

高军伟. 豫西三软煤层瓦斯预抽效果检验指标临界值研究[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(6): 54-58.
文章编号: 1008-4495(2017)06-0054-05

豫西三软煤层瓦斯预抽效果检验指标临界值研究

高军伟^{1,2}

(1. 中国平煤神马集团 炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室, 河南 平顶山 467099;
2. 中国平煤神马集团 能源化工研究院, 河南 平顶山 467099)

摘要: 为了确定豫西三软不稳定突出煤层瓦斯区域预抽效果检验指标(p 、 W)的临界值, 通过建立实验室实验系统, 构建钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 与瓦斯压力 p 的对应关系, 并基于此对应关系及豫西煤层瓦斯突出及瓦斯动力现象显现区域瓦斯压力 p 及瓦斯含量 W 的实测结果, 综合确定出煤层瓦斯区域预抽效果检验指标 p 、 W 的临界值分别为 0.4 MPa、5.0 m³/t, 并经过了实际采掘验证。这一临界值与现有的一些规定不尽相同, 其研究方法及其结果可供具有同类煤层的煤矿借鉴。

关键词: 瓦斯抽采; 三软煤层; 瓦斯预抽指标; 临界值; 效果评价; 豫西煤田

中图分类号: TD712⁺.6

文献标志码: B

网络出版时间: 2017-12-08 11:50

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20171208.1150.016.html>

Study on Critical Value of Inspection Index of Gas Pre-drainage Effect in Three-soft Seam in West Henan Coal Field

GAO Junwei^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Coking Coal Exploitation and Comprehensive Utilization, China Pingmei Shenma Group, Pingdingshan 467099, China; 2. Institute of Energy and Chemical Industry, China Pingmei Shenma Group, Pingdingshan 467099, China)

Abstract: In order to determine the critical value of the inspection index (gas pressure p and gas content W) of regional gas pre-drainage effect in three-soft unstable outburst coal seams in west Henan coal field, the corresponding relationship between gas desorption index Δh_2 and gas pressure p was constructed by establishing a laboratory experiment system, based on this relationship and the gas pressure p and gas content W which were measured in the region of gas outburst and gas dynamic phenomena occurrence, it was comprehensively determined that the critical value of the inspection index p and W of regional gas pre-drainage effect was respectively 0.4 MPa and 5.0 m³/t, which were then verified by the actual mining. These critical values are different from some existing regulations, and the research method and results can be used for reference to similar coal seams.

Keywords: gas drainage; three-soft coal seam; gas pre-drainage index; critical value; effect evaluation; west Henan coal field

煤与瓦斯突出煤层瓦斯区域治理措施的效果检验指标有多种, 主要检验指标为煤层残存瓦斯压力 p 或煤层残存瓦斯含量 W 。尽管在我国《防治煤与瓦斯突出规定》及其历次修订版本中, 对 p 或 W 的临界值(0.74 MPa 或 8.0 m³/t)进行了规定, 但其显然不完全适用于所有矿井实际。由于煤矿瓦斯事故的

高发及其广泛的社会影响, 不少产煤省均以规章的形式重新对其进行了规定, 如河南省将其规定为 0.6 MPa 或 6.0 m³/t。对于这一相对模糊的实际防突技术问题, 诸多学者及工程技术人员^[1-3], 针对不同煤层进行了不同角度的研究与探讨^[4-8], 得出的结果也不尽相同^[9-13]。由于豫西三软不稳定煤层的特殊性, 其临界值如何合理确定成了该区域内突出矿并急于解决的实际技术问题。

1 豫西三软不稳定突出煤层及其典型特征

豫西三软煤层与其他矿区煤层有较大的区别,

收稿日期: 2017-03-10; 2017-10-26 修订

作者简介: 高军伟(1973—), 男, 河南临颖人, 博士, 高级工程师, 主要从事煤矿防灭火、瓦斯地质灾害、降温与地热利用方面的技术工作。E-mail: jw.gao@163.com。

为典型的煤与瓦斯突出煤层,瓦斯灾害严重^[14]。区域内主采的二₁煤层的典型特征如下:

1) 该煤层为V类破坏煤体,受滑动构造的影响,煤层流变现象明显,机械强度极低,手捻即碎成粉末,原生结构不复存在,煤体坚固性系数极低($f \leq 0.3$,最小约0.05),瓦斯放散速度快($\Delta P \geq 30$),瓦斯吸附能力强;

2) 顶底板均为泥岩,厚度大,透气性差,瓦斯保存能力强;

3) 煤层赋存不稳定,具有突然增厚、变薄以至尖灭、挤灭现象,煤层厚度变化大、厚薄不均($0.5 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$)。

另外,受这些典型特征的控制,区域内主采的二₁煤层煤与瓦斯突出灾害严重,已相继发生煤与瓦斯突出事故60余次,其中包括近年来的大平煤矿“10.20”、平禹四矿“8.1”及“10.16”、永虹公司“3.21”,以及2017年的兴裕煤矿“1.4”等重大或特重大事故。根据相关研究结果^[15],二₁煤层煤与瓦斯突出的特点还表现在以下两个方面:

a. 钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 对豫西三软不稳定煤层有显著的敏感性,是防突敏感指标,大量数据统计显示 Δh_2 达到200 Pa及以上的区域,基本会出现喷孔等瓦斯异常动力现象;

b. 煤层残存瓦斯压力或瓦斯含量的临界值为0.74 MPa或 $8.0 \text{ m}^3/\text{t}$ 已不再适用于豫西三软不稳定煤层,低于这一临界值的区域,仍发生突出事故,瓦斯区域治理措施效果检验指标的临界值需要修正。

2 煤层瓦斯压力临界值的实验研究确定

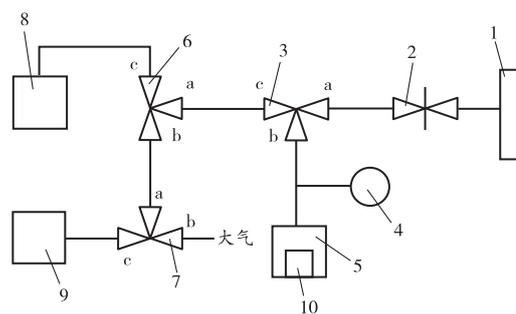
相对于煤层瓦斯含量 W ,煤层瓦斯压力 p 在某种条件下(如穿层钻孔)可更容易准确测定和获得。并且在煤与瓦斯突出机理中,力的参与更具主导性,另外依据朗格缪尔公式也可由 p 推导出 W ,因此如何探寻确定出检验指标 p 的临界值,就成了研究的技术关键。

研究表明,钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 比其他预测指标对豫西三软不稳定煤层有显著的突出敏感性^[15]。由于其他预测指标,如钻屑量 S 、钻孔瓦斯涌出初速度 q 等在实验室内不易实验测定,因此特建立实验室分析系统,研究瓦斯解吸指标 Δh_2 与煤层瓦斯压力 p 之间的对应关系,进而通过实验结果确定出检验指标 p 的临界值。

2.1 实验测试分析系统

实验装置如图1所示,包括内装甲烷体积分数

为99.9%的瓦斯气瓶、真空泵、煤样罐、压力表、 Δh_2 解吸仪(MD-2型)、天平,以及相关阀门、连接管件和相关工具等。 Δh_2 的测试实验条件及实验程序,严格按照AQ/T 1065—2008《钻屑瓦斯解吸指标测定方法》与MD-2型钻屑瓦斯解吸仪使用说明书进行。煤样罐内加装一定粒度的实验煤样1 000 g,维持瓦斯吸附压力时间24 h,分别测试瓦斯吸附压力0.3、0.6、0.9、1.2、1.5 MPa条件下的煤样瓦斯解吸指标 Δh_2 值。



1—高压瓦斯气瓶;2—减压阀;3、6、7—高压三通阀;
4—压力表;5—煤样罐;8—瓦斯解吸仪;9—真空泵;
10—煤样杯;a、b、c—三通阀的三个通路。

图1 瓦斯解吸指标 Δh_2 的实验测试系统示意图

2.2 实验结果及分析

基于上述实验条件及实验系统,分别对来源于郑煤集团大平矿、告成矿、超化矿、平禹公司四矿和方山新井(平禹)煤样(均为二₁煤层煤样)进行了测试分析,实验结果见表1和图2。表1中的 p_0 、 p_{24} 分别表示煤样罐内起始瓦斯压力、煤样吸附24 h后的平衡压力。

表1 指标 Δh_2 与瓦斯压力 p 的实验室测试数据

序号	取样地点	p_0/MPa	p_{24}/MPa	$\Delta h_2/\text{Pa}$
1	大平矿	0	0	0
		0.550	0.440	480
		0.790	0.710	730
		1.080	0.960	830
		1.450	1.290	840
		1.700	1.570	1 030
2	告成矿	0	0	0
		0.600	0.500	380
		0.900	0.690	400
		1.200	0.950	460
		1.600	1.375	650
		1.650	1.650	700

表1(续)

序号	取样地点	p_0/MPa	p_{24}/MPa	$\Delta h_2/\text{Pa}$
3	超化矿	0	0	0
		0.450	0.360	200
		0.760	0.600	260
		0.970	0.800	280
		1.500	1.200	600
4	平禹四矿	0	0	0
		0.510	0.375	130
		0.885	0.550	280
		1.300	0.950	380
		1.550	1.075	420
5	方山新井 (平禹)	0	0	0
		0.405	0.300	140
		0.750	0.475	220
		1.025	0.850	260
		1.650	1.060	330
		1.724	1.375	350

注:初始数据0,0,0均为非实测数据,只是做二次曲线拟合时的一组关键起始点数据。

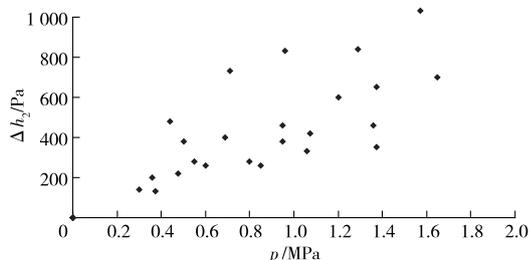


图2 瓦斯解吸指标 Δh_2 与瓦斯压力 p 的关系

根据实验结果,瓦斯解吸指标 Δh_2 与瓦斯压力 p 之间存在明显的趋势性,即:随着瓦斯压力 p 的增大,解吸指标 Δh_2 测定值明显增大,验证了豫西三软突出煤层防突指标 Δh_2 的敏感性。再根据对豫西三软突出煤层煤与瓦斯突出特点的统计分析结果,在二₁煤层发生瓦斯动力现象的区域,其 Δh_2 基本在200 Pa及以上。由此,依据表1对各矿实验结果进行二次曲线拟合,可以发现:在大平矿,当 $\Delta h_2 = 200$ Pa时, $p = 0.17$ MPa;在告成矿,当 $\Delta h_2 = 200$ Pa时, $p = 0.28$ MPa;在超化矿,当 $\Delta h_2 = 200$ Pa时, $p = 0.36$ MPa;在平禹四矿,当 $\Delta h_2 = 200$ Pa时, $p = 0.43$ MPa;在方山新井,当 $\Delta h_2 = 200$ Pa时, $p = 0.48$ MPa。另外,由图2的实验数据分布状态,也可

以看出,当 $\Delta h_2 \leq 200$ Pa时,对应的瓦斯压力 p 值近似小于0.50 MPa。

通过实验可以预测:当豫西三软突出煤层瓦斯压力 p 大于0.17 MPa时,局部地点可能会发生喷孔等瓦斯动力现象;当 $p \geq 0.48$ MPa时,煤层瓦斯动力现象应更容易发生。

3 检验指标 p 、 W 临界值的实测数据确定

仅仅依据上述实验途径及数据分析,来确定瓦斯压力 p 的临界值,显然不能完全说明问题,还需要现场数据的支撑。

3.1 实验矿井概况

实验矿井为河南平禹煤电公司方山新井,单采二₁煤层,煤层原始瓦斯含量为3.15~12.08 m³/t,原始瓦斯压力为0.15~1.70 MPa。自2003年以来共发生了3次瓦斯动力现象,均发生在二₁-11041采面掘进期间,见表2。由于时间相对久远,矿权转移,相关瓦斯资料缺乏,表2中的煤层瓦斯含量及瓦斯压力是根据二₁-11041采煤工作面回采期间附近实测数据推测的,且为工作面顺层瓦斯预抽以后的数据。

表2 方山新井瓦斯动力现象统计

地点	标高/m	埋深/m	瓦斯含量/ (m ³ /t)	瓦斯压力/ MPa	动力现象
①	-14	475	>8.45	>0.44	瓦斯喷出
②	+6	450	>4.01	>0.35	抛煤101 t
③	+14	460	>6.70	>0.38	底鼓/变形

注:地点①、②、③分别指二₁-11041机巷中开切眼以里80 m、回风巷口以里100 m、回风巷口以里260 m处;瓦斯压力大于0.35 MPa,是根据附近实测数据推算得到的。

3.2 瓦斯喷孔与瓦斯压力之间的关系

在二₁-11061机巷底抽巷,施工穿层钻孔预抽煤巷条带瓦斯(水力冲孔强化),已掘岩巷780 m,煤巷尚未掘进。底抽巷顶板上距二₁煤层底板法线距离11~14 m,煤层厚度2~12 m。在穿层钻孔及水力冲孔施工时,约占钻孔数量1/4的钻孔频繁发生喷孔等瓦斯动力现象。

在底抽巷尚未施工穿层预抽钻孔之前,沿其走向布置9组测压钻孔(二₁煤层仍保持原始状态),测得煤层原始瓦斯压力为0.15~0.46 MPa,其中5组值为0.15~0.31 MPa,其余4组为0.38~0.46 MPa。在距一测压孔(表压0.46 MPa)1.2 m处,平行施工检验钻孔(预抽钻孔),发生了比较严重的瓦斯喷孔现象,而在其他小于0.31 MPa的区域进行同样检验时,未发生喷孔现象。另外,测得发生喷孔的钻孔的

钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 均在 200 Pa 以上,在 $\Delta h_2 < 200$ Pa 的区域没有瓦斯动力现象发生。

由此可知,当煤层瓦斯压力处于 0.46 MPa 时,二₁煤层仍具有突出危险性,预抽效果检验指标 p 的临界值应为 0.31 ~ 0.46 MPa。

3.3 煤层预抽效果检验指标的现场考察

在二₁-11051 机巷底抽巷,布置施工穿层预抽钻孔,进行瓦斯区域预抽。经过区域预抽后,实际生产中按照煤层残存瓦斯含量 W 不超 6 m³/t、残存瓦斯压力 p 不超 0.5 MPa 进行瓦斯治理效果评价。在评价区域内,实测结果为残存瓦斯含量 W 最大为 5.87 m³/t,最大残存瓦斯压力 p 为 0.33 MPa。目前,二₁-11051 机巷 331 m 已施工完毕,掘进过程中未发现预测指标超过临界值($S=4$ kg/m、 $q=3.2$ L/min、 $\Delta h_2=180$ Pa)的现象。由此看出,在二₁煤层瓦斯含量 $W \leq 5.87$ m³/t,煤层瓦斯压力 $p \leq 0.33$ MPa 时,煤层预抽效果可靠,煤层已不再具有煤与瓦斯突出危险性。

这一考察结果,与在二₁-11061 机巷煤层瓦斯压力 $p \leq 0.31$ MPa 的区域,穿层预抽钻孔施工时未发生瓦斯喷孔的实际检验结果相一致。再次说明,二₁煤层在瓦斯压力 $p \leq 0.33$ MPa 的条件下,不再具有煤与瓦斯突出危险性。进而推定,二₁煤层预抽效果检验指标 p 的临界值应介于 0.33 ~ 0.46 MPa 之间。

综合上述研究结果,将二₁煤层预抽效果检验指标 p 的临界值认定为 0.40 MPa 应该是可靠的。

3.4 效检指标 W 临界值的确定

相对于煤层瓦斯压力,煤层瓦斯含量更不易准确测定。煤层瓦斯含量的测定方法主要是井下解吸法和公式法。在此,这两种方法同时采用。

$$W = \frac{abp}{1 + bp} \left(\frac{100 - A_{ad} - M_{ad}}{100} \right) \cdot \frac{1}{1 + 0.31M_{ad}} + \frac{10\pi p}{\gamma} \quad (1)$$

式中: W 为煤层瓦斯含量, m³/t; a 为吸附常数,实验温度下煤的极限吸附量取 34.639 m³/t; b 为吸附常数,取 0.686 MPa⁻¹; p 为煤层瓦斯压力, MPa; A_{ad} 为煤的灰分,取 18.66%; M_{ad} 为煤的水分,取 1.60%; π 为煤的孔隙率,取 0.039 m³/m³; γ 为煤的密度,取 1.54 t/m³(依据河南理工大学《河南平禹煤电有限责任公司方山矿二₁煤层瓦斯基础参数研究报告》,取样地点为二₁-11041 机巷 650 m 处)。

通过公式(1)计算可得瓦斯压力 p 与瓦斯含量 W 的换算对照关系,见表 3。

表 3 瓦斯压力与瓦斯含量换算对照

瓦斯压力 p /MPa	瓦斯含量计算值 W /(m ³ /t)
0.00	0.00
0.20	3.37
0.30	4.77
0.40	6.02
0.50	7.15
0.60	8.17
0.74	9.45
1.00	11.45
1.50	14.33
1.70	15.22
2.00	16.42

根据在二₁-11041 采面利用高抽巷穿层钻孔测得的数据,原始瓦斯压力 p 实测值为 1.7 MPa 时,原始瓦斯含量 W 的实测值为 12.08 m³/t,较计算值 15.22 m³/t,偏小约 20%。

在此基础上,当瓦斯压力实测值 p 为 0.40 MPa 时,对应的瓦斯含量 W 应为 6.02 m³/t。考虑到煤层瓦斯含量 W 实际测定的偏差按 20% 的误差计,当 W 实测值为 5.0 m³/t 时,其计算值应为 6.0 m³/t,而对应的瓦斯压力 p 计算值应为 0.40 MPa。

基于上述分析,将二₁煤层瓦斯预抽效果检验指标 W 的临界值定为 5.0 m³/t 应该是合理的,也应该是可靠的。

4 现场防突技术管理中的建议与思考

在煤层瓦斯治理领域,防突工作是难度最大和最重要的。笔者就此分享几点建议。

1) 我国煤矿数量多,分布面积广阔,煤层赋存状态、破坏类型、变质程度、瓦斯地质条件等千差万别,不可能有统一的防突措施效果检验指标和临界值,应区别对待、分类研究;

2) 突出煤层瓦斯区域防治措施效果检验指标,主要是煤层残存瓦斯压力 p 或残存瓦斯含量 W ,并各有其规定的临界值(如 0.74 MPa 或 8.0 m³/t),但现场的防突技术管理环节复杂,因素多变,并不是实测数据满足规定的临界值就不发生瓦斯事故;

3) 在实际中,防突还须考虑煤层倾角(顶底板起伏)、厚度、局部瓦斯涌出量、瓦斯区域防治措施的落实情况、瓦斯与构造等异常信息的处置程序,以及现场支护管理等因素,尤为重要是通过钻孔施工全面掌握采掘工作面走向、倾向的瓦斯赋存异常点、不

留异常空白带,并执行好异常信息处置程序;

4)对于豫西三软煤层,由于煤体极其松软、干燥(不易浸水),采掘工作面片帮严重,现场支护强度及支护方式是预防压出、倾出事故的关键,特别是采深超过400 m,应予以重视。

5 结论

1)豫西三软不稳定突出煤层经过瓦斯区域预抽后,其预抽效果检验指标,即煤层残存瓦斯压力或残存瓦斯含量的临界值为0.40 MPa或5.0 m³/t,在此临界值之下,煤层将不再具有煤与瓦斯突出危险性,经过实际检验是可靠的;

2)利用钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 的预测敏感性(或其他敏感指标),构建其与瓦斯压力的对应关系,再依据瓦斯动力显现区域的实测瓦斯数据,来分析研究确定突出煤层预抽效果检验指标的临界值,这一研究方法和途径是可行的;

3)研究结果更适用于禹州矿区方山新井的二₁煤层,对登封及新密等其他矿区的同类煤层均有参考和实用价值。

参考文献:

[1] 王之贵. 荣巩煤田三软突出煤层消突临界值研究[J]. 中州煤炭, 2015(12): 19-22.

[2] 周金龙, 董洪凯, 李国强. 顺层定向长钻孔预抽煤层瓦斯区域防突措施效果检验方法研究[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(6): 69-72.

[3] 王伟华. 豫西二₁煤层瓦斯含量测定方法及区域预测的瓦斯含量指标临界值研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.

[4] 赵旭生, 董银生, 岳超平. 煤与瓦斯突出预测敏感指标及其临界值的确定方法[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(3): 28-30.

[5] 卿启超, 李秋林, 吕贵春, 等. 水力化措施条件下工作面突出预测指标 K_1 临界值修正研究[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(4): 56-58.

[6] 李文哲. 残存瓦斯含量的区域效检指标临界值确定方法研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2015.

[7] 张玉明. 乌兰煤矿7#煤层突出危险性敏感指标及临界值确定[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(3): 74-77.

[8] 王松. 寺河矿区域预抽煤层瓦斯防突效果评价方法及临界值的研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.

[9] 侯少杰, 程远平, 吴祥, 等. 预抽煤层瓦斯区域性防突措施效果检验方法[J]. 煤炭技术, 2010, 29(4): 87-90.

[10] 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): 116-120.

[11] 孟中泽, 潘少杰, 郝富昌, 等. 李沟矿煤与瓦斯突出区域预测指标及临界值的确定[J]. 煤矿安全, 2010, 41(4): 22-24.

[12] 魏建平, 赵发军, 刘明举, 等. 义安矿煤与瓦斯突出区域预测指标及临界值研究[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(2): 39-41.

[13] 郭寿松. 大宁矿突出主控因素及区域措施效检指标临界值确定[J]. 煤矿安全, 2014, 45(7): 5-8.

[14] 张子敏, 张玉贵. 大平煤矿特大型煤与瓦斯突出瓦斯地质分析[J]. 煤炭学报, 2005, 30(2): 137-140.

[15] 突出煤层煤巷掘进工作面突出敏感指标及其临界值研究[R]. 焦作: 河南理工大学, 2006.

(责任编辑: 逢锦伦)

(上接第35页)

[7] 襄林名, 杨增强, 丁小敏, 等. 高压射流割煤技术在防治冲击地压中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 10-13.

[8] 汪青, 李卫龙. 井下防爆激光测距仪系统设计及其应用[J]. 煤矿机械, 2010, 31(10): 17-19.

[9] 白志飞. 大采高综放采场矿压显现规律及围岩控制技术研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.

[10] 高宏, 杨永生, 康先勇, 等. 五阳煤矿瓦斯抽采参数优化研究[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(3): 29-32.

[11] 王立萌. 大采高综放顶煤冒放分析及端面冒顶的防治技术[J]. 煤炭工程, 2011(7): 45-47.

[12] 刘鸿文. 材料力学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2004.

[13] 何富连, 殷东平, 严红, 等. 采动垮冒型顶煤巷强力锚索桁架支护系统试验[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(2): 1-5.

[14] 乔卫国, 吕言新, 林登阁, 等. 深井高应力不稳定软岩马头门加固技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2011, 38(6): 47-50.

[15] 许绍明, 徐颖. 大断面软岩巷道非对称破坏原因分析及控制对策[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(3): 55-57.

(责任编辑: 李 琴)