

井下上仰钻孔突水分段注浆堵水方法研究

牛光亮

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要:为了封堵塔然高勒煤矿 FS5-1 钻孔突水,同时防止在注浆过程中,引起钻场及周围涌水巷道顶板的下沉和破坏,通过采用孔内分段注浆堵水方法,在孔内初始出水位置 24.2 m 处安设环状橡胶止浆塞,将孔内出水分上、下 2 段,并在止浆塞内环处设 $\phi 63.5 \text{ mm} \times 8.0 \text{ mm}$ 的泄压钢管。在通过泄压钢管充分导水泄压的同时,对钻孔下段及周围巷道顶板的出水通道进行低压注浆,然后利用泄压管对上段钻孔及含水层进行高压注浆,成功封堵了钻孔突水。研究表明:通过在上仰孔内初始出水位置用钻机布设泄压钢管、并在钢管端部设置环状橡胶止浆塞的方法,可以有效地将孔内注浆分为 2 段,在泄压时的低压力注浆不仅可以达到预期注浆效果,而且能保证出水巷道顶板的安全,对顶板破碎时钻孔突水具有很好的治理效果,另外,该方法也可用于孔口管未固结或固结失效时,意外出水情况下的固管或堵水方案。

关键词: 钻孔突水;分段注浆;高压水;孔内止浆塞

中图分类号:TD745 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2018)03-0188-06

Study on sectional grouting and sealing method of upward water inrush hole in underground mine

NIU Guangliang

(Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to seal FS5-1 water inrush hole in Taran Gaole Mine and also prevent the subsidence and failure of the roofs in the drilling site and the surrounding water inrush gateway occurred in the grouting process, with the sectional grouting and water sealing method in the hole applied, an annular rubber packer was set 24.2 m location of the initial water inrush level in the hole. Thus the water in the hole was divided into upper and low sectional sections and there was an $\phi 63.5 \text{ mm} \times 8.0 \text{ mm}$ pressure released steel pipe set in the internal ring of the packer. When full water drainage and pressure releasing made with the water released steel pipe, a low pressure grouting was conducted in the low section of the hole and the water drainage channel in the roof of the mine gateway. Then the pressure released pipe was applied to the high pressure grouting in the upper section of the hole and the water bearing strata and the water inrush hole was successfully sealed. The study results showed that the pressure released steel pipe was set at the initial water inrush location in the hole with the drilling rig. A method to set an annular rubber packer at the end of the steel pipe could effectively divide the grouting in the hole into two sections. During the pressure releasing, a low pressure grouting would not only reach the predicted grouting effect and could ensure the safety roof of the water inrush gateway. Therefore when the roof was broken, a good control effect of the water inrush hole would be in the water inrush hole. Meanwhile, the method could be applied to unconsolidate the pipe or the consolidation was failure and to consolidate the pipe or the water sealing under the condition of the water inrush.

Key words: water inrush hole; sectional grouting; high pressure water; packer in hole

0 引言

目前,随着我国煤矿井下防治水工作的展开,探

放水工作作为一种水害探测与治理的常规手段被广泛应用,但由于在施工前对水文地质条件认识不清楚,或由于施工技术水平等原因,钻孔突水事故时有

收稿日期:2017-07-11;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.03.031

作者简介:牛光亮(1977—),男,陕西宝鸡人,工程师,硕士。E-mail:13572971077@163.com

引用格式:牛光亮.井下上仰钻孔突水分段注浆堵水方法研究[J].煤炭科学技术,2018,46(3):188-193.

NIU Guangliang. Study on sectional grouting and sealing method of upward water inrush hole in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(3): 188-193.

发生,有许多矿井甚至因为施工探放水钻孔导致井下突水事故的发生^[1-3]。对此,广大煤矿防治水工作者不仅对钻孔突水机理做了许多的研究和分析,也对各种钻孔突水后的水害治理技术、方法进行了大量的工程实践,取得了许多经验成果^[4-6]。目前,对井下钻孔突水后的注浆封堵方法大致可分为3类:第1类是在突水钻孔附近砌筑挡水墙,然后在墙后进行注浆堵水^[7],该方法需要以封堵巷道为代价,虽然安全可靠,但成本高、工期长;第2类是在有条件时,在突水钻孔周围施工注浆孔,通过注浆孔加固突水钻孔周围的围岩,然后对突水孔采用孔口静压的方式进行注浆^[8-10],该方法需要重新施工钻孔,加固孔注浆对突水孔孔口段围岩的加固效果无法保证,并且加固孔的施工和注浆首先会对突水孔周边的围岩造成一定的破坏,存在安全风险;第3类直接在突水孔内下入止浆塞,直接注浆封堵出水段^[11-13],该方法虽然能封堵出水点,但对孔口段没有注浆加固,即无法加固突水孔周边的巷道围岩。

笔者针对塔然高勒煤矿试采工作面上仰钻孔FS5-1孔突水后,水压高、水量大、出水点距离巷道顶板近、巷道因生产任务无法封堵的特点,结合目前国内外钻孔突水后的注浆堵水研究现状,在改进第3类孔内直接注浆封堵方案的同时,综合第2类方法中对孔口段注浆加固的优点,采用孔内分段注浆堵水方案,将出水钻孔在孔内分割为下部加固段和上部出水段,先对下段加固段注浆成功后,保证了上段静压注浆时的注浆压力和效果,同时避免了高压注浆对巷道顶板的破坏和威胁,从根本上解决了该突水钻孔的水害威胁。

1 水文地质概况

塔然高勒井田位于内蒙古自治区鄂尔多斯市境内,地处鄂尔多斯盆地北部侏罗纪煤田东胜区西北部边界一带。先期主要开采侏罗系中统延安组上段3-1煤层,煤层埋深586~660 m,上部主要分布有第四系含水层、白垩系志丹群含水层(约370 m)与侏罗系中统直罗组-侏罗系中下统延安组($J_{1-2}y$)裂隙孔隙承压含水层(约157 m),隔水层主要有位于白垩系底界以下至侏罗系中下统顶段的侏罗系中下统顶部隔水层(约68 m)和位于延安组顶部2煤组顶板以上的侏罗系中下统延安组($J_{1-2}y$)顶部隔水层(0~6.9 m)。其中侏罗系中统(J_2)含水层与侏罗系中下统延安组($J_{1-2}y$)岩性主要为浅灰色、灰白色中粗粒砂砾岩、灰

色、深灰色砂质泥岩,次为细粒砂岩、粉砂岩等。据矿井首采区水文地质补勘与放水试验成果资料,该含水层厚度121~135 m,平均128 m,水位标高为+1 337.14~+1 343.69 m,单位涌水量 $q=0.03\sim 0.20$ L/(s·m),渗透系数 $K=0.015\ 4\sim 0.232\ 7$ m/d。含水层富水性中等,渗透性中等,因埋藏较深,地表无出露,所以垂向补给条件较差,但存在一定的侧向补给,该含水层段为3-1煤层的直接和主要充水含水层段。

2 钻孔概况

2.1 钻孔突水情况

FS5-1钻孔位于试采工作面回风巷273 m处,设计为井下3-1煤顶板直罗组砂砾岩含水层放水试验时的水压观测孔,在2014年2月底施工结束后一直处于关闭孔口阀门的测压状态,孔口压力为3.6 MPa,钻场周围锚索孔一直存在滴淋水现象,总水量1~2 m³/h。2014年6月4日,受钻场附近施工绕道等影响,钻孔周围锚索孔以及周围巷道顶板裂缝淋水突然增大,水量20~25 m³/h,集中出水点有6~7处。为防止钻场附近巷道顶板受高压水的作用后,出现顶板垮落事故,打开了FS5-1孔口阀门进行泄水降压,孔内出水量约60 m³/h,孔口阀门打开后,顶板淋水及锚索出水减小至1~3 m³/h。为确保试回采工作面掘进和安装,急需在确保巷道安全前提下,对出水钻孔进行注浆封堵。

2.2 钻孔施工情况

FS5-1钻孔开孔方位角90°,仰角60°,孔深63 m。施工钻机采用ZDY-4000S全液压坑道钻机,配套水泵为BW-320/60泥浆泵,钻杆采用 $\phi 63.5$ mm摩擦外平钻杆。该钻孔开孔孔径 $\phi 172$ mm,钻进6 m后,下入 $\phi 168$ mm \times 6 mm \times 5 m孔口管(中间丝扣链接,下同),用1:1水泥浆固管,待凝24 h后进行打压试验,试验压力5 MPa,打压试验合格后以 $\phi 133$ mm孔径钻进至20.5 m,下入 $\phi 127$ mm \times 8 mm \times 20 m孔口管,同样用1:1水泥浆固管,待凝24 h后进行打压试验,试验压力6.5 MPa,打压试验合格后以 $\phi 91$ mm孔径钻进至63 m,终孔。

表1 FS5-1钻孔结构

Table 1 Structure of Drillhoel FS5-1

孔径/mm	孔深/m	孔口管规格/mm \times mm \times mm	打压压力/MPa
172	6.0	$\phi 168\times 6\times 5\ 000$	5.0
133	20.5	$\phi 127\times 8\times 20\ 000$	6.5
91	63.0	—	—

钻孔施工过程中,自3-1煤顶板砂岩层中开孔,揭露地层概况为:0~4.3 m为砂岩,4.3~63.0 m终孔为砾岩,中间局部夹有砂岩。在钻进过程中,孔内初始水量1~2 m³/h,至28 m(垂高约24.2 m位置)时,孔内出水突然增大至30 m³/h,水压3.6 MPa。继续钻进过程中,涌水量逐步增大,钻进至52.5 m时测得涌水量为45 m³/h,终孔63.0 m时涌水量为60 m³/h。

3 钻孔注浆方案

3.1 充水因素分析

根据钻孔施工情况,结合水文地质资料,绘制FS5-1钻孔揭露地层如图1所示。

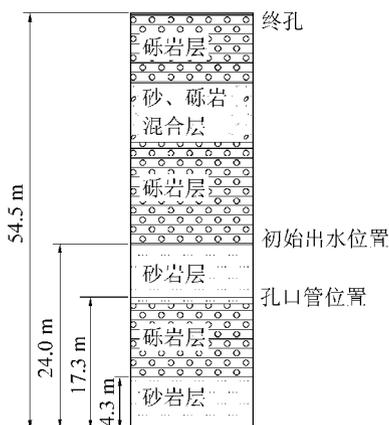


图1 FS5-1钻孔揭露地层示意

Fig.1 Strata sequence exposed in Drillhole FS5-1

从钻探过程分析,0~24.2 m(垂高,下同)段仅有少量孔隙水,可认为相对隔水层,24.2 m以上为含水层。0~17.3 m段为孔口管段,该段与钻场顶板锚索孔出水无直接联系。因此认为此次出水水源为顶部砾岩含水层水,导水通道为17.3~24.2 m段砂砾岩层与钻场周围顶板松动圈裂隙贯通(图2)。

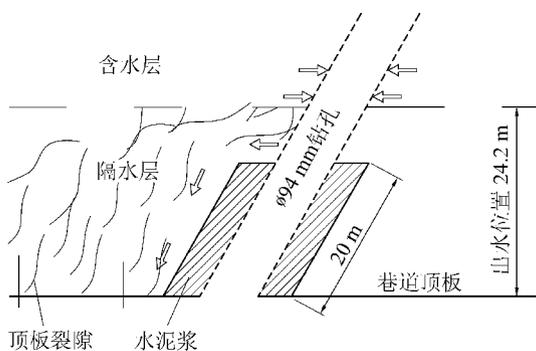


图2 FS5-1钻孔周围巷道顶板出水原因示意

Fig.2 Sketch of leaking from tunnels roof around FS5-1

由于钻孔内为高压水(3.6 MPa),而孔口管位

置(17.3 m)正好处于砂、砾岩交界处,该处岩层胶结面为弱胶结面,在高压水的不断劈裂作用下,胶结面处原生裂隙会不断扩展,最终形成层间储水空间,虽然下部砾岩层为相对隔水层,但是岩层胶结程度较差,在顶部高压水的作用下,裂隙会不断扩展。底部砂岩层强度较低,遇水容易软化,且由于钻场周围施工绕道时对围岩的二次扰动,造成原始裂隙与次生裂隙相互沟通,一旦5.3 m深的锚索孔与顶部裂隙贯通便发生导水,再沿四周松动圈裂隙渗流。高压水对岩层裂隙的劈裂作用是一个不断发展的过程,起初裂隙宽度较小,出水形式为锚索孔滴水,当某一瞬间裂隙扩展到临界宽度便会出现集中出水,出现6月4日顶板淋水突然增大的现象。

3.2 钻孔注浆难题

由于该钻孔为上仰孔,开孔位置位于巷道顶板,在封堵过程中,面临高压水对巷道顶板的威胁,并且钻孔出水量大,因此在钻孔注浆封堵方案设计时,除常规的出水钻孔注浆堵水问题外,还有下面3个问题需要同时考虑。

1) 钻场及周围巷道顶板不能承受高压水威胁。从前面充水因素分析可以看出,孔内出水点位置对应的岩层有一定的离层现象,如果直接采用孔口密闭静压注浆,高压水则有可能导致顶板离层增大,最终导致顶板冒落事故,造成顶板突水失控,使整个矿井处于高度危险状态。因此注浆时,必须避免让巷道顶板承受高压水或注浆压力的威胁。

2) 浆液凝固距离短,并且通道畅通。如果直接从孔口注浆,浆液从孔口位置注入后,在高压水作用下,会快速通过孔口管底部后,沿顶板裂隙从巷道顶板流出。并且根据出水情况分析,巷道顶板出水点集中,说明导水通道十分畅通,在如此高水压的动水条件下,水流速度十分迅速,双液浆与化学浆液凝固都十分困难,并且上仰孔无法用投入骨料的方法降低流速。

3) 注浆时必须考虑对顶板的加固。受顶板高压水和周围巷道掘进的影响,钻场及周围巷道顶板下沉明显,裂隙发育,在对出水通道封堵的同时,必须对顶板岩层进行加固,确保后期工作面生产运行期间,巷道供排水、供电、通风、行人等方面的安全。

3.3 分段注浆堵水方案

根据钻孔出水情况及治理过程中需要解决的问题,经过认真研究和对比后,设计了孔内分段注浆堵

水方案^[14],即该钻孔注浆必须按下列步骤进行。

1)第1步,对孔内出水点进行分割,将孔内的导水通道分为上、下两个部分,其中上段为含水层主要出水段,下段为孔内套管底部与巷道顶板出水点之间的导水通道,对比分析,分段点取垂高24.2 m处,即钻进时的起始出水位置,该位置以下钻进过程中基本未出水,适合做分段位置。

对孔内出水点的分割即使不能完全阻止孔内出水通过巷道顶板的导水通道流出,也应该减小其出水量或降低水的流速,以便注浆时浆液能够凝固。

同时,对孔内出水点的分割应考虑施工过程中,高压水对巷道顶板的破坏,因此孔内封孔器必须有足够的泄压通道,现场选用 $\phi 63.5\text{ mm}\times 8.0\text{ mm}$ 的钢管作为泄水通道。

2)第2步,先对分段后的下段导水通道进行注浆,封堵出水下部的导水通道,包括孔内通道与巷道顶板的导水通道,同时对顶板裂隙发育段进行加固,确保巷道顶板能承受上段注浆时高压水和注浆压力的作用。

3)第3步,待下部导水通道内浆液凝固、顶板被加固后,再对上部含水层段进行高压注浆。

4 现场施工情况

根据分段注浆方案,现场施工时,考虑到钻孔内水压高达3.6 MPa,而且孔内涌水量高达 $60\text{ m}^3/\text{h}$,人工下入孔内封孔器困难;如果用钻机将封孔器送入预定位置,则需要用钻杆做为泄压通道,但常规 $\phi 63.5\text{ mm}$ 外平钻杆内径仅为10 mm,无法有效排水泄压,在注浆时,巷道顶板仍需承受较大压力。综合考虑,专门加工与钻杆外径相同的钢管,规格为 $\phi 63.5\text{ mm}\times 8.0\text{ mm}\times 1\ 500.0\text{ mm}$,两端车丝(图3),泄压钢管即可利用钻进时加钻杆的方法,用钻机将钢管送入预定位置,避免了高压水冲击下,人工下入注

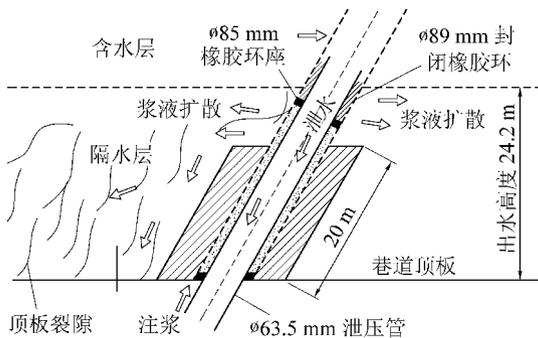


图3 下入孔内封孔器后下部注浆示意

Fig.3 Sketch of grouting operation after installation of packer

浆管的困难;同时,8.0 mm壁厚的钢管内径为55.5 mm,不仅使得泄水通道畅通,相比钻杆也节约了材料成本。

分段方案是在钢管的底部增加一段橡胶环来实现的^[15-17],橡胶环向下有一个橡胶环座,采用一段 $\phi 85\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ (长)的钢管制成,焊接在 $\phi 63.5\text{ mm}$ 的钢管端部约0.3 m处,上部套 $\phi 89\text{ mm}$ 的橡胶圈4~5个。现场施工时,在用木垛与单体液压支柱将钻场及周围巷道顶板初步加固后,用钻机将带橡胶环座和橡胶圈的泄压管送入孔内,后面持续接加工好的 $\phi 63.5\text{ mm}$ 注浆钢管19根,计算在橡胶环座到达28 m位置(垂高24.2 m)后停止下注浆管,现场实测约有 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 的涌水通过 $\phi 63.5$ 泄压钢管内流出,剩余约 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 的水通过 $\phi 63.5\text{ mm}$ 泄压钢管外部流出,同时顶板出水未见明显增大,说明泄压管端部的橡胶圈成功将孔内出水分割为了上、下2个部分。此时,利用孔口防喷装置,通过钢管外侧注入水泥-水玻璃双液浆(图4)。

注浆时,设计下部注浆采用水泥-水玻璃双液浆,根据相关研究及现场条件^[18-20],下部注浆采用双液浆,其中水泥浆的水灰比为(0.8:1.0)~(1.0:1.0),水泥浆与水玻璃体积比根据现场情况,从1.0:0.5到1.0:0.8逐步变化,水玻璃模数2.4~3.4,波美度 $22^\circ\sim 40^\circ\text{Bé}$ 。注浆压力不小于4 MPa(水压3.6 MPa,压力太大防止对顶板破坏);上部注浆采用水泥浆,水灰比为(1.5:1.0)~(0.8:1.0),注浆结束压力为1.5倍的水压,即6.0 MPa。

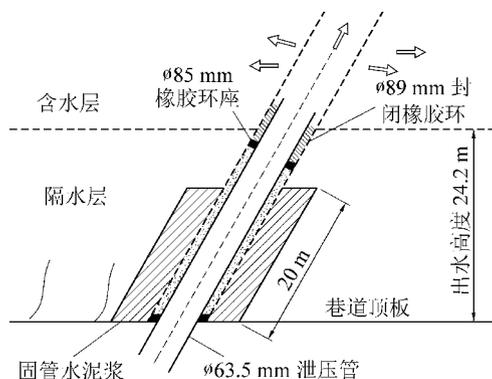


图4 经泄压管内部对上部孔段注浆示意

Fig.4 Sketch of inner grouting operation by pressure relief tube for part above packer

现场施工时,下段共注入 19.2 m^3 水泥-水玻璃双液浆后,注浆压力升高到6 MPa,同时, $\phi 63.5\text{ mm}$ 钢管内部与巷道顶板均未见出浆,但钻孔周围巷道淋水减小至 $1\text{ m}^3/\text{h}$ 以下,说明下部出水通道被完全

封堵。此时泄压管内水量略有增大,约 $53 \text{ m}^3/\text{h}$;待凝 48 h 后,通过 $\phi 63.5 \text{ mm}$ 钢管内部开始注浆,注浆起始水灰比采用 1.5 : 1 的稀浆,开始升压后逐步向 0.8 : 1.0 的稠浆过渡,注浆结束时稳定压力 6.0 MPa,本阶段共注入水泥浆 24 m^3 ;注浆结束 36 h 后,打开注浆阀门, $\phi 63.5 \text{ mm}$ 泄压钢管内部浆液凝固,钻孔周围巷道顶板淋水小于 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$,钻场及周围巷道顶板未发现新的变形或破坏,突水钻孔分段注浆堵水成功。

5 结 论

1) 通过在井下上仰孔内下入 $\phi 63.5 \text{ mm}$ 的泄压管,在其端部增加橡胶环的方法,将突水钻孔分为上、下两段进行治理,分段位置选择孔内起始出水点 24.2 m 处,先在泄压管排水降压的同时,用双液浆对下部导水通道进行治理,然后再对上部出水段进行注浆封堵。

2) 泄压管采用 $\phi 63.5 \text{ mm} \times 8.0 \text{ mm}$ 的钢管,首先是因为此钢管的外径和摩擦钻杆的外径相同,可利用钻机送入孔内;其次是 8 mm 壁厚的钢管有利于排水泄压。在钢管内部泄压的同时,外部注浆压力仅仅需要克服 24.2 m 的水柱高度和浆液自重,就可以将浆液送入预定注浆位置,有利于保障巷道顶板的安全。

3) 泄压管底部的橡胶环可以封堵大部分的出水,使得泄压管外部的水量明显减小,在利用孔口防喷装置对泄压管外部注浆时,承受水压小,浆液流动速度慢,利于浆液凝固,因此现场未见双液浆从巷道顶板流出,但巷道顶板的出水点均已被封堵。

4) 由于该方法在下段注浆时无需抵抗孔内高压水,对钻孔周围围岩几乎无破坏,因此十分利于孔口管失效时的应急处理。同时,对孔口管未固结之前的意外出水也提供了一种可行的固管思路。

参考文献 (References) :

[1] 苗会明,汤阳春.复杂地质条件下钻孔突水发生机理、危害及处理措施[J].中国煤炭工业,2013,22(8):42-43.
MIAO Huiming, TANG Yangchun. Occurrence mechanisms, harms and measures for borehole water bursting under complex geological conditions[J]. China Coal Industry, 2013, 22(8): 42-43.

[2] 张 蓓,张桂民,张 凯,等.钻孔导致突水溃沙事故机理及防治对策研究[J].采矿与安全工程学报,2015,32(2):219-226.
ZHANG Bei, ZHANG Guimin, ZHANG Kai, et al. Water and sands bursting mechanism induced by geological borehole and control

measures[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 32(2):219-226.

[3] 刘德民,连会青,李 飞.封闭不良钻孔侧壁突水机理研究[J].中国安全生产科学技术,2014,10(5):74-77.
LIU Demin, LIAN Huiqing, LI Fei. Study on the mechanisms of side-wall water bursting of poor sealing borehole[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(5): 74-77.

[4] 蒋耀忠.对封孔不良地质钻孔透水性预测分析与研究[J].神华科技,2017,15(2):47-49.
JIANG Yaozhong. Predicting analysis and study to the drill water permeability of sealing unfavorable geology[J]. Shenhua Science and Technology, 2017, 15(2): 47-49.

[5] 张利标.扩孔加壁治理钻孔井下突水[J].西部探矿工程,2004,16(6):108-109.
ZHANG Libiao. Treatment of bore water bursting by amplifying diameter and adding walls[J]. West China Exploration Engineering, 2004, 16(6): 108-109.

[6] 王喜兵,王义德.定向钻孔注浆封堵井下突水[J].矿业工程,2006,4(1):19-21.
WANG Xibing, WANG Yide. Directional borehole grouting and blocking of underground water bursting[J]. Mining Engineering, 2006, 4(1): 19-21.

[7] 常英俊.井下探水钻孔动水条件下注浆治理[J].山西焦煤科技,2015,39(S1):7-9,13.
CHANG Yingjun. Grouting governance under underwater drilling water flow[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2015, 39(S1): 7-9, 13.

[8] 程龙艺,胡荣杰,袁中帮,等.井下高压注浆钻孔突水治理技术[J].中州煤炭,2012,34(11):62-63,66.
CHENG Longyi, HU Rongjie, YUAN Zhongbang, et al. Governance techniques for water bursting of underground high-pressure grouting[J]. Zhongzhou Coal, 2012, 34(11): 62-63, 66.

[9] 高家平,张胜军,丁亚恒,等.复杂地质条件下钻孔突水治理技术[J].中州煤炭,2013,35(3):91-93.
GAO Jiaping, ZHANG Shengjun, DING Yaheng, et al. Governance techniques for borehole water bursting under complex geological conditions[J]. Zhongzhou Coal, 2013, 35(3): 91-93.

[10] 刘斯筠,黄有汉.井下高压突水钻孔的处理[J].煤炭科学技术,1997,25(5):46-48.
LIU Siyun, HUANG Youhan. Treatment of underground high-pressure water bursting borehole [J]. Coal Science and Technology, 1997, 25(5): 46-48.

[11] 翟果红,蒋承林,王法凯.基于高压注浆与胶囊压力黏液封孔技术的瓦斯测压[J].煤炭科学技术,2010,38(5):47-49,53.
ZHAI Guohong, JIANG Chenglin, WANG Fakai. Gas pressure measurement based on high pressure grouting and capsule pressure binder sealing technology[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(5): 47-49, 53.

[12] 梁 为,王海鹏,尹尚先.胶囊式分段注浆止浆塞的研制[J].煤炭工程,2011,43(3):114-116.
LIANG Wei, WANG Haipeng, YING Shangxian. Research and de-

- velopment of packer for capsule type stage grouting[J].Coal Engineering,2011,43(3):114-116.
- [13] 赵晓明,韩贵雷,于同超.帷幕注浆工程中止浆塞的应用[J].矿业工程,2010,8(6):60-61.
ZHAO Xiaoming,HAN Guilei,YU Tongchao.Stopping plug applies in curtain grouting process[J].Mining Engineering,2010,8(6):60-61.
- [14] 牛光亮.塔然高勒煤矿放水试验钻孔注浆封闭方案[R].西安:中煤科工集团西安研究院有限公司,2014.
- [15] 陈福民.橡胶封孔器在煤矿井下的应用[J].低碳世界,2014,4(3):123-124.
CHEN Fumin.Application of rubber hole packers in coal mine [J].Low Carbon World,2014,4(3):123-124.
- [16] 冯帅,王国鸿.矿用注浆封孔器的研制及应用[J].煤矿机械,2011,32(4):150-152.
FENG Shuai,WANG Guohong.Research and application of mine grouting hole packer [J].Coal Mine Machinery,2011,32(4):150-152.
- [17] 梁为,蒋蓉,陈学习.水力膨胀式自动封孔器的研制[J].煤炭技术,2009,28(9):4-6.
LIANG Wei,JIANG Rong and CHEN Xuexi.Study on hydraulic expansion automatic hole packer[J].Coal Technology,2009,28(9):4-6.
- [18] 刘文永.注浆材料与施工工艺[M].北京:中国建材工业出版社,2008.
- [19] 陈光新,孙文成,陈学武,等.水泥-水玻璃双液浆凝胶时间试验分析[J].广东公路交通,2014,40(4):64-66.
CHEN Guangxin,SUN Wencheng,CHEN Xuewu, et al. Experimental analysis of cement-water glass double-slurry gelation time [J].Guangdong Highway Communications,2014,40(4):64-66.
- [20] 安妮,赵宇,石文广,等.水泥-水玻璃双液浆的特性试验研究及应用[J].铁道建筑,2011,51(12):128-130.
AN Ni,ZHAO Yu,SHI Wenguang, et al.Characteristics experimental study and application of cement-water glass double-slurry [J].Railway Engineering,2011,51(12):128-130.

(上接第129页)

- ment [J].Industry and Mine Automation,2014,40(12):21-25.
- [15] 廖志强,陈东春.煤矿井下电磁干扰源及抗干扰技术研究[J].工矿自动化,2012,38(7):25-28.
LIAO Zhiqiang,CHEN Dongchun.Research of underground electromagnetic interference sources and anti-interference technology [J].Industry and Mine Automation,2012,38(7):25-28.
- [16] 潘泉,孟晋丽,张磊,等.小波滤波方法及应用[J].电子与信息学报,2007,29(1):236-242.
PAN Quan,MENG Jinli,ZHANG Lei, et al. Wavelet filtering method and its application[J].Journal of Electronics and Information Technology,2007,29(1):236-242.
- [17] 张仁辉,杜民.小波分析在信号去噪中的应用[J].计算机仿真,2005,22(8):69-72.
ZHANG Renhui,DU Min.Application of wavelet analysis in denoise processing [J].Computer Simulation,2005,22(8):69-72.
- [18] 路伟涛,杨文革,洪家财.新的小波滤波算法及其在甚长基线干涉测量中的应用[J].信号处理,2014,30(5):553-560.
LU Weitao,YANG Wenge,HONG Jiakai.A novel wavelet filtering algorithm and its application to very long baseline interferometry [J].Journal of Signal Processing,2014,30(5):553-560.
- [19] 赵闻蕾,孔莉,王娟娟,等.基于MATLAB和小波变换的电力机车谐波电流分析[J].电力自动化设备,2012,32(1):103-106.
ZHAO Wenlei,KONG Li,WANG Juanjuan, et al. Harmonic analysis based on MATLAB and wavelet transform for electrical locomotive[J].Electric Power Automation Equipment,2012,32(1):103-106.
- [20] 窦慧晶,王千龙,张雪.基于小波阈值去噪和共轭模糊函数的时频差联合估计算法[J].电子与信息学报,2016,38(5):1123-1128.
DOU Huijing,WANG Qianlong,ZHANG Xue.A joint estimation algorithm of TDOA and FDOA based on wavelet threshold denoising and conjugate fuzzy function[J].Journal of Electronics & Information Technology,2016,38(5):1123-1128.