

文章编号: 1674—8247(2020)01—0023—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.01.005

高速铁路岩溶勘察技术研究现状及展望

易勇进 宋 章 张广泽 蒋良文

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:文章对高速铁路岩溶勘察技术国内外研究现状及发展趋势进行了详细评述,指出:(1)目前岩溶勘察技术主要有遥感技术、地面调绘、工程勘探、物探及其组合实施综合勘察技术,其中基于遥感解译进行地面调绘并合理利用工程勘探、物探及原位测试等综合勘察技术能最大程度地提高岩溶勘察质量及效益;(2)高速铁路因其大曲线半径及高平顺度等特点,线路选线完全绕避岩溶区极为困难,鉴于岩溶的复杂性和既有岩溶勘察技术现状,完全查明岩溶的空间分布形态及发育规律仍是目前高速铁路工程建设中的世界性难题;(3)今后一段时期内应重点关注“空、天、地”多层次勘察技术及其分析解译的定量化和精确化研究,构建高速铁路岩溶区综合勘察成套技术体系,以解决高速铁路对岩溶勘察的高深细度与高精细度要求等关键性问题。

关键词:岩溶; 勘察; 技术; 高速铁路; 发展趋势

中图分类号:U642.25 文献标志码:A

Research Status and Prospect of Karst Reconnaissance Technology for High-speed Railway

YI Yongjin SONG Zhang ZHANG Guangze JIANG Liangwen

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

Abstract: The research status and developing trend of the karst reconnaissance technology for high-speed railway are reviewed in detail in this paper, and it is pointed out that: (1) the karst exploration techniques mainly include remote sensing technology, ground mapping, engineering exploration, geophysical prospecting and comprehensive survey technology, among which the comprehensive survey technology based on remote sensing interpretation for ground mapping and utilizing the engineering exploration, geophysical prospecting and in-situ testing, can maximally improve the quality and benefit of karst exploration; (2) it is extremely difficult for the route selection of high-speed railway to completely bypass the karst area because high-speed railway is featured by bigger curve radius and extreme smoothness, and it is still a worldwide difficult problem to find out the spatial distribution pattern and development rule of karst because of the complexity of karst and present situation of the existing karst reconnaissance technology; (3) in the next period of time, attention should be paid to the multi-level reconnaissance technology of “satellite telemetry, aerial survey and ground survey” and its quantification and accuracy analysis and interpretation, to construct a complete set of comprehensive reconnaissance technology system to solve the key problems of the survey such as high accuracy fineness and high deep fineness for high-speed railway in karst area.

Key words: karst; reconnaissance; technology; high-speed railway; developing trend

收稿日期:2019-10-29

作者简介:易勇进(1975-),男,高级工程师。

引文格式:易勇进,宋章,张广泽,等. 高速铁路岩溶勘察技术研究现状及展望[J]. 高速铁路技术,2020,11(1):23-26.

YI Yongjin, SONG Zhang, ZHANG Guangze, et al. Research Status and Prospect of Karst Reconnaissance Technology for High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 23-26.

根据中国岩溶地质馆资料,全球岩溶总面积约2 200万 km²,占地球陆地面积的15%,主要分布于地中海、东欧、中东、中国西南部、东南亚、美国东南部和中美洲等国家和地区;我国岩溶面积达344万 km²,约占全球岩溶总面积的15.6%,约占我国国土面积的1/3,其中裸露型岩溶75.64万 km²,主要分布于西南的黔滇桂川渝及中南的湘鄂粤等地,构成了世界上最大的连片裸露型岩溶区之一。

据统计,目前世界岩溶区高速铁路里程约5 000 km,我国岩溶区高速铁路里程约3 600 km,约占世界岩溶区高速铁路的72%。其中西南岩溶区高速铁路约2 600 km,约占全国岩溶区高速铁路的72%,约占世界岩溶区高速铁路的52%。根据铁路中长期路网规划,我国岩溶区规划待建高速铁路约3 000 km。

由于岩溶发育具有高度不均一性、随机性、隐蔽性等特点,岩溶灾害具有突发性、复杂多变性等特性,故岩溶区高速铁路建设地质问题尤为突出,给岩溶区铁路尤其是高速铁路地质选线、勘察设计、风险评估及防灾减灾等带来极大的挑战。

1 岩溶勘察国内外研究现状

根据近50年我国西南岩溶区十余条干线铁路和武广、渝利、南广、贵广、云桂、长昆、贵南等岩溶区高速铁路的勘察设计实践,认为岩溶问题对铁路工程的影响和危害主要表现在五个方面^[1-2]:①岩溶地面塌陷威胁构筑物安全;②岩溶隐伏溶洞及其充填物影响构筑物基础的稳定性;③隧道岩溶涌水突泥危害地下工程和环境;④岩溶洼地积水浸泡或淹没路基和其它地面工程;⑤碳酸盐岩层风化产物的膨胀性影响边坡稳定性。

目前,国内外关于岩溶勘察技术的研究和应用较多^[3-9],形成了以地质调绘、遥感技术为主,结合工程地质勘探和物探的勘察技术方法和手段,收到了较好的成效。

1.1 工程地质调绘

工程地质调绘是岩溶勘察工作的基础和先导性工作,是后期各种勘察技术方法选择和勘探点布设的依据^[5],贯穿于各勘察阶段。工程地质调绘的优点是可较直观地查明岩溶地貌形态、地层岩性、地质构造、地表水状况及地表岩溶发育形态等;缺点是受地形、气候、交通条件影响大,仅能查明一定范围内地表岩溶的分布形态和发育规律,难以查明地下隐伏岩溶的发育

情况。

1.2 遥感技术

为适应铁路建设发展的需要,上世纪50年代中期,航空遥感技术开始被引进并应用于航测工作;60年代航测测图得到了较大发展,为线路选线提供了较可靠的依据;70年代随着中国第一颗人造地球卫星的成功发射,多种专业的遥感判释技术得到了较大发展,遥感技术逐步应用于地质勘察工作;80年代后,随着计算机及数字技术的发展,遥感技术得到了广泛应用^[7]。21世纪以来,随着气象卫星和资源卫星等的相继发射,加之光电化、数字化、自动化等技术的快速发展,高精度、快速精准定位技术及多片种、多时相、定量、动态遥感判释技术得到了长足发展,并实现了地形数据(DTM)、地理信息系统(GIS)和多种计算机辅助工具的联合应用^[7]。

在铁路勘察中,遥感技术作为岩溶形态调查的主要手段之一,目前已得到了较好的应用。如利用遥感技术对岩溶地面塌陷进行探测及监测^[10-11]、铁路沿线岩溶发育状况的调查和普查^[12]、岩溶地区石漠化普查和发展趋势的分析^[13]等均取得了很好的效果;此外,采用高精度卫星遥感图像的图像预处理、图像融合、正射校正技术等实现遥感影像三维可视化研究亦取得了较好的成绩。同时,遥感技术结合ArcGIS技术可实现岩溶区漏斗信息提取、形态显示和地下溶洞网分析等^[14],Rahim Kazemi^[15]通过航空照片、卫星图像结合GIS技术在岩溶水的勘察方面取得了一定成效。

遥感技术具有视域宽、信息量大、获取快等特点,可大幅提高岩溶地质测绘填图的质量和效率。在宏观上可查明区域地质构造、岩溶分布形态、水文地质等信息,对岩溶区地质条件做出初步评价,为铁路工程地质选线及工程建设提供较准确的科学依据。但在微观上须配合地面调绘及勘探工作,方能验证其准确度和精度。

1.3 工程地质勘探技术

地质勘探是岩溶勘察过程中获取地下岩溶发育情况最为直观的方法和手段,可以探明岩溶基础地质条件,验证遥感、地质调绘以及其它勘探方法的内容,进行岩溶水文地质试验和物探测井等工作,从而获得岩溶工程地质和水文地质参数,为工程设计和施工提供依据。

1.4 工程地质物探技术

上世纪50-70年代,铁路工程地质物探工作主要以找水为目的,采用直流电法和地震折射法开展工

作^[9];80年代以来,随着数字化仪器及计算机技术的发展,在结合其它勘探方法的基础上,物探技术在岩溶勘察中的应用得到了长足发展。

美国试验与材料协会在某指南中介绍了在岩溶区探测中较为有效的地球物理方法^[3],并对每一种方法的技术特点、用途、技术优缺点等进行了评述。美国地质与地球物理咨询公司在总结1971年以来地球物理勘探经验的基础上,对14种物理探测技术方法的使用条件和优缺点进行了详细分析^[6],认为在岩溶探测中的首选方法为地震面波、地质雷达和微重力法。近年来,随着计算机技术及数字化技术的发展,工程物探技术正朝着集成化、多功能化方向发展,并注重新型物探仪器的研发和应用^[16]。如用于天然场观测和人工源信号的V-5、V5-2000、V-6、V-8音频大地电磁系统及MMS-04音频大地电磁系统(目前主要用于深部岩溶研究);用于做天然场观测的MT-24、EH4系统,其中MT-24主要用于研究深部构造,EH4系统用于浅部研究(小于1 km)。

国内在铁路工程岩溶探测技术上尤其是地球物理勘探方面也进行了研究应用^[16],主要有遥感物探技术、地球物理探测技术(电法、震法、测井法、地质雷达、微重力勘探、CT技术、可控源音频大地电磁法、电磁测深以及甚低频电磁法)、环境同位素技术、岩溶地貌与水文网分析法、地理信息系统(GIS)等。目前应用比较成熟的方法有地质雷达、高密度电法、浅层地震反射、以及弹性波法等。如应用电磁波CT法对某铁路车站埋深20 m范围内的岩溶洞穴位置、形态、充填情况及暗河走向进行探测^[17]、基于“地质雷达法”及“地震单点反射波法”的优势互补性对宜万铁路隧底隐伏岩溶进行普查^[18]等,均取得了良好的效果。

物探技术具有方法多、信息量大、操作方便、大范围及三维立体勘探等优点,其缺点是准确度有待钻探及其它勘探方法验证。

1.5 综合勘察技术

综合勘察技术是在遥感地质解译的基础上,结合区域地质资料进行地面地质测绘工作,并合理应用勘探技术、物探技术及试验测试等勘探方法和手段,以最佳的勘探组合模式,通过密切配合,方法优势互补,结论互相验证,对成果资料进行综合分析和利用,以达到查明工程地质问题、提高勘察质量和效益的目的。综合勘察技术在复杂地质条件下的大型重点工程和前期铁路选线的地质勘测中具有显著的优势^[8]。如利用遥感技术、地质测绘、综合物探及地质钻探等方法的综

合勘察技术在内昆线二道桥至昭通北段岩溶区选线^[19]、广西裸露型岩溶山区铁路隧道岩溶综合勘察^[20]中均取得了良好的效果;在地面调绘的基础上,结合工程钻探和物探等的综合勘察手段,在岩溶区某客运专线岩溶桥基勘察^[21]及某铁路岩溶路基塌陷的勘察^[22]中,查清了岩溶病害,为工程整治提供了准确的地质参数。

2 高速铁路岩溶地质勘察面临的新挑战

高速铁路速度快、运营安全和舒适性要求高的特点,决定了其线路曲线半径大,绕避岩溶困难,线路对岩溶地质条件的适应性差,对场地的稳定性要求高;高速度依赖轨道的高平顺度,对桥隧路基工程的工后沉降控制要求严格,对岩溶地基岩土体适宜性要求高,对岩溶边坡的稳定性、特别是隧道口危岩落石的风险防范要求极高,从而对地质选线和勘察提出了更高要求。

高速铁路需规避岩溶系统性风险,对岩溶区选线提出了更高的要求。由于岩溶形态及发育的复杂性和高度不均一性,平面上完全绕避岩溶发育区、剖面上完全绕避深部岩溶发育带极其困难,对岩溶地质勘察与风险评估要求高主要表现在地质勘察工作的深细度与精细度上,必须采用综合勘察方法,对各种勘察成果资料进行综合分析,相互印证,以达到查明岩溶工程地质问题和提高勘察质量的目的。据统计,在深细度上,高速铁路地质钻探量较普速铁路大幅增加,其每公里钻探量达1 100~2 000 m,而普速铁路每公里一般不超过200~300 m;除钻孔密度更大外,还需采用多手段的物探、原位测试进行岩土体参数测试,岩溶地质条件复杂时还需开展专项和专题研究工作,以满足高速铁路设计和施工要求。

由于岩溶发育的随机性、隐蔽性和高度不均一性的特点和既有岩溶勘察技术现状,完全查明岩溶的空间分布形态及发育规律,仍是高速铁路工程建设中极其复杂而困难的工作。

3 发展展望

由于岩溶分布形态和发育的复杂性、隐蔽性、多样性,以及高速铁路岩溶地质勘察对深细度和精细度的高要求,单一的、传统的勘察技术方法或手段均无法满足设计要求,必须在不断总结提升传统勘察技术、方法的基础上,充分合理利用新技术、新方法,采用综合勘察方法,相互验证,提高勘察效率和精细度。

近年来,随着数字化和信息化技术的发展,高速铁路岩溶地质勘察开始探索“空、天、地”一体化综合勘察模式。其中,“空”类勘察技术是指基于卫星系统开展遥感遥测技术,主要包括北斗卫星定位勘测技术、高分卫星遥感技术、InSAR 形变监测技术、卫星热红外遥感隧道地热异常识别技术以及多光谱、高光谱岩性识别技术等;“天”类勘察技术是指基于大气层内低空域开展的有人机、无人机遥感遥测技术,主要包括高分无人机测绘和勘察技术、机载激光雷达、热红外航空扫描、多波段航空图像以及常规航空像片解译技术等;“地”类勘察技术是指在地面或近地表开展的地质相关工作,主要包括地质调绘、勘探、物探、观测、测试、超前地质预报等,尤其是地面三维激光扫描技术、等值反磁通瞬变电磁技术、微动探测技术、厚-深厚覆盖层综合原位测试技术等新技术。

为适应和推动我国高速铁路尤其是西南岩溶山区高速铁路的快速发展,实现“空、天、地”多层次勘察技术及综合分析解译的定量化和精确化,将是当前和今后一段时期高速铁路岩溶勘察的主要任务。必须针对不同岩溶地质环境、不同工程类型,充分利用新技术、新方法、新设备、新手段,结合各种勘察设备、技术、方法的适应条件,合理选用多种勘察方法,力争以最佳的设备和技术方法组合,取长补短、相互验证,提高勘察质量和精度。

参考文献:

- [1] 中国地质学会工程地质专业委员会铁道分会. 中国铁路工程地质六十年[M]. 西安: 西安地图出版社, 2015.
Railway Branch of Engineering Geology Commission, China Geology Society. Sixty Years of Chinese Railway Engineering Geology [M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 2015.
- [2] 何振宁. 当前铁路建设中主要地质工程问题探讨[J]. 铁道工程学报, 1999, 16(4): 70-74.
HE Zhenning. Exploration of Main Problems on Geologic Engineering Works during Railway Construction in Recent Times [J]. Journal of Railway Engineering Society, 1999, 16 (4): 70-74.
- [3] ASTM D6429-1999 Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods [S].
- [4] BS 5930-1999 Code of Practice for Site Investigations [S].
- [5] Vladimir Tolmachev. The Main Results of Engineering Karstology Research Conducted in Dzerzhinsk, Russia [C]//Proceedings of The Ninth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst. Huntsville, 2003.
- [6] Richard C. Benson, Lynn B. Yuhr. Surface Geophysical Methods [M]. Miami: Technos, Inc., 2004.
- [7] 何振宁, 王洁. 中国铁路工程地质世纪发展成就[J]. 铁道工程学报, 2005, 22(S1): 1-5.
HE Zhenning, WANG Jie. The Century Developments and Achievements of Engineering Geology for China Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005, 22 (S1): 1-5.
- [8] 何振宁. 铁路地质综合勘探技术的应用[J]. 铁道工程学报, 2005, 22(S1): 448-456.
HE Zhenning. Application of the Comprehensive Exploring Technology for Railway Geology [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005, 22 (S1): 448-456.
- [9] 何振宁. 地球物理勘探在铁路工程建设中的作用[J]. 铁道建筑技术, 2008, 25(S1): 416-417.
HE Zhenning. The Role of Geophysical Exploration in Railway Engineering Construction [J]. Railway Construction Technology, 2008, 25 (S1): 416-417.
- [10] 茹锦文, 周立新, 马祖陆, 等. 岩溶塌陷评估预测信息系统[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(S1): 91-95.
RU Jinwen, ZHOU Lixin, MA Zulu, et al. Gis for Evaluation & Prediction of Karst Collapse in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1997, 8 (S1): 91-95.
- [11] 刘林清, 刘帅, 郭福生. 江山市城区岩溶塌陷研究的遥感应用[J]. 东华理工学院学报, 2005, 28(2): 118-124.
LIU Linqing, LIU Shuai, GUO Fusheng. The Remote Sensing Researching for the Karst Subside in Jiangshan Urban Area [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2005, 28 (2): 118-124.
- [12] 李光伟, 吴为禄. 宝天铁路地质灾害信息系统研究[J]. 铁道工程学报, 1996, 13(2): 371-377.
LI Guangwei, WU Weilu. Study on the Geological Hazard Information System of Baoji-Tianshui Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 1996, 13 (2): 371-377.
- [13] 王连庆, 乔子江, 郑达兴. 渝东南岩溶石山地区石漠化遥感调查及发展趋势分析[J]. 地质力学学报, 2003, 9(1): 78-84.
WANG Lianqing, QIAO Zijiang, ZHENG Daxing. The Remote Sensing Survey and the Analysis of Developmental Trend of Stony Desertization from the Karstland in the Southeast of Chongqing [J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9 (1): 78-84.
- [14] 刘汉湖, 杨武年, 杨容浩. 结合遥感和地学知识的高原机场工程地质评价[J]. 测绘科学, 2014, 39(7): 94-97.
LIU Hanhu, YANG Wunian, YANG Ronghao. Discussion on Geological Evaluation of Plateau Airport Engineering Using Remote Sensing and Geoscience Knowledge [J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39 (7): 94-97.
- [15] Rahim Kazemi. Reconnaissance of Karst Hydrology in the Lar Catchment, Iran using RS and GIS [M]. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, 2003.
- [16] 中铁二院工程集团有限责任公司. 岩溶勘察技术报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2009.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Report of Karst Reconnaissance Technology [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2009.