

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.05.003

机械电子工程综述

潘 雍,傅明星*,于 晨

(陕西理工学院,机械工程学院,陕西 汉中 723003)

摘要:针对机械电子工程近年来的快速发展和变化,为使广大学者更加深刻和清晰地理解其内涵,根据机械电子工程更加庞大的学科架构、更高的综合性、更强的应用性等特点,从其知识体系、核心技术和实践应用等方面阐述了机械电子工程的概念;以 3 个阶段为标志,论述了机械电子工程的产生及其形成过程;并通过研究大量文献,对比了国内、外现状,从市场、学科、工程 3 个角度分析了现阶段我国机械电子工程的特点;从其发展的层次性出发,总结了机械电子工程未来多元化的发展趋势。研究表明,机械电子工程对社会、工业以及学科专业等领域产生了深远影响,且朝着智能化、微型化、模块化、网络化、绿色化等方向发展;并提出了应进一步研究如何使得机械电子工程的各项技术做到无缝式融合以及机械电子专业人才的培养方式和方法等问题。

关键词:机械电子工程;核心技术;发展趋势

中图分类号:TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)05-0553-06

General ideas of mechatronics engineering

PAN Yong, FU Ming-xing, YU Chen

(School of Mechanical Engineering, Shanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: In recent years, great changes and rapid development have been achieved in mechatronics engineering. Aiming at offering more profound and clear understandings of mechatronics engineering for scholars, the concept of mechatronics engineering was analyzed from its system, key technologies, application and other items on the basis of its characteristics such as greater structure, comprehensiveness, and application. The appearance and process were also analyzed from its three stages. Compared with the same research in foreign countries, the characteristics of mechatronics engineering at home were illustrated via three factors—market, subject, and the engineering itself with a lot of data and references. Based on its prospect, the trend of mechatronics engineering was concluded. The results indicate that mechatronics engineering, on one hand, tends to be intelligent, miniaturized, modular, networked, environmental in the future, which will exert great effects on a lot of fields including the society, industry, and the subject itself. On the other hand, questions such as the seamless stitching of mechatronics engineering and the training of its talents should be further investigated.

Key words: mechatronics engineering; key technology; trend of development

0 引 言

机械电子工程是科技高速发展以及学科相互链接的产物,它打破了传统的学科分类,集诸多技术特点于一体。它的出现代表着新技术、新思想、新研究方式和新研究目标的产生^[1]。各国的研究者们一直致力于

明确机械电子工程的定义和概念^[2],估算机电产业对国家和社会所带来的价值^[3,4],并对机械电子学科的未来发展做出研究^[5]。在我国,很多高校也在致力于如何更好地推动机电教育事业的发展^[6]。就目前而言,对机械电子工程综合性、概括性的论述相对较少。全面地认识和理解机械电子工程的内涵及外延有助于

收稿日期:2013-11-15

作者简介:潘 雍(1989-),男,陕西西安人,主要从事机械电子、自动控制方面的研究. E-mail:359696489@qq.com

通信联系人:傅明星,男,教授,硕士生导师. E-mail:39004802@qq.com

机电从业人员以及机械电子专业的学习者更好地在该领域进行相关研究和深入学习。

本研究根据机械电子工程的特点,从学科、技术、工程、市场、实践等多个角度对日新月异的机械电子工程进行归纳、概括和总结,可为相关研究提供参考。

1 机械电子工程的概念

机械电子的概念源于日本的“Mechatronics”一词,日本机械振兴协会对其解释为“在机械的主动功能、信息处理功能和控制功能上引入电子技术,并将机械装置和电子设备以及软件等有机结合起来构成的产品或系统”。美国学者 V. Daniel Hunt^[7]将其概括为“有计划地应用和有效地把机械与电子结合起来,以创造最优产品”。欧洲 IRDAC(The Industrial Research and Development Advisory Committee)认为^[8]机械电子工程是“机械工程、电气控制工程以及系统总体技术在产品设计和生产过程中的结合”。在我国,大多学者称之为“机电一体化”。

1.1 机械电子工程学科的知识体系

机械电子工程的知识体系来源于学科间的交叉融合。它是机械、电子、控制、信息、计算机、人工智能、管理等诸多理论体系的集合。其特点是知识结构庞大、理论丰富、应用范围广泛。

现如今,国内外许多大学的机械电子专业课程主要是由机械工程、电子工程、计算机科学以及控制工程中的部分课程整合而成^[9-11]。这对本专业所培养的学生而言,是具有一定难度的。故机械电子工程所要求的人才及人才知识结构、技术素养等明显不同于传统的机械工程人员^[12]。国外一些企业也开始认为,机电人才对它们的吸引力更大^[13]。

1.2 机械电子工程的核心技术

1.2.1 机械技术

作为机械电子工程的支撑学科与关键技术,机械制造技术是其最为重要的影响元素。可以说,它是一个载体或“母体^[14]”。机械电子工程可看做是多种技术向机械技术渗透的结果。但是,机械电子产品及系统的设计思维、设计理念、设计方法与机械制造技术有很大区别。所以,对于机电行业人员来说,从传统的机械思维模式向机电思维模式的转变是尤为重要的。

1.2.2 电子技术

电子技术根据系统要求,应用电子学理论,运用电子器件与机械元件,采用某种控制策略,设计和制造出

满足需求并实现特定功能的电路或电子系统,从而投入到机械电子系统或产品之中。

1.2.3 自动控制技术

当代的自动控制技术应用于生产、生活、军事、管理、教育等各个领域。自动控制技术就好比一颗粒子,附到某种物质上,它就具有某种物质特定的性质。在机械电子工程中,自动控制技术是控制理论的实践应用,其通过系统已存在的硬件设备和软件系统,结合多种技术,选择控制方式来完成某种控制任务,保证某个过程按照预想进行,或者实现某个预设的目标。

1.2.4 检测传感技术

检测是指在各类生产、科研、实验等领域,为及时获得被测、被控对象的有关信息而实时地对一些参量进行定性检查和定量测量^[15]。检测传感技术的日益发展提升了机械电子工程的智能化水平,它的精度将直接影响系统的响应特性。

1.2.5 信息处理技术

为了更进一步地发展机械电子工程,必须提高信息处理设备的可靠性、加快处理速度,并解决抗干扰及标准化问题^[16]。

1.2.6 伺服驱动技术

要实现机械电子工程全面、高速、准确地发展,毋庸置疑,伺服驱动技术具有很重要的地位。近年来,随着工业自动化的飞速发展,伺服驱动技术也在朝着变频化和交流化迈进^[17]。伺服驱动技术直接决定了机电系统的准确性、快速性以及灵活性。

1.2.7 系统总体技术

系统总体技术是一种运用宏观方法和思路,从整体目标出发,对系统总体进行研究的综合应用技术^[18-19]。系统总体技术加强了机械电子系统的宏观性,增加了机电产品的稳定性。

1.3 机械电子工程及其相关技术的联系与区别

1.3.1 机械电子工程与人工智能

人工智能是一门综合了控制论、信息论、计算机科学、神经生理学、心理学、语言学、哲学等多门学科的边缘性学科^[20]。人工智能就是研究如何使得计算机或者机器设备具有人类的某些特定的功能^[21-22]。从广义角度来看,机械电子工程与人工智能的结合是双向的,机械电子工程可以给人工智能提供一个强大的平台;而人工智能则可以使得机电产品和机电系统向着高级化、人性化和智能化发展。例如在描述机械电子系统的输入输出关系上^[23],人工智能就能给机械电子工程很大程度的帮助。

1.3.2 机械电子工程与机器人技术

机器人技术一直以来都是人们所最为关注的科学技术之一。随着科技的不断发展,机器人技术也逐渐走向成熟,其种类日趋增多、性能持续提高。

工程机械等诸多传统学科面临很多发展问题,其解决的途径就是实现不同程度机械电子化或机器人化^[24-25]。因此,机器人技术与机械电子工程的紧密结合终将能够彻底实现机器人融入人类生活,与人类一起协同工作,并且能够从事人类无法进行的工作,以更大的灵活性给人类社会带来更多的价值。

1.3.3 机械电子工程与电子机械工程

电子机械工程主要研究电子组装、电子设备的标准化、电子设备能量传递的媒介、电子系统与机械结构的研究等等。

机械电子工程与电子机械工程的联系较为紧密,可相互借鉴,在某些领域中甚至可以相互取代。但它们是两个不同的学科,机械电子工程是机械的电子化,就是以机械为基础而引入电子,而电子机械工程则相反;它们的产生背景也不同,电子机械工程是二次世界大战以后,有人提出雷达和通信中的机械工程这个名字,苏联称之为无线电设备的结构与工艺,在我国有关院校中曾建立过同名专业^[26]。

1.3.4 机械电子工程与电子信息工程

电子信息工程主要研究信息的获取与处理,电子设备与信息系统的的设计、开发、应用和集成等^[27]。电子信息工程的主要研究方向偏向于电子电路,以及信息系统在电子电路上的应用。与之相比,机械电子工程的综合性更强。

1.4 机械电子工程的实践应用

简单地讲,机械电子工程的应用大到国家的航空航天领域,例如运载火箭的动力系统、航空发动机等;小到人们所必不可少的生活用品,例如电话、空调、手机等等。

详细地讲,其实际应用将会在两个方面产生影响:

(1)产品。产品是技术的载体和体现者。机电产品的结构更合理、性能更优越、用途更广泛,已明显区别于传统机械、电子等产品^[28-30]。如新型机械加工中心,拥有车、磨、洗、刨、镗、钻等多种功能。

(2)系统。它能增强机电系统的控制精度、简化系统结构、提高系统可靠性^[31-32]。如大型重载混合动力汽车系统,可在刹车以及起动等进程中进行多位调整,还可以对不同路况的汽车动力使用情况进行检测,等等。

2 机械电子工程的产生及现状

2.1 机械电子工程的产生和发展

机械电子工程的产生和发展大致可分为3个阶段^[33-36]:

第1阶段。要追溯至20世纪60年代以前,第三次工业革命时期。由于这一时期各国生产力已经得到了极大的提升,急需与高速发展的生产力相适应的科学技术。在此背景之下,新兴的电子技术与传统的机械技术实现了初步融合。这不仅完善了机械产品的性能,同时也推动了当时各国科技和经济的发展。但是,由于这一阶段各国人力资源的匮乏,再加上电子技术的水平还不够高,科学技术也不能够为其提供足够的理论支持,从而导致机、电的融合度比较低,还不能大量应用于工业生产之中,更加不能满足广泛与深入发展之需要。

第2阶段。是在随后的30~40年,随着和平时代和科技时代的到来,机械电子工程也迎来了其高速发展时期。在该阶段,由于计算机技术和控制技术的迅猛发展,为机械电子提供了大量的技术支持;与此同时,大规模集成电路以及微机技术的出现,给机械电子提供了丰富的物质支持,这使得机械电子得到了进一步的发展,并且以一定规模地应用于工业领域。机械技术在与电子技术更进一步融合的基础上,也开始加入了计算机、控制技术等等,初步形成了其综合性。

第3阶段。主要指的是20世纪末叶及21世纪的初期。在该阶段,机械电子工程与其相关技术的结合更为紧密,从总体上形成了其知识体系结构并且开始进入产业阶段。在这一过程中,由于生产流程包括设备本身都体现出了对自动化、智能化的需要,推动了机械电子工程向着这些最新型技术领域的迈进,这也体现了机械电子工程发展的多元化。

2.2 国内外现状

日本从上世纪70年代开始就一直大力发展机械电子产业,到上世纪80年代初,日本就已经有了无人化示范工厂^[37]。现如今,日本的机械电子技术已逐渐成熟,处于世界领先地位。相比较日本而言,美国的机械电子产业起步较晚,美国自然科学基金委员会1985才开始投资兴建国家工程实验室。但美国的微电子技术十分发达,所以带动机械电子的发展比较迅速。1985~1995年这10年来美国的军用机器人和智能机器人开发经费从1.86亿美元增至9.75亿美元^[38]。欧洲许多发达国家也基本在同一时期竞相发展机械电

子工程^[39],英国剑桥大学在 1985 年开设了机械电子学工程硕士学位课,德国于 1984~1988 年提供 5.3 亿马克用于扩大工业机器人、软件操作系统等项目。与此同时,世界各国的大学相继开设机械电子工程学科,例如新西兰 Auckland 大学^[40],莫斯科大学等等。到 2008 年 4 月,土耳其国内的 98 所大学之中的 46 所都已经开设了机电工程^[41]。

我国于 1989 年将“机械电子工程专业”列为试办专业,1993 年成为正式专业。在此期间,国务院也成立机械电子领导小组并列为我国的“863 计划”。当前,机械电子工程是我国一级学科机械工程下设的二级学科,有多个研究方向,例如机电控制及其自动化、机电一体化与机器人、现代应用机电技术与系统、计算机集成制造与敏捷制造、虚拟机电仪器与虚拟测试技术等。

2.3 我国机械电子工程现状分析

从市场的角度来看,由于我国机械电子工程的发展历史不长、程度不深,在很多方面与日本以及欧美等国家有一定的差距。许多产品的品种、数量、档次、质量都不能满足要求,进口量较大。例如我国的数控机床在机床总数的占有率仍然较少,而国外的数控机床已占其总数的 30%~80%;美、日等发达国家工业系统中 CAD 应用率已超过 85%^[42],而我国 CAD 应用率和覆盖率还比较低。

从学科的角度来看,当下我国的机械电子工程处于快速发展阶段,主要特点就是更新速度快、与其他学科融合快、涉及的科学范围大。

(1)机械电子工程是与相关科学技术相结合而成的新的理论体系,所以在很多方面更新速度较快,从业者和学习者要不断更新理论知识,充分了解现阶段机械电子的发展趋势。我国很多高校在对机械电子工程专业的教学内容和教学方法上不断创新^[43-45],教学内容更加多元化、系统化,教学方法更加实践化。并且,适应机械电子工程专业人才培养的教学运行机制也在不断地更新^[46-47],更为注重人才的综合性、设计性和创新性。

(2)机械电子工程与其他领域的结合日益紧密,结合速度快,深化程度高。例如,机械电子与现代光学、现代医学、现代生物技术、组合学等的结合^[48-50]。它们的高度融合将给这一产业带来历史性的变革和巨大的经济效益。更为重要的是,它实现了学科之间互补关系,为边缘性学科和综合性学科的发展奠定了基础。

(3)机械电子工程涉及的学科范围大,知识体系

丰富,应用性强。例如在现代微特电机的设计中,不仅需要设计者机械、电子以及控制等多领域的基础理论知识,而且需要各领域技术的相互配合与协调,才能够设计和制造出合理的产品。

从工程的角度来看,各工程领域对自动控制性、高级智能性、稳定性的要求较高。目前我国的机械电子技术还不能够完全满足其需要,仍需借助传统的机械技术、控制技术来完成。从这一点来说,机械电子工程还具有很大的发展空间,各层次的知识结构也需要进行面向工程实践的转变。可以认为,机械电子工程的发展正在带动着整个工程领域的深度变化。

3 机械电子工程的发展趋势

机械电子工程不断向着智能化、模块化、网络化、微型化、绿色化等方向发展。随着科技的进步,机械电子工程所涉及的领域将持续扩大,理论和方法将更加完备,技术将更加精湛,多元化程度将越来越高。

(1)智能化。智能化是当今科学技术发展的主要潮流之一。在各科学领域实现人工智能控制将会给人类带来前所未有的便利。机械电子的智能化是对机电设备或机电系统行为的描述^[51]。在很多领域中,当机械电子工程联系了智能化,就会为系统和设备增添控制中枢,使之拥有更强大的实用能力。例如,智能机器人处理系统。在超市、垃圾站等地点,机器人可以用来智能地进行判断是哪一类商品或者垃圾,从而可按要求分类。这不仅节省了劳动力,更加大了工作效率,从根本上体现了智能机电系统的优越性。

(2)模块化。由于机械电子工程是一门综合性学科,其知识架构庞大,内容繁多,模块化是其发展的必然趋势。模块化就是将机械电子工程中的各个单元进行分别整理和研制^[52]。它能够简化系统结构,更具有可读性和可操作性,进一步方便了与其他领域信息的交互和移植。例如港珠澳大桥的修建就体现了模块化的应用价值,从总体上将工程分为桥梁、海中隧道以及海中人工岛 3 大部分。各部分分时同步进行,既能够保证工程的进度,也能够确保工程质量。

(3)网络化。随着当代计算机技术的迅猛发展,各专业与计算机技术的结合度日益密切。网络化能够大大提升信息的输入、变换、和输出。对于机械电子工程而言,网络化能够增强系统的可控性,提高工作效率。例如新型智能空调,可以通过蓝牙、GPRS、手机信号等网络手段对其实施随时随地的控制。人们可以在工作或外出时通过网络信号提前设定空调的温度及开关时间等。

(4)微型化。近年来,各科学技术纷纷向着微型化领域迈进,出现了微型车、特微型计算机、微型传感器甚至微型企业等等一系列新兴概念。机械电子产品也迅速向着小型化和微型化发展,并以大爆炸的形式进入人们的生活。例如手机马达、微型芯片等等。机械电子的微型化不仅使得机械电子产品的结构更加紧凑、能源分配更加合理,同时也加强了机械系统的逻辑性。可以预见,微型化的发展必将引领机械电子工程进入“纳米级”时代。

(5)绿色化。绿色化发展已然是当今全球科技发展的主题。绿色化发展是建立在资源承载力的条件下,将科技的发展提升至环境保护的发展模式。绿色化发展对于机械电子产品的设计和开发具有重要的意义。

4 结束语

通过对机械电子工程的概念、国内外现状及其未来发展趋势的分析,本研究认为:机械电子工程的出现和兴起,促进了国家科技进步,加快了学科间的交叉融合,推动了工业工程格局的转变。迄今为止,对于机械电子工程的定义,国内外仍未有统一认识:一方面这是由于机械电子工程自身发展的快速性所导致;另一方面是因为过于明确的定义有可能会限制它的发展,所以世界各国均有各自对机械电子工程的解释。机械电子工程具有学科的综合性,这不但加大了专业难度,而且增加了学科复杂性。笔者希望通过本研究对机械电子工程系统的论述,能够加强广大学者对机械电子工程的认识和理解。

在对机械电子工程的分析和研究过程中还有很多不足之处,未能面面俱到。对于如何使得机械电子工程的各项技术做到无缝式的融合以及机械电子专业人才的培养方式和方法等问题,有待进一步研究。

参考文献(References):

[1] HABIB M K. Interdisciplinary mechatronics engineering and science: problem-solving, creative-thinking and concurrent design synergy[J]. **International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems**,2008,1(1):4-22.

[2] TREVELYAN J. What is mechatronics engineering[J]. **Engineers Australia**,2006,78(5):54-55.

[3] ZHAO Wei-min, ZHU Xu-xia, YAN Chao-zhen. Construction of mechatronics engineering talents cultivation system based on local economy [J]. **Advanced Materials Research**,2012(591-593):2306-2309.

[4] DONDERS S, FARKAS L, HACK M, et al. Assessment of uncertainty for structural and mechatronics engineering applications [J]. **Applied Mechanics and Materials**,2011(104):145-159.

[5] SALAMI M J E, MIR-NASIRI N, KHAN M R. Development of mechatronics engineering degree program: challenges and prospects[J]. **The International Journal of Engineering Education**,2003,19(4):537-543.

[6] DUDZIAK R, BIESENBACH R, CANINENBERG W. 波鸿应用科技大学机电一体化工程教育20年(1993-2013)的经验和观点[J]. **机械设计与制造工程**,2013,42(8):1-8.

[7] 杨昂岳,曾砥平. 机械电子工程专业的形成和发展[C]//第五届全国机械设计及制造专业教学研讨会议论文集(卷1 教学论文). 北京:机械工业出版社,1995:61-64.

[8] VENUVINOD P K, CHAN L W, D N K, et al. Development of the first mechatronic engineering degree course in the far east[J]. **Mechatronics**,1993,3(5):537-541.

[9] WIKANDER J, TORNAREN M, HANSON M. The science and education of mechatronics engineering [J]. **Robotics and Automation Magazine IEEE**,2001,8(2):20-26.

[10] SHYR W J. Graphical human interface technology for use in mechatronics in engineering education [J]. **Computer Applications in Engineering Education**,2013,21(2):322-327.

[11] RANDA H. Practically oriented design projects in mechatronics engineering: a case study of design experiences and outcomes[J]. **International Journal of Electrical Engineering Education**,2010,47(1):31-46.

[12] 邱自学,姚兴田,王君泽. 机械电子工程专业人才培养模式及其课程群建设[J]. **机电工程**,2005,22(12):60-63.

[13] PETER M. SFU launches mechatronics engineering program[J]. **Journal of Commerce**,2007(71):3.

[14] 魏 娟. 机电一体化及其机械系统的设计特点[J]. **煤矿机械**,2001(7):17-19.

[15] 周杏鹏,仇国富,王寿春,等. 现代检测技术[M]. 北京:教育出版社,2004.

[16] 宿永在. 机电一体化得核心技术与发展趋势[J]. **内蒙古煤炭经济**,2010(4):45-46.

[17] TOM. Direct drive servo technology[J]. **Instrumentation and Automation News**,2001,49(9):11.

[18] 张建民. 机电一体化系统设计[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2007.

[19] KIRAN C P, AGRAWAL V P. Coding, evaluation and optimal selection of a mechatronic system[J]. **Expert Systems with Applications**,2011,38(6):9704-9712.

[20] PETER N. Artificial intelligence[J]. **New Scientist**,2012,216(2889):1.

[21] CANTU-ORTIZ F J. Advancing artificial intelligence re-

- search and dissemination through conference series: Benchmark, scientific impact and the MICAI experience [J]. **Expert Systems with Applications**, 2014, 41 (3): 781-785.
- [22] 王 琪. 机械电子工程与人工智能的关系探究[J]. 科技传播, 2012(1):114-115.
- [23] 郑福奎. 机械电子工程与人工智能的关系探究[J]. 科技创业家, 2013(11):108.
- [24] 黄宗益. 工程机械机电一体化、机器人化[J]. 中国机械工程, 1996, 7(3):64-66.
- [25] SILVA M M, GONÇALVES A M. Mechatronic design concept and its application to pick-and-place robotic systems [J]. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, 2013, 35(6):31-40.
- [26] 周文盛. 发展中的电子机械工程[J]. 中国电子教育, 1997(1):48-51.
- [27] 刘崇新, 张 智. 对电子信息工程应用的探讨[J]. 城市建设理论研究, 2013(32):1-4.
- [28] 颜永年, 张晓萍, 冯常学. 从机械产品到机械电子产品[J]. 苏南乡镇企业, 2000, 15(6):10-11.
- [29] 李瑞琴, 邹慧君. 机电一体化产品概念设计理论研究现状与发展展望[J]. 机械设计与研究, 2003, 19(3):10-13.
- [30] POPOVIC D, VLACIC L. Mechatronics in engineering design and product development [J]. **Materials and Manufacturing Processes**, 2001, 16(2):291-292.
- [31] GORYACHEVA I G, MOROZOV N F. Mechanics as a 20th-century science [J]. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, 2012, 82(4):311-319.
- [32] 冯旭强. 机电一体化技术的研究及其应用[J]. 机械工程与自动化, 2009(1):195-197.
- [33] 余建文. 浅谈智能控制与机电一体化得融合发展[J]. 科技创业, 2012(8):185-186.
- [34] 李慧敏. 机械电子技术发展趋势的讨论[J]. 电子制作, 2013(4):179.
- [35] 魏世元. 机电一体化技术的发展现状与展望[J]. 河南科技, 2010(24):13.
- [36] 李小宠. 机电一体化技术的发展趋势分析[J]. 工业技术, 2013(30):118.
- [37] 张建民. 国内外机电一体化发展概况[J]. 机电一体化, 1996(5):24-26.
- [38] 赵妹明, 李喜田. 机电一体化专业发展的现状_问题与对策[J]. 北方工业大学学报, 1998, 10(3):78-84.
- [39] MALTE P, PHILIP M, CHEN Xi, et al. A new approach towards systems integration within the mechatronic engineering design process of manufacturing systems [J]. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2013, 26(8):806-815.
- [40] AW K C, XIE S Q, HAEMMERLE E. A FPGA-based rapid prototyping approach for teaching of mechatronics engineering [J]. **Mechatronics**, 2007, 17(8):457-461.
- [41] HAKAN Y, SELUK M. Assessment of transition from mechanical engineering to mechatronics engineering in turkey [J]. **International Journal of Engineering Education**, 2009, 25(1):112-121.
- [42] 陈 辉, 张 磊. 机电一体化技术的现状及发展趋势[J]. 国内外机电一体化技术, 2009(s4):35-37.
- [43] 罗亚辉, 康 江, 刘旭红. 机械电子工程专业实验教学改革探讨[J]. 中国电力教育, 2013(28):145-146.
- [44] 王殿君, 焦向东, 王 伟, 等. 新版机械电子工程专业培养方案的研究与实践[J]. 安徽师范大学学报, 2010, 33(1):39-42.
- [45] 刘晓红. 机械电子工程专业实践性教学的发展趋势及其对策研究[J]. 广东技术师范学院学报, 2011(2):53.
- [46] 机电一体化职业技能培训发展研究课题组. 我国机电一体化技能人才供求关系的分析[J]. 中国培训, 2011(2):34-38.
- [47] 傅晓林. 机电一体化发展方向及人才培养模式[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 3(S):17-18.
- [48] 机电一体化专委会. 机械电子技术的进展[C]. 中国电工技术学会, 2004.
- [49] 牛雅琴. 组合学在机械电子工程中的应用分析[J]. 信息与电脑·理论版, 2010(4):198-199.
- [50] MOMANI L, AL-NUIMY W, AL-JUMAILY M, et al. A mechatronic valve in the management of hydrocephalus: methods and performance [J]. **Medical and Biological Engineering and Computing**, 2011, 49(1):121-132.
- [51] 冯正进. 机电一体化技术进展[J]. 工业工程, 2000, 3(1):1-4.
- [52] 谢 佳. 略论机电一体化技术的发展[J]. 机电信息, 2011(6):1-2.

[编辑:张 翔]

本文引用格式:

潘 雍, 傅明星, 于 晨. 机械电子工程综述[J]. 机电工程, 2014, 31(5):553-558.

PAN Yong, FU Ming-xing, YU Chen. General ideas of mechatronics engineering[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(5):553-558.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>