

采矿与井巷工程

奥灰岩溶水上带压开采区域超前治理防治水技术

赵 庆 彪

(冀中能源集团有限责任公司 河北 邢台 054021)

摘要:针对邯邢矿区煤层开采受奥灰承压水威胁及保水开采的现状,提出了区域超前治理防治水技术,以超前主动、区域治理、全面改造、带压开采为指导原则,该技术在邯邢矿区奥灰含水层顶部区域超前注浆改造中进行应用,以孔口终压1.0 MPa、稳定30 min以上和单孔吸浆量小于50 L/min作为注浆结束标准。试验过程中采用地面多分支水平钻进关键技术,最终达到注浆加固煤层底板含水层及奥灰顶部改造含水层目的,大幅降低煤层底板突水可能性,安全开采出受承压水威胁的煤炭资源。

关键词:大采深矿井;下组煤开采;奥灰岩溶水;带压开采;区域超前治理防治水技术

中图分类号:TD745 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)08-0001-04

Technology of Regional Advance Water Prevention and Control Applied to Pressurized Coal Mining Zone Above Ordovician Limestone Karst Water

ZHAO Qing-biao

(Jizhong Energy Group Corporation Limited, Xingtai 054021, China)

Abstract: According to the seam mining threatened by pressurized Ordovician limestone karst water and the water keeping mining status on Han-Xing Mining Area, a regional advance water prevention and control technology was provided based on the advance and initiative regional control, full reconstruction and pressurized mining as the guidance principle. The technology was applied to the reconstruction of the regional advance grouting at the top layer of an Ordovician limestone water aquifer in Han-Xing Mining Area. The final pressure at the borehole top was 1.0 MPa and would be kept over 30 min and a grout adsorption of a borehole was less than 50 L/min. Those above conditions would be the standard to terminate the grouting operation. In the experiment process, key technologies of surface multi branch horizontal drilling were applied. Finally, the target to reinforce the aquifer in the floor of the seam and to reconstruct the aquifer at the top of the Ordovician limestone was realized. The possibility to have a water inrush from the seam floor would be highly reduced and the coal resources threatened by the pressured water could be safely mined.

Key words: mine shaft with deep mining depth; coal mining in lower group seams; Ordovician limestone karst water; pressurized mining; regional advance water prevention and control technology

0 引言

冀中能源集团在邯邢矿区有35个矿井,年生产能力近4 000万t/a,大部分矿井开采年限在30年以上,10个矿井深超过800 m,其中4个矿井超过1 000 m,如九龙矿深部新建副井深达1 340 m,有7个矿井开采下组煤。随矿井开采深度的不断增加及下组煤大规模开发,煤层开采受煤系基底巨厚奥灰高承压底板突水威胁程度大幅增加。另

外,由于奥灰强含水层是河北省南部乃至华北地区工农业生产生活主要地下水资源,而河北省是极缺水省份,水资源人均保有量仅为全国的13.8%^[1],而矿井突水势必扰动当地的水环境,直接影响宝贵水资源的有效供给。近10多年来,邯邢矿区相继发生了7起较大以上的隐伏导(含)水陷落柱、断层及裂隙带突水,所以,研究解决大采深及下组煤矿水害防治及保水所面临的难题具有重要的现实意义。

收稿日期:2014-02-22;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.08.001

作者简介:赵庆彪(1957—),男,辽宁海城人,教授级高级工程师,博士,现任冀中能源集团有限责任公司总工程师。

引用格式: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 A2(8):1-4 21.

ZHAO Qing-biao. Technology of Regional Advance Water Prevention and Control Applied to Pressurized Coal Mining Zone Above Ordovician Limestone Karst Water[J]. Coal Science and Technology 2014 A2(8):1-4 21.

1 大采深和下组煤矿井面临的水患问题

邯郸矿区属典型的华北型煤田,可采煤层分上组煤(2、4、5号煤层)和下组煤(7、8、9号煤层),上、下组煤带压开采主要防范奥灰强含水层突水,所受到的水害威胁类型主要是即时及滞后型水害^[2-4]。

1.1 大采深矿井面临的水患问题

邯郸矿区由于长期高强度开采上组煤,浅部煤炭资源已基本采完。大部分矿井转入深部开采,峰峰矿区3个大采深矿井承压奥灰水压达8.0~10.8 MPa,突水系数达0.061~0.110 MPa/m,上组煤开采同样受奥灰高承压水威胁。矿井深部隐伏导(含)水构造及裂隙带,尤其是隐伏含水陷落柱呈垂向点状形态赋存,分布无规律,发育层位低,超前探明难度大。一旦揭露或间接揭露易导致突水灾害并影响周边地下水环境。据统计,邯郸矿区约71.5%的矿井发育有陷落柱地质构造,如邢台矿区葛泉矿发现78个陷落柱,峰峰矿区羊东矿发现19个陷落柱。在近10年内发生的7起奥灰水突水事故中,其中有3起是隐伏含水陷落柱突水造成的,2起是高承压水头条件下的裂隙带出水造成的。

1.2 开采下组煤面临的水患问题

邯郸矿区下组煤保有储量近30亿t^[5],邯郸矿区有7对矿井开采下组煤,年生产能力450万t/a。随着采深的增加,突水系数逐渐接近或达到了《煤矿防治水规定》的上限,已严重影响矿井安全和采区正常衔接。2007年以来开采下组煤矿井发生了2起煤层底板小断层和裂隙带突水,说明了在高承压水头条件下开采下组煤,小型构造或裂隙带也能够形成垂向导水通道而致灾。以往治理的重点只限于煤层底板隔水层,未涉及到奥灰强含水层,这已不能满足规模化开采下组煤的水患防治工作需要。

1.3 大采深矿井下钻探施工安全问题

在水害威胁严重的矿井,井下钻探是必不可少的重要环节,在大采深高承压水条件下,涉及钻机固定、钻杆卡紧装置、施工后道路畅通、作业人员安全等问题;另外,孔口管及附近围岩体加固存在着固结可靠性问题,其一旦发生突水将难以控制^[6]。

2 奥灰岩顶部注浆改造可行性分析

邯郸矿区奥灰含水层分布稳定,含水性明显不均一;奥灰水位目前在+35—+130 m,为保证大采深矿井及下组煤带压开采安全和保护水环境,关键要有足

够厚度和强度的隔水层,在奥灰岩顶部至各煤层间隔水层厚度不足情况下,研究奥灰岩顶部是否存在可改造为相对隔水层的岩层是防治水的关键。

华北奥陶系灰岩普遍发育且厚度不一,邯郸矿区奥陶系灰岩厚度480~890 m;根据岩性特征,结合地层化石将邯郸矿区奥陶系划分为三组八段。奥陶系顶部可改造为相对隔水层的岩层,一般指奥陶系与晚古生代煤系地层假整合接触面以下一定厚度范围内的碳酸盐岩层,其经历了加里东期风化壳岩溶发育期^[7]。邯郸和峰峰矿区奥灰八段为15~50 m厚角砾,在露头处可见其中溶孔、溶隙被完全填充,充填物以碳酸盐风化产物铁质、铝质黏土及沙土为主,下部充填物渐变为以方解石、白云石和石膏等化学沉淀物为主^[8]。邯郸矿区章村矿三井在施工井下5处水源井及110个钻孔时穿过奥灰八段石灰岩,基本无水,据钻孔观察,奥灰八段石灰岩岩心中裂隙溶洞为黄褐色泥质物填充,与灰岩接触紧密。其中,邯郸矿区适合改造的相对隔水层厚度一般为9~40 m。据统计,邯郸矿区约有69.7%的井田发育不同厚度的风化壳可改造为相对隔水层。

3 区域超前治理防治水技术路线

3.1 区域超前治理防治水指导原则

针对大采深高承压开采和下组煤奥灰水害防治及保水开采所面临问题^[9],从矿井安全和大区衔接两方面考虑,邯郸矿区首次提出了“超前主动、区域治理、全面改造、带压开采”防治水指导原则。

1) 区域超前治理是从以往的局部一面一治理扩展到,以采区及以上区域为单元或受地质构造分割相对孤立的水文地质单元为区域进行治理;与其他煤矿和金属矿山的帷幕注浆不同,区域治理的对象是煤层底板岩层。

2) 注浆治理程序要超前于工作面掘进和回采,实现“不掘突水头,不采突水面”的目标,集“钻探、注浆、异常区验证”为一体的井上、下定向钻井。

3.2 区域超前治理防治水工序

在大采深高承压奥灰水条件下,为保证“不掘突水头,不采突水面”,提出区域超前治理防治水工序如下:①地面区域超前治理水害程序:物探→定向钻(钻探、验证)→区域注浆治理;②工作面掘进前治理程序:掘前物探→打钻验证→超前补注→先治后掘;③工作面回采前:物探和钻探相结合→注浆补强→全面改造→采前评价→回采。

采前评价是回采工作面全面治理后,通过采用物探手段进行治理前、后的效果对比,然后进行专家综合评价,待通过评价后才能进行开采。

3.3 区域超前治理防治水模式及目标

1) 区域超前治理防治水模式。根据大采深及开采下组煤矿井区域超前治理防治水指导原则,按照突水系数 T 建立了 3 种煤层底板隔水层治理模式:① $T \leq 0.06 \text{ MPa/m}$,以查找封堵垂向出水通道为主;② $0.06 < T < 0.09 \text{ MPa/m}$,煤层底板全面注浆改造;③ $T \geq 0.09 \text{ MPa/m}$,改造奥灰岩顶部为完整的相对隔水层。根据邯郸矿区的奥灰突水情况统计结果,突水系数大于 0.09 MPa/m 时,要落实区域超前治理防治水指导原则,即在奥灰岩顶面通过注浆改造形成约 30 m 厚隔水关键层,包括奥灰顶部以上岩层所存在的原始导水裂隙带。

2) 区域超前治理防治水目标。① 通过对煤层底板及奥灰顶部全面改造,确保其突水系数小于《煤矿防治水规定》的 0.1 MPa/m ,矿井水害安全程度必须达到突水不淹井的目标。② 区域治理工程必须超前井下采掘工程,坚持“不掘突水头,不采突水面”的原则,地面区域超前防治水工程量要达到总工程量的 70% 以上。③ 要建立矿井“水患治理达标煤量”概念,达标煤量应大于回采煤量,坚持“以治定采”的原则。

4 区域超前防治水水平多分支定向钻进

在地面三维地震精细解析等物探和传统的突水系数法分区的基础上,结合基于多源信息集成理论和地理信息系统,提出的煤层底板突水危险性预测评价的脆弱性指数法进行区域预评价^[10-13]。鉴于大采深和开采下组煤矿井煤层底板承受水压高,隐伏导水构造及裂隙带发育的情况,采取井上、下相结合,应用水平的分支定向钻进技术实现区域超前治理防治水的目的。水平多分支定向钻进技术是利用特殊的井底动力工具与随钻测量仪器等技术钻成与垂直孔成 90° 倾角的钻孔,并能保持这一角度钻进一定水平长度井段的定向钻井技术^[14],该技术包括随钻测量技术、井眼轨迹控制、井壁稳定和钻井完井液技术等。水平多分支定向钻进一般是先在地面施工垂直井到设计深度,然后造斜进入奥灰顶部设计层位变为水平井,通过立孔和水平分支孔等查找隐伏陷落柱、断层和裂隙带等。若遇到导水构造及裂隙带等通道,钻进中浆液有大量流失时,要做压水试

验,根据吸水量确定注浆浓度和注浆量。另外根据注浆量可判断附近是否有大的隐伏构造存在,若注浆量很大,可间接说明附近可能存在如陷落柱、断层等隐伏构造,使整个区域所存在的隐伏垂向导水构造体与煤系各含水层的补给通道得到治理,改善了区域水文地质环境,为“不掘突水头,不采突水面”打下坚实基础。

5 区域超前治理防治水技术工程示范

5.1 工程概况

邯郸矿区某矿是一个采深超过 1000 m 的煤与瓦斯突出矿井,现开采 -850 m 水平,奥灰水位为 $+120 \text{ m}$ 。主采 2 号煤层是突出煤层,其下邻 4 号煤层约 41 m ,是非突保护层;由于 4 号煤层距奥灰含水层约 110 m ,承压水头压力为 $7.5 \sim 9.7 \text{ MPa}$,以往所采 4 个工作面都发生了底板突水事故,影响了 4 号保护层正常开采^[15]。区域超前防治水及保水试采在 -850 m 水平北翼二采区实施,设计方案在地面施工 3 个奥灰注浆主孔到奥灰顶部,目标层是奥灰八段,每个注浆主孔设计 6 个水平分支孔,钻孔在进入目标层后以水平或近水平状态延伸,以“带、羽、网状”钻孔轨迹探查所钻范围内目标层中隐伏导含水构造及裂隙带,使原在水平层面无联系的断层及裂隙等渗流通道互相连通,扩大了钻孔控制范围,提高了目的层的注浆改造效果,为“不掘突水头,不采突水面”创造了条件。3 个主孔直孔段深度在 2 号煤层底板下部 $845 \sim 905 \text{ m}$ 固孔,并下 $\phi 178 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$ “通天管”。主孔造斜孔段裸孔钻进($\phi 152 \text{ mm}$)至 9 号煤以下 55 m 左右,水平孔钻进长度在 $560 \sim 900 \text{ m}$,层位在奥灰顶部以下 $25 \sim 40 \text{ m}$ 。为了保证高承压奥灰水条件下注浆效率和效果,地面要建立高效注浆系统。因为在井下水压高达 8.0 MPa 以上的区域,需大量注浆,在地面浆液可注性及质量要优于井下,能保证煤层底板岩层改造效果。注浆材料可选用水泥单浆、粉煤灰水泥浆或黏土水泥浆等。

5.2 工程应用

5.2.1 地面区域超前治理防治水工程

在 -850 m 水平北二采区实施区域超前防治水工程,钻孔累计进尺 15651 m ,其中水平定向井进尺 10969 m 。煤层底板共探查到漏失点 25 个,累计注浆量 77689 t 。野青煤层底板至奥灰顶部注浆改造工程伴随着水平钻孔施工的整个过程,孔口注浆压力不低于 4.0 MPa ,注浆材料以 $R_32.5$ 矿渣硅酸水

泥为主,浆液出现大量流失时添加粉煤灰作为辅助注浆材料。钻探施工的各个阶段均采用下行式分段注浆方式,即钻探施工过程中一旦浆液大量漏失就立即进行注浆加固;如果钻进至奥灰含水层后出现漏浆量大的情况,应在压水试验的前提下确定注浆参数;若注浆过程中发现有串浆现象,应采取各注浆孔联合注浆方式。上一阶段注浆结束后,注浆孔、串浆孔均应进行扫孔,以防堵孔。以孔口终压1.0 MPa、稳定30 min以上和单孔吸浆量小于50 L/min作为注浆结束标准,最终达到注浆加固煤层底板含水层及奥灰顶部改造含水层的目的。

5.2.2 井下区域超前补强治理

1)掘前条带(超前钻孔的轨迹形似条带状)超前治理。底板超前定向钻探的目的是探测巷道前方及侧前方的导(含)水构造及裂隙带,同时兼作超前注浆孔。一般是每组布置3个孔,即掘进正前方布置1个钻孔,两侧布置2个钻孔。为“不掘突水头”,超前掩护煤巷安全掘进,以注浆扩散半径20~30 m考虑,确定合理的超前钻探注浆距离和底板加固深度,封堵潜在的出水通道。野青煤层底板超前钻终孔层位是大青灰岩,实体煤掘进前方的底板及侧向一定范围内超前注浆加固,实体煤巷“条带”超前注浆如图1所示,这就为相邻沿空掘巷或留设小煤柱掘巷超前进行了区域条带加固煤层底板岩层。

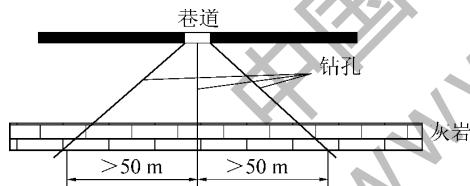


图1 实体煤巷“条带”超前注浆示意

2)采前工作面相邻未采区域煤层底板补强注浆。回采工作面掘出后,对煤层底板加固层进行补强注浆以完成全面改造目标;同时,为给相邻未采区域掘进创造“不掘突水头”的条件,利用回采工作面两巷超前注浆加固相邻未采区域,工作面底板注浆改造范围要在本工作面设计范围外延60 m以上。

5.3 防治水效果分析

1)将改造层位由传统的太原组上部薄层灰岩含水层下延到奥灰含水层顶部,在其顶部(八段)沿多个方向施工大孔径长距离水平分支孔,增大了探查孔与奥灰含水层接触面、扩大了钻孔控制范围、最大限度地提高了对奥灰含水层中导(含)水构造的探查精度,并对奥灰顶部含水层及导水通道实施超

前注浆治理,大幅降低了煤层底板突水的可能性。

2)应用先进的定向钻进技术使钻孔控制与数据处理直观快速,随钻、随测、随调,并对多种方案快速比较,选出最优的参数以控制钻孔顶角和方位角,优化造斜,能获得高质量的钻孔轴线轨迹,保证了设计目的实现。

3)在地面实施区域超前治理、井下掘、采前定向钻进区域超前注浆补强基础上,掘出了4号煤15445N保护层回采工作面,并成功地进行了工业性试采,可采出煤量84万t。

6 结 论

1)首次提出了奥灰岩溶水上带压开采区域超前治理防治水理念以及大采深矿井和高承压水上区域超前治理防治水技术;形成了以地面区域超前防治水害为主,井下补强注浆为辅的立体区域超前治理水害模式,先治后掘、先治后采,为实现“不掘突水头,不采突水面”探索出一种新的有效方法。

2)首次将地面定向钻进技术应用到矿井煤层底板岩层改造领域中,利用地面多分支水平钻孔技术,将奥灰含水层顶部全面改造为相对隔水层,从根本上消除了奥灰灾害性突水通道,为今后华北型煤田矿井水害提供了非常有益的经验。

3)邯郸矿区通过奥灰顶部区域超前注浆改造示范工程及回采实践表明,区域超前治理水害关键技术防止了煤层底板突水,保护了地下水环境及水资源,取得了明显的环境和社会效益。

参考文献:

- [1] 赵庆彪.煤矿岩溶水环境安全保护开采技术[J].煤炭科学技术,2014,42(1):14~17.
- [2] 赵庆彪.邢台矿区煤矿开采新技术应用与发展[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [3] 赵文兵,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.
- [4] 武强,崔芳鹏,赵苏启等.矿井水害类型划分及主要特征分析[J].煤炭学报,2013,38(4):561~565.
- [5] 刘建功,赵庆彪,尹尚先.煤田隐伏岩溶陷落柱探查与综合治理技术[M].北京:煤炭工业出版社,2010.
- [6] 虎维岳.矿山水害防治理论与方法[M].北京:煤炭工业出版社,2005.
- [7] 中国煤田地质局.中国北方岩溶和岩溶水[M].北京:地质出版社,1992.
- [8] 范春学,李学霖.对峰峰鼓山奥陶系中统富水性调查分析[J].北京地质,2001,13(1):12~15.

(下转第21页)

上部设置缓冲装置以减小充填材料投到储料仓中的冲击力。充填物料直接由地面投到井下,考虑到充填物料经投料井落到缓冲装置上是个连续的过程,因此运用动量守恒原理对物料落到缓冲装置上时所产生的冲击力 F 进行计算,根据自由落体以及功能转化原理得

$$F = v \sqrt{2gH_1 + v_1^2} \quad (2)$$

其中: v 为投料速度, m/s ; g 为重力加速度, m/s^2 ; H_1 为投料高度, 即投料管长度, m ; v_1 为物料下落的初速度, 即传动带速度, m/s 。将相关参数代入得冲击力 F 为 11.7 kN , 相当于 1.2 t 重物的压力。根据落料程度和对冲击力的分析, 设计缓冲器样式为伞形, 即充填料下落的直接接触面为锥形面, 如图 2 所示。实践证明此装置有很好的缓冲作用。

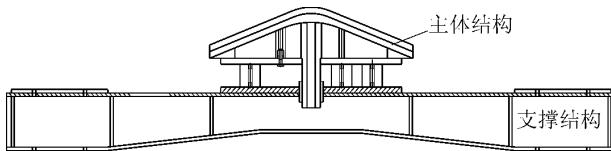


图 2 缓冲装置结构示意

矸石等固体物料在自由下落时, 可通过缓冲器减小矸石的冲击力, 但是长时间的运行会导致矸石等固体物料的大量堆积, 出现悬挂式堵塞现象。

1.4 满仓报警系统设计

为使井下充填物料在充满料仓时井上控制台能够及时停止供料, 必须安装一套能够识别料仓中物料高度并能及时将信息传导到控制台的设备, 即满仓报警系统, 通过该设备实现投料工作的运行与停止的联动。满仓报警系统主要由雷达物位计、通信光纤、信号转接器、控制台等组成, 其中雷达物位计是系统的核心装置, 能够识别物料高度并作出反馈。

由于储料仓的高度为 15 m , 选取 RD-P3 型脉冲型雷达物位计, 其具体参数如下: 最大量程 30 m , 过程温度 $-40\sim200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 测量精度 $\pm 10\text{ mm}$, 过程压力 $-0.1\sim4.0\text{ MPa}$, 连接法兰 316L 型, 频率 6 GHz , 天线材料不锈钢 316L/PTFE, 信号输出两线制/四线制 HART, 电流 $4\sim20\text{ mA}$ 。

2 矸石垂直投料系统应用效果

翟镇煤矿由于矿井产量的逐年增加, 导致矿井的掘进矸石与分选矸石逐年增多, 以至地面堆积矸石等固体废弃物占地面积也越来越大。基于上述理论研究和设计, 翟镇煤矿最终建成了地面矸石垂直投料系统并投入使用。地面矸石首先通过溜槽进入

一段坡面滑梯, 进入到矸石破碎机中, 小块矸石直接通过, 大块矸石经破碎后, 进入到地面投料井, 经投料井直接投到井下进行充填。目前每天实际充填矸石量达到 $2\,000\text{ t}$, 有效解决了地面矸石堆放带来的一系列问题, 取得了良好的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 孙文标, 郭军杰, 张建立, 等. 煤系固体废弃物用作充填材料改善煤矿安全和环境状况 [J]. 矿业安全与环保, 2008, 35(1): 70~72.
- [2] 王宝, 张虎元, 董兴玲, 等. 矿山胶结充填体的硫酸盐侵蚀预防 [J]. 矿业安全与环保, 2008, 35(4): 14~18.
- [3] 陈杰, 张卫松, 闫斌, 等. 井下矸石充填工艺及普采工作面充填装备 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(4): 32~34.
- [4] 王新民. 基于深井开采的充填材料与管输系统的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [5] 刘崇凌. 薄煤层膏体巷旁充填沿空留巷技术研究与应用 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2010.
- [6] 张洪鹏, 张小国, 曹忠. 充填矸石的物理力学性能研究 [J]. 煤矿开采, 2008, 13(5): 12~14.
- [7] 胡炳南, 郭爱国. 矸石充填材料压缩仿真实验研究 [J]. 煤炭学报, 2009, 34(8): 1076~1078.
- [8] 徐斗斗, 史向军, 郭广礼, 等. 建筑物下浅埋厚煤层长壁矸石充填开采试验 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(8): 30~34.
- [9] 李友成. 大倾角薄煤层矸石井下充填技术的实践 [J]. 煤炭技术, 2009, 28(5): 20~21.
- [10] 梁继忠, 成云海. 矸石充填沿空留巷技术的应用 [J]. 山东煤炭科技, 2011(5): 33~34.
- [11] 王红胜, 张东升, 马立强. 预置矸石充填带置换小煤柱的无煤柱开采技术 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(4): 1~5.
- [12] 董守义. 充填开采设备综合配套分析与实践 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 98~101.

(上接第 4 页)

- [9] 赵铁锤. 华北地区奥灰水综合防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [10] 武强, 张志龙, 马积福. 煤层底板突水评价的新型实用方法 I: 主控指标体系的建设 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(1): 42~47.
- [11] 武强, 张志龙, 张生元. 煤层底板评价的新型实用方法 II: 脆弱性指数法 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(11): 1121~1126.
- [12] 武强, 解淑寒, 裴振江, 等. 煤层底板评价的新型实用方法 III: 基于 GIS 的 ANN 型脆弱性指数法应用 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(12): 1301~1306.
- [13] 武强, 崔芳鹏, 赵苏启, 等. 矿井水害类型划分及主要特征分析 [J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 561~565.
- [14] 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.
- [15] 赵毅鑫, 姜耀东, 吕玉凯, 等. 承压工作面底板破断规律双向加载相似模拟试验 [J]. 煤炭学报, 2013, 38(3): 384~390.