

钢铁行业工业软件发展探讨

丛力群^{1*}, 张云贵², 刘强³, 王奕¹, 李辉¹

(1. 上海宝信软件股份有限公司, 上海 201203; 2. 中国钢研科技集团有限公司, 北京 100081;
3. 流程工业综合自动化国家重点实验室, 沈阳 110004)

摘要: 本文着眼钢铁行业转型发展对工业软件的迫切需求以及钢铁工业软件产业发展存在的现实问题, 梳理钢铁工业软件的发展现状, 剖析制约钢铁工业发展的瓶颈与钢铁工业软件的短板, 进而提出钢铁行业工业软件发展策略。相比国外同类工业软件产品, 国产四大类钢铁工业软件发展呈现严重的不平衡态势: 研发设计类工业软件最为薄弱, 生产控制类、运营管理类工业软件具备了参与市场竞争的基本条件, 服务保障类工业软件面临实施赶超的市场机遇; 为此, 需要针对性地制定各类钢铁工业软件发展策略, 即“补短板、促替代、建长板、求创新”。研究建议, 有效市场与有为政府相结合, 积极调动各类资源并精准施策; 充分发挥我国钢铁行业规模庞大、知识丰富、场景众多的特有优势, 为国产工业软件提供更多的实践场景与迭代优化机会。这是破解钢铁行业工业软件困局的核心路径, 将为钢铁行业高质量发展提供有力支撑, 促进规模型发展转向质量效益型提升。

关键词: 钢铁行业; 智能制造; 工业软件; 企业信息化; 自动化控制; 定制化开发

中图分类号: F424 **文献标识码:** A

Development Strategy of Industrial Software for Iron and Steel Industry

Cong Liqun^{1*}, Zhang Yungui², Liu Qiang³, Wang Yi¹, Li Hui¹

(1. Shanghai Baosight Software Co., Ltd., Shanghai 201203, China; 2. China Iron & Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China; 3. State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Shenyang 110004, China)

Abstract: Considering the urgent demand for industrial software by the iron and steel industry during its transformation, we viewed the current status, analyzed the bottlenecks, and proposed the development strategies of the industrial software for iron and steel industry. Compared with similar products abroad, the four categories of industrial software in China develop in an imbalanced manner. Specifically, the research and development design software is the weakest among the four, the production control and operation management software are strong enough for market competition, and the service support software currently faces an opportunity for catching up with and even outpacing its international counterparts. Hence, targeted development strategies are required for each category of the industrial software. Market operation should be combined with government guidance to mobilize various resources and implement targeted policies. The unique advantages of large scale, rich knowledge, and numerous scenarios of China's iron and steel industry should be maximized to provide more practical scenarios and iterative optimization opportunities for domestic industrial software, thereby promoting the high-quality development of China's iron and steel industry.

Keywords: iron and steel industry; intelligent manufacturing; industrial software; enterprise informatization; automatic control; customized development

收稿日期: 2022-05-13; 修回日期: 2022-06-20

通讯作者: *丛力群, 上海宝信软件股份有限公司正高级工程师, 研究方向为工业互联网与工业软件; E-mail: congliqun@baosight.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“流程制造工业软件发展战略研究”(2021-XZ-28)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

经过40余年发展，我国钢铁行业产能规模居世界首位（占比约50%），目前面临着向质量效益转型发展的迫切需求。在钢铁行业，大规模的投资阶段已经成为过去，转型发展则聚焦于产业链的软实力，因而工业软件的重要性越发显现。与此同时，我国工业软件产业面对的是一个成熟的存量市场，国外企业占有技术和品牌的先发优势；相比开拓全新需求的增量市场，工业软件产业发展难度更大，对细分行业工业软件发展的困难程度更是要有准确认识。

在以钢铁工业为代表的重大行业，工业软件都是在应用中反复迭代而逐步成熟的，迭代过程离不开工业实践，具有高成本特征。当前，有关工业软件的研究[1~6]多是针对离散制造业、聚焦于产品设计工具类工业软件的现状梳理，或是针对流程工业技术问题开展的专题研究、从产业发展视角对相关问题的总结性描述；而针对流程工业特别是钢铁行业的工业软件，包括总结现状、剖析问题在内的综合性研究尚不多见。针对于此，本文围绕钢铁行业发展现状及工业软件应用特点开展研究，旨在结合钢铁行业工业软件发展亟需提出行业性策略建议。

二、钢铁行业工业软件的主要类别与行业需求

（一）钢铁行业工业软件的主要类别

目前，工业软件的分类方式有多种，因行业差异或讨论问题的焦点不同，并未形成业界普遍采纳的标准分类形式。鉴于嵌入式工业软件通常与设备紧密相关，具有极强的装备属性和个性化特征，所以本文有关讨论及分析重点围绕与企业业务相关的工业软件展开。按照工业软件的功能用途，结合钢铁行业特点，将业务系统划分以下4类。

研发设计类工业软件，包括3个主要子类：材料设计与研发工具软件，主要用于热力学计算、材料性能计算、分子动力学计算、相场计算、金属材料数据库等；制造工艺设计与优化工具软件，主要解决钢铁材料研发过程中的钢铁冶金工艺设计与模拟优化问题，核心是有限元分析软件；工厂设计与交付工具软件，在钢铁工厂设计中所使用的计算机

辅助类工具软件，以数字化形式交付设计成果。

生产控制类工业软件，包括由各类工艺控制模型（如模型库、规则库、参数库）组成、以分散控制系统（DCS）/可编程逻辑控制器（PLC）为载体的各类对象（如装备、过程）控制软件，基于数据采集与监视控制（SCADA）组态的数据采集、监视、分析软件，生产过程执行管理系统（MES）软件，以模型和控制策略在线优化、设备在线诊断、生产过程预测预警为目标的各类专业优化控制算法及软件包等。由于DCS/PLC、SCADA、实时数据库等工控基础装备和软件具有跨行业应用特征，不属于钢铁工业软件特有对象，因而不作为讨论重点。

运营管理类工业软件，主要解决钢铁企业运营过程中通过信息化手段实现“产供销”“产销研”、人力资源、财务、组织、关键绩效指标管理需求。按照特定流程设计开发的具有特定功能的软件系统，用于对组织结构、管理模式、业务流程进行优化和重组并进行穿透式监管等软件系统，支持钢铁企业的管理扁平化、运作高效化、盈利能力最大化。

服务保障类工业软件，涉及钢铁行业/企业更广的范围、更新的业务领域。在集团企业内部，采用特定形式和功能的软件系统来支撑产业互通融合，提高集团内企业间、产业间的协同效率；在集团企业外部的跨企业、跨行业领域，通过钢材深加工、工业品电商、精准配送服务、产业互联网等业态创新，实现供应链上、下游的协作及协同，为在更高层面开拓新业务（如碳计量、碳管理、碳交易等）提供服务保障。

（二）钢铁行业对工业软件的需求

钢铁行业是典型的流程制造行业，生产过程流程长、工序多，设备繁多、工艺复杂、不确定性干扰多、专业覆盖面广。工业软件应用于钢铁企业的新钢种设计、生产、销售、管理等全流程业务场景，可保障钢铁制品质量、制造效率、成本控制能力。因此，工业软件对于全面提升钢铁行业/企业运作效能、工业装备运行性能、钢铁产品价值链，进而形成钢铁行业/企业核心竞争优势至关重要。

离散制造业是由设计驱动的，产品功能、性能、可制造性等主要在设计阶段得以解决，对设计工具存在依赖性。钢铁行业是由制造驱动的，企业面对的绝大多数问题与成熟钢种制造相关；首要问题是

制造过程的有效管控（旨在保证产品质量、成本控制、交货进度），而新钢种的研发仅是极小部分。对应地，体现在工业软件开发应用方面即为：与企业效率直接相关的生产控制、运营管理工业软件获得了较好的发展空间。钢铁行业的这些特点，显著推高了全行业对生产制造、运营管理类工业软件的关注度，但也遏制了对研发设计类工业软件的应有关注与研讨。因此，钢铁行业研发设计类工业软件获得的关注度远低于离散制造业，应用水平也显滞后。

然而，伴随着钢铁行业产业结构调整步伐的加快，钢铁行业高质量发展的需求不断涌现。“十四五”期间，我国钢铁行业将在提升原料保障能力、严控新增产能、加快兼并重组、调整流程结构、推进智能制造、强化绿色低碳发展等方面持续发力，在与新材料开发相关的工艺设计及优化方面提出了对研发设计类工业软件的极高需求，这就成为钢铁行业工业软件发展的新增动力。

三、钢铁行业工业软件发展现状与瓶颈分析

（一）钢铁行业工业软件发展现状

1. 国外工业软件具有技术和商业层面的先发优势

发达国家率先完成了工业化过程，建立了重点突出而又相对完整的工业体系；大量的工业知识积累、先进的自动化控制过程、成熟的企业管理制度，都为工业软件的稳健发展提供了坚实基础，相应形成的先发优势明显。

在 40 余年时间里，我国钢铁行业迅速发展，在规模扩张的同时，引进了世界上几乎所有的先进冶金装备以及钢铁制造工艺，也涌现出了非常多的因国外钢铁行业发展停滞所不曾面对的新需求。国际工业软件企业敏锐意识到这一市场机遇，利用各种市场手段将工业软件嵌入到包括钢铁行业在内的中国制造业的诸多环节以及发展过程。例如，在工科类高校，各类工业软件工具都在教学实验活动中获得应用，从大学课堂开始引导学生接受和熟悉其特定的理念、功能、使用习惯，在客观上拓展了学生的视野，也为学生为走上工程师岗位之后选用相应的工业软件做好了铺垫；面向各类设计院、工程公司、软件代理商、制造企业，以各种商业策略推进工业软件的市场占有率提升，同时将众多中国制造

企业应用场景的知识积累固化到软件系统，通过标准主导、改善封装、强制调用方式的专用性及一致性，不断提高技术门槛，进一步强化市场垄断地位。

2. 国内工业软件发展呈现极度不平衡状态

与其他制造行业一样，钢铁行业工业软件也是在钢铁业发展规律主导下而逐步发展的。多年来，我国钢铁行业规模飞速发展，但存在着诸多潜在问题：企业忙于发展而忽视积累，对大量引进的先进装备和工业软件，无暇开展认真细致的自我消化、二次提升并转化为知识积累；在“引进-消化-再引进”的循环中，工业软件基础不牢的隐患是显然的。

以图 1 来形象反映钢铁行业工业软件的基本格局：钢铁行业工业软件可视为 1 张桌子，4 类工业软件分别构成桌子的 4 条支腿；钢铁行业发展的过程特点，导致各类工业软件的发展水平呈现极度不平衡状态。支撑钢铁工业软件基础的实际情景是：运营管理、生产控制、服务保障的全部或大部分已经（或正在）形成稳定支撑，而在研发设计方面仍主要依靠国外产品来支撑。

假如抛开其他各种因素的考量，这张桌子的表面看似坚实平稳，但 4 条支腿都以不同的形态来提供支撑。在钢铁行业的规模扩张期，从业者的直接感知是：桌面是平的、稳定的，无暇顾及（或在在意）桌子下面的状态及变化。当钢铁行业转型发展、对工业软件的可靠性出现更深刻需求时，从业者就会突然发现：数十年来构筑的桌子并不牢固，依赖国外产品来支撑的研发设计类工业软件是最具不确定的 1 条支腿，目前尚无完整的国内备份供应方案可供选择；如果这条支腿的供给中断，将使桌子随时面临“倾覆”风险。

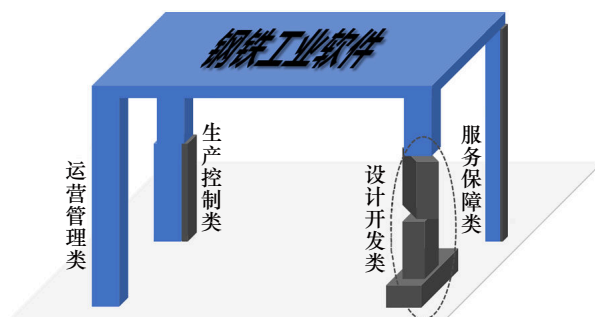


图1 钢铁行业工业软件的子类支撑关系

(二) 钢铁行业工业软件发展瓶颈分析

1. 软件价值的社会共识没有形成

长期以来，钢铁行业普遍存在重硬件、轻软件的思维定式，企业用户通常对硬件装备的技术先进性极为重视，而对嵌入装备和控制过程的软件质量重视不够。这一情况不仅源于软件“看不见、摸不着”的隐性特性，更来自对工业软件作用、价值、重要性缺乏直观认知与理解；直接体现在工程招标采购中过分压低软件价格（如超低价竞标、“卖硬件送软件”），对以硬件为载体的工业软件盲目信赖，严重忽视了软件定义对硬件功能发挥的约束作用。

在钢铁行业迅速发展的扩张阶段，国产工业软件难以满足需求，相关企业引进先进工业软件技术是合理行为，但问题出在重复引进、反复引进。企业自身对引进软件技术进行消化和吸收的内愿意愿不强，忽视维护过程中的软件再创新，二次开发资源投入不足，软件开发的投入资源强度不够（包括对软件开发方过于苛刻的价格诉求），导致企业用户很难掌握核心工业软件技术，从而进入重复引进的怪圈。此外，控制模型随着装备重复引进，高端加工装备的嵌入式软件多为“黑箱”“灰箱”产品，对企业的新产品开发形成制约并增加成本。

对工业软件价值的轻视同样表现在开发端。软件知识产权保护意识淡漠，在侵权、维权方面均有反映；在一些工具类软件、开源软件的使用上未尽到知识产权保护之责，可能阻碍了工业软件的可持续发展。

2. 工业软件创新能力不强

企业用户的需求个性化指将自身的管理理念和流程物化在软件中。追求个性化需求是自然的，但过分强调个性化将制约专业服务和软件产品质量提升。国内工业软件企业按照用户特定需求开发的管理软件，往往过度关注定制化、个性化，忽略了共性需求的凝练和提取以及系统策划与架构设计的能力培养；无法形成有效积累和传承，产品化程度不够，系统结构的稳定性、可扩展性、可复制性、可移植性都很一般，相关的实施周期也存在问题。

定制化开发商业模式与研发资源投入不足相叠加，导致自主创新能力不强、关键技术受制于人，无法引领技术发展，也就制约了工艺创新。用户需求中隐含的大量行业知识、工艺参数、制造诀窍，

未能在工业软件价值提升方面发挥应有作用。长此以往，在国际分工中只能处于软件跟随者、使用者的位置。与之相对，国际优势企业在大型高端应用软件上占据相当高的市场份额，引领着未来技术与应用发展。

钢铁企业生产过程自动化系统多和产线设备一起建设和交付，其中的基础数据采集与控制装备、智能传感与特殊测量、与生产工艺紧密结合的软件系统等多是引进，在应用消化、产业化开发方面的重视程度和投入均不充分；因未能持续创新而很难形成自身完整的工业软件体系，又制约了钢铁企业工艺改造、产品创新和结构升级。

数学模型是工业过程控制和应用信息化的核心技术，在新产线和系统建设时，模型总是以“黑箱”方式嵌入的。常见的现象之一是，对外国公司进行工程验收考核时，模型的精度可以达到或超过合同规定的保证值，而在后续的规模化大生产中，随着工况变化与产品调整，即使是同样的设备和模型，控制精度、产品质量与考核验收时的状态也会出现较大偏移；有些模型从“好用”变成“不好用”，从“有用”变成“无用”。应该认识到，数学模型不是普适应用的，作为工艺模型呈现形式的工业软件也不是单纯的“设计-编程-交付”过程，而是在使用中不断发现问题并进行改进的过程；应根据企业设备状况、生产工况，对工业软件进行必要维护和二次开发，才能稳定控制生产过程并提高产品质量。

3. 高端研发设计工具存在“卡脖子”环节

研发设计类软件是知识最为密集的工业软件，这类软件产品积累了大量的工程设计经验和数据模型，行业知识高度汇聚。工业产品的设计对研发设计类软件的依赖度非常高，若无专有设计软件的支撑，新产品、新工艺的设计开发很难开展。就实际应用看，研发设计类工业软件对包括钢铁行业在内的中国制造业而言都是明显的短板，甚至部分方向形成了“卡脖子”态势，成为亟待攻关解决的关键问题。

以材料数据库为核心，是新材料研发的趋势。在材料数据库建设方面，发达国家因起步较早形成了明显优势；我国拥有大量科学实验和工程应用的数据基础，但数据的准确性、完备性、集成性、统一性、可用性等依然明显滞后。

钢铁冶金工艺设计与模拟优化主要采用软件工具进行模型构建、计算分析、结果展示,要求积累大量的方法库和模型库并支持相互耦合,对模拟计算体系的完备性要求较高。国内在体系化发展方面明显落后于国际先进水平。

流程工厂设计包括设计、施工、运营、改扩建等阶段,是多专业协同工作的过程;要求相关数据能够有效传递,支撑设计功能的不断拓展、跨专业的延伸集成。国外软件产品实现业务垄断的趋势较为明显。

一些知识密集、技术复杂、开发周期长的工业软件,仍处于国际工业软件巨头垄断态势。诸如工艺优化、生产计划、能源调度等,也呈现更加专业化、配置化的特征。数据分析工具、先进控制软件的需求持续增加,钢铁企业对工具类软件的依赖程度进一步提高。国外工业软件产品主导着技术发展和高端市场。

4. 工业软件品牌影响力缺乏

工业软件是技术和品牌要素相互交融叠加的产品。技术支撑品牌,品牌辅助用户获得直观感受和认知,工业软件的品牌影响力可为用户提供使用信心。

定制化开发是本土软件供应商通过更加贴近用户管理习惯而获得相对市场优势的竞争策略,可以弥补自身技术和品牌的不足,在一定程度上保障了国内工业软件产业的后发优势。然而,定制化开发的弊端不可忽视,特别是过分狭义的定制化软件开发,只关注满足最低限度的功能需求,往往忽视过程中知识的持续积累和对成熟产品的借鉴,很难培养或孵化出大型软件架构技术。

我国相当数量甚至绝大多数的工业软件企业采用项目型商业模式,“以工程养产品”实属无奈之举,并非工业软件发展的可持续方式;屈服于市场生存压力,不能坚守研发工业软件产品的初衷,逐步成为工程属性的集成型公司。工程集成型公司对软件产品的质量追求是“弹性”的,较多因成本压力而弱化质量追求;在最短时间内,以最低成本完成最低限度的功能,满足交付验收需求即可,这是我国工业软件市场的常态,而产品质量层面的反复打磨成为次要(被动)选择。

国产钢铁MES软件具有较强的竞争力,占据了较大的市场份额,此外鲜有兼具品牌号召力和质

量优势、可与国际品牌齐名的大型工业软件;部分业务管理软件虽然获得了广泛应用,但在管理理念、技术架构、用户体验、品牌推广等方面不具比较优势。这一国产工业软件的基本格局制约了钢铁企业工艺、产品、结构的优化升级。

四、钢铁行业工业软件发展机遇

我国工业化进程已进入以高质量发展为标志的新阶段,这一阶段需要经历较长的时间。过去数十年快速工业化过程中形成了规模大、场景多的独特优势,但工业技术、工业知识的积累不足是既有短板,可用于软件化的工业技术、知识积累呈现碎片化、分散化;工业技术软件化的基础条件、人才储备相对薄弱,工业软件成功必备要素条件和社会环境还不完善。这些因素都决定了国产工业软件的崛起过程仍较为漫长。

可喜的是,智能制造已上升为国家战略,通过推进工业互联网战略来实现“人、机、物”的全面互联,促进制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置,支撑制造业转型升级。钢铁行业作为国民经济的基础性产业,也将受益于这一进程,相应的工业软件获得新的发展机遇。

(一) 充分发挥既有优势

1. 钢铁工业规模具有极大优势

市场永远是工业软件发展的驱动力。从需求侧看,我国制造业规模庞大,工业企业众多、门类齐全、场景丰富,反哺工业软件知识化的资源极为丰富,这是国产工业软件发展优势所在。钢铁工业的既有规模提供了广阔的市场空间,后发优势使得几乎所有的新工艺、新需求都会找到场景,可为工业软件“从小到大”提供坚实支撑。

伴随着钢铁行业转型发展的广泛需求,新的实践场景不断涌现,构成了工业软件升级的驱动力,将为工业软件“从弱到强”提供宝贵机遇。目前,打造钢铁行业工业软件“链主”已经成为行业共识和积极行动,需要把握难得机遇并尽快取得突破。

2. 工业软件产业竞争意愿强烈

从供给侧看,我国工业软件企业规模普遍较小、起步相对较晚、生存压力偏大是客观现实;但在钢铁行业4类工业软件中,生产控制类工业软件

已经形成了相当规模和良好基础，部分生产控制、运营管理类工业软件已具备与国外同类产品的竞争能力。例如，在高速大型冷连轧机控制工程建设中，国内供应商的工业软件完全可以与国外同类产品公平竞标；在部分软件产品上呈现比较优势，以国产企业资源计划（ERP）系统替代国外知名产品的案例已经较为常见。

借助我国制造业转型升级的机遇，钢铁行业工业软件获得尽可能多的场景实践，由此脱颖而出并实现局部反超，可能性较高。

3. 工业软件的社会危机感有助于实现自我突破

国家各项产业政策中频现工业软件产业发展课题，体现出发展工业软件、培育市场环境的国家引导作用，将加深全社会对工业软件价值的认识。

面对国内外经济形势的变化，需求侧对工业软件自主可控的紧迫感也改变着市场环境，有助于推动全社会提升对国产工业软件的认可度，给予更多的应用场景以验证和迭代工业软件产品，提升软件产品的功能并稳步建立起品牌。

（二）本土企业积极谋求提升发展

1. 产线自动化控制软件

得益于国内大规模钢铁建设工程的实施，涌现出了一批代表性的钢铁工业软件企业，如上海宝信软件股份有限公司、北京金自天正智能控制股份有限公司、中冶赛迪工程技术股份有限公司等。相关企业具有较强的自主集成能力，面向板、卷、管、线、棒、型多品种及全流程的产线自主开发能力，各类自动化控制系统软件实现了自主可控，具备与国外同类软件产品竞争的能力。

与钢铁制造产线控制工业软件开发能力相适应，国产品牌的控制类基础软件工具得到快速发展，如SCADA、大型实时数据库、通信中间件、高频数据采集、实施工艺分析等软件成为平台核心构成并获得广泛验证。在大型集控中心领域，基于传统组态软件形成了超大规模集控中心平台软件，打破了传统自动化控制、信息化管理的界限，实现了兼具广度、高度、深度的业务集成。

进一步实施生产控制软件开发技术成果的产品化，不断迁移适配到自主可控的控制装置，从而积累成功应用案例。例如，上海宝信软件股份有限公司基于开放标准总线，自主设计了背板框架的高性

能PLC控制器，已在七机架高速冷轧机控制上获得了成功应用，相应的控制性能及可靠性均达到国际知名品牌的产品水平。逐步形成可控、可用的国产备用或替代解决方案，适度降低对国外DCS/PLC、SCADA等基础软硬件系统的依赖性，是国产工业软件取得进展的重要经验。虽然开发工作量大，但从安全可控、知识积累、产业提升、市场竞争角度看，这些工作富有价值。

2. 工艺模型和优化控制软件

以东北大学为代表的高校以及一些企业研究院，在与钢铁企业合作的过程中凝练了众多科学问题，从基础理论研究、工程技术开发方法等方面形成了诸多成果，提升了数字孪生建模、智能优化技术、数据分析方法工具等的应用水平。冶金自动化研究院有限公司依托中国钢研科技集团有限公司的丰富资源，在材料设计研发、工艺过程优化、全流程工艺模型集成等方面积累形成了竞争优势。

开发融入专家经验的生产仿真系统，建立虚拟制造环境，应用于排产计划的模拟运行，实现生产作业负荷、订单交期、产品质量性能预测并提出优化调整方案。开发了集智能设计、智能预测、智能调度、智能诊断、智能决策于一体的智能应用管理体系，提高了产品制造全生命周期的制造水平。通过现场制造过程监控、大量实时数据分析以修正并完善制造工艺规范，提高了钢铁工厂的制造工艺水平。

3. 制造执行系统软件

钢铁MES系统因其针对特定行业、功能复杂、通用性差，导致开发周期长、投资大；国内市场竞争激烈，市场集中度不高。近年来，上海宝信软件股份有限公司的相关产品，在中国宝武钢铁集团有限公司的内部业务重组进程中提供了完整的信息化解决方案，也在鞍钢集团有限公司、首钢集团有限公司、马鞍山钢铁股份有限公司、太原钢铁集团有限公司的业务运营中得到使用。国产MES软件在钢铁行业的应用领先地位获得增强，相应的技术业务、品牌形象等也对国外同类产品形成比较优势。

4. 运营管理类工业软件

经营管理软件不仅涉及软件技术，更在于融入相应的管理内涵；与研发设计、生产控制类软件相比，更多需要考虑市场、政策、管理理念等因素的影响。以上海宝信软件股份有限公司为代表的企

业，专注于钢铁行业信息化建设，为宝山钢铁股份有限公司 40 余年的建设发展、中国宝武钢铁集团有限公司集约化发展过程提供了全套解决方案，涵盖全流程、多层次、全生命周期的软件功能和服务。以用友、金蝶、浪潮等品牌为代表，国内 ERP 市场近年来加速实施云战略转型。钢铁行业的大型企业都建立了专职服务于母体及行业的专业研发队伍，积累了相当的技术成果与工业软件产品。

整体来看，国内运营管理类工业软件企业已经具备了良好的技术能力，展现出了市场竞争优势。着眼未来，贴近用户服务、把握成本优势、注重细分市场，同时运用好国家产业政策支持，进一步提升对国外同类产品的替代水平，提高对钢铁行业企业用户的覆盖度和吸引力。

（三）数据赋能迎来发展新机遇

1. 以工业互联网为起点的国内外差距缩小

在推进工业互联网的过程中，宜充分把握国内外差距不大的客观实际，这是我们的相对优势。一方面，尽快利用这种优势弥补工业软件积累不足问题，从离线逐步转为在线，促进知识积累和技术迭代；虽不能从根本上解决基础研发设计类软件面临的“卡脖子”问题，但可以明显缩小差距，壮大参与市场竞争的实力。另一方面，基于工业互联网的数据应用，挖掘新兴业务价值，从成熟业务的竞争局面中开拓具有增量空间的细分市场；尤其是发挥国内供应商在商业模式灵活度方面的优势，开拓未来钢铁行业工业软件的新形态。

我国钢铁企业在转型发展中涌现出了管理变革和创新需求，也出现了创新业务场景，较为典型的有：规范、统一的多种工厂（含产线、工序、基地、企业等）软件应用环境；工厂（车间）精细化管理与企业级运营流程之间的管理接口；完全的可视化（如以产品质量成本为主线的实时可视化）及企业决策支持；基于经济和商业价值的商业流程，将单个或多个工厂系统（基地）纳入制造协同以优化工厂运营；实现跨地域、分布式生产设备管理以及外包服务型生产运营的“穿透式”管理。这些场景成为钢铁行业工业软件提质升级的发展机遇。

2. 新的应用技术催生工业软件新业态和新模式

以工业互联网为代表的信息技术强调互联互通和数据应用，从工业生态建设、精细化管理、离线

与在线业务融合等方面，为钢铁行业经营管理软件提供了新的发展思路，也为培育大型工业软件的架构设计能力提供了依托。

以数字孪生为主要方向，构建应用于研发设计的数据化仿真平台，支持产品性能预报和工业过程优化；人工智能技术正在快速融入产品设计、生产、服务等环节，如一些企业将机器学习技术应用于废钢定级判定、供应链网络管理等。

在生产过程中，综合云计算、移动互联、第五代移动通信（5G）、数字孪生、增强现实/虚拟现实等技术形成的大型集控中心，可实现生产过程状态的实时监控、生产过程动态变化趋势与异常事件诱因预测及可视化，提高生产过程控制的确定性和精确度。

5G 技术可加速企业的“人、机、物”海量数据互联，提供新手段以解决众多技术难题，如确定性时间片上采集传感器数据、海量高分辨率视频/图像的实时传输和识别，可使工厂环境监测更加精准；产品缺陷实时检测、精细原材料识别、精密测量、远程生产设备全生命周期工作状态实时监控等，可使生产设备的维护工作突破工厂边界并实现远程故障诊断和维修。

已经发展的一些国产模拟仿真云服务平台，虽然平台上的模拟仿真计算软件还是以国外软件为主，但新的平台和技术将对基础研发设计软件的开发及商业推广起到催化作用，有利于缩短基础性软件的开发周期，也使国外工业软件合理替代具备了可能性。

随着开源理念逐步为软件研发人员所接受，工业软件领域的创新应用将得到开源技术的更大支持。当前大部分自成体系的工业软件都会逐步接受开放性标准，受益于开源平台日益丰富的算法、组件、引擎和工具，从而大幅降低综合开发成本。

3. 信息化业务系统重构提供了新的发展机会

工业互联网等信息技术必然对传统工业软件的开发和服务模式产生显著影响，传统软件产品使用的授权许可模式、定制化开发模式仍然存在，但新型云服务模式将对传统模式带来冲击甚至颠覆，机遇与挑战并存。工业互联网的“云-边-端”扁平化架构引起了行业的广泛重视，有望解决传统五层架构所带来的“数据孤岛”问题，满足企业对数据价值挖掘的迫切需求。

未来一段时期，钢铁行业工业软件主要在两方面发生变化。一是功能进化角度，结合工业互联网布局下的大数据、人工智能、信息物理系统等技术，建立智能优化决策系统平台及专用工业软件，实现计划任务实时智能调整、工艺流程智能优化、运行工况与关键设备状态的远程移动可视化实时监控及自优化等数字化、智能化应用。二是功能部署角度，传统企业信息化功能逐步向云端、边缘端迁移，云端将集中大部分企业横向贯通所需功能及应用（如全局型、平台型、协同共享型及通用型应用），边缘侧会承接在线实时型、精准控制型、区域型的应用，同时强化过程级、基础级的智能化水平。这些变化最终体现在工业软件的结构、功能、部署、使用等方面，进而驱动显著革新，加速钢铁行业数字化转型进程。

五、钢铁行业工业软件发展策略与建议

（一）钢铁行业工业软件发展策略

1. 回归工业软件发展以知识为核心的本源

知识的持续积累和知识库构建是工业软件发展的核心。工业软件需要将工业知识显性化，本是艰巨的工作；再将知识转化为技术方案并在应用中不断迭代优化，也是漫长的过程。应消除“弯道超车”思维方式、“运动式”开发模式，稳健形成若干可量化评价、可市场推广的工业软件成果。以产线（工序）数字孪生系统为重点，基于工业互联网并驱动大数据与工业机理相融合，支撑工艺过程、制造流程的动态智能优化，实现钢铁企业优化决策，改善行业/企业的运营效率。

2. 充分发挥既有优势的倍增效应

将中国制造业的规模优势转化成工业软件发展的增量支撑，是工业软件行业成功的关键。着眼钢铁行业规模巨大的市场和转型发展，把握格局转换的宝贵机遇，助力工业软件产业振兴。面向钢铁行业的共性需求，选择若干市场前景广、增值空间大的细分方向，挖掘存量技术价值，形成对行业制造效率提升、产品质量改善有显著贡献的工业软件产品。

3. 发展高端的研发设计类软件

在钢铁全生命周期的各环节中，软件设计工具支撑钢种设计、工艺优化、预测决策的重要性凸

显。研发设计类工业软件涉及模型完备性、知识积累厚度、设计链相关数据的有效传递、跨专业延伸集成、新功能设计拓展等；具有强烈的排他性特点也决定了不可能靠“点状”功能强化来有效参与竞争，也不存在以价格低廉、功能简单来寻求细分市场的生存空间。

“高端”指架构先进、功能强大、积累深厚、体验良好；在高端工具软件方面，国内产品与世界先进水平差距明显，尤其缺乏与市场“先行者”开展平等竞争所需的原创性技术。尽管如此，国产工业软件依然要致力于高端化发展，从设计之初即谋划高端的功能定位，注重潜心积累，避免急功近利。低端工业软件不会受到用户青睐，低水平、同质化竞争只会加剧市场环境恶化，而不可能真正赢得市场以保持可持续发展。

4. 实施技术和品牌双重战略

工业软件是典型的技术和品牌双重要素产品。用户对品牌的信赖与认可，在相当程度上决定了市场地位；单纯的技术开发能力不是工业软件企业竞争力的全部。积极推进工业软件质量工程和品牌工程建设，通过服务“促替代”，发挥优势“建长板”。打造若干自主可控的核心技术并实现产业化、产品化、服务化，以技术提升、品牌创建来应对苛刻的市场竞争挑战。

5. 培育产业生态以构建有序市场

工业软件是全行业集成经验并反复优化而形成的产品，持续性的应用迭代是工业软件得以成熟的必然过程，也是我国工业软件产业发展的必要环节。需要培育良性的市场环境、投入必要的政策资源，从容错机制、公平竞争、应用端政策支持等角度着手，为国产工业软件提供更多的应用场景和机会，驱动软件功能的完善和迭代。

构建覆盖产业链上、下游的供需协作关系，为国产工业软件提供更多的市场进入机会，实质性构建面向产业生态的联盟体系。注重跨行业/专业领域以及“产学研用”合作，如钢铁行业上游的机械装备、工程设计等与下游的钢铁产品用户行业/企业等形成合力。

（二）钢铁行业工业软件发展建议

1. 研发管理类软件是产业发展的首要议题

研发设计类工业软件基本上不再具备仅通过市

场机制来实现自主可控的机遇和窗口，产业政策支持及相应的开发机制设计至关重要；困局破解具有迫切性，不是仅靠某个管理部门、某项政策与规划就能解决的。应合理设计顶层架构，解决开发者“缺位”问题；整合各方的政策及资源以形成合力，合理给予财政、金融、税收等资源支持。

2. 培育有利于国产软件发展的产业环境

将有效市场和有为政府相结合，从需求驱动、场景驱动出发，协调多种政策资源综合施策，调动国内庞大的制造业市场资源，形成“内循环”“内外双循环”的发展格局。明确工业软件“补短板、促替代、建长板”重点方向，分类推进（见图2）。生产控制类工业软件具有通过市场机制形成一定竞争力的潜在前景，但存在品牌劣势；应从改善产业环境入手，通过有效市场、有为政府相结合，形成良性的社会和市场环境，从而激发国内企业内生动力，发挥更深、更广的替代效应。运营管理类工业软件已呈现出一定的比较优势，完全可以依托市场和开发主体，发挥既有机制和后发优势所带来的溢出效应，增强“长板”功能、拓宽“长板”领域。

3. 支持工业软件标准制定

建议加快推进自主可控工业软件标准制定工作。目前国内生产控制类工业软件市场的事实标准多由国外制造企业主导，而国外企业在标准方面很难统一，导致国内市场存在产品程序兼容、互联互通方面的问题。为弥补标准短板，需要加快制定钢铁行业工业软件的相关标准，推进工业软件的综合集成应用。

4. 汇聚资源以形成效率优势

建议在相关产业发展规划中，分类研究实施策略，合理集聚资源以实施重点和长周期突破；对于重点“补短板”项目，宜采取“精准扶贫”形式的扶持策略。汇聚钢铁企业、科研院所、高校、系统集成服务商等各领域专家人才，组建钢铁行业工业软件研究智库，提供高水平的咨询服务；对于钢铁行业的成功案例、商业模式，系统开展推广，针对性给予支持；制定支持钢铁企业推进工业软件业务发展的资金、人才、管理等政策。

六、结语

钢铁行业作为国民经济的基础产业，产业能级

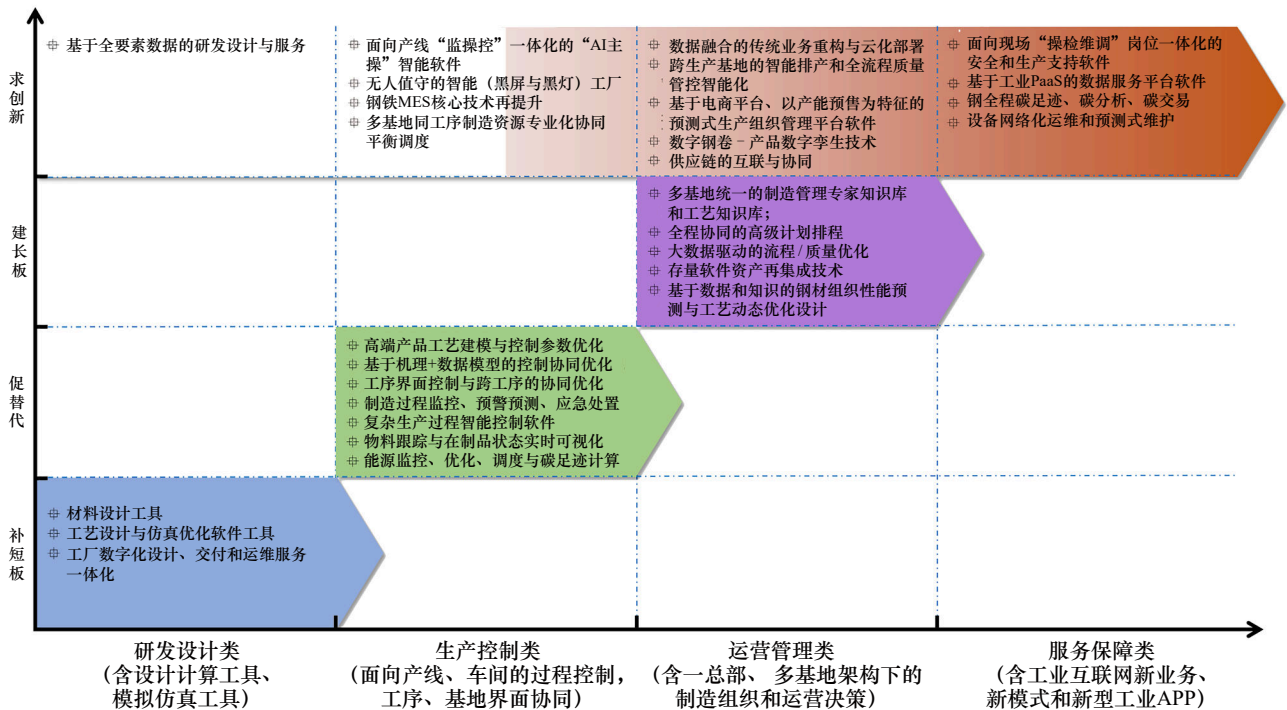


图2 钢铁行业工业软件“补短板、促替代、建长板、求创新”重点方向
注：AI表示人工智能；PaaS表示平台即服务；APP表示应用程序。

和竞争力关乎众多制造业发展。系统研究钢铁行业工业软件发展格局,进而针对性地制定行业发展策略意义鲜明。我国钢铁行业在规模迅速发展的同时,综合水平也在走向国际前列,反映了钢铁行业具有较强自主集成能力,也为工业软件发展提供了契机。钢铁工业软件发展不平衡的矛盾依然存在,特别是研发设计类工业软件的“短板”凸显,与制造业相似面临着“卡脖子”风险。

着眼当前和中长期发展,应充分发挥我国钢铁行业的规模优势和转型升级需求,以有效市场与有为政府相结合的方式,对工业软件产业分类对待、精准施策、调配资源(如政策、市场、场景、人才等);针对性“补短板”,同时在“促替代、建长板”方面积极行动,稳健培育产业生态,逐步打造有序市场。把握中国制造高质量发展、工业互联网创新应用的窗口期,将工业软件发展课题置于政府工作、社会议程的重要位置,构建钢铁行业工业软件技术和品牌协同发展的良好态势,支撑我国钢铁行业转型升级发展。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: May 13, 2022; **Revised date:** June 20, 2022

Corresponding author: Cong Liqun is a professor-level senior engineer from Shanghai Baosight Software Co., Ltd. His major research fields include industrial Internet and industrial software. E-mail: congliqun@baosight.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on the Development of Industrial Software for Process Manufacturing” (2021-XZ-28)

参考文献

- [1] 中国工业技术软件化产业联盟. 中国工业软件产业白皮书 [R]. 北京: 中国工业技术软件化产业联盟, 2020.
China Industrial Technology Software Industry Alliance. White paper on Chinese industrial software industry [R]. Beijing: China Industrial Technology Software Industry Alliance, 2020.
- [2] 上海浦东软件园产业研究院工业软件课题组. 关于推动浦东工业软件高质量发展的策略研究 [R]. 上海: 上海浦东软件园产业研究院工业软件课题组, 2020.
Industrial Software Project Team of Shanghai Pudong Software Park Industry Research Institute. Strategy research on promoting high quality development of industrial software in Pudong [R]. Shanghai: Industrial Software Project Team of Shanghai Pudong Software Park Industry Research Institute, 2020.
- [3] 郭朝先, 苗雨菲. 产业竞争力报告⑥中国核心工业软件的进口依赖与追赶之路 [EB/OL]. (2022-01-30)[2022-05-16]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_16528827.
Guo C X, Miao Y F. Industrial competitiveness report No. 6: Import dependence and pursuit of core industrial software in China [EB/OL]. (2022-01-30)[2022-05-16]. https://www.thepaper.cn/news-Detail_forward_16528827.
- [4] 数字化企业网. 融资热潮下, 我国工业软件产业发展尚需解决的七大难题 [EB/OL]. (2022-02-25)[2022-05-16]. <https://articles.e-works.net.cn/plmoverview/article150097.htm>.
e-Works. Seven problems to be solved in the development of industrial software industry in China under the upsurge of financing [EB/OL]. (2022-02-25)[2022-05-16]. <https://articles.e-works.net.cn/plmoverview/article150097.htm>.
- [5] 柴天佑, 刘强, 丁进良, 等. 工业互联网驱动的流程工业智能优化制造新模式研究展望 [J]. 中国科学: 技术科学, 2022, 52(1): 14–25.
Chia T Y, Liu Q, Ding J L, et al. Perspectives on industrial-internet-driven intelligent optimized manufacturing mode for process industries [J]. Scientia Sinica Technologica, 2022, 52(1): 14–25.
- [6] 丛力群. 以工业软件支撑“两化融合”的实现 [J]. 信息技术与标准化, 2009 (12): 17–21.
Cong L Q. By developing industry-oriented software to support realization of fusing informationization with industrialization [J]. Information Technology & Standardization, 2009 (12): 17–21.