

青年博士学术专栏



移动扫码阅读

邱硕涵,谭章禄. 煤炭企业智慧矿山建设指标体系研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 259-266. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.10.035  
QIU Shuohan, TAN Zhanglu. Study on index system of intelligent mine construction degree in coal enterprises[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10): 259-266. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.10.035

## 煤炭企业智慧矿山建设指标体系研究

邱硕涵,谭章禄

(中国矿业大学(北京),北京 100083)

**摘要:**智慧矿山建设是当前煤炭企业推进两化融合的必经之路,但由于企业对自身智慧矿山建设情况的了解不足,导致在智慧矿山建设中存在盲目、低效的显现。为了帮助企业正确认识自身智慧矿山建设程度,首先对智慧矿山的基本体系进行阐述研究,构建智慧矿山建设体系,提出衡量智慧矿山建设程度的指标体系。之后对智慧矿山的建设的逻辑体系进行研究梳理,提出智慧矿山的阶段性建设思路,并以智慧矿山的建设阶段划分为指导,将智慧矿山的建设程度分为数字矿山、感知矿山和智慧矿山 3 个等级,以此衡量企业智慧矿山的建设程度,以期帮助企业加强对自身智慧矿山建设情况的认识。

**关键词:**综合自动化;管理信息化;工程数字化;指标体系;煤炭企业;智慧矿山

中图分类号:TD67

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)10-0259-08

### Study on index system of intelligent mine construction degree in coal enterprises

QIU Shuohan, TAN Zhanglu

(China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Intelligent mine construction is the only way for coal enterprises to promote the integration of two modernizations. However, due to the lack of understanding of their own intelligent mine construction, there are blind and inefficient manifestations in the construction of intelligent mine. The paper purpose is to help enterprises correctly understand the construction degree of their own intelligent mines. Firstly, the basic system of intelligent mine is elaborated and studied, the construction system of intelligent mine is constructed, and the index system to measure the construction degree of intelligent mine is put forward. After that, the logical system of intelligent mine construction is studied and sorted out, and the phased construction idea of intelligent mine is put forward. The construction stage of intelligent mine is divided into three levels: digital mine, perceptual mine and intelligent mine, in order to measure the construction degree of enterprise intelligent mine. In order to help enterprises strengthen their understanding of the construction level of their own intelligent mines.

**Key words:** integrated automation; management informationization; engineering digitalization; index system; coal mine enterprise; intelligent mine

### 0 引 言

随着两化融合的推进,煤炭企业智慧矿山建设已经成为实现煤炭企业工业化与信息化融合的必由之路。建设完善的智慧矿山平台,实现智能化生产与管理,不仅能够有效地提高煤矿生产的安全性,还能提高生产效率,实现对资源的合理调配。智慧矿山建设的基本要求是在符合企业生产管理实际的基

础上利用信息化技术,实现智能化生产与信息化管理<sup>[1]</sup>。目前,煤炭企业的智慧矿山建设虽然在积极地向这 2 点要求前进,但是由于对智慧矿山建设的本质认识不足,智慧矿山建设往往处于一种盲目的状态。这种状态下进行的智慧矿山建设的问题主要体现在企业对自身智慧矿山建设的目的和程度没有清晰的认识,同时没有一个清晰的标准能够保证体系评价智慧矿山建设的效果,进而造成建设过程中花费大量的代价进行重复性高、实用性低的项目,最

收稿日期:2019-04-29;责任编辑:赵 瑞

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61471362)

作者简介:邱硕涵(1993—),男,福建龙岩人,博士研究生。E-mail: qiushuohan\_one@163.com

通讯作者:谭章禄(1962—),男,江西赣县人,教授,博士生导师,博士。E-mail: tanzl@vip.sina.com

后不仅不能对企业效益起到提升作用,还使企业生产管理过程更加混乱<sup>[2]</sup>。

目前智慧矿山体系研究中的重点集中在理论架构、技术支持、安全管理、数据标准等方面,针对这些方面相关学者进行了大量的研究。徐静<sup>[3]</sup>基于智慧地球的理念,研究智慧矿山的内涵、架构、关键技术和路径,旨在构建智慧矿山工程理论框架和方法体系。霍中刚<sup>[4]</sup>以传感技术、数字化、物联网、大数据、云计算、“互联网+”等高科技为支撑构建智慧矿山平台。王莉<sup>[5]</sup>认为智慧矿山是基于数字矿山、物联网和云计算而建立的现实矿山与数字矿山的融合。

虽然上述研究都是煤炭企业在智慧矿山建设中的重点问题,但其不能帮助企业在智慧矿山建设中的应用有所突破。笔者认为目前煤炭企业的智慧矿山建设的主要问题集中在建设之初对智慧矿山理念认识浅薄,没有统一、合理的规划,导致企业智慧矿山建设规划混乱,系统利用率低、不成体系。针对这些问题,笔者认为可以通过一套完整的智慧矿山建设指标体系帮助企业对自身的智慧矿山建设程度进行了解,并分析出自身智慧矿山体系存在的缺陷。要构建一套科学合理的智慧矿山建设程度指标体系,必须对煤炭生产、管理的过程及智慧矿山的知识体系充分了解。笔者结合从事煤炭企业智慧矿山建设项目的实践经验,对智慧矿山体系构架做出了总结,并通过该体系建立智慧矿山建设程度指标体系,以此评价企业智慧矿山建设水平。之后根据指标体

系进一步对智慧矿山建设阶段等级进行划分,以此帮助企业正确认识自身的智慧矿山建设现状。

## 1 智慧矿山体系分析

智慧矿山体系是对煤炭企业智慧矿山建设的整体规划,其不仅保证了智慧矿山功能的完备,还保证了智慧矿山各个模块之间的统一协作。

### 1.1 智慧矿山基本概念

从煤矿生产实际出发,将智慧理解为智慧分析、智慧决策、智慧行为3点<sup>[6]</sup>。智慧分析是对煤炭企业在生产、管理及日常经营过程中产生的数据信息进行自动的筛选整理并进行分析,能够智能地以历史数据为依据对煤炭企业的运作过程进行思考,获取有用的信息或合理的推断。智慧决策是模仿人类做出决定判断的过程,是指系统能够根据对数据分析思考获得知识,自动找出应对煤炭企业运作过程中产生的问题的方案。智慧行为指的是生产、管理行为自动化。模拟人类行为模式,由思维控制行为,通过智能分析、智能决策的过程,对生产过程中管理系统的行为、生产设备的行为进行自动化、智能化的控制。

### 1.2 智慧矿山建设现状分析

通过从事智慧矿山建设项目的经验,根据在项目中的技术难点及煤炭企业对智慧矿山建设主要关注的问题及建设现状进行整理总结,发现当前煤炭企业智慧矿山建设现状问题<sup>[7]</sup>,见表1。

表1 智慧矿山建设现状问题

Table 1 Current situation question of intelligent mine construction

分类	问题	问题详解
基础设施 建设	硬件设备不完善	企业在智慧矿山相关硬件设备的建设上并不完善,致使许多智慧矿山功能无法实现
	软件配置不全	企业在智慧矿山建设过程中软件配置不全面,致使智慧矿山功能不全,其原因多为企业对智慧矿山建设认知不足或对自身需求不清
	软件配置混乱	企业在智慧矿山建设中软件的配置混乱,致使软件的利用率低,软件种类混杂甚至起不到应有的作用。其原因多为企业对自身所具有的软件不了解或软件不适用
功能体系 设计	系统功能重复	企业智慧矿山功能体系设计中,对自身已有的功能体系建设认知不清,对系统功能设计不科学,导致系统功能重复
	系统功能多余	企业智慧矿山建设中,对自身需求不清,对自身建设思路及设计不科学,致使企业拥有大量多余无用的智慧矿山系统功能
	系统功能缺失	企业智慧矿山功能体系设计之中,对自身建设路径、建设思路没有合理的认知和规划,造成系统功能上的缺失
系统能力 体现	数据信息还原度差	企业智慧矿山建设中,由于企业生产过程复杂,又对自身生产的智慧矿山体系认知规划能力差,无法对数据信息进行高度还原、精细化管理
	数据集成能力差	企业智慧矿山建设中,对自身建设的整体规划意识弱,对自身认知不足,致使数据集成困难
	数据传输效率差	企业没有科学系统的上传下达体系,无法对各生产管理阶段数据需求进行深入认知,致使数据传输效率低下
	数据利用分析能力差	由于企业对智慧矿山建设体系认知不全,智慧矿山建设规划能力差,致使数据信息复杂,种类繁多,没有统一的标准,造成数据利用率低,分析难度大,分析能力差,分析效率低
	数据展示能力欠缺	企业对智慧矿山建设的可视化能力认识不足,重视程度低,致使数据展示能力弱

由表1可知,智慧矿山建设现状问题存在于基础设施建设、功能体系建设及系统能力体现3个方面,而造成这些问题的原因主要是企业对智慧矿山的建设的体系没有深刻的了解,企业对智慧矿山各阶段建设没有完整的规划,对智慧矿山建设各阶段自身需求认识不足,对自身智慧矿山的建设程度没有准确的把握,对自身已完成的建设没有清楚的认知。

### 1.3 智慧矿山体系统划分

两化融合指的是信息化和工业化的融合。因此,煤炭企业智慧矿山体系统也不能脱离煤炭企业的实际。根据对煤炭企业信息化理论的研究及从事智慧矿山建设项目的经验,将智慧矿山体系统划分为综合自动化、管理信息化及工程数字化3个方面。

#### 1.3.1 综合自动化

煤炭企业在实际运营中一般分为从事生产管理的各个生产部门及从事辅助管理的各个职能部门。综合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<sup>[8-9]</sup>。

#### 1.3.2 管理信息化

管理信息化针对的是智慧矿山中从事管理职能的各个模块,其一般包括财务、劳资、绩效、党政、计划企业管理等职能。该模块的重心集中在运用信息化的手段实现管理过程的智能化,例如无纸化办公、信息智能化推送、管理材料的智能化审核等<sup>[10-11]</sup>。

#### 1.3.3 工程数字化

工程数字化指的是智慧矿山中的数字化矿山的相关内容。工程数字化的切入点与综合自动化及管理信息化不同,工程数字化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,保证智慧矿山体系统的完整性与同一性<sup>[12]</sup>。

## 2 智慧矿山建设程度指标体系

### 2.1 智慧矿山建设程度指标体系构建

根据煤炭企业智慧矿山的体系构架及智慧矿山建设中关注的重心,可以从综合自动化程度(Integrated Automation,用IA表示)、管理信息化程度(Management Informatization,用MI表示)及工程数字化程度(Engineering Digitization,用ED表示)3个方面构建智慧矿山建设程度指标体系,并且根据智慧矿山关注重心对这3个方面的指标进行细化,从更加精细的角度对智慧矿山建设程度进行评价,以保证指标体系的精确度<sup>[13-14]</sup>。智慧矿山建设指标体系如图1所示。

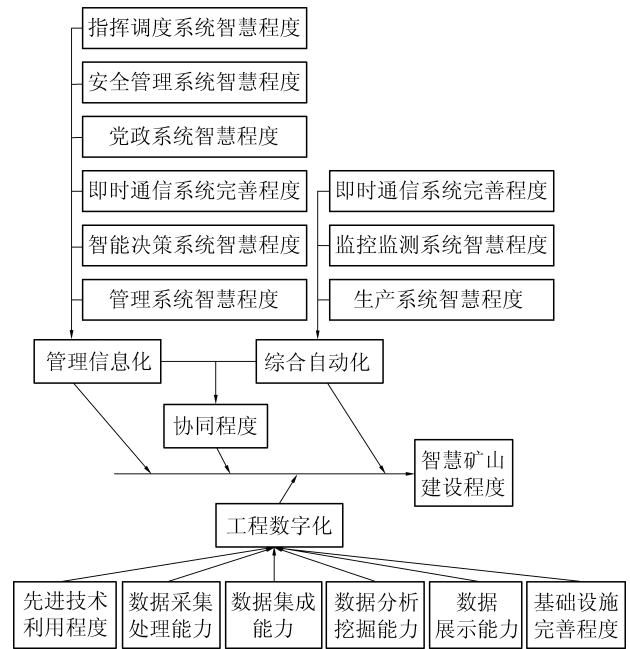


图1 智慧矿山建设指标体系

Fig.1 Index system of intelligent mine construction

根据图1可知,在智慧矿山建设程度指标体系框架中,智慧矿山的建设程度由综合自动化程度AI,管理信息化程度MI、工程数字化程度ED及管理信息化与综合自动化的协同程度决定。与此同时,AI、MI及ED都是由不同细化指标进行进一步确定。

### 2.2 综合自动化程度

结合对智慧矿山体系统的划分可以得知,综合自动化程度AI涉及的主要是在生产过程中的智慧矿山体系统建设。根据煤炭企业生产过程的特点可以将综合自动化程度认为是即时通信系统的完善程度、监控监测系统智慧程度及生产系统智慧程度的综合体现。因此,在综合自动化程度的衡量中也必须考

考虑到基础设施完善程度带来的影响。综合自动化程度衡量因素分析见表2。

根据表2可知,综合自动化程度由基础设施完

善程度 IC、即时通信系统完善程度 IM、监测监控系统智慧程度 SS 及生产系统智慧程度 PS 四个子指标共同决定。

表2 综合自动化程度衡量因素分析

Table 2 Factor analysis of comprehensive automation degree measurement

项目	衡量因素	评价内容
综合自动化程度(AI)	即时通信系统完善程度(IM)	指即时通信系统能否满足生产过程中的通信需求,通信方式是否多样化,通信效果、通信精度、通信速度能否得到保障
	监测监控系统智慧程度(SS)	评价监测监控系统对相关数据的敏感度,系统对监控信息的识别精度、识别效率及监测监控系统对矿井的覆盖程度
	生产系统智慧程度(PS)	评价系统对生产中设备统一控制、调节能力,对生产过程中人员、物资及设备信息的收集处理协调互通的能力,同时也需要对生产系统的灵敏程度进行评价

在综合自动化程度的衡量中,必须从煤炭企业的工作重心考虑,并进行权重偏移。根据当前煤炭企业生产要求,煤矿安全是煤矿的首要工作重点,其次才是对煤炭企业的生产效益进行关注。在煤炭生产过程中保证安全的方式主要是通过对生产过程的监测监控及面对异常情况的指挥调度。因此,在综合自动化程度的衡量中,保证安全生产正常进行的监测监控系统与即时通信系统相关指标的重要性要大于生产相关的其他系统指标。因此,可以将综合自动化的重要程度可以通过“安全>生产”的思路划分2个等级,安全层面权重赋值为1,生产层面权重赋值为0.5。

根据上述对综合自动化程度的分析,综合自动化程度 AI 的核算方式见式(1)。由式(1)可知 AI

由4个子指标完善程度共同决定。其中 $\alpha$ 为各指数的指标权重。

$$AI = IM\alpha_{IM} + SS\alpha_{SS} + PS\alpha_{PS} \quad (1)$$

### 2.3 管理信息化程度

根据上述管理信息化的基本概念,可以将管理信息化概括为企业中所有与管理相关的智慧矿山建设项目,并且可以依据此对管理信息化程度 MI 的衡量建立指标体系。因此,结合煤矿企业的实际情况,管理信息化程度可以认为是管理系统智慧程度、智能决策系统智慧程度、即时通信系统完善程度、党政系统智慧程度、安全管理系统智慧程度、指挥调度系统指挥程度的集合。另外所有管理信息化功能的实现仍然需要基础设施的支持,故而必须考虑基础设施完善程度。管理信息化程度衡量因素分析见表3。

表3 管理信息化程度衡量因素分析

Table 3 Analysis on measuring factors of management informatization degree

项目	衡量因素	评价内容
管理信息化程度(MI)	即时通信系统完善程度(IM)	评价通信方式是否多样化,通信效果、通信精度、通信速度能否得到保障
	管理系统智慧程度(MS)	指对财务管理、人事管理、供应管理、合同管理等各个管理模块系统的完备程度及各个管理模块系统的使用情况、系统效率、系统人性化、系统功能等进行评价
	智能决策系统智慧程度(ID)	从系统的数据处理能力、学习能力、决策辅助能力等方面对系统的智能化程度进行评价
	党政系统智慧程度(PG)	以党政管理的角度,从系统规范党政管理、提高党政管理的效率的能力方面对系统进行评价
	安全管理系统智慧程度(SC)	通过评判系统是否能有效地对生产过程中的安全问题进行监管、控制实现智能化调控及及时做出安全应急行为等能力进行评价
	指挥调度系统智慧程度(CD)	要求指挥调度系统能够全面地对生产情况进行了解,并灵活地对生产中的人员、物资等进行智能化调配,还要求系统执行调配具有极高的精准度及效率

根据表3可知管理信息化程度由6个子指标共同进行评判决定,6个子指标的评判标准都是根据管理过程中不同工作特性及需要决定。

在管理信息化建设的分析过程中,其建设的覆盖层面包括决策管理层面、生产管理层面及辅助管理层面。从煤炭企业的实际操作及管理职能中可以

发现,煤炭企业对决策管理的重视程度大于生产管理的重视程度,对生产管理的重视程度大于辅助管理的重视程度。在管理信息化相关的7个指标之中智能决策系统智慧程度 ID 属于决策管理的指标。安全管理系统智慧程度 SC 与指挥调度系统智慧程度 CD 属于生产层面的指标。即时通信系统完善程

度 IM、管理系统智慧程度 MS 及党政系统智慧程度 PG 属于辅助管理层面的指标。故可将管理信息化程度按照“决策管理>生产管理>辅助管理”的思路分为 3 个等级,决策管理层面权重赋值为 1,生产管理权重赋值为 0.6,辅助管理层面权重赋值为 0.3。

根据上述对管理信息化程度的分析,管理信息化程度 MI 的核算方式见式(2)。由式(2)可知,管理信息化程度 MI 由 6 个子指标完善程度共同决定。

$$MI = IM\alpha_{IM} + MS\alpha_{MS} + ID\alpha_{ID} + PG\alpha_{PG} + SC\alpha_{SC} + CD\alpha_{CD} \quad (2)$$

表 4 工程数字化程度衡量因素分析

Table 4 Analysis of measuring factors of digitalization degree of engineering

项目	衡量因素	评价内容
工程数字化程度(ED)	基础设施完善程度(IC)	指对能够辅助实现相关系统功能的硬件设备完备情况及功能情况进行评价
	先进技术利用程度(TU)	指当前主流的,已经成熟运用的先进技术在智慧矿山建设中的使用情况,评测智慧矿山建设对先进技术的利用情况及重视程度
	数据采集处理能力(DA)	指智慧矿山数据库中的数据信息的种类、覆盖面是否全面。另外还要对数据采集精度、广度、效率进行评测
	数据集成能力(DI)	指数据流在智慧矿山各个系统中的传输共享能力。主要从数据标准出发,判断智慧矿山各个系统之间数据的协同情况及共享情况
	数据分析挖掘能力(DM)	从智慧矿山体系对数据的利用情况切入,判断系统中各种数据的利用程度及处理效率
	数据展示能力(DP)	数据展示能力主要针对系统用户。因此,该部分的评测必须从用户的认知难度、认知效率、认知体验入手,评判数据展示能力

按照智慧矿山建设的经验及要求,分析智慧矿山建设的本质。发现企业进行智慧矿山建设的最终目的是要实现一定的建设效果,使项目的建设能够投入使用,其次是满足必要的功能需求,具有一定的技术能力。最后是在技术类别上追求更加先进、便利的技术来支持智慧矿山建设。在上述 6 个指标中,数据展示能力 DP 保障了智慧矿山建设项目的利用情况,使项目能够切实投入使用。数据采集处理能力 DA、数据集成能力 DI、数据分析挖掘能力 DM 及基础设施建设 IC 保障了智慧矿山基本功能得以实现。而先进技术的利用 TU 属于技术类别的关注点。因此,可以将工程数字化程度按照“建设效果>技术能力>技术类别”的思路分为 3 个等级,建设效果层面权重赋值为 1,技术能力权重赋值为 0.6,技术类别层面权重赋值为 0.3。

根据上述分析,工程数字化程度 ED 的评价方式见式(3)。由式(3)可知,智慧矿山工程数字化程度 ED 由 6 个子指标程度共同决定,其中  $\alpha$  为各指数的指标权重。

## 2.4 工程数字化程度

根据对工程数字化的理解,工程数字化是从数字化、信息化层面解读智慧矿山的建设程度。故而,智慧矿山与数据相关的能力与技术就是工程数字化的关键。因此,工程数字化程度 ED 可以根据先进技术利用程度、数据采集处理能力、数据集成能力、数据分析挖掘能力及数据展示能力 5 个子指标进行评定,见表 4。由表 4 可知,可根据 6 个指标对工程数字化程度 ED 进行评价。

$$ED = IC\alpha_{IC} + TU\alpha_{TU} + DA\alpha_{DA} + DI\alpha_{DI} + DM\alpha_{DM} + DP\alpha_{DP} \quad (3)$$

## 2.5 评价模式

根据上述对智慧矿山建设框架的分析,可以将智慧矿山建设程度分为综合自动化程度 AI、管理信息化程度 MI 和工程数字化程度 ED 三个部分共同评判。其中工程数字化程度 ED 涉及的评价是从整个智慧矿山建设的数字化运用出发的,与其他 2 个部分不同。而综合自动化程度 AI 和管理信息化程度 MI 分别对应生产层面的智慧矿山建设程度及管理层面的智慧矿山建设程度。对于企业运营来说,两者之间存在相互联通,相互促进,相互协调的关系。因此,在评判智慧矿山建设程度过程中必须考虑两者之间的协同程度。故而智慧矿山建设程度的评价模式见式(4)。

$$X = (AI + MI)(1 + \beta) + ED \quad (4)$$

其中:  $X$  为智慧矿山建设程度;  $\beta$  为综合自动化和管理信息化的协同程度。智慧矿山建设程度首先考虑综合自动化程度和管理信息化程度对智慧矿山建设的影响。其次考虑两者协同程度对智慧矿山建

设的影响,故而将二者之和与协同程度相乘。最后考虑工程数字化程度与其他3个因素对智慧矿山建设程度的影响。

### 3 智慧矿山建设程度等级

#### 3.1 智慧矿山建设阶段

结合在智慧矿山项目的建设经验及智慧矿山建设的逻辑体系,将智慧矿山建设划分为3个阶段,分别为数字矿山阶段、感知矿山阶段、智慧矿山阶段<sup>[15-16]</sup>:①初始阶段(数字矿山)。健全和完善综合自动化系统,初步建设管理信息化和工程数字化。②提升阶段(感知矿山)。深入构建并完善管理信息与工程数字化,实现智慧矿山技术全面覆盖。③深入阶段(智慧矿山)。加强三化的科学融合,并在前基础上突出透彻感知,深度互联,智慧处理的功能化。

##### 3.1.1 初始阶段

初始阶段被定义为数字矿山阶段。数字矿山阶段的重点在于健全和完善综合自动化系统,全面实现煤矿生产的综合自动化要求。即通过传感器、视频等方式完成生产过程中的人员、瓦斯、地测等信息的实时监控;通过系统实现生产过程中的设备控制、调试。实现对生产过程中的数据高效利用,生产过程的全面智能化与自动化<sup>[17-18]</sup>。

##### 3.1.2 提升阶段

提升阶段被定义为感知矿山阶段。该阶段在综合自动化建设已经相对完善的基础上进一步对管理信息化及工程数字化进行完善。实现综合自动化、管理信息化、工程数字化的齐头共进发展,达到对全企业智慧矿山技术的全覆盖<sup>[19-20]</sup>。

##### 3.1.3 深入阶段

深入阶段被定义为智慧矿山阶段。深入阶段的重点在于加强综合自动化、管理信息化和综合自动化三化的协同发展。将整个企业的数据进行互通互联,实现数据的自动采集,各系统之间的互通互联,数据共享,并搭建统一的信息系统集成平台。并在前阶段的基础上更加突出透彻感知、深度互联、智慧处理的功能深化<sup>[21]</sup>。

#### 3.2 智慧矿山建设程度评价等级

根据智慧矿山建设阶段,可以将智慧矿山建设程度评价为数字矿山、感知矿山及智慧矿山3个等级。

##### 3.2.1 数字矿山阶段

根据对数字矿山阶段的要求描述,数字矿山要求对综合自动化有很高要求,对管理信息化与工程

数字化没有过多的要求。故此阶段的评价重点在综合自动化上。依照智慧矿山建设程度评价模式,假设在数字矿山阶段综合自动化程度 AI 能够达到最完美的状态,即各指标完成程度设为 1,管理信息化和工程数字化没有要求,故其各指标建设程度都设为 0。由于只对综合自动化完成建设,不存在协同作用,故而协同程度  $\beta$  设为 0。根据评价模式算法,数字矿山评价等级的极值为 2.5。

##### 3.2.2 感知矿山阶段

根据对感知矿山阶段的要求描述,感知矿山阶段三化建设已经基本完成。故而在此阶段将三化建设的相关指标完成程度定义为 1。该部分对协同程度  $\beta$  没有要求,故而设为 0。根据评价模式算法,感知矿山评价等级的极值为 9.3。

##### 3.2.3 智慧矿山阶段

根据对智慧矿山阶段的要求描述,智慧矿山阶段是在三化完全建设的基础上,加强它们之间的协同程度。因此将三化的各指标完成程度定义为 1,将协同程度  $\beta$  定义为 1。根据评价模式算法,智慧矿山评价等级的极值为 14.9。

根据上述3个阶段的叙述,可以将智慧矿山建设程度分为数字矿山、感知矿山和智慧矿山3个等级,并确定评价指标范围,见表5。

表5 智慧矿山建设程度等级

Table 5 Grade of construction degree of intelligent mines

阶段等级	数字矿山	感知矿山	智慧矿山
指标范围	$0 \leq X \leq 2.5$	$2.5 < X \leq 9.3$	$9.3 < X \leq 14.9$

由表5可知,评价指标范围在  $0 \leq X \leq 2.5$  定义为数字矿山建设阶段,评价指标范围在  $2.5 < X \leq 9.3$  定义为感知矿山建设阶段,评价指标范围在  $9.3 < X \leq 14.9$  定义为智慧矿山建设阶段。

## 4 实例分析

#### 4.1 S企业情况分析

S企业是一家主要经营原煤开采、煤炭分选加工、焦炭销售、普通机械制造修理的现代化企业,煤质为易选的瘦煤、贫瘦煤,建设有年入选能力为300万t的现代化选煤厂,现有员工2170余人。矿井于2003年开始建设,2005年建成并开始智慧矿山建设,建设至今已经有13年。该企业与国内普遍的煤矿相同,分为井下生产与井上管理2个体系。在该矿的日常生产工作中,主要以生产体系的部门为主导,其他管理部门为生产部提供辅助管理。

#### 4.2 S企业智慧矿山建设程度评价

煤炭企业智慧矿山建设的目的是通过量化融合

的方式提升企业的生产工作效率,完善企业的管理制度,降低企业的办公难度,使企业在生产过程中更加安全、高效。并且,煤炭企业智慧矿山主要通过系统的形式进行展现与利用。因此,在对智慧矿山建设程度进行评价的过程中可以从用户体验、系统辐射及系统智慧3个方面采用不同的评判方式进行确定。在用户层面,针对S企业的情况,采用问卷调查的方式采集用户意见,反映综合自动化、管理信息化和工程数字化的完善程度。从系统辐射方面,直接从系统出发,结合实际工作进行对比分析,从三化的各个指标对智慧矿山建设程度进行评判。在系统智慧层面通过专家评定的方式,邀请在该领域的权威专家对系统智慧情况进行分析打分。结合3个切入角度的不同评判方式,获得S企业智慧矿山建设程度评价各个指标的具体评分,评价结果见表6。

表6 S企业智慧矿山建设程度评价各指标系数

Table 6 Index coefficient for evaluating construction degree of intelligent mines in S enterprises

项目	子指标	指标系数
综合自动化程度 (AI)	生产系统智慧程度(PS)	0.78
	即时通信系统完善程度(IM)	0.72
	监控监测系统智慧程度(SS)	0.83
工程数字化程度 (ED)	基础设施完善程度(IC)	0.71
	先进技术利用程度(TU)	0.61
	数据采集处理能力(DA)	0.83
	数据集成能力(DI)	0.52
	数据分析挖掘能力(DM)	0.74
	数据展示能力(DP)	0.88
管理信息化程度 (MI)	即时通信系统完善程度(IM)	0.86
	管理系统智慧程度(MS)	0.85
	智能决策系统智慧程度(ID)	0.67
	党政系统智慧程度(PG)	0.58
	安全管理系统智慧程度(SC)	0.89
	指挥调度系统智慧程度(CD)	0.85
协同程度 (β)	—	0.46

由表6可以明确综合自动化程度、管理信息化程度、工程数字化程度的各子指标系数。因此将上述子指标系数代入3个指标的计算公式,可以计算3个指标的具体指标系数。综合自动化程度  $AI = IM\alpha_{IM} + SS\alpha_{SS} + PS\alpha_{PS} = 1.94$ ;管理信息化程度  $MI = IM\alpha_{IM} + MS\alpha_{MS} + ID\alpha_{ID} + PG\alpha_{PG} + SC\alpha_{SC} + CD\alpha_{CD} = 2.40$ ;工程

数字化程度  $ED = IC\alpha_{IC} + TU\alpha_{TU} + DA\alpha_{DA} + DI\alpha_{DI} + DM\alpha_{DM} + DP\alpha_{DP} = 2.74$ 。

在计算出上述“三化”的指标系数之后,结合协同程度β与智慧矿山建设程度公式,可计算出S企业智慧矿山建设程度指标系数  $X = (AI+MI) (1+\beta) + ED = 9.08$ 。

从上述指标可以发现该企业在综合自动化建设上,建设情况较为均衡,没有明显短板,在管理信息化建设方面智能决策能力是该企业的主要短板,在以后的建设中应该主要对此方面进行改善。在工程数字化建设上,该企业的系统集成能力较弱,并且在先进技术利用上有明显不足,在以后的建设上有待改善。从整体评价上看该企业的“三化”建设程度较为均衡。另外,由于S企业智慧矿山建设程度  $X$  为9.08,处于  $2.5 < X \leq 9.3$ 。因此,S企业已经处于感知矿山建设阶段,在该阶段的主要任务是进一步加强综合自动化、管理信息化及工程数字化的建设。

## 5 结 论

1)笔者致力于解决煤炭企业在智慧矿山建设过程中,由于对自身建设情况,建设重心及建设方向的认识不足,而导致企业盲目建设,在消耗大量资源之后智慧矿山建设仍停滞不前的现象。

2)从煤炭企业智慧矿山体系出发,将煤炭企业智慧矿山建设划分为综合自动化建设、管理信息化建设和工程数字化建设。根据三者的内容及特点,找到三者建设的重心及关注点。并以此构建煤炭企业智慧矿山建设程度指标体系,建立煤炭企业智慧矿山建设程度评价模式。

3)通过以往的项目经历及研究,将煤炭企业智慧矿山建设划分为数字矿山、感知矿山、智慧矿山3个阶段,并明确各个阶段智慧矿山建设的建设重心。

4)结合智慧矿山建设程度指标体系,确定煤炭企业智慧矿山建设的具体程度。帮助企业在智慧矿山建设中,正确认识自身的建设情况,找到自身缺陷,指引煤炭企业智慧矿山的建设方向。

### 参考文献 (References) :

[1] 谭章禄,韩茜,任超.面向智慧矿山的综合调度指挥集成平台的设计与应用研究[J].中国煤炭,2014,40(9):59-63.  
TAN Zhanglu, HAN Qian, REN Chao. Design and application of integrated dispatching and command platform for intelligent mines [J]. China Coal, 2014, 40(9): 59-63.

[2] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿2025情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018,43(2):295-305.  
WANG Guofa, WANG Hong, REN Huaiwei, et al. Intelligent coal

- mine 2025 scenario target and development path [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(2): 295-305.
- [3] 徐 静, 谭章禄. 智慧矿山系统工程与关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(4): 79-82.  
XU Jing, TAN Zhanglu. Systems engineering and key technologies of intelligent mines [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 79-82.
- [4] 霍中刚, 武先利. 互联网+智慧矿山发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 28-33, 63.  
HUO Zhonggang, WU Xianli. Development direction of internet + intelligent mines [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 28-33, 63.
- [5] 王 莉. 智慧矿山概念及关键技术探讨[J]. 工矿自动化, 2014, 40(6): 37-41.  
WANG Li. Discussion on the concept and key technology of intelligent mine [J]. Industrial and Mining Automation, 2014, 40(6): 37-41.
- [6] 陈晓晶, 何 敏. 智慧矿山建设架构体系及其关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(2): 208-212, 236.  
CHEN Xiaojing, HE Min. Intelligent mine construction architecture system and key technologies [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 208-212, 236.
- [7] 李 梅, 杨帅伟, 孙振明, 等. 智慧矿山框架与发展前景研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 121-128, 134.  
LI Mei, YANG Shuaiwei, SUN Zhenming, et al. Research on the framework and development prospects of intelligent mines [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 121-128, 134.
- [8] 谭章禄, 李睿哲. 煤炭企业管理信息化系统建设研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(12): 319-320.  
TAN Zhanglu, LI Ruizhe. Research on the construction of information system for coal enterprise management [J]. Coal Technology, 2016, 35(12): 319-320.
- [9] 毛善君. “高科技煤矿”信息化建设的战略思考及关键技术[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1572-1583.  
MAO Shanjun. Strategic thinking and key technology of informatization construction of "high-tech coal mine" [J]. Journal of China Coal society, 2014, 39(8): 1572-1583.
- [10] 谭章禄, 陈 晓. 煤炭企业信息化建设现状及发展对策探讨[J]. 工矿自动化, 2016, 42(7): 63-65.  
TAN Zhanglu, CHEN Xiao. Discussion on the present situation and development countermeasures of informatization construction in coal enterprises [J]. Industrial and Mining Automation, 2016, 42(7): 63-65.
- [11] 李金云. 我国煤炭企业信息化及其水平评价研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.
- [12] 谭章禄, 方毅芳. 基于信息化的煤炭企业管控模式研究[J]. 中国矿业, 2014, 23(3): 15-20.  
TAN Zhanglu, FANG Yifang. Research on the management and control mode of coal enterprises based on information technology [J]. China Mining Magazine, 2014, 23(3): 15-20.
- [13] 刘 婵, 谭章禄. 基于共享-互操作指数的煤炭企业信息化标准范围研究[J]. 中国矿业, 2016, 25(2): 26-30.  
LIU Chan, TAN Zhanglu. Study on the standard scope of coal enterprise informatization based on shared - interoperability index [J]. China Mining Magazine, 2016, 25(2): 26-30.
- [14] 贺耀宜. 智慧矿山评价指标体系及架构探讨[J]. 工矿自动化, 2017, 43(9): 16-20.  
HE Yaoyi. Discussion on the evaluation index system and framework of intelligent mines [J]. Industrial and Mining Automation, 2017, 43(9): 16-20.
- [15] 韩 茜. 智慧矿山信息化标准化系统关键问题研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2016.
- [16] 谭章禄, 刘 婵. 企业信息化案例集[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017: 15-23.
- [17] 卢新明, 尹 红. 数字矿山的定义、内涵与进展[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 48-52.  
LU Xinming, YIN Hong. Definition, connotation and progress of digital mine [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 48-52.
- [18] 王继生, 潘 涛. 数字矿山建设实践探索[J]. 工矿自动化, 2014, 40(3): 32-35.  
WANG Jisheng, PAN Tao. Practical exploration of digital mine construction [J]. Industrial and Mining Automation, 2014, 40(3): 32-35.
- [19] 陈 晓, 谭章禄. 铁峰煤业“感知矿山”解围经营困境[J]. 企业管理, 2016(2): 110-111.  
CHEN Xiao, TAN Zhanglu. Tiefert Coal Industry's "perception mine" dilemma [J]. Enterprise Management, 2016(2): 110-111.
- [20] 张长鲁, 谭章禄. 感知矿山建设可行性预评估研究: 基于模糊综合评价的实证分析[J]. 中国矿业, 2014, 23(7): 61-65.  
ZHANG Changlu, TAN Zhanglu. Pre - evaluation of perception mine construction feasibility: empirical analysis based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. China Mining Magazine, 2014, 23(7): 61-65.
- [21] 田 心. 数字化矿山平台规划的分析[J]. 中国煤炭, 2014, 40(7): 81-85.  
TIAN Xin. Analysis of digital mining platform planning [J]. China Coal, 2014, 40(7): 81-85.