

# 智能制造领域中智能产品的基本特征

方毅芳, 宋彦彦, 杜孟新

机械工业仪器仪表综合技术经济研究所, 北京 100055

**摘要** 智能制造是先进制造技术、新一代信息技术及人工智能技术在终端产品与制造装备的深度集成, 制造产品与制造装备的智能化升级是智能制造的核心内容, 更是实现生产、服务智能化升级换代的重要保障。分析了国内外智能产品的研究现状, 探讨了智能制造发展需求下产品智能化的8项基本特征, 基于产品专利分析探讨了智能产品基本特征的验证。

**关键词** 智能制造; 智能产品; 专利分析

智能产品是智能制造的产出, 也是与用户直接交互、接触的终端实体。智能制造除了积极推进生产制造过程智能化的升级, 还要不断提升制造产品的智能化, 才能对社会经济、人民生活的各领域产生直接、实质的影响。

产品的智能化是将先进制造技术、新一代信息技术与智能技术在终端产品上的融合应用。近年来, 世界范围内智能产品研究与产业化发展迅速, 制造业的价值链与利润增长点不断向终端产品及围绕产品提供的服务转移, 制造过程中的产品、装备智能化需求也不断加深。然而, 现有产品智能相关研究仅局限于具体产品的特点功能, 尤其工业制造装备产品的应用场景、功能更为复杂多样, 由于缺乏对智能产品的统一认识与系统分析, 阻碍了智能产品产业的发展。因此, 从丰富多样的产品类型提取关键、通用的智能化基本特性, 有助于准确剖析智能产品的核心需求与市场趋势, 科学辨识产品智能化短板、明确产品升级方向提供指导, 并通过产品智能化不断推动制造智能化的不断转型与深化发展。

本研究在综述智能产品国内外相关研究基础上, 结合智能制造/工业4.0参考模型(RAMI 4.0), 提出智能制造领域下智能产品的基本特征与结构框架, 为产品和装备智能化发展提供借鉴。

## 1 智能产品的研究现状

关于智能产品的探索与研究虽然很多, 但并未形成统一、系统的研究体系。1988年, 美国学者Ives与Vitale<sup>[1]</sup>在“信息技术改造售后维护服务”的论文中最早提出了“智能产品”(intelligent product)一词, 认为基于软件追踪产品性能并由此提供维护服务是典型的“智能产品”范例。随后, 随着各类新兴技术不断发展, 智能产品逐渐形成产品生命周期管理、目标-决策优化、供应链管理制造生产相关领域的关注热点, 其内涵也不断丰富完善<sup>[2]</sup>。

1) McFarlane、Filho等<sup>[3-4]</sup>认为“智能产品”是物质实体与信息表征的结合, 并分为“信息智能”(拥有唯一标识、通信与信息存储功能)、“决策智能”(进一步拥有语

收稿日期: 2017-08-18; 修回日期: 2017-10-24

基金项目: 2015年工业和信息化部智能制造综合标准化和新模式应用专项

作者简介: 方毅芳, 高级工程师, 研究方向为智能制造、工业测量与控制, 电子邮箱: yifang@instrnet.com

引用格式: 方毅芳, 宋彦彦, 杜孟新. 智能制造领域中智能产品的基本特征[J]. 科技导报, 2018, 36(6): 90-96; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.06.011

义表征、自决策功能)2个智能化层次,该观点代表了新一代信息技术(ICT)为特征的发展视角,但实践操作性较差。Kärkkäinen等<sup>[5]</sup>提出“智能产品”应当能够辨识、控制流向与优化方案,与随后的物联网(internet of things, IoT)技术融合的发展趋势相契合。上述学者的观点广泛应用于供应链管理、销售管理等制造业服务领域,但忽视了产品本体。

2) Ventä<sup>[6]</sup>将实现环境与状态持续监控、自适应、维护优化、与用户积极交互等作为“智能产品”的基本特征;Deuter、Abramovici等<sup>[7-8]</sup>认为智能产品能够基于集成网络提供定制化服务,刘东等<sup>[9]</sup>提出自学习、自适应、自组织、自寻优、自镇定、自整定、自识别等智能系统的智能特性;Barbosa等<sup>[10]</sup>认为智能产品能够在制造过程中与环境进行交互、组织生产制造、物流、维护等活动。上述观点突出了产品本体的智能功能,而忽视了产品生命周期过程中的变化。

3) 部分学者从智能产品的具体应用进行研究,如Dawid等<sup>[11]</sup>认为其有助于实现基于用户偏好的产品研发、市场分析、供应链管理等新型商业管理模式;Manuel等<sup>[12]</sup>提出智能产品实现数据流、规格要求的透明性,实现用户导向的产品规划设计、样机测试与更新等;Li Taofen、金青等<sup>[13-14]</sup>提出了基于智能产品应用的逆向客户定制模型与产品服务方式。上述学者分析了用户端产品应用的特性分析,忽略了产品本体。

4) 结合工业4.0与信息物理系统(cyber-physical system, CPS)的研究热点,部分学者从“网络-物理”映射角度开展产品智能研究,Chen等<sup>[15]</sup>提出利用CPS架构实现智能产品自我管理;Sebastian等<sup>[16]</sup>提出在CPS网络上构建无缝集成的物理实体与软件模块系统,实现实时感知、控制;黄阳华<sup>[17]</sup>提出依托CPS生产实时生成数据的“智能产品”,形成“智能工厂-智能产品-智能数据”的智能制造闭环管理。该种研究观点主要提出产品实体与信息的互联集成、交互协同是产品智能的基础特征。

因此,纵观现有对智能、智能产品、智能系统的多项定义中,只注重感知、自适应、自识别、自诊断、自学习等产品本体智能特性,忽略了产品之间、产品与系统、产品与用户以及产品技术发展带来的商业模式创新等诸多方面的因素。

同时,当今世界各主要工业化国家纷纷推行智能

制造建设,均将智能产品与智能装备作为重要的实践研究内容。美国在2011年提出了“先进制造伙伴计划”,德国2014年正式提出“工业4.0”战略<sup>[18]</sup>,以及日本2015年提出的“机器人新战略”,分别将增材制造、先进传感系统、机器人等智能设备作为巩固制造业水平、探索智能制造系统发展的核心主题。中国2016年发布的《智能制造工程实施方案》也明确提出,智能制造装备是中国智能制造工程发展的重要内容,主要包括高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备5类关键技术装备<sup>[19]</sup>。

基于智能产品的学术与实践研究现状,本研究将探索智能制造发展趋势下智能产品概念与基本特征,并通过专利分析进行智能产品基本特征的实践验证。

## 2 智能产品的基本特征

### 2.1 智能产品的概念

智能产品很难进行直接定义,因此通过实际应用过程中产品展现的具体功能与智能化相关特性,可以阐述智能产品的外延。智能制造领域中,智能产品是能够实现产品的预期功能,且具备一项或多项智能特性的智能装置、智能设备或智能终端,不同的智能产品拥有不同的智能水平。

智能产品的概念核心在于智能,不同领域对于智能的理解不尽相同。对于智能制造领域而言,智能主要指对象(器件、设备、终端)对客观事物进行合理分析,判断及有目的地行动和有效地处理周围环境事宜的综合能力。智能至少包括获取、采集与传输信息的能力,通过自我调节、诊断以适应环境、保证正常运行的能力,理解、分析数据和决策、执行以解决问题、提供服务的能力,归纳推理能力和演绎推理的能力等。

因此,基于国内外对智能产品的相关研究与分析,本文提出中国智能制造领域的智能产品的基本概念界定为,产品除履行传统功能外,具备自感知、自诊断、自优化、自学习等新特征的产品,这些实现产品智能化的特征为智能产品的基本特征。

### 2.2 智能产品的基本特征

基于对智能、智能产品的基础研究,提出产品的智能化能力层次主要分为基础智能、系统智能、交互智能3个智能化层次,总结出8项产品智能化的基本特征。

智能化功能可以表现为具体的产品功能,依据产品智能功能所体现的智能特征不同程度,可以进行产品的智能化水平评估。产品智能化的特征如图1所示。

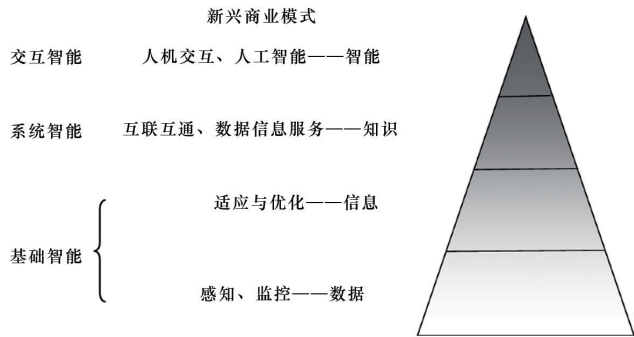


图1 产品智能化水平的“金字塔”层次结构

Fig. 1 Pyramid hierarchical model of intelligent level of products

1) 基础智能。实现产品数据的泛在采集与感知;对数据进行集成与统计分析,实现设备自诊断与产品自适应、自决策;对应于智能特征中的感知、监测与控制、互联与集成、适应与优化。

2) 系统智能。通过机器学习、数据挖掘,获取、分析用户行为、产品偏好信息,实现产品自学习与自适应;对应智能特征中的交互与协同、数据与信息服务。

3) 交互智能。通过人工智能、大数据分析,建立智能化人机交互系统,实现产品与用户需求的高效、智能匹配;对应于智能特征中的人工智能。基于上述智能特征及具体产品的智能功能,形成智能制造的新兴商业模式。

结合产品智能化的层次模型,得出智能产品包括8个智能特征。

1) 感知。基于自动识别、泛在互联与数据通信技术,能实现对自身状态、内部与外部环境变化的感知。

2) 监测与监控。基于产品感知与适应优化的数据处理结果,产品进行监测与监控的相关功能。

3) 自适应与优化。能够根据感知的信息调整自身的运行模式,使装备(产品)处于最优状态。

4) 互联互通。通过标准数据结构和开放数据接口等,实现产品各部件之间的数据传送和功能集成。

5) 交互与协同。能够实现产品与产品、产品与系统、产品与用户之间的高效对话,快速、准确地满足用户信息交互需求,以及设备、产品接收与理解操作者、用户实现高效人机交互、人机协同的能力。

6) 数据信息服务。面向产品全生命周期,采集智能产品在生产、使用各环节关键流程节点、环节的数据与信息,实现基础零件配件、部件到成品、服务每个环节的信息可溯源、深度挖掘等增值管理。

7) 人工智能。智能产品基于其内部的软硬件组件或系统级的交互过程,模拟人的某些思维过程和智能行为(如学习、推理、决策、记忆等)。

8) 产品的新兴商业模式。制造企业由单纯销售生产成品延伸到提供服务混合包的明显趋势,也就是将产品与服务相结合以向终端用户不断提供新的价值增长点。

其中,数据和信息为基础智能层次,包括智能产品及其系统的感知、监测监控、适应与优化,高度智能化的产品可以实现自感知的信息获取、自诊断的信息分析、自适应的行为映射;提取知识为系统智能层次,包括系统互联互通、数据信息服务,典型的智能产品功能包括数据溯源、信息融合、信息安全等增值服务;形成智能认知为交互智能层次,包括人机交互、人工智能,基于人工智能、协同技术实现智能化人-机交互、机-机交互、自学习、自进化能力。

### 2.3 智能产品与智能制造参考模型

中国智能制造参考模型(IMRM)与RAMI 4.0是中国、德国两国对智能制造系统的系统说明,分别对中国智能制造和德国工业4.0基本框架进行了详细描述,其中的系统层级(hierarchy)维度将智能制造的产品与装备作为基础层。因此,结合二者模型的智能功能(layers)与生命周期(life cycle & value stream)2个维度,可以得出产品的8个智能化基本特征在智能制造参考模型系统中的位置(图2),其中坐标轴中文部分为IMRM参考模型,英文部分为RAMI 4.0参考模型的对应内容。

图2中,智能产品与智能设备位于系统层级轴中的设备(产品)层以内、智能功能轴与生命周期轴共同组成的区域内,智能产品各基本特征分别对应于不同的智能功能层,并覆盖不同的生命周期阶段。例如,“感知”位于资源要素层,主要覆盖产品从生产到服务阶段;“自适应与优化”对于智能制造产品与设备而言主要体现为系统集成与互联互通层之间,并集中于生产适应性、销售与服务的优化方面,因此位于生产、销售与服务2个阶段;“互联互通”位于互联互通与信息融合层之间,覆盖产品的全部生命周期。从图中可得,本研究提出的8个智能产品的基本特征覆盖了智能制造的

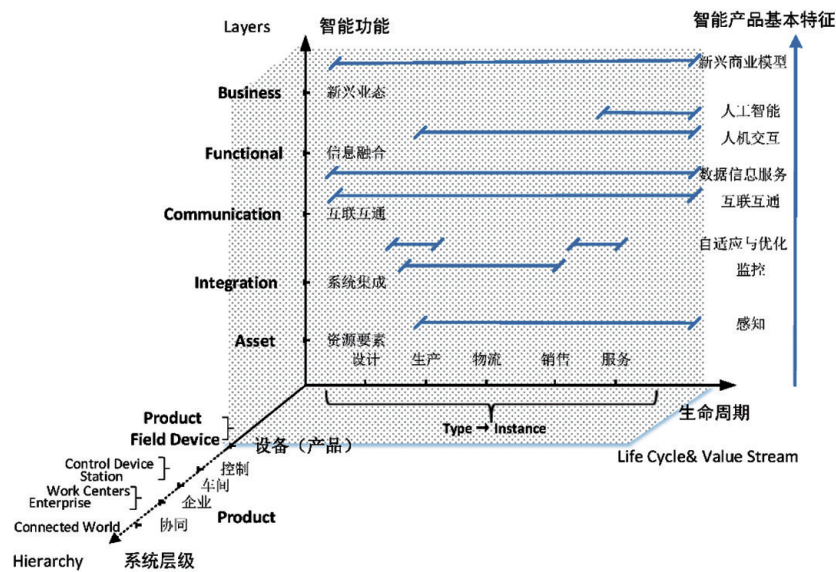


图2 产品智能化基本特征在智能制造/工业4.0参考模型中的映射关系

Fig. 2 Mapping relations of product's intelligent characteristics and Intelligent Manufacturing/Industry 4.0 reference model

全生命周期链,并集聚了各个核心的智能制造要素,因此,能够较好地描述智能制造产品与设备的智能化要求。

### 3 基于专利检索的智能产品的基本特征验证

本研究通过除新兴商业模式以外的智能产品特征进行专利检索,以验证所选取的智能产品基本特征的科学性。选取变送器、可编程控制器(PLC)、分布式控

制系统(DCS)、机器人为典型产品,对该4类产品1985—2015年的产品本体、产品+智能特征专利分别进行统计分析(表1)。

1) 智能产品的发明专利占比。

通过计算产品智能化发明占产品发明的比例,即智能产品相关发明在产品发明的覆盖率 $S_1$

$$S_1 = Q(P_i)_{总} / Q(P)_{总} \quad (1)$$

式中, $Q(P_i)_{总}$ 为智能产品相关发明专利的数量, $Q(P)_{总}$ 为该产品所有发明总量。

表1 智能产品及其基本特征的专利数量统计

Table 1 Numbers of patents of intelligent products and their basic characteristics

产品类型	产品总数	专利总数	互联互通	感知	适应优化	监测监控	数据服务	人机交互	人工智能
PLC	4776	3051	2061	836	1703	508	433	713	595
变送器	2479	1749	589	1481	267	137	83	164	259
DCS	10791	8853	6356	1822	2885	1288	3833	1263	2454
机器人	32528	18955	9935	6512	10268	1802	2174	2331	6117

统计表明,在4类产品中,智能特性相关的产品发明均已覆盖各产品类型发明专利申请的60%以上,产品智能化发展趋势已非常明显(图3)。

2) 智能产品基本特征的占比。

通过式(2)计算产品智能化特征相关发明占产品智能化发明的比例 $S_2$

$$S_2 = Q(P_i)_{特征} / Q(P_i)_{总} \quad (2)$$

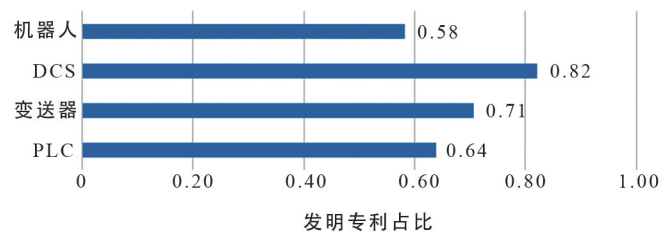


图3 4类典型智能产品的发明专利占比统计

Fig. 3 Statistics of patents of four typical intelligent products

式中,  $Q(P)_i$  为智能产品相关发明专利的数量,  $Q(P)_j$  为该产品某一智能特征的相关发明总量。

结果表明在该类产品中, 各个智能特性的专利申请占总体智能专利申请的比例, 即该产品最关注的智能特性与智能功能。根据表2与图4的统计, 选取的4类典型产品最突出的智能特征各有不同, 变送器的感知特征最突出, PLC的互联互通、适应与优化特征最显著, DCS的互联互通与数据服务特征最突出, 机器人最突出的智能特征为适应与优化。

表2 智能产品基本特征的专利数量占比分析  
Table 2 Numbers of patents of products with basic intelligent characteristics

智能特征	PLC	变送器	DCS	机器人
互联互通	0.675516	0.336764	0.717949	0.524136
感知	0.274009	0.84677	0.205806	0.343551
适应与优化	0.558178	0.152659	0.325878	0.541704
监测监控	0.166503	0.078330	0.145487	0.095067
数据服务	0.141921	0.047456	0.432961	0.114693
人机交互	0.233694	0.093768	0.142664	0.122975
人工智能	0.195018	0.148085	0.277194	0.322712

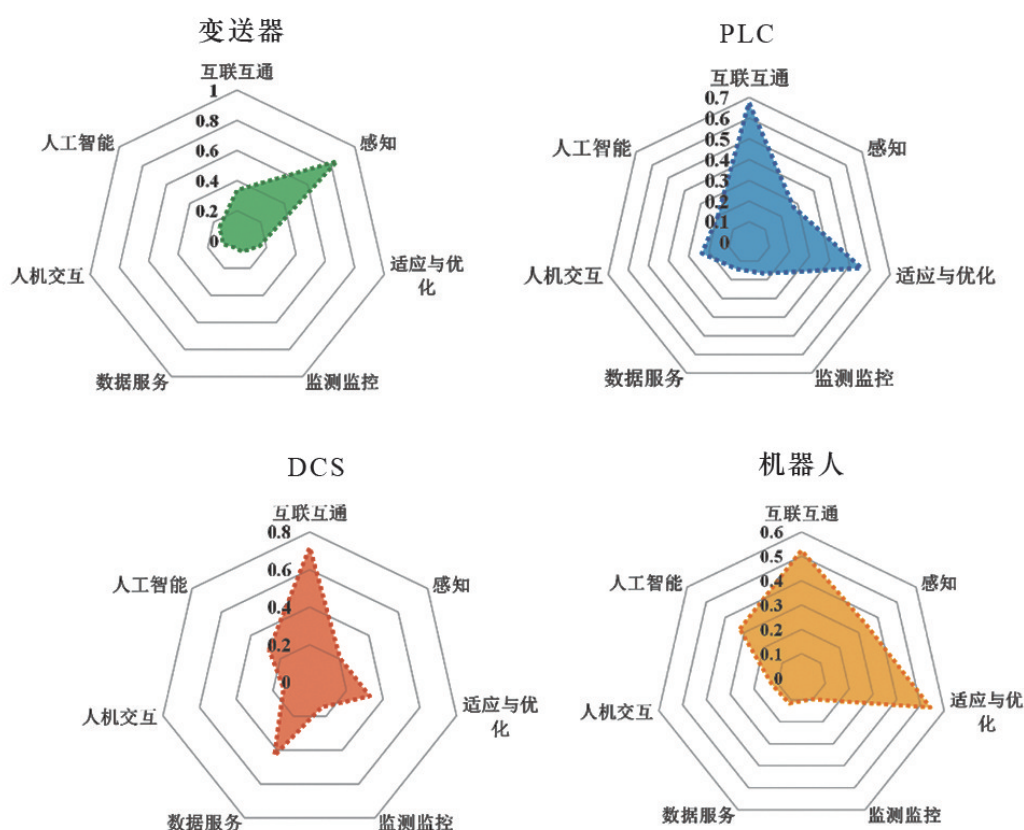


图4 4类典型智能产品的基本特征发明占比统计

Fig. 4 Statistics of patents of four typical intelligent products with different intelligent characteristics

### 3) 趋势分析。

通过统计智能产品基本特征相关的专利申请数量在不同时期的变化, 反应该类产品的智能化相关专利申请的发展趋势, 即对该产品智能化特征的关注热度, 如图5所示。

综合上述分析可得, 本研究提出智能产品的7个基

本特征较好地体现了当前产品智能化发展的技术发展趋势, 对于智能产品相关技术、功能的关注度仍不断提升。此外, 通过分析某一产品不同智能特征的专利数量及其变化趋势, 能够有效获取该产品类型智能化技术的发展方向。例如, PLC产品的互联互通、自适应与优化特征是当前智能化技术发展的热点。

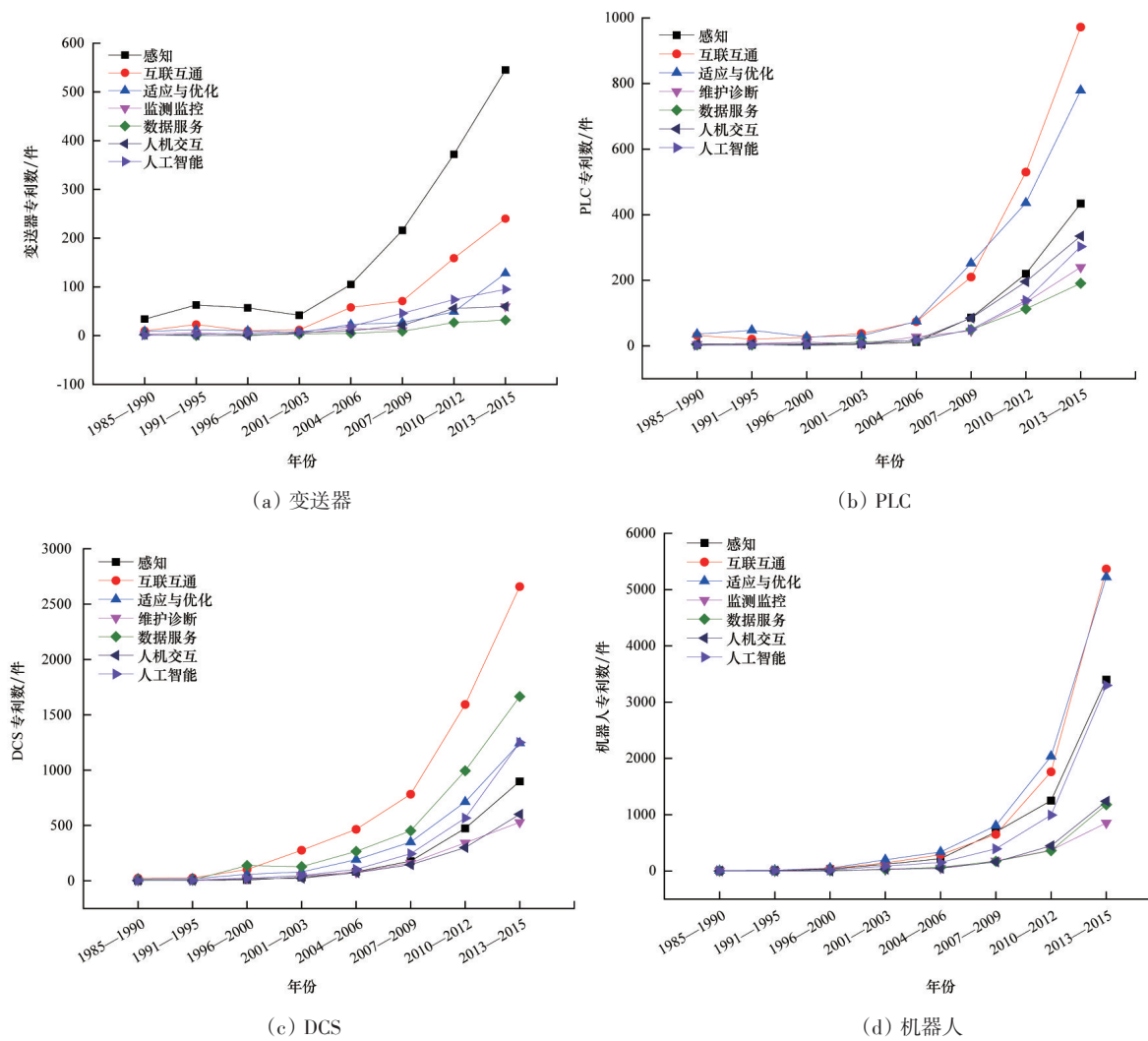


图5 4类典型智能产品的基本特征专利发明总数变化趋势

Fig. 5 Change trends of the total number of patents of typical products with different intelligent

## 4 结论

从智能产品的概念分析、基本特征、专利验证分析等方面研究,提出了智能制造领域的智能产品基本特征与发展趋势,推动形成产品智能化的统一概念、系统认识。通过产品智能化的研究发展,有助于促进终端产品、装备的智能化转型,满足用户丰富多样的需求,同时推动制造业向个性化、定制化、服务型转变,不断探索基于智能终端产品的智能制造新模式。

制造产品的智能化水平很大程度上影响着生产过程智能化的实现程度,以及智能制造产业链的未来发展潜力与市场需求。因此进一步开展智能产品的智能化水平评估、测试等相关活动,将是未来智能产品研究的新热点。

## 参考文献(References)

- [1] Ives B, Vitale M R. After the sale: Leveraging maintenance with information technology[J]. MIS Quarterly, 1988, 12(1): 7-21.
- [2] Gerben G, Meyer, Kary F, et al. Intelligent products: A survey [J]. Computer in Industry, 2009, 60(1): 137-148.
- [3] McFarlane D. Product intelligence: Theory and practice[C]// 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. New York: IFAC, 2012, 45(6): 9-14.
- [4] Filho M, Liao Y X, Eduardo L. Self-aware smart products: Systematic literature review, conceptual design and prototype implementation[J]. Procedia Manufacturing, 2017(11): 1471-1480.
- [5] Kärkkäinen M, Holmström J, Främling K, et al. Intelligent products: A step towards a more effective project delivery chain[J]. Computers in Industry, 2003, 50(2): 141-151.

- [6] Ventä O. Intelligent products and systems[R]. Finland: VTT Technical Research Centre of Finland Ltd., 2007.
- [7] Deuter A, Rizzo S. A critical view on PLM/ALM convergence in practice and research[J]. *Procedia Technology*, 2016(26): 405-412.
- [8] Abramovici M, Göbel J C, Dang H B, Semantic data management for the development and continuous reconfiguration of smart products and systems[J]. *CIRP Journal of Manufacturing Science & Technology*, 2016, 65(1): 185-188.
- [9] 刘东, 尹怡欣, 涂序彦. 智能系统的广义智能定性评价之研究[J]. *计算机科学*, 2007, 43(9): 167-169.  
Liu Dong, Yin Yixin, Tu Xuyan. Research on qualitative evaluation of generalized intelligence in intelligent system[J]. *Computer Science*, 2007, 43(9): 167-169.
- [10] Barbosa J, Leitao P, Damien T. Cross benefits from cyberphysical systems and intelligent products for future smart industries[J]. *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2017, 13(1): 504-509.
- [11] Dawid H, Decker R, Hermann J, et al. Management science in the era of smart consumer products: Challenges and research perspectives[J]. *Central European Journal of Operations Research*, 2017, 25(1): 203-230.
- [12] Manuel H, Falk U, Walter Brenner, et al. Understanding the business value of intelligent products for product development in manufacturing industries[C]//*Proceedings of 2016 8th International Conference on Information Management and Engineering*. New York: ACM, 2016(8): 18-24.
- [13] Li T F, Guo P, Yang S L. Research on the backward customization mode and its operational framework of intelligent product[J]. *Procedia CIRP Journal of Manufacturing Science & Technology*, 2016, 56: 401-405.
- [14] 金青, 张忠. 智能产品的工业服务设计研究[J]. *工业技术经济*, 2016, 35(11): 93-101.  
Jin Qing, Zhang Zhong. Research on the industrial service design of intelligent products[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2016, 35(11): 93-101.
- [15] Chen Y H, Ho P S, Chiu M C. Utilizing cyber physical system to achieve intelligent product design: A case study of transformer[J]. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 2017(5): 1031-1040.
- [16] Scholze S, Correia A, Stokic D, et al. Tools for human-product collaborative development of intelligent product service systems[J]. *Advances in Information and Communication Technology*, 2016(480): 373-384.
- [17] 黄阳华. 德国“工业4.0”计划及其对我国产业创新的启示[J]. *经济社会体制比较*, 2015, 178(2): 1-10.  
Huang Yanghua. German's strategy toward the new industrial revolution and its implications for China's industrial innovation [J]. *Comparative Economic & Social Systems*, 2015, 178(2): 1-10.
- [18] Karl L. Industrie 4.0 readiness IMPULS studie[R]. Frankfurt: Verband Deutschen Maschinen und Anlagenbau, 2015.
- [19] 中华人民共和国工业和信息化部. 智能制造工程实施方案[R]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2016.  
Ministry of Industry and Information Technology. Implementation plan for intelligent manufacturing project[R]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic China, 2016.

## Analysis and validation of basic characteristics of intelligent products in the field of intelligent manufacturing

FANG Yifang, SONG Yanyan, DU Mengxin

Instrumentation Technology and Economy Institute, Beijing 100055, China

**Abstract** The intelligent manufacturing involves a deep integration of the advanced manufacturing, the ICT and AI technology in the fields of end products and the manufacturing equipment, and the intelligentization of manufacturing products are the core. The intelligent manufacturing also provides an important guarantee to achieve high-efficiency, high-quality, low-consumption and intelligent services. This paper reviews the latest studies of the intelligent manufacturing at home and abroad, proposes eight basic characteristics of the product intelligentization, analyzes the related relationship between these characters and the intelligent manufacturing reference model, then validates the reasonableness of the characters of intelligent products based on the patents research.

**Keywords** intelligent product; intelligent products; patents analysis ●



(责任编辑 傅雪)