

煤炭行业数字化转型路径及典型场景

(2023)

中国电子技术标准化研究院
2023年6月

煤炭行业数字化转型路径及典型场景

(2023)

中国电子技术标准化研究院

2023年6月

内容摘要

第一章 概念综述。从行业内因和外因两个方面两个方面分析了煤炭行业数字化转型的背景及趋势”。回答“为何转？”的问题。帮助企业分析和认知煤炭行业的数字化转型现状及存在的主要问题。

第二章 转型路径。从煤炭行业数字化转型的内涵与目标、机遇与挑战、意识与生态进行阐述，提出了煤炭行业数字化转型首先要从意识层面进行深度的认识，逐步形成数字化转型的思路，帮助企业了解数字化转型的切入点，解决“转什么？”的问题。之后提出煤炭行业数字化转型的最终目标是建立数字化生态，并从行业角度和企业角度分别介绍了数字化转型的路径，说明了“怎么转？”的问题。最后从企业层面提出机械矿山、数字矿山、感知矿山、智慧矿山和元矿山五个转型阶段，并建立了煤炭企业数字化转型通用技术架构，说明了“转到哪？”的问题。

第三章 场景应用。将煤炭行业的数字化转型场景分为管理信息化应用场景、过程自动化应用场景和工程数字化应用场景。并对三者中的典型场景的数字化转型建设思路进行阐述。

第四章 标准规范。分析了煤炭行业数字化转型的标准现状以及对标准的需求，说明了标准在煤炭行业数字化转型中的重要作用。基于此，建立煤炭行业数字化转型标准体系框架。

第五章 数字化转型建议。本文认为煤炭行业数字化转型的主体可分为数字化转型服务企业，数字化转型应用企业和数字化转型相关方。本章提出了基于不同主体特征的数字化转型建议。

■ 参编单位（排名不分先后）

中国电子技术标准化研究院

于秀明 贾超 邱硕涵 张羽 王程安 苍天竹

中国矿业大学（北京）

刘婵 王美君 桂谕典 蔡晓梅 段超沼 陈潘洪

北京联合大学

马岩 刘诗源 苗思琦

山西冀中能源集团矿业有限责任公司

李彩惠 马国锋

安标国家矿用产品安全标志中心

韩冰 张宇皓

煤炭科学研究总院有限公司

张建中 武光城

矿泰智能科技有限公司

乔玉波 赵运会

北京亚控科技发展有限公司

王谕衡 肖禄蛟

朗坤智慧科技股份有限公司

陈永杰 潘惠梅

北京博华信智科技股份有限公司

赵大力 董松伟

北斗天地股份公司

王静宜 安成

北京百度网讯科技有限公司

李建永 刘增志

枣庄矿业（集团）责任有限公司

侯宇刚 王 伟

北京东方国信科技股份有限公司

梁志斌 郭存远

震兑工业智能科技有限公司

魏慕恒 习 文

应急管理大学（筹）

张科学 王晓玲

中国石油·宝石电气设备有限责任公司

李西方 温 伟

中国工业互联网研究院

柳 旭 孙玲玉

中科云创（北京）科技有限公司

周北川 肖慧斌

青岛理工大学

张冬梅 田艳兵

中国矿业大学

刘亚丽 刘亚子

国家电投集团科学技术研究院有限公司

陈 纲 张秋霞

致 谢

本白皮书编写过程中受到社会各界专家、企业及科研单位的关注和大力支持，在此特别感谢煤炭工业协会王虹桥副会长，安标国家矿用产品安全标志中心有限公司戎明彦副总经理，冀中能源邢台矿业集团有限公司路兰勇副总经理，中国矿业大学（北京）谭章禄教授，北京联合大学杜煜副院长等诸位专家对白皮书编写提供的宝贵修改意见！

目 录

一、概念综述	1
1.1 背景趋势	1
1.1.1 行业内因	1
1.1.2 行业外因	2
1.2 现状分析	3
二、转型路径	5
2.1 转型认识	6
2.1.1 内涵与目标	6
2.1.2 机遇与挑战	7
2.1.3 意识与生态	9
2.2 转型维度	12
2.2.1 “层”——从企业经营活动切入	13
2.2.2 “级”——从企业组织层级切入	14
2.2.3 “链”——从企业价值链切入	14
2.3 转型阶段	14
2.3.1 机械矿山——机械化设备的推广普及	15
2.3.2 数字矿山——数据价值的挖掘与应用	16
2.3.3 感知矿山——物联网体系的全面铺设	17
2.3.4 智慧矿山——技术的统合与智能决策	17
2.3.5 元矿山——虚拟与现实的交互映射	18

2.4 技术架构	19
三、场景应用	22
3.1 管理信息化应用场景	22
3.1.1 基于CERP平台的井上综合控制场景	22
3.1.2 基于人机交互的实景模拟培训场景	23
3.1.3 数字资产化管理场景	24
3.2 过程自动化应用场景	26
3.2.1 矿区设备一体化控制场景	26
3.2.2 调度指挥中心可视化指挥场景	27
3.2.3 安全监测及预警决策场景	28
3.2.4 应急救援协调联动场景	29
3.2.5 煤炭产品运销调度场景	31
3.2.6 露天矿无人矿卡智能化控制场景	32
3.3 工程数字化应用场景	34
3.3.1 数字化勘探设计场景	34
3.3.2 人机实时定位交互场景	35
3.3.3 井下实时监控监测场景	36
3.3.4 煤质煤量监测分析场景	38
3.3.5 采空区监测及生态修复场景	40
四、标准规范	41
4.1 标准化现状	41
4.1.1 标准体系不完善	41
4.1.2 标准制修订存在滞后性	43

4.1.3 标准国际化不足	43
4.2 标准体系	44
4.2.1 基础共性标准	45
4.2.2 通用技术标准	46
4.2.3 数据要素标准	47
4.2.4 数字化工具标准	47
4.2.5 数字化企业标准	47
4.2.6 数字化供应链标准	47
4.2.7 信息安全标准	48
4.2.8 应用领域标准	49
五、数字化转型建议.....	50
5.1 数字化转型服务企业	50
5.2 数字化转型应用企业	51
5.3 数字化转型相关方	51
参考文献.....	53

一、概念综述

■ 1.1 背景趋势

1.1.1 行业内因

煤炭行业生产环境复杂，安全和效率保障难度较大。受我国煤炭资源的贮藏条件限制，我国煤炭开采主要是地下作业，属于典型的深部空间作业，地质条件和开采条件复杂，生产环境类型多变，安全和生产效率的保障成为关注重点。

煤炭行业数字化管理模式不够成熟，数据要素潜能激活不佳。数字经济环境下煤炭行业管理面临数据驱动的管理模式创新和数据资产化两大难题。煤炭数据难以跨部门、跨层级、跨区域协同共享，无法激活数据要素潜能。煤炭行业对数据价值的开发程度低，没有形成完善的数据资产概念和数据资产产品。

煤炭行业环境负效应突出，绿色发展任重道远。当前煤炭行业环境负效应仍然十分突出，受数字化水平限制，现有煤炭开采、洗选过程中的资源配置、设备联动、组织协同的方式没有体现集约、绿色、高效的发展理念，资源利用效率受限。

煤炭行业全生命周期环节多，转型复杂度高。煤炭行业的产业链、供应链复杂，所涉及的环节多样，不仅包括煤矿等生产企业，还包含煤机设备供应商、原材料供应商等上游服务商及发电企业、煤化工企业等下游消

费商。随着数字化转型的推进、“双碳”目标的提出以及新一代信息技术的发展，出现了大量服务于行业内各环节数字化转型的信息技术服务商等新型服务企业，使煤炭行业的各环节更加多样和复杂。

1.1.2 行业外因

煤炭行业数字化转型是落实新一代信息技术与传统产业融合发展的必然要求。2021年3月，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中强调要通过建设信息基础设施，增强数据感知、传输、存储和运算能力，推动数据赋能全产业链协同转型。2021年11月工业和信息化部发布的《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》中进一步指出煤炭工业向智能化、无人化和绿色化等方向加速数字化转型是“十四五”时期两化深度融合的重点工程。由此可见，数字化转型是煤炭行业落实两化融合政策的重要突破口。

煤炭行业数字化转型是实现“双碳”目标的重要举措。“双碳”目标赋予了煤炭行业新的重大机遇、新的重大使命。站在我国能源革命与“双碳”战略新起点上，煤炭行业必须坚持以科技创新为引领，走安全、高效、绿色、低碳、集约化发展道路，统筹协调煤炭产业发展与国家产业链、供应链安全的关系，通过数字化转型，加快构建煤炭产业新格局，为实现“双碳”战略目标和煤炭行业高质量发展奠定坚实基础。

煤炭行业数字化转型是实现能源保供要求的重要保障。2022年3月国家能源局印发的《2022年能源工作指导意见》的重点内容可概括为“稳油增气煤兜底”，强调发挥煤炭“压舱石”作用。煤炭行业应认真贯彻国务院关于做好能源供应保障和大宗商品稳价工作的决策部署，依靠数字化转型，优化煤炭生产布局，在确保煤炭安全生产的前提下释放优质产能，促

进产运及时衔接、高效协同，增强煤炭长期安全稳定供应能力，筑牢能源安全保障坚固防线。

数字化转型是煤炭行业深化发展数字经济的重要抓手。2021年12月国务院印发的《“十四五”数字经济发展规划》中明确要加快企业数字化转型升级，并强调推动智慧能源建设与应用，促进能源生产、运输、消费等各环节的智能化升级，推动能源行业低碳转型。在数字经济不断深化发展的大趋势下，煤炭行业需要把握发展机遇，立足产业特点和差异化需求，推动煤炭产业全方位、全链条的数字化转型，提高全要素生产率，深化新一代信息技术与传统煤炭产业融合发展，以数字化变革催生煤炭行业新发展新动能。

■ 1.2 现状分析

对于数字化转型、智能制造的认识和理解尚不深刻。绝大部分煤炭企业对数字化转型的理解局限在企业内某一矿山或生产的某一环节的智能化，而非企业生产管理全过程的数字化。没有深刻理解数字化转型“转什么？”的内涵。

数字化转型匮乏整体转型框架的指导，顶层设计不足。《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》和《煤矿智能化建设指南（2021年版）》提供了转型的指导思想和基本方向，但缺少具体的转型路径和转型维度。《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》对数字化转型硬件基础提供了评价标准，但对于煤炭企业智能化水平的综合评价不足。煤炭行业的数字化转型缺少对“怎么转？”的具体指导方针。

底层技术支撑不到位，煤炭产业链各环节发展水平参差不齐。煤炭行业的数字化转型需要物联网、5G、大数据、人工智能、云计算、数字

孪生、智能机器人、无人矿车、传感器等众多信息技术和智能制造业的支持，需要煤机装备产业链的智能延伸。传统煤机装备制造商在信息科技方面存在短板，限制了煤炭行业的数字化转型的进程。

数字化转型人才储备匮乏，人才分布不均。目前我国煤炭企业的数字化人才队伍远不能满足转型需求。我国煤炭产区集中在西北晋陕蒙地区，而数字化人才分布总体呈东强西弱、向东南聚集的格局，西北地区数字化人才储备不足。西北晋陕蒙地区为煤炭行业数字化转型落地实施的重点地区，其数字化人才匮乏与行业发展的不匹配，掣肘了我国煤炭行业数字化转型的步伐。

缺乏综合实力强劲的ICT供应商。支撑煤炭行业数字化转型的ICT供应商包括传统供应商和跨界供应商。煤炭行业传统的ICT供应商存在明显短板，对于数字技术的创新与研发水平落后于跨界ICT供应商。然而，跨界ICT供应商很难把握煤炭行业数字化转型的需求痛点。二者均不能提供煤炭行业数字化转型的整体解决方案。煤炭行业数字化转型的技术融合和数据协同存在瓶颈，容易造成单项指标优秀而综合性能低下的困境。

系统集成能力弱，信息孤岛问题严重。煤炭企业中存在上百个针对生产、安全、管理、决策等方面的子系统。这些子系统大多为了满足单一功能而独立存在，没有形成统一平台和串联模式。煤炭行业数字化转型最直接的痛点和难点问题不是某一功能场景的系统实现，而是系统的整合集成和统一协调管理。

二、转型路径

煤炭行业的数字化转型不仅仅是对新一代信息技术的应用，更是对矿山意识和物质世界的改造升级。只有在意识层面完成人的思维意识、企业管理意识、行业生态意识的认知升级，并以此指导物质世界中煤炭行业 and 企业的数字化转型，才能从活动、组织、价值等多维度实现数字化转型和高质量发展。



图1 煤炭行业数字化转型总体路径图

■ 2.1 转型认识

2.1.1 内涵与目标

● 内涵

煤炭行业数字化转型是面向煤炭全行业的安全生产技术革命、经营管理创新革命以及根本性的能源生产力革命。

能源安全生产技术的革命。煤炭行业数字化转型是运用云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、区块链、元宇宙等现代信息通信技术重塑产品实现过程的一次能源安全生产技术模式的革命。

能源经营管理创新的革命。煤炭行业数字化转型以数字化技术支持煤炭的经营管理方式和模式创新，强调以数字化技术为支撑解决煤炭“产、运、储、销、用”全行业、全过程、全生命周期涉及的经营管理创新发展难题，实现煤炭行业全方位的数字化转型。

根本性的能源生产力革命。煤炭行业数字化转型释放煤炭数据要素价值，提高要素配置效率，优化煤炭行业生产函数，实现矿山意识世界、物理世界和信息世界的协同升级，其目标指向煤炭行业绿色全要素生产率的提升，增强煤炭行业及产业生态的可持续发展能力，加速现代化能源体系构建。

● 目标

煤炭行业数字化转型的总目标是将意识世界、物理世界、信息世界连接成双向循环的闭合回路，通过信息世界中的智能模型，促进意识世界的改造升级和自寻优，实现物理世界中煤炭安全生产过程的自学习、自适应和协同联动。矿山物理世界，即客观存在的事物，如各类装备、设备、材

料等；矿山意识世界，是人对于矿山发展问题的认知。煤炭行业数字化转型的本质是通过建设信息世界、改造物理世界、提升意识世界，实现三个世界的互联和数字映射，但强调的仍然是“人”，而非“无人”。煤炭行业数字化转型的成功是物理世界、意识世界和信息世界同步建设、改造升级并协同驱动的结果。因此，煤炭行业数字化转型的目标主要包括构建煤矿信息世界、改造煤矿物理世界和意识世界、实现煤炭行业数智化发展三个方面。

2.1.2 机遇与挑战

● 机遇

日益复杂的国际能源形势增强了我国对煤炭行业数字化转型的需求，国家战略与政策对煤炭行业数字化转型提供了有力支持。近年来，世界局势日益复杂动荡，煤炭在能源安全中的战略地位日益凸显，这推动了煤炭行业的数字化转型，以确保我国能源供应安全。煤炭行业作为我国能源保供的压舱石和稳定器，其数字化转型对于国家能源安全具有重大的战略意义。

煤炭在能源市场中仍然具有旺盛的生命力，煤炭行业数字化转型的市场空间和发展前景广阔。由于我国“富煤贫油少气”的资源禀赋条件，煤炭依然将在较长时间内作为我国能源的压舱石和稳定器，以保障社会经济可持续发展，这决定了煤炭在能源市场中的生命力仍将延续。由于煤炭全产业链上的数字化水平还较低，随着煤炭行业对数字化改造升级和新兴产品培育需求的日趋增长，未来煤炭行业数字化转型的市场空间巨大，发展前景广阔。

新冠疫情冲击的推动，提升了煤炭行业数字化转型的现实价值。在新冠疫情冲击下，全球经济增速低迷，中国的社会经济发展也遭受巨大影响，在短时间内迅速激发了各行业对数字化转型的需求。线上办公、远程办公、无人值守等概念成为了基本的工作需要，煤炭行业数字化转型因此获得了前所未有的发展机遇。

智能制造、工业互联网的发展为煤炭行业数字化转型提供了技术基础，智能化煤机装备技术为煤炭行业数字化转型提供了技术支撑。长期以来，我国信息化基础设施建设增速明显，5G网络基站数量、光缆线路总长度、固定/移动互联网宽带接入用户量等数据高居世界前位，已经初步具备支撑我国工业数智化发展的基础能力。近年来又实现了多种煤机装备的网络化、智能化控制，且随着远程通信技术、智能控制技术等的不断发展和日臻完善，逐步由单机自动化向煤机装备集群数智化联动控制方向发展。

● 挑战

基础软硬件、数据治理等技术能力的挑战。目前煤矿的传感设备存在着覆盖面窄、监测点不准确、数据存在偏差、存在感知死角等亟待解决的瓶颈问题。井下尚未实现网络信号的无死角覆盖，缺少或者未建立无线信号分站，未实现感知设备的数据智能采集和推送。智能化的煤机装备、安全应急装备仍存在大量技术瓶颈需要突破。信息孤岛和数据鸿沟导致生产、安全和经营管理等业务流程的数据链条难以贯通，煤炭行业很难高效完成海量数据的采集、传输、存储、处理和共享，无法真正实现泛在感知、实时互联、自主学习、协同管控。

数字化转型协同能力、顶层设计能力和创新能力的挑战。煤炭行业缺乏跨部门、跨层级、跨组织和跨领域的信息系统集成融合能力，使得煤炭

行业的数字化能力不能最大化释放，战略、组织和管理变革受限。顶层设计能力的缺乏阻碍对自身信息化条件、技术特点和资源能力的正确认识，难以指导煤炭行业明确数字化转型的战略目标和发展规划，无法有效推动数字化转型战略的落地实施。煤炭行业数字化转型是创新驱动的生产力变革，意味着全行业亟需提升创新能力。

煤炭行业中数字化人才短缺，数字化转型工作难以推进。当前煤炭行业中支撑智能化建设和数字化转型的有关人才严重短缺，尤其中西部地区的煤炭企业难以招募和留用高学历、高技能的数字化人才。传统煤矿企业对经营管理的重视不足，具备数字化经营管理能力的人才队伍建设严重滞后。新一代信息通信技术的迅速发展，煤炭行业中现有的人员队伍难以通过短期培训掌握新一代信息通信技术的业务应用，无法满足煤炭企业数字化转型的需要，导致煤炭行业深层次的数字化转型难以实现。

煤炭行业新产品、新业态不断涌现，商业模式面临重大挑战。随着煤炭行业数字化转型的深入推进，必然带来煤炭生产组织方式与经营管理模式的变革，衍生出数据如何保障安全生产、赋能业务增长、指导业务决策、应对技术迭代等系列问题。煤炭数据的资源化、资产化和资本化为煤炭行业转型升级带来新发展机遇的同时，煤炭数据的价值实现和资产融合还可能衍生出新的业务风险、财务风险和金融风险。煤炭行业数字化转型的关键在于探索形成有效的商业模式。煤炭行业盲目开展数字化转型容易产生试错风险，一旦投资收益不及预期，数字化转型将趋缓甚至停滞。

2.1.3 意识与生态

煤炭行业数字化转型不仅是一种技术变革，更是一场认知与思维革命。数字化意味着一个全新经济时代的到来。这个时代是互联网、云计

算、大数据、物联网、感知技术、数字孪生和人工智能等数字技术深入拓展、融合创新的新时代，是数字技术与产业生态共同进化的新时代，也是依托数字化驱动实体经济与虚拟经济深度融合的新时代。煤炭行业要适应数字经济时代的发展规律，首要突破口是思维的变革和观念创新。基于对数字化转型的认知和内化程度，将煤炭行业数字化转型的思维观念变革过程分为数字化认知阶段、数字化思维阶段、数字化体系阶段和数字化生态阶段。这四个阶段有其各自特征，同时又互相联系，决定了煤炭行业数字化转型的延续性及过程性。

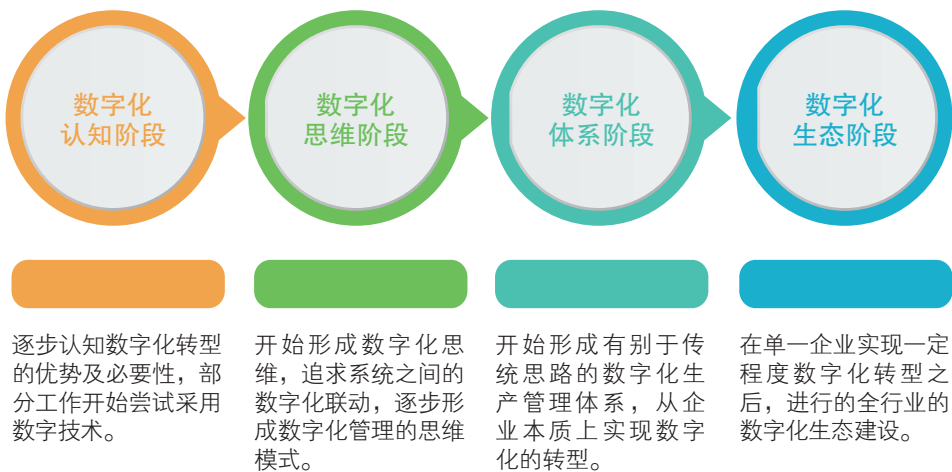


图2 煤炭行业意识生态数字化转型路径图

数字化认知阶段，煤炭行业数字化转型的起步阶段。煤炭行业对数字化转型的优势和必要性有了初步的认知，部分工作开始尝试采用数字技术。在该阶段，数字基础设施相对完备、高层管理者对数字化转型认知较为领先、员工素质较高的煤炭企业开始尝试零散地应用数字技术，业务部门会选用一些通用技术工具进行数据储存和分析，以辅助管理决策，但数

字技术的应用仍处于个人或者部门级别。本阶段以工具软件应用为主，煤炭行业内开始使用数字技术的企业、人数并不多，数据应用深度不足，使用频率较低。数字技术给煤炭企业带来的是分散的价值点，尚未有效发挥数字技术对主营业务的支持作用。

数字化思维阶段，煤炭行业数字化转型的发展阶段。煤炭行业对数字化转型的认知有了更加深入的理解，对数字化转型的认同感提升，并逐步形成数字化管理的思维模式。多数企业已不再踌躇于“要不要”转型，而是开始深入地思考“转什么？”“怎么转？”的问题。这一阶段典型的表现是局部端口的数字化。对于企业而言，他们开始在不同端尝试数字化。但是，在这一阶段组织部门之间的联系相对比较松散，对于系统整合的要求较低，不同端的运行逻辑各有不同，不同端之间仍是彼此独立。这一阶段关键在于依靠培养自身内部的数字化能力来实现数据的积累。通过数据的积累，企业可以获得大量可用于加工的数据资源，从而为后续的数字化转型打下坚实的基础。思维阶段结束的标志在于企业能够通过数字化技术实现包括数字化网络建设的业务流程再造。本阶段以业务系统应用为主，数字技术将企业各个价值点联通起来，形成“价值链”。

数字化体系阶段，煤炭行业数字化转型的先进阶段。煤炭行业以数字化转型方法论为指引，进行体系化建设，从本质上实现数字化转型。在该阶段，碎片化的数字化创新实践在行业主导下横向拉通，走向系统化的战略级工程。端与端的业务系统化，零散的、试点的、割裂的应用走向系统集成，平台化组织和企业兴起，更加深度、复杂的应用（如基于大数据的AI、BI）应用出现。在这一阶段，企业的注意力集中在分配在不同端（例如供给端、需求端）现有的及潜在的各类数据资产，问题的焦点在于如何

把这些不同环节的数据资源联系起来。这一阶段的关键在于打破部门之间的数据壁垒，消除部门之间交流的鸿沟。体系阶段结束的标志在于企业内部针对业务单元整体具备全局可视化及分析能力，可快速锁定异常，并辅助决策。本阶段以企业管控为主，数字技术将企业各价值链联通起来，形成价值面，达到“1+1>2”的融合效果。

数字化生态阶段，煤炭行业数字化转型的最终阶段。数字化从聚焦于单一环节、行业和领域，转变为产业生态体系的全面映射。在该阶段，数据流驱动了煤炭生产、运输、仓储、贸易、利用等各环节的高效贯通，数字化转型推动了煤炭产业链各环节及不同产业链的跨界融合，实现了组织架构和商业模式的变革重塑。在这一阶段，煤炭行业准确认识到行业内外生态伙伴的竞合关系，开放融合外部资源，打通产业链上下游不同环节、不同行业间的数据壁垒，实现了跨部门、跨层级、跨行业、跨区域的深度融合，与共生伙伴探索形成融合、互补、互利的合作模式和商业模式，逐步构建煤炭全产业链的数字化生态。随着行业内数据标准的统一，隐私安全技术逐步成熟，数据壁垒被逐一打破，行业内上下游或生态内各企业之间形成全要素的横向融合与纵向连通，将会形成一个边界更宽、渗透更深的元宇宙形态。本阶段以企业协同为主并逐步实现产业链协同，数字技术将煤炭行业各价值面联通起来，形成价值网。从价值点、价值链、价值面再到价值网，煤炭行业的生产关系实现逐步优化，生产力实现质的提升。

■ 2.2 转型维度

“层-级-链”参考模型是用于剖析煤炭行业数字化转型切入点的重要工具。煤矿是一个多维度的复杂系统，包含了人、财、物、供、产、销、用及其相互关联关系，每一个子系统均需要从层级链三个维度进行协同建

设。通过对层、级、链三维结构的全面梳理，可以分析出煤炭行业数字化转型的具体变革维度和建设节点。

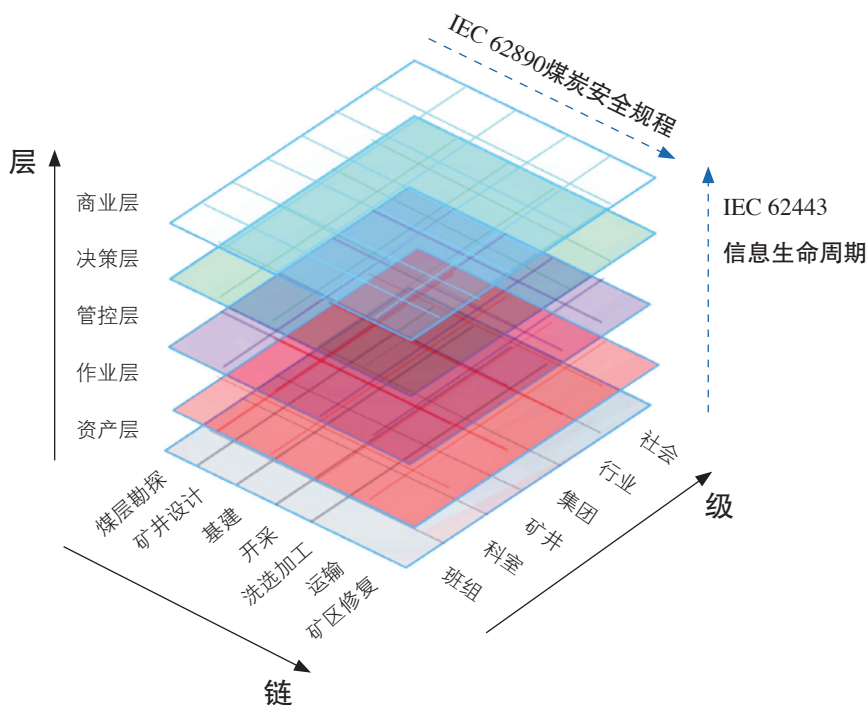


图3 煤炭行业数字化转型维度图

2.2.1 “层”——从企业经营活动切入

“层”，从煤炭行业整体的投资、生产、管理、决策、市场等方面的各层次组织活动切入实现数字化转型。煤炭行业各层次的组织活动对数字化转型的要求及最终成果因其活动层次特征而存在较大区别。资产层基于数字化转型实现资产的调配和价值最大化。作业层追求作业本质安全、生产效率及优势产能最大化。管控层追求管控的及时性及管理效率的最大化。决策层追求决策的精度、准度和速度。商业层追求核心竞争力和

商业价值的增长。不同层次的组织活动对数字化转型的需求很难同时实现，但煤炭行业的数字化转型可以以某一层次的组织活动作为切入点进而逐步完善。

2.2.2 “级”——从企业组织层级切入

“级”，从煤炭行业整体所涉及的组织层级切入实现数字化转型，可分为煤炭企业内部支持组织以及外部关联组织。内部支持组织主要包括班组、科室、矿井和集团；外部关联组织包括行业协会、各级行政单位、产业链其他企业及社会组织。组织级维度不仅体现了煤矿、集团乃至整个煤炭行业内各组织之间的相互联系和影响，而且体现了相关社会组织和产业链关联企业对于煤炭企业、煤炭行业的数字化转型诉求，以及这些单位对煤炭行业、煤炭企业数字化转型的干预和影响。

2.2.3 “链”——从企业价值链切入

“链”，立足于煤炭产品的价值增值过程，围绕煤炭产品全生命周期包含的勘探、设计、基建、开采、洗选加工、运输和矿区修复等相关价值创造活动，从企业价值链维度切入实现数字化转型。价值链维度不仅明确了煤炭行业在全生命周期中能够进行数字化转型的节点位置，还明确了各个模块数字化转型的边界，有益于数字化转型的模块化和一体化发展。

■ 2.3 转型阶段

煤炭行业数字化转型是指利用云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、区块链、元宇宙等现代信息通信技术，重塑煤炭产品实现过程、煤炭企业运营管理模式和数字化人才服务体系，充分释放煤炭数据

要素生产力，根本提升煤炭企业核心竞争力，实现“绿色安全、降本增效、精益管理”等高质量发展的战略愿景。根据数字化融合程度，将煤炭行业的数字化转型分为机械矿山、数字矿山、感知矿山、智慧矿山和元矿山五个阶段。

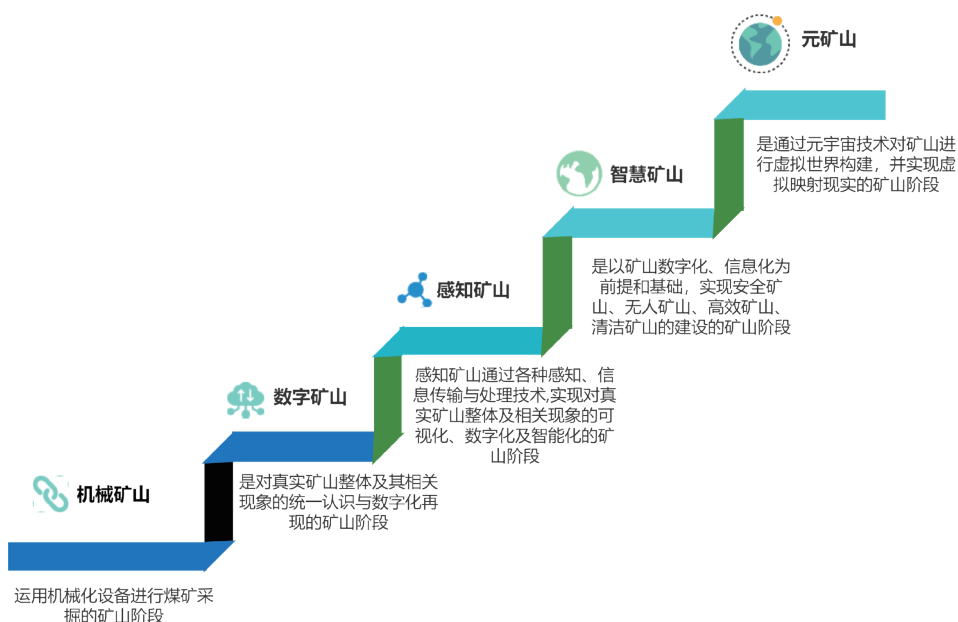


图4 煤炭行业数字化转型阶段图

2.3.1 机械矿山——机械化设备的推广普及

“机械矿山”是运用机械化设备进行煤矿采掘的矿山阶段。机械矿山改变了靠人力采掘的开采方式，在采掘、运输、提升、以及生产辅助等方面采用大量机械设备，使得生产效率得到提高，矿井用人数量大大减少。

“机械矿山”建设的核心内容是以机械化生产替代人工作业，提高煤矿安全生产保障能力。机械矿山能够将机械设备很好地运用到采矿作业中，比如煤（岩）巷掘进的机械化和自动化、综采作业的机械化和自动化等。

“机械矿山”阶段建设完成的显著标志是机械设备的技术性能满足取代手工作业的要求，实现手工作业到机械控制的转变。

过去几十年，我国煤矿开采基本完成了机械矿山阶段的建设任务，实现了主要作业及辅助作业的机械化全覆盖。

2.3.2 数字矿山——数字技术的普及与应用

“数字矿山”是在统一的时空框架下，对真实矿山整体及其相关现象的统一理解、表达与数字化再现，是数字矿区和数字中国的一个重要组成部分。

“数字矿山”建设的核心内容是基于矿山开采环境、对象、活动、流程等作业主体在相互作用过程中产生的数字化信息，运用网络技术、数据库技术、大数据技术、可视化仿真技术、软件技术、地质统计技术与优化方法等技术理论，对矿山业务过程进行全生命周期的信息化处理，实现矿山全流程、全环节、全作业的数字化生产与运营。数字矿山通过将采集的数据信息进行科学存储和有效管理，以应用于生产管理过程的持续优化，在职能战略和业务战略层面实现矿山安全高效生产、科学高效运营，在总体战略层面提升矿山经济效益和煤炭企业核心竞争力。

“数字矿山”阶段建设完成的显著标志是实现工程数字化和管理信息化的基础架构建设。

2.3.3 感知矿山——信息的共享及价值挖掘

“感知矿山”是通过物联网等感知手段实现矿山整体以及相关现象的可视化与智能化。感知矿山主要引进物联网技术，打造煤矿“人与人”、“人与物”、“物与物”多向互联互通的工业互联网络架构。“感知矿山”建设的核心内容是实现“三个感知”。一是感知矿山灾害风险，目的是实现矿山灾害事故的监测预警；二是感知矿工安全作业环境，目的是为矿工提供主动式的安全保障；三是感知矿山设备工作健康状况，目的是实现矿山设备故障的预测预警。“三个感知”的本质是全过程全方位保障矿山生产安全。

“感知矿山”阶段建设完成的显著标志是实现了矿山信息网络中各节点的信息共享，降低甚至消除了监测监管盲区，并能进一步运用云计算和大数据等信息科学技术，从大体量、低价值密度的矿山信息中提取有效的决策信息，使矿山这一物理世界逐步由不透明向透明转化。

2.3.4 智慧矿山——技术的统合与智能决策

“智慧矿山”是智慧结构完善、层级架构健全、支撑体系发达、高度智慧的信息化建设阶段。与前两个阶段相比，智慧矿山不只是对矿山数据自动采集、处理和集成，更多的是通过构建管理模型、智能算法对大数据的智慧运用，对矿山生产运营过程中出现的变化与需求进行积极响应，最终克服人类的生理和心理局限，实现智慧化决策。

“智慧矿山”建设的核心内容是基于空间信息、真三维地质模型、物联网、云计算、大数据、虚拟现实、人工智能、数据仓库、数据通信等基本技术手段，集成应用各类传感器、自动控制系统、组件式软件构建智能

应用平台，使矿山智慧体系具备自动运行、知识发现、智能决策、自主学习等功能。矿山综合自动化和数字化是智慧矿山的基础，自动化系统通过自动化技术实现无人采矿和遥控采矿，数字化技术实现对真实矿山整体及相关现象的统一认识与数字化再现，而智慧化则表现为高度的信息化、自动化、智能化与煤矿安全高效开发的融合应用，是数字矿山和感知矿山的进一步升华。

“智慧矿山”阶段建设完成的显著标志是形成具有透彻感知、深度互联结构特征和具备自主学习、智能应用功能特征的矿山体系，实现矿山地质保障、开采、掘进、机电、运输、通风、排水、洗选、安全保障、经营管理等过程中有关资源配置、设备联动、组织协同、状态分析、趋势预测、风险识别、方案决策和目标控制的自动化、智能化和智慧化。

2.3.5 元矿山——虚拟与现实的交互映射

“元矿山”是元宇宙在煤炭领域的应用，是在工业互联网平台基础上，强化虚拟世界和现实世界的联动，让数据信息更智能地服务于企业研发、生产、运营、协同等环节。相对于“智慧矿山”阶段，“元矿山”脱离物理世界的束缚，达到虚拟世界和现实世界的相互影响，相互映射。

“元矿山”阶段建设的核心内容体现在内核技术的元宇宙化，场景架构的元宇宙化，用户载体的元宇宙化三个方面。内核技术的元宇宙化要求“元矿山”的内核技术从“数据互联”的形态上升到“时空互联”的形态。类似于二维空间向三维空间的过度，将从平面变得立体，这种变化在生产效率提升的同时也将面临更加庞大的数据量，这就要求“元矿山”的内核技术能够适应这种变化。场景架构的元宇宙化是要求煤矿行业将现实场景虚拟化，并且实现虚实结合，消除现实和虚拟的边界。这个过程不仅

要求将现实场景在元宇宙中尽可能真实地还原，还需要进一步模拟场景中各个物体在真实世界的关联和逻辑，以此保证“元矿山”场景的真实性、可靠性，并实现现实和虚拟的同步映射。用户载体的元宇宙化一方面是对“元矿山”用户信息的多元化、多维度描述的升级，元宇宙中的虚拟人、数字人将包含更加全面的用户信息（例如外模、音色、惯性行为、情绪波动等）。另一方面是用户链接现实世界与元宇宙世界的载体工具的升级（例如VR/AR设备、脑机接口等）。

“元矿山”建设完成的显著标志是实现元宇宙中煤矿场景的建设，不仅能够将煤炭行业的现实场景在元宇宙中尽可能真实地还原，还能够进一步模拟场景中各个实体在真实世界的关联和逻辑，保证元宇宙中煤炭行业业务场景的真实性、可靠性，并实现现实和虚拟的同步映射。

■ 2.4 技术架构

煤炭行业数字化转型是在煤矿现有的产业条件、资源基础和经营能力之上，以地质勘探、煤矿开采、机械电气、安全管理、加工利用等学科专业知识为基础，充分运用云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能和区块链等先进信息通信技术构建煤矿信息世界，同时改造煤矿物理世界和意识世界，形成具有透彻感知、深度互联结构特征和具备自主学习、智能应用功能特征的煤矿体系，最大限度地用机械化、自动化、智能化和智慧化去武装矿山勘探、设计、开采、洗选等煤炭生产和管理过程，实现煤炭生产和管理过程中有关资源配置、设备联动、组织协同、状态分析、趋势预测、风险识别、方案决策和目标控制的自动化、智能化和智慧化，以克服人类在心理、体力、能力和智力等方面存在的固有局限，实现煤炭资源在少人或无人的情形下“安全、绿色、经济、高效”地开发和利用，

最终把煤矿打造成一个可高质量持续发展的“智慧结构完善、层级架构健全、支撑体系发达、高度智能”的煤炭元矿山。

煤炭元矿山是由意识世界、物理世界和信息世界构成的多维复杂的智能系统，当前煤炭行业数字化转型的根本任务主要有3个：第一，在煤矿现有的产业条件、经营能力和资源基础之上构建一个信息世界；第二，对煤矿现在的物理世界和意识世界进行数字化、智能化、智慧化改造；第三，搭建煤矿意识世界、物理世界和信息世界三者互联互通的桥梁；三项任务交互协同赋予煤矿透彻感知、深度互联的结构特征和自主学习、智能应用的功能特征，最终建立由感知控制层、网络通信层、数据及应用支撑层、应用与展示层四个层级和信息化标准体系、信息化管理运维体系、信息化安全体系三大支撑体系构成的“四横三纵”整体技术架构。



图5 煤炭行业数字化转型技术架构图

三、场景应用

■ 3.1 管理信息化应用场景

管理信息化场景针对的是智慧矿山中从事管理职能的各个模块，包括人事、财务、物资、设备、供应、安全、生产、销售、党政工团等经营管理职能及规划、控制、沟通、决策、协同等管理决策工作。该场景的重心集中在运用信息化手段实现管理过程的自动化、智能化和智慧化，如自动化办公、无纸化办公、智能化信息推送、智能辅助决策、协调联动管理等。

3.1.1 基于CERP平台的井上综合控制场景

基于CERP平台的井上综合控制场景是实现相关部门之间的业务流程化管理、标准化生产管理，提高精细化程度，提高企业信息流转的时效性、透明化；同时将矿井的安全生产运营关键信息实时传递到公司，保障公司对矿井管理和现场生产全面准确地指导与管控，提高全局运营效率。平台的建设从集团与矿端两个层面综合考虑，涵盖矿端-集团端两级，构建全集团、多矿井协同化的综合平台。通过平台加强企业信息化建设，切实企业的监管、协调、组织和调度指挥能力，通过建立高度集成的信息化平台，保证企业在统一调度方面互联互通、资源共享，满足对日常安全生产调度管理、生产调度决策分析、应急事故处理、应急救援、智慧管控等需要。

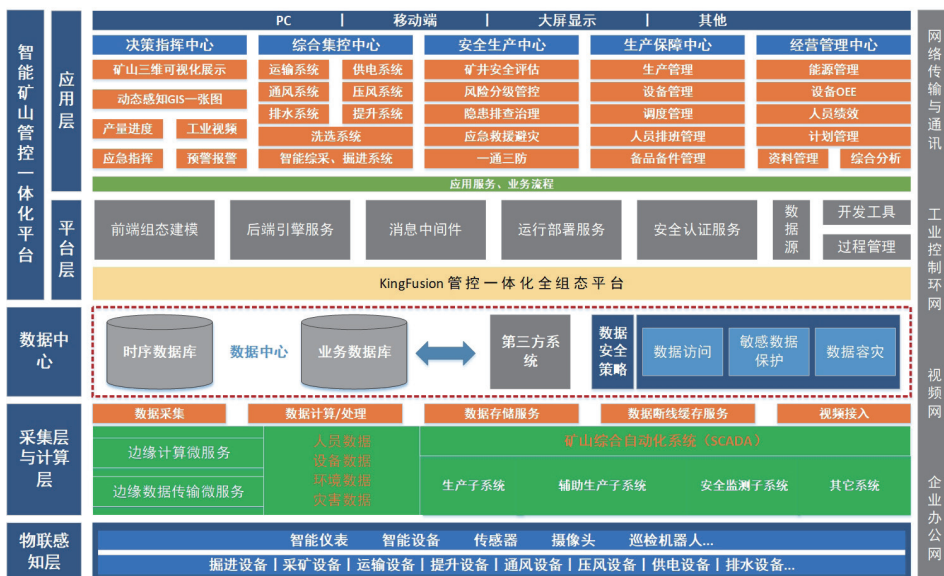


图6 CERP综合控制平台架构图

3.1.2 基于人机交互的实景模拟培训场景

基于人机交互的实景模拟培训场景是利用三维建模、数字孪生和虚拟现实技术，结合互联网三层架构及服务化原则，借鉴成熟的平台化服务模式，形成的平台的分布式设计、响应速度优先、高可靠性、性能线性扩展、数据合理切分容量动态扩展，并且具有功能模块化、服务可扩展化、高安全性原则的新型培训系统。通过对煤炭行业设备设施进行三维建模及三维虚拟仿真技术实现渲染和数据建模，将现场作业和培训转化到虚拟仿真系统中，有效解决企业实训成本高、现场培训物理空间受限的问题，同时将生产操作、设备结构、维护保养、故障诊断等知识数字化、可视化，使信息传递更高效、更准确，将数字孪生和虚拟现实技术有效应用到企业数字化转型中。实现学习培训管理、三维仿真系统、考试中心、系统管理等功能。

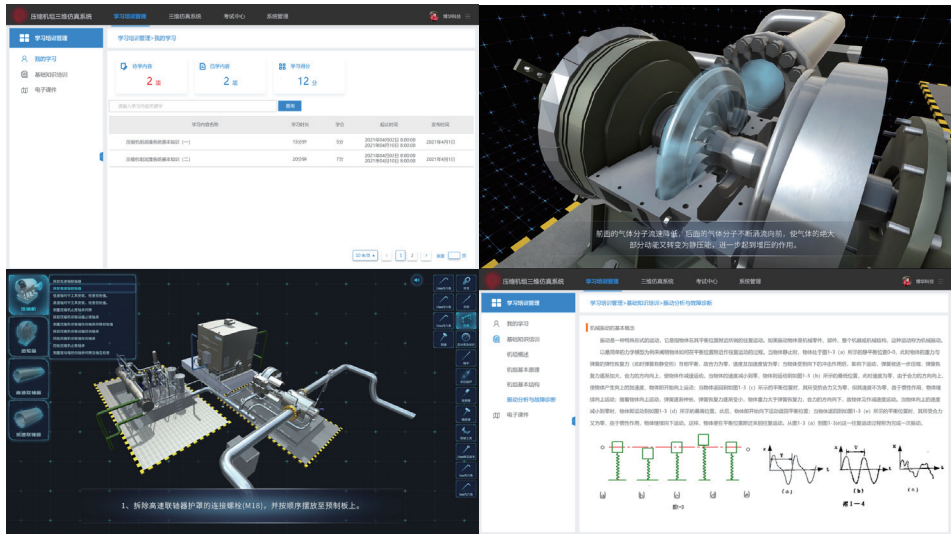


图7 人机交互的实景模拟培训场景图

3.1.3 数据资产化管理场景

煤矿自动化与智能化的广泛应用随着数据复杂性持续增加, 依靠“手工人力”的数据资产管理手段正在逐步被“自动智能”的“专业工具”取代, 覆盖数据资源化、数据资产化的多个活动职能, 能够极大地降低数据资产管理成本。

数据资产管理要依托统一管理平台, 着力打造覆盖数据采集、流转、加工、使用等环节的数据资产管理平台, 实现数据资产的全流程管理, 使各活动职能相关工具保持联动。

通过对安全、设备、生产、经营等数据的提炼、挖掘、分析, 提升煤矿企业管理能力和管理效益, 防范企业经营风险。依托数据分析, 最大限度利用云计算、大数据技术, 指导煤矿企业生产和经营管理, 为企业决策提供数据支撑。进行数据挖掘经营分析, 实现生产和经营优化, 提高企业

利润和市场竞争力的。

数据资产管理平台涉及数据的采集、储存、治理、计算等多个过程，主要包括煤矿设备高频信号采集与处理技术、矿井复杂环境下边缘智能网关技术、分布式时序数据库技术及数据质量分析技术等。

数据资产管理平台的功能主要为实现煤矿企业数据的采集、汇聚、存储、治理、共享、分析等。

利用边缘智能网关采集汇集煤矿企业生产多源异构数据，内嵌边缘计算功能，实现数据的预处理和异常数据的清洗，同时利用数据治理标准规范数据的传输、存储格式，避免了标准不统一导致的数据孤岛等问题。借助工业大数据平台保证多源异构数据的存储和管理，如元数据、主数据存储，实时数据存储，电量数据存储，报警数据存储等。数据共享提供了开放的数据接口和对外服务，实现数据多处共用的便捷性。

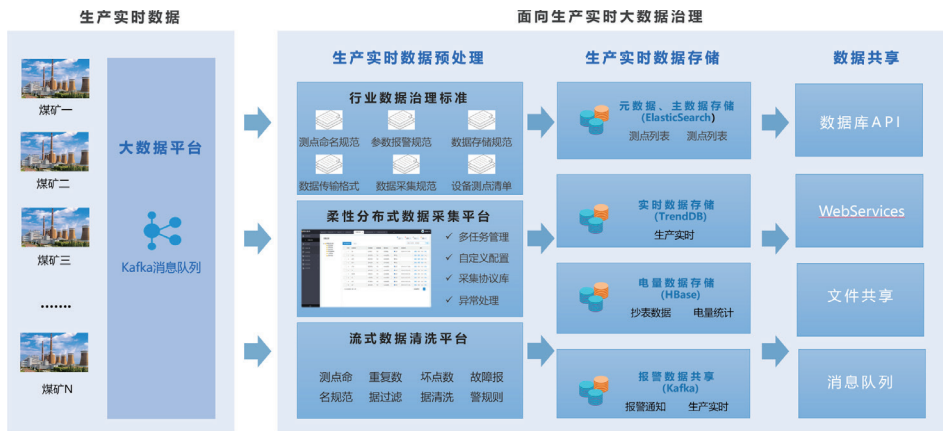


图8 数字化资产管理场景逻辑图

■ 3.2 过程自动化应用场景

过程自动化应用场景主要是在生产过程中的智慧矿山体系建设。过程自动化就是对生产过程的智能化，其主要包括在生产过程中的安全监控、安全隐患预测预警、智能化应急救援管理、人员调度管理、生产过程的监测监控、生产进度智能化管理、生产设备自动化、智能化运销调度管理等与生产直接挂钩的智慧矿山智能化管理模块。

3.2.1 矿区设备一体化控制场景

随着数字化转型的进程，煤矿开采设备从机械化、自动化进一步发展至智能化，掘进效率和自动化程度进一步提高。利用管理信息系统对设备进行智能管理，建立以信息化为核心的管理体制，实现生产过程的采、掘、运、除尘、排水、供电智能化，生产状态和信息动态跟踪并可视化展示、矿侧设备智能运维与管理，极大地提高设备管理效率，实现“集中化控制、少人化管理”。矿区设备一体化控制场景，首先是对煤炭企业设备的基本数据和数据流动使用记录进行规范化存储，建立设备地图。其次是对设备位置和状态实时跟踪和监控，可视化的界面方便用户直观查看。针对设备的日常运行与维护，设备的维修保养和点检都可以通过维护系统进行所有流程处理，智能化维护系统可以分析设备故障，维修成本，监控设备运行状态，预测设备的生命周期，及时提出异常警报，降低设备故障率，减少设备故障而导致的生产损失，。通过云端服务器，对数据进行深度挖掘，配合存储了海量专业知识及专家方案的专家知识库，为管理者提供辅助决策。



图9 矿区设备一体化控制平台架构图

3.2.2 调度指挥中心可视化指挥场景

数字化转型过程中，煤矿在自动化、信息化、智能化建设方面进一步发展，在安全生产、绿色高效方面取得了明显成绩，解决了业务割裂、数据独立、信息不对称等问题，形成一体化综合集成和资源共享。对信息和资源从视觉的实时集中展示。可视化智慧调度系统主要涉及三个方面，一是系统的集成化程度，平台尽管融合多个多个业务控制子系统，。二是矿用生产经营管理系统间融合和数据共享程度，生产经营管理数据需要集成和分析，要做到数据循环交互，以支撑未来新模式新业务及智能化软件的开发。三是基于煤矿的协同智能应用，实现煤矿勘、设、建、地、测、采、掘、机、运、通、防、安、管等多源异构数据综合集成、总计分析和可视化展示。



图10 综合自动化监控平台界面图

3.2.3 安全监测及预警决策场景

安全监测及预警决策场景主要以大数据、云计算等先进技术作指导，依托实现煤矿安全大数据的数据挖掘分析，对数据仓库中的数据信息（包括历史数据信息和即时数据信息）进行充分挖掘，分析挖掘出矿井生产当中安全隐患、危险源的演变过程、作用机理、薄弱环节。将采集到的即时信息进行分析研判，形成异常情况预警云信息库并更新云数据库，在云数据库中检索有关的信息寻求解决方案，并实时推送给不同层级管理人员，以此作为决策依据，加强安全整改工作，注重借由数据对“日常安全隐患的预警、安全薄弱环节的发现”功能的实现。首先是系统运用信息和通信技术手段与生产控制系统对接，采集各生产控制系统的运行状态，实现各生产单位生产状态的分级、实时的监控与预警、报警功能。其次是系统集成各种综合自动化及工程数字化系统，通过建立统一的数据认证中心，统一的登录界面，实现登录一次就可以访问所有集成系统的功能。之后是借

助于GIS在计算机上三维呈现，实现矿山地质的全面可视。最后是构建系统可展示的模块：煤矿安全环境监控模块、煤矿井下作业人员管理模块、煤炭产量监测模块、煤矿图像监视模块、煤矿应急救援管理等模块。同时，系统具备接入三维地图管理模块的能力。

3.2.4 应急救援协调联动场景

应急救援协调联动场景是利用先进的公共安全管理理念与技术，结合云计算、大数据、物联网、人工智能、移动互联等新一代信息技术，推进先进技术与应急管理业务深度融合，实施主动风险管理，创新公共安全管理和服务模式，建设全面支撑具有系统化、扁平化、立体化、智能化、人性化特征的与大国应急管理能力相适应的现代应急管理体系，实现应急管理信息化跨越式发展。是实现传感器和各设备之间的关联配置，可通过图形框选的方式和列表选择的方式进行配置。配置了关联关系的传感器，在监测该传感器信息时，相关联的传感器或设备信息，会在系统关联展示界面中进行显示。

● 安全监测系统关联展示

设备联动配置好后，在地图上点击安全监测传感器，会自动显示关联的设备的信息，包括：传感器的基本信息、该传感器的变化趋势曲线图、关联的人员分站的当前人数、调度电话和无线通讯的信息、工业视频的信息及应急广播的信息。

● 人员定位系统关联展示

设备联动配置好后，在地图上点击人员定位传感器，会自动显示关联的设备的信息，包括：人员分站的设备基本信息及实时数据、人员分站

的人数变化曲线图、关联的安全传感器的信息、调度电话和无线通讯的信息、工业视频的信息及应急广播的信息。

● 机电设备关联展示

设备联动配置好后，在地图上点击机电设备，会自动显示关联的设备的信息，包括：设备基本信息、关联的人员分站的信息、关联的安全传感器的信息、调度电话和无线通讯的信息、工业视频的信息及应急广播的信息。

● 工业视频关联展示

设备联动配置好后，在地图上点击工业摄像头，会自动显示关联的设备的信息，包括：摄像头的基本信息、关联的人员分站的信息、关联的安全传感器的信息、调度电话和无线通讯的信息、工业视频的信息及应急广播的信息。

● 调度通讯关联展示

设备联动配置好后，在地图上点击调度电话，会自动显示关联的设备的信息，包括：调度电话基本信息、关联的人员分站的信息、安全传感器的信息、工业视频的信息及应急广播的信息。

● 应急广播关联展示

设备联动配置好后，在地图上点击应急广播，会自动显示关联的设备的信息，包括：应急广播信息、关联的人员分站的信息、安全传感器的信息、工业视频的信息、调度电话和无线通讯的信息。

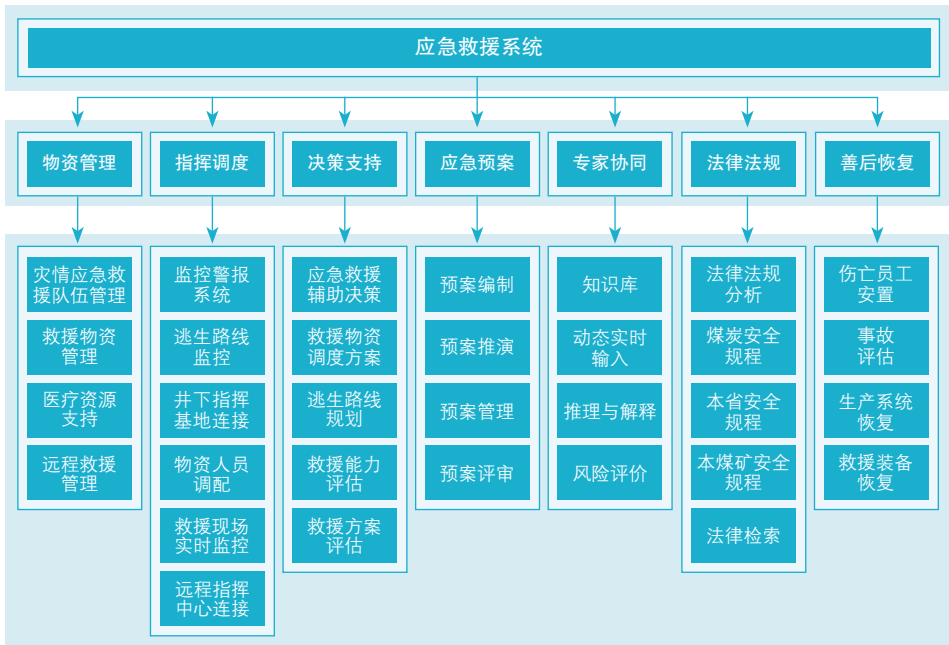


图11 应急救援系统架构图

3.2.5 煤炭产品运销调度场景

煤炭产品运销调度场景是一个以供应链、防控、调度管理为核心，集运输（公路，铁路）调度、指挥、监控为一体的大型综合性管理信息系统。此系统涵盖了话音、数据、图像、视频、调度等综合信息的交换、传输与处理业务；集成了防控、道闸、红外线、视频监控、IC智能卡、电子抓拍等各子系统，具有简单、直观、灵活的图形界面，安全、稳定、强大的系统功能。将业务终端的运销调度数据实时传输到运销调度管理中心，实现对业务终端的运销数据及视频的统一查看及远程监管与控制，为各级领导监控生产调运、制定决策起到重要的指导作用。其实施大大促进了企业运销调度工作的标准化、自动化、信息化与可视化。

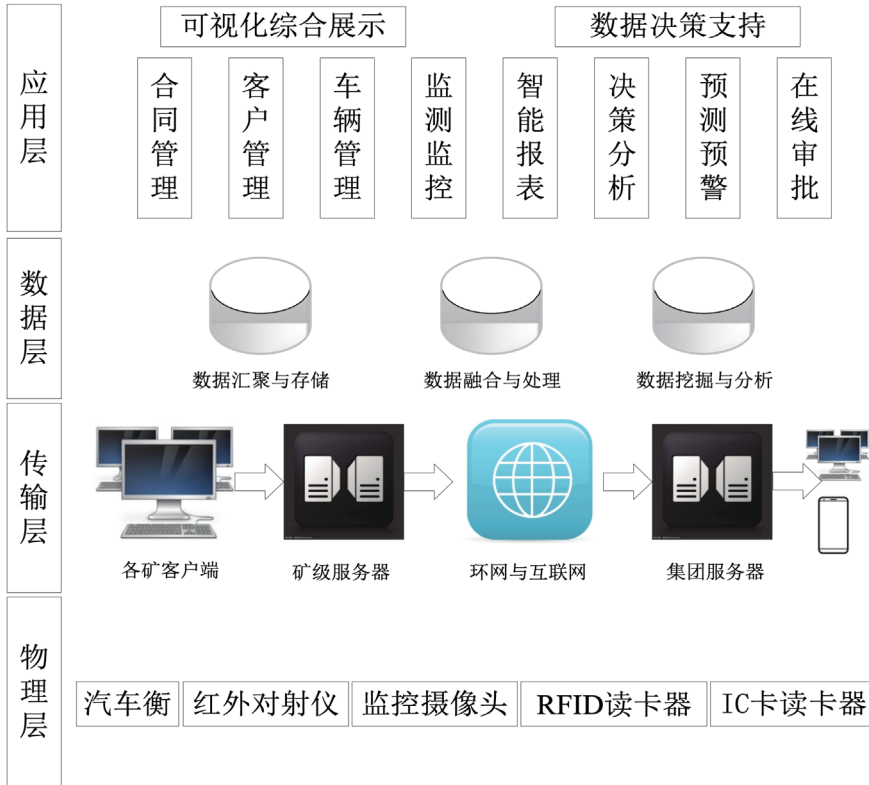


图12 运销调度平台架构图

3.2.6 露天矿无人矿卡智能化控制场景

露天矿无人矿卡智能化控制场景通过5G无线通讯、北斗定位、惯性导航等技术，利用智能调度管理中心不间断的计算、规划、管理，实现矿区运输无人化、智能化调度。无人矿卡智能化建设一般包括智能调度与监管系统（涵盖运输智能化调度、设备监测安全管理、数据分析管理、地图编辑管理）、无人驾驶系统、协同装载/卸载作业系统。各系统之间的相互作用关系如下图所示。



图13 矿山生产管理系统图

● 智能调度与管理系统

云端智能调度与管理系统能够与无人矿车，协同作业系统通信，支持5G网络通信协议，能够通过不间断的计算、规划、调度、管理，完成矿区运输智能化调度、设备监测、数据管理分析管理、地形数据管理功能。

● 矿车无人驾驶系统

无人驾驶车辆具备自动行驶功能（装/卸区不间断循环作业）、随时接收云端智能调度或人工调度任务，通过环境感知模块对现场环境进行实时探测。再由决策模块根据外界环境感知模块输入的障碍物信息、无人运输作业智能管理系统输入的地图路径和逻辑信息、规划模块输入的路径参数信息、安全监控模块系统输入的安全级别信息、底层反馈的控制反馈信息，进行综合的逻辑决策判断，输出矿车行驶的运行状态指令、装卸载模式、速度、行驶地图和灯光喇叭等信息，其中包括车辆绕障、会车、跟车以及停车等行为决策，实现矿车的无人化作业。

● 协同作业系统

该系统通过对V2X实时信息通讯接口，可以高效、安全、可控的协同无人矿车、矿卡与挖掘机相互协作，通过有序的装载物料完成挖掘开采任务。

■ 3.3 工程数字化应用场景

工程数字化场景是从实现智慧矿山的相关功能及技术条件的角度切入，其涵盖智慧矿山建设的设施建设情况、技术利用情况及数据协同情况。设施建设情况指的是为了实现智慧矿山的基本功能及效果进行硬件设施方面及软件支持方面的基础设施建设情况。技术利用情况指的是对数字矿山的相关先进技术的运用情况，即从当前智慧矿山建设的普及技术的更新利用情况及新型技术的研发投产情况进行分析。数据协同情况指的是从数据信息层面实现对智慧矿山内部的生产模块、管理模块的协调管理及协同作用，保证智慧矿山体系的完整性与统一性。

3.3.1 数字化勘探设计场景

数字化勘探设计场景是将煤炭勘探、设计过程中一些分散的元素整合在一起，从而成为一个更具有整体性和协调性的系统工程。数字化勘探设计场景承载着采集和整合数据信息的任务，主要涉及多方面的技术，如地理信息系统(GIS)、数据库、计算机图形学、地质学、地质统计学、地质建模、Auto CAD、3D激光扫描等。在大数据、人工智能、云计算、物联网等技术的赋能下，数字化系统将勘探设计技术紧密结合起来并形成了一个智能化勘探设计体系，这与传统的各学科独立工作的模式完全不同。

勘探的数字化转型将三维地质模型融入矿山信息系统建设中，综合使用煤矿地质勘探成果资料、生产技术图件和生产地测数据，实现煤矿地表、地层、煤层、断层和巷道的三维建模，构建矿井信息模型三维场景，以解决复杂地质条件下智慧矿山信息系统建设工程的集成与虚拟建造问题，更好的实现矿山勘探设计全生命周期的管理。



图14 全生命周期矿山工程工作平台架构图

3.3.2 人机实时定位交互场景

人机实时定位交互场景是基于北斗定位、基站定位、GPS定位等定位技术实现对煤矿生产过程中人员和机械的定位的场景。人机实时定位交互场景主要可以分为人员实时定位场景和设备实时定位场景。

人员实时定位场景是基于井下基站、移动终端GPS定位对井下人员

的实时位置、运动轨迹进行捕捉。人员定位一方面是实现井下人员位置的精准标记，辅助井下生产过程中的人员调度决策，应急救援过程中人员的活动轨迹捕捉及位置确定提供准确信息。另一方面是在井下复杂环境中帮助井下工作人员进行精准的制导，避免采空区、危险区工作区的人员闯入。

设备实时定位场景是融合采煤机坐标与地质坐标，完成基于采矿设备位置坐标推导计算及设备姿态的坐标转换计算。设备实际轨迹的坐标转换计算是精准定位井下设备的位置及活动轨迹。设备实时姿态的三维模拟是对井下大型设备的组合零件进行精准定位计算，模拟设备的姿态变化，辅助设备的智能化操作。



图15 人机实时定位交互场景图

3.3.3 井下实时监控监测场景

井下实时监控监测场景是基于地理空间、云计算、大数据、虚拟化、计算机软件及各种网络，集成应用各类传感感知、数据通信、自动控制、智能决策等技术、对煤矿信息化、工业自动化深度融合，完成煤矿企业所有信息的精准适时采集、高可靠网络化传输、规划化信息集成、实时可视

化展现、生产环节自动化运行，能为各类决策提供智能化服务的数字化智能体，对隐患、故障和危险源提前预知和防治，提高煤矿信息化装备与现代化管理水平。

建设全时空感知、全要素联动、全周期迭代的智能煤矿操作系统平台和智能应用，实现矿区“一张图”可视化管理，通过矿区全景和关键设备精细化建模，将设备状态信息和报警信息以空间位置为桥梁进行综合集成和融合，基于设备运行的感知数据，以数字映射的智采工作面来逼真地模拟实际采煤状况。基于设备和工作面数字孪生，可实现透明化的采矿生产、运维和服务，预期目标包括：

（1）建立信息化标准体系，实现人员、设备、煤矿环境、生产过程的全方位管理，实现各子系统的互联互通、融合联动。

（2）基于智能管控体系，实现煤矿各专业的智能辅助设计、机电设备的智能辅助管理、矿井运营的智能辅助决策。

（3）基于智能化管控体系，对全矿井人、机、环的位置和状态信息的全时、全域智能感知，实现重大安全隐患（水、火、瓦斯、顶板、地压）与机电设备故障的实时报警、预警、主动预防和应急联动处置，创建本质安全型矿山。

（4）通过智能化建设，推动各业务流程的优化与再造，实现矿井管理的精简与高效。

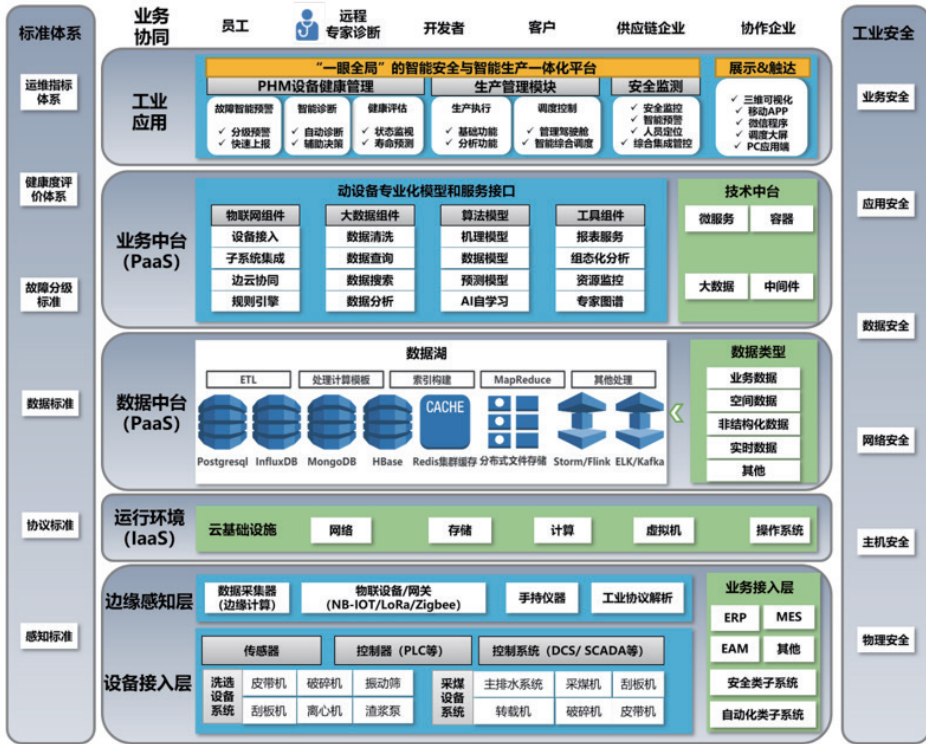


图16 井下实时监控监测平台架构图

3.3.4 煤质煤量监测分析场景

煤质监测是对煤质数据进行统计分析，实现对煤矿实时生产的煤炭质量进行监控管理，并加以统计，通过图表的方式展现煤质情况。煤质监控的数据来源销售科和选煤科对煤质数据的录入。基于数据利用统计学的相关技术对煤质情况进行分析，利用可视化相关技术对煤质情况进行展示。实现对煤质数据进行分析处理，展示煤质变化情况，对不同煤质的产品进行统计，展示不同煤质产品的分布情况的功能。实现帮助企业对煤质情况进行整体把控，及时做出策略调整，帮助企业对煤质变化进行监控，根据

煤质变化调整企业策略的目的。

煤炭产量监控系统在煤炭生产企业的日常经营管理活动中有着非常重要的意义，可以有效地检测煤炭生产和开采的情况，对于煤炭企业的产量进行监控，从而提高煤炭企业的生产效率。

现在煤矿使用的煤炭产量监测系统必须符合国家行业标准规范的要求。根据中华人民共和国煤炭行业标准MT1080《煤炭产量监测系统通用技术要求》与MT10822008《煤炭产量监测系统使用与管理规范》的要求，煤炭产量监测系统中的设备“应符合国家及行业有关标准的规定，并按照经规定程序批准的图样及文件制造和成套，取得“MA安全标志”。此外，系统应具有高起点、高水平，应用软件工程方法，以构件方式进行开发，充分利用软件领域内的国际最新科技成果。系统软硬件设备与已建设的其他系统应保持兼容，便于数据的共享。

煤矿产量监测系统应包括数据存储模块、产量实时显示模块、传感器状态监控模块、产量报表分析模块等内容。

数据存储模块。用来对数据的存储和初步的数据分析

产量实时显示模块。在实时显示界面中可以显示当前最后一次通过该采集设备的矿车载重量，并且可以显示一个小时以及一天之内通过该采样点矿车的累计车载重量。

传感器状态监控模块。该模块可以对各个采集原始数据点的传感器的状态进行监测和控制，并且在传感器状态监控界面对各个点的当前状态进行显示，对有故障的传感器进行报警和控制。

产量报表分析模块。该模块可以对采集到的原始数据进行报表的统计查询和分析。

产量曲线分析模块。该模块可以对采集到的原始数据进行煤炭产量的单位时间的曲线统计分析。比如某煤矿一天或者一个月、一年的产量统计，不同煤种的产量分析统计以及某一煤矿某一采点的实时产量的跟踪统计。

3.3.5 采空区监测及生态修复场景

采空区监测及生态修复场景是以三维地理信息系统作为基础平台，结合高分辨率影像地形，矿山倾斜模型，边坡平台BIM模型，矢量（矿山设计CAD图纸、红线）等基础数据，以及整合矿井多种来源、各种专业的监测数据。实现矿山生态修复现状未来一张图，工程投资一张表等功能，让用户能非常直观的了解矿山生态修复设计情况，满足项目汇报及管理需要，提高决策的科学性和合理性。同时能够满足工程人员矿山CAD设计图纸一键翻模，设计成果快速三维可视化，构件参数化设计，土方量计算等要求。

采空区监测及生态修复场景实现生态数据实时监测、智能养护和动态管理要求。通过收集矿山有关的现状信息、规划信息、项目信息以及监测信息，动态构建矿山生态修复数字化智能管理应用，从空间方位上呈现生态本底等内容,为项目立项提供分析数据，为矿山生态修复管控环节提供实用的数据支撑。通过科学有效的手段减少开采过程中出现的地质灾害隐患突出、水土流失严重等生态环境问题，依靠生态系统的自我调节功能，并辅以科学合理的人工修复技术，提出矿区景观生态修复策略，为开采后进行治理、矿区生态环境修复和改善提供参考有针对性依据，减少治理过程中产生的不必要的资金浪费。

四、标准规范

4.1 标准化现状

4.1.1 标准体系不完善

煤炭行业已发布的信息化标准类别占比情况和信息化标准计划类别占比情况见下图。

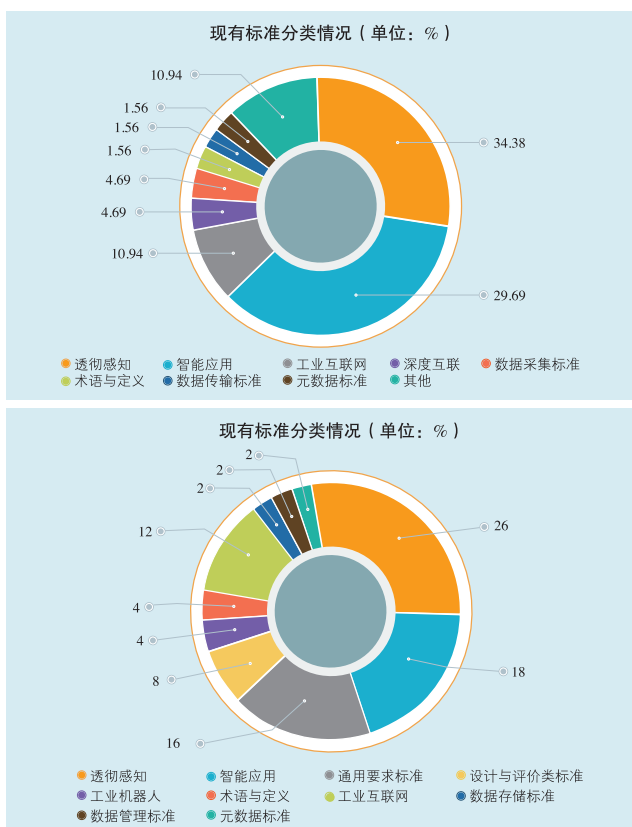


图17 现有标准分类情况图

从煤炭行业信息化标准整体分布情况来看，当前已发布的标准主要集中在透彻感知设备和技术、安全监测类智能应用、通用工业互联网设备和技术等方面；标准计划主要集中于透彻感知类设备和技术、安全和生产类智能应用、煤炭企业智能化通用要求标准等方面。煤炭行业信息化标准在内容上存在以下不足。

行业顶层设计标准供给不足。顶层设计标准是煤炭行业内各企业进行数字化建设的总体依据，是煤炭行业数字化建设的总章程，对煤炭行业数字化转型起到根本的、主要的指导作用。目前无论是国家标准还是行业标准，都缺乏煤炭行业数字化转型和煤矿智能化建设基本架构等方面的顶层设计标准。这类标准的缺失，将严重影响煤炭行业数字化转型的效率和质量。

关键技术领域标准有待完善。随着煤炭行业数字化建设的进行，云计算、大数据、人工智能、物联网、数字孪生等新一代信息通信技术快速发展，煤炭行业正在深化产业变革。虽然针对矿用5G通信技术已经设立了一批标准计划，但在煤矿信息网络、通讯网络、矿井定位网络及信息安全等方面的煤矿信息互联网标准尚不完善。针对智能控制系统、无人驾驶、工业机器人等方面的新兴智能化装备通用标准的发布量极少，难以指导煤炭行业数字化转型进程中的技术研发和装备升级。

产业链标准发展严重不均衡。现有煤炭行业信息化标准主要集中于煤矿智能化领域，产业上下游其他领域的标准较少。煤矿智能化是煤炭行业数字化转型的主体，也是煤炭行业数字化转型的重要基础。但煤炭行业的数字化转型需要全产业链上生产方式、管理模式的共同变革，需要上下游企业充分的协调联动。因此，煤炭行业数字化标准建设也应遵循协同原则，构建服务于煤炭全产业链各主体的标准体系。

行业新兴领域标准亟待创新。随着国家能源政策和发展战略的调整，煤炭行业面临着绿色发展、碳达峰碳中和、能源保供等新的挑战与要求，但在这些新兴领域缺乏指导性的规范准则，给煤炭行业的产业升级带来不确定性。

4.1.2 标准制修订存在滞后性

标准更新不及时。标准的时效性是标准发挥基础性、引导性作用的重要基础。煤炭行业现有的信息化标准中部分标准老化严重。以煤矿通信系统为例，有些标准发布于本世纪初，常年处于未更新状态，未能与技术迭代同步更新。这些信息化标准已经失去标准所具有的指导意义，远达不到数字化转型要求，需要进行及时完善或升级。

科技研发与标准制定尚未同步。煤炭行业信息化标准立项起步晚，一般迟滞于相关科学技术的研发。随着科技的进步，技术迭代进化周期逐步缩短，技术标准制定滞后不利于标准的推广与实施。煤炭行业数字化转型是一个以科技创新为引领的现代化转型进程，必须坚持产学研深度融合发展，需要重视创新型标准及新技术领域标准的制定和修定。

4.1.3 标准国际化不足

我国主导制修订的国际标准较少。当前煤炭行业中加入国际标准化组织的机构较少，参与制修订的国际标准数量不多，相对于我国煤炭巨大的国际市场份额和我国大国地位，我国在煤炭行业标准领域的国际话语权较弱。

缺少与国际标准的互认。煤炭领域先进的国际标准尚未转化成我国国家标准，并且现有标准的国际推广力度不够，缺少与国际标准的互认，外

文版本标准数量较少。我国国际化标准的不足，形成了煤炭行业产能与技术转移的障碍，减缓了煤炭行业数字化转型的进程，不利于煤炭行业高质量发展。

■ 4.2 标准体系

煤炭行业数字化转型标准体系是在煤炭行业数字化转型的建设范围内，由若干相互关联、相互制约、相互依存的煤炭行业数字化转型或与之相关的标准组成的具有目的性、可行性、特定功能、约束性的规范体系。

煤炭行业数字化转型与“两化融合”、煤矿智能化建设、工业互联网体系架构一脉相承，本白皮书在梳理煤炭生产各环节智能化技术应用现状及趋势、分析煤炭行业数字化转型技术体系的基础上，以工业互联网标准化体系为基础，参考制造业数字化转型标准框架，在煤炭行业数字化转型技术架构的指导下，以相关法律法规、相关部门文件、相关规程及标准等为依据，形成煤炭行业数字化转型标准体系总体框架。其具体包括基础共性标准、通用技术标准、数据要素标准、数字化工具标准、数字化企业标准、数字化供应链标准以及信息安全系列标准、应用领域标准8个部分。

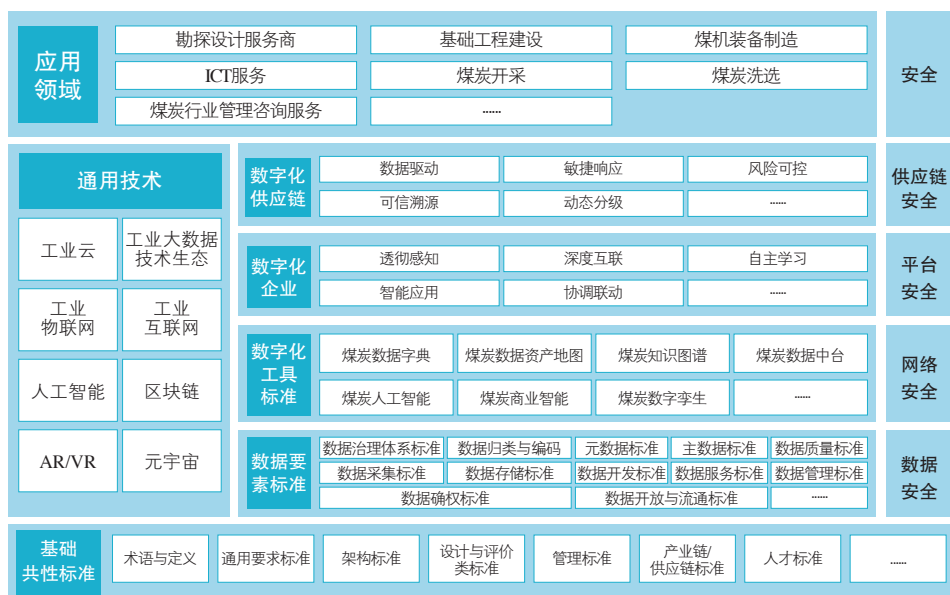


图18 煤炭行业数字化转型标准体系图

4.2.1 基础共性标准

煤炭行业数字化转型基础共性标准作为标准体系的总领和基础依据，界定了煤炭行业数字化转型标准的范围，为其余各类标准提供基础支撑，涵盖了术语与定义标准、通用能力要求标准、架构标准、设计与评价标准、数字化转型管理标准、数字化转型产业链和供应链标准、数字化人才标准等。

术语与定义标准：明确煤炭行业数字化转型标准的范围，规范界定煤炭行业数字化转型相关技术术语与定义。

通用要求标准：主要规范煤炭行业数字化转型的通用能力要求，涵盖业务、功能、性能、管理和运维等方面。

架构标准：包含煤炭行业数字化转型业务架构、功能架构和技术架构及煤炭工业互联网体系架构和参考架构等，明确界定煤炭行业数字化转型中的实体、边界以及各部分的层级关系和内在联系。

设计与评价标准：主要规范煤炭行业数字化转型所需的各类技术、产品、设备和系统的设计要求以及数字化建设项目的设计与评价方法，包括测试、评估指标与方法、验收、度量、计价、咨询诊断指南等。

数字化转型管理标准：主要规范煤炭行业与数字化转型项目或工程的建设及运行相关的责任主体以及关键要素的管理要求，包括煤炭数字化转型项目建设标准、运维服务标准以及煤炭数字化转型项目模式创新指南等。

数字化转型产业链和供应链标准：主要规范数字煤炭生态中产业链上下游企业供需对接、协同运作及可持续发展。从宏观层面，确定煤炭产业链和供应链的发展方向，为建设煤炭行业数字化产业链和供应链奠定基础性规则。数字化转型产业链和供应链标准涵盖供应链信息共享机制、供应链安全风险管理机制、供应链性能评估方法、供应商管理机制以及跨企业的数字化合作监管规范、煤炭数字化产业链创新模式指南等内容。

数字化人才标准：主要包括煤炭行业数字化转型从业人员的培养标准、人才资质评价标准等。基于这类标准，对从业人员的专业知识、技术技能和综合能力等进行规范，以保障煤炭行业的高质量发展。

4.2.2 通用技术标准

通用技术标准奠定煤炭行业数字化转型的技术基础，用于指导煤炭行业数字化转型的通用技术选型，主要包括工业大数据、工业云计算、工业

物联网、工业互联网、人工智能、区块链、AR/VR、元宇宙等方面的技术标准。

4.2.3 数据要素标准

数据要素标准为煤炭行业数据要素在全生命周期的流转提供规范和引导，主要包括数据治理体系、数据归类与编码、元数据、主数据、数据质量、数据采集、数据存储、数据开发、数据服务、数据管理、数据确权、数据开放与流通等方面的标准。

4.2.4 数字化工具标准

数字化工具标准用于规范和指导煤炭行业数字化转型中运用的支撑性技术工具，主要包括煤炭数据字典、煤炭数据资产地图、煤炭数据知识图谱、煤炭数据中台、煤炭人工智能技术、煤炭商业智能、煤炭数字孪生等方面的标准。

4.2.5 数字化企业标准

数字化的煤炭企业一方面是支撑行业资源泛在连接、弹性供给、高效配置的载体，另一方面又是数字化转型服务的主体。数字化企业标准按照功能目标分为透彻感知类标准、深度互联类标准、自主学习类标准、智能应用类标准和协调联动类标准，涵盖煤炭行业数字化转型技术架构中感知控制终层、网络通信层、数据及应用支撑层、应用与展示层的建设要求。

4.2.6 数字化供应链标准

数字化供应链标准与基础共性标准中产业链和供应链标准的宏观指导

作用不同，其聚焦于数字化供应链的具体功能实现，围绕“数据驱动、敏捷响应、风险可控、可信溯源、动态分级”五大技术需求，构建以技术目标为导向的数字化供应链标准体系，指导数字化供应链的功能建设，给煤炭供应链上下游企业的数字化建设提供具体功能规范和技术引导。

4.2.7 信息安全标准

信息安全标准：从不同层面保障煤炭行业数字化转型的信息安全，主要包括数据安全、网络安全、平台安全和供应链安全等方面的标准，提供信息安全监测、信息安全应急响应、信息安全运维、信息安全评估、信息安全能力评价等技术规范。

数据安全标准：从数据层面保障煤炭行业信息安全，包括数据安全风险辨识、数据安全风险分级、全生命周期安全防护等安全管理及技术要求。煤炭行业在数字化业态下，信息安全的保障重心将从网络安全下沉到数据安全，实现更为本质的信息安全防护。

网络安全标准：从网络层面保障煤炭行业信息安全，主要包括设备与控制安全（智能移动终端、边缘计算终端、数控工业系统等）、网络及标识解析安全、网络安全等级保护等方面技术规范。

平台安全标准：从信息系统层面保障煤炭行业信息安全，主要包括煤炭企业各类工业系统、信息平台及其相关技术生态和开发环境应遵循的信息安全要求。

供应链安全标准：从ICT服务供应链层面保障煤炭行业信息安全，主要包括煤炭行业ICT服务供应链上下游企业在交付或者转移ICT产品或服务时应遵循的信息安全管理规范及技术要求。

4.2.8 应用领域标准

应用领域标准用于规范和指导煤炭行业数字化转型标准体系落地推广的具体领域，主要包括煤炭勘探设计、基础工程建设、煤机装备制造、ICT服务、煤炭开采、煤炭洗选、煤炭行业管理咨询等领域在煤炭行业数字化转型服务中应遵循的标准要求。

五、数字化转型建议

煤炭行业数字化转型的用户主体可以分为数字化转型服务企业，数字化转型应用企业和数字化转型相关方。数字化转型服务企业是为需要进行数字化转型的企业提供服务的相关企业，包含数字化转型解决方案商、设备商等；数字化转型应用企业是进行数字化转型的企业，例如煤矿、煤化工场等依托新一代信息技术在生产、管理等方面进行变革以期提高生产效率，企业收益的企业；数字化转型相关方指的数字化转型相关的科研院所、评估机构等单位。

■ 5.1 数字化转型服务企业

加强客户数字化转型需求获取，提升客户痛点问题把握。分析行业内外的背景趋势，解读用户企业发展战略，自上而下规划布局数字化转型的蓝图远景。加强对煤炭企业从煤炭行业数字转型客户视角分析客户需求，帮助客户解决痛点问题，提高整体规划能力，提升产品的实际利用效率。

提升数字和业务的双驱动融合，开发数据价值。从业务及IT两个维度入手分析现状及需求，强化业务及IT的数字化转型双轮驱动设计。强化网络及网络安全基础设施规划设计，夯实转型基础。形成数据治理能力，实施企业数据质量提升。

形成系统集成服务，优化一体化设计布局。加强一体化设计服务能力及产品模块化推广能力，形成完善的模块产品拼接集成机制。提升产品的环境适应能力，预留互联接口，从协议及数据共享转换方面提升与不同厂家其他产品的互联及集成能力。

■ 5.2 数字化转型应用企业

提升决策层管理层数字化转型意识，提升数字化转型驱动力。从决策层、管理层开始重视数字化转型思维意识的塑造，提升对煤炭行业数字化的认知，形成煤炭行业数字化意识生态。形成顶层组织层级推动煤炭数字化转型的驱动模式，提升数字化转型驱动力。

增强数字化转型人才关注度，培养和吸引数字化转型人才。加强新一代信息技术领域的职业培训，提升员工的数字化转型基础意识及职业技能能力，确保先进设备会使用，愿使用。重视数字化转型人才的获取，通过吸引数字化转型人才提升自身数字化转型能力及创新发展能力。

加强数字化转型顶层设计，准确把控数字化转型方向。从意识、整体规划、生态建设、管理模式等方面完善数字化转型顶层设计，依据顶层设计把控企业数字化转型方向，在应用项目的设计重点体现对企业整体蓝图战略及指标的承接，切中企业核心痛点，打造核心能力，形成数字化转型样板。

■ 5.3 数字化转型相关方

加强数字化转型咨询评测能力，帮助企业定位转型落点。开发数字化转型咨询服务，能力评测服务等相关能力，帮助数字化服务企业完善数字化转型方案及产品，帮助数字化转型应用企业正确把控自身数字化转型成熟度，选择合适的数字化转型产品服务。

完善数字化转型标准体系，引导企业数字化转型方向。进一步完善煤炭行业数字化转型标准体系，对标重点问题研发相关标准，依托标准帮准企业正确认识数字化转型，明确数字化的方式，引导企业数字化转型的正确方向。

促进数字化转型意识提升，提升企业数字化转型意识驱动力。研制数字化转型专题课程，开展数字化转型专题活动，推动行业数字化转型热潮。搭建数字化转型人才培养体系，助力企业各层级人才转型。

参考文献

- [1] 工业和信息化部《“十四五”信息化和工业化深度融合发展规划》(工信部规〔2021〕182号), 2021.11
- [2] 工业和信息化部办公厅《中小企业数字化转型指南》(工信厅信发〔2022〕33号), 2022.11
- [3] 国家发展改革委、能源局、应急部、煤监局、工信部、财政部、科技部、教育部《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》(发改能源〔2020〕283号), 2020.2
- [4] 国家能源局《煤矿智能化建设指南(2021年版)》(国能发煤炭规〔2021〕29号), 2021.6
- [5] 中国煤炭工业协会《煤炭工业“十四五”高质量发展指导意见》(中煤协会政研〔2021〕19号), 2021.3
- [6] 国家能源局《关于开展首批智能化示范煤矿建设的通知》(国能发煤炭〔2020〕63号), 2020.11
- [7] 国家能源局《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》(国能发煤炭规〔2021〕69号) 2021.12
- [8] 刘峰,曹文君,张建明,等.我国煤炭工业科技创新进展及“十四五”发展方向[J].煤炭学报,2021,46(01):1-15.
- [9] 葛世荣,胡而已,李允旺.煤矿机器人技术新进展及新方向[J/OL].煤炭学报:1-25[2022-12-29].
- [10] 王国法,张良,李首滨,李森,冯银辉,孟令宇,南柄飞,杜明,付振,李然,王峰,刘清,王丹丹.煤矿无人化智能开采系统理论与技术研发进展[J/OL].煤炭学报:1-20[2022-12-29].

- [11] 王国法,富佳兴,孟令宇.煤矿智能化创新团队建设与关键技术研发进展[J/OL].工矿自动化:1-18[2022-12-29].
- [12] 王家臣.我国综放开采40年及展望[J/OL].煤炭学报:1-18[2022-12-29].
- [13] 谭章禄,王美君.智能化煤矿数据治理概念模型及技术架构研究[J/OL].矿业科学学报:1-14[2022-12-29].
- [14] 梁运培,郑梦浩,李全贵,毛树人,栗小雨,李建波,周俊江.我国煤与瓦斯突出预测与预警研究综述[J/OL].煤炭学报:1-24[2022-12-29].
- [15] 张帆,葛世荣.矿山数字孪生构建方法与演化机理[J/OL].煤炭学报:1-13[2022-12-29].
- [16] 谭章禄,王美君.智慧矿山数据治理概念内涵、发展目标与关键技术[J].工矿自动化,2022,48(05):6-14.
- [17] 陈浮,王思遥,于昊辰,陈润,杨永均,陆诗建.碳中和目标下煤炭变革的技术路径[J].煤炭学报,2022,47(04):1452-1461.
- [18] 王国法.煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J].煤炭科学技术,2022,50(01):1-27.
- [19] 刘峰,郭林峰,赵路正.双碳背景下煤炭安全区间与绿色低碳技术路径[J].煤炭学报,2022,47(01):1-15.
- [20] 王家臣,潘卫东,张国英,杨胜利,杨克虎,李良晖.图像识别智能放煤技术原理与应用[J].煤炭学报,2022,47(01):87-101.
- [21] 谭章禄,吴琦.基于层级链参考模型的智慧矿山建设问题分析[J].矿业科学学报,2022,7(02):257-266.
- [22] 王国法,任世华,庞义辉,曲思建,郑德志.煤炭工业“十三五”发展成效与“双碳”目标实施路径[J].煤炭科学技术,2021,49(09):1-8.

- [23] 王国法,任怀伟,赵国瑞,杜毅博,庞义辉,徐亚军,张德生.煤矿智能化十大“痛点”解析及对策[J].工矿自动化,2021,47(06):1-11.
- [24] 葛世荣,张帆,王世博,王忠宾.数字孪生智采工作面技术架构研究[J].煤炭学报,2020,45(06):1925-1936.
- [25] 王国法,赵国瑞,胡亚辉.5G技术在煤矿智能化中的应用展望[J].煤炭学报,2020,45(01):16-23.
- [26] 谭章禄,吴琦,肖懿轩,王震,李烁.智慧矿山信息可视化研究[J].工矿自动化,2020,46(01):26-31.
- [27] 谭章禄,吴琦.智慧矿山理论与关键技术探析[J].中国煤炭,2019,45(10):30-40.
- [28] 谭章禄,马营营,郝旭光,张越.智慧矿山标准发展现状及路径分析[J].煤炭科学技术,2019,47(03):27-34.
- [29] 王国法,刘峰,庞义辉,任怀伟,马英.煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支撑[J].煤炭学报,2019,44(02):349-357.

中国电子技术标准化研究院

通信地址：北京市东城区安定门东大街1号
中国电子技术标准化研究院（100007）

联系人：邱硕涵

联系方式：010-64102751

邮 箱：qiush@cesi.cn