

白山坪矿煤层瓦斯参数特征及防治技术

陈再安¹, 罗文柯^{2,3}, 游波^{2,3}, 陈立良¹, 胡筱斌⁴

(1. 湖南黑金时代白山坪矿业有限公司, 湖南 耒阳 421800;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

3. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 4. 湖南省湘煤集团 长沙矿业公司, 湖南 宁乡 410600)

摘要:煤层瓦斯基础参数是表征煤层蕴含瓦斯能力大小、煤层突出危险性强弱和瓦斯抽采难易程度的关键性指标。以湖南白山坪矿-400~-600 m延深水平为研究对象,对其主采6煤的瓦斯基础参数进行了测试。6煤的瓦斯压力 P ,瓦斯含量 W ,坚固性系数 f ,放散性初速度 ΔP 等数据结果均显示其突出危险性。通过钻孔瓦斯流量衰减系数、百米钻孔瓦斯极限涌出量和煤层透气性系数测定结果显示,6煤预抽的难易程度属勉强类,由此提出了延深水平各采区的“底板岩巷条带穿层钻孔+煤巷顺层钻孔”的综合防突措施和考虑增透措施建议。

关键词:白山坪矿; 瓦斯参数; 瓦斯赋存; 延伸水平; 瓦斯防治

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2016)02-0027-07

On parameters characteristics of coal gas and prevention and control technology in the Baishanping Mine

CHEN Zai'an¹, LUO Wenke^{2,3}, YOU Bo^{2,3}, CHEN Liliang¹, HU Xiaobin⁴

(1. Hunan Black Gold Era Baishanping Mining Co. Ltd., Leiyang 421800, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

4. Changsha Mining Company, Hunan Coal Group Co. Ltd., Ningxiang 410600, China)

Abstract: Coal gas parameters is the key indicator of the ability of containing gas in coal, the danger strength of coal outburst, and the difficulty level of gas extraction. In this paper, gas parameters of NO. 6 coal from 400 meters to 600 meters underground are tested. The data are obtained, including coal gas pressure P , gas content W , sturdiness coefficient f , tossing in initial velocity ΔP , which all show the danger of the outburst. By the results of gas flow attenuation coefficient, quantity of limit of gas emission with one hundred meters borehole drilling and coal seam permeability coefficient, it shows that the difficulty of the gas extraction of NO. 6 coal is reluctant class. Thus, this paper puts forward the comprehensive outburst prevention measures of “floor rock band wear layer and bedding in coal roadway borehole drilling” and increasing the permeability in deep level of the mining area.

Key words: Baishanping Mine; gas parameter; gas deposit; deep level; gas prevention and control

煤层瓦斯的基础参数是对瓦斯在煤层中的赋存规律研究的基本参数,能显示煤层赋存瓦斯的能力、煤与瓦斯突出危险性大小和煤层瓦斯抽采难易程度,并是瓦斯抽放设计和制定瓦斯防治措施的重要依据^[1-3]。它主要包括煤的工业指标参数、瓦斯压力、瓦斯放散初速度、煤层原始瓦斯含量、瓦斯吸附常数、煤的孔隙率和煤的坚固性系数等参数^[4-7]。了解煤层瓦斯基础参数的变化特征,有利于掌握煤层瓦斯的赋存规律特征,设计瓦斯抽采和利用方案、测量计算巷道、工作面及矿井瓦斯涌出量,为矿井延深水平开采设计

收稿日期: 2015-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51274100); 教育部高等学校特色专业建设点资助项目(TS11624)

通信作者: 游波(1986-), 男, 湖南娄底人, 博士后, 讲师, 研究方向: 瓦斯灾害防治. E-mail: 494907336@qq.com

和瓦斯防治提供保障^[8-11]. 为了确保矿井生产的安全性和瓦斯治理措施的科学合理性, 避免瓦斯综合防治措施采用的盲目性, 力求做到经济、有效、可靠和可预见性, 本文则以白山坪煤矿 -400 ~ -600 m 延深水平为研究背景, 如何针对延深水平的煤层瓦斯的基础性参数进行现场与室内测定, 区分出现场工作面的危险与不危险区域, 为煤与瓦斯突出预测提供技术支持, 并对测试结果进行统计与分析和在此基础上提出延深水平的具体综合防突措施, 保障煤矿工作人员的切身利益和生命安全.

1 瓦斯治理原理及白山坪地质概况

煤矿瓦斯治理的基本理论先后经历了“局部防突措施为主、先抽后采、抽采达标和区域防突措施先行”4 个阶段, 目前建立了“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”的瓦斯治理工作体系. 通风系统温度可靠保障采掘工作面有足够的新鲜风流, 瓦斯不超限、不积聚, 防治瓦斯事故的发生. 瓦斯抽采是通过降低煤层中的瓦斯含量, 从根本上治理防治瓦斯灾害. 监测监控室利用现代化手段, 实时掌握矿井工作点的瓦斯浓度, 在瓦斯发生异常时, 及时采取措施, 杜绝事故的发生. 管理到位的基本要求是责任明确、制度完善、执行有力、监督严格. 切实履行安全生产职责, 防止安全事故.

白山坪煤矿隶属于湖南省煤业集团白山坪矿业有限公司, 位于湖南省耒阳市泗门洲镇境内. -400 ~ -600 m 水平地层共含煤 5 层, 自上而下编号为 1, 2, 3, 5, 6 煤层, 其中 6 煤层为主采煤层, 2, 5 煤层均为大部可采煤层, 3 煤为局部可采煤层, 1 煤层为不可采煤层, 可采煤层总厚 3.90 m, 可采含煤系数 2.2%. 6 号煤层可采性和赋存性较好, 为大部可采的中厚煤层, 其老顶岩石强度较高, 为中细粒砂岩, 属于较硬岩, 单轴饱和抗压强度为 33 ~ 56.9 MPa; 其直接顶板和直接底板均为粉砂岩, 直接顶板的单轴饱和平均抗压强度为 25.2 MPa, 属于较软岩; 直接底板的单轴饱和抗压强度 13.8 MPa, 属于软岩, 岩土稳定性较好. 白山坪煤矿地层综合柱状图如图 1 所示.

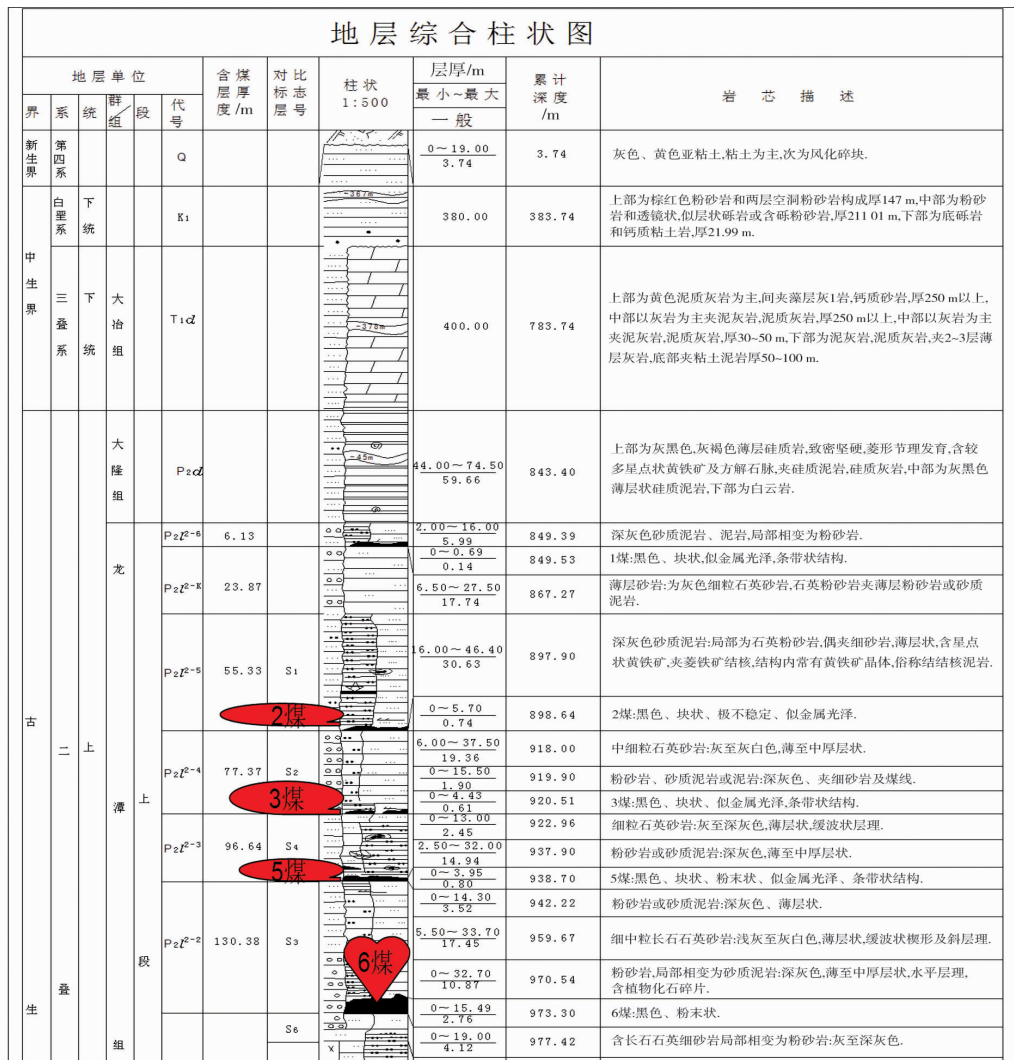


图 1 白山坪煤矿地层综合柱状图

2 白山坪矿煤层瓦斯参数及其测试原理

2.1 白山坪矿延深水平煤层瓦斯参数测定主要内容

针对白山坪煤矿-400~-600 m水平范围内的煤层赋存情况及煤层瓦斯地质构造情况,对延深水平的可采煤层6煤的基础参数测定的主要项目含有:(1)煤层的瓦斯压力;(2)煤层瓦斯含量;(3)煤层钻孔瓦斯流量衰减系数;(4)煤层百米钻孔极限瓦斯流量;(5)煤层透气性系数;(6)煤层的钻孔抽采影响半径;(7)煤层的工业性指标;(8)煤层的吸附常数(a, b)与放散初速度(ΔP)等。

2.2 煤层瓦斯基础参数测试基本原理与方法

2.2.1 煤层瓦斯压力的测试

煤层瓦斯压力是指未暴露煤体孔隙中所含游离瓦斯的气体压力,即气体作用于孔隙壁的压力.其测定方法有直接测定法与间接测定法2种.白山坪煤矿延深水平的6煤煤层瓦斯压力采用直接测定法进行测定,其测定基本原理是在延深水平6煤的-440 m和-600 m水平的底板岩石巷道分别对6煤施工测压钻孔,通过钻孔揭露6煤煤层顶板0.5 m后安设测压仪表并密封钻孔进行测压,根据《防治煤与瓦斯突出规定》对延深水平测压点的布置要求,白山坪矿延深水平6煤瓦斯压力测点布置如表1所示。

表1 煤层瓦斯参数测试点布置

测点编号	测点位置	所测煤层
1	1采区-440 m南北交岔点往南10 m	6
2	31采区-440 m南一石门往北25 m	6
3	32采区回风下山-600 m交岔点往南10 m	6
4	31采区回风下山-600 m交岔点	6

2.2.2 煤层瓦斯含量测定

煤层瓦斯含量是指单位体积或质量的煤体中所含有的瓦斯量,是煤层中吸附瓦斯和游离瓦斯的总和.其测定方法有间接测定法和直接测定法2种.本延深水平6煤的瓦斯含量采用间接测定法,其基本原理是:根据现场实测的6煤瓦斯压力 P ,6煤煤样的实验室工业性指标(水分 M_{ad} ,灰分 A_{ad} ,挥发分 V_{daf} ,真密度 T_{RD} ,视密度 A_{RD} ,孔隙率 F),吸附常数指标(a, b),然后按照公式计算煤层瓦斯压力.其技术关键是基础参数的准确性。

2.2.3 煤样的实验室测定

1)煤层煤样取样要求:根据煤层厚度分层取样,煤厚3.0 m以下,采一组煤样;5.0 m以下,采2组煤样,一组靠近煤层顶板取样;另一组靠近煤层底板取样.煤层厚度大于5.0 m,应分上、中、下采取3组煤样;如煤厚大于10 m,可根据煤厚度,分更多层次采取煤样或用钻机采取煤样;在测压钻孔施工时,采用岩心管采集每个约2 kg的新鲜煤样。

2)实验室测定的主要基础参数:6煤的工业性指标($M_{ad}, A_{ad}, V_{daf}, T_{RD}, A_{RD}, F$),坚固性系数 f ,吸附常数(a, b)和放散初速度 ΔP 等。

3)测定原理与方法:6煤的工业性指标测定是在白山坪煤矿现场的-400, -440, -480, -600 m水平施工钻孔时,分别采取煤样后利用5E-MAG6600全自动工业分析仪进行测定;煤的吸附常数(a, b)值的测定则是利用WY-98A吸附常数测定仪将经过处理的干燥煤样,装入吸附罐,真空脱气,测定吸附罐的体积,并向罐中充入一定体积的甲烷,保持吸附罐内的压力平衡,部分气体处于游离状态,部分气体被吸附,根据充入甲烷体积,去除剩余体积内的游离体积,即为吸附体积;6煤的坚固性系数是利用落锤破碎法来测定,是以“脆性材料破碎遵循面积力能说”为依据,即认为“破碎所消耗的功与破碎物料所增加的表面积的 n 次方成正比”;煤层瓦斯放散初速度 ΔP 是指3.5 g标准粒度大小的煤样在标准大气压下吸附瓦斯后向一定的真空空间释放时,用压差 ΔP 表示的10~60 s内释放出的瓦斯量指标.WT-1瓦斯扩散速度测定仪就是测定上述煤质自身的第二个因素,因此,一般而言,煤的放散性初速度 $\Delta P > 10$,就表征具有突出危险性。

2.2.4 钻孔瓦斯流量衰减系数与百米钻孔极限瓦斯涌出量的测定

1)测定原理与方法.钻孔瓦斯流量衰减系数是表示100 m长的钻孔,瓦斯流量随时间的延长呈衰减

变化关系的系数. 百米钻孔极限瓦斯涌出量是指在特定瓦斯抽采条件下, 每个钻孔的最大瓦斯涌出(抽采)量. 其物理意义分别是表征所测煤层抽采的难易程度和能抽采的瓦斯最大总量, 其测定结果对抽采方法选择与钻孔布置起决定性作用.

2) 测定方法与要求. (1) 在延深水平 3162 工作面的回风巷道内向 6 煤煤层施工 65 mm 的钻孔, 钻孔长度 75 m, 用 $\Phi 15$ mm 钢管、聚氨酯及水泥砂浆封孔, 封孔长度在 3 m 以上, 并记录成孔与封孔时间; (2) 定期测量钻孔内瓦斯流量 q , 并同时记录钻孔内自排瓦斯时间 t ; (3) 在瓦斯压力呈稳定状态以后, 卸除压力表, 钻孔瓦斯成自然排放状态; (4) 当自然排放瓦斯进行一段时间后, 开始测试钻孔内瓦斯流量, 利用橡胶软管将测压管和多级流量计连接起来; (5) 保持多级流量计水柱呈铅垂位置, 并使左右两侧液面在同一水平面上; (6) 观测结束后, 卸下流量计和橡胶软管, 使测压管维持自然排放状态; (7) 每间隔 24 h 测定一次钻孔瓦斯流量; (8) 测定时间为 65 d.

2.2.5 煤层透气性系数测定

煤层透气性是煤层对瓦斯流动的阻力, 一般是用透气性系数来表达. 透气性系数越大, 表明瓦斯在煤层中越容易流动. 煤层透气性系数在我国普遍用的单位是 $\text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$.

测定方法是从 6 煤的 -440 m 水平南巷向煤层打钻孔首先测定其瓦斯压力. 钻孔要求尽可能与 6 煤层垂直, 孔径不限; 同时记录钻孔方位角、仰角、钻孔在煤层中的长度、见煤和打完煤层的时间, 并取平均值作为钻孔开始排放瓦斯时间的起点; 打完钻孔后清除孔内煤屑, 封孔测量瓦斯压力, 封孔力求严密不漏气, 封孔深度不少于 3 m, 测压管常用 $\Phi 8 \sim 10$ mm 紫铜管, 瓦斯涌出量大时可用 $\Phi 15$ mm 的钢管; 上压力表前要测定瓦斯流量, 并记录流量与测定时间(年、月、日、时、分).

待压力稳定后获取实测瓦斯压力值, 则卸下压力表排放瓦斯, 测定钻孔瓦斯流量, 在测定时要记录时间. 为力求准确测定其钻孔瓦斯极限涌出量, 则每班均测定一次, 取其平均值为每天钻孔瓦斯的涌出量, 直至该钻孔瓦斯涌出量几乎为零时, 测定工作结束.

2.2.6 煤的坚固性系数测定

煤的坚固性系数是煤块抵抗破坏能力的综合指标. 其测定方法很多, 常用落锤破碎测定法, 其原理是雷延智于 1867 年提出的“破碎所消耗的功(A)与破碎物料所增加的表面积(ΔS)的 n 次方成正比”. 大量试验表明, 突出煤层的坚固性系数均在 0.5 以下.

2.2.7 钻孔抽采有效影响的半径测定

当在预抽煤层进行钻孔时, 在孔底负压和瓦斯压力的共同影响下, 钻孔附近煤层的瓦斯也不断被抽采, 逐步形成类似圆形的抽放圈, 其中以钻孔中线为轴心, 抽放圈的半径即为抽放影响半径. 抽放半径随着抽采时间的增长会不断增大, 直至瓦斯压力与孔底负压之差无法克服深部瓦斯移动到钻孔的阻力为止. 而在抽放影响圈内, 瓦斯压力会持续降低. 在抽采钻孔周边不同位置的地点设置密封的试钻孔, 通过测定钻孔内瓦斯压力的变化, 即可得出钻孔内的抽采影响半径.

3 延深水平煤层瓦斯参数特征

根据对白山坪煤矿延深水平(-400 ~ -600 m)的煤层瓦斯基础参数现场与实验室测定结果汇总表 2 所示.

由现场与实验室测试过程及表 2 所测结果可以看出:

1) 煤层瓦斯压力测定: 6 煤瓦斯压力在 -440 m 水平所测的最大值为 $1.6 + 0.1$ MPa, 但在延深的 -480 m 水平和 -600 m 水平所实测均小于 -440 m 水平所测的瓦斯压力. 未呈递增性, 说明有可能在测压时钻孔封孔失败或者测试点在暗主副井施工完成后, 对附近煤层的顶底板裂隙变化影响较大, 形成一定的卸压区域; 或所选测压点非高瓦斯压力点所致.

2) 煤层瓦斯含量测定: 根据各水平煤样的室内工业性分析结果及延深水平的 6 号煤的瓦斯压力实测的最大值. 计算其瓦斯含量由 -440 ~ -600 m 水平 $8.70 \text{ m}^3/\text{t}$ 逐渐升高至 $9.40 \text{ m}^3/\text{t}$.

3) 6 煤的突出危险性: 从实验室测定的 6 号煤煤样的放散初速度 ΔP 和煤层的坚固性系数 f 值以及实测的 6 号煤层瓦斯压力、瓦斯含量的综合考虑而言, 其每个指标均体现其突出危险性. 因此, 在延深水平的采掘过程中, 应当严格按照《煤与瓦斯突出防治规定》之要求执行.

4)6煤瓦斯抽采的难易性:煤层瓦斯抽采的难易程度分为容易、勉强和难以抽采3类,其判别指标如表3所示.根据其对延深水平6煤的钻孔瓦斯流量衰减系数、百米钻孔瓦斯极限抽采量及煤层透气性系数的实测结果($\beta=0.01540, Q_J=6233.8\text{ m}^3, \lambda=0.1731$)与表3对照可得,白山坪煤矿延深水平(-400~-600 m)6煤的瓦斯抽采难易程度属勉强抽采类.

表2 白山坪煤矿-400~-600 m水平煤层瓦斯基础参数测定

序号	参数	单位	数值	平均值
1	瓦斯放散初速度 ΔP	mmAg	27.627~31.243	29.435
2	水分 M_{ad}	%	3.78~4.27	4.025
3	灰分 A_{ad}	%	6.05~10.39	8.22
4	挥发分 V_{daf}	%	5.25~5.35	5.30
5	真密度 T_{RD}	t/m ³	1.63~1.75	1.69
6	视密度 A_{RD}	t/m ³	1.420~1.430	1.425
7	孔隙率 F	%	10.95~18.45	14.70
8	瓦斯吸附常数 a	m ³ /t	26.128~29.205	27.667
9	瓦斯吸附常数 b	MPa ⁻¹	0.914~1.906	1.410
10	煤层瓦斯含量 X	m ³ /t	8.70~9.40	9.40
11	钻孔流量衰减系数 α	d ⁻¹	0.01479~0.02107	0.01793
12	煤层透气性系数 λ	m ² /(MPa ² ·d)	0.1731	0.1731
13	煤层最大瓦斯压力 P	MPa	1.7	1.7

表3 煤层抽采难易程度判别的临界值指标

瓦斯抽采难易程度	钻孔瓦斯流量衰减系数	百米钻孔瓦斯极限涌出量/m ³	煤层透气性系数/(m ² /(MPa ² ·d))
容易抽采	<0.003	>14400	>10.0
勉强抽采	0.005~0.050	14400~2880	10.0~0.1
难以抽采	>0.050	<2880	<0.1

4 白山坪矿延深水平瓦斯防治措施

4.1 延深水平区域防突体系

突出煤层的防治基本原理是释放煤层瓦斯,卸除地应力,解除其突出危险性^[12,13].根据白山坪矿井延深水平(-400~-600 m水平)6煤的基础参数测定结果,拟定防突措施实施的总体技术路线如图2所示.

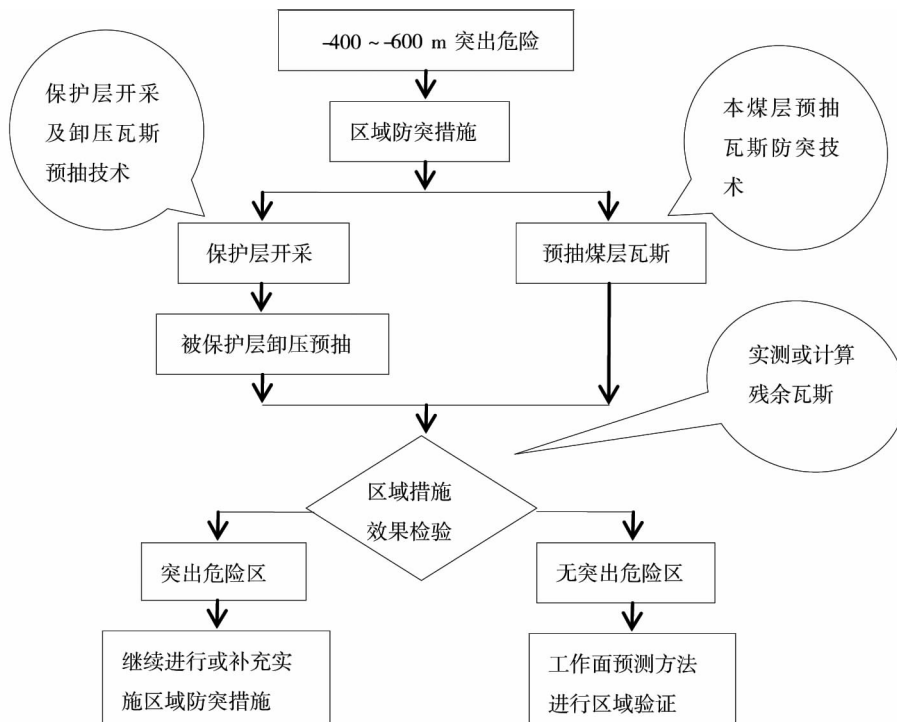


图2 白山坪煤矿-400~-600 m延深水平区6煤防治突出总体技术路线

4.2 开采保护层方案取舍

开采保护层是煤与瓦斯突出防治的首选措施,也是最佳的区域性防治措施.其基本原理是当保护层开采后,周围的煤岩层向采空区移动,采空区上方岩体冒落并形成自然冒落拱,采空区下方岩体向采空区膨胀并形成裂隙,使得采空区上下方煤岩体的瓦斯压力和地应力减小、煤层透气性系数增大,排放煤层瓦斯能力增强;同时煤的硬度也会增加,从而加强了煤体抵抗破碎的能力,而且还降低了突出煤层工作面前方的瓦斯压力梯度和应力梯度,从而可以消除煤与瓦斯突出.根据白山坪矿井-400~-600 m 水平煤层赋存情况可知,在延深水平仅6煤可采,其余1~5煤均不可采,不具备保护层开采条件.如果以5煤的煤线作保护层开采,也因6煤的透气性低和成本高而不宜采用.因此,预抽6煤瓦斯是延深水平的防突唯一措施.

4.3 预抽6煤瓦斯

预抽煤层瓦斯是一种区域性的煤与瓦斯突出防治措施^[14].其根本原理是利用在突出煤层中均匀配置大量钻孔,经过一定时间的预抽,以降低突出危险煤层中的瓦斯压力和瓦斯含量,从而使煤层变形压缩,煤体强度增加,煤体应力下降,使被抽采煤层突出的危险性减小或消失,同时减少采掘过程中的瓦斯涌出量,防止采掘工程中的瓦斯浓度超限现象的发生.

根据白山坪煤矿延深水平煤层瓦斯基础参数测定结果和保护层开采条件的不具备现实,综合考虑其煤层赋存条件,选择其防突方案为“底板岩巷条带穿层钻孔+煤巷顺层钻孔”的综合瓦斯预抽措施.其钻孔布置平面图和剖面图如图3和图4所示.即在6煤顶板岩巷(如-440 m 水平南大巷)每隔一定距离(50 m)施工一个钻场,从钻场向6煤施工3~10个穿层钻孔对煤层回风巷、机巷和切眼位置进行预抽,当预抽达到《防治煤与瓦斯突出规定》的效果检验要求后,则可进行煤巷掘进,在煤巷掘进过程中,同时沿煤层中线施工顺层钻孔,对未卸压区域的煤层又进行预抽,以达到在回采前煤层的完全消突卸压.

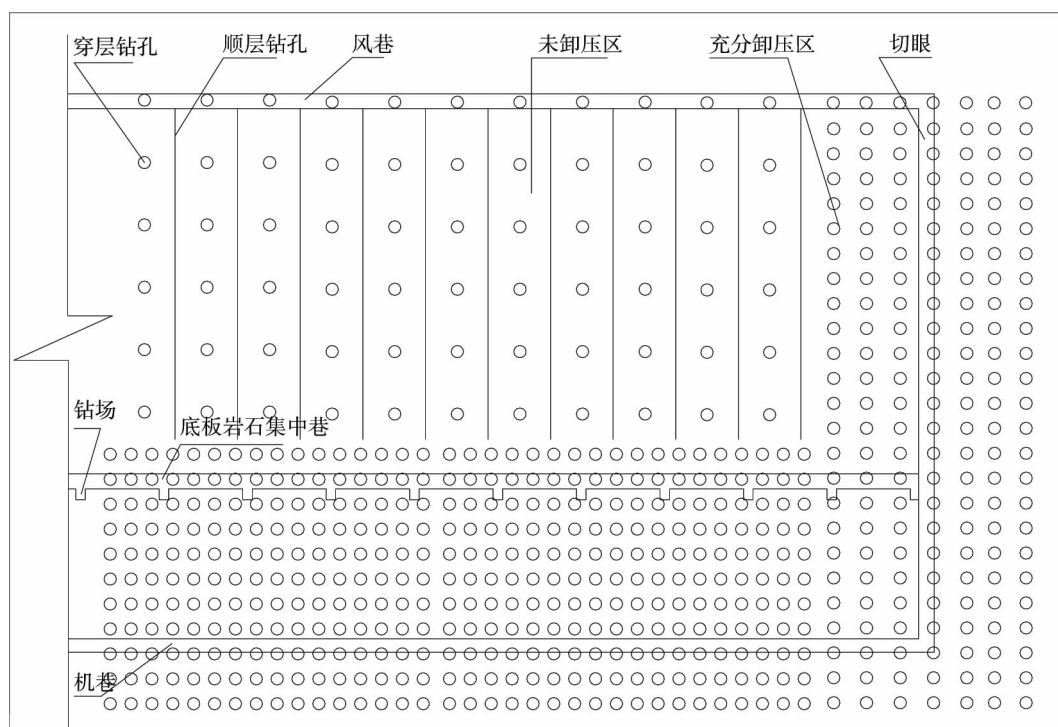


图3 白山坪煤矿-400~-600 m 延深水平6煤底板岩巷条带穿层钻孔+煤巷顺层钻孔布置

5 结论

1) 延深水平的瓦斯压力测定因封孔技术原因或因暗主副井施工影响所致,未能体现其随深度延深而瓦斯压力增大趋势.因此,在采区的区段延深时,应继续对其延深区段的煤层按每延深50 m 再次进行瓦斯压力实测.

2) 延深水平6煤各基础参数测定严格意义上说只能代表某测定点的单一数值,不能代表整个延深水平的整体数值.因此,在采掘过程中应结合钻孔施工的喷孔、卡钻和瓦斯异常现象,结合预测及实测的指标

值作参考进行综合性的突出危险性判定,并制定相应的防治措施。

3)因6煤属勉强抽采类煤层,因此,且有效影响半径偏小,故在进行瓦斯抽采时,钻孔间距要小,在矿井具备增透设备条件情况下,宜选用增透措施,以实现良好抽采效果。

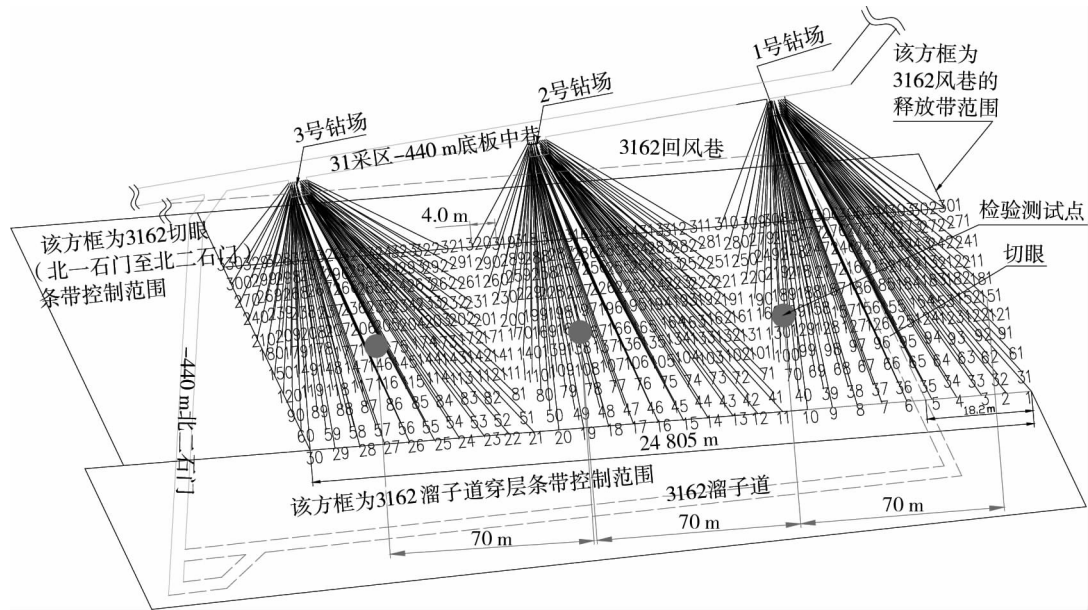


图4 白山坪煤矿延深水平3162工作面条带穿层钻孔立体剖面布置

参考文献:

- [1] 于不凡. 煤矿瓦斯灾害防治及利用手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005.
- [2] 王彦凯,赵兴超,游波. 屯留矿煤层瓦斯赋存规律及防治技术研究[J]. 煤炭科学技术,2010,38(12):50-54.
- [3] 王宏图,鲜学福,王昌贤,等. 四川盆地典型高瓦斯突出矿井瓦斯赋存的地质特征[J]. 煤炭学报,1999,24(1):11-15.
- [4] 罗文柯,汤霞芳. 突出矿井延深水平突出危险性区域综合预测技术[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2015,30(1):20-25.
- [5] 杨彦群. 高瓦斯突出矿井综采工作面瓦斯综合防治技术[J]. 煤炭科学技术,2012,40(6):44-50.
- [6] 翟慧兵,赵彬,刘旺博. 煤层瓦斯压力探测新技术在寺河煤矿瓦斯防治中的应用[J]. 安全与环境工程,2011,18(3):64-72.
- [7] 付智超,谢宗良. 钻孔瓦斯流量测定对衰减系数的影响分析[J]. 煤矿安全,2012,11(1):136-139.
- [8] 刘来军. 深部复杂构造区域煤层瓦斯基础参数测试研究[J]. 煤矿现代化,2013(2):68-69.
- [9] 蒋继兰,袁东升,张子敏. 马池煤矿煤与瓦斯突出危险工作面消突措施及评价分析[J]. 煤炭工程,2011(7):48-50.
- [10] 冯康武,李秋林. 回采工作面瓦斯防治综合信息动态分析方法[J]. 煤炭科学技术,2013,41(6):
- [11] 龙威成. 宁发一矿煤层瓦斯参数测定及瓦斯分布规律预测[J]. 煤炭技术,2014(9):81-83.
- [12] 张振飞. 煤层瓦斯含量测定方法对比研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2013.
- [13] 吴财芳,曾勇,秦勇. 煤与瓦斯共采技术的研究现状及其应用发展[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(2):137-140.
- [14] 杨宏民,王兆丰,王松,等. 预抽煤层瓦斯区域防突效果检验指标临界值研究[J]. 中国安全科学学报,2011,21(5):114-118.