

流程型智能制造白皮书

中国电子技术标准化研究院
深圳华制智能制造技术有限公司
东北大学

2019年7月

指导组名单

柴天佑 杨建军 夏妍娜 马仲彬

编写组名单

郭楠	韦莎	程雨航	李佳	吕青海	康健	刘斌
张晓玲	丁进良	张若曦	何宏宏	许妍	李刚	鲍楠
吴端胜	夏娣娜	李瑞琪	马原野	周航	焦国涛	廖胜蓝
纪婷钰	张欣	王成然				

鸣谢

本白皮书得到了以下单位和专家（排名不分先后）的大力支持与帮助，在此表示衷心感谢！

鸣谢单位：

上海宝钢工业技术服务有限公司

中国石化集团茂名石油化工有限公司

内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司

山西复晟铝业有限公司

杭州娃哈哈集团有限公司

宜宾天原集团股份有限公司

杭州锦江集团

安徽海螺集团有限责任公司

安徽海螺信息技术工程有限责任公司

农夫山泉股份有限公司

山西潞安煤基清洁能源有限公司

长沙有色冶金设计研究院有限公司

首钢自动化信息技术有限公司

北京一轻食品集团有限公司

辽宁格瑞自动化设备有限公司

甘肃稀土新材料股份有限公司

鸣谢单位：

海油发展工程技术公司

九芝堂股份有限公司

昆明龙津药业股份有限公司

四川科伦药业股份有限公司

鸣谢专家：

刘 凯 赵家蓉 冷 川 李 麒 杨大雷 朱献忠

汪鸿涛 章 海 宋 鹏 韩满璇 茹文涛 杨 林

鄢 锋 左永红 李军海 任 勇 宋登科 王恒兵

何承发 詹家干 荣 光 陈彦东 郭伟荣 吴学谦

苗加乐 张 力 李希峰

前言

“十三五”规划《纲要》提出实施智能制造工程，培育推广新型智能制造模式。流程行业作为国民经济的重要基础和支柱产业，为国民经济的快速发展做出了重要贡献，同时，流程型智能制造作为智能制造五大新模式之一，需结合自身特色探索智能制造之路。

流程行业是我国实体经济的基石，历经70年代技术与装备引进、80年代初消化吸收、90年代自主创新几个重要阶段后，在智能制造这一新的历史契机下，流程行业积极开展智能制造探索，在智能工厂建设、重点装备研发、关键工艺技术突破、复合型人才培养、标准研制推广和应用等方面取得了丰硕的成绩。

中国电子技术标准化研究院联合深圳华制智能制造技术有限公司、东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室，面向石化、有色、钢铁、水泥、食品、医药等重点企业开展调研走访，汲取流程行业智能制造经验，编写形成了《流程型智能制造白皮书》。

白皮书从流程型制造关注的核心问题出发，从工艺优化、智能控制、生产调度、设备运维、质量检验、能源管控等多个角度进行了系统梳理。针对核心问题和指标，总结了流程型智能制造的重点建设方向，提炼了数字化、网络化、智能化的智能制造实施要素。通过数据收集和统计分析，归纳整理了流程行业的智能制造需求和智能制造解决方案的供给情况，在研发创新、人才培养、示范推广方面，为行业主管部门和企业提出产业发展建议。

希望本白皮书中的行业见解、数据分析和方向建议能为关心流程行业智能制造发展的人员提供创新思路和启发，为推进相关智能制造工作提供路径参考和依据。

■ 目 录

一、概述	1
1.1 流程行业发展历程	1
1.2 流程型制造的内涵及特征	1
1.3 流程型制造面临的挑战与新机遇	4
二、流程型制造关注的核心问题综述	7
2.1 工艺优化	7
2.2 智能控制	8
2.3 生产调度	9
2.4 物料平衡	10
2.5 设备运维	11
2.6 质量检验	12
2.7 能源管控	13
2.8 安全环保	14
三、流程型智能制造重点建设方向与新模式	17
3.1 流程型智能制造重点建设方向	17
3.2 流程型智能制造新模式	45

四、流程型智能制造发展现状..... 49

 4.1 流程行业智能制造需求分析 52

 4.2 流程行业智能制造解决方案供给能力分析 63

五、实施建议..... 71

 5.1 智能制造赋能流程型制造设计院、科研机构，
 寻找核心技术突破口 71

 5.2 以智能制造为契机，将技术人才引入流程型制造 72

 5.3 依托标杆示范企业和标准化手段，
 加速流程型智能制造推广 72

附录 术语表 73

图目录

图1-1 流程型制造行业划分	2
图1-2 智能制造新机遇下的流程型制造模式	6
图2-1 工艺优化要素分析	8
图2-2 智能控制要素分析	9
图2-3 生产调度要素分析	10
图2-4 物料平衡要素分析	11
图2-5 设备运维要素分析	12
图2-6 质量检验要素分析	13
图2-7 能源管理要素分析	14
图2-8 安全环保要素分析	15
图3-1 工艺优化智能制造实施要素	18
图3-2 智能控制智能制造实施要素	21
图3-3 智能控制智能化功能	22
图3-4 生产调度智能制造实施要素	24
图3-5 生产调度智能化功能	24
图3-6 物料平衡智能制造实施要素	26
图3-7 设备运维智能制造实施要素	28
图3-8 设备运维基础数字化	29
图3-9 流程型智能工厂设备运维网络架构	30
图3-10 设备运维智能化功能-预测性维护	31

图3-11 设备运维智能化功能-数字孪生	32
图3-12 质量检验智能制造实施要素	34
图3-13 能源管控智能制造实施要素	37
图3-14 能源管理基础数字化	38
图3-15 流程型智能工厂能源运维网络架构	39
图3-16 能源管理智能化功能	40
图3-17 安环管理智能制造实施要素	42
图3-18 EHS管理基础数字化.....	43
图3-19 流程型智能工厂安环网络架构	44
图3-20 安环管理智能化功能	45
图4-1 2015~2018年度国家级流程型智能制造项目分类统计	49
图4-2 受访流程企业或项目智能制造投入方向的统计	51
图4-3 石化行业关注的智能制造重点方向	53
图4-4 有色行业关注的智能制造重点方向	55
图4-5 钢铁行业关注的智能制造重点方向	57
图4-6 水泥行业关注的智能制造重点方向	59
图4-7 食品饮料行业关注的智能制造重点方向	61
图4-8 医药行业关注的智能制造重点方向	62
图4-9 受访解决方案供应商行业分类	64
图4-10 流程型智能制造解决方案分类	65

一、概述

1.1 流程行业发展历程

流程行业是制造业的重要组成部分，是经济社会发展的支柱产业，占全国规模以上工业总产值的47%左右，是我国实体经济的基石。我国流程行业经过数十年的发展，历经70年代技术与装备引进、80年代初消化吸收、90年代自主创新几个阶段，实现了与国际先进流程行业并跑。现阶段，我国流程行业的生产工艺、装备和生产过程自动化水平都得到了大幅度提升，整体发展速度快，产业规模连续跨越，整体实力增长迅速，国际影响力显著提高。目前我国已成为世界上门类最齐全、规模最庞大的流程制造业大国。比如，我国流程行业产能高度集中，钢铁、有色、电力、水泥、造纸等行业的产能均居世界第一；我国十种有色金属总产量连续15年世界第一；石油加工能力、乙烯产量位居世界第二。当前，我国流程行业面临第四次工业革命的历史契机、中国制造升级转型和供给侧结构性改革的关键时期，必须抓住机遇、迎接挑战。近十年来，我国制造业持续快速发展，总体规模大幅提升，综合实力不断增强，不仅对国内经济和社会发展做出了重要贡献，还成为支撑世界经济的关键力量。

1.2 流程型制造的内涵及特征

流程型制造是以资源和可回收资源为原料，通过物理变化和化学反应的连续复杂生产，为制造业提供原材料和能源的基础工业，包括石化、化工、造纸、水泥、有色、钢铁、制药、食品饮料等行业，是我国经济持续增长的重要支撑力量。

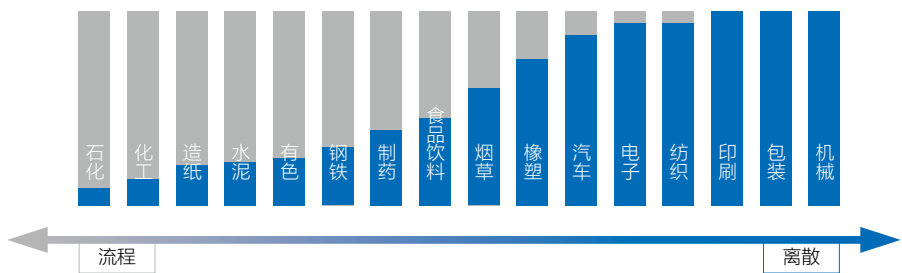


图1-1 流程型制造行业划分

与离散行业相比，流程行业存在显著差异。离散工业为物理加工过程，产品可单件计数，制造过程易数字化，强调个性化需求和柔性制造。而流程行业生产运行模式特点突出，比如，原料变化频繁，生产过程涉及物理化学反应，机理复杂；生产过程连续，不能停顿，任一工序出现问题必然会影响整个生产线和最终的产品质量；部分产业的原料成分、设备状态、工艺参数和产品质量等无法实时或全面检测。流程行业的上述特点突出地表现为测量难、建模难、控制难和优化决策难。

我国流程行业的发展正受到资源紧缺、能源消耗大、环境污染严重的制约。流程行业是高能耗、高污染行业，我国石油、化工、钢铁、有色、电力等流程行业的能源消耗、CO₂排放量以及SO₂排放量均占全国工业的第一位。随着我国经济的持续发展，流程行业原料的对外依存度不断上升。资源和能源利用率低是造成资源紧缺和能耗高的一个重要原因。我国矿产资源总回收率、能源利用率均低于国外先进水平，致使我国钢铁、有色、电力、化工等8个高耗能行业单位产品能耗与世界先进水平有一定的差距。我国矿产资源复杂，资源禀赋差，随着优质资源的枯竭，资源开发转向“低品位、难处理、多组分共伴生复杂矿为主”的矿产资源，资源综合利用率低、流程长、生产成本低。为解决资源、能源与环保的问题，我国流程行业已从局部、粗放的生产模式向全流程、精细化的生产模式发展，如钢铁、石化等行业，提高了资源与能源的利用率，有效减少了污

染。但是转型发展还不够充分，高效化和绿色化是我国流程行业发展的必然方向。

现阶段，我国流程型制造企业从制造过程底层到生产经营顶层还存在一些问题：

（1）在以资金流为主的经营决策层面：供应链采购与装置运行特性关联度不高、产业链分布与市场需求存在不匹配，知识型工作自动化水平低，缺乏快速和主动响应市场变化的商业决策机制。

（2）在以物质流为主的生产运行层面：资源和废弃资源缺乏综合利用，运行过程依靠知识工作者凭经验和知识进行操作，精细化优化控制水平不高，面向高端制造的工艺流程构效分析与认知能力不足，缺乏虚拟制造技术。

（3）在以能量流为主的能效安环层面：能源的错时空利用技术有待发展，能源管理与生产运行缺乏协同，单位产量能效水平亟需提高。高危险化学品、废水、废气、废固的全生命周期足迹缺乏监管和溯源，危化品缺乏信息化集成的流通轨迹监控与风险防范。

（4）在以信息流为主的信息感知层面：物料属性和加工过程部分特殊参量无法快速获取，大数据、物联网和云计算等技术在物流和产品流通轨迹监控、生产和管理优化中的应用不够，亟需工业物联网扩充信息资源以深度认识复杂的流程行业过程。

（5）在系统支撑层面：我国流程行业生产效率不理想，既体现为生产系统跨层次运行效率低下，也体现为企业跨领域运营效率低下。现有的系统难以自动化处理非结构数据以驱动智能决策，也无法支撑复杂的知识自动化软件平台以辅助操作工人决策，需要全新的控制系统架构以实现控制-优化-决策一体化。

1.3 流程型制造面临的挑战与新机遇

近年来，流程行业面对错综复杂的国内外经济形势，积极应对经济下行压力，通过管理创新，淘汰落后产能，调整产业结构，取得了较好的发展态势。我国流程行业生产运行总体平稳，产能过剩得到一定的遏制，行业技术创新步伐加快，节能环保效果明显，但部分行业经济效益不甚理想，投资增速放缓。此外，我国流程行业已从局部、粗放的生产模式向全流程、精细化的生产模式发展，如钢铁、石化、有色等行业，提高了资源与能源的利用率，有效减少了污染。但我国流程行业的总体物耗、能耗和排放以及运行水平与世界先进水平相比有一定的差距，产品结构性过剩依然存在，管理和营销等决策缺乏知识型工作自动化，资源与能源利用率不高，高端装备、工艺、产品水平亟待提高，安全环保压力大。

全球新一轮科技革命和产业变革加紧孕育兴起，与流程型制造转型升级形成历史性交汇，给流程行业带来了新的机遇。智能化转型升级已成为流程行业重要发展趋势，对产业发展和分工格局带来深刻影响，将推动流程行业形成新的生产方式、产业形态、商业模式。流程行业通过发展智能制造改进自身条件已具备相应条件，主要表现在：

（1）供给侧改革为流程行业推行智能制造提供内在动力

随着供给侧改革过程中对经济平稳增长，产业结构优化、产品质量提升的需求日益增多，需要流程行业提高自身生产效率，提升产品质量，增强行业竞争力。企业必须适应新常态，将原来的粗放型、外延式发展转变为集约式、内涵式发展模式，通过智能化改造实现技术创新与高效绿色的发展。

（2）国家智能制造顶层规划和生态体系建设为流程行业实践智能制造创造良好基础

随着《国家智能制造标准体系建设指南》2015年版和2018年版的发布以及相关行业标准体系的建立，流程行业逐步建立起对智能制造的统一认

识；同时，流程行业协会、研究机构、智能制造解决方案供应商生态体系逐步完善，为流程行业的智能制造升级提供了必要的支撑和保障。

（3）代表性企业成熟经验为流程行业发展智能制造提供示范模板

行业龙头企业在智能制造探索过程中，已积累了一定的成熟经验，并形成了具有代表性的解决方案，可以复制和推广到同行业其他企业甚至部分其他行业，从而带动相关企业进行智能制造提升。同时，部分企业已具备一定的工艺技术和工业技术能力，可结合智能制造进一步固化相关经验并尝试技术突破。

在智能制造这一新的背景和机遇下，流程型制造在设备运维和资产管理模式、生产模式、运营模式和商业模式上都将发生显著的变化：

（1）随着设备等资产的数字化、网络化和智能化，依靠数字孪生、故障预测、远程运维等技术，可实现设备状态的在线监测、分析和预测以及生产资料信息的积累、沉淀和优化，使得设备的运维由固定点检转向预测性维护，资产管理也日趋透明化和智能化，从而带来设备运维方式和资产管理模式的转变。

（2）随着制造过程的数字化、网络化和智能化，结合先进控制、工艺优化、工业无线通信等技术，使得生产过程中物料使用趋于平衡，生产效率显著提升，生产环境更加安全，能源使用更加节约，从而带来生产模式的转变；

（3）随着企业内部运营的数字化、网络化和智能化，结合信息融合管理、业务数据分析、智能优化排产等技术，使得生产计划制定、成本控制等管理决策更加合理，从而带来运营模式的转变；

（4）随着企业引入更多平台化资源，建立智慧供应链、市场和供应商评价体系，探索全程产品质量信息追溯，建立新的商业生态，从而带来商业模式的转变。

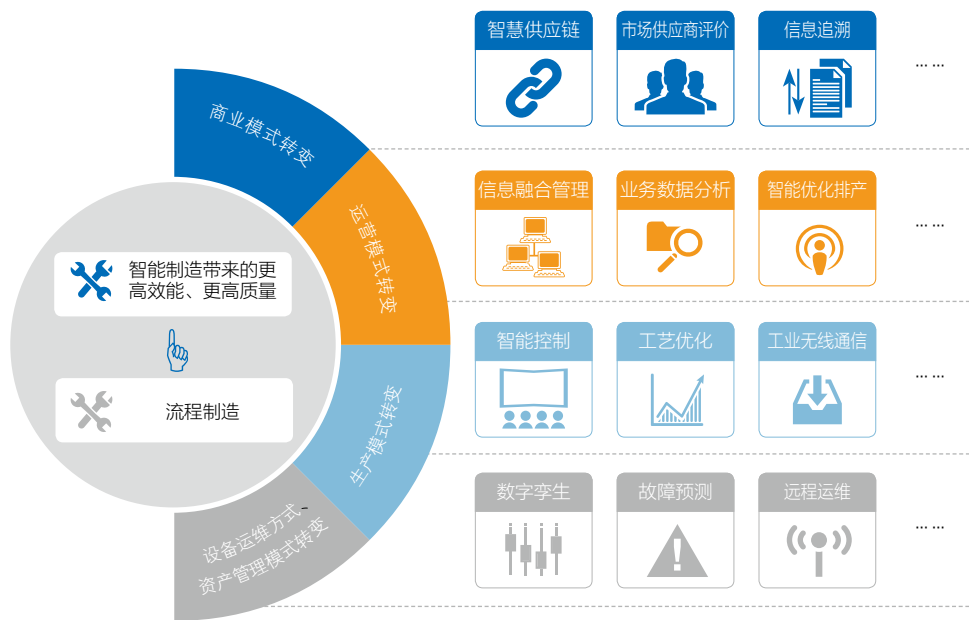


图1-2 智能制造新机遇下的流程型制造模式

二、流程型制造关注的核心问题综述

由于生产方式不同，流程型制造与离散型制造关注的要素区别很大，编写组经过调研和访谈，总结了流程型制造过程中需要解决的核心问题，主要包括：工艺优化、智能控制、计划调度、物料平衡、设备运维、质量检验、能源管控、安全环保等内容。上述活动的高效进行是保证流程型制造的重要基础，在践行流程型智能制造时，应以流程行业关注的核心问题为落脚点，切实解决制造过程的实际问题，以提升相关的核心指标为实施目标。

2.1 工艺优化

流程行业的整个工厂由上千台设备和数千根管道组成，工序（车间）间物料和能量大多通过管道传送，工艺复杂、流程长、工序间相互关联等特点，传统的二维设计存在材料统计偏差大，建设施工易发生碰撞等缺点，已不能满足工厂精益化生产的需求。流程型智能制造应集成应用智能P&ID、协同设计、标准化编码、工程数据库等先进设计手段，对制造过程进行仿真、评估和优化，实现先进的可视化、仿真和文档管理，通过碰撞检查等手段提前发现专业内外的配合问题，使施工阶段的差错大大减少，为流程型企业的建造和运维提供支撑。

流程工业工艺与配方直接决定生产过程及过程中设备的参数设定，同时生产过程中根据具体原材料、设备状态、相关工序参数变化，依据工艺要求实时监控、动态管理生产及装备参数，实现优化控制，以最优的成本生产优质的产品。准确的生产过程虚拟仿真，对于生产过程参数调整、验证、优化将起到巨大提升作用。工艺优化以最低成本换取最优质量和最高产能为目标，工厂的工艺信息管理水平和工艺数字化水平将直接影响工

艺优化的成效，通过工艺建模、流程仿真、数字化交付等核心活动的支撑，可实现工艺指标稳定和生产效率的提升。



图2-1 工艺优化要素分析

2.2 智能控制

流程型制造核心在于连续生产和最大限度地提高生产效率和工艺稳定性。对订单、批次、配方执行情况、质量进行严格的把控，降低关键工艺参数的标准偏差；传统控制系统一般包括仪器仪表系统、DCS系统、PLC系统、SIS系统、SCADA系统、执行调节系统等，以保证装置的稳定连续运行及紧急联锁程序处理。为了保证底层控制的稳定性和实时性，需在原有静态模型基础上开展动态模型的探索，以达到更精确的控制。基于不同工艺过程，先进过程控制在众多行业与工艺上得到大量应用，取得比较显著的成效，如何实现更多工序、装置、控制回路之间的过程控制与参数动态优化，达到整体最优，也是很多企业目前在尝试和努力的方向。



图2-2 智能控制要素分析

2.3 生产调度

在流程型行业生产调度中，生产计划的制定和管理占有举足轻重的地位，相对于离散制造，流程型制造在能源、化工、有色、钢铁等多数行业内以“以产订销”为主，全年生产计划主要考虑市场、政策、原料等因素，以安全、稳定、优质为条件，以实现满负荷生产为目的。流程企业根据市场的需求预测原材料与能源的供给情况、生产加工能力与生产环境的状态，利用生产过程全局性和整体性的思想，确定企业的生产目标，制定企业的生产计划，协调企业各局部生产过程，从而达到企业总体最优目标。同时为了适应激烈的市场竞争，对生产调度的实时性协调性和可靠性提出了很高的要求，由于局部生产优化不等于全厂处于最优，生产调度可通过在生产过程中中间产品的存储对各个装置相互冲突的目标进行解耦，以获得全局的最优。

	目标	 优化排产、合理调配物料和能源			
	影响因素	市场情况	原料供应	产品需求	设备状态等
	相关的支撑活动	生产数据采集与分析	系统平衡	指令数字化等	
	相关衡量指标	计划完成率		产品成本等	
	利益相关方	 制造管理者		 生产执行者	

图2-3 生产调度要素分析

2.4 物料平衡

工业企业生产经营管理工作的重点之一就是对供产销存环节进行集中统一的计划和配置、协调和优化。对流程型企业来说，从原料采购、加工到产品销售这样一个过程其距离非常之长，特别是生产环节的加工路线错综复杂，生产的连续性、物料的流动性、产品的联产性、品种的多样性、产耗的同步性、质量的差异性、形态的可变性，使得企业进行全方位全过程的监管和监控受到了一定程度的限制。流程行业物料统计平衡依据生产平衡推算后的和物料相关的生产数据进行归并汇总，按照逻辑节点量和逻辑移动关系与物理节点量和物理移动关系之间的对应关系，实现统计层逻辑节点拓扑模型的动态生成，并以规则库、模型库和求解器，完成模型平衡计算，达到企业的区域、工厂、子公司三级物料统计平衡。

	目标	 减少物料损耗、降低成本	
	影响因素	原料质量	工厂模型准确性等
	相关的支撑活动	工厂模型建立	生产数据集成等
	相关衡量指标	投入产出比	目标达成率等
	利益相关方	 制造管理者	 生产执行者

图2-4 物料平衡要素分析

2.5 设备运维

对于流程型制造，任何设备的非计划停机可能会对整个过程造成影响，产生巨大经济损失，引发安全事故。保证设备的安全可靠运行对于流程型制造至关重要。流程型制造一方面产品比较固定，一旦投产可能十几年不发生变化，另一方面设备投资比较大、工艺流程固定，需最大限度降低停机和检修，克服装备的可靠性和准确性不足等问题。因此，需要对关键设备的参数进行监控，基于设备健康程度实行有效的设备管理，同时挖掘设备潜能，监控场景需覆盖设备巡点检、大修的管理，设备资产管理、设备知识库管理等，并能够根据不同设备对应的特性进行定制化的维护。



图2-5 设备运维要素分析

2.6 质量检验

流程行业生产原料和生产过程中的精确计量及品质鉴定，是产品质量的基础保障。一方面，考虑到取样检测的结果对于后续工艺的控制和成品质量影响较大，需要在生产原料配给端进行严格的检验，涉及材料追踪、重量核算、供应商确认等环节，保证材料取样、检测的客观性。另一方面，在生产过程中和成品阶段进行抽样检测，保证各项质量指标满足工艺要求。由于流程型行业的往往涉及大量的化学、物理反应，实验室的管理也是质量管理的重要组成部分，对实验过程、实验数据、检测样本、历史数据等进行全流程信息化管理，是企业控制质量、提升工艺的重要手段。同时，基于实验室信息管理系统，结合自动化技术与数字化实验仪器，实现实验过程本身的少人化、无人化、智能化。

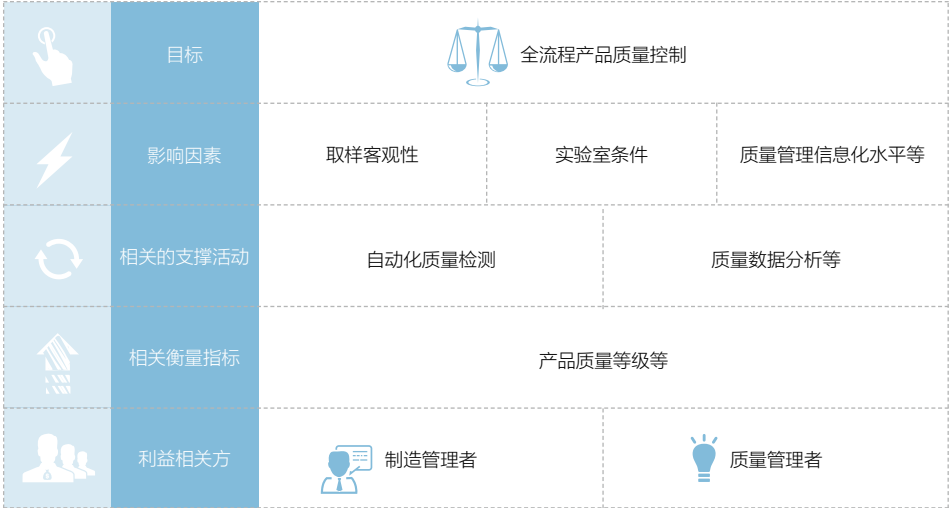


图2-6 质量检验要素分析

2.7 能源管控

流程型制造对于能源的消耗巨大，能源管理存在滞后，需对产线、工艺段、设备、单品的能源耗用进行详细评估，改造加装数字化计量仪表，建立能源平衡体系。除此之外，为保证制造过程连续性，需保证能源的持续供应。同时，对水、电、气、风进行精细管理，通过优化设备运行参数、改造设备、杜绝跑冒滴漏、合理利用能源阶梯价格、对比不同班次数据、优化控制参数等方式，提升能源利用效率，降低生产成本。

	目标	 减少能源损耗、降低成本			
	影响因素	能源计量的准确性		能源监控覆盖率等	
	相关的支撑活动	能源监控	趋势分析	校正平衡	能源统计等
	相关衡量指标	标准煤耗		能源利用率等	
	利益相关方	 制造管理者		 能源管理者	

图2-7 能源管理要素分析

2.8 安全环保

对于流程型制造企业，由于存在大量高温高压装置、有毒有害物质，安全生产一直都是高优先级的活动。今年以来，化工行业更是安全事故频发，国家对于流程行业的安全要求也是越来越严格。所以，需要借助智能制造相关的技术手段，降低生产过程中安全事故发生的可能性。此外，流程行业是环保重点关注行业，化工、钢铁、有色等更是国家重点关注行业，急需企业提升环保标准和部署相应的措施。

	目标	 安全生产、绿色发展		
	影响因素	安全设备的维护水平	预警机制	检测准确性等
	相关的支撑活动	安全环保监测	安全环保预警	安全环保动态处置等
	相关衡量指标	人工干预报警次数		组态报警数量等
	利益相关方	 制造管理者		 安全环保管理者

图2-8 安全环保要素分析

三、流程型智能制造重点建设方向 与新模式

面向工艺优化、智能控制、生产调度、物料平衡、设备运维、质量检验、能源管理、安全环保等核心问题，流程行业智能制造建设主要围绕数字化、网络化、智能化展开。建设过程主要是在已有的物理制造系统基础上，充分融合智能传感、先进控制、数字孪生、工业大数据、工业云等智能制造关键技术，从生产、管理以及营销的全过程优化出发，实现制造流程、操作方式、管理模式的高效化、绿色化和智能化。同时，随着智能制造的实施，设备管理、资产管理日益透明化，生产方式更加便捷和优化，制造运营逐渐精细化和智能化，商业资源趋向平台化和协同化。新的商业模式、运营模式、生产模式、设备运维和资产管理模式出现，促进企业经济效益和社会效益最大化。

3.1 流程型智能制造重点建设方向

3.1.1 工艺优化

（1）需求分析

工艺优化是实现企业生产优质、高产、低耗、高效益的保证。工艺优化与企业的生产、安全、质量、环保、能源管理均有密切联系，通过加强工艺优化，可以建立良好的生产秩序，创造较好的生产工况运行条件。随着装置规模日益扩大、操作条件更加苛刻、潜在危害逐渐增多，全生命周期工艺管理和工艺管理集成化与智能化已成为工艺优化的发展趋势。

当前流程行业工艺优化的需求主要聚焦于以下几个方面：

- 工艺管理与生产相关业务有机整合，形成业务统一、数据统一、数据共享的统一系统，可以实现技术报表自动编制、工艺参数合格率智能统计、工艺卡片动态管理、重要工艺参数自动报警提示；
- 加强工艺安全管理，实现工艺联锁的全面监控，确保生产装置运行安全；
- 通过工艺优化全面提升生产管理业务的规范化、信息化、高效化。

(2) 实施要素

工艺优化的目标是用最低成本换取最优质量和最高产能。工艺优化智能制造技术投入包含规范工艺信息管理和数据采集标准，建立工艺数字交付平台等资源要素；搭建以实时数据库和工业网络为主体的互联互通架构，实现工艺管理系统与相关应用系统的集成；通过仿真培训和流程模拟持续进行工艺改进，为实现系统先进控制创造条件。工艺优化智能制造应用范围覆盖了从设计到优化的工艺管理全生命周期过程。



图3-1 工艺优化智能制造实施要素

- 基础数字化

工艺优化基础数字化建设一般开始于数字化工厂设计。在设计过程中，二维和三维设计数据实现基于位号的结构性数据集成及多专业协同，同时实现数字化工厂设计系统配套的文档同基于位号的非结构性数据设计文档和供应商文档关联。企业把全部设计文档和数据资料统一于数据库平台，并进行相关数据关联，可以有效快速检索信息。建立工艺基础数据档案，收集企业已有的工艺配方文件、标准及操作步骤。企业通过发布工艺信息管理办法及细则等制度文件，建立覆盖所有生产设施的数据采集标准，从整体上规范并指导数字化建设工作。

- 网络化互联

工艺优化网络化互联主要通过搭建实时数据库系统与生产控制系统互联互通架构，实现生产过程数据实时采集。通过集成设备状态信息、生产过程信息和安全环保信息，实现工艺管理数据的共享和统一。企业也可利用这些数据信息实现工艺监控、工艺分析、关键参数分析和工艺优化。

- 智能化应用

基于以上数字化和网络化框架，工艺优化的智能化应用实现的主要功能如下：

利用三维建模技术完成仿真培训。通过对维修过程的推演，模拟设备的拆分、安装等操作，结合视频、音频等多媒体信息，为不同的维修方案定制可视化培训内容。

利用流程模拟对生产流程、产品方案、装置潜力及瓶颈进行分析与诊断，解决生产问题，提供改造方案、优化生产流程与装置操作，实现企业节能降耗、挖潜增效、提高经济效益。流程模拟将工艺机理与三维可视化场景结合，通过三维的方式立体呈现工艺流程，可以辅助工艺诊断与优化。

通过先进控制系统保证装置的运行平稳率，并在此基础上通过卡边操

作和克服约束，实现节能降耗目标、提高生产能力，增加高附加值产品收益率，进而提升经济效益。同时提高软仪表计算的准确性，增强多变量多回路的模型预估控制能力，充分发挥控制系统的潜力。

（3）应用效果及成效

先进的工艺优化和管理，将使企业工艺管理工作的流程和层次关系更加清晰，能够充分实现工艺信息的共享和新工艺的三维动态仿真验证，从而提升工艺产品质量，提高企业整体工艺管理水平的，增强企业核心竞争力。通过生产工艺优化的持续投入，可以逐步选择最优的生产工艺，降低生产的成本，获得最佳的产品收益率，达到预期的生产目标。

3.1.2 智能控制

（1）需求分析

企业生产控制和优化的目标是确定经济性最优的运行区间，帮助操作人员迅速、准确的找到最优工艺控制点。当前，流程行业的控制环节主要采用人工操作运行和人机合作运行控制两种形式。

人工操作运行控制依赖于操作者的工作经验完成系统的回路控制、回路设定值决策、运行指标目标值范围决策以及异常运行工况诊断等工作。人工操作运行控制下的工业过程往往处于非优化运行状态，甚至常常出现异常工况，难以实现安全优化运行。人机合作运行控制依靠专业的工程师观测和分析相关数据来判断异常工况，难以实现与其他工序控制系统的协同优化、综合生产指标的优化以及运行指标目标值的决策。因此，流程行业的智能控制亟待更加完善的控制方案。

（2）实施要素

智能控制的目标是实现关键工艺参数的数据采集、关键设备的精准控制和控制算法的优化。智能控制方面的技术投入包含DCS/SIS等工业控制系统的完善，仪表、阀门等传感器的全过程覆盖和自动采集，依靠工业网

络实现生产过程数据与实验室管理、设备管理等系统的数据集成，完成流程模拟系统、先进控制系统和实时优化系统建设。智能化控制的应用范围包含了从工厂数据采集、模型建立到动态控制输出的全过程，通过不断优化控制参数，实现智能化控制目标。

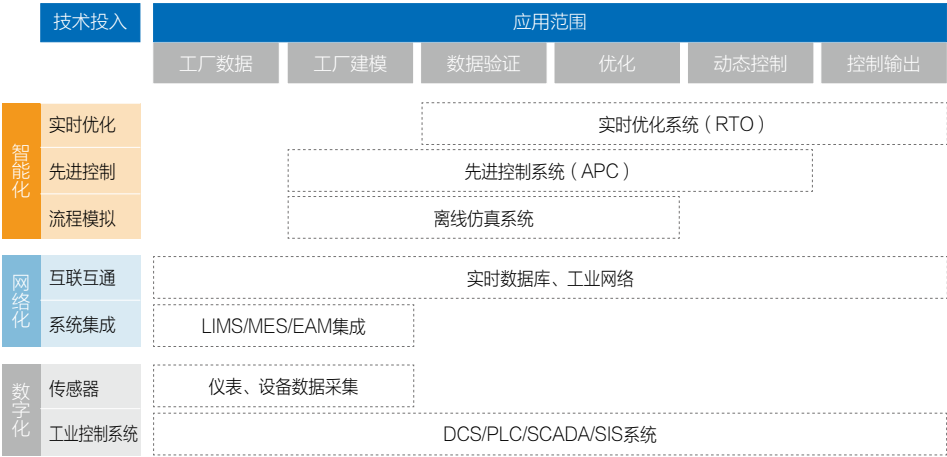


图3-2 智能控制智能制造实施要素

● 基础数字化

智能控制基础数字化建设主要集中在工业控制系统完善和生产过程的实时数据采集。工业系统完善包含DCS、PLC、SCADA等系统完善，实现集中控制。建设SIS系统，保障工艺及人员安全。生产过程实时数据采集包含实现传感器在关键工艺监测点的数据采集，并与控制系统互相关联，必要时可增加关键部位测量温度、电压、电流、有功功率和无功功率等监测传感器。

● 网络化互联

智能控制网络化互联包含互联互通架构建设和系统集成建设。形成以DCS为主控制系统的生产控制体系，各独立工艺包的控制可以采用PLC

及其他控制系统完成，但关键数据及系统主启停的控制需由主控制系统负责。同时，通过实时数据库整合不同控制系统数据，为信息化系统提供数据源，实现控制数据与生产过程质量信息数据、生产分析数据和设备状态数据的集成。

● 智能化应用

智能控制目标是实现全局控制优化、单回路控制稳定和多变量控制价值最优和。智能控制集智能感知、控制、监控、优化、故障诊断于一体，具有自适应、自学习、自动调整控制结构和参数的功能，从而能够适应工业过程的动态变化。通过部署实时优化系统，可以实现自动感知生产条件的变化，自动决策系统的参数设定值，达到优化运行指标的目的。通过部署先进控制系统，可以跟踪设定值的改变，将实际运行指标控制在目标值范围内。

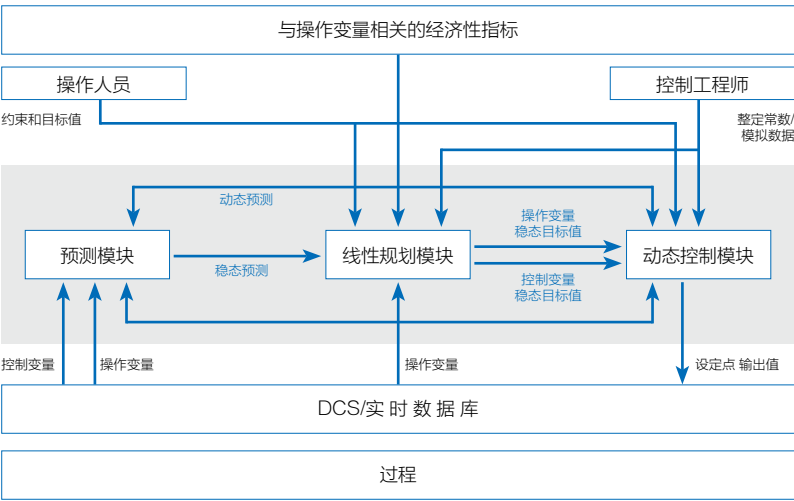


图3-3 智能控制智能化功能

（3）应用效果及成效

先进的智能控制能够减员增效，降低操作人员劳动强度，提高劳动生

产率；能够精准控制关键工艺指标，保证产品质量的稳定；能够优化设备控制，降低能耗，降低成本；能够提前预警环保相关上限指标，做出工艺及控制调整，并通过联锁程序保证工艺安全及人员安全。

3.1.3 生产调度

（1）需求分析

流程行业的生产过程具有复杂性、非线性、多目标、多约束、多资源相互协调等特点。流程企业根据市场需求预测原材料与能源的供给情况，确定生产目标和生产计划，协调生产过程，并通过生产调度使生产过程处于最优状态，从而实现产线的高产与节能。

流程企业生产调度是连接生产计划和生产操作的关键活动。生产调度以生产作业计划为依据，围绕企业经营目标，从全局出发，结合生产流程的实际情况和生产能力，进行排产优化，合理调配物料和能源，协调和均衡各装置的生产任务，使各生产环节能有效配合和紧密衔接。同时通过及时掌握生产动态，对生产过程中的各种矛盾和问题进行综合分析，确保生产均衡稳定、安全、长周期地进行，以保证企业生产作业计划的完成。

（2）实施要素

为了实现智能化的生产调度，可针对设备、生产状态数据、调度指令和操作指令等方面构建数字化基础，搭建生产过程数据与企业资源管理、高级排程、实验室管理等系统集成的网络架构，实现生产过程的流程模拟、生产计划的智能优化、生产调度的数据分析等智能化功能。生产调度的应用范围包含了从计划管理、系统平衡、生产优化、操作优化和调度优化的全过程，能够及时有效地进行资源协调，完成生产目标。

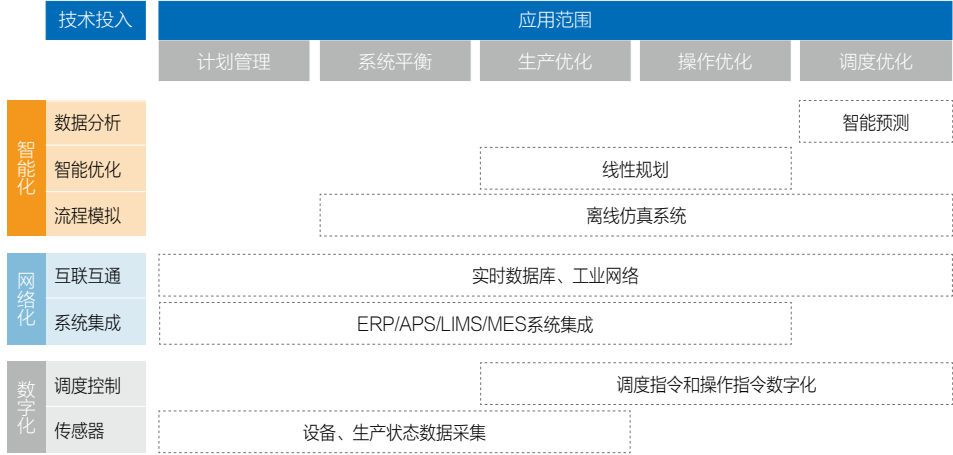


图3-4 生产调度智能制造实施要素

● 基础数字化

生产调度基础数字化建设主要通过传感器的新增或改造，实现设备、计量仪表、生产实时状态的数据采集。通过调度系统，将调度指令和操作指令数字化，为操作优化分析积累相关数据。

● 网络化互联

生产调度的网络化互联，首先实现实时数据库系统、生产控制系统、制造管理系统、设备管理系统之间的互联互通，进而实现生产过程数据与生产计划数据、设备状态数据，原材料数据、生产执行数据的有机集成。

● 智能化应用

调度的智能化要综合全面考量生产计划、设备检修周期、检修节点及产品价格，结合产品利润最大化和设备运行状态最优化得出最优的调度策略。智能化调度基于统一的工厂模型，实现调度指令、生产监控、物料平衡、统计分析的无缝衔接与闭环管理。调度的模式由传统的人工驱动提升为基于系统规则的自动化驱动，实现标准业务流程的自动化与实时化，提升企业生产管理协同水平。

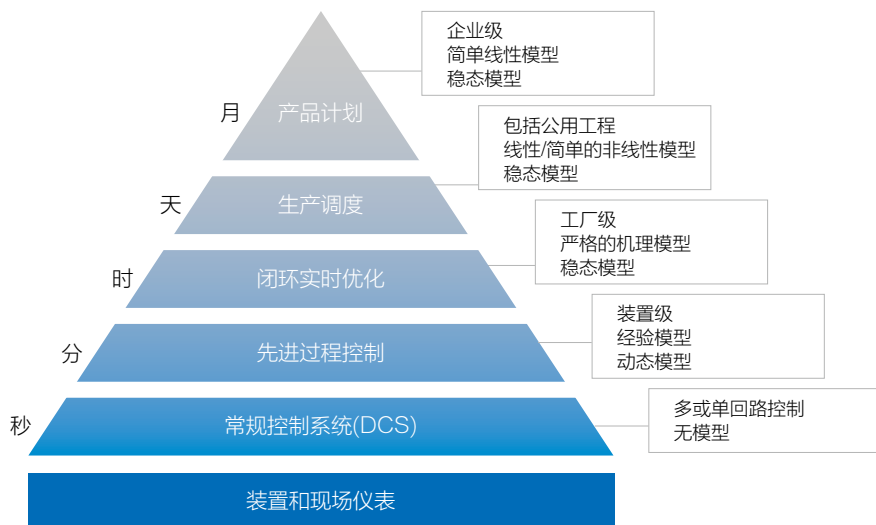


图3-5 生产调度智能化功能

（3）应用效果及成效

智能化生产调度可以提高生产计划的准确性，促进企业资源的优化配置；通过优化生产计划可最大限度地提高原材料采购的合理性，优化原料组合，降低采购成本；通过设置合理的生产操作条件，能够最大限度提升设备综合利用率；此外，通过生产调度的执行，还可以及时发现企业生产瓶颈和制约因素，不断优化生产过程，实现生产效率的最大化。

3.1.4 物料平衡

（1）需求分析

在流程行业生产过程中，原料、半成品、成品始终处于流动状态，整个企业的物流过程呈“网状”结构。从原材料入厂到成品出厂的整个过程，各阶段物料的具体构成都是动态变化的。流程行业的物料平衡能够合理解决废气废水废渣排放问题，或者数据仪表测量不准确带来的原材料计量值和产品计量值之间存在差异的问题。通常采用物料移动模型，实现物

料实时跟踪，使得管理人员能更为准确地了解生产过程实际的真实状态，提高生产效率。

(2) 实施要素

为了实现智能化的物料平衡，可结合生产仪表、流量、液位、罐容等实时生产数据、以及厂区、装置、管线模型等方面构建数字化基础。搭建企业资源管理、仓储管理、生产管理等系统集成的网络架构，实现生产过程的流程模拟、物料平衡的数据分析等智能化功能。物料平衡的应用范围包含了从计量管理、罐区管理、仓储管理、进出场管理和物料平衡管理的全过程，能够快速准确的实现物料平衡计算，实现日平衡、旬结算的管理目标。



图3-6 物料平衡智能制造实施要素

● 基础数字化

物料平衡基础数字化建设主要包括工厂模型的建立与完善和生产过程的实时数据采集。工厂模型包括管线、装置、厂区范围的建模，生产过程实时数据采集包含实现传感器在生产仪表、流量、液位、罐容及地磅等数据的实时采集，为物料平衡计算提供数据基础。

- 网络化互联

物料平衡网络化互联包含互联互通架构建设和系统集成建设。通过实时数据库整合不同控制系统数据，为信息化系统提供数据源，实现生产数据与物料信息、库存信息及生产执行信息的集成。

- 智能化应用

物料平衡智能化应用主要是通过物料信息自动采集分析，实现物料移动数据的自动解析，按照规则和模型，实现移动组数据的自动平衡，达到企业的区域、工厂、子公司三级物料统计平衡。

（3）应用效果及成效

物料平衡的智能化建设，可以为生产经营提供科学的决策依据，规范企业生产业务管理流程，优化资源利用，降低物耗，提高企业生产管理的精细化水平，增强企业盈利能力和核心竞争力；可以促进工艺系统稳定运行，物料流程平衡顺畅；能大幅提高设备利用率和企业生产效率；可以为工艺控制提供精准工艺调度指令，满足设计工艺参数和设计工艺条件，达到最佳产品质量。可增加物料流转率，降低库存率，减少因物料失衡造成的非计划停车，从而实现节能降本。

3.1.5 设备运维

（1）需求分析

随着生产设备日益集约化和复杂化，设备运维在流程型企业生产中的作用越来越大。同时，与设备有关的费用在产品成本中的比重也越来越大。流程行业设备运维主要具有以下特点：

- 设备内物流和化学反应多，可能出现堵塞、沉淀、腐蚀等异常，产生设备故障，进而影响生产进度。
- 生产过程中某一最薄弱环节设备的产能、稳定性、质量、故障停机等指标直接影响生产能力的上限。

- 一旦局部停机导致全流程停机，停机经济损失严重。流程型企业非计划停机会造成严重经济损失，这些损失主要由丢失的产量、材料、能源以及人工浪费构成。
- 生产运行中无法停机排除故障隐患。流程型企业设备运行中，一些微小故障即使被发现，只要此故障隐患不会造成质量下降、成本升高、安全事故发生等严重后果，就允许设备“带病工作”。
- 设备的运维成本占生产运行成本的比例很高，资金和人员投入较大。

(2) 实施要素

为了实现智能化的设备运维，可结合设备的电流、震动、温度等设备实时动态数据采集以及设备状态数据、故障类型数据和静态档案数据存储等方面构建数字化基础。搭建设备状态管理与企业资源管理、实验室管理、生产执行管理等系统集成的网络架构，实现设备的状态监测、远程运维、故障预测等智能化功能。设备运维的应用范围覆盖了供应商管理、特种设备管理、点检管理、状态监测管理、维护管理、检修管理、备品备件管理和报废管理等设备管理全生命周期过程。

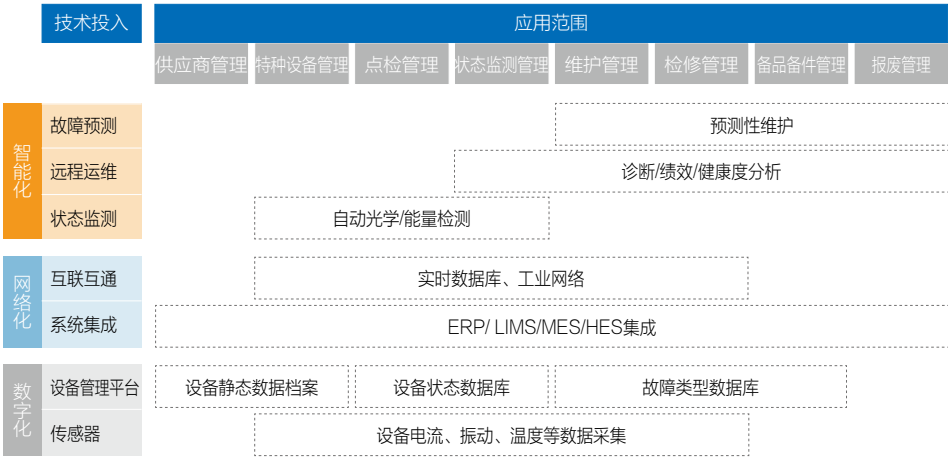


图3-7 设备运维智能制造实施要素

● 基础数字化

设备运维基础数字化主要包括生产设备的震动、温度、电流等实时状态数据的采集和设备静态数据档案和故障类型数据的管理，能够实现设备运维管理数字化。

设备静态数据档案需针对设备基础管理进行数字化升级，包括对供应商信息、设备出厂信息、属性信息以及类别等信息的数字化管理。设备状态数据管理要求设备点检数据实现自动上传、过程自动化仪表数据自动采集、在线监测数据自动上传等功能支持。设备故障管理数字化，需要建立缺陷标准库、故障标准库以及重要动态设备物理特性机理模型。

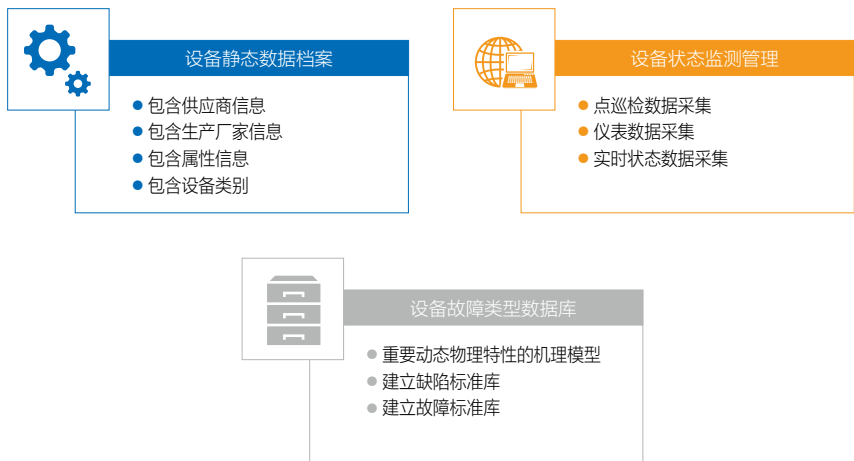


图3-8 设备运维基础数字化

● 网络化互联

设备运维的网络化互联，首先实现实时数据库系统、企业资源管理系统、实验室管理系统、生产制造执行系统、安全环保管理系统之间的互联互通，进而实现设备状态实时数据与设备基础数据、备品备件数据，生产执行数据、危险设备运行数据的集成。

实现设备管理网络化互联可通过物联网等技术接入关键设备从而监测

相关的数据，将完整的运行参数信息库与工艺、质量等数据相耦合，建立融合各类动静状态数据、管理经验、专家知识、标准流程的设备远程运维管控平台。

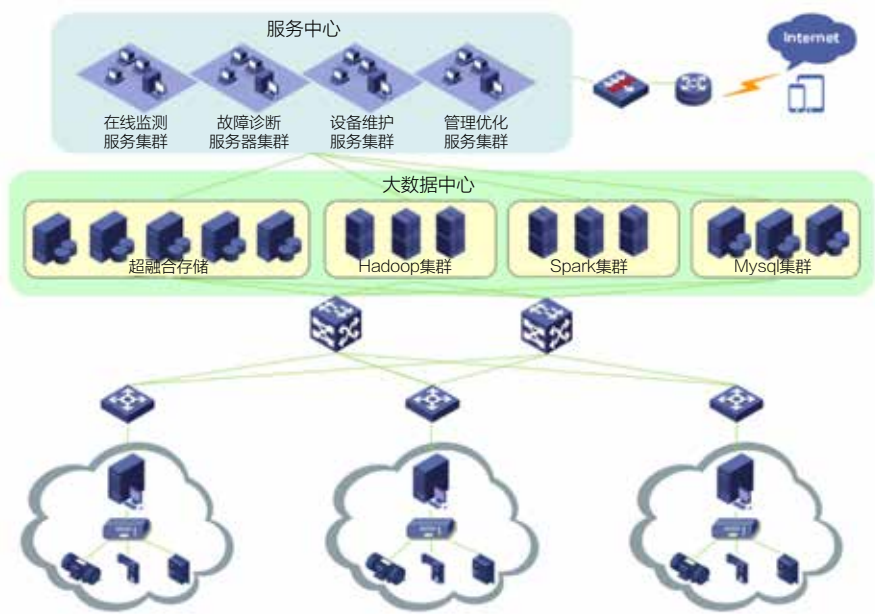


图3-9 流程型智能工厂设备运维网络架构

● 智能化应用

设备运维智能化的核心目标是实现预测性维护。在设备状态监测方面，企业除了利用现有传感器、控制系统和生产系统等系统中的数据外，还可通过新增点检、在线监测等方式，实现对动、静、电、仪等设备数据的全面感知与获取。数据平台通过集成各类智能算法，最终实现设备、生产线或工厂的设备故障预测，并对分析的结果进行展示与呈现。

目前设备建模主要有两种思路，一种基于机理辨别，对未知对象建立参数估计、进行阶次判定、时域分析、频域分析或者建立多变量系统、进行线性和非线性、随机或稳定的系统分析等，研究系统的内在规律和运行

机理；另一种则是基于AI相关的灰度建模思路，利用专家系统、决策树、基于主元分析的聚类算法、SVM和深度学习等深度学习相关方法，对数据进行分析 and 预测。当前来看，在故障诊断预测性维护领域，智能化程度仍处于起步阶段，诊断专家的人工分析仍是不可替代的。无论是智能分析还是人工分析，目的在于准确预测设备运行状态，实现对异常设备的预警和故障的精准定位，并通过预测技术实现设备寿命的滚动预测。

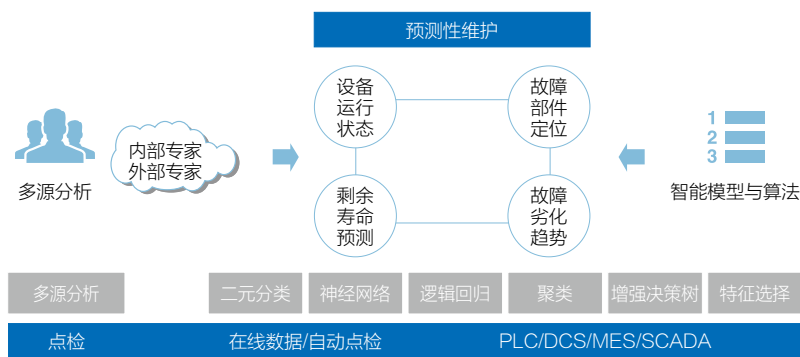


图3-10 设备运维智能化功能-预测性维护

设备运维智能化建设还可以利用多维多尺度数字孪生建模技术，进行数字双胞胎体系建设。通过采集物理模型、传感器、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多维度的仿真技术，实现虚拟空间映射。数字化建模技术系统的模型在功能结构上等价于真实的系统，可以反映出内在关系和外在表现，并且具有一致性。数字双胞胎采用图形化技术，通过图形、图表、动画等形式显示仿真对象的各种状态，使得仿真数据更加直观，丰富和详尽。

设备运维管理数字双胞胎一般具有以下几个功能特点：

- 可以通过三维数字化虚拟空间的数据访问接口，让企业不同层级人员在不同场景下随时随地获取装置、设备设施的工程设计、工艺、运行数据，提高数据可见性，实现信息的明化。

- 可以借助设备三维模型管理焊缝、检测点等部位的全生命周期业务数据，实现设备级管理向安全要素级管理的转变，让压力容器和压力管线管理回归安全本质。
- 可以借助设备三维模型进行设备培训，通过建立与现场机组完全一致的精细化模型，向设备人员、检修人员、操作人员提供直观、准确的认知培训和维修培训，并可进行实操模拟，提高管理、技术、操作人员业务水平和应变处置能力。
- 可以借助三维可视化虚拟场景，集成现场各种传感器数据，模拟人在现场巡检时的真实场景，解决大范围厂区、高危区域、恶劣天气下巡检难问题。



图3-11 设备运维智能化功能-数字孪生

（3）应用效果及成效

通过设备运维管理的应用，可以为企业带来很多价值，设备运维智能化可以增强工作计划性，加强企业执行力，能够合理配置部门结构和岗位，增加有效工作时间；可以降低设备故障率，确保生产稳定，提升设备

综合利用率；可以降低维修成本，减少备品备件库存，实现库存资金降低。

3.1.6 质量检验

（1）需求分析

产品质量是公司赖以生存和持续发展的根本因素。流程行业质量控制的关键环节是对生产过程的控制，而加强生产过程控制的有效手段之一就是提升质量检验的时效性和准确性。通过分析检验结果可以更好地了解产品现状、发展趋势、工艺缺陷以及应采取的工艺措施。质量检验为产品的加工、调和、销售、运输、贮藏提供依据。检验分析数据是高层领导正确决策的基础，也是进行产品质量管理控制的标尺。目前，流程企业质量检验主要存在以下问题：

- 原料取样的准确性问题。对流程型企业原料质量检验检测来说，首要环节是进行取样，取样的准确性会在很大程度上影响到原料质量检验检测效果。实际作业中，流程型企业原料取样中通常采取随机方式，而在该环节如果客观性不足的话，极易导致原料质量检验检测结果的准确度因取样准确性不足而无法保证。
- 检测方案和操作问题。首先，检测人员在质量检验检测中如果没有严格根据物质类别以及相关规范要求选择正确的方法，那么势必会导致其所测结果不准确。其次，在质量检验操作上，人员的操作熟练度、专业性等因素也会对结果的正确性造成影响。
- 实验室环境问题。环境质量检验检测工作对于实验环境有着严格的要求。通常在质量检测中，密闭性、温度、湿度等指标的变化都会造成实验结果偏差。
- 质量追溯问题。部分企业质量检验的方法是通过检验人员手工记录原始实验数据，数据容易存在一定的误差，实验结论受主观因

素影响较大。在质量追溯时，查验纸质原始资料费时费力，且存在效率低、劳动强度大、时效性差、结果误差大等问题，因此难于满足产品全性能检验、验收检验以及快速获取检验产品多角度汇总质量信息的要求。

(2) 实施要素

为了实现智能化的质量检验，可结合在线监测仪器、实验室仪器和质量建模等方面构建数字化基础，并搭建实验仪器与企业资源管理、实验室管理、生产执行等系统集成的网络架构，实现关键节点在线检测、质量数据智能分析等智能化功能。质量检验的应用范围包含了质量策划、过程管控、质量保证、质量改进的全过程，能够实现质量检验准确高效，进而指导生产进行优化。



图3-12 质量检验智能制造实施要素

● 基础数字化

质量检验基础数字化主要是通过在线监测仪表、实验室仪器等数据的采集和质量检测管理系统模型的建立，实现质量检测管理数字化。

● 网络化互联

质量检验的网络化互联，首先要实现实验室仪器、企业资源管理系

统、实验室管理系统、生产制造执行系统之间的互联互通，进而实现检验数据与原材料基础数据、供应商数据、实际生产过程数据的集成。

- 智能化应用

质量检测智能化应用主要包含提升智能检验设备、智能检验技术和建立质量分析系统。智能检测技术涉及物理学、电子学等多种学科。采用智能化检验设备和技术可以减少人员的干扰、减轻工作压力、提高结果的可靠性。质量技术分析系统依靠智能化质量检验设备传送的实时数据完成实时监控和质量分析。系统依据检验的原始数据和后台设定的检验标准自动计算结果，生成检验结论和检验报告。系统可以根据不同业务自动生成相应的分析报表和图形，可以根据统计分析结果，生成包括多层链接的图表，这些图表可以直接链接到产品的检验报告和检验原始记录，从而实现质量溯源。

（3）应用效果及成效

质量检测智能化可以通过对监测设备进行数字化改造，采集实时测量数据，为数字化平台的应用提供基础数据支撑；可以延伸监测数据溯本求源，可以追溯监测数据形成的每一个关键环节和过程，使每个监测结果都有据可查，增强监测数据的溯源性；可以提升检验工作质量，使技术监测更加科学，监测数据更加透明公正，监测过程更加高效规范，减少主客观影响因素，工作质量显著提升。可以降低监测过程安全风险；可以改善员工工作环境、降低劳动强度、提升工作效率。

3.1.7 能源管控

（1）需求分析

随着流程行业能源使用成本及消耗处理成本的日益增加，能源管控对流程性企业生产经营管理的影响也越来越大。持续有效的对能源实施管理和优化已经成为企业经营管理重点活动之一。当前，流程性企业能源消

耗主要具有以下特点：

- 企业作业区域分散，管道及流程复杂，过程能耗使用及过程损耗追踪困难。随着企业生产设备及设施的使用年限日益的增加以及隐性消耗的持续增加导致企业耗能成本日益增加。
- 随着国家节能减排管理要求的系统化和全面化，企业用能成本持续提升。
- 企业在厂区能源的平衡及计量、控制管理缺乏数据基础，内部能源转换后调度平衡及资源负载无法实现最优化调控，造成企业能耗成本控制困难。

所以，利用高科技信息技术作为平台，综合新技术、新工艺、配套技术和管理措施，减少消耗，形成安全、稳定、可靠、经济和高效的能源管理系统，对于降低企业生产成本、改善环境质量以及提高产品的市场竞争力具有极为重要的意义。

（2）实施要素

为了实现智能化的能源管理，可结合生产过程中的关键节点的流量、液位、压力、电耗等实时数据采集与能源消耗模型、能源监测数据库和异常数据库构建数字化基础，搭建能源管理与企业资源管理、实验室管理、生产执行管理等系统集成的网络架构，实现能耗监测、能耗分析和能耗预测等智能化功能。能源管理的应用范围包含了能源设计、入场管理、能源转化、计量管理、耗用管理、模型建设、调度与平衡、能源优化等全过程管理。

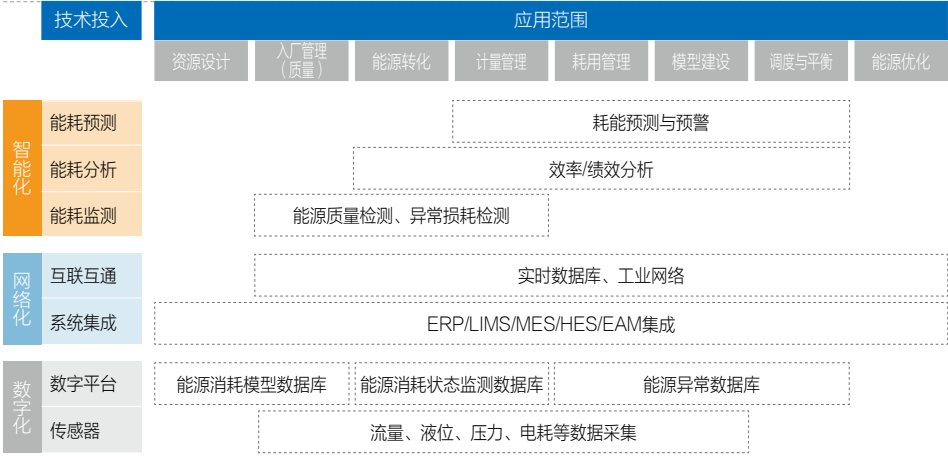


图3-13 能源管控智能制造实施要素

● 基础数字化

能源管理智基础数字化主要包括能源消耗等实时状态数据的采集和建立能源系统消耗数字化档案、建立消耗异常数据库、实现数据采集的数字化记录。

建立能源消耗数字化档案，需包含企业供配电系统、动力系统、给排水系统、环保系统、设备信息，实现对电力耗用、燃气、水汽、气体、环保排放得水、汽、渣等各种能耗介质及耗能设备及区域耗量进行数据关联并形成能源信息模型的数字化。

建立故障类型数据库以记录能源应用中事故、故障、历史偏差值、超限等事件关键值，实现对异常耗用故障类型、耗损的故障类型、排放数据故障类型、安全阈值数据的数字化。

实现能源运行数据的数字化记录，通过现场控制层及采集层单元实时采集现场各种模拟量、开关量、脉冲量及温度量、远程抄表等方式，进行工程转换、直采和电子录入，从而产生出可供应用的能耗数据的数字化。

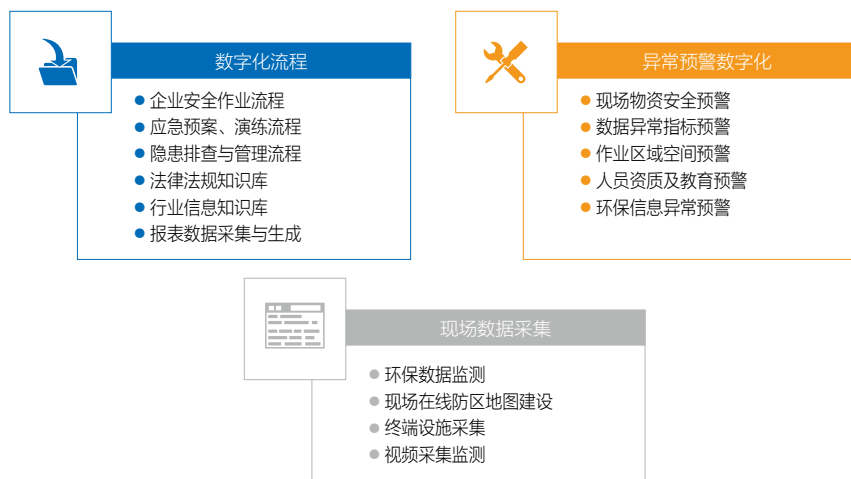


图3-14 能源管理基础数字化

● 网络化互联

能源管理的网络化互联，首先是实现实时数据库系统、企业资源管理系统、实验室管理系统、生产制造执行系统、安全环保管理系统之间的互联互通，进而实现能源消耗实时数据与设备状态数据、过程质量数据，原料采购数据、危险设备运行数据的集成。

能源管理系统通过各种智能和数值通讯终端，监测各能耗点的能耗数据和设备运行信息，实现了数据采集单元与各类过程控制系统的数据对接。能源的数据通过通讯管理机把监测终端监测到的各类能耗参数、动力环境数据采集后进行前置处理、数据转发（或规约转换、通讯管理、数据网关）等处理，在网关进行数据就地分析和存储，或将数据、分析结果汇总，通过有线或无线的方式，传输到服务器进行显示和后续分析加工。

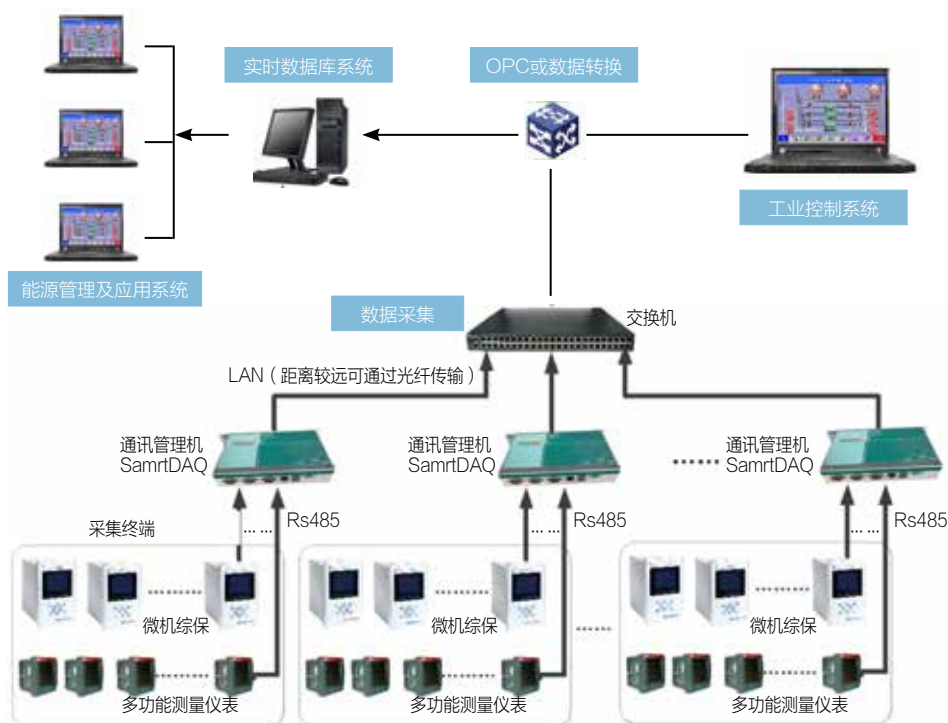
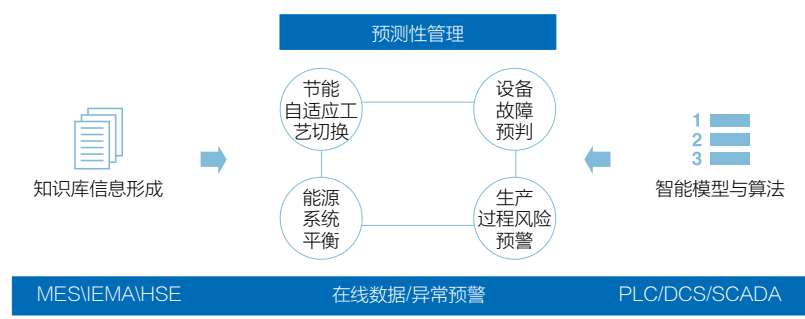


图3-15 流程型智能工厂能源运维网络架构

● 智能化应用

能源管理智能化的核心是通过对各类数据的有效利用，实现企业能源的动态化管理。能源数据是反映设备运转和车间生产状况的最真实有效的一个数据，企业可以通过数据建模和智能分析，用能耗数据来统计设备、线体运行时间、统计生产停机频率和停机时间，以分析设备的可用性；可以通过设备能耗数据来分析和评价工人工作量和工作效率；还可以应用数据分析技术和自动化技术，建立全厂能源优先生产模型，来指导生产设备运转，当订单交付不是很紧迫的情况下，自动切换到能源优先模型，以能源消耗最小化来安排生产。而当订单需要紧急交付时，再自动切换到订单优先模型，调整设备工作模式，保证能源安全、足量供应。

在日常生产活动的应用中，可以通过能源模型和预测分析，进行各环节的消耗核算和预测，形成基于均衡消耗的关联数据。这些系统数据，能够帮助实现能源消耗所关联的安全耗量管理、异常耗用预警及风险预警等功能。此外，可以通过数据的优化分析实现基于能源管理的数据异常对生产、设备、安全等系统提供预判协同。



（3）应用效果及成效

通过能源管理的智能化应用，可以为企业带来很多价值：可以通过能耗数据来统计运行时间、统计生产停机频率和停机时间，分析和评价设备及人员工作效率，帮助企业优化流程。可以通过实时计算设备的各项参数，对比设备运行过程中偏离目标值对能耗的影响，实现能耗使用的透明化，消除能源异常消耗，提高企业能源的经济运营能力；可以通过能耗数据的预警阈值控制，能够预测和监控系统消耗异常，降低安全及环保事故的发生率。

3.1.8 安全环保

（1）需求分析

随着流程行业生产管理和自动化水平的提高，企业对经营风险控制的要求愈来愈严苛。当前流程行业的安环管理主要具有以下特点：

- 流程行业生产环境复杂、管理体系庞大，安全管理落地与执行难度大，且容易产生安全漏洞。
- 对员工安全管理专业知识技能要求高。工业企业的安全工作人员，除了要深刻理解企业安全生产标准化规范外，还要非常熟悉区域安全要素以及设备本身的安全操作规程。
- 安全工作繁重，危险防护因素比较多。主要包括特种作业管理、危险作业审批、易燃易爆有毒有害物品管理、危化品管理、防火制度以及各生产岗位、大量各工种机械设备的安全巡检。

（2）实施要素

安全生产管理系统要求提供具有行业特征的基础素材，例如检查标准库、事故案例库、安全试题库、安全措施库、法律法规库等等。通过隐患排查治理、安全作业许可、应急演练管理、应急资源管理、应急预案管理、记录与报告管理等，实现企业日常监管、预警预测、应急救援，提高应急管理工作的高效化和规范化，并为应急救援指挥决策提供基础数据支撑。信息化建设依靠数据支撑。在获取应急救援、视频监控图像、采集现场图像、环境监测数据、气象监测等数据后，利用前端各类采集数据并结合数学模型，对事件的发展趋势以及影响范围进行分析，得出救援线路、逃生路线等方案。

为了实现智能化的安全环保管理，可结合生产过程中的有害气体、废气、固废等危险源的实时监测数据采集、预警信息、环保数据与安环流程方面打造数字化基础，搭建安全环保管理与企业资源管理、能源管理、设备管理、生产执行管理等系统集成的网络架构，实现安环监测、安环分析和风险预测等智能化功能。安全环保管理的应用范围包含了法律法规、隐患排查、预案管理、教育培训、应急指挥、调度协同、风险评估、救援管理等全过程管理。

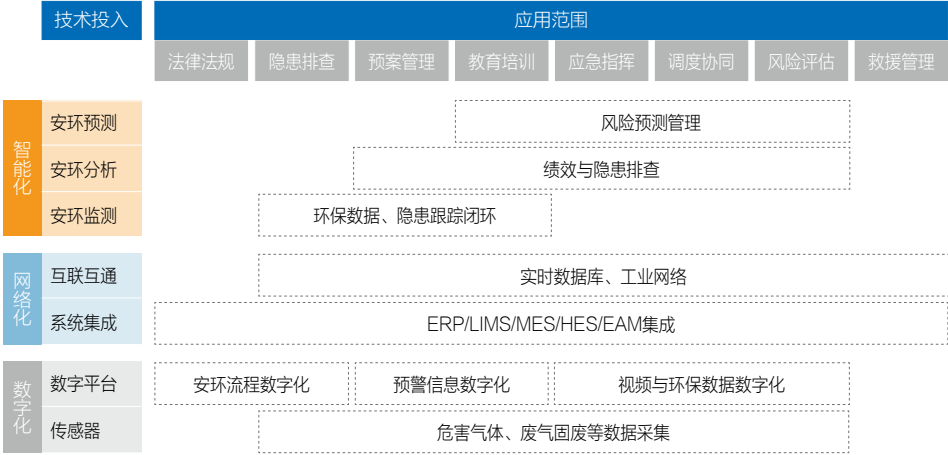


图3-17 安环管理智能制造实施要素

● 基础数字化

安全环保管理基础数字化主要包括有害气体、可燃气体、废气、废水、固废等危险环保源的监测数据采集和建立安环实施流程、建立安全预警数据库、视频与环保数据的数字化记录。

建立安环实施电子流程，将企业隐患排查治理、安全作业许可、应急演练管理、应急资源管理、应急预案管理、记录与报告管理等进行系统梳理与植入。其中，针对导入流程设定电子过程审批与记录，同时建立法律法规和行业信息库与流程进行互相检索，确保流程处于适用状态。

建立安全预警数据库，同步企业历史安全事故信息异常值，设定生产安全事故等预警指标，为预防管理提供数据支撑。

建立企业安环数据采集点，数据涉及人员管理、防区管理、环境检测、排放采集、气象检测等多维度信息，利用前端各类采集设施形成数据集。通过现场数采及各类知识法规知识库的建设、电子化的记录及检索预警，实现数字化EHS过程监控。

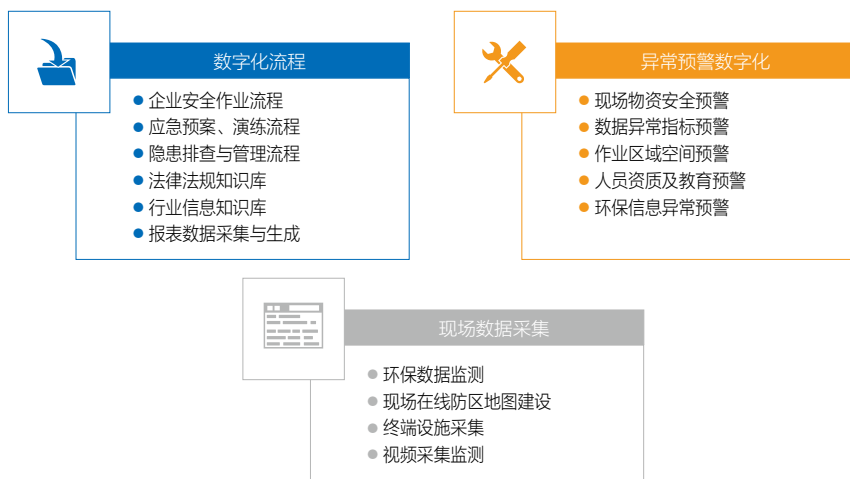


图3-18 EHS管理基础数字化

- 网络化互联

安全环保管理的网络化互联，首先是实现实时数据库系统、企业资源管理系统、生产制造执行系统、能源管理系统之间的互联互通，进而实现安全环保实时数据与设备状态数据、能源消耗数据，生产执行数据的有机集成。

将终端设施接入网络，采集设备的数据传到服务器或云平台，是网络化的基础。在实际场景中存在以下两种情况：一是有数据接口的智能化仪器仪表等，这种情况需要将设备数据传输到网关；二是部分无法直接提取数据的设备，可以通过安装传感器或进行智能化改造，增加通讯能力，基于有线或无线方式，将数据传输到网关。由网关进行数据就地分析和存储，或将数据、分析结果汇总，通过有线或无线的方式，传输到公有或私有云服务器进行显示和后续分析。通常在设备接入基础上，发展数据分析及云平台业务。



图3-19 流程型智能工厂安环网络架构

● 智能化应用

安环管理智能化的核心是基于安全管理的预警及预测管理，在充分利用现有信息的基础上，实现：

智能预警预测：通过管理系统实现现场数据信息化，自动记录管理范围内的数据、设备、人员等信息，实现现场资源透明化，同时利用数据集成对比，排查现场安全环境及控制区域内指标环境，针对异常数据趋势进行预警提报，现场异常实施预警干预。

危险区域告警：根据全厂不同区域的安全管理等级，规划、设置区域的危险点，实现危险点防控结合，达到风险的预先防控。

地理信息的联动应用：通过GIS地图、GPS定位等系统，构建现场作业告警功能，与工作票系统及检修工程管理模块集成，形成工作区域识别，识别作业流程的符合性，实现环境与流程一致。基于地理信息，通过人员定位管控、安全区域管理，人员状态管理，确保人的安全，通过车辆定位管理、路线管理实现物的安全，通过统一报警管理、应急管理与指挥联动、地理信息系统、疏散逃生指引等基于高精度定位的管控实现异常应急的快速处理。

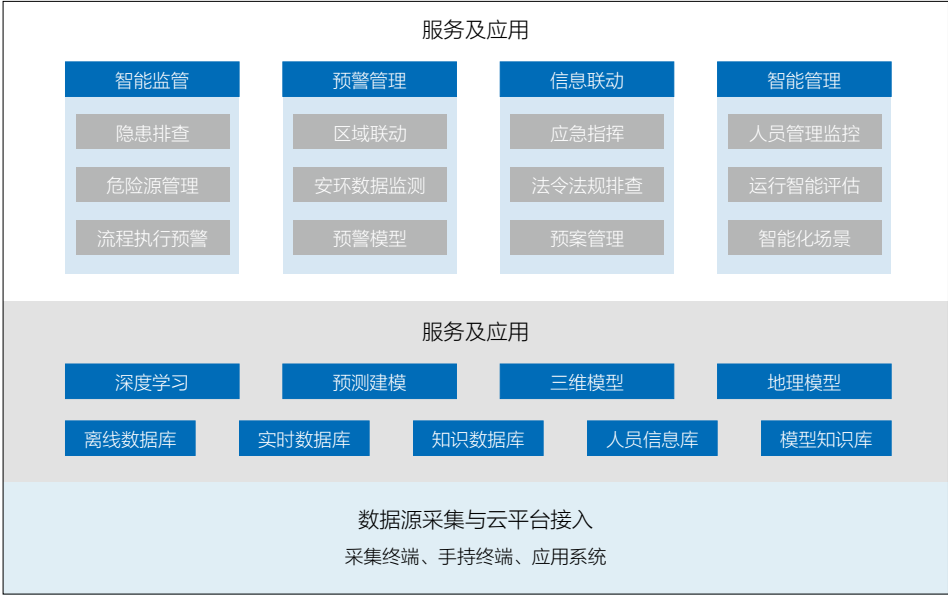


图3-20 安环管理智能化功能

（3）应用效果及成效

企业经营过程中，通过安环管理系统的智能化应用，可以为企业安全保障的同时进行提升管理的效益，可以提升过程执行效率、法律法规的有效遵循；事件自动提醒与督办，避免因安环事务繁杂，而产生的遗漏，同时系统自动生成所需的台账和报表，便于安环工作开展；建立企业自身的检查标准库，方便隐患排查的开展工作；消除安全隐患，安全管理从被动到主动，科学进行安环工作规划，实现事前的充分管控，事中的监控预警及快速应对，大幅降低企业安环管理成本及企业经营风险。

3.2 流程型智能制造新模式

3.2.1 新商业模式

流程行业商业模式的创新主要是通过智慧供应链、远程运维等新兴

业态来创造新的增值方式。企业的产业链信息集成及企业间协同研发网络体系，是企业从内部信息集成向外部供应商、经销商、用户信息集成的延伸，形成了以某一产业链为基本单位的智能化网络系统，实现产业链信息“可评价”。流程企业可通过生产，运输，维护等多环节的信息统计，更客观直接对供应商进行市场化评价。同时，产业链的信息集成，将形成产业层面的大数据平台。流程型制造业还可以与服务业、金融保险业等不同领域的大数据平台对接，共享数据资源，实现跨界经营与合作，创造全新商业模式。原始的流程行业设备运维是以制造用户为主，设备维修商辅助的模式。新的远程运维模式是在原有价值主体的基础上，加入了协同远程运维服务供应商，或是制造用户和设备提供商一同建立运维团队或公司，提供新的增值服务，从而创造出新的价值链和增值方式。

3.2.2 新运营模式

流程行业的相关企业在运营过程中不可避免的涉及到大量的资源、环境与安全等重要管理要素，同时在企业的运营过程中，受工艺原型设计影响，单位产量的提升尤为困难，而产能的最大化发挥与企业经营过程中的各项指标系统息息相关。流程行业通过信息融合管理、业务数据分析、智能优化排程等智能制造手段，实现对过程指标进行监控和管理，并进行实时的数据分析，形成改善的对策和方向，企业可以从中找到生产要素的最佳投入比例，实现研产供销、经营管理、生产控制、业务与财务全流程的无缝衔接和业务协同，促进业务流程、决策流程、运营流程的整合、重组和优化，推动企业管理从金字塔静态管理组织向扁平化动态管理组织转变，形成新的运营管理体系。

3.2.3 新生产模式

智能制造推进过程中会涉及到工艺优化、智能控制等一系列活动。

各大生产企业广泛地建设生产指挥中心，对生产信息、设备运行、能源消耗、原料和产品品质变化等内容进行全面分析，并基于智能化的数据挖掘和预测模型支持决策，实现工艺最优参数设定、最佳调度计划与最优配方。工艺最优的同时，通过能源计划和指标分解，建立贯穿各个运行点的节能调度目标并跟踪监控；针对生产加工方案的变化，实时调整能源管网产耗，保证供给，优化能源运行；通过能源评价，建立与行业先进水平的对标，分析最佳实践，指导改进。通过装置在线优化，自适应更新关键工艺参数的设定值，实现装置实时优化运行；加强操作过程的规范管理、即时预警、自动化控制，保障人身安全；根据产品、原料价格等变化及时作出相应的生产调整，保证装置的总体经济效益最大。上述所有基于工艺、控制、调度、质检、能源等方面的智能优化构成了新的生产模式。

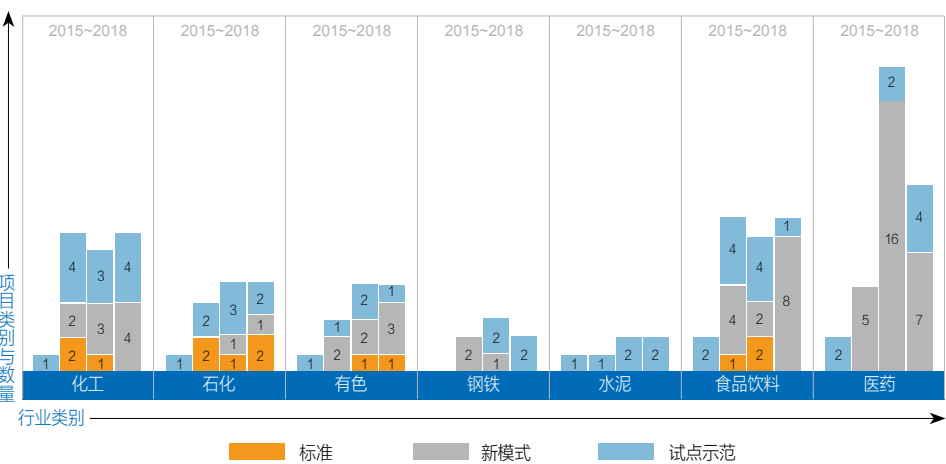
3.2.4 新设备运维，资产管理模式

流程行业设备需要24小时不停机运行。设备的安全、可靠、平稳和高效运行是保障流程行业正常高效运行的基础，智能制造赋予设备运维和资产管理新的内涵，基于智能制造体系下的设备管理平台，帮助企业构建完整的设备管理体系；基于数字孪生、增强现实、远程运维、故障诊断等技术，实现设备资产管理数字化和设备运维平台化。例如通过数字孪生技术和AR技术，设备维修时现场工程师可以佩戴AR眼镜，通过第一人称摄像头，将数据实时传送到远程专家，远程专家给出的指导信息以AR的方式显示给现场工程师，指导工程师完成操作。节约了专家到现场的成成本，降低高技术工作对现场人员的依赖。同时，通过后台模型诊断及专家人工判断，极大发挥了设备预测维护专家的经验，能够一对多的服务多个流程工业，相同类型设备故障类型收集及分析更深化了故障库及故障处理效率，设备运维和资产管理将更加高效和准确。

四、流程型智能制造发展现状

近年来，我国先后出台了《智能制造发展规划(2016-2020)》、《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》等重大战略文件，为流程型智能制造发展提供了有力的政策支持。

2015年至2018年，国家级智能制造试点示范项目、智能制造综合标准化与新模式项目覆盖了如化工、石化、有色、钢铁、水泥、食品饮料和医药等典型流程行业，项目的分类统计如图4-1所示。



数据来源：2015-2018年智能制造综合标准化与新模式应用项目、智能制造试点示范项目

图4-1 2015~2018年度国家级流程型智能制造项目分类统计

流程型制造企业经过近年的智能制造提升，在化工、石化、有色、钢铁、食品饮料、医药等行业形成了一批示范性智能工厂，例如稀土冶炼智能工厂试点示范、氟化工智能工厂试点示范、石化智能工厂试点示范、铜冶炼智能工程试点示范、钢铁热轧智能车间试点示范、水泥智能工厂试点示范、乳制品智能工厂试点示范、现代中药智能制造试点示范等，尤其在

化工、石化、钢铁、医药行业的试点示范项目数量较多，标杆作用明显，起到了显著的行业带动作用。

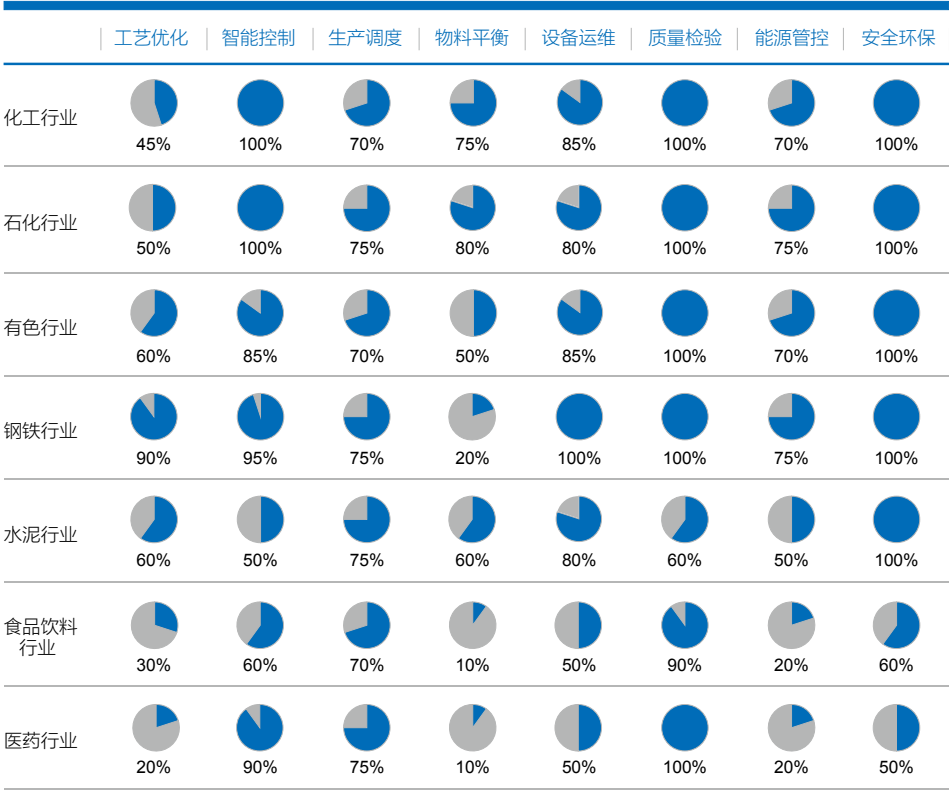
对于智能制造综合标准化项目，流程行业总体承担的数量不多。其中，石化行业相对其他流程行业在智能制造标准方面投入更多。通过及时总结九江石化、茂名石化等标杆企业的成熟经验，形成了本行业的相关标准并依托试验验证平台进行了相应的标准验证和推广。随着各流程行业智能制造成熟经验的固化和对标准的日益重视，将会有越来越多的流程行业建立自己的智能制造标准体系并形成适合本行业发展的行业标准。

除上述国家级项目外，在典型流程行业中仍然有大量由企业发起的智能制造相关项目，从每个行业所选取的十余家典型企业或相关项目的调查样本上来看，受访企业针对工艺优化设计、智能控制、计划调度、物料准备和平衡、设备运维、质量检验、能源管控、安全环保等核心问题均有相关智能制造投入。其中受访企业或项目在智能制造投入方向占比（占比=该行业在某方面存在智能制造投入的受访企业数/该行业受访企业总数）如图4-2所示。

关于工艺优化，在受访的钢铁行业的受访企业或项目中，有90%表示在该方面的智能制造探索有投入，特别是对一些高炉、轧辊补油等工艺的优化升级。对食品饮料行业来说，存在新产品工艺配方的过程，配方一旦确定后过程工艺参数较为固定。医药行业受严格控制，工艺参数不能随意改变。医药行业工艺优化主要集中在生产过程的优化，在确保质量前提下进行工艺优化，提高成品率和生产效率。

关于智能控制，石化、钢铁、医药等行业由于基础自动化水平较好，但是工艺生产系统多参数、多变量、变量间相互干扰大，因此对先进控制和闭环的实时优化的需求和投入较大。

关于生产调度，以石化行业为代表的流程行业，由于产品种类繁多，需建立大规模敏捷生产体系满足其生产调度要求，因此在该方面投入较



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-2 受访流程企业或项目智能制造投入方向的统计

多。其他行业在根据计划进行生产调度方面投入也较多，主要投入在专业的工业软件、数据分析平台等方面。

关于物料平衡，作为精细化管理的基础，在该方面投入较多的有化工和石化等行业。投入方向主要涉及装置、工艺的建模以及数据分析平台等，相比之下食品饮料行业和医药行业在该方面需求较少。

关于设备运维，以钢铁行业为典型代表的设备重资产型流程行业，由于设备内物理和化学反应多，会出现堵塞，沉淀，腐蚀造成设备故障，设备局部停机导致全流程停机，从而造成经济损失，因此这类流程行业会普遍关注设备运维的智能化水平。投入的方向主要集中在建设设备机理模

型、设备数据互联、故障预测、远程运维等方面。

关于质量检验，流程行业对于质量检验普遍关注，均注重来料、过程、成品的质量检验智能化，特别是对于质量的全生命周期管理和全流程追溯。

关于能源管控，化工、石化、有色、钢铁等高能耗行业对于能源管控的投入力度较大，主要体现在能源监控、能源管理方面的智能化。

关于安全环保，在化工、石化、有色等行业中，由于生产过程涉及较多化工材料、容器溶液、高温高压等危险防护因素，因此企业的安环管理至关重要。这类流程行业更加期望借助智能化手段提升传统安全和环保的响应速度和等级。

4.1 流程行业智能制造需求分析

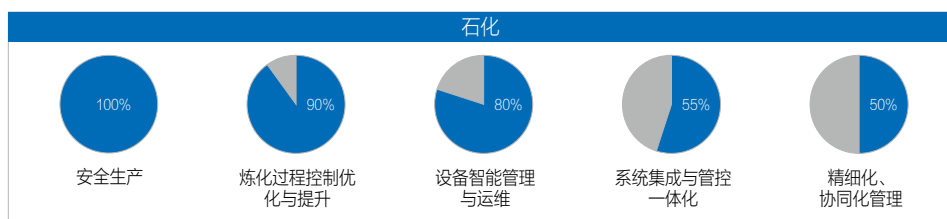
4.1.1 化工和石化行业

化学工业和石油工业是国民经济的重要支柱产业，经济总量大，产业关联度高，与经济发展、人民生活和国防军工密切相关，在我国工业经济体系中占有重要地位。当前石化行业正处在调结构、促转型和智能制造技术应用的关键交汇期，大力推动行业智能制造水平，全面提升行业发展质量和经济效益，是今后一段时期行业发展的重点工作和主要任务。

以石化行业为典型代表，九江石化、茂名石化等试点示范企业形成了可推广的智能工厂应用框架和建设模板，成为流程型行业特别是石化行业智能化改造的样本。构建了智能化联动系统、建立炼化环节生产管控中心、构建了协同一体化管控模式，在石化、轮胎、化肥、煤化工、氯碱、氟化工等行业取得了良好的示范效应。从目前情况看，在新建和改造升级中的大型石化企业已不再仅是基础自动化升级，更多的是管控一体化投入。如石化行业通过统一编制智能工厂的总体规划，统一组织系统开发和

试点建设，借助先进的项目及技术管理经验，避免重复开发、资源浪费现象；在煤化工行业，如山西潞安煤基清洁能源公司，通过对设备运行状态及生产全流程数据的自动采集，依托生产业务模型和专家经验建成生产执行平台，实现生产管理在线控制、生产工艺在线优化、产品质量在线控制、设备运行在线监控，安环管理在线可控的智能化管理；在氯碱化工行业，如宜宾天原集团，通过运用智能化、信息化手段及互联网思维，构建生产控制、制造管理、经营管理三位一体化的协同管控模式，实现整个生产运营过程的数字化管控与信息化系统集成，打造绿色、高效、安全和可持续的新型现代化的智能制造工厂。

经调研统计，受访石化行业关注的智能制造重点方向如下图所示：



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-3 石化行业关注的智能制造重点方向

其中，石化行业最为关注的内容有：

安全生产：主要业务包括生产操作、工艺管理、质量管理、能源管理、计量管理、调度管理、计划管理等，由于生产过程高温高压以及原料和产品属于危险化学品的行业特性，石油化工领域对于安全事故的控制极为严格。引入或升级智能化的安全系统是智能化改造过程中尤其重要的一环。石化企业正在尝试利用物联网技术和地理信息等技术，实现安环风险实时监控，保障工厂安全。夯实自动化基础，提高在线分析仪、自动数采能力，覆盖控制、工艺、危化品、环保、管线等重点单项管理，实现向上和向下延伸，向上打造新一代生产营运中心，向下强化过程控制和智能装

备，提升生产安全的信息化集约化监管。

炼化过程智能优化与提升：在石化行业项目中，大部分企业正在逐步完善生产管控中心。生产管控中心集生产运行、全流程优化、环保监测、DCS控制、视频监控等多个信息系统于一体，对整个炼化过程进行智能优化与提升。同时还能优化生产经营计划在线高效编制及动态跟踪滚动调整，提升全流程优化能力，支撑协同，实现采购、生产、物流的协同，解决生产运营各环节的上下贯通、集中集成、信息共享、协同决策，提高企业生产运营过程的全面监控、全程跟踪、深入分析和持续优化能力。

设备智能管理与运维：业务范围涉及设备前期管理、运行管理、维修管理、专业管理、综合管理和技改技措及报废更新管理等设备全生命周期业务管理。炼油化工设备的安全、稳定、长周期运行是石化工厂的基本保障。石化企业希望结合本行业工艺特点建立石化装置维保体系，腐蚀预测与控制、实时评估设备运行的状态和异常影响。同时将状态监测、绿色制造、人工智能、物联网等新技术、新工具应用在石化设备检维修工作中，努力实现设备管理与运维的智能化，并进行设备运营期间监测、预警、腐蚀、保障、检维修方面的专项管理，融合设备资产设计、采购、安装、生产、检维修、安全等工厂全生命周期的动静态数据，强化设备全生命周期管理和感知能力。

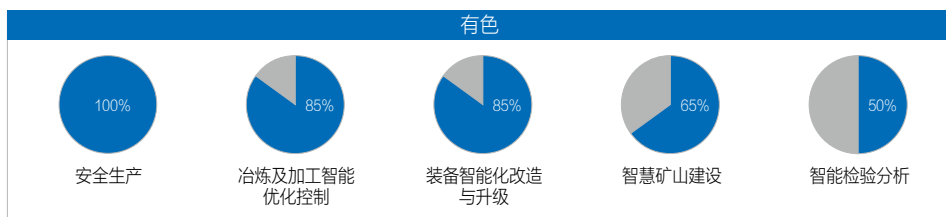
4.1.2 有色行业

有色金属工业是制造业的重要基础产业之一，是实现制造强国的重要支撑。有色金属上游产业链包括有色金属采选业以及电力和煤炭等辅助产业；中游为有色金属冶炼及加工业；下游涉及到国民经济各个领域，主要有房地产、汽车、电力、家电、交通运输、军工等领域。不同的有色金属品种，由于具有不同的物理化学属性和不同的用途，其产业链也具有各自不同的特点。

《有色金属工业发展规划（2016—2020年）》指出，有色行业的主要目标之一是在线监测、生产过程智能优化、模拟仿真等应用基本普及，选冶、加工环节关键工艺数控化率超过80%，实现综合集成企业比例从当前的12%提升到20%，实现管控集成的企业比例从当前的13%提升到18%，实现产供销集成的企业比例从当前的16%提升到22%，建成若干家智能制造示范工厂。

因此，有色行业的智能制造需围绕感知、通信、控制、设计、决策、执行等关键环节，开展生产装备、调度控制等核心系统与物联网、模式识别、预测维护、机器学习、云平台等新一代信息技术的深度融合与集成创新，加快三维采矿设计软件、生产调度与控制、智能优化系统等技术研发应用，推动信息物理系统关键技术研发，全面提升研发、生产、管理、营销和服务全流程智能化水平，提高劳动生产率和降低成本。

虽然有色行业整体发展平稳，但其智能化进程仍存在一些亟待解决的需求和问题，如图4-4所示。



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-4 有色行业关注的智能制造重点方向

其中，有色行业最为关心的几大方面的内容如下：

安全生产：与石化行业类似，有色行业对于安全生产的重视程度也十分高。因此，通过引入或升级智能化的安全系统是智能化改造过程中尤其重要的一环。

冶炼及加工智能优化控制：有色行业企业关注如何利用新一代信息技

术，实现冶炼及加工智能优化控制。如氧化铝全流程智能优化控制技术，电解铝全厂自动化、智能化、信息化控制管理技术，重金属富氧强化冶炼控制系统，湿法冶金优化控制技术，电冶金过程分时供电负荷优化控制技术。高性能有色金属板材轧制数字化控制成型技术，铝卷材自动跟踪定位识别技术，铝板带高架智能仓库管理系统，大型立式淬火炉温度场智能解耦控制技术，大型高性能整体构件关键热加工装备控制技术等。

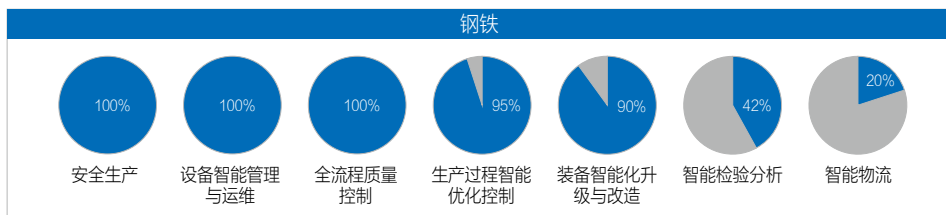
装备智能化改造与升级：如何通过引入先进的信息技术与设备，对有色加工中关键装备进行升级改造，也是有色行业智能化进程中的重要部分。主要装备涉及有热轧类、冷轧类、精整类、铸造铸轧、锯切铣面、工业炉、打包机以及环保设备等。

智慧矿山建设：如矿山静态及动态信息的数据集成与融合技术；矿、山智能化调度与控制技术、地质排产一体化信息系统、开采装备可视化表征技术等；深井提升系统智能控制、按需通风优化控制技术，井下矿石破碎、运输自动化控制与优化调度；采选主体装备智能作业与网络化管控技术；基于大数据的采选智能分析与优化决策技术；基于计算流体力学和离散单元法的选矿设备建模技术，磨矿分级专家系统；矿山的远程无人值守、智慧值守技术等。

4.1.3 钢铁行业

钢铁行业作为国民经济的重要基础产业，支撑着国民经济的快速发展。钢铁行业在度过了三年的全面亏损“冰冻期”后，2018年全面进入了多项盈利模式。根据国家发改委网站日前发布的2018年行业利润数据，钢铁行业去年全年实现利润4704亿元，比上年增长39.3%。此外，2018年1-12月，中钢协会会员企业实现工业总产值3.46万亿元，同比增长14.67%；实现销售收入4.11万亿元，同比增长13.04%；盈利2862.72亿元，同比大幅增长41.12%；资产负债率65.02%，同比下降2.63个百分点。由此可见，钢

铁行业市场需求旺盛。特别是钢铁行业旧厂搬迁改造情况比较突出，通过去旧换新使钢铁企业在自动化、数字化、智能化方面需求旺盛。



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-5 钢铁行业关注的智能制造重点方向

其中，钢铁行业最为关心的内容如下：

设备智能管理与运维：钢铁企业尝试搭建设备远程智能运维平台。例如对热轧产线相关的关键设备状态监控，通过构建在线采集系统与离线分析系统相结合、状态监控与预测诊断相结合的预测性维护体系，降低点检人工负荷，并基于设备状态的智能掌控和历史大数据经验，通过智能模型规则，智能匹配维修计划、维修项目、维修解决方案，形成从设备状态智能掌控到设备维修智能支持的全流程功能闭环，提高人员、设备管理效率。同时也便于探索设备状态与工艺质量、生产控制、能源环保之间的关系，通过数据积累分析为整体制造过程的优化打下基础。

全流程质量控制：钢铁行业生产流程较长，过程中各类工艺质量控制复杂，需要结合一些无损检测的技术手段，同时涉及全流程诸多类型的工艺参数采集、整理和处理工作，并建立相应的质量控制模型对全流程质量进行把控。

生产过程智能优化控制：钢铁制造过程工艺相对固定，核心设备的工艺精度和控制的稳定性一直是钢铁企业关心的核心问题，一般结合工艺模型和算法，通过专用的控制软件和执行机构进行智能优化控制过程，例如加热炉的燃烧控制优化、热轧产线工艺参数优化等，均能明显够提高生产

效率、降低能耗。同时钢铁企业尝试每台设备连接到生产流程采用数字化生产管控中心，不再局限于单一的生产，而是一个数字化的操作集成，更急需系统性的专家系统和模型库的建立。

装备智能化升级与改造：钢铁制造过程涉及的装备种类多且工艺复杂。对钢铁生产流程中关键装备进行升级改造，能够集中地提升某个工艺环节的效率，降低相应的成本。改造过程会结合诸多工艺技术例如煤气透平与电动机同轴驱动的高炉鼓风能量回收技术、基于标准兆瓦级透平热电联供机组的低品位余热发电技术、高效油液离心分离技术、工业锅炉通用智能优化控制技术等。

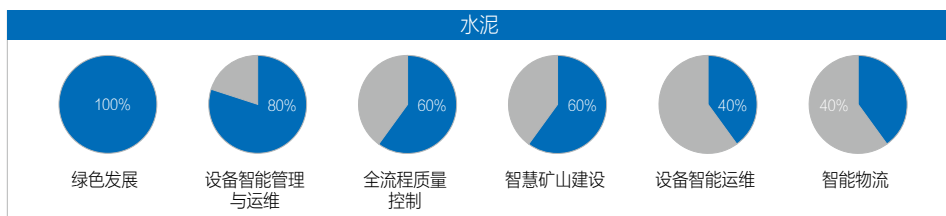
4.1.4 水泥行业

水泥工业是国民经济发展的**重要基础产业**，广泛应用于土木建筑、水利、国防等工程，为改善人民生活，促进国家经济建设和国防安全起到了重要作用。2006年以来我国水泥行业发展迅速，新型干法熟料产能持续扩张，供给增速持续攀升，并于2010年达到高点至31%。目前，我国的水泥产品主要有通用水泥、专用水泥以及特性水泥。水泥行业的产业链，包括材料供应商、设备供应商、产品以及应用领域。水泥行业的上游产业主要是石灰石、泥灰岩、黏土、石膏等材料；下游应用主要在基础设施建设、建筑工程、水利、装修等领域。作为国民经济的重要基础产业，水泥工业已经成为国民经济社会发展水平和综合实力的重要标志。随着我国经济的高速发展，水泥在国民经济中的作用越来越大。自1985年起我国水泥产量已连续20多年位居世界第一位。

水泥是重要的**基建原材料**，是国民经济的支柱和基础产业，也是我国供给侧结构性改革的重要行业领域。但我国水泥行业总体效能较低、自动化和智能化水平不高、能源和环保问题突出、效益不佳，水泥行业的发展目前正处于新旧动能更迭的关键阶段，自动化、智能化和信息化水平参差

不齐，亟需采用融合工艺机理的智能化和信息化技术，推动生产、管理和营销模式从局部、粗放向全流程、精细化和绿色低碳发展方向变革，解决资源、能源与环境的约束问题，提高生产制造水平和效能，实现水泥行业“降成本、补短板”和跨越式发展。运用人工智能和信息网络等现代技术推动水泥工业生产、管理和营销模式的变革，正逐渐成为我国水泥工业高质量转型发展的重要任务。

通过受访企业的反馈，总结出水泥企业在智能化改造中关注的重点方向如下图所示。



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-6 水泥行业关注的智能制造重点方向

其中，水泥行业最为关心的几大方面的内容如下：

绿色发展：污染将是智能工厂解决的第一个问题。例如，目前水泥行业污染物治理的核心在于氮氧化物治理。从氮氧化物生成机理而言，窑内温度过高是重要原因，若能通过智能化手段将窑炉温度稳定控制，将可以从源头大幅度降低氮氧化物的生成，对于水泥厂实现超低排放甚至近零排放具有重要意义。另外，在氨逃逸方面，智能技术的应用也可以大幅度减少水泥厂氨水的用量。

设备智能管理与运维：主要面向设备的能耗管理方面，智能制造给水泥行业带来的帮助同样巨大。受访企业希望除了整个生产线设备的优化升级以外，还能有更稳定的生产工况，更集约化的智能管理模式，真正的实现水泥生产设备能耗的最大幅度降低。以专家控制系统为例，其可以根据

生产线烧成系统运行情况，依据大数据对用设备参数做适时调整。

全流程质量控制：质量管理也是水泥行业关注重点之一。水泥生产过程的流程性，表现为整个生产过程，从石灰石开采及与原燃材料进场开始，到产品发运出厂，全部采取全流程化和自动化封闭作业，基本实现生产过程的无人化，因此提高生产过程中质量控制的智能化是快速提高效益的有力手段，智能质量控制系统能够建立了集自动采样、样品传输、在线检验、自动化验和智能配料一体化管理平台，实现了对原燃材料、熟料和水泥各类物料的全程自动取样、化验和生产最佳配料，进一步提高了产品质量和稳定性。

智慧矿山建设：水泥行业对于矿山三维建模、中长期采矿计划、爆破、取样化验、采矿日计划、精细化配矿、GPS 车辆调度、卡车装载量量、混矿品位在线分析、配矿自动调整、生产管理、司机考核等矿山管理的需求较大，亟待实现三维采矿的智能设计、配矿质量在线分析、矿车调度优化管理、矿山生产立体化管控，从而解决水泥企业在矿山生产方面存在的配矿、监督和管理问题，提高矿山生产效率和安全保障。

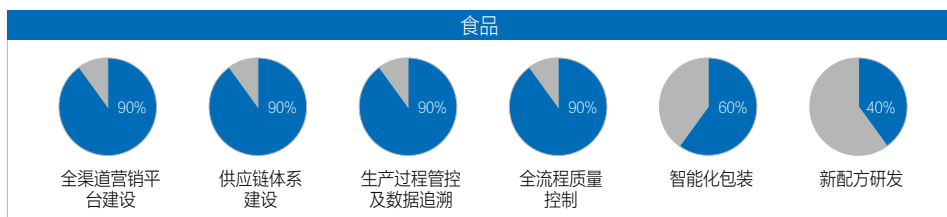
4.1.5 食品饮料行业

流程制造中涉及的食品行业以乳品、饮料行业为典型代表，工艺相对成熟，且兼有快消行业的属性，行业目前数字化水平较好，行业重视新的配方工艺研发，在新配方新工艺催生下投资会结合市场时机新建生产线，并部署智能化的系统和设备以满足新的制造要求，并依靠智能化的助力不断追求适配更高层次的食品安全标准。

行业生产过程包括原材料采购和运输、取样化验、原材料存储、杀菌、配料、混合搅拌等处理、包装和包材、成品仓储和分销配送等。食品饮料行业的智能制造建设中，投入主要集中于购置智能化的化验设备、杀菌设备、存储罐、生产线等生产装置或对原有装置上进行改造实现数据采

集和融合，通过建立 TTS、ERP、MES、SCADA、WMS、TMS、APS、SRM、SCM、CRM等信息化系统，实现食品行业全流程决策数据、业务数据、生产数据、能源数据的收集、融合、分析和优化。

经调研统计，食品行业重点关注的智能制造需求主要分为以下几个方面。受访食品行业关注的智能制造改造的重点内容如下图所示：



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-7 食品饮料行业关注的智能制造重点方向

其中，食品行业最为关心的几大方面的内容如下：

全渠道营销平台建设：对食品行业来说，营销战略引领着其发展路线。可以通过打造完整的渠道服务平台，建立完善的营销管理体系，做好全面的数据分析工作，来实现全渠道的营销战略。

供应链体系建设：食品行业可围绕标准化、智能化、协同化、绿色化的目标路线，以统一标准体系、统一物流服务、统一采购管理、统一信息采集、统一系统平台为主要手段，加快推动现代供应链体系建设，实现行业高质量发展。

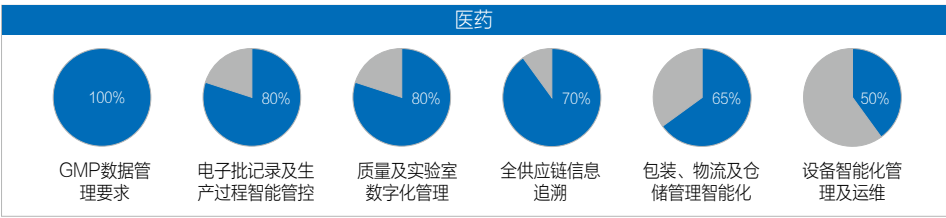
生产过程管控及数据追溯：食品行业具有产品种类和包装形式多、单品产量大、物流追踪链复杂的特点，因此实现生产过程管控及数据追溯是智能化进程中的重要一步。可通过建立产品全过程管控与追溯系统，实时采集原料、工艺、生产、物流等信息，建立完整的产品追溯体系。

4.1.6 医药行业

近年来，全国医药生产一直处于持续、稳定、快速的发展阶段。过去十年，我国医药工业总产值保持快速增长。

产业链上游的原料企业主要包括化学药的原料、中药材行业和生物原料，中游的制药企业主要生产化学原料药、化学制剂、中药、生物生化药，其支柱分为三大板块，即化学药、中药和生物生化板块。不同的制药方式对应不同类型的制造方式，比如，化学原料药一部分类似于精细化工的流程，而某些化学制剂方面，则离散度更高一些。

经调研统计，制药行业重点关注的智能制造需求如下图所示：



数据来源：流程行业智能制造调研

图4-8 医药行业关注的智能制造重点方向

其中，制药行业最为关心的几大方面的内容如下：

GMP数据管理要求：在新版GMP（即我国于2010年修订的《药品生产质量管理规范》）中，专门有一个章节阐述如何做到数据完整性的控制，以实现数据的准确性、一致性和完整性，防止不受控的人员篡改。制剂设备的自动化对外大部分是封闭的，往往既无法提供必要的重要质量参数和工艺条件参数的数据输出，更无法提供外部系统对设备进行统一协调和优化控制的指令输入条件；有些设备甚至还不具备完整的网络和数据通讯功能。无法达到相关数据可追溯和完整性要求。

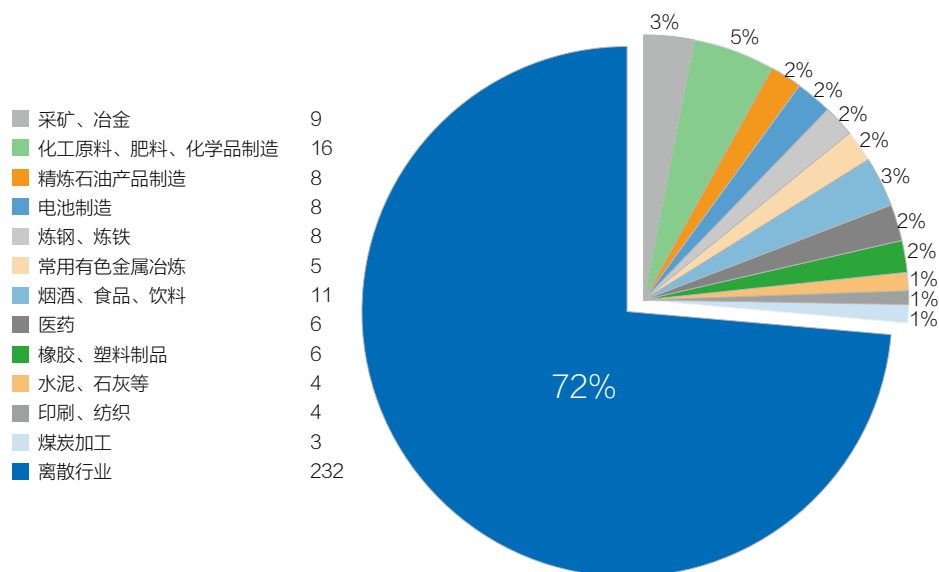
电子批记录及生产过程管控：与其他流程行业相比，医药行业在新技术的应用推广方面更为保守。由于行业的高严格性，很难在全流程实现

电子批记录。相同的原材料因产地不同、采收季节不同、生产工艺参数控制水平不同而导致产品质量稳定性差异。特别是中药的质量是其疗效的关键所在，产品质量的均一性、稳定性，依赖生产过程控制的稳定性。虽然目前也有一些企业在设备供应商和工程公司的配合下，开始对一些局部设备单元的通讯和数据采集以及局部批过程的控制进行探索，也有一些企业采用进口或国产的软件平台，在探索建立制剂生产的MES系统，但由于受现有制药设备的限制，实际上也只实现了部分的数据采集、采用条码或RFID和电子称重对物料和仓库的进行管控与追踪和实现部分电子化的记录与车间级的生产管理，但严格地说，还并未能实现制剂生产过程真正完整意义上的制造执行系统（MES）和自动化的批控制。

质量与实验室数字化管理：医药行业的质量管理是不容忽视的环节，如何将智能制造与质量管理结合是一重要需求。早在1986年，国家医药管理局就发布了医药行业质量管理若干规定。实验室数字化管理是为了助力药物研发及管理水平，如对实验数据采集和管理系统、试剂库存管理系统、LIMS、eCTD等应用。

4.2 流程行业智能制造解决方案供给能力分析

智能制造工程实施三年以来，顶层规划、试点示范、标准体系建设有效推进，全社会发展智能制造的氛围逐步形成。对于自动化水平较高的流程行业，智能制造解决方案的侧重点和市场情况较离散行业有较大区别。通过对320家智能制造解决方案供应商样本的主营业务的统计，得到如图4-9的供应商行业类型统计图。首先，从数量上来看，能够提供流程行业智能制造解决方案的供应商数量占总数的18%，另外72%的供应商均属于离散行业。其次，从行业分布上看，供应商涉及的行业有钢铁、有色、医药、化工、石油、电池、水泥、煤炭等多个行业，同时也存在能够为若干行业同时提供智能制造解决方案的供应商。



数据来源：中国智能制造系统解决方案供应商联盟

图4-9 受访解决方案供应商行业分类

4.2.1 流程行业智能制造解决方案概述

流程型智能制造解决方案往往包含设备层、控制层、车间层、企业层、协同层的一系列智能化提升，供应商提供的解决方案可以面向某个层面的单独展开，也可以是若干层面的有机组合或是智能工厂的整体解决方案，具体情况一般由流程型制造企业的具体需求决定。

针对流程行业的智能制造解决方案大致可以分为以下几个类型：

（1）成套装备交付及装备智能化、无人化提升

设备层面解决方案供应商主要提供成套设备和装备的智能化和无人化，前者以总包商企业为主，在流程行业处于领先地位，具备设备及软件研发、智能装备成套供应能力及全生命周期管理能力。代表企业有：中国石化工程建设有限公司、中国核电工程有限公司、武汉钢铁集团自动化公司等，上述企业一般具有某行业的成套设备的交付能力，并能够根据客户的需求定制开发相应的成套设备。

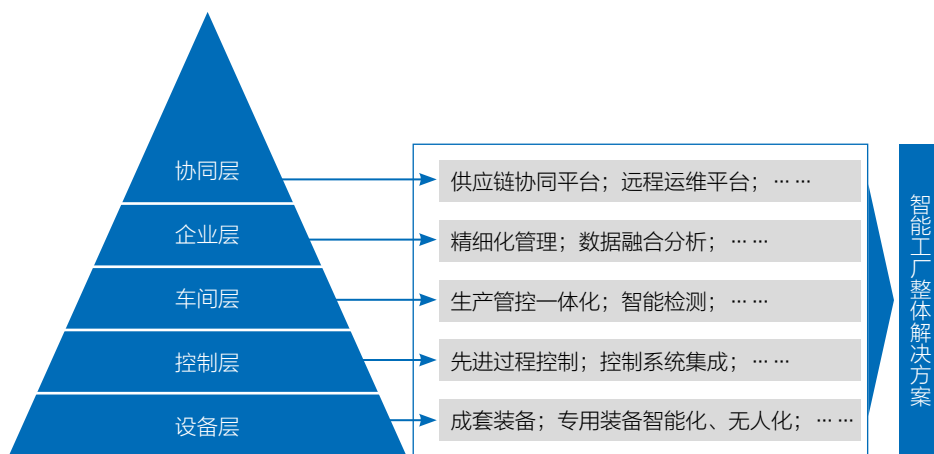


图4-10 流程型智能制造解决方案分类

装备的智能化和无人化主要面向某些流程型制造场景，基于核心工艺过程对现有装备进行智能化和无人化方面的提升，例如中国宝武钢铁集团部署的轧辊自动补油机器人，在补油区的轧辊由轧辊自动补油机器人完成自动补油，部署堆取料机无人化系统、UACS 无人行车全自动仓库系统等均大大提高了生产效率；长沙有色冶金设计研究院有限公司研发的面向有色行业锌冶炼过程的自动多功能吊车、自动剥锌机组、自动输送机组大大提高了电积车间的工作效率、降低了劳动强度；湖南楚天科技研发的面向医药行业专业的各类制药专机，比如自动称量与配置子系统、洗烘灌联动子系统、生产过程在线检测分析系统等改善了原有系统的效率。能够提供装备的智能化和无人化改造服务的供应商一般对所处行业的工艺具有深刻的认识和经验，从而基于工艺过程的痛点对设备进行相关智能化提升。

（2）先进过程控制系统部署和集成

控制系统层面解决方案供应商主要提供DCS控制系统、现场检测仪表、执行机构以及先进控制与优化软件的部署以及与其他系统的集成，构成智能控制、智能检测、智能操作的核心功能组件。例如浙江中控、和利时等解决方案供应商通过部署自主研发的控制系统以及配套传感器，集中

提高生产过程的自控与生产效率，同时实现生产过程的可视化；北京化工大学开发了新一代Robust-IC全流程智能控制系统，将计算、控制、通信和网络技术、专家经验与生产过程紧密结合。

提供控制系统和相关集成的解决方案供应商中，一部分企业拥有自主研发控制系统的能力，依托本企业产品为制造用户提供集成服务，另一部分主要依靠市场上成熟的控制系统产品部署相关的集成和应用。此外，拥有流程行业研究基础的相关高校在过程控制算法、先进控制算法等方面研究较为深入，并已能够独立研发出待市场检验的智能控制系统产品。

（3）车间级管理系统集成，实现生产管控一体化

流程行业的生产管控一体化等解决方案一方面需要结合企业的顶层规划设计进行生产管控的具体方案；另一方面是结合企业三维数字化工厂布局、物流规划、生产系统构成等，建立生产过程的综合管控体系。可包括工程套件优化工艺设计系统、过程工艺模拟系统、设备设计与评级系统、MES、MOM、RTO、LIMS、APC、DCS、SCADA等，解决数据自动采集、储运自动化、智能巡检、操作参数优化、报警及预警、数字化车间、质检管理、生产指挥、进出厂物流、计划生产协同优化等业务应用，提高应用体验、提升生产数据的一体化管控能力。

例如石化盈科联合设备生产厂商建设了基于石油与化工的管控平台，通过搭建设备管理系统集成应用，建立诊断及机理分析模型，固化征兆算法、诊断规则等，支持对压缩机、汽轮机、机泵、电动机等多种设备运行状态进行监控与分析；东岳集团搭建生产制造管理系统平台，建立了生产管控中心，通过ERP经营管理系统与多信息系统的融合及协同，自动分解生产计划并将数据传递到MES系统及生产车间，调配生产资源，安排生产；建立了模拟仿真、MES、集团生产调度中心、安防管理系统以及工厂、预测、调度优化、物料平衡等关键模型算法；长沙有色冶金设计研究院开发建立了面向冶金行业的3D生产管控平台，集成了视频监控、自动

化控制、生产管理等系统的数据信息，将BIM模型与数据可视化进行了结合，建设成为一个综合性监控平台。深圳华制智能制造技术有限公司开发的“智能集成管控平台”，将工厂装置及生产过程进行数字化建模；打造物料、能源平衡规则引擎，以及生产过程智能分析引擎；通过模块化配置，实现流程行业生产计划、调度管理、操作管理、物料管理、能源管理、质量管理、安环管理以及绩效管理。

车间级管理系统集成解决方案供应商熟悉生产管控的核心流程和管理方式，其中实力较强的解决方案供应商能够自主研发行业专用管控一体化软件平台，或是跨行业的面向特定功能的平台。

（4）企业级的业务管理系统集成，建立精细化的管理体系

解决方案供应商提供基于企业现有系统构建精细化的管理体系和综合管理平台，部分企业可通过应用工业APP将全程序序、质量、成本、能耗、工艺数据等采集到大数据平台，实现数据的互通共享、透明使用。在此基础上建立质量、成本和能耗等全流程的全程可视化、实时监控、自动判定、预警、预测，实现企业精细化运营和精准化管控。例如石化、钢铁行业会结合自己的行业特点，基于精细化管理体系的思想建立统一的管理平台并配合移动端APP管理，实现集团化的统一规划和调度。

企业级业务管理系统集成解决方案供应商往往聚焦于企业顶层架构规划，规范信息化建设标准与准则，根据企业实际发展阶段和条件进行应用架构、技术架构和基础架构规划，实现企业内部集成管控。

（5）基于互联网的协同平台建设

随着流程行业集团化发展，规模越来越大，集团需要加强内部数据整合和集团管控；同时基于信息技术的应用，企业也进行了商业模式的创新，例如企业大宗原材料和产品销售采用集团统采统销模式、企业采用远程运维模式，这些商业模式的创新更需要打通上下游企业信息进行数据整合，提升管理效率。所以越来越多的集团企业关注工业互联网平台的建

设，通过私有云或混合云部署方式建设云平台，构建集团或行业的工业互联网平台。例如上海宝钢工业技术服务有限公司提供的设备远程智能运维平台目前已覆盖宝钢股份宝山基地的炼铁、炼钢和热轧等10余条核心产线的2500台（套）关键设备，平台利用传感器、机器人巡检、5G等技术手段，并通过模型算法、标准规则、知识库、专家系统等后台支持，形成“专业化+区域化”智能运维解决方案，实现设备状态监控、故障预警、趋势预测和维修远程支持，降低点检人工负荷、维修负荷、备件库存，减少停机时间、突发故障。腾讯、华为等云服务提供商，也开始关注流程行业，和其生态伙伴一起在流程行业打造工业互联网平台标杆，探索面向化工、钢铁等行业集团化云平台的新模式。

基于互联网平台的解决方案供应商会根据企业不同的需求实施工业数字化引擎、集中集成组件、工业物联网等核心模块，构建相应的虚拟生产环境，支撑各类数据的横向、纵向和端对端的高度集成。

（6）整体解决方案

基于上述各个层面的解决方案，诸如浙江中控技术股份有限公司、和利时科技集团有限公司、石化盈科信息技术有限责任公司、上海宝钢工业技术服务有限公司、上海宝信软件股份有限公司、长沙有色冶金设计研究院有限公司、楚天科技股份有限公司、深圳华制智能制造技术有限公司等解决方案供应商针对各自擅长的流程行业，积累了从顶层设计、管理体系建立、信息平台建设、控制系统部署、关键设备改造等方面的经验，向各自所擅长的流程型行业企业提供整体智能制造解决方案设计、实施、运维服务。

4.2.2 流程行业智能制造解决方案供给能力分析

近几年智能制造解决方案供应商的供给能力逐年增强，整体解决方案的能力稳步增长。针对典型供应商相关数据分析后发现，能够为流程企业

提供整体规划设计、智能工厂集成的供应商占比已超过10%，超过70%的企业具备集成SCADA系统的安装调试能力，能够提供PLC和DCS集成解决方案的企业占比分别为70%和60%左右，能够提供车间级MES及解决方案的典型企业占比超过80%，在集团化的精细管理和协同平台方面有相关产品的供应商约占10%左右。

（1）流程行业智能制造解决方案覆盖面较广，基本覆盖了设备层、控制层、车间层、企业层和协同层，每个层级都存在对应的典型供应商企业；基本覆盖了重点的流程行业，在重点流程行业均存在供应商能够提供整体智能制造解决方案。

（2）由于流程行业工艺门槛普遍较高、资质要求较高等因素，目前供应商的整体数量仍相对较少，随着我国流程行业智能制造的持续推进，流程行业智能制造解决方案供应商的数量应会显著增多。

（3）流程行业供应商大多数依靠现有的控制系统、工业软件进行相关的系统集成和功能实现，关注底层控制系统优化和工艺算法优化的供应商相对较少。

（4）流程行业系统解决方案供应商的产品化意识不足，大多数企业没有形成迭代优化的机制，部分企业过度地关注项目数量，而忽视自身品牌的建立。

综上，随着我国流程行业智能制造的持续推进，流程行业智能制造解决方案供应商的数量势必将会进一步增多，行业覆盖面也会更广，提供服务的质量也会显著提高。供应商既要发展行业应用的“特长”，又要弥补关键技术的“短板”，固化自身知识经验积累，形成迭代优化机制，孵化相关产品并逐步实现品牌化推广。

五、实施建议

5.1 智能制造赋能流程型制造设计院、科研机构，寻找核心技术突破口

我国流程型企业的基础平台大多依赖国外进口，控制器、工业软件等核心产品几乎被国外产品垄断；自主创新能力较弱，国产设备和软件的稳定性还未得到广泛的认可，缺乏与工艺相关的控制优化方法和模型知识积累。一方面，国内负责流程型工厂设计的各类设计院具有一定的工艺研究基础，可作为技术突破的基础，但其往往聚焦于工艺设计，在工业技术上的积累较少，很难将工艺知识进行软件化。同时，国内专业高校、研究机构也在工艺、算法等方面研究取得了长足的进展，但都缺乏转化的环境和现实工业环境的检验，无法形成迭代优化的机制；另一方面，设备、软件、解决方案供应商针对个别环节改善以及系统级的解决方案有一定的探索，但往往无法深入特定工艺要求解决问题。

流程型制造水平的提升以及相关核心设备软件的突破需要工艺和工业技术的融合，而智能制造为流程工艺、算法研发提供了新途径和新思路，赋能工艺和算法的快速研发迭代。借助上述技术积累和智能制造带来的新机遇，应鼓励传统流程型制造设计院、高校、研究机构与智能制造解决方案供应商的深入合作，搭建面向流程行业典型环境和模拟仿真平台的初试、中试基地，以核心工艺为基础，在先进控制算法、生产控制系统等方面进行技术攻关，形成覆盖核心工艺、关键技术、设备系统的自主研发和迭代优化能力。

5.2 以智能制造为契机，将技术人才引入流程型制造

技术人才储备严重不足，是制约流程型智能制造发展的最主要因素之一。作为传统制造业，流程行业通常保持着传统的人才管理方式，这对智能制造高端人才缺乏吸引力，若采用高技术公司的人才管理模式，又会给企业原有的员工造成冲击，不利于人员稳定。因此流程行业应平衡好智能制造人才引进与企业原有人才的关系，同时探索智能制造生态圈，不同的企业单位完成不同的任务，这些企业单位可以是集团内部的，也可以是高校、科研院所或其他专门从事智能制造的企业，形成互惠、互利、共同发展的智能制造生态体系。以促进在流程型制造企业推行智能制造，将工业软件、物联网技术、通信技术甚至人工智能的人才或技术力量引入到流程型制造中，为流程行业注入新的活力。通过企业的智能制造推进及改造升级，为流程行业培养更多的专业人才及复合型人才。

5.3 依托标杆示范企业和标准化手段，加速流程型智能制造推广

近年来，国内已形成了一批具有标杆示范作用的流程行业智能制造试点企业、工程和项目，应最大限度地发挥标杆示范的作用，一方面让其他流程型企业看到智能制造带来的实质性提升效果，另一方面将成熟的经验积极输出到行业中。鼓励重点流程行业通过制定智能制造标准体系和相关行业标准的方式，接入制造企业、高校研究机构、系统解决方案供应商等资源，凝聚共识，促进技术的融合和推广。鼓励将成熟经验进行标准化，逐步形成可复制推广的产品，从而加快流程型智能制造的推广速度。

附录 术语表

APC (Advanced Process Control)	: 先进控制系统
APS (Advanced Planning and Scheduling)	: 高级计划与排程系统
CRM (Customer Relationship Management)	: 客户关系管理系统
DCS (Distributed Control System)	: 分布式控制系统
EAM (Enterprise Asset Management)	: 企业资产管理系统
EMS (Energy Management System)	: 能源管理系统
ERP (Enterprise Resource Planning)	: 企业资源计划
HSE (Health/Safety/Environment)	: 健康、安全和环境管理系统
LIMS (Laboratory Information Management System)	: 实验室信息管理系统
MES (Manufacturing Execution System)	: 生产过程执行系统
MOM (Manufacturing Operation Management)	: 制造运行管理
OTS (Operator Training Simulator)	: 操作员仿真培训系统
P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)	: 管道仪表流程图
PLC (Programmable Logic Controller)	: 可编程逻辑控制器
RTDB (Real Time DataBase)	: 实时数据库
RTO (Real Time Optimization)	: 实时优化系统
SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)	: 数据采集与监视控制系统
SCM (Supply Chain Management)	: 供应链管理
SIS (Safety Instrumented System)	: 安全仪表系统
SRM (Supplier Relationship Management)	: 供应链关系管理系统
TMS (Transportation Management System)	: 运输管理系统
TTS (TRACK AND TRACE SYSTEM)	: 双向安全追溯系统
WMS (Warehouse Management System)	: 仓储管理系统