

# 沪宁铁路翻浆冒泥病害的地质雷达检测

杨新安 高艳灵

(同济大学铁道建筑系 上海 200092)

**摘要** 根据沪宁线地质雷达检测翻浆冒泥病害的实践,研究了地质雷达检测结果的分析方法,给出路基结构分层及其雷达图像特征。根据翻浆冒泥病害特征提出翻浆冒泥通道的概念,揭示了翻浆冒泥病害沿路基深度方向和线路纵向的分布特征,提出根据一段线路翻浆冒泥通道的发育和分布型式确定其翻浆冒泥病害分类的方法。应用该方法给出了沪宁线18段共4000多米长的翻浆冒泥和下沉外挤病害线路的地质雷达检测结果,为病害路段的整治设计提供了依据。

**关键词** 铁路,沪宁线,地质雷达,路基检测

**分类号** U 212.2

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-6915(2004)01-0116-04

## GPR INSPECTION FOR SHANGHAI—NANJING RAILWAY TRACKBED

Yang Xin'an, Gao Yanling

(Department of Railway Engineering, Tongji University, Shanghai, 200092 China)

**Abstract** A new method is developed for interpreting GPR data to describe trackbed substructure layers and evaluate mud pumping along railway. This new method uses GPR image patterns to identify the substructure layers and types of mud pumping, and includes a new inspection concept called as mud pumping passage. Specifications of this new inspection method are outlined in this paper and its application is described for evaluating the railway from Shanghai to Nanjing. Details of the mud pumping results are given along with available repair recommendations.

**Key words** railway, Shanghai-Nanjing railway, GPR, trackbed inspection

## 1 引言

铁路沪宁线全长303 km,5 a多来列车多次提速。目前开行客车53对,货车59对,行包专列4对,计116对。其中特快、快速旅客列车11对,25 t轴重机车牵引的重载货物列车18列,线路允许速度160 km/h,年通过总重上行70 Mt,下行110 Mt,是典型的客货混跑、重载与快速并存、运输能力严重饱和的特别繁忙干线<sup>[1]</sup>。列车大幅提速和运能饱和,路基内的应力水平、分布状态和作用方式

显著改变。2000年底,沪宁线高资—苏州总共18段(上行K252+260~K253+060等),合计4120 m长线路出现以翻浆冒泥为主要特征的病害<sup>[1,2]</sup>。

翻浆冒泥分为道床性的和基床性两种。目前,整治道床性翻浆冒泥线路每公里费用只需几万元,整治基床性翻浆冒泥每公里费用则需近百万元,因此,区分翻浆冒泥病害类型和确定其具体里程是十分重要的,是制订整修计划的关键<sup>[3]</sup>。为此,2000年底,同济大学和上海铁路局决定将地质雷达探测技术应用于沪宁线翻浆冒泥病害类型与路基状况检测。实践表明,地质雷达可以快速、无损、连续和

2002年2月6日收到初稿,2002年4月30日收到修改稿。

作者 杨新安 简介:男,39岁,博士,1995年毕业于中国矿业大学采矿工程专业,现任副教授,主要从事铁道工程和锚固技术方面的教学和研究工作。E-mail: yang\_xinan@yahoo.com。

高精度地检测铁路路基,不但能够给出病害区段轨下结构分层,还可给出各测段翻浆类型及需要作为基床病害整治的具体里程,为整治设计提供了依据<sup>[4]</sup>。作者还完成了东陇海线云台山隧道及两端路堑基床病害探测,也取得良好效果<sup>[5]</sup>。

## 2 沪宁线翻浆冒泥病害的地质雷达检测

病害段地质雷达检测按工务段根据挖探提供的里程,为保证探测区段资料完整性和与相邻段对比,每个探测区段向两边延伸 25 m。沿线路纵向布置两条测线,一条沿轨道中心线;另一条一般沿上行线和下行线之间一侧碴肩靠钢轨纵向探测。横断面一般每 50 m 线路布置一条测线,另在病害显现地段加布横向测线。

## 3 沪宁线翻浆冒泥病害的地质雷达检测结果分析

### 3.1 路基结构分层及其雷达图像特征

#### 3.1.1 路基结构分层雷达图像特征<sup>[6]</sup>

(1) 在道碴表面以下 0.35~0.5 m 范围内存在两个明显的反射界面。这两个界面反射波强度基本相同,相互之间距离较近,有的测线由于两反射面过近,在雷达图像表现为只有一个连体的雷达反射波,这说明在此深度范围内,存在一个明显的、与上面介质不同的、厚度为 0.10~0.15 m 的薄夹层,根据挖探资料可知这一夹层为砂垫层。

(2) 在道碴表面以下 0.55~0.75 m 范围内存在另一个明显的反射界面,分析认为应为原有道碴与基床土的分界面。

#### 3.1.2 路基结构分层

沪宁线道床标准高,基床情况因运营期长而历次整修。雷达检测表明,路基结构自上而下分为道碴层、砂垫层、旧道碴层和基床填土,道碴层总厚度一般为 0.50~0.75 m,砂垫层之上道碴厚度一般为 0.30~0.40 m,砂垫层厚 0.10~0.15 m,砂垫层之下一般还有旧道碴,有些基床土质量好的地段无砂垫层。

雷达检测不但能够给出路基的分层结构,沿线路纵向探测还可以区分纵向各段的差异,本次雷达

检测发现沪宁线普遍发育有翻浆通道,有助于研究翻浆冒泥机理,并采取合理的整治措施。

### 3.2 翻浆冒泥病害显现与翻浆通道

作者采用地质雷达探测等手段完成了沪宁线、东陇海线数项既有线路的翻浆冒泥、下沉外挤病害检测项目,检测结果提供了大量的线路纵向连续的地质雷达图像信息,也提供了与之对应的横断面剖面信息,而且深入到路基表面以下 3 m,全面反映路基的立体信息,这些检测结果有些还得到挖探、施工开挖和轻便动力触探试验的验证。

根据大量地质雷达探测图像发现,既有线路经过几十甚至近百年的运营,基床土累积变形显著。翻浆冒泥病害地段的基床土和路基土中发育有许多上下导通的“翻浆冒泥通道”,简称翻浆通道。翻浆通道是指雷达图像波形在某一段同相轴不连续,其波形自上而下与周围明显不同,主要由于翻浆通道内介质与周围不同,引起其介电常数不同产生波形异常。

实际上,翻浆通道的发育程度和形式非常复杂,从线路纵向雷达图像剖面图可见,它使有序波形紊乱。翻浆通道通常呈不规则形状,上小下大的火山锥形较多。有些在地基和基床土内发育有翻浆通道,但尚未穿透砂垫层和道碴层,见图 1(a)所示;有些发育自基床土、地基中的翻浆通道穿透了砂垫层但尚未穿透道碴层,见图 1(b)所示;有些则完全冒穿砂垫层和道碴层,在道碴面上可见翻浆物,见图 1(c)所示。

冒穿道碴层的翻浆冒泥通道危害最严重,会引起道床板结,必须加以整治,现场踏勘就可以辨别出这些冒穿的病害点;冒穿砂垫层的翻浆冒泥通道已破坏了砂垫层,有些虽未完全穿透道碴层,但进一步发展会冒穿道碴层,也应作为基床翻浆来整治;发育在基床土中的翻浆通道很多并未冒穿道碴层和砂垫层,但它表示了基床土的变形程度,以及路基内隐性病害的程度,据此可以预测病害的进一步发展。

翻浆冒泥病害不仅与翻浆通道占测段总长的比例有关,而且与翻浆通道的分布形式有关。根据各测段道中和轨枕头冒穿砂垫层的翻浆通道的分布形式将其分为:集中分布型和均匀分布型两种,并据此确定其病害类型。

集中分布型——翻浆通道仅集中于探测线路的某些区段,而长度较长的其他区段无翻浆通道

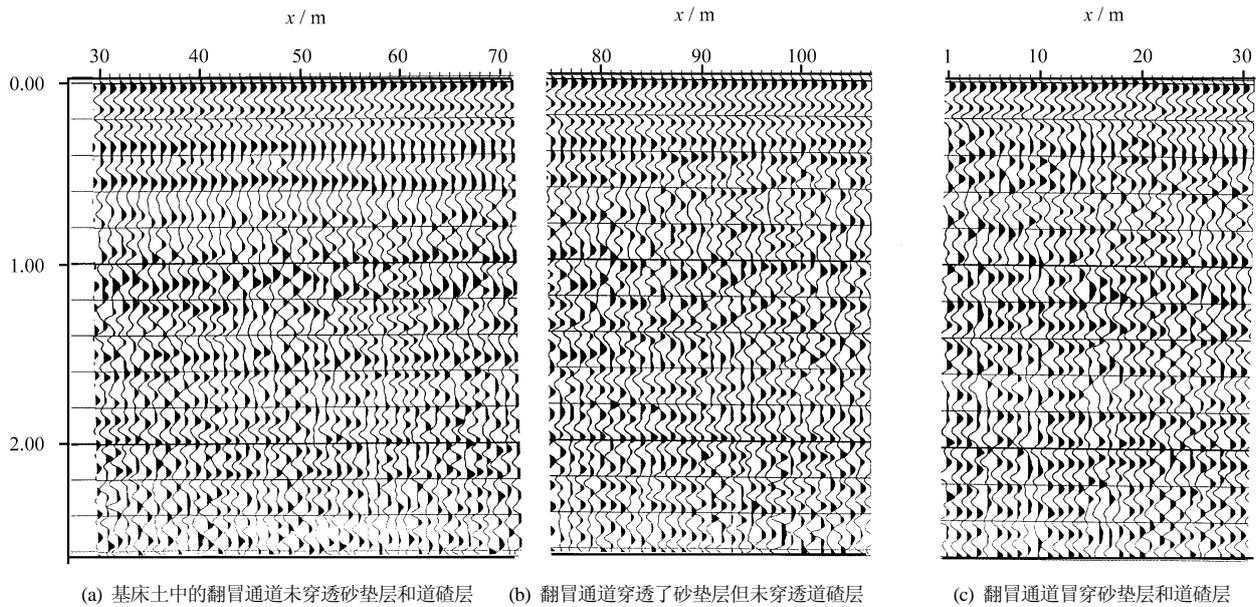


图 1 翻浆冒泥通道典型雷达图像图

Fig.1 GPR data of three kinds of passage of mud pumping in trackbed and subgrade of railway

区, 这种病害类型表现为以道床翻浆为主, 仅仅局部存在基床翻浆。

均匀分布型——翻浆通道沿探测线路广泛分布, 翻浆通道之间的无翻浆通道区段短而多, 其病害类型主要表现为基床翻浆冒泥。

### 4 探测结果与整治建议

#### 4.1 探测结果

根据雷达图像得出的翻浆冒泥通道的发育程度和形式, 对各测段的病害类型划分如表 1。

#### 4.2 整治建议<sup>[7, 8]</sup>

翻浆通道呈均匀分布型的测段, 病害性质属基床翻浆冒泥, 建议整段按基床翻浆进行整治, 整治方法可采用, 清除混碴, 用粗砂适当换填基床土并铺土工布, 以阻隔基床土进一步翻浆, 防止地表水下渗加重翻浆冒泥严重程度。

翻浆通道呈集中分布型的路段, 属于以道床翻浆冒泥为主, 局部存在基床翻浆冒泥的病害, 由于翻浆通道只在局部地段集中分布, 建议只对基床翻浆段采用换填基床土和铺土工布进行整治, 其他区段则按道床病害整治。

轻度翻浆冒泥病害的路段, 冒穿砂垫层的翻浆通道所占比例一般较小, 只需作为道床病害整治。

### 5 结 语

地质雷达检测是一种非接触性检测方法, 非常适合于铁路路基检测<sup>[9, 10]</sup>。上述检测实践和作者完成的东陇海线云台山隧道及两端路堑基床病害检测等工程表明, 根据上述地质雷达图像判释方法和翻浆冒泥病害分类方法, 可以对一段线路的病害类型进行确定, 进而确定其中那些属基床翻浆, 需按基床病害整治; 那些属道床翻浆, 应按道床病害整治, 并给出对应里程, 工务部门可据此确定整治方案和进行设计。而传统的挖探方法不但效果差、费时费工, 而且对线路有损, 且仅能反映局部点的信息, 不能准确地掌握整个线路路基的全面信息; 另外挖探方法无法检测线路基床深部病害状况。地质雷达检测既能适应既有线路的运营要求, 又具有快速、无损、连续、精度高等优点, 相对于传统的挖探方法更科学、可靠。工务管理部门已经认识到其独特作用, 进一步的应用研究工作正在进行。

**致谢** 本文研究与现场检测得到上海铁路局工务处、镇江工务段和苏州工务段领导、技术人员及工人同志的大力支持和帮助, 作者表示衷心的感谢!

表 1 各测段病害类型表

Table 1 Mud pumping classification in the trackbed and subgrade of Shanghai—Nanjing Railway

测 段	里 程	翻冒通道形式	翻冒通道占测 段总长比例/%	病 害 类 型
镇江第 1 测段	上行 K252+260~K253+060	集中分布型	8.35	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 2 测段	上行 K251+730~K251+980	集中分布型	14.00	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 3 测段	上行 K250+560~K250+680	集中分布型	14.12	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 4 测段	上行 K249+750~K249+950	均匀分布型	18.80	基床翻浆冒泥
镇江第 5 测段	上行 K247+830~K247+980	集中分布型	17.00	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 6 测段	上行 K189+030~K189+080	集中分布型	6.00	道床翻浆冒泥
镇江第 7 测段	上行 K187+980~K188+180	集中分布型	3.00	道床翻浆冒泥
镇江第 8 测段	上行 K186+830~K186+930	集中分布型	10.67	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 9 测段	上行 K184+030~K184+080	均匀分布型	48.00	基床翻浆冒泥
镇江第 10 测段	上行 K180+980~K181+080	集中分布型	18.00	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 11 测段	上行 K172+380~K172+430	均匀分布型	28.00	基床翻浆冒泥
镇江第 12 测段	上行 K171+780~K171+930	集中分布型	11.50	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 13 测段	上行 K170+430~K170+530	集中分布型	16.67	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 14 测段	上行 K170+180~K170+280	集中分布型	16.00	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆
镇江第 15 测段	上行 K166+730~K166+880	均匀分布型	21.50	基床翻浆冒泥
镇江第 16 测段	上行 K164+480~K164+530	/	/	道床状态完好
苏州第 1 测段	上行 K140+450~K141+450			基床翻浆冒泥与下沉外挤
苏州第 2 测段	下行 K83+725~K83+484	均匀分布型	27.80	基床翻浆冒泥
	下行 K83+484~K83+235	集中分布型	12.45	以道床翻浆为主局部存在基床翻浆

参 考 文 献

1 李庆鸿, 范钦爱, 高静华. 沪宁线工务一体化改革对策与初步实践[J]. 上海铁道科技, 1998, (3): 6~9

2 祝志云. 上海局运营路基问题的回顾及建议[J]. 路基工程, 1995, 12(5): 13~17

3 铁道部运输指挥中心. 工务部门“九五”工作回顾和“十五”工作意见[J]. 铁道工务, 2001, (1): 2~11

4 杨新安, 高艳灵, 刘 征. 论铁路既有线路基检测[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增): 2 363~2 366

5 杨新安. 云台山隧道与两端线路路基病害的探地雷达检测[J]. 地质科技情报, 2002, 21(4): 86~88

6 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994

7 杨若芳, 杨灿文. 防治翻浆冒泥新技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989

8 Gerard Gallagher, Quentin Leiper, Maxwell Clark. Ballast evaluation using ground-penetrating radar[J]. Railway Gazette International, 2000, (2): 188~189

9 Selig E T. Ballast deformation: its causes and cures[J]. Railway Track And Structures, 1998, 94(5): 25~30

10 Hugenschmidt J. Railway track inspection using GPR[J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, (43): 147~155