



推荐阅读：

[我国煤矿冲击地压发展 70 年：理论与技术体系的建立与思考](#)

[我国大采高综采技术及围岩控制研究现状](#)

[保水采煤研究 30 年回顾与展望](#)

[煤矿“短充长采”科学开采模式研究](#)

[西部煤炭绿色开发地质保障技术研究现状与发展趋势](#)

[基于保水采煤的煤炭开采带与泉带错位规划问题](#)

[煤矿冲击地压灾害防控技术研究现状及展望](#)

[基于负煤柱巷道布置的煤矿冲击地压防治技术研究](#)

[软弱厚煤层沿顶掘进并沿底回采技术研究](#)

[松散煤岩组合体不均匀破坏试验研究](#)

[采场空间结构模型及相关动力灾害控制研究](#)

[坚硬顶板型冲击地压发生机理及监测预警研究](#)

[基于动静载叠加原理的冲击矿压灾害防治技术研究](#)

[大空间采场远场关键层破断形式及其对矿压显现的影响](#)

[岩层移动理论与力学模型及其展望](#)

[我国水体下保水采煤技术研究进展](#)

[层影响下岩体采动灾变响应研究现状与展望](#)

[特大断面冲击地压巷道破坏机理及控制技术研究](#)

[动压影响下的软岩巷道加固治理技术研究](#)

[弱胶结富水顶板巷道围岩控制技术研究](#)

采矿科学与工程



张党育,蒋勤明,高春芳,等.华北型煤田底板岩溶水害区域治理关键技术研究进展[J].煤炭科学技术,2020,48(6):31-36. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.06.002



ZHANG Dangyu, JIANG Qinming, GAO Chunfang, et al. Study progress on key technologies for regional treatment of Karst water damage control in the floor of north China coalfield [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(6): 31-36. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.06.002

移动扫码阅读

华北型煤田底板岩溶水害区域治理关键技术研究进展

张党育¹,蒋勤明¹,高春芳¹,王铁记²,王玺瑞³

(1.冀中能源集团有限责任公司,河北 邢台 054000;2.冀中能源峰峰集团有限公司,河北 邯郸 056107;

3.冀中能源股份有限公司,河北 邢台 054000)

摘要:为了进一步提高底板岩溶水害区域治理技术的有效性,降低底板突水的危险性,解决区域治理过程中治理层位选择、治理模式和安全治理范围的确定等安全技术问题,基于冀中能源多年底板水害区域治理工程实践,通过深入分析邯邢矿区近年来区域治理后工作面出水案例,提出了奥灰区域治理层位选择的基本原则;针对多个复合含水层(段)条件,构建了地面顺层治理与井下穿层治理相结合的底板岩溶水害多层“三维立体”区域综合治理新模式;给出了在几种不同构造条件下工作面安全治理范围的计算方法。并在峰峰矿区梧桐庄矿水文地质条件极复杂182602工作面水害治理中进行应用实践,取得了良好的治理效果,对类似条件下底板岩溶水害区域治理工作具有很好的借鉴意义。

关键词:华北型煤田;区域治理;治理层位;治理模式;安全治理范围

中图分类号:TD745 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2020)06-0031-06

Study progress on key technologies for regional treatment of Karst water damage control in the floor of north China coalfield

ZHANG Dangyu¹, JIANG Qinming¹, GAO Chunfang¹, WANG Tieji², WANG Xirui³

(1. Jizhong Energy Group Corporation Ltd., Xingtai 054000, China; 2. Jizhong Energy Fengfeng Group Corporation Ltd.,

Handan 056107, China; 3. Jizhong Energy Corporation Ltd., Xingtai 054000, China)

Abstract: In order to further improve the effectiveness of the regional treatment technology for Karst water damage, reduce the risk of water inrush on the floor, and solve safety technical issues such as the choice of treatment level, treatment model, and safety governance range during the regional governance process, based on the practice of the energy-damaged regional water pollution treatment project for many years in Jizhong Energy Group, through in-depth analysis of the water treatment cases at the working face in recent years in the Hanxing mining area, the basic principles for the selection of the treatment level of the limestone water area were proposed; A new model for comprehensive management of multi-level "three-dimensional" area of Karst water damage on the floor combined with ground bedding treatment and underground penetration treatment was presented. The calculation method of the safety treatment range of working face under several different structural conditions was given. In addition, it has been applied in the treatment of water hazards in the extremely complex hydrogeological conditions of No.182602 Wutongzhuang coal mine in Fengfeng mining area, and has achieved good control results. It has a good reference for the regional treatment of floor karst water damage under similar conditions.

Key words: north China coalfield; regional control; control level; control model; scope of security control

0 引言

河北省南部的邯邢矿区属典型的华北型石炭二

叠系煤田大水老矿区,煤系基底存在巨厚奥陶系岩溶强含水层,水文地质条件极其复杂。冀中能源集团在该地区有10处采深超过800 m的深井,其中4

处超1 000 m,这些大采深矿井面临着“三高一扰动”开采条件,即高地应力、高地温、高水压和底板采动破坏扰动大^[1],深部2号煤开采面临奥灰突水威胁。另有5处开采下组煤9号煤层的矿井,受奥灰强岩溶水及底板薄层灰岩水威胁严重。

围绕深部煤层开采的底板突水预测及灾害控制,国内相关专家学者进行了大量的科学的研究,取得了丰富的学术成果。董书宁等^[2]在现有奥灰顶部地质及水文地质条件认识的基础上,提出了部分矿区奥灰顶部存在阻水性能较好的风化充填带可作为隔水层利用的理念,为奥灰顶部含水层改造提供了依据。赵家巍等^[3]研究了大采深、高水压条件下含不同隐伏构造类型底板高承压水的始渗条件和渗流路径扩展规律,确定了矿井底板突水条件及重点治理区域。尹尚先等^[4]系统研究了华北型煤田岩溶陷落柱的发育特征、成因机制、发育规律及预测、突水模式及机理、探查治理等基本理论及技术体系。为解决邯邢矿区上组煤大采深矿井及下组煤9号煤层安全开采防治水难题,自2008年以来,冀中能源集团积极开展了华北型煤田深部煤层开采区域防治水理论与成套技术研究^[1],首次提出了“区域超前治理”奥灰岩溶水害理念和“超前主动、区域治理、全面改造、带压开采”的防治水指导原则^[5];建立了煤层底板突水岩石力学和流体力学模型,首次提出了煤层底板突水“多时段分带突破”突水机理^[6-8];开展了裂隙含水层水平孔注浆原理研究,从理论上提出了裂隙含水层水平孔注浆“三时段”浆液扩散机理^[9],为区域注浆治理裂隙含水层和复杂地质构造条件下的浆液控制及治理钻孔的合理布置提供了理论指导,填补了水平孔注浆扩散机理的研究空白;提出了以地面区域治理为主的“先治后掘、先治后采”治理模式^[10];形成了采用地面多分支定向钻进技术对煤系地层基底奥灰纪灰岩或煤层底板薄层灰岩进行地面区域治理关键配套技术^[11-15]。张党育^[16]对矿井水害区域治理关键技术与研究方向进行了探讨,提出了在钻探及注浆工艺等方面亟待解决的问题,针对深部奥灰岩溶发育特征及治理模式、浆液扩散机理及可控注浆、最小安全治理范围及水文地质信息综合判识等技术开展系统性研究。

目前,冀中能源集团邯邢矿区地面水害区域治理技术已经推广应用到11处矿井,大规模突水事故得到有效遏制,区域治理关键技术不断取得突破,通过多年的实践,形成了一套水害区域治理技术体系,但在奥灰区域治理层位选择、治理模式和工作面安全治理范围等方面研究不够深入,致使区域治理效

果不够理想。笔者就近几年冀中能源集团在这些关键技术方面的新进展进行系统研究,以期为其他类似矿区水害区域治理提供技术参考。

1 邯邢矿区主采煤层及主要含水层概述

邯邢矿区煤系地层为石炭二叠系,煤层主要分为上组煤和下组煤,上组煤指华北型煤田二叠系山西组1、2、2_下煤层、石炭系太原组4、5、6号煤层。下组煤指华北型煤田石炭系太原组7、8、9号煤层。上组煤主采2号和4号煤,下组煤主采9号煤。

2号煤下伏主要含水层自上而下为野青灰岩含水层、山伏青灰岩含水层、大青灰岩含水层、本溪灰岩含水层和奥灰含水层。2号煤下距奥灰150~180 m,4号煤下距大青灰岩约70 m,下距奥灰约110 m左右。上组煤开采一般只受砂岩裂隙水和薄层灰岩水影响,存在垂向导水通道时,奥灰水成为直接威胁。9号煤下距奥灰30~40 m,间夹1层本溪灰岩含水层(厚1.0~9.0 m,仅在邢台矿区葛泉矿东井较厚),直接受奥灰水威胁。

2 奥灰区域治理层位选择

邯邢矿区煤系基地奥灰岩溶含水层厚度480~690 m,主要岩性由灰色纯灰岩、白云岩、白云质灰岩组成,根据岩性变化和沉积特征,可划分为三组八段。按其裂隙发育程度和富水特征,自下而上,二、四、五、七段为强含水层,一、三、六、八段为弱含水层。奥灰的富水性具有随着埋藏深度的增加而减弱的特征,奥灰顶部的峰峰组是威胁煤层开采的最主要的含水段,其顶部八段一般为30 m左右。在其顶部一般存在着一定厚度的古风化壳,厚度一般为5~15 m,多被黏土质充填^[1]。充分利用奥灰顶部存在的相对隔水段并对其进行注浆改造,消除奥灰顶部的溶蚀溶洞、断层构造及裂隙等薄弱地质缺陷,将其改造为相对隔水层,增加隔水层有效厚度,解决大采深矿井深部开采及下组煤开采过程中所面临的突水威胁,是上组煤大采深矿井及下组煤安全开采的一条有效途径。因此,以往奥灰区域治理的目标层选择一般选在八段底部、七段顶部。

邢台矿区邢东矿对埋深1 000 m以深的2号煤层进行了地面区域探查治理,奥灰八段较厚为70 m,治理层位最初选择在奥灰顶面以下70~90 m。治理工程实施后,区域治理范围内的2125、2126、2228工作面回采时相继发生了奥灰出水事故。经分析,主要原因是邢东矿奥灰八段层厚比其他矿井厚一倍以上,区域治理层位选择太深,浆液向上扩散

有限,奥灰顶部裂隙未得到有效治理;同时奥灰水压高达 12 MPa 以上,奥灰水原始导升高度未得到消除,加之采深大,工作面采动底板破坏深度大,致使奥灰浅层裂隙水沿裂隙破碎带涌出。随后及时将治理层位调整为奥灰顶面以下 10~50 m 进行了二次区域治理,对奥灰上层裂隙进行了注浆封堵,消除奥灰原始导升高度,隔断向上补给通道,治理后的 2129 工作面实现了安全生产。

通过上述实例可以看出,根据目标层的岩溶发育程度及可注性,合理选择钻孔目标层位是区域治理工程设计的关键。对于奥灰顶部改造治理而言,应遵循以下原则:根据具体带压开采条件,按治理后突水系数不大于 0.1 MPa/m,确定奥灰顶面下合理治理厚度,一次性改造厚度一般不超过 40 m,超过 40 m 时应自上而下选择双层或多层治理。

3 底板岩溶水害多层“三维立体”区域综合治理新模式

根据近几年防治水实践,采用地面区域治理或井下底板注浆加固单一的治理模式难以取得良好的治理效果,必须研究和探索井上下相结合的综合治理模式,方可保证区域治理的有效性和安全性,分 2 种情况加以介绍。

3.1 下组煤 9 号煤层开采水害区域治理模式

邢台矿区葛泉矿东井开采下组煤 9 号煤层,赋存较浅,由于 9 号煤层至奥灰顶面的隔水层厚达 35~55 m,一般在 40 m 以上,9 号煤层下 23 m 的本溪灰岩含水层平均厚 7 m,富水性中等。目前开采区域突水系数均不超过 0.1 MPa/m,以往一直采用工作面井下底板全面注浆加固改造本溪灰岩含水层的治理模式,实现了安全生产。

1293 工作面是该矿第 17 个工作面,9 号煤层底板标高在 -70—-125 m,奥灰突水系数为 0.039~0.053 MPa/m。通过实施井下底板全面注浆加固改造本溪灰岩含水层,工作面及外围 60 m 共施工钻孔 308 个,注入水泥 18 926.3 t 水泥,检查孔水量全部小于 10 m³/h。该工作面在回采过程中,发生了水量 293 m³/h 的奥灰出水事故。此次出水事故表明,仅采用单一的井下底板全面注浆加固改造本溪灰岩含水层的治理模式,已不能保证 9 号煤层安全开采。

为此,调整 9 号煤层安全开采治理模式为:采用地面区域治理奥陶系灰岩与井下底板注浆加固改造奥灰顶部相结合、顺层治理与穿层治理相结合、奥灰顶部与本溪灰岩同时治理的“三维立体”综合治理模式,如图 1 所示。

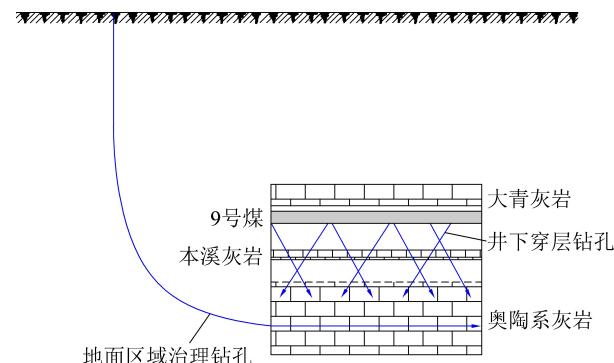


图 1 9 号煤“三维立体”综合治理模式示意

Fig.1 "Three-dimensional" comprehensive treatment model for No.9 coal seam

3.2 深部 2 号煤层受多层底板岩溶水害威胁区域治理模式

峰峰矿区梧桐庄矿 182602 工作面为 2 号煤采区首采工作面,工作面标高为 -704.3—-800.0 m,埋深达 950 m,走向长度 834 m,倾向长度 264 m,煤层厚度为 3.13 m。野青灰岩含水层平均厚度 2.5 m,上距 2 号煤 37 m,富水性较弱,原始突水系数为 0.18 MPa/m;山伏青灰岩含水层厚度 5.5 m,上距 2 号煤平均 72 m,富水性不均一,局部相对富水,原始突水系数为 0.13 MPa/m;大青灰岩含水层厚度 5~6 m,上距 2 号煤底板平均 115 m,富水性中等、不均一,原始突水系数为 0.094 MPa/m;奥陶系灰岩含水层上距 2 号煤平均 150 m,强富水,原始突水系数 0.072 MPa/m。工作面外存在 F3-1 断层,落差 170 m,断层下盘奥陶系灰岩含水层水侧向补给上盘(工作面侧)野青灰岩、山伏青灰岩和大青灰岩,因此,该工作面受多层底板岩溶水害威胁。针对该工作面复杂的水文地质条件,治理目标层除奥陶系灰岩含水层外,还需对上部野青灰岩、山伏青灰岩和大青灰岩 3 个薄层灰岩含水层进行“三维立体”综合治理,治理模式如图 2 所示。

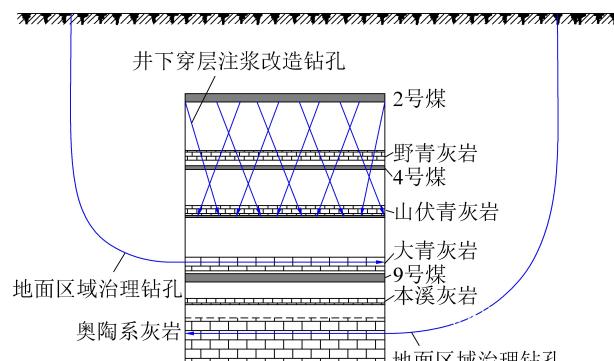


图 2 2 号煤“三维立体”综合治理模式示意

Fig.2 "Three-dimensional" comprehensive treatment model for No.2 coal seam

3.2.1 工作面水害地面区域治理工程实施

该工作面地面区域治理工程共施工 8 个主孔,41 个奥灰水平分支孔,1 个大青水平分支孔,4 个山伏青水平分支孔,共完成钻探工程量 44 437.9 m, 累计注浆 41 911.5 t。工作面安全治理范围为回风巷外围 174.5 m、运输巷外围 180.3 m、工作面开切眼外围 174.5 m、设计终采线外围 178.5 m。182602 工作面地面区域治理工程成果如图 3 所示。

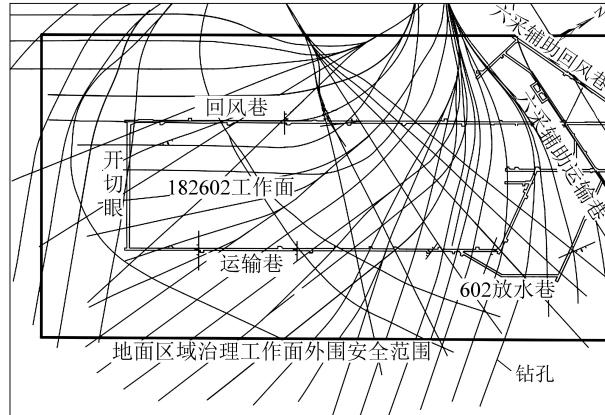


图 3 182602 工作面地面区域治理工程平面图

Fig.3 Plan view of ground area improvement project of No.182602 working face

3.2.2 工作面井下底板注浆加固治理工程实施

在井下施工穿层钻孔进一步对多层薄层灰岩进行注浆加固,共施工钻孔 288 个,钻探进尺 22 486.5 m,注浆 2 613.89 t。工作面井下底板注浆加固治理工程成果如图 4 所示。

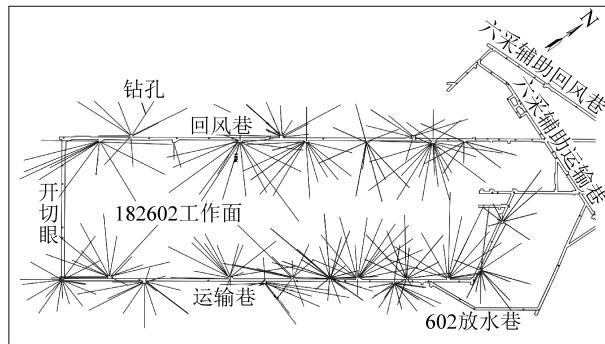


图 4 182602 工作面井下底板注浆加固治理工程平面图

Fig.4 Plan of underground floor grouting reinforcement treatment project of No.182602 working face

182602 工作面经过多层位、井上下相结合的水害三维立体综合治理,底板多层灰岩水害得到根治,最终实现了工作面安全回采,为类似水文地质复杂条件工作面水害治理积累了宝贵经验。

4 工作面安全治理范围

峰峰矿区九龙矿 15252 工作面是开采上组煤 2

号煤层工作面,采深最深达 990 m,采前按照冀中能源集团原水害地面区域治理标准对 15252 工作面及外围 34 m 范围奥陶系灰岩含水层进行了地面区域治理,但在回采时发生了最大水量 300 m³/h 的奥灰突水事故。通过地面定向孔治水工程探明突水通道在工作面外 87 m 处,位于原地面区域治理范围以外,最终导致工作面出水。15252 工作面地面区域治理钻孔布置及出水通道如图 5 所示。

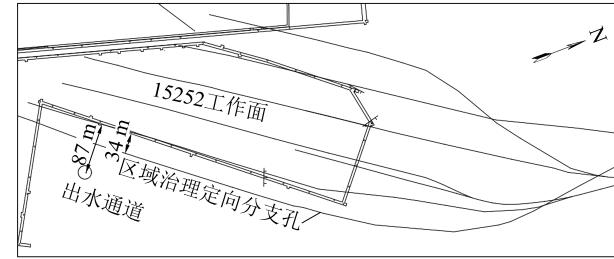


图 5 15252 工作面地面区域治理钻孔布置及出水通道平面图

Fig.5 Plan of drilling layout in ground regional control and water outlet channel of No.15252 working face

此次事故的教训表明,区域治理范围应以采区或大的构造、水文地质单元为单位,但在实施过程中,由于采掘接替紧张,有可能在完成一个工作面的治理工程之后就开始采掘工作,此时区域治理工程仅覆盖工作面范围内底板含水层,周边未治理区域奥灰水仍威胁采掘工程安全。因此,合理确定地面治理工作面最小安全范围非常重要。

4.1 工作面最小安全治理范围计算方法

地面区域治理的主要目的是从奥灰含水层根源上封堵隐伏陷落柱和断层等垂向导水构造,工作面最小安全治理范围应考虑其外围存在垂向导水构造的情况下,工作面侧向与垂向导水构造之间应留有足够的安全距离。分以下 3 种情况确定。

1) 工作面外围无断层构造时,工作面最小安全治理范围按照上平巷、下平巷、开切眼及边眼煤层底板最低标高分别计算顺煤层方向防水煤柱宽度,上平巷外治理范围按防水煤柱宽度 L 沿岩层法线方向交到奥灰顶面的范围确定,下平巷外治理范围按防水煤柱宽度 L' 铅垂投影到奥灰顶面的范围确定,如图 6 所示。

按 $L=0.5KM$ 和 $L=P/T_s$ 分别计算,取较大值。其中: K 为安全系数,取 5; M 为煤层厚度或采高, m; P 为煤层底板最低标高承受的水压(突水系数法按奥灰顶面计算水压),水位标高按近 3 年奥灰含水层最高水位, MPa; T_s 为突水系数,取 0.06 MPa/m。

2) 按前述确定的奥灰治理范围至开采煤层之间存在断层时,由奥灰顶面与断层巷道外侧一盘交

线外推平距 50 m 范围与前述确定的奥灰治理范围 L 进行对比, 取较大的范围作为工作面外侧最小安全治理范围, 如图 7—图 10 所示。

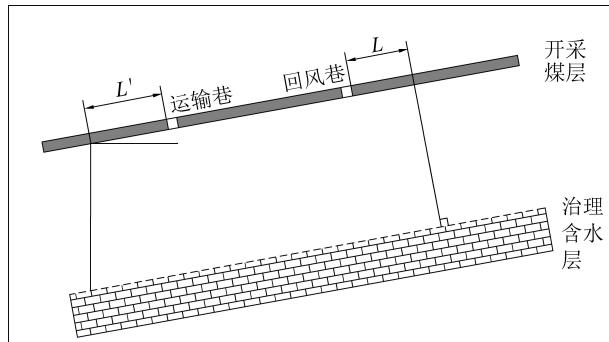


图 6 工作面外侧无构造时外围最小治理范围计算示意

Fig.6 Calculation of the minimum peripheral treatment area when there is no structure around the working face

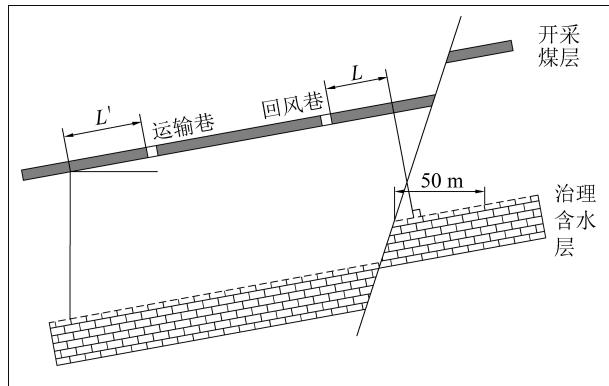


图 7 工作面回风巷外侧存在正断层且工作面位于上盘时外围最小治理范围计算示意

Fig.7 Calculation of minimum peripheral treatment area when there is a normal fault on outside of lane on working face and the working face is on the upper wall

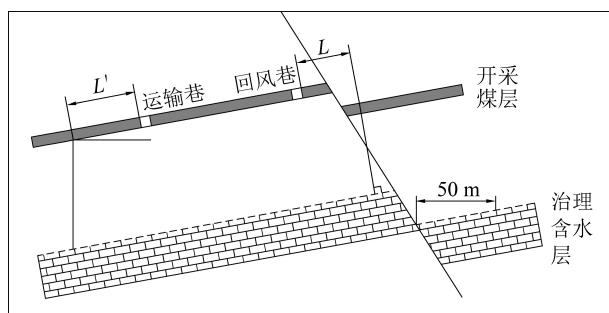


图 8 工作面回风巷外侧存在正断层且工作面位于下盘时外围最小治理范围计算示意

Fig.8 Calculation of the minimum peripheral treatment area when there is a normal fault outside the lane on the working face and the working face is located in the lower wall

3) 若工作面沿采空区布置, 应考虑重复叠加采动破坏, 工作面采空区一侧最小安全治理范围不得小于 1.5 倍的区域治理分支孔孔间距。

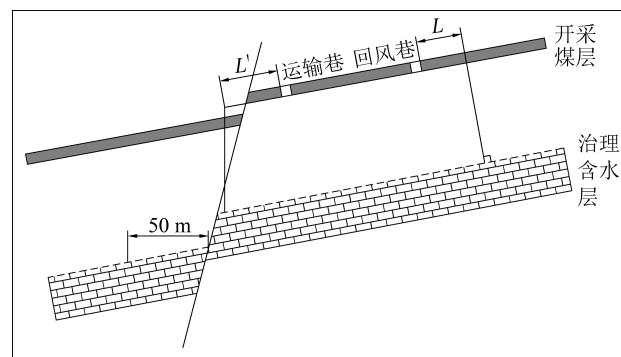


图 9 工作面下平巷外侧存在正断层且工作面位于下盘时外围最小治理范围计算示意

Fig.9 Calculation of the minimum peripheral treatment area when there is a normal fault outside the lower lane of the working face and the working face is located in the lower face

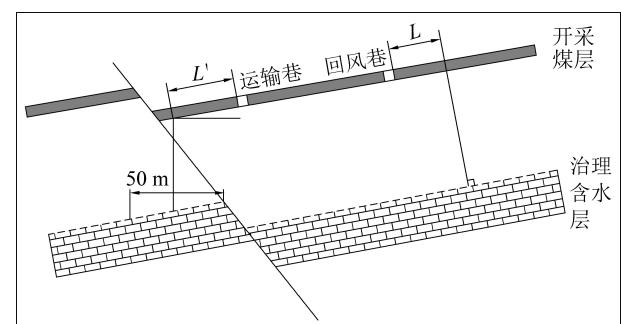


图 10 工作面下平巷外侧存在正断层且工作面位于上盘时外围最小治理范围计算示意

Fig.10 Calculation of the minimum peripheral treatment area when there is a normal fault outside the lower lane of the working face and the working face is located on the upper wall

5 结 论

1) 区域治理工程设计的关键是合理选择目标层位, 对于奥灰顶部改造治理而言, 应遵循以下原则: 根据具体带压开采条件, 按治理后突水系数不大于 0.1 MPa/m 确定奥灰顶面下合理的治理厚度, 一次性改造厚度一般不超过 40 m, 超过 40 m 时应自上而下选择双层或多层治理。

2) 针对底板存在多层岩溶水害威胁复杂水文地质条件, 单一的治理模式难以保证治理效果, 须采用多层“三维立体”综合治理模式, 做到地面区域治理奥陶系灰岩与井下底板注浆加固相结合、顺层治理与穿层治理相结合。

3) 底板岩溶水害地面区域治理主要目的是从奥灰含水层根源上封堵隐伏陷落柱和断层等垂向导水构造, 工作面最小安全治理范围对保证安全开采至关重要, 笔者提出了 6 种情况下工作面最小安全治理范围计算方法。

参考文献(References):

- [1] 赵庆彪.华北型煤田深部煤层开采区域防治水理论与成套技术[M].北京:科学出版社,2016.
- [2] 董书宁,王皓,张文忠.华北型煤田奥灰顶部利用与改造判别准则及底板破坏深度[J].煤炭学报,2019,44(7):2216-2226.
- DONG Shuning, WANG Hao, ZHANG Wenzhong. Judgement criteria with utilization and grouting reconstruction of top Ordovician limestone and floor damage depth in North China coal field[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(7): 2216-2226.
- [3] 赵家巍,周宏伟,薛东杰,等.深部承压水上含隐伏构造煤层底板渗流路径扩展规律[J].煤炭学报,2019,44(6):1836-1845.
- ZHAO Jiawei, ZHOU Hongwei, XUE Dongjie, et al. Expansion law of seepage path in the concealed structural floor of coal seam in deep confined water[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(6): 1836-1845.
- [4] 尹尚先,连会青,刘德民,等.华北型煤田岩溶陷落柱研究70年:成因·机理·防治[J].煤炭科学技术,2019,47(11):1-29.
- YIN Shangxian, LIAN Huiqing, LIU Demin, et al. 70 years of investigation on Karst collapse column in North China Coalfield: cause of origin, mechanism and prevention[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(11): 1-29.
- [5] 赵庆彪.高承压水上煤层安全开采指导原则及技术对策[J].煤炭科学技术,2013,41(9):83-86.
- ZHAO Qingbiao. Technical countermeasures and guidance principles of seam safety mining high pressurized water aquifer[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 83-86.
- [6] 赵庆彪,赵昕楠,武强,等.华北型煤田深部开采底板“分时段分带突水机理”[J].煤炭学报,2015,40(7):1601-1607.
- ZHAO Qingbiao, ZHAO Xinman, WU Qiang, et al. Water burst mechanism of “dibided period and section burst” at deep coal seam floor in North China type coalfield mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(7): 1601-1607.
- [7] 赵庆彪,蒋勤明,高春芳.邯邢矿区深部煤层底板突水机理研究[J].煤炭科学技术,2016,44(3):117-121,176.
- ZHAO Qingbiao, JIANG Qinming, GAO Chunfang. Study on floor water inrush mechanism of deep seam in Hanxiong Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 117-121, 176.
- [8] 赵庆彪,张建公,王海桥.华北型煤田深部开采底板突水机理与区域治理关键技术[J].华北科技学院学报,2015,12(4):1-7.
- ZHAO Qingbiao, ZHANG Jiangong, WANG Haiqiao. Water inrush mechanism and key technologies for regional control of deep mining floor in North China coal field [J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2015, 12(4): 1-7.
- [9] 赵庆彪,毕超,虎维岳,等.裂隙含水层水平孔注浆“三时段”浆液扩散机理研究及应用[J].煤炭学报,2016,41(5):1212-1218.
- ZHAO Qingbiao, BI Chao, HU Weiyue, et al. Study and application of three-stage seriflux diffusion mechanism in the fissure of aquifer horizontal injection hole [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(5): 1212-1218.
- [10] 赵庆彪.煤矿岩溶水环境保护安全开采技术[J].煤炭科学技术,2014,42(1):14-17,22.
- ZHAO Qingbiao. Safety mining technology under water environment protection of Karst underground water in coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 14-17, 22.
- [11] 赵兵文,关永强.大采深矿井高承压奥灰岩溶水综合治理技术[J].煤炭科学技术,2013,41(9):75-78.
- ZHAO Bingwen, GUAN Yongqiang. Comprehensive treatment technology of high pressure-bearing Ordovician limestone Karst water in large mining depth mine [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 75-78.
- [12] 赵庆彪.奥灰岩溶水害区域超前治理技术研究及应用[J].煤炭学报,2014,39(6):1112-1117.
- ZHAO Qingbiao. Ordovician limestone karst water disaster regional advanced governance technology study and application [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(6): 1112-1117.
- [13] 赵庆彪,赵兵文,付永刚,等.大采深矿井地面区域治理奥灰水害关键技术研究[J].煤炭科学技术,2016,44(8):14-20.
- ZHAO Qingbiao, ZHAO Bingwen, FU Yonggang, et al. Research on key technology to control Ordovician limestone water disaster on surface region of deep mining depth mine [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 14-20.
- [14] 赵庆彪,高春芳,王铁记.区域超前治理防治水技术[J].煤矿开采,2015,20(2):90-94.
- ZHAO Qingbiao, GAO Chunfang, WANG Tieji. Regional advanced treatment and prevention technology [J]. Coal Mining Technology, 2015, 20(2): 90-94.
- [15] 赵庆彪.奥灰岩溶水上带压开采区域超前治理防治水技术[J].煤炭科学技术,2014,42(8):1-4,21.
- ZHAO Qingbiao. Advanced treatment and prevention and control of water technology in the pressure-mined mining area of limestone [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 1-4, 21.
- [16] 张党育.深部开采矿井水害区域治理关键技术研究及发展[J].煤炭科学技术,2017,45(8):8-12.
- ZHANG Dangyu. Research and development on key technology of mine water disaster regional control in deep mine [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 8-12.