

◆产业赋能与业态融合◆

# 云计算、大数据与人工智能在化工企业生产与管理中的应用实践

吴昊

(安徽六国化工股份有限公司, 安徽 铜陵 244023)

**[摘要]** 介绍企业转型升级的背景、意义, 梳理企业转型升级的类型、模式和路径。以安徽六国化工股份有限公司为研究对象, 介绍云计算、大数据与人工智能在化工企业生产与管理中的应用实践, 包括SAP ERP项目、“六国-阿里云工业大脑”项目、产销协同管理优化项目的功能及技术经济指标。提出安徽六国化工股份有限公司未来5年工业互联网数字化转型规划, 包括实施关键岗位“机器换人”行动, 实施生产线智能化改造行动, 实施智能车间建设行动, 实施智能工厂建设行动。

**[关键词]** 转型升级; 云计算; 大数据; 人工智能; 生产管理; 应用实践

**[中图分类号]** TP39; TP18; TQ08 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2024) 12-0075-06

## Application practice of cloud computing, big data and artificial intelligence in production and management of chemical enterprises

WU Hao

(Anhui Liuguo Chemical Co., Ltd., Tongling 244023, China)

**Abstract:** The background and significance of enterprise transformation and upgrading are introduced, the types, modes and paths of enterprise transformation and upgrading are sorted out. Taking Anhui Liuguo Chemical Co., Ltd. as the research object, the application practice of cloud computing, big data and artificial intelligence in the production and management of chemical enterprises are introduced, including the functions, technical and economic indicators of SAP ERP project, “Liuguo-Alibaba Cloud Industrial Brain” project, and production and sales collaborative management optimization project. The industrial Internet digital transformation plan of Anhui Liuguo Chemical Co., Ltd. in the next five years is put forward, including the implementation of “machine replacement” action for key positions, the implementation of intelligent transformation action for production lines, the implementation of intelligent workshop construction action, and the implementation of intelligent factory construction action.

**Key words:** transformation and upgrading; cloud computing; big data; artificial intelligence; production and management; application practice

### 0 引言

企业的转型升级是学术界比较关注的研究课题, 一般可看成企业的转型与升级两个方面。企业的转型就是企业从一种发展状态转换为另外一种发展状态, 也是企业在不同产品、产业间管理的转换过程。升级是指企业从低技术阶段、低附加值阶段迈向高附加值阶段。

2018年以来, 受中美贸易摩擦、宏观经济增速放缓等因素影响, 市场被悲观情绪笼罩, 以氯碱、氮肥、磷肥为代表的化工产品, 没有技术壁垒, 竞争格局非常分散, 各企业之间的规模、成本、环保

水平差异很大, 受环保、去产能政策影响显著。随着供需和竞争格局持续改善, 在化工行业大周期下行的市场背景下, 我国化肥产品价格并未出现明显的下行, 而是维持甚至继续缓慢上行。针对基础产业和产品产能过剩、市场需求不旺的供给状况, 企业产品结构与产品质量难以适应消费者的需求, 在新的发展背景下, 企业的转型升级迫在眉睫。

**[收稿日期]** 2024-11-22

**[作者简介]** 吴昊(1982-), 男, 安徽桐城人, 高级工程师, 主要从事企业数字化建设。

E-mail: 37014886@qq.com

## 1 数字化转型背景及意义

### 1.1 转型升级背景

目前,我国经济发展正处于增速换挡、结构调整、动能转换的关键时期,石油和化学工业进入新的增长动力孕育和传统增长动力减弱并存的转型阶段,行业发展的安全环保压力和要素成本约束日益突出,供给侧结构性改革、提质增效、绿色可持续发展是我国化学工业今后发展的主要任务。化肥行业整体产能严重过剩,企业间竞争激烈,盈利能力下降,行业亏损仍然存在,此外,随着我国环境保护基本国策的强化执行、应对全球气候变化的国际责任分担、化肥行业全面市场化的完成,全行业功能已从国民经济保障型功能日益深化提升为质量型功能,生态友好环保、污染物减量达标排放、化肥总量零增长和精准有效施肥,成为全行业生存的根本立足点,在新发展理念和供给侧结构性改革引领下,化肥行业正处在创新驱动和转型升级发展时期。

### 1.2 转型升级意义

企业的转型升级是一个比较复杂的战略决策,学术界对于企业转型升级的概念尚未有比较明确和统一的定义。随着我国经济步入新常态,我国学者对企业转型升级的研究较多,但是涉及具体的转型升级概念理论探讨的文章较少。通过分析国内外文献,一般将企业的转型升级的概念拆分为两个方面进行理解。对于企业的转型来说,一是指企业进入不同的行业或者领域,对原来的产业进行扩充与转换<sup>[1]</sup>;二是企业对其公司的管理结构进行优化,当企业的外部环境发生变化时,企业主动进行内部转型,对企业的内部资源、管理结构进行优化转型。而企业升级是指企业通过创新或市场营销变革,对企业传统的产品功能进行优化,扩大市场区域,从而实现企业的升级发展。GEREFFI<sup>[2]</sup>认为企业的升级主要是通过产品创新使企业从产业链低端向产业链高端转移,获取更多的剩余价值,获得更好的发展。在企业的转型升级过程中,学者们均认为技术创新是重要的推动力量,所以企业在转换升级过程中,应该重视技术创新的作用,这是企业从价值链低端升级至价值链高端的重要途径。金碚<sup>[3]</sup>认为企业转型升级是一个涉及产品、技术、组织结构、利益、发展理念等多方面的变革,但是企业技术创新是我国工业转型升级最为重要的力量。

### 1.3 企业转型升级的类型和模式

国内外学者对企业转型升级类型和模式的具体

归纳研究的较少,只是在部门文献中有所涉猎。根据企业转型的动因,将企业转型大致划分为5种类型,一是由于外部环境变化导致的企业转型升级,这种转型在企业中较为常见;二是由于技术进步,产品更新换代导致的企业转型升级;三是由于国家产业政策变动导致的企业转型升级;四是由于企业的管理模式不能适应企业发展导致的转型升级;五是由于企业商业模式变换导致的企业转型升级。我国学者对企业转型类型和模式的研究较少,由于我国出口外向型企业居多,学者对出口外向型企业的转型升级研究较多。杨桂菊<sup>[4]</sup>以3家本土代工企业为研究对象,对企业的转型升级路径进行研究,认为随着代工企业规模扩大,其技术实力不断增强,能够不断扩展价值链活动范围。邢斐等<sup>[5]</sup>认为出口型企业的转型模式主要依靠技术进步与出口补贴,国家加大对出口外向型企业的技术研发补贴和出口退税等补贴政策,有利于外向型企业的转型升级。

### 1.4 企业转型升级的路径研究

国内外学者企业转型升级路径的研究较多,企业转型升级路径选择对企业转型升级成功与否较为重要。AMSDEN等<sup>[2,6]</sup>认为,对于欠发达的新兴国家的企业来说,由于技术积累少,资本不足,一般都是由委托代工制造开始发展,当企业发展到一定的规模后,可以加强研发与技术创新,做到独立自主设计,最终可以创立自己的品牌,实现真正的转型发展。李坤等<sup>[7]</sup>以高端装备制造业为研究对象,具体分析制造业在转型升级中遇到的问题,认为高端制造业是一个国家经济发展程度的象征,国家对科技创新的支持是高端制造业转型升级的重要保障,国家应该重视自主创新能力的建设。程虹等<sup>[8]</sup>以570家企业,4494名企业员工为研究对象,通过实地调查的方式研究我国企业转型升级的现状和路径选择。他们认为我国企业转型升级的路径包括:加快技术创新,加大技术研发的支持力度,使企业成为技术驱动型企业;加大企业的人才培养,建立良好的企业激励机制,形成人尽其才的环境;不断提高产品质量,用质量占领市场;建立完善法人治理结构,引进职业经理人,提高管理水平。魏龙等<sup>[9]</sup>将我国14个制造业产业划分为3种类型,分别为上游主导型制造业、下游主导型制造业及混合主导型制造业,认为我国制造业转型升级中,应该大力推动技术创新,不断加强人才培养,建立完善的人才激励机制,同时通过高水平的改革开放,促进我国制造业的转型升级。

安徽六国化工股份有限公司（以下简称“六国化工”）是国家重点发展的大型磷复肥生产骨干企业，目前现有总资产63亿元，年销售收入60亿元，拥有化肥产能350万t/a。2004年3月5日，六国化工在上海证券交易所成功上市，公司主要从事化学肥料、化学制品、化学原料等生产、加工和销售业务。

## 2 数字赋能助力六国化工转型升级

### 2.1 六国化工SAP ERP项目

为提高公司信息化管理水平、增强企业市场竞争力，结合公司集团型企业管理现状及化工行业特点，六国化工于2016年11月正式启动SAP ERP项目，2017年5月SAP ERP系统正式上线使用，目前包括SAP ERP系统、营销SMS系统、办公OA系统、财务金税系统、商业决策BI系统、物流地磅系统，业务范围覆盖六国化工本部、铜陵国星化工有限公司、铜陵鑫克精细化工有限责任公司、六国化工氮肥厂。

SAP ERP系统上线后，对加强公司内部控制，提高经营管理效率，及时准确地提供生产、销售、财务管理的动态信息，高效灵活地支持公司各项业务起到积极作用，具体表现在以下几个方面。

(1) 营销SMS系统：提升了营销公司运营效率，加强了销售管理细度，及时掌握经销商的资信、财务、经营等状况，规避市场风险的能力显著提高。与用户的销售结算实现由年终结算改为按月结算，真实反映公司经营业绩，并支持旬、周、日更短周期的结算，支持现有58种费用结算及新的费用结算类型拓展，结算结果可实时查询。

(2) SAP ERP系统：公司各业务模块初步实现了信息流、资金流、物流、工作流的融合，从事后控制改为事前计划、过程监控、反馈控制，达到公司人、财、物、供、产、销统一，解决了之前财务、采购、销售模块各种档案数据不准、分散、不规范的矛盾。SAP ERP系统对客户信息、销量、库存、回款等各种档案信息实时更新，并通过各种报告展现与共享，大大提高了工作效率。

(3) OA系统：OA系统帮助公司实现信息资源共享，增强员工协同工作的能力，实现公文流转、审核、签批等行政事务的自动处理，促进管理电子化、规范化，完美整合了组织内部的信息流，大大提高了工作效率，减少了内部沟通障碍与成本。

经SAP ERP系统取数并对比2016年财务数据指标分析，公司财务流动比率有所提升，企业短期

偿债能力增强，应收账款周转率显著提升，货款回笼速度显著加快，很大程度上解决了企业货款回笼慢的问题，资产负债率显著下降，财务风险有所降低，净资产收益率、销售利润率、销售净利率销售大幅提升。

(1) SAP ERP系统中MM物料管理模块规范了公司库存物资管理，增加库存管理透明度，降低库存成本；与财务模块的高效集成，使仓库管理的任何业务，包括每次的转库行为均与财务模块相关联，即时生成财务凭证，反应在财务报表上，加快了公司采购计划制定，缩短了物资采购周期，物料信息动态、完整，各车间能实时准确查询所需物料信息并及时领用，同比减少库存占用资金293万元。

(2) 通过规范采购业务流程，统一管理供货商、客户主数据编码，分析采购价格及数量，并根据交货情况和市场供应情况，控制采购原料的收货、检验、入库等详细流程；通过建立和维护采购订单，实现采购合同跟踪，合理安排供应商交货进度，从而提高采购活动效率，降低采购成本及周期，与2016年同期对比，采购成本降低带来的利润约为718万元，减少大宗原料占用资金约500万元。

(3) 通过SAP ERP系统PP模块，提高了生产现场的物料管理水平，由于系统能实时提供生产计划、进度以及生产过程中的物料消耗、产量统计等生产成本的动态信息，并与财务模块同步对接，并提供多维度报表分析供车间及公司高管查询，提高了劳动生产率，带来利润提升约86万元。

综合上述模块分析，SAP ERP系统上线以来合计给公司带来经济利润约804万元，减少大宗原料及物料库存资金占用约793万元，企业盈利能力显著增强。

与此同时公司高层管理人员通过使用SAP ERP系统，及时、准确地做出商业决策，生产模块建立了大量灵活的BOM数据模型，使成品生产控制更科学、规范。SAP ERP系统的顺利上线使公司精细化管理更上一层楼，公司的企业信誉与知名度进一步扩大，行业影响力显著增强。

### 2.2 “六国-阿里云工业大脑”项目

#### 2.2.1 项目背景

在2018杭州·云栖大会ET大脑峰会上，铜陵市人民政府与阿里云公司向全球联合发布了“铜陵工业大脑”项目。“工业大脑”通过采集数据，运用算力和算法、人工智能等技术对大数据进行深度分析挖掘，进而对工业生产进行多维度分析、智能化

决策, 激发企业的潜在数据价值, 指导车间操作人员进行生产过程优化调整, 达到提高效率、提升品质、降低能耗等目的。铜陵市是传统工业强市, 具备工业化率高、工业企业体量大等特点, 推动“工业大脑”项目的实施对于推动铜陵市由传统工业时代进入“算力时代”, 优化制造企业生产流程, 提高工业生产效率、强化企业竞争力, 并以点带面探索出一条老工业城市转型升级之路具有重要意义。

“六国-阿里云工业大脑”项目是铜陵市引入阿里云公司云计算、大数据与人工智能先进技术, 对传统工业进行数字化改造的第一个项目, 通过优化企业生产工艺流程, 提高产品质量、降低生产成本、转变经营模式, 推动转型发展, 实现铜陵市经济高质量发展。

### 2.2.2 “六国-阿里云工业大脑”项目实施前生产工艺难点

六国化工是集团型磷复肥化工企业, 母子公司分布在安徽、江西、湖北、吉林等省, 企业产品近200种。由于生产工艺等问题, 磷酸转化率不高一直困扰着企业, 具体表现在以下几个方面。

(1) 工业数据信息相互独立。六国化工现有工业控制系统几十套, 各套系统的工控信息相互独立, 数据沟通不畅, 公司管理者不能及时准确地把握来自生产工艺方面的信息, 对生产工艺的反馈信息严重滞后于管理预期。

(2) 工控数据信息采集困难。六国化工现有产品品种近200种, 生产装置十几套, 不同产品在生产控制数据整理等方面信息反馈不及时, 车间生产工艺人员对工艺指标的判断依靠经验, 统计报表手工作业效率极低。

(3) 工控数据分析是痛点。由于各系统数据孤立, 历史数据存储不够, 基本不具备数据分析能力, 计量监测装置的覆盖率、精准率不够, 使历史数据的存储与溯源所带来的价值分析几乎为零。

### 2.2.3 “六国-阿里云工业大脑”项目投资情况

“六国-阿里云项目工业大脑”总投资500万元, 项目实施分为两个阶段, 第一阶段基于六国化工现场数据, 达到磷转化率提高或非水溶磷残留量降低等同类对等正向效果的科学验证。第二阶段在第一阶段正向效果的基础上, 使项目正向效果累计收益达到双方约定值。

具体的测算方式为, 依据甲方提供的检测报告,  $\text{磷转化率} = 1 - (w(\text{不溶磷}) \times \text{石膏值} / \text{矿石中 } w(\text{P}_2\text{O}_5))$ 。其中, 石膏值指100份磷矿石产生石膏

的份数。

举例说明, 当检测报告中石膏不溶磷质量分数为0.7%, 石膏值为1.49, 矿石中 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为29.9%时,  $\text{磷转化率} = 1 - 0.7\% \times 1.49 / 29.9\% = 96.51\%$ 。

“六国-阿里云工业大脑”项目交付物: 包括客户生产数据情况分析报告、数据上云架构图文档、阿里云数据质量验证报告、数据云链路搭建(包括离线和实时)、磷转化率关键因素分析报告、磷转化率预测报告、磷转化率优化效果报告。其中, 磷转化率每提升0.1%, 额外奖励50万元, 封顶为200万元; 在达到磷转化率提升0.4%后, 再每提升0.1%, 额外奖励60万元, 封顶120万元; 两部分累计封顶为320万元。

### 2.2.4 经济效益及社会效益

#### 1) 直接经济效益

生产方面, “六国-阿里云工业大脑”项目组经过4个月的不懈努力, 通过数据采集、数据建模、推理验证等几个步骤, 目前六国公司磷酸装置实验参数保持稳定, 化验结果符合预期, 磷转化率平均提升0.23% (最高提升至0.5%), 非水溶磷的残磷率稳定性得到大幅提高, 标准差从0.14%降低到0.07%, 残磷率进一步下降, 按照现有原料价值折标计算, 上述两项工艺指标的优化, 预计可以为企业带来约500万元/a的经济效益。

#### 2) 生产工艺改良价值

实现了六国磷酸装置工控DSC信息测点系统数据的实时上传, 现阶段测点数据丢失率小于0.1%, 完全满足算法采集要求。

针对流程型生产特点, 结合实际生产节奏进行了动态数据关联与单双套系统数据建模。阿里云算法工程师通过利用关键因素挖掘推荐的方式, 完成因素筛选、识别, 并针对不同的运行状态以及关注因子, 生成了超过200项推荐结果。

通过因素挖掘推荐的方式, 找出了影响非水溶磷及水溶残磷率的关键因素及其推荐范围。在考虑了可执行性与效果后, 选择以降低非水溶磷为目标, 通过AB组对比实验, 验证推荐参数在非水溶磷上的实际效果。结果显示, 对应转化率平均提升0.79%, 最高提升1.2%, 每年减少磷矿石采购6000t, 减少磷石膏固废10000t, 带来直接经济价值600余万元, 实现经济与生态价值双丰收。

### 2.2.5 小结

未来, 六国化工将与阿里云公司深度合作, 结合化工企业行业特性, 借助大数据、云计算等在公

司治理污水、废气等方面发挥积极作用，利用信息化手段对废气排放、污水流量进行实时监测，通过“环境与工业大脑”智能判断生产设备是否处于正常合理区间，污染物是否达标排放，目前六国化工子公司铜陵国星化工有限公司已与阿里云公司达成合作意向，在这方面进行有益的尝试与探索。

### 2.3 基于大数据分析赋能六国化工产销协同管理优化项目

基于大数据分析赋能六国化工产销协同管理优化项目致力于提升六国化工的供应链管理能力和通过搭建一套产销协同系统，以先进的运筹学优化思想与成熟模型来提升供应链网络的各个重点节点管理效率，以杉数科技（北京）有限公司（简称杉数科技）自主研发的数学规划求解器来帮助六国化工提升生产计划能力，并统筹管理物流供应网络、辅助产品预测销量，与SAP ERP及SMS对接，优化需求计划、优化补货及库存策略、优化生产计划、实现产销协同模拟，以应对产品需求多样性的市场，实现提升产销协同能力、提高市场响应速度及投入产出比，提升精细化管理能力。

项目从需求计划入手，基于历史订单销量、成品产品信息、产品间关系、全国销售区域信息以及内外部影响因素等输入数据，结合产品根据地理位置需要因地制宜进行预测的理解，以及新品投放、促销事件等特殊事件的考虑，建立AI机器学习模型和传统时间序列模型，对各品类月度销量进行预测。输出按照销售区域、时节、产品品类维度的需求计划结果，将需求占比预估进一步细化到成品产品维度，并提供需求动态监控预警和多维度分析。

基于AI的需求计划，项目进一步对六国化工库

存进行全局优化。结合库存信息、仓库信息、成品产品信息、替代关系、经销商层级信息、补货规则、调拨规则、成本数据、物流资源等输入数据，建立库存策略优化模型，平衡服务满足率和库存周转率，得到针对成品的安全库存水平，工厂仓库间以及仓库到经销商的补货计划、仓储计划，以及各层级库存健康状态监控与关键绩效指标（KPI）报表。

生产方面，项目协助六国化工量化现有生产限制：生产难度、废料产生情况、每套装置最小生产量等，将提报的下个月的销量预测分配到每个工厂，并使用杉数科技自主研发的数学规划求解器制定成本最优以及实际产量最匹配下的产品生产计划。

为了寻找供应与需求之间的最佳平衡点，项目设计了一个决策辅助-产销协同模拟引擎，计算每一种信息每一个场景的KPI表现及对应的需求、供应、生产计划。产销协同模拟引擎将不同产品类型的预测需求与预估的产能、物料到货时间相对应，在综合考虑产能限制、生产提前期、生产优先级等限制条件下，由算法自动输出自定义战略目标（如总成本最低、产量最大、库存最少）的生产计划方案。

#### 2.3.1 解决的重大关键问题

##### 1) 工作内容

项目交付一套部署于客户生产环境上的Web应用系统，打通六国化工产销链条的所有线上线下数据，功能从销售预测、安全库存、生产计划到急单插单、分货决策、工厂排程、S&OP协同模拟。

##### 2) 技术路线

基于大数据分析赋能六国化工产销协同管理优化项目技术路线见图1。

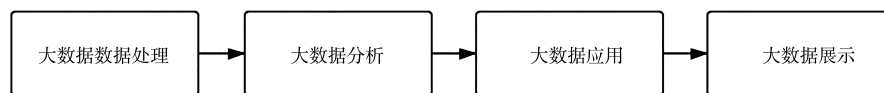


图1 技术路线

Fig. 1 Technical route

大数据数据处理：一种强依赖、可分租的任务高容错处理方法及装置。

大数据分析：一种有向图绘制方法及化工物料规划方法。

大数据应用：销期提前或滞后的预测修正。

大数据展示：一种高复用、多方式的table单单元格编辑的方法及组件。

#### 2.3.2 项目投资达到的预期目标

项目总投资约500万元，其中，2019年实施一

期项目投资300万元。

##### 1) 主要量化技术指标

基于机器学习的销量预测，将六国化工的销售预测满足度从87%提升至95%，结余库存水平平均下降0.5个月的月销量，企业各部门间协同效率增强20%。制定需求计划、生产计划，人力投入时间缩短50%以上。

##### 2) 主要技术创新成果

完成基于机器学习的考虑地域性与季节性的化

销量预测引擎的研发,完成厂内库、厂外库、经销商多级库存网络的库存策略计算引擎研发;完成综合考虑需求(量与优先级)、产能(量与换产难易度)的生产计划的计算引擎的研发,完成产销供财联动的模拟仿真引擎的研发;申请国家发明专利4项。

### 3 六国化工未来5年工业互联网数字化转型规划

(1) 实施关键岗位“机器换人”行动。通过关键岗位“机器换人”提高生产效率和智能化生产水平,实现在高危生产环境中的智能化改造,提高企业本质安全水平。

(2) 实施生产线智能化改造行动。以设备互联、数据互通为重点,推动生产线全流程数字化,实现“线”上链接。应用智能仪表、数据采集和监控系统替代人工记录,推动关键生产环节工艺数据自动采集,实现基于模型的先进控制和在线优化,优化工艺流程,建设柔性智能制造单元,提升设备运转效率和产品质量稳定性。

(3) 实施智能车间建设行动。以生产管理、工业控制两大系统互联和集成为重点,推动制造过程各环节动态优化,实现“块”上融合。支持骨干企业应用传感识别、人机智能交互、智能控制等技术和智能装备,促进车间计划排产、加工装配、检验检测等各生产环节的智能协作与联动,实现可视化管理;促进制造执行系统与产品数据管理、企业资源计划等系统互联互通,实现研发、制造、仓储、物流的系统集成。

(4) 实施智能工厂建设行动。以厂内纵向、厂间横向和用户端三大集成为重点,推动生产系统智能化、制造营销协同化、上下游企业融合化,实现“面”上协同。在建设智能车间的基础上,综合运用生产过程数据采集和分析、制造执行、企业资源计划、产品全生命周期管理、智能平行生产管控等

先进技术手段,实现研发、设计、工艺、生产、检测、物流、销售、服务等环节的集成优化;综合运用工业互联网、云计算、大数据等新一代信息技术实现企业智能管理和决策,打造数据驱动的智能工厂。

#### [参考文献]

- [1] 吴家曦,李华燊.浙江省中小企业转型升级调查报告[J].管理世界,2009(8):1-5.
- [2] GEREFFI G. International Trade and Industrial Upgrading in the Apparel Commodity Chain[J]. Journal of International Economics, 1999,48,37-70.
- [3] 金碚.中国工业的转型升级[J].中国工业经济,2011(7):5-14. JIN B. Transformation and Upgrading of China's Industry [J]. China Industrial Economics, 2011(7):5-14.
- [4] 杨桂菊.代工企业转型升级:演进路径的理论模型—基于3家本土企业的案例研究[J].管理世界,2010(6):132-142.
- [5] 邢斐,王书颖,何欢浪.从出口扩张到对外贸易“换挡”:基于贸易结构转型的贸易与研发政策选择[J].经济研究,2016(4):89-101. XING F, WANG S Y, HE H L. From Export Expansion to the “Shift” of Foreign Trade: The Choice of Trade and R & D Policy [J]. Economic Research Journal, 2016(4):89-101.
- [6] AMSDEN A H. Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization [J]. Science and Society, 1991,55(4):495-498.
- [7] 李坤,于渤,李清均.“躯干国家”制造向“头脑国家”制造转型的路径选择——基于高端装备制造产业成长路径选择的视角[J].管理世界,2014(7):1-11.
- [8] 程虹,刘三江,罗连发.中国企业转型升级的基本状况与路径选择——基于570家企业4794名员工入企调查数据的分析[J].经济研究,2016(2):57-70. CHENG H, LIU S J, LUO L F. Basic situation and path selection of transformation and upgrading of Chinese enterprises selection——Analysis based on survey date of 4794 employees from 570 companies [J]. Economic Research Journal, 2016(2):57-70.
- [9] 魏龙,王磊.全球价值链体系下中国制造业转型升级分析[J].数量经济技术经济研究,2017(6):71-86. WEI L, WANG L. A Study of Chinese Manufacturing Industry Transformation and Upgrading in Global Value Chains System [J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2017(6):71-86.