

外错高抽巷卸压瓦斯抽采钻孔测斜与纠偏技术

王红胜¹ 杜政贤¹ 樊启文² 双海清¹ 解俊祥² 由临东¹

(1. 西安科技大学 能源学院 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室 陕西 西安 710054;

2. 霍州煤电集团有限责任公司 李雅庄煤矿 山西 霍州 031408)

摘 要:为解决李雅庄煤矿2—603工作面卸压瓦斯抽采钻孔钻进轨迹偏离钻孔原设计轨迹的难题,基于原设计钻孔的测斜结果,提出了角度补偿纠偏方法及钻孔纠偏效果评价指标。原设计151、152号钻孔的测斜结果表明:终孔位置偏斜距离分别为4.203、4.481 m,采用角度补偿纠偏方法后钻孔终孔位置偏斜距离为1.363 m。纠偏后钻孔瓦斯体积分数的最大值和平均值较纠偏前分别提高了15.3%、11.6%,且持续抽采时间增加了1~6 d。纠偏效果表明:该方法基本解决了钻孔偏斜问题,提高了卸压瓦斯抽采效果。

关键词:外错高抽巷;卸压瓦斯;钻孔测斜;钻孔纠偏;角度补偿

中图分类号:TD713

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2015)08-0077-05

Inclination measuring and deviation correction technology of pressure released gas drainage borehole in external dislocated high level gateway

Wang Hongsheng¹, Du Zhengxian¹, Fan Qiwen², Shuang Haiqing¹, Xie Junxiang², You Lindong¹

(1. MOE Key Lab of Mining and Disaster Prevention and Control in West China Mine School of Energy, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Liyazhuang Mine Huozhou Coal and Electricity Group Corporation Limited Huozhou 031408, China)

Abstract: In order to solve the drilling trace of pressure released gas drainage borehole offsetting the original design trace of the borehole, based on the inclination measured results of the original designed borehole, an angle compensation and correction method and the evaluation index of borehole correction effect were provided. The inclination measured results of the original designed No.151 and 152 boreholes showed that the deviation distance of the borehole final location was 4.203 m and 4.481 m individually and after the angle compensation and correction method conducted, the deviation distance of the borehole final location was 1.363 m. After the deviation correction conducted, the max value and average value of the borehole gas density was increased by 15.3% and 11.6% individually higher than before the deviation correction conducted and the continued drainage time was increased by 1~6 days. The deviation correction effect showed that the method could solve the borehole deviation problem basically and could improve the pressure released gas drainage effect.

Key words: external dislocated high level gateway; pressure released gas; borehole inclination; borehole deviation correction; angle compensation

0 引 言

卸压抽采主要是采用钻孔抽采受采动影响煤层涌出的瓦斯,是有效治理由于采空区或邻近层瓦斯导致工作面瓦斯超限的抽采技术之一,在我国高瓦斯矿井中被广泛应用^[1-5]。为达到卸压抽采效果,

须在井下布置一定数量的钻孔。据统计,高瓦斯矿井万吨煤瓦斯抽采钻孔长度约为1 500 m^[6]。然而,在钻孔施工过程中,受岩性变化、钻具结构、钻杆自重、钻进工艺、施工技术等因素影响^[7],钻孔实际轨迹与设计轨迹偏差大,导致钻孔终孔位置偏离设计位置大,易造成瓦斯抽采盲区,势必影响瓦斯抽采

收稿日期:2015-01-11;责任编辑:王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.08.015

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2015CB251600)

作者简介:王红胜(1976—),男,安徽池州人,副教授,博士。Tel: 18309186988 E-mail: cumtwhs@xust.edu.cn

引用格式:王红胜,杜政贤,樊启文,等.外错高抽巷卸压瓦斯抽采钻孔测斜与纠偏技术[J].煤炭科学技术,2015,43(8):77-81.

Wang Hongsheng, Du Zhengxian, Fan Qiwen, et al. Inclination measuring and deviation correction technology of pressure released gas drainage borehole in external dislocated high level gateway[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(8): 77-81.

效果,导致工作面,尤其是其上隅角瓦斯超限,给工作面安全高效回采埋下隐患。因此,钻孔钻进过程中,极有必要掌握钻孔轨迹,并采用钻孔纠偏技术减少钻孔偏移量,使钻孔实际轨迹接近设计轨迹,确保钻孔终孔位置达到设计要求,以保证瓦斯抽采达到预期效果。笔者针对李雅庄煤矿 2-603 工作面地质条件,在 2-603 外错高抽巷内开展卸压瓦斯抽采钻孔测斜与纠偏技术工业性试验分析。

1 地质条件概况

1) 工作面地质条件概况。2-603 工作面位于 1、2 煤层的合并层,煤层厚度为 3.14~3.70 m,平均为 3.58 m;煤层一般含 1 层夹矸,局部区域含 2 层,以泥岩、炭质泥岩为主,属复杂结构煤层。煤层倾角为 5° ~ 16° ,平均 8° ,采用后退式走向长壁一次采全高全部垮落综合机械化采煤方法。基本顶为细砂岩,厚度为 3.45~6.00 m;直接顶为砂质泥岩,厚度为 0~2.87 m;伪顶为泥岩,厚度为 0~0.30 m;直接底为粉砂岩,厚度为 1.40~3.00 m;基本底为泥岩,厚度为 1.50~2.70 m。

2) 外错高抽巷布置参数。2-603 工作面虽然采用了本煤层抽采,因煤层透气性系数小,导致本煤层抽采效果不理想,在回采过程中工作面上隅角瓦斯易超限。为解决工作面上隅角瓦斯超限难题,在 2-603 工作面顶板布置外错高抽巷。前期,在高抽巷内布置抽采钻孔抽采 2-603 工作面采动覆岩裂隙带内的瓦斯;后期,通过高抽巷抽采 2-605 工作面采动覆岩裂隙带内的瓦斯。高抽巷布置如图 1 所示。

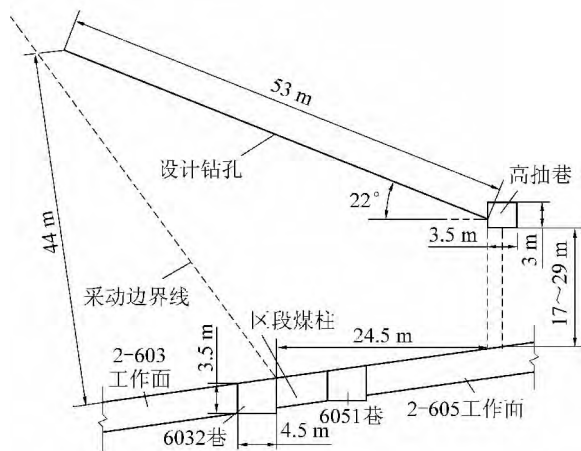


图 1 高抽巷布置

Fig. 1 Layout of the high drainage roadway

2 钻孔测斜仪

1) 测斜仪组成。矿用回转钻机测斜仪由随钻测量探管、主机、上位机软件等组成。将随钻测量探管安装在无磁钻杆内,在钻进过程中,随钻测量探管采集钻孔倾斜角、工具面向角以及地磁方位角等数据,存储在磁盘芯片中;与此同时,主机接受操作工人的按键操作,进行有效测点数据采集,并存储。经过上位机软件对探管和主机数据的分析处理,绘制钻孔的空间轨迹曲线。

2) 测斜原理。钻孔轨迹是空间中一条连续曲线,在测量轨迹时,钻孔轴线上任一点的空间坐标均由孔深、钻孔倾斜角和地磁方位角等 3 个参数唯一确定^[8]。钻孔倾斜角和地磁方位角的测量是在 2 个坐标系基础上建立的^[8],如图 2 所示。 $Ox_bY_bZ_b$ 是仪器机体坐标系,位于仪器探管上,并受探管姿态变化而变化。纵轴 OZ_b 为探管轴向,指向探管顶端; Ox_b 轴和 OY_b 轴在探管径向平面内相互彼此正交。 $O_iX_iO_iY_iZ_i$ 是地理坐标系, O_iX_i 轴指向地磁北, O_iY_i 轴指向地磁西, O_iZ_i 轴为地垂线。 $O_iX_iY_iZ_i$ 是钻孔轴线走向坐标系。以上 2 个坐标系均遵守右手规则^[9-11]。

探管倾斜角(图 2 中 $\angle D$) 是仪器机体坐标系 OZ_b 轴与地理坐标系 O_iZ_i 轴的夹角。地磁方位角(图 2 中 $\angle A$) 是探管 OZ_b 轴和 O_iZ_i 轴所在平面 $O_iZ_bZ_i$ 与地理坐标系 O_iX_i 轴和 O_iZ_i 轴所在平面 $O_iX_iZ_i$ 的夹角,顺时针方向由北向东为正。工具面向角(图 2 中 $\angle R$) 是探管以 OZ_b 为轴,顺时针自旋转,从探管轴线 OZ_b 所在的地垂平面 OZ_bZ_i 转到由仪器坐标系 OZ_b 和 Ox_b 轴所在的平面 Ox_bZ_b 之间的夹角。

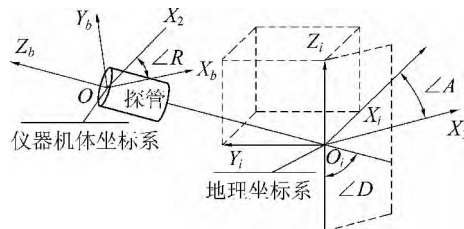


图 2 仪器机体坐标系和地理坐标系

Fig. 2 Instrument coordinate and geographic coordinate

仪器机体坐标系 $Ox_bY_bZ_b$ 是由地理坐标系 $O_iX_iY_iZ_i$ 经 3 次坐标旋转后达到的^[9-11]。旋转过程中,地磁方位角为第 1 次旋转角,探管倾斜角为第 2 次旋转角,工具面向角为第 3 次旋转角。经公式推

导^[8]可分别得到探管倾斜角 $\angle D$ 、工具面向角 $\angle R$ 和地磁方位角 $\angle A$ 的计算公式:

$$\angle D = \arctan(\sqrt{g_x^2 + g_y^2} / g_z) \quad (1)$$

$$\angle R = \arctan(g_y / g_x) \quad (2)$$

$$\angle A = \arctan \frac{g(h_x g_y - h_y g_x)}{h_z(g_x^2 + g_y^2) - g_z(h_x g_x + h_y g_y)} \quad (3)$$

式中 g 为重力加速度; g_x 、 g_y 、 g_z 分别为重力加速度 g 在 OX_b 、 OY_b 和 OZ_b 轴上的分量; h_x 、 h_y 、 h_z 分别为地磁场向量在 OX_b 、 OY_b 和 OZ_b 轴上的分量。

3 钻孔纠偏及其效果评价

3.1 角度补偿纠偏方法的提出

角度补偿纠偏方法是在一定的地质条件、施工技术、工艺、钻机操作等方法条件限制情况下, 先采用钻孔测斜仪测出钻孔偏斜角度, 然后在施工过程中对钻孔设计角度进行相反方向的角度补偿, 纠偏后钻孔实际轨迹与钻孔设计轨迹的偏斜在可接受范围内的一种钻孔纠偏方法。

角度补偿纠偏原理如图 3 所示。在钻孔倾角变化不大时, 假设钻孔偏斜轨迹变化也不大, 可通过镜像原理实现角度补偿, 由钻孔测斜可得钻孔偏斜

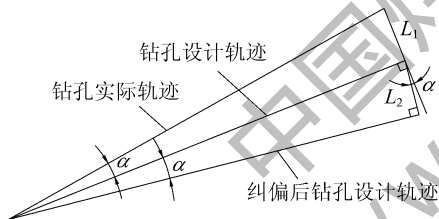


图 3 角度补偿纠偏原理

Fig. 3 Rectification principle of the angle compensation

距离 L_1 、偏斜角度 α 。在地质条件、施工技术、钻进工艺、钻机操作等方法其他因素不变的前提下, 纠偏后的钻孔依然会向上偏斜距离为 L_1 , 纠偏后设计钻孔终孔距初始设计钻孔终孔的距离为 L_2 。 L_1 和 L_2 的关系如下:

$$L_2 = L_1 \cos \alpha \quad (4)$$

因 $\cos 10^\circ = 0.9848$ 、 $\cos 25^\circ = 0.9064$, 当 $\alpha < 10^\circ$ 时 L_1 与 L_2 的偏差也较小, 纠偏精度在理想状态下可以达到 0.9848; 当 $\alpha < 25^\circ$ 时, 在纠偏精度要求不是特别高的情况下也可满足要求。简单用 L_1 和 L_2 的偏差来衡量钻孔的偏斜, 使钻孔实际轨迹尽可能地接近原设计钻孔轨迹。

鉴于钻孔偏斜轨迹受现场地质条件、施工技术、钻孔角度等因素变化而变化, 因此在采用角度补偿纠偏时, 要多次进行钻孔测斜与纠偏, 以确定合适的纠偏角度。

3.2 钻孔纠偏效果评价

把钻孔轨迹简化为直线 l_1 、 l_2 、 l_3 分别为原设计钻孔、纠偏设计钻孔、纠偏后实际钻孔, 如图 4 所示。 f 为 l_1 的终孔与 l_3 的终孔两点的水平投影, Δh 为 l_1 的终孔与 l_3 的终孔两点在倾向投影的高度差, l_1 的终孔至 l_3 的终孔距离可认为 f 与 Δh 的矢量和。

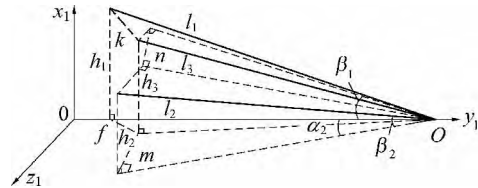


图 4 钻孔轨迹及投影

Fig. 4 Borehole track and its projection

由空间几何及余弦定理可得:

$$f = \sqrt{l_1^2 \cos^2 \beta_1 + l_2^2 \cos^2 \beta_2 + m^2 - 2 \cos \left(\alpha_2 - \arctan \frac{m}{l_2 \cos \alpha_2} \right) l_1 \cos \beta_1 \sqrt{l_2^2 \cos^2 \beta_2 + m^2}} \quad (5)$$

$$\Delta h = h_1 - h_3 = l_1 \sin \beta_1 - \sqrt{n^2 + l_2^2 - (l_2 \cos \beta_2 \sin \alpha_2)^2} \sin \left(\arcsin \frac{l_2 \sin \beta_2}{\sqrt{l_2^2 - (l_2 \cos \beta_2 \sin \alpha_2)^2}} + \arctan \frac{n}{\sqrt{l_2^2 - (l_2 \cos \beta_2 \sin \alpha_2)^2}} \right) \quad (6)$$

$$k = \sqrt{f^2 + (\Delta h)^2} \quad (7)$$

式中: l_1 为原设计钻孔孔深, m; l_2 为纠偏设计钻孔孔深, m; l_3 为纠偏后实际钻孔孔深, m; α_2 为纠偏设计钻孔水平投影角, ($^\circ$); β_1 为原设计钻孔倾角, ($^\circ$); β_2 为纠偏设计钻孔倾角, ($^\circ$); m 为纠偏设计钻孔水平偏斜距离, m; n 为纠偏设计钻孔上下偏斜距离, m; k 为 l_1 终孔位置至 l_3 终孔位置的距离, m。

当 k 值越小时, 说明纠偏后钻孔实际轨迹距钻孔设计轨迹越近, 钻孔纠偏效果越好。因此 k 可作为钻孔纠偏效果评价指标。

4 原设计钻孔测斜结果及分析

1) 设计钻孔参数。在 2-603 高抽巷内选择原设计的 151、152 号抽采钻孔进行测斜, 钻孔水平角

为 90° , 倾角为 $+22^\circ$, 钻孔深度为 53 m, 钻孔布置方式如图 1 所示。

2) 钻孔测斜结果及分析。采用 YHX7.2 矿用回转钻机测斜仪对 151、152 号钻孔进行测斜, 如图 5 所示。由图 5 可知, 151、152 号钻孔终孔位置比设计位置分别上偏了 2.236、2.133 m, 左偏量分别为 3.656、4.021 m, 经计算 151、152 号钻孔终孔位置偏移距离分别为 4.203、4.481 m。

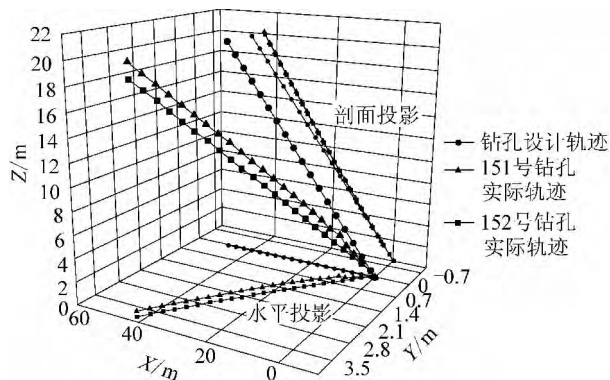


图 5 钻孔轨迹

Fig. 5 Borehole track

钻孔实际轨迹如图 6 所示, 可以得出以下结论: 水平方向上, 151、152 号钻孔都发生了左偏, 左偏角分别为 5° 、 6° ; 垂直方向上, 151、152 号钻孔分别上偏了 5° 、 4° 。

以上分析表明了钻孔实际轨迹偏离钻孔设计轨迹较大, 势必影响钻孔抽采效果。

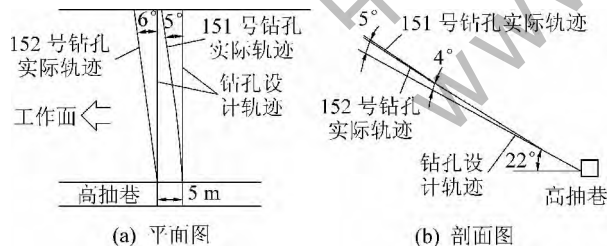


图 6 151、152 号钻孔实际轨迹

Fig 6 Actual track of No. 151 and No. 152 borehole

5 钻孔纠偏效果及分析

5.1 钻孔纠偏方案确定

5.1.1 倾向纠偏方案

方案一: 根据 151、152 号钻孔测斜结果, 倾向纠偏角度暂时定为 2° , 即在设计角度的基础上减少 2° , 如钻孔设计倾角为 $+22^\circ$, 打钻时倾角设为 $+20^\circ$ 。

方案二: 根据 151、152 号钻孔测斜结果, 倾向纠

偏角度暂时定为 4° , 即在设计角度的基础上减少 4° , 如钻孔设计倾角为 $+22^\circ$, 打钻时倾角设为 $+18^\circ$ 。

5.1.2 走向纠偏方案

方案一: 根据 151、152 号钻孔测斜结果, 纠偏角度暂时定为右偏 3° , 打钻时, 钻机向钻孔偏离方向的反方向偏离 3° 。

方案二: 根据 151、152 号钻孔测斜结果, 纠偏角度暂时定为右偏 5° , 打钻时, 钻机向钻孔偏离方向的反方向偏离 5° 。

为了节省资金、时间及钻孔施工工程量, 采取 2 个方案进行钻孔纠偏, 具体纠偏钻孔参数见表 1。

表 1 钻孔纠偏方案

Table 1 Borehole rectification scheme

纠偏方案	水平角/($^\circ$)	倾角/($^\circ$)	钻孔深度/m
方案一	87	+20	53
方案二	85	+18	53

5.2 钻孔纠偏效果及分析

1) 纠偏后钻孔测斜。根据表 2 纠偏方案进行钻孔施工, 在钻孔施工过程中对其进行测斜分析, 测斜结果见表 2。

表 2 纠偏后钻孔测斜结果

Table 2 Borehole inclination results after deviation correction

纠偏结果	左右偏差/m	上下偏差/m
方案一	左偏 1.665	上偏 1.080
方案二	左偏 2.545	上偏 2.081

2) 钻孔纠偏效果。由公式 (5)、(6)、(7) 可得方案一、方案二的钻孔纠偏效果见表 3。由表 3 可知, 方案一的钻孔纠偏效果较方案二好。

表 3 纠偏效果

Table 3 Effect of the borehole deviation correction

纠偏效果	f/m	$\Delta h/m$	k/m
方案一	1.163	0.712	1.363
方案二	2.262	1.496	2.712

3) 钻孔抽采效果分析。纠偏前后钻孔抽采效果见表 4。由表 4 可知, 纠偏后的钻孔抽采效果较纠偏前有明显提高。方案一纠偏后的钻孔抽采浓度的最大值和平均值较纠偏前分别提高了 15.3%、11.6%, 且持续抽采时间增加了 1~6 d。钻孔纠偏方案一的钻孔瓦斯抽采效果较方案二的好, 高抽巷内后续实施钻孔参照方案一进行纠偏。综合以上分析可知, 钻孔纠偏后, 钻孔实际轨迹基本达到钻孔设计要求, 能有效提高钻孔瓦斯抽采浓度, 且实现了钻孔持续抽采。

表 4 纠偏前后钻孔瓦斯抽采效果对比

Table 4 Effect comparison of gas drainage before and after boreholed eviation correction

钻孔	瓦斯体积分数 最大值 / %	瓦斯体积分数 平均值 / %	不同瓦斯体积分数抽采时间 / d					
			60% ~ 70%	50% ~ 60%	40% ~ 50%	30% ~ 40%	20% ~ 30%	10% ~ 20%
纠偏前	46.4	24.2	0	1	2	6	5	10
方案一	61.7	35.8	1	2	4	12	7	4
方案二	52.6	29.3	0	1	2	10	9	8

6 结 论

1) 测斜仪工作原理的实质是在钻孔施工过程中, 实时采集钻孔孔深、钻孔倾斜角、工具面向角和地磁方位角等数据, 绘制钻孔的空间轨迹曲线。

2) 提出了角度补偿纠偏方法。即先采用钻孔测斜仪测出钻孔偏斜角度, 然后在钻孔施工过程中对钻孔设计角度进行相反方向的角度补偿; 当纠偏角度较小时, 纠偏后钻孔轨迹与钻孔设计轨迹的偏斜在可接受范围内, 纠偏精度能满足要求。

3) 提出了钻孔纠偏效果评价指标 k 及其计算方法。当 k 值越小时, 说明了钻孔实际轨迹距钻孔设计轨迹越近, 表明了钻孔纠偏效果越好。

4) 高抽巷内 151、152 号钻孔终孔位置比原设计位置分别上偏了 2.236、2.133 m, 分别左偏了 3.656、4.021 m; 钻孔终孔位置偏移距离分别为 4.203、4.481 m。水平方向上 151、152 号钻孔左偏角分别为 5°、6°, 垂直方向上 151、152 号钻孔分别上偏了 5°、4°。测斜结果表明了钻孔实际轨迹偏离钻孔设计轨迹较大, 影响钻孔抽采效果。

5) 纠偏后的钻孔瓦斯体积分数的最大值和平均值较纠偏前分别提高了 15.3%、11.6%, 且持续抽采时间增加了 1~6 d。纠偏效果表明, 纠偏后钻孔实际轨迹基本达到了设计要求, 解决了施工钻孔偏斜问题, 保障了终孔位置达到设计要求, 有效提高了钻孔瓦斯抽采浓度, 且实现了钻孔的持续抽采, 保障了 2-603 工作面的安全高效回采。

参考文献:

[1] 方良才.淮南矿区瓦斯卸压抽采理论与应用技术[J].煤炭科学技术 2010, 38(8): 56-62.
Fang Liangcai. Gas pressure releasing and drainage theory and application technology in Huainan Mining Area [J]. Coal Science and Technology 2010, 38(8): 56-62.

[2] 刘林.下保护层合理保护范围及在卸压瓦斯抽采中的应用[D].徐州: 中国矿业大学, 2010.

Liu Lin. Rational protection range of lower protective layer and application in pressure-relief gas extraction [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2010.

[3] 袁亮.卸压开采采瓦斯理论及煤与瓦斯共采技术体系[J].煤炭学报, 2009, 34(1): 1-8.
Yuan Liang. Theory of pressure-relieved gas extraction and technique system of integrated coal production and gas extraction [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(1): 1-8.

[4] 马占国, 赵国贞, 龚鹏, 等.采动岩体瓦斯渗流规律[J].辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2011, 30(4): 497-500.
Ma Zhanguo, Zhao Guozhen, Gong Peng, et al. Gas seepage in mined rock mass [J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2011, 30(4): 497-500.

[5] 马国强, 陈如忠, 崔刚, 等.近距离突出煤层群上保护层瓦斯综合治理技术[J].煤炭科学技术, 2015, 43(3): 52-55.
Ma Guoqiang, Chen Ruzhong, Cui Gang, et al. Gas comprehensive control technology of upper protective seam in contiguous outburst seams [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(3): 52-55.

[6] 石智军, 姚宁平, 叶根飞.煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工技术与装备[J].煤炭科学技术, 2009, 37(7): 1-4.
Shi Zhijun, Yao Ningping, Ye Genfei. Construction technology and equipment for gas drainage borehole drilling in underground coalmine [J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(7): 1-4.

[7] 苏现波, 刘晓, 马保安, 等.瓦斯抽采钻孔修复增透技术与装备[J].煤炭科学技术, 2014, 42(6): 58-60.
Su Xianbo, Liu Xiao, Ma Baoan, et al. Repairing and enhancing permeability technology and equipment of gas drainage borehole [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 58-60.

[8] 杨华忠.井下仰角钻孔测井方法技术试验研究[D].淮南: 安徽理工大学, 2013.
Yang Huazhong. Study on logging method and technology experiments of underground elevation boreholes [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2013.

[9] 杨伟.基于 DSP 的陀螺连续测斜仪设计[D].西安: 西安科技大学, 2011.
Yang Weiwei. Design of gyroscope inclinometer based on DSP [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2011.

[10] 李番军.连续测斜仪研究[D].哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
Li Fanjun. The research of inclinometer [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.

[11] 詹文彬.智能钻孔测斜仪设计[D].成都: 西南交通大学, 2009.
Zhan Wenbin. The intelligent inclinometer design [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.