

# 斜井过向斜构造涌水原因分析及治理

吴慧蕾<sup>1</sup>, 钱自卫<sup>1</sup>, 马保明<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008;

2. 山西潞安矿业(集团)有限责任公司 黑龙煤业有限公司, 山西 临汾 041201)

**摘要:** 针对山西黑龙矿副斜井在掘进至裂隙发育的向斜轴部时发生涌水, 涌水量约  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ , 对施工造成严重影响的问题, 首先根据水文地质条件及涌水特点, 分析判断出涌水水源和涌水通道分别为太原组灰岩水和西沟向斜轴部裂隙发育区; 然后针对西沟向斜岩溶裂隙发育, 是构造富水带的特点, 以“引水孔排水—注浆堵水—预注浆防水”为防治水思路, 采用注浆封堵掘进工作面出水点和超前探水、预注浆相结合的治理方案; 最后采用打检验孔和瞬变电磁超前探测的方法对注浆效果进行检验, 斜井掘进后仅局部有淋水现象, 涌水量  $3 \sim 4 \text{ m}^3/\text{h}$ , 注浆封堵效果显著。

**关键词:** 斜井; 向斜; 涌水; 注浆; 副井

**中图分类号:** TD745 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2011)08-0026-04

## Cause Analysis and Control of Water Inrush When Mine Inclined Shaft Passed Through Syncline Structure

WU Hui-lei<sup>1</sup>, QIAN Zi-wei<sup>1</sup>, MA Bao-ming<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. Heilong Coal Mining Company, Shanxi Lu'an Coal Mining Group Corporation Ltd., Linfen 041201, China)

**Abstract:** According to the water inrush occurred when the mine auxiliary shaft excavated at the crack developed syncline axial section, the water inrush quantity was about  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  and the water inrush caused a serious problem to the mine inclined shaft construction. Firstly according to the hydrological conditions and the water inrush features, the paper analyzed and determined the water inrush source and water inrush channel, individually as the Taiyuan Group limestone water and the crack developed zone of the Xigou syncline axial section. Then according to the Xigou syncline, the crack development of the limestone was the features of the structure watery zone. Taking the diversion hole for water drainage—grouting for water sealing—pregrout for water prevention as the water prevention and control idea, the grouting to seal the water outlets at the coal mining face, the pilot water detection and the pregrouting combined control alternative was applied. Finally the checking hole drilling and transient electromagnetic pilot detection method was applied to inspect the grouting effects. After the mine inclined shaft excavated, some roof area of the inclined shaft would have raining phenomenon. The water inrush quantity was  $3 \sim 4 \text{ m}^3/\text{h}$ . The grouting sealing effect was obvious.

**Key words:** mine inclined shaft; syncline; water inrush; grouting; mine auxiliary shaft

注浆堵水是目前矿井建设中最普遍使用的防治水方法<sup>[1-5]</sup>。在实际工程实践中常采用经验法进行注浆堵水指导, 而对涌水成因和特征缺乏深入分析, 由于注浆目标地层的复杂性及缺乏对其有关参数的了解, 常造成注浆失败甚至反复注浆现象。因此在发生矿井涌水时, 根据地质条件和出水特点分析出水原因<sup>[6-8]</sup>, 查明出水水源和通道是首要前提, 然

后据此提出合理的注浆堵水方案。本文以山西黑龙煤矿斜井为例, 介绍了斜井在经过向斜构造发生涌水的注浆防治水应用。

## 1 工程概况

山西黑龙煤矿地处山西省蒲县黑龙关镇, 黑龙矿井于2009年由原5座地方煤矿整合而成。拟在矿

收稿日期: 2011-03-09 责任编辑: 张 扬

作者简介: 吴慧蕾(1987—), 女, 安徽萧县人, 硕士研究生, 从事水文地质与工程地质研究。Tel: 13815315251, E-mail: wuhuilei7141@163.com

井北部首采太原组 11 煤, 新建了副斜井。井筒倾角 18°, 斜井断面高 3.85 m, 宽 4.50 m; 采用喷网、锚索、锚杆联合支护的方式。

当副斜井掘进接近西沟向斜轴部 (斜长约 536 m 处), 井下突然出水, 导致斜井井筒下部受淹近 70 m。根据有关观察记录资料: 出水点位于斜井底板, 距左帮 0.5 m, 距掘进工作面 0.2~0.7 m, 下距太原组灰岩约 6 m; 出水点揭露初期, 水压较高, 涌水量在 120 m<sup>3</sup>/h 左右, 且水质浑浊, 水中携带有浅黄色泥质物; 水沿原炮眼涌出, 出水孔为 2 个, 直径约 100 mm, 深约 1.5 m。经过近 1 个月的强力疏排, 出水量基本稳定在 60~70 m<sup>3</sup>/h, 且水质变清。

2 副斜井出水水源及通道分析

2.1 斜井穿过主要含水层

根据矿井地质报告和施工资料, 黑龙煤矿太原组主要由中细砂岩、粉砂岩、砂质泥岩及泥岩、石灰岩、煤层等地层组成。据简易水文试验及钻探过程漏水情况反映, 井田范围砂岩含水层富水性总体较弱, 太原组灰岩是对 11 煤开采影响较大的主要顶底板充水含水层位, 厚度约为 5 m, 单位涌水量为 0.039 5~0.116 0 L/(s·m), 渗透系数 0.220 0~0.442 7 m/d, 水质类型 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>~(Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)-Ca<sup>2+</sup>型水, 富水性弱~中等。

2.2 出水水源及通道

副斜井出水层位与下伏太原组灰岩垂距约 6 m。从斜井成井段的施工情况看, 砂岩层含水性微弱, 基本没有揭露到明显出水点, 因此, 分析判断副斜井涌水水源并非来自出水层位, 而是下部灰岩水。由图 1 可知, 副斜井的出水点接近于西沟向斜 (S<sub>3</sub>) 的轴部, 该向斜是控制黑龙井田构造形态的主要构造, 分布于井田的中部, 贯穿井田南北, 轴长 5.5 km, 两翼大致对称, 倾角 6~20°。

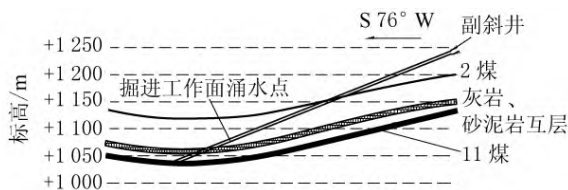


图 1 副斜井工程地质剖面示意  
根据矿井地质报告及钻孔柱状等综合资料, 太

原组灰岩含水层岩溶裂隙发育不均, 构造控水作用明显, 在褶曲轴部附近、转折端、断层的上盘等部位, 岩溶裂隙较为发育, 钻孔漏水情况严重 (表 1), 表明西沟向斜 (S<sub>3</sub>) 的轴部是黑龙井田内的主要富水带。

表 1 钻孔灰岩漏水情况

孔号	简易水文	漏水层位及岩溶发育情况
203	131.75m 漏水	太灰下部较破碎, 钻孔漏水不返水
304	135.38 m 漏水	太灰以上砂岩漏水不返水直到终孔
403	245.10 m 漏水	太灰开始漏水不返水
604	477.65~484.61 m 漏水	太灰漏水
803	511.58~516.02 m 漏水	太灰漏水堵不住, 钻孔不返水
1103	381.00~385.20 m 漏水	太灰漏水, 岩心破碎
201	186.30 m 漏水	11 煤层以下漏水

注: 203、304、403、604 和 201 钻孔位置为西沟向斜轴部附近; 604 和 803 钻孔位置为西沟向斜轴部。

综合以上情况分析, 西沟向斜轴部不但因灰岩含水层岩溶裂隙发育而成为构造富水带, 而且也因构造裂隙发育而使向斜轴部成为汇水区。在这种情况下, 斜井在施工过程中, 爆破扰动极易诱发原有构造节理、裂隙的扩展, 并与下伏的灰岩水相沟通 (图 1), 从而导致斜井出水。

从副斜井出水过程的水量变化特点看, 初期水量大、压力水头高, 经过一段时间的连续疏排后, 水量较长时间稳定在目前的 70 m<sup>3</sup>/h 左右, 且水压也基本稳定在目前的水平, 反映出充水水源具有良好的补给条件。

3 注浆治理方案

3.1 基本思路

注浆是井下封堵基岩裂隙水的最常用, 也是最有效的技术手段<sup>[9]</sup>。根据黑龙煤矿副斜井井下出水部位及出水特点, 同时考虑到斜井后续延伸段水文地质资料缺乏, 水文地质条件不明的实际情况, 建议对斜井水害的注浆治理采取分阶段实施的技术方案: 第 1 阶段, 对副斜井掘进工作面出水点进行封堵; 第 2 阶段, 沿副斜井布孔进行超前探水、预注浆。

3.2 涌水点封堵注浆

总体上以“先引水、后堵水”为原则, 对涌水点进行封堵, 即利用引水孔减小出水点的水量、降低水压, 再通过注浆对涌水点进行封堵。首先在副

斜井窝头出水点周围 1.5~3.0 m 处布设若干个引水孔,孔深控制在 3~4 m。然后在出水点正下方布设 1 个孔深 5~6 m 的注浆孔,引水孔及注浆孔均安装有孔口套管。当注浆孔揭露出水通道时,在原出水点楔入木棒进行临时封堵,再对注浆孔进行注浆,至引水孔返浆时停止注浆,并用絮凝速度较快的双液浆(水泥-水玻璃)对注浆孔进行封孔。

引水孔顺巷道方向偏斜,钻孔轴向与底板夹角控制在 50~70° 为宜。注浆孔采用风锤凿孔,利用  $\phi 42$  mm 钢钎成孔。若注浆孔注浆后取得预期效果(图 2),则对引水孔进行注浆封孔即可;若注浆孔封孔后残留有分散水点,则可利用引水孔进行套孔注浆,直至将目前出水完全封堵为止。在进行注浆孔及引水孔注浆时,如果底板其他地方出现冒浆,则在裂隙中塞入棉絮进行临时封堵即可。

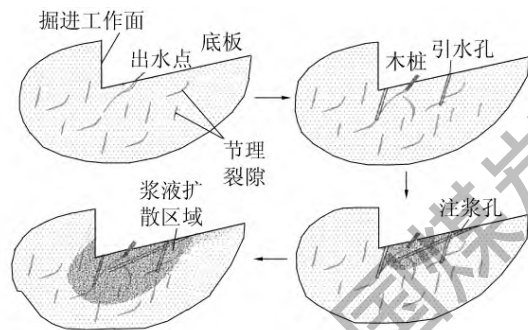


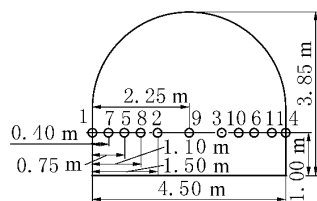
图 2 出水点预期封堵效果示意

### 3.3 超前预注浆

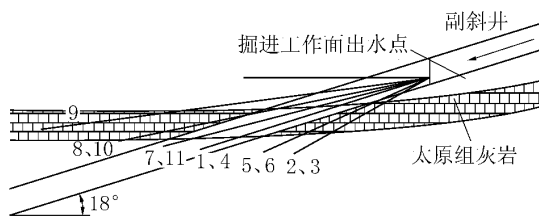
1) 注浆段长。根据矿方的要求,副斜井超前注浆段确定为穿过太原组灰岩 1.0 m,终孔点距巷道 2.5~3.5 m,预期注浆效果以施工揭露注浆段时不出现较大集中涌水点为基本要求。为实现含水段整体封水效果,进行分段套孔预注浆。

2) 注浆孔布设。据以往注浆经验<sup>[9]</sup>,在裂隙连通程度较差情况下,10 MPa 泵压下水泥单液浆的扩散半径一般在 3~5 m;若裂隙连通性比较好,水泥单液浆的串浆距离可达到 10 m 以上。在目前掘进工作面断面处沿底板布设 11 个注浆孔,如图 3 所示。

3) 注浆工艺控制。注浆全部采用分段套孔注浆方式,套孔深度控制为 10 m,即钻孔至 10 m 深度后提钻,安装孔口管后进行注浆,达到停注压力后,套孔钻进至 20 m 深度再进行第 2 段注浆,直至达到设计注浆深度为止,并达到停注标准后封孔。先按



(a) 主视



(b) 侧视

图 3 注浆孔布置示意

1→3→2→4→5→6 顺序对底板孔进行注浆,再按 7→11→8→10→9 顺序对顶板孔进行注浆。注浆终压设计值为 10 MPa。

表 2 注浆孔布孔参数

钻孔编号	倾角/(°)	水平夹角/(°)	孔深/m
1	-18	15	28
2	-30	3	20
3	-30	-3	20
4	-18	-15	28
5	-25	10	24
6	-25	-10	24
7	-12	-11	33
8	-15	-5	42
9	-8	0	50
10	-15	5	42
11	-12	11	33

注:水平夹角为斜巷垂直轴面与钻孔轴向之夹角,左为正,右为负。

4) 注浆结束标准。以注浆压力达到终压水平的稳定时间超过 2 min,或注浆压力持续升高超过终孔压力 20% 作为停注标准。如单孔注入水泥单液浆超过 15 m<sup>3</sup>,孔口压力仍处于低压状态,可及时换注水泥双液浆,待升压后及时换注单液水泥浆,直至注浆终压达到设计要求。

## 4 注浆施工

### 4.1 出水点封堵施工

1) 引水、注浆孔施工。按照施工方案的总体设计,采用风锤钻凿 18 个引水孔。在出水点退后 4 m

钻掘一个下俯  $45^\circ$ 、深 6.5 m 的注浆孔。各引水孔开孔点位置如图 4 所示。



图 4 引水孔开孔点位置俯视图

2) 注浆过程控制。①注浆压力。从出水到正式注浆前出水区域岩石经过了一个多月的浸泡, 岩石强度已大幅减弱, 必须控制注浆压力, 防止因注浆压力过大把底板岩层冲破造成大面积涌水。故将本次注浆终压设计为 2 MPa。②注浆泵量。在开始注浆阶段由于注浆压力较小, 故选择注浆泵最大泵量 (约 60 L/min), 待注浆压力升高时选择小泵量 (约 30 L/min), 并实时观测注浆压力变化及底板有无冒浆的情况。③材料配比。本次注浆选择水灰比 1: 1 的水泥浆液。

#### 4.2 掘进工作面超前预注浆施工

按照设计本阶段将施工注浆钻孔 11 个, 注浆选择水灰比 1: 1 的水泥浆液。考虑到掘进工作面岩层已受到爆破的扰动, 注浆终压控制在 6.0 ~ 7.5 MPa。

### 5 注浆效果检验及分析

在涌水点封堵注浆结束时各孔及底板均无出水现象, 在浆液初步凝固后, 采用风锤打检验孔的方法进行检验。首先对原出水引水孔进行套孔及延伸, 各孔均延伸至 4.5 m, 又在原探查的出水区域新钻凿检查孔 4 个 (图 4), 孔深 4.5 m, 也未见集中出水现象, 仅局部少量淋水, 涌水量  $3 \sim 4 \text{ m}^3/\text{h}$ , 故判定涌水点注浆封堵效果较好。

在注浆治理前后分别进行了瞬变电磁超前探测。对治理前后探测成果的对比如图 5a) 在底板掘进工作面前方, 岩层视电阻率较低, 说明该区域含水的可能性较大, 注浆后 (图 5b) 该区域的视电阻率明显增大, 说明注浆驱水较远且注浆效果明显。

## 6 结 论

1) 根据水文地质条件及涌水特点, 查明涌水水

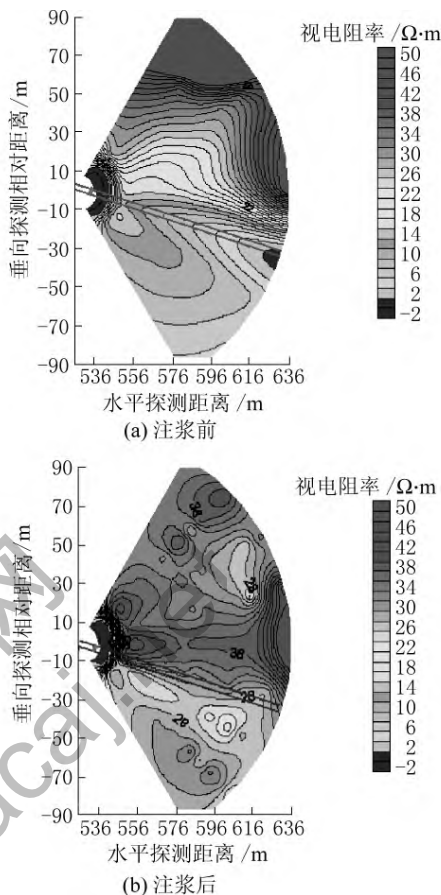


图 5 注浆前后竖直面视电阻率对比

源和涌水通道分别为太原组灰岩水和西沟向斜轴部裂隙发育区。

2) 涌水原因为西沟向斜轴部岩溶裂隙发育, 是构造富水带, 爆破扰动诱发原有构造节理、裂隙的扩展, 沟通下伏的太原组灰岩水, 导致斜井涌水。

3) 以“引水孔排水—注浆堵水—预注浆防水”为防治水思路, 采用注浆封堵出水点和超前探预注浆防水的方法进行治水, 注浆后采用打检验孔和瞬变电磁超前探测的方法对注浆效果进行检验, 仅局部有淋水现象, 涌水量  $3 \sim 4 \text{ m}^3/\text{h}$ , 堵水效果较好, 为类似水文地质条件下的斜井涌水治理提供了有效的技术手段。

#### 参考文献:

- [1] SUI W H, LIU J Y, YANG S G, *et al.* Hydrogeological Analysis and Salvage of a Deep Coal Mine After an Underground Water Inrush [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 62 (4): 735 - 749.

(下转第 34 页)

物进行简单维修及防护, 再进行下分层长壁矸石充填开采, 可以确保地表建筑物的安全。分层间歇长壁矸石充填开采方案, 为该矿井最大限度的解决建筑物下压煤问题提供了一种安全、经济的合理开采方法。但是由于浅埋煤层地表移动规律的复杂性以及该区地面情况建筑物对移动变形的敏感性, 建议在开采期间对地表建筑物进行变形观测, 如发现问题, 及时调整方案, 确保安全科学采煤。

#### 参考文献:

- [1] 缪协兴, 张吉雄, 郭广礼. 综合机械化固体充填采煤方法与技术研究 [J]. 煤炭学报, 2010, 35 (1): 1-6.
- [2] 宋振骐, 崔增娣, 夏洪春, 等. 无煤柱矸石充填绿色安全高效开采模式及其工程理论基础研究 [J]. 煤炭学报, 2010, 35 (5): 705-710.

#### (上接第 25 页)

逐步向顶板深部扩展, 最终导致复合顶板的破坏。

2) 复合顶板的锚杆支护应充分发挥锚杆的主动支护作用, 及时支护并使用专门的风动扭矩放大器加强锚杆支护的预紧力; 用护表功能较强的 W 钢带取代钢筋梯子梁或用强度较高的钢筋网代替金属菱形网, 消除网兜现象, 使顶板表面较为平整; 适当增加锚索密度, 加大对锚索张拉力的管理。

3) 改进的锚杆支护方案应用于辛置矿复合顶板巷道, 使复合顶板的变形得到了控制, 稳定性大幅增强, 较好地解决了复合顶板支护的难题, 提高了矿井的单进水平, 降低了巷道的维护费用, 取得了较好的技术及经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 宫显斌. 复合顶板条件下煤巷锚杆支护技术 [J]. 煤炭科学技术, 2000, 27 (10): 7-9.

#### (上接第 29 页)

- [2] SUI W H, ZHANG G L, WANG W X, *et al.* Chemical Grouting for Seepage Control Through a Fractured Shaft Wall in an Underground Coal Mine [C]. Geologically Active - Proceedings of the 11th IAEG Congress. New Zealand: Taylor & Francis Group, 2010: 3617-3623.
- [3] 赵太保. 斜井施工过程砂岩水注浆封堵技术 [J]. 煤矿安全, 2007, 39 (7): 35-38.
- [4] 乔卫国, 孟庆彬, 林登阁, 等. 唐口煤矿主井并筒注浆堵水方案及应用 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (2): 19-21.
- [5] 万世文. 综放工作面过向斜构造深孔全封闭注浆加固技术

- [3] 张吉雄, 缪协兴. 建筑物下条带开采煤柱矸石置换开采的研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (S1): 2687-2693.
- [4] 张吉雄, 缪协兴, 郭广礼. 矸石直接充填采煤技术发展现状 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26 (4): 395-401.
- [5] 陈杰, 张卫松, 闫斌, 等. 井下矸石充填工艺及普采工作面充填装备 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (4): 32-34.
- [6] 任学存, 朱庆峰, 杨兴廷. 十八采区矸石充填巷掘进期间煤柱稳定性分析 [J]. 山东煤炭科技, 2009 (1): 55-57.
- [7] 郭广礼, 缪协兴, 张吉雄, 等. 长壁工作面矸石充填开采沉陷控制效果的初步分析 [J]. 中国科技论文在线, 2008, 3 (11): 805-809.
- [8] 李宁, 马慧慧, 柳朋远. ZZC8800/20/38 型矸石充填液压支架的研制 [J]. 矿山机械, 2010, 38 (15): 5-7.
- [9] 何国清, 杨伦, 凌赓娣, 等. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [2] 侯朝炯, 郭励生. 煤巷锚杆支护 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [3] 刘波, 韩彦辉. FLAC 原理、实例与应用指南 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [4] 高延法. 矿山岩体力学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000: 4-6.
- [5] 徐芝纶. 弹性力学简明教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [6] 代东生. 煤巷大跨度复合顶板的锚拉网喷支护技术 [J]. 河北煤炭, 1999 (1): 71-5.
- [7] 张农, 高明仕. 煤巷高强预应力锚杆支护技术与应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (5): 524-527.
- [8] 陈东印. 地下工程预应力锚杆支护数值模拟分析 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2005: 10-14.
- [9] 李英明, 石建军, 贾安立, 等. 影响煤巷锚杆支护初锚力的主要技术因素分析 [J]. 煤矿开采, 2005, 10 (4): 45-48.
- [10] 柏建彪, 侯朝炯. 复合顶板极软煤层巷道锚杆支护技术研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (1): 53-56.

[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (4): 25-27.

- [6] WANG Dang-liang, JIANG Zhen-quan. Characteristics of Water Inflow and Chemical Grouting Treatment of a Liu Yuanzi Coal Mine Shaft in the Ordos Basin [J]. Mining Science and Technology, 2010, 20 (4): 607-610.
- [7] 李振林, 冯耀挺, 王西才, 等. 西固煤矿回风立井涌水分析及掘进施工技术 [J]. 煤矿安全, 2010, 41 (9): 59-61.
- [8] 王档良, 姜振泉. 在建矿井井壁渗漏水的地质成因分析与化学注浆治理 [J]. 建井技术, 2008, 29 (5): 18-21.
- [9] 郝哲, 王来贵, 刘斌, 等. 岩体注浆理论与应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.