

试验研究

白龙山煤矿一井煤层瓦斯参数测定及赋存规律研究

徐全伏,陈存强

(华能云南滇东能源有限责任公司,云南 曲靖 655508)

摘要:为了在突出矿井白龙山煤矿一井中有效、可靠地进行瓦斯综合防治工作,需要准确掌握煤层的瓦斯基础参数。通过现场实测得到 C_{8+1} 煤层的瓦斯压力、瓦斯含量、煤层透气性系数和钻孔瓦斯衰减系数等参数,实验室测试得到煤的孔隙率、瓦斯吸附常数、工业分析指标、煤的坚固性系数和瓦斯放散初速度等指标,综合评价认为白龙山煤矿一井 C_{8+1} 煤层属于较难抽放煤层。研究结果为白龙山煤矿一井 C_{8+1} 煤层的瓦斯抽采设计、防突措施制定和瓦斯综合利用提供依据和基础。

关键词:瓦斯压力;瓦斯基础参数;瓦斯含量;透气性系数

中图分类号:TD712

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2015)05-0041-04

矿井瓦斯是影响煤矿安全生产的主要因素之一,瓦斯问题已成为制约矿井发展、影响矿井生产和经济效益的重大问题。煤层瓦斯基本参数是了解煤层瓦斯赋存情况,确定合理抽采参数的基础资料,这些基础参数是煤矿进行防治瓦斯和防突工作的重要依据。

白龙山煤矿一井是一座新建矿井,煤层的鉴定结果表明 C_2 、 C_4 和 C_{7+8} 煤层为突出煤层。自 2005 年揭穿和进入煤层以来,在 C_{7+8} 和 C_2 煤层中已发生了 9 次煤层瓦斯动力现象,抛出煤炭最多达 700 t。为了确保白龙山煤矿一井的安全生产,经过近 4 年的矿井建设,现有 C_{8+1} 煤层开拓巷道的埋深已普遍超过 300m,因此急需对白龙山煤矿一井现有开拓范围内的 C_{8+1} 煤层进行瓦斯基本参数测定。

1 矿井概况

白龙山煤矿一井井田境界东西长约 8.5 km,南北宽约 2.5~4.8 km,面积 32.04 km²。矿井设计生产能力 3.0 Mt/a,设计服务年限 79.4 a,为在建矿井。井田构造总貌为一倾向北东南西向的单斜,内部有次一级的宽缓褶曲及稀少的走向、斜交断层,地层倾角 6°~15°,靠断层附近局部可达 30°~

43°。

根据矿井开采煤层的赋存状况、矿井的开拓部署方式、进风与回风井的设置、瓦斯等级、矿井开采范围和设计生产能力以及产量增加等因素综合考虑,由于是新建矿井,首采区不存在老窑塌陷漏风情况,且属于煤与瓦斯突出矿井,瓦斯涌出量大,为了更有利于瓦斯管理,白龙山煤矿一井采用多进风井和多回风井的分区式通风系统。

2 参数测定方案

在现有的巷道中,施工测压钻孔并封孔,现场测定 C_{8+1} 煤层的原始瓦斯压力、原始瓦斯含量和钻孔瓦斯自然涌出量;根据现场煤层赋存及煤的破坏类型分类特征综合确定煤层的破坏类型;从现场采取全断面和软分层煤样,送实验室测定 C_{8+1} 煤层煤的坚固性系数、瓦斯放散初速度、煤的工业分析、孔隙率以及煤的吸附常数(a、b 值)等参数;在现场及实验室测定的基础上,测算煤层的透气性系数和钻孔瓦斯流量衰减系数等煤层瓦斯基本参数。

2.1 煤层瓦斯压力测定

瓦斯压力是标志煤层赋存和动态特征的一个重要参数,在研究矿井瓦斯赋存、瓦斯涌出及瓦斯抽采时,它是一个关键性的基础参数。

2.1.1 测定方法

根据白龙山煤矿一井的实际情况,煤层原始瓦斯压力需井下直接测定,采用注浆封孔,被动式测压法。上向钻孔的被动式测压如图 1 所示。

煤层原始瓦斯压力的测定主要通过井下开拓范围内的巷道施工测压钻孔,钻孔施工结束后,将测压管安装在钻孔中预定的封孔深度,孔口用玛丽散堵塞固定测压管和注浆管。根据封孔深度确定水泥及膨胀剂的用量,并按水灰比 2:1 配制水泥浆,用注浆设备一次连续将水泥浆注入孔内,经 24 h 凝固后安装压力表。及时观察和记录压力表值的变化,直到表力压值稳定 5~7 d 为止。

2.1.2 测压钻孔布置

根据白龙山煤矿一井开拓部署及采掘情况,在 C₇₊₈ 煤层底板辅运大巷、胶辅联巷和清仓斜巷

各布置一个 C₈₊₁ 煤层测点,共 3 个测点,6 个钻孔。

2.1.3 封孔质量

封孔质量是确保钻孔准确测定煤层瓦斯参数的重要因素。为了提高封孔质量,采用注浆泵进行注浆封孔,且注浆封孔长度严格按有关规定,避开了煤层采动影响范围。为防止水泥浆凝固后因收缩产生裂隙,根据封孔深度,在水泥浆中加入一定比例的膨胀剂,并按水灰比为 2:1 配制好水泥浆后进行封孔,从而确保封孔质量,保证测压钻孔测压期间不漏气。

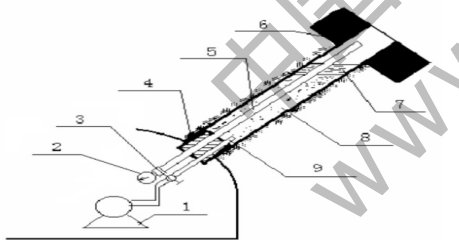
2.1.4 测定结果

C₈₊₁ 煤层 6 个测压钻孔测得的原始瓦斯压力见表 1。

表 1 C₈₊₁ 煤层瓦斯压力测定结果

煤层	测压地点	钻孔编号	方位(°)	倾角(°)	封孔(m)	埋深(m)	瓦斯压力(MPa)
C ₈₊₁	胶辅联巷	1	28	30	38	688	0.64
		2	286	30	30	686	0.58
	C ₇₊₈ 煤层底板辅运大巷	3	321	18	40	680	0.69
		4	321	22	30	680	1.20
		5	327	16	34	446	0.19
		6	276	14	42	441	0.36

从表 1 中可以看出,C₈₊₁ 煤层的瓦斯压力测值总体上呈现埋深相近测值相近,埋深增加测值增大的趋势,符合瓦斯压力与埋深的相关关系。



1—注浆泵;2—压力表;3—球阀;4—聚氨酯;
5—测压管;6—煤层;7—水;8—水泥;9—注浆管

图 1 上向钻孔被动式测压示意

2.2 煤层瓦斯含量直接测定

2.2.1 测定方法

直接测定法测定煤层瓦斯含量,是直接采集煤样进行井下瓦斯解吸、实验室粉碎前瓦斯解吸、粉碎后瓦斯解吸并计算瓦斯损失量,从而确定煤层瓦斯含量。直接测定法的优点是瓦斯解吸量的直接测定,避免了间接法测定参数时的误差累计;缺点是在煤样采集过程中存在瓦斯的损失,需建立损失瓦斯量补偿方法。采用直接法测定瓦斯含量的测定装置为 DGC 瓦斯含量直接测定装置,可

直接快速地测定和计算出煤层瓦斯含量。

煤层瓦斯含量(X)由可解吸瓦斯含量和不可解吸瓦斯量组成,单位为 m³/t,其表达基准为原煤基。可解吸瓦斯含量为瓦斯损失量、井下解吸瓦斯量、粉碎前瓦斯解吸量和粉碎后瓦斯解吸量四者之和。不可解吸瓦斯量是指单位质量的煤在 20 °C 和一个大气压条件下所含有的瓦斯量。煤层瓦斯含量可由下式进行计算:

$$X = X_k + X_b$$

$$X_k = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$$

式中: X_k—可解吸瓦斯量, cm³/g;

X₁—损失瓦斯量, cm³/g;

X₁ 采用幂函数法进行计算:

$$X_1 = q_0 \frac{\left[\frac{(1+t_0)^{1-n} - 1}{1-n} \right]}{M}$$

X₂—井下解吸瓦斯量, cm³/g;

X₃—粉碎前瓦斯解吸量, cm³/g;

X₄—粉碎后瓦斯解吸量, cm³/g;

X_b—不可解吸瓦斯量, cm³/g;

$$X_b = \frac{0.1ab}{1+0.1b} \cdot \frac{100-A_d-M_{ad}}{100} \cdot \frac{1}{1+0.31M_{ad}} + \frac{Fp}{\gamma}$$

式中: X_b —不可解吸瓦斯量, cm^3/g ;

a, b —吸附常数;

A_d —煤的灰分, %;

M_{ad} —煤的水分, %;

F —煤的孔隙率, m^3/m^3 ;

p —瓦斯压力, MPa;

γ —煤的容重(视密度), t/m^3 。

煤样采集钻孔的布置与测压钻孔相同。首先向煤层施工取样钻孔, 及时采取预定深度处新鲜煤样, 然后装入煤样罐进行密封, 在井下进行常压自然解吸, 并计量瓦斯解吸速度; 将解吸后的煤样罐送入地面实验室, 进行粉碎前常压瓦斯解吸, 后进行粉碎后常压瓦斯解吸, 记录地面瓦斯解吸量; 根据井下瓦斯解吸速度计算取样过程中的瓦斯损失量, 以上解吸量相加得出可解吸瓦斯含量; 根据

实验室工业分析、孔隙率等参数, 计算常压不可解吸瓦斯含量; 将可解吸瓦斯含量与常压不可解吸瓦斯含量相加即为煤层瓦斯含量。

2.2.2 煤样采集

钻孔开孔位置选择在巷道壁较完整的位置, 均位于 C_{8+1} 煤层底板。采用 ZDY3200S 型液压钻机配直径 108 mm 钻头施工, 待钻进到取样点时, 停止钻进并计时, 来回进退钻杆, 待孔内残留钻屑被压风排除干净后, 及时拆卸钻杆, 安装好取芯管后送钻至取样点, 继续钻进取芯, 采集新鲜煤芯进行瓦斯含量测定。

2.2.3 测定结果

根据现场、实验室测定的煤样可解吸量与计算的常压不可解吸量等结果, 得到直接测定的 C_{8+1} 煤层瓦斯含量见表 2。

表 2 C_{8+1} 煤层的瓦斯含量测定结果

煤层	钻孔编号	测压地点	取样孔度 (m)	取样埋深 (m)	可解吸量 (m^3/t)	不可解吸量 (m^3/t)	瓦斯含量 (m^3/t)
C_{8+1}	1	胶辅联巷	39	688	15.1658	2.4623	17.6281
	2		30	686	15.1102		17.5725
	3	C_{7+8} 煤层底板辅运大巷	40	680	12.3885		14.8508
	4		30.5	680	11.2019		13.6642
	5	清仓斜巷距主斜井约 50 m 处	34	446	9.7172		12.1795
	6		42.5	441	8.3374		10.7997

从表 2 中的测定结果可以看出, 随着煤层埋深的增加, 瓦斯含量有增大趋势, 同时在煤层埋深相近时瓦斯含量也相近, 测定结果符合煤层埋深与瓦斯赋存规律的相关关系。

2.3 煤样瓦斯基本参数实验室测定

采用刻槽法在 17+805 底抽巷距回风大巷

900 m 处(1 # 取样点)和距辅运大巷迎头 100 m 处(2 # 取样点)各取 C_{8+1} 煤层软分层煤样 1 份进行煤的破坏类型、坚固性系数 f 和瓦斯放散初速度 ΔP 等参数测定。并在 17+805 底抽巷距回风大巷 900 m 处取全层煤样 1 份进行煤的工业分析, 瓦斯吸附常数等参数测定。测定结果见表 3、表 4。

表 3 C_{8+1} 煤层的瓦斯吸附常数及工业分析等参数测定结果

煤层	采样地点	工业分析(%)			真密度 TRD	视密度 ARD	孔隙率 F	瓦斯吸附常数	
		Mad	Ad	Vdaf				a	b
C_{8+1}	17+805 底抽巷距回风大巷 900m 处	1.89	11.55	8.00	1.51	1.47	2.65	32.8293	1.4633

注: 吸附实验温度 $t_s=30$ °C, 吸附气体浓度 (CH_4) 99.9 %。

表 4 C_{8+1} 煤层的破坏类型、瓦斯放散初速度和坚固性系数测定结果

煤层	采样地点	煤的破坏类型	瓦斯放散初速度 ΔP	煤的坚固性系数 f
C_{8+1}	17+805 底抽巷距回风大巷 900m 处	~	28	0.25
	17+805 底抽巷距辅运大巷迎头 100m 处		21	0.81

2.4 煤层瓦斯含量间接测定

煤层瓦斯含量是指单位质量或单位体积的煤在自然状态下所含游离和吸附瓦斯的总和。

采用间接测定法测定煤层瓦斯含量的方法

是, 采用井下直接测定煤层瓦斯压力, 并采取煤样在实验室测定煤的吸附常数、工业分析和孔隙率等参数, 再应用朗格缪尔公式进行计算相应的煤层瓦斯含量。瓦斯含量结果见表 5。

表5 C₈₊₁煤层瓦斯含量间接测定结果表

测定地点	钻孔标号	埋深 (m)	直接压力 (MPa)	间接含量 (m ³ /t)
胶辅联巷	1	688	0.64	11.1023
	2	686	0.58	10.4434
C ₇₊₈ 煤层底板辅运 大巷	3	680	0.69	11.3476
	4	680	1.20	14.3057
清仓斜巷距主斜井 约50m处	5	446	0.19	6.3306
	6	441	0.36	8.6824

由表5可知,钻孔4直接测定的瓦斯压力为1.20 MPa,间接测算的瓦斯含量为14.3057 m³/t,而实测的瓦斯含量为13.6642 m³/t,两者误差为4.7%;钻孔6直接测定的瓦斯压力为0.36 MPa,间接测算的瓦斯含量为8.6824 m³/t,而实测的瓦斯含量为10.7997 m³/t,两者误差为19.6%。

2.5 煤层透气性系数计算

煤层透气性代表煤层内瓦斯流动的难易程度,是衡量煤层瓦斯抽采难易程度的重要指标。在实际条件下,由于煤对瓦斯有吸附能力,瓦斯在煤中的流动与粘性流动有一定差别,在透气性计算中要引入吸附瓦斯的影响,视为不稳定径向流动。国内外测定煤层透气性方法不尽相同,其结果也不相同。在井下直接测定煤层透气性的方法常用的有:P·M克里切斯基法、马可尼瓦斯压力恢复曲线法和中国矿院法,它们均以径向不稳定流为计算基础。

本次白龙山一井C₈₊₁煤层透气性系数的测算方法采用中国矿院法,该方法是我国煤炭行业普遍采用的通用方法。煤层透气性系数容易受应力状态,瓦斯排放等因素影响(前苏联东方煤矿安全研究所研究表明: $\lambda = ae^{-(bp+c)r}$,其中a、b、c为经验系数;p、σ分别为瓦斯压力、应力垂直分量),但本次测定地点基本不受开采等集中应力和瓦斯排放因素影响,为原始赋存区域。

具体方法是:在煤层的瓦斯压力测定完毕后,卸掉压力表,测定钻孔瓦斯自然涌出量,然后根据煤层径向流动理论结合瓦斯的原始瓦斯压力、瓦斯含量,结合如下公式进行试算和验算,最终确定煤层的透气性系数。

$$A = qr / (P_0^2 - P_1^2)$$

$$B = 4P_0^{1.5} / ar^2$$

$$F_0 = B\lambda$$

$$\alpha = x / \sqrt{P_0}$$

$$F_0 = 10^{-2} \sim 1, \lambda = 100A^{1.61} B^{0.613}$$

$$F_0 = 1 \sim 10, \lambda = 100A^{1.39} B^{0.389}$$

$$F_0 = 1 \sim 10^2, \lambda = 109.5A^{1.25} B^{0.25}$$

$$F_0 = 10^2 \sim 10^3, \lambda = 182.8A^{1.136} B^{0.136}$$

$$F_0 = 10^3 \sim 10^5, \lambda = 210.4A^{1.111} B^{0.111}$$

$$F_0 = 10^5 \sim 10^7, \lambda = 313.1A^{1.07} B^{0.0695}$$

式中:x--原始瓦斯含量,m³/t;

p₀--煤层原始瓦斯压力,MPa;

p₁--巷道大气压,MPa;

r--钻孔半径,m;

q--钻孔排放时间为t时的煤孔段单位面积的瓦斯流量,m³/m²·d;

$$q = Q / 2\pi rL$$

Q--钻孔排放时间为t时流量,m³/d;

L--煤孔段长度,m。

计算过程:先计算A、B,然后任选一个F值,根据其相应的公式计算λ,最后根据λ、B计算F,若F值在原定范围内,则λ即是煤层的透气性系数,否则重新进行计算。

根据以上理论计算得到白龙山煤矿一井C₈₊₁煤层透气性系数在0.0308~0.2431m²/MPa²·d之间,平均值为0.1138m²/MPa²·d。

2.6 钻孔瓦斯流量衰减系数计算

钻孔瓦斯流量衰减系数可以作为评估开采煤层瓦斯预抽难易程度的一个指标。采用目前通行的方法,即利用流量表测定钻孔瓦斯流量及其随时间的变化关系。

钻孔瓦斯流量衰减系数的具体测定方法是:先测定初始流量q₀,经时间t后(流量达到稳定),再测其瓦斯流量q_t,根据不同时间t的钻孔瓦斯流量测试数组(t_i,q_i),然后用下式回归计算衰减系数β:

$$q_t = q_0 e^{-\beta t}$$

式中:q_t--经过t时间的钻孔瓦斯流量,m³/min;

q₀--钻孔初始瓦斯流量,m³/min;

β--钻孔瓦斯流量衰减系数,d⁻¹;

t--从开始排放瓦斯到测瓦斯流量q_t时的时间间隔,d。

根据以上理论回归计算得到白龙山煤矿一井C₈₊₁煤层的钻孔瓦斯流量衰减系数在0.1396~0.2681d⁻¹之间,平均值为0.1835d⁻¹。

2.7 煤层瓦斯抽采难易程度评价

(下转第64页)

以国际上比较成熟的压力-状态-响应模型作为指标分类的依据,选取的指标基本符合人类活动和自然生态之间的相互作用关联,体现了完整的逻辑关系。

参考文献

[1]Skaa A P,Zawadzki K,et al. Evaluation of the Bioindicator Suitability of Polygonum Avicul Are in Urban Areas [J]. Ecological Indicators,2013,24: 552 - 556.

[2]Pincetl S. Nature,Urban Development and Sustainability - What New Elements Are Needed for a More Comprehensive Understanding?[J]Cities,2012,29: S32 - S37.

[3]Kellett R,Christen A,et al. A Systems Approach to Carbon Cycling and Emissions Modeling at an Urban Neighborhood Scale [J].

Landscape and Urban Planning,2013, 110: 48 - 58.

[4]李海龙,于立. 中国生态城市评价指标体系构建研究[J]. 城市发展研究,2011,07:81-86+118.

[5]王彦鑫,梁吉业. 生态城市评价模型:构建及应用[J]. 经济问题,2011,10:126-129.

[6] 吴颖婕. 中国生态城市评价指标体系研究 [J]. 生态经济,2012,12:52-56.

[7]王锋,刘传哲,吴从新,许士春. 城市低碳发展指数的构建与应用--以江苏 13 城市为例[J]. 现代经济探讨,2014,01:79-83.

[8]王锋,刘传哲,吴从新,张炎治. 区域低碳发展指数建模--基于中国 30 省份的实证分析[J]. 统计与信息论坛,2014,04:30-36.

[9] 夏春海. 生态城市指标体系对比研究 [J]. 城市发展研究,2011,01:36-42.

[10]关海玲,孙玉军. 我国省域低碳生态城市发展水平综合评价--基于因子分析[J]. 技术经济,2012,07:91-98.



(上接第 44 页)

根据《抽放规范》要求,将未卸压的原始煤层的抽放难易程度划分为:容易抽放、可以抽放、较难抽放三种类型,并规定了相应的取值范围。取值范围详见表 6。

表 6 煤层按抽采指标分类

类别	钻孔瓦斯流量衰减系数 (d ⁻¹)	煤层透气性系数 (m ² /MPa ² ·d)
容易抽放	<0.003	>10
可以抽放	0.003~0.05	10~0.1
较难抽放	>0.05	<0.1

煤层透气性系数评价抽放难易程度最直观,煤层透气性系数大,则容易抽放;煤层透气性系数小,则难于抽放。钻孔瓦斯流量衰减系数是表示钻孔瓦斯流量随时间延长而呈衰减变化的系数,其流量按负指数函数规律衰减,衰减系数大,则表示抽放困难;衰减系数小,则表示抽放容易。

白龙山煤矿一井 C₈₊₁ 煤层的透气性系数在 0.0308~0.2431m²/MPa²·d 之间,按《抽放规范》的分类指标,属于可以抽放~较难抽放煤层。

白龙山煤矿一井 C₈₊₁ 煤层的钻孔瓦斯流量衰减系数介于 0.1396~0.2681d⁻¹ 之间,按《抽放规范》的分类指标,属于较难抽放煤层。

通过对白龙山煤矿一井 C₈₊₁ 煤层的抽放难易程度指标进行测定并计算,根据透气性系数评价认为 C₈₊₁ 煤层属于可以抽放~较难抽放煤层,根据钻孔瓦斯流量衰减系数评价认为 C₈₊₁ 煤层属于较难抽放煤层,故综合评价认为 C₈₊₁ 煤层属于较难抽放煤层。

3 结论

通过现场与实验室测定工作,掌握了白龙山煤矿一井 C₈₊₁ 煤层的瓦斯基础参数与煤层瓦斯赋存特点和规律性,得出如下结论:

采用注浆封孔和被动式测压法直接测定得到了 C₈₊₁ 煤层的原始瓦斯压力,按煤层瓦斯压力取最大值原则,C₈₊₁ 煤层原始瓦斯压力为 1.20MPa。

采用直接测定法,直接采集煤样进行瓦斯解吸和损失量计算确定煤层瓦斯含量,C₈₊₁ 煤层直接测定的瓦斯含量为 10.7997~17.6281 m³/t。

通过测定钻孔的自然瓦斯流量,得到 C₈₊₁ 煤层的透气性系数在 0.0308~0.2431m²/MPa²·d 之间,平均值为 0.1138m²/MPa²·d;瓦斯流量衰减系数在 0.1396~0.2681d⁻¹ 之间,平均值为 0.1835d⁻¹。根据对比 C₈₊₁ 煤层的抽放难易程度指标,综合评价认为白龙山煤矿一井 C₈₊₁ 煤层属于较难抽放煤层。