

企业应用

# 基于反演层控法的底抽巷地质构造探查技术应用

——以长平矿为例

时 乾

(山西长平煤业有限责任公司, 山西 晋城 048000)

**摘要:** 煤矿底抽巷地质构造探查一直是矿业工程中的难点之一,传统方法如地质钻探受地下水、岩层变形等因素影响,难以准确勘测。提出了一种基于反演层控法的新型地质构造探查技术,对于提升底抽巷地质构造探查技术水平,改善矿山生产安全和效率具有重要意义。在介绍反演层控法的理论和原理的基础上,阐述了其在地质构造探查中的优势和特点,并详细描述了该技术在底抽巷地质构造探查中的具体应用过程和方法,主要包括数据采集、处理、分析及解释等流程。结果表明,在长平矿底抽巷的地质构造探查中,此方法能够有效地识别和解释底抽巷中的大型地质构造,如断层、褶皱等,为巷道的设计和施工提供准确的地质依据,该技术具有较强的可行性和可靠性。

**关键词:** 反演层控法; 底抽巷地质构造; 探查技术

**中图分类号:** TD163 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)04-0329-06

随着煤炭资源的不断开发,煤矿的开采深度逐渐增加,地质构造复杂性也随之提高。底抽巷作为煤矿的重要巷道,其稳定性和安全性对于矿山的安全生产至关重要。然而,由于地质构造的不确定性和隐蔽性,传统的探查方法往往难以准确识别底抽巷附近的地质构造,从而给矿山安全生产带来隐患<sup>[1-4]</sup>。本文旨在探讨一种基于反演层控法的底抽巷地质构造探查技术,以提高底抽巷附近地质构造的探查准确性,通过该方法分析地下介质物理性质变化,推断地质构造,具有非破坏性、高分辨率等优点<sup>[5-9]</sup>。

## 1 反演层控法探查原理

### 1.1 反演层控法

波形指示反演是一种先进的地震数据处理技术,由我国赵政璋等专家总结得出,其通过分析地震波形特征来指导反射系数的组合优化<sup>[8]</sup>。同时,倪锋<sup>[9]</sup>利用该方法成功识别出了深部隐伏矿体,为矿山的开采提供了重要的地质信息,有效提高了煤层的定位精度和储量评估的准确性。在地质勘探中,三维地震数据是一种高度密集的空间结构化数据,能够准确地反映地下沉积环境和岩性组合的空间变化。波形指示反演利用地震波形的相似性,优

选相关的样本,并根据这些样本的空间分布距离和曲线分布特征建立初始模型<sup>[10]</sup>。这一过程替代了传统的变差函数方法,用于分析空间变异结构,并对高频成分进行无偏最优估计,原理如图1所示。该方法基于一种称为“地震波形指示的马尔科夫链蒙特卡洛随机模拟(SMCMC)”的专利算法,采用“相控随机模拟”思想,通过有效地结合地震波形的特征来提高储层预测的精度和可靠性,尤其适用于横向变化快且非均质性强的薄互层等储层的高精度预测。

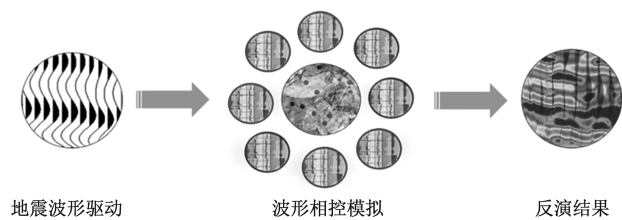


图1 反演层控法示意图

### 1.2 波形指示反演的步骤

在矿井勘探和开发过程中,地震数据是一种非常重要的信息来源。通过对地震波形特征的分析,可以揭示地下岩石的性质、结构和构造等信息,从而为矿井设计提供依据。通过分析矿井相应巷道

收稿日期: 2024-07-25

作者简介: 时乾(1989—),男,山西晋城人,工程师,研究方向为煤矿地质。

内的地震波形特征,选择与已知矿井的波形特征相似的样本点,并记录它们之间的空间距离信息,统计样本点的纵波阻抗。优选出的样本点被用于建立初始的低频模型。通过与初始模型进行匹配计算,获取似然函数。地震波形的相似特征反映了其沉积环境,因此不同样本点的地震波形表现出相似的特征。这种相似性有助于合理确定高频的取值,从而增加低频模型的准确性。利用前两步得到的似然函数分布和先验样本点分布,推导出后验概率分布。通过构建目标函数,求取能使后验概率分布最大化的几组值,并取其均值,用于进一步的数据处理或分析。这种方法是一种基于地震数据的模型建立和匹配过程,旨在提高模型的准确性和可靠性。如图 2 所示。

## 2 基于反演层控法的底抽巷地质构造探查技术应用

### 2.1 工程概况

长平矿井为高瓦斯矿井,位于太行山南段西缘,沁水盆地的东缘。矿井含煤地层属石炭二叠纪,开采 3 号煤单一煤层,平均煤厚为 5.7 m,属近水平煤层。井田地层总体为走向北北东,倾向北西西的单斜构造,地层倾角为 3~12°,矿井构造主要受到泮沟南向斜和釜山背斜的影响,以宽缓褶皱为主,并伴生有较多的中小型断层,具体情况如图 3 所示。全井田规划为单水平分盘区开拓,目前往中西部延伸,埋深明显增加,导致瓦斯含量整体呈现东南低、西北高的变化趋势。据历年地面三维地震物探资料,长平矿井探测到 334 个构造,其中陷落柱较为发育,密度达到 2.3 个/km<sup>2</sup>。近年来,随着矿井延伸,局部断层密度增加至 10 个/km<sup>2</sup>,陷落柱密度达到 4.4 个/km<sup>2</sup>,构造发育对煤层造成一定程度的破坏,特别是大型构造严重影响采掘生产布置,增加瓦斯赋存的复杂性,给矿井瓦斯治理带来挑战。

为提高区域瓦斯抽采治理效果,确保煤层采掘面的安全快速掘进。结合长平公司围岩的稳定性,

选取距 3 号煤底板 10~12 m 的 K7 细粒砂岩底板以下区域作为底抽巷掘进层位(图 4),K7 细粒砂岩层厚 0.6~3.1 m,均厚 1.7 m;K7 底板往下见 1.10~5.39 m 泥岩、砂质泥岩,往下为 K6 灰岩。

底抽巷掘进超前于煤层采掘头面,由于受矿井区域地表地形高差大影响,地面三维地震等物探方法解析构造的精准度大大降低。

据实际探测揭露与地面三维地震物探解释资料对比,底抽巷掘进区域内断距 10 m 以下的断层

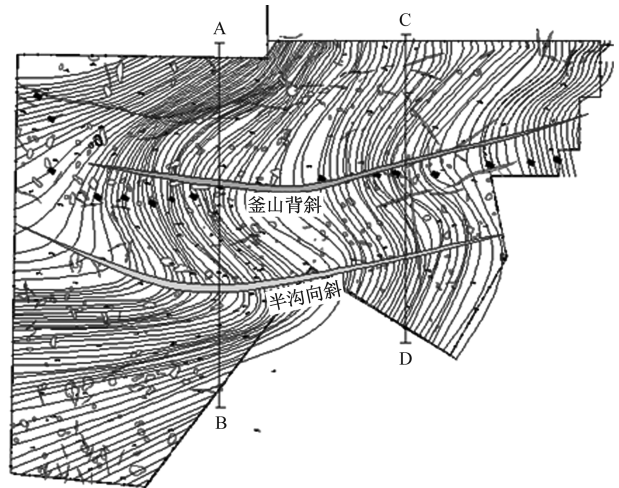


图 3 矿井地质构造分布示意图

单层厚度/m 最小-最大 平均	柱状 1:500	地层标志层编号	岩性描述
1.27~20.25 7.18			深灰色,中、细粒砂岩,交错层理发育,含菱铁质
0~7.95 2.36			深灰色、灰黑色泥岩、砂质泥岩,局部为粉砂岩
0.30~10.60 5.70		3#煤	黑色,块状,亮煤为主,内生裂隙发育,光亮型煤
5.63~11.81 8.97			黑色泥岩与粉砂岩互层,层理较发育,含菱铁质,含大量植物化石
0.60~3.10 1.70		K7	深灰色、灰色细粒砂岩,波状,小型层理发育
1.10~5.39 2.51		底抽巷层位	黑色泥岩、砂质泥岩
1.10~5.39 2.51		K6	深灰色灰岩,局部含燧石结核,坚硬

图 4 长平矿底抽巷临近层位综合柱状图

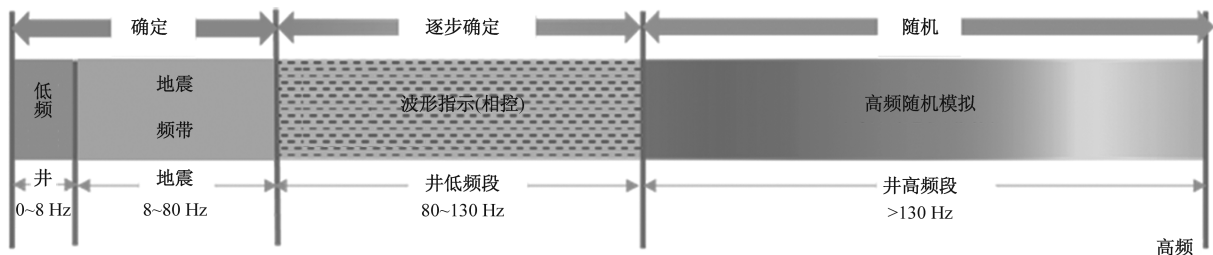


图 2 波形指示反演示意图

物探精准性极差,底抽巷掘进期间现有长距离超前探 100 m 准掘 80 m 的循环探查,钻孔密度低、空白区较大、钻孔偏斜大,难以有效探知前方构造及煤岩层起伏情况,控制掘进层位的效果差,极易揭露构造引起误揭煤瓦斯异常事故发生(图 5)。基于反演层控法开展底抽巷掘进层位控制工程应用,对底抽巷地质构造的探查,防止误揭煤瓦斯异常发生具有重要意义。

## 2.2 长短探反演法

在底抽巷内施工 100 m 长距离超前探钻孔控制不揭露大型构造;在允掘距离掘进期间,每掘进 10 m 以倾角不小于 $+45^\circ$ 往掘进前方施工一个不少于 15 m 的探测孔和层间距孔;若出现探测孔见 3#煤异常,则根据实际增加短探钻孔或专项构造钻探,直至探明前方构造(图 6)。

揭露构造后,先用长距离超前探孔对构造范围进行探查圈定;若未探明,则在允掘距离过构造期间严格执行短探加密模式。即每掘进 5 m 施工两个钻孔,一个与掘进方向夹角 $45^\circ$ ,孔深 15 m,钻孔往预计 3#煤的方向施工;一个往前方施工钻孔,孔深 15 m;直至进行下一次超前探,管控好层位杜绝误揭煤发生。根据构造性质和影响范围,以及掘进坡度限制要求,可以推算出过渡至底抽巷正常层

位的合理坡度和通过距离。首先,需要考虑构造对于掘进的影响,包括构造的倾向、倾角、断层带的位置等因素。然后,结返水没有明显特征,通常会选取 3#煤作为打钻的标志层。通过分析煤岩层的趋势,结合见煤区段的位置和距离,可以反推开钻地点的掘进层位,这种方法称为反演法<sup>[11]</sup>。长短探反演法能够有效解决底抽巷掘进期间存在的探查盲区,可以探测出前方存在的构造及煤岩层变化异常。然而,在实际运用中,长距离钻孔受自重及区域煤岩层倾角变化的影响,钻孔实际轨迹随孔深增加而偏差增大,存在按钻孔分析预计的掘进层位与实际不符的问题。同时,在底抽巷过组合断层或断层破碎带时,仍然存在揭煤隐患,需要在底抽巷掘进期间综合考虑标高变化情况,进行辅助校正,以确保施工的安全进行。

## 3 技术方案

### 3.1 底抽巷大断层过渡期间的掘进层位控制

如图 7 所示,在 180 m 处揭露 DF84 正断层,该断层的走向为 $105^\circ$ ,倾向为 $15^\circ$ ,倾角为 $49^\circ$ ,断距为 7 m。这意味着在该位置,前方的煤岩层会发生相对往下的错动。在 240 m 处揭露 DX2 陷落柱,该陷落柱的长轴为 82 m,短轴为 62 m,掘进方向为 75 m。这表明在该位置,存在一个较大的陷落柱,

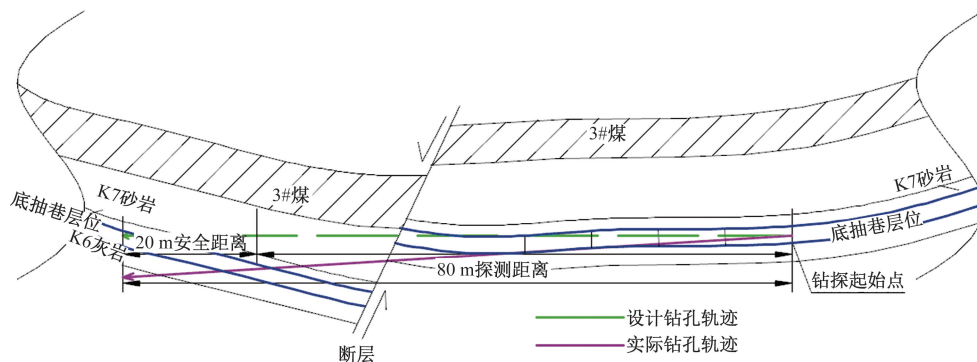


图 5 底抽巷超前探模式示意图

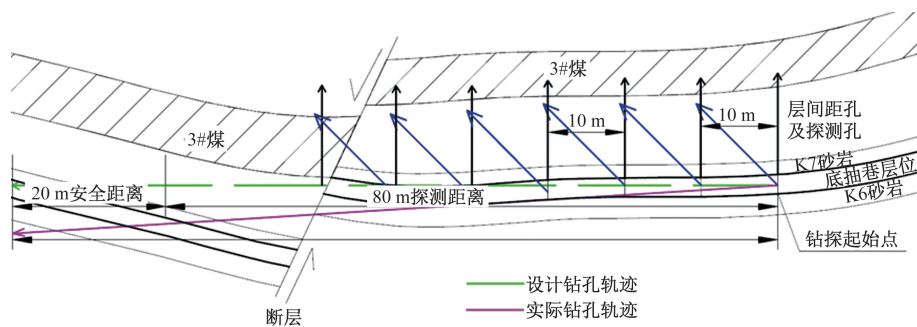


图 6 前方构造示意图

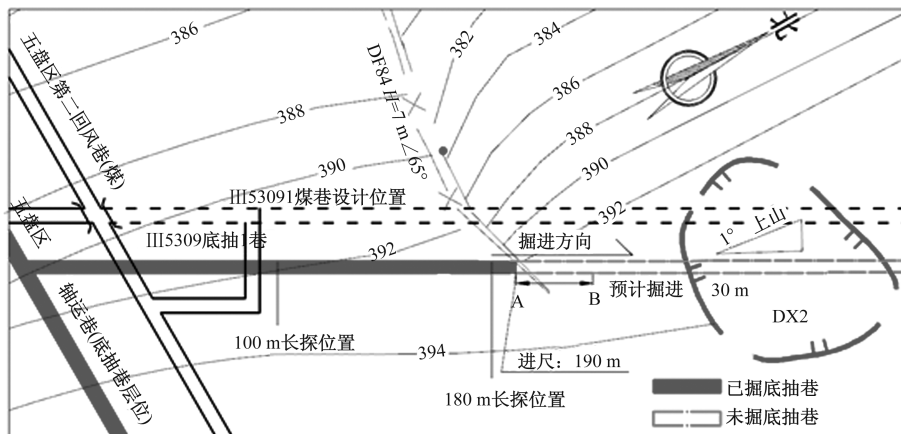


图 7 底抽巷大断层过渡期间的掘进层位控制示意图

需要注意施工的安全。在 100 m 处进行长距离超前探孔,未发现异常。这是一个积极的结果,表明在这个位置上,目前没有明显的地质构造或障碍物影响掘进。在允许掘进的 100~180 m 段,采取每掘进 10 m 施工一个层间距孔和 +45° 倾角前探孔,探得 5309 底抽 1 巷正常层位距 3# 煤层底板平均层距 10.5 m。这些探测结果提供了底抽 1 巷正常层位与 3 号煤层底板之间的平均层距,为后续掘进提供了重要的参考数据。基于以上信息,建议在掘进过程中密切关注 180 m 处的 DF84 正断层和 240 m 处的 DX2 陷落柱,采取相应的防范措施以确保施工安全。同时,根据长距离超前探孔的结果以及已获得的层间探测数据,适时调整掘进策略和施工方案,以应对的地质风险和挑战。

巷道掘进至 180 m 处时,迎头岩层倾角由 -8° 变为 -3°,层间距孔 15 m 未见 3# 煤;178 m 处顶板往下割 0.5 m K7 细粒砂岩,迎头均为砂质泥岩,经分析可能存在构造,进钻机后施工情况如表 1 所示。

从 1~4# 钻孔的数据可以推断出,目前距离前方的 3# 煤层底板最小垂距为 4 m。考虑到揭露煤层的规定至少要保留 5 m 的法线距离,并且一般情况下巷道的高度不应超过 5 m。因此,为了确保安全并符合规定,决定留设 5.5 m 的法线距离。通过反推,迎头需要保留顶部 1.5 m。为了方便掘进机施工,下山坡度确定为 11° 扫底。重新核实巷道 50 m 范围内的标高和岩层坡度变化后,决定采取向后退 20 m 扫底至迎头,扫底后迎头巷高为 4.8 m。钻孔图分析显示,由 180 m 处的迎头层间距孔及 1~3# 钻孔可以推断出断层线的发育位置。这是因为在 2# 和 3# 钻孔中,煤层位于断层破碎区。此外,通过 4~6# 钻孔的煤层位置,可以形成 3# 煤层顶

表 1 进钻机后施工情况

孔号	方位角/(°)	倾角/(°)	探测情况/m
1#	30	45	0(矸)7(煤)11
2#	30	65	0(矸)9,见煤
3#	30	59	0(矸)10,见煤
4#	30	30	0(泥岩)7.5(煤)18.5(泥岩)20
5#	30	15	0(泥岩)14(煤)18
6#	30	+5	0(矸)37(煤)40

板和底板的趋势。特别地,通过 4# 和 5# 钻孔可以得出 3# 煤层的垂厚为 6 m。根据煤层的趋势反推,预计在前方 193 m 处揭露 DF84 断层,预计的断距为 7 m。

### 3.2 底抽巷陷落柱期间的掘进层位控制

5305 底抽 1 巷开口处前方 200 m 范围内无构造,煤层平均厚度为 5.48 m,前方呈上山趋势。在掘进至 10 m 处进行 100 m 长距离钻探,发现 85 m 后返水呈红黄夹杂,其余未发现异常。为了保证巷道掘进层位安全,采用长短探反演法,在允许掘进 80 m 范围内,每掘进 10 m 施工一个倾角不小于 +45°、不少于 15 m 的探测孔和层间距孔。通过 5305 底抽 1 巷施工的短探测结果如图 8 所示。

从距离巷口 10~70 m 处,层间距孔和前探孔均探至 3# 煤,层间距为 10.2~11 m,煤岩层趋势为 +2° 上山。如图 8 所示,在 85 m 处的层间距孔距离为 10.5 m,发现煤层,而在倾角 +45° 的前探孔 15 m 处未见煤,且返水呈红色夹杂黄土。水平孔的岩层情况为:0 m 泥岩、1 m 煤、1.2 m 泥岩返水黄色红色夹杂、15 m 泥岩。推测前方 1 m 可能揭露陷落柱。实际上,在 86 m 处揭露了陷落柱,陷落柱内岩性杂乱,以泥岩为主,含有大块细粒砂岩及煤屑,胶结较密实,不含水。在 87.5 m 处对陷落柱范围进行了长距离探测和控制。根据以上情况,可以得出如下

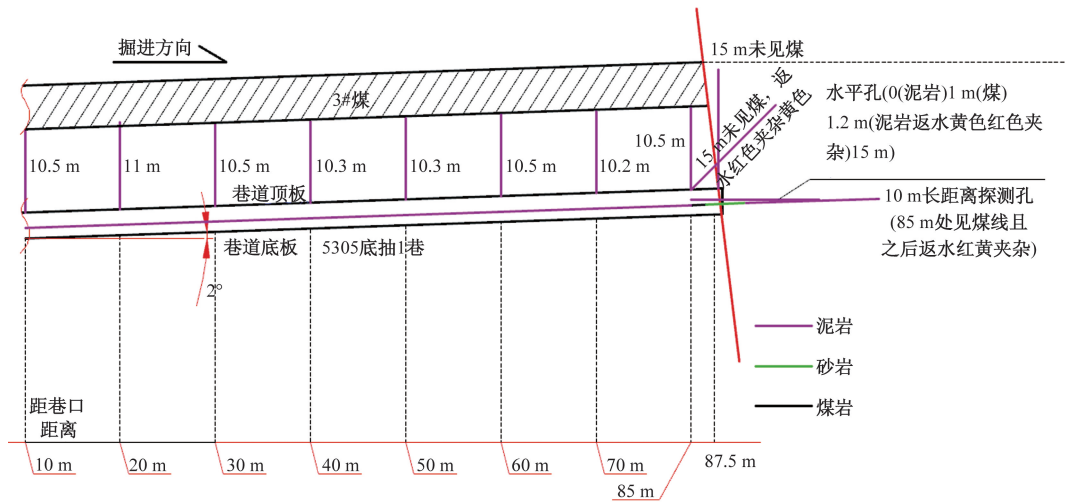


图8 底抽巷陷落柱期间的掘进层位控制示意图

结论。巷道掘进工作需根据实际地质情况和预测探测结果进行适当调整和控制,以确保施工安全<sup>[12]</sup>。发现的陷落柱需要进行进一步的探测和控制,以评估其对巷道稳定性的影响,并采取相应的支护和加固措施。

### 3.3 底抽巷构造探测方案的改进与物探结合性探索

使用80 m 钻孔控制不揭露大型构造,有利于对巷道前方较大规模地质结构的预探,能为后续的短探提供控制点和参考数据。在掘进过程中,每10 m 施工不少于15 m 的探测孔,有助于及时发现并详细探测到3#煤层的异常情况,以及小型构造和陷落组。此模式结合了长距离探测和短距离加密探测的优点,可以较为准确地把握大型构造,同时也有利于发现和精细探测小规模构造。短探密集可能导致施工成本增加,同时,短探的准确性受到钻探工艺和操作人员技能的影响较大。

如图9所示,在揭露构造后,使用长钻孔进行初步探测,若构造范围未探明,则执行短探加密模式,这种做法能够确保在构造复杂区域的精细探测,降低安全风险。能够灵活应对构造揭露后的探测需要,快速构建地质模型,为施工提供依据。短探加密模式可能会增加工作量,同时也增加了作业的复杂性。在掘进期间,若根据地面三维地震物探资料预判可能存在大型构造,采用物探手段进行进一步分析,这有助于提高地质预报的准确性。物探方法相对快速,且能在没有揭露构造前提供的信息,有助于指导后续的长短探工作。物探受地质条件限制较大,对于一些特定的地质体可能探测效果不佳,需要结合钻探数据进行校正<sup>[13]</sup>。针对小构造和



图9 底抽巷构造探测方案的改进与物探结合性探索示意图

陷落组的探测效果差问题,除了增加短探密度,还可以考虑使用高精度的物探技术,如地震波法、电磁法等,以提高探测精度。在实施短探时,可采用导向钻进技术,该技术有助于提高钻孔的精确度,减少人力和时间成本。结合大数据分析,将钻探、物探数据以及生产实践经验综合起来,建立更准确的地质预测模型,提高预测的准确性和效率。加强地质探测技术人员的培训,提高他们的业务能力和判断力,以确保探测工作的质量和安全。

## 4 结论

反演层控法是一种基于地质层序原理的地质构造探查技术,它通过分析地层的层序结构和内部岩性变化,揭示地质构造信息。这种技术在底抽巷的地质构造探查中具有重要作用,能够有效地识别和解释底抽巷中的大型地质构造,如断层、褶皱等。这些信息为巷道的设计和施工提供准确的地质依据,有助于确保矿山工程的安全和稳定。反演层控法的应用不仅可以探测大型地质构造,还可以对底

抽巷中小型地质构造进行精确探查。通过对这些地质构造的规模、形态和产状的揭示,可以为巷道的支护和防治工作提供重要参考。这有助于提高矿山工程的安全性和稳定性,降低因地质构造问题导致的工程事故风险。此外,反演层控法还具有识别和预测陷落柱、岩浆侵入体等特殊地质体的能力。这些特殊地质体对矿山的安全生产具有重要影响,因此对其进行准确识别和预测对于保障矿山安全至关重要。通过反演层控法的应用,可以提前发现这些潜在危险,为矿山的安全生产提供保障。这些优点使得反演层控法在矿山工程中具有广泛的应用前景,有望为矿山的安全生产和高效开采提供重要支持。

### 参考文献

- [1] 周小涵, 刘瀚之, 张吉禄, 等. 非煤系地层隧道围岩有害气体形成机制[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(15): 6303-6315.
- [2] 杨楚龙, 王怀秀, 刘最亮. 基于改进 XGBoost 的地震多属性地质构造识别方法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(29): 12442-12450.
- [3] 张贝贝, 沈军平, 金超, 等. 九龙矿构造煤压力作用下孔隙结构及分形变化特征[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(35): 14955-14963.
- [4] 杨楚龙, 王怀秀, 刘最亮. 基于改进 XGBoost 的地震多属性地质构造识别方法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(29): 12442-12450.
- [5] 李敬鹏. 开元矿业采煤工作面地质构造探查物探方法研究[J]. 煤炭与化工, 2024, 47(3): 52-55.
- [6] 范祥泰, 张志厚, 苏建坤, 等. 大地电磁测深法探测山区深埋隧道隐伏构造——以安石隧道探测为例[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(15): 10.
- [7] 郭方严, 刘师文, 谷松, 等. 综合物探在工作面构造与富水异常探查中的应用[J]. 能源与环保, 2023, 45(11): 154-159.
- [8] 刘震涛, 邵鹏, 尚彦军. 地质构造控制边坡平面旋扭式滑移特征及对策——以高陂水利枢纽尾水渠右岸边坡为例[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(25): 10190-10197.
- [9] 倪锋. 地震-地质导向技术在盆缘复杂构造带的应用——以南川区为例[J]. 石化技术, 2023, 30(5): 175-177.
- [10] 王江, 王雪峰, 付允中, 等. 基于小波边缘分析与井-震联合建模的波阻抗反演技术在乌尔逊断陷储层预测中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2023, 42(2): 136-145.
- [11] 秦德文, 张岩, 于杰. 东海 M 构造中深层低渗气藏“甜点”预测技术[J]. 海洋地质前沿, 2024(4): 85-93.
- [12] 顾开放. 级控法地质建模在火山岩储层中的应用——以准噶尔盆地 B8 井区油藏为例[J]. 石油地质与工程, 2022, 36(1): 63-67.
- [13] 陈湘华, 王启明. 基于电磁波和弹性波层析成像探测的联合分析方法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(16): 309-317.

## Geological Structure Exploration Technology Forbed Plate Tunnel Based on Inversion Layer Control Method: Taking Changping Mine as an Example

SHI Qian

(Shanxi Changping Coal Industry Co. Ltd., Jincheng 048000, Shanxi, China)

**Abstract:** The exploration of geological structures in coal mine plate tunnel based has always been one of the difficulties in mining engineering. Traditional methods such as geological drilling are affected by factors such as groundwater and rock deformation, making it difficult to accurately survey. A new geological structure exploration technology was proposed based on inversion layer control method to address this issue, which was of great significance for improving the level of geological structure exploration technology in plate tunnel based and enhancing mining production safety and efficiency. On the basis of introducing the theory and principles of layer control method, its advantages and characteristics in geological structure exploration were elaborated on, and the specific application process and methods of this technology in geological structure exploration of plate tunnel based were described in detail, mainly including data acquisition, processing, analysis and interpretation processes. The results show that this method can effectively identify and interpret large geological structures such as faults, folds, etc. in the geological structure exploration of the Changping Mine bottom pumping roadway, providing accurate geological basis for the design and construction of the roadway. This technology has strong feasibility and reliability.

**Keywords:** inversion layer control method; geological structure of plate tunnel based; exploration techniques