

崔木煤矿顶板离层水防治技术

林青¹ 乔伟^{2,3}

(1. 陕西永陇能源开发建设有限责任公司 崔木煤矿 陕西 宝鸡 721501; 2. 中国矿业大学 资源与地球科学学院 江苏 徐州 221116;
3. 兖矿集团有限公司 博士后科研工作站 山东 邹城 273500)

摘要:为解决崔木煤矿煤层顶板高位离层水体突水灾害问题,通过分析涌突水规律,采用数值计算对煤层顶板涌突水与水位联动机制、离层发育位置和覆岩导水裂隙带发育高度进行了研究,并提出了防治离层水水害的方法。研究结果表明:洛河组水位变化与井下涌突水有较强的关联性;顶板离层发育位置和导水裂隙带高度揭示了在洛河组底部将发育有离层空间并充水;在以往研究结果基础上,采取井下探放水钻孔对离层水进行疏放是防治离层水水害的有效措施,该措施使该矿21303工作面回采期间最大涌水量控制在 $30\text{ m}^3/\text{h}$ 以下,同时为我国西部侏罗系煤炭资源开发时综放开采顶板离层水防治水设计提供对策。

关键词:巨厚煤层;综放开采;顶板离层;导水裂隙带

中图分类号:TD742 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2016)03-0129-06

Water prevention and control technology of roof bed separation in Cuimu Mine

Lin Qing¹, Qiao Wei^{2,3}

(1. Cuimu Mine, Shaanxi Yonglong Energy Development and Construction Company Limited, Baoji 721501, China;
2. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
3. Post-doctoral Scientific Research Station, Yanzhou Mining Group Corporation Limited, Zoucheng 273500, China)

Abstract: In order to solve the water inrush disaster from high level roof bed separation in Cuimu Mine, a numerical calculation and water inrush law analysis were applied to the study on the roof water inrush and water table linkage mechanism, the bed separation development location and overburden water flow cracking zone development height in Cuimu Mine and the bed separation water disaster prevention and control method was provided. The study results showed that the water table variation of Luohe Formation had a strong relevance with the mine water inrush. The bed separation development location and the water flow cracking zone height showed that a bed separation space and water refilling would be developed at the bottom of the Luohe Formation. Based on the previous study, water drainage of the bed separation water with a water detection and drainage borehole in the underground mine was an effective measure to prevent and control the bed separation disaster. The prevention and control technology could have a max water inflow controlled below $30\text{ m}^3/\text{h}$ during the mining period of No. 21303 coal mining face and also could provide the countermeasures to the design on the roof bed separation water prevention and control of the fully-mechanized top coal caving mining in West China Jurassic coal resources.

Key words: ultra thick seam; fully-mechanized top coal caving mining; roof bed separation; water flow cracking zone

0 引言

煤层开采覆岩不均匀下沉、破坏在岩层层间形成离层空间,离层空间如果积水,将形成离层水体,

威胁采场安全。淮北矿业集团公司海孜煤矿一水平84采区745工作面于2005年5月21日12时13分发生了瞬时最大流量 $3\ 887\text{ m}^3/\text{h}$ 的顶板特大突水事故。文献[1-2]以海孜煤矿此次事故为例,设计

收稿日期:2015-10-28;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2016.03.025

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41302248);中国博士后科学基金资助项目(2013M531426)

作者简介:林青(1970—),男,安徽滁州人,高级工程师。通信作者:乔伟,男,副教授,博士, Tel:13813478097, E-mail: qweiqm@163.com

引用格式:林青,乔伟.崔木煤矿顶板离层水防治技术[J].煤炭科学技术,2016,44(3):129-134.

Lin Qing, Qiao Wei. Water prevention and control technology of roof bed separation in Cuimu Mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 129-134.

和实施了冲击动力作用下反应超静水压力大小的试验,在此基础上基于爆炸力学的理论初步研究了动力冲破带的形成机理。胡东祥^[3]分析了济宁二号煤矿11305综放工作面采空区滞后突水因素与机理,乔伟等^[4]针对济宁二号煤矿离层水涌突提出了不同于采场顶板离层水“动力突水”的另一种离层水突水模式“静水压涌突水”。杨吉平等^[5]根据宁东鸳鸯湖矿区红柳煤矿1121首采工作面周期性涌水和实际离层水疏放计算了离层水积水量。褚彦德^[6]根据红柳煤矿离层在空间上的发育位置及水文地质特征和工作面周期来压步距提出了水害防治技术。李吴波等^[7]认为造成打通一矿S1818、S1821综采工作面突水事故的充水水源为上覆地层的离层水。孙治范等^[8]以山东省北皂煤矿为例,做了关于软岩地层采场顶板离层涌水机理研究。张永红^[9]认为陕西焦坪矿区玉华煤矿顶板离层空间的原因为为大强度低位放顶煤开采。江波等^[10]对海下软覆岩煤层顶板离层水发育规律进行了数值模拟研究。以上研究与本研究有所不同,笔者分析了崔木煤矿特厚煤层开采引发的顶板涌突水问题,研究水害形成条件,在以往研究基础上,提出井下探放水的防治方法。

1 顶板离层水涌突水

1.1 顶板离层水涌突水概况

崔木煤矿主采煤层为侏罗系延安组3号煤层,该矿21301工作面走向长968 m,倾向长196 m,开采深度480~520 m,松散层厚度7.38~37.00 m,采高10 m,煤层倾角为3°~6°。21302工作面走向长718 m,倾向长205.5 m,采高12 m。21301、21302工作面分别发生12次和4次突水事故。21301工作面涌水量随推进距离变化关系如图1所示。通过涌突水水质全分析判定突水水源为洛河组含水层。

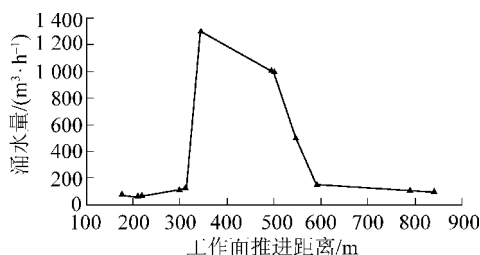


图1 21301工作面涌水量随推进距离变化关系

Fig. 1 Relationship between advanced distance and water inflow of No.21301 working face

1.2 顶板离层水涌突与洛河组水位特征

崔木煤矿21301和21302工作面在顶板涌水期间,洛河组水位发生有规律的变化,现将21302工作面的3次涌水时洛河组水位变化情况做以下介绍。

1) 2013年5月涌水情况。2013年5月18日、5月25日和5月31日涌水过程中的洛河组水位变化(据G3钻孔)如图2所示。2013年4月1日到4月22日的洛河组水位持续上升,表明洛河组水位受前期涌突水影响后处于“自然水位恢复状态”。4月22日的洛河组含水层水位为+1 107 m,而5月18日涌水之前的水位为+1 088 m,表明在此阶段虽然工作面没有明显涌水现象,但洛河组水位持续下降了9 m,此阶段反映了洛河组含水层的水正进入离层空间。5月25日发生涌水现象,此时洛河组含水层水位为+1 081 m;5月31日发生涌水现象,此时洛河组含水层水位为+1 079 m。从5月18日、5月25日和5月31日发生的3次涌水时洛河组含水层水位变化看,此阶段的离层空间处于持续充水并闭合阶段,直到6月6日洛河组含水层水位下降到最低的+1 078 m,离层水涌突通道封闭,洛河组含水层水位开始上升。

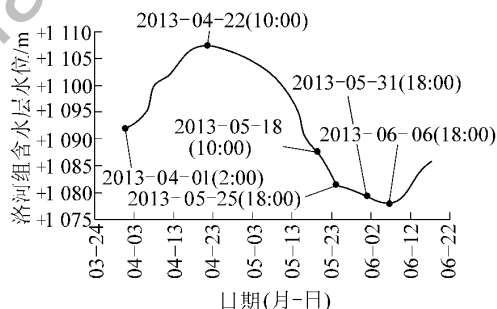


图2 2013年5月涌突水过程中洛河组水位变化

Fig. 2 Variation of water level of Luohe aquifer in process of water intrush on May 2013

2) 2013年6月18日涌水情况。2013年6月18日涌水过程中的洛河组水位变化(据G3钻孔)如图3所示。从图3可以看出,5月31日18时水位为+1 079 m,洛河组含水层水位受5月31日涌水影响持续下降,截至6月6日18时,水位下降到最低的+1 077 m,然后洛河组含水层水位持续上升,截至6月18日18时,洛河组含水层水位上升到+1 087 m,在6月18日18时14分21302工作面102—108号支架出现淋水,洛河组含水层水位随即下降,工作面持续涌水过程中,洛河组含水层水位一直下降到6月27日22时的最低点(水位为+1 079 m),然后水位开始恢复。

6月18日工作面推进至距开切眼422 m,位于离层首次闭合的位置附近,此时离层空间发育较大,由于2013年5月18日、5月25日和5月31日的3次涌水过程中离层空间不断充水,离层积水向工作面涌突的通道在涌水后期逐渐闭合,但离层空间并未消失,已经形成的离层空间中积水严重,所以在5月31日涌水后恢复生产过程中,洛河组水位未有明显下降,主要原因是离层空间积水已满,6月18日工作面推进至离层首次闭合的位置附近,在矿压影响下,离层积水涌突到采掘空间,造成洛河组含水层水位突然下降(水位降深8 m)。

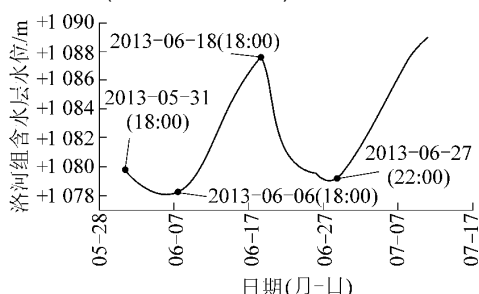


图3 2013年6月涌突水过程中洛河组水位变化

Fig. 3 Variation of water level of Luohe aquifer in process of water inrush on June 2013

3) 2013年10月18日涌水情况。2013年10月18日涌水过程中的洛河组水位变化(据G3钻孔)如图4所示。根据图4显示的G3孔洛河组水位变化,8月15日到9月8日洛河组水位持续恢复,9月8日水位为+1113 m,9月8日到10月2日洛河组水位受采矿影响持续波动,但未见显著下降。从10月2日开始,洛河组含水层水位持续下降,截止到10月18日,洛河组水位从10月2日的+1111 m下降到10月18日的+1103 m,水位下降8 m,此阶段工作面并未出现显著涌水,说明离层空间处于“充水阶段”。10月18日开始伴随压架现象,洛河组水位显著下降,截至10月21日,水位下降11 m。

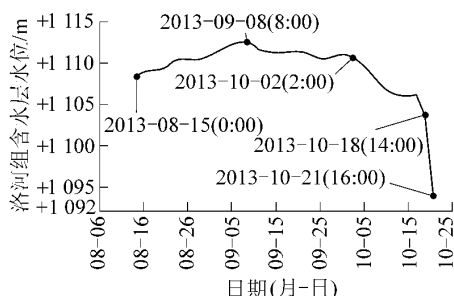


图4 2013年10月涌突水过程中洛河组水位变化

Fig. 4 Variation of water level of Luohe aquifer in process of water inrush on October 2013

根据以上涌水期间的洛河组水位变化情况,分析,工作面涌突水之前,会经历“洛河组水位自然恢复阶段”和“离层空间充水阶段”;工作面涌突水之时,洛河组水位进入“水位显著下降阶段”;工作面涌突水结束后,洛河组水位进入“水位恢复阶段”。

2 离层位置的数值模拟判别

在笔者的前述研究中,认为覆岩离层空间发育有2种类型,即裂隙型和空腔型,并通过覆岩砌体梁理论对崔木煤矿离层空间位置进行了理论计算^[11-13]。本节对21301工作面离层发育空间位置进行了数值模拟分析。以21301工作面为原型,工作面走向长度968 m,倾向长度196 m,煤层埋深约500 m,综放开采,平均开采厚度为10 m。

2.1 模型建立

考虑到模型边界须在采动影响范围以外和计算机运算速度等因素,取模型长度为600 m,模型底部为煤层底板9 m厚的泥岩,模型顶部为48 m厚的洛河组砂砾岩,模型高度为300 m。矿区范围内煤层之上的地层为层状沉积地层且倾角平缓,本模型将各岩层按水平处理。建立的离散元计算几何模型如图5所示。

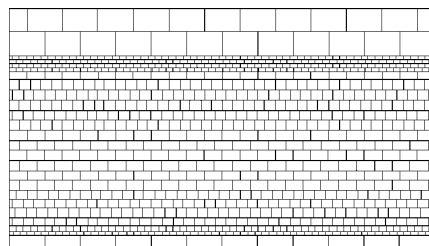


图5 21301工作面离散元数值计算几何模型

Fig. 5 Distinct element numerical calculation geometric model of Panel 21301

由于模型上边界只取到洛河组底部48 m,上覆地层的影响通过施加载荷来补偿。根据钻孔资料和上覆岩土物理指标,模型上边界应施加6.5 MPa竖向载荷。模型的左边界、右边界和下部边界视为位移为0的约束边界。距离右边界100 m处开挖煤层,每一步开挖50 m,共开挖8步。每开挖一步待离散元循环计算结果稳定后,再进行下一步的开挖。模型建立后,对模型中的块体和节理(这里的节理指不连续结构面)赋物理力学参数,见表1和表2。

表1 岩层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of rocks

岩性	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	弹性模 量/GPa	黏聚力/ MPa	抗拉强 度/MPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)
粗砾岩	2.63	8.60	3.6	1.45	38
砂质泥岩	2.54	7.40	2.9	0.98	33
泥岩	2.64	7.40	3.3	0.88	30
粗砂岩	2.34	8.10	2.3	1.01	35
煤层	1.38	3.38	1.8	0.29	31
粗粒砂岩、 砂质泥岩 互层组	2.57	10.24	3.2	1.13	36

表2 节理力学参数

Table 2 Physical and mechanical parameters of joints

岩组	法向刚度 J_{kn}/GPa	切向刚度 J_{ks}/GPa	抗拉强 度/MPa	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)
粗砾岩组	4.9	2.40	0.006	0.6	36
砂质泥岩组	3.0	1.70	0.003	0.4	32
泥岩组	2.8	1.50	0.002	0.4	30
粗粒砂岩组	3.8	2.00	0.004	0.5	35
煤层	0.4	0.15	0.002	0.4	24
粗粒砂岩、 砂质泥岩 互层组	3.5	2.20	0.003	0.5	33

2.2 模拟结果分析

煤层尚未开采时,上覆岩体处于稳定平衡状态;煤层采动后,上覆岩体发生变形和破坏,离散元模型中的单位块体发生形变和位变。由于工作面推进至350 m时,模拟结果显示离层空间体积发育到最大,所以笔者只给出工作面推进到距开切眼350 m时的覆岩竖向位移情况,如图6所示。图6显示出垮落带高度约45 m,导水裂隙带最大高度约152 m,洛河组底部离层底面距煤层顶面约168 m。洛河组底部

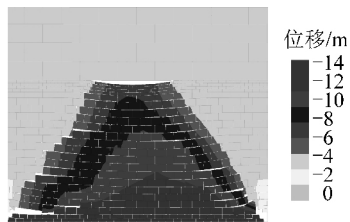


图6 工作面推进350 m覆岩竖直位移

Fig. 6 Vertical displacement nephogram of overlying strata when coal seam mined to 350 m

的离层空间位于导水裂隙带之上的弯曲下沉带中,规模较大,持续时间较长。离层空间顶部为砂砾岩含水层,底部为砂质泥岩相对隔水层,能够接受水源补给,且离层水体具备静水压力。

整体来看,随着工作面的推进,直接顶随采随垮,基本顶暴露一定长度后周期性地断裂垮落,垮落的岩块向采空区方向移动充填采空区,并逐渐被压实;垮落带上覆岩层随之出现离层裂隙,垮落范围不再向上扩展,离层裂隙在覆岩继续下沉的过程中闭合,同时新的离层又开始发育,另外,岩层各部分竖向沉降速率的不同导致张剪裂隙的产生,形成贯通的导水裂隙带;导水裂隙带上方岩层呈现整体移动性,形成弯曲下沉带,各岩层下沉速率的不一致形成规模较大、持续时间较长、相对封闭的离层空间。整个开采过程是一个岩层断裂、移动、变形最终趋向稳定的动态过程,伴随着离层空间的发育、发展、稳定、闭合。

笔者在文献[14]中进行了离层空间理论计算和评价,在文献[15]中进行了离层空间理论计算和地面直通式导流孔设计,并探讨了采高和推进速度对离层的影响,本节离层空间位置和导水裂隙带高度模拟结果与上述研究成果中的理论计算和实例拟合结果一致。导水裂隙带波及范围内的含水层均为极弱富水含水层,据地质报告计算崔木煤矿矿井正常涌水量为343.12 m^3/h ,而21301和21302工作面开采期间的顶板水害瞬时最大涌水量达到1100 m^3/h ,且涌水水质为洛河组含水层水质,这一点更加说明了洛河组底部离层水的存在。

3 离层水井下探放

文献[15]中进行了离层水地面直通式导流孔设计,本节基于后期实践研究结果,提出了下个回采的21303工作面井下探放水钻孔离层水水害防治技术。通过对离层水的水源分析可知,3号煤层回采后在其上覆岩层中形成的离层水体水源为洛河组含水层水;因而井下施工仰孔进行离层水探放的方案为:在对3号煤层顶板砂岩进行超前疏放时,增加3号煤层顶板砂岩探放水孔的深度,使得该类钻孔钻进至3号煤层导水裂隙带以上一定深度,到达洛河组底部,并在孔中下入厚壁花管,保证21303工作面回采后探放水孔仍能将洛河组水疏导至采空区中,从而避免在3号煤层顶板离层带中聚集形成离层水体,达到疏放离层水的目的。

21303 工作面回风巷道低于运输巷, 而高抽巷位于回风巷之上沿煤层顶板掘进, 其位置内错回风巷 14.25 m, 所以 21303 工作面离层水探放钻孔布置在高抽巷内, 平面位置要根据离层首次闭合距离和周期闭合距离进行布置(图 7)。

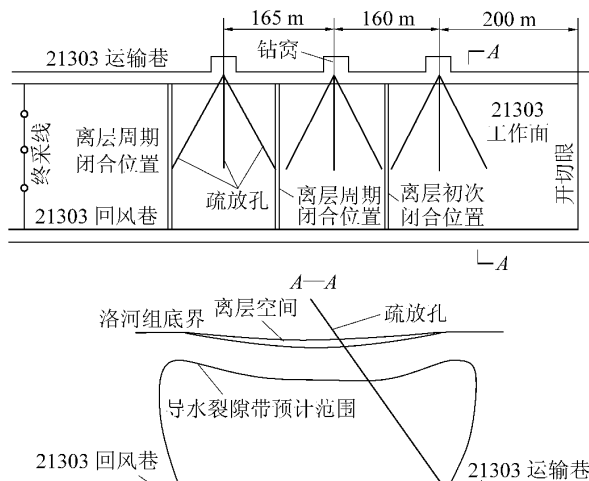


图 7 21303 工作面疏放孔布置示意

Fig. 7 Schematic diagram of layout of underground drainage holes in Panel 21303

计算分析表明, 21302 工作面开采洛河组底部离层水体初次闭合距为 300~350 m, 周期闭合距为 150~170 m。在下个回采的 21303 工作面累计设计 19 个离层水探放专用钻孔, 为保障探放水钻孔发挥最大的疏水作用, 探放水钻孔向上的仰角应以有效疏放洛河组底部离层水为目的设计, 钻孔目的层为钻进至进入洛河组垂高 30 m 止, 钻孔探放水目标位置为洛河组底界(图 7), 即井下钻孔施工至直通导流孔与洛河组底界交线(交线沿工作面推进方向), 然后钻孔继续施工到进入洛河组垂距 30 m 位置停止终孔。开孔 $\phi 127$ mm 钻进 20 m, 下 $\phi 108$ mm 套管护壁, 然后用 $\phi 91$ mm 扫孔并钻进至终孔。终孔后下 $\phi 75$ mm 厚壁花管, 孔口安设闸阀, 根据钻孔目的任务安装精度为 0.1 MPa 的水压表, 并安装流量表。除作特别要求的钻孔外, 各钻孔距终孔 50 m 取心, 直到判定为洛河组地层为止。

4 结 论

1) 随着工作面的涌突水过程, 洛河组水水位会经历洛河组水位自然恢复阶段、离层空间充水阶段、水位显著下降阶段和水位恢复阶段。

2) 21302 工作面离层主要发育在洛河组及其底

界面与泥岩等软岩顶界面之间, 洛河组砂岩水为其下离层空间的补给水源。

3) 导致波及范围内的含水层均为极弱富水含水层, 涌水量为 $343.12 \text{ m}^3/\text{h}$, 而 21301 和 21302 工作面开采期间的顶板水害瞬时最大涌水量达到 $1100 \text{ m}^3/\text{h}$, 且涌水水质为洛河组含水层水质, 说明了洛河组底部离层水的存在。

4) 对崔木煤矿顶板离层水的防治, 采用井下探放水钻孔对离层空间积水水体进行有效疏放, 有效避免了下个回采的 21303 工作面回采中顶板离层水水害事故的发生。

参考文献 (References):

- [1] 李 伟, 李文平, 李小琴, 等. 淮北矿区整体结构顶板特大动力突水水害查治试验研究[R]. 徐州: 中国矿业大学, 2006.
- [2] 乔 伟, 李文平, 孙如华, 等. 煤矿特大动力突水动力冲破带形成机制研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(11): 1726-1733.
Qiao Wei, Li Wenping, Sun Ruhua, et al. Formation mechanism of dynamic impact failure zone of super dynamic water inrush in coal mine [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(11): 1726-1733.
- [3] 胡东祥. 济宁煤田巨厚覆岩离层突水机理初探[J]. 能源技术与管理, 2010(1): 94-96.
Hu Dongxiang. Primary investigation of water inrush from separation layer under huge thickness overlying rock of Jining Coal Field [J]. Energy Technology and Management, 2010(1): 94-96.
- [4] 乔 伟, 李文平, 李小琴. 采场顶板离层水“静水压涌突水”机制及防治[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 mining face [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2011, 28(1): 96-104.
- [5] 杨吉平, 李学华. 工作面顶板离层水积水量预测及探放方案[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2012, 27(3): 1-4.
Yang Jiping, Li Xuehua. Water prediction of roof abscission layer deposition and explore put scheme in working face [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 27(3): 1-4.
- [6] 褚彦德. 宁东鸳鸯湖矿区红柳煤矿顶板砂岩突水机理分析[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(4): 34-39.
Chu Yande. Analysis of roof sandstone water bursting mechanism in Hongliu Coalmine, Yuanyanghu Mining Area, Eastern Ningxia [J]. Coal Geology of China, 2013, 25(4): 34-39.
- [7] 李吴波, 吴 鹏, 王现金. 缓倾斜地层顶板离层水对综采工作面的危害及防治探讨[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(10): 42-45.
Li Wubo, Wu Peng, Wang Xianjin. Probe into gently dipping strata roof stratifugic water jeopardizing on fully mechanized mining face and controlling [J]. Coal Geology of China, 2009, 21(10): 42-45.
- [8] 孙治范, 颜世杰, 王永全, 等. 软岩地层采场顶板离层涌水机理

- 初探[J].煤炭科技,2012(3):27-31.
- Sun Zhifan,Yan Shijie,Wang Yongquan,et al.Primary investigation of water inrush from separation layer over mining face of soft rock stratum[J].Coal Science & Technology Magazine,2012(3):27-31.
- [9] 张永红.采场覆岩层离层积水对开采的影响及防治[J].陕西煤炭,2013(2):46-48.
- Zhang Yonghong.Influence,prevention and control of separation layer water on mining face in overlying rock[J].Shaanxi Coal,2013(2):46-48.
- [10] 江波,魏新,张玉东.海下软覆岩煤层顶板离层水发育规律数值模拟研究[J].矿业安全与环保,2013,40(2):24-27.
- Jiang Bo,Wei Xin,Zhang Yudong.Numerical simulation research on roof bed-separation water development rule of submarine coal seam with incompetent overburden rock[J].Mining Safety & Environmental Protection,2013,40(2):24-27.
- [11] 王长俊,郝延锦.关于岩层移动过程中的离层位置判别[J].煤炭技术,2008,27(5):140-141.
- Wang Changjun,Hao Yanjin.Study on separated strata mechanism in coal mine[J].Coal Technology,2008,27(5):1-2.
- [12] 杨伦,于广明,王旭春,等.煤矿覆岩采动离层位置的计算[J].煤炭学报,1997,22(5):477-480.
- Yang Lun,Yu Guangming,Wang Xuchun,et al.Calculation of position of separated strata due to mining in coal mine[J].Journal of China Coal Society,1997,22(5):477-480.
- [13] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等.岩层控制的关键层理论[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003:18-20.
- [14] 杨庆,乔伟,乐建,等.巨厚煤层综采工作面顶板离层水形成条件分析及评价[J].矿业安全与环保,2014,41(3):64-70.
- Yang Qing,Qiao Wei,Le Jian,et al.Analysis on formation condition of water in roof bed separation in fully mechanized face of extra-thick seam and evaluation of its risk[J].Mining Safety & Environmental Protection,2014,41(3):64-70.
- [15] 乔伟,黄阳,袁中帮,等.巨厚煤层综放开采顶板离层水形成机制及防治方法研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(10):2076-2084.
- Qiao Wei,Huang Yang,Yuan Zhongbang,et al.Study of formation mechanism and prevention method of water inrush from roof bed separation with full-mechanized caving mining ultra thick coal seam[J].Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2014,33(10):2076-2084.
- (上接第116页)
- Zhang Zhen,Gao Jiao,Hou Manman.Centralized control system of coal mine underground belt based on S7-300PLC[J].Coal Mine Machinery,2015,36(1):224-225.
- [19] 张霖.基于S7-300PLC的煤层气发电生产过程监控系统的研究与设计[D].太原:太原理工大学,2010:30-33.
- Zhang Lin.The research and design of the monitoring system for coal-bed methane power generation process based on S7-300PLC[D].Taiyuan:Taiyuan University of Technology,2010:30-33.
- [20] 赵桂清.基于S7-300的工业锅炉PID控制[J].制造业自动化,2011,33(5):24-26.
- Zhang Guiqing.PID control for industrial boilers based on S7-300[J].Manufacturing Automation,2011,33(5):24-26.