

# “定向分支钻探”技术在煤矿陷落柱治理中的应用

李海亮<sup>1</sup>, 张颖慧<sup>2</sup>, 张振国<sup>3</sup>, 谷廷华<sup>1</sup>

<sup>1</sup>济宁市金桥煤矿, 山东 济宁

<sup>2</sup>山东科技大学安全与环境工程学院, 山东 青岛

<sup>3</sup>济宁市能源综合执法支队, 山东 济宁

收稿日期: 2023年9月17日; 录用日期: 2023年10月18日; 发布日期: 2023年10月27日

## 摘要

煤矿陷落柱是煤炭开采过程中经常遇到的不良地质构造之一, 是一种特殊的导水通道。为了减少陷落柱对煤矿生产安全的危害, 杜绝水害事故, 确保在过陷落柱时的采掘安全, 本文以金桥煤矿的一处岩溶陷落柱为研究对象, 创新性地将石油领域“定向分支钻探”技术应用于陷落柱探查治理中, 详细介绍了“定向分支钻探”技术应用于煤矿陷落柱治理中的施工设计、主要技术措施等。应用结果表明, “定向分支钻探”技术能实现对煤矿陷落柱发育位置及导水情况的精准探查, 有效解决水害威胁, 从而增加矿井可采资源储量, 创造巨大经济效益。研究结果为煤矿陷落柱的防治提供了技术方案支撑, 同时为煤矿采掘过程中陷落柱阻隔水煤(岩)柱的设计提供了重要依据。

## 关键词

煤矿陷落柱, 定向分支钻探, MWD随钻测量, 注浆改造

# Application of “Directional Branch Drilling” Technology in the Treatment of Coal Mine Collapse Column

Hailiang Li<sup>1</sup>, Yinghui Zhang<sup>2</sup>, Zhenguo Zhang<sup>3</sup>, Tinghua Gu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jining Jinqiao Coal Mine, Jining Shandong

<sup>2</sup>College of Safety and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Jining Energy Comprehensive Law Enforcement Detachment, Jining Shandong

Received: Sep. 17<sup>th</sup>, 2023; accepted: Oct. 18<sup>th</sup>, 2023; published: Oct. 27<sup>th</sup>, 2023

文章引用: 李海亮, 张颖慧, 张振国, 谷廷华. “定向分支钻探”技术在煤矿陷落柱治理中的应用[J]. 矿山工程, 2023, 11(4): 494-503. DOI: 10.12677/me.2023.114061

## Abstract

Coal mine collapse column is one of the bad geological structures often encountered in the process of coal mining, and it is a special water channel. In order to reduce the harm of collapse column to the safety of coal mine production, prevent water disaster accidents, and ensure the safety of mining when passing through the collapse column, this paper takes a karst collapse column in Jin-qiao Coal Mine as the research object, and innovatively applies the “directional branch drilling” technology in the oil field to the exploration and treatment of collapse column. The construction design and main technical measures of “directional branch drilling” technology applied to the treatment of coal mine collapse column are introduced in detail. The application results show that the “directional branch drilling” technology can realize the accurate exploration of the development position and water conductivity of the coal mine collapse column, and can effectively solve the threat of water damage, thus increasing the reserves of mine recoverable resources and creating huge economic benefits. The research results can provide technical support for the prevention and control of coal mine collapse column, and provide data basis for the design of collapse column water proof coal (rock) column in the process of coal mining.

## Keywords

Coal Mine Collapse Column, Directional Branch Drilling, MWD Measurement While Drilling, Grouting Retrofit

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

煤炭是我国的主要能源。我国 95% 以上的煤矿为井工开采[1] [2]，然而，在煤炭的开采过程中，经常会遇到各种地质问题，带来严重的经济损失和恶劣的社会影响。陷落柱就是煤矿开采过程中经常遇到的一种不良地质构造之一，其对煤矿生产有着不可忽视的影响[3] [4] [5]。岩溶陷落柱是埋藏在煤系地层下部的巨厚灰岩岩体，在地下水溶蚀作用下，形成巨大的岩溶空洞。当上覆岩体失去来自空洞顶部的支撑时，由于其自身重力作用而发生崩塌，并填充到溶蚀的空隙中，由于其外形像一柱体，故称岩溶陷落柱。我国岩溶陷落柱多发育于北方石炭二叠系煤田，在山西、河南、陕西、山东、安徽等 20 多个煤田中，已发现 45 处陷落柱，总数接近 3000 个，特别是山西、河北较多，尤其以汾西两岸、太行山两侧煤田为多，例如，在西山矿区，已经发现陷落柱 1300 多个，密度可达到 70 个/km<sup>2</sup>。岩溶陷落柱的这种特殊地质现象的存在，不仅破坏煤层，减少可采储量，而且会影响巷道掘进和煤层开采，是一种很难防治的充水因素。据统计，综采机切割过一个面积 30 m × 40 m 的陷落柱，损失在千万元左右，如果遇到突水淹井，则造成的单次损失将过亿，这将严重危害着矿井的安全高效生产[6]。我国开滦、皖北、徐州等矿区都发生过特大陷落柱突水淹井事故，这些事故造成了重大的经济损失和社会影响，其中开滦范各庄矿突水淹井事故是世界采矿史上最严重的一次淹井事故[7]。截止 2019 年底，中国华北煤田，由于陷落柱突水而导致的淹井事故有 20 多起，造成了严重的人员伤亡和经济损失[8]。鉴于此，在进行煤矿井下开采时，必须提前采取有效的措施来确保矿井安全开采。

目前应用于陷落柱探查治理的技术主要有三维地震勘探技术[9] [10] [11] [12]、瞬变电磁技术[13] [14]

[15]、定向钻进技术[16] [17] [18] [19]、注浆加固技术[20] [21] [22]等。相较于其它技术，定向分支钻探技术具有施工方便、钻探速度快、钻探效率高、定向精确、探查治理范围大等优势。鉴于此，本文以金桥煤矿的一处岩溶陷落柱为研究对象，探究“定向分支钻探”技术在岩溶陷落柱治理中的应用效果，并对导水通道进行注浆封堵。陷落柱探查与防治流程如图 1 所示。

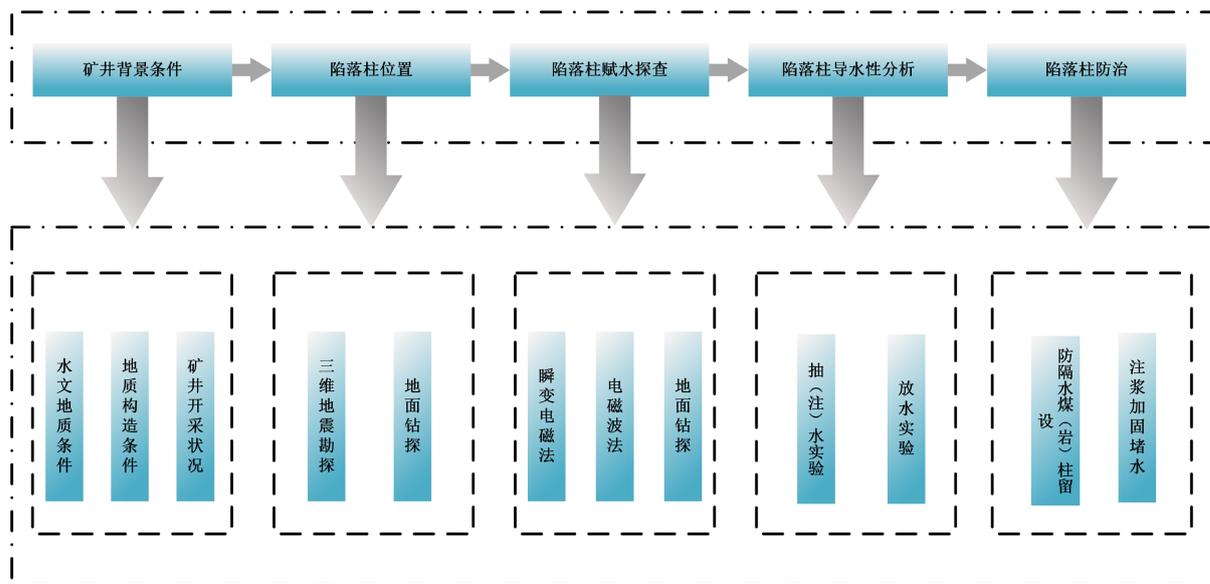


Figure 1. Exploration and prevention technical route of collapse column

图 1. 陷落柱探查与防治流程[8]

本研究主要有三个目的，首先在以往工作基础上，利用定向分支钻探方法，进一步探查四采区陷落柱的发育范围，并用水文简易观测和抽水试验，充分分析陷落柱破碎带的赋水性和导水性，其次对陷落柱破碎带及底部周围奥灰含水层进行注浆改造，最后分析定向分支钻探技术在陷落柱治理中的应用效果。

## 2. 矿区概况

### 2.1. 矿区地质概况

金桥煤矿隶属于济宁矿业集团有限公司，井田在构造上受北部菏泽支断层、东部嘉祥断层、南部鳊山断层所控制，阻水边界或断层导水性弱。井田西部，由于断层作用，使奥灰上升到与煤系同一水平，奥灰水侧向补给煤系各含水层，整个井田为半封闭状态。另外，井田内隐伏 3 煤顶板砂岩及三灰条带状露头，被 I 含水层直接覆盖其上，形成了 3 煤顶板砂岩及三灰水的补给来源。根据奥灰地下水水位长期观测的资料，奥灰水位年变化幅度只有 0.01~0.81 m，补给途径不良，补给条件差。根据奥陶系石灰岩地下水化学资料，氯离子的含量 175.63~629.07 mg/L，钠离子含量 407.63~520.70 mg/L，矿化度 3.65~4.05 g/L，地下水交替作用缓慢，径流条件差。矿区奥陶系石灰岩地下水由西向东缓慢地流向深部。根据 3 煤顶板砂岩抽水涌水量参数，可知其补给条件不好。从水化学资料分析，地下水交替作用缓慢，排泄条件差。

总之，由于井田受北、东、南构造控制，地下水形成半封闭状态，加之井田构造复杂，断层导水性差，补给与排泄条件均不良。

### 2.2. 含水层及水害特点

井田内含水层自上而下依次为：新生界砂砾层孔隙含水层组、基岩风化裂隙含水层，山西组 3 煤顶

板砂岩裂隙含水层,太原组三灰、十<sub>下</sub>灰岩溶裂隙含水层,中奥陶统石灰岩岩溶裂隙含水层。其中3煤顶、底板砂岩、三灰为开采3煤的直接充水含水层。开采3煤时出水点多发生在裂隙发育区,为巷道揭露出水,水源主要为3煤层顶底板砂岩水和底板三灰水。

### 2.3. 陷落柱概况

利用三维地震勘探方法和技术,可以对陷落柱的影响区域进行初步确定,从而为钻探定位提供依据。且经证明[23][24][25][26],利用三维地震勘探方法对陷落柱进行探测具有一定的可行性和科学性。地震勘探是以地下岩石的弹性差异作为依据,利用人工方法使地壳产生震动,根据人工激发地震波在地下岩层中的传播路线和时间,探测地下岩层界面的埋藏深度和形状,认识地下地质构造的技术[27]。2004年,该矿在四采区进行三维地震勘探时,在采区东部2-1钻孔以南220m位置处发现一岩溶陷落柱,2005年施工的验1、验2两个验证钻孔证实了陷落柱的存在。四采区三维勘探资料精细化解释了陷落柱面积为6480m<sup>2</sup>,长轴长约110m,短轴长约75m,陷落柱最上方波及至第三系底界以下,陷落柱的落差约为65~70m。

## 3. 钻探技术

为了确保在过陷落柱时的采掘安全,杜绝奥灰水通过陷落柱进入矿井引发水害事故,金桥煤矿通过“定向分支钻探”技术对陷落柱实际发育范围进行进一步的探查,并对导水通道进行注浆封堵。

### 3.1. 技术原理及特点

防治水技术人员在治理技术选择上,摒弃了传统的地面多孔注浆治理工艺,而是创新性的将石油领域“定向分支钻探”技术应用于陷落柱探查治理中,即在陷落柱地面对应位置施工“丛式”定向分支钻孔,对陷落柱空间发育情况进行精准探查,同时实现对导水裂隙的全面封堵。

### 3.2. 技术难点及创新点

技术难点为定向钻探过程中的轨迹控制、层位判断、注浆技术参数及注浆效果检验。技术创新点为:①采用“定向分支钻探”技术,对陷落柱空间发育情况进行精准探查,采用MWD随钻测量设备对钻孔轨迹进行校验,实现钻孔轨迹的可视、可控[28];②实现“一孔多用”,主孔同时兼做注浆孔,缩短了施工周期,也有效降低了灾害治理成本;③定向分支孔采用无固相冲洗液体系,提高泥浆性能测试及维护[29];④本次区域治理注浆采用孔口封闭静压前进式分段注浆法,提高注浆效果,能够充分加固陷落柱破碎带岩体。

## 4. 施工过程

### 4.1. 钻孔设计及探查过程

工程采用边探查边治理的原则,针对陷落柱穿过的层位进行纵向、横向的精准探查及注浆加固治理,终孔目的层位选择进入奥灰界面以下40m。共设计、施工1个主孔(Z1孔)及4个定向分支钻孔(Z1-1、Z1-2、Z1-3、Z1-4孔),累计钻进进尺2478.56m。钻孔平面布置如图2所示。

Z1主孔为垂直孔,基岩段至终孔取芯钻进,地层正常,未揭露陷落柱,施工后进行了全孔测井及简易水文观测、抽水试验,获得了区域地质及水文地质发育特征。4个分支孔均利用Z1孔三开段进行定向造斜,采用MWD随钻测量设备对钻孔轨迹进行校验,精确控制钻孔轨迹,根据岩屑录井、数字测井资料,综合分析判断钻孔进、出陷落柱位置。各分支孔地质剖面图如图3~6所示。

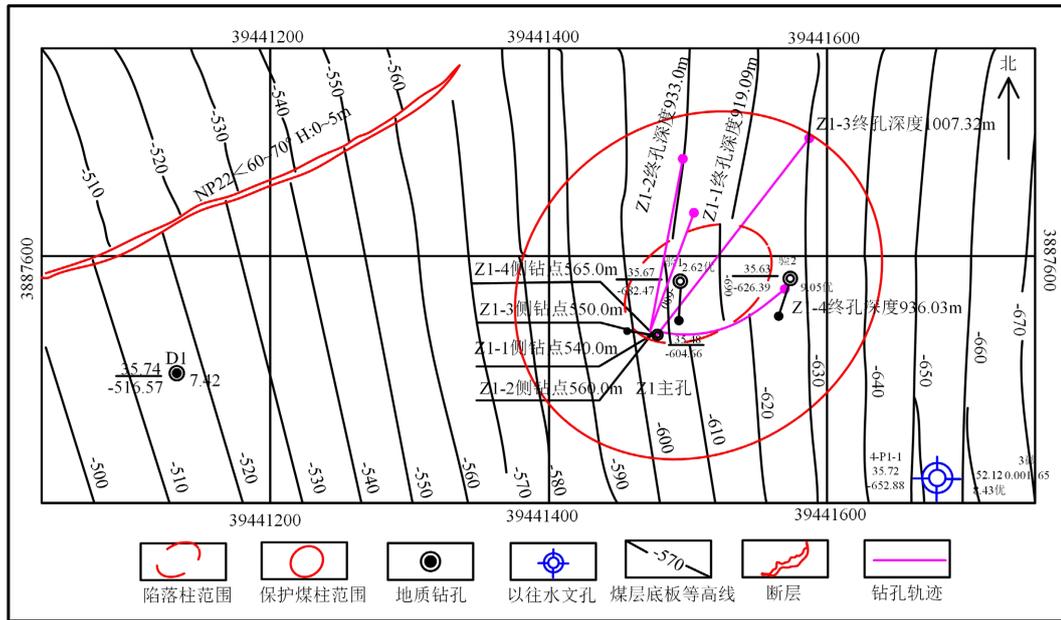


Figure 2. Construction drilling plane layout  
图 2. 施工钻孔平面布置图

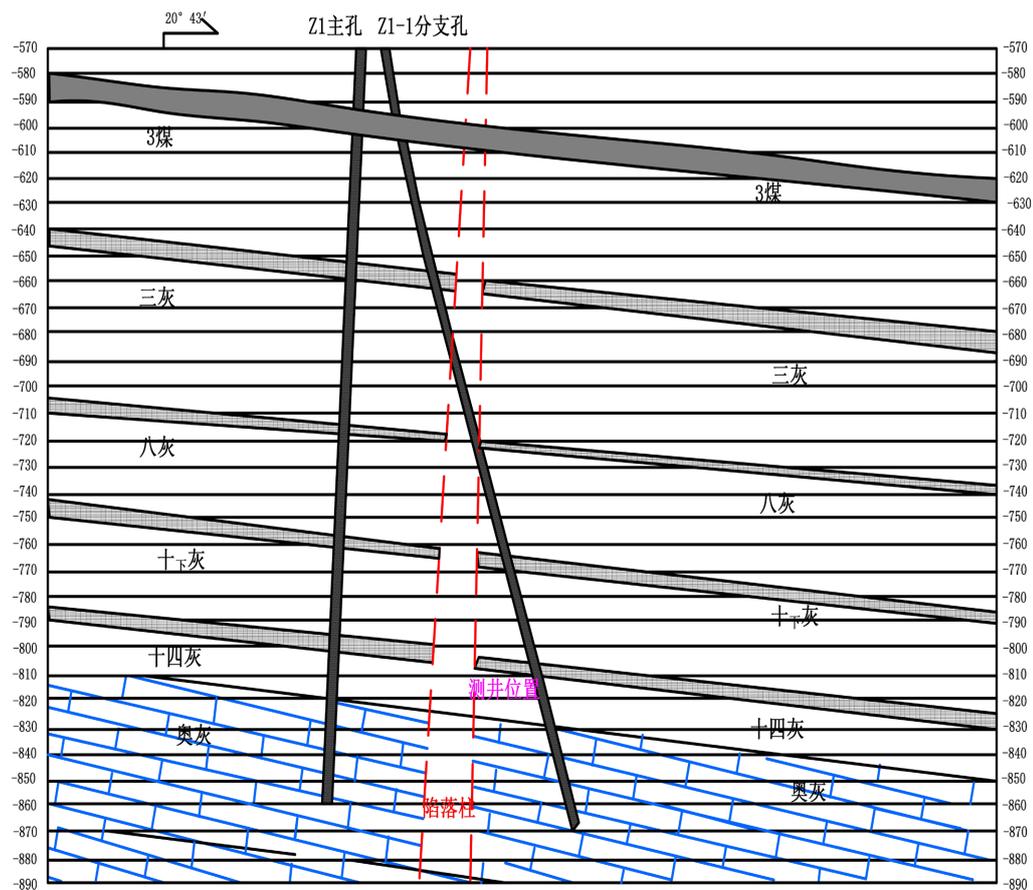


Figure 3. Geological profile of Z1-1 branch hole  
图 3. Z1-1 分支孔地质剖面图

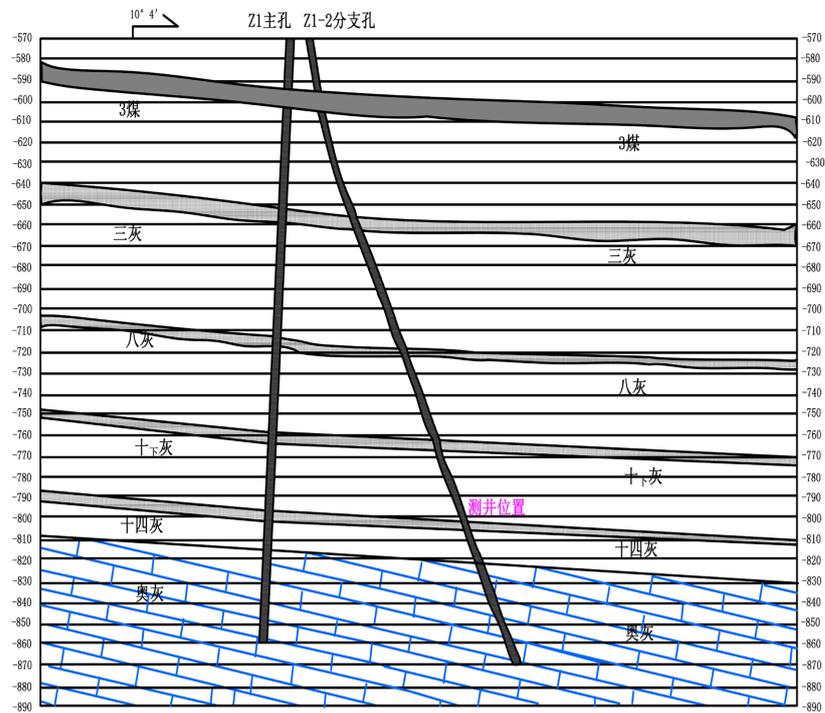


Figure 4. Geological profile of Z1-2 branch hole  
图 4. Z1-2 分支孔地质剖面图

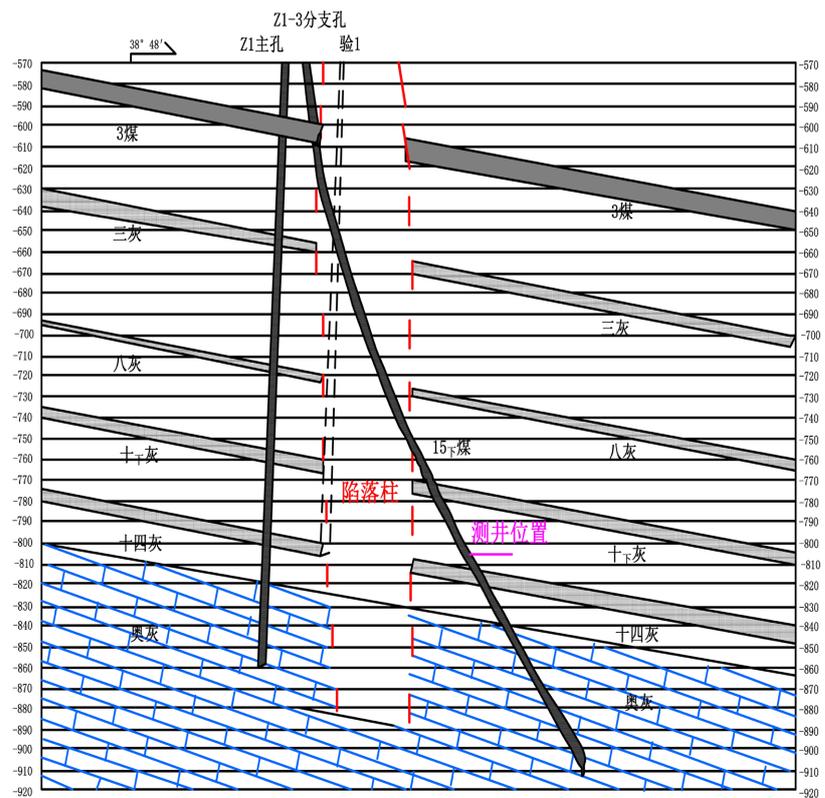


Figure 5. Geological profile of Z1-3 branch hole  
图 5. Z1-3 分支孔地质剖面图

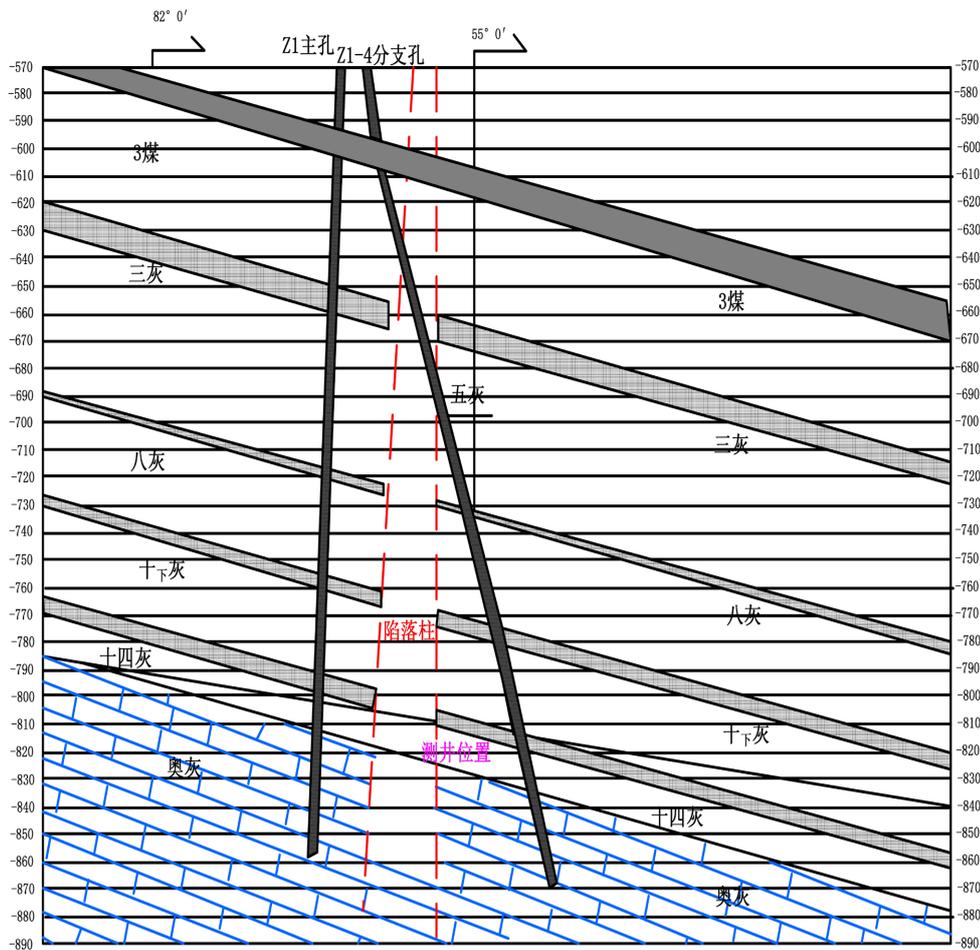


Figure 6. Geological profile of Z1-4 branch hole  
图 6. Z1-4 分支孔地质剖面图

根据 Z1 主孔、验 1、验 2、各分支孔测井资料，对钻孔所揭露的地层进行对比分析，结果如表 1 所示。

Table 1. Statistics of strata exposed by Z1 main hole, test 1, test 2 and Z1-1 branch hole  
表 1. Z1 主孔、验 1、验 2、Z1-1 分支孔揭露地层概况统计表

孔号	Z1	验 1	验 2	Z1-1 分支孔	Z1-2 分支孔	Z1-3 分支孔	Z1-4 分支孔
Q 底界面	381.45 m	389.50 m	374.15 m	/	/	/	/
P <sub>2-3</sub> S 底界面	597.55 m	661.55 m	617.25 m	/	/	/	/
3 煤底深/厚度	640.15/9.70 m	718.14 处，煤厚 2.62 m， 703.77~760.00 多层煤，其中 754.29m 处，煤厚 2.14 m	662.02/9.05 m	640.77/9.95 m	640.48/9.80 m	641.99/10.35 m	642.36/10.10 m
三灰底深/厚度	695.20/7.05 m	784.15/1.30 m	719.40/7.35 m	698.21/7.65 m	696.57/7.80 m	/	/
五灰底深/厚度	719.40/2.65 m	/	742.00/2.25 m	722.56/3.20 m	720.11/2.10 m	/	732.29/3.20 m

Continued

六灰底深/ 厚度	736.45/1.15 m	/	758.85/1.20 m	/	738.18/1.50 m	/	751.14/1.25 m
11 煤底深/ 厚度	736.85/0.40 m	/	759.25/0.40 m	/	738.45/0.30 m	/	751.51/0.40 m
八灰底深/ 厚度	754.15/3.70 m	797.60/2.05 m	776.23/3.33 m	757.91/3.55 m	757.56/4.05 m	/	770.66/5.20 m
九灰底深/ 厚度	763.45/1.80 m	805.10/3.55 m	787.20/2.25 m	770.59/4.01 m	769.57/3.15 m	773.65/0.7 m	781.65/2.10 m
十灰底深/ 厚度	797.85/5.45 m	/	819.42/5.57 m	806.83/6.22 m	804.19/6.15 m	813.61/7.45 m	814.94/6.25 m
16 煤底深/ 厚度	799.30/1.45 m	/	820.45/1.03 m	807.70/0.92 m	805.42/1.35 m	814.55/1.15 m	816.03/1.15 m
17 煤底深/ 厚度	808.55/1.75 m	/	828.61/0.83 m	817.00/0.93 m	814.77/1.10 m	820.22/1.2 m	824.29/0.95 m
十四灰底 深/厚度	837.70/6.20 m	847.25/5.25 m	856.53/6.20 m	846.77/5.70 m	843.02/6.20 m	850.27/9.1 m	854.10/6.65 m
铝土岩 厚度	856.25/13.40 m	867.95/8.15 m	875.03/10.41 m	864.70/18.90 m	859.77/18.55 m	873.78/26.0 m	870.20/16.98 m
O <sub>2</sub> 顶界面 深度	856.25 m	867.95 m	875.03 m	864.70 m	859.77 m	873.78 m	870.20 m

综合分析各定向分支钻孔进出陷落柱情况，钻孔进陷落柱位置为煤层底板处陷落柱的西南边界，钻孔出陷落柱位置垂直投影到煤层底板，为煤层底板处陷落柱的东北边界。根据定向分支钻孔进出陷落柱情况，对煤层底板处陷落柱发育范围进行精准修正，陷落柱钻探与三维物探范围的对比如图 7 所示。根据本次陷落柱的探查结果，分析陷落柱长轴约 68 m，短轴约 47 m，面积约 2550 m<sup>2</sup>，比原三维地震探勘范围减少了 3930 m<sup>2</sup>。

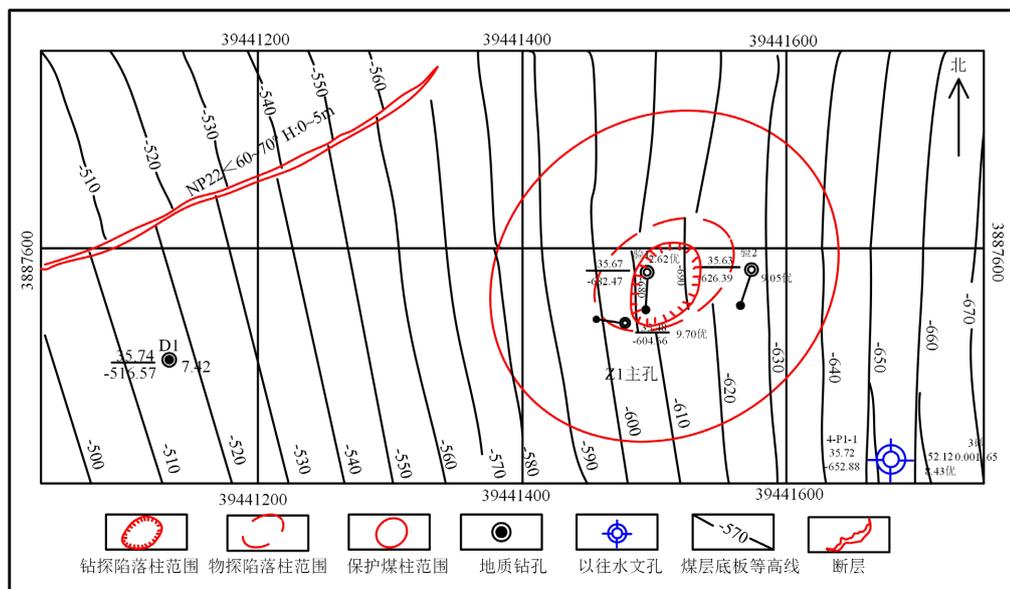


Figure 7. Comparison of collapse column drilling and three-dimensional geophysical exploration range  
图 7. 陷落柱钻探与三维物探范围对比图

## 4.2. 水害防治

目前,用于陷落柱水害防治的方法主要有两种,一种是防隔水煤(岩)留设,另一种是注浆加固/堵水。郑士田等人[30]提出,针对导水陷落柱,可以通过向陷落柱及其影响带进行注浆处理,建立人工“堵水塞”的方法,切断陷落柱导水通道的水源。根据设计要求,分别对 Z1 主孔及各分支孔进行注浆处理,采用单水泥浆液,浆液配比为 1:0.4、1:0.3,比重为 1.24 g/cm<sup>3</sup>、1.19 g/cm<sup>3</sup>,累计注浆量 169.80 t,注浆结束时孔口压力均达到设计要求 8 MPa 以上,对陷落柱十<sub>下</sub>灰以上破碎带及陷落柱附近的三灰、奥灰含水层进行注浆加固,减轻了水害威胁。

## 5. 应用效果分析

研究证明,利用定向分支钻探技术对陷落柱进行探查相较于三维地震勘探技术,探查范围减少了 3930 m<sup>2</sup>,实现了对陷落柱探查的精准测量。且经过评估论证,陷落柱的保护煤柱由原来的 81 m 缩小至 31 m,解放了优质煤炭资源 47.7 万吨,增加了矿井可采资源储量,经计算可新增销售收入 6.2 亿元。

## 6. 结论

本文研究了“定向分支钻探”技术在煤矿陷落柱治理中的应用效果,主要的研究结果如下:

(1) “定向分支钻探”技术在金桥煤矿陷落柱探查、治理的成功开展与应用,实现了对陷落柱发育位置及导水情况的精准探查,极大提高了矿井安全开采系数。

(2) “定向分支钻探”技术的应用,将陷落柱的保护煤柱由原来的 81 m 缩小至 31 m,解放优质煤炭资源 47.7 万吨,增加了矿井可采资源储量,创造了巨大经济效益。

(3) 根据研究结果,提出了一套科学精准的探查技术和超前治理技术,可为同类煤矿开采过程中陷落柱的提前防治提供技术方案支撑,包括钻探工艺、效率,注浆工艺、层位、材料、浆液配比等,具有较强的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 于磊,孙世国,王佳. 井工开采对上覆岩体及边坡稳定性的影响规律探究[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2023, 22(3): 10-13+37.
- [2] 柳宁,赵晓光,周文富,等. 井工煤矿开采对坡面形态及侵蚀的影响研究[J]. 煤炭工程, 2020, 52(3): 122-126.
- [3] 李颖博. 综采工作面安全快速过陷落柱技术研究[J]. 山西化工, 2023, 43(6): 146-149.  
<https://doi.org/10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2023.06.057>
- [4] 栗东,林志斌,杨大方. 考虑填隙物活化影响的陷落柱突水灾变规律[J]. 煤矿安全, 2023, 54(5): 113-120.  
<https://doi.org/10.13347/j.cnki.mkaq.2023.05.017>
- [5] Zhang, C., Bai, Q.S. and Han, P.H. (2023) A Review of Water Rock Interaction in Underground Coal Mining: Problems and Analysis. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **82**, Article No. 157.  
<https://doi.org/10.1007/s10064-023-03142-2>
- [6] 孙肖肖. 回坡底煤矿陷落柱空间分布规律分析[J]. 能源与节能, 2023(5): 77-79.  
<https://doi.org/10.16643/j.cnki.14-1360/td.2023.05.042>
- [7] 周垒. 导水陷落柱突水淹井综合治理技术探讨[C]//第七次煤炭科学技术大会论文集(下册). 北京: 煤炭工业出版社, 2011: 656-658.
- [8] 许光泉,张海涛,周继生,等. 华北煤田岩溶陷落柱及其突水研究综述及展望[J]. 中国岩溶, 2022, 41(2): 259-275.
- [9] 赵潇辉. 三维地震勘探技术在马兰矿的应用[J]. 山西焦煤科技, 2023, 47(4): 49-53.
- [10] 胡莹. 三维地震属性在复杂山区中解释小断层及陷落柱的应用[J]. 煤炭与化工, 2022, 45(7): 16-20.  
<https://doi.org/10.19286/j.cnki.cci.2022.07.005>

- [11] 侯泽明. 煤矿采区高密度三维地震勘探采集参数研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2023.  
<https://doi.org/10.27352/d.cnki.gylgu.2022.000553>
- [12] 吴波, 韦青云. 三维地震勘探技术在山西赵庄矿查找陷落柱的应用[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(2): 138-140+144.
- [13] 孙吉益, 李玉宝, 李文峰, 等. 井下瞬变电磁技术在含水陷落柱治理中的应用[J]. 华北科技学院学报, 2009, 6(4): 47-50.
- [14] 宋海生. 瞬变电磁技术在煤矿防治水工作中的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2020, 46(12): 104-105+117.
- [15] 朱晓锋. 长沟煤矿 15105 工作面运输巷掘进瞬变电磁探水技术研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2019(6): 153-156.
- [16] 葛会乾. 定向钻进技术在陷落柱治理中的应用[C]//中国煤炭地质总局. 全国煤炭地质钻探研讨会论文集. 《中国煤田地质》编辑部, 2007: 19-20.
- [17] 张军林. 矿井地质勘探中煤矿井下定向钻进技术的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(17): 169-171.  
<https://doi.org/10.13487/j.cnki.imce.022686>
- [18] 王常委. 定向钻进技术在探陷落柱边界的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(22): 136-138.  
<https://doi.org/10.13487/j.cnki.imce.021373>
- [19] 郑士田. 地面定向钻进技术在煤矿陷落柱突水防治中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(7): 229-233.  
<https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2018.07.036>
- [20] 杨勇. 司马煤业 1218 工作面过 X2 陷落柱注浆加固技术研究[J]. 煤, 2023, 32(8): 75-77.
- [21] 强. 工作面过大面积陷落柱超前预注浆加固技术应用[J]. 能源技术与管理, 2023, 48(1): 55-56+133.
- [22] 李天亮. 综采工作面陷落柱注浆加固技术研究[J]. 矿业装备, 2023(2): 16-18.
- [23] 勾精为, 程增庆, 陈加林. 三维地震探测陷落柱的可行性研究[C]//中国地球物理学会, 美国面向地学的计算机学会. 计算机在地学中的应用国际讨论会论文摘要集. 1991: 166-170.
- [24] 李艳芳, 程建远, 熊晓军等. 陷落柱三维地震正演模拟及对比分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(3): 456-460.  
<https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2011.03.002>
- [25] 查文锋. 山西某矿陷落柱三维地震成果可靠程度评价[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(5): 147-151.
- [26] 庄益明, 宋利虎, 刘镜竹. 蚂蚁追踪技术在三维地震精细解释中的应用——以淮北祁南煤矿 82 采区为例[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(2): 173-176.
- [27] 杨双安, 张胤彬, 许鸿雁. 煤田三维地震勘探技术的应用及发展前景[J]. 物探与化探, 2004(6): 500-503.
- [28] 井冬月. 石油测井技术的现状及发展趋势研究[J]. 石化技术, 2019, 26(3): 204-205.
- [29] 黄卫东. 无固相钻井液在沉积岩复杂地层钻探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(12): 10-12, 17.
- [30] 郑士田, 马培智. 陷落柱中“止水塞”的快速建立技术[J]. 煤田地质与勘探, 1998(3): 52-54.