

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^[1]。

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 上 2 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^[2]。

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 65958.2m²，总积水量达 36787.1m³。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 11218.3m³，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 47496m³；相邻的 021205 运输巷预计排水量 69009.43m³，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^[3]。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，针对性探放水，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1.0×1.0m,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^[4]。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33~48m³/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.某煤矿过沟开采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。