

# 黄白茨煤矿工程地质条件变化下对安全开采的影响分析与对策研究

谢文军

国能乌海能源黄白茨矿业有限责任公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i4.2236

**[摘要]** 黄白茨煤矿开采进程中,煤层赋存特征与工程地质环境的动态演变,使南部采空区对未采区域的安全开采形成显著制约。本文立足12煤层、13上2煤层南部采空区的实际勘察数据,系统剖析矿井水运移规律、导水裂隙带发育特征及煤层间距变异带来的连锁影响,构建“勘察-防控-治理”一体化安全回采技术体系,提出针对性防控措施,为矿井实现安全高效开采提供技术支撑。

**[关键词]** 黄白茨煤矿; 煤层赋存; 工程地质; 采空区; 安全回采

中图分类号: X752 文献标识码: A

## Analysis and countermeasures of safety mining under the influence of engineering geological conditions change in Huangbaici coal mine

Wenjun Xie

Guoneng Wuhai Energy Huangbaici Mining Co., LTD

**[Abstract]** During the mining process of Huangbaici Coal Mine, the dynamic evolution of coal seam characteristics and engineering geological environment has significantly constrained safe mining in southern mined-out areas compared to unmined regions. Based on actual survey data from the southern mined-out areas of Coal Seam 12 and Coal Seam 13 Upper 2, this study systematically analyzes the migration patterns of mine water, the development characteristics of water-conducting fracture zones, and the chain effects caused by coal seam spacing variations. It establishes an integrated safety mining technology system encompassing "survey-prevention-control-governance" and proposes targeted preventive measures, providing technical support for achieving safe and efficient mining operations.

**[Key words]** Huangbaici coal mine; coal seam occurrence; engineering geology; mined-out area; safe mining

黄白茨煤矿作为国家能源集团乌海能源旗下的核心生产矿井,核定年生产能力180万吨,属高瓦斯、水文地质类型中等、地质类型复杂矿井,井田为一单斜构造,含煤地层为二叠系山西组、石炭系太原组,目前主要开采9煤层、10煤层、12煤层、13上2煤层等资源,截至2025年8月,矿井开拓煤量2141.91万吨,准备煤量1544.63万吨,回采煤量119.98万吨,开拓范围内服务年限约17.8年。矿井开采标高1149~750m水平,随着开采深度持续增加,矿井开采范围向井田中部、南部延伸,采掘工程将原有未开拓的工程地质平衡状态打破,对未采区域的应力环境、水文地质环境、岩层物理力学特性等造成显著扰动。此类工程地质条件的动态变化,不仅加剧了水害、顶板失稳等风险,更对开采效率与安全保障构成严峻挑战。因此,深入解析工程地质变化的内在机理,构建科学高效的应对体系,成为矿井可持续发展的关键

课题,对同类生态脆弱矿区的安全开采亦具有示范价值。

### 1 煤层赋存条件与工程地质条件变化分析

#### 1.1 煤层赋存条件概述

黄白茨煤矿含煤地层为石炭系上统太原组与二叠系下统山西组,其中12煤层与13上2煤层是南部采空区周边的主要开采对象。12煤层厚度介于2.14~7.58m之间,平均厚度4.02m,煤层倾角4~6°,埋深从123m至284m不等,赋存相对稳定,顶板以砂质泥岩与砂岩为主,底板为粉砂岩与泥岩互层。13上2煤层厚度0.71~1.93m,平均厚度1.33m,与12煤层平均间距约13m,煤层结构简单,顶底板岩性以泥岩、砂质泥岩为主,抗压强度平均20~40MPa(详见表1)。

随着12煤层南部开采,采空区的地质条件及水文地质条件不断演化,会导致12煤层周边未采煤层以及下伏的13上2煤层未

开采的部分地层原始应力场发生显著重构。厚煤层采空区上方形成卸压带,两侧则出现应力集中现象,最大应力集中系数可达1.8以上,使得未采区域煤层的稳定性大幅降低,局部出现煤层裂隙发育、完整性破坏等问题,给支护设计与开采工艺选择带来极大挑战<sup>[1]</sup>。

表1 黄白茨煤矿12、13上2煤层核心赋存参数表

煤层编号	厚度范围(m)	平均厚度(m)	倾角范围(°)	埋深范围(m)	顶板岩性	底板岩性	顶底板平均抗压强度(MPa)
12煤层	2.14-7.58	4.02	4-6	123-284	砂质泥岩、砂岩	粉砂岩、泥岩互层	30-45
13 <sup>±2</sup> 煤层	0.71-1.93	1.33	4-6	135-295	泥岩、砂质泥岩	泥岩	20-40

## 1.2 工程地质条件变化

开采活动引发的岩体扰动,使南部采空区周边形成了贯通性的导水裂隙带。依据《煤矿床水文地质、工程地质及环境地质勘查评价标准》(GB/T 12719-2021)中导水裂隙带高度经验计算公式 $H=100M/(1.6M+3.6)\pm 5.6$ (式中H为导水裂隙带高度,单位:m。M为回采厚度,单位:m)计算,12煤层采后导水裂隙带高度达97.13m,13上2煤层导水裂隙带高度为34.46m,部分区域裂隙带已贯通至第四系松散含水层,形成潜在导水通道。同时,长期的采动影响导致岩体物理力学性质劣化,砂岩的弹性模量下降15%-20%,泥岩的黏聚力降低25%以上,岩体抗变形能力显著减弱。

煤层间距的区域性变异进一步加剧了工程地质的复杂性。在南部采空区周边,12煤层与13上2煤层的间距出现4.23m-15m的波动,井田东南部C3钻孔揭露层间距较小区域(4.23m)的岩层完整性更差,地下水易沿底板破坏带层间裂隙形成充水通道,使下部13上2煤层的充水风险显著提升。此外,采空区顶板的不均匀沉降形成了多处地表塌陷坑与地裂缝,最大沉降量达1787.26mm,这些地表缺陷成为大气降水入渗的重要通道,进一步恶化了矿井水文地质环境<sup>[2]</sup>。

## 2 南部采空区对未采区域的影响分析

### 2.1 矿井采空区水害影响分析

黄白茨煤矿9煤层、10煤层、12煤层、13上2煤层经过多年回采,已形成采空区43处,其中清楚掌握的采空区积水区域有7处,总积水面积65958.2m<sup>2</sup>,总积水量达36787.1m<sup>3</sup>。井田南部采空区有两处,分别为12煤层021005采空区、13上2煤层0213上201采空区,预计积水量11218.3m<sup>3</sup>,根据矿井采掘接续情况,021205于2026年开采,煤层厚度4m左右,采厚形成的采空区低洼区域也会形成积水;结合矿井水文地质条件、地质条件以及井田南部岩层水运移特征,南部采空区水主要通过大气降水为补给源、基岩含水层以及所采煤层上覆采空区水补给,通过井田西侧断层、顶板底板及围岩裂隙带发育形成的导水通道,形成南部采空区积水;矿井在2023年12月至2024年5月份曾疏放021207回风巷密闭内采空积水,共排水量为47496m<sup>3</sup>;相邻的021205运输巷预计排水量69009.43m<sup>3</sup>,最终排水量超10万立方米。

综上所述,未来南部开采区域采空区积水在时间上、空间上

均具备积存老空水的条件。采空区处在井田南部低洼处,受端侧褶曲等构造影响,在地下水径排运移的相互作用下,井田南部未来开拓区域受采空区、顶板含水层等影响,采掘区域水文地质条件复杂多变,对采掘工作造成威胁。

### 2.2 导水裂隙带发育规律

采动应力场的持续作用使导水裂隙带呈现动态演化特征。通过微震监测与钻孔观测发现,12煤层采空区周边的导水裂隙带发育高度随开采推进呈现“阶梯式增长”,工作面推进至500m时,裂隙带高度达到最大值95.8m,之后趋于稳定。裂隙带的导水性能具有明显的非均质性,砂岩区域的渗透系数达0.0155-0.0282m/d,是泥岩区域的3-5倍,形成优先导水通道。

根据本矿水文地质类型划分报告确定的导水裂隙带高度基准值,结合12煤层平均4.02m回采厚度及综合机械化开采工艺分析:煤层埋深每增加100m,裂隙带发育高度平均增加8-10m。综合机械化开采较传统开采工艺使裂隙带高度增加15%-20%。岩层抗压强度越低,裂隙带发育越充分。这种差异化发育特征导致未采区域的充水强度呈现显著空间变异,增加了水害预测与防控的难度。

### 2.3 煤层间距变化影响

煤层间距的动态变化重构了地下水的运移路径。在间距小于8m的区域,上部12煤层采空区的积水可直接通过层间裂隙渗入下部13上2煤层,使该区域的工作面涌水量较间距正常区域增加60%以上。以12煤层021205工作面为例,其与下部13上2煤层局部间距仅4.3m,021205工作面回采结束后形成的采空区积水以及底板破坏带会对13上2煤层开采形成制约,根据以往13上2煤层采高3m推算,021205工作面下伏规划作业面距离12煤层底板层间距仅剩1.3m。对未来开采此区域13上2煤层带来极大不便。

煤层间距较小区域的岩层组合更易发生失稳破坏。层间岩层的厚度不足导致其承载能力下降,在采动应力作用下易形成剪切裂隙,不仅加剧导水性,更可能引发顶板垮落等地质灾害<sup>[3]</sup>。此外,间距变异导致未采区域的应力分布更加复杂,形成多点应力集中区,进一步增加了开采安全风险。

## 3 安全回采对策与预防措施

### 3.1 加强水文地质勘察

构建“物探先行、钻探验证、动态监测”的综合勘察体系。采用瞬变电磁法对南部采空区及周边未采区域进行全方位探测,精准圈定积水范围与导水通道位置,详细查明积水面积、水量及水压等关键参数。针对探测发现的异常区域,实施定向钻探验证,针对性排放水,消除水害威胁后进行回采工作。

基于矿山透明地质技术研究,建立三维水文地质信息模型,整合钻孔数据、物探成果及涌水量观测数据,实现采空区积水动态模拟与预测。可在未采区域布设水文长观孔,实时监测地下水位、水压变化,数据传输频率达每小时1次,确保及时捕捉水文异常信号。结合矿井涌水量与降雨量、开采进度的相关性分析,建立涌水量预测模型,预测精度达85%以上,为防治水决策提供科学依据。

### 3.2 优化开采布局与工艺

基于工程地质条件的动态变化,合理调整开采顺序,优先开采南部采空区周边应力相对稳定的区域,避开应力集中区与导水裂隙发育密集区。在采空区边界与未采区域之间留设防隔水煤柱,煤柱宽度根据水压、煤层厚度及岩层性质综合确定,12煤层留设宽度不小于50m,13上2煤层留设宽度不小于40m,确保煤柱的稳定性与隔水有效性。

推广应用充填开采技术,对南部采空区关键区域实施膏体充填,充填材料采用煤矸石、粉煤灰等工业废渣,充填率达90%以上,有效控制地表沉降与裂隙发育。优化采煤工艺参数,12煤层采用一次采全高综采工艺,采高控制在4.5m以内;13上2煤层采用薄煤层综采工艺,减少采动对岩层的扰动。通过数值模拟优化支护参数,采用高强度锚杆+锚索+金属网的联合支护方式,锚杆间排距控制在 $1.0 \times 1.0\text{m}$ ,锚索间距2.0m,确保支护强度与岩体稳定性相匹配。

### 3.3 实施导水裂隙带防治

建立导水裂隙带动态监测网络,采用微震监测系统与钻孔窥视仪相结合的方式,实时跟踪裂隙带的发育高度与导水性能变化,监测范围覆盖整个未采区域<sup>[4]</sup>。针对已发育的导水裂隙,实施定向注浆堵水工程,选用水泥-水玻璃双液浆作为注浆材料,注浆压力控制在2.0~3.0MPa,注浆孔间距3~5m,形成有效防渗帷幕,阻断采空区积水与未采区域的水力联系。

在12煤层与13上2煤层间距较小区域,实施层间注浆加固,增强岩层的隔水性能与承载能力。注浆加固范围包括煤层顶底板各10m范围内的岩层,注浆后岩层的渗透系数降至0.001m/d以下,抗压强度提升30%以上。同时,对地表塌陷坑与地裂缝进行及时回填,采用黏土+水泥混合材料分层夯实,回填压实度达95%以上,切断大气降水入渗通道。

### 3.4 强化排水系统建设

优化矿井排水系统布局,在矿井东南部掘进的边界瓦斯治理巷道临时增加水仓、水泵、排水管路,根据实际推算南部的采空区积水量,配备匹配能力的排水设备,确保排水能力满足最大涌水量需求。采用一用一备的单独可控或远程控制的排水系统,提高排水系统的可靠性。

加强排水系统的日常维护与管理,定期对水泵、管路、闸阀等设备进行检修,每年雨季前开展1次联合排水系统试运转试验,确保设备完好率达100%。合理利用13层采区水仓,定期清理水仓淤泥,确保空仓容量在50%以上,满足8h正常涌水量储存需求。建立排水系统智能监控平台,实时监测排水设备运行状态与水仓水位,实现排水系统的自动化调控与故障预警。

### 3.5 制定应急预案

编制针对性的水害应急救援预案,明确应急组织机构、响应程序及处置措施,划分三级应急响应等级。储备充足的应急物资,如配备应急供氧、通讯及逃生设备,硐室容量满足该区域最大作业人数的避险需求。

建立应急演练常态化机制,每季度组织1次水害应急演练,模拟采空区突水、工作面涌水等场景,提升作业人员的应急处置与逃生能力。加强与周边矿井及地方应急救援队伍的联动,建立应急资源共享与协同救援机制,确保突发水害时能够快速响应、高效处置,最大限度降低灾害损失。

## 4 结论

黄白茨煤矿南部采空区引发的煤层赋存条件与工程地质环境变化,对未采区域的安全开采构成多维度挑战,主要表现为矿井水害风险加剧、导水裂隙带贯通、应力分布失衡、煤层间距小导致的下伏煤层区域不可采等问题。针对上述问题,通过实施精准水文勘察防控水害、定向注浆阻断导水裂隙、优化支护参数平衡应力分布、采用充填开采解放下伏煤层资源等针对性防控措施,有效化解了安全开采风险。通过构建综合勘察体系,精准掌握水文地质与工程地质动态;优化开采布局与工艺,降低采动扰动影响;实施导水裂隙带靶向治理,阻断水力联系;强化排水系统保障能力,提升应急处置水平;建立健全应急预案体系,增强风险防控韧性,形成了一套全方位、多层次的安全回采技术体系。实践表明,该体系的应用可有效控制未采区域的涌水量,使工作面正常涌水量稳定在 $33\sim48\text{m}^3/\text{h}$ ,水害事故发生率降至零,同时提高资源回收率5%~8%,实现了安全与效益的协同提升。未来开采中,需持续关注工程地质条件的动态演化,结合智能化开采技术的推广应用,进一步优化防控措施,完善技术体系,为同类矿井的安全可持续开采提供更具价值的借鉴与参考。

## 参考文献

- [1]袁琴,罗崎磷.水文地质在煤矿地质工程勘察中的重要性探讨[J].内蒙古煤炭经济,2025(12):178~180.
- [2]尚英智,霍金刚,孙学阳,等.某煤矿过沟开釆防隔水煤岩柱留设高度研究[J].现代矿业,2025,41(7):150~153,170.
- [3]郝耀军,李浩,武艺.西曲煤矿水文地质类型划分探讨[J].陕西煤炭,2020,39(1):85~88,111.
- [4]王利强.九鑫煤业水文条件复杂区域防隔水煤柱留设研究[J].煤炭与化工,2023,46(4):75~78.

## 作者简介:

谢文军(1994--),男,汉族,甘肃定西人,大学本科,职称:助理工程师,研究方向:地质及水文地质,工程地质,煤矿地质,煤矿井下防治水。