

煤矿薄基岩区煤柱留设的高密度钻探勘查方法及合理性探讨

罗礼良¹, 崔顺鑫², 张 蒙¹, 董青红^{2*}

(1. 河南神火煤电股份有限公司刘河煤矿, 河南 永城 476600; 2. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 钻探是煤矿突水溃砂灾害勘查的重要手段之一, 但《煤矿防治水细则》仅对薄基岩区提出2个地面钻孔的基本要求, 井下钻探密度完全靠生产单位自觉执行, 导致依据少量勘查钻孔即可完成合规设计, 但采区工作面仍可能存在一定突水溃砂风险。本文以刘河煤矿北翼16031工作面为研究对象, 在潜在致灾风险分析基础上, 讨论了地面、井下增加钻孔密度的必要性, 总结了增加钻孔密度的合理性, 并结合刘河煤矿16031工作面的成功应用, 分析了增加钻孔密度的水害查治成效。研究表明: 薄基岩区2个地面钻孔是规范的底线要求, 地面和井下勘探孔的密度应按含煤地层起伏、古剥蚀面形态、基岩风化深度、断裂构造、物探异常区的分布综合确定, 提高钻孔密度进行水文地质精细勘查具有必要性; 钻孔密度的增加应在前一步勘探成果基础上提出, 以未查清风险源为目标; 适当加密地面钻孔, 充分利用井下钻孔是突水溃砂灾害勘查和风险排查的有效途径。

关键词: 高密度钻探; 煤柱留设; 薄基岩; 勘查方法

中图分类号: P634; TD745 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0207-08

High-density drilling exploration method for pillar setting in thin bedrock areas of coal mines and rationality discussion

LUO Liliang¹, CUI Shunxin², ZHANG Meng¹, DONG Qinghong^{2*}

(1. Liuhe Coal Mine, Henan Shenhua Coal Industry and Electricity Power Co., Ltd., Yongcheng Henan 476600, China; 2. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

Abstract: Drilling is one of the key methods for investigating water inrush and sand gushing disasters in coal mines. However, the Detailed Rules for Prevention and Control of Water Hazards in Coal Mines only stipulates a minimum requirement of two surface boreholes in thin-bedrock areas, while underground drilling density relies entirely on the self-discipline of related coal mines. This regulatory framework allows those designs based on limited exploration boreholes easier to meet compliance requirements, yet still leaves potential water inrush and sand gushing risks in mining. Taking the 16031 panel in the northern wing of Liuhe Coal Mine as a case study and proceeding from potential disaster-inducing risk conditions, this paper discusses the necessity of increasing both surface and underground drilling density, summarizes its rationale, and reveal the effectiveness of enhanced drilling density in water hazard detection and control. The study concludes that two surface boreholes in thin-bedrock areas represent the regulatory baseline requirement. The density of surface and underground exploration boreholes should be comprehensively determined by factors including coal-bearing stratum undulations, ancient erosion surface morphology, bedrock weathering depth,

收稿日期: 2025-07-01; 修回日期: 2025-08-02 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.031

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“弱胶结覆盖层下递进抽冒溃砂的演化机理与判别条件”(编号: 42277159)

第一作者: 罗礼良, 男, 汉族, 1986年生, 工程师, 钻探工程专业, 主要从事地测防治水相关技术工作, 河南省永城市刘河镇, 401671652@qq.com。

通信作者: 董青红, 男, 汉族, 1973年生, 教授, 地质工程专业, 博士, 主要从事钻探工程、矿山水文地质与工程地质方面的研究工作, 江苏省徐州市大学路1号, dongqh@cumt.edu.cn。

引用格式: 罗礼良, 崔顺鑫, 张蒙, 等. 煤矿薄基岩区煤柱留设的高密度钻探勘查方法及合理性探讨[J]. 钻探工程, 2025, 52(S1): 207-214.

LUO Liliang, CUI Shunxin, ZHANG Meng, et al. High-density drilling exploration method for pillar setting in thin bedrock areas of coal mines and rationality discussion[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 207-214.

fault structures, and geophysical anomaly distributions. Increasing drilling density for hydrogeological precise and detailed investigation is deemed essential. The increase in borehole density should be proposed based on the results of the previous exploration and targeted at unidentified risk sources. Appropriately increasing surface boreholes while fully utilizing underground boreholes proves to be an effective approach for investigating water inrush and sand gushing hazards as well as risk investigation.

Key words: high-density drilling; coal pillar retention; thin bedrock; exploration methods

0 引言

煤矿薄基岩开采条件下突水溃砂是一类重要的矿井地质灾害,一旦发生将掩埋设备和人员,造成毁灭性的损失^[1-3]。按照现行规范《煤矿防治水细则》要求:工作面内或者其附近范围内钻孔间距不得大于500 m,且至少有2个以上钻孔控制含水层顶、底界面,查明含水层顶、底界面及含水层岩性组合、富水性等水文地质工程地质条件。但在合规的情况下,有些矿井仍发生了灾害事故,如赵固矿区发生了多起顶板突水溃砂事故^[4],因此加强采前水害的深入勘查治理仍具有显著的必要性。

隋旺华^[5]、董书宁等^[6]总结提出了突水溃砂发生的四个要素,即水源、物源、通道以及临空面,明确了突水溃砂的主要勘查方向。董青红等^[7]在新近系薄基岩下采掘突水溃砂研究中揭示了勘探精度对古剥蚀面形态、风险程度的影响规律。既有研究明确了薄基岩下开采突水溃砂条件的勘查方向,同时也提出了进行精细描述和增加勘探密度的需求^[8]。

煤矿水文地质勘查一般采用物探和钻探相结合的探查技术^[9-10],俗称“两探”。物探常用方法包括地震勘探、瞬变电磁勘探、电法勘探等^[11-13],这些成果为钻探探查治理提供靶向指导。钻探勘查一般通过地面小口径岩心钻孔和井下定向钻孔组合实施^[14-15]。华照来等^[16]研究发现,单纯满足《煤矿防治水细则》规定的钻孔网度标准不足以满足全面获取地质信息、为煤矿开采设计提供可靠依据的需求。因此,针对特定水文地质条件下的风险问题,优化改进勘查方法,是生产实践提出的新需求。

本文在分析水文地质条件和物探探查结果的基础上,以刘河煤矿16031工作面安全煤岩柱留设设计为例,提出了地面适当加密、井下充分探查的薄基岩区顶板水害钻探查治系统方法。该工作面已经顺利推采通过薄基岩段,取得的经验对同类条件水害防治勘查具有一定的借鉴意义。

1 研究区地质条件与水害问题

刘河煤矿位于河南省永城市刘河镇,地处黄淮冲积平原中部,地层自老至新为奥陶系、石炭系、二叠系及新生界,主采煤层为赋存于二叠系山西组的二₂煤层,一般煤厚0.5~3.8 m。刘河煤矿北翼采区是新发现的采区,16031工作面开采前水文地质勘查和研究程度不高。采区地层和构造如图1所示,采区总体为穹隆构造,南部发育向斜,受褶皱和断层控制,煤层倾角5°~11°。受边界断层控制,采区为一封闭水文地质单元。本区二₂煤层上覆基岩厚度0~130 m,由于煤层倾角相对平缓,根据采区设计,当开采厚度为3.0 m时,需留设防水煤岩柱40.7 m,大面积的煤炭资源将被划入禁采区。

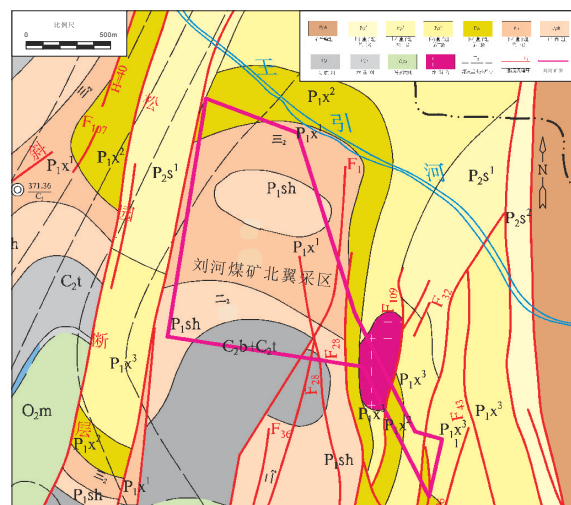


图1 刘河煤矿北翼采区地质图

该区域的主要含水层有奥陶系岩溶裂隙承压水、太原组岩溶裂隙承压水、二₂煤层顶板碎屑岩裂隙承压水、新生界孔隙水等5个含水层组,主要隔水层包括本溪组铝土质泥岩、太原组中段砂泥岩等。根据本矿南部采区的开采经验,奥陶系岩溶裂隙承压水、太原组岩溶裂隙承压水均富水性中等,二₂煤层顶板碎屑岩裂隙承压水富水性弱,新生界地层由第四系和新近系组成,覆盖于薄基岩区的新近系底

部承压水富水性弱-中等,底板太原组岩溶裂隙水头略高,对开采有安全影响的含水层为太原组岩溶裂隙承压水和新近系底部承压水。本文仅讨论与主题相关的新近系底部承压水防治问题。

根据本区地面钻孔和抽水试验,2个钻孔的连

井对比剖面(图2)给出了含隔水层及其富水性分布情况。可见,该区新近系底部为弱-中等富水性,其上含水层为中富水性。由于新近系胶结程度不高以及二叠系风化深度较大,新近系底部及风化带是本区煤层开采涌水溃砂的潜在含水层及物源区。

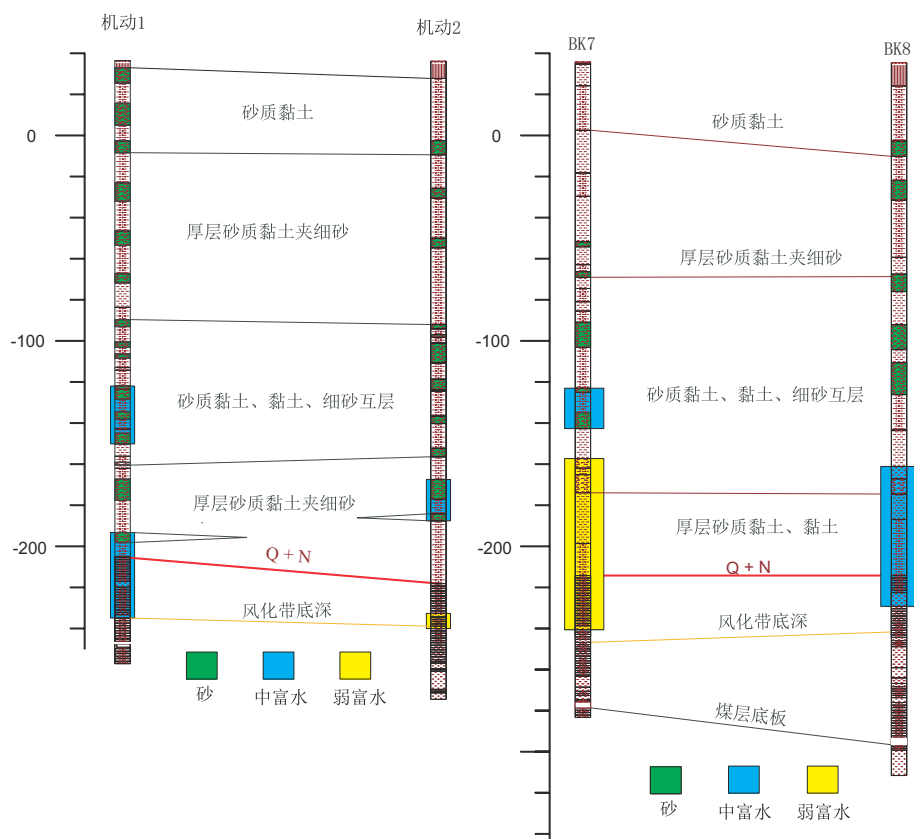


图2 水文地质连井剖面

2 研究区的潜在致灾风险与勘查需求

已有研究表明,当基岩厚度处于接近防水或防砂煤岩柱的临界条件时,古剥蚀面起伏、风化深度和风化带起伏等是突水溃砂的重要风险源。图3是关于古剥蚀面起伏、风化深度和风化带起伏在临界基岩厚度时的风险程度分布示意^[7]。图中①、②线分别是地面和井下勘探孔查获的古剥蚀面分布,④线为按照煤厚确定的防砂煤岩柱高度。以基岩厚度是否满足留设防砂煤岩柱厚度为基本准则,当按地面勘探孔成果识别可采区时,可采范围可分为A行的2段,当按地面和井下勘探孔成果综合识别可采区时,可采区范围为B行的8段。由此可见,在勘探精度较低的情况下,虽然分析过程合规,但极可

能掩盖局部地质条件不足而存在的安全风险。

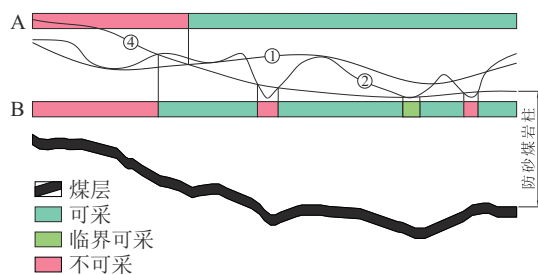


图3 古剥蚀面起伏的风险程度(根据文献7修改)^[7]

同时,根据金刚^[17]的研究,基岩风化带、新近系底部的地层由于胶结差、含水,构成了矿井突水溃砂的敏感带。处于该层段的破碎物质,是突水溃砂

的直接物源,而那些在采动影响范围之内,遭受破坏、水软化和崩解作用影响的地层,则可能进一步转化为溃砂的物源。因此,突水溃砂敏感带的几何形状、含水性、可能软化或崩解岩层的特性,都需要在开采前给予充分的探查,必要时采取疏放水、注浆、工作面改道和加强支护等管控对策,勘探时只有适度缩小勘探孔间距才能有效解决此类问题。

3 高密度钻探工程

高密度钻探探查不是盲目增加钻孔密度,而是以地面三维地震查明的矿区褶皱、断裂构造和地层为基本依据,同时借鉴井下两探过程所实施的瞬变电磁和电法勘探成果,调整钻孔间距和布局,布置

钻探工程。

3.1 地面加密勘探工程

为满足水害防治和指导工作面掘进,在16031工作面掘进之前,首先按照基岩厚度25~40 m线,同时兼顾16031工作面开采边界布置了地面水文地质勘探孔,见图4。考虑对基岩厚度等值线、断层的影响以及开采边界的控制,加上以往本区的地质勘探孔,补勘布孔的间距达到200~300 m。根据地面补勘和水文地质分析,可以得到本区防水煤岩柱留设的基本条件和范围,对掘进起到了重要的指示作用。虽然钻孔间距明显小于规范要求的500 m,但是否能够揭示特殊的风险问题仍有待检验。

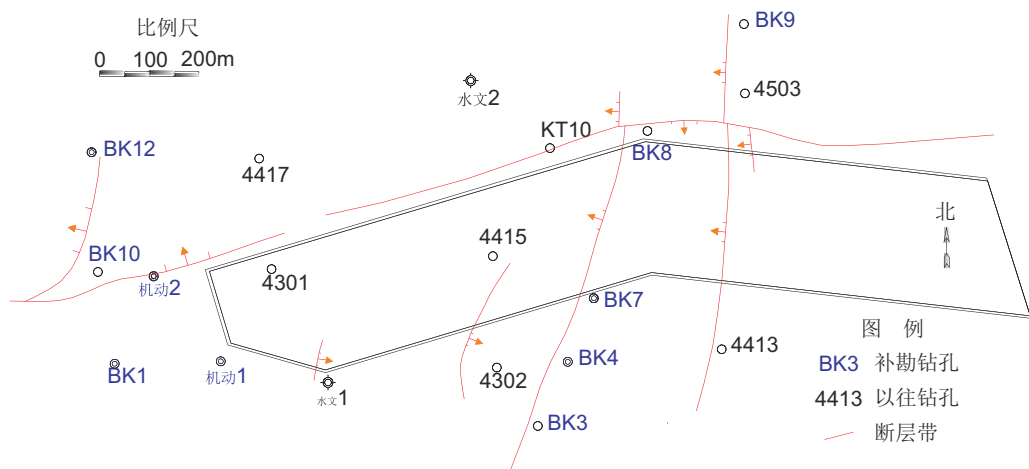


图4 16031工作面地面补勘钻孔平面分布示意

根据补勘,沿着BK8、BK7、BK4连线可以做出图5所示简易水文地质剖面。结合地层岩性编录、测井、抽水试验、RQD指标、冲洗液漏失量分析,本区为倾角平缓的煤层露头带,新近系与二叠系之间的古剥蚀面起伏平缓。但图5中4个钻孔基岩风化深度不均匀,同时对孔间变化的控制也没有达到图3所示风险识别的精度要求,有必要考虑适当增加地面钻探或井下钻探的密度。而地面勘查涉及征地、工期和成本等,因此井下加密钻孔是风险排查的最后一道防线。

3.2 井下高密度钻探

为精准获取16031工作面突水溃砂敏感带的几何特征和水源、物源分布情况,分别对探顶板岩层和古剥蚀面、验证物探异常、探工作面内和相邻区域断层带的钻孔布置进行讨论。煤矿井下掘进的

典型工艺是“先探后掘”。一般先对巷道前方80~100 m范围内进行两探,没有异常的掘进60~80 m,有异常治理改造后再掘进,始终保持20~30 m掩护距离。在薄基岩条件下,同时要探查基岩厚度,根据基岩厚度调整开采范围,其钻孔布置形式如图6所示。

3.2.1 物探异常区验证治理

工作面贯通之后,为查治风险,在2条巷道分2次进行了并行电法勘探,以探查煤层及顶底板岩层的结构特征和富水性异常,探查结果见图7。由图可见,顶底板低阻异常区基本不在地面勘探钻孔的控制范围之内,因此在井下2条巷道布置了24个煤层和顶底板物探异常区验证钻孔(图7)。其钻孔均为定向孔,布置方式参见图6(a)。所施工24个钻孔均超过物探异常区深度且低于地面钻孔揭露的含

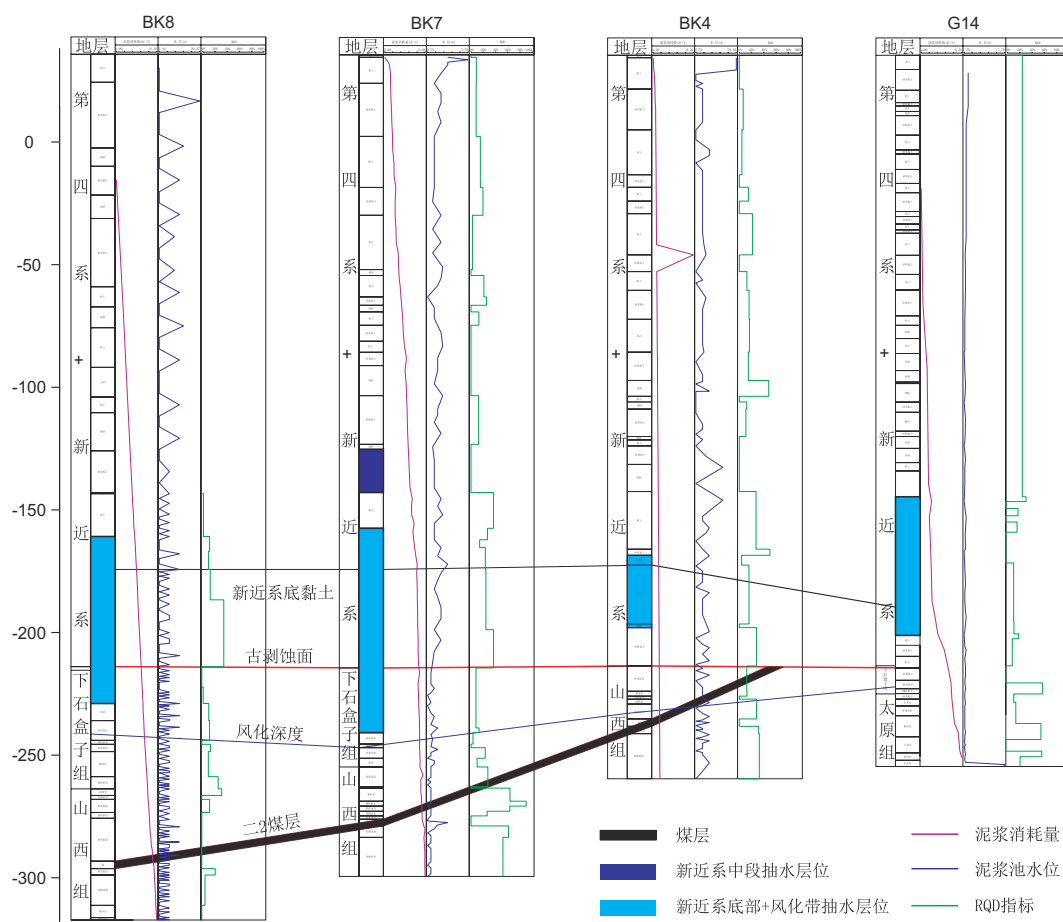


图5 宏观水文地质剖面结构

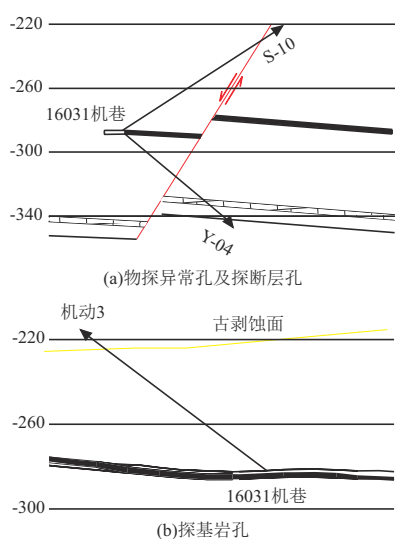


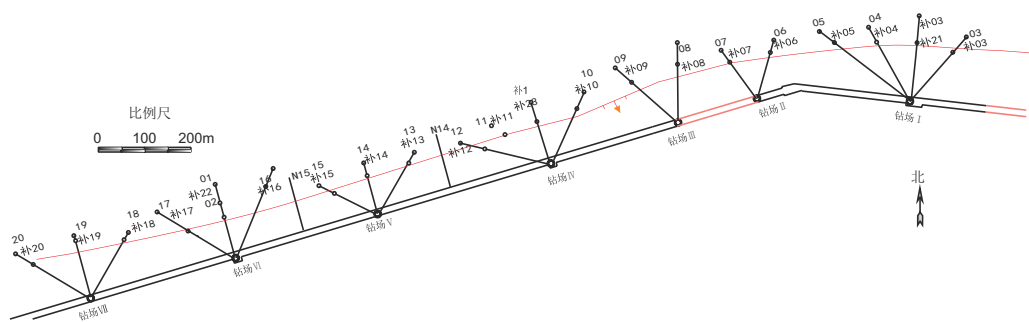
图6 井下钻探剖面

水层水位。根据验证得到的钻孔水位、初始涌水量、注浆量,总体控制了异常区范围内的水文地质条件,完成了对异常区域的风险排查和治理。

3.2.2 井下探基岩钻探

在巷道贯通、物探异常区探测完成后,刘河煤矿在机巷、风巷又施工了24个顶板岩层和古剥蚀面探测孔,分别为机巷F-01~F-06孔、风巷J01~J16孔、机动1孔、机动2孔。井下探基岩钻探施工的主要目的是探查煤层顶板、古剥蚀面、基岩风化深度、新近系底部岩性和含水性等特征,钻孔的布置形式参见图6(b),以下以古剥蚀面为重点分析对象。

根据井下钻探和地面探查结果,可绘制16031工作面古剥蚀面等高线图,见图8。根据矿井资料及图8,本区二叠系山西组之后沉积的地层被剥蚀,其上覆盖层为新近系。由于沉积间断和风化影响,本区古剥蚀面存在较明显的地形起伏,远非地面勘探钻孔所揭示的平缓状态。古剥蚀面的低洼区明显是古地质环境的风化剥蚀优势区域,是新近系底部地下水赋存的锅底位置,也可能是溃砂物源分布的集中区域。经过井下钻探加密勘查,风险范围被揭示出来。

图9 探断层DF₃₅钻探布置

4 煤柱留设及开采情况

按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》,本工作面顶板砂岩弱富水,新近系底部为弱-中富水含水层,新近系底部黏土层分布不完整,可以确定水体类型为:直接位于基岩上方或底界面下无稳定的黏性土隔水层的松散孔隙

强、中含水层水体,水体采动类型为I类,不允许导水裂缝带波及到水体,须留设顶板防水煤岩柱开采。考虑覆岩为软弱类型,按照3A控制保护层,断层影响区按5A控制保护层,其中A为煤层采厚。因此在开采厚度2.5 m时可分别得到基岩厚度33.98 m和39.98 m的2条防水煤柱线,见图10。

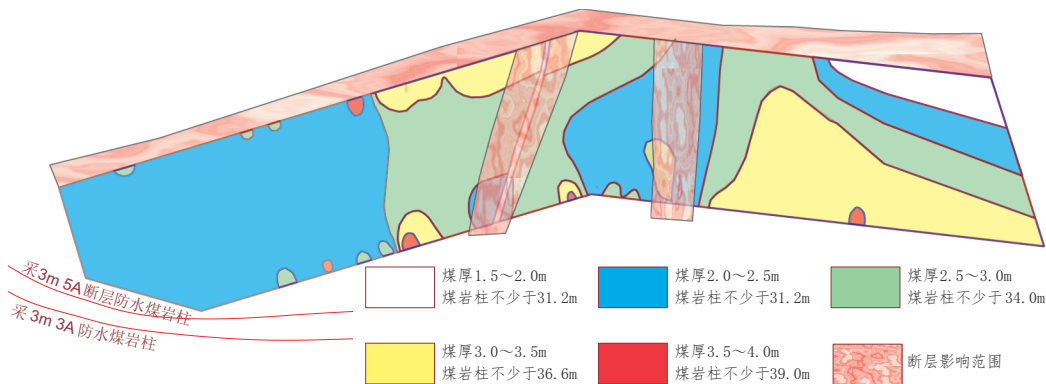


图10 煤岩柱留设以及可采区

由图10可见,按照地面井下高密度钻孔得到的古剥蚀面形态、基岩厚度、煤层厚度,参考图3所示方法,可以精细进行采厚分区以及煤柱留设分段,所需留设的煤柱均在可靠的基岩厚度范围之内。同时,为校核落差大于10 m断层附近的新近系底含防隔水煤柱,按照采动影响角65°进行了煤柱范围校核,阴影区煤柱普遍大于50.8 m,可以满足最大采厚3.5 m的安全回采。综上,全工作面可采。

截至2025年6月底,16031工作面已经安全推采160 m。与邻区相比,16031工作面南部和西部外侧区域,由于基岩厚度薄,只能暂时作为缓采区和禁采区。高密度钻探有效支撑了该工作面安全开采的风险排查。

5 关于高密度钻探勘查的合理性分析

古剥蚀面起伏及风化程度对薄基岩区安全开采的影响是近两年突水溃砂研究发现的新问题,采用高密度钻孔进行勘查增加了勘探的工程量,也占用了大量的采掘时间,增加勘探密度是否存在必要性以及如何加密勘探,在不同的地质和开采条件下可能会存在一些争议。根据本例研究探讨如下:

(1)《煤矿防治水细则》关于工作面内或者其附近范围内钻孔间距不得大于500 m,且有2个以上钻孔的要求应该是底线要求,2孔参数虽可以互为验证,但在条件极端、情况复杂的状况下,加密仍有必要。

(2)地面钻探和水文地质工作仅能指导掘进是否具备可行性,是禁采区转化为缓采区的依据,属于合规设计。井下勘查至少包含2个阶段,掘进时

的超前两探和贯通后的探查治理工程,属于合理性的风险排查,是采前水文地质综合评价的一部分。

(3)贯通后的探查治理包括物探全覆盖扫描、顶板探查、底板探查以及顶底板疏放水或注浆加固,涉及构造的还应对构造进行含导水性探查和治理。贯通后的探查治理应边探查边评价,发现异常应该补充第二轮、第三轮查治工程,以风险排除为主要目的。

(4)物探方法受分辨率限制及干扰因素影响,存在识别盲区,薄基岩条件下的物探精度有一定受限,钻探是目前获取地质及水文地质信息的最直接手段之一,加密钻探是提高勘探精度的不得已方法和有效方法。

(5)钻探的密度应为风险排查服务,突水溃砂风险排查钻孔的布置和探查范围以突水溃砂敏感带的几何特征和水源、物源分布条件为确定依据。

6 结论

按照《煤矿防治水细则》以及《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》的相关准则,薄基岩区开采工作面地面有2个水文地质钻孔即可满足规范要求。但是在本文研究基础上,可以得到以下结论:

(1)地面2个孔是规范的底线要求,地面和井下勘探孔的密度应该按含煤地层起伏、古剥蚀面形态、基岩风化深度、断裂构造、物探异常区的分布综合确定,因此高密度布置钻孔进行水文地质精细勘察是必要的。

(2)钻孔密度的增加是渐进的,应在对前一步勘探取得地质资料评价分析的基础上进一步提出补充探测位置,以未查清的地质问题或者风险源为探查目标进行设计,从而避免对勘探孔密度的盲目追求。

(3)在前期物探成果的支持下,适当加密地面钻孔,充分利用井下钻孔,先按合规性设计布置开

采工作面,再按合理性进行采掘溃砂风险排查,完成了刘河煤矿16031工作面薄基岩下安全开采研究。

参考文献:

- [1] 孙文斌,戴宪政,马诚.新近系松散层薄基岩下采动突水溃砂机制试验研究[J/OL].中国矿业.https://link.cnki.net/urlid/11.3033.TD.20250625.1522.006
- [2] 王洪林,陈见行,董合祥.矿井水的主要类型及其防治措施[J].山东煤炭科技,2010,28(3):193-194.
- [3] 吴绪南,刘延欣,武宇亮.薄基岩工作面突水溃砂致灾过程模拟研究[J].山东煤炭科技,2023,41(4):168-170.
- [4] 许延春,马子民,李小二,等.基岩风化带性质对顶板突水溃砂的影响研究——以赵固一矿为例[J].煤炭科学技术,2023,(7):64-71.
- [5] 隋旺华.矿山采掘岩体渗透变形灾变机理及防控Ⅰ:顶板溃水溃砂[J].地球科学与环境学报,2022,(6):903-921.
- [6] 董书宁,姬亚东,王皓,等.鄂尔多斯盆地侏罗纪煤田典型顶板水害防控技术及应用[J].煤炭学报,2020,45(7):2367-2375.
- [7] 董青红,郑慧慧,魏民涛,等.新近系和薄基岩下突水溃砂防治的风险机制:古剥蚀面起伏与风化程度的影响[J].中国矿业大学学报,2024,53(5):889-900.
- [8] 刘立仁,徐慧,吕明杰,等.神府矿区采空区精细化综合勘探技术研究[J].煤炭工程,2024,56(4):28-35.
- [9] 王永全,周兢.钻探技术在煤矿水害防治工作中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,(11)35-41.
- [10] 卜昌森.煤矿水害探查、防治实用技术应用与展望[J].中国煤炭,2014,40(7):100-107,121.
- [11] 张宇鹏.常用物探方法在云南西部成矿地质体识别与定位中的应用[J].云南地质,2022,41(1):125-130.
- [12] 朱钦银.综合物探方法在地质找矿中的应用[J].有色金属设计,2022,49(3):113-116.
- [13] 卢学斌,汪钟莲,张莹辉.探究工程地质勘查中常用的工程物探方法[J].世界有色金属,2017(10):132,134.
- [14] 常明,王军,张晓东.地面压裂与井下钻孔联合抽采技术研究[J].煤炭技术,2023,42(7):15-19.
- [15] 常明.段王矿地面与井下钻孔联合抽采技术研究[D].太原:太原理工大学.2023.
- [16] 华照来,范立民,李增林,等.论《煤矿防治水细则》中的“勘探清楚”问题[J].中国煤炭地质,2024,36(10):39-44.
- [17] 金刚.新近系下采动抽冒溃砂物源转化机制研究[D].徐州:中国矿业大学.2025.

(编辑 王跃伟)