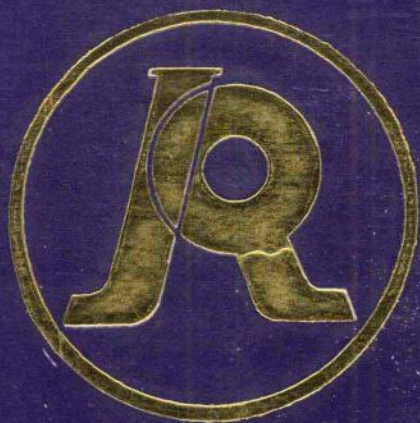




“七五”机器人开发研究 论文报告集

机械电子工业部科学技术司

1991年10月·北京

“七五”国家重点科技项目(攻关)计划 项目执行情况总结报告(摘要)

机械电子工业部科学技术司

“机器人开发研究”是国家计委根据国民经济发展战略和科学技术发展规划在“七五”期间规划安排的 76 项国家重点科技攻关项目之一。机电部(原机械部)受国家计委和原国家经委的委托,负责主持“工业机器人”(不含水下机器人)科技攻关实施工作。五年来,在国家计委和有关部门的领导支持下,在没有国外合作的情况下,完全依靠我国自己的技术人员在解剖国外样机,消化吸收国外技术的基础上,独立设计,采用国内元器件,制造出喷漆、点焊、弧焊和搬运等多种机器人;初步应用于工业生产,并取得较好的经济技术效益。

一、“七五”科技攻关计划任务及考核目标

机器人技术是技术密集型的高技术,组织这项技术攻关必须依据系统工程要求统筹安排。在国家计委、原国家经委的指导下,我部组织有关专家认真分析了工业机器人发展的水平和趋势,结合我国国情,确定了攻关目标和攻关内容。

1、“七五”考核目标(不含水下机器人)

完成示教再现式工业机器人成套技术(设计、控制系统、测试系统、制造、应用和小批量生产的工艺技术等)开发。完成点焊、弧焊、喷漆和搬运等作业机器人控制系统的研制。并在生产线上实际应用考核,性能指标达到八十年代初国外同类产品水平,且形成小批量生产能力。

(1)六自由度 50 公斤关节型电伺服搬运机器人:最大速度 2m/s,工作空间 10m³,定位精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 。应用于机械加工、注塑、压铸、冲压、锻压、热处理等作业的物料搬运。

(2)电液伺服型机器人:五自由度,持重 5 公斤,喷漆速度 1.7m/s,定位精度 $\pm 2\text{mm}$,工作范围 3150 $\times$ 2040 $\times$ 975mm。实现连续轨迹控制示教再现,具有插补功能和同步识别等外识接口。

(3)电动关节型弧焊机器人:五自由度、负荷 12 公斤,合成速度 1.5m/s,最大工作空间 7m³,定位精度 $\pm 0.2\text{mm}$,16 位 CPU,PTP、CP 控制方式。

(4)电动关节型点焊机器人:六自由度,PWM 直流伺服驱动,负荷 80 公斤,合成速度 2.5m/s,重复定位精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

(5)东风系列驾驶室多品种混流机器人喷涂线:喷漆机器人在该生产线上完成应用考核。该线上共安装 10 台喷漆机器人,生产线满足 14 万辆/年的喷涂能力。自动化喷涂外表面覆盖率大于 80%,喷漆厚度及均匀度达到 45 $\pm 5\mu$ 。

(6)解放系列驾驶室机器人焊装线:点焊机器人在该生产线上完成应用考核,共 16 台点焊机器人(其中 4 台关节型 6 自由度点焊机器人)应用于该生产线,自动化焊点率达到 76%。

2、攻关内容:

根据攻关目标的总要求,“七五”期间《机器人开发研究》计划(不含水下机器人)安排了《工业机器人基础技术研究》、《工业机器人基础元器件开发研究》、《搬运机器人开发研究》、《喷漆机器人开发研究》、《焊接机器人开发研究》五个课题进行攻关。

攻关的技术重点:①开发示教再现式全电动伺服机器人和电液伺服机器人;②全电动伺服机器人的直流伺服技术和交流伺服技术的研究。总之,“七五”期间,通过攻关主要解决两个问题:一是掌握“工业机器人”的成套技术,关键是伺服控制技术的开发;二是实现工业机器人配套元器件的国内生产,重点是伺服电机的生产,为国内工业机器人技术发展奠定坚实的基础。

二、“七五”科技攻关计划执行评价

1、计划执行结果:

机电部主持实施的《机器人开发研究》项目中的五个课题,共分解为 28 个专题,后因国家经费计划调整,将 28 个专题调整为 26 个专题。这 26 个专题分解为 208 个分专题。经过全体承担单位近四年的共同努力,26 个专题中,除 2 个专题(第一、二汽车制造厂承担的机器人汽车车身焊装线应用工程专题按计划 1991 年完成生产考核进行鉴定)只进行验收工作外,其余 24 个专题全部通过技术鉴定和验收;据统计,已取得 90 项成果。初步掌握了工业机器人(包括元器件)的设计、制造技术、控制技术、测试技术和小批量试生产的工艺技术,并对机器人应用技术进行了探讨。研制出来的喷漆、点焊、弧焊、搬运等机器人的主要性能指标达到国外八十年代中期同类产品水平;研制出的机器人控制器和机器人性能检测装置部分指标达到国际先进水平;控制技术和测试技术某些方面技术、理论研究处于国际领先水平。总之,在技术上全面完成了国家计委规定的攻关任务,达到了攻关预期的目标。

(1)开发出六类十种不同类型的工业机器人控制系统

在工业机器人控制技术方面我们基本掌握了示教再现式机器人控制系统硬件设计、软件设计、机器人语言等技术。研制出机器人用的专用控制系统、通用型控制系统(STD 总线)和采用单片机或 PC 可编程控制技术经济型机器人控制器等六类商品样机。

(2)完成了机器人操作机的研制工作

在剖析、测绘国外样机的基础上,我们开展了机器人机构学、运动学和动力学等方面基础理论的研究工作,若干成果达到国际先进水平,部分成果已经应用到“七五”机器人主机的设计中,取得很好的效果。

我们设计和研制出喷漆、点焊、弧焊、搬运、装配、冲压、压铸等七种机器人的两轮商品样机(共 28 台),其主要技术性能指标达到八十年代中期国外同类商品水平。这些样机经过试验室 120 小时连续运转试验后,除点焊和装配机器人外,其他机器人都在工厂完成了 3—6 个月的生产考核,投入正式生产运行。

(3)研制出一批与机器人配套的主要基础元器件

经过攻关单位的努力研制出:①薄壁轴承两类九个品种;②交流和直流伺服驱动系统系列产品(包括交流、直流伺服电机组件);③谐波减速器两类二十九个品种;④焊接系统两类六个品种(包括电源、变压器和焊钳等);使工业机器人国内配套程度达到 90%以上。

(4)对机器人的工程应用技术进行了初步探讨

我们分别在第一汽车厂、第二汽车厂和南京汽车厂建成一条机器人汽车驾驶室自动喷漆线,两条汽车驾驶室焊装线和一个弧焊工作站;其中二汽的汽车车身喷漆线和南京汽车制造厂的弧焊工作站已完成生产考核,投入正式生产。一汽和二汽的焊装线正在进行生产考核的准备工作。此外,我们还将向沈阳汽车制造厂提供一个点焊工作单元,向天津自行车二厂提供一条弧焊生产线。

(5)在机器人检测技术方面开展了工作

由北京理工大学自行研制的非接触式机器人 CCD 测试系统,率先按 ISO 标准完成了对机器人性能的测试工作。同时,在测试工作中发现现行 ISO 标准中的一些问题,已向 ISO 组织提出修正建议;该测试技术在世界上处于领先地位。这项技术开发成功为机器人技术的发展提供了一个很好的条件。

(6)开展了工业机器人标准的制定工作

结合“七五”工业机器人攻关开发制定出七项国家标准和五项专业标准,初步建立了我国工业机器人的标准化体系;为机器人的研制开发、加工制造和生产使用提供了统一的基准,这将对加强国内外交流,推动机器人技术的进一步发展起到积极的作用。

总之,通过“七五”科技攻关,我们基本完成了工业机器人国产化技术的前期开发工作。

2、直接效益和间接效益

机器人技术是集机械设计制造、现代控制、计算机、微电子和现代管理等多种技术的综合技术,是衡量一个国家工业基础水平的标准之一。资本主义发达国家在机器人方面对我国采取了十年技术差政策;1986年,我国计划引进国外技术,开发国产机器人,西德提出技术转让费260万美元;日本某公司将已淘汰的机器人部分技术向我国转让索价为:一个机种的技术入门费(不含控制系统部分)100万美元。因此,从这个意义上讲,本次攻关成功不仅直接为国家节省了技术引进费数百万美元,而且打破了外国在这方面的技术垄断,为我国独立自主地发展机器人技术做出了贡献。

第二汽车制造厂“东风系列驾驶室多品种混流机器人自动喷涂生产线”的建成投产,不仅完全可以满足年产十四万辆车的生产要求,而且取得明显的经济效益和社会效益。

(1)由于采用机器人和自动喷涂机节省了油漆,降低了生产成本,仅节省油漆材料费用一项,年节约资金近230万元,预计2—3年可收回机器人和自动喷涂设备的全部投资;

(2)提高了产品质量,降低了产品的返修率,驾驶室油漆涂装一次下线合格率由手工操作的85%提高到96%以上;

(3)大大提高了劳动生产率,自动喷涂线的生产能力比旧的人工喷涂生产线提高近两倍;

(4)使工人摆脱了恶劣的劳动环境,减轻了劳动强度。

1980年—1990年,国内引进各类机器人约150台,每台售价约在6万—20万美元,估价2000多万美元。“八五”期间,预测仍需百台左右机器人,若全部采用国产机器人,至少可以节省1000万美元左右的开支;“七五”期间,我国引进的伺服单元约2000万美元,同样,若采用本次攻关的伺服单元技术成果,“八五”期间也可以节省外汇2000万美元以上。目前很多产品因焊接外观不好而影响了出口价格,例如:北京叉车总厂和山东推土机总厂,若能采用机器人焊接,他们生产的产品每台分别可以增收0.5万和3万美元,这两个厂每年可为国家多创汇近3000万美元;北京千斤顶二厂的产品远销美国,采用弧焊机器人作业后订货从每年20万台猛

增到 70 万台,这表明机器人潜在的、间接的经济效益更为可观。

攻关研制的机器人在第二汽车制造厂、南京汽车制造厂、天津自行车二厂和沈阳实业电机厂等单位应用成功,得到国内广大用户的关注和信任,增强了使用国产机器人的信心和积极性。

三、计划制定和项目设置的科学性和合理性的后评估

发展机器人技术,国内有许多人存在这样的疑问,中国有十多亿人口,为什么还要制造机器人?从机器人的发展历史和我国的现状,提出这样的问题似乎有点道理。事实上,国外发展机器人的原动力主要想解决劳动力不足和提高劳动生产率与产品质量,其次是代替人在恶劣条件下工作。我国发展机器人的目的有三个。①我国每年有几十万乃至上百万人在高温、粉尘、有毒、有生命危险的环境中承受繁重的劳动,这种人数还在不断增加,如果使用机器人就可以改善这些工人的劳动条件,使他们从繁重的劳动中解脱出来。②随着国家经济建设的发展,国内越来越多的厂家从国外引进机器人用于生产,1989 年第一汽车制造厂购进一条小汽车焊装线,点焊机器人就达 65 台。所以尽快掌握机器人技术,开发研制国产机器人,满足经济建设各部门的需要,是机械工业的责任,此外发展机器人技术可以促进多种基础技术和工程技术的发展,对机电工业自身的发展有着重要意义。③从二汽的汽车驾驶室油漆自动喷涂线应用机器人的情况看,使用机器人不仅明显提高了产品质量,改善了工人的劳动条件,同时通过对员工的技术培训和规章制度的建立,提高了员工的素质,改善了车间的生产管理,受到工厂和工人的欢迎。机器人的技术成果正在向其他领域渗透和扩散,产生了明显的经济技术效益和社会效益。所以“七五”期间立项开展机器人研究是必要的。

攻关内容的安排合理。攻关的总目标是掌握成套技术,提供国产机器人产品。各课题和专题目标是这一总目标的具体化,其中基础技术研究课题(75-01)主要完成控制技术和测试技术的研究,为机器人本体(操作机)提供性能可靠的控制系统;搬运、喷漆和焊接机器人技术开发课题(75-03、04、05)主要开展机器人操作机的设计、制造技术和应用技术的研究,完成各类机器人的研制工作;基础元器件课题(75-02)主要目标是研制机器人用的关键元器件,为操作机的国产化奠定基础。

三类课题关系密切、不可分割,基础技术和元器件课题依据操作机的要求制订攻关目标,其成果通过整机在生产现场验证考核。所以三类五个课题构成一个系统工程,相互关联、相互制约,技术成套性好,计划安排全面。保证了攻关目标的全面实现。

攻关工作实践和已取得的成果表明:“七五”《机器人开发研究》项目计划和设置是科学的、合理的。

四、组织管理经验

机器人技术是一项涉及多种学科的综合技术。在不到四年的时间里,要解决从元器件研制到机器人现场应用中的一系列技术难题,不论从技术上,还是从组织管理方面来讲,都是一个新课题。我们在不断摸索、学习和总结的过程中积累一些组织大规模科研工作的经验,主要有

以下几点：

1、明确指导思想，制定切实可行的攻关目标

在没有足够资金引进国外技术，又找不到国外合作伙伴的情况下，如何开展技术攻关？在当时国家计委、原国家经委领导同志的指导下，结合我国国情认真分析了机器人技术发展的内在规律，认识到在我国整体工业水平还不够高，攻关经费不多，机器人使用厂家的技术和经济承受能力比较弱的情况下，不能盲目地跟踪国外的技术水平。为此，提出和确立了“在消化吸收国外成熟的适合我国国情的工业机器人技术的基础上，系统地开发和掌握机器人技术，独立自主地研制国产机器人以满足国内各经济部门的需求”的指导思想。“有限目标，系统安排，突出重点”的方针为我们客观地确定攻关目标和较好地完成攻关任务起到了积极的保证作用。

2、打破部门界限，立足大行业，组织全国力量攻关

机器人是典型的机电一体化高技术产品，是技术密集型产品。当时机械部领导充分认识到要以最快的速度研制出中国自己的机器人，打破外国的技术垄断，满足国民经济发展的需要，就必须打破部门界限，组织全国的优势力量进行攻关。为此，我们提出了“面向全行业，择优安排”的原则。通过全国机器人专家的推荐、评议，确定了二十六个专题任务的承担单位；这些攻关承担单位分别隶属于国家教委、中国科学院、航空航天部、冶金部、国防科工委和机电部等部委。组织了由二十多所学校、工厂和研究室的300多名中高级科技人员组成“国家队”进行科技攻关。实践证明这是一支高水平的攻关队伍，也是一支思想统一、团结协作的队伍。没有这支队伍不可能在四年的时间内完成攻关任务。

3、成立专家咨询组，集思广益，民主决策

机器人技术是一项新的多学科交叉的综合技术，为了避免错误决策影响工作的顺利进行，需要有一个技术构成合理、经验丰富的参谋班子。为此，由全国机器人专家推选，我们成立了由国家教委、中科院、冶金部、航空航天部、机电部等部门的十七位专家教授参加的《机器人开发研究》攻关项目的专家咨询小组。

这些专家在项目的建立，攻关目标和工作内容的确定，攻关项目的可行性论证，专题承担单位的选择，专题技术方案的审查，计划的检查、调度和技术协调，以及成果鉴定验收工作中，都提出许多很好的建议和意见，为我们正确的决策和顺利地开展工作起到不可替代的重要作用。如果没有这些专家积极的支持和真诚的帮助，就很难取得今天的成绩。

一九九一年十月

附件

《机器人开发研究》项目验收结论

验收委员会听取了机电部关于工业机器人攻关工作总结和经费使用决算情况的汇报,经认真讨论,验收结论如下:

1、《机器人开发研究》项目,共包括六个课题,其中工业机器人开发为五个课题(75-01~75-05)。由机电部主持的工业机器人开发五个课题分解为26个专题;这些专题均通过了验收,其中24个专题通过技术鉴定,另外2个专题正在进行生产考核,按计划1991年6月份完成技术鉴定工作。

2、研制出的喷漆、点焊、弧焊和搬运机器人的若干主要性能指标达到国外八十年代中期同类产品水平,工业机器人整机的国内配套程度达到90%以上。

通过攻关基本掌握了示教再现式工业机器人及主要元器件的设计制造技术和工业机器人的控制技术,测试技术;可形成小批量试生产能力,并对机器人的工程应用技术进行了初步研究;项目总体技术水平达到国外八十年代中期水平;工业机器人攻关项目完成和超额完成了国家规定的攻关任务,超过了原定攻关考核目标的要求。

3、该项目立项正确、及时,符合中国国情;攻关计划和项目设置是科学的、合理的;攻关指导思想明确,攻关目标切实可行;这项攻关技术的开发成功,可以带动多种基础技术和工程技术的发展,对推动以微电子技术为核心的机电一体化技术的发展和机电工业自身的技术发展有重要意义。

4、机电部在主持该项目攻关中,成立专家咨询小组,集思广益,民主决策;打破部门界限,发挥全国优势,择优选择攻关承担单位;重视攻关成果在生产应用中的考核,进行了应用技术的开发,促进了攻关成果的完善提高并尽快在生产中发挥效用。这些经验是成功的,应该认真总结,并在今后的科技攻关工作中进一步推广。

“七五”期间技术咨询专家和专题承担单位的工作是卓有成效的;通过攻关,锻炼和培养了一支高水平的技术攻关队伍,造就了一批我国自己的机器人专家;在技术上,打破了外国在这方面的技术垄断,缩小了我们与世界先进国家在这方面的差距,为我国独立自主地发展机器人技术奠定了坚实的基础。

5、攻关经费使用合理,做到专款专用。提交验收会的资料完整齐全,符合要求。

6、本项目虽然完成了工业机器人整机和配套元器件的开发研制工作,但样机可靠性和应用技术方面的工作尚未来得及全面开展,所以建议国家在“八五”期间对机器人的技术攻关开发工作进一步给予支持;以机器人应用工程为主,开展机器人可靠性技术、应用技术和系统成套技术的开发研究;重视不同层次人材的培养工作,为机器人技术真正在国民经济建设中广泛应用奠定可靠的技术基础。

7、验收委员会一致同意通过项目验收。

项目验收委员会负责人,张伯鹏

(签字)

一九九一年三月二十五日

验收委员会名单

主任委员
副主任委员
委 员

张伯鹏

朱森第

顾大伟

依英奇

伍少昊

胡建平

蒋新松

吴 林

张 兵

蒋厚宗

戴 威

周因栋

余达太

杨荫达

“七五”机器人开发研究攻关项目 专家组成员

(以姓氏笔划为序)

干东英	王嘉岐	安永辰	伍少昊	余达太	李绍华
张伯鹏	张启先	张长生	顾瑞龙	钱绍昌	曹祥康
谢存禧	黄 真	蒋新松	蒋厚宗	谭建成	戴 威

“七五”机器人攻关项目论文报告 评审委员名单

(以姓氏笔划为序)

干东英	王嘉岐	安永辰	伍少昊	李绍华	陈佩云
陆际联	张伯鹏	张启先	胡景铤	顾瑞龙	钱绍昌
曹祥康	黄 真	蒋厚宗	谢存禧	戴 威	

论文报告集编辑部

主 编	陈佩云
责任编辑	孙友玉

序 言

用机器人制造机器,已不是科学幻想,而是活生生的事实。通过“七五”科技攻关,我们初步掌握了工业机器人的设计、制造、成套技术,基本实现了工业机器人关键元器件的国内配套,研制成喷漆、弧焊、点焊、搬运机器人。这些机器人已开始在生产线上“服役”,向人们显示了它的威力,展现了它的风采,为人们创造了巨大的经济效益。在劳动力众多的国家里,是否要发展工业机器人技术,工业机器人能不能代替人的灵巧的手,工业机器人是不是安全可靠等等,这些疑虑,随着技术的发展和日臻成熟,逐渐得到了明确的答案。而工业机器人在若干劳动环境恶劣的作业里,按照工人示教的动作,再现时的准确性、一致性和不怕疲劳,连续作业的“劲头”,更得到人们的青睐。可以预言,在今后国民经济的发展中,工业机器人将扮演越来越重要的角色。

通过“七五”科技攻关,还锻炼和培养了一支高水平的技术攻关队伍,造就了一批我国自己的机器人专家,为我国独立自主地发展机器人技术奠定了人才基础。这些专家在攻关中,在研制开发软、硬件的同时,还不断总结经验,从事创造性的理论活动,充分显示出我们在这个领域的创造力和潜力。《论文报告集》在一定意义上向人们展示了“七五”这一阶段的部分成果,愿该书在发展我国机器人事业中起到它应有的作用。

机械电子工业部

司 长 朱森第

科 学 技 术 司

一九九一年九月三十日

目 录

A. 整机及应用工程

电液伺服喷漆机器人的研制	贺万民	(1)
柔性自动喷涂线机器人系统的总体设计	吴 岱	(10)
机器人用一体式点焊系统的开发	李发兴 徐晓等	黄石生 (22)
缩短冲压机器人手臂动作时间的途径	李居泽 马世晓等	宫兴祯 (31)
机器人自动喷涂系统的自动同步装置	邢惠琴	吴 岱 (41)
机器人的内压防爆技术开发	康连柱	吴 岱 (47)
经济型装配机器人开发及应用研究	康 波 白学普等	沈重重 (53)
点焊机器人应用工程	钱绍昌	(62)
流水线点焊机器人工位应用研究	张志剑	周彦明 (70)
弧焊机器人焊接自行车的工艺	陆沛涛	黄石生 (76)
JCS—GJR—G ₁ 机器人在自行车前三角架弧焊系统中的应用	贺长顺	(84)

B. 操作机设计及机构学研究

JRS—80 点焊机器人机械设计分析	钟民桐	王嘉岐 (90)
JRS—80 点焊机器人平衡系统优化设计	陈宁新	孙杏初 (95)
JRS—80 多关节机器人的坐标变换问题	林茂源 叶穗锋	周志强 (102)
CN6—25 型机器人点焊焊钳的新设计	徐 晓 黄石生等	李发兴 (110)
机器人的全方位平衡技术	董芳艳	吴 岱 (117)
机器人新型操作机的多元复合关节技术	邢惠琴	吴 岱 (122)
柔性手腕运动分析	孙杏初	(127)
YS—I 型多环并联机器人机构特殊位形分析	黄 真 赵永生	曲义远 (135)
机器人运动学动力学分析软件包及通用算法研究	尚玉山	吴瑞祥 (140)
基于网络理论分析机器人手腕机构的动态特性	于雪松 姚俊杰	靳桂华 (146)
机器人系统的 KED 方程及其求解	姜剑虹	金万敏 (150)
机器人动力学参数辨识	金万敏	魏成潘 (157)

C. 控制与驱动

RC—75 机器人控制系统的分析、综合与设计	余达太 张明浩等	李春寿 (164)
------------------------------	-------------	-----------

RC-75 计算机控制系统硬件	张明浩 林文兴	(172)
RC-75 计算机控制系统软件	周 斌 林文兴 周 斌 余达太等	(178)
直流伺服控制系统新的 PWM 工作方式	胡建中 李春寿 张明浩等	(183)
JRS-80 点焊机器人运动控制软件及编程技术的研究	周志强 叶穗锋 林茂源	(192)
交流伺服喷漆机器人软件系统研究	吴 桐 顾宏伟 关继铮	(202)
PUMA-262 机器人轨迹规划中的 B 样条法	吴瑞祥 李碧政	(212)

D. 基础元器件

机器人用场效应管式弧焊电源的研究	黄石生 陆沛涛 宋永伦等	(218)
DN6-125 型机器人用分离式点焊系统研究	李发兴 黄石生 钟日锋等	(227)
NZC6-400 机器人一体式晶闸管 弧焊电源设备系统的研究	黄石生 伍月华 陆沛涛等	(235)
薄壁密封四点接触球轴承设计计算分析	林淑娟	(244)
四点接触球轴承的刚性分析	余志壮 罗继伟 徐培孝	(257)
工业机器人用减速器的选择	贺长顺	(263)
工业机器人用电液伺服阀的研究—— 伺服阀在爆炸性危险环境中的应用	何荷香	(269)

E. 测 量

机器人绝对准确度的测量	伍少昊	(274)
三坐标测量机精度检定及位姿测量中的应用	林 琛	(282)
接触式测量装置研制研究报告	郑时雄 谢存禧 林 琛等	(290)

电液伺服喷漆机器人的研制

机电部北京机械工业自动化所

电液伺服喷漆机器人开发课题组 (贺万民执笔)

摘要 本文对 PJ-500、PJ-600 液伺服型喷漆机器人的系统构成、工作原理、主机功能及其关键技术开发作综述, 并以此说明喷漆机器人的常规设计方法。

jī	diàn	pén
主题词: 机器人	电液伺服	喷漆

序 言

喷漆机器人技术诞生于七十年代初, 它的出现使涂装工艺发生了革命性的变革: 1、基本将工人从有毒气体工作环境中解放出来; 2、提高了产品质量的稳定性; 3、企业因此产生了可观的经济、社会效益。

随着科学技术的发展, 喷漆机器人驱动技术在电液伺服技术上近几年又发展了 DC 或 AC 驱动技术, 同时随着应用对象的扩展, 机器人功能化日趋完善化, 如何在适应我国国情的基础上开发喷漆机器人, 是我们选择电液伺服型喷漆机器人作为开发目标的主要原因。

下面将就我们所开发的 PJ-500、PJ-600 型喷漆机器人的主机功能及其关键技术开发作一综述。

1 系统构成及其主要功能

1.1 系统构成及工作原理

电液伺服喷漆机器人分为三个部分: 操作机本体、液压动力源、控制柜。

电液伺服喷漆机器人配套设备分为二个部分: 机器人辅助设备: 如同步系统, 识别系统, 启动系统; 机器人外围设备: 自动输漆系统、自动换色系统及自动清洗系统。

在此系统中, 操作机采用关节臂结构, 直线油缸通过摇杆机构驱动大臂回转, 两个直线油缸分别驱动两个四杆机构, 实现立臂前后摇动和横臂上下俯仰, 使喷枪达到活动范围内的任意位置, PJ-500 手腕上采用互相垂直的两个摆动油缸, PJ-600 则采用三自由度柔性手腕, 腕关节可以左右和上下摆动, 实现喷枪的喷涂姿态, 油源通过电——机——液转换, 向操作机提供液压动力, 控制器为两级控制, 每个自由度采用单片机控制下的数字伺服来控制各自由度的运动, 通过控制器中上位机的规划管理, 实现操作机喷枪连续轨迹运动, 机器人工作分示教和再现两个过程, 所谓示教, 即操作人员手把操作机末端, 按需要喷涂形面进行喷涂, 同时上位机, 把位置数据及其它信息存入存储器, 即把示教喷涂空

间轨迹记录下来。此系统具有连续轨迹和点位示教功能，所谓再现，即由计算机控制机器人运动，上位机将示教时记录的空间轨迹信息数据取出，下装计算机，经过插补运算，与实测位置数据进行比较，将其差值进行调节后输出，使操作机按示教轨迹运动。在再现过程中，计算机可根据喷涂工作输送链的速度变化，调节操作机的运动，使其与输送链同步。计算机可以通过识别传感器，识别不同的喷涂对象，自动调用与之对应的示教程序，完成自动喷涂。

在机器人示教过程中，示教者可根据需要，随意控制喷具开、关状态，并在再现过程中，根据机器人运行状态及换色命令，实现自动清洗与换色。

1.2 系统功能

1.2.1 主要性能参数

	自由度	负荷	重复精度	最大速度	工作空间
PJ-500	5	5Kg	± 2mm	1.7m / s	3200 × 1000 × 1845
PJ-600	6	5kg	± 2mm	1.7m / s	3200 × 1000 × 1845

1.2.2 主要功能指标:

- ①.示教 PTP 或 CP 点位示教或连续轨迹示教。
- ②.再现 CP 连续轨迹再现。
- ③.编程 PTP 在线示教编程、调试、轨迹规划、示教点参数修改。
- ④.文件存贮 / 删除。
- ⑤.故障检测 (超温、超压及超程报警)。
- ⑥.示教盒操作及面板操作。
- ⑦.外启动。
- ⑧.外同步。
- ⑨.工件识别、程序排队。
- ⑩.生产线停机监测。
- .遥控急停。
- .工作方式选择
 - 同步方式 —— 内同步 / 外同步。
 - 程序识别方式 —— 命令; 输入 / 程序识别
 - 操作方式 —— 面板 / 示教盒
 - 再现程序方式 —— 单机 / 循环
 - 控制方式 —— 单机 / 总控
- .座标系基础座标系、关节座标系、工具座标系。

2、主机开发中关键技术的研究

主机开发关键技术为:

- 柔性臂主机的总体设计
- 示教轻动化设计
- 柔性手腕设计
- 计算机控制系统总体设计
- 实时多任务控制系统设计
- PTP / CP 的实现
- 数字伺服系统设计
- 通讯控制系统设计
- 精度研究

以下分别就九项关键技术开发予以论述。

2.1 柔性臂主机的总体设计

2.1.1 以驱动组件统一化为目标的工作空间尺度规划问题。

工作空间如图 1 所示。

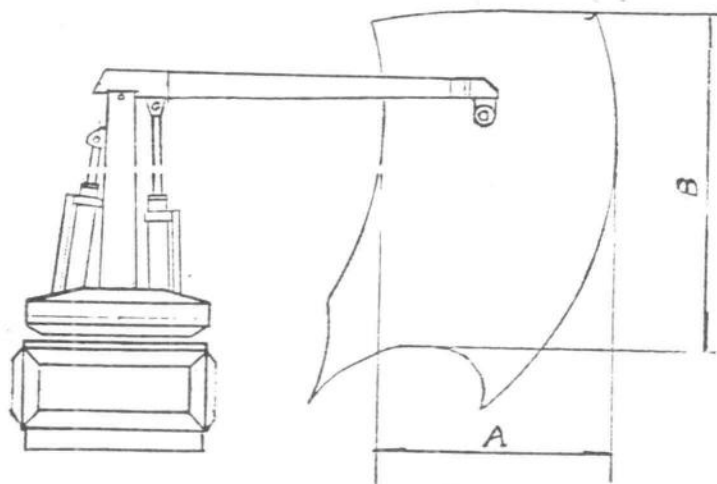


图 1 工作空间示意图

一般来讲机器人工作空间 (Space) 各杆件杆长参数的函数:

$$(\text{space}) = F(l_1, \dots, l_i)$$

对于统一了的驱动组件可用下式表示

$$S_1 = S_{01} + \Delta S_1$$

$$S_2 = S_{02} + \Delta S_2$$

$$S_3 = S_{03} + \Delta S_3$$

且 $S_{1\max} - S_{1\min} = S_{2\max} - S_{2\min} = \Delta S$

S_i 为第 i 直线驱动组件的杆长。

S_{0i} 为统一组件标准行程下的基本杆长。

ΔS_i 为第 i 杆件的位移增量。

这样工作空间即可以用下式表示：

$$[space] = F(l_1, \dots, l_i, \Delta S_i, S_{0i})$$

采用参数搜索法，即可完成由腰关节 (S_1)，大臂 (S_2)，小臂 (S_3) 确定的工作空间为 $[space] = \theta(A, B)$ 的尺度规划问题同时满足以 ΔS 对应的 $Simin$ 为标准组件基准参数的要求工作空间尺度优化框图如图 2 所示。

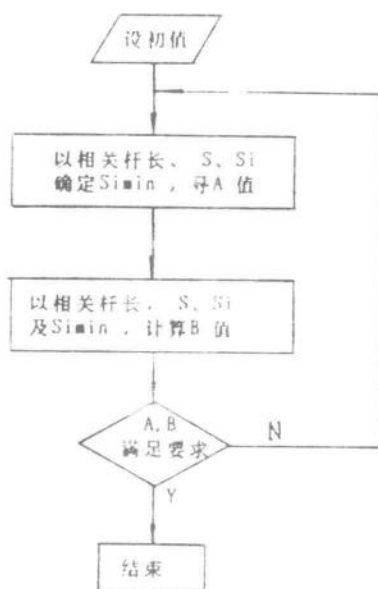


图 2 工作空间尺度优化框图

2.1.2 机构选型问题

从经验可知，关节式机器人腰关节的驱动机构与手腕的驱动机构对机器人自动性能影响很大，如何选定其机构型式，为一机构综合问题。这里我们借鉴了以数字伺服系统中两离散点间驱动为最小的评估方法来评价系统的伺服性能的方法，对最后筛选的两方案进行了比较。如图 3 所示。

总体设计阶段的精度问题重点在于系统的误差分析与综合。

目前国内所研制的示教再现式工业机器人，其一是要求其位姿重复性，其二是要求其相对准确度。两种误差属不同范畴。

- 产生手部位位置重复精度误差的原因主要是各液压缸行程的定位和检测误差。
- 机构连杆参数偏差及关节间隙影响系统的位置绝对精度误差及相对准确度。
- 关节式机器人在工作空间的误差分布规律是非线性的。
- 连杆参数公差和关节间隙的值选择，应按照绝对精度和相对准确度精度确定。

精度综合的结果表明，对于喷漆机器人而言，以常规和加工方法确定杆长公差即可满足 PTP 示教方法下的相对准确度要求。

2.1.4 其他问题:

对于本体的静、动力学参数的确定，均采用类比法完成。

2.2 示教轻动化技术的设计

机器人示教轻动化是指手动牵引示教时，机构逆传动的实际效率及省力程度。它用人手牵引操作机末端，引导机器人运动（非动力状态）的牵引力大小来描述。示教轻动化技术是一项综合性很强、难度很大的技术，平衡机构设计、传动效率的提高、运动部件的高刚度轻动化设计，构成其全部内涵。

示教轻动化技术在以下几个方面重点开展工作。

- 液压系统设计：解决系统非工作状态时高、低油路短接技术问题，补油技术问题。
- 平衡技术：解决大臂、小臂随机的任意平衡问题，以及平衡机构参数优化设计问题。
- 轻动化油缸（直线缸、摆动缸）设计：解决驱动元件在系统非工作状态时的手引轻动化问题，即减小摩擦阻力，提高逆传动效率。
- 部件优化设计：以最轻重量、合理刚性为目标函数，进行部件的优化设计。

2.3 柔性手腕。

在机构类型上种类较多，型式各异。柔性手腕，因其集成性，技术难度很大，国际上，各厂家均将此项技术申报专利予以保护。我们所研制的手腕以分析和部分吸收 TRALLFA 柔性手腕技术特点为基础，采用样机的 RBB 结构；在运动增放级上，采用工艺性较好，易加工的球体与移动体相结合的万向摆杆滑块机构，经三级放大后，实现 $\pm 90^\circ$ 摆动及绕自身轴线任意转动的运动特性要求。

此种手腕结构所决定的非线性传动使其逆解为四阶方程的数值解，对 PTP 示教造成一定困难。在机构设计中所保证的挠曲平面性特性，及回转轴可移性特性，产生出一种简化模型方案，为实现实时 PTP 技术带来便利条件。