

文章编号: 1674—8247(2022)03—0096—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.03.019

## 川中红层泥岩高速铁路路基上拱病害处理设计

司文明<sup>1</sup> 庞永海<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都衡泰工程管理有限公司, 成都 610094)

**摘 要:**高速铁路无砟轨道路基工程在川中红层泥岩区域建设过程中产生了上拱的病害, 严重影响了行车安全性, 且上拱病害整治处理的难度高、代价大, 因此应从勘察设计阶段采取针对性的预防和处理措施, 从根本上有效消除上拱病害的影响。本文在总结川中红层泥岩区域上拱病害工程案例经验教训的基础上, 归纳了影响路基上拱病害产生的 4 个重要因素, 研究探讨了在川中红岩地区的两条高速铁路勘察设计阶段, 有效地降低路基上拱风险的工程设计措施, 可为类似工程设计提供借鉴和指导。

**关键词:**高速铁路; 路基上拱; 红层泥岩; 病害; 膨胀

中图分类号: U213.1 文献标志码: A

## The Design of Disease Treatment for the Upheaval of Subgrade of High-speed Railway on Red Bed Mudstone in Central Sichuan

SI Wenming<sup>1</sup> PANG Yonghai<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;  
2. Chengdu Hengtai Engineering Management Co., Ltd., Chengdu 610094, China)

**Abstract:** Upheaval disease has been produced during the subgrade works for ballastless track of high-speed railway in red mudstone areas in Central Sichuan, seriously affecting the safety of train operation, and its treatment is difficult and costly. Therefore, targeted prevention and treatment measures should be taken from the survey and design stage to fundamentally and effectively eliminate the impact of the upheaval disease. On the basis of summarizing the experience and lessons of the engineering cases of the upheaval disease in the red bed mudstone areas of Central Sichuan, this paper generalizes four important factors affecting the occurrence of the upheaval disease of the subgrade and discusses the engineering design measures to effectively reduce the risk of the upheaval disease of the subgrade in the survey and design stages of two high-speed railways in red bed mudstone areas of Central Sichuan, providing reference and guidance for similar engineering design.

**Key words:** high-speed railway; subgrade upheaval; red bed mudstone; disease; swelling

红层是一种外观以红色为主色调的陆相碎屑岩沉积地层, 在我国西南地区分布较为广泛。其中四川盆地及其周边山地分布的红层泥岩俗称“川中红层”, 是

一种典型的软质泥岩, 具有强度低、易风化剥落、易软化、遇水膨胀崩解、失水收缩开裂等工程特性, 工程性质差, 普遍存在一定的膨胀性和显著的流变性。近年

收稿日期: 2022-01-07

作者简介: 司文明(1986-), 男, 高级工程师。

引文格式: 司文明. 川中红层泥岩高速铁路路基上拱病害处理设计[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(3): 96-99.

SI Wenming, PANG Yonghai. The Design of Disease Treatment for the Upheaval of Subgrade of High-speed Railway on Red Bed Mudstone in Central Sichuan[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3): 96-99.

来,随着高速铁路建设的迅猛发展,川中红层泥岩高铁路基上拱变形病害问题逐渐突显<sup>[1-3]</sup>。

上拱病害的发生与红层泥岩的工程特性密不可分。王冲<sup>[4]</sup>等认为遇水后“无膨胀性”的低黏土矿物含量泥岩是引发路基上拱病害的原因。吴沛沛<sup>[5]</sup>通过数值分析发现红层泥岩的流变性是致使路基出现随时间增长而持续上拱变形的主要原因。敬洪武<sup>[6]</sup>通过对红层泥岩水理特性的研究分析,认为红层泥岩遇水膨胀是导致无砟轨道路基持续上拱的内在机制。杨吉新<sup>[7]</sup>等认为红层泥岩的蠕变及卸荷回弹综合造成了路基上拱。钟志彬<sup>[8]</sup>等研究发现红层泥岩的流变性和膨胀性是引起川中地区多处高速铁路路基长期持续性上拱变形的重要因素。

绵泸高速铁路内江至自贡至泸州段、荣昆高速铁路自贡至宜宾段均位于川中红层广泛分布的区域,路基长度所占比重大,解决路基上拱的问题较为突出。本文以两线路基设计为依托,为避免出现路基上拱病害,创新勘察设计手段,优化设计理念,在充分吸取既有研究成果的基础上,综合分析研判区域性工程水文地质情况,从工程建设的源头采取针对性措施,为后续的安全施工和运营提供坚强的技术保障。

## 1 工程地质概况

内江至自贡至泸州段、自贡至宜宾段铁路以低山丘陵地貌单元为主,海拔200~500 m,地形起伏较小。区段内出露地层为中生界白垩系、侏罗系、三叠系地层。其中尤以侏罗系中统上沙溪庙组、下统珍珠冲组为主,占全线总长度的70%左右。岩性以泥岩为主,局部夹砂岩,属典型的川中红层,泥岩为紫红色、红褐色,泥质结构,钙-泥质胶结,岩质较软,易风化剥落,遇水软化崩解,失水收缩开裂。区内属长江水系,地表水较发育;地下水主要有第四系松散岩类孔隙潜水、基岩裂隙水等,沟槽中水位埋深较浅。

路堑开挖揭示挖方段上覆土层较薄,下伏为典型的红层泥岩,开挖后风化较快,局部易出现掉块现象,不过整体稳定性较好。室内试验结果显示,区段内红层泥岩普遍具有一定的膨胀性,自由膨胀率和膨胀力指标普遍较低,多数段落尚未达到规范规定的膨胀岩标准,部分段落达到弱膨胀岩标准。

## 2 研究思路

首先,搜集分析川中红岩地区既有高速铁路路基上拱的工程案例和相关文献资料,搞清楚专业研究人

员对路基上拱问题的认知,弄明白此问题的原因分析和原因分类,总结归纳影响高速铁路路基发生上拱变形的关键因素。其次,充分了解研究工程的工程特点、设计条件、工程地质参数、水文资料、其他各类气象条件等。再次,综合现阶段的相关规范要求、勘察技术水平、设计理念、施工控制、检测手段等各方面因素,吸取经验,总结教训,理清分析思路,采取优化完善设计的针对性方案措施。

影响高速铁路路基上拱的因素可归纳为环境因素和人为因素两大类。环境因素包含地质条件、水的影响、温度条件及其他气象条件等;人为因素主要是指规范要求、勘察技术水平、设计理念、施工过程控制、检测手段等。结合目前对红层泥岩上拱问题的认知水平,对所有影响因素逐条确认,找出主要原因有以下几点:

### (1)地质条件

红层泥岩特殊的地质条件是导致路基上拱的内在原因。基于此,需进一步查明区间不同段落红层泥岩物理力学指标的细微差别,特别是不同段落泥岩的膨胀性指标。针对不同的膨胀性指标,采取针对性的设计方案、工程措施,对现场施工提出合理的设计和施工要求。

### (2)水的影响

调查清楚原始地表水的下渗影响、地下水的分布与径流区域。施工过程中因局部地形地貌的重大改变,改变了原处于封闭状态的弱风化红层泥岩的赋存环境条件时,需合理推测地表水新的下渗范围及地下水的重新分布与径流区域,采取针对性的防排水设计措施。

### (3)勘察技术水平

受技术、设备条件的制约,地质勘察不够详尽。对红层泥岩的勘察水平有待进一步提高,尤其是对其膨胀性和流变性的进一步勘察判别。

### (4)设计理念

进一步提高设计理念,采取动态化设计,采取专门的方案和措施。

## 3 勘察设计处理方案

### 3.1 针对性设计措施

合理、有效、准确地判别区域内红层泥岩的膨胀性,根据类型采用针对性的设计措施。

依据专项膨胀性试验结果,段内红层泥岩可分为具有一定膨胀性的非膨胀岩、弱膨胀岩和中~强膨胀岩。

(1)对于具有一定膨胀性的非膨胀岩挖方路基段落,采取路堤式路堑的形式,基床底层挖除1.5 m厚度的红层泥岩,换填合格的A、B组填料,路堤式路堑的高度为0.6 m。相较于非红层泥岩,段路基床底层挖除换填深度提高了2倍<sup>[9]</sup>。

(2)对于弱膨胀岩挖方路基段落,也采取路堤式路堑的形式,基床底层2.3 m厚度内的红层泥岩应全部挖除,换填成合格的A、B组填料,路堤式路堑的高度为3.0 m,使整个基床表层和基床底层全部外露。

(3)对于中~强膨胀岩挖方路基段落,同样采取路堤式路堑的形式,基床底层2.3 m厚度内的红层泥岩全部挖除换填成合格的A、B组填料,路堤式路堑的高度为3.0 m,使整个基床表层和基床底层全部外露。在此基础上,基床以下增设桩板结构,进一步消除红层泥岩膨胀性的不利影响。

### 3.2 有效消除基床结构内水的影响

广泛收集和分析沿线历年水文资料,在掌握准确水文情况的基础上,采取针对性的设计思路,尽可能消除水对红层泥岩挖方段落内路基基床结构本身的影响,严格控制地表水下渗,合理降低基床结构内地下水的水位。

(1)红层泥岩全线路基挖方段落均采用路堤式路堑的形式,在路堤式路堑两侧设置侧沟。使基床表层和基床底层全部外露,基床底层的水自然顺流流入侧沟,侧沟底部再设置纵向排水盲沟,达到完全排出基床范围内的残留水及进一步降低地下水水位的效果。

(2)路基基床表层排水系统应确保雨水自然流入旁侧的沟槽中,排出基床外,同时基床表层顶部采用0.1 m厚的C25细石纤维混凝土封闭,进一步阻止雨水下渗。

(3)路基基床底层换填底面铺设一层0.1 m厚的中粗砂加一层复合防排水板,防排水板能有效阻挡基床以下水的毛细上升作用,也能有组织地排出基床范围内的水,起到较好的隔离和排水作用。

### 3.3 提高红层泥岩的勘察设计水平

针对红层泥岩的特殊性,在勘察设计阶段,应采用先进的、多种多样的勘察手段,详细准确分析红层泥岩的各类物理力学指标、调查出地下水的发育情况及径流路径,采用准确合理的试验手段,准确判别红层泥岩的膨胀类别和膨胀等级,为针对性的设计措施提供坚实充分的设计依据。

### 3.4 采取精细化动态设计理念

在高速铁路红层泥岩路基设计过程中,为加强对

无砟轨道路基上拱问题的防范,需采用精细化、动态的设计理念,根据物理力学指标,进行详细的专题设计。并在施工现场严格把控设计方案的落实。在现场施工开挖后再次开展地质核查和进一步的试验测试工作,验证物理力学参数和膨胀性指标;进一步核查地下水的分布和径流情况,确保截排水措施的施作质量。

红层泥岩挖方路基段落设置路基变形自动监测系统,实时判别路基段落变形情况,根据自动变形监测数据评估后期膨胀变形及应采取的工程措施。

## 4 结束语

本文通过对高速铁路红层泥岩路基的设计探讨,明确了设计过程中需要重点控制的4个重要因素。在高速铁路红层泥岩路基设计过程中,应采用多样性的勘察及试验手段,详细查明红层泥岩的物理力学参数,高度重视膨胀岩的判别,查明地下水的分布和径流情况,在路基基床范围内采取针对性的措施,挖除既有红层泥岩换填合格的级配砂石填料,严格控制水的影响,运用动态化设计理念,加强设计与现场施工过程中的正向反馈。采用针对性的处理方式,既能有效地降低工程投资,又能系统防控路基上拱病害的产生,能更好地确保高速铁路的安全运营。

## 参考文献:

- [1] 郭永春, 谢强, 文江泉. 我国红层分布特征及主要工程地质问题[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(6): 67-71.  
GUO Yongchun, XIE Qiang, WEN Jiangquan. Red Beds Distribution and Engineering Geological Problem in China[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 34(6): 67-71.
- [2] 黄绍彬, 程强, 胡厚田. 四川红层分布及工程环境特征研究[J]. 公路, 2005, 50(5): 81-85.  
HUANG Shaobin, CHENG Qiang, HU Houtian. A Study on Distribution of Sichuan Red Beds and Engineering Environment Characteristics[J]. Highway, 2005, 50(5): 81-85.
- [3] 魏永幸, 张仕忠, 甘鹰, 等. 四川盆地红层泥岩的基本特性和膨胀性及软化的试验研究[J]. 工程勘察, 2010, 38(S1): 61-68.  
WEI Yongxing, ZHANG Shizhong, GAN Ying, et al. Experimental Study on the Essential Feature and Swelling and Softening Characteristics of Red-bed Mudstone in Sichuan Basin [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010, 38(S1): 61-68.
- [4] 王冲, 王起才, 张戎令, 等. 无砟轨道高速铁路路基上拱病害成因分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(12): 252-256.  
WANG Chong, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Analysis of Arch Disease of Ballastless Track High-speed Railway[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(12): 252-256.
- [5] 吴沛沛. 基于流变的高速铁路深挖路堑长期上拱变形数值分析[J]. 路基工程, 2019(1): 135-139.

WU Peipei. Numerical Analysis on the Long-Term Upheaval Deformation of High-speed Railway Deep Cutting Based on Rheology [J]. Subgrade Engineering, 2019(1): 135 – 139.

[6] 敬洪武. 川中红层水理特性及对无砟轨道变形影响机制分析 [J]. 地质灾害与环境保护, 2019, 30(2): 35 – 40.

JING Hongwu. Water-Physical Property of Sichuan Central Redbeds and It's Influence on the Deformation Mechanism Analysis Ballastless Track [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2019, 30(2): 35 – 40.

[7] 杨吉新, 马旭超, 刘前瑞. 关于成渝高铁路基上拱问题的探讨 [J]. 铁道建筑, 2016, 56(8): 112 – 115.

YANG Jixin, MA Xuchao, LIU Qianrui. Exploring on Subgrade Swelling of Chengdu-Chongqing High Speed Railway [J]. Railway Engineering, 2016, 56(8): 112 – 115.

[8] 钟志彬, 李安洪, 邓荣贵, 等. 川中红层泥岩时效膨胀变形特性试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(1): 76 – 86.

ZHONG Zhibin, LI Anhong, DENG Ronggui, et al. Experimental Study on the Time-Dependent Swelling Characteristics of Red-Bed Mudstone in Central Sichuan [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(1): 76 – 86.

[9] 周波, 张良, 付正道. 高速铁路无砟轨道软岩路堑基床换填厚度研究 [J]. 高速铁路技术, 2019, 10(3): 73 – 77.

ZHOU Bo, ZHANG Liang, FU Zhengdao. Research on Replacement Thickness of Soft Rock Cutting Subgrade Bed of High-speed Railway with Ballastless Track [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 73 – 77.

(上接第 84 页)

停列车旅行时间,说明越行站宜等时距布局,以最大限度减少运行空费,提高线路利用率和运行效率,如此每个越行区间等时距分布,系统通过能力和服务水平实现最大化。同时为保障系统通过能力和服务水平实现最大化,需要列车运行图的稳定,列车运行图的稳定性是列车在日常运输生产中能否保障按图行车、提高运营可靠性的关键,列车运行图稳定性的研究一直是铁路运输生产计划部门和调度部门关注的重点<sup>[8]</sup>。每个越行区间等时距分布有效解决了列车运行图的稳定性,最大限度提高了市域(郊)铁路的系统设计能力和服务水平。

5 结束语

本文探索性地研究了市域(郊)铁路系统设计的关键技术,得出以下主要结论:

(1)新建市域(郊)铁路系统功能为提供早晚高峰 1 h 通勤圈公交化运输服务;系统设计需要实现系统通过能力和服务水平最大化的设计目标。

(2)从功能、系统设计目标和工程建设的角度分析,列车越行条件下新建市域(郊)铁路系统设计的关键技术为越行站站间距离。

(3)实现新建市域(郊)铁路系统设计功能和目标的关键技术为越行站等时距车站分布。

本文结论对新建市域(郊)铁路设计和运营具有指导意义,对越行条件下的城市轨道交通快线也具有一定借鉴作用。

参考文献:

[1] 国务院办公厅. 关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见 [Z]. 北京:国务院办公厅,2020.

The General Office of the State Council. Opinions on Accelerating the Development of Metropolitan Suburban Railways [Z]. Beijing: The General Office of the State Council, 2020.

[2] TB 10624 – 2020 市域(郊)铁路设计规范 [S].

TB 10624 – 2020 Standard Code for Design of Municipal (Suburban) Railway [S].

[3] T/CRS C0101 – 2017 中国铁道学会标准市域铁路设计规范 [S].

T/CRS C0101 – 2017 Standard Code for Design of Municipal Railway of China Railway Society [S].

[4] 闫海峰, 鲁工圆, 薛锋. 铁路通过能力计算方法 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2019.

YAN Haifeng, LU Gongyuan, XUE Feng. Calculation Method of Railway Carrying Capacity [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2019.

[5] TB 10621 – 2014 高速铁路设计规范 [S].

TB 10621 – 2014 Code for Design of High Speed Railway [S].

[6] 马保仁. 我国高速铁路列车运行图现状分析及展望 [J]. 高速铁路技术, 2021, 12(5): 8 – 11.

MA Baoren. Analysis on Current Situation and Prospect of Train Diagram of High-speed Railway in China [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(5): 8 – 11.

[7] 于汝滨, 任冲, 闫海峰. 繁忙高速铁路列车运行图结构优化研究 [J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(12): 1 – 8.

YU Rubin, REN Chong, YAN Haifeng. Optimization of Train Working Diagram Structure for Busy High-speed Railway Lines [J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(12): 1 – 8.

[8] 王凯. 高速铁路列车运行图稳定性研究 [J]. 铁道经济研究, 2019(4): 36 – 39.

WANG Kai. Research on the Stability of High-speed Railway Train Diagram [J]. Railway Economics Research, 2019(4): 36 – 39.