

应用研究·煤矿·

段王煤矿煤层瓦斯参数测定及抽采可行性分析

Determination of Coal Seam Gas Parameters and Feasibility Analysis of Extraction in Duanwang Coal Mine

沈洪才 (山西中煤平朔北岭煤业有限公司, 山西 朔州 036000)

摘要: 为了了解矿井瓦斯赋存规律和评价瓦斯可抽放性,对段王煤矿的8+9号和15号煤层瓦斯参数进行了测试,对煤层孔隙率、吸附常数、瓦斯含量、瓦斯压力、瓦斯放散初速度等进行了分析。研究得出:(1)煤层瓦斯含量较高。8+9号和15号煤层瓦斯含量分别为 $3.68 \text{ m}^3/\text{t}$ 、 $8.98 \text{ m}^3/\text{t}$;瓦斯压力分别为 0.24 MPa 、 0.49 MPa 。(2)8+9号和15号煤层瓦斯放散初速度分别为 10.7 mmHg 、 13.2 mmHg ,煤层具有突出危险性。在煤层开采时必须对瓦斯预抽采,制定瓦斯防治措施。(3)8+9号和15号煤层钻孔流量衰减系数 0.017 d^{-1} 、 0.019 d^{-1} 和煤层透气性系数 $4.412 \text{ MPa}^2 \cdot \text{d}$ 、 $9.000 \text{ MPa}^2 \cdot \text{d}$,综合评价认为8+9号和15号煤层均属可抽放煤层。测定结果对于瓦斯管理及综合利用提供了依据和基础。

关键词: 瓦斯参数测定; 赋存规律; 抽采可行性

中图分类号: TD724

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2022)06-0039-06

Abstract: In order to understand the occurrence regularity of mine gas and evaluate the possibility of gas emission, the gas parameters of No. 8+9 and No. 15 coal seams in Duanwang Coal Mine were tested, and the coal seam porosity, adsorption constant, gas content, gas pressure and initial gas desorption rate were analyzed. The results show that: (1) the gas content of coal seam is relatively high. The gas contents of No. 8+9 and No. 15 coal seams are $3.68 \text{ m}^3/\text{t}$ and $8.98 \text{ m}^3/\text{t}$ respectively. The gas pressures are 0.24 MPa and 0.49 MPa respectively. (2) The initial gas desorption rates of No. 8+9 and No. 15 coal seams are 10.7 mmHg and 13.2 mmHg respectively, indicating that coal seams have the risk of outburst. Gas pre-extraction shall be carried out during coal seam mining and gas prevention measures must be formulated. (3) The flow attenuation coefficients of drill holes in No. 8+9 and No. 15 coal seams are 0.017 d^{-1} and 0.019 d^{-1} , and the permeability coefficients of coal seams are $4.412 \text{ MPa}^2 \cdot \text{d}$ and $9.000 \text{ MPa}^2 \cdot \text{d}$. The comprehensive evaluation shows that the gas in No. 8+9 and No. 15 coal seams can be emitted. The measured results provided the basis and foundation for gas management and comprehensive utilization.

Key words: gas parameter determination; occurrence regularity; feasibility of extraction

1 前言

瓦斯事故作为煤矿五大自然灾害之一严重制约着矿井的生产效率^[1-2]。为了保证矿井生产的安全性、科学性和高效性,解决瓦斯潜在的危险性,煤层瓦斯基础参数的精确测定,明确煤层中瓦斯的赋

存规律显得尤其重要^[3-5]。煤层瓦斯的基础参数(如瓦斯含量、瓦斯压力等)可反映煤层瓦斯赋存特征,进一步评价煤与瓦斯突出危险性大小以及瓦斯抽放难易程度,是矿井瓦斯灾害防治的重要依据^[6-10]。巷道设计、工作面布置、通风方式等以及瓦抽采和利用方案的确定均与煤层瓦斯变化特征息息相关^[11-14]。本文以段王煤矿8+9号和15号煤层为研究背景,针对煤层瓦斯的基础性参数进行现场与室内测定,对瓦斯抽采可行性进行评价,为煤与瓦斯突出预测提供技术支持。

2 矿井地质概况

段王煤矿位于山西省晋中市寿阳县平舒镇。井

[作者简介] 沈洪才(1973-),男,工程师,硕士学位,山西中煤平朔北岭煤业有限公司通风副总工程师,长期从事矿井“一通三防”技术管理工作。

[基金项目] 中煤平朔集团技术创新项目(KJXZ20220024)

[引用格式] 沈洪才. 段王煤矿煤层瓦斯参数测定及抽采可行性分析[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(6): 39-44.

田地处于阳曲-孟县纬向构造带南翼。总体构造为走向近东西向,倾向南的单斜构造,发育3个次一级的褶曲,12条正断层,220个陷落柱。总体上,井田地质构造复杂程度为简单类型。煤层赋存总的趋势为:自北向南逐渐变深,由东向西缓慢变深。地层倾角平缓,一般在 $3^{\circ} \sim 14^{\circ}$,局部最大倾角 19° ,共含煤19层。可采煤层有6、8、9、11、15、15_下号6层,可采煤层总厚13.72 m。其中:6、11号煤层为不稳定局部可采煤层,井田西部8号煤层与9号煤层分岔,为局部零星可采煤层,东部大部与9号煤合并形成全区可采煤层。15、15_下号煤为全区稳定可采煤层。

经段王煤矿瓦斯等级和二氧化碳涌出量鉴定,段王煤矿为高瓦斯矿井。因此,段王煤矿的开采必须进行煤层瓦斯参数测定,是其生产实际中的必要环节,对后续瓦斯防治具有指导作用。

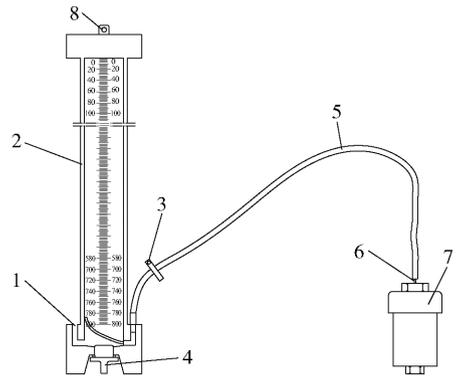
3 煤层瓦斯参数测定

为了掌握山西寿阳段王煤业集团有限公司8+9号煤层和15号煤层开采过程中瓦斯涌出规律,预防瓦斯突出危险,对8+9号煤层和15号煤层进行瓦斯基础参数测定,其包括现场测试和实验室检测两部分。现场测试部分包括煤层瓦斯压力、煤层原始瓦斯含量、钻孔瓦斯流量衰减系数、煤层透气性系数;实验室测试部分包括煤的瓦斯吸附常数、放散初速度、孔隙率、工业分析等。

3.1 煤层瓦斯含量测定

矿井煤层瓦斯的赋存情况直接决定了矿井的瓦斯储量和矿井在生产时期的瓦斯涌出量,其中煤层瓦斯含量是矿井瓦斯储量计算和矿井瓦斯涌出量预测的重要基础数据。煤层瓦斯含量是单位质量煤中所含的瓦斯体积(换算为标准状态)量。通常

采用直接法(井下钻屑解吸法)测定煤层瓦斯含量。图1所示为测定煤层瓦斯解吸量的方法示意图。



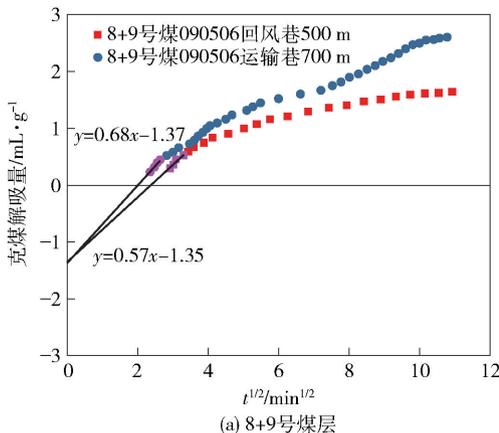
1—排水口; 2—量管; 3—弹簧夹; 4—底塞; 5—排气管; 6—穿刺针头或阀门; 7—煤样罐; 8—吊环

图1 瓦斯解吸速度测定仪与密封罐示意图

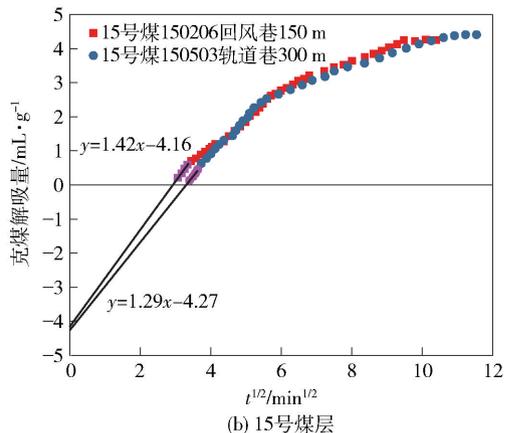
对段王煤矿8+9号煤层090506工作面回风巷和运输巷和15号煤层150206工作面回风巷和150503工作面运输巷分别取样,通过打钻、取样、井下解析,实验室测定煤样残存瓦斯量、水分、灰分、挥发分、煤样重量、可燃质质量及瓦斯成分,最后计算整理得出煤层瓦斯含量。瓦斯解析量及损失量曲线如图2所示,测定结果见表1。8+9号煤层和15号煤层平均瓦斯含量分别为 $3.68 \text{ m}^3/\text{t}$ 、 $8.98 \text{ m}^3/\text{t}$ 。可以发现不同位置取样瓦斯解吸具有一致性,随着时间的增加趋于平稳。

3.2 煤层瓦斯压力测试

煤层瓦斯压力是判断煤与瓦斯突出危险性的主要参数之一,瓦斯压力测定方法有直接法、间接法两种。一般来说如果条件允许,则优先采用直接法。直接法是由煤层顶(底)板打钻孔穿透煤层,然后用封孔器或其他材料封孔后直接用压力表读取煤层瓦斯压力。在实测时应选择未受采动影响的煤层位



(a) 8+9号煤层



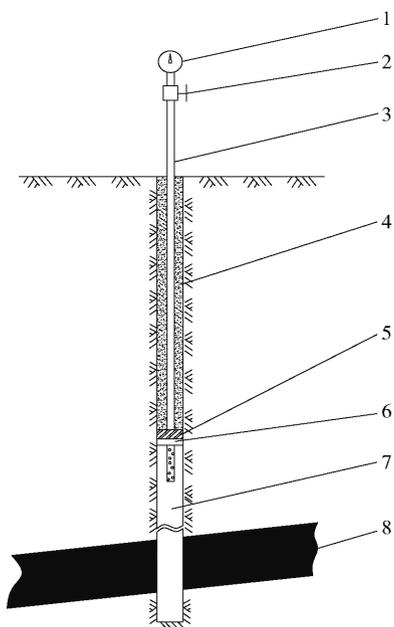
(b) 15号煤层

图2 段王煤矿煤层瓦斯解析量及损失量曲线图

表1 煤层工业分析及瓦斯含量测定结果表

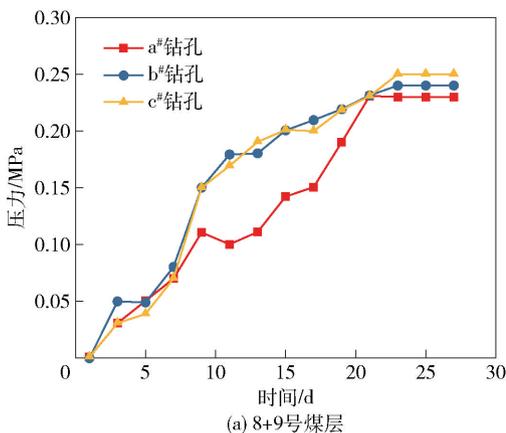
	测定地点	工业分析			瓦斯含量/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	埋深/m
		水分/%	灰分/%	挥发分/%		
8+9号煤层	090506 回风巷 500 m 处	1.02	36.83	20.11	4.17	247
	090506 运输巷 700 m 处	0.8	30.13	19.79	3.19	220
15号煤层	150503 轨道巷 300 m 处	1.76	30.56	15.80	7.55	258
	150206 回风巷 150 m 处	0.68	12.18	12.58	10.4	413

置,岩层与煤层间的垂直距离大于 20 m。钻孔应尽量与煤层垂直,孔径为 75 mm。清除孔内岩屑后封孔测压,具体如图 3 所示。当压力表读数保持稳定不变时且必须满足时间大于 7 d,即为煤层瓦斯压力。



1—压力表; 2—阀门; 3—油压管; 4—水泥矿浆; 5—棉纱; 6—挡盘; 7—钻孔; 8—煤层

图3 煤层瓦斯压力测定封孔示意图



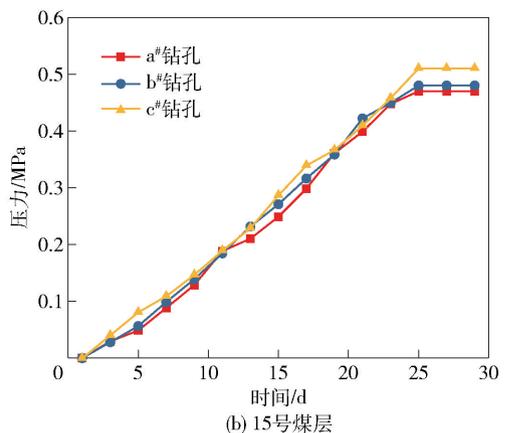
(a) 8+9号煤层

根据段王煤矿井下现场条件,8+9号和15号煤层均选取一个顺层孔和两个穿层孔三个测点,测压钻孔的各项参数及压力测定结果见表2,煤层钻孔压力曲线如图4所示。8+9号和15号煤层平均相对瓦斯压力分别为 0.24 MPa 和 0.49 MPa。15号煤层瓦斯压力明显大于 8+9号煤层。可以发现 8+9号煤层压力曲线波动性明显大于 15号煤层,说明 8+9号煤层完整性较差,这也是造成煤层瓦斯抽采困难的主要因素。

综上分析,段王煤矿 8+9 号和 15 号煤层瓦斯含量均较高,属于高瓦斯矿井。15 号煤层瓦斯压力明显大于 8+9 号煤层。随着开采向深部延深,煤层的瓦斯压力会有所上升。因此,段王煤矿 8+9 号和 15 号煤层在开拓生产前,必须对煤层的瓦斯赋存及涌出情况进行详细研究,有针对性的采取治理措施,否则瓦斯问题将对煤矿的安全管理、采掘接替产生重大影响。

3.3 瓦斯吸附常数测定

煤的瓦斯吸附常数是衡量煤吸附瓦斯能力大小的指标,煤样的工业分析值是计算煤层瓦斯含量的重要指标之一。通过现场取样在实验室完成煤的瓦斯吸附常数测定。进行不同平衡瓦斯压力下的吸附瓦斯量测定(一般不少于 6 个),然后根据郎格缪尔



(b) 15号煤层

图4 段王煤矿煤层钻孔压力曲线图

表2 煤层瓦斯压力测定钻孔参数及测定结果

测定煤层	钻孔编号	钻孔倾角/(°)	钻孔长度/m	封孔深度/m	见煤埋深/m	见煤标高/m	相对瓦斯压力/MPa
8+9号	a#	-8	65	50	256	920	0.23
	b#	-35	22.3	13	266	917	0.24
	c#	15	73.5	45	273	919	0.25
15号	d#	5	55	38	227	905	0.47
	e#	-10	42.5	35	252	755	0.48
	f#	-10	45.5	35	260	760	0.51

方程 $W = abP/(1 + bP)$ 拟合回归得到煤的瓦斯吸附常数 a 和 b 。

利用上述方法分别在8+9号煤层090506工作面运输巷300 m处和15号煤层150405工作面运输

巷250 m处采集煤样。在恒温30℃下进行瓦斯吸附实验,采用甲烷成分99.99%的气体。通过实测数据计算得吸附常数,结果见表3。吸附等温线如图5所示。

表3 煤层吸附常数及工业分析测定结果

测定煤层	地点	吸附常数		Mad/ %	Ad/ %	Vdaf/ %	真密度/ $t \cdot m^{-3}$	视密度/ $t \cdot m^{-3}$	孔隙率/ %
		$A/m^3 \cdot t^{-1} \cdot r^{-1}$	b/MPa^{-1}						
8+9号	090506工作面运输巷300 m	33.032	0.826	0.6	10.73	16.4	1.41	1.37	2.84
15号	150405工作面运输巷250 m	32.268	0.881	0.68	6.61	14.25	1.38	1.34	2.90

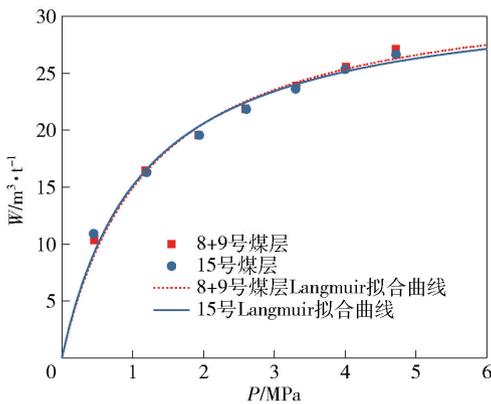


图5 煤层吸附等温线图

3.4 煤层瓦斯放散初速度(ΔP)测定

煤层瓦斯放散初速度 ΔP 是指粒度大小为0.2~0.25 mm、重量3.5 g的煤样在标准大气压下吸附瓦斯后向真空空间释放,测定在0~60 s压差变化大小。另外,需要注意的是同一煤层的两个不同试样测出的 ΔP 值之差不应大于1,否则需要重新测试。

对段王矿8+9号煤层090506工作面运输巷300 m处和15号煤层150503轨道巷150 m处取煤样进行瓦斯放散初速度实验室测定,其测定结果见表4。可以发现8+9号和15号煤层瓦斯放散初速度分别为10.7 mmHg、13.2 mmHg。一般而言,煤的放散性初速度 $\Delta P > 10$ mmHg,就可以表征煤层具有

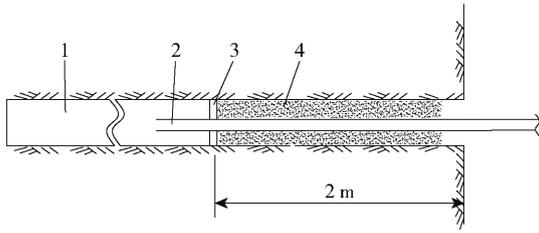
突出危险性。所以在8+9号和15号煤层开采时必须对煤层瓦斯进行预抽采,制定瓦斯防治措施。

3.5 钻孔瓦斯自然涌出特征

钻孔自然瓦斯涌出特征是评价煤层瓦斯渗透能力强弱的重要指标。研究发现煤层瓦斯涌出具有阶段性特征,随时间变化是一个逐渐减小的趋势。通常采用钻孔初始瓦斯涌出强度 q_0 和钻孔瓦斯流量衰减系数 α 表征。其中钻孔瓦斯流量衰减系数可进一步评价煤层瓦斯预抽难易程度,已形成强有力的指标等级划分。在井下通过测定不同时刻的钻孔自然瓦斯流量,然后按 $q_t = q_0 e^{-\alpha t}$ 回归分析计算 q_0 和 α 。其中: q_t 为自排时间 t 时的钻孔自然瓦斯流量, m^3/min ; q_0 为初始时刻的钻孔自然瓦斯流量, m^3/min ; α 为钻孔自然瓦斯流量衰减系数, d^{-1} ; t 为钻孔自排瓦斯时间, d 。

测试仪器选用YHL1矿用本安型流量计。现场实测钻孔仪器安装如图6所示。在该矿8+9号煤层090506工作面运输巷500 m和15号煤层150405工作面运输巷500 m处打一个顺煤层测试钻孔,定期测量钻孔自然瓦斯流量 q_t 。煤层瓦斯自然涌出特征计算结果见表4。煤层瓦斯自然涌出量衰减曲线如图7所示。由于煤层所处深度的差异,15号煤层瓦斯自然涌出量明显大于8+9号煤层。这与煤层瓦斯含量与瓦斯压力规律是一致的,充

分说明 15 号煤层可抽放性明显强于 8+9 号煤层。后期在抽放方案设计时应采取有差别的工程措施。



1—钻孔; 2—镀锌钢管; 3—挡板; 4—水泥浆

图 6 钻孔瓦斯涌出量测定示意图

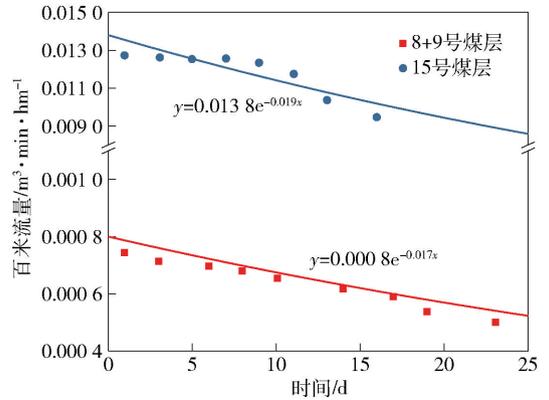


图 7 煤层瓦斯自然涌出量衰减曲线

表 4 煤层瓦斯自然涌出特征计算结果

煤层	测量地点	钻孔参数			百米钻孔初始瓦斯涌出强度/L·min ⁻¹ ·100 m ⁻¹	钻孔自然瓦斯流量衰减系数/d ⁻¹	瓦斯放散初速度/mmHg
		孔深/m	孔径/mm	倾角/(°)			
8+9 号	090506 工作面运输巷 500 m	50	75	2	0.000 8	0.017	10.7
15 号	150405 工作面运输巷 500 m	50	75	2	0.013 8	0.019	13.2

3.6 煤层透气性测定

煤层透气性系数是评价瓦斯等气体在煤层内流动难易程度的重要指标。透气性系数越大,说明煤层瓦斯运移效率越高,是衡量煤层瓦斯可否抽采的重要参数。通常采用现场径向不稳定流动法确定煤层透气性系数。这是因为煤层中存在着大量宏观裂隙结构,在地应力、地下水、地质构造分布以及强运动等因素作用下,裂隙网络发生改变,煤层透气性处于一个动态变化的范畴。如果在实验室测定煤样的渗透性,因为尺度的变化,所得结果并不能真实反映现场煤层透气性。

因此,采用井下实测煤层透气性大小的方法,与测定煤层瓦斯压力同时进行。煤层透气性系数测定利用瓦斯压力钻孔进行测定,测试仪器选用 YHL1 矿用本安型流量计。8+9 号煤层测试地点选择在 0905 水仓测压孔,15 号煤层测试地点选择在 150405 轨道巷 750 m 高位钻场测压孔,利用测压钻孔现场测定。透气性测定结果见表 5。由以上计算可得段王煤矿 8+9 号煤层的透气性系数为 4.412 m²/MPa²·d;由以上计算可得段王煤矿 15 号煤层的透气性系数为 9 m²/MPa²·d。

表 5 透气性系数测试结果

测试煤层	绝对瓦斯压力/MPa	孔口压力/MPa	钻孔半径 r ₁ /m	时间 t/d	时间 t 时流量 Q/m ³ ·d ⁻¹	含量/m ³ ·t ⁻¹	透气性系数 λ/m ² ·MPa ⁻² ·d ⁻¹
8+9	0.25	0.1	0.037 5	7	1.312	4.29	4.412
15	0.51	0.1	0.037 5	8	10.815	7.78	9.000

3.7 煤层瓦斯抽采可行性对比

煤层瓦斯抽采的可行性是指在原始煤体状态下,根据煤层透气性对瓦斯进行预抽采的可能。一般通过煤层的透气性系数和钻孔瓦斯流量衰减系数评价煤层瓦斯抽采可行性。根据中华人民共和国安全生产行业标准《矿井瓦斯抽采规范》规定的开采层瓦斯抽采可行性的标准和段王煤矿实测煤层瓦斯参数,8+9 号煤层、15 号煤层钻孔瓦斯流量衰减系数均在 0.003 ~ 0.05,煤层透气性系数均在 10 ~

0.1 m²/MPa²·d。因此可以判断段王煤业 8+9 号煤层、15 号煤层预抽瓦斯难易程度均为可以抽放。

4 结论

(1) 8+9 号和 15 号煤层瓦斯压力分别为 0.24 MPa、0.49 MPa;瓦斯含量分别为 3.68 m³/t、8.98 m³/t;但是瓦斯吸附常数是相近的。煤层瓦斯含量均较高,在采掘过程中应预防瓦斯超限。

(2) 8+9 号和 15 号煤层瓦斯放散初速度分别

为 10.7 mmHg、13.2 mmHg,具有突出危险性。在 8+9 号和 15 号煤层开采时必须对瓦斯预抽采,制定瓦斯防治措施。

(3)8+9 号和 15 号煤层钻孔流量衰减系数 $0.017 d^{-1}$ 、 $0.019 d^{-1}$ 和煤层透气性系数 $4.412 m^2/MPa^2 \cdot d$ 、 $9.000 m^2/MPa^2 \cdot d$,综合评价认为 8+9 号和 15 号煤层均属可抽放煤层,测定结果对于瓦斯管理及综合利用提供了依据和基础。

[参考文献]

[1] 李朝兴. 瓦斯事故在施工过程中演变进度研究及防治对策[J]. 中国矿山工程, 2017, 46(4): 41-42.
 [2] 梁运培,郑梦浩,李全贵,等. 我国煤与瓦斯突出预测与预警研究综述[J]. 煤炭学报, 2022, 1-24.
 [3] 孙瑞玉,庄永胜,乔鼠盟,等. 煤矿工作面瓦斯综合治理技术研究[J]. 中国矿山工程, 2010, 39(1): 26-29.
 [4] 陈景明,金守宽,潘君伟,等. 煤矿井下综采面瓦斯治理研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(10): 308-313.
 [5] 邓成均. 突出矿井采煤工作面瓦斯综合治理实践探析[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(2): 59-61.
 [6] 陈再安,罗文柯,游波,等. 白山坪矿煤层瓦斯参数特

征及防治技术[J]. 矿业工程研究, 2016, 31(2): 27-33.

[7] 王兆丰,李宏,柯昌友. 成庄矿 3~#煤层瓦斯赋存影响因素分析[J]. 煤炭工程, 2011(4): 58-60.
 [8] 崔少华. 大采高综采工作面采场瓦斯运移规律研究[J]. 中国矿山工程, 2020, 49(4): 42-45.
 [9] 韩关桥. 东庞矿 2 号煤层瓦斯参数测定及影响因素研究[J]. 煤炭与化工, 2016, 39(4): 56-59.
 [10] 郭勇飞. 基于钻孔瓦斯抽采流量方法的煤层瓦斯抽采半径研究[J]. 能源与节能, 2020(9): 13-15.
 [11] 薛伟超. 顶板定向瓦斯抽采钻孔合理层位确定及其抽采效果分析[J]. 中国煤炭, 2022, 48(4): 41-47.
 [12] 李国英. 煤层瓦斯参数测定技术研究及应用[J]. 煤炭科技, 2019, 40(1): 67-70.
 [13] 李治蒙. 探讨矿井瓦斯抽采的必要性及抽采方法[J]. 矿业装备, 2021(5): 30-31.
 [14] 胡华,汪圣伟,李希建,等. 青龙煤矿穿层钻孔瓦斯有效抽采半径研究[J]. 采矿技术, 2022, 22(3): 38-40.

(上接第 38 页)

提高了回采过程中的安全系数;二是减少切割工程量,降低矿山投入;三是一次性回采量大,增大生产能力。

(4)及时充填回采完毕的采场,达到了及时支撑、围严采空区顶帮的目的,避免因采空区顶板冒落引起地表塌陷、危岩体垮落的风险,创造了良好的社会效益。

[参考文献]

[1] 杨毅. 金属矿床地下开采[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1999.
 [2] 古德生. 现代金属矿床开采科学技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.
 [3] 解世俊. 金属矿床地下开采[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.
 [4] 胡际平. 现代地下矿山采矿方法典型方案实例(四)一段分空场采矿法[J]. 国外金属矿山, 1990(5): 53-

55.

[5] 金宇怱,黎文斐. 中厚近水平矿体采矿技术探讨[J]. 中国高新技术企业, 2009(19): 176-177.
 [6] 胡际平. 现代地下矿山采矿方法典型案例(八)一下盘漏斗分段空场采矿法[J]. 国外金属矿山, 1990(90): 40-43.
 [7] 尹乔华,吴爱祥. 缓倾斜中厚矿体采矿方法现状及发展趋势[J]. 金属矿山, 2007(12): 10-13.
 [8] 周君才. 中稳矿岩缓倾斜中厚矿体采矿方法的改进途径[J]. 有色金属(矿山部分), 1990(1): 8-12.
 [9] 王玉杰. 爆破工程[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 2007.
 [10] 张斌,王孟来,李树建,等. 缓倾斜中厚磷矿体采矿方法设计及采动效应研究[J]. 采矿技术, 2022, 22(4): 8-13+38.
 [11] 孙瑞明,李冬雪. 某金属矿山缓倾斜厚大矿体采矿方案探讨[J]. 采矿技术, 2021, 21(4): 1-4.