

# 21 世纪非制造业自动化的发展 与特种机器人研究思考

戴先中

(东南大学自动控制系 南京 210096)

(E-mail: xzdai@seu.edu.cn)

**摘 要** 21 世纪初将是非制造业自动化(包括农业自动化、服务自动化和地下、水下、地面(建设)作业自动化等)的快速发展时期. 文中从分析工业机器人技术的进步对制造业自动化发展的影响着手, 指出非制造业自动化的快速发展, 将对特种机器人产生巨大的需求; 特种机器人作为一种具有高度灵活性的自动化并逐渐智能化的机器, 无疑具有很大的发展空间; 同时特种机器人技术的发展, 将极大地推动非制造业自动化的发展, 特种机器人技术将成为非制造业自动化中的核心技术之一. 该文还建议, 我国特种机器人研究应放在非制造业自动化发展的大环境中开展, 同时应重视多学科交叉, 研究队伍不能局限于自动化领域.

**关键词** 非制造业, 自动化, 机器人

**中图分类号** TP24

## NON-MANUFACTURING AUTOMATION IN 21-CENTURY AND RELATED DEVELOPMENT OF ADVANCED ROBOT RESEARCH

DAI Xian-Zhong

(Department of Automatic Control, Southeast University, Nanjing 210096)

(E-mail: xzdai@seu.edu.cn)

**Abstract** The non-manufacturing automation such as service automation, construction automation and agriculture automation will be developed quickly at the beginning of the 21-century. Similar to industry robot demand resulted from the manufacturing automation, the quick development of the non-manufacturing automation will result in the increasing demand for the advanced robots such as service robots. As a mechatronic system with high level characteristics summarized as machine intelligence, the advanced robot will play a key role in the future non-manufacturing automation and drive up its development. To develop our own advanced robots, it is suggested in this paper that one should pay more attention to the demand pull of the non-manufacturing automation and to a good multidisciplinary cooperation.

**Key words** Non-manufacturing, automation, robot

## 1 对非制造业自动化发展的认识

广义的制造业包含了第二产业——工业的大部分(如机械、汽车、家电等离散过程工业与冶金、石化、医药等连续过程工业),因此制造业自动化几乎就成了工业自动化的代名词。顾名思义,非制造业是指除制造业以外的所有产业,包括第一产业全部(农业、林业、渔业等)、第二产业中的矿产业、建筑业等和第三产业即服务业全部。因而可以预见,非制造业自动化对人类社会的影响不亚于制造业自动化。

从 20 世纪 60 年代开始,工业机器人、数控机床、计算机等先进技术的广泛应用,制造业自动化进入了一个飞跃发展的时期。由于制造业自动化的快速发展,使生产效率大大提高、产品价格大大下降,同时从事制造业的人数减少;与此同时,服务业(第三产业)就业人数急剧增加,服务价格不断攀升<sup>[1~4]</sup>。表 1 给出了德国从 1976 年到 1994 年约 20 年间不同产业从业人员的变化<sup>[1]</sup>。可以看出,第二产业的从业人员大大减少,而第三产业的从业人员大大增加。另据报道,在美国目前有二分之三的人从事服务业,只有约 18% 的人从事制造业。

20 世纪 90 年代以来,随着制造业自动化发展水平的逐步趋于饱和与人们对生活(生产)质量要求的不断提高,非制造业自动化尤其是服务自动化呼之欲出。对第一产业的农业、林业、渔业和对第二产业中的矿产业、建筑业等来说,发展非制造业自动化能极大地减轻从业人员的劳动强度、提高安全系数、提高劳动效率;对第三产业即服务业来说,发展服务自动化同样能极大地减轻从业人员的劳动强度、提高安全系数、提高劳动效率,同时还能提高服务质量,并使服务价格趋于稳定。

从自动化的发展来看,经历了工业自动化(主要是制造自动化)以及所谓的办公自动化和商务自动化(均属于服务自动化)的发展后,21 世纪前 20 年内,将是非制造业自动化(包括农业自动化、地下作业自动化、水下作业自动化、地面(建设)作业自动化和范围更广泛的服务自动化等)的快速发展时期。

如果说,在 20 世纪下半叶,一个国家制造业自动化的水平就代表了该国工业化的水平、决定了该国整体工业的水平;那么,在 21 世纪上半叶,一个国家非制造业自动化的水平将决定该国第一与第三产业的水平。

从总体上说,我国制造业自动化的水平落后发达国家 20 年;而非制造业自动化从 20 世纪 90 年代才进入发展期,至今才仅 10 年多时间,再加上我国在部分领域也开展了相应的研究与应用,因而,从总体上说,我国非制造业自动化的水平与发达国家的差距仅约 5 年。只要我国及早组织研究对策、及早规划,就有可能赶上世界非制造业自动化的总体发展水平,在第一与第三产业的世界竞争中取得我国应有的位置。

表 1 不同产业从业人员的变化(1976~1994,德国)

产业	行业	1976 年从业人员(基数)	1994 年从业人员	20 年增减数
工业	制造、建设	1000	104	-896
	旅馆、饭店、社区、家政及与个人有关的服务	1000	1236	+236
服务业	交通、运输、通信	1000	1684	+684
	金融、房地产、租赁、商业	1000	2174	+1174
	教育、医疗、公共事业与国防	1000	2617	+1617

## 2 特种机器人对非制造业自动化发展的影响与作用

### 2.1 历史的借鉴——工业机器人技术的进步对制造业自动化发展的影响

20 世纪 50~60 年代,为解决单调、重复的体力劳动和提高产品质量,工业机器人作为新一代的生产机器在制造业发挥了巨大的作用;20 世纪 70~80 年代,适应市场多变、对多品种小批量生产方式的要求,工业机器人促进了制造业由刚性自动化迈入柔性自动化阶段,工业机器人成为制造业的关键核心设备之一.与此同时,工业机器人取得了飞速发展,世界工业机器人年增长率达到 30%,迎来了工业机器人的大发展阶段;进入 90 年代以来,以最短时间开发出高质量、低价格的新产品,由面向市场多变生产转变为面向顾客生产,已成为市场竞争的新焦点,工业机器人作为高精度、高柔性、高智能的加工设备为敏捷制造、智能制造作出了重要贡献.

回顾近 40 年制造业的发展过程可知,工业机器人的应用与发展源于制造业自动化发展的需求,又极大地推动了制造业生产模式的变革和制造发展阶段的更新,工业机器人技术亦因此成为先进制造的关键核心技术之一,与此同时工业机器人及其技术获得了飞速的发展.

### 2.2 需求牵引——非制造业自动化的发展呼唤特种机器人

不同于服务于制造业的工业机器人,特种机器人服务于非制造业,如农业、林业、水下、空间、土木建筑、核工业、采掘、医疗、救灾、排险、服务、娱乐以及军事等领域,是非结构化环境下作业的范围广泛的一大类机器人的总称.为了适合非结构化环境下作业,通常情况下,特种机器人的形状已完全不同于最初的工业机器人,功能和智能程度大大超出了工业机器人<sup>[5~9]</sup>.

特种机器人是我国称呼,国外一般称为先进机器人(advanced robot),原意是与结构化环境下作业的工业机器人相比,特种机器人与环境的交互作用更加复杂,控制更加困难,要求的智能程度更高,是更先进的机器人.

与工业机器人一样,毫无疑问,特种机器人也是一种自动化机器.所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的能力,如感知能力、规划能力、动作(包括移动)能力和协同能力,是一种具有高度灵活性的自动化并逐渐智能化的机器.

如上所述,20 世纪 90 年代以来,随着人们对生产条件与生活质量要求的提高,非制造业自动化尤其是服务自动化呼之欲出.在非制造业自动化的发展中,特种机器人作为一种具有高度灵活性的自动化并逐渐智能化的机器,无疑具有很大的发展空间,尤其是用于采掘、建筑、土木工程、水下恶劣环境下替代重体力劳动作业和检查作业,进入石油、煤气、污水等管道内完成特殊的检查、维修,以及能显著加快海洋开发、宇宙探测和提高医疗与服务水平的各种特种机器人,更是需求巨大.

因此,随着 21 世纪前 20 年内非制造业自动化(包括农业自动化、地下作业自动化、水下作业自动化、地面(建设)作业自动化和服务自动化等)的快速发展,将对特种机器人产生巨大的需求.表 2 给出了不同产业、行业对特种机器人的需求程度和已实用或接近实用化的特种机器人.

表 2 不同行业对特种机器人的需求程度和已实用化的特种机器人

产业	行业	已实用或接近实用化的特种机器人	需求程度
第一产业	农业	谷物、棉花、蔬菜(西红柿、黄瓜等)、水果的收获、嫁接、移植、洒药、除草等	大
	林业	剪枝、洒药、除草等	中
	畜牧业	挤奶、剪毛、屠宰加工、割草等	中
	渔业	屠宰加工等	小
第二产业	矿业	采矿机器人、水下机器人	大
	建筑	高层建筑抹灰机器人、预制件安装机器人、室内装修机器人、地面磨光机器人、擦玻璃机器人	大
	土木	隧道工程用机器人	大
	能源	核电站、输电线、变电所检查机器人	大
	油、汽、水	管道挖掘和埋设机器人、管道检查、清理、维修机器人	大
第三产业	零售业	搬运机器人、清洗机器人	中
	旅馆、饭店	保安机器人、清扫机器人、饭菜运送机器人	中
	交通、运输、通信	飞机清洗机器人、汽车加油机器人、海底电缆、管道敷设机器人和检查机器人	大
	金融		小
	房地产、租赁	楼宇清洗机器人	小
	公共事业与国防	消防机器人、保安机器人、防暴机器人、爆炸物处理机器人、排雷机器人、野外快速巡逻机器人	中
	教育		小
	医疗、护理、保健	辅助外科机器人系统、腹腔诊断机器人、护理机器人、导盲机器人、送药机器人	大
	社区服务	保安机器人	中
	家庭服务	草坪修剪机器人、清洗机器人、公共场所	大

### 2.3 技术推动——特种机器人技术对非制造业自动化发展的推动作用

虽然机器人技术尤其是仿人机器人技术的发展远没有人类所期望的那么快(今天,即使是最先进的机器人,其智力仅相当于一个婴儿),但正如宋健院士在第 14 届国际自动控制联合会 IFAC 世界大会上演讲中提到,“机器人学的进步和应用是 20 世纪自动控制最有说服力的成就,是当代最高意义上的自动化. 仅仅花了 20 年,机器人从爬行学会了两腿走路,成为直立机器人,而人类从爬行到直立花了上百万年。”

确实,机器人尤其是特种机器人技术已经取得了辉煌成就,不仅为机器人学成为一个独立学科奠定了基础,也使机器人技术成为公认的多学科交叉的高技术,综合了机构学、控制科学、计算机科学、微电子学、光学、传感技术、材料科学、生物医学、仿生学等科学技术的最新成果于一体。

从机器人技术的发展来看,特种机器人是在工业机器人技术的基础上发展起来的. 随着工业机器人的广泛应用与工业机器人技术的日趋成熟,人们对机器人技术智能化本质的认识亦日益加深,机器人技术向人类生产、生活的各个领域的渗透就十分自然与必然. 结合不同应用领域的特点,人类创造了各式各样的特种机器人,如军用机器人、空间机器人、农业机器人、仿人机器人、水下机器人、医疗机器人、服务机器人等. 这些机器人的形状已完全不同于最初的工业机器人,功能和智能程度大大超出了工业机器人,从而不仅使机器人及自动化技术呈现出更加广阔的发展空间,同时也为加快宇宙探测、海洋开发的步伐,实现采掘、建筑、医疗、农业、服务等行业的自动化作出了重要贡献。

近 20 年来,随着特种机器人不断扩大应用领域、不断取得振奋人心的成果,对经济、社会和国防产生了很大的影响,正引起国际上重新认识机器人技术的作用和影响,各先进工业

国都把特种机器人技术列入本国的高技术发展计划或国家的关键技术研究计划(新加坡、韩国、巴西等国家亦有相应的研究计划),与此同时,美国将(特种)机器人技术列入限制交流的高技术之列.

因此,可以预见,特种机器人技术的发展,将极大地推动非制造业自动化的发展,特种机器人技术将成为非制造业自动化中的核心技术之一.

21 世纪前 20 年,将是特种机器人技术迅猛发展、特种机器人向各个应用领域全面渗透与铺开的重要的 20 年,亦是我国特种机器人研究的关键 20 年<sup>[2]</sup>.

### 3 对开展特种机器人研究的思考

#### 3.1 特种机器人研究应放在非制造业自动化发展的大环境中开展

如上所述,特种机器人不断扩大应用领域源于非制造业自动化发展的需求牵引与机器人技术本身发展的推动,其中非制造业自动化发展的需求即社会发展的需求起着极其重要的作用.也就是说,特种机器人发展不能超越社会需求,不能超越非制造业自动化发展需求去发展.让我们来看看正反两方面的不同案例.

##### 1)“机器人之父”创业服务机器人的艰难历程

研制了世界上第一台工业机器人(1961 年)并建立起机器人产业,被誉为“世界机器人之父”的美国恩格尔伯格先生,在工业机器人产业如日中天、大有钱赚的 1983 年,将其 UNIMATION 公司以 1 亿多美元的价格卖给了西屋公司,投资研究移动机器人与服务机器人.至今近 20 年过去了,恩格尔伯格先生及其公司虽然开发成功了医院用的移动机器人 HELPMATE,但在移动机器人与服务机器人领域“创业”极其艰难,远未达到工业机器人创业时那样的辉煌.按恩格尔伯格先生本人的话来说,虽然服务机器人的潜在市场非常大(远大于工业机器人市场),但由于目前像吸尘机器人等服务机器人的价格还很贵(约 2000 美元),实际市场并不大(至少目前如此).只有当价格降下来,才有真正的大市场.

##### 2)新西兰生肉加工自动化与屠宰机器人的快速发展<sup>[6]</sup>

肉类加工工业是新西兰的一个主要工业部门,其 1996 年的产量近 120 万吨,其中的绝大多数供出口.新西兰在肉类加工领域实现自动化的动机是取代劳动力,降低工人的劳动强度和改善安全条件,并且提高肉类食品的卫生水平.从 1992 年起,新西兰肉类基金组织以及新西兰政府一直为肉类加工中使用机器人技术的柔性自动化投入资金,开发适合肉类加工中两个重要阶段,即剥羊皮与去骨,以及肉类的切割、包装与搬运的遥控操作器与机器人,获得了成功.如用于剥羊皮中的一道重要工序 Y 分割机器人系统可一分钟处理 8~9 只羊.这些装置已经在新西兰的工厂中经受过长期的试运行,已经大部分实现了商品化.

因此,我国特种机器人研究应从我国的实际情况出发,围绕我国非制造业自动化的发展,在以下领域内让特种机器人当好主角,并开拓广大的应用市场.

1) 围绕地面(建设)作业自动化、地下作业自动化、水下作业自动化,以把人从危险、恶劣环境下重体力劳动、单调长时间作业替换出来作为重点,研制开发核工业机器人、采矿机器人、隧道工程用机器人、水下作业机器人(完成海底矿藏调查、救捞作业、管道敷设和检查、电缆敷设和检查、海上养殖及江河水库的大坝检查)、建设机器人以及污水、石油、天然气、煤气等大型管道的检查、清理、维修机器人.

2) 围绕医疗自动化和服务自动化,以提高人民的医疗与生活水平,适当地发展医用机器人和服务机器人,如开展临场感外科研究,发展辅助外科机器人系统、腹腔诊断机器人等;重点发展公共设施的清洗机器人、公共场所清扫机器人、为残疾与老人服务的生活支持机器人(如护理机器人、导盲机器人等),以及消防机器人、排险机器人、救援机器人等。

3) 围绕农业自动化和西部大开发,逐步开展农业机器人研究,重点发展能补充劳力不足、提高生产率和作业质量、改善劳动条件等效果的农业机器人,如农药喷洒机器人、嫁接机器人、移植机器人、收获机器人以及挤牛奶机器人、剪羊毛机器人、搬运机器人等。

此外,围绕国防与军事发展、海洋与宇宙开发,以提高我国国防、军事实力,增强国家安全与国际地位,开发利用海洋与宇宙资源为目的(特种机器人成为中坚力量),发展微型机器人、军用机器人、空间机器人、深海作业机器人;围绕信息技术、生物医学技术、纳米技术的发展,以提供高精度、高柔性、高智能的自动化辅助研究设备为己任(特种机器人当好配角),研究基于机器人技术的智能化微操作装置;围绕特种机器人技术的自身发展(特种机器人技术的基础研究)与满足人类对机器人的深层次的要求(特种机器人向深层次的“人化”发展),有意识地开展仿人机器人的研究,开展足球机器人活动。

### 3.2 重视多学科交叉与多单位合作攻关

与工业机器人不同,特种机器人的主要支撑学科不再局限于机构学、控制科学、计算机技术与传感技术这些传统意义上的自动化或与自动化相关的领域,还将包括材料科学、生物医学、仿生学等多门科学,是真正意义的众多学科的交叉.因此,特种机器人虽说是一种自动化机器,应当属于自动化领域,但其研究队伍不能局限于自动化领域(注,这儿指的还是广义的自动化),必须加以扩大.如德国 1995 年开始为时 4 年的仿生机器人研究(国家计划),参加的 10 多所大学与研究单位中有一半是来自生物医学领域(另一半为机械与控制各占四分之一)。

我国开展特种机器人的研究,如仿人(仿生)机器人与医用机器人的研究,必须有生物医学、材料科学的研究单位与人员参加;而研究微型机器人,必须还要有微电子学、材料科学、工程力学等学科的加盟.如果没有这些学科的加盟与支持,光靠原有学科研究人员的“兼职”、“客串”,是不可能研制开发出真正高水平产品的。

## 4 结束语

至少在中国,人们通常把计算机(computer)称为电脑,反映了人们希望计算机能像人脑一样聪明.虽然发展到今天,即使是最先进的计算机与人脑相比,在功能上还有极大的差距,但计算机发展的辉煌成就是有目共睹的.20 多年前,当 IBM 推出个人计算机 PC 时,无论是 IBM 公司本身还是 IT 行业大胆的预言家,都未想到 PC 会有今天这样的强大的功能与今天这样巨大的市场。

同样地,中国人把国外用 Robot 来代表的一大类自动化机器称做机器人,至少表明中国人对机器人确实寄予了无限的希望,希望机器人能像人一样能干甚至无所不能.同样地,虽然发展到今天,即使是最先进的机器人,其智力仅相当于一个婴儿,但机器人 40 年发展的辉煌成就已向我们展示了一个美好的前景.当 2050 年到来时,机器人足球队参加世界杯足球比赛与人同场竞技,或许还真能赢。

## 参 考 文 献

- 1 R D Schaft *et al.* Mechatronic System Techniques for Service Robots. Fraunhofer Institute Reports, Stuttgart, Germany, 1997
- 2 机器人技术主题软科学研究组. “十五”“863”计划先进制造与自动化技术领域机器人技术主题立项建议书. 北京: 2001
- 3 国家发展计划委员会高技术产业发展司. 中国高技术产业发展报告. 北京: 中国计划出版社, 2001
- 4 朱 斌. 当代美国科技. 北京: 社会科学文献出版社, 2001
- 5 The 16th Joint Coordinating Forum(JCF) of International Advanced Robotics Programme(IARP), Montreal, 1997
- 6 The 17th Joint Coordinating Forum(JCF) of International Advanced Robotics Programme(IARP), Tokyo, 1998
- 7 The 18th Joint Coordinating Forum(JCF) of International Advanced Robotics Programme(IARP), Toulouse, 1999
- 8 The 19th Joint Coordinating Forum(JCF) of International Advanced Robotics Programme(IARP), 2000
- 9 The 20th Joint Coordinating Forum(JCF) of International Advanced Robotics Programme(IARP), Brazil, 2001

**戴先中** 1986年获清华大学电机系博士学位后留校任教, 1998年调入南京东南大学自动控制系至今. 现为东南大学机器人研究中心主任、教授、博士生导师. 目前研究方向有机器人控制、运动控制等.