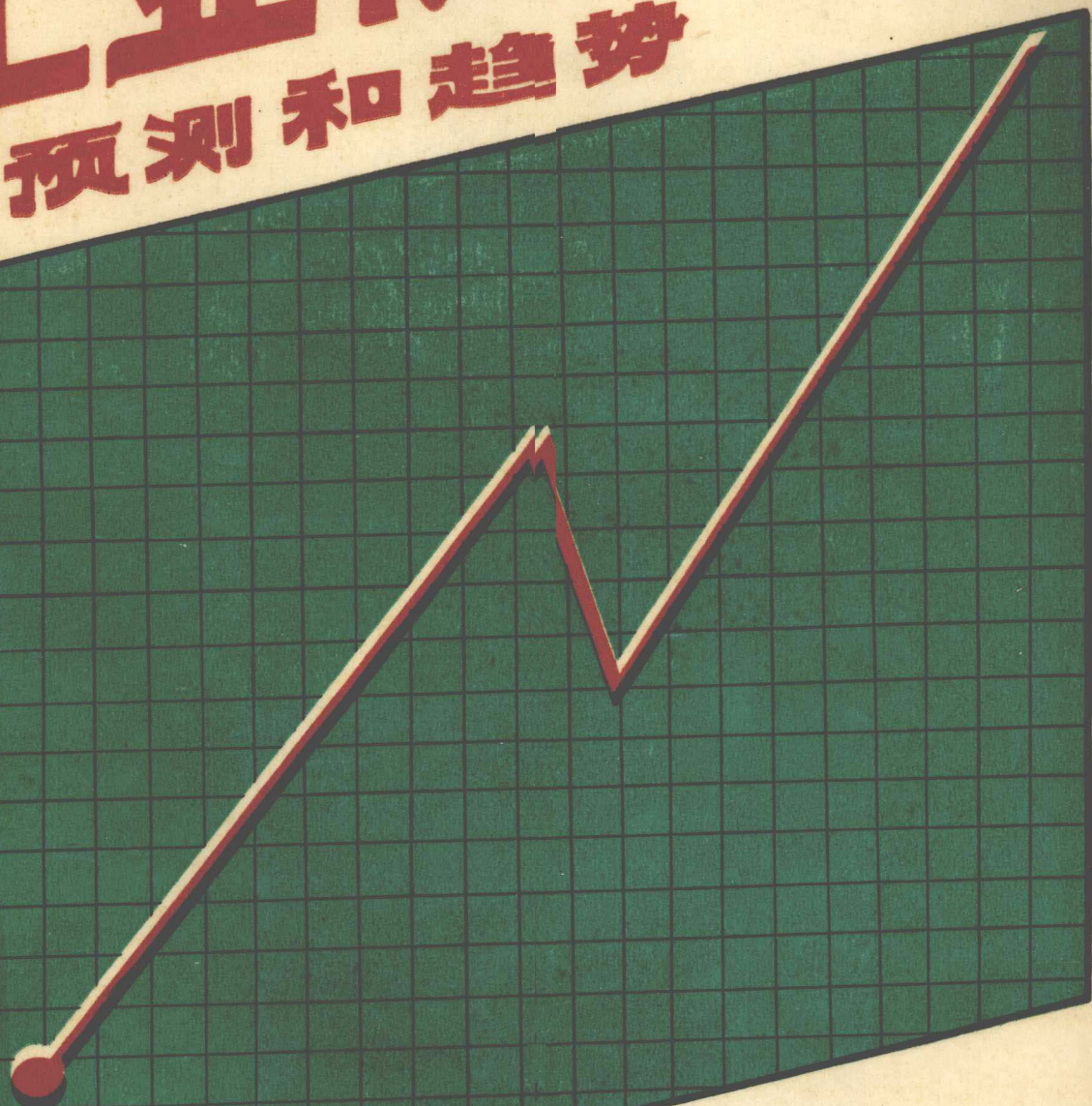


(美)制造工程师学会/密执安大学

工业机器人

—预测和趋势—



航天部科技情报研究所

航天部东方机器人公司

工业机器人

预测和趋势

德尔菲预测研究第二版

(美) 唐那德·N·史密斯 小彼得·海得拉

译者：黄雨祝、韩鸿硕、王子平

校对：王晓峨

航天部科技情报研究所
航天部东方机器人公司

Industrial Robots

Forecast and Trends

A Second Edition Delphi Study

Developed by the University of Michigan
with Cooperation from the society of Manufacturing Engineers

Authored by

Donald N. Smith

Peter Heytler, Jr

Industrial Development Division

Institute of Science and Technology

The University of Michigan

published by

Society of Manufacturing Engineers

Dearborn, Michigan

The University of Michigan

Ann Arbor, Michigan

前 言

工业机器人正在迅速成为生产车间中的手臂和眼睛。管理工作也将迅速地变成对自动化生产系统中各部分信息流实施监控和维护。机器人是这类自动化系统中的关键部分，应当受到特别的重视，有关机器人设计、性能和应用的现状和趋势是工厂自动化水平的标志。

本书是对直到1995年机器人未来发展趋势的全面预测，有些还预测到2000年。该项预测研究采用德尔菲（Delphi）预测法（见附录B），历时四年半的时间，其结果反映了从几百位预测答询者收集到的观点，这些答询者是生产或使用机器人的厂商的经理、工程师和顾问，以及分析工业发展趋向的专家。

该预测是美国制造工程师学会—SME（Society of Manufacturing Engineers）和密执安大学（The University of Michigan）于1977年发起的一系列预测之一。已经完成的预测涉及到物料传送、加工系统、装配技术和计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM），对于机器视觉的预测已在计划之中。

为了完成这个很有意义的德尔菲预测，需要很多人的合作和坚持不懈的努力。为了估计未来趋势，参与预测的人无私地奉献出很多时间和心血。作者特别要向所有的答询者致谢，他们要花几个小时的时间反复研究仔细思考他们的预测。由于德尔菲预测包括了许多不记名的答询者，作者不可能向其中每个人表示感谢。

我们还要感谢彼得·布莱克（Peter Blake）先生出色的后勤支援，以及制造工程师学会有效而可靠的工作班子。工业发展部的工作人员是值得赞扬的，戴维·J·塔克（David J. Tucker）协助数据的输入和分析，罗杰·吉尔斯（Roger Guiles）和戴维·M·皮尔（David M. Peelle）帮助准备手稿，帕特里夏·G·拉普利（Patricia G. Rapley）和阿莱达·M·托马斯（Aleda M. Thomas）协助打字。

最后对于 SME 的前任和现任常务副主席 R·威廉·泰勒（R. William Taylor）和总干事威廉·希尔蒂（William Hilty）在预测中的帮助和指导，作者将代表预测报告的使用者和作者本人致以谢意。

唐那得·N·史密斯（Donald N. Smith）

小彼得·海得拉（Peter Heytler, Jr）

目 录

第一章 序言	(1)
一、预测的历史	(1)
二、预测的过程	(1)
三、预测的表达	(2)
四、专题答询者的身份	(2)
五、预测结论概要	(4)
第二章 一般趋势	(6)
一、市场特点	(6)
二、作为CIM (计算机一体化制造系统)一部分的机器人	(10)
三、经济评价	(11)
四、机器人卖方特点	(16)
五、机器人进口与出口对比	(17)
六、政府的作用	(19)
七、机器人应用中的障碍	(20)
第三章 技术问题	(23)
一、基本设计	(23)
二、机器人的能力	(27)
三、控制系统/编程/示教	(30)
四、驱动装置	(32)
五、传感器技术	(33)
第四章 社会学问题	(37)
一、机器人对工人就业的潜在影响	(37)
二、各种产业部门中机器人取代工人的程度	(39)
三、各工种工人被机器人取代的程度	(40)
四、各种不同用途机器人取代工人的程度	(42)

五、对于工人就业的直接影响.....	(42)
六、由于机器人引进引起的就业人数的增加.....	(44)
七、教育和培训问题.....	(47)
八、工会的作用.....	(50)

附录A 德尔菲预测结果 (52)

S.M.E/密执安大学1984年机器人德尔菲预测调查表——一般趋势部分.....	(52)
S.M.E/密执安大学1984年机器人德尔菲预测调查表——技术部分.....	(92)
S.M.E/密执安大学 1984 年机器人德尔菲预测调查表——社会学部分.....	(126)

附录B 德尔菲预测方法 (163)

附录C 词汇表..... (165)

第一章 序 言

美国工业机器人在过去的10年中作为生产设备越来越普遍，按照本预测，机器人的台数和销售额在未来的10年中将继续增长。在工厂、外场和车间，可编程机械手的普及可以提高生产率，改善产品质量，它还可望刺激生产人员素质的改善和促进劳动力教育程度的提高。机器人是朝向先进的生产自动化系统发展总趋势的一个重要标志，机器人应用的不断增长充分显示了市场、技术和社会各方面的巨大变化。

本研究报告的三章分别集中在下述的主题上：总趋势（市场）、技术问题和社会学问题，附录 A 提供了详细数据和评论，还进一步分析了未来的机器人的应用前景和对美国经济的冲击。

一、预测的历史

有关工业机器人的设计、应用和社会影响的发展趋势的预测研究是在1980年，随着密执安大学和制造工程师学会所进行的一项调查开始的。1982年发表了调查研究的初步结果，报告的题目为“工业机器人市场和技术的德尔菲预测”。同时研究工作继续进行，直到1985年春完全了这项预测。

由于使用德尔菲预测法，需要几年的时间才能完成。德尔菲方法就是向同一批专家发出一系列调查表，预期经过几轮的反复提问和对答案进行提炼，将得出一致性的预测结果。每一轮新发出的调查表都向答询者提供了上一轮调查结果的统计结论，并提供了同答询者个人观点一致或相反的书面意见。德尔菲法的基本特点是全部答询者在答询过程中都是匿名参加者，最后的结果代表了从整个调查过程中提炼出来的知识精华。

二、预测的过程

按着要研究的三个主题即总趋势、技术问题、社会学问题，分成三个专题组进行预测。美国制造工程师学会的机器人技术委员会指定三组答询者参加调查，代表加工业工人的主要行业工会也向社会学预测组推荐了一些答询者，每一专题组有60至100人。

预测开始时，美国制造工程师学会会员应邀为第一轮调查表提出问题，作者得到大约200个问题，这些问题按主题分类，编制成三种表格，并寄给答询者。收到答案以后，分别输入各自的数据库。每一轮调查表可收到30至60份答询者的回答，共要进行三轮。

许多预测项目是对未来特定的发展目标提出目标期限，要求答询者预测和上述期限对应的发展水平（如：1990年美国拥有的机器人总台数，1995年销售的全部机器人中各种轴数的百分比分布，1985年美国工业部门由于安装机器人而被实际代替的工人所占百分比）。其它的预测要求答询者预测某项产业的兴起时间，或按照机器人对工业的影响对未来可供选择的对策排序。装有每个调查表的每封信中，要求答询者不要回答自己专业以外的问题，因此对每一轮调查中的二个题目作出回答可能偏离主题。

用于归纳统计每个问题调查结果的标准统计方法是中位数法（Median）和四分位差（Interquartile Range，缩写为IQR）。中位数法被采用是因为它对答案分布的极值不很敏感。四分位差是由答案分布的50%决定的，表明了数据的集中趋势，因而表达了对任何一个题目答案的一致性程度。一个较窄的四分位差表明相当好的一致性，而较宽的四分位差则意味着意见分歧较大。

三、预测的表达

为了便于研究总的预测，对调查表的回答按主题分类整理，并在每个主题范围内作比较。用来描述未来事件的句子已被修改，从调查表中所采用的询问方式改为本报告中的陈述语句。作这样的编辑修改是因为含意过份肯定无意中可能会导致对肯定预测事件的误解。为了避免这种误解，读者最好研究在附录 A 中对相关问题的准确措词，附录 A 中还收集了答询者的回答和评论，而且在本报告叙述段落中将每个问题都同对应的陈述联系起来。

在这个报告的正文中给出的预测值都是答询者回答的中位数，在表头上的字母和数字或条文同为了得到这些预测所提出的问题是一致的。当需要估价在叙述段落中所提供的数值时，应参见附录 A 中相应的问题。研究四分位差，并写出和每个问题有关的评论。这些研究将指出关于某一特定值的一致性水平或分组调查的置信度水平。

四、专题答询者的身份

参加这次预测的三分之一答询人员是管理人员，如表 1-1 所示。28%的人员是从事研究开发，计划管理和物资处理工作的工程师，还有27%的人员在答询表中未注明其工作性质，其余10%代表了其他各种职业，包括顾问、教授和经济学家。

表1-1 专题答询人员的工作性质

工作性质	%
经理/董事	34
管理工程师	28
其他（顾问、学者等）	10
不明	27
总计	100*

*由于数字的小数舍取，总数可能不是100%。

以顾主的大小而分，答询者的分布比较均匀，如表 1-2 所示。小公司包括咨询公司，及机器人另件生产厂，和机器人商行。而大公司则包括多种经营的联合体和象汽车、飞机、农业和建筑设备、消费品生产、国防武器、电器电子装置等专业公司，答询者代表了全部产业范围，如表 1-3 所示。

表 1-2 答询者代表的公司规模

雇员人数范围	%
1—499	23
500—4,999	25
5,000—20,000	18
20,000以上	23
不明	11
总计	100

表 1-3 答询者代表的工业类别

工业类别	%
汽车工业	12
电器电子设备	11
航空航天	9
研究开发业	8
国防	7
基础材料	7
计算机及相关设备	6
工业机器人	6
农业及建筑设备	4
机床	3
其它（制药、食品、通讯等）	7
总计	100

表 1-3 中的数据表明，6 % 的答询者认为他们是机器人公司，但在表 1-4 中这种回答是 17%，这个差异可以这样解释，大公司虽也生产机器人，但不是专门生产机器人的公司，当问

表 1-4 答询者所在公司机器人的生产和使用

“我们公司是：”	%
机器人用户	75
机器人制造厂	17
既不是用户也不是制造厂	8
总计	100

他们公司的性质时，他们往往只指出他们的主要产品产业性质，或有的根本没有回音。

上面介绍了填写调查表的全部答询者的身份，因此，本报告所提供的预测结果集中地反应了工业界众多行业机器人使用者的观点和期望。然而由于要求答询者不要回答他们专业以外的问题，因此答案的分布情况对每个调查项目是不同的。没有任何人在任何一轮的调查质询中都有回答，有些答询者只对某项特殊的预测作了回答，因为他们认为自己是这方面的专家。

五、预测结论概要

1. 根据本预测报告，美国国内机器人的年销售量1985年是5000台，到1990年为10000台，到2000年可达20000台，相应的销售额1985年为2.4亿美元，到1990年可达5.16亿美元，到1995年可达6.37亿美元。（以上按1983年定值美元计算）

2. 如果加上机器人外围设备和装置，把计算机一体化制造业作为一个整体看待，预期1985年销售额达4.71亿美元，到1990年可达12亿美元，到1995年可达20.6亿美元。

3. 预计在10年内美国机器人的实际购买量在所有加工行业都会增长，现在占领先地位的汽车工业，占1985年销售额的51%，1995年降到26%。因为其它工业特别是电子工业和精密设备工业（1985年为8%，1995年为16%）对机器人的需求都在急剧增加。

4. 机器人租赁业和计算机分时服务预期将发展成兴旺的商业行业，到1995年有15%的机器人被出租和使用计算机分时服务。

5. 1995年电子工业在机器人装配作业应用中将占领先地位，占销售台数的14%，所有其它装配机器人也将平行增长，1995年可占销售量的12%，因此今后10年新生产的机器人大约有四分之一用于装配作业。

6. 工业机器人的外观预期也有变化，改进精度，而且结构型式花样繁多。到1995年，15%可能会有二个以上的手臂，11%将装在墙上或天花板上，21%可沿轨道移动。计算机控制器（微型机，小型机或大型机）将控制机器人运动的90%，某些机器人精度将达到 ± 0.0005 英寸/秒（ ± 0.0127 毫米/秒）。

7. 到1995年有一半计算控制的机器人可以脱机编程，约有40%用CAD模拟方法进行调试，在此期间，机器人标准脱机编程语言的使用率可达25%。

8. 到1995年，有感装置的使用可占机器人的60%，多数是用于检测、装配、焊接等作业。在有感机器人中，四分之一是带机器视觉的，四分之一带触觉传感器，还有四分之一带距离、接近防撞等传感器，其余机器人装有二种以上的传感装置。

9. 美国机器人制造业到1995年预计能提供44500个工作就业机会，3000人将被机器人制造厂雇用，4500人将从业于与机器人相关的供应业。而25000人将从事机器人维修业。12000人将从事机器人软件工作。

10. 就整个工业而言，1995年机器人代替工人将达到4.3%，而某些行业代替率可达20%，而实际引起的失业率可能只有5~6%。

11. 近90%被代替的工人将通过调职、培训或晋升仍然能维持原来的工作，其余的人员中将有一半提前退休，而另一半可能失业。

12. 按预测，由于技术的变化造成的失业人员有10%在二个月内能找到新的工作，37%

的人可在6个月内找到新工作，73%的人将在一年内可找到工作，约7%的人（到1990年每年1000人）因为他们不具备劳务市场所需要的工作技能而找不到新的工作。

13. 到1990年，机器人在汽车工业、电子工业中对工人冲击最大，之后冲击最大的将是非耐用消费品工业（如食品、纺织）、金属业、金属加工业、航空航天工业。

14. 影响最大的工种是喷漆（可能有20%的工人被机器人代替），焊接、气炬切割（20%），机械加工作业（13%），装配工（10%），生产线的管理将要减少3%的人员。

15. 自动化的增加要加强对劳动力的培训，不带有培训先决条件的工作将越来越少，高中退学率将要减少，现在为20%，1995年为13%。更多的青年人将经过技术学校或专科教育，这些人现在只占32%，到1995年为38%。

16. 由于州或地方政府所提供的培训有所增加（现在为6%，1995年为9%），私人产业将要承担被代替工人的培训费用的压力（约有65~70%的工人要培训），提供再次培训预期越来越普遍地写入工会和资方的合同中。而资方预先警告工人要适应技术变化的需要也变成惯例。

17. 答询者还估计政府对传播先进的自动化技术有如下的潜在作用：对研究开发的促进或直接投资；放宽垄断法以促进联合开发；加速机器人设备的折旧；政府为购置自动化设备发放低息贷款；增加二次教育和专业教育的经费。

18. 在设计、开发和制造工业机器人方面，地区动态也可以反映市场的动向。东北中部是汽车之乡，仍处在机器人生产的前列（现在东北中部几个州占40%，到1995年占8%）。太平洋地区是电子工业的中心，机器人生产所占比率显著增大，现在为12%，1995年为17%。但机器人厂商相对集中，其他地区所占比率随着机器人在工业中推广也稍有增加（增加1~2%）。

第二章 一般趋势

一、市场特点

进入80年代以后,自从亨利·福特(Henry Ford)的大批量生产发展以来,工厂自动化特别是机器人被认为是加工业中最具有革命性的发展。许多人认为,机器人是大幅度提高生产率和质量控制的关键,甚至是振兴美国工业的灵丹妙药。1981年机器人德尔菲预测及其他许多研究过份乐观的估计了机器人的潜力,相信1979~1980年的相当严重的衰退是经济发展的序幕,这导致了认为在80年代机器人设备的销售额将有巨大增长的判断,即每年可达35~40%的增长率。但不幸的是1981年发生了1930年大萧条以来的最大的衰退,所有主要产品的销售额都严重下降,立即使机器人工业增长的愿望化为泡影。到1984年,第二次德尔菲预测得到了新的更有说服力的发现,对新的生产技术的出现信心增强了。早期预测每年将增长35%的数字被偏保守的数字所代替,但是即便是20%的增长率仍给人们以深刻的印象,这种下降多少是因为联邦预算的徘徊和其它经济的因素的下降造成的。

表 2-1 美国机器人销售预测(千台)

年 份	1984年预测		1981年预测	
	台数	年增长率	台数	年增长率
1981	—	—	2300	
1982	—	—	3000	30.4%
1983	—	—	4300	43.3%
1984	4200*	—	6000	39.5%
1985	5000	19.0%	8000	33.3%
1986	6000	20.0%	—	—
1987	7000	16.7%	—	—
1988	8200	17.1%	—	—
1989	9500	15.9%	—	—
1990	11000	15.8%	—	—
1995	15000	6.4%	—	—
2000	20000	5.9%	—	—

* 是1984年末数字

按工业部门对机器人的销售所作的预测突出表明,所有经济部门都对机器人有广泛的需求(表2-2)。1985年虽然汽车工业继续成为主要的买主,但到1995年,更多的其它工业将占据机器人市场的重要部分,而其中最主要的是电子工业和精密设备工业,从1985年到1995年该领域所占比例成倍增加,从8%(约400台)增到16%(2400台)。其他增长较快的是机器制造业,购买的机器人将从1985年的8%(400台)增长到1995年的11%(1650台),航

空航天工业将从 6 % (300台) 增长到 8 % (1200台), 其它工业在这10年中将从 1 % 增长到 2 %。

表 2-2 (G*-3) 美国机器人在各产业中销售比例

	1985	1990	1995
农业	1 %	1 %	1 %
采矿和提炼	1	2	2
建筑	0	1	1
电力	1	1	1
非耐用消费品	2	5	5
非金属初级产品	2	4	5
金属初级产品	3	4	5
非金属制成品	5	6	6
金属制品	10	8	8
机器制造业	8	10	11
电子和精密设备	8	10	16
汽车	51	38	26
航空航天	6	6	8
其它运输设备业	2	3	4
	100%**	100%**	100%**

**由于四舍五入总和不一定是100%

由于遍及美国工业界机器人购买的迅速增长, 有两个部门是相对下降的, 尽管其绝对值也在增长。其中汽车业的市场比例从51%下降到1995年的26%, 金属制品业则从10%下降到1995年的 8 %。

答询者还被问到机器人应用范围的预测 (见表2-3)。由于使用先进技术, 改进了精度和重复精度, 较精密的和高度精密的有感操作将成为可能。由于这一因素, 最快的应用增长将是装配作业, 制造小零件的电子工业从1985年的 6 % 增长到1995年的14%。而其它装配作业从1985年的 5 % 增长到1995年的12%。检验机器人成倍增长 (从 5 % 到10%), 这主要归功于先进的传感器技术和使用更好的实时处理机。

表2-3 (G-2) 美国机器人销售量在各种应用中所占比例

	1985	1990	1995
机床照料	16%	15%	15%
物料搬运 (机床照料除外)	16%	15%	15%
点焊	26%	15%	10%
弧焊	10%	10%	9 %
喷涂	10%	10%	7 %

*G表示一般趋势 (General trends) ——译者注:

续表 2-3

	1985	1990	1995
机械加工*	5 %	7 %	7 %
电子装配	6 %	12%	14%
其它装配	5 %	8 %	12%
检验	5 %	7 %	10%
其它	1 %	1 %	1 %
总计	100%	100%	100%

• 包括特形铣、钻、磨等。

点焊机器人的销售量比例急剧下降，从1985的26%下降到1995年的10%，这直接反映了汽车工业购买点焊机器人的比例在减少，弧焊机器人也没有增长，并预见到焊缝跟踪系统的传感技术是弧焊机器人应用的关键。

应用比例最大的是物料搬运和机床照料机器人，合起来约占三分之一。

表2-4 (G-10C) 美国机器人地理分布

	1985	1990	1995
新英格兰	10%	11%	11%
大西洋中部地区	10%	11%	10%
大西洋南部地区	8 %	9 %	9 %
东北中部	40%	34%	28%
西北中部	5 %	5 %	6 %
东南中部	5 %	5 %	6 %
西南中部	5 %	5 %	7 %
山区	5 %	5 %	6 %
太平洋地区	12%	15%	17%
总计	100%	100%	100%

另一个有意义的问题是美国今后10年机器人的地理分布（表2-4）。表中的东北中部地区（包括俄亥俄、密执安、印地安那、依里诺、威斯康辛各州）在预测期内拥有较大部分的机器人，然而有些现象是值得注意的，东北中部地区的机器人比例在下降，从1985年的40%降到1995年的28%。考虑到汽车工业所占比例的下降，这个预测结果是容易理解的。而太平洋地区的明显增长则是因为该地区电子工业、航空航天工业中有效地应用了机器人。然而还有不明之处是为什么相同的现象没有出现在新英格兰区呢？它也有相似的工业组成，而应用机器人的比例竟没有什么变化。类似情况在美国其它地区也有可能。

德尔菲预测还要回答机器人和机器人系统的应用成本问题，就平均价格而言，按应用类型分（表2-5），并以1983年定值美元计算，这些价格仅包括了机器人和任何标准工艺装备，但不包括任选的附属设备。所预测之价格从3.5万美元到6万美元，10年中尽管技术复杂

了，功能强了，价格仍在下降，从3.1万美元到6万美元。各种应用的销售额列在表2-6中，它是从表2-3中的结果中估算出的，1985年约2.4亿美元，到1990年将增长一倍多，达到5.16亿美元，1990年之后增长速度要下降，到1995年可达6.37亿美元。

表2-5 (G-4) 新机器人的平均价格 (千美元)

	1985	1990	1995
机床照料	35*	37*	31*
物料搬运 (不包括机床照料)	36	38	35
点焊	60	58	50
弧焊	60	60	58
喷涂	60	60	60
机械加工	45	50	59
电子装配	35	40	31.6
其它装配	35	35	35
检验	52	50	50
其他	40	38	40

* 按1983年美元值计算

表2-6 美国机器人不同应用销售额 (百万美元)

	1985		1990		1995	
	台	美元	台	美元	台	美元
机床照料	800	28.0	1650	61.1	2250	69.8
物料搬运 (不包括机床照料)	800	28.8	1650	62.7	2250	78.8
点焊	1300	78.0	1650	95.7	1500	75.0
弧焊	500	30.0	1100	66.0	1350	78.3
喷涂	500	30.0	1100	66.0	1050	63.0
机械加工	250	11.3	770	38.5	1050	62.0
电子装配	300	10.5	1320	52.8	2100	66.4
其它装配	250	8.8	880	30.8	1800	63.0
检验	250	13.0	770	38.5	1500	75.0
其它	50	2.0	110	4.2	150	6.0
总计	5000	240.4	11000	516.3	15000	637.3

按1983年现值百万美元计算

二、作为CIM（计算机一体化制造系统） 一部分的机器人

迄今在美国汽车工业之外所购置的机器人主要是单台应用，而不是在 CIM 系统中的应用（表2-7）。其原因是 CIM 系统应用要有较高的先期投资和较长的回收期，而更主要的还是不熟悉较复杂的新技术。

对于特定的应用首先应在有限的机器人工作站上投资，使用者将逐步熟悉机器人的应用，然后再投资于更复杂的系统。用户有了经验，就可能购置 CAD/CAM 或 CIM 系统的相关设备。现在的一些设备将逐步被先进技术所代替。更复杂的系统见表 2-7。1985 年所销售的机器人有60%是单台应用的，1995年则降到30%。

表2-7 机器人销售中单台应用与在加工系统中应用的对比

	1985	1990	1995
单台应用	60%	50%	30%
在加工系统中应用	40%	50%	70%

为了得到机器人在 CIM 中的应用情况，德尔菲调查咨询者估计了由机器人构成的系统成本（表2-8~表2-10）。与计划、安装和 CIM 生产设施的建立有关的成本其百分比见表 2-9。

近期大多数 CIM 购买者已倾向于采购小而不太复杂的系统，而机器人本身的费用约占一半。然而由于用户进一步熟悉技术和对自动化生产潜力的了解，机器人费用比例将进一步下降。

使用上述表格的数据可以估计出采用机器人的 CIM 产业规模，表2-10表示到1995年，这种产业的总状况是从现在的 4.7 亿美元的销售额增加到20亿美元之多（按1983年美元值，包括辅助设备及其计划和安装）。到1990年机器人单台应用销售额为12亿或15亿美元。

以上都是德尔菲咨询者按1983年定值美元计算的，对 10 年其余时间美国经济的预测指出，每年的通货膨胀可能为 6 %左右，采用这个数字，实际到1990年的销售额，机器人及相关设备要超过18亿美元。虽然比早期的数字要低些，不那么乐观，但第二次德尔菲预测对这类高技术仍然描绘了较高的增长率。

表 2-8 （G-5b）机器人占全系统价值比

	1985	1990	1995
机床照料	50%	40%	40%
物料搬运	50%	50%	50%
点焊	50%	40%	41%
弧焊	50%	50%	45%

续表2-8

	1985	1990	1995
喷涂	60%	60%	60%
机械加工	40%	35%	40%
电子装配	30%	33%	34%
其它装配	35%	30%	30%
检验	45%	40%	38%
其它	50%	35%	30%

表2-9 (G-5C)计划、安装和把机器人与生产设施
结合等有关初始费用与机器人实际成本的比例

	1985	1990	1995
	40%	35%	30%

表2-10 国内装有机器的 CIM 产业的规模估算*

	1985	1990	1995
全部机器人销售	240.4	516.3	637.3
用于加工单元机器人百分比	× 0.40	× 0.50	× 0.70
加工单元机器人价值	96.2	258.2	446.1
按机器人倍数表示的加工单元其它设备	× 1.00	× 1.50	× 2.13
加工单元非机器人价值	96.2	387.3	948.4
全部机器人销售	240.4	516.3	637.3
加工单元中其它设备价值	96.2	387.3	948.0
设备总价值	336.6	903.6	1585.3
安装成本占系统价值比例	× 0.4	× 0.35	× 0.30
总安装成本	134.6	316.3	475.6
全部机器人价值	240.4	516.3	637.3
加工单元中非机器人价值	96.2	387.3	948.0
总安装成本	134.6	316.3	475.6
新 CIM 设备总费用	471.2	1219.9	2060.9

*全部按1983年美元定值计算，单位百万美元；

三、经济评价

就多数应用而言，近期的税后回收周期大约是3年，到1995年（表2-11）约在2年或2.5年之间，这是1985年德尔菲预测结果，而大多数则是2年时间。这种变化是因为与机器人相关的间接费用较低引起的。