

煤层底板承压含水层上安全开采技术研究

张 鹏¹, 孙亚军¹, 曹焕举^{1,2}

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116; 2. 义马煤业(集团)有限责任公司, 河南 义马 472300)

摘要: 基于我国华北煤电煤层底板太灰含水层富水性具有明显的差异性, 在特定条件下可作为隔水层, 为了准确确定底板隔水层厚度, 预测底板突水危险性, 结合新义煤矿首采区二₁煤底板实际情况, 运用物探、钻探等手段对其灰岩富水性进行探查分析。结果表明: 该矿首采区底板灰岩可作为隔水层, 从而将底板隔水层平均厚度增加至54 m左右, 运用突水系数法评价得出首采区大部分区域的突水系数均小于正常块段临界突水系数0.1 MPa/m, 在前期底板注浆加固基础上可以实现安全带压开采。

关键词: 水文地质; 底板突水; 隔水层; 承压含水层; 突水系数

中图分类号: P641.54 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2012)09-0104-04

Study on Technology of Safety Mining Above Pressurized Aquifer in Seam Floor

ZHANG Peng¹, SUN Ya-jun¹, CAO Huan-jun^{1,2}

(1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Yima Coal Mining Group Corporation Ltd., Yima 472300, China)

Abstract: Based on the obvious differences in the watery of Taiyuan limestone aquifer under the floor of North China Mining Area, under the certain conditions, the aquifer could be a water isolation layer. In order to accurately determine the thickness of the water isolation layer under the floor and to predict the water inrush dangers from the floor, in combination with the actual conditions of No. 2₁ seam floor in the first mining block of the Henan Xinyi Mine, the geophysical exploration, drilling exploration and other means were applied to the survey and analysis on the watery of the limestone. The results showed that the floor limestone of the first mining block in the mine could be considered as a water isolation layer, thus the thickness of the floor water isolation layer could be increased to about 54 m in average. The water inrush coefficient method was applied to evaluate and obtain the water inrush coefficient value of the major area in the first mining block all below the critical water inrush coefficient of 0.1 MPa/m in the normal section. Based on the previous floor grouting and reinforcement, a safety mining above the pressurized water could be realized.

Key words: hydrology; water inrush from floor; water isolation layer; pressurized aquifer; water inrush coefficient

我国煤炭年产量位居世界第一, 但煤矿安全生产形势一直严峻, 百万吨死亡率较高。煤矿的五大灾害(瓦斯、水、粉尘、火、顶板)严重影响煤矿安全生产, 而煤矿突水事故是仅次于瓦斯爆炸的重大煤矿安全事故。华北石炭二叠系煤田水文地质条件较为复杂, 突水事故频繁发生, 煤炭开采受水害威胁最为严重^[1]。随着开采深度、开采强度、

开采速度、开采规模的增大, 矿井突水危险日益加剧。因此, 采取合理的矿井水防治措施和方法是确保煤矿安全生产的前提。

1 矿井概况

新义煤矿属于低山丘陵区, 北西高南东低。最高处为西部的象山, 标高+489.8 m, 最低处在南西

收稿日期: 2012-05-15; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2007CB209406)

作者简介: 张 鹏(1987—), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生。Tel: 13655200209, E-mail: zhangpeng_1229@126.com

网络出版时间: 2012-09-17 10:33:18; 网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.104_027.html

引用格式: 张 鹏, 孙亚军, 曹焕举. 煤层底板承压含水层上安全开采技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 104-107.

端的涧河河床，标高 +267.0 m，相对高差 222.8 m。该区域中部与北部有基岩出露，大部为黄土掩盖区。低山由平顶山砂岩和金斗山砂岩构成，山脉大致呈南西走向。井田主采煤层二₁煤，其底板直接含水层富水性较弱，对矿井威胁不大。但底板间接含水层奥陶系灰岩含水丰富，水压较大，一旦遇断层及裂隙等通道，可能发生较大突水^[2]。

2 矿井水文地质条件

2.1 主要含水层

1) 奥陶系灰岩岩溶裂隙承压含水层。井田范围内，该含水层顶板埋深 600~1 000 m，渗透系数 0.0415~0.0610 m/d，地下水位标高 +259.43—+291.69 m，属于弱—中等富水性含水层。该含水层距二₁煤层底板 44.30~79.68 m，间距一般 58 m，其间有 2 层主要隔水层阻止该含水层水进入矿井，属具有突水威胁的间接充水含水层。

2) 太原组灰岩岩溶裂隙承压含水层。灰岩裂隙不发育，局部见裂隙为方解石充填，简易水文观测无漏水现象。钻孔单位涌水量 0.048~0.094 L/(s·m)，渗透系数 0.100~0.551 m/d，地下水位标高 +330.22—+336.13 m，属于弱富水性含水层。太原组 L₇灰岩顶部距二₁煤层底板砂岩底界间距为 5.82~21.00 m，平均 11.93 m，属矿井直接充水含水层。

2.2 主要隔水层

1) 本溪组铝土质泥岩或铝土岩隔水层。该层隔水层厚 6.50~26.12 m，平均 13.36 m，该层井田内普遍发育，层位稳定，岩性致密，裂隙不发育，不透水。在正常条件下可阻止奥陶系灰岩水与太原组灰岩水之间的水力联系。该层隔水条件良好，隔水性能可靠。

2) 二₁煤层底板至 L₇灰岩顶部之间的砂质泥岩和泥岩隔水层。该层在井田范围内普遍发育，厚度较稳定，厚 10 m 左右。节理、裂隙多为闭合型或被充填物充填，透水性差，加之太原组灰岩富水性弱，正常地段可阻止该层以下含水层地下水进入矿井。当遇断裂切穿该隔水层而沟通含水层与煤层水力联系时，则灰岩地下水就能直接进入矿井。

2.3 充水条件分析

1) 充水水源分析。从充水水源来看，矿井二₁煤层直接顶砂岩裂隙水和底板太原组灰岩水为矿床

直接充水水源。由于含水层富水性弱，而且不均匀，水量有限，易于疏排。而底板奥陶系灰岩水埋藏深，水压大，为中等富水性的含水层，距离二₁煤层底板平均 58 m。正常情况下对开采二₁煤层没有影响，但由于构造破坏造成煤层底板隔水层有导水情况下就会发生突水，成为矿井充水水源，对矿井生产造成威胁。

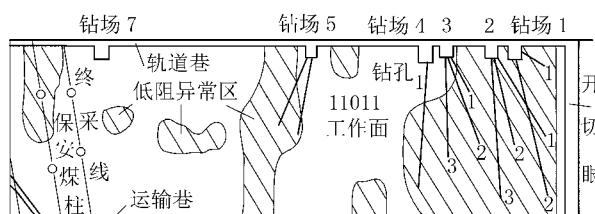
2) 充水通道分析。从充水通道来看，对矿井威胁最大的主要是底板采动破坏带，新义煤矿 11011 首采工作面曾开展底板破坏并行网络点法 CT 实时监测研究，获取了该矿特定地质条件下底板破坏的基本规律，在新义煤矿深部及底板高承压水上开采条件下，底板采动破坏带发育的最大深度约 27 m 左右，底板采动破坏带、天然的断层和构造破坏带，尤其是物探手段探测出的富水异常区更应作为防范的重点区域加以重视。在 12011 工作面底板隔水层平均厚度 54.25 m 的情况下，一旦底板破坏带导通或通过导水构造导通了下部奥陶系灰岩含水层，就有可能导致重大突水事故。

综上所述，研究认为影响新义煤矿二₁煤层安全回采的突水水源为奥灰水，突水通道为采动破坏带，底板隔水层厚度及采动破坏带发育深度是影响突水的关键因素。因此，结合新义煤矿区高承压水上开采底板水害防治的基本经验，需要对底板进行注浆加固处理，封堵潜在导水通道，加固并提高底板隔水层的隔水性能，达到安全高效回采的目的。

3 L₇灰岩调研及重新评价

3.1 首采区工作面钻探

在进行物探手段获取新义煤矿首采工作面底板富水性规律的基础上，采用钻探手段进行探查是进一步实证物探结果的必要手段。针对上述探测结果，布置了 11 个探查孔对该面的富水异常区进行验证，探查孔布置如图 1 所示。



1—3 为各钻场钻孔编号

图 1 富水异常区钻探验证布置示意

3.2 12011首采区工作面钻探结果分析

根据首采工作面的实际施工条件，共实施了钻探验证孔11个，钻探总进尺1 240.28 m，钻探孔具体情况见表1。根据富水异常区钻探验证孔实际揭露情况，L₇灰岩段均无水，仅在钻场2第1钻孔与第3钻孔、钻场5第2钻孔中发现L₁—L₄灰岩段出水量较大（≥10 m³/h），其他孔出水量均较小（≤5 m³/h），在奥灰岩段内各钻孔均有少量水，且水压基本稳定在4.5 MPa左右。奥灰岩自然裂隙通道呈面状裂隙网络通道，在地质历史的多期构造应力作用下，脆性灰岩层产生了不同方向的较为密集的裂隙和节理，形成了较为发育且呈整体面状分布的裂隙网络，呈砂岩裂隙水特征，在这种情况下每个钻孔几乎都有出水现象。

表1 首采工作面富水异常区钻探孔情况

孔号	方位角/（°）	倾角/（°）	设计孔深/m	实际孔深/m	出水量/（m ³ ·h ⁻¹ ）	水压/MPa	奥灰终孔层位/m
1-1	355.1	-63.4	87.4	90.5	0.2	4.38	21.90
1-2	47.6	-37.7	137.7	140.0	0.1	4.40	29.10
2-1	21.8	-40.4	116.3	119.0	14.4	4.60	19.80
2-2	47.2	-48.6	109.2	111.0	0.3	4.50	27.00
2-3	63.4	-39.6	135.8	138.0	18.0	4.30	38.00
3-1	25.7	-61.8	85.2	86.9	0.2	4.40	27.90
3-2	38.9	-43.4	106.4	110.9	4.0	4.60	28.38
3-3	68.8	-47.0	109.3	114.3	3.0	4.50	29.20
4-1	76.4	-39.6	125.0	128.8	2.0	4.50	27.90
5-1	108.8	-51.0	109.1	110.7	2.5	4.60	11.80
5-2	201.0	-52.0	108.0	90.2	11.0	4.40	26.50

注：钻孔号1-1指钻场1第1钻孔，其他类推；终孔水压为12 MPa。

工作面内没有发现断层构造，但每个钻孔水均有出水量很小，从多数钻孔出水量小这一现象看，前2个主要富水异常区没有大的裂隙导水通道，L₇、L₁至L₄及奥灰岩富水性均较弱，无突水性危险，可以正常回采。

3.3 钻探辅助技术

根据新义煤矿具体情况，针对L₇灰岩采取以下调查研究工作。

1) 在井下水文长观孔布设位置确定以前，新义煤矿对-305 m水平西翼、东翼轨道运输大巷和井底车场进行了井下瞬变电磁勘探，探测结果显示底板以下20 m范围内无富水异常区，在确定井下

水文长观孔位置以后进行井下水文长观孔钻孔施工，施工过程显示L₇灰岩富水性微弱，结合新义煤矿二₁煤底板至L₇灰顶部正常间距5.82~21.00 m，平均11.93 m，通过井下水文长观孔布置前后相关工作，L₇灰岩富水性很差。

2) 根据《新义煤业公司11011首采工作面物探异常区验证兼注浆改造、试验孔工程竣工报告》，11011工作面共实施了底板富水异常区钻探验证兼注浆改造孔11个，底板破坏动态监测孔3个，从14个钻孔实际揭露情况均发现L₇灰岩无水。

3) 经钻探验证首采工作面富水异常区后，利用验证钻孔在首采工作面进行了2次简易多孔放水试验，2次多孔简易放水试验过程中，除了放水孔本身有水位降低外，其余观测孔几乎没有产生水位降深，间接验证了首采工作面内L₇、L₁—L₄及O₂灰岩富水性均较弱。

3.4 钻探效果

通过以上调查研究分析，说明新义煤矿二₁煤层底板L₇灰岩富水性很差，否定了前期煤田地质勘探资料所显示的L₇灰岩富水性较好的结论。因此，在进行煤层底板突水危险性评价时，可将L₇灰岩作为隔水层，并由此须对底板高承压水条件下的突水危险性进行重新评价。但应注意的是要对L₇灰岩可能存在的富水异常区作探查并采取注浆加固等措施以增强其隔水性能。

4 底板高承压含水层上安全开采评价

4.1 煤层底板突水系数评定法

突水系数是指煤层底板单位隔水层厚度所承受的水压力，是带压开采条件下衡量煤层底板突水危险程度的定量指标^[3]，突水系数T计算式为^[4-5]

$$T = P/M \quad (1)$$

式中：P为煤层底板隔水层承受的水压，MPa；M为煤层底板隔水层厚度，m。

式(1)既适用于巷道，也适用于采掘工作面，而且仅有式(1)在规定中有统一参照的临界突水系数值可以参照。利用突水系数法进行新义煤矿二₁煤底板突水危险性评价运用突水系数法进行底板突水危险性预测预报的关键在于确定临界突水系数T_s，可定义为每米隔水层厚度所承受的最大水压值，若T < T_s，说明底板安全，一般不会发生底板突水；若T > T_s，则说明底板不安全，发生底

板突水的可能性大。具体的工作步骤为: ①确定计算公式中的各个参量, 如 P 和 M ; ②将各参量代入式(1), 求出研究区的 T ; ③参照最新颁布的《煤矿防治水规定》, 结合本矿及相邻矿区实际突水资料, 总结临界突水系数 T_s ; ④绘制突水系数等值线图, 对底板突水危险性进行预测分区。

4.2 底板突水危险性评价

根据前述, 否定了前期煤田地质勘探资料所显示的 L_7 灰岩富水性较好的结论, 在采取有效措施前提下, 把 L_7 灰岩当做隔水层。因此, 二_1 煤底板突水危险性评价针对奥陶系灰岩含水层。选用在目前井下开采系统中存在的前期 10 个勘探钻孔(图 2)。运用突水系数法计算的突水系数见表 2。

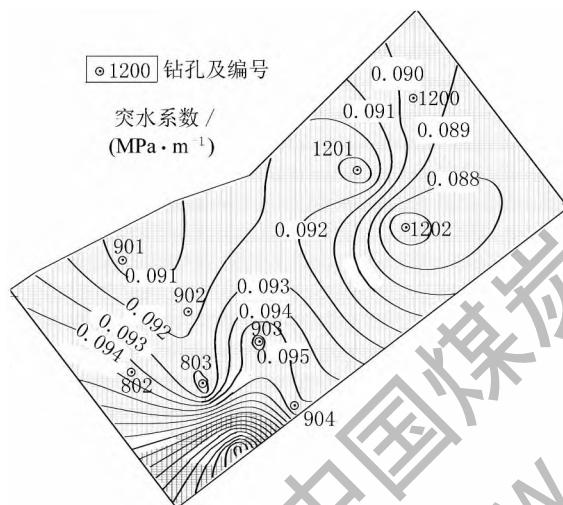


图 2 二_1 煤底板突水危险性预测分区

表 2 10 个勘探钻孔突水系数计算结果

钻孔编号	P/MPa	M/m	$T/(\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1})$
802	5.14	56.64	0.094
803	5.16	56.39	0.092
804	5.06	46.19	0.110
901	5.17	47.53	0.090
902	5.16	56.39	0.092
903	5.13	53.26	0.096
904	5.14	53.85	0.095
1200	5.18	57.61	0.090
1201	5.15	54.99	0.094
1202	5.20	59.65	0.086

运用突水系数法进行底板突水危险性评价, 根据最新颁布的《煤矿防治水规定》, 考虑到已对该矿首采区底板进行注浆加固且效果良好, 确定临界突水系数 T_s 采用正常块段值, 即 $0.1 \text{ MPa}/\text{m}$, 通

过式(1)计算的 10 个勘探钻孔突水系数计算成果, 运用 Surfer 软件生成底板突水系数单因素等值线图, 划分出 二_1 煤底板突水危险性预测分区图^[7~8]。由图 2 可以看出, 首采区范围内大部分煤层底板突水系数都在 $0.1 \text{ MPa}/\text{m}$ 以下, 只在 804 钻孔周围的较小范围内突水系数超过 $0.1 \text{ MPa}/\text{m}$, 但都小于 $0.11 \text{ MPa}/\text{m}$ 。因此, 再次论证了将整个 二_1 煤底板到奥灰顶板间的 L_7 灰岩当作隔水层是正确的, 新义煤矿首采区煤层底板正常情况下能抵抗住下部的奥灰水压, 目前新义煤矿已实现了首采工作面的安全回采。

5 结 论

1) 通过新义煤矿首采区的水文地质条件综合探查, 形成了该区水文地质条件的新认识: 对 二_1 煤底板安全开采有着直接影响的 L_7 灰含水层所开展的各项水文地质工作均发现该含水层富水性极弱, 几乎无水, 可以作为隔水层考虑。

2) 在此基础上采用突水系数法对 二_1 煤底板的奥灰突水危险性进行了综合评价, 最终评价结论认为当把整个 二_1 煤底板到奥灰顶板间的岩层当作相对隔水层看待时, 且暂时不存在断层等构造影响情况下, 新义煤矿首采区煤层底板正常情况下能抵抗住下部的奥灰水压, 目前新义煤矿已实现了首采工作面的安全回采。

参考文献:

- [1] 葛亮涛, 叶贵钧, 高洪烈. 中国煤田水文地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [2] 邱法林. 谈薄隔水层、高承压奥灰水的防治 [J]. 山东煤炭科技, 2003 (5): 25~26.
- [3] 叶东生, 杜飞虎. 煤层底板承压含水体上带压开采研究 [J]. 中国煤炭地质, 2010, 22 (11): 38~41.
- [4] 郑世书, 陈江中, 刘汉湖, 等. 专门水文地质学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [5] 地质矿产部水文地质工程局, 地质技术方法研究队. 水文地质手册 [M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [6] 武 强, 赵苏启, 李竞生, 等. 《煤矿防治水规定》编制背景与要点 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (1): 70~74.
- [7] 刘 颖, 孙亚军, 徐智敏, 等. 基于 GIS 小浪底水库下采煤的危险性分区与评价 [J]. 煤矿安全, 2009, 38 (6): 98~101.
- [8] 武 强, 黄晓玲, 董东林, 等. 评价煤层顶板涌(突)水条件的“三图一双预测法” [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (1): 60~65.