

文章编号: 1001-1986(2009)04-0019-03

新密煤田瓦斯动力现象分析

白新华^{1,2}, 贾天让², 张子敏^{2,3}, 张玉贵^{2,3}, 李普²

(1. 河南省煤层气开发利用有限公司, 河南 郑州 450016;

2. 河南理工大学瓦斯地质研究所, 河南 焦作 454003;

3. 中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会, 河南 焦作 454003)

摘要: 为研究新密煤田发生低瓦斯含量、低瓦斯压力瓦斯动力现象的原因, 解决低指标瓦斯动力现象给生产带来的危害, 运用区域构造演化理论分析了新密煤田自印支期至今的构造演化, 统计分析了区域内 38 次瓦斯动力现象和 167 个采样地点的煤岩坚固性系数 f 值, 结合《防治煤与瓦斯突出细则》及常规实践经验, 与新密煤田瓦斯动力现象中煤层瓦斯含量、瓦斯压力做了对比。结果表明, 区域内的瓦斯动力现象表现为低瓦斯含量、低瓦斯压力, f 值多在 0.3 以下; 基于综合假说机理的研究表明, 构造煤普遍发育、煤岩坚固性系数 f 值小是该现象的深层原因。

关键词: 新密煤田; 区域构造演化; 瓦斯动力现象; 坚固性系数

中图分类号: DT712 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2009.04.005

Analysis of coal gas dynamic phenomenon in Xinmi coalfield

BAI Xinhua^{1,2}, JIA Tianrang², ZHANG Zimin^{2,3}, ZHANG Yugui^{2,3}, LI Pu²

(1. Henan Provincial Coal Bed Methane Development and Utilization Company Ltd., Zhengzhou 450016, China;

2. Institute of Gas-geology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

3. Gas-geology Division, China Coal Society, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: In order to study the dynamic phenomenon of low gas content and low gas pressure in Xinmi coalfield, and solve the problem of the damage caused by low index dynamic phenomenon, the paper analyzed the tectonic evolution since Indo-China period based on the theory of regional tectonic evolution, and statistically analyzed 38 coal-gas dynamic events and 167 consistent coefficient f in Xinmi coalfield by combination with “Rules for Preventing Coal-Gas Outburst” and practical experience. The results showed that dynamic phenomenon in Xinmi coalfield was represented by low gas content, low gas pressure and consistent coefficient f below 0.3. The researches based on the theory of comprehensive hypothesis show that widespread development of deformed coal and small consistent coefficient are the deep reasons of this phenomenon.

Key words: Xinmi coalfield; regional tectonic evolution; coal-gas dynamic phenomenon; consistent coefficient

《防治煤与瓦斯突出细则》^[1]规定煤层瓦斯压力 0.74 MPa 为突出临界值, 常规实践表明, 瓦斯含量 10 m³/t 为突出煤层临界值^[2]。新密煤田构造复杂, 经多期构造复合、叠加形成了现今的构造行迹。与常规指标对比, 区域内瓦斯动力现象表现为低瓦斯含量、低瓦斯压力, 给安全生产带来了巨大的隐患。在目前能源形势下, 若按常规进行安全技术管理, 重点放在高瓦斯、存在重大危险源的区域, 这无疑是正确的, 但忽视了异常条件下“低瓦斯、低压力”区域会变为“危险”区域的动态变化, 而且因为人们在低瓦斯“安全”区域往往麻痹大意, 措施不到位, 容易违章, 反而使“安全”区域的状态转换成危

险区域, 从而诱发重大事故。从安全管理角度考虑, 反思这些“安全”区域发生事故的深层原因, 对提高煤矿瓦斯治理和煤矿安全生产有着重要的意义。

1 新密煤田概况

新密煤田主采石炭—二叠纪山西组二₁煤层, 主要储存中高变质烟煤。煤田范围内普遍缺失晚三叠纪地层, 地质构造复杂, 煤层破坏严重, 煤厚从不足 1 m 可变为 20~30 m, 构造煤成层发育, 是我国典型的“三软”煤层发育区。新密煤田包括告成矿、大平矿、米村矿、超化矿、裴沟矿、芦沟矿、白坪矿和崔庙矿等国有矿井及地方矿井近 130 对, 含突出

收稿日期: 2008-10-31

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50534070)

作者简介: 白新华(1982—), 男, 河南叶县人, 硕士, 从事瓦斯灾害防治研究工作。

矿井 5 对，低瓦斯矿井 120 余对。随着开采强度和深度的增大，新密煤田主体矿井由以前的低瓦斯矿井逐渐升级为高瓦斯矿井或煤与瓦斯突出矿井。

2 新密煤田区域演化与构造控制

新密煤田镶嵌于华北板块内部，在燕山早、中期表现为伸展运动背景下的差异升降活动，形成一系列正断层所夹的地堑、地垒、掀斜构造^[3]，受秦岭造山带隆起强烈推挤作用，强化并巩固了 NW-NWW 向展布的挤压断裂、褶皱构造及 NW-SE 向展布为主的正断层所夹的复杂构造；受太平洋库拉板块 NWW 向俯冲，同时长时期受到秦岭造山带对华北板块南缘的推挤作用，在原来 NW-NWW 向构造的基础上，形成了一系列 NNE-NE 向的挤压断裂、褶皱构造（其规模和发育程度都弱于 NW-NWW 向构造），两期构造叠加、复合，最终表现为在 NW-NNW 向构造的基础上叠加了 NNE-NE 向构造^[4]。

逆冲推覆构造与重力滑覆构造往往互相联系，逆冲推覆往往出现于造山期的早中期，重力滑覆多见于造山期后的构造调整阶段^[5]。期间太平洋板块对华北板块俯冲方向改变，加上印度板块对华北板块间接挤压应力增强，使得华北板块不断由东向太平洋方向蠕散。华北板块处于引张、裂陷、伸展的地球动力学背景下，发生了大规模重力滑脱、滑动构造、剪切作用，表现为拉张断陷及 SW、NE 两个方向的拉张，使得新密煤田成为以 NW 方向展布为主的一系列正断层所夹的地堑、地垒、掀斜构造。区域内张性断裂发育，煤系盖层遭到强烈分化、侵蚀，数千 m 厚的三叠系被剥蚀殆尽，使得煤层中瓦斯得到释放；同时古近纪始新世至渐新世的重力滑动构造是在高角度正断层过程中发生的，属于伸展构造范畴，由于是在拉张背景下发生，煤层瓦斯进一步得以释放。由于煤层结构进一步破坏，使得二₁ 煤层破坏、粉化和流变，IV、V 类构造煤全层发育，成为豫西“三软”煤层，即豫西强变形带^[4]。煤层厚度变化大，在一个井田范围内由不足 1 m 变化到 20 余 m，裴沟矿、大平矿尤其显著，超化矿煤层变异系数达 60.6%。这些因素为瓦斯动力现象的发生提供了条件。

3 新密煤田瓦斯动力低临界值现象

自 1989 年 11 月大平煤矿 11111 工作面开切眼掘进发生突出以来，截止 2008 年 8 月，矿区共发生瓦斯动力现象 38 次。突出类型以压出和倾出为主，7 次为突出（大平矿 1 次、裴沟矿 1 次、告成矿 2 次、超化矿 3 次），约占 7.9%；16 次为压出和倾出，约

占 52.6%；15 次为冒顶瓦斯异常涌出，约占 39.5%。强度以小型瓦斯动力现象为主，特大、大型突出各 1 次；38 次动力现象多发生在煤巷掘进期间。

发生瓦斯动力现象时，对应的最小瓦斯含量为 5 m³/t，29 次动力现象对应的瓦斯含量在 9 m³/t 以下，3 次突出对应的瓦斯含量在 9~11.5 m³/t（图 1）。最小煤层瓦斯压力为 0.3 MPa，大平矿 10 余次动力现象煤层瓦斯压力为 0.4~0.5 MPa，仅有个别瓦斯压力在 0.75 MPa 左右，其中告成矿 10 余次冒顶的瓦斯压力为 0.33 MPa，压出的瓦斯压力为 0.62 MPa。超化矿动力现象瓦斯压力偏大，为 1.05 MPa，裴沟矿突出的瓦斯压力为 0.5 MPa（图 2）。

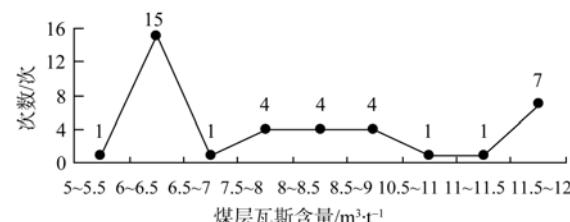


图 1 动力现象时煤层瓦斯含量分布
Fig. 1 Gas content in coal-gas dynamic phenomenon area

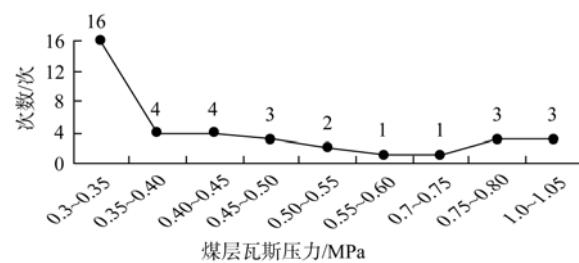


图 2 动力现象时煤层瓦斯压力分布
Fig. 2 Gas pressure in coal-gas dynamic phenomenon area

统计得出：6~10 m³/t 区间内发生瓦斯动力现象占动力现象总数的 74%；发生动力现象时最小煤层瓦斯压力在 0.3~0.75 MPa 区间的有 31 次，占动力现象总数的 82%。

瓦斯压力和瓦斯含量是瓦斯动力现象中瓦斯因素的主要表征指标。根据对世界 100 余个煤田的统计，瓦斯含量大于 10 m³/t 的煤层具有突出危险性。王佑安曾对国内 11 个瓦斯突出矿井始突深度处的煤层瓦斯含量进行统计，并得出了结论：所有突出危险煤层的瓦斯含量皆大于 10 m³/t。因此，瓦斯含量大于 10 m³/t 可视为煤层发生突出的必要条件^[2]。瓦斯压力作为瓦斯因素的一个主要指标，国内外大量研究，特别是国内大量的研究、生产实践表明，0.74 MPa 是煤层突出危险性的一个主要指标，而且《防治煤与瓦斯突出细则》第 26 条，煤层突出瓦斯压力临界值为 0.74 MPa^[1]。

新密煤田瓦斯动力现象与常规的瓦斯动力现象参数对比见表1。

表1 瓦斯动力现象部分参数对比

Table 1 Comparison of coal-gas dynamic phenomenon parameters

	瓦斯含量/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	煤层瓦斯压力/MPa
常规瓦斯动力现象	10	0.74
新密煤田瓦斯动力现象	<10	<0.74

通过以上叙述与对比分析，可以认为矿区内地大部分瓦斯动力现象表现为低瓦斯含量、低瓦斯压力。

4 瓦斯动力现象低临界值原因探讨

运用区域构造控制理论，认为新密煤田构造格局是经过多期构造运动复合、叠加所致，形成了NW-NWW构造为主、兼有NNE-NE向构造。上述两构造复合、叠加部位形成了构造复杂区，控制了突出危险区的分布，致使区域内瓦斯含量小。矿区范围内发生了重力滑动、层滑构造运动，对煤体破裂、揉搓、粉细化等强烈控制作用，使得IV、V类构造煤全层发育，成为豫西“三软”煤层，构造煤普遍发育。

煤的坚固性普氏系数 f 是构造煤的一个重要表征量，是一个无量纲量，表征煤体结构的主要指标，用于表示煤体抗冲击能力的大小或破坏时破碎功的大小。破碎比功指煤破碎后产生单位新表面积所消耗的功。破碎比功与坚固性系数 f 值有着重要的关系(图3)，坚固性系数 f 值越小，说明岩石抗冲击能力越小，或破坏时所需要的破碎功越小(焦作矿业学院瓦斯地质课题组，1990)，通过研究普遍认为， f 值小于0.5的煤层具有突出危险性。因此，可以认为，破碎比功是反映煤体抵抗外力破碎的重要指标。根据破碎比功 w 的物理意义，回归时强制逼近到零点，则两者的线性关系为 $w=9.18 \times 10^{-3}f^{[6]}$ 。

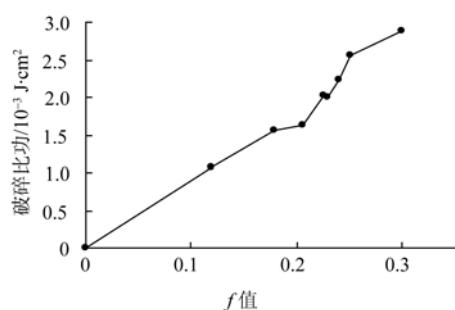


图3 破碎比功与煤坚固性系数关系^[6]

Fig. 3 Relationship between specific crushing energy and coal Protodyakonov coefficient

统计分析新密煤田167个采样点煤的坚固性系数 f 值(表2)，其绝大多数在0.18~0.3之间。因此，区域内煤体的破碎比功很小，煤体的破碎功(U)亦很小。

表2 新密煤田煤的坚固性系数 f 值统计表

Table 2 Statistical table of consistent coefficient f

样品个数	f 值
60	0.18~0.20
45	0.21~0.25
61	0.25~0.30
1	0.41~0.45

煤与瓦斯突出的基本特征是抛出的煤高度破碎，时常含有大量的手捻无粒感的煤粉。普遍认为，高能瓦斯的构造煤体发育是发生瓦斯突出的必要条件。综合假说认为，煤与瓦斯突出是在地应力、瓦斯和煤的力学性质综合作用下发生的一种复杂动力过程。该假说目前已被大多数研究人员和现场工作者所接受。其中能量说认为激发突出的条件^[7]：

$$\text{对于回采: } W + \lambda > U + F ; \quad (1)$$

$$\text{对于掘进: } W > U + F ; \quad (2)$$

$$\text{对于石门揭煤: } W + Q > U + F , \quad (3)$$

式中 W 为煤的变形潜能； λ 为顶板岩石的动能； Q 为煤内游离瓦斯所含的内能； F 为煤向巷道的移动功； U 为煤的破碎功。

由式(1)、式(2)和式(3)可知，无论是回采、掘进与石门揭煤，只要煤的破碎功 U 愈小，发生突出的可能性就愈大。

由突出综合作用假说、动力学理论可知，应力和瓦斯能量是煤与瓦斯突出的潜在能量来源，在突出时转变为破坏功。动力因素作为突出的必要而非充分条件，煤与瓦斯突出的分布规律是由破碎功小的煤即构造软煤的分布决定的。

新密煤田构造煤成层发育，且处在构造复合、叠加部位，煤的坚固性系数 f 很小，则煤的破碎功也小，因此低瓦斯含量、低煤层瓦斯压力时易于发生瓦斯动力现象。

5 结论

a. 新密煤田经过多期构造运动，区域内构造复杂，在伸展运动背景下发生的裂陷和重力滑动活动有利于瓦斯释放，致使瓦斯含量降低，同时造成煤的坚固性系数 f 值绝大多数在0.3以下，成为“三软”煤层发育区，构造煤普遍发育。

b. 统计分析新密煤田发生的瓦斯动力现象，结果表明，发生瓦斯动力现象时瓦斯含量绝大多数在 $9 \text{ m}^3/\text{t}$ 以下，瓦斯压力在 0.74 MPa 以下。

(下转第33页)

d. 7号注水孔测试结果分析 垂深35 m, 累计注水量达29.8 m³。在试验开始阶段, 单位注水量保持在0~3 L/min之间波动, 变化较稳定。当工作面推进距试验孔32 m时, 单位注水量突然上升, 达到最大值23.3 L/min, 随即开始下降, 至工作面推进至25 m的位置。随后, 随着工作面继续推进, 单位注水量呈现较稳定波动, 呈略微下降趋势。上述数据表明, 该试验孔底板原生裂隙发育, 注水量的局部突然变化是原生裂隙在水压作用下突然进水所致。整个试验过程中, 单位注水量整体呈现较稳定的趋势, 表明在此深度范围内, 煤层底板没有受到明显破坏。

4 结论

以大采深的邢东矿2121工作面为例, 利用现场注水试验方法, 取得了大量的科学试验数据, 通过对数据资料的整理和分析, 得到如下结论:

a. 注水试验作为一种确定破坏深度的技术手段具有直观、可靠性高、便于操作的特点, 也是深部煤炭资源开采中煤层底板破坏深度测试的一种有效手段。

b. 通过在采场底板进行注水试验, 观测工作面推进过程中不同深度注水量的动态变化情况以及注水量大小与推进距离的响应情况, 可以间接地分析煤层底板岩体受采动破坏的深度, 这是通过注水试验方法确定煤层底板破坏深度的理论依据。

c. 大采深条件下, 邢东矿2121工作面底板破坏深度达到32.5 m, 但没有超过35 m, 故确定破坏

深度范围为32.5~35 m, 是邢台矿300 m采深的2号煤工作面实测破坏深度(9.15~12.0 m)的3倍多。根据目前已经取得的测试资料, 邢台矿区煤层底板破坏深度随开采深度变化的系数约为0.036, 可以看出, 采深越大, 采动破坏深度越大, 突水危险性越大, 这一结论与前苏联对煤层采动后底板危险区深度实测结果基本一致^[2]。

参考文献

- [1] 代长青. 承压水体上开采底板突水规律的研究[D]. 安徽理工大学, 2005.
- [2] 张金才, 张玉卓, 刘天泉. 岩体渗流与煤层底板突水[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- [3] 关英斌, 李海梅, 路军臣. 显德汪煤矿9号煤层底板破坏规律的研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28(2): 121~125.
- [4] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [5] 中国煤矿防治水技术经验汇编编委会. 中国煤矿防治水技术经验汇编[G]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [6] 卫伟. 矿压对肥城矿区底板破坏深度的实测研究[J]. 中国煤炭, 2005(9): 55~57.
- [7] 朱术云, 鞠远江, 赵振中, 等. 超化煤矿“三软”煤层采动底板变形破坏的实测研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(4): 639~642.
- [8] 何廷峻. 利用跨采石门测试煤层底板破坏深度[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 20(3): 103~105.
- [9] 程学丰, 刘盛东, 刘登宪. 煤层采后围岩破坏规律的声波CT探测[J]. 煤炭学报, 2001, 26(2): 153~155.
- [10] 张平松, 吴基文, 刘盛东. 煤层采动底板破坏规律动态观测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增1): 3009~3013.

(上接第21页)

参照法规及常规突出参数, 对比得出了新密煤田瓦斯动力现象表现为低瓦斯含量、低瓦斯压力。

c. 结合综合作用假说, 研究得出, 媒体坚固性系数f导致破碎功小, 最终形成了新密煤田低瓦斯含量、低瓦斯压力的瓦斯动力现象。

d. 在高瓦斯含量、高瓦斯压力的区域, 由于人们的防范意识强, 措施到位, 一般不易发生事故; 而低瓦斯含量、低瓦斯压力的区域由于意识不够, 措施不到位, 反而易发生事故。因此, 在低瓦斯含量、低瓦斯压力区域要提高防治意识、加强防治力度, 防止“安全”区域的状态动态转换成危险区。

参考文献

- [1] 中华人民共和国煤炭工业部. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995: 15~16.

- [2] 焦作矿业学院瓦斯地质研究室. 瓦斯地质概论[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991: 237~244.
- [3] 马杏垣. 中国地质历史过程中的裂陷作用[C]//国家地震局地质研究所. 现代地壳运动研究. 北京: 地震出版社, 1985.
- [4] 张子敏, 张玉贵. 瓦斯地质规律与瓦斯预测[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 77~89.
- [5] 张子敏, 林又玲, 吕绍林. 中国煤层瓦斯分布特征[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998: 67.
- [6] 蔡成功, 熊亚选. 突出危险煤破碎功理论与实验研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(1): 63~66.
- [7] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992: 80~81.