DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2010.09.025

中国工业机器人产业化发展战略*

Development Strategy for China Industrial Robot

哈尔滨工业大学机器人技术与系统国家重点实验室　　李瑞峰

李瑞峰

哈尔滨工业大学机器人研究所副所长，教授，博士生导师。开展工业机器人技术及以机器人技术应用为主的机电一体化成套设备的关键技术研究，主要在工业机器人系统优化设计、多机器人协调作业技术和基于传感器的工业机器人控制技术方面开展研究。目前，担任中国人工智能学会智能机器人专业委员会常务委员、中国自动化学会机器人专业委员会委员、中国标准化学会工业机器人分委员会委员。

工业机器人的制造及应用水平代表了一个国家的制造业水平，因此建议必须从国家高度认识发展中国工业机器人产业的重要性，这是我国从制造大国向制造强国转变的重要手段和途径。

自从20世纪60年代初人类制造了第一台工业机器人以后，机器人就显示出了极强的生命力。日本政府对工业机器人产业和应用实施了积极的扶植政策，率先从美国引进了机器人技术，仅用十几年的时间，在日本就实现了工业机器人的产业化和推广应用。现在，在工业发达国家中，工业机器人已经广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、物流等诸多领域中。作为先进制造业中不可替代的重要装备和手段，工业机器人已经成为衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志[1]。

在国外，工业机器人技术日趋成熟，已经成为一种标准设备被工业界广泛应用。从而，相继形成了一批具有影响力的、著名的工业机器人公司，其中包括：瑞典的ABB，日本的FANUC、YASKAWA、MOTOMAN，德国的KUKA，美国的Adept Technology，意大利COMAU，这些公司已经成为其所在国家的支柱企业。

我国的工业机器人研究开始于

* 国家863计划资助项目（2009AA04z216）。

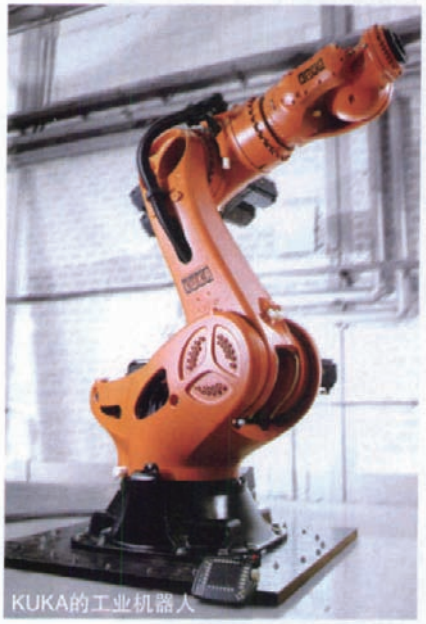
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

20 世纪 70 年代，由于当时经济体制等因素的制约，发展比较缓慢，研究和应用水平也比较低。1985 年，随着工业发达国家开始大量应用和普及工业机器人，我国在“七 · 五”科技攻关计划中将工业机器人列入了发展计划，由当时的机械工业部牵头组织了点焊、弧焊、喷漆、搬运等型号的工业机器人攻关，其他部委也积极立项支持，形成了中国工业机器人第一次高潮。

进入 20 世纪 90 年代后，为了实现高技术发展与国家经济主战场的密切衔接，863 计划确定了特种机器人与工业机器人及其应用工程并重、以应用带动关键技术和基础研究的发展方针。经过广大科技工作者的辛勤努力，开发了 7 种工业机器人系列产品，102 种特种机器人，实施了 100 余项机器人应用工程 [2]。

在 20 世纪 90 年代末期，我国建立了 9 个机器人产业化基地和 7 个科研基地，包括沈阳自动化研究所的新松机器人公司、哈尔滨工业大学的博实自动化设备有限公司、北京机械工业自动化研究所机器人开发中心、海尔机器人公司等。产业化基地的建设带来了产业化的希望，为发展我国机器人产业奠定了基础。经过广大科技人员的不懈努力，我国目前已经能够生产具有国际先进水平的平面关节型装配机器人、直角坐标机器人、弧焊机器人、点焊机器人、搬运码垛机器人和 AGV 自动导引车等一系列产品，其中一些品种实现了小批量生产。一批企业根据市场的需求，自主研制或与科研院所合作，进行机器人产业化开发。如奇瑞汽车与哈工大合作进行点焊机器人的产业化开发、西安北村精密数控与哈工大合作进行机床上下料搬运机器人的产业化开发、昆山华恒与东南大学等合作开发弧焊机器人、广州数控开发焊接机器人、盐城宏达开发弧焊机器人。

但是，我国目前还没有像日本的 FANUC 和德国的 KUKA 那样的形成规模的工业机器人制造厂，工业机器人产业目前在我国还仅仅处于萌芽阶段。随着我国现代制造业的发展，我国工业机器人的需求量在快速增长。


KUKA的工业机器人

工业机器人作为最典型的机电一体化数字化装备，技术附加值很高，应用范围很广，作为先进制造业的支撑技术和信息化社会的新兴产业，将对未来生产和社会发展起着越来越重要的作用。国外专家预测，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。随着我国工业企业自动化水平的不断提高，工业机器人市场也会越来越大，这就给工业机器人的研究、开发、生产商带来巨大商机。然而机遇也意味着挑战，目前全球各大工业机器人供应商都已大力开拓中国市场，因此中国必须大力发展机器人产业，通过发挥中国生产制造优势，提高自主创新能力，寻求有特色的发展道路，在国家相关政策的支持下扶持和鼓励一大批民族的机器人产业成长壮大。

工业机器人的需求与前景

我国目前正从劳动密集型向现代化制造业方向发展，振兴制造业、实现工业化是我国经济发展的重要任务。从制造业的发展历程看，生产手段必然要经历机械化、自动化、智能化、信息化的变革。随着国民经济的快速发展以及生产技术的不断进步和劳动力成本的不断上升，如何进一步提高生产率、提高产品质量、降低劳动强度、改善劳动条件已经成为不少企业不得不考虑的问题。作为先进制造业中不可替代的重要装备和手段，工业机器人的应用和普及自然成为企业较理想的选择。机器人工作站，特别是机器人自动化生产线的不断出现，不仅大大增强了企业竞争力，也给用户带来了显著效益，随着企业自动化水平的不断提高，机器人自动化生产线的市场肯定会越来越大，将逐渐成为自动化生产线的主要形式。

目前，世界工业机器人装机总量已达到一百多万台，主要分布在日本、美国、德国等技术发达国家的制造业中 [3]。在中国现在已有 3 万多台工业机器人在运行使用，但与工业发达国家相比仍然有很大的差距。汽车业是工业机器人应用大户，从汽车制造业每万名生产工人占有机器人的数量来看，日本 1710 台、意大利 1600 台，法国 1120 台，西班牙 950 台，美国 770 台，英国 610 台，瑞典 630 台，而我国还不到 90 台（汽车产业职工人数约为 356 万，参见汽车工业协会 2008 年 11 月数据）。由此可见，我国汽车工业的工业机器人市场远未饱和。仅我国汽车工业就存在一个庞大的工业机器人市场，如果考虑到我国整个制造业的需要，工业机器人市场则更加庞大。

长期以来，由于我国人口众多、劳动力价格低廉、生产技术水平又相对落后，工业机器人的应用受到了很大限制。改革开放后，随着大量外资、合资企业的出现以及国内企业技术水平的不断提高，特别是汽车业的快速发展，我国工业机器人应用情况发

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生了相当大的变化。据统计，“九·五”期间，我国工业机器人的需求量以每年30%以上的速度快速增长。至2000年时，我国工业机器人的拥有量已达3500台左右，主要包括点焊、弧焊、喷漆、注塑、装配、搬运、冲压等各类机器人；至2005年拥有量达到7000台。近几年来，随着经济的快速境长，特别是汽车业的高速发展，我国每年新增的工业机器人台数以及总拥有量都在快速增长。广泛采用工业机器人，不仅可以有效提高产品质量，而且对保障人身安全、改善劳动环境、减轻劳动强度、提高劳动生产率、节约材料消耗以及降低生产成本都具有十分重要的意义。

归纳起来，中国工业机器人市场具有以下特征[4]：

（1）国内汽车业的高速发展有力促进了工业机器人市场的发展。汽车制造业属于技术、资金密集型产业，也是自动化程度要求高、竞争相当激烈的行业。自2000年开始，受国家宏观政策调控及居民消费水平提高的影响，我国汽车业进入高速增长期。面对这种局面，国际汽车巨头纷纷进入中国市场，与我国企业合资设厂或扩大原有生产规模，国内企业也纷纷转型或加大对汽车行业的投资，整个行业增产扩能增加了对工业机器人的需求。可以说，汽车工业的发展是近几年我国工业机器人增长的主要原动力之一。

（2）沿海经济发达地区是工业机器人的主要市场。我国工业机器人的使用主要集中在广东、江苏、上海、北京等地，其工业机器人拥有量占全国的一半以上。珠江三角洲地区和长江三角洲地区是我国经济最发达的2个地区，其中长江三角洲地区在制造业中所占的比例越来越大。企业资金与技术实力雄厚、对产品质量和劳动生产率要求高，这促使企业使用较多的工业机器人。

（3）外商独资企业、中外合资企业是目前工业机器人的主要用户。工业机器人属于技术含量高、价格相对昂贵的制造装备。采用工业机器人较多的企业，一般对产品的质量要求较高，企业在市场上具有更高的影响力。外商独资或中外合资企业自动化程度一般比较高，也导致工业机器人的需求量较大。

哈工大与奇瑞汽车联合研制的165kg点焊机器人

（4）国内一些现代化水平比较高的企业开始越来越多地应用工业机器人。国内一些汽车厂家如奇瑞等为了提高产品竞争力，开始较多地应用工业机器人。军工企业特别是坦克装甲战车等开始应用焊接机器人，焊接速度与焊接质量得到明显提高。在船舶行业中，一些特种船舶，例如液化石油气运输船舶，也开始采用焊接机器人进行焊接作业。由于我国基础设施建设的高速发展，工程机械行业繁荣壮大，也成为应用焊接机器人较多的行业之一。在铁路机车行业，由于我国货运、客运、城市地铁等需求量的不断增加，以及列车提速的需求，机器人的需求也一直处于稳步增长态势。

（5）劳动力成本的不断提高促使工业机器人不断进入企业。长期以来，由于机器人成本较高而劳动力价格相对低廉，我国大部分企业主要是劳动密集型企业。随着经济的持续快速发展，国内相当数量的企业技术实力得到很大提高，生产设备更新换代，劳动力供应格局也逐步从买方市场转为卖方市场，由供远大于求转向供求平衡。作为制造业主力的农民工也从早期的仅解决温饱问题到现在对薪资和工作条件提出了更高的要求。为了更好地适应市场经济发展的需要，提高生产率、产品质量和企业竞争力，改善工人劳动条件，企业对工业机器人的需求自然不断增加。利用机器人技术提升我国工业发展水平，完成从制造业大国向制造业强国的转变，已经逐步成为全社会的共识。

（6）国外机器人公司紧紧抓住中国的工业机器人市场。我国日益增长的工业机器人市场以及巨大的市场潜力吸引了包括瑞典的ABB公司，日本的安川电机、FANUC、OTC、松下、川崎重工，德国的KUKA、CLOOS、REIS，意大利的COMAU及奥地利的IGM公司等世界著名机器人生产厂家的目光，许多国外的机

激光焊接机器人

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

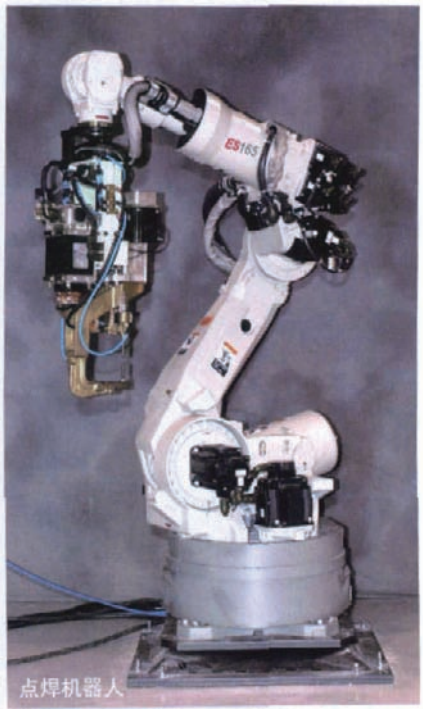
器人公司已经在中国设厂或经销公司。

目前,我国进口的工业机器人主要来自日本,2004年日本对华销售的工业机器人占我国进口工业机器人总数的一半,另一半是从欧洲进口的,如ABB、KUKA、COMAU工业机器人。

我国目前正从劳动密集型向现代化制造业方向发展,虽然工业机器人保有量已经达到一定规模,但与工业发达国家相比仍然有不少的差距,例如从汽车行业每万名生产工人占有的机器人来讲,中国仍然是世界上相对比较落后的国家之一。面对这样庞大的潜在市场,发展中国的工业机器人产业将有广阔的市场前景。

工业机器人系统与产品

工业机器人按应用的领域可以分为很多种类,从常用的机器人系列和市场占有量来看,点焊、弧焊、装配、搬运、喷漆是主要的机器人品种。作为未来中国的工业机器人发展战略,应该主要发展这几种机器人,以此带动整个工业机器人技术的发展和产业壮大。


点焊机器人

1 点焊机器人

用于点焊作业的工业机器人。它由机器人本体、计算机控制系统、示教盒和点焊焊接系统几部分组成。点焊机器人常用的驱动方式为交流伺服电机,具有保养维修简便、能耗低、速度高、精度高、安全性好等优点。

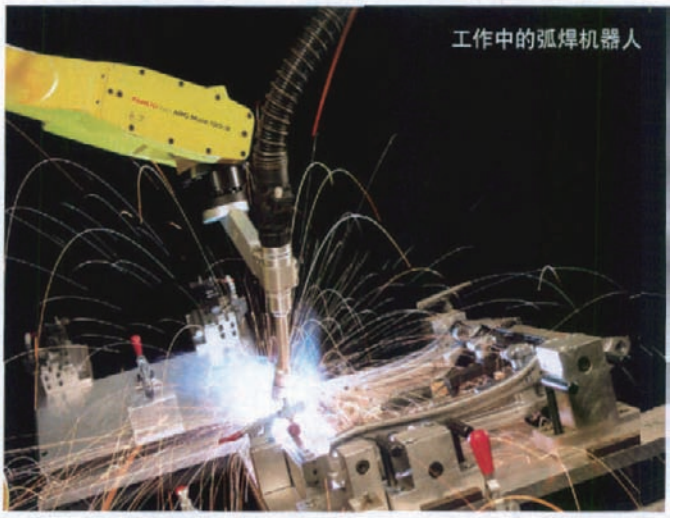
随着汽车工业的发展,焊接生产线要求焊钳一体化,重量越来越大,165kg点焊机器人是目前汽车焊接中最常用的一种机器人,国外点焊机器人已经有200kg、甚至负载更大的机器人。2008年9月,哈工大机器人研究所研制完成国内首台165kg级点焊机器人,并成功应用于奇瑞汽车焊接车间。经过优化和性能提升的第二台机器人完成并顺利通过验收,该机器人整体技术指标已经达到国外同类机器人水平。

2 弧焊机器人

弧焊机器人是可以进行自动弧焊的工业机器人。中国在20世纪80年代中期研制出华宇-Ⅰ型弧焊机器人。一般的弧焊机器人由示教盒、控制盘、机器人本体及自动送丝装置、焊接电源等部分组成,可以在计算机的控制下实现连续轨迹控制和点位控制,还可以利用直线插补和圆弧插补功能,焊接由直线及圆弧所组成的空间焊缝。弧焊机器人主要有熔化极焊接作业和非熔化极焊接作业2种类型,具有可长期进行焊接作业、保证焊接作业的高生产率、高质量和高稳定性等特点。

随着技术的发展,弧焊机器人正向着智能化的方向发展,采用激光传感器实现焊接过程中的焊缝跟踪,提升焊接机器人对复杂工件进行焊接的柔性和适应性,结合视觉传感器离线观察获得焊缝跟踪的残余偏差,基于偏差统计获得补偿数据并进行机器人运动轨迹的修正,在各种工况下都能获得最佳的焊接质量。

国内新松机器人公司已经开发出RH6弧焊机器人,并进行了小批量生产,焊接质量达到了国外同类机器人产品的水平。


工作中的弧焊机器人

3 搬运机器人

搬运机器人是可以进行自动化搬运作业的工业机器人。搬运机器人可安装不同的末端执行器以完成各种不同形状和状态的工件搬运工作,大大减轻了人类繁重的体力劳动。目前世界上使用的搬运机器人愈10万台,被广泛应用于机床上下料、冲压机自动化生产线、自动装配流水线、码垛搬运、集装箱等的自动搬运。部分发达国家已制定出人工搬运的最大限度,超过限度的必须由搬运机器人来完成。搬运机器人的最大负载可以达到500kg。国内哈尔滨博实自动化设备有限公司已经开发出负载100kg的搬运机器人。海尔机器人公司在直角坐标取料机械手产品开发方面已经进行了批量化生产。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4 喷漆机器人

喷漆机器人是可进行自动喷漆或喷涂其他涂料的工业机器人。中国研制出几种型号的喷漆机器人并投入使用,取得了较好的经济效果。我国的喷漆机器人起步较早,北京机械工业自动化研究所研制出中国第一台全电动喷漆机器人和中国第一条机器人自动喷漆生产线——东风汽车喷漆生产线,但是近几年随着对喷漆机器人质量要求的提高,喷涂机器人一般作为喷涂生产线的单元设备集成在系统制造中,国内汽车身喷涂生产线市场大多被国外的机器人产品所占领,如德国的杜尔、日本的FANUC。

5 自动导引车(AGV)机器人

装配型AGV主要用于汽车生产线,实现了发动机、后桥、油箱等部件的动态自动化装配,也用于大屏幕彩色电视机和其他产品的自动化装配线,极大提高了生产效率。搬运型AGV广泛应用于机械、电子、纺织、造纸、卷烟、食品等行业。

新松公司设计、制造的自动导引车是新松公司的拳头产品之一,拥有该领域内我国唯一自主知识产权,其系列产品有全方位运输型AGV、全方位双举升装配型AGV、叉车式AGV和激光导引车(LGV)。新松公司拥有20多年AGV生产、制造和现场应用经验,其LGV的开发成功,使新松的LGV产品达到国际一流水平。主要特点在于:AGV是移动的输送机,不固定占用地面空间;柔性大,改变运行路径比较容易;较高的系统可靠性,即使一台AGV出现故障,系统仍可正常运行;AGV系统可通过TCP/IP协议易与管理系统相连,是建设无人化车间、自动化仓库,实现物流自动化的最佳选择。

已具备的技术基础和存在问题

1 已经具备的技术基础

从“七·五”期间的科研攻关及实施“863计划”开始,我国有组织有计划地发展工业机器人产业,经过十几年来的研制、生产、应用,在技术攻关和设计水平上有了长足的进步。目前在一些机种方面,如弧焊机器人、点焊机器人、喷涂机器人、搬运机器人、装配机器人、特种机器人(水下、爬壁、管道、遥控等机器人),基本掌握了机器人操作机的设计制造技术,解决了控制、驱动系统的关键技术,还掌握了自动化喷漆线、弧焊自动线(工作站)及其周边配套设备的全线自动通信、协调控制技术;在基础元件方面,谐波减速器、机器人焊接电源、焊缝自动跟踪装置也有了突破。具体包括以下几个方面:

(1)理论研究。

理论研究是工业机器人研制和应用的基础,在机器人技术基础方面,我国开展了机器人运动学、动力学与构型研究,机器人运动控制算法及机器人编程语言的研究,机器人内、外部传感器的研究与开发,多传感器控制系统的研究,离线编程技术,自诊断、安全保护技术等,基本掌握了工业机器人所有的关键技术。

(2)关键元器件开发。

在机器人单元技术和基础元器件研究开发方面,我国研制出了交、直流伺服电机及其驱动系统、测速发电机、光电编码器、液压(气动)元部件、滚珠丝杠、直线滚动导轨、谐波减速器、RV减速器、十字交叉滚子轴承、薄壁轴承等,并涌现出了一批具有较强实力的专业厂家。

(3)机器人系统设计技术。

在机器人控制装置研制方面,我国已经开发出了双CPU、多CPU和分级分层控制装置;模块化机器人控制器及相应控制单元。在机器人操作器研制方面,我国已经能够设计和生产点焊、弧焊、喷漆、装配等各类机器人,构型包括直角坐标式、平面多关节型、空间多关节型等,不少机器人拥有自主知识产权。

2 产业化存在的问题

(1)基础零部件制造能力差。

尽管我国在工业机器人的相关基础零部件方面已经有了很好的基础,但是无论从质量、产品系列方面,还是批量化供给方面都与国外的产品有较大的差距,特别是在高性能交流伺服电机和高精密减速器方面的差距尤为明显。现在我国制造的工业机器人很大一部分还得从国外进口伺服电机和减速器,这就影响了机器人的价格竞争能力。

(2)中国的工业机器人还没有形成自己的品牌。

目前,尽管已经有一批企业在从事工业机器人技术的开发,但是都没有形成较大的规模,缺乏市场品牌的认知度,在机器人的市场方面一直面临国外品牌的竞争压力。国外机器人作为成熟的产业,采用降低整机价格,吸引国内的企业购买、而后续的维护备件费用却很高的策略,逐步占领中国的市场。

(3)国家在鼓励工业机器人产品研发方面的政策很少。

日本政府为了鼓励企业生产和使用机器人制定了相关的扶植和激励政策,极大地促进了工业机器人产业的发展和工业机器人推广应用。目前日本已经成为工业机器人第一产业大国,也是工业机器人应用数量最多的国家,日本使用的工业机器人的数量大约占世界总量的1/2。

3 需要开展关键技术研究

工业机器人技术尽管发展得相对成熟,但是工业机器人技术也在不断的发展,满足不同产品需求的新的机器人构型,如具有力觉、视觉及多种传感器的机器人运动控制技术,满足机器人的负载能力越来越高的控制系统,新的机器人驱动及传动器件等技术都在飞速发展。中国的工业机器人如果要实现产业化,还需在下述技术上开展研究:

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（1）机器人本体优化设计技术；

（2）新一代智能机器人控制器技术；

（3）关键机器人部件单元制造技术；

（4）机器人离线编程与仿真技术；

（5）基于外部传感技术的机器人运动控制；

（6）工业机器人产业化制造技术；

（7）工业机器人故障远程诊断与修复技术；

（8）工业机器人与成套装备协调作业技术；

（9）复杂机电系统机构优化设计技术及对系统性能的影响分析；

（10）具有柔性、高加速度、大负载机器人机构动力学建模、模型简化、辨识及控制方法。

工业机器人发展与建议

（1）以市场需求为导向，抓住几个重点产品集中突破。

市场需求是一个产品能否发展并形成产业的根本，在中国现阶段应该集中主要的技术力量和资金重点推进2~3种工业机器人的产业化开发，形成规模应用和总体技术的突破，以此带动我国机器人相关零部件生产企业的积极性和配套生产能力，具备与国际品牌工业机器人局部竞争的能力，为工业机器人产业化发展打好基础。汽车工业是工业机器人应用大户，我国已将汽车业作为支柱产业加以支持和发展，汽车行业中的机器人应该作为主导支持发展的对象。

（2）通过国家的行为来设立专项，发展我国自己的工业机器人产业。

因为我们必须在自己的民族产业链上应用自己的机器人产品，摆脱国外的垄断。特别是新一代工业机器人，要用我国自己的器件来做，降低成本，在国家的专项之中还要突破电机驱动器、高精密减速器、机器人专用多轴控制器等关键器件的生产制造技术，才能使机器人产业得以健康发展。同时以多台机器人的整线成套设备技术作为专项的重点，引导汽车企业对国产机器人的批量化应用。

（3）以企业为主体，推动产学研联盟建设，形成强大的研究、开发和销售应用队伍。

企业是机器人产业化的主体，应该优先筛选具有明确发展目标、有明确的机器人应用对象和市场需求容量及能够先期有一定量资金投入的企业作为机器人产业化资助的重点对象，同时充分利用现有强势研究单位在工业机器人技术开发上的技术积累，不搞重复工作，建立合理的技术开发、生产销售及应用的管理及激励机制充分发挥各方面的积极因素，按企业化的管理进行项目的实施，建立起集机器人研究开发、集约化配套生产、社会化销售服务为一体的企业集团。

（4）国家政策支持是加速机器人产业化的重要前提。

机器人属于国家战略性高新技术，是多项前沿技术和综合实力的体现，国家应该制定长远政策加以规划和发展。国内机器人公司目前面临许多困难，在技术、人才、资金等方面面临着国外大公司的激烈竞争。与国外的大公司相比，国内公司在各个方面都存在不小差距，需要国家在资金、税收、产品销售补贴等各个方面给予一定的优惠政策，把机器人产业发展纳入到重要产业政策中，鼓励企业采用国产机器人。工业机器人作为高新技术产品，应该比照新能源中的电动汽车，出台相应的扶植政策，例如购买一台国产机器人，给予财政补贴，将会提高工业机器人产品生产与使用的积极性。另外，应加大工业机器人整机的进口税，降低工业机器人用伺服电机和减速器等元器件的进口税，以此支持我国工业机器人产业的发展。为避免危险恶劣的工作环境导致工人工伤事故和职业病，保护工人的身心安全，对一些特殊工种，如喷漆、铸造、有毒有害工种等通过劳动法强制采用工业机器人来代替，这样可以大大增加工业机器人的需求数量。

结束语

目前我国国民经济的快速发展，先进制造业已进入一个新的发展阶段。随着经济全球化和进程的加快，中国制造业面临着与国际接轨、参与国际竞争的局面。如何适应快速变化的国内外市场需求，如何以高质量、低成本、快速反应的手段在市场中取得生存和发展，已是我国企业不容回避的问题，这些问题为工业机器人的应用提供了大的市场需求，促使中国工业机器人的应用市场日趋成熟。工业机器人的制造及应用水平代表了一个国家的制造业水平，因此建议必须从国家高度认识发展中国工业机器人产业的重要性，这是我国从制造大国向制造强国转变的重要手段和途径。中国机器人产业的发展正处于关键的转折点，如果政府的扶持力度再向前推进一步，中国的机器人产业将会跃过目前的“临界期”，跨上一个新的台阶，进入快速发展阶段。

参考文献

[1] 江彦．战略高地：机器人技术——访国家863计划制造领域专家组组长王田苗教授．中国制造业信息化，2009（2）:67.

[2] 刘进长．回顾“十五”展望未来——访“十五”863计划机器人技术主题专家组组长王田苗．机器人技术与应用，2001（5）:6-9.

[3] 徐方．工业机器人产业现状与发展．机器人技术与应用，2007（5）:1-4.

[4] 赵臣，王刚．我国工业机器人产业发展现状的调研报告，机器人发展战略研究报告，2009，178-207.

（责编 侧卫）

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net