

透明化矿山数字孪生平台

# 《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》

## ——从编写组视角进行解读

王国防

**煤**炭是支撑我国经济社会快速发展的重要基础能源，为建设高质量的智能化煤矿，需将新一代信息技术与煤炭开发利用技术进行深度融合应用，实现煤炭资源的智能安全开采与清洁低碳利用，大幅提升煤炭资源的开发利用效率、降低成本，实现煤炭的智能柔性安全稳定生产与供给，这也是实现新时期国民经济和社会高质量发展的重要支撑。

2020年12月，国家能源局、国家矿山安全监察局联合印发了《关于开展首批智能化示范煤矿建设的通知》，确定70座煤矿作为国家首批智能化示范建设煤矿（重庆能投渝新能源有限公司打通一矿已关闭退出），其中井工煤矿65处，露天

煤矿5处，涵盖内蒙古、陕西、山西等15个产煤省（区、市），中央企业所属煤矿22处，省级所属煤矿42处，地方所属煤矿3处，混合所有制企业2处，民营企业1处，总产能近6亿t/a。

截至2021年底，全国有近400座煤矿正在全面开展煤矿智能化建设，总投资规模已超过1 000亿元，其中首批70处智能化示范建设煤矿投资规模超150亿元；全国已经建成智能化采掘工作面687个，其中首批70处智能化示范建设煤矿建成智能化采掘工作面156个，智能化采掘工作面正逐步实现“少人巡视、无人操作”的智能化常态开采，减人、增安、提效的效果日益显现。预计2022年底，首批70处智能化示范建设煤矿将全部建成并

完成验收。

为进一步规范首批智能化示范建设煤矿的验收管理工作,2021年6月,国家能源局、国家矿山安全监察局联合印发了《煤矿智能化建设指南(2021年版)》,并根据《煤矿智能化专家库管理暂行办法》相关要求,发布了第1批共计172名煤矿智能化专家名单。2021年12月,国家能源局发布了《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》,明确了首批智能化示范建设煤矿的验收流程、技术要求及评分办法,为我国首批智能化示范建设煤矿的验收评审提供了依据,并为其他煤矿智能化建设提供评价指南。

### 智能化示范建设煤矿验收流程

为了对首批智能化示范建设煤矿进行科学、客观、公平、公正地验收评审,智能化示范建设煤矿验收评审流程(图1)主要分为申请验收条件、企业自验收、国家验收3个部分。其中,申请验收条件主要对矿井进行煤炭开采的合法性、安全水平、智能化建设进度进行了明确要求,申请验收的煤矿应当证照齐全,安全生产标准化达到二级及以上,生产改造矿井应处于正常生产状态,各系统稳定运行2个月以上,新建(改扩建)煤矿应完成联合试运转并竣工验收,各个系统应稳定运行3个月以上。

智能化示范建设煤矿在满足上述验收要求后可以申请验收,在申请国家验收前应首先进行企业自验收,企业自验收的验收主体为企业集团(煤业公司);其中,验收专家应按照国家能源局、国家矿山安全监察局公布的国家智能化煤矿专家库中的专家标准进行选取,验收专家应涵盖煤矿各主要业务系统,企业自验收应形成《智能化示范建设煤矿自验收报告》,该报告是申请国家验收的前提和依据。

智能化示范建设煤矿在通过自验收以后可以申请国家验收,国家验收的主体为煤矿企业所在省(区)的省级能源主管部门或中央企业总部,国家验收的相关专家应主要从国家煤矿智能化专家库中选取,专家组成员应不少于7名,同一单位(集团)的专家不超过2名,国家煤矿智能化专家库中专家应不少于1/2,且专家组组长应当由国家煤矿智能化专家库内的专家担任。国家验收应形成《智能化示范建设煤矿验收报告》,且报告内容、格式应符合相关要求,验收结果需由专家签字确认。

在申报智能化示范建设煤矿过程中同步申报了智能化选煤厂的企业,应当进行智能化选煤厂的验收,智能化煤矿与选煤厂可以一起验收,也可以分别进行验收,但需要智能化煤矿与选煤厂均通过验收以后方可认定为通过验收。

智能化示范建设煤矿的主要验收内容分为必备指标、评分指标和加分指标。其中,必备指标具有一票否决权,即申请验收的智能化示范建设煤矿必

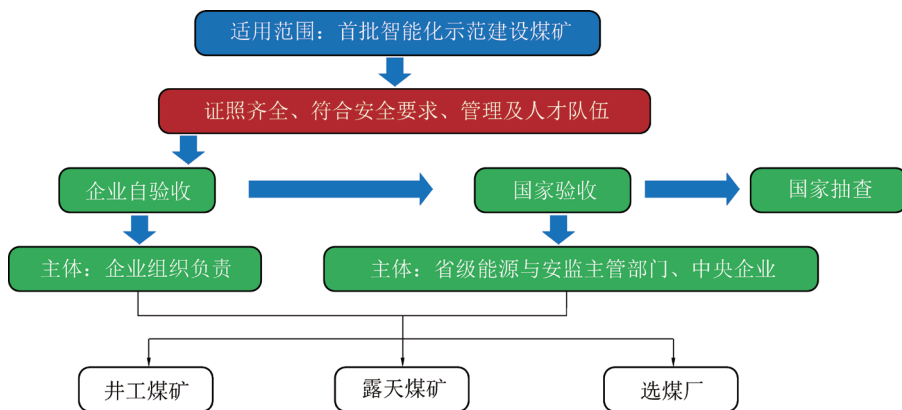


图1 智能化示范建设煤矿验收评审流程

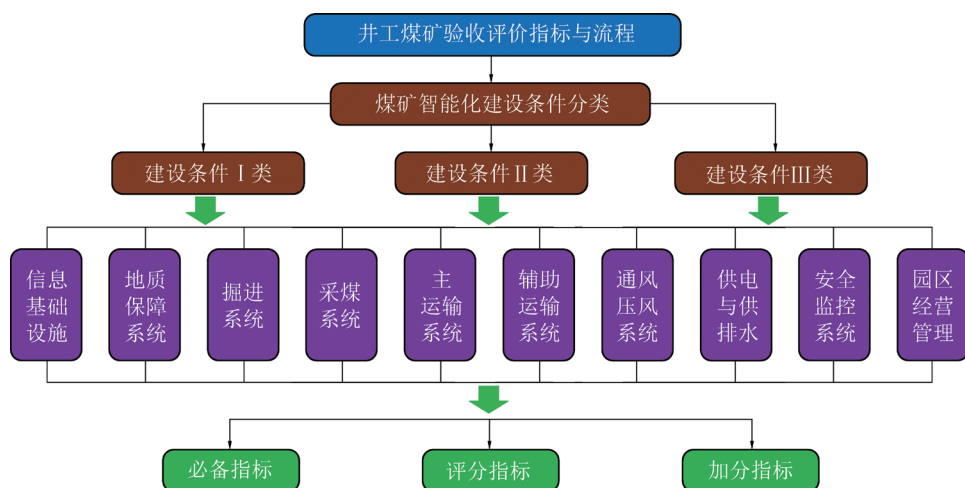


图2 井工煤矿验收流程

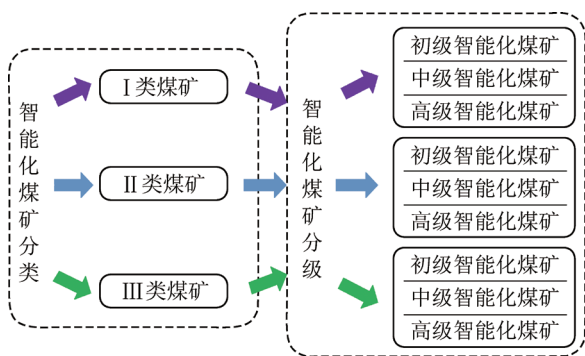


图3 井工煤矿分类分级评价

## 智能化井工煤矿验收评审

由于我国不同区域煤矿的煤层赋存条件、智能化建设基础存在较大差异，因此，井工煤矿验收采用先分类再分级的方法，即先根据煤层赋存条件、建设基础对煤矿进行分类（共分为3类），再根据分类结果采用对应类别的智能化验收评价指标进行评分，依据综合评分结果确定智能化煤矿最终的建设效果。井工煤矿验收流程如图2所示。

通过前期大量的调研与试验，最终选取生产能力、煤层埋深、煤层倾角等16个指标作为井工煤矿智能化建设条件分类评价指标，确定的相关指标均为客观指标，即通过查阅地质报告、矿井初步设计说明书等相关文件便可获得相关信息，不需要专家进行人为干预，保证了分类结果的科学性、客观性。

针对井工煤矿不同分类评价结果，分别对应不同的分级评价指标，即3类建设条件的煤矿分别对应3套不同的分级评价指标，如图3所示。每套分级评价指标均包括信息基础设施、地质保障系统、掘进系统、采煤系统、主煤流运输系统、辅助运输系统、通风与压风系统、供电与供排水系统、安全监控系统、智能化园区与经营管理系统等10个评价系统，每个系统的总分为100分，根据系统建设的难易程度以及对矿井整体智能化的贡献程度，对

须满足所有的必备指标，否则将被视为不通过验收；评分指标主要对智能化示范建设煤矿的建设效果进行打分，满分为100分；加分指标主要是对探索前沿技术装备的煤矿给予适当的加分鼓励。

根据验收评分结果将智能化示范建设煤矿的建设效果分为4个级别：高级（综合评分值 $\geq 90$ ）、中级（综合评分值75~90，不含90）、初级（综合评分值60~75，不含75）、不及格（综合评分值 $< 60$ ）。由于首批智能化示范建设煤矿的建设基础相对较好，为了起到更好的示范效果，首批智能化示范建设煤矿的验收标准将更加严格，综合考虑我国尚处于智能化煤矿建设初级阶段的现状，首批智能化示范建设煤矿原则上不出现评分为高级的智能化煤矿。



表1 智能化煤矿各系统评价指标权重

序号	评价指标	煤矿各系统评价指标权重	
		建设条件I类	建设条件II、III类
1	信息基础设施	0.094 2	0.104 2
2	地质保障系统	0.062 2	0.052 2
3	掘进系统	0.143 2	0.143 2
4	采煤系统	0.167 3	0.177 3
5	主煤流运输系统	0.098 2	0.098 2
6	辅助运输系统	0.068 3	0.068 3
7	通风与压风系统	0.089 3	0.089 3
8	供电与供排水系统	0.086 9	0.086 9
9	安全监控系统	0.130 6	0.140 6
10	智能化园区与经营管理系统	0.059 8	0.039 8

各系统分配不同的指标权重,如掘进系统、采煤系统、安全监控系统的指标权重相对较高,见表1。另外,对建设条件II类、III类煤矿的智能化园区与经营管理系统要求相对较低,该指标的权重设置也相对较低。

(1) 信息基础设施主要包括通信网络、数据中心与服务、综合管控平台3个部分(图4),其中通信网络、数据中心主要偏重于考核矿井的硬件建设,而综合管控平台则主要考核矿井各系统的融合管控水平。综合考虑不同类型矿井的通信数据量及对网络传输速率的要求,建设条件I类、II类煤矿的有线主干网络要求采用10 000 Mbit/s及以上的通信网络,而建设条件III类煤矿的有线主干网络则要求采用1 000 Mbit/s及以上的通信网络即可,防止盲目投资造成资源浪费。

网络与数据安全是煤矿智能化建设的核心环节,目前煤矿在网络与数据安全建设方面尚存在诸多问题,例如,现阶段黑客很容易攻入部分矿井的控制系统,获取主提升设备、供电系统等控制权,极易造成巨大损失。因此,不同类型矿井的网络与数据安全等级均要求满足等保二级要求,重要的三级系

统应具备主动防御、可信验证、攻击检测功能,现阶段大部分的矿井可能难以满足该项要求,但应当对网络与数据安全具有足够的重视。

目前,对于综合管控平台的认识仍然不统一,现有综合管控平台主要实现了矿井各业务系统的集成与集中展示,但尚未实现基于各业务系统数据融合的综合管理与控制,即“管”与“控”的效果不好。

综合考虑现阶段无线通信网络发展现状及煤矿的实际需求,煤矿应根据业务系统的实际需要建设4G、5G、WiFi6任意一种无线通信网络便可以满足要求。由于5G通信技术的应用场景在煤矿井下尚不成熟,因此,将5G、F5G作为加分项,但应当将5G、F5G真正地应用于井下的采煤工作面、掘进工作面才可满足加分条件。

(2) 地质保障系统现阶段的技术成熟度相对较低,但地质数据与工程数据应已实现数字化存储,应当建立地质信息数据库,否则地质数据很难为其他业务系统服务。因此,将具备完善的地质探测技术与装备、建有地质信息数据库2项内容设为必备指标。

地质保障系统的评分指标主要包括勘探技术与

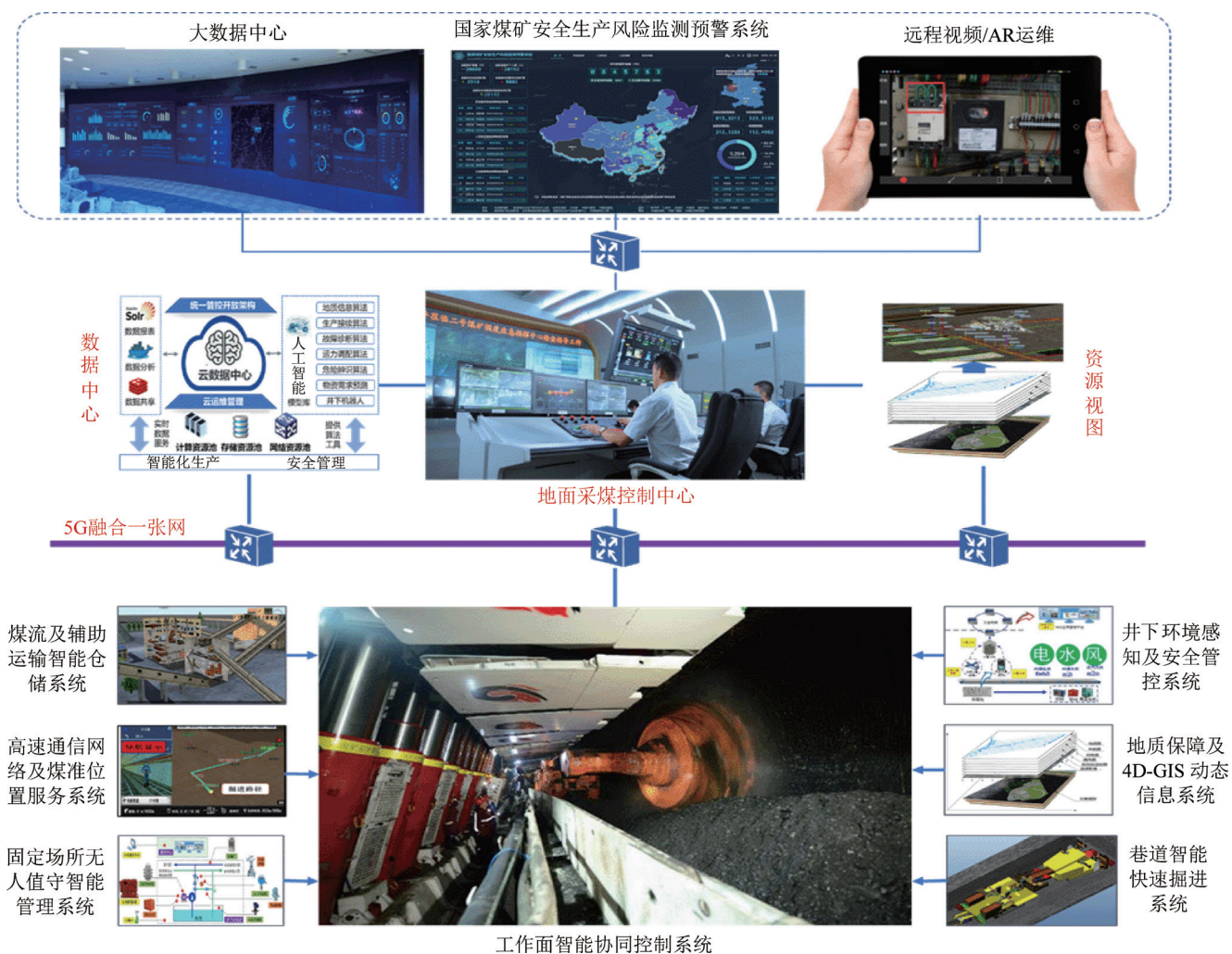


图4 智能化煤矿信息基础设施

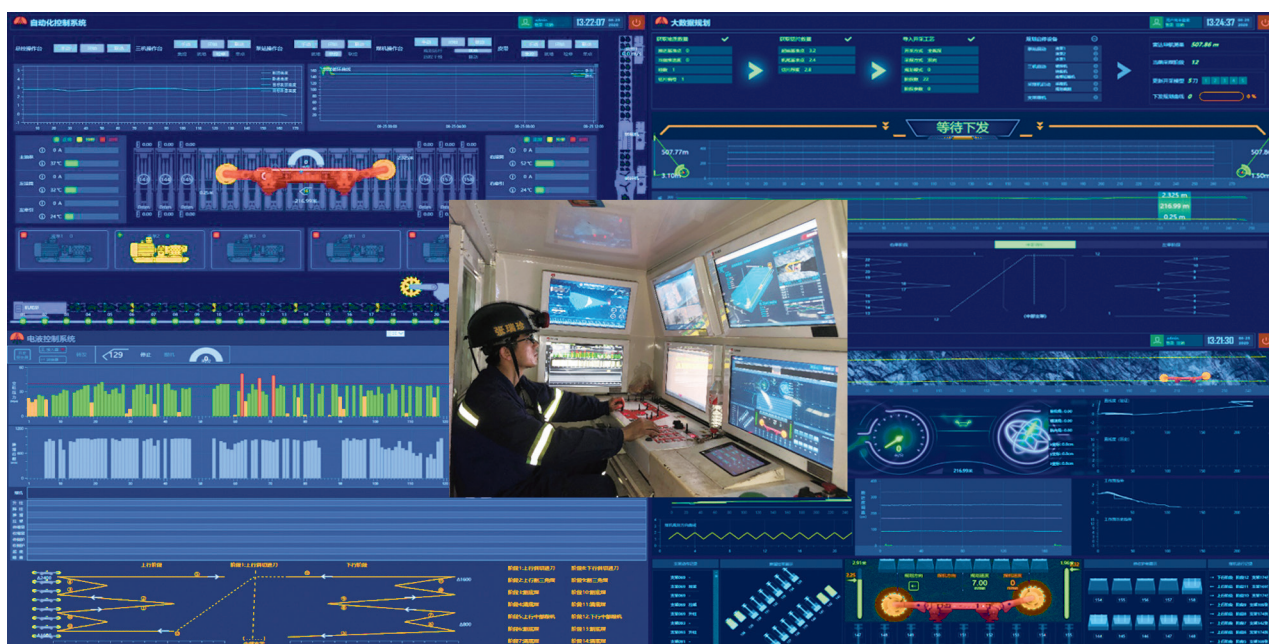


图5 基于透明地质的工作面智能化开采



装备、地质建模及应用2个部分内容,由于现阶段地质勘探技术与装备的智能化程度较低,所以对地质技术与装备的要求主要是实现信息的自动采集与上传;地质建模则主要偏重于矿井或工作面地质模型的构建及应用,能够满足采煤工作面、掘进工作面、安全监控系统的应用需求即可。

(3) 由于不同区域巷道掘进条件具有显著差异,且巷道掘进具有空间狭小、人员密集、工艺复杂等特点,我国煤矿巷道掘进速度普遍较低,尚未实现快速掘进。因此,掘进系统主要考核掘进工艺的适应性、掘进设备的单机自动化及综合自动化水平。对于建设条件较好的I类煤矿,要求掘进设备要具有自主定位、定姿、定向等功能,能够实现远程遥控掘进;而对建设条件相对较差的II类、III类煤矿则更多考核掘进流程的自动化水平,以是否实现减人提效为主要考核点。

掘进工作面的智能化发展可以参考综采工作面的发展过程,即先实现单机设备的自动化作业,然后进行多机设备的综合自动化建设,实现基于巷道集控中心的远程控制。因此,建设条件I类的煤矿要求实现在集中控制中心对巷道掘进工作面破岩、临时支护、运输等成套设备的一键启停和多机协同控制。

由于不同矿井对巷道掘进工作面的投入存在较大差异,巷道掘进系统设置了加分指标,重点考核巷道掘进速度及减人、提效的效果。另外,由于矿井均存在多个掘进工作面,在验收过程中仅对1个掘进工作面进行验收,若矿井其他掘进工作面也实现了智能快速掘进,按掘进系统评分指标进行评分,若达到85分以上,则可以进行适当加分。

(4) 采煤系统的技术成熟度相对较高,部分矿井尝试应用了基于透明地质的工作面智能开采(图5),取得了一定的效果。

根据采煤工作面工艺流程,将采煤工作面评价指标细分为割煤系统、支护系统、运输系统、供电系统、集中控制中心5个部分,其中,割煤系统主要考核采煤机的可靠性、自动跟机效果及多机协同控制效果;支护系统主要考核液压支架降-移-升的自动化水平、自动跟机效果、群组协同控制水平及

自适应支护效果;运输系统包括刮板输送机、转载机、破碎机及带式输送机,重点考核运输设备的可靠性、软启动方式及智能调速控制效果;供电与供液系统重点考核按需供液、供电系统的可靠性及远程控制效果;集中控制中心主要考核采煤工作面的减人、增安、提效效果,尤其对不同开采方法常态化采煤作业人员有明确的考核指标。

考虑到基于动态地质模型的智能化开采、基于5G+VR的远程可视化采煤及采煤工作面机器人作业技术成熟度相对较低,相关技术均存在技术难点尚待解决,因此将上述技术列为加分项。另外,部分矿井存在多个采煤工作面,在考核过程中若矿井所有采煤工作面(2个及以上)均实现智能化开采,按采煤工作面评分指标进行评分,若达到85分以上,则也可进行加分鼓励。

(5) 主煤流运输系统的技术成熟度相对较高,主要包括带式输送机运输与立井箕斗提升2种运输方式,其考核的核心是主煤流运输是否实现无人值守。目前,带式输送机、立井箕斗提升均已具备无人值守条件,且取得了较好的应用效果,因此,3类建设条件下的矿井均要求主煤流运输系统实现无人值守作业,但考虑建设条件III类矿井的实际情况,基于AI的煤量监测及安全信息监测等相关指标并未做明确要求。巡检机器人虽然在主煤流运输系统中进行了探索性应用,但现有机器人的功能仍然较少,交互能力及自主作业水平仍有待提高,因此,将巡检机器人作为加分指标,鼓励部分矿井探索研发高级别的井下作业机器人。

(6) 辅助运输系统的技术成熟度相对不高,主要分为轨道运输、无轨胶轮车运输、混合运输3种运输方式,其中轨道运输要求实现点到点的无人驾驶,无轨胶轮车运输则要求实现车辆的精准定位与智能调度。由于无轨胶轮车、轨道电机车的无人驾驶尚存在技术瓶颈,因此,将该项内容作为加分指标,鼓励矿井进行相关内容的技术攻关与实践。另外,不同运输方式之间如何实现自动化接驳是实现辅助运输智能化的关键,因此,将该项内容列为加分指标。

(7) 通风系统的智能化水平目前也有待提高,



其核心技术瓶颈为通风参数感知的准确性、可靠性较低，通风网络解算的实时性、准确性有待提高。并且根据《煤矿安全规程》相关规定，煤矿井下进行调风需要煤矿主要负责人进行审批，该项规定也制约了通风系统智能化无人调控的实现。因此，通风系统主要考核固定作业岗位实现无人值守作业，以及主要风门、风窗的自动化控制。

（8）供电与供排水系统的技术成熟度相对较高，要求井下中央变电所、采区变电所实现无人值守，固定排水作业实现远程集中控制，中央水泵房、采区水仓实现无人值守。评分指标也主要是对固定作业岗位的无人值守进行考核。考虑到部分矿井在中央变电所、水泵房探索应用了机器人巡检作业，但该项技术仍有很大的提升空间，因此，在考核时将巡检机器人作为加分项。

（9）安全监控系统涉及的内容较多，且不同矿井的灾害类型不同，其建设内容也存在较大差异。因此，要求应根据矿井灾害类型建设完善的安全监控系统，并建设有安全风险分级管控和隐患排查双重预防机制。

虽然不同矿井的建设条件、建设基础存在较大差异，但安全生产是煤矿的首要任务。因此，3类不同建设条件矿井的安全监控系统考核指标完全相同，并没有因为建设条件存在差异而进行相关指标的弱化。另外，部分矿井建设条件较好，矿井灾害类型相对较少，可能存在缺项的情况，即部分矿井可能不存在冲击地压、水害等问题，对于缺项内容，则该项考核指标按60%进行加权，一方面简化了评分办法，另一方面也充分考虑了灾害严重矿井在智能化建设过程中需要更多的投入。

（10）由于智能化园区不会直接给煤矿带来效益，且主要是进行地面建设，因此，鼓励建设条件I类矿井进行高水平的智能化园区建设，改善职工的工作环境与健康指数，但对于建设条件II类、III类煤矿，则降低要求，鼓励矿井根据自身需求进行相关园区项目的建设。

上述10个系统中每个系统的总分均为100分，根据各系统的实际建设情况与效果进行评分，各系统得分乘以对应的指标权重便可得出井工煤矿

的智能化建设综合得分，从而确定矿井的智能化建设等级。

## 智能化露天煤矿验收评审

我国不同露天煤矿的建设条件差异不大，因此，露天煤矿在验收评审过程中不再进行分类，直接根据各系统得分进行智能化建设效果等级的评定。

由于我国露天煤矿开采主要以间断式工艺为主，因此，露天煤矿必备指标主要考核智能化对安全生产的贡献，即卡车应具有防碰撞预警功能，露天煤矿应建设边坡监测系统，具备边坡安全监测、预警功能。

露天煤矿评分指标主要包括信息基础设施、矿山设计、智能穿爆、矿山工程、智能辅助、管理与决策、智能化园区等7个部分。

（1）信息基础设施与井工煤矿相差不大，主要包括通信网络、数据中心、综合管控平台，考虑到露天煤矿在地面进行无人驾驶等应用场景的需要，鼓励露天煤矿尝试应用5G等无线通信技术。另外，智能综合管控平台建设也是露天煤矿实现智能化综合管控的难点。

（2）矿山设计主要包括地质保障、穿孔爆破设计、采矿设计3个部分内容，其中地质保障是实现智能化开采的基础，但露天煤矿智能地质保障系统同样存在诸多技术瓶颈；穿孔爆破与采矿设计主要考虑设计过程的智能化及设计效果的智能化，即设计软件的智能化，以及露天煤矿各系统最终实现效果的智能化水平。

（3）目前部分露天煤矿实现并应用了较好的智能穿爆技术，其考核指标主要包括钻机装备的智能化、钻孔过程的智能化、装药及控制的智能化等。

（4）矿山工程主要包含4种不同的开采工艺：单斗-卡车间断工艺、半连续工艺、全连续工艺、拉斗铲倒堆工艺，目前我国大部分露天煤矿主要采用单斗-卡车间断工艺，其考核重点为单机设备的自动化水平，以及不同设备之间的智能协作水平，如单

斗挖掘机的自动化水平、卡车的无人驾驶,以及2种设备的智能协作水平。目前,部分露天煤矿在尝试采用半连续开采工艺,其考核重点为2个部分:①单斗-卡车间断工艺的智能化指标(占比约60%);②移动破碎站、带式输送机等设备的智能化水平。全连续工艺更易于实现智能化开采,但该项工艺对地质条件要求较高,且前期投入较大,目前在我国露天煤矿应用较少;拉斗铲倒堆工艺主要在国家能源集团的黑岱沟露天矿进行应用,其适用条件更加苛刻。

矿山工程是露天煤矿实现智能化的核心,其指标分值占比为50%,部分露天煤矿采用多种开采工艺,在验收时应进行同时验收,各工艺的算术平均值作为该工艺项的最终得分。

(5)智能辅助主要包括数字孪生体、边坡、防排水、防灭火、道路养护、供配电,重点考核各项内容对矿井安全生产的贡献度以及实现安全生成过程的智能化程度,其主要体现为减人、增安的效果。

(6)管理与决策主要涉及生产信息管理、经营信息管理、决策支持管理,主要考核矿井综合管理的智能化水平。

(7)智能化园区。智能化园区主要考核基于智能指挥中心对矿井整体进行调度管理的智能化水平。

由于无人值守巡检机器人的常态化应用、钻机无人值守常态化应用、矿用自卸卡车常态化无人驾驶对提升现阶段露天煤矿的智能化水平具有一定意义,因此,将上述内容作为露天煤矿验收评审的加分指标。

## 智能化选煤厂验收评审

智能化选煤厂建设主要以地面选煤工艺设施为主,其建设效果受地质条件等因素影响很小,因此,选煤厂在验收评审过程中不再进行分类,直接根据各系统得分进行智能化建设效果等级的评定。

智能化选煤厂验收必备指标主要考虑通信网

络、数据中心及生产工艺流程的智能控制,即网络带宽应能满足后续大数据传输的需求,主干网传输速率不应低于1 000 Mbit/s,应当建有数据中心,以满足选煤厂数据服务与安全要求;选煤厂主要生产设备实现远程或集中联锁控制,主要生产环节的计质计量和安全监控系统齐全有效,主要选煤工艺参数监控设施齐全准确。

智能化选煤厂验收评审主要包括基础平台、基础自动化、智能控制、智能管理决策4个部分。

(1)基础平台包括网络系统、云平台、数据中心、专家知识库、系统安全、加护平台建设,专家知识库建设是实现选煤厂智能化建设非常重要的一环,但目前各选煤厂尚未建成完善的专家知识库系统;网络与数据安全同样要求满足等保二级水平;交互平台建设类似于煤矿的综合管控平台,现有交互平台建设水平仍有较大的提升空间。

(2)基础自动化主要分为设备及仪表监测与保护、工艺生产环节自动化、辅助环节自动化,其中工艺生产环节自动化是实现基础自动化的关键,由于不同的分选工艺可能存在一定的差异,因此,评审内容存在生产工艺缺项时,则该项指标按分值的60%进行加权。

(3)智能控制主要分为生产过程智能控制、辅助环节智能控制、生产保障智能化,其中生产过程智能控制主要实现智能分选、智能浓缩、智能压滤3个环节的智能控制;辅助环节主要考核智能仓储与配煤、智能装车等;生产保障主要考核智能集控、智能视频监控、智能停送电等,该项内容重点考核生产及辅助过程的减人、提效的效果。

(4)智能管理决策主要分为智能管理、3D可视化系统、智能决策,其中3D可视化系统主要考核选煤厂的三维建模及模型的应用。

选煤厂智能化建设并未设置加分项,以各系统综合得分作为选煤厂的最终考核得分。

## 结 语

《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》起





草历经近1年，在反复讨论和征求各方意见的基础上形成文稿。在实施过程中需要相关方统一认识，严格过程管理，严把建设质量关，特别是评审专家要认真学习悟透《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》和评分标准，以高度的责任感和严谨的科学态度，深入考察和分析被验收煤矿的智能化建

设情况，公平公正地打分，给出经得起实践和时间检验的评价意见；充分发挥《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》对智能化煤矿建设的引导作用和质量把关作用，全面夯实煤矿智能化基础，促进行业高质量发展。

■ 责任编辑：赵 瑞

## 作者简介

### 王国法

研究员，中国工程院院士。现任中国煤炭科工集团煤矿智能化工作委员会主任、首席科学家，煤矿智能化创新联盟理事长兼技术委员会主任，中国自动化学会智慧矿山专业委员会主任

王法院士是我国煤炭高效综采技术与装备体系的主要开拓者之一，煤矿智能化的科技领军者，创新提出了液压支架与围岩强度耦合、刚度耦合、稳定性耦合的“三耦合”原理和设计方法，创立了综采配套、液压支架和煤矿智能化系统理论、设计方法和技术标准体系，主持设计研发了薄煤层智能化综采、中厚煤层智能化综采、厚煤层大采高综采、大倾角综采、特厚煤层综放等系列首台(套)综采成套技术与装备；并率先提出了煤矿智能化是煤炭工业高质量发展核心技术支撑的科学思想，系统地提出了煤矿智能化及其分类、分级发展理念、发展目标、技术路径和标准体系，主持研发了4种模式的煤矿智能化开采成套技术与装备，首创了5G+智能化煤矿巨系统顶层架构与应用系统关键技术，研究成果在煤矿被广泛应用，为我国煤炭工业发展和科技创新做出了重要贡献。

## 热点问答

### 制约采煤机实现智能截割控制的主要因素有哪些？

(1) 精准地质模型的构建。若能够根据工作面两巷道揭露的煤层信息，并辅以钻探、槽波探测等地质探测技术，利用大数据分析等手段对工作面中部煤层厚度变化信息进行精准预测，从而构建工作面精准地质模型，则采煤机智能截割控制难题可迎刃而解。

(2) 煤岩界面识别技术。在不能建立煤层厚度变化精准地质模型的情况下，煤岩界面识别技术可以根据采煤机截割的煤层厚度变化信息，对煤层厚度的变化情况进行超前预测，从而预测采煤机的后续截割轨迹。

(3) 采煤机精准定位与自适应控制技术。目前，采煤机定位技术主要有基于红外的定位技术、基于超声波的定位技术、基于轨道里程的定位技术、基于无线传感器网络的定位技术、基于捷联惯导的定位技术等，均属于相对定位技术，需要相关的参考点或坐标，不仅自身定位技术存在定位误差，同时还受参考点定位精度的叠加影响。另外，上述定位技术多属于平面定位，难以实现三维空间的精准定位，对采煤机截割高度的控制将产生一定的影响。

——来源：《智能矿山》创刊号