

宏微观视域下智能制造关键领域及技术热点研究

张慧颖, 段韶波

(天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

摘 要: 从宏观的国家战略和微观的企业视角对智能制造进行解读的基础上, 通过对美国、德国和中国制造业发展战略的剖析, 得到国家战略视角下的智能制造内涵, 采用智能制造为关键词的专利分析, 得到企业视角下的智能制造技术范围, 然后取这两种视角下的交集得出智能传感监测与控制以及工业大数据为当前智能制造内涵下的关键焦点领域, 对得到的智能制造关键领域采用专利地图方法, 分析了其技术热点与发展趋势。

关键词: 智能制造; 关键领域; 专利地图

中图分类号: T-01 文献标志码: A 文章编号: 1008-4339(2017)04-295-06

近年来, 智能制造在学界、商界以及政府部门都受到了高度的重视。《中国制造 2025》的主攻方向, 是实践制造强国战略的重要措施, 是我国制造业紧跟世界发展趋势、实现由制造大国向制造强国转型升级的关键所在。本文提出并要解决的问题是, 企业视角智能制造的技术范围以及各国战略概念视角下的智能制造内涵分别是什么? 两种视角下智能制造的关键核心领域是什么? 关键领域的技术热点和发展趋势如何?

一、各国战略视角下的智能制造

智能制造是中国制造 2025、德国工业 4.0、美国工业互联网的交汇点, 而这三者内容都十分丰富, 存在着大量的技术要素、众多应用领域牵制价值链各个方面。

1. 美国工业互联网概念中的智能制造

2011 年, 美国通用电器公司总裁伊梅尔特首次提出了“工业互联网”的概念, 并组建工业互联网联盟, 与美国政府的战略举措相呼应, 其明确的“智能化”理念成为了新一轮工业与互联网变革中的鲜明主题^[1-2]。本文从工业网络基础和互联网应用两个方面剥离工业互联网中的智能制造。

工业网络基础即通过物联网、互联网等技术实现工业全系统的互联互通, 促进工业数据的采集和充分流动, 达到泛在感知、实时监测、精准控制、数据集成的目的。这里包含两个方面: 一是工业互联网体系的构

建, 即以工厂网络 IP 化改造为基础的工业网络体系和由网络地址资源、标识、解析系统构成的关键基础资源体系; 二是嵌入到机器与设备中的智能传感与控制软硬件、智能仪器仪表检测等装置。

互联网应用包含新型制造模式和工业大数据应用。在新型制造模式上, 包含基于互联网平台实现的精准营销、个性定制、智能服务、协同制造、柔性制造等。工业大数据在智能化生产中的应用包括虚拟设计与虚拟制造、生产工艺与流程优化、设备预测维护、智能生产排程、产品质量优化、能源消耗管控等。通过对异构数据的集成处理、机器数据的边缘计算、经验模型的固化迭代、基于云的大数据计算分析, 实现对生产现场状况、协作企业信息、市场用户需求的精确计算和复杂分析, 从而形成企业运营的管理决策以及机器运转的控制指令, 驱动从机器设备、运营管理到商业活动的智能和优化。

2. 德国工业 4.0 战略中的智能制造

为了在新一轮工业革命中占领先机, 在德国工程院、弗劳恩霍夫协会、西门子公司等^[3]德国学术界和产业界的建议和推动下, “工业 4.0”项目在 2013 年 4 月的汉诺威工业博览会上被正式推出。工业 4.0 的战略要点为: 一个网络、两个主题、三项集成、八项计划。其中一个网络即 CPS 信息物理融合系统; 两个主题即智能工厂和智能生产; 三项集成可以理解为实现上述两个层面之后智能制造的一种表现特征, 出发点是实现其确保德国成为智能制造技术的主要供应商和产品

收稿日期: 2016-10-28.

基金项目: 天津市科技发展战略研究计划专项基金资助项目(15ZLZLZF00750).

作者简介: 张慧颖(1967—), 女, 博士, 教授.

通讯作者: 段韶波, duan_shaobo@163.com.

主导市场的双重战略;八项计划则是其针对8个关键领域的行动方案。这里从信息物理融合系统和智能工厂及智能生产两个层面剥离工业4.0中的智能制造。

在信息物理融合系统层面:一是连接的实现,通过宽带互联网基础设施将机器、存储系统和生产设施融入到CPS系统中,实现与资源、物品、信息和人的互联,并让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治等功能,将网络空间的高级计算能力有效运用于现实世界中;二是基于信息物理系统的数据和新制造模式的应用。数据将通过传感器实时采集并进行分析,形成可自律操作的智能生产系统,实现决策优化、资源生产率和利用效率等方面的提高。产品全生命周期和全制造流程的数字化以及基于信息通信技术的模块集成,将形成一个高度灵活、个性化、数字化的产品与服务的生产模式,并为智能工厂中的网络化制造、个性化定制、数字化生产提供支撑。

在智能工厂和智能生产层面,工厂将转化为智能环境,以端到端的工程制造为特征,实现能够根据动态的业务实时调整工程流程的动态、模块化生产线。生产线上的生产资源(生产设备、机器人、传送装置、仓储系统和生产设施)将具有以下特性:自主性、可自我调节以应对不同形势、可自我配置、基于以往经验、配备传感设备、分散配置,同时,它们也包含相关的计划与管理系统。

3. 中国制造2025中的智能制造

为加速我国制造业转型升级、提质增效,国务院于2015年推出的发布实施《中国制造2025》,并将智能制造作为主攻方向,加速培育我国新的经济增长动力,抢占新一轮产业竞争制高点。智能制造工程在《中国制造2025》中作为政府引导推动的5个工程之一出

现,目的是更好地整合全社会资源,统筹兼顾智能制造各个环节,突破发展瓶颈,系统推进技术与装备开发、标准制定、新模式培育和集成应用。该战略可从智能制造装备、制造过程智能化、互联网应用、互联网基础设施建设4个层面剥离智能制造^[4]。

智能制造装备涵盖具有深度感知、智慧决策、自动执行功能的高档数控机床、工业机器人、增材制造装备等智能制造装备以及智能化生产线,以及新型传感器、智能测量仪表、工业控制系统、伺服电机及驱动器和减速器等智能核心装置,以及智能物流与仓储装备。

制造过程智能化是基于智能工厂/数字化车间以及上述智能装备在生产过程中的应用,实现制造工艺的仿真优化、数字化控制、状态信息实时监测和自适应控制。此外,通过产品全生命周期管理、客户关系管理、供应链管理系统的实现实现智能管控。

互联网应用一方面是以消费需求动态感知为核心的个性化定制、众包设计、云制造等新型制造模式,另一方面是基于物联网技术的智能检测、远程诊断管理、全产业链追溯等工业互联网以及工业大数据应用。

互联网基础设施建设以制造业集聚区光纤网、移动通信网和无线局域网的部署和建设实现工业互联网,同时通过智能控制系统、工业应用软件、故障诊断软件和相关工具、传感和通信系统协议,实现人、设备与产品的实时联通、精确识别、有效交互与智能控制。

通过对德国、美国、中国制造业战略的剖析,结合三方观点得到战略视角下智能制造内涵汇总图(见图1)。从图1可以看出,我国在中国制造2025中对智能制造的描述更为全面,德国、美国在其制造业战略中对智能制造的理解更偏重其互联与数据应用方面的特

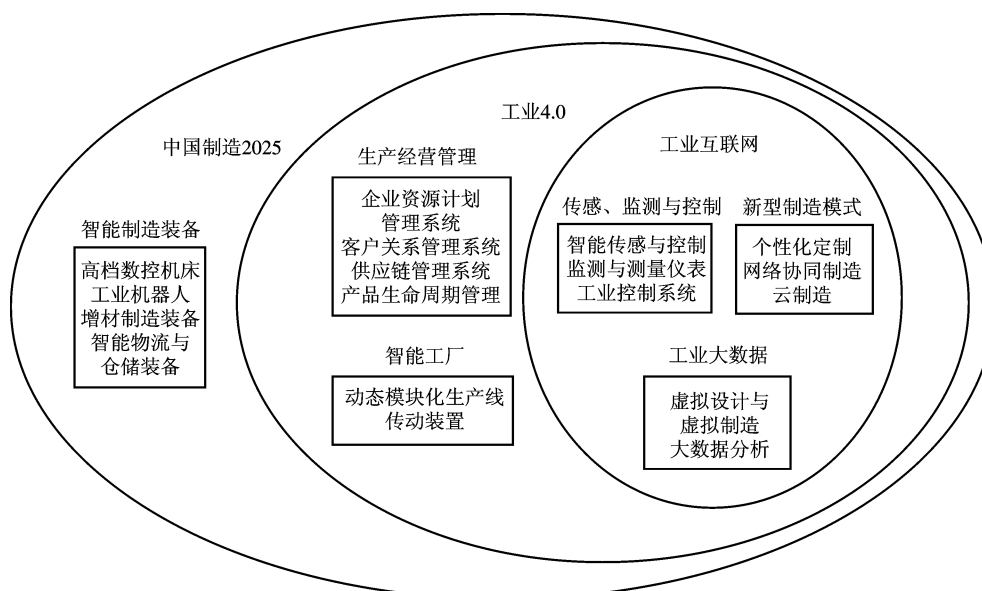


图1 战略概念下智能制造内涵

质,对于基于工业制造技术的数控机床、工业机器人等智能制造装备,并没有在智能制造相关发展战略或概念中详细提及。而三者的交集几乎为工业互联网概念中所有有关智能制造的描述,包含传感监测与控制、新型制造模式以及工业大数据。

二、企业视角下的智能制造

专利信息作为企业层面对当前某一技术领域的解读有很好的参考性。本文采用专利分类号分析法界定企业视角下的智能制造技术范围。专利申请的分类号分析,是指专利技术按分类号进行排序,即以分类体系为横轴,以专利申请量或授权量为纵轴,统计分析不同技术领域专利申请情况,从而获知该领域的技术构成情况,以及该领域内各竞争主体所关注的技术焦点

等^[5]。

采用 TotalPatent 全球专利检索数据库获取并分析专利数据。截止到 2016 年 03 月 30 日,Total Patent 共收录专利 108 612 784 件。覆盖 100 个国家与地区,其中 32 个国家和地区的专利为全文收录,并提供全文翻译。在其检索功能上,提供了高级检索、语义检索和标引检索等。本文使用的检索条件为 (intelligent manu-facturing or intelligent production or smart manufactur-ing) and DATE(≥1996-10-01) ,共计检索到 1016 条申请与授权的专利,对检索结果按照专利分类号(IPC) 进行排序,同时对相同子类进行归并操作,取同一分类号或同一子类下专利总数大于 5 的分类号,并参考每个分类号所属的大类提取该分类号所代表含义的关键词,并按照专利总数从大到小进行排序,得到表 1 所示专利分类号关键词列表。

表 1 专利分类号关键词

分类号	数量	关键词	分类号	数量	关键词	分类号	数量	关键词
G06F19/00	86	数字计算/数据处理	E21B47/00	13	压力或流量监测	G11B	8	信息存储
G06F17/50	33	计算机辅助设计	B23Q3/155	13	机床/仿形或控制	G23C	8	铣削
B01B	31	计量	G01V	13	重力测量/示踪物	B23Q1/25	7	可移动调整机床工件
G06N	26	特定计算模型	G06Q10/00	12	行政或管理系统	G05B19/404	7	控制装置/补偿
G01N	23	测试分析材料	G06F7/00	12	逻辑电路数据处理	G06G7/48	7	模拟计算机
G06F17/00	22	数字计算/数据处理	B23Q15/00	11	刀具自动控制	G06T17/00	7	3D 建模
H04W	22	无线通信网络	G06F15/00	10	数据处理设备	G06F11/30	7	监控
G06F17/60	18	数据处理系统	G02B	10	光学元件系统/仪器	G06F3/00	7	接口装置
G06K	18	数据识别/表示/记录	G06F9/46	9	多道程序装置	E21B33/13	7	注水泥方法或装置
G05B19/418	17	全面工厂控制	G05B19/4093	9	NC 机/控制信息	G06F11/00	6	错误检测/校正/监控
G06F17/30	17	信息检索/数据库结构	G05B23/02	9	电检验式/监视控制	G06F15/16	6	组合计算机/多程序同时处理
G02F	17	光控制/光学模拟	G05B19/4069	9	模拟/程序控制	H01L41/09	6	电输入与机械输出
G06F15/18	16	机器学习/自适应控制系统	F16H	9	传动装置	G05B13/02	6	自适应控制系统
B21D5/01	15	无切削加工或处理	G05B19/4097	8	NC 机控制	E21B43/12	6	控制液体流量
B25J9/16	14	程序控制/机器人	G05B19/408	8	数据处理/格式	G06F9/44	6	程序控制装置
H04L	14	数字信息的传输	G01J	8	光测量			

数据来源: TotalPatentTM 全球专利数据库; 国家知识产权局。

从整体上看,汇总二级分类号下的专利数量,代表含义为计算、推算、计数的 G06 分类号下的专利总数共计 394 个,占据了检索总数的 38%,与排在之后两位的代表含义为控制、调节的 G05(122 个,12%) 以及代表含义为测量、测试的 G01(104 个,10%) 合计占到了检索总数的 60%,可以说是企业视角下智能制造的核心领域。

从具体分类号细分看,占据主体关键词的是数据表示与处理技术、计算机辅助设计、检测与自适应控制、全面工厂控制以及数控机床等。按照产品生产过程对得到的智能制造技术领域进行整理划分,产品设计阶段的技术领域包括计算机辅助设计、特定计算模型、3D 建模等。生产过程的技术领域涵盖计量与测

量; 数据表示、识别、存储与处理; 生产过程检测、监控与自适应控制; 数控机床及系统; (光) 传感与控制; 智能传动装置; 机械手/机器人及全面工厂控制系统(DCS/PLC/PAC/SCADA) 等。生产管理涵盖智能化工业企业管理系统(ERP/SCM/CRM) 等。另外,还有贯穿整个产品生命周期的无线通信网络技术及专有高性能计算机与服务器等。

三、智能制造核心领域及其技术热点

经过两个不同视角的研究发现,无论是微观的企业视角还是宏观的国家战略视角,智能传感与控制、监测与测量仪表、工业大数据分析都是共同的核心。一

方面在企业视角里占据了 60% 的专利数量,另一方面又是中国、美国、德国战略下智能制造内涵的交集所在。所以本文界定智能传感监测与控制以及工业大数据为智能制造的关键核心领域,并以上述关键词作为检索条件,采用邱洪华^[6]提出的基于 k-means 聚类算法的专利地图制作方法展开研究,以期得到智能制造核心领域的技术热点及其发展趋势。

1. 专利文件检索及关键词矩阵构建

使用关键词“(intelligent sensing and control) or (intelligent monitoring or intelligent measuring instruments) or (big data analysis and industry)”在 TotalPatent 数据库中检索出 3 303 件专利,由于专利数

量相对较大,故按照相关性排序选取其中相关度最高的前 200 件专利。采用文本挖掘的方法提取专利对象关键词,使用的工具是 Hadoop 编程框架,在进行专利文本挖掘时,选取专利文件中的题目和摘要两部分内容作为文本挖掘的对象,以保证覆盖足够多的关键词。

将整理出来的 200 个专利文件的题目及摘要构成的文本文件,按照单词出现频率高低得到高频词汇列表;处理同义词并进行频次合并计算,形成原始的关键词列表;进行人工挑选二次挖掘之后,删除 of、and 等与技术本身相关度不高的词语,取出在题目和摘要中出现次数 30 以上的高频词,形成了最终的关键词列表,共包含 29 个关键词(见表 2)。

表 2 关键词列表

序号	关键词	出现次数	序号	关键词	出现次数
1	数据	422	16	分析	82
2	监控	437	17	接口	46
3	控制	291	18	车辆	57
4	信息	145	19	配置	43
5	LED	144	20	空调	46
6	信号	155	21	实时	39
7	光学	230	22	服务器	39
8	传感器	166	23	检测	38
9	灯条	71	24	计算机	44
10	网络	80	25	无线	34
11	通讯	100	26	管理	46
12	固定装置	63	27	自动化	43
13	电学的	64	28	传输	33
14	处理	60	29	视频	36
15	电路	56			

数据来源: TotalPatent™ 全球专利数据库。

然后,根据关键词列表采用程序办法逐一核对每一个关键词是否存在于专利文献中,形成关键词矩阵。该矩阵以关键词(1, 2, …, j, …, 29)为列,以专利文献(1, 2, …, i, …, 200)为行,若第 j 个关键词在第 i 个专利文献中存在,则关键词矩阵中元素(i, j)用数字 1 来表示,反之用 0 表示。

2. 对矩阵聚类分组并形成层次语义网络

在上述所形成的矩阵中,每一个关键词的“0”或者“1”之间的值,就充当每一个专利文献的一个特征

值。然后通过 MATLAB 中的 k-means 聚类算法对专利文献进行聚类,以此把 200 个专利文献分为 18 个大组,然后对聚类后的专利文献关键词进行研究,根据聚类结果将抽取到的关键词映射到每一个类组当中。如专利 A 拥有关键词“a”“b”,专利 B 拥有关键词“b”“c”,而专利 A、B 属于同一个类组 G1,那么类组 G1 就同时拥有关键词“a”“b”“c”。每组包含的关键词结果(见表 3)。

表 3 聚类分组结果

组号	组内含有的关键词序号	组号	组内含有的关键词序号
组 1	1 2 4 7 10 13 17 21 22 26	组 10	3 6 7 8 9 10 12 17 26
组 2	1 3 6 7 11 17 19 25	组 11	1 2 3 4 5 7 8 11 13 14 17 18 22
组 3	1 3 4 8 11 17 19 23 26 28	组 12	2 3 4 6 8 11 13 15 16 18 20 23 24 28
组 4	1 2 3 5 6 18 19 24 29	组 13	1 2 3 5 6 8 10 11 13 15 16 17 20 23 26
组 5	2 3 4 5 6 11 14 15 16 17 21 22 23 24 26 27	组 14	1 4 5 8 10 11 13 15 17 19 22 24 25 26
组 6	2 3 4 6 7 8 10 11 13 14 15 16 18 23 25 28	组 15	2 3 4 5 6 7 8 13 14 28
组 7	1 2 3 4 5 8 10 16 17 18 19 21 22 24 26 27 29	组 16	1 3 4 6 7 8 9 10 12 15
组 8	1 16 17 23 24 26 27	组 17	1 2 3 4 5 6 8 11 13 14 15 19 20 22 23 25
组 9	1 2 3 5 8 10 14 16 19 20 21 26 29	组 18	2 3 4 5 8 11 14 16 18 21 23 25 29

每一个分组用一个节点表示,如某一关键词出现在多个组中,那么将该关键词移到一个新的节点中,并调高其权重,用有向线段连接该节点与包含关键词的其他节点。对所有分组中的关键词进行相同的处理,进而形成层次语义网络。关键词出现在分组中的次数作为该节点的频率权重加以标记^[7]。绘制出的层次语义网络(见图2)。

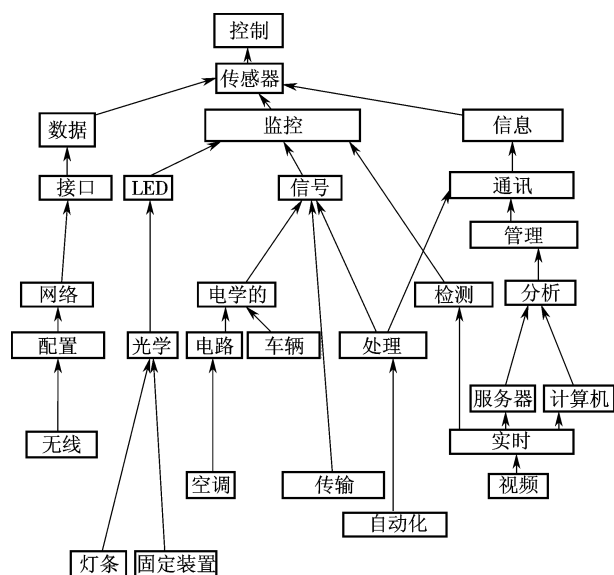


图2 语义层次网络

3. 结合专利申请日信息形成专利地图

根据上述语义层次图以最早优先权申请日作为横轴,关键词频次作为纵轴绘制出初步专利地图。由专利地图可知,智能制造核心领域的技术热点有以下几个方面。

(1) 无线网络与电通信网络。经分析,“数据-接口-网络-配置-无线”以及“信号-处理”、“信号-传输”、“信号-电学的-车辆”的技术发展路径可呈现,无线网络以及电通信网络技术作为设备互联的基础,对智能制造而言具有重要的意义。

(2) 实时监测与数据实时分析。“信息-通讯-管理-分析-计算机(服务器)-实时”以及“监控-检测-实时-视频”的技术发展路径比较清晰,实时的监测与数据分析是智能制造技术以及智能化管理发展的重要趋势。

(3) 自适应控制加工制造。“控制-传感-信息-通讯-处理-自动化”以及“电学的-电路-空调”的技术发展路径呈现,基于信息通讯技术以及温度控制技术带来的自适应控制与自动化加工也是智能制造核心领域的技术路径之一。

(4) 光学传感。“传感-监控-LED-光学-灯条”的技术路径表示,光学传感技术已经成为智能传感与控制领域的研究热点。

四、结 语

综合了企业视角下智能制造技术范围和国家战略概念视角下智能制造内涵,其中在企业视角的研究中采用了专利分类号研究法,在国家战略概念视角中采用了对比分析法。基于两种视角得出了智能制造关键领域:智能传感监测与控制以及工业大数据。最后运用了基于 k-means 聚类算法的专利地图方法对智能制造关键领域内的专利进行了分析,绘制出了智能制造关键领域专利地图,并基于专利地图得出了4个方面的研究热点:无线网络与电通信网络、实时监测与数据实时分析、自适应控制加工制造、光学传感。

值得注意的是,专利样本的提取方法有待进一步研究以提升样本的代表性,同时对聚类算法作进一步研究以提升聚类效果。在未来研究中引入论文文献数据,运用文献计量学等方法研究学术界对于智能制造核心领域的理解,并了解其研究热点与研究趋势。

参考文献:

- [1] Evans P C, Annunziata M. Industrial internet: Pushing the boundaries of minds and machines [J]. *Sci. rep.*, 2012(1-2): 1-23.
- [2] 工业互联网产业联盟. 工业互联网体系架构(版本1.0) [R]. 北京: 工业互联网产业联盟, 2016.
- [3] Kagermann H, Wahlster W, Hellwig J. Secu-Ring the Future of German Manufacturing Industry Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 [R]. Germany: Federal Ministry of Education and Research, Final Report of the Industrial 4.0 Working Group, 2013.
- [4] 国务院. 中国制造2025 [EB/OL]. http://www.gov.cn/jzhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm, 2015-05-08.
- [5] 蔡爽, 黄鲁成. 专利分析方法评述及层次分析 [J]. *科学学研究*, 2008(52): 421-427.
- [6] 邱洪华, 余翔. 基于 k-means 聚类算法的专利地图制作方法研究 [J]. *科研管理*, 2009, 30(2): 70-76.
- [7] 方曙, 胡正银, 庞弘毅, 等. 基于专利文献的技术演化分析方法研究 [J]. *图书情报工作*, 2011, 55(22): 42-46.

Research on the Key Fields and Technology Hot Spots of Intelligent Manufacturing under Macro and Micro Perspectives

Zhang Huiying , Duan Shaobo

(College of Management and Economics , Tianjin University , Tianjin 300072 , China)

Abstract: Based on the interpretation of intelligent manufacturing from the macroscopic national strategy and the microscopic enterprise viewpoints , this paper analyzes the development strategy of the manufacturing industries in the United States , Germany and China , and obtains the connotation of intelligent manufacturing from the perspective of national strategy. At the same time , adopting intelligent manufacturing as the key words for patent analysis , this paper obtains the scope of intelligent manufacturing technology from the perspective of enterprise viewpoints. Then under the combination of the two perspectives , we are noted that intelligent sensor monitoring and control as well as industrial big data are the key fields under the current intelligent manufacturing connotation. Finally , by using patent map method , this paper analyzes the technology hot spots and development trends for the key fields of intelligent manufacturing.

Keywords: intelligent manufacturing; key fields; patent map