

机器人的发展:中国与国际的比较^{*}

罗连发 储梦洁 刘俊俊

摘要:中国已成为全世界机器人拥有量最大的国家,本文通过对比分析中国和代表性国家机器人市场应用、产业发展、政策体系及其对就业影响等方面,全面地评价中国机器人发展所处的地位。分析认为,中国机器人使用密度与发达国家相比有较大差距,因而未来还有较大增长空间。本土机器人产业在技术、品牌等方面与国际前沿水平差距明显。与美国、日本等国家相比,机器人的使用对我国劳动力就业产生的替代效应大体相当。与国际相比,我国机器人应用与研究的支持性政策力度更大。我国的机器人支持需要更加注重功能性政策,更大力度鼓励中小企业参与机器人创新。

关键词:机器人;产业发展政策;国际比较

一、引言

据国际机器人联盟(IFR)的数据,2017年我国已成为全球机器人使用量最多的国家,且机器人需求仍保持着58%^①的高速增长(IFR,2018)。近年来,为更大程度地发挥机器人在企业创新和生产率提升中的作用,我国从中央到地方制定了大量的支持政策。机器人的大规模应用,将对我国经济发展,尤其是制造业的生产和就业产生深刻影响。值得进一步思考的问题是,与发达国家相比,我国机器人应用的现状处在什么水平,我们应该如何从发达国家的机器人发展中学习好的经验,从而使得机器人的应用能够更好地服务于我国经济的转型升级进程。程虹等(2018)基于一手的调查数据对中国的机器人使用状况及其对劳动力市场的影响进行了实证分析,并对机器人使用密度进行了比较。一些专业行业领域的作者对中外机器人的发展进行了对比(喻一帆,2016;骆敏舟等,2015),但这些文献主要是偏向于技术层面的讨论。另一些经济学领域的学者专门研究了机器人应用对于劳动力就业的影响(Acemoglu et. al,2017;吕洁等,2017;马岚,2015),但这些研究主要还是对某个国家的研究,而缺乏不同国家间详细的对比研究。

本文的主要贡献是:综合了国际机器人联盟(IFR)的销售数据以及中国企业的一手调查数据,从机器人发展的使用状况、产业现状、政策环境、对劳动力市场的影响等方面进行比较分析,进而对中国机器人发展的现状及前景做出评估。

二、机器人应用现状的国际比较

(一) 机器人拥有量的比较

当前机器人统计数据应用最为广泛的是国际机器人联盟(IFR)发布的数据。这一数据包含了世界主要国家机器人的销售情况,以及不同类型机器人的使用状况。由于工业机器人占据了我国机器人应用市场的主要部分,因此本文将主要关注工业机器人的对比。美国是工业机器人技术发展最早

* 罗连发,武汉大学质量发展战略研究院,宏观质量管理湖北省协同创新中心,邮箱:luo0708sky@163.com;储梦洁,武汉大学质量发展战略研究院,宏观质量管理湖北省协同创新中心,邮箱:conan7223@126.com;刘俊俊,武汉大学质量发展战略研究院,宏观质量管理湖北省协同创新中心,邮箱:18253532303@163.com。本文受国家社科基金项目(16CJL028)、武汉大学自主科研项目(人文社会科学)、教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目(15JZD023)、国家科技支撑计划课题(2015BAH27F01)和国家社科基金重大项目(16ZDA045)资助。感谢匿名评审人对本文提出的修改意见,文责自负。

① 数据来源:https://www.sohu.com/a/239418220_100053027。

的国家,机器人发展体系较为成熟,日本、德国和韩国是工业机器人发展的后起之秀,机器人使用密度居于全球领先地位。2017年,中国和这四个国家的机器人市场占到了全球的75%^①。因此,本文将主要选择美国、德国、日本、韩国作为比较分析的对象。

1. 机器人拥有量的比较

我国机器人产业的发展起步于20世纪90年代^②,而在近10年,机器人的应用进入了快速增长的阶段。表1与表2呈现了中国、美国、日本、德国、韩国机器人拥有量的发展情况。从近10年各国机器人拥有量的数据可以看出,我国机器人拥有量处于持续增长状态。至2017年,我国机器人拥有量已增长至13.8万台,约为2010年(1.5万台)的9倍。尤其自2012年起,我国机器人的拥有量已超越机器人的先发国家,成为世界第一。与此同时,美国、德国、日本、韩国均在近10年内出现了机器人拥有率零增长,甚至是负增长的情况,仅我国呈现不断上升趋势。部分学者认为,中、低等技能劳动者的就业岗位流失、工资下降与机器人的大量应用有一定关系,他们的研究发现机器人的推广与应用造成了大面积的失业,这也是导致其余四国机器人拥有量逐年减少的重要原因之一(Acemoglu et. al, 2017; Wolfgang Dauth et. al, 2017; Mitsuo Saito et. al, 1989; Yasuhiko Torii, 1989)。2017年,韩国政府开始削减对机器人企业的税收优惠,甚至拟制定机器人税以促进就业率回升^③。可见,相比于发达国家,我国仍处在机器人应用高速增长的窗口期。

表1 各国机器人拥有量统计(万台)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
中国	1.5	2.3	2.3	3.7	5.7	6.9	8.7	13.8
美国	1.4	2.1	1.9	2.2	2.4	2.6	3.1	3.3
日本	2.2	2.8	2.9	2.5	2.9	3.5	3.9	4.6
德国	1.4	2.0	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	2.1
韩国	2.4	2.6	1.9	2.1	2.5	3.8	4.1	4.0

数据来源:根据国际机器人联盟(IFR)年度报告整理。

表2 各国机器人拥有量增速(%)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
中国	53.3%	0	60.9%	54.1%	21.1%	26.1%	58.6%
美国	50.0%	-9.5%	15.8%	9.1%	8.3%	19.2%	6.5%
日本	27.3%	3.6%	-13.8%	16.0%	20.7%	11.4%	17.9%
德国	42.9%	-10.0%	0	16.7%	0	0	5.0%
韩国	8.3%	-26.9%	10.5%	19.0%	52.0%	7.9%	-2.4%

数据来源:根据国际机器人联盟(IFR)年度报告整理。

2. 机器人使用密度的对比

虽然我国机器人使用数量在快速增长,但是由于我国机器人应用市场起步较晚且经济体量大,机器人应用的密度与发达国家相比仍有较大差距。国际机器人联盟(IFR)一般使用每万人拥有的机器人台数衡量一国机器人的整体发展水平。根据可获得的数据,2014年中国工业机器人的使用密度为36台/万人,2015年增长为49台/万人,2016年为68台/万人,2017年为97台/万人,较全球平均水平85台/万人,要高出14.1%。中国机器人使用密度在2014—2017年的复合增长率为39.2%,而同期美国机器人使用密度年复合增长率为6.8%,日本为-0.6%,德国为3.3%,韩国为14.8%,可见中国机器人使用密度的增长率远高于其他四个主要发达国家(如表3所示)。中国机器人的使用密度与发达国家的差距也在不断缩小,2014年中国机器人使用密度为美国的22%、日本的11%、

① 资料来源:《中国机器人产业白皮书(2016)》

② 我国成立较早的机器人企业是1993年成立的埃斯顿自动化以及1995年创办的新时达等。

③ 资料来源:<http://finance.sina.com.cn/stock/usstock/c/2017-08-12/doc-ifyixiar9907720.shtml>

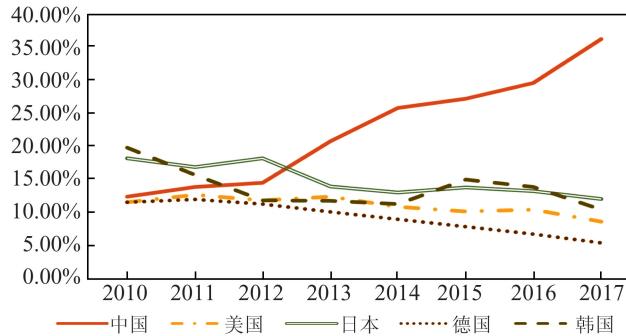


图 1 各国机器人拥有量全球占比(%)

数据来源:国际机器人联盟(IFR)年度报告整理。

德国的 12%、韩国的 8%,2017 年中国机器人的使用密度为美国的 49%、日本的 31%、德国的 30%、韩国的 14%(如表 4 所示)。这一数据说明,我国在机器人使用密度上有着较快的追赶态势,但就发展水平而言仍有很大差距,尤其是与韩国、日本的差距仍比较大。

表 3 2014—2017 年各国机器人使用密度(台/万人)

	2014	2015	2016	2017	复合增长率
中国	36	49	68	97	39.2%
美国	164	178	189	200	6.8%
日本	314	305	303	308	-0.6%
德国	292	301	309	322	3.3%
韩国	478	531	631	710	14.8%

数据来源:根据国际机器人联盟(IFR)年度报告整理。

表 4 我国机器人使用密度占相关国家的比例

	2014	2015	2016	2017
中国/美国	22%	28%	36%	49%
中国/日本	11%	16%	22%	31%
中国/德国	12%	16%	22%	30%
中国/韩国	8%	9%	11%	14%

数据来源:根据国际机器人联盟(IFR)年度报告整理。

(二) 产业发展状况

1. 我国机器人产业发展现状

据国际机器人联盟(IFR)数据显示,2017 年全球工业机器人购买量已经达到 38.06 万台,中国的购买量已经达到 13.8 万台,中国在机器人市场占到了全球的 36.3%。截至 2018 年底,我国机器人市场规模已经达到 62.3 亿美元,是全球最大的机器人销售市场。具体至机器人产业的应用场景,我国搬运机器人市场规模达到 40.5 亿美元,占比为 61%,其次为装配机器人,市场规模达到 9.3 亿美元,占比为 16%。^① 但由于中国机器人产业发展晚于发达国家,机器人大部分依赖进口,尤其是机器人三大核心上游零部件(减速器、控制器、伺服系统)进口依赖度更大。据有关调查数据,我国企业使用的工业机器人进口比例约为 38.7%,而进口机器人价值占比则达到了 49%(程虹等,2018)。

为了抢占中国市场,世界机器人巨头纷纷在中国投资设厂并增产扩能。1997 年,发那科公司与上海电气集团联合投资成立合资企业上海发那科机器人有限公司。1995 年,ABB 在北京注册成立独资企业 ABB(中国)有限公司,在 2006 年将 ABB 全球机器人业务总部落户中国,并且于 2018 年宣布投资约 1.5 亿美元,在上海新建其公司的最大机器人工厂。2011 年,安川电机在上海注册成立独资企业安川电机(中国)有限公司。2011 年,库卡在上海成立合资企业库卡机器人(上海)有限公司。

① 资料来源:IFR、中国电子学会

近几年,发那科、ABB、库卡等企业更是以增设工厂的形式,加大对机器人市场的投资。

中国本土企业也呈现快速增长的态势。2013年工业和信息化部发布《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》,指出到2020年,我国要形成较为完善的工业机器人产业体系,培育3~5家具有国际竞争力的龙头企业和8~10个配套产业集群。截止到2018年3月,国内从事机器人业务的公司已经达到6874家,广东、江苏、上海、浙江四地的机器人企业总量超过全国的50%,涌现出埃斯顿、沈阳新松、新时达等一批国产工业机器人龙头企业^①。2016年,国内品牌机器人在全球市场的占有率为9.7%,至2017年,中国每年生产的机器人数量达到131000台,其中29%(37800台)由当地企业生产(Hong Cheng and Ruixue Jia et. al, 2019)。其中,本土机器人企业在系统集成等环节已经取得较强的技术优势,国内厂商攻克了减速器、伺服系统等核心零部件的部分难题,核心零部件国产化程度趋于提升。

2. 中外机器人产业发展的对比

由于各国机器人产业数据统计口径差异较大,难以对机器人产业进行整体性的比较。我们将中国工业机器人市场占有率排名前四位的上市企业(截至2018年底),与全球工业机器人市场占有率前四位的企业进行对比。根据各公司的公开数据,我们对其工业机器人的销售额进行排名,选择的全球排名前四位的机器人企业是:发那科(日本)、ABB(瑞典)、安川电机(日本)、库卡(德国),这四家企业生产的工业机器人长期以来占到全球市场的50%以上,并称工业机器人“四大家族”。据《机器人产业白皮书(2016)》,这四家企业的产品在中国市场的占有率达到70%。从这些企业的分布可以看出,欧洲和日本在机器人方面不仅具有市场优势,而且具有很强的技术优势。中国工业机器人销售前四位的上市企业分别是汇川技术、新时达、沈阳新松、埃斯顿自动化公司^②。从企业从事机器人业务的时间来看,中国机器人产业的发展比发达国家晚20年左右。在这四大企业中,埃斯顿于1993年开始了我国最早的机器人业务,而美国、日本的企业则普遍在20世纪70年代初期就开始从事机器人生产。中国前四位企业2018年的平均营业收入为32410.5万美元,而全球前四位企业平均为537330.3万美元,中国前四的企业平均销售额仅占全球前四平均水平的6.0%。但中国本土机器人的研发强度较高,2018年平均研发强度为8.845%,较全球前四位企业研发强度平均值的4.73%高出近一倍,这表示国外机器人技术已经相对成熟,我国的机器人产业加大研发投入力度,呈现追赶的发展态势。

表5 各国机器人企业发展情况(2018年)

	企业	机器人业务始于(年)	机器人相关业务营业收入(万美元)	较上年增长	机器人业务利润(万美元)	研发强度
全球前四位	ABB	1974	914700	9.0%	134600	4.14%
	发那科	1974	685467	31.6%	216607	7.28%
	安川电机 ^③	1977	—	—	—	—
	库卡	1973	11824	-1.5%	1344	2.78%
	均值	/	537330.3	13.03%	117517	4.73%
中国前四位	汇川技术 ^④	2003	69709	27.35%	21954	12.12%
	新时达	1995	35656	3.36%	2000	5.07%
	沈阳新松	2000	13595	22.06%	9678	6.7%
	埃斯顿自动化	1993	10682	50.28%	645	11.49%
	均值	/	32410.5	25.7625%	8569.25	8.845%

数据来源:根据各公司财务报表整理。

① 资料来源:http://www.sohu.com/a/230376067_465282

② 平安证券研究所。

③ 资料来源:平安证券研究所。

④ 工业自动化和工业机器人业务未分开。

而这种在销售额、利润上的中外差距,除了业务开展时间的影响以外,也与企业所处机器人的产业链环节有关。机器人的主要产业链可分为上游、中游、下游,上游主要以机器人核心零部件(减速器、控制器、伺服系统)为主,其制造成本约占总体的70%,技术壁垒较高。目前,我国的龙头企业汇川技术、新时达、埃斯顿均参与上游核心零部件的生产制造,但难以突破国外的垄断优势。值得注意的是,机器人企业“四大家族”的减速器均需外购,无法满足自给,可能在未来会是我国企业重点关注与突破的关键技术。中游主要是机器人机械部件以及本体制造,沈阳新松、新时达、埃斯顿均具备了一定优势,但中游环节的毛利率最低,也导致我国企业不易获得产业竞争力。下游主要是系统集成商,是我国机器人生产制造中最具竞争优势的环节,沈阳新松、埃斯顿均有相关业务,但大量企业参与下游竞争,也使得我国企业难以获得稳定的领先优势。

3. 机器人技术发展情况比较

根据王伟光等(2017)的研究,我国第一项工业机器人的专利申请于1984年,而美国人乔治·德沃尔在1958年已经申请了世界第一项工业机器人专利。中国机器人量产的时间不到十年,与发达国家相比在技术上有较大的差距。为了提升市场竞争力,我国本土机器人生产企业技术追赶的态势明显。根据国家知识产权局公布的统计数据,截至2017年底,在中国申请的机器人相关专利数量为15.8万件,居全世界第一,占全球总量的30.6%,这与我国机器人的保有量占比大体相当。第二位是日本,为10.2万件,接下来是韩国(6.6万件)、美国(6.5万件)和德国(2.9万件)。从不同的申请主体来看,中国本土申请者所申请的专利数量为14.8万件,占申请总量的93.7%。这些数据表明,中国机器人市场迅猛扩张,已成为全球专利保护的热点区域。与此同时,中国本土的机器人技术研发机构和生产企业技术追赶的速度很快,专利申请数量在短期内达到了全球第一。

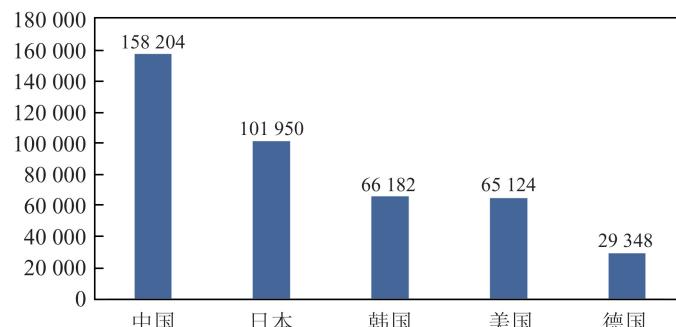


图2 不同国家机器人专利申请数量(截至2017年底)^①

进一步从不同申请者专利的结构来看,在中国本土申请者所申请的专利中,发明专利占比为48.9%。而境外在中国的主要申请者中,发明专利的申请量占比达到了90%左右,其中美国为96%,德国为93.8%,日本为92.4%,韩国为89.5%。这表明,我国机器人在核心技术研发方面,与发达国家相比还有一定差距。

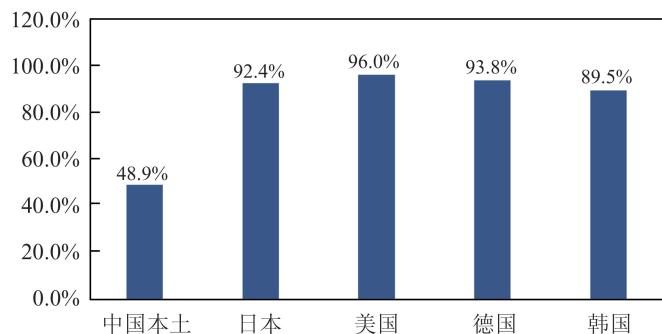


图3 不同申请主体的发明专利占比

^① 数据来源:国家知识产权局,《机器人产业知识产权分析评议报告》,下同。

进一步看机器人细分的技术发展水平。机器人的技术主要包括四个方面:控制器、伺服电机、减速器、本体制造。其中控制器、伺服电机、减速器等三个方面的零部件构成生产成本的绝大部分,大约占70%,同时也是机器人制造核心技术所在。我国企业在机器人控制器领域较为成熟,是与国际先进水平差距最小的领域,基本能够实现自给。伺服电机与国外先进水平有较大差距,且由于技术原因,国内产量无法满足市场需求,如2016年我国伺服电机需求量为747万台,而当年产量仅为374万台。我国的减速器研发起步较晚,是与国外差距最大的领域,现在国内机器人生产企业的减速器绝大部分依赖进口。

三、机器人发展政策的国际比较

有学者得出机器人的应用可以使得经济增长0.37%,还可以提高产品附加值、企业的全要素生产率以及员工工资(Georg Graetz and Guy Michaels,2015)。由于机器人对于整个经济发展具有重大战略意义,因而很多国家在机器人发展早期均制定了不同类型的扶持性政策,深刻影响了机器人产业的发展。我们首先对中国的机器人政策进行梳理,然后回顾并比较分析国外代表性国家的机器人政策。

(一) 中国的机器人发展政策概述

1. 从中央到地方政府出台了一系列支持性政策

我国对于机器人产业发展的扶持政策最早可追溯到2006年国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》。对于机器人产业的扶持政策较为密集的出台则是在2013年以后,发改委、工信部、财政部、科技部等部门分别从不同侧面出台支持政策(如表6所示)。

归纳起来,这些政策的主要特点有:

一是,确定产业发展的目标。如工信部2013年《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》,提出了2020年的产业发展目标,以及机器人的密度指标。工信部、发改委与财政部2013年出台的《机器人产业发展规划(2016—2020年)》则具体提出了机器人发展的技术方向。

二是,政府通过诱致性手段来实现政策目标。这些政策包括税收减免、企业补贴,如2014年财政部的《鼓励进口技术和产品目录》,对涂装机器人关键零部件进行3%的进口贴息。佛山、东莞等地方政府对于机器人的购买提供最高200—250万元的补贴。

三是,进行机器人关键技术的基础研究投入。这一类政策主要是由工信部、科技部等业务主管部门制定,扶持的主体包括高校、科研机构和企业等。从2017年开始,这种以项目申报形式出现的支持政策逐年增长,项目支持的总经费也在每年递增。

表6 中央及部委的工业机器人主要政策

时间	发布单位	政策名称	政策要点
2006.2	国务院	《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》	首次将智能机器人列入先进制造技术领域
2008.4	科技部、财政部、税务总局	《国家重点支持的高新技术领域》	将新一代工业机器人列入先进制造技术领域
2013.12	工信部	《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》	1.明确产业发展目标:突破一批核心技术和关键零部件,到2020年,形成较为完善的产业体系,培育3~5家龙头企业和8~10个产业集群,高端产品市场占有率达到45%以上,机器人密度达到100,基本满足国防建设、国民经济和社会发展需要 2.规定主要任务:突破核心技术、形成产业集聚、推进产业布局、推进国际合作等 3.提出保障措施:建立统筹协调机制、营造良好发展环境、加大财税支持等
2014.3	财政部	《鼓励进口技术和产品目录》	将汽车涂装机器人关键零部件作为鼓励进口技术,进行3%的进口贴息
2015.3	国务院	《中国制造2025》	加快工业机器人等在生产过程中的应用,围绕市场需求研发新产品,促进标准化,扩大市场应用

2015.3	发改委、商务部	《外商投资产业指导目录》	将垂直多关节工业机器人、焊接机器人及其焊接装置设备制造列入指导目录,鼓励外商投资
2015.10	工信部	《首台(套)重大技术装备推广应用指导目录》	将工业机器人列入目录,通过企业自主投保,中央财政适当补贴投保企业保费的方式降低企业风险
2016.2	科技部、财政部、税务总局	《国家重点支持的高新技术领域》	将机器人列入先进制造工艺与装备领域
2016.3	国务院	《“十三五”规划纲要》	大力推进机器人等新兴前沿领域创新和产业化
2016.3	工信部、发改委、财政部	《机器人产业发展规划(2016—2020年)》	1. 聚焦“两突破”“三提升”。实现机器人关键零部件和高端产品的重大突破,实现机器人质量可靠性、市场占有率和龙头企业竞争力的大幅提升 2. 下一阶段相关产业促进政策将着手解决两大关键问题:一是推进机器人产业迈向中高端发展;二是规范市场秩序,防止机器人产业无序发展 3. 自主品牌工业机器人年产量达10万台,五年内形成我国自己较为完善的机器人产业体系,加强机器人标准和检测认证体系建设
2016.12	工信部	《工业机器人行业规范条件》	满足条件的企业自愿申报,对符合工业机器人行业规范条件的企业进行公告,引导各类鼓励政策向公告企业集聚
2017.8	科技部	《“智能机器人”重点专项2017年度项目专项申报指南》	在智能机器人基础前沿技术、新一代机器人、关键共性技术、工业机器人、服务机器人、特种机器人6个方向,按照基础前沿技术类、共性技术类、关键技术与装备类和示范应用类4个层次,启动42个项目,国拨经费约6亿元。由大陆境内注册的科研院所、高等学校和企业牵头申报
2017.12	工信部	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020年)》	提升高档数控机床与工业机器人的自检测、自校正、自适应、自组织能力和智能化水平。到2020年,高档数控机床智能化水平进一步提升,具备人机协调、自然交互、自主学习功能的新一代工业机器人实现批量生产及应用
2018.8	科技部	《“智能机器人”重点专项2018年度项目专项申报指南》	在智能机器人基础前沿技术、新一代机器人、关键共性技术、工业机器人、服务机器人、特种机器人6个方向,按照基础前沿技术类、共性技术类、关键技术与装备类和示范应用类4个层次,启动不少于50个项目,国拨经费约6.2亿元。由大陆境内注册的科研院所、高等学校和企业牵头申报

资料来源：国务院及政府各相关部门官方网站。

表7 代表性地区机器人主要政策

时间	地区	文件名称	相关内容
2016.1	东莞	《关于大力发展机器人智能装备产业打造有全球影响力先进制造基地实施方案》	对企业以自筹资金实施的“机器换人”应用项目,市财政按项目设备和技术投入总额10%给予最高200万元的事后奖励。其中,对通过银行融资方式实施的项目,市财政按照融资实际利息支出给予不超过2年的贴息补助,单个项目补助金额可提高至设备和技术投入总额的12%,最高补助250万元
2018.4	佛山	《佛山市推动机器人应用及产业发展扶持方案(2018—2020年)》	对于购置佛山市企业生产的机器人,按设备购置费用总额12%给予事后补助。对于购置非佛山市企业生产的机器人,按设备购置费用总额8%给予事后补助。单个企业单个申报年度最高补助200万元

资料来源：地方政府网站。

2. 政策扶持的主要方向

综合而言,我国机器人政策的主要目标有如下几个方面:

一是,从宏观上制定机器人产业发展的主要目标。2006年,《国家中长期科学和技术发展规划纲要

(2006—2020年)》首次将智能机器人列入先进制造技术领域。在此之后,特别是提出《中国制造2025》以来,国家高度重视机器人产业发展,从中央到地方都制定了一系列产业扶持政策,从产品、企业、行业等多个层面鼓励工业机器人的发展。

二是,从产业层面促进机器人市场快速和规范发展。机器人产业是前沿性产业,不管是监管政策还是鼓励政策都还处于摸索阶段。为了鼓励机器人产业在快速发展的同时有序竞争,形成产业整体发展的合力,政策还致力于从引导和规范的角度来实施。如2016年工业和信息化部、国家发展改革委和财政部联合发布的《机器人产业发展规划(2016—2020年)》规定,本阶段相关产业促进政策将着手解决两大关键问题:一是推进机器人产业迈向中高端发展;二是规范机器人产业市场秩序,激发机器人企业参与标准制定的积极性,研制机器人产业的国家标准、行业标准以及团体标准,并利用第三方机构国家机器人检测与评定中心对机器人整机及关键功能部件进行检测、认证和校准,防止机器人产业无序发展。

三是,在技术层面对机器人的研发进行公共投入。如《“智能机器人”重点专项2018年度项目专项申报指南》,围绕工业机器人等6个方向,按照基础前沿技术类、共性技术类、关键技术与装备类和示范应用类4个层次,就50个项目启动6.2亿元国拨经费,由大陆境内注册的科研院所、高等学校和企业自由竞标,促进工业机器人产学研的协同发展。

3. 政策扶持的主要内容

截至目前,我国机器人产业政策扶持的主要内容体现在如下方面:

一是,采用融资补助的方式对企业技术改造进行扶持。如2016年东莞市政府出台《关于大力发展战略性新兴产业打造有全球影响力的先进制造基地实施方案》,规定利用“机器换人”专项资金,扶持引导东莞的企业利用机器人设备进行技术改造升级:对于企业通过银行融资方式实施的项目,市财政按照融资实际利息支出给予不超过2年的贴息补助。2018年,佛山市《推动机器人应用及产业发展扶持方案(2018—2020年)》规定,成立1.3亿/年的专项资金支持机器人的发展,全面启动机器人的应用补助,对于购置佛山市企业生产的机器人,按设备购置费用总额12%给予事后补助;对于购置非佛山市企业生产的机器人,按设备购置费用总额8%给予事后补助,单个企业单个申报年度最高补助200万元。

二是,通过财税支持的方式减轻企业生产与研发的经费压力。机器人技术研发投入大、生产周期长、资金回笼慢,尤其是中小企业难以负担机器人的研发与生产经费,相关财政税收政策的出台在一定程度上缓解了此类问题。如安徽省政府大力扶持机器人研发制造企业的研发活动,发布《安徽省政府关于印发支持机器人产业发展若干政策的通知》,在国家规定的期限内,机器人研发制造企业新购进研发仪器、设备单位价值不超过500万元的,可享受当年一次性税前扣除优惠;机器人研发制造企业经认定为高新技术企业的,可享受企业所得税15%的优惠税率,亏损结转年限按规定由5年延长至10年。

(二) 国外的机器人产业发展政策概述

美国于1980年制定了《史蒂文森—威德勒技术创新法》,鼓励机器人技术发展。这也是美国第一部技术转移法,这一法律主要目标就是推动高校及联邦实验室内的技术向企业转移,其重点是:在每个联邦实验室成立研究与技术应用办公室(ORTA),进行技术转移工作,促使了机器人技术从联邦实验室及高校转移至企业,使得机器人技术快速产业化(Linsteadt et. al, 1980)。1982年,美国又出台了《小企业创新发展法案》,以此推行《小企业创新研究计划》,相较之前的政策,更注重支持美国具有创新能力的小企业,各联邦部委划拨约2.5%的科研经费以支持小企业的科技创新,主要目的是改善小企业缺乏科研资金的现状,营造良好的科技创新环境,这些政策推动了美国部分小企业参与机器人技术研究。2011年,美国又出台《先进制造伙伴计划》,主要目的在于确保美国在科技创新以及制造业竞争中的优势地位,以改善商业环境。相较于以前的政策,此政策主要特点是要建立先进制造商、顶尖大学以及联邦政府之间的伙伴关系,形成紧密的产学研合作机制,并明确提出通过发展先进机器人技术来振兴美国制造业。目前,美国最新的机器人政策是《国家机器人计划2.0》,主要内容是将机器人技术发展的重点转移至协作机器人,主要特色是人机共存的未来发展趋势,将工业机器人进一步升级换代至协作机器人,将机器人原本更为关注的精度与准度转化为注重操作的简洁化和人与机器的有效配合。

日本于1971年在国际贸易和工业部(MITI)的指导下成立了工业机器人协会(The Industrial Robot Society)。1971年8月日本颁布了《机械工业促进法》，其主要促进作用在于将原有工业机器人协会重组为日本工业机器人协会(J. I. R. A.)，以大力推进日本机器人制造业的发展(J. I. R. A., 1973)。1980年，日本出台了《财政投资融资租赁制度》，主要目的是缓解中小企业无法得到投资来购买、使用机器人的压力，促使企业提高劳动生产率；其特色在于发挥租赁业的作用，通过日本开发银行发放低息贷款，使保险公司和机器人制造商合作成立相关的租赁组织(JAROL)，以租赁的形式向中小企业普及了机器人(James Fleck and Barry White, 1987)。1985年，日本制定了《促进基础设施开发税制》与《关于加强中小企业技术基础税制》，这两项制度主要目的在于推行“倾斜减税”，鼓励尖端技术的发展，尤其后者对中小企业研发与试验经费免征6%的贷款优惠，减轻了中小企业参与机器人技术研发的经费负担(樊增强, 2005)。为了巩固日本在机器人领域的领先优势，日本出台《新机器人战略》，该战略的主要目的还是要结合全球趋势，加快研究新一代机器人；该政策也明确要率先创建机器人操作系统与中间设备的国际标准，在机器人硬件与软件上均保持国际领先优势。2018年，《日本制造业白皮书2018》提出“社会5.0”的超智能社会形态，并将“互联工业”作为未来的产业愿景。其中，智能制造和机器人成为五大重点发展领域之一，并重点加强对中小企业的援助与指导。此概念的提出将使得利用机器人成为以后日本弥补劳动力不足的重要手段。

德国是欧洲最大的机器人市场，在20世纪70年代出台《改善劳动条件计划》，促进了其国内工业机器人的研制与应用。该计划主要内容是规定有危险、有毒、有害的工作岗位，必须以机器人来替代普通劳动力，促使德国生产中部分岗位不得雇佣普通劳动力，推动了德国工业机器人的研发与生产(顾震宇, 2006)。2004年，德国联邦政府与各州政府签订《研究与创新协议》，规定德国主要的四个大型研究协会(马普学会、亥姆霍兹联合会、弗劳恩霍夫协会、莱布尼兹科学联合会)的研究经费每年保持至少3%的增幅，这四大研究协会在不同的学科领域分别形成了不同的科研任务分工，促进了交叉学科产出的机器人技术持续发展，同时也培育了机器人产业的研发人才(陈丹等, 2013)。2010年又出台《德国2020高技术战略》，在宏观上对德国机器人产业进行规划，制定工业4.0战略并将其作为十大未来项目。2013年正式出台《德国工业4.0战略》，这也是目前德国最新的机器人政策。相较于早期的政策，其特色在于先于其他国家将工业划分成4个阶段，并明确指出德国目前的目标是迈向工业4.0时代，作为未来前沿产业，需要将智能化机器人与人有机结合。

韩国工业机器人的起步略晚于美国、日本、德国。2003年，韩国产业资源部(MOCIE)提出“十大未来成长动力产业”，将智能服务型机器人纳入未来重点发展的十大产业之中，并加大力度培育与机器人产业相关人才，但是此时韩国的政策重点在于发展家庭机器人与个人机器人。2008年，韩国出台《智能机器人开发和普及促进法》，以促进机器人产业的可持续发展，其主要内容是从法律层面将机器人列为国家级战略性产业，明确了机器人的定义、政府在机器人发展领域的职能，制定了机器人开发的基本计划，规范机器人产业的内部秩序。相对于美国、德国、日本来说，韩国机器人企业的世界范围竞争力相对较弱，为了促进机器人产业的竞争力，2009年韩国制定《第一次智能型机器人基本计划》，致力于扩大韩国机器人的市场规模，提高其在世界市场占有率，同时创造更多的就业岗位。相较于之前的政策，该政策明确选取工业机器人为主要研究领域，并规定建立相应的开发项目、质量标准、认证体系等，促进工业机器人的发展。2012年，韩国知识经济部发布了《机器人未来战略2022》，提出将韩国机器人产业发展为世界前三，计划投资3500亿韩元拓展机器人产业，其中智能化工业机器人成为其重点发展目标；该政策的主要特色是将工业机器人进行智能化升级，将机器人打造成为支柱型产业，并与其他产业有机融合。2013年，韩国知识经济部为了推动《机器人未来战略2022》的落实，启动《第二次智能机器人行动计划(2014—2018年)》，制定了2014—2018年韩国在机器人生产总值、出口额以及世界市场占有率这几个指标上的明确目标，为《机器人未来战略2022》提出的社会普及以及“机器人强国”的目标提供了具体的战略规划。至2016年，韩国工业机器人生产商已占全球份额的5%。目前，韩国的最新政策是《智能机器人基本计划》第二期，由于韩国的机器人技术与美、日等国还存在一定差距，该政策重点在于提高机

器人的研发能力,打造机器人与产业的融合。

(三) 中外机器人政策的比较

通过对中外机器人政策的梳理,可以发现中外政策之间存在一定相似之处,表现为出台相应的税收优惠政策以鼓励企业开展机器人技术的研发,减轻机器人制造企业的研发负担。由于中外产业发展状况、机器人技术发展阶段等因素不同,机器人政策也呈现较大差异。相较而言,中国机器人密度远低于其他四国,为了普及机器人的使用,各地方政府会出台相应的补贴政策,鼓励企业购买机器人,尤其是本地生产、销售的机器人,以便打造本地机器人龙头品牌,与此同时也带动企业进行地方机器人技术的研发。从政策主导性来看,国外出台的政策有利于推动机器人的发展,但政府政策并不发挥主导作用。如美国、日本出台的大部分政策仅仅是鼓励企业参与技术创新,并非限定于机器人领域,由作为市场主体的企业根据真实需求,发挥自身能动性选择具有发展前景的研究方向。就我国而言,为了推动机器人的发展,国家、部委、地方政府均出台了一系列政策来制定相关产业目标来支持机器人产业的成长,政府发挥的作用较强。以政策的倾向性而言,国外政策优惠会更倾向于需要投资与帮助的中小企业,鼓励发挥其创新性,我国政策倾向于大型机器人企业,创造龙头企业来带动行业的发展。

四、机器人对劳动力就业影响的国际比较

对于经济学研究者和政策制定者而言,最为关注的话题之一就是机器人的大量使用是否会导致对劳动力的替代,从而产生就业机会减少、劳动力市场工资下降等问题。Oxford Economics 分析报告预测,每安装 1 个机器人,将有 1.6 个制造业岗位被替代,至 2030 年全球将有 2000 万个就业岗位被替换。因此,本部分将讨论在不同国家,机器的使用对于劳动力市场影响的差异性。

(一) 机器人对中国劳动力市场的影响

机器人的应用对劳动力市场主要产生两个方面的影响:一方面,将完全替代人能做的工作任务,从而使得劳动力需求减少,失业增加,工资下降,影响的主要群体是从事简单任务的低技能劳动力;另一方面可能会提高劳动生产率,即生产效率更高了以后,企业生产成本下降,供给能力增加,从而带来更多新的工作机会,同时机器人的使用会给高技能劳动力以及投资者带来更大的收益(Acemoglu et. al, 2017; 张于喆, 2019)。因而,要确定机器人使用对于劳动力市场的净影响,主要是一个实证问题。由于数据的稀缺性,对于机器人影响中国劳动力市场的研究并不多。程虹等(2018)首次基于面向企业的一手调查数据对机器人的就业效应进行了测算,研究发现,使用机器人的企业劳动力的替代效应约为 2.6%,其中劳动密集型企业的替代效应为 2.9%。该研究还测算了机器人使用对于劳动力市场整体的替代效应为 0.3%,并且预测中国机器“换人”的效应还将不断提升,对劳动力的整体替代效应将在 2025 年前后达到 5% 左右。我国机器人发展已进入拓展期,对于就业的影响效应已初步显现,新产业、新业态中的新兴岗位会解决部分劳动力就业问题,但会存在较大的不确定性以及难以预测性,这也直接导致我国就业存量不会有较大变动,但会存在较高的挤出风险(王君等,2017)。

(二) 其他国家的研究

从国内外学者的研究来看,机器人的应用存在换人的“替代效应”,会造成部分劳动力失业以及工资下降,且这种替代效应对不同年龄、性别以及不同技能水平的劳动力存在差异。同时,机器人的应用也促进了新岗位的涌现,缓解了失业问题。

Acemoglu 等(2017)对美国“机器换人”状况进行了实证研究,指出在劳动力与机器人竞争越来越激烈的情况下,会对劳动力就业以及报酬产生影响。基于美国 1990—2007 年机器人使用的面板数据,他们对机器人产生的就业效应进行了估计。该研究认为,每千名工人增加一台机器人可以减少就业人口比 0.18~0.34 个百分点,会使得工人减少工资 0.25~0.5 个百分点,这一效应与中国的效应大体相当。他们同时还指出,机器人在替代劳动力的过程中,会伴随产生新的职业与岗位,从 1990 年到 2007 年,美国的总就业人数增加到 17.5%。从这种长期的观测周期来看,机器人对于劳动力的替代效应可以说趋近于 0。同时,机器人的发展对于劳动力报酬的影响在年龄、性别间也存在差异。Sachs

(2012)等学者根据美国人口普查局公布的数据,观测了1947年至2011年按年龄划分的收入中位数的变化。对45~54岁男性和25~34岁男性的收入中位数进行比较时,发现1950年老年人的收入比年轻人高4%,至2011年老年人的收入比年轻人高出41%。相对来说,女性这一趋势不太明显,收入率从1950年的0.92%上升到2011年的1.11%。张于皓(2019)根据美国《Artificial Intelligence, Automation, and the Economy》报告指出,机器人在对于不同技能水平的影响上,对不同技能水平的劳动力产生影响效应。机器人的发展对于高技能以及投资者并不会造成负面影响,他们甚至会成为最大的收益者,而对于中低技能者来说,机器人的使用会影响其就业,尤其是中间技能水平劳动力。对于未来机器人对劳动力的“替代效应”,也有学者提出以下猜想:由于机器人相较于人来说,缺乏灵活性以及适应性,难以完成人际互动等任务,因此未来的工作仍然无法单纯依靠具有中等技能水平的机器人独立完成,还需要借助具有低技能的剩余劳动力(Autor,2015)。

部分学者对于日、德、韩三国机器人的使用情况进行研究,发现机器人的使用仅会直接替换部分劳动力,但是对于机器人的需求以及投资行为也会带来大量的就业机会。就日本而言,仅1985—1990这5年期间制造业机器人增加15.5万台,导致就业人数减少7.1万,其中就业人数减少最多的行业为电力机械、运输设备、化学品、精密仪器制造等。然而,日本企业对机器人的需求以及其他影响也为国内4.8万人提供就业岗位,使得日本净失业人数减至2.3万人,国民生产总值实现年均增长0.03%。对于德国劳动力市场而言,每使用1个机器人便会导致2个制造业工作岗位被替代,这也导致了1994—2014年间,德国制造业就业人员总体下降了23%,即275000个就业岗位被机器人替代。然而,新增服务业岗位弥补了大量制造业失业问题(Wolfgang Dauth et. al,2017)。对于韩国而言,机器人的使用也没有使企业完全替换劳动力,由机器人来进行全部工作。即使在安装了机器人之后,韩国企业也至少保留了现有工人的三分之一。在汽车、电气和电子工业中,每台机器人的边际劳动替代率分别为2~3名工人和1~3名工人(Mitsuo Saito and Shinichiro Nakamura,1989; Yasuhiko Torii,1989)。

五、主要结论

基于以上分析,可以得到我国机器人发展与其他代表性国家的主要比较结论:

第一,与国外相比,我国在机器人应用市场上拥有比较优势。我国从2012年开始成为全球最大的机器人应用市场,并且机器人拥有量的增速远高于美国、德国、日本、韩国等国家。同时,我国机器人大规模应用的时间较发达国家晚了约20年,因此机器人使用的密度与国际先进水平相比仍有较大差距。可以预见,我国机器人市场未来还将处于一个快速发展阶段。

第二,我国机器人产业在关键技术、品牌、市场竞争力等方面与国外有较大差距。在发展时间方面,我国本土机器人企业起步较晚。在关键技术方面,伺服电机和减速器仍主要依赖进口。在市场规模方面,国内机器人企业的平均市场规模与国际排名前列的企业相比,差距甚远。虽然机器人专利数量排名全球第一,但在核心技术专利方面仍亟需突破。

第三,我国机器人的支持政策力度高于国外。主要表现为:一方面,政策出台的密度较其他国家更大,既有中央政府和部委的政策,也有省市级政府的支持政策。另一方面,对于机器人的使用和研发给予较大幅度的补贴。这些政策的制定是我国机器人市场快速发展的重要外部条件。对比发达国家的有关政策,我国的机器人产业政策应更多地注重功能性、普惠性,让中小企业有机会参与机器人创新。

第四,我国机器人对劳动力的整体替代效应与国外大体相当。我国机器人对劳动力市场的整体替代效应为0.3%,而预测2025年前后将达到5%,与美国、日本等国相比大体相当。但考虑到我国就业规模远高于发达国家,机器人应用带来的劳动力就业问题应引起高度重视。

参考文献:

- [1] 毕胜,2008:《国内外工业机器人的发展现状》,《机械工程师》第7期。[Bi Sheng, 2008, Current Situation of Industrial Robots at Home and Abroad, *Mechanical Engineer*, 7.]

- [2] 程虹、陈文津、李唐,2018:《机器人在中国:现状、未来与影响——来自中国企业-劳动力匹配调查(CEES)的经验证据》,《宏观质量研究》第3期。[Cheng Hong , Chen Wenjin and Li Tang, 2018, Robots in China: Status, Future and Impact——Empirical evidence from the China Employer-Employee Survey (CEES), *Journal of Macro-quality Research*,3.]
- [3] 陈强、霍丹,2013:《德国创新驱动发展的路径及特征分析》,《德国研究》第4期。[Chen Qiang, Huo Dan ,2013, Analyse des Wegs und der Merkmale der durch Innovation angetriebenen Entwicklung Deutschlands, *Deutschland-Studien*,4.]
- [4] 樊增强,2005:《日本、欧盟中小企业技术创新支持政策的比较分析及其对我国的启示与借鉴》,《现代日本经济》第1期。[Fan Zengqiang,2005, A Comparative Analysis of Japan and EU's Policies to Support the Technical Innovation of Small Businesses—— Lessons to Be Drawn by China, *Contemporary Economy of Japan*,1.]
- [5] 顾震宇,2006:《全球工业机器人产业现状与趋势》,《机电一体化》第二期。[Gu Zhenyu, 2006, Industrial Robots: Global Actualities and Trends, *Mechatronics*,2.]
- [6] 时计鸣、黄希欢,2015:《工业机器人技术的发展与应用综述》,《机电工程》第1期。[Ji Shiming and Huang Xihuan, 2015,Review of development and application of industrial robot technology, *Journal of Mechanical and Electrical Engineering*,1.]
- [7] 吕洁、杜传文、李元旭,2017:《工业机器人应用会倒逼一国制造业劳动力结构转型吗?——基于1990—2015年间11个国家的经验分析》,《科技管理研究》第22期。[Lv Jie, Du Chuanwen and Li Yuanxu,2017, Do the Application of Industrial Robots Force a Country's Manufacturing Labor Structures Transforming? —Based on the Empirical Analysis of 22 Countries in 1990—2015, *Science and Technology ManagementResearch*,22.]
- [8] 骆敏舟、方健、赵江海,2015:《工业机器人的技术发展及其应用》,《机械制造与自动化》第1期。[Luo Minzhou, Fang Jian and Zhao Jianghai, 2015, The Development and the Application of the Industrial Robot Technology, *Machine Building and Automation*,1.]
- [9] 马岚,2015:《中国会出现机器人对人工的规模替代吗?——基于日韩经验的实证研究》,《世界经济研究》第10期。[Ma Lan, 2015, Whether Will There Be a Scale Replacement of Robot to Labor in China?: Study Based on the Experience of Japan and South Korea, *World Economy Studies*,10.]
- [10] 王田苗、陶永,2014:《我国工业机器人技术现状与产业化发展战略》,《机械工程学报》第9期。[Wang Tianmiao, Tao Yong,2014, Research Status and Industrialization Development Strategy of Chinese Industrial Robot, *Journal of Mechanical Engineering*,9.]
- [11] 王君、张于喆、张义博、洪群联,2017:《人工智能等新技术进步影响就业的机理与对策》,《宏观经济研究》,第10期。[Wang Jun, Zhang Yuzhao, Zhang Yibo, Hong Qunlian, 2017, The mechanism and countermeasures of new technological progress such as artificial intelligence affecting employment, *Macroeconomics*,10]
- [12] 王伟光、余景年、彭莉,2017:《中国工业机器人产业技术研究——专利地图视角》,《科技进步与对策》,第7期。[WangWeiguang, YuJingnian, PengLi, 2017, The Industrial Technology Research of Industrial Robot of China—— Based on the Perspective of Patent Map, *Science and Technology Progress and Policy*,7]
- [13] 喻一帆,2016:《国际工业机器人产业发展路径及对我国的启示》,《对外经贸实务》第6期。[Yu Yifan,2016, The Development Path of International Industrial Robot Industry and Its Enlightenment to China, *Practice in Foreign Economic Relations and Trade*,6.]
- [14] 张于喆,2019:《人工智能、机器人的就业效应及对策建议》,科学管理研究第1期。[Zhang Yuzhe,2019, *Artificial Intelligence , Robot Employment Effect and Suggestions*,1]
- [15] Acemoglu, D. , and Restrepo, P. ,2017, Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets, National Bureau of Economic Research:(No. w23285).
- [16] Acemoglu, D. , and Restrepo, P. ,2018, The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth,Factor Shares and Employment. *American Economic Review*,108(6):1488-1542.
- [17] Autor D H,2015, Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3):3-30.
- [18] Fleck,J. , and White, B. ,1987,National policies and patterns of robot diffusion: United Kingdom,Japan,Sweden and the United States. *Robotics*,3(1),7-22.
- [19] Graetz G, Michaels G,2015,Robots at Work:Social Science Electronic Publishing, 368(9533):358.

- [20] Hong Cheng, Ruixue Jia, Dandan Li, and Hongbin Li, 2019, The Rise of Robots in China. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 71-88.
- [21] J. I. R. A. , 1974, History of the Japan industrial robot association a corporate institution. *Industrial Robot*, 1(2), 56-57.
- [22] Linsteadt, G. F. , and Delabarre, D. M. , 1981, A positive look at the Stevenson-Wydler technology innovation act of 1980—pl 96-480. *The Journal of Technology Transfer*, 5(2), 23-28.
- [23] Mitsuo Saito, Shinichiro Nakamura, 1989, Impacts of robotization on the Japanese economy. *Technological Forecasting and Social Change*.
- [24] Sachs, J. D. , and Kotlikoff, L. J. , 2012, Smart machines and long-term misery, *National Bureau of Economic Research*; (No. w18629).
- [25] Yasuhiko Torii, 1989, Robotization in Korea: Trend and implications for industrial development. *Technological Forecasting and Social Change*.

The Development of Robots: Comparison between China and the World

Luo Lianfa, Chu Mengjie and Liu Junjun

(Institute of Quality Development Strategy, Wuhan University; Macro-quality Management
Coordinative Center of Hubei Province)

Abstract: China has become the country with the largest number of robots in the world. This paper comprehensively evaluates the status of Chinese robots in terms of market applications, industrial development, policy systems and their impact on employment. According to the analysis, there is still a big gap between the density of robot use and that in developed countries, so there is still much room for growth in the future. And there is a big gap between the domestic robot industry and the international cutting-edge level in terms of technology and brand. The use of robots has a great substitution effect on the employment of Chinese labor force. Compared with the international level, China has more supportive policies on robot application and research. China's robot support needs to pay more attention to functional policies and encourage SMEs to participate in innovation.

Key Words: Robot; Industrial Development Policy; International Comparison

■ 责任编辑 邓 悅