

Discussion on Countermeasures and Measures for Railway Construction in Expansive Soil Areas

Qiaoliang He

China Railway Second Survey and Design Institute Engineering Group Co.,Ltd., Nanning, Guangxi, 530022, China

Abstract

The expansive soil is widely distributed in China, posing challenges to railway engineering construction. This paper analyzes the mechanism of expansive soil, its engineering characteristics, and major hazards. Taking the construction of the second line in the Nanning-Baise section of the Nankun Railway as an example, it proposes corresponding countermeasures and suggestions in three aspects: railway route selection, engineering measures, and remediation of defects.

Keywords

expansive soil; railway; route selection; remediation

膨胀土地区铁路建设对策措施探讨

何乔亮

中铁二院工程集团有限责任公司, 中国·广西南宁 530022

摘要

膨胀土在我国分布广泛, 对铁路工程建设构成挑战。本文通过对膨胀土作用机理、工程特性及主要危害的分析, 以南昆铁路南宁至百色段增建二线工程为例, 在铁路选线、工程措施、病害整治三个方面, 提出了相应的对策和建议。

关键词

膨胀土; 铁路; 选线; 整治

1 引言

膨胀土是一种具有显著吸水膨胀、失水收缩特性的特殊土体, 其矿物成分以强亲水性黏土矿物(如蒙脱石、伊利石)为主, 对环境湿度变化极为敏感。因其独特的工程特性, 常对铁路工程建设构成严重威胁, 被称为“工程癌症”。膨胀土分布广泛, 其中, 在广西主要分布于右江河谷及宁明盆地。本文将系统分析膨胀土对建设工程的影响机理、主要危害及防控措施, 以南昆铁路南宁至百色段增建二线工程处理膨胀土措施为例, 探讨铁路工程在该不良工程地质条件下的应对策略, 以期能为工程实践提供参考。

2 膨胀土的作用机理、工程特性及主要危害

2.1 膨胀土的作用机理

膨胀土的作用机理在于其内部强烈的物理化学作用。土体矿物颗粒外层带负电荷, 可吸附水分子, 构成包裹水膜。当环境湿度变大时, 水膜变厚, 颗粒间斥力增大, 致使土体体积膨胀, 产生膨胀力; 失水则水膜变薄, 颗粒间以引力为

主, 土体紧缩开裂。这种胀缩轮回, 使土体强度大幅下降, 工程性质极不稳固。

2.2 膨胀土的工程特性

胀缩性: 膨胀率与收缩率可达数倍乃至数十倍, 引发的体积转变远大于普通土。超固结性: 多具有较高的先期固结压力, 开挖卸荷后易发生明显回弹。裂隙性: 失水收缩生成密集网状裂隙, 损坏土体完整性, 加快水分渗入。强度衰减性: 含水量改变可致使其抗剪强度急剧变小, 黏聚力减弱更为显著。这些特性使得膨胀土上的工程建设面临独特而复杂的挑战。

2.3 膨胀土对铁路工程的主要危害与影响

膨胀土的影响贯穿工程勘察、设计、施工及运营全生命周期, 其对铁路工程的危害主要表现在以下几个方面:

2.3.1 路基工程

路基的频繁胀缩会致使路基面产生波浪状变形开裂, 影响轨道平顺性; 边坡失稳可能掩埋轨道, 中断行车, 影响安全。

(1) 不均匀升降变形: 这是膨胀土最典型和最普遍的危害。路基因地基土吸水膨胀或失水收缩, 导致幅度不均的上升或下沉。产生诸如路基下沉、路肩开裂、路堤坍塌、道碴囊等一系列病害, 使轨道几何尺寸难以保持。

【作者简介】何乔亮(1980—), 男, 壮族, 中国广西南宁人, 本科, 高级工程师, 从事铁路工程建设、设计研究。

(2) 边坡开裂和失稳：降水时雨水沿裂隙进入，土体饱水膨胀，强度急剧降低；干旱时裂隙发展，为下次入渗创造条件。这样反复作用下，易引发溜坍，有多次滑动、缓慢破坏的特点。严重影响铁路边坡的稳定性。

2.3.2 隧道工程

(1) 建设的影响：开挖后，掌子面崩出，洞壁向内严重鼓出，造成围岩变形与失稳。即使有初期支护，变形仍持续发展，可能导致支护侵入限界，甚至局部垮塌，这是膨胀土隧道最普遍的灾害。

(2) 运营的影响：初支系统抵抗不住围岩压力，导致支护系统失效。进而二衬承压，混凝土衬砌在压力下破碎、剥落、掉块。水沿裂缝渗出，导致隧道渗漏水，另外，隧道仰拱泡水也会向上隆起。

3 南昆铁路南宁至百色段的膨胀土主要病害

3.1 工程概况

南昆铁路南宁至百色段增建二线工程（南百二线），正线全长 209.4 公里。设计标准为 120km/h，限制坡度 6% 的电气化铁路。南百二线基本沿既有南昆铁路增建二线，其中，并行段长 116.2km、单绕段长 84.3km、双线绕行段长 9.9km，设 12 个车站。于 2015 年建设，2017 年通车。

3.2 膨胀土主要病害

南昆铁路膨胀土主要分布于广西境内右江河谷一带，其中，思林至百色段最集中，全线膨胀岩长约 70km。膨胀岩由下第三系那读组（E2-3n）百岗组（E2-3b）伏平组（E2-3f）和建都岭组（E2-3j）的泥岩、砂质泥岩及泥质粉砂岩组成，矿物成分以各组泥岩所含蒙脱石、伊利石等亲水黏土矿物比例为高。其膨胀土具有高膨胀性、易碎裂性和低强度性三大特征，各项指标均远低于普通膨胀土。

既有线路病害以膨胀土路基为主，主要病害共 107 处，

计 34km。膨胀土地段有桥梁 32 座，仅有 5 座扩大基础的桥梁有程度较轻的病害（如浅基下沉、偏移、倾斜等），桩基则几无病害，工务段反馈，桩基桥梁工程在膨胀土地区效果最佳。

膨胀土路堑和以膨胀土作填料的路堤病害的主要表现为路堑边坡溜坍失稳、路堤基床开裂下沉，基床翻浆冒泥，边坡和基床的鼓胀隆起，也较常见，也会造成挡墙、抗滑桩倾斜等。

4 南百二线整治膨胀土的主要措施

本项目主要沿右江河谷延伸，其中那何~百色段线位穿越以中-强膨胀岩土集中分布著称的百色盆地核心区。新建二线涉及膨胀土 119 段，共 115km。南百二线在铁路选线、线间距确定、新线路基结构形式、既有线路基病害整治四方面，均采取了对应的工程措施。

4.1 铁路选线

在铁路选线方面，本线参考附近既有铁路的经验教训，总结了“一绕二桥三矮填浅挖路基”的处理原则。绕，是指在中-强膨胀土分布地段，应优先考虑绕避。上文研究表明，膨胀土对铁路工程的危害和影响是巨大的，无论采取何种措施，或投资大，或效果不理想，故应优先考虑绕避。桥，是指因桥的病害少，铁路设在膨胀土地区时，优先采用设桥的工程措施。矮填浅挖路基，是指必须设路基的段落，应严格控制填挖高度，减少病害。最后，尽量避免设隧道。

以南百二线那何至那宁段选线为例，该地区膨胀土广泛分布，选线既要考虑对膨胀土和林逢煤矿采空区等不良地质的绕避，也要考虑对既有线的利用。本段线路方案比选了沿既有并行等高方案和绕避采空区抬高线路沿既有线增建二线的方案，同时研究了保留既有线的单线、双线绕行膨胀土地段方案，示意图如图 1。



图 1 那何至那宁段穿越膨胀土地段方案示意图

4.1.1 并行等高方案

增建第二线除局部地段因为桥梁需要拉开线间距外，其余地段基本与既有线路等高并行，经既有林逢、田东、至终点，线路长 36.986km。本方案新建线和既有线路均受林逢煤矿采空区的影响，需对采空区进行整治。

4.1.2 抬高线路沿既有线增建二线方案

增建第二线在 K129+400 双绕绕行，绕避林逢煤矿采空

区后，于 K138+600 接回既有线路，右线沿既有线路通道，与既有南昆线适当拉开间距，抬高线路标高，多以桥梁通过，尽量不扰动既有路基边坡和新掘路堑边坡，沿既有通道至比较终点，本方案增建第二线正线长 36.528km，其中双线绕行长 7.000km，左、右线单线长度 31.620km。

4.1.3 单线绕行方案

增建第二线沿既有线路并行约 3km 后，沿膨胀土地区边

缘折向并往云桂线通道，基本与云桂线并行，设那朗越行站，到达比较终点，本方案需在那朗站设田德联络线接入田东站。增建第二线单线长度 34.998km，联络线长 9.299km。

4.1.4 双线绕行方案

废弃田东至那宁段既有有线，线路引入那何站后，分方向向外包既有正线，既有南昆线作为田德线的一部分，那何站

为“二进三出”格局。双线走向与单线绕行方案基本一致。线路全长 35.081km，其中双线绕行长度 26.3km，左、右线单绕长度 17.409km。

4.1.5 各方案主要工程数量及投资情况

那何至那宁段穿越膨胀土地段方案主要工程数量及投资比较见表 1。

表 1 那何至那宁段穿越膨胀土地段方案主要工程数量及投资比较

项目		单位	抬高线路沿既有有线增建二线方案	沿既有有线并行等高方案	双线绕行方案	单线绕行方案
建筑长度	单线	km	31.620	36.986	17.409	45.998
	双线	km	7.000	/	26.300	/
路基	土石方	10 ⁴ m ³	124.1577	188.9398	203.2051	104.6529
	混凝土及圬工		10.0046	25.2793	37.0671	15.3034
桥涵	特大桥	单线	11/11701.8	/	4/6257	14/17888.65
		双线	2/2049.4	/	7/8579	/
	大中桥	单线	20/4725.05	17/4478.2	8/1744.9	33/6482.5
		双线	5/1069.96	/	16/4100	1/141.8
隧道	单线	座—延长米	2-898	/	1-348	7-2936
	双线		/	/	4-1856	/
桥隧总长 / 比例		延长米 / %	25548.1/69.3	4478.2/12.1	22884.9/65.2	27448.95/78.4
估算投资 (静态)		万元	112964.19	83241.61	190391.12	138975.43
投资差		万元	0	-29722.58	77426.92	26011.24

4.1.6 推荐意见

若沿既有有线并行增建第二线，施工会对经过多年整治和运营，已基本稳定的既有线路基产生干扰，可能引起既有线的次生病害；其余无论是单绕还是双绕方案，或既有有线利用率不高，或两线距离过远，不利于运输组织。考虑到林逢站附近既有有线两侧均有煤矿采空区，且已威胁到铁路安全，宜绕避；故推荐有利于施工安全和后期的运营管理的，适当抬高线路沿既有有线增建二线方案。

4.2 线间距确定

考虑到南昆线膨胀土地段既有有线虽病害较多，但经过多年的养护和整治，其路基结构已趋于稳定，尚能维持正常运营，若按常规增建二线间距施工，则可能对已稳定的路基造成扰动，威胁既有有线安全。因此，本线确定线间距时，按照尽量不扰动既有线路基，同时减少夹心地的原则，根据二线与既有有线不同的路基类型，按以下原则确定膨胀土路基地段二线与既有有线的线间距。

既有有线、二线均为路堑地段

$$\text{线间距} = (4+2+1) + 4(h+1.5) + (4+2) + 6 = 4h+25$$

(备注：h 为二线与既有有线路肩标高的差值，单位为米)

既有有线为路堑、二线为路堤地段

$$\text{线间距} = (4+2+1) + 4(h_1+1.5) + (2+2+1.5h_2+4) + 6 =$$

$$4h_1+1.5h_2+27$$

(备注：h₁ 为既有有线挖方深度，h₂ 为二线填方高度，单位为米)

既有有线、二线均为路堤地段

原则上二线路堤边坡不压既有有线路堤边坡。

$$\text{线间距} = (4+1.5h_3) + (4+1.5h_4) = 8+1.5h_3+1.5h_4$$

(备注：h₃ 为既有有线填方高度，h₄ 为二线填方高度，单位为米)

4.3 新线路基的处理措施

膨胀土路基应根据膨胀土的特性、边坡高度、地形、地表水汇集和地下水发育情况，严格按照“矮支挡、缓边坡、宽平台、强排水”的设计理念，在充分考虑膨胀等级、水动条件、地形条件等因素的情况下，细化每一处膨胀土挖方边坡工点，对新建二线路堑边坡采用桩板墙、重力挡墙、锚杆框架梁等加固措施，确保全线挖方边坡的稳定。

4.3.1 膨胀土路堑形式

膨胀土路堑采用路堤式路堑结构，强膨胀土地段出露高度为 1.2m，在侧沟底部设纵向盲沟，加强排水。基床表层以下换填厚 1.9m 的 A、B 组填料，并增设一层复合防水板，防止雨水下渗，见图 2。

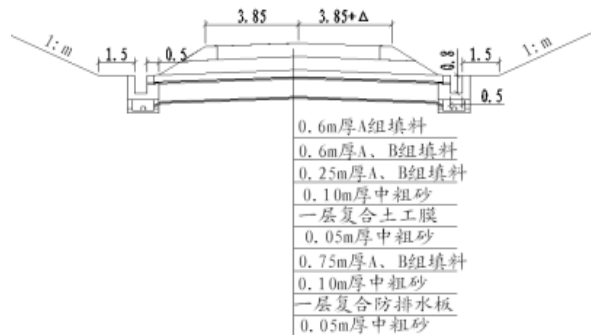


图 2 中 ~ 强、强膨胀岩 (土) 路堑基床设计图

4.3.2 膨胀土路堑边坡防护

膨胀土地段边坡高度一般不宜超过 10m。在路堑坡脚酌情设置挡土墙，必要时采取锚索框架梁、加大边坡平台等措施，确保路堑边坡稳定。

膨胀土路堑边坡坡面防护不宜全封闭，边坡高度大于或等于 6m 时增设边坡支撑渗沟，并采用锚杆框架梁进

行加固，红黏土、弱膨胀土、弱~中膨胀土地段框架梁节点间距为 2.5m，中~强、强膨胀土地段框架梁节点间距为 2.0m。

膨胀土路堑边坡坡率和平台宽度见表 2。

膨胀土地段路堑边坡还需结合地质资料进行边坡稳定分析与设计。

表 2 膨胀土路堑边坡坡率和平台宽度表

边坡高度 (m)	膨胀性			边坡坡率			边坡平台宽度 (m)			侧沟平台宽度 (m)		
	弱	中	强	弱	中	强	弱	中	强	弱	中	强
< 6	1:1.75	1:1.75~1:2	1:2~1:2.5	2			1	2	3			
6~10	1:1.75	1:2~1:2.5	1:2.5~1:3	2	2	3	2	2	3			

4.4 既有线路基病害整治

在既有线路膨胀土路基病害整治方面，按照“消能、减胀、防渗、保湿”的设计理念，采用路改桥、换填基床土、挤密桩加固、增设预加固桩及盲沟等措施，对全线既有线路膨胀土路基病害进行整治，消除全段既有线路慢行点及病害隐患，确保了行车安全。

4.4.1 路改桥地段

对路堤填料采用膨胀土填筑，病害较严重，限速慢行的，若填方高度大于 5.5m，有条件设桥的，采取路改桥措施整治。本次设计路改桥共 19 座，长 2471.9m。

4.4.2 路基下沉、路肩变形地段

路堤地段线间距小于 8m 时，挖除换填 0.6m 基床表层，其下部挖除换填 0.4m 的二八灰土封闭层，并视剩余下部路堤高度及基底是否存在软弱层等情况，采用长度不小于 3.0m 水泥土挤密桩加固下部路堤土体，见图 3。

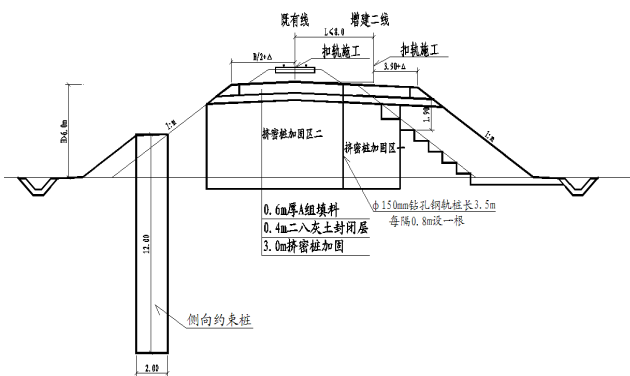


图 3 既有线路堤下沉病害整治断面

4.5 综合处理效果情况

采用了以上选线及工程综合措施后，在膨胀性土地段，施工及近几年运营效果证明，本项目的各项工程，施工安全可

行，经受住了实践考验，达到了预期效果，有效解决了膨胀岩土地段新建、改建铁路路基病害等相关问题，确保工程安全。

5 膨胀土地区铁路建设对策措施的建议

通过本项目的实践，总结了在膨胀土地段选线、工程措施、病害整治三方面经验，供其他项目参考和借鉴。

5.1 选线方面

坚持“一绕二桥三矮填浅挖路基”的处理原则。

对已稳定的既有线路，按尽量不扰动既有路基，同时减少夹心地的处理原则，合理确定二线与既有线的间距。

5.2 工程措施方面

经过强膨胀土地段时，优先设桥的通过，尽量不设隧道。

路基应严格按照“矮支挡、缓边坡、宽平台、强排水”的理念设计。

5.3 病害整治方面

对于填料采用膨胀土填筑，填方高度较高，病害严重，有改桥条件的，建议采用路改桥方式整治。

路基整治执行“消能、减胀、防渗、保湿”的原则和“矮支挡、缓边坡、加强截排水、有效消能”的理念设计。

浅层采用合格填料换填、深层采用挤密桩加固、坡脚增设预加固桩，增设盲沟加强排水等措施整治。

6 结语

膨胀土对铁路工程的影响是系统性的，其引发的变形与稳定性问题具有长期性、反复性和隐蔽性。应对这一挑战，要求工程师必须深刻理解其作用机理，在工程全周期中采取针对性的措施。

参考文献

- [1] 魏昌辛《黔桂铁路增建二线综合选线研究》高速铁路技术 2022.
- [2] 赵登君,郭胜《浅谈新建铁路路堤病害整治体会》路基工程
- [3] 巴潇《膨胀土二维膨胀特性试验研究》华北水利水电大学2021.