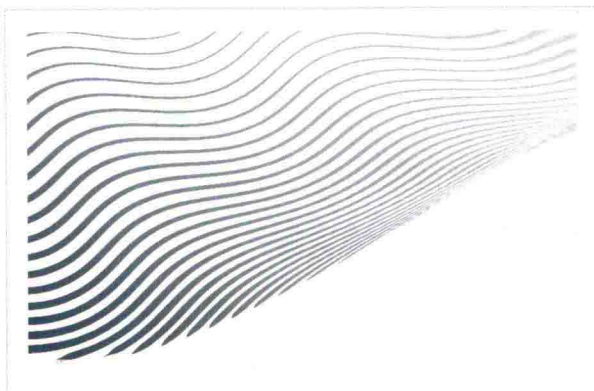
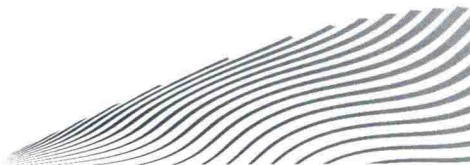




公路软土路基“桥头跳车” 治理方法与实践

朱汉华 等 ▲ 著

Gonglu Ruantu Luji “Qiaotou Tiaochē”
Zhili Fangfa yu Shijian



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

公路软土路基“桥头跳车”治理 方法与实践

朱汉华 等 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书结合作者多年工程实践经验,总结了公路软土路基“桥头跳车”的治理方法。全书共两部分,第一部分主要介绍公路软土地基强度与流变特性对比试验研究、公路软土路基的基本规律及实用设计方法;第二部分主要介绍公路软土路基“桥头跳车”处治实践案例。

本书可供公路工程建设相关科研及技术人员参考,还可供高等院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路软土路基“桥头跳车”治理方法与实践 / 朱汉华等著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.6

ISBN 978-7-114-13872-0

I. ①公… II. ①朱… III. ①公路路基—软土地基—地基处理 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 121776 号

书 名:公路软土路基“桥头跳车”治理方法与实践

著 作 者:朱汉华 等

责任编辑:黎小东

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:6

字 数:79 千

版 次:2017 年 6 月 第 1 版

印 次:2017 年 6 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13872-0

定 价:30.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

前 言

公路软土路基不均匀沉降现象较多,特别是“桥头跳车”问题更为突出。而现有公路软土路基之地基处理方法和分析方法也很多,为什么成功案例不多且适用性不广呢?作者认为,关键是公路路基路面力学分析理论与实际应用方法在相适应或匹配上有问题,容易忽视的两个原因是:①路基连续体与离散体的主要差别在于离散体可以承受压力,但是基本不承受拉力,也不能承受力矩;而连续体可以承受压力、拉力和力矩。控制软土路基受力变形状态的稳定性很重要。②软土路基之地基软土具有大孔隙比、高压缩性、高含水率、低渗透性、低强度、强流变性、结构性强、灵敏度高等特点,容易引发路基不均匀沉降现象。控制软土流变引起的不稳定连续沉降量很关键。

软土材料受力过程中,微观结构发生变化的电镜扫描结果表明:软土受力程度不同,土颗粒架构也不同,软土地基固结、流变特性与受力程度相对应。因此,软土结构力学分析结果应用适用性较差,结构变形协调理论或假定不能解决问题,只能采用结构变形协调控制措施才能解决公路软土路基“桥头跳车”问题。

软土路基平面应变问题与太沙基理论假定的一致性,要求控制路基受力变形状态稳定性。事实上,现有公路软土路基力学分析与处理方法都隐含路基变形协调控制假定,即控制路基受力变形状态稳定性,可以承受压力、拉力和力矩,实际操作中往往忽视了路基受力变形状态稳定性,例如宕渣路基只能承受压力,不能控制软土路基不均匀沉降;普遍考虑了软土地基的固结和次固结影响,忽视了控制软土流变引起的不稳定连续沉降量。因此,软土路基不均匀沉降现象较多,特别是“桥头跳车”问题更为突出也不足为奇。

本书针对现有公路软土路基分析理论与处理方法存在的两个问题,从路基路面力学分析理论与实际应用方法相适应或匹配问题入手,在总结经验和辩证思考的基础上,围绕控制软土路基受力变形状态稳定性和软土流变引起

的不稳定连续沉降量等指标,按照结构变形协调控制方法改进软土路基设计方法,结合路基设计规范,注重控制路基受力变形状态稳定性和纵向过渡性。其关键技术是控制软土路基不均匀沉降的底板或框格以及纵向过渡性桩基;其中,桩的纵向过渡长度与桥头路基渐变高度相关,轻质材料要注意分层整体性控制和汽车荷载均匀分布结构层控制,以便将桥头路基不均匀沉降控制在允许范围内,从而达到治理公路软土路基“桥头跳车”现象的目的。

本书除主要作者朱汉华外,范永根、范立峰、马亚舟、傅欣、朱春东、沈佳、沈军、李国楼、李威、熊少辉、王开太、赵永利、雷敏跃、马秀萍、梁永刚、张跃明、许东风、于远征、朱国燕、朱荷柳等同志也是作者之一,为本书的编写也做出了重要的贡献。在本书的编写过程中,特别得到孙钧院士的悉心指导,特致敬意!

由于作者水平所限,书中难免有不妥与错谬之处,敬请读者批评指正。

作 者

2017 年 5 月

目 录

第一部分 公路软土路基改进设计方法

1 公路软土路基不均匀沉降现象分析	3
2 公路软土路基“桥头跳车”治理方法的发展过程概述	6
3 古代结构稳定性的启示	10
3.1 广西真武阁结构的启示	10
3.2 印度杰塞梅尔沙堡被废水冲毁的启示	11
3.3 福建土楼——和贵楼的启示	11
4 公路软土路基合理结构和力学分析方法的探索	14
5 公路桥头软土路基整体性与松散性对比试验和计算分析	19
6 公路软土地基强度与流变特性对比试验研究	23
6.1 1号公路、2号公路软土地基流变特性对比试验分析	23
6.2 公路软土地基强度与流变特性对比试验分析	25
7 公路软土路基的基本特征与设计方法	27
8 公路软土路基的实用设计方法	32
8.1 公路软土路基“桥头跳车”治理设计改进技术	32
8.2 基于结构变形协调控制的运营公路“桥头跳车”处治技术	35
8.3 公路软土路基不均匀沉降的控制方法	41
8.4 公路软土路基侧向滑移处理的反力平衡体系设计施工方法	43
8.5 公路掺灰土路基施工方法	47

第二部分 公路软土路基改进设计工程建设实践

9 嘉兴市公路掺灰土路基建设实践	53
9.1 公路宕渣与掺灰土路基应用中的主要区别	53

9.2 公路石灰土路基在嘉兴与桐乡的应用	54
9.3 公路掺灰土路基在海宁 S203 省道的应用	55
10 台州市已建公路“桥头跳车”处治实践	67
10.1 软土路基轻质材料与下隔板结合处治措施	67
10.2 软土路基注浆处治措施	69
11 温州市公路“桥头跳车”处治实践	72
11.1 104 国道瓯海段“桥头跳车”深层注浆处治措施	72
11.2 瓯江口某段公路工程高架承台处软基过渡处治措施	74
12 宁波市公路“桥头跳车”处治实践	78
12.1 宁海城区道路石灰土路基实践	78
12.2 镇海区公路工程桥头软基下隔板处治措施	83
参考文献	88



第一部分

公路软土路基改进 设计方法

1 公路软土路基不均匀沉降现象分析

公路软土地基具有大孔隙比、高压缩性、高含水率、低渗透性、低强度、强流变性、结构性强、灵敏度高等特点，容易引起路基出现不均匀沉降现象。其核心问题是公路软土路基设计分析模型〔图 1.1a)〕与软土宕渣路基实际受力变形状态〔图 1.1b、c)〕不一致。

理想路基属于连续体路基，而宕渣路基属于离散体路基。连续体和离散体的主要区别在于：离散体之间可以承受压力，但是基本不承受拉力，也不能承受力矩；而连续体可以承受压力、拉力和力矩。

在实际工程中，汽车荷载是典型的点动荷载（据统计，某地区港口超载集装箱汽车超载可达 200t），会在路基地底部形成明显的拉弯区〔图 1.1b)〕，并非理想状态的纯压力区〔图 1.1a)〕。此时如按照现行规范将汽车当作均布荷载处理，仍使用连续体模型〔图 1.1a)〕，将会产生很大的差距。部分软土路基发生倾向滑移状况〔图 1.1c)〕也存在类似差距，请设计者予以关注。

目前，实现公路路基受力变形状态稳定性的措施很多，例如：EPS（聚苯乙烯泡沫）、泡沫混凝土、下隔板等。其中，EPS 和泡沫混凝土不仅改变了路基受力变形状态稳定性，同时改变了荷载大小；而下隔板仅仅改变了路基受力变形状态稳定性。

下面以 104 国道某窄桥工程为例，先定性说明路基受力变形状态稳定性的作用，然后再定量展开研究。

104 国道西复线某窄桥工程，为旧桥加宽工程，桥台填土高度为 2.4m，软土层厚 39.5m；旧桥于 1999 年通车，新桥加宽于 2009 年通车；旧桥采用传统上搭板技术，而加宽的新桥采用下隔板上直接填宕渣。旧桥桥头路基现仍继续沉降，且超过加宽的桥头软基沉降量，总沉降为 11.23cm；而

加宽部分新桥桥头路基经过 4 年运行，总沉降量为 4.75cm，无明显不均匀沉降（图 1.2）。

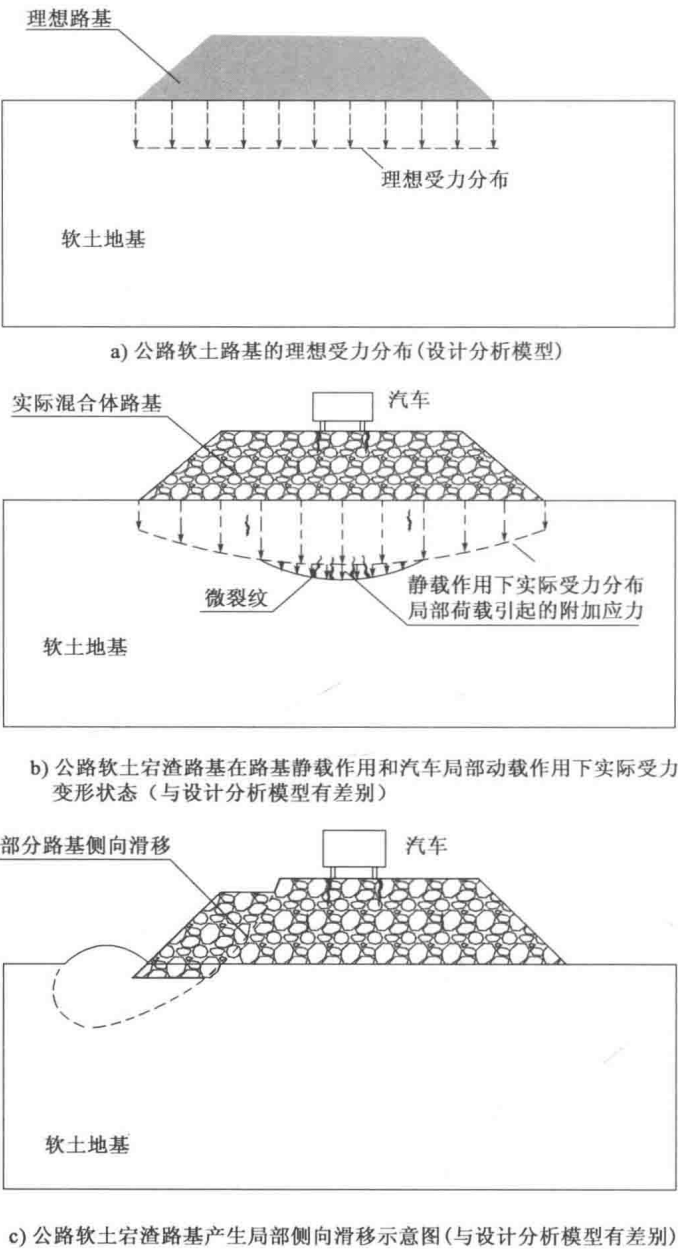


图 1.1 公路软土路基设计模型与软土宕渣路基实际状态对比

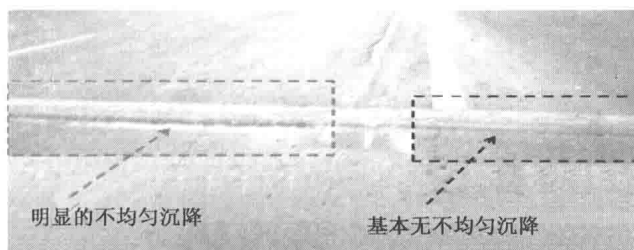


图 1.2 104 国道西复线拓宽工程老路与拓宽侧路面对比

从上例可以发现, 需要从力学机理深刻分析公路软土路基不均匀沉降产生的原因, 才有可能找到有效治理办法。通过大量公路软土路基应力变形状态力学试验, 根据流变特性绘制出淤泥质软土在 50kPa 正应力作用下的安全边界线, 如图 1.3 所示。

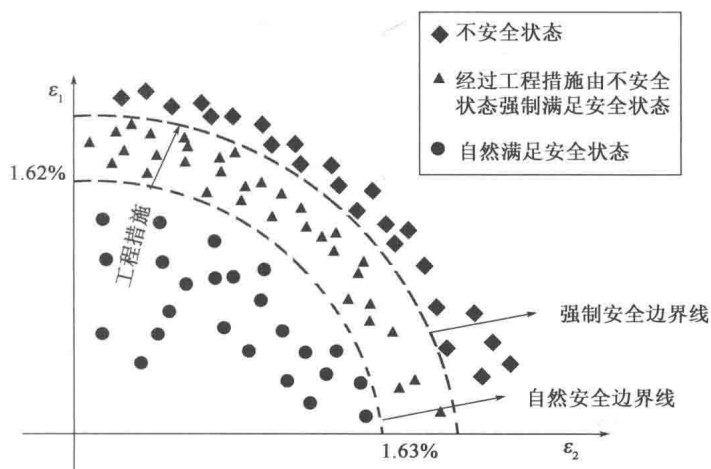


图 1.3 软土地层工程安全曲线图

从图 1.3 可见, 当软土变形处于边界线以内时, 结构处于自然安全状态, 即结构整体处于变形协调控制状态; 反之, 当软土变形处于边界线以外时, 结构处于不安全状态, 即结构处于变形不协调状态。但是, 可以通过适当的工程措施, 构建强制安全边界线, 使处于不安全状态的软土强制处于安全状态, 例如通过注浆、桩基础、下隔板等措施, 来提高软土的安全边界线, 从而使整个结构处于变形协调控制状态, 强制使结构处于安全状态。

2 公路软土路基“桥头跳车”治理方法的发展过程概述

20 世纪 90 年代以来,我国高速公路建设快速发展,公路软土路基“桥头跳车”治理方法也逐步发展起来,特别是掺灰土路基的成功应用,推动了公路软土路基“桥头跳车”治理基础理论的探索与实践。其中,1999 年某省交通厅专门制订了《治理公路工程三大质量通病的实施方案》;在此背景下,全省交通系统研发了许多治理“桥头跳车”的技术方案,在一定程度上提升了“桥头跳车”的治理水平。例如:1999 年,某市西过境高速公路桥头软土地基第一层铺大石头,极大地减小了桥头路基沉降差;2007 年,嘉兴至苏州之间一座 3 跨 20m 的桥梁,嘉兴侧桥头为宕渣路基,苏州侧桥头为灰土路基,嘉兴侧出现“桥头跳车”现象,而苏州侧无“桥头跳车”现象。这说明了公路软土路基受力变形状态稳定性的重要性。

前述某市 104 国道旧桥加宽工程中,新加宽的 3~4 车道采用下隔板技术,无“桥头跳车”现象;而 1999 年建成的 1~2 车道采用宕渣填筑,仍然出现了“桥头跳车”现象(图 1.2、图 2.1)。

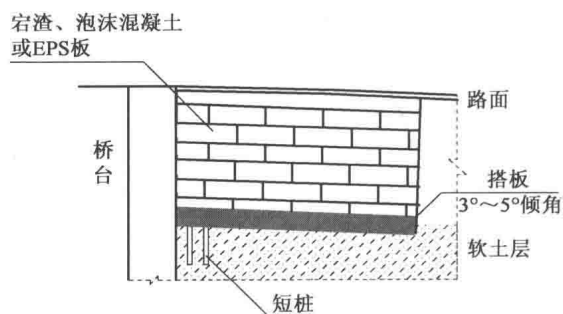


图 2.1 104 国道西复线拓宽工程路基结构图

2012 年,某省沿海高等级公路软土地基段按规范设计,公路路基采用

宕渣填筑,虽然严格按照规范施工,但由于违背了路基受力变形状态稳定性控制,后来也发生了路面基层开裂,最后采用注浆加固才得以解决(图 2.2)。该实例进一步说明了公路软土路基受力变形状态稳定性的重要性。



a)



b)



c)

图 2.2 某省沿海高等级公路软土路基开裂照片

2014 年,某项目组继续开展软土路基“桥头跳车”治理方法研究工作,在孙钧院士的指导下,继承前人研究成果,主要从软土路基受力变形状态稳定性、软土地基固结与流变特性两个方面开展研究与实践,取得了以下成果:

(1) 力学层面认识。传统力学理论解决公路软土路基不均匀沉降(含桥头跳车)问题有适用条件,例如软土路基受力变形状态稳定性设计就非常重要,出现误差是免不了的。

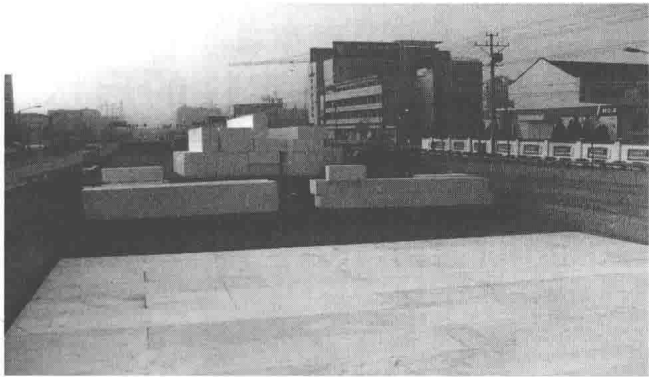
(2) 实践层面认识。打一个比方,做豆腐与压豆渣的差别是稳定性不同,两者结果也有差异。

(3) 工程试点效果。项目组在浙江省嘉兴市 7 条公路工程进行了路基掺灰稳定土实践,取得良好效果,没有出现“桥头跳车”现象;共施工 44.452km,使用掺灰稳定土 209.1 万 m^3 ,资金节约率达 23.6%,并回收利用了大量废土,保护了生态环境。在宁波、温州、台州等地区的试点也取得良好效果,并形成了下隔板等结构措施,有效解决了公路软土路基“桥头跳车”问题(图 2.3)。

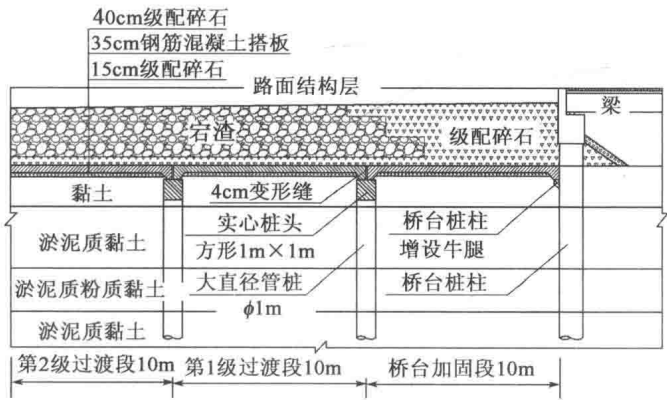


a) 掺灰土路基

图 2.3



b) 轻质填料路基



c) 下隔板过渡路基

图 2.3 几种有效处理软土路基“桥头跳车”问题的方法

3 古代结构稳定性的启示

3.1 广西真武阁结构的启示

广西容县的真武阁（图 3.1）有两大特色：

（1）经略台建于唐代（至今 1000 多年），位于砖墙内填土夯实的河砂之上，既没有坚硬的石头，也没有牢固的钢筋水泥；而真武阁建于清代，位于经略台（砂堆）上，历 400 多年 5 次地震而不倒，其基础具有良好的隔震作用。这种方法近年已在建筑中应用，即在有些钢筋水泥大厦的地基下先铺一层厚砂，再浇筑钢筋混凝土网基座。

（2）阁楼 20 根笔直挺立的巨柱中，8 根直通顶楼，是三层楼阁全部荷载的支柱。柱之间采用梁枋相互连接，柱上各设有四朵斗拱，上面承托四根棱木，有力地把楼阁托住，类似于板凳的合理受力结构。二层楼的四根大内柱，承受上层楼板、梁架、配柱和阁瓦、脊饰的沉重荷载，柱脚却悬空离地 3cm，符合杠杆结构原理，曾历经 3 次台风却稳如泰山。



图 3.1 广西真武阁照片