

国内外机器人产业发展态势及对策分析

李明珍^{1,2}, 李金霞², 翁献珍²

(1. 南京大学 信息管理学院, 南京 210093; 2. 浙江省科技信息研究院, 杭州 310006)

摘要:随着“第三次工业革命”浪潮和工业 4.0 进程的不断推进,机器人产业发展不断受到世界各国的重视。主要通过文献计量和专利分析等手段,对国内外机器人产业研发态势以及政策进展进行了研究分析,以对浙江省机器人发展路径给予一定的建议和参考。

关键词:机器人;工业 4.0;文献计量;专利;浙江;对策

中图分类号:TP24 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2016)05-0001-07

机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的自动化装备。国际标准化组织将机器人定义为“一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手,这种机械手有几个轴,能够借助于程序来处理各种材料、零件、工具和专用装置”。自 1962 年美国研制出第一台工业机器人以来,机器人技术发展迅速,已成为柔性制造、自动化工厂、计算机集成制造系统的自动化工具。

从应用领域来看,机器人分为工业机器人和服务机器人。工业机器人是指面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器人。典型应用包括焊接、喷涂、组装、采集和放置等。服务机器人则是指除从事工业生产外的一大类半自动或全自主工作的机器人,其中既包括用于军事、安全、勘测、航空及医疗领域的专用机器人(也叫特种机器人),也包括用于家政、娱乐、残障辅助等用途的家用机器人。

从机器人普及情况来看,2012 年,全球工业机器人平均使用密度^①为 58 台/万人,其中,韩国、日本和德国工业机器人密度全球领先,分别为 396、332 和 273 台/万人。而中国仅为 23 台/万人,还不到全球平均水平的一半,我国与制造业强国差距明显。但从市场规模和前景来看,2013 年,全球工业机器人销量 17.9 万台,销售收入近 100 亿美元。加上软件和周边设备,工业机器人系统的市场容量估计达 300 亿美元。服务机器人销量则达到 402.1 万台^②,销售收入超 50 亿美元。^[1]预计到 2020 年,全球机器人市场规

模将近千亿美元。而 2014 年中国市场共销售工业机器人约 5.7 万台,较上年增长 55%,约占全球销量四分之一,已连续两年成为全球第一大机器人市场。

有专家指出,作为全球最大需求市场的中国,未来机器人市场潜力将超万亿。特别是在劳动力成本和老龄化的压力下,机器人的大规模使用已成为必然趋势,而这一趋势将会重塑原有产业形态,对未来制造业发展带来深刻影响。因此,充分了解全球机器人产业创新研发态势与进展,对于指导区域机器人产业发展,推动制造业转型发展、打造区域经济升级版,具有一定的参考意义。

1 国内外机器人创新研发态势分析

笔者通过对 Web of Science 和 DII 数据库中的国际论文和专利进行检索和分析,发现国际机器人技术研发呈现出如下态势:

1.1 起步于上世纪 70 年代,本世纪初研究进一步加速

国际机器人领域研究起步于 20 世纪 70 年代初,之后几十年发展一直相对平稳缓慢。2006 年前后,机器人研究迎来一次发展的小高峰。2006 年国际论文由百篇时代激增增至 2 000 余篇,增幅达 260%,专利增幅则在 16%左右。之后国际论文和专利持续保持较快增长,这表明国际机器人研发已进入快速发展轨道(图 1)。

进一步,从专利角度考察机器人技术生命周期(图 2)。我们发现,尽管考察期专利情况偶有波动,

收稿日期:2016-01-22

基金项目:浙江省软科学基地项目(2014C35093);浙江省省属科研院所专项(2013F20013)。

作者简介:李明珍(1982—),女,甘肃古浪人,南京大学,博士生,助理研究员,研究方向:科技政策与产业技术研究。

注:①工业机器人密度是指:在制造业中每 1 万名雇员所拥有的工业机器人的数量。

②其中,专业服务机器人 2.1 万台,家用机器人 400 万台。

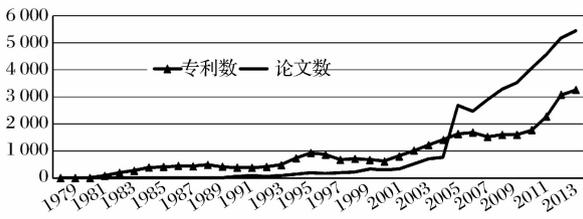


图 1 国际机器人领域论文/专利年度增长情况

但从整体上来看,专利申请和专利人数量基本上均保持快速增长态势。这表明,当前机器人技术生命周期尚处于技术发展期,未来发展前景巨大。

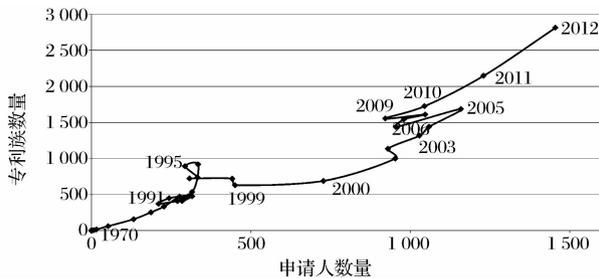


图 2 基于德温特世界专利数据考察机器人技术生命周期

1.2 美日中德韩等国研发实力雄厚,我国中科院、国家电网、上海交大、浙江大学等研究机构具备一定竞争优势

从地域分布看(图 3、图 4),美国、中国、日本、德国和韩国是机器人理论和技术研究的重点国家。其中,美国在基础研究领域优势明显,论文数量和质量远超其他国家。截止 2015 年 2 月,美国在机器人领域共发表论文 11 560 篇,我国为 4 077 篇,日本、德国、韩国分别为 3 100、2 927、2 507 篇;而从引用情况来看,美国机器人领域国际论文被引频次总计为 153 714 次,篇均被引 15.56 次,H 指数^①高达 117。德国(27 441,9.19,63)和日本(23 255,7.41,58)排在其后。我国国际论文数量虽然排在前列,但质量仍相对落后,特别是篇均被引频次和 h 指数仅为 4.91 和 48。

表 1 美中日德韩机器人领域国际论文相关引用指标

指标/国家	美国	德国	日本	中国	韩国
被引频次总计	153 714	27 441	23 255	20 525	15 220
篇均被引频次	15.56	9.19	7.41	4.91	5.96
H 指数	117	63	58	48	44

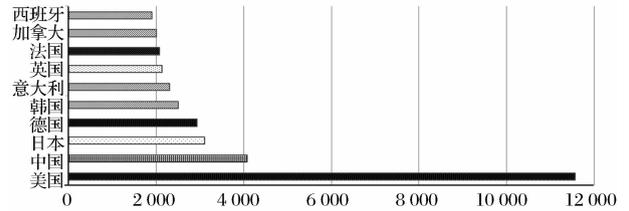


图 3 机器人领域论国际文发表数量 top10 国家

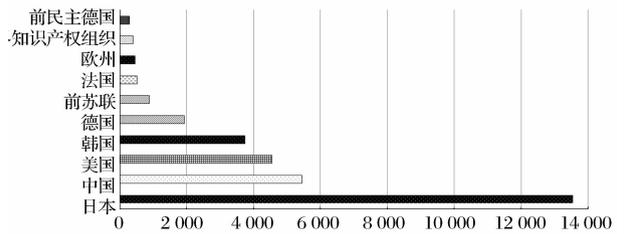


图 4 机器人领域专利申请 top10

从发展历程来看,起初期各国水平相差无几。但 2006 年开始,美国国际论文数爆发式增长,增幅达 425%,此后与其它各国差距迅速拉大,成为机器人技术理论研究头号强国。我国机器人理论研究也持续加速,2000 年以来论文年均增幅 163%,每年增幅几乎均在 30%以上。在专利方面,日本优势地位显著。早在 90 年代初,日本机器人专利就迎来了一次高峰,后虽偶有波动,但已无法撼动其在机器人专利领域的霸主地位。我国机器人专利虽起步较晚,但到 2008 年左右,专利数就已迅速赶超其他地区。特别近几年,专利增幅高达 60%以上,也说明我国企业及研发机构已越来越重视机器人的专利布局。

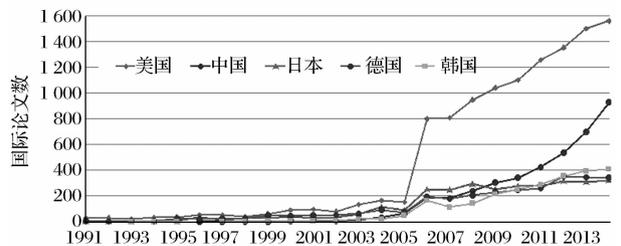


图 5 机器人领域主要国家/地区论文年度增长情况

从成果来源来看,国际论文发表 top10 机构中,有 6 家来自美国(加州大学系统、麻省理工学院、哈佛大学、NASA、卡耐基梅隆大学和约翰·霍普金斯大学),发文量占据 top10 总量的六成。2 家来自中国

注:①H 指数是指一个人(团体)有 h 篇论文分别被引用了至少 h 次,是目前公认的较为科学的用来评价科研人员(团体)学术成就的定量方法。

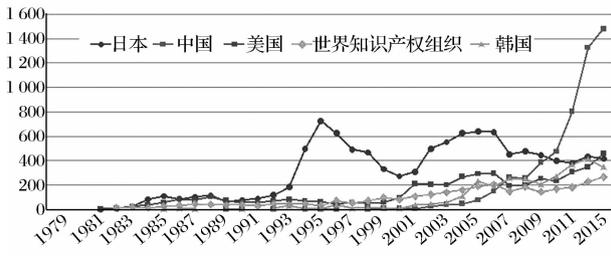


图6 机器人领域主要国家/地区
专利年度申请情况

(中科院、上海交大),发量分别为 410 篇和 378 篇,合计占 top10 总量的 15%。法国和日本则各有 1 家机构上榜,分别为法国国家科学研究院和东京大学,发量各为 924 篇和 362 篇。

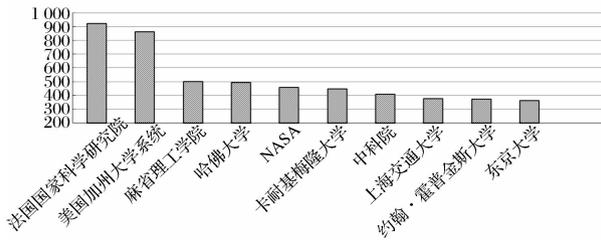


图7 机器人领域国际论文发表 Top10 机构

而从专利权人分布来看,则呈现出“国际专利看日本,日本专利看企业”的特点。全球机器人专利权

人 top50 中,来自日本的就有 32 家,除了老牌工业机器人制造企业如安川电机^①、发那科^②外,作为下游应用的松下、丰田等一大批工矿企业也是重要的专利来源单位。韩国紧随其后,top50 中占据 6 家,分别为三星、LG、大宇、现代、韩国高级科技学院和电子通信研究院。美国 2 家上榜机构均为服务机器人生产企业,其中直觉外科是目前全球最先进的医疗机器人——“达芬奇”系统的生产商,而 irobot 的扫地机器人等家用机器人全球销量已超 1 000 万台,缔造了有史以来全球服务机器人最好销售佳绩。我国机器人专利产出单位主要集中在高校科研院所,中科院系统以 174 项位列第 25 位,其余上榜机构为国家电网、上海交大、苏州工业园区职业技术学院、浙江大学。值得注意的是,苏州工业园区职业技术学院以 100 项位列第 43 位,究其原因,与该校突出机电等学科特色,强化校企合作,订单式、实训式人才培养机制有着直接的关系。

表2 全球机器人领域专利申请 Top50
专利权人分布情况

	日本	韩国	中国	德国	美国	瑞士	法国
Top50 专利权人数量	32	6	5	3	2	1	1
其中,企业数量	31	4	1	3	2	1	0

表3 全球机器人领域专利申请 Top50 专利权人分布情况

序号	专利权人名称	专利家族数	序号	专利权人名称	专利家族数
1	日本安川电机	1 067	26	日本石川島播磨重工业公司	169
2	日本发那科	881	27	韩国大宇	159
3	松下电器	800	28	NEC	151
4	三星集团	800	29	irobot	150
5	丰田	689	30	日本电报电话公司	145
6	索尼	618	31	富士电机	141
7	三菱集团	615	32	韩国高级科技学院	139
8	本田	539	33	日産自動車株式会社	137
9	日立	531	34	夏普	135
10	精工爱普生株式会社	455	35	株式会社小松制作所	130
11	东芝	434	36	中国国家电网	127
12	瑞士 ABB	433	37	日本独立行政法人产业技术所	126
13	LG 集团	425	38	上海交大	109
14	西门子	396	39	戴姆勒奔驰	106
15	日本电装有限公司	377	40	理光株式会社	106
16	大阪变压器有限公司	322	41	神钢电机株式会社	106
17	富士通	276	42	韩国电子通信研究院	101

注:①安川电机是全球四大工业机器人企业之一,主要制造伺服、变频器、工业开关及机器人。

②发那科公司是全球四大工业机器人企业之一,主要生产数控系统和工业机器人。

(续表 3)

序号	专利权人名称	专利家族数	序号	专利权人名称	专利家族数
18	德国库卡	265	43	苏州工业园区职业技术学院	100
19	直觉外科	248	44	国产电机株式会社	93
20	川崎重工	239	45	欧姆龙	89
21	佳能	227	46	三洋电机	89
22	现代集团	206	47	日本东机工株式会社	86
23	神户制钢	197	48	浙江大学	85
24	那智不二越	197	49	三共精机	84
25	中科院	174	50	法国原子能委员会	81

1.3 技术重点主要集中在机床用机械手及相关过程控制领域,但区域布局各有重点,并呈现出一些新的研究热点

图 8 列出了机器人专利数 Top10 技术领域。可

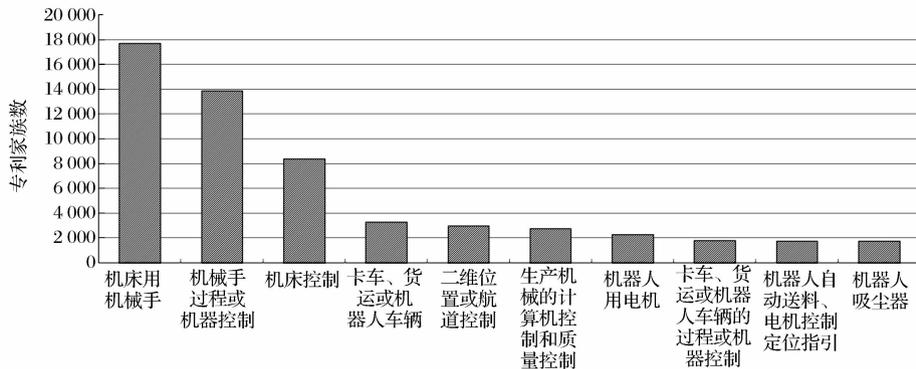


图 8 基于国际专利的机器人重点技术领域分布

从区域技术布局来看,机床用机械手及相关过程控制作为机器人技术的基础,一致成为各国布局重点,此外,还呈现出一些比较优势领域。其中日本在所有技术领域几乎都呈现压倒性优势。我国优势主

以看出,当前机器人技术的主要研发重点还是集中在机床用机械手及相关过程控制,机器人车辆及过程控制、二维位置或航道控制、机器人用电机、自动送料及机器人吸尘器等相关领域。

要集中在二维位置或航道控制、机器人用电机及机器人吸尘器领域;美国专利优势主要集中在卡车、货运或机器人车辆,以及生产机械的计算机控制和质量管理控制领域;韩国在机器人吸尘器领域专利优势显著。

表 4 重点国家机器人领域专利布局情况

	机床用机械手	机械手过程或机器人控制	机床控制	卡车、货运或机器人车辆	二维位置或航道控制	生产机械的计算机控制和质量管理控制	机器人用电机	卡车、货运或机器人车辆的过程或机器人控制	电极或工作自动送料	机器人吸尘器
合计	17 682	13 864	8 382	3 276	2 994	2 733	2 292	1 790	1 759	1 741
日本	7 731	5 835	3 938	1 548	1 258	1 141	1 070	935	1 053	227
中国	1 926	2 523	1 000	466	666	493	664	182	194	401
美国	2 374	1 647	906	547	242	443	203	215	141	160
韩国	1 572	1 512	920	301	549	218	144	274	144	754

从研究热点^①来看,近三年来,汽车制造及家庭用手工切割技术、手工切割技术安全装置、可用于一、二维参数及坐标测度的工程仪器,及半导体漏极源极

加工处理工艺逐渐得到业界的关注,这表明,机器人技术的安全性及精准度等技术细节,将在未来一段时间内成为研发的重点和趋势。

注:①技术热点主要通过近三年内专利中出现的高频术语进行分析得出,本文选取了近三年出现频次超 6 次的热点领域(术语)。

表 5 近三年内国际机器人专利技术研发热点

热点领域	汽车制造用手工切割技术	家庭用手工切割技术	涉及面积、轮廓等二维参数测度的工程仪器	手工切割安全装置的具体构造	涉及长、宽、厚、深、间距等一维参数测度的工程仪器	涉及坐标测度的工程仪器	半导体漏极源极的加工处理工艺
近三年内出现的频次	32	11	11	10	8	7	7

2 国内外机器人产业政策进展分析

随着“第三次工业革命”浪潮和工业 4.0 进程的不断推进,世界主要经济体纷纷将发展机器人产业上升为国家战略,并以此作为保持和重获制造业竞争优势的重要手段。

2014 年,欧盟启动了“地平线 2020”计划,其中的“未来和新兴技术”基金重点支持机器人智能系统,对机器人研发投入增加到 140 亿欧元。同年,还启动“SPARC”计划,到 2020 年计划投入 28 亿欧元用于研发民用机器人。美国奥巴马政府也在 2011 年启动的《先进制造伙伴计划》中设立了“国家机器人计划”,拟投资 28 亿美元,重点开发基于移动互联技术的第三代智能机器人。日本在 2014 年新出台的“经济增长战略”中,将机器人产业作为重点扶持产业之一,并将“促进护理、农业、建设第一线利用机器人”、设立“实现机器人革命会议”加快技术开发等相关内容写入新经济增长战略来大力促进机器人使用。韩国 2014 年启动新一轮机器人开发基本计划,计划公私联合投资 26 亿美元,重点推进机器人技术与其他产业如制造业和服务业的融合发展^[2]。

在我国结构调整和转型升级的关键时期,机器人作为先进制造业中不可替代的装备和手段,也受到国家层面的高度重视。习近平主席在两院院士讲话中提出,“机器人是制造业皇冠顶端的明珠,其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。……我们要审时度势、全盘考虑、抓紧谋划、扎实推进”。科技部、工信部近年来出台了《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》等一系列政策。目前,四部委联合起草的《中国制造 2025 规划》已正式发布。其中机器人作为十大重点发展领域之一,将获得政策、资金等全方位支持,机器人产业将步入前所未有的战略机遇期。

目前我国机器人产业发展较好的地区有东北地区、上海、江苏、广东等省市。他们或是依托当地高校院所雄厚的技术研发实力、或是通过引进国际龙头企业设立总部或研发机构,都走出了一套自己特色的机器人发展路径,同时形成了以沈阳新松、哈尔滨博时、

上海新时达等为代表的一大批机器人龙头企业。此外,这些优势地区还无一例外的高度重视和支持机器人产业的发展。例如,辽宁省于 2015 年 1 月出台了《辽宁省推进机器人产业发展实施意见的通知》,规划到 2017 年,机器人及智能装备产品主营业务收入突破 300 亿元,以新松机器人为代表的重点企业国内市场占有率超过 20%,机器人单体自主配套率超过 50%。上海市 2012 年就成立了宝山机器人产业园和上海机器人产业技术创新战略联盟。并在 2014 年底出台的《关于上海加快发展和应用机器人促进产业转型升级提质增效的实施意见》中,规划到 2020 年,全市机器人产业规模达到 600~800 亿元。2015—2020 年,全市应用机器人数量年均增加 30%以上。力争成为全国最大的机器人产业基地和全国机器人产业高度集聚的研发中心、制造中心、服务中心和应用示范中心。江苏省已打造形成“常州机器人智能装备产业园”、“昆山高新区机器人科技产业园”和徐州“江苏机器人产业示范基地”三大机器人产业基地^[3]。安徽省于 2013 年 10 月成为国家级机器人产业区域集聚发展试点。计划以芜湖为龙头,到 2015 年形成产业规模超 200 亿元的芜马合产业集群。广东省 2014 年底启动了总投资达 27 亿元的松山湖国际机器人产业基地建设。并在 2015 年初开始在全省规上工业企业中实施“机器换人”工程,机器人产业发展全面推进。

3 浙江省机器人产业发展对策及建议

3.1 现实基础及存在的问题

浙江省则早在 2012 年就在全国率先启动“机器换人”战略部署,2013 年正式实施的“555”推进计划,计划在未来五年,通过每年实施 5 000 个项目,投入 5 000 亿投资推进机器换人。仅 2014 年,已实施“机器换人”项目 6 000 余项,使用工业机器人 5 000 多台,工业机器人使用量约占全国 15%,居各省市第一位。

目前,浙江省已拥有机器人相关国家级重点实验室 3 个,省级重点实验室 10 个,省级高新技术特色产业基地 1 家,建成浙江新松工业机器人智能装备、钱江工业机器人、国自机器人信息工程研究院等一批重

点企业研究院,培育了智能服务机器人、高档数控机床及其关键技术、工业过程及生产装备的先进控制等一批重点创新团队。2000—2012年,仅直接支持机器人技术研发的省级科技计划项目就达50余项,科技投入3000余万,同时也涌现出一大批机器人研发先进成果,为浙江机器人产业的进一步发展夯实了基础。例如,钱江工业机器人重点企业研究院目前已基

本完成6自由度6KG机器人、4自由度SCARA机器人、Delta机器人、4款RV减速机的开发工作,特别是其自行研发的RV减速机,目前总体性能达到国际先进水平,制造成本却仅为日本同类产品售价的三分之一;浙江大学已陆续完成智能家用清洁、养老助残、智能交通等多个系列服务机器人产品的开发和产业化等等。

表6 浙江省机器人技术国家级、省级重点实验室

序号	名称	级别	依托单位	归属部门	批准时间
1	流体传动及机电系统国家重点实验室	国家级	浙江大学	科技部	1989年
2	工业控制技术国家重点实验室	国家级	浙江大学	科技部	1989年
3	特种装备制造与先进加工技术省部级共建教育部重点实验室	国家级	浙江工业大学	教育部	2005年
4	浙江省先进制造技术重点实验室	省级	浙江大学	省科技厅	1999年
5	浙江省嵌入式系统联合重点实验室	省级	浙江工业大学、 宁波大学、 杭州电子科技大学	省科技厅	2007年
6	浙江省服务机器人重点实验室	省级	浙江大学	省科技厅	2008年
7	浙江省特种装备制造与先进加工技术重点实验室	省级	浙江工业大学	省科技厅	2009年
8	浙江省流程工业自动化与系统重点实验室	省级	中控科技集团有限公司	省科技厅	2009年
9	浙江省流体传输技术研究重点实验室	省级	浙江理工大学	省科技厅	2011年
10	浙江省机电产品可靠性技术研究重点实验室	省级	浙江理工大学	省科技厅	2011年
11	浙江省电机及控制技术重点实验室	省级	卧龙电气集团股份有限公司	省科技厅	2014年
12	浙江省激光加工机器人重点实验室	省级	温州大学	省科技厅	2015年
13	浙江省机器人与智能制造装备技术重点实验室	省级	宁波材料所	省科技厅	2015年

表7 浙江省机器人技术相关重点企业研究院

序号	名称	依托单位
1	钱江工业机器人研究院	浙江钱江摩托股份有限公司
2	浙江新松工业机器人智能装备研究院	杭州新松机器人自动化有限公司
3	国自机器人信息工程研究院	浙江国自机器人技术有限公司
4	卧龙电机及控制技术研究院	卧龙电气集团有限公司

表8 浙江省机器人技术相关重点科技创新团队

序号	名称	启动建设时间	依托单位	负责人
1	智能服务机器人技术及其产业化创新团队	2009年	浙江大学	褚健
2	高档数控机床及其关键技术创新团队	2009年	浙江大学	陈子辰
3	工业过程及生产装备的先进控制创新团队	2009年	浙江大学	孙优贤、俞立
4	海洋水下高端装备技术科技创新团队	2010年	浙江大学	陈鹰
5	机电产品可靠性技术科技创新团队	2010年	浙江理工大学	陈文华

虽然产业基础良好,但浙江机器人产业也还存在一些问题,如减速器、控制器等核心关键零部件技术受制于人,自主创新能力不足;自产机器人多以搬运和焊接等低端机器人为主,精度、可靠性与进口机器人差距较大^[4];行业体系缺乏顶层统筹规划,无法形成合力;专业技术人才匮乏等等。机器人产业发展依

然任重而道远。

3.2 对策建议

1)加强顶层设计,突出政府引导和扶持。研究设立机器人重大专项,对制约国产机器人发展的精密减速器、伺服电机、控制器等关键零部件制造等技术加大研发攻关;研究出台机器人专项扶持政策,对符合

条件的机器人制造企业及积极开展“机器换人”的企业给予采购、税收等政策优惠；建立机器人投资引导基金，引导社会资本合力推动机器人产业发展。

2)规范产业发展,完善产业创新体系。依托机器人协会、联盟等行业组织,积极谋划产业发展路径,研究制定浙江机器人“十三五”产业创新规划。强化机器人研发、设计及检测等公共服务平台建设。完善行业标准体系,鼓励省内企业积极参与行业标准制定,为机器人市场拓展奠定基础。

3)强化企业主体地位,提升企业创新能力。在核心零部件、本体制造及系统集成等环节分别培育和引进3~5家机器人龙头骨干企业,鼓励其瞄准国际先进水平,提升技术水平、扩大产能,带动产业链跨越提升。大力推进中小微企业从中低端、经济型市场起步,培育细分领域优势,向“专、精、特、新”方向发展,做全做强产业链。推动企业创新销售模式,建立和完善终端销售与服务渠道。

4)强化示范应用,推动产业融合。围绕浙江省工业转型升级,按照“机器人+”的产业融合思路,分步骤、分层次的在汽车整车及零部件、电力电子、医药、食品等行业展开应用试点,推进机器人产品、自动化生产线、数字化工厂的示范应用,提升下游应用企业自动化、智能化水平,全面提高劳动生产率。支持有条件的地区推进“机器人小镇”建设,探索产业发展

新生态。

5)加强人才队伍建设,建立多层次人才培养机制。大力引进海内外高层次领军人才和团队,打造创新创业人才高地。强化专业技能人才培养与使用机制。借鉴苏州工业园区职业技术学院的建设经验,推动省内机器人企业加强与专业院校的合作,通过订单式、实训式培养的方式,强化应用型、操作性人才输出。

6)加强对外交流合作,推动协同发展。精准招商,积极吸引和接纳全球机器人龙头企业产业转移。鼓励本地企业进一步加强与国外著名机器人企业和研究机构的合作交流,形成开放创新发展的良好氛围,提升浙江省机器人产业的整体品牌。

参考文献

- [1] IFR. World Robotics 2014 Industrial Robots[EB/OL]. [2014-12-08]. <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>.
- [2] 世界各国机器人发展战略[EB/OL]. [2014-12-08]. <http://gongkong.ofweek.com/2014-09/ART-310058-8420-28880123.html>.
- [3] 李京宁,等. 大力发展机器人产业,促进我省产业转型升级[R]. 杭州:浙江经济和信息化委员会,2013.
- [4] 石萌萌. 中国机器人产业发展面临严峻挑战[J]. 科技导报, 2014(32):9.

The Development Status and Suggestions of Robotics

LI Ming-zhen^{1,2}, LI Jin-xia², WENG Xian-zhen²

- (1. School of Information Management, Nanjing University, Nanjing 210093, China;
2. The Institute of S&T Information of Zhejiang, Hangzhou 310006, China)

Abstract: With the processing of “The 3rd industrial revolution” and Industry 4.0, the development of the robot industry has started to draw the world's attention. In this paper, by means of bibliometric and patent analysis, the author has analyzed the development trend and policy progress of the robot industry, finally, also has given some suggestions and references to the industry development path of Zhejiang.

Key words: robotics; industry 4.0; bibliometric; patent; Zhejiang province; suggestions