

计算机技术

我国工业机器人发展研究

孙英飞 罗爱华

(奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖 241006)

摘要 介绍了工业机器人在国内、国外的发展状况和应用趋势,以及带来的经济效益。根据国内外机器人发展的经验及近几年的动态,指出了我国工业机器人产业化发展的影响因素和实施策略,探讨了我国机器人发展的方向及策略。随着计算机科学技术的不断发展,工业机器人应用领域也随之不断扩展和深化。工业机器人已成为一种高新技术产业,正为工业自动化发挥着巨大作用。

关键词 工业机器人 自动化 产业化 发展趋势

中图分类号 TP242.2;

文献标志码 A

工业机器人是综合了计算机科学技术、机械工程技术、电子工程技术、信息传感器技术、控制理论、机构学、人工智能学、仿生学等多学科而形成的高新技术。在国外工业机器人技术日趋成熟,其已经成为一种标准设备而在工业自动化行业广泛应用,从而也形成了一批在国际上较有影响力的工业机器人公司,工业机器人技术的发展水平也成为一个国家工业自动化水平的重要标志。

1 工业机器人原理及分类

20世纪中期,随着计算机技术、自动化技术和原子能技术的发展,工业机器人开始在美国得到研究和发展,使其在工业生产中得以广泛使用。工业机器人的最初出现是传统的机构学与近代电子技术相结合的产物,如今工业机器人是综合了多学科而形成的高新技术产物,是当代十分活跃的研究开发领域。为了跟上社会进步、经济发展的步伐,工业机器人以不同的种类正逐步应用到各行各业,对国民经济发展有着举足轻重的作用^[1-5]。

1.1 工业机器人工作原理

现代工业自动化领域中应用的各种操作机器人是

目前工业机器人技术中最成熟的一类,这种工业机器人实质上是一类能根据预先将程序编制在存储装置中,然后操作程序自动重复执行,进行完全代替人工作的自动化机器。其系统构成如图1所示。



图1 工业机器人系统基本构成

由图1可知,工业机器人构成是个闭环系统,通过运动控制器、伺服驱动器、机器人本体、传感器等部件可以完成人们需要的功能。

工厂中高性能通用型工业机器人一般采用关节型的机械结构,每个关节由独立的驱动电机控制,通过计算机对驱动单元的功率放大电路进行控制,实现机器人的运动控制操作^[6-8]。其控制系统原理流程图如图2所示。

由图2可知,关节型工业机器人的组成由人机界面(示教器)、伺服驱动器、运动控制器(下位机)、机器人本体等组成,通过机器人末端带不同的夹具来实现不同的功能。示教器是对机器人状态的监控及发出运动指令部分,是人跟机器人信息交互的唯一窗口;伺服驱动器是对伺服电机的控制,是机械手臂运动的动力源;运动控制器是各个关节的位姿运算单元,正解和逆解程序的执行、运行都在其

2011年10月8日收到,2012年2月27日修改 安徽省科技计划项目(11010201021,工业机器人成套技术开发与应用) 资助
作者简介:孙英飞(1980—),男,黑龙江省牡丹江市人,硕士。研究方向:工业机器人控制系统。

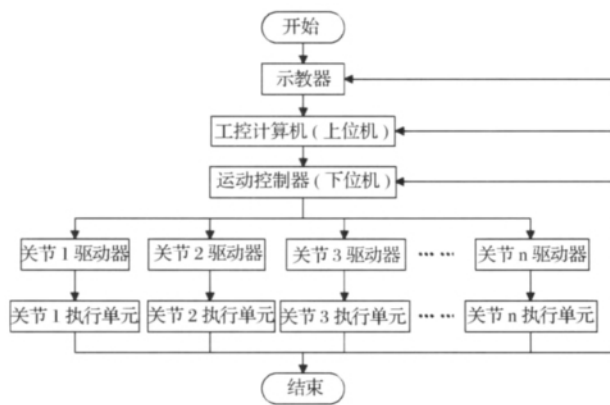


图2 工业机器人控制系统原理图

中计算;机器人本体是执行机构,是实现要求功能的最直接部件。

1.2 工业机器人分类

随着科学技术的不断进步,我国工业机器人已经走上了自主研发阶段,这样标志着我国工业自动化走向了新的里程碑^[9-13]。按照工业机器人的关键技术发展过程其可分为三代:

第一代是示教再现机器人,主要由机器人本体、运动控制器和示教盒组成,操作过程比较简单。第一代机器人使用示教盒在线示教编程,并保存示教信息。当机器人自动运行时,由运动控制器解析并执行存储的示教程序,使机器人实现预定动作。这类机器人通常采用点到点运动,连续轨迹再现的控制方法,可以完成直线和圆弧的连续轨迹运动,然而复杂曲线的运动则由多段圆弧和直线组合而成。由于操作的容易性、可视性强,所以在当前工业中应用最多^[14-18]。

第二代是离线编程机器人,该机器人编程系统是采用离线式计算机实体模型仿真技术,首先建立起机器人及其工作环境的实体模型,再采用实际的逆解算法,通过对实体模型的控制和操作,在离线的情况下进行路径规划,然后通过编程对实体模型进行三维动画仿真,以检验编程的正确性,最后将正确的代码传递给机器人控制柜,以控制机器人运动,完成了离线编程^[19,20]。

第三代是智能机器人,它除了具有第一代和第二代的特点以外可带有各种传感器,这类机器人对外界环境不但具有感觉能力,而且具有独立判断、

记忆、推理和决策的能力,能适应外部对象、环境协调地工作,能完成更加复杂的动作。在工作时通过传感器获得外部的信息,并进行信息反馈,然后灵活调整工作状态,保证在适应环境的情况下完成工作。此机器人用在弧焊和搬运工作中较多^[21-23]。

在我国,由于机器人技术以及研发的落后,工业机器人主要应用在制造业,如汽车制造行业和工程机械行业,主要用于汽车及工程机械的喷涂、焊接及搬运岗位。

2 国外工业机器人发展

早在1954年美国乔治·德沃尔设计出第一台电子可编程序的工业机器人,并于1961年发表了该项专利,1962年美国通用汽车公司投入使用,标志着第一代机器人诞生^[24-28]。从此,机器人开始成为人类生活中的现实,随后日本使工业机器人得到迅速的发展。如今,日本已经成为世界上工业机器人产量和拥有量最多的国家。20世纪80年代,世界工业生产技术上的高度自动化和集成化高速发展,同时也使工业机器人得到进一步发展,并在这个时期工业机器人对世界整个工业经济的发展起到了关键性作用。目前,世界上工业机器人无论是从技术水平上还是从已装配的数量上都日趋成熟,优势集中在以日、美为代表的少数几个发达的工业化国家,已经成为一种标准设备被工业界广泛应用。国际上成立的具有影响力的、著名的工业机器人公司主要分为日系和欧系,日系中主要有安川、OTC、松下、FANUC、不二越、川崎等公司的产品;欧系中主要有德国的KUKA、CLOOS、瑞典的ABB、意大利的COMAU及奥地利的IGM公司^[29-35]。

工业机器人已成为柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、工厂自动化(FA)的自动工具,据专家预测,工业机器人产业是继汽车、计算机之后出现的一种新的大型高技术产业。2002年至2004年,根据联合国欧洲经济委员会(UNECE)和国际机器人联合会(IFR)的统计,世界工业机器人市场前景看好,年增长率平均在10%左右。2005年增长率达到创记录的30%,其中亚洲工业机器人增长幅度最为突出,高达45%。2007年,全球新安

装工业机器人的数量将超过十万套^[4]。世界主要行业占有工业机器人的比例如图3所示。

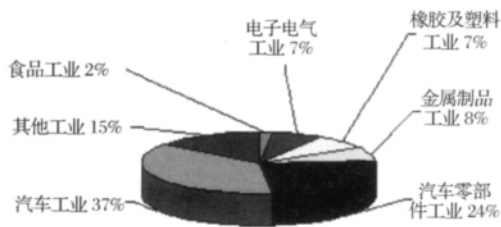


图3 世界各行业工业机器人占有比例

全球现役工业机器人 98 万台,过去的 10 年工业机器人的技术水平取得了惊人的进步,传统的功能型的工业机器人已趋于成熟,各国科学家正在致力于研制具有完全自主能力的、拟人化的智能机器人。机器人的价格降低约 80%,现在仍继续下降,而欧美劳动力成本上涨了 40%。现役机器人的平均寿命在 10 年以上,还可能高达 15 年以上,它们还易于重新使用。由于机器人及自动化成套装备对提高制造业自动化水平,提高产品质量、生产效率、增强企业市场竞争力和改善劳动条件等起到了重大的作用,加之成本大幅度降低和性能的高速提升,其增长速度较快。在国际上,工业机器人技术在制造业应用范围越来越广阔,其标准化、模块化、智能化和网络化的程度也越来越高,功能越来越强,正向着成套技术和装备的方向发展,工业机器人自动化生产线成套装备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。与此同时,随着工业机器人向更深更广的方向发展以及智能化水平的提高,工业机器人的应用已从传统制造业推广到其他制造业,进而推广到诸如采矿、农业、建筑、灾难救援等非制造行业,而且在国防军事、医疗卫生、生活服务等领域,机器人的应用也越来越多,如无人侦察机(飞行器)、警备机器人、医疗机器人、家用服务机器人等均有应用实例^[36-40]。机器人正在为提高人类的生活质量发挥着越来越重要的作用,已经成为世界各国抢占的高科技制高点。

3 国内工业机器人发展

工业机器人技术正在以超乎人们所预料的速

度向前发展,对机器人这一概念的理解及定义也在变化。1984 年末著名科学家钱学森指出“所谓机器人,就是指那些有特定功能的自动机,它是机电一体化,具有人工智能因素的 20 世纪 80 年代高技术,是新技术革命的重要内容之一。”据统计,我国工业机器人的需求量以每年 30% 以上的速度增长。我国工业机器人 2005 年拥有量增至 7 600 台,年销售额约为 28.7 亿元;2010 年拥有量为 17 300 台,年销售额约为 93.1 亿元。有关专家预测,根据发达国家产业发展与升级的历程和工业机器人产业化发展趋势,到 2015 年中国工业机器人市场的容量约达十几万台套以上^[41-45]。

3.1 国内工业机器人的发展现状

我国工业机器人起步于 20 世纪 70 年代初期,经过 30 多年的发展,大致可分为 3 个阶段:20 世纪 70 年代的萌芽期,80 年代的开发期,90 年代的实用化期。在高新技术发展的推动下,随着改革开放方针的实施,我国工业机器人在工业自动化的发展进程中扮演着极其重要的角色^[46-55]。为了迅速缩短与工业发达国家的差异,并在高起点的平台上发展我国自己的机器人工业,要积极吸收和利用国外已经成熟的机器人技术,并且要得到国家的重视和支持。

现在,我国从事机器人研发的单位有 200 多家,专业从事机器人产业开发的企业有 50 家以上。在众多专家的建议和规划下,“七五”期间由机电部主持,中央各部委、中科院及地方科研院所和大学参加,国家投入相当资金,进行了工业机器人基础技术、基础元器件、几类工业机器人整机及应用工程的开发研究。“九五”期间,在国家“863”高技术计划项目的支持下,沈阳新松机器人自动化股份有限公司、哈尔滨博实自动化设备有限责任公司、上海机电一体化工程公司、北京机械工业自动化所、四川绵阳思维焊接自动化设备有限公司等确立为智能机器人主题产业基地。此外,还有上海富安工厂自动化公司、哈尔滨焊接研究所、国家机械局机械研究院及北京机电研究所、首钢莫托曼公司、安川北科公司、奇瑞汽车股份有限公司等都以其研发生产的特色机器人或应用工程项目而活跃在当今我国工业机器人市场上。

据统计,近几年国内厂家所生产的工业机器人有超过一半是提供给汽车行业。可见,汽车工业的发展是近几年我国工业机器人增长的原动力之

一^[56—59]。近三年主要研发、生产及应用工业机器人单位的情况如表 1 所示。

表 1 主要研发、生产及应用单位近三年工业机器人发展概况

单位名称	主要产品系列	近三年研发、生产及应用情况	其 他
沈阳新松机器人自动化股份有限公司	• 弧焊、水切割、等离子切割、浇铸、注塑等工业机器人系列 • 特种机器人 • 物流与仓储自动化生产线,AGV 小车	弧焊、冲压、点焊、总装等 41 条线,含 114 余台工业机器人及机械手。用于汽车、航空、教育、科研等行业,有 40 余家用户	已经完成 100 余项机器人应用工程和自动化生产线项目。机器人技术国家工程研究中心,“863”产业化基地
哈尔滨博实自动化设备有限责任公司	• 自动包装码垛生产线。 • 点、弧焊机器人。 • 管道、爬壁机器人。	涤纶长丝饼、化肥等自动称重、包装码垛生产线共 16 余条生产线。用于石油、化工、化纤等行业 9 家用户。	共装备 30 余条生产线,含各类机器人数十台。“863”产业化基地。
国家机械局北京机械工业自动化研究所机器人中心	• PJ 系列喷涂机器人。 • PM 系列自动喷涂机。 • 龙门仿形自动喷涂机。 • 弧焊、码垛、搬运、装配等多种机器人产品。	完成喷涂、包装码垛、涂胶、装配等共 26 条线。用于汽车、陶瓷、医药、电器、铁路车辆等行业 26 家用户。	共装备 70 多条自动化生产线和 workstation,含 170 多台工业机器人,95% 以上整机自主研发。工业机器人行业归口单位,“863”产业基地。
上海机电一体工程有限公司	• 搬运、上下料移栽等各类工业机器人。 • 自动化立体仓库。 • 机器人焊接单元、自动化生产线及装配线。	玻璃生产线用移栽机器人、弧焊工作站、装配线等 5 条生产线,有 40 余台机器人。用于机械、汽车、电器等行业 5 家用户。	累计完成 100 多项工程项目,提供 80 余台套机电一体化产品,60 余台工业机器人,“863”产业基地。
奇瑞汽车股份有限公司机器人研发中心	• QH-165 型机器人。 • QH-210 型机器人。 • QH-370 型机器人。 • 弧焊、点焊、搬运等多种机器人产品系列。	完成点焊、弧焊机器人研发及应用。目前仅应用于奇瑞汽车。	完成 30 余台组成汽车侧围生产线,有近 200 台正应用于现场。“工信部”、“863”重大项目

“十五”期间是中国工业机器人产业发展的一个关键转折点,市场需求也有一个井喷式的发展,需求量每年以 15%—20% 的速度增长。如今,国内市场年需求量在 3000 台左右,年销售额在 20 亿元以上。统计数据显示,中国市场上工业机器人总共拥有量近万台,占全球总量的 0.56%,国产工业机器人目前只要以国内市场应用为主,年出口量为 100 台左右,年出口额为 0.2 亿以上。国内的机器人技术研发力量已经具备了大型机器人工程设计和应用的能力,整体性能已达到国际同类产品的先进水平,而整体价格仅为国外同类产品的三分之二甚至一半,具有良好的性能价格比和市场竞争能力。

3.2 国内工业机器人技术应用现状

我国工业机器人经过“七五”攻关计划、“九五”攻关计划和“863”计划的支持已经取得了较大进展,其市场也逐渐成熟,应用上已经遍及各行各业,但进口机器人仍占了绝大多数。目前取得较大进展的工业机器人技术有:数控机床关键技术与装

备、隧道挖掘机器人相关技术、装配自动化机器人相关技术、工程机械智能化机器人相关技术等。虽然工业机器人技术有很大进步,但是仍然相当于国外发达国家 20 世纪 80 年代初的水平,特别是在制造工艺与装备方面不能生产高精密、高速与高效的关键部件^[60—66]。所以我国工业机器人技术发展的战略目标是“根据 21 世纪初我国国民经济对先进制造及自动化技术的需求,瞄准国际前沿高新技术发展方向,创新性地研究和开发工业机器人技术领域的基础技术、产品技术和系统技术。”未来我国工业机器人技术发展的重点:一是危险、恶劣等环境作业的机器人^[67—69]。主要有防暴、星球探测、高压带电清扫、油气管道清淤等工业机器人;二是仿生工业机器人。主要有移动机器人,无线遥控操作机器人等;三是医药行业、建筑行业、机械加工行业等。其发展趋势是智能化、低成本、高可靠性和易于集成控制^[70—72]。

3.2.1 工业机器人硬件部分技术发展

工业机器人硬件部分主要由机器人本体、电控柜、人机交互器组成。以奇瑞自主研发机器为例,机器人本体结构由自己的研发团队完成,减速机采用日本进口 RV 减速机;电控部分采用松下、三羊、贝加莱等伺服驱动器,很好地完成插补、前馈等功能,使工业机器人性能能达到国际同行标准,其中电控柜采用自主研发的基于双循环系统的温控电柜,适用环境恶劣的焊装、冲压等车间;人机交互器才有自主研发功能的示教盒,操作简单,功能齐全,其已经申请国家专利。目前,我们正在研发自己的伺服驱动器和工业机器人专用减速机,在不久的将来我们会实现所有硬件国产化,在工业机器人行业会有大的技术飞跃^[73-78]。

3.2.2 工业机器人软件部分技术发展

软件控制部分是工业机器人的“心脏”,随着科技的发展,工业机器人软件部分也急速发展,根据实际需要研发了点焊、弧焊、搬运、视觉、涂胶等功能。自主研发的工业机器人从下位机到上位机都自主开发出了应用软件^[79-83]。下位机的正、逆解运动学算法,上位机的离线编程及在线编程程序,这些技术及其方便地满足了我国制造业现场应用情况。软件界面的简单、美观、操作方面、功能齐全,对没有学历的操作者进行简单的培训就可以熟练操作,其中下位机算法软件,上位机编程软件已经申请国家专利,并且在奇瑞汽车股份有限公司的焊装一、二、三车间及冲压车间应用多年,系统稳定,应用效果较好。

目前,我国在工业机器人的应用工程方面已建立了多条用于汽车制造业上的焊装生产线、装配生产线、喷涂生产线和总装生产线。在上海、沈阳、北京、芜湖等地建立了工业机器人及其自动化生产线工厂和产业基地,开发出一批有市场前景的,具有自主知识产权的工业机器人及其自动化生产线产品。同时,进一步加强与外企合作,引入先进技术及资金使我国成为国际生产工业机器人基地,占领国内市场,走向世界^[84-88]。

4 我国工业机器人发展的必由之路

随着工业机器人技术发展的深度和广度以及

智能水平的提高,工业机器人已在众多领域得到了应用,并还在不断地扩大,已从汽车制造业推广到如机械加工行业、电子电气行业、食品工业、橡胶及塑料行业、木材与家具制造业等领域中。从我国加入世界贸易组织(WTO)以后,工业机器人产业将面临着新的发展机遇和来自国外的挑战,要把握这一机遇,迎接新的挑战,我国工业机器人必须走产业化之路^[89-91]。

要缩短我国机器人与国外的差距,必须利用自己的优势走产业化发展道路^[92-95]。因此,我国工业机器人行业在发展的道路上要认识到以下几点情况:第一,工业机器人技术是我国工厂自动化发展的必然趋势,国家要对国产工业机器人有更多的政策与经济支持,吸引高新技术人才,加大技术投入与建设;第二,在国家的科学技术发展计划中,应该继续对智能机器人研究开发与应用给予大力支持,形成产品和自动化制造装备同步协调的新局面;第三,部分国产工业机器人已经与国外相当,企业采购工业机器人时不要盲目进口,应该综合评估,大力弘扬国产工业机器人^[96-98]。

5 结束语

机器人是人类发展高级阶段的高科技产物,工业机器人的诞生和机器人学的建立无疑是 21 世纪人类科学技术的重大成就。在国内,工业机器人市场竞争越来越激烈,中国制造业面临着与国际接轨、参与国际分工的巨大挑战,加快工业机器人技术的研究开发与生产是我们抓住这个历史机遇的主要途径,依靠自身优势,提高自主创新,寻求发展道路,是中国工业机器人生产企业在激烈市场竞争中需面对的问题,力争在新的世纪里,工业机器人技术大发展的新技术时代,使我国的工业机器人产业在世界上占有一席之地。

参 考 文 献

- 1 周伯英. 工业机器人设计. 北京: 机械工业出版社, 1995: 1-11
- 2 马 光, 申桂英. 工业机器人的现在及发展趋势. 组合机床与自动化加工技术, 2002; (3): 48-51
- 3 蒋新松. 未来机器人技术发展方向探讨. 机器人, 1996; (5): 285-291

- 4 刘国栋. 我国的机器人研究和发展. 江南学院学报, 2001; (4): 35—38
- 5 陈佩云, 金茂菁, 曲忠萍. 我国工业机器人发展现状. 机器人技术与应用, 2001; (1): 2—5
- 6 刘 强. 工业机器人系统集成. 上海: 上海交通大学硕士学位论文, 2007
- 7 杨新刚. 弧焊机器人结构设计与运动学、轨迹规划研究. 西安: 西安理工大学硕士学位论文, 2005
- 8 林尚扬, 等. 焊接机器人及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2000: 4—7
- 9 孙迪生, 王 炎. 机器人控制技术. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 10 张效祖. 工业机器人的现状与发展趋势. 世界制造技术与装备市场, 2004; (5): 33—36
- 11 原 魁. 工业机器人发展现状与趋势. 现代零部件, 2007; (1): 34—38
- 12 顾震宇. 全球工业机器人产业现状与趋势. 机电一体化, 2006; (2): 6—10
- 13 Kim J, Muramatsu M, Murata Y. Omnidirectional vision-based ego-pose estimation for an autonomous in-pipe mobile robot. *Advanced Robotics*, 2007; (21): 441—460
- 14 Nonami K, Yuasa R, Waterman D, *et al.* Preliminary design and feasibility study of a 6-degree of freedom robot for excavation of unexploded landmine. *Autonomous Robots*, 2005; 18(3): 293—301
- 15 Hasan A T, Ismail N, Hamouda A M S. Artificial neural network-based kinematics Jacobian solution for serial manipulator passing through singular configurations. *Advances in Engineering Software*, 2009; 41(2): 359—367
- 16 杜志俊. 工业机器人的应用及发展趋势. 机械工程师, 2002; (5): 8—10
- 17 杜志俊. 工业机器人的应用将越来越广泛. 机电国际市场, 2002; (1): 20—22
- 18 吴振彪, 王正家. 工业机器人(第二版). 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 26—32
- 19 杨化书, 曲新峰. 工业机器人技术的应用及发展. 黄河水利职业技术学院学报, 2004; (4): 42—43
- 20 朱玉蓉, 翟雪琴, 郝矿荣. 基于 OpenGL 的机器人仿真技术研究. 机械与电子, 2004; (10): 7—10
- 21 冯正平. 国外自治水下机器人发展现状综述. 鱼雷技术, 2005; (01): 5—9
- 22 张建民. 工业机器人. 北京: 北京理工大学出版社, 1988
- 23 王 伟. 中国工业机器人市场调查. 机器人技术与应用, 2003; (6): 24—26
- 24 张 军. “863”计划机器人产业发展战略. 机器人技术与应用, 1997; (2): 6—9
- 25 刘大胜. 焊接机器人的现状与发展. 科技成果纵横, 2001; 5: 42—43
- 26 符娅波, 边美华, 许先果. 焊接机器人的应用与发展. 热加工工艺, 2006; 11: 79—81
- 27 谢向东, 杨富宏, 张翠洁. 核工业环境下的物料搬运机器人控制系统的开发和研究. 机器人技术与应用, 2010; (02): 36—37
- 28 Alonso J M, Magdalena L, Guillaume S, *et al.* Knowledge-based intelligent diagnosis of ground robot collision with non detectable obstacles. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2007; 48(4): 539—566
- 29 Farooq M, Wang Daobo. Adaptive fuzzy control for robot arm manipulator with 5-DOF. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2007; 24(1): 43—47
- 30 Shalfan A, Khalid A. Development of autonomous navigation wheelchairs based on fuzzy control. *Neural Network World*, 2009; 19(2): 223—233
- 31 Haklilar M, Tasdelen I. Modeling, simulation and fuzzy control of an anthropomorphic robot arm by using Dymola. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2009; 20(2): 177—186
- 32 Garcia-Hernandez R, Ruz-Hernandez J A, Sanchez E N, *et al.* Real-time takagi-sugeno fuzzy control of a robot manipulator. *International Journal of Intelligent Systems*, 2009; 24(11): 1174—1201
- 33 陈辛波. 日本机器人工业的现状和发展动向. 机电一体化, 2000; (6): 14—16
- 34 王金友. 中国机器人产业化发展的问题探讨. 机器人技术与应用, 2003; (6): 2—4
- 35 赵文德, 李建朋, 等. 基于浮力调节的 AUV 升沉运动控制技术. 南京航空航天大学学报, 2010; (04): 411—417
- 36 赵 臣. 我国工业机器人产业. 机器人技术与应用, 2009; (2): 8—13
- 37 夏 鲲, 徐 涛, 等. 工业机器人的发展与应用研究. 广西轻工业, 2008; (8): 63—64
- 38 鄂俊强, 李志辉. 一种新型汽车喷漆机器人. 涂料技术与文摘, 2011; (02): 14—17
- 39 金茂菁, 曲忠萍, 张桂华. 国外工业机器人发展态势分析. 机器人技术与应用, 2001; (2): 6—8
- 40 王明盛, 朱洪俊. 管道机器人自带缆绳机构设计与分析. 机械, 2010; (01): 64—66
- 41 任锋明. 工业机器人及其在生产中的应用研究. 长春: 吉林大学硕士学位论文, 27—36
- 42 李谷全, 陈忠泽. 视觉跟踪技术研究现状及其展望. 计算机应用研究, 2010; (08): 2814—2820
- 43 朱浩翔. 工业机器人及其应用. 装备机械, 2003; (4): 11—12
- 44 陈 博. 机器人技术的发展趋势与最新发展. 西安教育学院学报, 2004; (3): 85—87
- 45 刘远江. 中国工业机器人市场调查. 机器人技术与应用, 2006; (1): 24—26
- 46 黄政艳. 焊接机器人的应用现状与技术展望. 装备制造技术,

- 2007; (3): 46—48
- 47 王燕清,陈德运,等. 基于一种新的目标识别的边缘爬行算法. 计算机科学,2010; (08): 266—270
- 48 张彦斌,张海军,等. 新型纯移动并联机构的运动学和灵巧性分析. 机床与液压,2010; (15): 13—17
- 49 王 彬. 中国焊接生产机械化自动化技术发展回顾. 焊接技术, 2000; (3): 12—14
- 50 朱进满. 焊接机器人的应用. 机械制造,2005; (12): 42—46
- 51 潘丽霞. 论工业机器人的发展与应用. 山西科技,2010; (3): 22—25
- 52 吴健荣,王立权,王才东,等. 机器人精度设计的方法研究. 哈尔滨工程大学学报,2010; (10): 1367—1372
- 53 张扬林. 国内工业机器人市场及发展趋势. 大众科技,2006; (6): 191—192
- 54 毕 胜. 国内外工业机器人的发展现状. 机械工程师,2008; (7): 5—7
- 55 陈立新. 工业机器人在冲压自动化生产线的应用. 机械设计与制造,2010; (10): 94—96
- 56 李庆龄,刘加亮. 六自由度工业机器人运动学分析及仿真. 机电工程技术,2008; (11): 36—38
- 57 李大为,孟凡雨,等. 机器人技术在工业中的应用. 煤炭技术, 2003; (6): 91—93
- 58 边 辉,赵铁石,等. 生物融合式康复机构及其应用. 机器人, 2010; (04): 470—478
- 59 曾孔庚. 工业机器人技术发展趋势. 机器人技术与应用,2006; (6): 10—13
- 60 王田苗. 全力推进我国机器人技术. 机器人技术与应用,2007; (2): 17—23
- 61 宋 韬. 基于 G 代码的双工业机器人协调作业的网络控制. 自动化仪表,2011; (08): 40—42
- 62 李长威. 基于 DSP 机器人控制系统反馈电路研究. 信息系统工程,2010; (10): 13—14
- 63 蔡鹤泉. 机器人将是 21 世纪技术发展的热点. 中国机械工程, 2000; (11): 58—60
- 64 王亚辉,何耀民. 机器人的应用现状及发展趋势. 经济师,2005; (8): 246—247
- 65 刘楚辉,姚宝国,等. 工业机器人切削加工离线编程研究. 浙江大学学报,2010; (03): 426—431
- 66 戴文进,刘 静. 机器人离线编程系统. 世界科技研究与发展, 2003; (4): 69—72
- 67 毛剑飞. 机器人视觉标定及离线编程技术研究. 杭州: 浙江大学 博士学位论文. 2005
- 68 徐 方. 工业机器人产业现状与发展. 机器人技术与应用,2007; (5): 2—4
- 69 曾孔庚. 工业机器人技术发展趋势. 机器人技术与应用,2006; (06): 10—13
- 70 阮启刚,黄 磊. 6R 机器人轨迹规划及仿真. 机械制造与自动化,2011; (01): 168—170
- 71 陈爱珍. 日本工业机器人的发展历史及现状. 机械工程师,2008; (07): 8—10
- 72 李如松. 工业机器人的应用现状与展望. 组合机床与自动化加工技术,1994; (04): 37—41
- 73 王 会. 高机动智能机器人的设计. 机电工程技术,2009; (10): 83—85
- 74 金周英,白 英. 我国机器人发展的政策研究报告. 机器人技术与应用,2009; (02): 1—7
- 75 Wang Xianlun, Cui Yuxia, Huang Jing. Intelligent force/position control of robotic manipulators based on fuzzy logic. *Journal of System Simulation*, 2008; 19(11): 2467—2471
- 76 Kong Jungshik, Lee Eunhyuk, Lee Bohee, *et al.* Study on the real-time walking control of a humanoid robot using fuzzy algorithm. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2008; 6 (4): 551—558
- 77 Subudhi B, Morris A S. Soft computing methods applied to the control of a flexible robot manipulator. *Applied Soft Computing Journal*, 2009; 9(1): 149—158
- 78 Harb M, Abielmona R, Petriu E. Speed control of a mobile robot using neural networks and fuzzy logic. *Liu Derong. 2009 International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 2009. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2009: 1115—1121
- 79 Dong S Y. A comparison of sliding mode and integral sliding mode controls for robot manipulators. *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 2009; 58(1): 168—172
- 80 Massimiliano C L, Antonella F, Lorenza M. Design and experimental validation of a second-order sliding-mode motion controller for robot manipulators. *International Journal of Control*, 2009; 82(2): 365—377
- 81 Shi J, Liu H, Bajcinca N. Robust control of robotic manipulators based on integral sliding mode. *International Journal of Control*, 2008; 81(10): 1537—1548
- 82 Ye Jun. Adaptive control of nonlinear PID-based analog neural networks for a nonholonomic mobile robot. *Neurocomputing*, 2008; 71 (7—9): 1561—1565
- 83 孝 文. 机器人发展的三大趋势. 科技潮,2008; (06): 30—31
- 84 李育文,王红卫,李 芳. 机器人发展概况及展望. 河南科技, 2002; (01): 26—27
- 85 王琳琳. 工业机器人面临产业新机遇. 石油石化物资采购,2010; (05): 82—83
- 86 姚志良. 我国工业机器人发展的几点思考. 机器人技术与应用, 2005; (03): 28—29

(下转第 3031 页)

Optimization Method of Energy Saving Control and Designing of Powerdistribution in WWTP

LIU Ben-qiang¹, YANG Chao², XUAN Zhao-wei¹

(Dalian MEC Environmenal Technology & Engineering Co. ,Ltd¹. , Dalian 116001 ,P. R. China;

Shenyang Water Supply&Drainage Prospecting Design Research Institute Co. ,Ltd². , Shenyang 110021 ,P. R. China)

[Abstract] According to demands of process and the figures of the electrical equipments in WWTP, the design principles for system of powerdistribution is proposed. It also introduces the optimization method of electric load in powerdistribution for CWSBR projects, and raises questions of powerdistribution design from economic cost of construction, safe, feasibility, environmental protection, energy saving.

[Key words] CWSBR powerdistribution calculation of electric load frequency conversion control dissolved oxygen PLC

(上接第 2918 页)

- | | |
|---|---|
| 87 刘少丽. 浅谈工业机械手设计. 机电工程技术, 2011; (07): 45—46 | 93 崔旭明, 孙英飞, 何富君. 壁面爬行机器人研究与发展. 科学技术与工程, 2010; (11): 2672—2677 |
| 88 孙志杰, 王善军, 张雪鑫, 等. 工业机器人发展现状与趋势. 吉林工程技术师范学院学报, 2010; (04): 61—63 | 94 王握文. 世界机器人发展历程. 国防科技, 2001; (01): 70—75 |
| 89 王永林. 工业机器人技术概述与前瞻. 兵工自动化, 2004; (04): 78—81 | 95 曹祥康, 谢存禧. 我国机器人发展历程. 机器人技术与应用, 2008; (05): 44—46 |
| 90 张波, 韩珩. 我国机器人的现在与未来. 科技资讯, 2010; (10): 206—208 | 96 赵海峰. 特种机器人在中国的创新发展. 中国制造业信息化, 2005; (11): 21—22 |
| 91 张宏彬, 张亮, 严法高. 一种竞赛用机器人的设计与实现. 计算机仿真, 2010; (03): 14—17 | 97 李穗平. 军用机器人的发展及其应用. 电子工程师, 2007; (05): 64—66 |
| 92 熊建国. 工业机器人的应用和发展趋势. 才智, 2009; (01): 166—169 | 98 李允明. 国外仿人机器人发展概况. 机器人, 2005; (06): 561—568 |

Development Research on China's Industrial Robot

SUN Ying-fei, LUO Ai-hua

(Chery Automobile Co. ,Ltd, Wuhu 241006 ,P. R. China)

[Abstract] Domestic and foreign development and application trends are introduced, as well as economic benefits. Based on development experience of industrial robots home and abroad and recent years' dynamic, the influencing factors are indicated on China industrial robot industry and implementation strategies. The development direction and strategy of China robot are discussed. With the continuous development of computer science and technology, industrial robotics applications will also be expanding and deepening. Industrial robots have become a high-tech industry, is to play a huge role in industrial automation.

[Key words] industrial robot automation industry development trends