

东欢坨矿 -950 m 水平石门揭煤瓦斯基础参数测试及抽采实践

Test of Basic Parameters of Coal and Gas Exposed by -950 Horizontal Crosscut in Donghuantuo Mine and Its Drainage Practice

刘 鹏(开滦(集团)有限责任公司东欢坨矿业分公司,河北唐山 064002)

摘要:东欢坨矿延深至-950 m水平后,煤层瓦斯含量、压力逐步增大,瓦斯灾害风险较大。为了解决新水平石门揭煤安全问题,自主设计研发上仰瓦斯压力测试钻孔补偿式不泄压装置和高压注浆二次封堵工艺,创新性地解决了测压过程遇到的封孔以及承压水干扰的问题,合理设计瓦斯综合治理方案,安全高效的完成了新水平石门揭煤工作,为矿井后续其他煤层的揭煤和瓦斯治理奠定了坚实的理论和实践基础。

关键词:石门揭煤;煤层测压;封孔;瓦斯抽放

中图分类号: TD712.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)01-0078-05

Abstract: After Donghuantuo Coal Mine is extended to the -950 level, the gas content and pressure in the coal seam gradually increase, and the risk of gas disaster is high. In order to solve the safety problem of coal uncovering in the new horizontal crosscut, we independently designed and developed a compensated non pressure relief device for upward gas pressure test boreholes and a secondary plugging process of high-pressure grouting, innovatively solved the problems of hole sealing and confined water interference encountered in the pressure measurement process, rationally designed a comprehensive gas control program, and completed the coal uncovering in the new horizontal crosscut safely and efficiently. It has laid a solid theoretical and practical foundation for the subsequent coal seam uncovering and gas control in other coal seams.

Key words: uncovering coal through crosscut; coal seam pressure measurement; sealing hole; gas drainage

1 前言

煤炭是我国的主体能源,在较长时间内,煤炭产量和消费量仍处于高位,在2020年消费比例为56.8%。随着浅部煤炭资源的枯竭,向更深处延伸势在必行。与此同时,开采深度的增加必然伴随着更加复杂的煤与瓦斯突出风险,严重危害煤矿安全生产。

我国煤炭开采深度逐渐增加,所带来的矿山灾害也随之风险更大,其中煤与瓦斯突出灾害具有突发性、更强的破坏性等特点,使其成为限制高瓦斯矿井安全生产的典型灾害之一。2020年初召开的煤矿安全生产会议文件数据显示:2019年我国煤矿发生瓦斯事故数量达到了27起,占全年煤矿安全事故的15.8%;因瓦斯相关事故造成死亡人数达到了

117人,占全年煤矿安全事故死亡总人数的37.3%,相较2018年所得数据同比上升了70.0%和122.6%。煤与瓦斯突出事故的破坏性强,危害性大,因此推进瓦斯灾害的治理仍是煤矿安全的主要任务之一。煤与瓦斯突出是一种极其复杂的煤岩动力灾害,其发生机理是国内外学者研究的重要内容,目前被广大学者所接受的是“综合作用假说”。防治煤与瓦斯突出的主流技术包括保护层开采、煤层增透以及预抽煤层瓦斯技术。煤层瓦斯预抽技术经济有效,实用性较强^[1-5],穿层钻孔瓦斯抽采和顺层钻孔瓦斯抽采是煤矿井下常用的两种瓦斯预抽技术。

石门揭煤过程发生煤与瓦斯突出可能性最大^[6],了解和计算煤层蕴含瓦斯的能力、瓦斯涌出量和煤层瓦斯压力,预测煤层瓦斯灾害危险程度和瓦斯抽采难易程度,可以为矿井新水平新区瓦斯防治和瓦斯抽放设计提供基础数据。

近年来,开滦集团东欢坨煤矿随着向新水平新区延深,煤层瓦斯含量、压力增大明显,瓦斯爆炸

[作者简介] 刘鹏(1978—),男,河北唐山人,工程师,主要从事矿井“一通三防”工作。

[引用格式] 刘鹏.东欢坨矿-950 m水平石门揭煤瓦斯基础参数测试及抽采实践[J].中国矿山工程,2023,52(1):78-82.

和煤与瓦斯突出等矿井瓦斯动力灾害风险不断增加,预防煤与瓦斯突出等瓦斯动力灾害成为安全生产的重中之重。

瓦斯基础参数中最为重要的是瓦斯含量和瓦斯压力,是瓦斯抽采设计的基础。在煤层瓦斯压力测定过程中,由于含水层裂隙水入侵钻孔会严重影响瓦斯压力测量的准确值,自主研发设计了上仰瓦斯压力测试钻孔不泄压补偿式泄水装置,排除含水层裂隙水的干扰,保障了准确测压;针对封孔不严、测压数据失真的问题,自主设计了高压注浆二次封堵工艺,保证测压钻孔承压型和密封性,封堵围岩裂隙,准确测出钻孔内煤层的瓦斯压力值;采用预抽煤层瓦斯钻孔均匀布孔、验证孔中间预留位置的方案,尽量避免“抽、验”钻孔相互影响,为石门揭煤中瓦斯治理提供了重要参考。

2 石门揭煤概况

-950 m 水平南一采区皮带下山施工至 -950 m 水平后,变平施工下部平石门,11 号煤层为 -950 m 水平南一采区首个揭露煤层,通过探钻资料分析,该区域经精查地质勘探、震波超前探测及瞬变电磁探测,地质条件已基本查清,掘进前方无地质及水文地质异常。11 号煤层平均真厚约 2.2 m,煤层稳定,结构简单,煤呈块状,煤质较硬。

3 煤层基础参数测试

3.1 煤层基础参数测试分析

-950 m 水平南一采区皮带下山下部平石门工作面掘进至距 11 号煤层法向距离 7.5 m 位置停止掘进,并对 11 号煤层开展瓦斯基础参数测试分析,主要参数测试结果见表 1。

表 1 11 号煤层基础参数测试结果汇总表

参数	数据	备注	
瓦斯含量/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	瓦斯解析量	0.503	
	瓦斯损失量	0.096	瓦斯含量 $4.773 \text{ m}^3/\text{t}$
	残存解吸量	4.174	
瓦斯压力/MPa	0.41	实测数据	
工业分析/%	水分	1.22	
	灰分	8.27	根据工业分析的结果,初步判断煤层煤质为烟煤
	挥发分	35.31	
	固定碳	55.2	
吸附解吸常数/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	a 值	28.048	
	b 值	0.259	
瓦斯放散初速度/mmHg	4.27	小于临界值 10	
视密度/ $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	1.295 0	煤样的视密度和真密度相差不是很大,说明煤层比较密实,煤体强度较大	
真密度/ $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	1.390 5		
孔隙率/%	6.868 0		
坚固性系数	0.591		煤层坚固性系数大于突出临界值 0.5,表明煤层煤质较硬
煤的破坏类型	II 类	破坏类型只是钻孔煤块破坏,整体煤层的破坏类型等揭露煤层后,现场勘查分析	

从表 1 中基础参数可以看出,11 号煤层瓦斯含量 $4.773 \text{ m}^3/\text{t}$ 。吸附常数 $a = 28.05 \text{ m}^3/\text{t}$, $b = 0.26 \text{ MPa}^{-1}$,煤的水分 $M_{ad} = 1.22\%$,煤的灰分 $A_d = 8.27\%$,煤的孔隙率为 6.868% ,烟煤的容重 $1.3 \text{ t}/\text{m}^3$ 。煤体强度较大,煤质较硬,破坏类型属 II 类。

3.2 保压放水装置和二次封堵测压

煤层瓦斯压力指的是煤层孔隙结构内游离态瓦斯气体的压力,即游离气体对孔隙壁的作用力,是煤层瓦斯基础参数之一。煤层瓦斯压力的测定在矿井安全生产中占据重要地位,是确定煤层瓦斯含量和

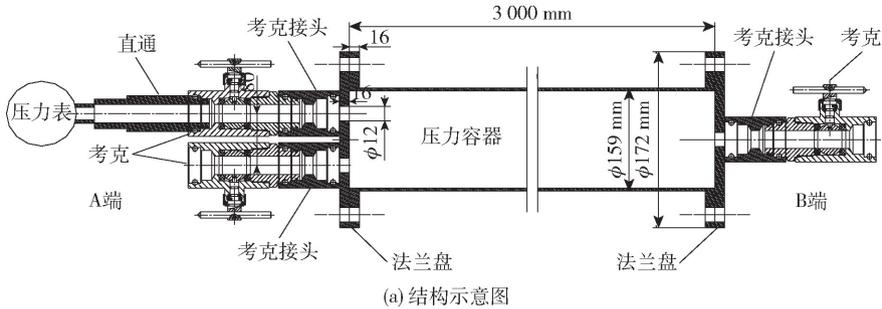
指导瓦斯危险性评价的重要依据。准确的测量煤层瓦斯压力对预测预报煤与瓦斯突出、瓦斯爆炸等瓦斯灾害,制定合理的防突措施,研究瓦斯解吸和涌出规律,评估煤层瓦斯含量等具有重要意义。瓦斯压力测定方法主要有直接测定法和间接测定法,国内外煤矿多采用直接法进行测压。直接法所对应的瓦斯压力直接测定技术是指在煤矿井下使用钻机进行钻孔,之后利用密封材料进行密封,这样就在钻孔的前端形成一个密闭的气室,然后通过导气管把气室和压力表相联通。这样煤层中吸附的瓦斯由于环境

的改变,不断解吸生成游离态甲烷气体并逐渐扩散到瓦斯气室,达到压力平衡后,压力表上的读数在一段时间内都不发生变化,此时的数值就是煤层的瓦斯压力。

为实现精准测压,东欢坨矿在-950 m水平南一采区皮带下山下部平石门布置2个测压钻孔,分别测定11煤层瓦斯压力并相互验证,测得最大瓦斯

压力为0.41 MPa。

在测压过程中发现,对于上仰瓦斯压力测试钻孔,11煤层中的承压水通过裂隙渗入至测压装置,水压导致煤层瓦斯压力测试不准确。为了有效解决水侵入钻孔内引起瓦斯压力测试不准确工程问题,自主设计研发了补偿式不泄压装置,测压装置如图1所示。



(a) 结构示意图



(b) 实物图

图1 上仰瓦斯压力测试钻孔补偿式不泄压装置

主要结构包括压力容器、压力表、考克、考克接头、法兰盘、堵盘,压力容器两端分别用法兰盘封闭严实。

其中A端焊接两个控制阀门接头与压力容器连通,安装考克,一个考克上安装压力表,两个考克处于关闭状态;B端焊接一个考克接头,安装考克,处于打开状态,将B端通过高压管与空气压缩机连接,开启空气压缩机对压力容器进行加压,通过压力表观测压力值,考虑连接装置压力损失和便于调节压力因素,压力容器加压至比瓦斯钻孔实际压力值高0.1 MPa,加压后关闭B端考克,拆除与空气压缩机连接高压管。

将装置运送至测压地点,B端与测压钻孔连接,首先利用A端考克调节装置内压力,待装置内压力值与测压钻孔压力值相等,打开测压钻孔闸阀,使装置与钻孔相通,通过高度差,将上仰瓦斯压力测试钻孔中水排出至压力容器内,有效的排除钻孔内水

压对实际瓦斯压力观测的影响,置换过程中压力为等值状态,钻孔内压力没有损失,达到不泄压连续精准测压的目的。

钻孔结束后要求对钻孔进行密封,钻孔密封是保持钻孔底部负压或正压的关键因素,封孔质量的好坏直接影响各类钻孔作用的发挥。密封钻孔是煤矿井下测试煤层瓦斯压力技术中重要的工程问题,由于井下钻孔附近的煤岩体强度大大降低,钻孔周围往往存在微裂隙。目前常采用的封孔工艺主要包含水泥砂浆一次封孔和聚氨酯封孔,但前者封孔容易产生收缩现象,封孔效果较差;而后者材料具有毒性,且价格较高。为了遏制瓦斯突出灾害,同时提高钻孔效率及钻孔密封性,准确测得煤层瓦斯压力,东欢坨矿自主设计了高压注浆二次封堵工艺,该工艺工序简单,封孔成功率高,承压性、密封性较好,具有广泛的实用性。具体实施工艺如下:

(1)从开孔点施工的钻孔直径 130 mm 进 4 m, 下入孔口管 A;配置水泥砂浆,配合木楔固管化学浆填充与钻孔壁间的缝隙固定孔口管 A;注浆泵与孔口管 A 连接进行带压注浆固管作业;待孔口管 A 中的浆液凝固后,进行扫孔测压,确保达到设计封孔压力。

(2)采用直径 110 mm 钻头继续施工钻进 10 m, 钻孔内全程下入孔口管 B,通过注浆泵对钻孔进行二次带压注浆,最高压力可达 12 MPa,待浆液凝固 24 h 后,采用直径 75 mm 筒状钻头钻进扫孔,钻进深度超过孔口管长度,封孔试压,此工序可反复实施,直至得到设计封孔压力。浆液可以有效将钻孔围岩缝隙填补加固,密封效果更好,避免新产生裂隙的影响,保证封孔的成功率和密封性,并且采用的双压力表对压力大小的测量更灵活、准确。

通过图 2 测压变化曲线图可以发现,压力一直呈上升态势且无明显泄压现象,说明采用高压注浆二次封堵工艺能很好的保证测压通道的密闭性。

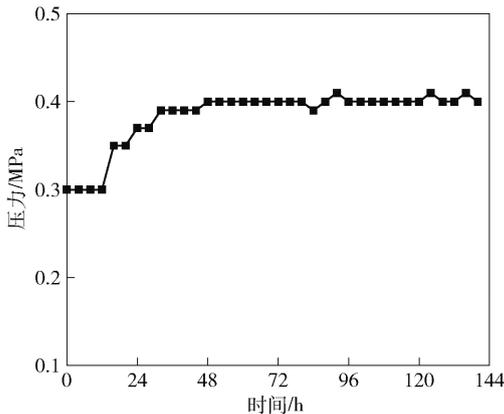


图 2 测压变化曲线图

4 瓦斯抽放钻孔的设计和效果评价

《煤与瓦斯突出规定》第 45 条规定区域防突措施主要有开采保护层和预抽煤层瓦斯两类。其中瓦斯抽放,是向煤岩体中瓦斯较多的范围钻进,在钻孔上连接特定的线路上,用抽放装置将瓦斯抽至地面加以利用,或排放至总回风流中。目前预抽瓦斯的前进方向为对整个矿内或瓦斯灾害较严重的工作面都采用综合抽放瓦斯的治理手段。瓦斯抽放是一个由一系列耦合效应和相互作用组成的一个动态变化过程,涉及煤体变形、瓦斯气体流动、热量传输及孔隙率和渗透率演化。在国际上,我国瓦斯抽采技术已经达到了较为先进的水平,稳定性较高、出气量较大、成功率较高。

煤层瓦斯抽采钻孔的预抽影响半径是指在特定

的时间内预抽钻孔中心与煤层原始瓦斯压力开始下降的测试点之间的距离,有效预抽半径是指在规定时间内以预抽钻孔为中心,瓦斯压力或含量能够降到安全容许值的范围。有效预抽半径主要与瓦斯压力和瓦斯含量两项指标有关,其安全允许值分别为 0.74 MPa 和 $8 \text{ m}^3/\text{t}$ 。很多测定瓦斯预抽影响半径的方法都是通过瓦斯流动理论和煤层中的瓦斯流动状态衍生出来的,如压力变化、瓦斯含量变化、敏感气体检测等。

现场施工过程中瓦斯抽采钻孔倾角较大时,与煤层接触面积小;钻孔倾角较小时,与预抽煤层距离大。需要综合分析钻孔预抽效果、煤层底板应力及破坏特征分布、不同平距及垂距底抽巷围岩稳定性三方面因素的基础上,得到底抽巷的优化布置方案,可在保证瓦斯预抽效果的前提下,从根本上降低巷道围岩受回采影响的程度,从而保证巷道的稳定性。

11 号煤层瓦斯压力、瓦斯含量虽未超过《防治煤与瓦斯突出细则》中煤层突出危险性鉴定指标临界值,但在新水平石门揭煤过程中严格执行了局部综合防突措施,首先采用预抽钻孔的方法对 11 号煤层揭煤区域进行预先抽放。控制范围为石门揭煤工作面的两侧和上部轮廓线外 5 m、下部 3 m。设计预抽钻孔封孔有效封孔长度(岩石段)不小于 8 m,预抽钻孔均接入瓦斯抽放系统,在每个钻孔近端均安装三通闸阀,便于检查抽放气体浓度。设计并施工预抽煤层瓦斯钻孔 36 个,合计工程量 1 608 m。钻孔布置图如图 3 所示。

预抽 11 煤层瓦斯措施,共计抽放时间 62 天,累计抽放瓦斯量 $24\ 075.3 \text{ m}^3$ 。实施工作面防突措施后,在工作面迎头施工了 5 个效果检验钻孔,测得的瓦斯压力参数见表 2。

表 2 检验孔测得瓦斯压力

钻孔编号	孔深/m	见煤距离/m	过煤距离/m	瓦斯压力/MPa
检验孔 1	27	18.5	1	0.06
检验孔 2	41	30	1	0.04
检验孔 3	44	35	1	0.02
检验孔 4	43	29	1	0.05
检验孔 5	52	40.5	1	0.06

根据现场实测瓦斯压力数据以及实验室测定残存瓦斯含量结果,该工作面瓦斯压力 $0.06 \text{ MPa} < 0.74 \text{ MPa}$,残存瓦斯含量 $1.49 \text{ m}^3/\text{t} < 8 \text{ m}^3/\text{t}$,瓦斯抽放措施效果良好。

石门继续施工至距 11 煤层法向距离 2 m 位置

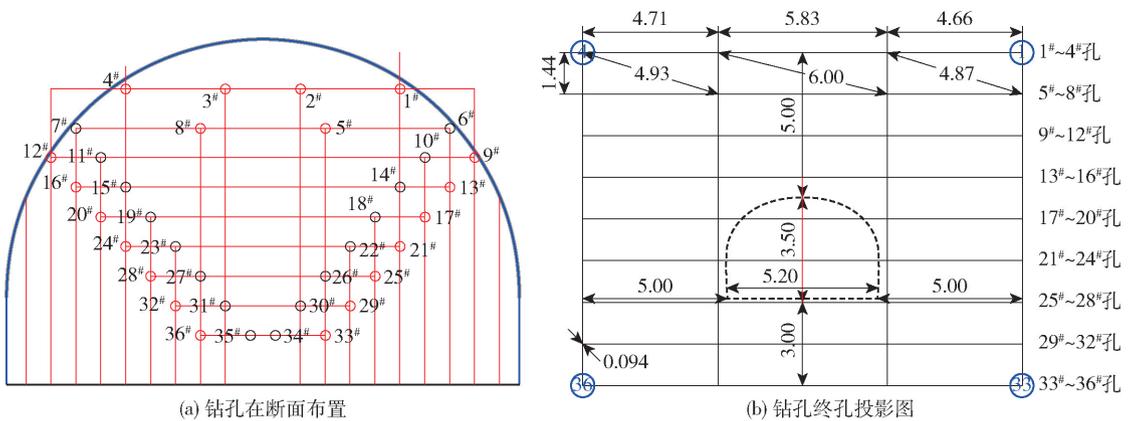


图3 钻孔布置图

停止掘进,采用煤层钻屑瓦斯解吸指标进行最后效果验证。共测量5组数据, Δh_2 指标最大为 60 Pa, 小于《防治煤与瓦斯突出细则》中规定的钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 临界值干煤样 200 Pa、湿煤样 160 Pa 的规定,该工作面为无瓦斯突出危险工作面,具体参数见表3。

表3 钻屑瓦斯解吸指标测定 Δh_2 值

钻孔编号	孔深/ m	见煤距 离/m	过煤距 离/m	Δh_2 /Pa	备注
验证孔 1	10	4.5	1	20 (5.5 m)	干煤样
				40 (6.5 m)	
				60 (7.5 m)	
				40 (8.5 m)	
				60 (9.5 m)	
验证孔 2	20	12	1	40 (13 m)	湿煤样
				60 (14 m)	
				40 (15 m)	
				40 (16 m)	
				40 (17 m)	
验证孔 3	30	20	1	20 (23 m)	干煤样
				40 (24 m)	
				40 (25 m)	
				20 (26 m)	
				40 (27 m)	
验证孔 4	8	5	0.5	20 (6 m)	干煤样
				40 (7 m)	
				20 (8 m)	
				20 (9 m)	
				20 (10 m)	
验证孔 5	14	5	1	20 (11 m)	干煤样
				20 (12 m)	
				40 (13 m)	

工作面掘至距 11 煤层法向距离 2 m 实施远距离爆破,并顺利揭露 11 煤层,揭煤当班工作面迎头风量 $9.4 \text{ m}^3/\text{s}$,揭煤过程中工作面瓦斯浓度最大达到 0.14%,绝对瓦斯涌出量 $0.79 \text{ m}^3/\text{min}$,揭煤时未出现瓦斯异常涌出现象,达到了安全掘进的要求。

5 结论

结合实验室检测、现场实测出煤层瓦斯压力等

瓦斯基础参数,自主创新设计了实用新型测压装置和封孔工艺实现了准确获得煤层瓦力压力的目的,并成功应用于石门揭煤瓦斯测压和抽放实际工程中。主要结论如下:

- (1)在煤层瓦斯压力测定过程中,由于含水层裂隙水入侵钻孔会严重影响瓦斯压力测量的准确值,自主研发设计了上仰瓦斯压力测试钻孔补偿式不泄压泄水装置,排除含水层裂隙水的干扰,保障了测压准确性。
- (2)针对测压钻孔封孔难的实际工程问题,设计实施了高压注浆二次封堵工艺,浆液可以有效将钻孔围岩缝隙填补加固,密封效果更好,保证封孔的成功率和密封性,准确测定煤层瓦斯压力。
- (3)设计的瓦斯抽放钻孔抽放效果良好,为后续其他煤层的揭煤和瓦斯抽放奠定了坚实的基础和经验。

【参考文献】

- [1] 李志刚,孙博. 高压注水抑制高瓦斯掘进工作面瓦斯涌出技术研究[J]. 煤, 2017, 26(4): 29-31, 50.
- [2] 蒋承林,高艳忠,陈松立,等. 矿井瓦斯动力灾害的分级与分级鉴定指标的研究[J]. 煤炭学报, 2007(2): 159-162.
- [3] 王振. 煤岩瓦斯动力灾害分类的探讨及鉴别方法[J]. 煤矿安全, 2017, 48(6): 176-179.
- [4] 朱丽媛,李忠华,刘瀚琦. 深部开采煤岩瓦斯动力灾害统一发生机制及监测技术[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(3): 937-942.
- [5] 朱广辉,韩建光,韩臻. 浅谈瓦斯防治与瓦斯抽放技术[J]. 煤, 2009, 18(1): 49-50.
- [6] 解北京,钟诗晴,曹筱. 石门揭煤瓦斯抽采钻孔参数自动优化设计及应用[J]. 矿业科学学报, 2021, 6(6): 678-687.