

文章编号:1006-2106(2015)02-0016-06

煤层采空区铁路工程地质综合勘察技术研究^{*}

谭远发^{**}

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:在高速铁路、客运专线和铁路路网配套建设中,线路经过地段往往难以绕避一些时间久远、分布无规律且地面痕迹不明显的小煤窑等古老采空区。此类采空区对铁路建筑物的危害极大,如何准确地查明其空间位置、塌落、回填和充水情况、残留的有害气体成分和分布情况等,一直是困扰铁路工程地质勘察的一大难题。本文以赣龙复线铁路小密隧道出口段为工程实例,采用综合勘察技术查明采空区复杂的工程地质条件,取得合理的岩土参数,为采空区加固处理设计提供可靠依据。

研究结论:(1)采用地质调绘、综合物探、结合必要的地质钻探、综合测试,并通过综合分析、研究等综合勘察技术可准确查明采空区复杂的工程地质条件,取得合理的岩土参数;(2)小密隧道施工已近四年,经施工验证,采空区地质勘察成果与实际地质条件相当吻合;(3)提出了铁路工程采空区综合勘察存在的问题和相关建议;(4)本研究结论可为类似采空区工程地质勘察提供一定的指导和参考。

关键词:山区铁路;煤层采空区;工程地质;综合勘察

中图分类号:U212.2 文献标识码:A

Research on the Geological Integrated Investigation Technology for Railway Engineering of Coal Gob Area

TAN Yuan - fa

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract; Research purposes: In the construction of high - speed railway, passenger dedicated line and railway network matching buildings in recent years, generally speaking, long - distance mainlines pass through broad areas with very complex topographic and geologic conditions, so local area is often hard to avoid for some age - old, irregular distribution, and the ground traces small mines and other ancient coal gob areas which is not obvious. This kind of coal gob areas often great harm to the railway buildings. How to accurately find out this kind of gob spatial location, morphology, backfill and residual water filling conditions, the harmful gas composition and distribution etc, has always been a big problem in railway engineering geological investigation. Taking the export section of small dense tunnel for Gan - Long double track railway as an example, geological integrated survey technology can accurately find out the complicated engineering geological conditions, obtain reasonable geotechnical parameters, and provide a reliable basis for coal gob area reinforcement design.

Research conclusions: (1) The working steps of geological integrated survey technology by geological mapping, comprehensive geophysical exploration, combined with the necessary geological drilling, comprehensive test, and through the comprehensive analysis and research can accurately identify the gob complicated engineering geological conditions, obtain reasonable geotechnical parameters. (2) The construction of about four years for Xiaomi tunnel shows the result of geological integrated survey conforms to the actual geological conditions. (3) This paper points out the

* 收稿日期:2014-09-28

** 作者简介:谭远发,1968年出生,男,高级工程师。

problems existing in the coal gob area comprehensive survey of railway engineering and gives appropriate recommendations. (4) The research results can provide the guidance and reference to similar engineering geological investigation of coal gob area for railway in the future.

Key words: mountain railway; coal gob area; engineering geology; integrated investigation

在高速铁路、客运专线和铁路路网配套建设中,由于线路经过的地域广、地形地质条件复杂,部分地段不可避免的穿越煤系地层,因而难以绕避一些时间久远、分布无规律且地面痕迹不明显的小煤窑等古老采空区。此类采空区对铁路建筑物的危害极大,如何准确地查明其空间位置、塌落、回填和充水情况、残留的有害气体成分和分布情况等,一直是困扰铁路工程地质勘察的一大难题^[10]。

煤矿采空区按其开采规模可以分为两类:一类是大~中型矿山开采形成的采空区,其特点是年产量一般在50~90万t/a以上,矿山开采系统比较正规,开采方式以壁式、柱式为主,通常具有较长的回采(即采矿)工作面,这种矿山一般是国营或地方经营,开采后的采空区形态较规则;另一类是小型矿山开采形成的采空区,其特点是年产量一般是在50万t/a以内,矿山开采系统不正规,开采方式以巷道式、房柱式或短壁式为主,一般是集体或个人经营,开采后的采空区形态极不规则。当煤层被采出后,采空区周围的岩层发生了较为复杂的移动和变形,按其破坏程度,可分为垮落带、断裂带和弯曲带^[2]。工程上一般把采空区上方的垮落带、导水断裂带、弯曲沉降带统称为采空区^[7]。

通常,对于大~中型矿山开采形成的采空区,因其开采的系统性、规范性和地质资料的完整性,通过地质、采矿情况调查就可以得到详细资料。但是,对于小煤窑甚至是一些非法煤矿等古老采空区的勘察则是一个非常复杂的问题。原因主要在于其开采年代久远、开采方式简单、长时间的无规则开采以及后期的处理不完善甚至不处理,造成上覆岩层破坏、规律性差,开采空洞常常欠充填或垮落岩块压密程度差,通常会造成沉降异常、地表突然塌陷,而塌陷发生时间和持续时间难于估计^[2]。

赣龙复线铁路小密隧道出口DK 86+640~DK 86+998段,由于受前后控制点因素限制,经线路方案比选、优化,无法避开小密乡煤矿的古老采空区。本文结合小密隧道工程地质勘察、设计和施工的工程实践,阐述了合理采用地质调绘、综合物探、地质钻探、综合测井和试验等综合勘察技术查明小密隧道出口煤层采空区的空间位置、塌落、回填和充水情况、残留的有害气

体成分和分布情况等,供类似煤层采空区铁路工程地质勘察参考。

1 小密隧道出口地质概况

1.1 地形地貌

小密隧道全长1493 m,隧道最大埋深224.3 m。隧址区属于低山区,地势起伏较大,海拔高程206.4~452.9 m,自然坡度25°~40°,植被发育,灌木杂草丛生。进口段坡度一般为30°~35°,出口段为15°~20°。

小密隧道出口DK 86+640~DK 86+998段位于会昌县小密乡坑尾村,附近有村庄,局部零星分布有煤矿,隧道埋深为5~85 m,其工程地质平面示意图如图1所示。

1.2 地层岩性

小密隧道出口DK 86+640~DK 86+998段表层分布有第四系人工填土、残坡积层、第四系下更新统坡洪积层,下伏基岩主要为石炭系中统黄龙组(C_2h)灰岩,下统梓山组(C_1z)泥质粉砂岩、粉砂岩、泥岩、炭质页岩夹煤层。自上而下依次为:

第四系人工填土层(Q_4^{ml}):杂色,主要为露天煤矿开采后的回填土,厚约2.7~22.7 m,主要分布在DK 86+850~DK 86+890地表附近。

表层为第四系下更新统坡洪积(Q_1^{dl+pl})含砾粉质黏土:褐黄色、灰黄色,硬塑,厚度1.4~37 m,主要分布于隧道出口段。

下伏石炭系中统黄龙组(C_2h)灰岩:灰白色,弱风化,岩质硬,溶蚀现象严重,主要分布在DK 86+945~DK 86+998段地表附近。

石炭系下统梓山组(C_1z)泥质粉砂岩:灰黄色、紫红色,中~薄层状构造,全风化~弱风化,岩质较软;粉砂岩:褐黄色、灰黄色、青灰色、灰白色,中~薄层状构造,全风化~弱风化,局部夹有炭质页岩、钙质砂岩;炭质页岩夹煤、粉砂岩:灰黑色~深灰色,岩层软硬不均。岩层产状为 $120^\circ \angle 50^\circ$,岩层走向与线路夹角为 64° 。

1.3 地质构造与地震

隧道出口段存在 F_4 断层,在地表于DK 86+740附近与线路相交,与线路交角约 79° ,产状为 157°

$\angle 70^\circ$, 倾向大里程方向, 视倾角 67° , 断层破碎带及其影响带宽约 70 m。

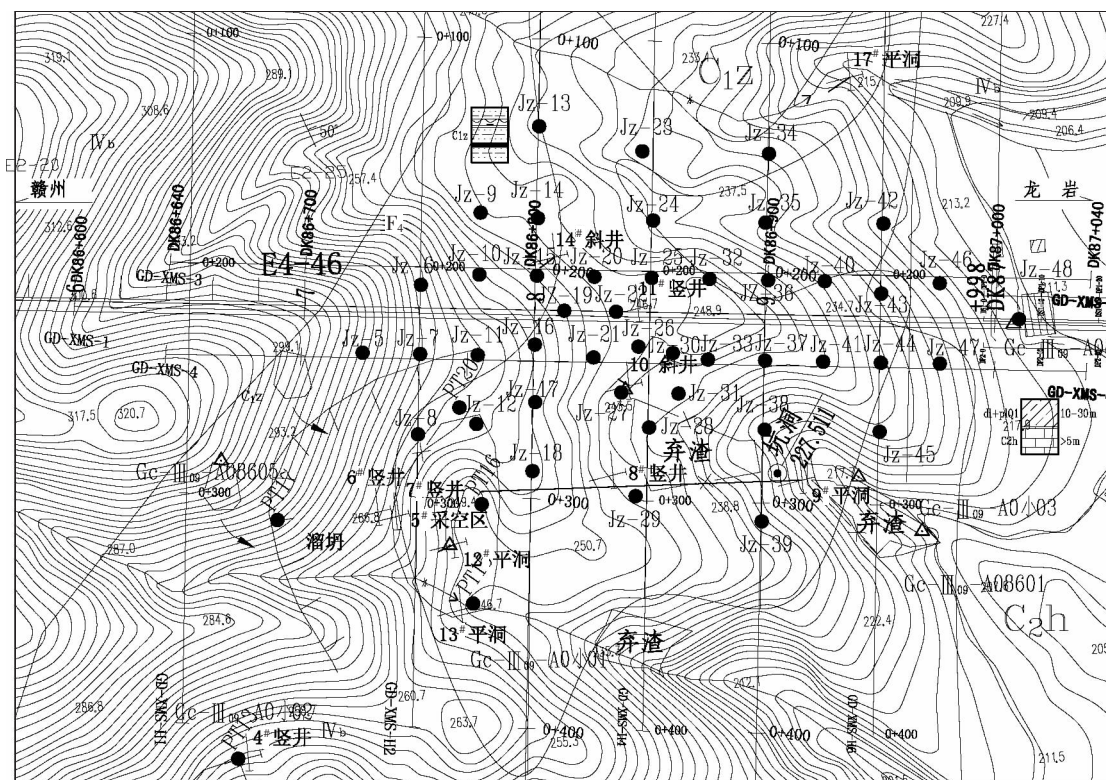


图1 赣龙复线小密隧道出口工程地质平面示意图

根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001), 结合沿线地质条件分析, 隧址区地震动峰值加速度为 $0.05g$ (地震基本烈度Ⅵ度), 地震动反应谱特征周期值为 0.35 s 。

1.4 气象、水文特征

区内属于亚热带湿润季风气候区, 四季分明, 雨量充沛。多年平均气温为 $18.9^\circ\text{C} \sim 19.7^\circ\text{C}$, 年平均降水量 $1\,620\text{ mm}$, 最大降水量 $2\,417\text{ mm}$, $4 \sim 5$ 月降雨量约占全年的 47% , 降雨主要集中在春、夏两季, 有寒潮、台风、高温干热和冰雹等灾害性天气。

地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水、岩溶水, 主要受大气降水补给。地下水一般埋深 $1 \sim 30\text{ m}$, 较发育。

2 综合勘察技术

2.1 地质调绘

工程地质测绘是工程地质勘探的前提和基础, 工程地质测绘工作的好坏直接关系到工程地质勘探的质量和数量。而对采空区而言, 地质、采矿情况调查是其中最基础的勘察手段, 同时也是其他勘察手段的一个前提条件。它主要以收集资料和调查访问的方式, 收

集相关的地质图、矿产分布图、采掘工程平面图、地表变形观测资料及其采煤资料; 调查采空区影响范围内的地层岩性、产状、构造、水文地质以及煤层的分布、层数、层厚、埋藏深度等特征; 查明采空区地表开裂、陷落的特征和分布规律以及调查采空区上方和附近地面建筑物开裂、变形及其处理的情况, 如有可能, 尽可能进行井下调查、测量工作, 测绘出采掘工程平面图^[2]。

勘测期间, 经过地质测绘、多次现场走访和调查发现, 小密隧道出口 DK 86 + 640 ~ DK 86 + 998 段存在数处小煤窑古老采空区。采空区最早始于清朝, 集中开采于 20 世纪 50 年代后期 ~ 80 年代中期。隧址区附近共调查到平洞、斜井、竖井及采空区等 19 处, 其中, 采空区 6 处、平洞 4 处、斜井 2 眼、竖井 7 眼。线位右侧 $60 \sim 150\text{ m}$ 位置沟谷内存在煤矿开采洞群, 同时在远离线位两侧 (600 m 外) 存在露天开采煤矿。线位山坡上仍存在人工开采后遗留的部分竖井、斜井 (探洞) 等采洞群。小密隧道出口线路与采空区平面关系示意图如图 2 所示。

线位附近山坡上无规律零星分布的数个深浅不一的采煤探洞的洞口口径一般 $1 \sim 2\text{ m}$, 深 $5 \sim 10\text{ m}$ 。这些采煤探洞主要为 20 世纪 70 年代中期至 80 年代前

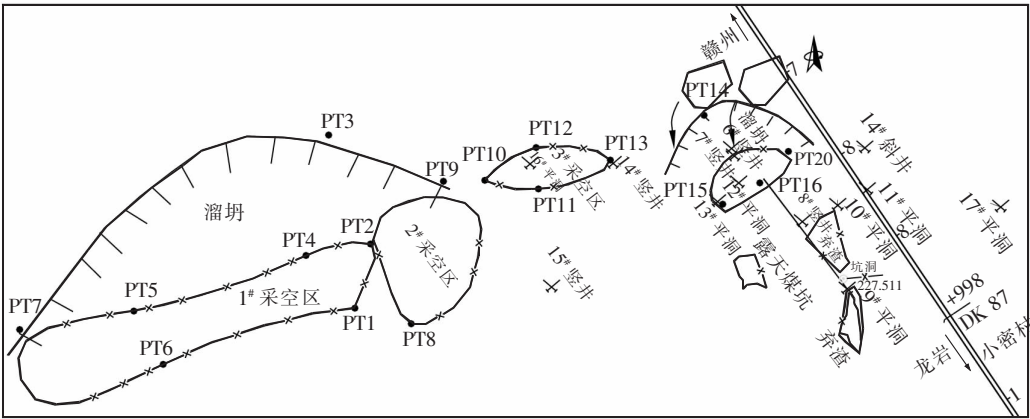


图 2 小密隧道出口线路与采空区平面关系示意图

期当地村民私挖乱采、随意开采遗留的。尽管调查资料表明:位于线路附近约 150 m 范围内的(5[#])采空区、(9[#]、12[#]、13[#]、17[#])平洞、(10[#]、14[#])斜井和(4[#]、6[#]、7[#]、8[#]和 11[#])竖井等距离线位较近、规模较小,分布无规律、开挖深度较浅、一般无支护,且开采后未进行人工回填,部分采煤探洞多已自然垮塌掩埋,局部洞内存在积水等情况,但因无法进入坑洞内进行调查和验证,且无法获得详细的开采资料,需针对性地采用物探、钻探等综合勘探手段进一步探明采空区范围内的隧道洞身的工程地质条件。

2.2 综合物探

目前,铁路工程在采空区勘探中通常采用的物探方法有直流电法、弹性波法及地质雷达等综合物探^[10]。在公路工程中对采空区勘探普遍使用的物探方法有高密度电法和瞬变电磁场法(TEM),其他的物探方法如地震映像法(又称高密度地震勘探和地震多波勘探)、探地雷达法、瞬态瑞雷波法、激光三维扫描法、土氦测量法、孔间测井以及钻孔弹性波 CT 法等在某些特殊的采空区勘察中也有着较大的应用。近年来,综合利用卫星遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术来研究塌陷区的分布、扩展规律是一种有效的方法,有着巨大的前景^[2]。

在实际对采空区进行物探工作时,需根据采空区的地球物理特征,选择 2 种或 2 种以上的综合物探方法进行探测。

针对上述采空区的分布范围,在小密隧道出口线路附近共布置了 1 条震探测线和纵向、横向各 6 条高密度电法物探测线(如表 1 和图 1 所示),以进一步探明隧址区采空区的空间分布范围、巷道大小、充填及

赋水情况等,综合评价采空区影响范围内隧道洞身的工程地质条件。

表 1 小密隧道出口采空区综合物探汇总表

物探	起点里程	终点里程	长度 /m	测线方向
高密度电法	DK 86 + 600 右 2.2 m	DK 87 + 100 右 2.2 m	500	纵向
	DK 86 + 500 左 200 m	DK 87 + 100 左 200 m	600	
	DK 86 + 580 左 30 m	DK 86 + 880 左 30 m	300	
	DK 86 + 640 左 17 m	DK 87 + 040 左 17 m	400	
	DK 86 + 640 右 22 m	DK 87 + 040 右 22 m	400	
	DK 86 + 580 右 30 m	DK 86 + 880 右 30 m	300	
	DK 86 + 650 左 220 m	DK 86 + 650 右 180 m	400	横向
	DK 86 + 750 左 220 m	DK 86 + 750 右 180 m	400	
	DK 86 + 800 左 220 m	DK 86 + 800 右 280 m	500	
	DK 86 + 850 左 220 m	DK 86 + 850 右 180 m	400	
	DK 86 + 900 左 220 m	DK 86 + 900 右 280 m	500	
	DK 86 + 950 左 220 m	DK 86 + 950 右 180 m	400	
震法	DK 86 + 700	DK 87 + 700	1 000	纵向

综合物探解译成果揭示:DK 86 + 780 ~ DK 86 + 910 段洞身附近存在含煤量高或裂隙发育的采煤异常区,埋深位于地表以下 30 ~ 90 m。

2.3 工程地质钻探和综合试验、测试

为进一步查明采空区地层岩性、覆岩结构、采空区 3 带特征及水文地质状况、埋藏深度、塌陷冒落情况、岩(土)层物理力学性质等,针对物探揭示的异常区,勘测期间在地表共布置了地质钻孔 44 孔/3 246.8 m,通过钻探取芯及岩土试验等综合勘探手段的核实,进一步查明、验证含煤量高或裂隙发育采煤异常区的工程地质条件。

同时,对小密隧道出口部分地质钻孔内进行的一系列瓦斯工程地质检测结果表明:小密隧道出口 DK 86+760~DK 86+880 段局部存在煤层地段可能存在瓦斯富集,瓦斯地段等级为三级。

2.4 综合勘察、测试成果的分析利用

综合分析大面积测绘调查、综合物探、地质钻探和岩土试验成果资料,在电高密度电法揭示的物探异常区中的 44 个钻孔中,有 14 个钻孔没有揭示到煤层,有 27 个钻孔揭示有煤层但无采空区,仅有 3 个钻孔揭示有煤层和采空区。

推测在 DK 86+810~DK 86+885 段左侧 15 m 附近存在采空区,该采空区对隧道开挖有一定影响(如图 3 和图 4 所示);DK 86+850.26 右 50.06 m 在标高 221.71~219.31 m(地表以下 20.58~22.98 m)处存在一条高 2.40 m 的巷道,可能与 18[#]竖井相连。

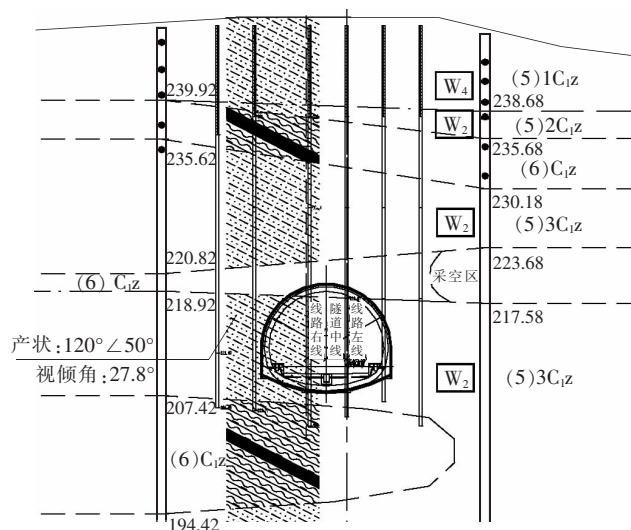


图 3 DK 86+825 采空区工程地质横断面示意图

研究表明:小密隧道出口 DK 86+760~DK 86+880 段洞身周围为煤矿采空塌陷区,局部地段存在采煤巷道、空洞,需采取相应的加固处理措施。

2.5 小密隧道出口勘察成果

通过对综合勘探成果的分析,确定小密隧道出口 DK 86+640~DK 86+998 段围岩岩体具以下特征:

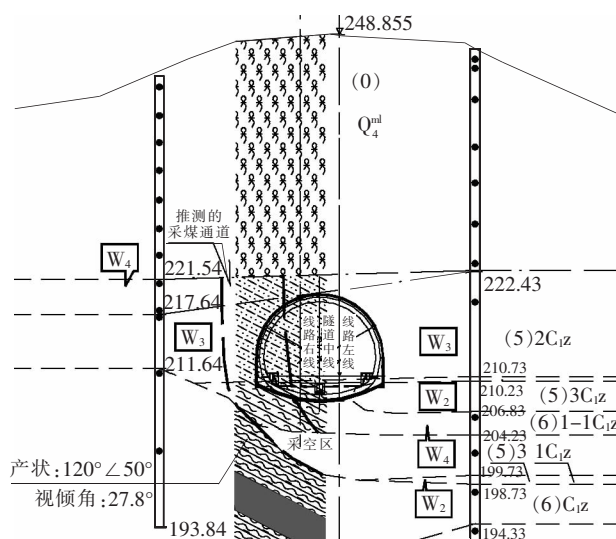


图 4 DK 86+875 采空区工程地质横断面示意图

DK 86+645 附近为 C_1z 泥质粉砂岩与粉砂岩的岩性接触带;DK 86+645~DK 86+760 洞身围岩为 C_1z 青灰色、灰白色弱风化粉砂岩;DK 86+640~DK 86+700 段岩体破碎或软弱层;DK 86+760 附近为 F_4 断层,基岩弹性波速为 2.2 km/s。DK 86+760~DK 86+998 段围岩复杂:DK 86+760~DK 86+880 段上部为煤矿采空塌陷区,下伏 C_1z 粉砂岩夹炭质页岩、钙质砂岩、泥岩,青灰色、灰白色,全风化~弱风化,局部为炭质页岩夹煤层;DK 86+880~DK 86+998 段为 Q_1^{dl+pl} 含砾粉质黏土,褐黄色~灰黄色,硬塑;DK 86+945~DK 86+998 段下部为灰岩,灰岩岩溶较发育。地下水较发育,建议加强支护和防排水措施。局部存在煤层地段可能存在瓦斯富集,瓦斯地段等级为三级,建议设计和施工时采取加强通风、超前预报等措施。DK 86+640~DK 86+998 段围岩级别设计为 V 级,该段工程地质纵断面示意图如图 5 所示。

2.6 小密隧道出口开挖情况

经过近四年的施工,小密隧道视已贯通。隧道出口施工开挖过程中,采空塌陷区地表注浆的钻探资料揭示的地质情况,隧道掌子面实施的中长距离 TSP (100 m) 和地质雷达、超前水平钻等超前地质预报成果资料,以及开挖过程中掌子面揭示的围岩地质条件等表明,小密隧道出口煤层采空区的实际地质条件与地质勘察成果基本吻合。

3 煤层采空区的加固处理

目前,国内外对煤层采空区的加固处理方案主要有以下三种^[2]:

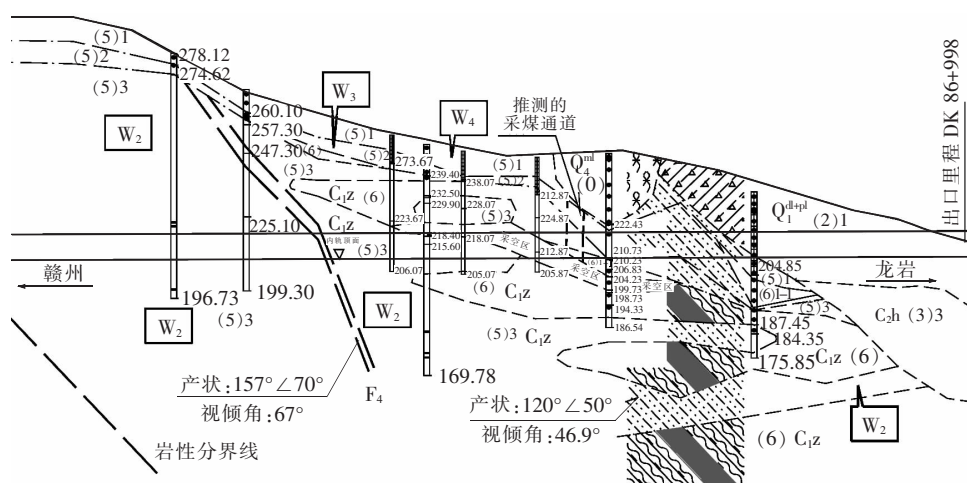


图5 小密隧道出 DK 86+640 ~ DK 86+998 段工程地质纵断面示意图

一是,地面建筑物抗变形结构设计措施,采用柔性设计原则、刚性设计原则或综合措施,以吸收和抵抗变形。

二是,采空区地基处理措施,预防和控制地表残余沉降的发生,包括注浆法、井下砌墩柱和大直径钻孔桩或直接采用桩基法等。

三是,采取绕避方案或修筑过渡基础等措施以及营运后维修方案等。

4 结论及建议

(1)在高速铁路、客运专线和铁路路网配套建设中,煤层采空区已成为影响铁路选线、设计、施工等各个环节的重要不良地质因素,因此,准确查明采空区的分布范围、空间位置、塌落、回填和充水情况等工程地质特征是铁路工程建设的首要任务。

(2)采空区对铁路建筑物的危害极大。因此,结合铁路工程的特点,寻求精度高、系统性强、经济实用的采空区综合勘察技术,建立矿区铁路采空区工程地质勘察和稳定性评价的方法体系,是解决当前困扰采空区铁路工程地质勘察一大难题的关键。

(3)小煤窑等古老采空区由于开采年代久远、形态不规则、分布无规律、地面痕迹不明显且无资料可查等,故其工程地质条件非常复杂。以点带面的综合勘察技术不能查明采空区的详细情况,只能判定是否存在采空区而已。

(4)高速铁路对沉降和稳定有较高的要求,因此,结合高速铁路工程自身特点与要求,研究适合不同采空区条件下的加固处理技术,为高速铁路工程设计和施工提供科学指导,对矿区高速铁路工程的建议意义重大。

(5)鉴于采空区综合勘察技术存在以点带面的局限性,建议在采空区加固处理的设计、施工过程中采用“探灌结合”的方式动态设计、动态施工,并加强施工过程中的监控量测工作。

(6)目前,就采空区加固处理后的质量和效果的检验,国内外都没有一种行之有效的检测手段,而是通过多种检验手段进行综合评价。因此,研究铁路工程采空区加固处理的监控技术和质量检验评定标准,不仅对采空区加固处理工程的质量保证有重要的现实意义,而且对采空区其他工程建设也具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 徐世静. 瓦斯隧道工程地质勘察与评价[J]. 铁道勘察, 2010(6):42-44.
Xu Shijing. Geological Surveying and Evaluation on Gas Tunnel Project [J]. Railway Investigation and Surveying, 2010(6):42-44.
- [2] 张志沛,彭惠. 公路下伏煤矿采空区勘察、设计现状及存在问题[J]. 西北水电,2006(S):5-10.
Zhang Zhipei, Peng hui. Investigation and Design of Coal Gob Area Underlying Highway and Existing Problems[J]. Northwest Hydropower, 2006(S):5-10.
- [3] 聂新民. 神延线小煤窑采空区特征及治理研究[J]. 资源环境与工程,2009(9):60-62.
Nie Xinmin. Research on Feature and Reinforcement in Coal Mine Goaf for Shenmu - Yanan Railway [J]. Resources Environment & Engineering, 2009(9):60-62.
- [4] 胡朝阳. 综合勘察在采空区勘察中的应用[J]. 铁道勘察, 2013(5):52-54.
Hu Zhaoyang. Application of Synthesize Exploration in Geological Investigation of Mined - out area [J]. Railway Investigation and Surveying, 2013(5):52-54.

(下转第81页 To P.81)