

文章编号: 1674—8247(2022)01—0067—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.013

# 斜孔勘探技术在西渝高速铁路采空区勘察中的应用

李欣 李成龙 杜宇本 陈亮

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**采空区勘察是铁路工程地质选线的重要组成部分,采空区具有危害性大、隐蔽性强、既有资料准确性参差不齐等特点。在陡倾岩层的勘察中,斜孔勘探可与产状倾向大角度相交针对性布置钻孔,且相同孔深可揭示更多地层以相互印证,具有明显的靶向勘察优势。目前,斜孔勘探用于铁路采空区勘察的案例较少,本文以西渝高速铁路铁峰山越岭段采空区勘探为工程背景,在收集分析矿区资料和进行详细地质调绘的基础上,采用斜孔勘探对煤矿采空区进行勘察,为线路走向及标高选择提供了明确的依据,起到了良好的效果。

**关键词:**斜孔; 勘探技术; 地质选线; 采空区; 高速铁路

**中图分类号:**U212.22 **文献标志码:**A

## Application of Inclined Hole Exploration Technology in Goaf Investigation of Xi'an-Chongqing High-speed Railway

LI Xin LI Chenglong DU Yuben CHEN Liang

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Goaf investigation is an important part of geological assessment for route selection of railway. The goaf features great hazards, high concealment, and accuracy of existing data varying significantly. For the inclined hole exploration, in the investigation of steeply inclined rock strata, boreholes can be arranged in a targeted manner by intersecting with the occurrence tendency at a large angle; and for the same hole depth, more strata can be revealed to realize the mutual corroboration, resulting in obvious advantages of targeted investigation. At present, there are few cases of applying inclined hole exploration for the investigation of the railway goaf. In this paper, the goaf investigation of the Tiefengshan mountain-crossing section of Xi'an-Chongqing High-speed Railway is taken as a case for study. Based on an analysis on the collected mining area data and detailed geological surveying and mapping, the inclined hole exploration is used to investigate the coal mine goaf, providing a clear basis for the selection of line alignment and elevation, and resulting in good effects.

**Key words:** inclined hole; exploration technology; geological assessment for route selection; goaf; high-speed railway

采空区勘察是铁路工程地质选线的重要组成部分。采空区具有隐蔽性强、既有资料准确性参差不齐等特点,特别是已关闭的矿井采空区,因无法实施井下巷道实测,需辅助一定的钻探工作予以验证。

西渝高速铁路东线工程自既有万州北站引出后,向北穿越铁峰山背斜。区内大、小煤矿众多,开采历史悠久,多数矿井因资源枯竭或国家产业政策调整需要等原因已关闭,遗留大范围采空区。现有收集资料显

收稿日期:2020-12-02

作者简介:李欣(1989-),男,工程师。

引文格式:李欣,李成龙,杜宇本,等. 斜孔勘探技术在西渝高速铁路采空区勘察中的应用[J]. 高速铁路技术,2022,2(1):67-70.

LI Xin, LI Chenglong, DU Yuben, et al. Application of Inclined Hole Exploration Technology in Goaf Investigation of Xi'an-Chongqing High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 2(1):67-70.

示,各采空区大部分已联通,仅局部留有通道。铁峰山隧道为长大岩溶隧道,加之隧道进出口不良地质发育等诸多不利因素,本段铁路选线一度陷入困境<sup>[1]</sup>。

经反复商讨论证,拟定了本段选线原则为:

- (1) 确保线路标高以下 50 m 以外没有采空区。
- (2) 在充分认识岩溶风险的基础上,选择相对有利的线路标高大角度短距离穿越岩溶地层<sup>[2]</sup>。
- (3) 绕避极难处理的重大不良地质体,选择相对有利的隧道口。

在收集矿区资料和详细地质调绘的基础上,最终筛选出的可行线路方案为:平面上穿越桥沟煤矿资料显示的煤层薄化区域,本段线路标高控制在 + 350 m 左右。本方案的进出口条件及岩溶水条件都较好,方案成立与否的关键在于验证“线路穿越段落煤层薄化”“线路下方没有采空区”。

1 工程及地质概况

1.1 工程概况

西渝高速铁路(西安—重庆高速铁路)是西三角(重庆、西安、成都)环形高速铁路通道的一部分,是国家《中长期铁路网规划》“八纵八横”中包(银)海通道的重要组成部分,也是《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》十条纵向综合运输通道包头至防城港的一部分。该线自安康引出后,西线经达州至重庆,东线经开州至万州与规划的渝万高速铁路相接。正线建筑长度 489.467 km(不含北碚南至童家溪/蔡家联络线长度 10.977 km,改建既有襄渝货车线 8.733 km),其中陕西省境内建筑长度 79.7 km,重庆市境内建筑长度 189.109 km,四川省境内建筑长度 220.658 km。新建车站 9 个,正线桥梁 288 座(长 121.116 km),隧道 90 座(长 291.641 km)。桥隧总长 412.757 km,占正线建筑长度的 84.33%。

1.2 地质构造及地形地貌

铁峰山背斜属于川东褶皱带,为区域褶皱。该背斜南西端起自雷家坪,经大垭口至高阳镇为北 50°~70°东,到云安厂为近东西向。在三叠系中统巴东组内消失,背斜全长 114 km,轴线呈凸向北北西之弧形,轴部地层为三叠系中统巴东组,两翼由三叠系上统及侏罗系中、下统组成。轴向 N64°E,轴面近直立。背斜核部较紧凑,南东翼较陡,倾角约 70°,并直立倒转;北西翼略缓,倾角 25°左右,局部较陡°,为一不对称背斜<sup>[3]</sup>。地貌形态属低山丘陵地貌,主要受构造、岩性控制,丘槽相间,地形波状起伏,背斜核部出露地层表现为“一山三岭二槽”的奇观。可溶岩与非可溶岩相间,平行构造线呈条带状展布。

1.3 地层岩性

铁峰山背斜测区上覆第四系全新统坡残积(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>)粉质黏土;下伏基岩为侏罗系中统上沙溪庙组(J<sub>2s</sub>)泥岩夹砂岩,下沙溪庙组(J<sub>2xs</sub>)泥岩夹砂岩、新田沟组(J<sub>2x</sub>)泥岩夹砂岩、中下统自流井组(J<sub>1-2z</sub>)泥岩夹砂页岩及灰岩,下统珍珠冲组(J<sub>1z</sub>)泥岩夹砂岩,三叠系上统须家河组(T<sub>3xj</sub>)砂岩、泥页岩夹煤层,中统巴东组(T<sub>2b</sub>)灰岩、白云岩、盐溶角砾岩及泥页岩,下统嘉陵江组(T<sub>1j</sub>)灰岩、白云岩及盐溶角砾岩。泥岩属相对隔水层,地下水不发育。主要含煤地层为三叠系上统须家河组(T<sub>3xj</sub>),可溶岩地层为三叠系中统巴东组(T<sub>2b</sub>)、下统嘉陵江组(T<sub>1j</sub>)<sup>[4]</sup>。

2 勘探目的及勘探点布置

桥沟煤矿主采煤层为正煤、矿煤。其中正煤位于三叠系上统须家河组五段底部,矿煤位于须家河组三段上部。桥沟煤矿资料显示,这两层煤均在铁路拟选线位附近薄化,未进行开采<sup>[5]</sup>。

为验证资料的准确性,地质专业人员将直井钻探方案与斜孔钻探进行了比较,在位置选择上,直井钻孔不如斜孔灵活,本次勘探选定的钻孔位置、地形和交通条件均较差,钻机就位难度很大。结合既有资料及外业调绘成果,钻孔孔位附近岩层产状真倾角已超过 70°。根据既有的勘察经验,即便不考虑成本,钻机能够就位,在岩层倾角大于 60°的陡倾地区,直井钻进也存在一定困难,而斜孔钻探更加具有优势<sup>[6]</sup>。在陡倾岩层中,直井钻进遇到上覆软岩、下伏硬质岩的界面时,钻孔易顺岩层倾斜,钻进地层假厚增加,孔深急剧加大,勘探成本增加,施工周期加长<sup>[7]</sup>。

因此,本次勘察尝试采用斜孔勘探,结合线路走向、岩层及岩层产状、探煤位置,勘探点布置如表 1 所示。

表 1 桥沟煤矿采空验证孔勘探点布置表

钻孔编号	方位角/(°)	孔斜/(°)	勘探目的	设计深度/m
CZ-QGS 斜-01	332	15	揭露须家河组三段上部矿煤,确认进入须家河组二段终孔	410
CZ-QGS 斜-02	332	15	揭露须家河组五段底部正煤,确认进入须家河组四段终孔	390

3 钻孔设计主要技术要求及施工工艺

3.1 钻孔设计主要技术要求

- (1) 钻孔深度需根据实测孔口标高进行调整,并

由地质技术人员根据线路设计标高、揭示岩层层位情况最终确定。严禁擅自挪动钻孔位置。

(2) 钻探过程中,须采用有效的施钻方法和采芯,控制回次进尺,不得超管钻进,保证各层段和关键部位的岩心采取率<sup>[8]</sup>。

(3) 及时校正孔深和斜孔角度,每钻进 50 m 必须校正孔深和斜孔角度 1 次,确保孔深误差不超过 0.2%,并保证各类测试仪器顺利下入井内,达到测试目的。开钻前应充分考虑钻杆、钻头等因素自重引起的

孔斜角度误差,采取一定方案确保探到需要的煤层位置<sup>[9]</sup>。

(4) 对于破碎地层,须采用单动双管取芯,并认真检查各部件的转动灵活性和间隙合规性。

3.2 施工工艺

3.2.1 钻头的选择

根据本工点岩石较硬、研磨性强的特点以及既有勘察施工方面的经验,拟全部选用普通硬质合金钻头和金刚石钻头。其主打钻头选型如表 2 所示。

表 2 主打钻头性能参数表

序号	钻头			性能参数				
	名称	外径/mm	内径/mm	胎体硬度 HRC	工作层/mm	水口数/个	金刚石规格	
							粒度	浓度/%
1	热压金刚石钻头	110	90	10~15	10	8	30~45	100
2	热压金刚石钻头	95	77	10~15	10	8	30~45	100
3	热压金刚石钻头	77	49	10~15/5~10	10	8	30~45	100

3.2.2 钻进参数

根据岩石性质、钻头类型、钻进深度、冲洗液类型综合确定钻进参数,两孔钻进参数如表 3 所示。

表 3 钻孔钻进主要参数表

井段/m	井径/mm	主要机械参数		
		钻压/kN	转速/(r/min)	泵量/(L/min)
0~15	110	5~8	400 左右	52~146
15~80	95	8~12	400 左右	52~146
80~430	77	8~12	500 左右	92

注:具体施工时,需根据孔内情况和不同钻机的额定转速选用

4.2 CZ-QGS 斜-02 号钻孔勘探过程简述

CZ-QGS 斜-02 号钻孔开孔前,地质调绘结果显示,孔位处地层岩性、岩层产状与附近区域地质及煤矿闭坑资料吻合,钻探机组按设计方位角及倾角开孔。该孔在 325.5 m 深度进入了含煤地层须家河组五段( $T_3xj^5$ ),在 370.7 m 深度揭示到了须家河五段中的正煤煤层,煤层真厚度仅约 6 cm,完全不具备开采价值。钻进至 385 m,确保进入了须家河四段( $T_3xj^4$ )之后终孔。全孔所揭示的煤层均薄化,未发现采空区。

4.3 勘探资料对比整理

两个钻孔勘探过程中,技术人员不断对两个孔的编录资料进行比对,两孔地层岩芯层位能够相互对应,进一步验证了编录资料的合理性。钻孔结束后进行了物探测井,物探曲线分析亦与钻探编录结论总体相符。根据钻孔资料填绘的地质断面如图 1 所示。

4 勘探过程简述

4.1 CZ-QGS 斜-01 号钻孔勘探过程简述

CZ-QGS 斜-01 号钻孔开孔前,地质调绘发现地表地层产状倾向与区域产状相反,在大范围地表调绘和分析区域地质及煤矿闭坑资料后,推断该处地表发育一小型褶曲,但该处深部地层产状应与区域整体产状倾向相符。钻探机组按设计方位角及倾角开孔,并安排了专人密切关注钻探过程,最终钻探结果与地勘项目部推断大体相符。该孔在 168.5 m 深度进入了含煤地层须家河组五段( $T_3xj^5$ ),在 229.1 m 深度揭示到了须家河五段中的正煤煤层,煤层真厚度仅有约 5 cm,完全不具备开采价值。在 373.3 m 深度进入了含煤地层须家河组三段( $T_3xj^3$ ),在 391.4 m 深度打穿该段,进入了须家河二段( $T_3xj^2$ ),须家河组三段岩芯中未发现明确的矿煤煤层,推测其已薄化尖灭。钻进至 418.4 m,确保进入了须家河二段( $T_3xj^2$ )之后终孔。全孔所揭示的煤层均薄化,未发现采空区。

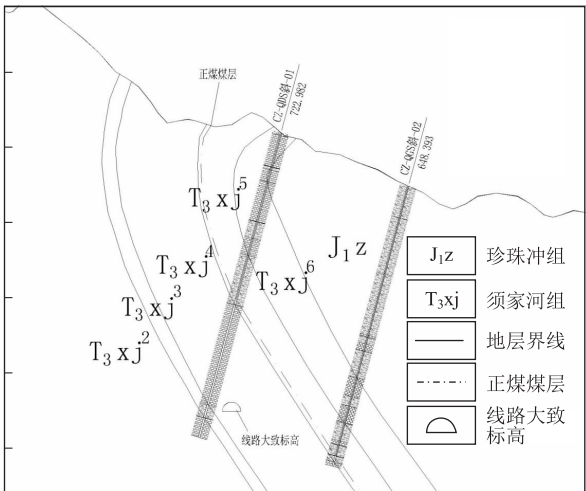


图 1 地质断面示意图

## 5 结束语

斜孔勘探作为冶金、煤矿及油气等资源勘察企业带头应用的新兴技术,在陡倾岩层的勘察中,可与产状倾向大角度相交针对性布置钻孔,且相同孔深可揭示更多地层以相互印证,具有明显的靶向勘察优势。同时其孔位选择相对灵活,利于克服勘察过程中孔位地形与交通不便的困难,节约搬迁、赔偿等辅助费用。但其在高速铁路采空区勘探中应用较少。

本次西渝高速铁路铁峰山越岭段的勘探在充分分析现有地质资料 and 进行详细地质调绘的基础上,布置了斜孔勘探对采空区情况进行验证,为线路走向及标高选择提供了明确的依据,起到了良好的效果。与此同时,本次勘察实践的经验也可为日后采空区、岩溶、断裂、蚀变带、重要岩层界面、物探异常区验证等勘探工作提供技术储备。

## 参考文献:

- [1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建西渝高速铁路安康至重庆段可行性研究报告(第四篇)[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2019.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. National Key Laboratory for Geological Disaster Prevention and Control and Geological Environmental Protection of Chengdu University of Technology[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2019.
- [2] 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室. 新建西安至重庆高速铁路岩溶水文地质专题研究报告[R]. 成都: 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 2019.  
National Key Laboratory for Geological Disaster Prevention and Control and Geological Environmental Protection of Chengdu University of Technology. Special Study Report on Karst Hydrogeology of the New Xi'an-Chongqing High-speed Railway[R]. National Key Laboratory for Geological Disaster Prevention and Control and Geological Environmental Protection of Chengdu University of Technology, 2019.
- [3] 四川省地质局一零七地质队. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:200000) 万县幅[R]. 成都: 四川省地质局一零七地质队, 1980.  
Geological Team 107 of Sichuan Bureau of Geology. Regional Geological Investigation Report of the People's Republic of China (1:200000) (Wanxian)[R]. Chengdu: Geological team 107 of Sichuan Geological Bureau, 1980.
- [4] 王子江, 王科, 王崇良, 等. 兰渝铁路玄真观隧道变形破坏原因分析及处理对策探讨[J]. 高速铁路技术, 2014, 5(6): 26-31.  
WANG Zijiang, WANG Ke, WANG Chonggen, et al. Treatment and Countermeasures for Tunnel Deformation and Failure Mechanism in Subhorizontal Red Bed under Local High Geostress[J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(6): 26-31.
- [5] 重庆正山工程技术咨询有限公司. 重庆市万州区桥沟煤业有限公司闭坑地质报告[R]. 重庆: 重庆正山工程技术咨询有限公司, 2016.  
Chongqing Zhengshan Engineering Technology Consulting Co., Ltd. Geological Report on Closed Mine of Chongqing Wanzhou District Qiaogou Coal Industry Co., Ltd. [R]. Chongqing: Chongqing Zhengshan Engineering Technology Consulting Co., Ltd., 2016.
- [6] 罗炜. 绳索取心定向钻井工艺在陡倾角岩层中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(11): 66-68.  
LUO Wei. Application of Wire-Line Core Directional Drilling in Steep-Dipping Strata Area [J]. Coal Geology of China, 2013, 25(11): 66-68.
- [7] 赵宝平. 谈甘肃—东洞沟金矿区斜孔施工技术[J]. 山西建筑, 2014, 40(13): 82-84.  
ZHAO Baoping. Introduction to Gansu—East Oblique Hole Groove Gold Mining Area Construction Technology[J]. Shanxi Architecture, 2014, 40(13): 82-84.
- [8] 李世忠. 钻探工艺学(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1988.  
Li Shizhong. Drilling Technology (Part II) [M]. Beijing: Geological Press, 1988.
- [9] 四川陆源岩土工程有限公司. 新建西渝高速铁路安康至重庆段铁峰山隧道采空区勘察深孔钻探报告[R]. 成都: 四川陆源岩土工程有限公司, 2019.  
Sichuan Luyuan Geotechnical Engineering Co., Ltd. Report on Deep Bore Drilling for Investigation of Goaf Investigation of Tiefengshan Tunnel in Ankang-Chongqing Section of the New Xi'an-Chongqing High-speed Railway [R]. Chengdu: Sichuan Luyuan Geotechnical Engineering Co., Ltd., 2019.