

高坪—吉心段公路喀斯特工程地质综合勘察

姜友生², 刘玉山^{1,2}, 王国斌^{1,2}

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省交通规划设计院, 湖北 武汉 430051)

摘 要:以沪蓉国道主干线湖北省高坪—吉心段的喀斯特地质勘察工作为例, 探讨喀斯特地区公路工程地质综合勘察的基本方法。在喀斯特地区运用遥感和地理信息技术技术、地质测绘、综合物探以及地质钻探等勘察手段, 通过综合分析各种勘探成果, 能够较准确地查明可溶岩的分布、喀斯特形态类型、分布规律、控制因素以及喀斯特水的赋存、分布和运移规律等, 并根据不同的喀斯特地貌提出了有针对性的处理对策。通过不断的实践和经验总结, 针对喀斯特工程地质问题合理运用综合工程勘察方法, 能做出科学的分析评价, 可以适应喀斯特区公路建设的需要, 并且供今后在喀斯特地区修建公路时参考和借鉴。

关键词: 沪蓉国道; 喀斯特工程地质; 综合勘察; 处理对策

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

沪蓉国道主干线宜昌(高坪)至恩施(吉心)段, 位于湖北省西南部, 属于恩施州管辖, 是湖北省经济欠发达地区之一。全路段采用四车道高速公路标准, 设计行车速度 80 km/h, 整体式路基宽 24.5 m, 分离式单幅路基宽 12.5 m; 隧道净高 5 m; 桥涵设计车辆荷载汽车—超 20 级, 挂车—120。

路线区地处鄂西南喀斯特高原, 碳酸盐岩广泛分布。在漫长的地质历史时期, 因长期喀斯特作用, 在该区形成了较为典型的喀斯特地貌景观。槽谷、洼地、漏斗、落水洞、溶洞和地下暗河等喀斯特现象普遍, 特别是在高坪、红岩寺、崔坝、桥头坝、河水坪和鲁竹坝等地区发育有特大型或大型的地下暗河系统。因此, 准确查明该区喀斯特形态类型、分布规律、控制因素以及喀斯特水的赋存、分布和运移规律等, 对区内线路工程的展布、隧道、桥梁和路基工程地质评价等具有重要的科学意义和实际意义^[1]。

1 喀斯特区工程地质综合勘察

拟建公路沿线的主要喀斯特工程地质问题包

括: (1)由于地下喀斯特水的活动, 或因地表水的消水洞穴阻塞, 导致路基基底冒水、水淹路基、水冲路基及隧道涌水等问题。(2)地下洞穴顶板的塌陷导致位于其上的公路及其附属构造物发生塌陷或下沉。(3)岩石因喀斯特发育而导致承载力降低, 使地基容许承载力降低。(4)隐伏喀斯特发育地带, 有溶沟、竖向裂隙、落水洞、漏斗等, 若基础埋置在其上, 则有可能使基础下的岩层沿临空面产生滑动。

针对上述喀斯特工程地质问题, 必须采用综合勘察方法。其主要内容是收集和利用已有的工程地质水文地质资料, 以遥感解译、工程地质调绘、钻探、物探等综合勘察手段, 探明喀斯特工程地质情况, 提供工程处治所需的资料。如何查明可溶岩的分布、喀斯特的发展变化规律和形态特征, 以及喀斯特水的储存和运动规律, 进而取得令人满意的勘探成果, 为工程设计提供准确、可靠的地质资料, 是一个十分复杂的系统工程^[2]。本文以沪蓉国道湖北省高坪—吉心段的喀斯特地质勘察工作为例, 探讨喀斯特地区公路工程地质综合勘察的基本方法。

1.1 高精度工程地质遥感解译

收稿日期(Received date): 2004-02-01; 改回日期(Accepted): 2004-03-20。

基金项目(Foundation item): 国家发展改革委员会项目(发改交运[2003]1082号)。[Supported by the national key project of the Planning Commission of China(20031082).]

作者简介(Biography): 姜友生(1965-), 男(汉), 湖北英山人, 院长。主要研究方向: 公路岩土工程勘察与设计工作。[Jiang Yousheng (1965-), male senior engineering, dean, mainly work on the design and exploration of the express way.]

公路工程地质遥感运用遥感信息技术及遥感与地理信息集成技术体系,搜集相关的野外地质调查专题图件,结合公路工程地质勘察特点,重点开展下列专题研究。

1.1.1 影像构造岩石地层图的编制

依照高速公路的需求,设立专题分析公路沿线的地质信息,建立专家评判体系,运用 ArcGIS、ArcView GIS 3.3 等遥感和地理信息系统软件,以 TM、SPOT 卫星影像为分析对象,采用监督分类方法,提取研究区的不良工程地质信息。强化应用岩石学、应用地层学和应用构造学的编图理念,主要内容包括不同年代岩石地层单元的基本分类、岩石组合规律和岩石中断裂带分布、构造裂隙密度和方向的研究,以便更好地服务于公路选线的优化及未来的工程施工工作。重点内容为影像断裂构造和岩石组合的识别与组合关系研究。

1.1.2 不良地质体空间定位预报图

不良地质现象会造成公路工程的安全隐患,同时也增加建设费用。故应采用积极的对策,在主动避让的前提下,进行科学整治。因此,对不良地质体定位预报研究较为重要。本文运用不良地质现象分析评价的方法体系,将遥感地质构造信息与工程地质、山地灾害紧密结合进行综合分析和评价,确定沿公路两侧分布的重大不良地质现象。运用 MAPGIS、ArcView GIS 等地理信息系统软件,生成数字地图。其主要表现内容为:研究路线经过区工程地质概况、不良地质体的种类及分布,可供选择的几条路线的对比、主要构筑物的分布和布局。不良地质空间定位预报图的建立,为确定合理的公路穿越线提供了科学可靠的依据。

1.2 地质调查、测绘与钻探

采用 1:10 000 和 1:2 000 地形图,分层次对路线带进行地面调查和测绘,对构造物进行专项调查与测绘,查明了路线走廊带的地貌、地质条件等,并对结构物地基的稳定性、适宜性做出了评价,为勘探、现场测试以及工作点布置等提供依据。根据具体工程(桥、隧、路堑、高路堤等)、不良地质路段等工作点设计要求,进行工程地质钻探,一方面可准确提供设计所需的物理力学指标,另一方面可指导物探解译。

1.3 喀斯特水文地质研究

线路区是我国南方喀斯特发育典型的地区之一,喀斯特是主要的工程地质问题。发育有水平溶

洞、落水洞、地下暗河、小型喀斯特湖等多种喀斯特地貌,且具有多级溶蚀平台,严重威胁隧道、路基和桥基的稳定性,威胁路线方案的成败。运用钻孔勘察、同位素示踪等综合方法,开展喀斯特专题研究,以查明喀斯特规律和喀斯特水对工程和环境的影响,为合理确定路线和构造物的布设位置提供工程依据。

1.4 高密度电法勘探

该方法根据测得的视电阻率在 X 和 Z 方向变化的剖面,分析其变化特征,将其解译为对应的地质异常体。不同岩性其电阻率值不同,空腔喀斯特为高阻,充填喀斯特为低阻,渗水破碎带为低阻,以此可对喀斯特和岩性作较好的判断。外露型空腔溶洞、充填溶洞的测试,以及钻探等资料都充分验证了高密度电法的准确性。

1.5 深层地震勘探

对本段控制性隧道——大水井深埋特长隧道,采用德国进口的 summit 仪器补充了深层地震反射勘探。地震反射勘探原理是当震源激发时,地震波以球状向地下半空间传播,在遇到岩性分界面、断层、破碎带、喀斯特等地质异常体时,地震波就折返回地面被检波器接收,接收的地震数据经过室内数字处理生成地震剖面,根据剖面上的异常特征,可解译为对应的地质异常体,以此达到隧道围岩洞身勘探的目的。

1.6 孔内数码成像与声波测井

利用孔内数码成像技术对岩体的完整性、节理裂隙发育程度、岩层产状等进行直观的观测、分析和研究。

钻孔声波波速测井采用武汉岩海公司生产的 RS-ST01C 非金属声波检测仪。利用测得的波速评价岩土体的强度和隧道围岩类别,为隧道围岩类别的划分、物理力学指标以及岩体风化层位的划分等提供准确的依据。

1.7 原位试验与综合测试

线路区大面积出露巴东组第二段的泥质岩,岩性软弱、不耐水蚀及风化、取芯差,很难通过取得代表性岩芯进行室内试验而获得岩石的物理力学参数。应用岩体原位试验方法,获得了设计所需的岩体物理力学强度参数。

综合测试包括:岩土常规试验、粘性土的膨胀性试验、岩石剪切试验、结构面剪切试验,隧道的水文地质测试及地应力测试等。

2 喀斯特勘察成果分析

每一种勘察方法和测试手段都不可避免地存在局限性或弊端。在得到各种分项勘察测试结果后, 通过综合分析, 首先剔除错误结论, 然后, 对可疑结论再做进一步详细的工作。

高坪—吉心段的勘察表明: 线路区溶蚀平台共 5 级: 950 ~ 1 000 m (V)、850 ~ 900 m (IV)、700 ~ 800 m (III)、600 ~ 650 m (II)、430 ~ 500 m (I)。其中在 IV、V 两级溶蚀平台内为干溶洞, 且多位于公路设计标高以上, 对公路工程影响不大。而在 I 级平台内, 溶洞多为暗河出口, 但由于其高程远低于公路设计标高, 因此, 对公路工程影响不大。在 II、III 两级溶蚀平台内, 溶洞多位于暗河的进口, 且处于地下水的季节变动带附近, 规模较大, 洞径达十至数十米, 长度达几百至上千米, 对隧道和大桥基础工程有较大的影响。另外, 5 级溶蚀平台之间不是相互孤立的, 而是彼此之间密切联系着^[3]。据野外调查, 在 K152 以东的区域 IV、III、II 三级溶蚀平台之间, 存在着顺层倾斜溶洞, 该类溶洞受层面和垂直裂隙的共同控制, 并使这三级溶蚀平台连通, 主要表现为每隔 50 ~ 100 m 发育一条横向支管道。该类溶洞分布在公路设计标高的附近, 对桥梁、隧道建设以及路基的稳定性影响较大。

在综合分析的基础上, 有以下结论:

1. 设计线路中不存在不可逾越的喀斯特问题;
2. 查明了隧道不同部位喀斯特发育的强度, 地下水的补、径、排条件, 隧道与地下暗河的关系, 掌握了隧道工程可能存在的问题;
3. 查明了桥位附近, 隐伏喀斯特洞穴可能存在的部位, 掌握了隐伏喀斯特对桥梁工程的影响, 并提出相应的工程处理措施;
4. 对于路基工程, 查明了喀斯特塌陷可能发生的部位, 并从喀斯特地质角度提出线路调整方案或工程处理方案。

3 公路喀斯特勘察工作讨论

在勘察工作中, 勘察方法的采用应根据工程需要的勘察范围、深度和精度来定。结合本次勘察工

作, 有以下讨论。

1. 运用高精度遥感时, 对不同传感器数据 SPOT 和 ETM+ 进行过融合实验, 由于成像方式、时间等因素, 融合效果不太理想, 在融合时会出现一些新问题, 特别是地形起伏较大的地区出现“重影”明显。

2. 高密度电法的最大勘探深度与电极的极距、总电极数、最大极距系数、最小极距系数以及电极排列方式等因素密切相关, 需要针对性选择。在本线路勘察过程中, 采用的基本参数: 电极极距为 2 ~ 10 m, 总电极数为 60, 最大极距系数为 19, 最小极距系数为 1, 采用 α 电极排列, 其最大勘探深度约 10 ~ 120 m。

4 结 论

工程实践证明, 在喀斯特地区运用遥感技术、地质测绘、综合物探以及地质钻探等综合勘察手段进行分析研究, 能够准确地查明喀斯特的形态类型、分布规律、控制因素以及喀斯特水的赋存、分布和运移规律等。采用综合勘察方法避免了由于单一勘察手段所提供的不确定性, 进而使设计、施工和运营达到经济合理。通过不断的实践和总结, 对喀斯特工程地质问题的处理已经从消极的绕避转变为绕避和积极的处治相结合, 并提出合理的处治方案, 可以适应喀斯特穿越区公路建设的需要。

参考文献 (References):

- [1] Yang Yinhu, Huang Zhengfa. Karst Geological Problems and Their Countermeasures in Southern Hubei Section of Beijing-Zhuhai Speedway [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2001, 20(5): 9~12. [杨银湖, 黄正发. 京珠线湖北省南段岩溶地质问题与勘察对策 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2001, 20(5): 9~12.]
- [2] Liu Ruming, Wu HuaJin, Lu Zhiqiang. Investigation and treatment of Karst in Songdai Highway [J]. *The Communication Science and Technology in Yunnan*, 2002, 15(4): 45~48. [刘汝明, 吴华金, 鲁志强, 等. 嵩待公路岩溶的勘察与处治 [J]. *云南交通科技*, 2002, 15(4): 45~48.]
- [3] Li Dewen, Cui Zhijiu, Liu Gengnan. Feature and origin of covered karst on Hunan, Guangxi, Guizhou, Yunnan and Tibet [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 289~295. [李德文, 崔之久, 刘耕年. 湘桂黔滇藏一线覆盖型岩溶地貌特征与岩溶(双层)夷平面 [J]. *山地学报*, 2000, 18(4): 289~295.]

Comprehensive Survey of Engineering Geology of Karst in Gaoping-Jixin Highway

JIANG Yousheng², LIU Yushan^{1, 2}, WANG Guobin^{1, 2}

(1. *China University of Geosciences, Wuhan Hubei, 430074; 2. Hubei Traffic Layout Department, Wuhan, 430051*)

Abstract: Taking the karst geology investigation in the section from Gaoping to Jixin of Hurong national highway as an example, this paper discusses the basic method of engineering geology investigation of the highway project in the karst region. In the karst region, some investigation methods, such as remote sensing and GIS technology, geological mapping, comprehensive geophysical prospecting and geology drilling, are applied to research the special topic and analyze the exploring results, which can correctly ascertain the karst regulation, the type of the karst, controlling affections and the distribution and the movement regulation of the karst water. The comprehensive survey method can gain the scientific analysis and evaluation; It also can put forward the proper treatment countermeasure. Based on the results of the investigation, the design, construction and operation is economic and reasonable.

Key words: Hurong national road, engineering geology of karst, comprehensive survey, treatment countermeasure