，《苏联东欧资料》，1986年第2期，总83期。
- 〔5〕 《苏联机器人产业的发展动态》，《苏联科学与技术》，1985年第4期。
- 〔6〕 В. А. Маслов, Ш. С. Муладжанов, “Робот-техника Берет старт”, Москва Издательство политической литературы, 1986г, 11-16.
- 〔7〕 “Машиностроение — к 70 летию Великого Октября”, МАП №4 1988г. 28с. “Техническая информация”.
- 〔8〕 “Техническая информация”, “Автоматизация машиностроительного производства”, УАК 65. 0011.56:621/061.4/ “Вестник машиностроения”,

1985г. №6, 75с.

- [9] Б. Б. Тимофеев Г. К. Нечаев, "Промышленные роботы: конструирование и применение", Высшая школа Головное издательство, 1985г.
- [10] "Вестник машиностроения", 1987г.
- [11] В. С. Кулешов, В. А. Клевалич, "Система технического зрения промышленного робота под электроника ИЦТМ-01", "Станки и инструмент" 1987г.
- [12] А. Е. Охотимский, "Очувствление роботов для адаптации. контроля автоматической сборки", "Техническая кибернетика" 1987г.
- [13] А. Д. Гольцев, Э.М. Куссуль, "Тактика маневрирование транспортного робота на основе дальномерной информации", Часть 2: Учёт соответственных размеров автономного транспортного робота, "Автоматика" 1987г.
- [14] В.А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", Глаза У11 94-96 с.
- [15] В. Бусленко, "Наш коллега", Издательство Молодая гвардия, 1984г.
- [16] "Глубина погружения — 6000 М". "Техника-молодежь", №5 1988г.
- [17] В. Бусленко, "Наш коллега", Молодая гвардия.
- [18] В. А. Маслов, "Робот-техника", Издательство политической литературы, 1986г.
- [19] "苏联机器人发展概况", 沈阳自动化所, 《机器人示范工程》可行性报告之三。

- [20] Г. А. Спыну, "Предисловие", "Промышленные роботы: конструирование и применение", Издательское объединение Высшая школа, 1985г.
- [21] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", 8-12с.
- [22] "Промышленные роботы конструирование и применение", [Высшая школа Головное издательство, 1985г.
- [23] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", 1986г.
- [24] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", 1986г.
- [25] "Решение XXVI Съезда КПСС — надежный фундамент ускоренного развития советской экономики" "Сварочное производство", 1986 №4, 1-3с.
- [26] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", 16-20с.
- [27] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", 78-87с.
- [28] "К новым рубежам", "Механизация и автоматизация производства", 1986г.
- [29] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", 20-45с.
- [30] В. А. Маслов, "Робот-техника Берет старт", Глава 1.
- [31] "Промышленные роботы, конструирование и применение", "Высшая школа", Издательское объединение, 1985г.
- [32] "经互会成员国机器制造业合作方向", 《国外机械

工业》，1985。

[33] 冯世新 编，《新技术革命中的机器人》，西安交大出版社，1985。

[34] Б. А. Маслов, “Робот-техника”, 89-103 с.

[35] Л. И. Волчкович, “О роботах без ажиотажа”,
“Проблемы роботизация в машиностроении”,
“Вестник машиностроения”, 1988г. №3, 31-33с.

第五章 联邦德国常胜不衰的道路

第一节 欧洲第一，稳步发展

一、总数量占欧洲第一位

联邦德国是世界上屈指可数的机器人大国之一。截至1986年底统计数字表明，联邦德国使用机器人总台数超过10000台大关，达到12400台，^{〔1〕}名列世界第三位，仅次于美国和日本，总数量占欧洲第一位。联邦德国使用机器人的密度，占世界第三位，达到每万名产业工人中使用14.4台，仅次于日本（78.1台/万名工人）和瑞典（38.台/万名工人），超过其他主要资本主义国家：法国（14.2台/万名工人）、美国（12.4台/万名工人）和意大利（10.2台/万名工人）。（详见图5-1）^{〔2〕}

联邦德国是机器人的较大的使用用户又是主要的机器人制造厂家，素有“欧洲工厂”之称。据统计，在联邦德国使用的12400台机器人中外国生产的约占36%，其余大部分机器人是由联邦德国自己的机器人制造厂生产的。其中Kuka公司占10%，（瑞典的ASEA公司亦占10%）。在这两个厂家之后依次是大众公司，Ciccos公司，Bosch公司，Reis公司等7家大公司。联邦德国境内约有大大小小120家机器人生产厂家（包括外国公司），其中12家大公司即已覆盖整个市场的74%，这12家公司中上述7家是联邦德国的。联邦德国的机器人制造厂家以其精湛的技术与上述许多强手激烈竞争立于优先地位。联邦德国机器人出口台数连年上升。1986年度产量约达4000台，出口率由

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

[Redacted content]

续表

联邦德国	1800	2200	3600	12400	+1400
法国	830	1400	112	5273	-1288
意大利	1090	1400	1000	5000	-400
日本	20000	26000	25000	118030	-1000
荷兰	93	137	280	630	+143
西班牙	92	138	161	854	-7
瑞典	293	301	337	2383	+36
瑞士	81	99	92	382	-3
英国	870	585	475	3683	-110
美国	5000	7000	5000	25000	-2000
新西兰	4	14	15	42	
波兰	60	60	60	330	
总计	30882	39880	37666	177056	-2214

速度上升。尤其突出的是1985-1986年世界上许多国家的机器人安装数量明显下降的情况下，联邦德国的机器人安装数量不仅没有下降，反而有所上升，由1985年2200的台上升为1986年3600台，净增1400台占前一年总数的63.6%与此同时，其它国家如美国由1985年7000台减少到1986年的5000台净减2000台占28.5%，法国由1985年1400台减少到1986年112台，占9.2%，日本由1985年26000台减少到1986年25000台净减占3.8%。

(详见表5-1)

三、带感知功能机器人增长很快

联邦德国机器人应用情况表明，点焊占第一位1986年约3100台，弧焊第2位约2300台，部件处理第3位约1700台，组装第4位1650台，机床工具占第5位约1100台。其中1985至1986年度增长最快的是组装机器人由1985年的不到800增加到1650台，增加了一倍多，约占联邦德国1985—1986年度机器人安装总台数增加数1400台中的60%。(见图5-2)

通过对上表分析可以看出，1985—1986年度联邦德国的机器

人安装台数持续上升主要原因有二：第一，带有一定感知功能的，组装机器的增长速度远比日本和其它国家快；第二，各个汽车制造公司仍然不断向机器人制造公司投资购置焊接用机器人。而联邦德国的焊接机器人中的相当部份安装了视觉传感器可以从事比较复杂的焊接任务。看来，及时提高机器人的技术水平，尽早实现从第一代示教再现型机器人向第二代，带有一定感知功能的机器人过渡是联邦德国在世界机器人市场激烈竞争中处于领先地位的决定性因素。

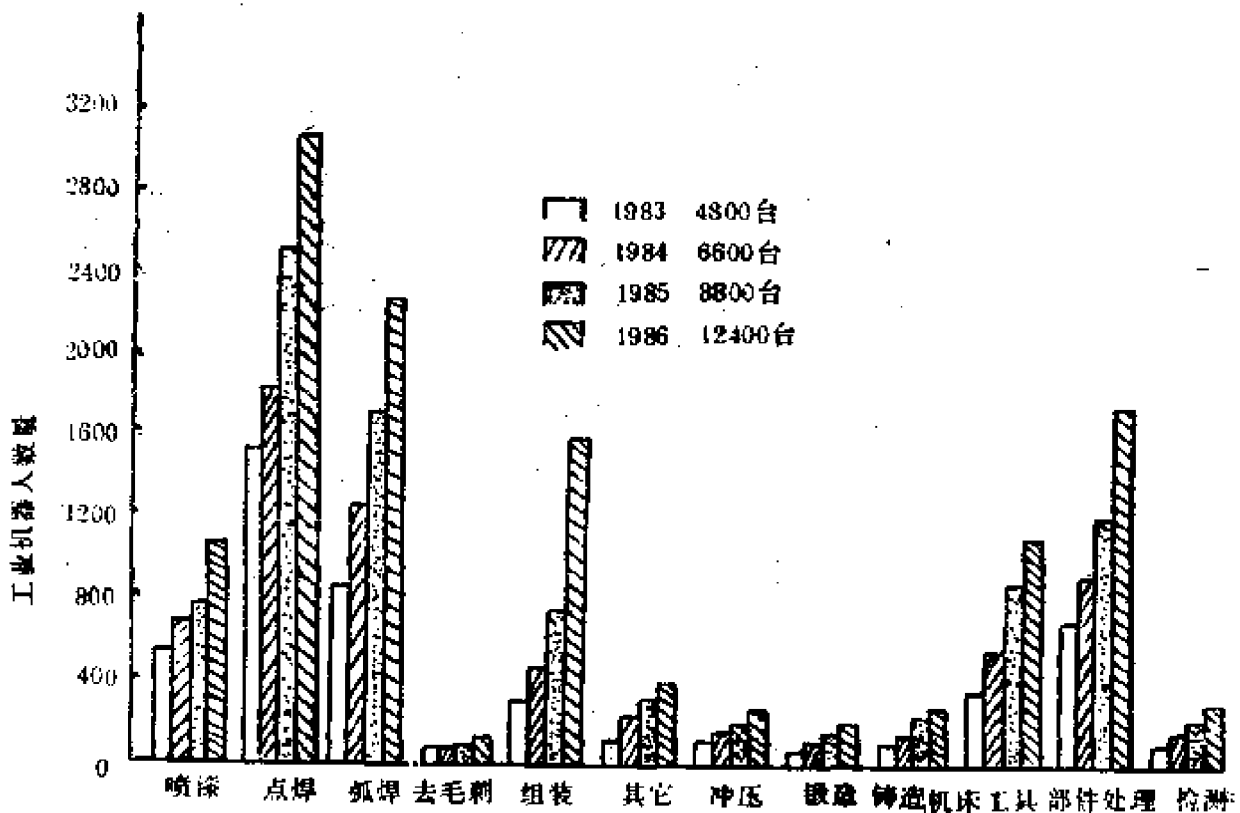


图 5-2 1983-1986西德机器人应用情况分析

来源斯图加特IFF-IPA

联邦德国的机器人工业为什么会顺利发展？为什么会避免1985—1986年的衰退呢？这就不能不分析联邦德国机器人工业发展的历史特点。

第二节 坚持以技术促经济发展的政策

回顾历史，很容易发现联邦德国的机器人发展具有以下明显特点。

一、起步较晚，发展很快

1967年，日本从美国引起工业机器人，1970年，第一批工业机器人在西德的制造业投入生产。整个西欧同“机器人的故乡”美国相比，只差“半步距离”。联邦德国明显地起步较晚。当时，西德人把机器人当作“不说话的奴仆”，主要从事单调的、危险的和繁重的工作。1971年联邦德国安装机器人总台数不足50台，直到1972年全联邦德国找不出一家机器人制造公司。分析联邦德国机器人工业起步较晚的原因主要是机器人工业一起步就遇到了不景气的经济环境。联邦德国的技术水平是很高的。到60年代后期，评价技术水平以美国作为100，则联邦德国为40，法国24，英国25，日本为22⁽⁵⁾，说明联邦德国具有较强的技术实力。但是，联邦德国在战后的废墟上，完成了50至60年代的经济复兴以后，进入70年代遇到了经济困难，研究开发投资不断削减，设备投资也遇到了困难，企业投资连年下降。这种经济环境对联邦德国发展资金密集型的机器人产业是相当不利的。

然而，联邦德国的社会环境是有利于机器人工业的发展的。联邦德国具有土地247975平方公里，仅有人口6168万人口，人口密度很低加之战争的破坏，当时面临着人口少，劳动力短缺的局面。这又是有利于机器人的发展的。因为劳动力短缺，人口技术水平高是实现使用机器人的有利条件。经过短暂的6年时间，到1978年在联邦德国竟出现了12家机器人制造公司。其中Kuka公司生产出的IR600型工业机器人，Niko-MAC公司制造的Nickel型工业机器人经过长期研究和不断实验差不多都是在

1978年前后研制成功的。^{〔6〕}1980年联邦德国工业机器人已超过500台，居世界第4位，1983年达4800台跃居世界第三位。

为什么短短几年时间联邦德国的机器人工业出现了后来居上的形势？除前所述的劳动力短缺社会原因，技术水平很高的条件外，联邦政府实行正确的政策起了决定性的作用。

二、坚持实行以技术进步促经济发展的政策

凡事开头难，机器人工业发展中也是如此。怎样起步？机器人先用在哪里？这是起步中的关键。联邦德国政府，从一开始就采用了行政手段为机器人的推广使用开辟道路。联邦政府制订了一个“改善劳动条件的计划”^{〔7〕}其目的就是要发展机器人，计划中规定在一些有危险、有毒、有害的工作岗位上必须用机器人代替普通人的劳动。该项计划最先在玻璃业，继而在显象管生产中实施，这样一来既改善了劳动条件，又为机器人的应用开拓了广泛市场，推动了工业机器人技术的发展，效果相当良好。

使用机器人的社会影响问题，机器人推广后会引起大批工人失业吗？在联邦德国推广使用机器人的过程中确曾引起激烈的争论。1982年联邦德国劳资双方就采用机器人等高度自动化技术的利弊展开了激烈的辩论。工会领导人认为，联邦德国企业采用新技术必将对工人就业造成严重的威胁。除非政府采取保护就业措施，否则工会将大规模地反对进一步自动化。联邦德国的企业家认为，新技术是在国际市场上保持竞争力不可缺少的手段。他们指出联邦德国1/4的就业是靠出口来保证的。联邦德国“经济与合作发展组织”1983年发表调查报告指出，使用机器人对劳动就业的影响不大。预计1985年受影响比率，联邦德国为0.4%，英国为0.2%，到1990年可能情况是瑞典为3%，联邦德国1.5%，英国为0.5%。

联邦德国政府坚持实行了以技术促进经济发展的政策，1982年联邦德国一次内阁会议上，曾经就先进技术和社会经济的相互

关系问题进行讨论。由于发展先进技术需要进行较大量的投资，而当时经济发展中确也有存在困难。怎样处理这种关系？联邦德国研究技术部长指出：联邦德国的研究开发费用在国民经济生产总值已占 2.7%，超过美国和日本居世界第一位。他认为：“世界上的一些发达国家都在利用技术手段改善经济状况。国家之间所以产生差距，关键在于是否开展可被工业利用的技术革新。通过研究开发活动增强国防竞争能力就能很好地改善西德的整个经济状况。”〔8〕实践结果证明，联邦德国采取以一定经济力量支持先进技术的研究和开发的政策是个分必要的。经济状况好转奠定了解决失业等社会问题的基础。相反如果生产状况不佳，在国际市场竞争中被动，必然影响国内某些行业就业的稳定。

三、坚持科学研究和生产中的实际应用相结合

科学技术进步促进生产的发展是有条件的，并不是任何一种类型，任何一个层次的技术进步都会促进生产的发展，只有同生产发展紧密联系的技术进步才能起到推进生产的作用。对比西欧英国、瑞典和联邦德国三个国家在第 1-10 届 ISIR 会议上所发表的论文情况很容易看出科技研究和实际应用二者的相互关系（详见表 5-2）。

表 5-2 西欧三国在 ISIR 上论文分类情况〔9〕

国 家	工 业	大 学	政 府	研究院	理 论	研 制	技术开发	应 用
西德	42	19	1	37	4	33	7	55
英国	3	78	3	15	15	77	5	3
瑞典	86	6	0	8	2	8	12	78

从提供论文的部门来分析，瑞典来自工业部门的论文最多占 86%，来自大学最少占 6%；英国恰好相反，论文来自工业部门的最少占 3%，来自大学和研究院的最多占 78% 和 15%；相对来说联邦德国则比较均衡，来自工业部门的占 42%，来自大学和研

究院的占19%和37%。

占36.5%，而掌握在民间企业手中的科研经费高达63.5%。这种资金分配比例是理论性研究和应用研究能够均衡发展的重要保障。

四、重视技术的应用和社会需求相结合

日尔曼民族是一个很重实际的民族，他们始终重视技术应用和社会需求的紧密结合。在机器人的应用上，联邦德国与其它先进国家大体上也是相似的。工业机器人大多数应用在汽车生产线的焊接过程中接着是部件处理，组装和机床工具用机器人。但是他们并没有将机器人等先进技术局限于机械制造行业。从历史上看，他们也曾经成功地将机器人技术运用于纺织行业。据联邦德国《明镜》周刊报导，当时西德的纺织工业许多年来由于营业额小、成本很高，同国外同行业无法竞争，纺织行业被称为“快完蛋的行业”。从1970—1984年的14年中，西德的2400家纺织品公司中，大约有1000家关闭了。由于联邦德国的工资高，某些企业只得把生产转移到工资比较低的葡萄牙，摩洛哥、爱尔兰、菲律宾等地。为了改变这种困境，纺织行业的资本家决心采用现代化生产技术改造原有企业。他们报废了旧机器，订购了现代化的自动机床、电子计算机和机器人。由于使用了包括机器人在内的新一代生产技术，成本下降，质量提高、花色品种更加适销对路。结果1984年第1季度，纺织行业的营业额比上一年同期增长36.5%，生产增长7.1%，订货增长9.5%。由于使用机器人以后，工人工资成本下降，有些公司又将转移到国外的企业重新搬回到国内来。〔11〕

联邦德国机器人技术紧密和社会需求相结合的重要体现莫过于1985—1986年以来向高级的带感知功能机器人转移，由汽车制造行业向非汽车制造行业的扩展，由制造行业向其他行业的扩展。（待下节详述）。

由于采用机器人等先进自动化技术，近年来西德的劳动生产

率平均增长率约为 5.8%，虽低于日本8.2%，却高于美国2.7%。

第三节 依靠提高技术水平拓宽应用领域

一、机器人的应用领域逐渐扩展

传统的第一代工业机器人主要用在汽车生产中的焊接过程，其中点焊又占有较大比重。从对联邦德国的机器人发展情况分析来看，机器人的应用领域正在逐步扩大。正在以机械制造的焊接为中心向两个更大的范围扩展。其一是在机械制造过程中从焊接过程向非焊接过程扩展。对比1983年1986年两年机器人在不同工种所占的比重可以明显看出这一变化。见表5-4。

表 5-4 1983-1986 联邦德国机器人在机械制造业中应用情况分析^{〔12〕}

机 器 人 数	点 焊	弧 焊	装 配	机床工具	其他部件处理	
1983	4300台	1480	800	210	300	700
	比重	34%	18%	4%	6.9%	16%
1986	12400台	352	2322	1658	1156	1781
	比重	25%	18%	13%	9%	14.3%

从表5-4很容易看出，在联邦德国点焊机器人在机器人总数中的比重由 1983 年的1480台占34%下降到1986年的 3152 台占25%，装配机器人由1983年 210 台占 4 %上升到1986年的1658台占总数的13%，机床工具机器人也呈上升趋势。这一变化趋势从联邦德国的最大机器人制造公司 Kuka 公司的变化也可以反应出来。1980 年代初 Kuka 公司最初生产的机器人 95% 是点焊机器人，但是到目前 Kuka 的点焊机器人仅占其总数的60%，其余部分则由弧焊机器人、处理机器人、封焊机器人、接合机器人和组装机器人代替了。^{〔13〕}

这种发展趋势与日本比较是非常相似的，见表 5-5。

表 5-5 日本主要工业过程中所用工业机器人总数(IFR提供)

过 程	1980	1985
塑料模型	8000	10.700
机械加工	5000	4.200
组 装	2.800	15.800
焊 接	1.600	7.800
压 缩	800	1.100
铸 造	600	900
喷 漆	100	600
总 计	16900	41.100

可以看出,日本的组装机器人的数量上升很快,是焊接机器人总数的2倍,并且高出于塑料喷塑模型机器人总数50%的达105800台。

在联邦德国据专家们用 Delphi-Cuquiry 预测至 1992 年仅组装机器人即将达到 10000 台。^[16]目前联邦德国的 KUKA 公司已经给美国生产出安装汽车挡风玻璃和安装汽车轮胎的组装机器人。在制造业中向非焊接工序扩展是机器人发展的必然趋势。^[18]

其次,是从机械制造行业向非机械制造的其它生产部门扩展。在过去几年里机器人数量不断增长主要是用于汽车生产的弧焊和点焊。很多专家预测,这种应用总有一天会饱和,因而机器人的应用会受到影响。目前在一些研究机构在进行研究的新领域是:

- 较大部件的制造和加工的机器人;
- 可移动机器人;
- 用于采矿的机器人;
- 用于空间的机器人;
- 用于水下,海洋的机器人;
- 净室工作机器人;

- 建筑用机器人；
- 消防灭火机器人。(17)

在这些应用领域中，国外已有许多样机和实际工作的机器人，其中有些能满足要求经济效果也比较好。

必须指出，我们强调机器人应用领域不断地向焊接以外的领域扩展，并不是说焊接领域中机器人的应用已经停止。实际上，在原有焊接机器人上装上新型传感系统以后，焊接机器人的应用也在扩大，从事了过去许多不能焊接的工作。

二、提高机器人的智能水平

扩大现有机器人的使用范围必须提高机器人的技术性能，首先表现为提高机器人的柔性。联邦德国 Fraunhofer 制造工程和自动化研究所 (IPA) 的 H. J. Warnecke 和 H. Linder 指出：柔性的损失不会出自工业机器人本身，而是出自与其相连的机器人的外部设备。另一个阻碍柔性提高的方面是现存的机器人的抓取单元。为了处理不同的工件工具，需要有一个通用的抓取单

表 5-6 采用内、外传感器对外用设备和环境的要求

机 器 人	
只用内部传感器	用外部传感器
1. 要求精确稳定地固定件	1-5 或所需费用少或存在问题少或加工要求低
2. 要求精密的工件供给装置	
3. 要求有精确的工件定向装置	
4. 工件重新摆放费时费力	
5. 对单个工件处理有困难	
6. 操作者手动定向	6-7 不需要
7. 操作者用视觉检查	
8. 不同加工工件需不同送料箱	
9. 不需要特殊送料箱 ⁽¹⁸⁾	

元。这样，具有可以更换不同工具的手部。具有组合传感器和传感器数据处理功能的智能抓取单元就是今后工作中必须要做的一项。再则是提高机器人的可靠性，同时价格还要便宜。其中外部传感器（包括视觉、触觉）是非常必要的，有了它可以减少外部设备，减少使用费用，详见表 5-6。

其次，程序编制问题。工业机器人应用于去毛刺中突出问题是程序编制时间长。为了减少编程时间联邦德国长期注重研究，迭代编程法和离线编程法。

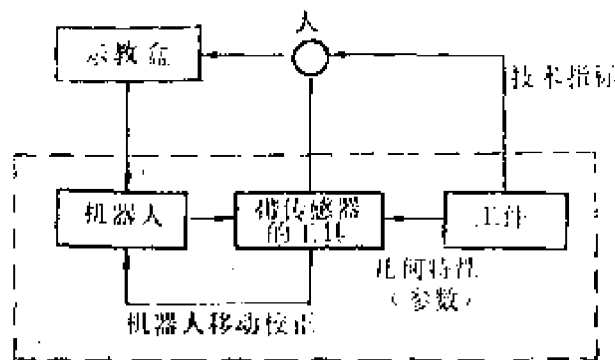


图 5-3 迭代编程法示意图

迭代编程法为机器人在机械加工中的应用开辟了新路。因为这种方法中使用的传感器的主要用途不是在自动状态时监控加工过程，而是在此状态下生成一套精确的用于机器人的程序。传感器的信号处理与实际加工过程没关系，它独立于实际加工过程，它也不要求机器人有特别快的控制装置。采用这种编程方法机器人的广泛应用就变得经济上可行，短期可以应用。

离线编程法是采用计算机辅助设计系统中的与被加工部件相关的几何学方面的数据，见图5-4。

程序编制方面新进展。联邦德国在欧洲所有国家中，在机器人在工业中的应用方面处于领先地位。目前，联邦德国在柔性自动化系统实际应用研究方面已取得国际承认的几家研究机构。其中在机器人应用于基本制造过程的模型化软件系统方面卡尔斯鲁厄大学以 Ruediger Dillmann 和 Martin Huek 为代表的研究人

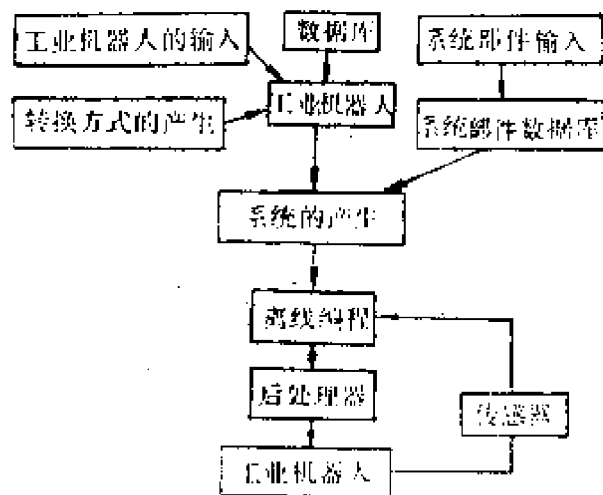


图 5-4 离线编程示意图

员做出重要的贡献。在计算机辅助设计的机器人离线编程问题，由于工厂条件的复杂性和多变性而使得工业机器人的离线编程至今是一个尚未解决的问题。上述两位研究人员对离线编程中的一些关键问题取得可喜成就。他们在早已使用的 ROSI-1 软件系统（机器人基本活动模型）基础上，研究设计了 ROSI-2 型软件系统模块。这是一种崭新的包含有广泛软件模型的系统，这个系统除 ROSI-1 型功能之外，又包括了大容量的软件系统，模拟系统和程序编制系统。在模拟器部分包括判断程序、可判断冲突碰撞，还包括选择程序。此外，它还具有模拟出现的错误以便让机器人检验错误、控制错误和异常的发生。〔20〕

在伺服原件上做了新的探索。在伺服驱动装置方面联邦德国近年来有新的进展。按照传统的理解为满足机器人技术性能的要求驱动大都采用直流电机形式，近年来少部分也有采用交流电机形式，考虑到精确度、速度等方面要求较少采用气动装置。

1986 年联邦德国的 W. Backe 教授撰文指出可以采用气动伺服装置在柔性机械处理技术应用。W. Backe' 经过长时间的研究设计出新的气动原件，利用这种气动原件组装的机器人气动伺服系统，在功率不超过 1kW 的条件下，动作响应速度、精确度都能出色的完成机器人动作的要求并且在经济上可能极大地降低

成本。这在传统的只能用直流电机做伺服原件的历史背景下，无疑给人们开拓了新的视野。〔21〕

机器人运动方面的研究。自治式移动小车，由于计算时间过长，现实世界过于复杂以及可靠性差成本高等原因一直没能实际应用。联邦德国生产自动化研究所的 G. Drunk 教授在 1987 年第 3 届高级机器人国际会议上报告了他的研究成果。他已将在实验室长期实验的自治式移动小车技术应用于工厂车间。其主要内容是去掉通用的引导铜条，利用 CAD 系统事先将车间平面布置，路径、装卸站以及小车起始位置存入计算机，然后在起始位置给小车定标，再后投入工作。程序可自动产生，通信采用红外。局部位置由里程计粗略估计，通过车载五个超声测距仪进行精确校正，遇到突然障碍被超声仪发现立即停车，待障碍消除后再启动。Drunk 准备下一步再装上自动回避程序。靠站装卸采用光学测距仪以实现较高的定位精度。操作者只需将起始和目标位置输入主计算机，主计算机再将指令传给小车，小车再将指令分解成一系列动作执行。

三、强化国际间的合作

关于国际间的合作项目，就机器人研究来看尽管联邦德国参加了欧洲共同体的“尤里卡计划”但是，“尤里卡”计划中规定的有关机器人的研究项目联邦德国几乎一项也没有参加。这至少说明，在纺织机器人，先进移动式机器人、远距离监视用机器人、新的钻探用机器人农业用收柑机器人、高级水下机器人、紧急救护机器人等方面联邦德国社会需求不迫切，或者是联邦德国在这几个方面技术力量比较强自己可以独立承担。

但是，绝不应该设想，联邦德国从根本上拒绝与他人合作。事实说明，在更高一级自动化技术上联邦德国与人合作研究的兴趣却是很高的。自 1986 年以来，联邦德国至少参加了三项与机器人技术进一步发展有关的计算机集成制造系统的研究项目。第

一，1986年6月联邦德国参加了在伦敦公布的尤里卡 62 项合作项目中第26项“欧洲软件工厂”目的在于设计并建立一个程序设计模块数据库。第二，1986年12月17日在斯德哥尔摩公布的尤里卡计划中的第16项“超海底设备”，目的在于发展标准化模块生产系统，其各种组合能满足任何特殊领域的要求，该设备将使用干扰技术。第三，联邦德国又参加了“未来工厂”研究项目，目的在于发展计算机集成制造方法和技术，在生产过程和本试验项目的实验阶段开发和应用人工智能。第四，联邦德国1987年9月15日又参加了在马德里公布的尤里卡 52 个项目中的第39项计算机综合制造 (CIM) 试验工厂，其目的在于研制出柔性自动组合系统，用于在当地合成信息流和材料流，先进硬件组件和软件模块，组合设备和提高产品质量和统计过程控制的先进系统。分析表明，上述发展计划虽没有标明机器人字样，但是，却都与机器人进一步发展，机器人和整个生产系统的联系，计算机的集成、人工智能应用于生产过程紧密相关。〔22〕

四、研究组织高度集中化

与其它国家相比，联邦德国在机器人的研究工作的一个突出特点是研究工作的高度集中化。据《机器人与柔性制造技术》一书介绍，在联邦德国承担机器人研究开发工作的核心机构是 Fraunhofer Gesellschaft Institutes。这是一个由26家非赢利研究机构联合组成的。它们的经费 1/3 来自政府拨款，1/3 来自工业领域，另 1/3 与政府签定研究项目合同拨款。在这个联合体中最活跃的是以下三个所，卡尔斯鲁厄 (Karlsruhe) 的 IITB，斯图加特的 IPA 和柏林的 IPA。它们的规模都比较大，所做的工作比较多。与这些研究所相适应的还有三所大学即卡尔斯鲁厄大学、斯图加特大学和亚琛大学。在工业领域则是像 Kuka, Volkswagen 这些大的制造厂家的研究室。

上述三个研究所在研究内容上有比较明确的分工。卡尔斯鲁

厄的 IITB 开展研究项目是，第一，弧焊导向用照明设备。这是牛津大学在视觉传感方面进行研究的先行研究，第二，“十分先进的机器人”所谓十分先进是指具有多传感功能的机器人，重点是通过使用高级语言而实现机器人构成模块化和以传感器为基础的控制。第三是机器人视觉传感方面的研究。这个项目新颖之处在于它不是在软件上改进，而是力图制造出以硬件功能为主的、快速的、可销售的视觉传感处理模块。

在斯图加特的 IPA 较大的研究项目是设计并制造一个机器人测试工作台，目的利用它对机器人各种功能进行测定和评估。另一个项目是解决柔性制造单元中相应部件的调整配套问题。过去涉及的传感器数量比较少，目前该项目涉及视觉传感器和触觉传感器在加工过程中的配合问题。

在柏林的 IPA 规模宏大，研究项目也多，主要研究控制器、建模和自适应传感器控制。控制器主要是为 Kuka 公司研究设计控制器，这类控制器也被 Daimler—Benz (奔驰) 汽车公司用于高精度、人难以到达的点焊加工任务中。建模涉及到称作 Compac 的三维物体表面模型软件包的编制。以传感器为基础的控制项目主要与机器人在弧焊中的应用有关，主要解决利用磁传感方式得到弧焊参数为机器人弧焊导向问题。

联邦德国在机器人研究有名望的大学是卡尔斯鲁厄、亚琛和斯图加特。卡尔斯鲁厄大学的机器人研究所共雇用 25 人，研究内容包括几个不同类型的视觉传感系统。一个便携式机器人程序编制系统和一个高精度的机器人抓取器。亚琛大学的机器人研究主要有两个方面，其一，与爱丁堡大学和英国通用电气公司 (GEC) 编制的 RAPT 语言相似的机器人语言方面的工作；其二则是模块式机器人方面研究工作，其目的是研制成由标准化的模块式部件，即可互换性的执行器和连接组件及控制执行器的软件等组成的新型机器人。这种样机已有出售。斯图加特大学则主要研究焊接和研磨操作过程中的控制方面问题。

联邦德国的工业领域主要进行机器人实际方面的研究。例如 Volkswagen 研究用国产的机器人代替进口的机器人实现特殊操作。

联邦德国的机器人研究工作中突出特点是上述三种组织 Fraunhofer, 各大学和工厂企业密切联系, 其中几所大学的教授即是 Fraunhofer 研究机构的负责人, 又同工厂保持密切联系。这就保证了联邦德国同各研究机构集中力量解决应用问题的基本方向。(23)

几点启示

综合上述, 联邦德国在机器人工业, 尤其是智能机器人的研制和应用方面在世界上处于公认的领先地位, 究其原因, 政府有正确的政策, 坚持技术进步和经济发展紧密结合, 除了历史上狠抓机器人技术的应用以外, 近年来, 及时看到第一代工业机器人应用即将饱和的状况, 通过提高机器人的技术水平来拓宽机器人的市场的道路, 实践证明是完全成功的, 避免了其他国家机器人发展中的波折。目前, 联邦德国在技术上注意抓感知系统(视觉传感器)、机器人计算机的编程问题, 新型伺服装置等措施, 在组织上加强国际合作和国内集中化的研究体制等方法值得我们认真学习。

参 考 文 献

- [1][2] 联邦德国夫朗和费生产技术自动化研究所(IPA), 1986年底公布材料。
- [3] 1987年1月联邦德国夫朗和费生产技术自动化研究所(IPA)资料, 转引自「ロボット」№56 p101-102。
- [4] Robot growth rate falters in 1986, The Industrial Robot 14(3) 149-151, 1987。
- [5][7][8][9] 何明升: 西欧三国(英国、西德、瑞典)发展和应用工业机器人的一些情况。

- [6] 《The International Robot Industry Report》中，
有关 Kuka Niko-MAG 公司介绍。
- [10] 联邦德国《明镜》周刊，1984年第26期。
- [11] 参考表 3 绘制。
- [12] The International Robot Industry Report Kuka.
- [13] The Industrial Robot 14.1987, Robot growth rate
falters in 1986.
- [14][15][16][17][18][19] Trends in Robotics Research in
the European Community.1985,ICR.
- [20] Robotics 2(1986) 45~46 "The Application of
Servo-Pneumatic Drives for Flexible Mechanical
Handling Techniques".
- [21] Robotics 2. (1986) 3-18, R. Dillmann and M.K
Huck, "A Software System for the Simulation
of Robot Based Manufacturing Processes".
- [22] 尤里卡计划及其附件。
- [23] 《机器人与柔性制造技术》，1985年P343-347。

第六章 法国的联合之路

第一节 欧洲机器人强国

一、机器人总数占欧洲第二位

从世界范围来看，机器人的发展尚处于初级阶段，但目前的发展现状已向人们展示了一个全新的美好前景。当然，能够研制、生产和利用机器人的尚属少数工业水平较高的国家，而法国便是这为数不多的国家之一。

1977年成立了法国工业机器人协会，它是由法国政府发起，得到了一些人员的无偿帮助，由三个永久性机构来经营的。协会成立后，法国机器人的研制和开发在法国政府的强有力的指导下广泛地开展起来。在近十年的时间里，法国一跃成为西欧主要拥有机器人的国家之一，据法国的《AXE ROBOTIQUE》杂志发表的“1986年机器人统计”表明，截止1986年底，法国机器人总台数为3750台（由于该杂志与国际机器人联合会的统计标准有所不同，即该杂志对于一些特定领域的机器人，如教育机器人，检测、步移式机器人不计其内，所以二者公布的数据有一定差异。据国际机器人联合会统计，截止1986年底，法国拥有机器人总台数为5273台。本章数据以《AXE ROBOTIQUE》杂志公布的为主，个别情况应用国际机器人联合会和法国工业机器人协会的统计数据）。从1986年世界主要国家机器人数量对比来看，法国机器人总数占世界第四位，居欧洲第二位。

表 G-1 各国每年的机器人安装数与总台数⁽¹⁾
(根据国际机器人联合会公布的数字)

国际机器人联合会成 员国(地区)	安 装 台 数			总台数 (1986年底)
	1984年	1985年	1986年	
澳大利亚	116*	136*	136*	800
奥地利	35	55	80	250
比利时	346	140	50	1050
中国台湾省	63	68	66	386
丹麦	38	50	46	210
芬兰	71	67	89	336
联邦德国	1800	2200	3600	12400
法国	830	1400	1123	5273
意大利	1090	1400	1000	5000
日本	20000	26000	25000	118000
荷兰	93	137	280	630
西班牙	92	168	161	854
瑞典	293	301	337	2383
瑞士	81	99	92	382
英国	870	585	475	3683
美国	5900	7000	5000	25000
(非成员国)				
新西兰	4*	14*	15*	42
波兰	60°	60*	60°	380
总数	30282	39880	37666	177056

* 过去三年的平均值 + 过去二年的平均值 ° 过去四年的平均值

二、大部分机器人是国产的

从目前来看,法国不仅在机器人拥有量上占居世界前列,而且在机器人应用水平和应用范围上达到了世界先进水平,个别场合还超过了日本。汽车产业是法国机器人的最大用户,大约占有

法国机器人总台数的40.9%。汽车产业的机器人中 77.6% 是国产机器人，这主要是由于集团内部自给导致的，同时投资循环也引起了机器人的大量安装。但从市场来看，尽管规模很大但并不稳定。机械制造业是法国机器人的第二大用户，它占有法国机器人总台数的23.9%。从目前发展状况来看，这两大行业机器人占有率正趋下降的趋势，而塑料和电器部门尽管规模较小，机器人的占有率仅有9%和2%，但其机器人的应用数量却在不断增加。塑料产业部门的机器人主要是机械手和搬运机器人，它是国内厂家适应各个用户的特殊需要而携同开发的一个应用领域。家用电器部门从目前来看其安装事例还比较少，但已在应用组装机器人方面初步获得成功，其发展前景是十分乐观的。

表 6-2 按产业、部门分类的法国机器人数量〔2〕

产业、部门	1985年		1986年		
	安装台数	拥有%	安装台数	拥有台数	拥有%
汽 车	386	43	403	1533	40.9
机 械	169	23.5	256	896	23.9
型 料	121	8	114	337	9
电子技术	38	3.5	23	114	3
金 属	16	4.5	15	138	3.7
农产食品	2	2	28	87	2.3
航 空	9	1	15	41	1.1
家用电器	14	2	18	78	2
研 究 所	21	4	51	146	3.9
电 子	67	4.5	70	191	5.1
其 它	30	4	91	189	5.1
总 计	873	100	1074	3750	100

三、主要应用在焊接、包装和组装部门

如果从应用的分类情况看，以下三种机器人约占法国机器人总数的90%以上。

- 焊接（弧焊/点焊）机器人：40.8%
- 包装、搬运机器人：33.1%
- 组装机器人：13.3%

目前占绝大多数的焊接机器人，1986年安装台数为100台稍多一点，与机器人总的增长速度相比，焊接机器人的发展速度比较慢。这主要由于做为最大用户的汽车产业大企业的机器人需求已趋饱和；这样点焊机器人的应用数量便明显减少，而适于中小企业应用的弧焊机器人尽管还有较大的市场潜力，但尚未得到广泛的开发。以农产食品、塑料和金属产业为应用对象的搬运、包装机器人数量在不断增加，可以说它代表了今后机器人用途的一个方向。以电气、电子工程和机械产业为主要用户，且在一些研究所也得以安装的组装机器人的数量明显增长，它已从1983年的占总数的6.7%上升到1986年的13.3%，而且，组装自动化作为“尤里卡计划”的一个项目——FAMOS（FLEXIVLE AUTOMATED ASSMBLY SYSTEM，柔性自动组装系统），是由西德、法国和英国共同进行研制的一个课题。可见，组装机器人做为智能机器人的一个分支，今后将会成为法国机器人研制和开发的主要方面之一。

目前，法国大约有50家机器人制造公司和23个机器人研究中心，它们成为法国机器人研制和开发的主要力量。

表 6-3 法国在1985年至1986年机器人各种应用的分类情况^[3]

工艺类别	安 装 台 数		总台数
	1985年	1986年	
点 焊	210	140	1050
弧 焊	130	132	608
喷 漆	42	39	287
机械加工	50	22	127
装 卸	510	526	1956
装 配	150	168	620
检 验	10	17	54
训练、研究	180	32	282
粘 结	10	39	63
其 它	108	8	226
总 数	1400	1123	5273

表 6-4 法国主要的机器人制造公司(4)

公 司	子 公 司	主要产品	合作公司
阿克马机器人公司	雷诺自动化公司	机器人	东芝公司
阿富马机器人公司	莱瓦索梅和遥控机械公司	机器人	Dainichi Kiko
AID 公司		机器人机	公司
AKR 公司		械设备	IBM公司
阿尔波拉公司	梅林盖兰和阿利贝特公司	机器人	
柯迈西公司		机器人	Shin Meiwa公司
加马工程公司	SGN公司	机器人	GMF公司
纽马特公司		机器人	雅马哈公司
莎富马克公司	SAF 公司	机器人	大阪变压器公司
施密公司	通用电气/大西洋阿尔逊公司	机器人	阿德特技术公司
塞依自动化公司	雷诺自动化公司	机械设备	丰田公司
赛普罗公司		机器人	机器人公司
索尔梅公司	马特拉自动化公司	机 人	邦特尔公司

第二节 政府统帅下的联合之路

近几年来，由于法国工业在总体上发展较快，加上原有的较强的工业基础，因此机器人的制造及应用也相应得到了发展。然而，我们更应该看到，造就法国机器人顺利发展的原因是与法国机器人研制和开发的特点紧密相关的。

一、政府发挥统帅作用

法国机器人研制和开发的特点之一便是通过实施政府大力支持的研究计划，建立一个完整的科学技术体系。为此，由政府发起组织的一些研究项目往往是基础研究方面的，而工业界支持开展的多是应用和开发方面的工作。

法国从事机器人研究工作的机构主要分为三类：① 附属于政

府机构的研究实验室；②工业领域设置的研究机构；③大学中附设的研究实验室。政府每年投资一亿多美元用于机器人的研制，这批资金多是通过政府机构而流向这三类研究机构中。而工业部门的投资则主要是供设置于工业领域内的机器人研究机构使用，也有一部分用于大学附设的研究机构中。虽然这种资金构成与美国相似，但也有两点明显差异：①因为法国工业界期望从大学得到的是成品，而不只是新的计划和设计，故法国工业界和大学的合作较之美国要少得多；②法国很重视附属于政府机构的机器人实验室所开展的研究工作。法国政府中的法国国家科学研究委员会（CNRS）下设有几个以机器人研制为主的研究机构，如设在巴黎的法国计算机科学与控制技术研究所（INRIA）；设在突鲁兹市的计算机科学与系统分析研究实验室（LAAS）和设在格罗诺堡市的格罗诺堡计算机科学与应用数学研究实验室。除此之外，还有其他的附属于政府机构的研究实验室，如附属于国家原子能委员会的一个机器人研究机构和设在马赛市的国家机器人研究实验室等。这些研究机构构成法国机器人研制的主导力量。

法国工业领域所开展的机器人研制和开发工作大部分是有关汽车制造工业方面的。而汽车制造工业中开展工作最多的又是雷诺汽车公司（Renault）。雷诺公司曾为本公司采用的汽车装配生产线制造过机器人，而且目前该公司仍为汽车工业的其他厂家提供机器人和控制器，雷诺公司在机器人研制方面的突出特点便是密切地与政府附设的研究机构——法国计算机科学与控制技术研究所进行广泛的技术协作。在各大学中，从事机器人研究最有影响而且开展工作较多的是 Compiegne 工业大学和 Lille 大学。下表列出了法国机器人领域主要开展的研究与开发工作及相应的研究机构。

续表

表 6-5 法国在机器人研究和开发中主要开展的研究工作和研究机构^[5]

	研 究 机 构	主要的研究工作
大 学	• Compiègne工业大学	• 实时视觉传感信息处理, 几何学数据库设计及系统组合
	• Lille大学	• 基础研究中的一些问题
政府研究	• LIMSI	• 组装中的操纵控制, 视觉检验和加工单元组合
部门附设的机构	• INRIA	• 物体的识别和感知, 组装和检验中采用的激光照明系统, 三维视觉传感, 障碍避让
政府部门附设的研究机构	• LAAS	• 传感器和传感数据处理, 系统组合, 组装中的控制问题, 物体的识别和感知, 可行走机器人
	• IMAG	• 机器人的程序化加工工具, 采用高级语言(LM)的自动化组装, 采用专家系统的加工过程规划, 采用激光的灰阶三维视觉传感显示
	• CGA	• 核电站等核设施的检查中机器人的应用
	• LAM	• 操纵器的建模与控制, 简单的视觉传感, 多个机器人的协调应用
	• DERA	• 控制系统, 柔性自动化, 空间技术中采用的机器人
	• 国家机器人研究实验室	• 各种应用研究中的问题
工业领域附设机构	• Renault	• 用于检验的工业机器人的视觉传感研究, 控制器, 加工过程规划
	• MATRA	• 快速视觉传感信息处理模块, 组装用机器人

从上表可见，法国在机器人研究方面所作的努力，其目的就是要建立一个稳固的基础研究体系。这些基础研究工作的开展是在法国政府的大力支持下进行的，它为整个法国加工制造技术水平的提高奠定了坚实的基础。

法国政府，主要是法国国家科学研究委员会不仅负责机器人研究的筹集、分配等工作，它还负责从事计划的制订、执行等方面的工作。“尤里卡计划”的制订和实施即是如此。

二、注重基础研究和专业人员的培训

法国在机器人研制方面，有重视基础研究的传统，法国政府所附设的机器人研究实验室和法国的大学主要从事机器人基础研究工作，如从事机器人研究最有影响的 Compiègne 工业大学和 Lille 大学即是如此，前者主要开展实时视觉传感信息处理、几何学数据库设计及系统组合研究工作；后者也主要从事基础研究中的一些问题。正由于注重基础研究，因此法国机器人研究工作达到了较高的水平，特别是在机器人视觉、移动式机器人、机器人控制、依从控制等方面处于领先地位。

法国不仅重视机器人的基础研究，而且注重从事机器人研究和开发工作的专业人员的培训。法国政府在 1983 年至 1985 年的三年中，曾投资 35000 万美元，一方面用于机器人的研究开发费用；另一方面就是用于机器人专家的培训。对机器人专业人员的培训，成为迅速提高机器人发展水平的一个重要因素。在法国，几乎所有的大学都设有机器人学系，机器人学成为象计算机科学那样普及的一门课程。这样做的目的就在于开发机器人的新领域和增强机器人研究中后备队伍的力量；以促进机器人技术的提高和机器人专家队伍的形成。

由此可见，法国与其它欧洲国家相比，在机器人教育问题上一直处于领先地位。目前，在法国，工作在机器人产业中的研究人员近 500 名，他们广泛地分布于大学、研究所及企业中。

表 6-6

欧洲九国机器人教育现状⁽⁶⁾

国 家	大 学	中 专	研 究 所	私人企业
奥 地 利	3	有些	5	
比 利 时	3		9	1
丹 麦	3		3	
法 国	39	4		
英 国	26			
挪 威	2			2
瑞 典	4		1	2
西 德	4		1	
芬 兰	2		4	10

法国对基础研究的注重，有力地推动了机器人研究水平的不断提高。但由于法国的大学及一些独立性研究课题过于偏重基础研究，一些机器人研究人员依据个人条件和兴趣选择研究方向和研究课题，有时造成与当前开发机器人的关键所在相悖，也许这正是法国的大学与工业界较少合作的主要原因，随之便产生了基础研究与实际需求相脱节的问题。

在有了这样的经验教训之后，法国政府在执行 Esprit 计划及尤里卡计划时，均明确以工业部门为第一主持部门，而且一开始就以市场需求来制订中、长期计划，并根据这些需求来进行概念设计及确定研究课题，例如，移动式机器人中的通信、耐高温等等。这种面向产品制订发展战略的措施的实行，增强了大学等研究机构和工业界合作的可能性，使基础研究立足于实际需求之上，加快了机器人总体研究和开发的步伐。

三、注重国际合作和技术交流

法国在机器人研究和开发问题上，走联合之路，即注重国际间，特别是与欧洲国家的合作和交流，以此达到取长补短、为己所用之目的。例如已公布的尤里卡计划的合作项目中涉及机器人的研制项目共 9 项，即：①纺织机器人；②先进移动式机器人；

③大力士机器人；④远距离监视用的机器人的开发、工业化生产及销售；⑤新的与机器人技术有关的钻探系统；⑥柑桔收获和处理的机器人；⑦用于水下作业、监测和执行远距离自主任务的高级水下机器人；⑧运用二氧化碳激光机器人和钇铝石榴石激光机器人技术的柔性激光车间；⑨研制服装裁剪机器人。在这9项中，除用于水下作业、监测和执行远距离自主任务的高级水下机器人研制项目外，其余项目的参加者均有法国。法国政府认为，研制和开发机器人，特别是智能机器人，从技术要求上看，不仅关系到运用人工智能，而且还关系到运用传感器、激励器、操纵、运转等方面的复杂技术；从应用领域上看，涉及到诸如农业、海洋、核工业、采矿业及援救操作、植物处理、公共安全等诸多领域。这就需要进行大量的研究。为此有必要进行欧洲范围内乃至国际间的技术合作，特别是在开拓广阔的世界市场时，则更需要广泛的协作和交流。

法国在参与机器人国际合作上，不惜投资，以期通过技术交流提高技术水平，最终在国际经济技术竞争的形势下争得一个有力地位。

四、注重计划性

法国在研制和开发机器人方面，一直注意排除盲目性，统筹兼顾，做好切实可行的计划安排。法国制订机器人研制和开发的计划是以政府为核心，协调各部门、组织、企业等方面来进行的，如关系到生产性和非生产性机器人的“生产技术计划”的制订即是如此。法国科学技术部、贸易工业部、农业、海洋、国防等专门化的部门共同进行了“生产技术计划”的总体制订，并且一些机构和组织如 DIELI、DIMME、ADI、ANVAR、CESTA等以及一些公共组织和私有的或国有的企业集团也参与了这一总体研究计划。

研制和开发机器人的不同计划是针对特定的研究领域和不同

的需求来制订的。如曾制订了面向社会经济的AMES计划、面向科学技术的ARA计划、目的在于应用的流动机器人的RAM计划以及用于公共安全的高级机器人AMR计划等。每一个总体计划制订后，又分诸项从属计划，如ARA计划就包括四项从属计划：①先进遥控操作；②控制器设计及技术；③一般机器人；④易操纵的加工制造技术。这样就既做到了统筹兼顾，又做到了分工负责，有利地促进了计划的实施和开展。同时，在计划执行时又拟分诸阶段来进行，这样既有利于总体评估，又可以及时总结经验教训，保证计划的顺利实现。如AMR计划主要是研制在有害、不安全、人无法进入或对人不舒适的环境下进行有关公共安全的监视及救灾用的机器人。这一计划拟分三个阶段来进行，第一阶段相当于概念设计阶段，包括任务分析、确定系统功能、进行系统的概念设计及确定子系统、制订有关领域的预研计划；第二阶段设计阶段，包括系统、子系统的详细设计、确定研究计划、仿真及模型制作。第三阶段制造、组装、测试试用阶段。正由于法国注重机器人发展的计划性，实施计划的阶段性，从而求得机器人发展战略的稳定实现，成为机器人发展顺利进行的一个有利因素。

法国机器人的研制和开发能够在起步较晚的情况下奋起直追，在较短的时间内赶上世界先进水平，追溯这一原因不能不说亦曾得益于上述几个方面。

第三节 中小企业用户增长

一、安装总数明显下降

1986年法国机器人安装台数与1984年、1985年相比，其增长率呈下降趋势已较明显地表露出来，在其主要用户的汽车产业中安装的机器人也仅仅增加了5%而已。机器人安装速度下降，这主要源于下面几个原因：

首先，从技术上看，已开发出的工业机器人技术水平日趋成熟，但其功能有限，且其原有的应用领域已基本得到满足，这就急需开发能够从事更多作业、更灵巧的智能机器人以弥补工业机器人之不足，而智能机器人的技术开发尚需一段过程，从而造成了总体的机器人安装台数的下降。

其次，从市场需求来看，原有的机器人应用大户如汽车产业和机械制造业的需求已日趋饱和，这就需要不断开拓机器人应用的新领域。而开拓新领域则必须提高机器人的技术水准或增加机器人的作业功能，这也不是一朝一夕可以完成之事。可见，机器人的技术水准满足不了市场需求的变化，是造成市场需求的相对下降，造成机器人安装台数的绝对减少的重要原因。

再次，从人们的观念上看，机器人的广泛应用促成人们观念的变化。过去那种认为机器人的普及会给产业带来竞争力的新武器的神话已经不再为人所信，机器人已被人们放在与其他生产设备相同的地位上，无形之中也减小了人们对机器人研制和开发的重视程度。

二、力求实现机器人的智能化和开拓新领域

鉴于上述原因，造成了法国机器人安装速度的下降，这就有必要采取积极的对策以求得法国的机器人顺利发展。

首先在技术上，力主实现机器人的智能化。

迄今为止，机器人已经发展到了第三代。我们知道，从事焊接、喷漆和上下料等大量重复作业的，叫做第一代机器人；具有感知功能，可在轨道上活动，并能做组装之类较为复杂工作的，叫做第二代机器人；在第二代机器人的基础上，且具有判断思考和处理问题等功能的，叫做第三代机器人。从第二代起属于智能机器人类型。从法国来看，占现有机器人总数的大部分仍为焊接、喷漆等第一代机器人，它们做为较早发展起来的机器人，技术水平基本成熟，且市场需求亦趋饱和，因此可以说，实现第一

代机器人向第二代、第三代机器人的过渡已势在必行。这一点也可以从按用途、产业部门分类的法国机器人需求动向中得到反映。即：

- 增长部门：搬运（全部部门、尤其是塑料产业）
 组装（汽车、电器、机械产业）
- 徘徊部门：弧焊（汽车产业）
- 减少部门：喷漆、点焊

而实现第一代机器人向第二代、第三代机器人的过渡关键在于实现机器人的智能化。法国的机器人研制机构、部门及企业、集团已认识到这一点，因此，他们把机器人的发展方向面向智能机器人，通过智能机器人的研制来提高机器人的技术水平，从而减缓机器人安装台数的下降趋势。例如用于开发公共安全的监视及救灾用的机器人 AMR 计划，在其实实施的第一阶段所选定的研制方案便是属于高级智能机器人—AMR 系统，它由两台机器人即 AMR—1、AMR—2 及移动监控站组成。

AMR—1 为一野外快速巡逻机器人，活动范围为 30 公里，主要任务是运送 AMR—2 及监测，采用自治式控制，装有视觉及大量传感器以及高速平行计算机，来保证快速完成任务的能力。AMR—1 可以装机械手及各种工具。

AMR—2 是一种能在复杂堆积物地方爬行的机器人，采用四对可摆动双轮机构，长距离的移动由 AMR—1 来运载，体积大致限于 0.8 米³，重量 1000 磅，为了能在高温气流下工作，带有冷却子系统。AMR—2 的机载系列具有下列功能：①通用数据管理（安全、监控、通信）；②传感器信息的采集；③三维视觉信息处理，采用立体视觉及运动分析相结合的办法；④多传感器信息的综合处理（视觉、激光、测距、陀螺、超声等等）；⑤行走控制（姿态控制）；⑥机械手及其他装备的数据管理；⑦基于知识为基础的高级决策制订的多级控制等。AMR—2 由监测站遥控或自治式控制，自治式控制优先用于先进通信或无法通信的场合。

AMR—2 装备灵巧的轻型手（抓重10公斤），这些手能装下列工具及设备：气体检测器、放射性监视器、破门工具、灭火装备、水枪、监视及观察设备等。

AMR—1 和 AMR—2 联合使用，要求 AMR—1 的机械手能搬运 AMR—2，相当于起吊设备，AMR—1 能运载 AMR—2，并作为 AMR—2 的通信中继站。

AMR 系统虽然在技术水平上处于领先地位，但目前也不过是处于研制初期，还存在着一系列有待解决的技术难题。

从法国智能机器人的实验室研究来看，其重点仍在机器人视觉、回避障碍及导航与路径规划等方面。近两年在三维场景分析方面取得了较大进展，目前已能较快的提取一幅复杂场景的所存边缘深度信息，根据这些信息重构景物的工作也取得了较好的进展，这样有可能进一步利用 CAD 立体造型技术、旋转变换匹配技术，进一步研究有限目标识别。在回避障碍及路径规划中，引进了 CAD 中消隐线技术，并取得了新的进展。机构方面，除高速直接驱动外，还研制成由六个伸缩汽缸组成的平联型手。由此可见，法国在智能机器人的研制和开发方面已经取得了可喜的进展，但这毕竟是机器人发展的一个新阶段，所以从技术开发、技术实现到技术应用还需要经历一段过程，暂时还不能有力地推动法国机器人工业的迅速发展，因此，当前法国高级机器人的发展虽然不能说处于低潮阶段，但可以说处于又一次高潮的前夜，因为智能机器人毕竟已成为机器人发展的客观趋势，它的中兴将为法国机器人的发展开拓出一条复兴之路。

其次，在应用上，着力开发应用机器人的新领域。

机器人的推广应用程度是与其技术性能紧密相关的。前已叙及，在法国应用于汽车产业中的焊接、喷漆机器人在性能上已发挥至尽，在数量上也已基本满足市场需求，导致汽车产业对机器人的定货下降，致使机器人的总定货数也呈减小趋势。与此同时，随着一些产业新技术的开发及一些新兴产业的兴起，又为机

机器人的应用开拓了新的市场。如随着塑料零部件的增加，适用于该领域的机器人安装台数逐年上升。而第三产业的兴起则又为适用于服务及管理部門的非生产制造性机器人提供了用武之地。因此，机器人的开发应面向市场需求，根据需求动向确定、研制和提高机器人的性能和功用，这样才能打开机器人的市场销路，发挥机器人的经济效益，并最终满足市场的新需求。

三、中小企业对机器人的需求在持续增长

自 1983 年以来，法国大企业的机器人安装台数虽然稍有减少，但就业人员在 1000 人以下的中小企业对机器人的安装需求却由 1983 年的 18% 增加到 1986 年的 25%，机器人的安装台数也呈稳定增长的趋势。

表 6-7 按用户规模分类来看机器人普及状况^[7]

(1) 按企业规模分类机器人拥有率 (单位: %)

用户规模 (就业人员数)	1984年	1985年	1986年
1000人以上	77	77.3	75
300~1000人	14	13.4	13.9
50~300人	6	6.8	8
50人以下	3	2.5	3.1

(2) 按企业规模来看机器人年度安装率 (单位: %)

用户规模 (就业人员数)	1984年	1985年	1986年
1000人以上	66	77.3	70.3
300~1000人	23.5	11.5	14.4
50~300人	8	8.8	10.7
50人以下	2.5	2.2	4.6

由上表可见，虽然中小企业机器人安装率提高不甚快，但机器人应用数量逐年上升却是一个不容忽视的事实。当然这是与安装机器人给中小企业带来的经济效益直接相关的。如已经应用了

弧焊机器人的中小企业，由于收到了销售额增加、新顾客增多等实际效果，往往会继续安装第二台、第三台机器人，从而促成机器人安装率的上升。

然而，安装机器人需要进行大批量的投资，这对于资本不甚雄厚的中小企业来说还存在一定的困难。因此，要持续增加中小企业的机器人安装台数，一方面，应该在提高机器人技术性能的前提下，力争降低成本，并在融资制度方面提供优惠，以切实保障中小企业的经济利益；另一方面，推广中小企业可以通用的泛用化机器人。

表 6-8 按成本分类的机器人安装状况(单位：%)⁽⁹⁾

机器人成本	1984年	1985年	1986年
20万法郎以下	2	3	3
20~35万法郎	12	17	17
35~50万法郎	42	36	36
50万法郎以上	44	44	44

表 6-9 按动作形态分类的机器人需求状况(单位：%)⁽⁸⁾

类 型	1984年	1985年	1986年
极坐标机器人	70	71	68
圆柱坐案机器人	15	14	16
直角坐标机器人	15	15	16

总之，面对中小企业机器人安装率持续上升的趋势，机器人研制部门、机构在满足大企业机器人的需求外，注重针对中小企业机器人的性能要求开发新产品，同时政府部门在制订和实施有关机器人的诸项政策时，切实保障机器人中小用户的合法经济利益，从而为中小用户应用机器人开辟一条切实可行的途径，也为机器人的应用打开一个广阔的市场。

参 考 文 献

- [1][3][4] 《机器人情报》，1988年第1期。
- [2][7][8][9] 「ロボット」，总第59期（1987年）。
- [5] 《第十七届国际工业机器人年会论文集》。
- [6] 蒋新松，《国家科委“智能机器人”赴法考察团汇报》。

第七章 英国机器人发展的艰难历程

第一节 理论与实践的巨大反差

一、历史久远，理论水平较高

早在60年代初期，爱丁堡大学就已经建立了机器人和人工智能研究实验室。70年代初期，该大学的科技人员曾对第二代机器人的研究做了很出色的工作，研制出机器人的视觉系统、装配机器人的手臂和灵巧的进给系统。1970年英国科学家出席了在芝加哥召开的只有美国和英国参加的第一届国际工业机器人讨论会。这说明英国对机器人研究的理论水平较高，处于世界领先地位。

二、实际应用处于大国之末

我们从国际机器人联合会的统计表中可以看出，截止到1986年底，英国拥有机器人总台数为3683台（参见表7-1）⁽¹⁾。

表 7-1 各国每年的机器人安装台数与总台数

国 家	当 年 安 装 台 数			总 台 数 (1986年底)
	1984	1985	1986	
日本	20000	26000	25000	118000
美国	5000	7000	5000	25000
联邦德国	1800	2200	3600	12400
法国	830	1400	1123	5273
意大利	1090	1400	1000	5000
英国	870	585	475	3683
瑞典	293	301	337	2383
比利时	346	140	50	1050
西班牙	92	168	161	854
澳大利亚	116*	136*	136*	800

(注：*为过去三年的平均值，+为过去两年的平均值)

分析对比英国机器人的拥有量，可以得出两个方面的结论，一方面就世界范围（不包括苏联）来看，其拥有量居世界第六位，可以称得上机器人大国；另一方面就世界发达国家范围即美、英、法、德和苏联相比较而言，拥有台数和按万名工人平均拥有量均在第七位（参见表7-2）〔1〕

表 7-2 主要国家每万名工人安装机器人台数比较

国 别	平均台数/万人
日 本	78.1
瑞 典	38.7
联 邦 德 国	14.4
法 国	14.2
美 国	12.4
意 大 利	10.2
苏 联	10
英 国	5.9

也就是说，英国拥有机器人总台数和机器人密度均排在几个主要发达国家的最末位。人所共知，英国是一个老牌资本主义国家，科学技术一向比较先进，为什么在发展机器人技术方面却落在其他发达国家之后呢？其中确有许多耐人寻味的经验教训值得吸取。

三、应用范围广泛，自成系统

据英国机器人协会的统计，到1984年年底，英国工业机器人在机器制造业的各工种中的应用是相当广泛的，应用顺序按台数计算：点焊471台、注塑造型412台、弧焊341台、机器加料213台等等（详见图7-1）〔2〕。除制造业外，在塑料、橡胶行业也有一定程度的应用（参见图7-2）〔2〕。

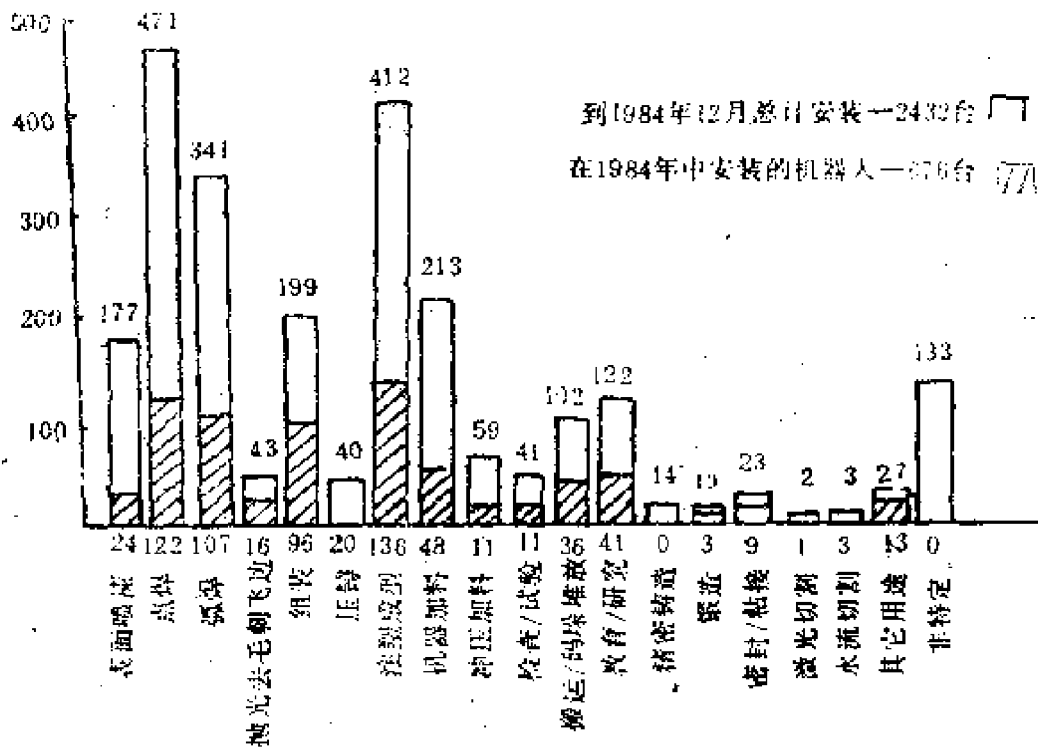


图 7-1 英国机器人用途分析

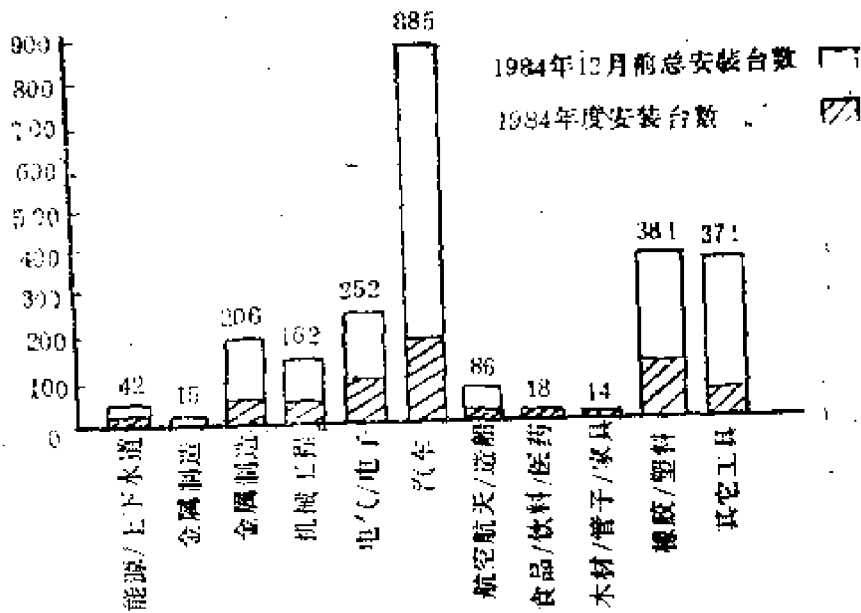


图 7-2 英国机器人工业分析

在英国机器人的应用具有两个突出特点。第一，基本上形成了生产、销售、咨询的系统网络。机器人生产厂家 (Manufacturers) 的任务是生产基本机器人。这个过程包括制造和组装零件，即把基本的和特殊的零件组装为一个完整单元。机器人系统销售商 (robotics systems suppliers)，负责建立完整的机器人系统，他们往往是从外面购进基础机器人然后再配以自己生产的特殊用途专用设备。机器人代理商 (robot distributors) 的作用相当于经销代理人，他们的任务只是装卸产品或验收，必要时进行最大的大件组装。另外良好的咨询服务也对机器人的销售产生了有力的影响。表 3 为中西部郡生产、经销与咨询的主要公司⁽³⁾。第二，能够相对独立地提供机器人用特殊元件，如控制系统、视觉系统、抓握器件以及发电机、伺服系统、电子元件等。中西部郡主要有 14 个公司从事不同类型的机器人的生产和组装。

表 7-3 地区性销售商与咨询机构

<u>生产厂家</u>	Marwin (Bosch)
British Federal	Norman Butter (Osaka TC)
Concentric Prodn.	Thompson & Komatsu
E&M	WRA (Cloos, IGM)
John Brown Autom.	<u>咨 询</u>
Press Flow	British Federal
Wevis	Concentric Prodn.
<u>代理公司</u>	N.R.Dance
Brown & Ward (Icomatic)	Haden Drysys
Graco (Graco)	John Brown Autom.
<u>系统经销商</u>	Norman Butter
Automatix	Norman Butter
Binks & Bullows (GEC)	P.E. Consulting GP.
Concentric Prodn	WRA
(Microbo, Yamaha)	

(详见表7-4) [3]。

表 7-4 机器人应用及公司概况

公司名称	公 司 概 况	机器人用途	用途鉴定 (a)
Autometix	基本机器人	检测、焊接、组装、处理	低 (b)
Binks-Bullows	涂喷漆设备	表面漆层	高 (b)
British Federal	焊接设备	焊接、处理	高
Brown & Ward	机械工具及自动组装系统	组装	低
Concentric	特殊用途机械	组装、处理	低
E&M	设计咨询	塑料喷射模铸、脱模	中等
Graco	工业完成设备	表面涂层	低
John Brown	自动/自动化组装	组装、处理	中等
Marwin	机械工具/自动化	组装、处理	中等
Norman Butters	焊接设备	弧焊	低
Pressflow	自动化	塑料喷射模铸、脱模	高
Thompson	焊接设备	弧焊	低
WRA	焊接设备	弧焊	高
Wavis	机械工具	机械工具配套服务	中等

注 (a) 用途鉴定根据安装使用数量分为三类：低：10台以下；中：10~49台；高50台以上。

(b) 适用于英国公司。

BRA根据机器人推广过程的特点和机器人应用领域而分别得出的“自上而下”和“自下而上”的中西部郡在1991年使用情况参见表7-5[3]。估计定货将达2500台，除用于汽车工业外，机械组装将占很大比重。

表 7-5 1991年中西部郡机器人使用情况估计

定 货	1991年机器人数量估计 (台)	(%)
金属 (器件) 生产	100—200	8
金属 (器件) 加工	500—700	30
机械工程	300—500	20
电器工理	100—250	9
汽车	400—600	25
其它	100—250	9
	1500—2500	100
普通用途		
焊接	400—600	25
装卸	600—900	37
表面处理	150—300	11
操作加工	100—200	8
组装	50—100	4
其它 (包括处理)	200—400	15
	1500—2500	100

第二节 政策发挥了巨大调节作用

英国机器人的发展大致划分为三个阶段：第一阶段，60年代初期至70年代末；第二阶段，70年代末至1984年；第三阶段，1985年至今。英国第一代工业机器人的应用，到1984年达到最高潮，从1985年开始，年安装台数已连续两年呈下降趋势。如前所述，机器人这种高技术是社会需求与科学技术进步到一定阶段的产物，机器人的发展也必然要求技术进步与各国的具体情况相结合。在英国，无论是社会需求方面还是技术进步方面都有值得总

结的经验教训。

一、政策失误限制了机器人技术与社会需求的结合

英国机器人发展的第一阶段，机器人由“热”到“冷”的主要原因是由于英国政府政策上的失误。

早在60年代中期，英国与其他国家一样也出现了“机器人热”。1966年，美国 Unimation公司的 Unimate机器人和AMF公司的 Versatran 机器人首先进入英国市场。英国有两家大机械公司同美国这两家公司达成协议，出售世界上最早的一批工业机器人。1967年末，两家英国公司从 Unimation和AMF 两家公司购买了特许证，将美国机器人引入英国。不久，英国 Hall Automation公司研制出第一台完整的可示教的英国机器人(RAMP)，随后，另一家公司也研究制出Versatran型机器人。

在机器人技术的理论研究方面，英国起步也是比较早的。1965年前，英国的爱丁堡大学就建立了机器人和人工智能研究实验室。70年代初，爱丁堡大学的科技人员曾对第二代机器人的研究做了很多出色的工作，研制出机器人视觉系统、装配机器人手臂和灵巧的进给系统三种重要的机器人装置。1970年，英国科学家出席了在芝加哥召开的只有英国和美国参加的第一届国际工业机器人讨论会。这说明英国机器人的理论研究处于世界领先地位。

问题的症结在于英国企业界和英国政府在政策上的失误。英国企业界对机器人采取了消极的态度。主要原因：一是唯恐引起工会的疑虑，认为厂方是利用机器人夺工人的饭碗；二是某些公司的管理人员、技术人员存在保守思想，担心自己缺乏掌握最新技术的能力。当时，英国政府对机器人也未予以充分的重视，1973年，英国政府科学研究委员会颁布了否定人工智能和机器人的Lighthill报告，对工业机器人实行了限制发展的严厉措施⁽⁴⁾。这样，“第一次机器人热”就在政府的限制和企业界的消极态度

中“冷却”了。

二、改变政策，促使机器人的发展由“冷”变“热”

1. 国际、国内形势迫使英国政府改变政策。

在英国，70年代末曾一度冷却的“机器人热”又一次在英国兴盛起来。机器人以较快的速度增长(见表7-6^[2])，到1983年，英国有203家企业使用了工业机器人，制造、研制和经销机器人的企业和研究单位近百家^[4]。

表 7-6 英国各年机器人拥有量

年 份	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
IR拥有量(台)	80	125	—	371	713	1152	1753	2623

为什么英国的机器人发展会由“冷”变“热”呢？分析其原因是国际、国内形势迫使英国政府不得不改变政策。

70年代末，英国在美、日等国家机器人发展浪潮的冲击下惊醒过来。他们看到，虽然英国和日本几乎同时从美国引进第一台机器人，但由于两国政府和企业界采取了两种截然相反的态度，结果大不相同。以汽车工业为例，日本日产汽车公司从1973年开始采用机器人，到1981年，全员劳动生产率为每人每年生产汽车46.8辆；英国 B.L公司到1980年开始采用机器人，到1983年，全员劳动生产率为每人每年生产汽车5辆，相差9倍还多。因此，英国首先认识到要改变制造技术的停滞状态，提高英国商品在国际市场上的竞争能力，非采用机器人不可。其次，英国国内极其缺乏有学位的生产技师，也促使它采取加快发展生产自动化（不限于机器人）来作为解决技术力量短缺问题的对策。第三，英国当时正处于经济衰退时期，许多公司也指望用机器人代替人工操作，以减少雇佣劳力的沉重负担。由于国际市场的激烈竞争、国内的市场需求使人们重新认识到了机器人的价值。在英国应用研究和发 展顾问委员会提出的一份政府报告中，要求英国工业必

须加速引进机器人等自动化技术，把它放在最优先的地位加以发展，否则就将逐渐地不能和具有高生产率的工业化国家竞争，甚至也不能和低工资的发展中国家竞争。1981年，英国首相撒切尔夫人明确指出：“谁如果不紧紧抓住现代化机器人技术所提供的有力契机，谁就将面临失败”〔4〕。

2. 英国政府实施了一系列支持机器人发展的政策和措施。

①广泛宣传使用机器人的重要性。其目的在于提高工人和技术人员对机器人技术的认识。1982年，举办展览会1000多次，耗资数百万英镑。据调查表明，全国有62%的人听到了有关机器人信息的宣传（82年前仅有12%）。政府在宣传中一再重复的一句话是：“要是不生产、使用和学会使用机器人、文字处理机以及电子计算机，简而言之即信息技术，英国就没有前途”〔5〕。

②政府采取一系列组织措施，成立了英国机器人协会（BRA）、工程研究会以及机器人示范中心。英国机器人协会成立于1977年4月，是机器人领域欧洲资格最老的团体，会员数约达700个公司（人）〔2〕。其目的是鼓励研制和使用机器人技术，促进有关机器人技术的信息交流，鼓励与机器人有关的科学和技术的发展。该协会是独立的非营利事业团体。工程研究会（PERA）的任务是协助一些公司、工厂安装机器人和实现咨询项目的规划；建立机器人信息库，帮助选择用于具体任务的适用机器人；召集和主持有关机器人的会议，交流应用工业机器人的经验。示范中心负责研制机器人并向广大工业界示范工业机器人的用途。

③政府在财政上实施支持政策。第一，1981年春，政府在“发明革新资助项目”中，制订了三年内拨款1000万英镑来支持工业机器人的发展计划，并提出在5年内（1981—1985年）把2000台机器人投入实际使用，政府将给予购买机器人的公司25%的补助。第二，1982年左右，制定了发展柔性加工系统的计划，决定在三年内投资6000万英镑，帮助工业界克服发展应用中的思想障

碍，承担一定的风险。英国最大的机床制造公司“600集团”在1982年建成的一条高水平FMS系统SCAMP，就是在政府给300万英镑的资助下投产的。第三，1984年，英国建立了一个新型机器人示教表演培训和研究中心。该中心拥有经过精选的机器人，并装有其他辅助设备。英国工业部为该中心提供了10万英镑的资助。

④积极促进科研单位与企业的联合。1980年，国家科学与技术委员会（SERC）制订了英国的大学在机器人领域要开展的主要研究和开发工作计划。其中一项计划的所需经费政府只提供一半，而另一半出自工业界⁽⁵⁾。政府采取这样的筹资结构促进了研究单位与工业界的合作，加快了科研成果的转化。在英国大学所开展的一些基础研究工作很少得到军界的支持；研究工作的开展在很大程度上就要依赖于工业界，而这种对工业界的依赖性又使机器人技术的研究工作主要局限在具有短期效果的、可解决实际问题中存在问题的或以应用为研究方向的范围内，而不是长期从事基础研究。因此，这就加快了机器人研究成果的应用，形成了英国机器人研究和开发工作的动力“来自机器人在加工过程应用中的需要和应用中取得的实际成效”的特点⁽⁶⁾。

3. 大力发展机器人产生了良好的经济、社会效果。

①极大地提高了经济效益。据英国工业部计算，30000英镑一台的担任塑料成型操作的机器人，6个月取得的产值就可以抵偿原有投资；用机器人管理铸模，4个月工作的总收益就等于这台机器人30000英镑的购价；60000英镑一台的焊接汽车部件的机器人，工作两年就可以收回成本。英国今后10年将拥有12000台机器人，其总投资为34500万英镑，总收益为115000万英镑，利润高达80500万英镑⁽⁷⁾。

计算机人的经济效益是十分复杂的，需要考虑的社会因素很多。国外许多经济学家都在尝试简化计算的可能性，以求简捷地评价投资效益，为决策提供依据。英国人以投资回收期为评价

指标，提出了下面的公式〔7〕：

$$P = \frac{I}{K(L - E) + q(KL - z)}$$

其中 P —— 投资回收周期（年）

I —— 采用工业机器人一次性投资总额

L —— 每一工作班每年节省的劳动开支总额

E —— 每一工作班每年机器人的维持费

z —— 机器人配套设备每年折旧费

K —— 每天工作班次

q —— 机器人的生产效率（若比人快，则 q 为正值；若比人慢，则 q 为负值）

据英国因格索公司关于机器人的报告分析，在点焊、塑料制件成型、喷漆等最佳应用领域，机器人安装费的偿还期大致为一年以下。预计英国在1990年可采用12000台机器人，每台机器人的平均价格为20000英镑。这样，即使机器人安装费的偿还期按两年计算，用户到1990年每年仍可有10000英镑的净利〔7〕。

英国航空工业公司民航制造分部的一家工厂（Prestwick te），采用机器人对具有复杂曲线的飞机外壳部件进行边缘修整加工获得了成功。采用机器人加工单元后提高了生产率，加工时间缩短了50—70%。一个典型的部件用机器人进行修边加工后，由原来用人工加工所需时间的90分钟降到5-10分钟；同时机器人加工单元加工出的部件质量高，消除了重复加工工作，减少了修边刀具的损耗〔8〕。

②对劳动就业的影响：英国政府和企业曾一度对机器人冷眼相看的一个重要原因是担心机器人会带来更严重的失业。与世界其他先进国家相比，英国的失业率的确较高（1981年，日本的失业率为2.2%，西德为5.5%，美国为7.6%，英国达11.3%）。但是，目前英国对此持乐观、积极的态度，人们并不认为英国使用机器人会增加失业。英国首相撒切尔夫人在1981年6月伦敦国

际机器人展览会上谈到机器人的重要性时特别指出，日本采用机器人数量是世界第一位，但其失业率与西方世界相比倒数第一；而英国应用的机器人最少，但失业率是西方国家最高的〔9〕。英国工业部信息技术部部长贝克向英国下议院发表的演说中也谈到，他不认为机器人会带来更多的男工和女工失业，并且指出，许多公司正是由于应用了这些自动化机械才得以维持其经营。从这个意义上来说，机器人却又保护了就业。一些经济学家也看到，英国失业的真正威胁并不是来自机器人对工人的取代，而是来自英国商品在世界市场销售额的持续下降（近15年内由20%降到8%），来自商品价格和质量在国内外市场竞争的失利。而要扭转这一局面，恰恰要采用机器人等自动化技术。〔10〕在“第八届英国机器人协会年度会议录（1985）”中提出，没有必要担心使用机器人会给就业带来什么影响，尤其是与机器人对促进经济发展所起的作用相比更是如此。对就业问题的没有根据的担心不应该成为机器人推广、使用的阻力。事实上正是机器人能够提高企业竞争能力，从而也才能保证就业的稳定和持久〔3〕。

据1985年的资料，整个英国服务于机器人（即机器人生产商、销售商、代理商、代理商）的人数为1600—1700人；英国中西部地区服务于机器人的人数为500人；英国中西部郡则有约260人直接服务于机器人（见表7-7）〔3〕。剑桥经济研究机构通过对经济衰退现象的研究，预测出1991年失业人数约为120,000人，其中只有2—10%可能是由机器人所取代的。（见表7-8）〔3〕。

表 7-7 英国和英国中西部地区机器人生产厂家和其他相应服务性机构的就业情况

	生产厂家	其他机器人系统提供厂家	咨询人员	总计
中西部郡	128	123	6	257
中西部地区	338	140	19	497
英国	730	803	135	1673

表 7-8 由于使用机器人造成的失业数值与预想数值的比较

	剑桥经济学院估计的	TPU 估计的由机器人	
	1991年失业数据	替换的数据	%
金属生产	21000	200— 1000	1— 5
金属加工	21000	1000— 3500	5—17
机械工程	12000	600— 2500	5—20
电器工程	7400	200— 1250	3—16
汽 车	48000	800— 3000	2—6
其 它	10500	200— 1250	2—11
总 计	120000	3000—12500	2—10

在资本主义制度下，始终存在着失业问题。据日刊资料：“80年代，欧美国家的失业问题可能进一步深刻化，主要是青年工人的失业将趋于严重”。这是经济和社会各方面的原因造成的，情况也很复杂^[11]。但是，可以肯定的是，机器人的采用无论是目前还是今后长时间内，都不会成为工人失业的重要原因之一。因为采用机器人后，一方面，有关机器人的研究、生产、经销、维修和操作以及咨询等领域就可以为一批人提供就业机会；另一方面，被使用机器人直接取代的人员可通过技术培训后转到其他行业重新就业。

③改变了劳动力结构，对工作人员素质提出更高要求。从统计数字来看，英国从事机器人经销活动的人员中，有很大比例是管理、技术和行政方面的人员，他们所占的比例大约为66%，而机械行业在这方面的比例则只有35%，工程方面则只占36%。机器人行业中手工劳动者也较机械行业中少（机器人行业中手工劳动者大约为18%，而机械行业中则为37%）；机器人行业的操作人员若与机械业或工程业相比较的话，就更少了（前者只有1%，后两者则分别为19%和33%）。^[3]这些数字表明，在机器人行业对工作人员的素质提出了更高的要求。英国中西部地区对培训机器人专业人员的需求量。见表7-9^[3]。

英国在使用自动化机器的过程中，较为重视工人的参与和与之共同探讨以及人员的培训问题。他们认为，重视人员的培训，第一，可以帮助工人们适应变化并减少惧怕和不利的感觉；第二，他们可以保证在自动设备安装后用已有的必要的技能立刻获得最大的效益。据一份调查资料表明，英国许多公司都认为，工人们是决定自动化规划执行成败的最基本因素。在工人参与探讨

表 7-9 中西部地区受培训机器人专业人员需求量的估计值

	目前需要的数值 (人/每台机器人)	1991年的需求数值 (人/每台机器人)	目前中西部地区总计需要数值 (人数) (340台机器人)	1991中西部地区需要的数值 (人数) (1900—2500台机器人)
机器人技术工程	0.7	0.5	238	750—1250
机器人应用工程	0.4	0.3	136	450—750
维修和操作	0.2	0.1	78	150—250
总计	1.3	0.9	442	1350—2250

和人员培训等方面做工作较多的公司，工人們的士气、生产率和适应变化等方面反应都较好；相反忽视人员培训等工作的公司则多面临着工人熟悉、适应时间长和不同意、感觉不愉快等问题，影响了应用自动化技术应该取得的经济效益^[12]。

在人员培训问题上，英国有一个重要经验就是注意保持工业要求与人员培训规模之间的恰当平衡。1984年以前，英国中西部郡有关教育和人员培训的规模是比较适度的。但是85年左右这种规模出现了明显增大的迹象。英国“技术员教育委员会”、“伦敦市政及行业协会学院”、“工程工业培训理事会”以及其他许多学院都相应开设了一些与机器操作人员培训有关的各类课程，由此将导致专业化的机器人操作人员过剩。所以，统一协调以满足各个不同层次的需要，保持培训人员之间的平衡是至关重要的。

三、市场需求和技术水平低的不相适应

英国机器人经历了70年代末至1984年的兴盛时期以后，1985年以来进入到第三阶段。在这段时间里，机器人的新安装台数一直呈现下降趋势。机器人行业的发展又一次出现低潮。主要表现是：

1. 机器人的年安装台数持续两年下降。84年，安装679台（累计2623台）；85年，安装585台（累计3208台）；86年，安装475台（累计3683台）。85年比84年度安装台数减少13.8%；86年比85年度安装减少18.8%。据英国机器人协会的分析，出现这种状况的主要原因是：第一，英国汽车工业的机器人应用进展缓慢。84年，应用197台；85年，应用151台；86年，应用110台（86年应用情况见图7-3、7-4）〔13〕。几年前曾有人预言，点焊机器人不久将达到饱和状态，这种情况在1985、1986年终于出现了。点焊机器人急剧衰落，84年安装122台，85年降到40台，86

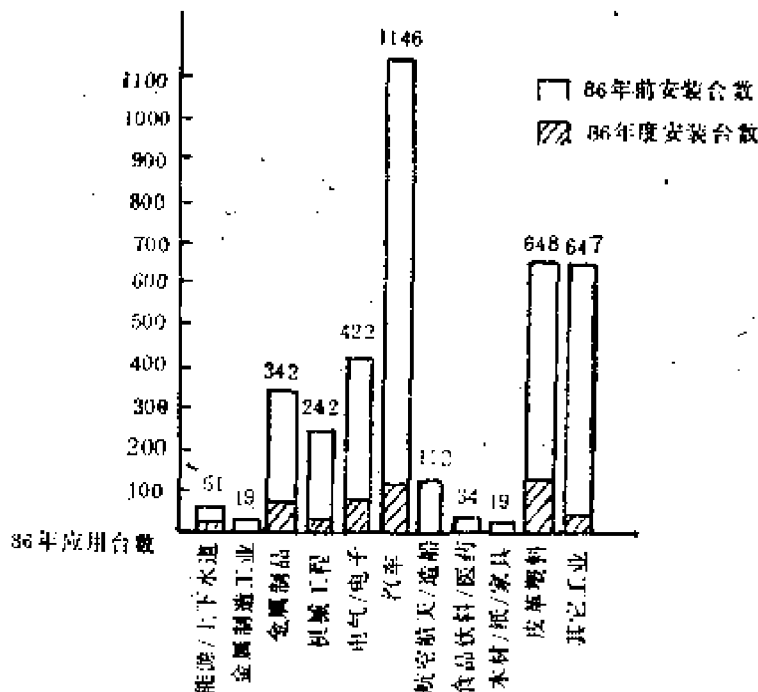


图 7-3 英国各行业机器人的应用

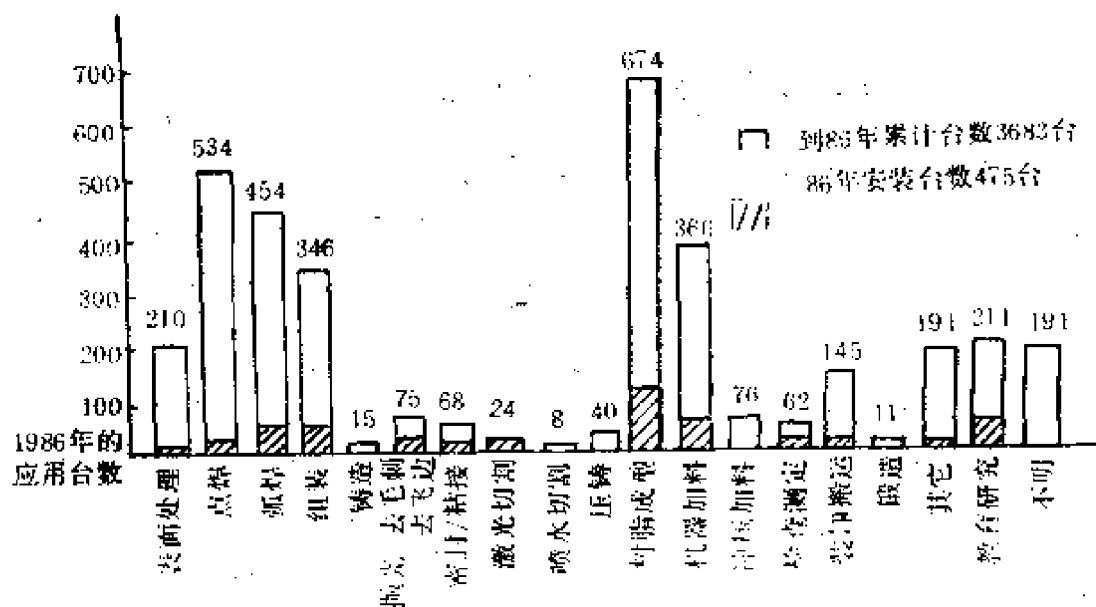


图 7-4 1986年机器人用途分析

年则下降到 24 台；弧焊机器人也明显下降，84 年安装 107 台，85 年则降到 70 台，86 年为 43 台。第二，机器人的批量应用急剧减少。10 台以上的大量应用 84 年有 4 例，总数为 133 台；而 85 年只有 3 例，总数只有 52 台。在英国工业界，只应用 1 台或 2 台机器人几乎成为一种普遍现象，这种现象在 84、85 年的两年应用中，共有 246 例（即 246 台）〔14〕。

2. 在总台数下降的同时，组装等机器人的应用仍在增加。

由于给机器人附加上视觉、触觉、移动性等特殊功能，1984 年，组装机器人增长了 93%；抛光/去毛刺、去飞边用机器人增长 60%；胶接/密封用机器人增长 65%〔2〕。1986 年，密封用机器人、抛光/去毛刺、去飞边用机器人、激光加工用机器人等应用最新高技术成果领域的机器人台数仍有所增加。

	85 年	86 年
密封用机器人	20 台	25 台
抛光/去毛刺、去飞边用机器人	9 台	23 台
激光加工用机器人	8 台	9 台

从这里不难看出，英国市场对机器人的技术水平提出了更高

的要求，要求机器人带有一定的视觉、触觉等感知功能。

3. 在机器人市场的低潮中，英国国产机器人的国内应用比例正在逐年提高。

84年：225台/679台 = 33%； 85年：206台/585台 = 35%；
86年：231台/475台 = 49%。

英国产的机器人一直采用比较简单的技术，价格也比较低^[14]。85年在英国应用的国产机器人每台平均单价是1.6万英镑，在85年应用的全部机器人的平均单价为2.2万英镑，因此，从台数来看，85年国产机器人所占的比例为35%，换算成金额，只占总销售额1460万英镑的22%。1986年英国机器人价格情况（见表7-10、图7-5）^[13]。

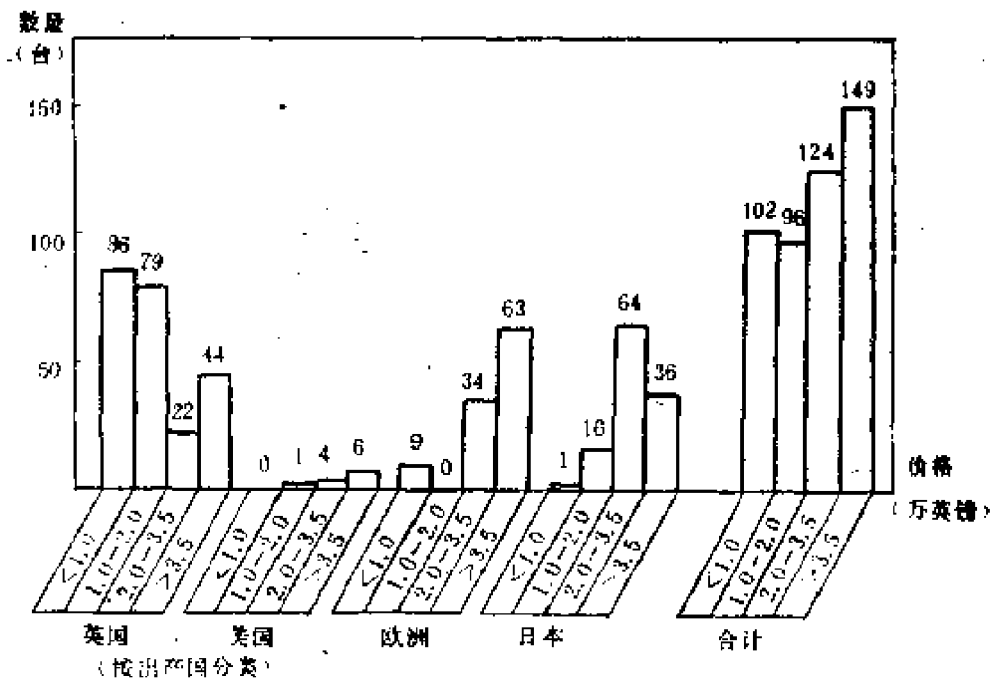


图 7-5 英国市场的价格分析 (1986年应用的部分)

英国国产机器人销售量比例上升，一方面是由于英国产的机器人采用比较简单的技术，另一方面在经济上是由于价格比较便宜。总之，整个英国社会生产已经对机器人提出了更高的要求，既物美且价廉。也正是在这种形势下，英国机器人制造厂家出现

表 7-10 1986年安装的机器人技术/价格分析

应用领域	机器人价格 (千英镑)				技术特征	
	<10	10—20	20—35	>35	非伺服机构	伺服机构
表面处理	0	0	4	13	0	17
点 焊	0	0	1	22	0	23
弧 焊	0	0	9	34	0	43
抛光/去毛刺、飞边	0	0	3	19	1	22
组 装	17	8	26	3	16	38
铸 造	0	0	0	0	0	0
密封/粘接	0	9	0	6	0	25
激光切割/焊接	0	0	5	4	0	9
水流切割	1	0	0	1	0	2
压 铸	0	0	0	0	0	0
树脂成型	72	42	7	2	116	7
机器加料	4	26	15	24	28	41
冲压加料	0	0	0	2	2	0
检查/测定	1	2	2	1	4	2
搬运/码垛堆放	0	2	8	5	4	11
热处理	0	0	1	0	1	0
其 他	2	1	4	10	2	15
教育研究	4	6	29	7	0	45
总 计	102	95	124	153	174	301

了分化的趋势。少数水平较高的厂家生产出的机器人占领了大部分国内市场，其他水平不高的厂家出现了生产萎缩的趋势。据统计，80年代初，英国仅6家机器人厂家就占领了英国市场的75%左右。到1985年，据英国机器人协会调查的62个厂家中有45个公司在85年一年中生产了不到10台机器人，85年英国15家公司提供了市场需求的80%⁽¹⁴⁾。

综上所述，可以看到英国也出现了与美、日等国相同的情况：示教再现型工业机器人市场已趋向于饱和，社会生产对机器

人技术提出了更高的要求，即进一步提高机器人的感知功能和智能水平，进一步降低造价。而在这一段时间里，英国机器人的研制和开发一时尚不能满足这种要求，因而出现了机器人发展的低潮时期。

第三节 在技术和应用范围上寻求新的突破

未来英国机器人的发展趋势表现在两个方面，即进一步提高机器人的智能水平和扩大应用范围。

一、技术上智能化

人们通常将机器人划分为三代。第一代是可编程机器人。这类机器人一般可以根据操作员所编的程序，完成一些简单的重复性操作。这一代机器人从60年代后半叶开始投入实际使用，目前在工业界已得到广泛应用。第二代是“感知机器人”，又叫做自适应机器人，它是在第一代基础上发展起来的，能够具有不同程度的“感知”周围环境的能力。70年代初，这类利用感知信息以改善机器人性能的研究开始，1982年，美国通用汽车公司为其装配线上的机器人装备了视觉系统，宣告了感知机器人的问世^[15]。这类机器人可望80年代得到广泛应用。第三代机器人将具有识别、推理、规划和学习等智能机制，它可以把感知和行动智能化结合起来，因此能在非特定的环境下作业，称之为智能机器人。目前，这类机器人处于试验研制阶段，估计90年代可以实用化。

智能机器人与工业机器人的根本区别在于，智能机器人具有感知功能与识别、判断及规划功能。感知本身，就是人类和动物所具有的低级智能。所以我们可以把机器的智能分为两个层次：①具有感觉、识别、理解和判断功能；②具有总结经验和学习的功能。因此，人们通常所说的第二代机器人可以看作是第一代智

能机器人。从世界来看，目前在工业机器人中，具有初步智能水平的机器人已经占10%左右^[16]。触觉和视觉传感做为智能机器人的两种重要传感系统，据估计它们在机器人中的应用情况如表7-11，7-12所示^[17]。

表 7-11 视觉传感器在机器人中的应用

	80年	85年	90年
全年工业平均值	1%	10%	25%
汽车工业	1	5	15
铸 造	0	5	10
重工业	0	5	10
轻工业	1	5	15
电子工业	2	12	20
航空、航天	2	15	25

表 7-12 触觉传感器在机器人中的应用

	80年	85年	90年
全年工业平均值	2%	10%	20%
汽车工业	1	8	12
铸 造	0	3	5
重工业	0	3	8
轻工业	1	6	15
电子工业	1	10	20
航空、航天	2	10	20

英国研究机构在触觉传感器、视觉传感器及机器人运动性能方面正在谋求新的突破。他们主要从事以下几方面的工作。

1. 触觉传感器。

英国最近5年在阵列触觉传感方面开展了相当广泛的研究。其中包括：由 Sussex大学和Shackleton系统驱动公司的研制人员研制的基于运动的介电电容传感的阵列；由 GEC 研究所和澳大利

亚昆士兰大学的工作人员联合生产的一种专门设计的压电材料组成的 256 点压力传感器矩阵；由威尔士大学和软件科学公司研制的采用压强技术的装在机器人夹持器上的传感器。

85 年左右又有不少方案推出，其中包括 Bruel 大学工程和管理系统系的工作，主要内容是研制出一种采用磁组技术的力滑动 (fore Slip) 传感器，设计一种采用触觉传感器的自适应夹持控制器。巴斯大学也研究机器人夹持压力传感器，它能获得夹持器表面受力模式而无需压敏元件矩阵。

2. 视觉传感。

在机器人视觉方面，目前市场上销售的有以下六类传感器：① 隔开物体的二维视觉：双态成象；② 隔开物体的二维视觉：灰度标成象；③ 触觉或透加物体的二维视觉；④ 二维观察；⑤ 二维线跟踪；⑥ 使用透视、立体、结构图示或范围找寻技术从隔开物体中提取三维信息。在这类系统方面已发表不少文章，它们只能做相当简单的操作。为了使机器人具有某种程度的人眼功能，已进行并正进行大量的研究工作，它们向另二类系统发展。① 从一维物体中提取三维信息；② 活动机器人导航、探路和躲避障碍物的现场三维分析。

目前，英国有许多单位在进行机器人视觉的研究工作。

埃塞克斯大学正在研制一种立体视觉技术，用以帮助机器人分析发生在深度维的事件。目前进行的一次研制计划是设计一种程序，检测变化的图象亮度的局部最大值并由此信息检测建筑物的轮廓。

米德尔塞克斯工业大学的研究人员正试图研制一种以二维光测距仪为基础的高速、廉价的三维机器人视觉传感器。这种实验性传感器使用 5×5 LED 矩阵，深度分辨率 5mm，深度测试范围为 20cm，处理时间一分钟。该工业大学的研究人员正在研究高频脉冲技术，以改进深度分辨和数据采集率。

伦敦大学院 (University College) 目前正在研究一种双目

视觉机器人的实时图象处理机。通常的硬件对实时高分辨率操作显得速度太低，现研制了一种采用廉价 74 肖特塞 TTL 逻辑电路组成的专用行扫描并行处理硬件。目标之一，是使用一微处理机来控制摄像机镜头光圈与焦距，实现对各类现场的自动操作。这种系统如被证明是科学和经济的，它将用于机器人从料斗中夹取随机分布的零部件。

其他正在研究机器人视觉系统的教育机构有：考文垂工业大学、爱丁堡大学、格拉斯哥大学、格温特大学；伯明翰大学则专门研究惯性传感器。惯性传感器通过测物体相对于参考系统的惯性矩来确定其坐标位置。所有这几种传感器都可以装在机器人手腕上，以告知半有序库和料盘上工件的精确位置。

另外，在许多从事传感系统开发的单位，都进行了传感反馈的研究。其中米德尔塞克斯工业大学的工作人员致力于使机器人能组织和使用来自不同类型传感器的数据。这种机器人能“看”、“感”和“听”，故更接近于人。

3. 运动性能。

机器人通常是要在周围移动物体的，为了做到这一点，采用了很多结构形式，从人们熟知的机器人臂到带轮子或脚的运载器。就是在“臂”和“运载器”这两大类中，已有许多结构在使用，此外还有大量其他的型号在研究之中。

①机器人臂。

为在空间任意点以任意方式操作一物体，机器人臂需要有 6 个自由度：左/右、前/后、上/下、投、卷和左右摆转。为降低成本和简化编程程序，许多机器人臂减少自由度，少用或不用投、卷和左右摆转。机器人的工作轨迹也能按它所用的座标系统而变化。在工业中已有使用的座标有 6 个：圆柱形、球形、笛卡尔座标、旋转座标、Scara type 和并行座标。

在国际机器人市场上圆柱体座标机器人现已有售，包括 Fanuc 的产品。Unimate 机器人系列为球形座标系统，手臂可移

进移出，绕基座转动，还可做旋转的纵向移动。笛卡尔坐标机器人由Olivetti等公司生产。生产旋转结构机器人的厂家有Unimation Puma等。Scara机器人是日本研制的，1981年投入市场。现有NEC、IBM等公司生产这种机器人。“传统”机器人的最新型式是并行座标系统，并与通常的机器人设计完全分道扬镳。这种机器人由一个挂在三对连杆上的刀具安装平台构成，改变这些连杆的长度，终端操纵机构可在6个自由度中运动。这种系统由GEC公司研制，称作Gadfly（意为GEC先进装配机器人）。

当前机器人臂的研制目标是通过现有系统的组合或利用完全不同的设计思想开发更灵活、更有适应能力的座标系统。比如伯明翰大学机械工程系已研制几年的铰接式笛卡尔座标系机器人Locoman。Locoman是一种装配机器人，最初用碳纤维材料制作，这种材料很轻且硬，但价格很高。后来该系又研制了一个较便宜的Locman，在该机器人上用控制设备来改进其刚性和精度。

伦敦大学院现正试验一种全新的手臂结构方案，这是一种曲线型座标蛇形臂机器人。这种机器人由许多直径固定的标准柔性管段组成，但其方向和曲率半径由计算机独立控制。它具有许多冗余自由度，可躲避障碍物，在核电站或双体客船等严格限定的空间中工作。

②运载器。

包括自动引导运载器（AGV）和远距操作运载器（ROV）。

AGV是一种无人驾驶的带轮运载器，能自动按事先规定的路径运行。目前随意路径运行的AGV还未获得实用，但这已是为期不远的事了，因为沃里克大学、安佩里尔学院、Brunel大学和牛津大学等在进行大力研究。有些机器人部分时间可沿埋在地下的线路行走，而另一些则利用复杂的传感和导航能力而能在仓库、工厂等环境中跨越障碍。例如，沃里克大学研制的AGV内含有一张“地图”，可以对照校验从传感器收到的数据是否正

确，都柏林三一学院为AGV研制了一种超声定界系统。

远距操作运载器（ROV）与AGV稍有不同，它一般是在操作员连续或部分控制下工作。机器人潜艇和带脚机器人都属于这类。

海底运载器目前侧重于研究“自立的”潜水船，只带很少或不带连续母船的电纜，而且将人的介入降至最低限度。在研究和开发运载器方面英国走在了前列。大多数工作是在爱丁堡的Heriot Watt大学做的。研究人员已研究出两种水下机器人，称做Angus和Rover。Rover由Angus发射出去（Angus通过通信电纜与水面联接），它能游向目标，自动摄像，然后回送到Angus，由其将信息转送到水面。

英国石油公司分公司Scicon研制的Spur是一种无人驾驶的人工智能型带手臂海底机器人，用它可“阻止”不希望的舰只进入海域。这种机器人设计十分精巧，如它不带武器的话，它可在船的螺旋桨轴上绕线而使其无法行动，而且它可自己作出行动的决策。尽管Spur相当复杂，但Scicon公司相信，只要有必要，英国有技术和能力在今后几年制造Spur机器人。

英国是最早研制独立控制、两脚行走机器人的国家。在1940年，Hutchinson与Smith制作了一60cm高的四脚模型；它可走路并能爬上一堆书。然而当时的国防部并未采用这个方案，因此研究工作不得不终止。

此后，到1960—1970年，英国的带脚机器人研究重新开始，在牛津大学的Witt与助手一起研制一种辅助下肢截瘫人员行走的机器人。这种带两条腿的机器人行走自如，后因行走太慢而遭到病人的抵制，他们宁可去坐更快更平稳的电动轮椅。

1980年，带脚机器人的研究再度在英国兴起。它似乎没有其它形式机器人那样普及，但还是有不少研究中心在研究。最有名的研究中心要数在威尔特郡的Jurassic Robots，它从事陆上或海底带脚机器人研究已经有多年的历史了。

Jurassic Robots的研究目标是开发一种相对便宜的、用途广泛的行走机器人。朴次茅斯工业大学也在研究带脚机器人。研究人员正研制一种带平行预测控制的气动六脚机器人，这种机器人使用分布式处理来解决快速行走时的系统动态问题。

二、应用范围上向非制造业渗透

以前，机器人的应用主要是在制造业，并且具有初步智能的机器人主要是装配机器人，它们都带有视觉系统，能识别零件的种类、位置和姿态，并按要求进行装配。

实际上，第一、第二产业才是智能机器人的主要用武之地。因为第一产业工作于自然坏境下，不能象第二产业那样按预先要求准备好工作条件，工作对象是自然界的物品，形状、大小往往不能保持一致。第三产业要同人密切交往，服务对象千差万别，服务要求因人而异。所以，随着智能机器人水平的不断提高，机器人将不断地在非制造行业代替人的工作。

目前，英国正在这方面进行一些探索和研究工作⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。

英国国家农业工程研究所（Silsoe）的一个主要领域是，用机器人臂自动给奶牛挤奶。在一个全自动系统中，各走进挤奶间的奶牛颈部挂有一标志其号码的发送机，以供机器人识别。配有超声传感器的机器人将挤奶器安装到奶牛乳房上，并用触觉传感器做最终调整。一旦挤完奶后，机器人移去挤奶器，打开挤奶房的门。当前遇到的麻烦是如何正确地将挤奶器安装到奶牛乳房上。他们预计在今后五年内将研制一种自动挤奶房。

伦敦 Imperial学院正在进行机器人肉类加工研究。其目的是研制一种能对熏猪肉去骨的机器人，因为该项工作很少有人愿干。

赫尔和达勒姆大学正在研制一种服务业中使用的机器人。两所大学致力于研制一种夹持器，它能一次抓起一迭衣料。赫尔的夹持器能通过一台吹风机对一迭织物局部卷波纹，然后用一非接

触夹持器抓起各迭布。而达勒姆夹持器可拉开一迭布料，并用一个滚筒头与一组钉子抓起布料。达勒姆的夹持器比赫尔的设计速度快，但只用在专门的织物上。达勒姆的研究人员承认，赫尔的夹持器可能更好。

总之，虽然英国目前机器人的发展处于低潮，“但在英国仍然可看到各种公司吸收和企业合并的动向以及相当数量的机器人厂家十分活跃”〔14〕。由于机器人技术向智能方面的发展，将会使机器人的应用领域不断扩大，从而为机器人的应用开辟更广阔的前景。可以说，英国目前是处于机器人又一高潮应用时期到来的前夜，机器人再次大显身手的高潮期已为时不远。

几 点 启 示

从英国机器人技术及其应用的发展历程中我们可以看到：

1. 英国机器人技术发展过程中所经历的种种曲折，与政府在发展机器人问题上所持的态度有直接关系。英国“第一次机器人热”之所以会“冷却”，一个很重要的原因就是政府采取了错误的限制政策，阻碍了机器人的发展。而后来机器人研制和应用的迅速发展在很大程度上又得利于政府态度的转变及一系列与之相应的措施。当然，当前这次机器人技术发展和应用的“低潮”，不是因为政府主观上不重视，而是客观上有多种原因，如社会需求提高，技术水平暂时不适应等。

2. 社会经济发展所产生的对机器人的需求与科学技术发展为满足这种需求所提供的可能，经常是矛盾的，并且矛盾双方的发展及其力量也是不平衡的。在英国机器人技术发展的初期，虽然在理论研究和技术开发上已经取得了一些成果，但是由于企业界持消极态度，所以技术成果未能充分推广应用。到了70年代，激烈的国际、国内竞争使企业界对机器人产生了浓厚的兴趣，形成了广泛的社会需求，于是英国机器人技术发展的面貌为之改观，使英国机器人技术发展跨入了一个新的时期，开始了在生产领域广

泛应用机器人及大力进行机器人研制的兴盛时期。1985年以来，英国机器人技术的发展再次呈现低潮状态。究其原因，并非社会上没有对机器人的需求，而是社会需求更加广泛（主要是非制造行业），机器人技术性能无法满足这种需求所导致的。所以从根本上来讲，目前英国机器人研制与应用的低潮与“第一次机器人热”的“冷却”恰成鲜明对照，情况截然相反。可以预料，目前这种全新的、强大的社会需求，必然会促进英国机器人技术的更进一步的发展。“以古为镜知兴替”，英国机器人技术的兴衰告诉我们：必须充分认识、深刻洞察社会需求与技术发展之间的矛盾运动，才能抓住发展机器人技术的关键，这对于发展我国的机器人技术也是至关重要的。

3. 英国目前汽车领域点焊、弧焊用机器人达到饱和、机器人市场处于低潮的社会现象表明，要拓宽机器人技术的应用领域，必须相应地提高机器人的技术水平。可以说，机器人向智能化方向发展是机器人技术发展的必然趋势。只有提高机器人的技术水平，才能使机器人的应用领域不断扩大，从而不仅在以制造业为主的第二产业中得到应用，同时也在以农业为主的第一产业以及服务业为主的第三产业中代替人从事许多繁琐的工作。

总而言之，从技术发展的历史来看，智能机器人是当代技术发展的产物，代表着当代技术的发展趋势。从社会、经济的发展来看，智能机器人适应了当代生产向更广更深的领域发展，社会需求日益多样化、个性化，要求生产系统具有更大灵活性，进行多品种小批量生产。同时，智能机器人技术与社会各方面的联系极为密切，必须深入认识和把握技术发展与社会需求的矛盾运动，才能促进智能机器人技术的顺利发展。为此，必须把发展智能机器人技术的问题提高到关系我国现代化建设进程的战略高度来进行系统的、全面的、深入的探讨。

参 考 文 献

- [1] “1986年各国机器人增长速度统计”，
《机器人情报》，1981。
- [2] “イギリスにおける产业用ロボットの现状”，
「ロボット」，No.48。
- [3] J.Fleck, B.White, K. Dickson, A Regional Study of
Robot Diffusion and Supply, Proceedings of 8th
Annual British Robot Association Conference,
1985.
- [4] 熊焰：“工业机器人产业发展比较研究报告”，1987。
- [5] 刘海波：“国外机器人技术的发展背景、模式、现状分
析及前景展望”，1984。
- [6] Robotics and Flexible Manufacturing Technolo-
gies, R&D Activities in Robotics, 1985.
- [7] 何明升：“西欧三国（英国、西德、瑞典）发展和应用
工业机器人概况”，1987。
- [8] Robotics Carves out a niche for itself at British
Aerospace, The Industrial Robot, Sep. 1987.
- [9] Robot, No.36.
- [10] American Machinist, July, 1982.
- [11] 日刊《世界经济》1982。
- [12] R. Lucas; An Analysis of Production Autom-
ation in British; the Way to Success, Proceed-
ings of the 9th Annual British Robot Association
Conference, 1985.
- [13] 「イギリスにおける产业用ロボットの现状」，
「ロボット」，No.59。
- [14] 「英国のロボット导入のテンポが鈍化」，

『ロボット』, No.52.

- [15] 沈廉, “产业机器人的发展与未来”, 《现代化》, 1987.
- [16] 陈幼松, “机器人世界”, 《现代化》, 1987.
- [17] 黄庆森, “机器人技术的进程与发展趋向” 《机器人技术》, 1985.
- [18] Electronics Power, Jan. 1987.
- [19] Keynote Paper, The Reward, Proceedings of the 8th Annual British Robot Association Conference, May. 14—17 1985.