

黄陇煤田煤层顶板水害特征及其防控技术

靳德武 李超峰 刘英锋 曹海涛 任邓君 王红亮 张金魁 黄阳 杨国栋 郭康 樊敏 刘宸铠

引用本文:

靳德武, 李超峰, 刘英锋, 等. 黄陇煤田煤层顶板水害特征及其防控技术[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 205–213.

JIN Dewu, LI Chaofeng, LIU Yingfeng, et al. Characteristics of roof water hazard of coal seam in Huanglong Coalfield and key technologies for prevention and control[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2023, 51(1): 205–213.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.12363/issn.1001-1986.22.10.0754>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄陇煤田综放采煤顶板导水裂隙带高度发育特征

Characteristics of height of water flowing fractured zone caused during ful-ly-mechanized caving mining in Huanglong coalfield
煤田地质与勘探. 2019, 47(2): 129–136 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2019.02.020>

淮北闸河矿区闭坑矿井水害评价及其防控技术体系

Evaluation of goaf water hazard and its prevention and control technology of abandoned coal mines in Zhahe mining area of Huainan
煤田地质与勘探. 2018, 46(S1): 16–22 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2018.S1.004>

高家堡煤矿煤层顶板水水化学特征及其水害防治技术

Hydrochemical characteristics and control of water hazard from coal seam roof in Gaojiabao coal mine
煤田地质与勘探. 2019, 47(S1): 26–31 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2019.S1.005>

顶板巨厚砂岩水防治方法研究与应用

Research and application of water control of thick sandstone in coal roof
煤田地质与勘探. 2019, 47(S1): 81–85 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2019.S1.016>

矿井水害防控远程服务云平台构建与应用

Construction and application of remote service cloud platform for mine water hazard prevention and control
煤田地质与勘探. 2021, 49(1): 208–216 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2021.01.022>

极软中厚煤层越界开采区老空水害防治技术

Prevention and control technology of goaf water hazard in unauthorized mining areas of extremely soft and medium-thick coal seams
煤田地质与勘探. 2021, 49(6): 167–174 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2021.06.020>



移动阅读

靳德武, 李超峰, 刘英锋, 等. 黄陇煤田煤层顶板水害特征及其防控技术[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 205–213. doi: 10.12363/issn.1001-1986.22.10.0754

JIN Dewu, LI Chaofeng, LIU Yingfeng, et al. Characteristics of roof water hazard of coal seam in Huanglong Coalfield and key technologies for prevention and control[J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(1): 205–213. doi: 10.12363/issn.1001-1986.22.10.0754

黄陇煤田煤层顶板水害特征及其防控技术

靳德武^{1,2}, 李超峰^{1,2}, 刘英锋^{1,2}, 曹海涛³, 任邓君⁴, 王红亮³, 张金魁⁴, 黄阳⁵,
杨国栋³, 郭康^{1,2}, 樊敏^{1,2}, 刘宸铠^{1,2}

(1. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 陕西 西安 710077; 2. 陕西省煤矿水害防治技术重点实验室, 陕西 西安 710077; 3. 陕西郭家河煤业有限责任公司, 陕西 宝鸡 721500; 4. 陕西正通煤业有限责任公司, 陕西 咸阳 713600; 5. 陕西永陇能源开发建设有限公司, 陕西 宝鸡 721000)

摘要: 陕西黄陇煤田是我国主要产煤基地之一, 煤层开采主要受顶板巨厚洛河组砂岩水威胁, 水害防控形势严峻, 分析顶板涌水特征、研究水害防控关键技术对于煤矿安全生产具有重大意义。在收集该区域典型煤矿工作面涌水量资料的基础上, 分析顶板水害类型及其主控因素, 总结工作面涌水量变化规律, 并研究顶板巨厚砂岩含水层水害形成机理, 进而提出顶板水害防控关键技术。结果表明: (1) 黄陇煤田顶板含水层充水可分为持续涌水式、非持续涌水式和泥砂溃涌式 3 类, 持续涌水式包括可控持续型和高强度持续型, 非持续涌水式分为离层涌水型(包括偶发离层涌水型和频发离层涌水型)和脉冲式涌水型, 以及泥砂溃涌型共 6 型。(2) 关键隔水层厚度、煤层与洛河组砂岩间距、洛河组砂岩的富水性共同决定顶板涌水形式: 当关键隔水层厚度较小甚至缺失, 洛河组砂岩富水性弱且与煤层间距较小时, 发生脉冲式涌水; 当关键隔水层厚度较大且分布稳定, 洛河组砂岩富水性中等至强且与煤层间距较小时发生持续涌水; 当关键隔水层巨厚, 洛河组砂岩富水性弱且与煤层间距巨大时发生离层涌水; 当煤层顶板导水裂隙带范围内的侏罗系地层发育胶结不良地质体或煤层出现冒顶现象, 容易形成水砂溃涌灾害。(3) 地下水位监测预警技术、地面钻孔疏放离层积水技术、井下泄水巷集中排水技术、排水系统建设与维护技术、减水开采技术等是黄陇煤田水害防治的关键技术; 工作面精细管理制度、工作面水情日分析制度、专家会诊及对标学习制度等是做好水害防治工作的配套管理对策。

关键词: 顶板水害; 水害类型; 防控技术; 主控因素; 减水开采; 黄陇煤田

中图分类号: TD80 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1986(2023)01-0205-09

Characteristics of roof water hazard of coal seam in Huanglong Coalfield and key technologies for prevention and control

JIN Dewu^{1,2}, LI Chaofeng^{1,2}, LIU Yingfeng^{1,2}, CAO Haitao³, REN Dengjun⁴, WANG Hongliang³, ZHANG Jinkui⁴,
HUANG Yang⁵, YANG Guodong³, GUO Kang^{1,2}, FAN Min^{1,2}, LIU Chenkai^{1,2}

(1. CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an 710077, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Prevention and Control Technology for Coal Mine Hazard, Xi'an 710077, China; 3. Shaanxi Guojiahe Coal Industry Co., Ltd., Baoji 721500, China; 4. Shaanxi Zhengtong Coal Co., Ltd., Xianyang 713600, China;
5. Shaanxi Yonglong Energy Development and Construction Co., Ltd., Baoji 721000, China)

Abstract: Huanglong Coalfield in Shaanxi is one of the main coal production bases in China. Coal mining is usually affected by the sandstone water of the thick Luohe Formation on the roof, resulting a significant difficulty in the preven-

收稿日期: 2022-10-07; 修回日期: 2022-11-23

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFC0804103); 中煤科工西安研究院(集团)有限公司科技创新基金项目(2021XAYKF02)

第一作者: 靳德武, 1966 年生, 男, 陕西蓝田人, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事煤矿水害防治技术研究. E-mail: jindewu@cctegxian.com

通信作者: 李超峰, 1983 年生, 男, 陕西彬州人, 博士, 副研究员, 从事水文地质及煤矿水害防治技术研究. E-mail: lichaofeng007@163.com

tion and control of water hazards. It is therefore of great importance to correctly analyze the characteristics of water inflow from the roof and successfully develop the key technologies for water hazard prevention and control, ensuring the safe production of coal mines. The types of roof water hazard and its main controlling factors were appropriately analyzed by collecting the information on water inflow at the working face of a typical coal mine. The variation of water inflow in the working face was identified. The formation mechanism of water hazard in the thick sandstone aquifer of the roof was then studied, and the key technologies were developed for the prevention and control of water hazard on the roof. The results show that: (1) Water filling in the roof aquifer of Huanglong Coalfield can be divided into 3 categories (the continuous water inflow, discontinuous water inflow and mud-sand burst) consisting of 6 types. Definitely, the continuous water inflow contains the controllable continuous type and the high-intensity continuous type. The discontinuous water inflow involves the separated layer water inflow (including the occasional and frequent types) and the pulsed water inflow. Besides, the mud-sand burst type is also included. (2) The form of water inflow in the roof is dependent on the thickness of the key aquiclude, the distance between the coal seam and the sandstone of Luohe Formation, and the water abundance of sandstone in Luohe Formation. Specifically, pulsed water inflow is likely to occur under the conditions of thin or little key aquiclude, weak water abundance of sandstone in Luohe Formation and small distance between sandstone and coal seam. Continuous water inflow will occur when the controlling conditions are thick key aquiclude that is distributed stably, medium to strong water abundance of sandstone in Luohe Formation and small distance between sandstone and coal seam. Separated layer water inflow will occur at a coalfield with very thick key aquiclude, weak water abundance of sandstone in Luohe Formation and very large distance between sandstone and coal seam. In addition, it is prone to form water-sand burst in case that poorly cemented geological bodies were developed in the Jurassic strata within the water-conducting fracture zone of the coal seam roof or roof fall appears in coal seams. (3) Successful water hazard prevention and control in Huanglong Coalfield needs the key techniques for monitoring and early warning of the groundwater level, separated layer water drainage by surface drilling, centralized water drainage through underground drainage tunnel, construction and maintenance of drainage systems, water-reducing mining, etc. In addition, the supporting management counter-measures for water hazard prevention and control include the fine management system of working face, daily analysis system of working face water situation, expert consultation, benchmarking learning system and so forth.

Keywords: roof water hazard; type of water hazard; prevention and control technology; major control factor; groundwater reducing mining; Huanglong Coalfield

陕西黄陇煤田作为国家规划的大型煤炭基地,为国家煤炭增产保供发挥着重要作用。然而,煤层顶板水害威胁日益严重,给煤矿安全生产造成很大影响。例如,2016年4月25日,铜川照金煤矿202工作面发生一起水砂溃涌事故,造成工作面被淹,11人遇难;2020年3月29日、5月6日、7月1日,招贤煤矿1304工作面发生3次携带泥砂的离层涌水灾害,工作面被迫封闭;2021年8月21日,郭家河煤矿1309工作面胶带巷低洼地段及盘区水仓被淹,部分支架被煤泥淤死,工作面风流被阻断,1人涉险被困;高家堡矿井正常涌水量达 $1.7\times10^5\text{ m}^3/\text{d}$,严重制约着煤矿正常生产,导致矿井多年无法达产。

部分学者对煤层顶板水害类型与涌水机理等进行了研究。在水害类型划分方面,武强院士等^[1]提出了顶板充水型矿井水害的概念;虎维岳等^[2]根据矿井充水水源和充水通道的不同组合关系提出了矿井水害类型“4-4-4 三线图”划分方法;董书宁等^[3]将鄂尔多斯盆地侏罗纪煤田顶板水害类型概括为离层水害、薄基岩溃水溃砂、厚层砂岩水害和烧变岩水害4种类型;李超峰^[4]提出了顶板水害类型的透水系数识别方法。

在顶板水害评价方法方面,武强院士等^[5]提出了“三图-双预测法”。在顶板涌水机理方面,曹海东^[6]、乔伟^[7]、郭小铭^[8]等分别研究了离层涌水或溃砂机理;李文平等^[9]开展了突泥溃砂物源及成灾模式研究;靳德武等^[10]提出了“楔入比”概念,将导水裂隙带自下而上波及洛河组砂岩的厚度与洛河组总厚度之比(简称“楔入比”)作为减水开采的控制性指标。在覆岩破坏与导水裂隙带高度测试方面,尹尚先^[11]、许延春^[12]、张玉军^[13]等通过统计分析大量实测数据,获得了综采条件下导水裂隙带高度经验公式;李超峰等^[14-15]通过对黄陇煤田综采条件下实测数据的统计分析,获得了包括工作面宽和煤层采高双因素影响下的顶板导水裂隙带高度预测经验公式。

此外,还有学者提出了顶板水害防治的新概念和新方法。许家林等^[16-18]提出了煤矿绿色开采概念,开展了充填开采技术实践;靳德武等^[10]结合陕西彬长矿区不同开采充水条件提出了采高控制型、限高-限宽型、隔离-注浆型3种减水模式;董书宁等^[19]采用帷幕截流方法解放了受烧变岩水害威胁的煤炭资源。

笔者在系统收集黄陇煤田典型煤矿地质与水文地

质资料、工作面涌水资料的基础上,分析工作面涌水规律、顶板水害类型及其主控因素,研究顶板巨厚砂岩含水层的水害形成机理,提出顶板水害防控关键技术,以期为顶板水害防治提供参考。

1 黄陇煤田概况

1.1 煤矿分布

黄陇煤田包括黄陵、焦坪、旬耀、彬长、永陇5个矿区(图1);建有40余对生产矿井,2021年原煤产量1.19亿t。

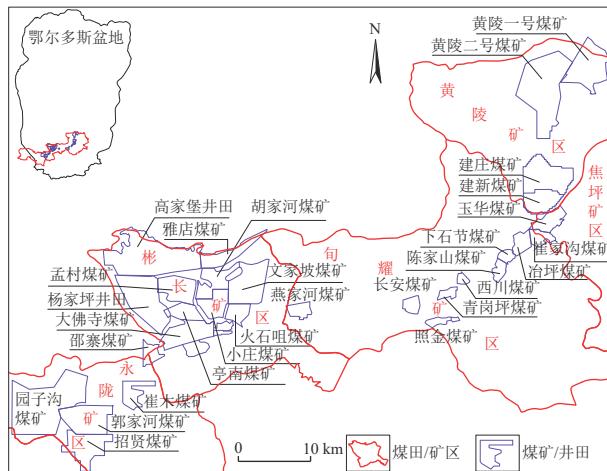


图1 黄陇煤田主要矿井分布

Fig.1 Distribution of main mines in Huanglong Coalfield

1.2 区域水文地质条件

黄陇煤田位于我国鄂尔多斯盆地西南缘(图1),属鄂尔多斯盆地泾河-马莲河二级地下水系统。其中,高家堡井田位于泾河-马莲河地下水单元腹地,洛河组含水层巨厚且强富水;郭家河井田位于地下水系统西南缘,处于地下水系统接受补给区域;青岗坪井田位于地下水系统东南缘接受补给区域。

1.3 典型煤矿水文地质条件

选取顶板水害类型明显不同的3对生产矿井:高家堡矿井、郭家河煤矿、青岗坪煤矿,进行典型煤矿水文地质条件对比分析(图2)。

1) 高家堡矿井41103工作面

洛河组地层巨厚,为382.68~435.58 m,平均404.98 m;单位涌水量为0.231 2~2.288 0 L/(s·m),富水性中等-强;安定组地层厚度较小,为7.27~38.20 m,平均22.21 m;煤层与洛河组间距,为63.55~96.49 m,平均80.22 m;开采煤层顶板导水裂隙带已充分波及洛河组强富水层段。

2) 郭家河煤矿1309工作面

洛河组地层较厚,为113.00~305.79 m,平均199.27 m;单位涌水量为0.001 8~0.190 8 L/(s·m),富水性弱-中

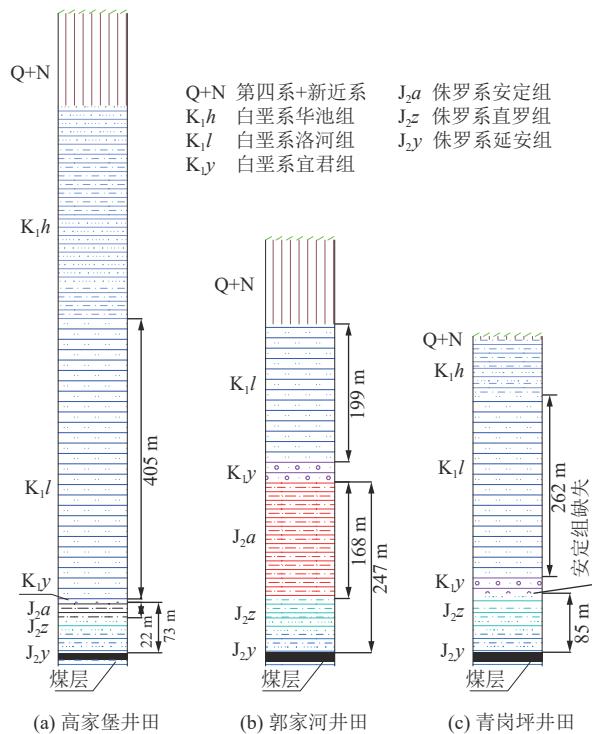


图2 典型矿井水文地质剖面

Fig.2 Hydrogeological sections of typical mines

等;安定组地层较厚,为138.86~180.99 m,平均168.47 m;煤层与洛河组间距巨大,为243.05~299.45 m,平均275.94 m;开采煤层顶板导水裂隙带未充分波及洛河组含水层。

3) 青岗坪煤矿42105工作面

洛河组地层巨厚,为257.57~267.32 m,平均262.45 m;单位涌水量为0.041 0~0.225 9 L/(s·m),富水性弱-中等;安定组地层缺失;煤层与洛河组间距较大,为103.18~115.7 m,平均109.44 m;开采煤层顶板导水裂隙带可波及洛河组含水层。

通过对对比分析发现,3对矿井的煤层顶板主要含、隔水层发育特征存在较大差异。郭家河煤矿安定组隔水层厚度最大,煤层与洛河组含水层间距最大;高家堡矿井安定组隔水层厚度较小,煤层与洛河组间距最小;青岗坪煤矿安定组隔水层缺失,煤层与洛河组间距较小。

2 顶板水害类型及工作面涌水规律

2.1 顶板水害类型及其分布

依据涌水特征,将黄陇煤田顶板含水层充水类型概括为3类6型。3类包括持续涌水式、非持续涌水式和泥砂溃涌式。其中持续涌水式分为可控持续涌水型和高强度持续涌水型;非持续涌水式分为离层涌水型(包括偶发离层涌水型和频发离层涌水型2种)和脉冲式涌水型;加上泥砂溃涌型共6型。

涌水类型具有明显的地域性特点,例如永陇矿区主要表现为离层水形式的非持续涌水类型,彬长矿区主要为持续涌水类型,旬耀矿区出现过脉冲式涌水类型,永陇矿区和旬耀矿区均曾发生过泥砂溃涌型灾害。彬长矿区高家堡矿井是高强度持续涌水型的典型范例,2022年8月矿井涌水量可达 $1.7 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,为国内地下开采煤矿涌水量之最,严重制约着矿井安全生产;胡家河、孟村、小庄、文家坡等煤矿属于可控持续涌水型,矿井正常涌水量相对可控,对矿井生产影响不大。永陇矿区郭家河、招贤、崔木、园子沟等煤矿均表现为顶板离层涌水类型,其中崔木煤矿为典型的频发离层涌水型,单个工作面多次发生离层涌水现象;郭家河煤矿为典型偶发离层涌水型,部分工作面发生1~3次离层涌水,部分工作面未发生,规律性不明显;招贤煤矿1304工作面曾发生3次携带泥砂的离层涌水灾害。旬耀矿区的青岗坪煤矿表现为脉冲式涌水型,即工作面涌水量时大时小。

同时,部分矿井出现泥砂溃涌灾害。例如,照金煤矿曾发生泥砂溃涌重大水害事故,郭家河、招贤、崔木等煤矿都曾出现过离层涌水伴有溃砂现象。

2.2 工作面涌水量变化规律

1) 持续涌水类型

顶板持续涌水类型矿井的回采工作面,瞬时涌水量随回采面积增大而逐渐增大,在回采至初次见方时出现明显的台阶状增大,最后稳定在某一数值区间;工作面回采结束后,瞬时涌水量有所衰减,但采空区涌水量依然较大。在工作面回采至初次见方位置出现较大涌水之前,累计涌水量较长时间仅有微小增大;随后累计涌水量随着时间推移大致呈线性增加,增幅较大(图3)。



图3 高家堡矿井41103工作面涌水量变化规律

Fig.3 Variation law of water inflow in working face 41103 of Gaojiaobao Coal Mine

2) 离层涌水类型

顶板离层涌水类型的回采工作面,正常涌水量相对较小甚至无涌水。离层涌水初期瞬时涌水量急剧增大,持续时间较短,累计涌水量相对有限,表现为一种典型的有限体积水体释放的过程;累计涌水量随每次

离层涌水出现显著增大,总体呈现台阶状增大趋势(图4)。

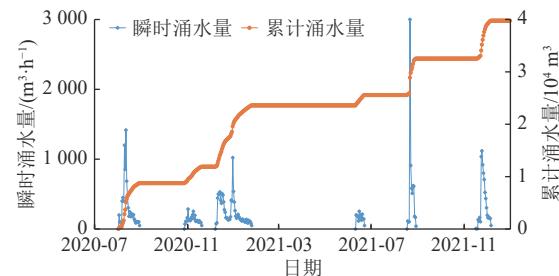


图4 郭家河煤矿1309工作面涌水量变化规律

Fig.4 Variation law of water inflow in working face 1309 of Guojiahe Coal Mine

3) 脉冲式涌水类型

顶板脉冲式涌水类型是一种比较少见的顶板涌水形式。工作面正常涌水量相对较小,随着工作面回采多次出现数倍于正常涌水量的瞬时最大涌水量;累计涌水量随时间线性增加,增幅较大。由于瞬时涌水量表现为一种类似脉冲形式的较短时间内忽大忽小急剧变化趋势,因此称之为“脉冲式”涌水(图5)。

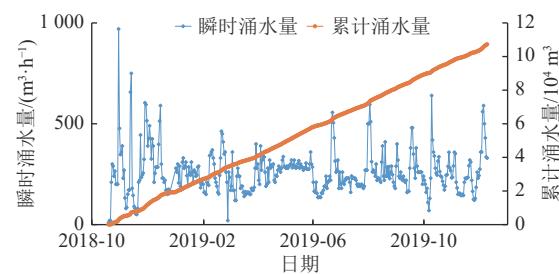


图5 青岗坪煤矿42105工作面涌水量历时曲线

Fig.5 Variation law of water inflow in working face 42105 of Qinggangping Coal Mine

3 顶板水害形成的主控因素分析

3.1 地质条件

地质条件包括煤层厚度、埋深、构造发育情况,含(隔)水层厚度、岩性及其组合,煤层与含(隔)水层间距等。地质条件是顶板水害类型划分的地质基础,也是影响煤层顶板导水裂隙带发育的重要因素。例如隔水层厚度较小或者不发育时,采煤对煤层顶板含水层的破坏影响更为剧烈,顶板涌水量更大;存在巨厚隔水层且煤层距离含水层较远时,采煤对煤层顶板含水层影响甚微,顶板涌水量微小甚至不涌水。煤层厚度制约采高,并与煤层埋深、含(隔)水层岩性及其组合、构造发育情况等因素影响煤层顶板导水裂隙带发育高度。

以隔水层厚度为例进行说明。安定组是区域隔水层。崔木煤矿22303工作面安定组厚度为97.15~134.27 m,平均115.07 m;煤层与含水层间距为146.02~

256.64 m, 平均 205.51 m。工作面离层涌水表现为频发, 即单个工作面发生多次离层涌水现象(图 6)。

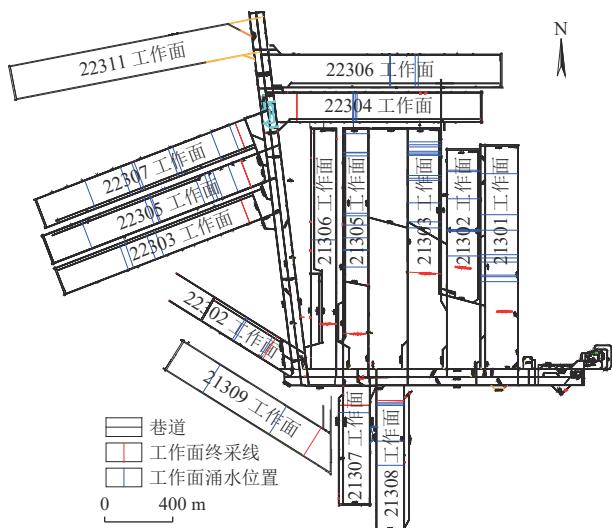


图 6 崔木煤矿工作面离层涌水位置

Fig.6 Locations of water inflow in working faces of Cuimu Coal Mine

郭家河煤矿一盘区工作面离层涌水形式表现为偶

发, 即部分工作面发生数次离层涌水, 部分工作面不发生涌水。与崔木煤矿相比, 郭家河煤矿安定组地层更厚, 煤层与洛河组间距更大, 而离层涌水形式由频发过渡为偶发。因此, 巨厚安定组泥岩是离层水害形成的关键性地质控制因素, 决定着离层涌水的表现形式。

3.2 水文地质条件

水文地质条件包括主要含水层厚度、富水性、渗透性, 隔水层隔水能力等。水文地质条件是顶板水害类型的控制因素, 也是工作面涌水量大小的主要影响因素。

1) 洛河组垂向富水性

洛河组含水层是鄂尔多斯盆地白垩系地下水主要含水岩组, 主要发育细、中、粗粒砂岩和泥岩类地层, 其含水层内部尚未发现区域上的隔水层。天然条件下, 洛河组垂向水文地质特征存在显著差异, 例如高家堡井田三、四盘区洛河组垂向上可划分为上段、中上段、中下段和下段 4 个含水层段, 其中: 中上段和中下段是主要含水层段, 上段和下段为弱含水层段; 富水性由强至弱依次为中上段、中下段、上段、下段^[20](表 1)。

表 1 高家堡井田三、四盘区洛河组垂向水文地质特征

Table 1 Vertical hydrogeological characteristics of Luoh Formation in the third and fourth panels of Gaojiabao mine field

含水层段	厚度/m(最小~最大值/平均值)	岩性	水文地质参数		地下水位/m	富水性	备注
			渗透系数/(m·d ⁻¹)	涌水量/(L·s ⁻¹ ·m ⁻¹)			
上段	14.38~106.08/51.09	泥岩类、细粒砂岩以及中粒砂岩	0.071 5	0.021 0	827.037	弱	弱含水层段
中上段	106.05~143.88/125.53	中粒砂岩、细粒砂岩、粗粒砂岩以及泥岩类	0.671 2~0.789 9	0.018 5~0.516 4	727.991~820.447	弱至中等	最主要含水层段
中下段	97.97~151.22/124.84	中粒砂岩、细粒砂岩、粗粒砂岩以及泥岩类	0.126 4~0.239 1	0.020 6~0.184 7	705.751~817.207	弱至中等	主要含水层段
下段	57.60~91.19/79.51	泥岩类、细粒砂岩、中粒砂岩以及粗粒砂岩	0.005 8~0.010 2	0.001 0~0.005 8	696.611~802.515	弱	弱含水层段

2) 洛河组水平富水性

含水层水平方向上的富水异常区是防治水工作的重点研究对象, 一般通过物探探查、钻探验证并预疏放水的方式消除水害威胁。

实际工作中发现, 含水层富水性可影响离层涌水。郭家河煤矿一盘区已回采 9 个工作面, 其中 5 个工作面共发生 10 次离层涌水, 在地表河流位置附近出现 3 次, 有一定的规律可循, 且瞬时涌水量和累计涌水量均显著增大。表明在地表河流附近易发生离层涌水, 分析主要接受地表河流渗漏补给, 洛河组含水层富水性相对较强(图 7)。

3.3 开采条件

开采条件包括采煤方法、工作面布置及回采顺序、工作面尺寸(包括面宽、面长等)、采高以及煤层顶板导

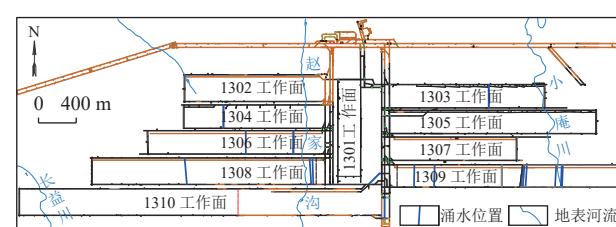


图 7 郭家河煤矿一盘区工作面离层涌水位置

Fig.7 Locations of water inflow in working faces of the first panel of Guojiahe Coal Mine

水裂隙等, 开采条件是顶板水害形成的前提条件。煤层顶板导水裂隙带波及上覆含水层段及其发育范围等, 决定了参与工作面涌水的主要充水水源及其过水通道。采煤方法、工作面尺寸和采高等直接影响煤层顶板导水裂隙带发育情况, 例如综放比普采、条带开采等条

件下的煤层顶板导水裂隙发育更为剧烈, 工作面宽度和采高共同影响煤层顶板导水裂隙带发育高度^[14]。

李超峰^[14]系统收集了综放条件下黄陇煤田顶板导水裂隙带高度实测数据, 采用数理统计方法获得了面宽和采高双因素影响下煤层顶板导水裂隙带高度预测经验公式。

4 黄陇煤田顶板水害形成机理

1) 脉冲式涌水机理

基本条件: 煤层顶板主要含水层富水性弱, 静储量较小, 动态补给量甚微; 煤层与主要含水层间距较小, 例如小于 100 m; 关键隔水层厚度较小甚至缺失; 煤层顶板导水裂隙带可直接波及上覆主要含水层(图 8)。

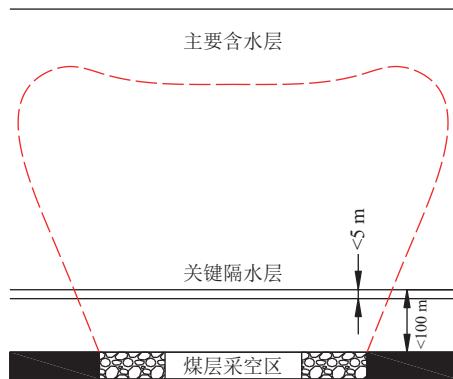


图 8 顶板脉冲式涌水地质条件

Fig.8 Geological conditions of pulsed water inrush on the roof

涌水机理: 随着工作面回采, 煤层顶板导水裂隙周期性向前、向上发育, 受其波及的煤层顶板主要含水层静储量释放水量涌入工作面。由于含水层侧向动态补给量甚微, 静储量大量释放后工作面涌水量随即大幅度减小, 继续推采将发生反复涌水, 周期性出现瞬时涌水量数倍于正常涌水量的变化趋势。因此, 工作面涌水量大小随时间或者回采距离呈现出“脉冲式”急剧变化特征。

2) 持续涌水机理

基本条件: 煤层顶板主要含水层富水性中等至强, 静储量和动态补给量相对较大; 煤层与主要含水层间距较小, 例如小于 100 m; 关键隔水层发育, 但厚度相对较小, 例如 20~50 m; 煤层顶板导水裂隙带可直接波及上覆主要含水层(图 9)。

涌水机理: 随着工作面推进, 煤层顶板导水裂隙周期性向前、向上发育, 受其波及的煤层顶板主要含水层静储量和动态补给量共同构成工作面涌水。由于含水层侧向动态补给量相对较大, 静储量释放时侧向及垂向动态补给水量也同步大量参与工作面涌水。因此, 工作面涌水量随时间或者回采距离呈现台阶式逐渐增

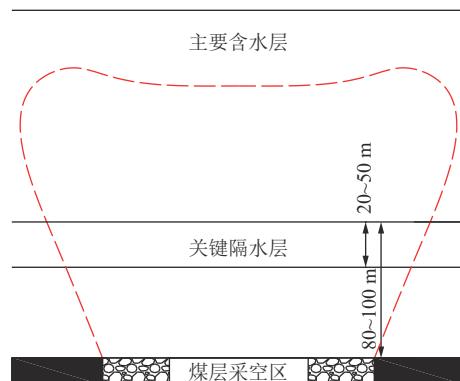


图 9 顶板持续涌水地质条件

Fig.9 Geological conditions of continuous water inrush on the roof

大的变化过程。

3) 离层涌水机理

基本条件: 煤层顶板主要含水层富水性弱; 煤层与主要含水层间距巨大(如 200~300 m); 关键隔水层巨厚(如 100~180 m); 煤层顶板导水裂隙带未直接波及顶板主要含水层, 或已波及但被导水裂隙破坏的巨厚关键隔水层具有良好的再生隔水能力, 使其在一段时间内具备对一定量离层积水体的支撑作用(图 10)。

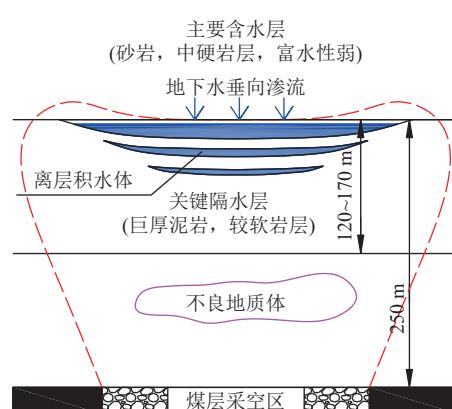


图 10 顶板离层涌水地质条件

Fig.10 Geological conditions of water inrush from spaces between roof layers

涌水机理: 随着工作面推进, 煤层顶板岩层之间由于不均匀沉降产生规模不一且动态发育的离层空间; 在接受相邻含水层地下水渗流补给后, 离层空间开始积水, 形成离层积水体。当离层积水量持续增加或受到采动影响使离层下部密闭空间动态积水平衡被打破时, 工作面发生离层涌水。

4) 泥砂溃涌机理

泥砂溃涌是一种与顶板涌水相伴生的叠加灾害形式。当煤层顶板导水裂隙带发育范围内存在胶结不良地质体(图 10)或者出现冒顶时, 伴随涌水过程形成泥砂溃涌灾害。例如郭家河、招贤、崔木等煤矿都曾出

现过离层涌水伴有溃砂的现象,照金煤矿曾发生泥砂溃涌重大水害事故。由于泥砂在较短距离内即可沉淀,易堵塞水仓、巷道和工作面,使排水系统失效,造成工作面风流阻断、人员被困等严重后果。

5 顶板水害防控关键技术及管理对策

5.1 顶板水害防控技术

1) 地下水位监测预警技术

当含水层地下水涌入工作面时,其地下水位一般提前数天或数小时开始出现异常下降趋势。因此,可通过地下水位异常下降预警工作面涌(突)水。煤矿建立矿井地下水动态监测系统时,应在回采工作面附近设置主要含水层地下水位监测分站并实现水位数据的自动传输。例如,离层涌水型和脉冲式涌水型矿井,应在回采工作面内沿其走向方向,按间距不大于500 m的距离分段设置地下水位监测钻孔。持续涌水型矿井应在回采工作面附近300 m范围内设置地下水位监测钻孔。

在积累一定的工作面涌水和地下水位变化数据后,可进行地下水位变化与工作面涌(突)水之间相关性分析,从而确定回采工作面涌水预警的地下水位阈值。

2) 地面钻孔疏放离层积水技术

包括地面钻孔抽排和泄水2种方式。

(1) 地面钻孔抽排

在地面施工大口径钻孔(抽水段孔径一般为400~500 mm)揭露煤层顶板主要含水层段并下泵保持长时间抽水。目前,永陇矿区郭家河和招贤煤矿采用地面钻孔抽排方式疏放离层积水效果较好。自2021年11月14日开始至2022年8月23日,郭家河煤矿1310工作面共施工7个抽水孔,单孔抽水量37.20~166.90 m³/h,累计抽排水9.858×10⁵ m³,离层积水疏放效果显著。

(2) 地面钻孔泄水

采前施工地面钻孔至煤层顶板,待工作面采煤通过钻孔位置后即可与煤层采空区连通,发挥疏放离层积水作用并监测地下水位变化情况。永陇矿区崔木、郭家河、园子沟等煤矿均采用地面钻孔泄水方式疏放离层积水,取得了较好效果。

3) 井下泄水巷集中排水技术

盘区泄水巷:根据工作面煤层底板起伏形态,在煤层低洼区底板下施工盘区泄水巷并通过联巷或者大口径钻孔将其与各工作面连通,实现涌水自流,及时排出工作面涌水。高家堡煤矿为高强度持续涌水型,主要采用盘区泄水巷保证了工作面的正常生产。

工作面泄水巷:根据煤层起伏形态,沿工作面走向在其低洼一侧按“一路下山”原则施工泄水巷,并通过

联巷或大口径钻孔与其邻近巷道连通,实现涌水自流出工作面。郭家河煤矿为偶发离层涌水型,主要采用工作面泄水巷排水技术实现“不淹面”“不堵人”。

4) 排水系统建设与维护技术

煤矿应根据《煤矿防治水细则》要求建立矿井、盘区和工作面排水系统。对于正常涌水量和最大涌水量相差较大的矿井,例如离层涌水型和脉冲式涌水型矿井,应建立具有一定抗灾能力的工作面排水系统;可施工大容积水仓并配备大泵量排水系统,确保涌水初期及时排出工作面或在工作面外某个空间暂时存储起来,从而争取撤人时间并显著降低水害威胁程度。

排水系统检修与维护是一项日常工作,应确保排水能力的有效性,特别是在涌水初期发挥作用。

5) 减水开采技术

注浆和充填开采属于减水开采的技术范畴。研发黄陇煤田煤层顶板巨厚砂岩含水层减水开采技术,既是黄河流域生态环境保护和高质量发展的要求,也是矿井水害治理的迫切需要。由于洛河组存在吃浆量小和浆液扩散半径不大,注浆层位难以选择、浆液难以快速形成有效注浆层段等技术问题,自2017年至今,高家堡矿井实施了多个洛河组砂岩注浆减水工业性试验项目,目前仍然存在一些关键技术“瓶颈”有待攻克。亭南煤矿完成了1102工作面充填开采试验,积累了减水开采的技术经验。

5.2 顶板水害防治管理对策

1) 工作面防治水“一面一策”制度

煤矿应严格落实工作面“一面一策”制度。编制工作面防治水设计,在专家评审或上级公司审批后作为防治水工作开展的依据。回采前,根据防治水工程实施情况,进行工作面采前水文地质条件安全性评价;回采后,及时总结积累防治水工作经验,形成防治水工作技术体系。

2) 建立工作面水情日分析制度

煤矿应当建立工作面水情日分析制度。每天统计工作面地质信息(如煤厚、构造等)、采煤信息(如进尺、产量、平均采高等)、支护信息(如煤壁片帮、支架初撑力等)、水情信息(如涌水征兆、涌水量、地下水位变化等),以及其他相关信息(如瓦斯、矿震等),分析工作面水情变化规律,发现异常时及时进行预警。

3) 建立工作面精细管理制度

采煤工作面布置与设计时应统筹考虑防治水工作需要。例如,工作面走向方向应尽量避免巷道出现较大起伏变化从而形成易被水淹没的低洼地段;运输巷应设置在工作面较高一侧从而显著降低涌水对煤炭运输的影响。

受顶板水害威胁严重的煤矿,应严格控制工作面推进速度及采高,提高支架初撑力。据永陇矿区多个煤矿经验,工作面停采后的复产初期离层涌水概率显著增大,应尽量避免较长时间的停采、滞采。采高直接影响顶板导水裂隙带发育高度及其向上波及的含水层段,在可能出现异常涌水区段应采取控制采高的措施降低异常涌水概率和强度。为了防止冒顶时支架被压死导致涌(突)水灾害,煤矿应结合自身实际情况制定防冒顶和泥砂溃涌的专项技术措施,提高工作面支架和两侧巷道超前支架的初撑力。

4) 防治水工作例会制度

煤矿应建立防治水工作月度例会制度,定期组织专家、技术人员和施工人员等共同分析防治水实施情况,总结工作经验,研判水情并提出防治水工作建议。

5) 与科研单位合作制度

顶板水害威胁严重且涌水机理不清、治理措施尚不可靠的煤矿,应与科研单位建立长期合作关系;借助科研单位专业技术力量,提升煤矿重大水害治理能力与水平。为落实责任制、保证防治水工程实施效果,重大水害(如顶板离层水)治理的方案设计、施工、治理效果检验原则上应由同一单位完成。科研单位要持续跟进矿井涌水量和地下水位等水情变化,动态优化防治水工程,不断总结防治水工作经验;在煤矿出现异常涌水、抢险救灾等情形时提供专业技术支撑。

6) 建立专家会诊及对标学习制度

煤矿应当每年至少组织一次水害专家会诊,依托专业技术力量对矿井水害进行问诊把脉。工作面回采前进行防治水工程验收及安全评价,及时发现存在问题,提出防治水工作合理化建议。定期到条件相似矿井进行技术交流,邀请专家开展防治水专题技术培训等。

6 结论

a. 黄陇煤田顶板含水层充水可分为持续涌水式、非持续涌水式和泥砂溃涌式 3 类,包括可控持续涌水型、高强度持续涌水型、偶发离层涌水型、频发离层涌水型、脉冲式涌水型以及泥砂溃涌型 6 型。

b. 黄陇煤田地质与水文地质条件存在显著差异。地质条件与水文地质条件是顶板水害类型差异化的基础条件;开采条件是顶板水害形成的前提条件;地质与开采条件共同影响煤层覆岩破坏情况,水文地质条件影响矿井充水强度。

c. 煤层顶板覆岩含水层水文地质条件及隔水层赋存条件共同决定着顶板含水层充水类型。当关键隔水层厚度较小甚至缺失,主要含水层富水性弱且其与煤层间距较小时可发生脉冲式涌水;当关键隔水层厚度

较大且发育稳定,主要含水层富水性中等至强且其与煤层间距较小时可发生持续涌水;当关键隔水层巨厚,主要含水层富水性弱且其与煤层间距巨大时可发生离层涌水;当煤层顶板导水裂隙带范围内发育有胶结不良地质体或者煤层出现冒顶现象时,可形成水砂溃涌灾害。

d. 地下水位监测预警技术、地面钻孔疏放离层积水技术、井下泄水巷集中排水技术、排水系统建设与维护技术、减水开采技术等是黄陇煤田顶板水害防治的关键技术;工作面精细管理制度、工作面水情日分析制度、专家会诊及对标学习制度等是水害防治配套管理对策。

参考文献(References)

- [1] 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.
WU Qiang, CUI Fangpeng, ZHAO Suqi, et al. Type classification and main characteristics of mine water disasters[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(4): 561-565.
- [2] 虎维岳,赵春虎.基于充水要素的矿井水害类型三线图划分方法[J].煤田地质与勘探,2019,47(5): 1-8.
HU Weiyue, ZHAO Chunhu. Trilinear chart classification method of mine water hazard type based on factors of water recharge[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(5): 1-8.
- [3] 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与应用[J].煤炭学报,2020,45(7): 2367-2375.
DONG Shuning, JI Yadong, WANG Hao, et al. Prevention and control technology and application of roof water disaster in Jurassic coal field of Ordos Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2367-2375.
- [4] 李超峰.煤层顶板含水层涌水危险性评价方法[J].煤炭学报,2020,45(增刊1): 384-392.
LI Chaofeng. Method for evaluating the possibility of water inrush from coal seam roof aquifer[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(Sup.1): 384-392.
- [5] 武强,许珂,张维.再论煤层顶板涌(突)水危险性预测评价的“三图-双预测法”[J].煤炭学报,2016,41(6): 1341-1347.
WU Qiang, XU Ke, ZHANG Wei. Further research on “three maps-two predictions” method for prediction on coal seam roof water bursting risk[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(6): 1341-1347.
- [6] 曹海东.煤层顶板次生离层水体透水机理及防治技术[J].煤田地质与勘探,2017,45(6): 90-95.
CAO Haidong. Mechanism and control technology of water inrush from secondary separated bed on coal seam roof[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(6): 90-95.
- [7] 乔伟,李文平,李小琴.采场顶板离层水“静水压涌突水”机理及防治[J].采矿与安全工程学报,2011,28(1): 96-104.
QIAO Wei, LI Wenping, LI Xiaoqin. Mechanism of “hydrostatic water-inrush” and countermeasures for water inrush in roof bed separation of a mining face[J]. Journal of Mining & Safety En-

- gineering, 2011, 28(1): 96–104.
- [8] 郭小铭, 董书宁, 刘英锋, 等. 深埋煤层开采顶板泥砂溃涌灾害形成机理[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36(5): 889–897.
GUO Xiaoming, DONG Shuning, LIU Yingfeng, et al. Formation mechanism of mud and sand inrush disaster during the mining of deep-buried coal seam[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2019, 36(5): 889–897.
- [9] 李文平, 朱厅恩, 王启庆, 等. 鄂尔多斯盆地巨厚白垩系下煤层开采突泥溃砂物源及成灾模式[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 360–370.
LI Wenping, ZHU Ting'en, WANG Qiqing, et al. Material source and disaster model of mud–sand inrush in coal mining under extremely thick Cretaceous in Ordos Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1): 360–370.
- [10] 靳德武, 刘英锋, 王甜甜. 巨厚砂岩含水层下厚煤层综放减水开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(9): 88–95.
JIN Dewu, LIU Yingfeng, WANG Tiantian. Water-reducing mining technology for fully-mechanized top-coal caving mining in thick coal seams under ultra-thick sandstone aquifer[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(9): 88–95.
- [11] 尹尚先, 徐斌, 徐慧, 等. 综采条件下煤层顶板导水裂缝带高度计算研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 138–142.
YIN Shangxian, XU Bin, XU Hui, et al. Study on height calculation of water conducted fractured zone caused by fully mechanized mining[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 138–142.
- [12] 许延春, 李俊成, 刘世奇, 等. 综放开采覆岩“两带”高度的计算公式及适用性分析[J]. 煤矿开采, 2011, 16(2): 4–7.
XU Yanchun, LI Juncheng, LIU Shiqi, et al. Calculation formula of “two-zone” height of overlying strata and its adaptability analysis[J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(2): 4–7.
- [13] 张玉军, 申晨辉, 张志巍, 等. 我国厚及特厚煤层高强度开采导水裂缝带发育高度区域分布规律[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(5): 38–48.
ZHANG Yujun, SHEN Chenhui, ZHANG Zhiwei, et al. Regional distribution law of water-conducting fractured zone height in high-strength mining of thick and extra-thick coal seams in China[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(5): 38–48.
- [14] 李超峰. 黄陇煤田综放采煤顶板导水裂缝带高度发育特征[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(2): 129–136.
LI Chaofeng. Characteristics of height of water flowing fractured zone caused during fully-mechanized caving mining in Huanglong Coalfield[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(2): 129–136.
- [15] 李超峰, 虎维岳, 王云宏, 等. 煤层顶板导水裂缝带高度综合探查技术[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(1): 101–107.
LI Chaofeng, HU Weiyue, WANG Yunhong, et al. Comprehensive detection technique for coal seam roof water flowing fractured zone height[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(1): 101–107.
- [16] 许家林. 煤矿绿色开采20年研究及进展[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(9): 1–15.
XU Jialin. Research and progress of coal mine green mining in 20 years[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(9): 1–15.
- [17] 许家林, 倪建明, 轩大洋, 等. 覆岩隔离注浆充填不迁村采煤技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(12): 8–11.
XU Jialin, NI Jianming, XUAN Dayang, et al. Coal mining technology without village relocation by isolated grout injection into overburden[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 8–11.
- [18] 许家林, 轩大洋, 朱卫兵, 等. 部分充填采煤技术的研究与实践[J]. 煤炭学报, 2015, 40(6): 1303–1312.
XU Jialin, XUAN Dayang, ZHU Weibing, et al. Study and application of coal mining with partial backfilling[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(6): 1303–1312.
- [19] 董书宁, 杨志斌, 姬中奎, 等. 神府矿区大型水库旁烧变岩水保水开采技术研究[J]. 煤炭学报, 2019, 44(3): 709–717.
DONG Shuning, YANG Zhibin, JI Zhongkui, et al. Study on water-preserved mining technology of burnt rock aquifer beside the large reservoir in Shengfu mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(3): 709–717.
- [20] 李超峰. 采煤工作面顶板巨厚层状含水层涌水量预测研究[D]. 北京: 煤炭科学研究院, 2019.
LI Chaofeng. Prediction theory and method of water inflow from roof thick layered aquifer of coal mining face[D]. Beijing: China Coal Research Institute, 2019.

(责任编辑 周建军; 英文校对 付兵)