

文章编号: 1006 - 2106(2013) 04 - 0046 - 05

客运专线路基隐患的综合物探研究*

周海滨 李志华**

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 新型客运专线路基具有新增级配碎石硬层及路基面以下非原状土的特点, 使用传统钻探和取样等勘察方法受到限制, 对隐患路基进行准确探测、排查及分类难度极大; 同时, 由于病害自身特点及其他外界因素干扰, 技术难度风险极大。如何全面进行勘察, 综合物探技术是最首要的选择。

研究结论: 通过研究总结了运营路基勘察综合物探技术: (1) 含水量高的软弱路堑采用密点距电测深法或高密度电法为主; (2) 压实度低的软弱路堑采用瞬态瑞雷波法为主; (3) 路堑、路堤接触部分采用瞬态瑞雷波法、地质雷达法、轻型动力触探法; (4) 遭受水浸或水害路基段以地质雷达法、瞬态瑞雷波法为主。可准确地揭示出路基现状和病害位置、规模及延展范围, 使既有隐患路基得到及时、有效地整治, 为高速铁路正常运营打下坚实基础。

关键词: 综合物探技术; 地质雷达; 瞬态瑞雷波; 密点距电测深; 隐患

中图分类号: P631 **文献标识码:** A

Research on Comprehensive Geophysical Exploration for Hidden Danger to Subgrade of Passenger Dedicated Line

ZHOU Hai - bin , LI Zhi - hua

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation , Tianjin 300251 , China)

Abstract: Research purposes: As the new type of subgrade of passenger dedicated line has the features that there is hardening layer with graded broken stones and there is soil with unoriginal shape under the subgrade surface. It is difficult to survey , investigate and grade the hidden danger to the subgrade with the traditional drilling method or sampling method due to the limitations , the disease features and outside conference. The comprehensive geophysical exploration is the best way for the comprehensive exploration.

Research conclusions: From the study and summarization on the comprehensive geophysical exploration for the subgrade , it is concluded: (1) The high density electrical sounding or high density resistivity methods should be used for the weak cutting with high water content. (2) The transient rayleigh - wave method should be used for the weak cutting with low compactness. (3) The GPR , transient rayleigh - wave and CPT methods can be used for the contacting parts of the cutting and embankment. (4) The GPR and transient rayleigh - wave methods are available for the water logging or water damaged subgrade. By using these methods , the subgrade status and its disease location , size and range can be revealed accurately , and therefore the hidden danger to the subgrade can be detected accurately and controlled timely to lay a solid foundation for the normal operation of the high - speed railway.

Key words: comprehensive geophysical exploration technology; GPR; transient rayleigh - wave; high density electrical sounding; hidden danger

* 收稿日期: 2012 - 08 - 22

** 作者简介: 周海滨, 1981 年出生, 男, 工程师; 李志华, 1965 年出生, 男, 教授级高级工程师, 现任铁道第三勘察设计院集团有限公司地路处副总工程师。

近年来高速铁路客运专线的迅速发展,不仅给人们的出行带来方便,同时也适应铁路运量日益增加和交通运输领域竞争激烈的形式。路基稳定性是关键基础之一。

路基潜在的隐患复杂多变,形成原因多,影响因素复杂,且处于动态变化中,陷落、欠密实、地下水含量稍高或高是导致病害的主要原因。采用综合物探技术对隐患进行排查急需研究。

1 工程概况与技术难点

客专路基区别于以往既有路基有两个方面:其一,增加了级配碎石硬层,这使得轻型动力触探法 N10 的勘察受到影响;其二,路基面以下不是原状土,亦使得轻型动力触探法 N10 的勘察受到影响,同时使钻探和取样受到限制。要对隐患进行准确探测、排查及分类难度极大,如何全面进行勘察就成了难题。此时物探技术是最首要的选择。

路基隐患往往严重影响铁路运营的安全,其中病害路基受水的影响,不确定因素较大,且不同病害所反映的地球物理性质也各有差异,另外还具有工点分散、施工困难及安全风险高等特点。其技术难度风险性很大,具体如下:

(1) 路基本体的特殊结构性限制了勘察方法的使用,其中最通用的钻探和挖探受到很大限制,运营安全、取样的难度、化验指标及使用、钻探位置的代表性(在坡角)和挖探的深度等都存在问题。这种情况下物探技术为主,其它方法为辅。

(2) 一般认为物探通用方法是地质雷达,对于十分明显的陷落、不密实、地下水含量高一般反应较好,但是针对客运专线对路基要求较高的不是十分明显的如欠密实、地下水含量稍高等效果差,还受铁路上电缆、电力线、钢轨等影响,限制了雷达的使用。某单位曾采用车载雷达进行了全线的雷达检测,提出了令人质疑的结果,其最终成果没有被采纳。

(3) 地质雷达法对于各层厚度依据道砟和级配碎石层的介电常数(经验值)进行计算,由于道砟和路基填料的多种多样,采用经验值计算的各层厚度会产生误差。

因此,必须对原有的勘察技术进行创新,满足勘察精度的需求。

通过分析,采用地质雷达法、瞬态瑞雷波法及密点距电测深法,根据工作区的性质合理地利用诸种手段,并辅助以轻型动力触探法 N10,进行勘察。

2 物探方法原理

2.1 地质雷达法

铁路路基道砟层、孤立的不良地质体(如路堤中

存在松散区、局部含水量较大等)、路基病害(道砟陷槽、基床土存在软化)、基床土等,它们之间的物性差异很大,道砟层的介电常数在 4~8 之间,孤立的不良地质体和路基病害的介电常数大于 10、基床土的介电常数在 8~10 之间,因此具备了地质雷达探测既有铁路路基的地球物理前提。

由于不同介质具有不同的物理特性(如介电性、导电性、电磁性等),因而,对电磁波具有不同的波阻抗,其传播路径、电磁场强度以及波形特征将随所通过介质的电性和几何形态而变化;因此,从雷达反射波走时、幅度及波形资料可以推断道砟层的厚度、基床表面的变形和基床病害的状况。

2.2 瞬态瑞雷波法

横波与岩石物理性质的相关程度比纵波更具优越性。尤其在第四系地层中,横波速度取决于地层强度,在既有路基中由于横波拾取困难;利用瞬态瑞雷波与横波具有密切相关性;实际过程中,在路基上施测瞬态瑞雷波勘察代替横波。

采用瞬态瑞雷波法,通过波速的变化推断路基下明显软弱层的范围。瞬态瑞雷波法为点测,但采用的是体积勘探,以专业软件把每个测点连接绘制等速度图能清晰划分速度层,通过等速度上相对波速差异对路基本体进行判定一定的深度和里程范围低速带。波速的变化反映路基压实度的变化,通过试验总结此次对于异常范围和深度的圈定是依据 180 m/s 等值线进行划分的,对于 $V_s < 180$ m/s 并成层性比较差的分布区域为软弱带,反之则正常。

2.3 密点距电测深法

采用密点距电测深法查明路基或路基两侧地下是否存在含水量相对较高的低阻区,主要在路基两侧或护网附近等地面较平整区域开展。通过探测地下介质电性变化及特征来探测洞穴、隐患路基的延展性或成因等;通过反演成果图,确定含水低阻区域,以及相对高低阻变化,以判断渗水程度差异。

2.4 轻型动力触探法 N10

结合轻型动力触探法 N10 进行验证,依据标准贯入击数的大小,对路基下是否存在软弱层做出岩土工程评价。

3 典型实例

3.1 某客运专线地质雷达法路基隐患排查成果

沿既有路基布置 3 条测线,分别布置到路基中心线、下行线的左侧轨枕头和上行线的右侧轨枕头的道砟上。并且每条测线往返各扫描一次。每 5 m 打一标记,连续扫描。D1K160+860.5~+950.5 段、K151+

750 ~ K 152 + 000 段、K 113 + 760 ~ K 114 + 120 段雷达扫描图像成果分别如图 1 ~ 图 3 所示。

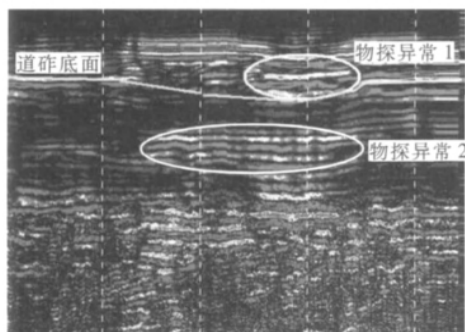


图 1 D1K 160 + 860.5 ~ + 950.5 段下行线左侧轨枕头 (I) 测线雷达扫描图像

图 1 中物探异常 1 为 D1K 160 + 903.5 ~ + 907.5 段范围,异常顶面埋深 2.0 ~ 2.5 m,推断为沉陷严重区,局部可能形成洞或裂缝;物探异常 2 为 D1K 160 + 897.5 ~ + 907.5 段范围,异常顶面埋深 5.0 ~ 7.0 m,推断为含水量偏高区域。

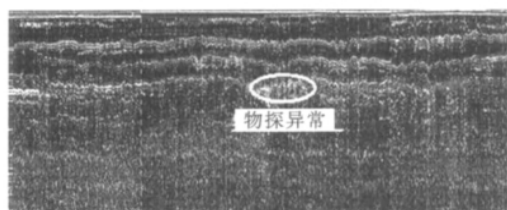


图 2 K 151 + 750 ~ K 152 + 000 段下行线左侧轨枕头 (I) 测线雷达扫描图像

图 2 中明显的三个反射层面分别为面砟、底砟、级配碎石,三层以下是不同成分的填土;本测线在 K 151 + 845 ~ + 867 段发现明显物探异常,异常顶面埋

深 1.1 m,即反射波较强区域,推断为级配碎石以下不同成分的填土含水偏高所致。

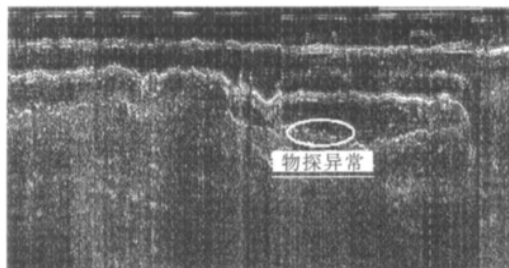


图 3 K 113 + 760 ~ K 114 + 120 段上行线右侧轨枕头 (III) 测线雷达扫描图像

图 3 中明显的三个反射层面分别为面砟、底砟和级配碎石;在 K 114 + 000 ~ + 030 段发现物探异常,异常顶面埋深 1.5 m,推断为挖方与填方过渡带基底局部下陷造成。

物探异常顶面埋深是以现场实测道砟面为基准。由于雷达发射信号产生多次反射,无法判断物探异常的底板深度。

雷达探查场地构成复杂,包括道砟、级配碎石、不同成分的填土。电磁波速度难以确定,由此物探异常的深度存在一定误差。

3.2 某客运专线 K 106 + 790 ~ + 860 段路基隐患排查瞬态瑞雷波法成果

在 K 106 + 790 ~ + 860 段路基道砟脚位置沿下行线左侧布设测线 1、沿下行线右侧砟脚布设测线 2。共 18 个测点,点距为 5 ~ 10 m,采用大锤震源,偏移距 2.0 m,道间距 0.5 m。图 4 为 K 106 + 790 ~ + 860 下行线左侧砟脚测线 1 瞬态瑞雷波法剖面图。

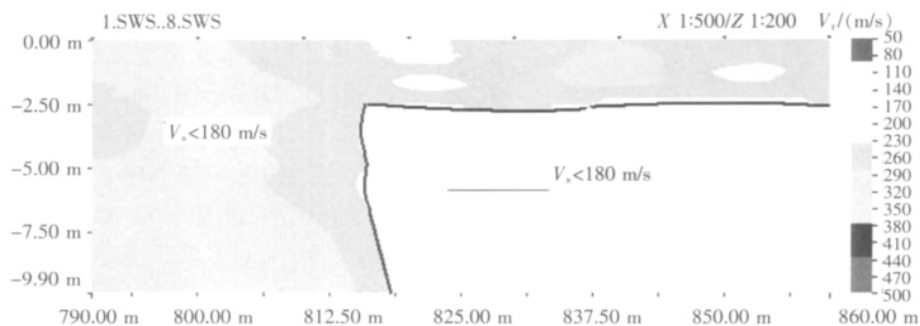


图 4 K 106 + 790 ~ + 860 下行线左侧砟脚测线 1 瞬态瑞雷波法剖面图

测线 1 剖面图中在 K 106 + 819 ~ + 860 范围 $V_s < 180$ m/s,顶面深度在 2.8 m 位置,判断其分布区域为软弱带。由于瞬态瑞雷波法解释剖面上表层存在盲

区,对路基表层填筑的级配碎石层无法分辨。剖面表层的速度为软件虚拟的速度。

瞬态瑞雷波法是一种体积勘探的物理方法,划分

的软弱带的宽度范围偏大,使用时应加以注意。

3.3 某客运专线 K36+950~K37+060 段路基隐患排查密点距电测深法成果

在 K36+950~K37+060 段下行线左侧和上行线右侧的花坛里布设测线,下行测线距下行线中心

7.5 m,上行测线距上行线中心 7.5 m,共布设了 24 个测点,点距 5~10 m, $(AB/2)_{\max} = 57.5$ m, $AB/2 = 3$ 、5、7.5、12.5、17.5、22.5、27.5、32.5、37.5、42.5、47.5、52.5、57.5 m。图 5 为 K36+950~K37+060 段上行线右侧花坛中 DP-2 测线电测深法反演纵断面图。

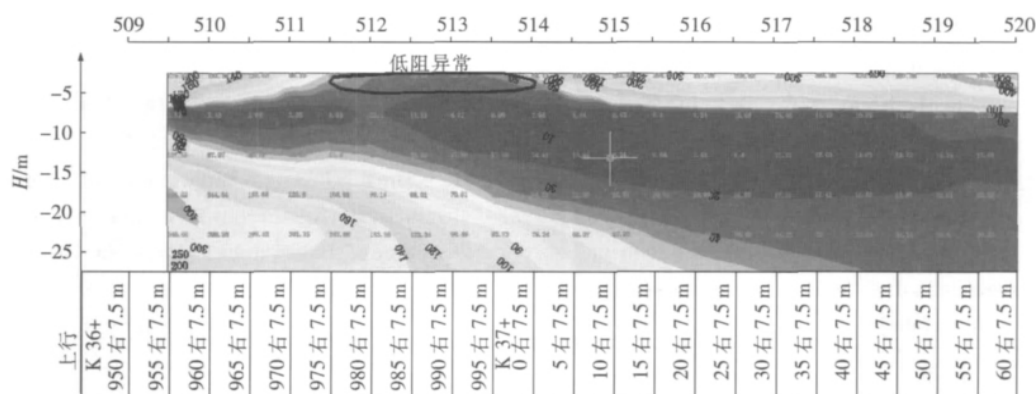


图 5 K36+950~K37+060 段上行线右侧花坛中 DP-2 测线电测深法反演纵断面图

DP-2 测线为反演深度剖面,在 K36+975~K37+000 段 2.5~5.0 m 深度上存在低阻区域,推断为浅地表渗水较多所致的低阻异常;另外从图 5 中可以看出, K37+000 左侧(小里程方向)基岩埋深较浅,右侧(大里程方向)基岩埋深较深。

最终的异常分类依据多种物探成果进行综合分析解释,圈定异常范围;并对异常进行了分类。具体如下:

- (1) 三种物探异常共存的定义为物探综合解释异常范围,判断为病害严重;
- (2) 瞬态瑞雷波法单独定义的异常为软弱带,次之;
- (3) 地质雷达法单独定义的异常分析为道砟和级配碎石层的下陷或变厚,未定义为病害;
- (4) 密点距电测深法单独的异常分析为渗水影响的路基,但存在潜在隐患。

4 研究结果

采用地质雷达法、瞬态瑞雷波法、密点距电测深法及轻型动力触探法 N10 等根据工作区的性质和具体分布特征,合理地利用诸种手段是有效的勘察方法。可以获得较好的勘察效果。

在运营路基隐患或软弱地段勘察中,通过缜密科学研究总结了适应运营路基勘察综合物探技术,具体如下:

- (1) 在路堑软弱段落应为含水量偏高—较高的路基,一般采用密点距电测深法或高密度电法则能提高工作效率,获得较好的勘察效果;缺点是受场地限制、

受电磁干扰等,实施起来效率并不是很高,有时还应采用瞬态瑞雷波法综合勘察;

- (2) 在路堤段落一般应为压实度低的软弱段落,一般采用瞬态瑞雷波法则能提高工作效率,获得较好的勘察效果,成果依据等值线数值和均匀性,可以确定路基可能存在异常(软弱)部位;

- (3) 对于路基路堤、路堑与桥接触部分,容易出现病害,表现为含水量高、密实度差,采用瞬态瑞雷波法为主,地质雷达法、轻型动力触探法为辅,可以取得良好的勘察效果;

- (4) 对于遭受水浸或水害路基段,应以地质雷达法、瞬态瑞雷波法为主,可以取得较好的勘察效果;

- (5) 运营路基检测在成果准确的基础上快速高效进行勘察还有待进一步深入研究。

5 结论

本研究总结了运营路基综合技术勘察模式,采用地质雷达法、瞬态瑞雷波法、密点距电测深法等根据工作区的性质合理地利用诸种手段,可准确地揭示出路基现状和病害位置、规模及延展范围,对隐患路基进行分类,使既有隐患路基得到及时、有效的整治,为高速铁路正常运营打下坚实基础。

在某客运专线路基隐患排查工作中,共发现异常 134 个,均进行了治理,保证了路基运营的安全。

参考文献:

- [1] 蔡英. 高速铁路路基研究[R]. 成都: 西南交通大学, 1995.

- Cai Ying. Research on High – speed Railway Subgrade [R]. Chengdu: Southwest Jiaotong University ,1995.
- [2] 杨成林. 瑞雷波勘探 [M]. 北京: 地质出版社 ,1993.
- Yang Chenglin. Rayleigh – wave Exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House ,1993.
- [3] 付平. 利用瑞利面波勘探技术确定地基承载力 [J]. 河北地质学院学报 ,1992(1) : 81 – 87.
- Fu Ping. Determination of Bearing Capacity for Foundation By Using Rayleigh – wave Techniques [J]. Journal of Hebei Geology College , 1992(1) : 81 – 87.
- [4] 铁道科学研究院. 广深线基床质量评估方法的研究 [R]. 北京: 铁道科学研究院 ,1990.
- Academy of Railway Sciences. Quality Assessment Method for Subgrade Bed of the Guangzhou – Shenzhen Railway Line [R]. Beijing: Academy of Railway Sciences ,1990.
- [5] 铁道科学研究院. 国家“八五”科研攻关项目——高速铁路线路、桥、隧设计参数的研究分报告《高速铁路路基设计技术条件的研究》[R]. 北京: 铁道科学研究院 ,1995.
- Academy of Railway Sciences. The National “85” Scientific Research Project—Report of High Speed Railway , Bridge , Tunnel ’ s Design Parameters ” Research on High Speed Railway Subgrade Design Technology ” [R]. Beijing: Academy of Railway Sciences ,1995.
- [6] 李志华. 路基稳定性无损检测方法技术研究 [J]. 铁道工程学报 2007(2) : 28 – 31.
- Li Zhihua. Research on the Method of Subgrade Stability None – damaged Testing [J]. Journal of Railway Engineering Society , 2007(2) : 28 – 31.
- [7] 刘云祯. 工程物探新技术 [M]. 北京: 地质出版社 , 2006.
- Liu Yunzhen. Engineering Geophysical Exploration of New Technologies [M]. Beijing: Geological Publishing House , 2006.
- [8] 葛双成. 综合物探技术在堤坝隐患探测中的应用 [J]. 地球物理学进展 2006(1) : 263 – 272.
- Ge Shuangcheng. Application of Comprehensive Geophysical Exploration Technique to Hidden Trouble Detection of Dyke [J]. Progress in Geophysics , 2006 (1) : 263 – 272.
- [9] 杜攀峰. 铁路路基病害的智能识别 [J]. 铁道学报 2010 (3) : 142 – 146.
- Du Panfeng. Intelligent Recognition of Defects in Railway Subgrade [J]. Journal of the China Railway Society. 2010(3) : 142 – 146.
- [10] 李海. 地质雷达法探测道碴厚度的技术研究 [J]. 路基工程 2002(4) : 23 – 26.
- Li Hai. Geological Radar Method to Detect the Thickness of the Ballast [J]. Subgrade Engineering , 2002(4) : 23 – 26.

(编辑 曹淑荣)

(上接第 25 页)

- [6] 西藏自治区地质矿产厅. 西藏自治区地热资源开发利用现状及环境影响调查报告 [R]. 拉萨: 西藏自治区地质矿产厅 , 2000.
- The Geology and Mineral Resources Office of the Tibet Autonomous Region. The Status Quo of Geothermal Resources Development and Utilization and the Environmental Impact Survey Reports of Tibet Autonomous Region [R]. Lhasa: The Geology and Mineral Resources Office of the Tibet Autonomous Region 2000.
- [7] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册(修订版) [K]. 北京: 中国铁道出版社 ,1999.
- The First Survey and Design Institute of Ministry of Railway. The Railway Engineering Geology Manual (Revision) [K]. Beijing: China Railway Publishing House ,1999.
- [8] 铁道部第一勘测设计院. 新建铁路拉萨至日喀则线可行性研究报告 [R]. 西安: 铁道部第一勘测设计院 2006.
- The First Survey and Design Institute of China Railway. The Feasibility Study Report of the Newly Built Railway from Lhasa to Xigaze [R]. Xi’ an: The First Survey and Design Institute of China Railway , 2006.
- [9] 铁道部第一勘测设计院. 新建铁路拉萨至日喀则线色麦至大竹卡峡谷地段断裂构造调查专题研究报告 [R]. 西安: 铁道部第一勘测设计院 2006.
- The First Survey and Design Institute of China Railway. The Faults Investigation Special Report of the Se – mai to Da – zhu – ka Canyon Area Belonging to the Newly Built Railway from Lhasa to Xigaze [R]. Xi’ an: The First Survey and Design Institute of China Railway , 2006.
- [10] 曹峰, 范春林. 综合地质勘察方法在甘塔斯隧道的应用实例 [J]. 铁道工程学报 2011(8) : 18 – 22.
- Cao Feng ,Fan Chunlin. Application of Comprehensive Geological Survey Methods in Construction of Ganntas Tunnel in Algeria [J]. Journal of Railway Engineering Society , 2011(8) : 18 – 22.

(编辑 吕 洁)