



THEORY OF BALLASTLESS TRACK-SUBGRADE FOR HIGH SPEED RAILWAY

高速铁路无砟轨道 路基设计原理

胡一峰 李怒放 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

高速铁路无砟轨道 路基设计原理

胡一峰 李怒放 著

中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书以保证高速铁路长期稳定性和平顺性为出发点,根据无砟轨道结构的原理和特点,定义了其对路基结构物的基本要求,在此基础上,全面阐述了无砟轨道路基的设计原理,系统地介绍了作者多年来国内外科研和工程实践的成果,特别是以剪应变为参数的高速铁路路基长期动力稳定性分析方法。全书共分10章,内容包括无砟轨道结构对路基结构物的基本要求、高速铁路路基设计荷载和工程经验、路基长期动力稳定性和附加沉降计算理论和分析方法、路基结构物和刚性结构物过渡段设计原理和工程经验、高速铁路路堤条件下CFG桩桩网复合地基设计方法和工程应用、路基沉降变形综合集成分析和工后沉降预测方法,以及无砟轨道路基填料适用性准则、填筑质量控制标准和技术。

本书构思新颖、重点突出,十分注重基本理论与工程实践的结合,适用于设计院所、科研单位、高速铁路建设单位的工程师和研究人员,以及高校师生阅读参考,也可作为无砟轨道路基技术培训和研究生教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路无砟轨道路基设计原理/胡一峰,李怒放著.
北京:中国铁道出版社,2010.11
ISBN 978-7-113-11729-0

I. ①高… II. ①胡…②李… III. ①高速铁路-无砟轨道-铁路路基-设计 IV. ①U213.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第146854号

书 名:高速铁路无砟轨道路基设计原理
作 者:胡一峰 李怒放 著

责任编辑:时 博 电话:(010)51873141 电子信箱:crph@163.com
封面设计:崔 欣
责任校对:孙 玫
责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京铭成印刷有限公司

版 次:2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:23 字数:445千

书 号:ISBN 978-7-113-11729-0

定 价:120.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前言

岩土工程是一门应用性很强的学科,是为基本建设服务的技术科学,它的发展与国家经济建设的需求联系十分紧密。近年来,高速铁路事业的发展对铁路路基工程学科提出了新的要求。一方面,高速铁路、客运专线和城际铁路的建设标准远高于普速铁路,它们对路基在动力、静力荷载和环境因素作用下的安全性、平顺性和长期稳定性有很高的要求,在建设过程中有许多高速铁路特有的路基工程问题需要解决;另一方面,高速铁路路基设计和施工过程中获得的室内外测试数据和工程经验又为岩土工程学者利用土力学理论发展新的设计方法、施工和检测方法提供了一个很好的平台和基础。

高速铁路无砟轨道对路基的要求主要体现在对线路长期稳定性和沉降变形的严格控制上,包括路基和地基在静载作用下的工后沉降,以及在长期动力荷载作用下的附加沉降。这里,要控制的不仅是每个路基断面的工后沉降变形大小,它们沿线路纵向的分布以及与刚性结构物(桥、隧、涵)的平顺过渡也是非常重要的控制参数。路基的动力稳定性,除了要满足轮—轨系统对路基的动力特性要求外,更重要的是要保证路基结构物在反复动力荷载作用下的长期稳定性,限制其附加沉降变形,使无砟轨道结构的基础始终保持良好的几何平顺性。

无砟轨道路基的设计,特别是地基处理方案的选择,常常由地基沉降变形的大小和其与时间的关系控制,地基强度(安全)稳定性一般情况下不再起控制作用。此外,高速铁路的建设对施工工期提出了较高的要求,这就需要选择总沉降量较小、收敛速度快且施工快速方便的地基处理方案,例如高速铁路路基大量采用的桩承式桩网复合地基。对这些新的地基处理方法,采用何种设计理论和方法更为合理,不但对岩土工程理论本身的研究有重要意义,而且对高速铁路优化地基设计、获得技术和经济统一的地基处理方案有现实意义。

由于土的复杂性、多变性、区域性特点和地基勘察的局限性,目前的土工理论和技术水平一般还不可能在设计阶段精确确定路基的沉降变



形,所以施工和调整期对路基和地基沉降变形进行系统的监测成为评判设计合理性和路基结构物是否满足工程要求的重要手段和依据。对于高速铁路无砟轨道路基,由于对工后沉降的要求十分严格,所以路基沉降变形观测方案的制定和实施,以及在此基础上进行综合集成分析和工后沉降预测显得更为重要,它是确定路基是否满足铺设无砟轨道结构条件的最重要依据。

路基填筑质量的控制是保证无砟轨道长期稳定性和平顺性的一个重要方面,其中,路基填筑质量控制标准的选用、路基填筑质量均匀性和快速有效的检测技术是三个重要的方面。随着国内外高速铁路建设的发展,路基新的检测标准、方法和技术得到了令人瞩目的发展和应用。

作者从20世纪90年代中期开始接触、从事与高速铁路路基有关的研究、工程咨询和管理工作,并有幸参与了中、德两国高速铁路无砟轨道路基工程的建设。初期在高校进行的大多为基础性理论和试验研究,这个阶段的工作成果距工程应用有一定的距离,但是这个积累为作者中、后期的工程实践打下了良好的基础。而中、后期参与的国内外大量高速铁路建设工程咨询、研究和实践活动,使作者对无砟轨道路基的设计原理和工程应用有了进一步深刻的认识。在工作过程中,作者始终注意岩土工程理论与工程实践的结合,即理论分析、室内外测试和工程应用三者密切结合。这里,特别要感谢第一作者的中国导师浙江大学曾国熙先生早年的引导。本书的基本内容和框架正是在上述学习、研究和工作的基础上产生和形成的。

本书出版之际,作者对在形成与本书内容有关的研究和工作过程中给予资助、支持和关心的单位和个人表示衷心的感谢!首先,作者要感谢德国莱茵技术集团的同事在有关高速铁路路基工程咨询和研究中愉快而富有成效的合作,特别是 Dr. Erwin Gartung、Dr. Albert Hoch、Dipl.-Ing. Helmut Prühs、Dr. Bernd Müllner 和 Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Haupt。在新理论和方法的应用上,德铁集团纽伦堡工程建设分公司以及德国联邦铁路监督管理局采取了开明的姿态,使得例如路基动力长期稳定性分析剪应变理论在纽伦堡—英戈尔施塔特线得以成功应用,作者在此表示感谢。

20世纪90年代中、后期,作者在德国进行有关高速铁路路基研究工作时,曾得到了德国自然科学基金会重点项目的资助,在此期间与卡塞尔大学岩土工程研究所所长 Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert 进行



了合作,在此一并表示感谢!

应德国欧博迈亚咨询集团的邀请,作者参与了中国武广高速铁路建设路基的咨询工作。在武汉工作期间,作者得到了武广高速铁路有限公司和武广高速铁路咨询公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司和中铁二院工程集团有限责任公司各位领导和同事的信任和支持,在此表示衷心的感谢!对在武广高速铁路建设路基咨询工作中给予支持和合作的施工单位,如中铁一局集团有限公司武广项目部、中铁八局集团有限公司武广项目部和中铁十四局集团有限公司武广项目部等单位表示感谢!

最后,作者对中国铁道出版社为本书出版所作的努力和支持表示衷心感谢!

胡一峰 李怒放
2010年6月27日

目录

1	绪论	1
2	无砟轨道结构的基本原理和对路基的要求	7
2.1	无砟轨道结构的定义和分类	7
2.2	轨枕埋入式无砟轨道 Rheda 系统的基本原理和设计理念	8
2.3	轨枕埋入式无砟轨道 Rheda 系统设计方法简述	12
2.4	路基动力稳定性和沉降对轨道上部结构安全性影响示例	20
2.5	无砟轨道结构对路基的基本要求	22
	参考文献	28
3	无砟轨道路基主体结构的组成和特点	31
	参考文献	38
4	高速铁路路基交通荷载设计标准和工程经验	40
4.1	铁路交通荷载设计基础	40
4.2	无砟轨道路基结构物动力荷载设计标准	43
4.3	高速铁路路基动荷载实测结果综合分析	46
	参考文献	59
5	无砟轨道路基的长期动力稳定性	63
5.1	概述	63
5.2	高速铁路路基长期动力稳定性分析的理论和方法	65
5.3	动力稳定性分析方法的室内外试验验证	73
5.4	德铁 Ril 836 标准路基方案动力稳定性分析	80
5.5	地基动力失稳案例分析	82
5.6	动力稳定性分析方法的工程应用实例	84
5.7	总结和评述	97
	参考文献	99
6	无砟轨道路基在长期动力荷载作用下的附加沉降	102
6.1	概述	102
6.2	常规计算方法与实测结果的比较	102
6.3	以动三轴试验为基础的非黏性土填料数值计算方法	105
6.4	循环加载条件下黏性土的基本性状	111
6.5	正常和轻度超固结饱和黏性土拟静力非线性数值计算方法	122



6.6	总结和评述	141
	参考文献	142
7	无砟轨道路基与刚性结构物过渡段	147
7.1	引 言	147
7.2	无砟轨道路基与刚性结构物过渡段设计基础	148
7.3	无砟轨道路基与刚性结构物过渡段设计方案	154
7.4	过渡段不同设计方案的现场试验和运营测试结果对比分析	161
	参考文献	165
8	无砟轨道铁路路堤 CFG 桩网复合地基设计原理	167
8.1	引 言	167
8.2	CFG 桩桩承式加筋铁路路堤作用原理	169
8.3	桩网复合地基设计方法	173
8.4	高速铁路 CFG 桩桩承式加筋路堤荷载分布特征和工程实例	197
8.5	桩承式加筋路堤沉降变形性状	208
8.6	CFG 桩桩承式加筋路堤地基沉降变形分析概念模型	235
	参考文献	242
9	无砟轨道路基沉降变形综合集成分析、观测方案和工后沉降预测	244
9.1	引 言	244
9.2	沉降变形综合集成分析	244
9.3	路基沉降变形观测方案	247
9.4	路基实测沉降变形分析	252
9.5	路基工后沉降预测方法	261
9.6	沿线路纵向沉降变形分布和线路合成竖曲线分析	263
9.7	路基超载预压区卸载时间点的估计	266
	参考文献	269
10	无砟轨道路基填料的适用性和填筑质量控制体系	270
10.1	概 述	270
10.2	填料的适用性	270
10.3	无砟轨道路基压实标准	302
10.4	无砟轨道路基典型填料质量控制指标对比试验研究	306
10.5	动力连续同步检测技术	325
	参考文献	350

Contents

1	Introduction	1
2	Basic principles of ballastless track structures and the requirements for subgrade	7
2.1	Definition and classification of ballastless track structures	7
2.2	Fundamentals of sleeper-embedded Rheda system and its design principles	8
2.3	Design basics of sleeper-embedded Rheda system	12
2.4	Case study on the influence of subgrade dynamic stability and settlement on ballastless track safety	20
2.5	Basic requirements of ballastless track for subgrade	22
	References	28
3	Composition and characteristics of main structure of ballastless track subgrade	31
	References	38
4	Design standards and engineering experience of high speed railway traffic loads for subgrade	40
4.1	Design bases of railway traffic loads	40
4.2	Design standards of dynamic loads for ballastless track subgrade	43
4.3	Integrated analysis of measured high speed railway dynamic loads in subgrade	46
	References	59
5	Long-term subgrade dynamic stability of ballastless track	63
5.1	General	63
5.2	Theory and analysis methods of long-term subgrade dynamic stability of high speed railway	65
5.3	Verification of dynamic stability analysis methods by laboratory and on-situ tests	73
5.4	Dynamic stability analysis of standard subgrade cross sections in German railway code Ril 836	80
5.5	Case study on subgrade dynamic failure of ballastless track	82



5.6	An engineering application case of the analysis method of subgrade dynamic stability	84
5.7	Summary and comments	97
	References	99
6	Additional subgrade settlement resulting from long-term dynamic loads in ballastless track	102
6.1	General	102
6.2	Conventional calculation method and comparison with measured results	102
6.3	Numerical method for cohesionless filling materials (soils) based on dynamic triaxial tests	105
6.4	Basic behaviour of cohesive soils under cyclic loading conditions	111
6.5	Nonlinear pseudo-static analysis method for normally and slightly over-consolidated cohesive soils	122
6.6	Summary and comments	141
	References	142
7	Crossing sections between subgrade and rigid structure	147
7.1	General	147
7.2	Design bases for crossing sections between subgrade and rigid structure	148
7.3	Design concept of crossing sections between subgrade and rigid structure	154
7.4	Comparative analysis of on-situ measurements in field test and operational conditions	161
	References	165
8	Design theory of geosynthetic-reinforced and CFG-pile supported railway embankment under ballastless tracks	167
8.1	General	167
8.2	Basics of geosynthetic-reinforced and CFG-pile supported embankment	169
8.3	Common design methods	173
8.4	Load distribution in geosynthetic-reinforced and CFG-pile supported embankment	197
8.5	Settlement behaviour of geosynthetic-reinforced and pile-supported embankment	208
8.6	Conceptual model for subgrade settlement analysis	235



References	242
9 Integrated analysis and surveillance planning of subgrade settlement and residual settlement prediction	244
9.1 General	244
9.2 Integrated settlement analysis	244
9.3 Surveillance plan	247
9.4 Fundamentals of settlement prediction based on measured results	252
9.5 Predicting method of residual subgrade settlement	261
9.6 Settlement distribution along railway line and resulting profile curve	263
9.7 Estimation of unloading time of pre-loaded embankments	266
References	269
10 Suitability and compact control of filling materials	270
10.1 General	270
10.2 Suitability of filling materials	270
10.3 Compaction standard of ballastless track subgrade	302
10.4 Comparative experimental research on quality control parameters for typical filling materials	306
10.5 Continuous compaction control technique	325
References	350

1 绪 论

中国铁路正在进入高速时代,到 2012 年,新建高速铁路将达到 1.3 万 km,到 2020 年,新建高速铁路将达到 1.6 万 km 以上。也就是说,今后十年,中国铁路通过建设高速铁路和客运专线、发展城际客运轨道交通和既有线提速改造,将初步形成以高速铁路和客运专线为主干,连接全国各主要大、中城市的快速客运网络。

高速铁路建设应达到系统具有安全性、可靠性、高支配性和少维护性的目标。为了达到这个目标,高速铁路对轨道结构提出了高平顺性和高稳定性的要求。无砟轨道结构由于采用了混凝土道床板和水硬性支承层代替碎石道砟道床,在高速条件下,其线路稳定性和耐久性具有明显的优势,与有砟轨道结构相比,维修工作量大大减小,更能满足高速铁路的上述建设目标,所以成为高速铁路轨道结构的发展方向,并在工程中得到越来越广泛的应用。

与任何工程结构物一样,无砟轨道作为高速铁路系统的重要组成部分,首先应满足安全性和使用性两方面的要求。无砟轨道路基结构物的使用性包括功能和耐久性要求,它除了要长期给上部结构提供相应的刚度和完成荷载传递、扩散等功能外,还应满足保证线路长期稳定的“零”或者说“低”后续沉降变形条件(耐久性)。与安全性要求相比,耐久性对无砟轨道系统的设计往往起控制作用,其中路基结构物的沉降变形对无砟轨道系统的耐久性具有关键性的影响。

众所周知,混凝土道床板浇筑完成、硬化后允许发生的后续沉降变形是十分有限的。目前,常规的无砟轨道扣件可调范围为 30 mm,扣除施工误差后,留给后续沉降变形的可调高程总共为 20 mm。以此为基础,设计上一般将其中的 15 mm 作为控制路基和地基工后沉降变形的允许值,剩下的 5 mm 预留给交通荷载在路基中引起的附加沉降变形。这样的划分虽然有一定的人为因素,但目前国外已有的工程实践经验已初步验证了其可行性。需要指出的是,路基后续沉降变形控制不仅仅是轨道高程的可调性问题,还涉及上部结构的应力和强度安全性。如果路基(包括地基)的工后沉降变形明显大于目前允许的 15 mm,意味着沿线路纵向路基的后续不均匀沉降变形相应增大,由此引起的附加强制性荷载(弯矩)和相应的弯曲应力必须由道床板和支承层承受,而轨道上部结构设计并没有考虑这项附加荷载,这时有可能导致轨道发生结构性开裂,影响其耐久性甚至安全性。所以,尽管供货商可以提供可调范围更大的轨道扣件,但确定无砟轨道路基的允许后续沉降变形不能只从轨道高程和扣件可调节范围单方面考虑,还应从路基后续沉降变形对轨道系统可能产生的附加应力和对其强度安全性的影响来确定。总之,路基结



构物的后续沉降变形对无砟轨道系统和高速铁路的耐久性具有关键性的影响,本书将围绕这个中心,从不同方面探讨如何通过合理的路基结构物设计和质量技术控制体系来保证路基结构物的后续沉降变形,以满足高速铁路无砟轨道的耐久性要求。

以路堤为例,图 1.1 给出了无砟轨道路基结构物和主要作用因素示意图。无砟轨道系统由上部结构和下部结构(路基结构物)组成。总体上,系统的弹性和变形模量梯度自上而下递减,尤其在动荷载最强的混凝土道床板和水硬性支承层与下部结构的交界区变化最大。这种结构刚度的布置形式与动荷载随深度的衰减趋势基本一致。这样做,一方面可使轮、轨相互作用产生的高应力通过刚度很大的混凝土道床板迅速扩散、下降,使路基结构单元不致承受过大荷载以至破坏其骨架而产生附加变形;另一方面,这样的结构布置使不同高度路基材料性质和质量要求与动荷载衰减相匹配,从而达到经济合理的设计目的;此外,系统自上而下的刚度梯度递减有利于路基吸收动能以降低轨道表面的振动。

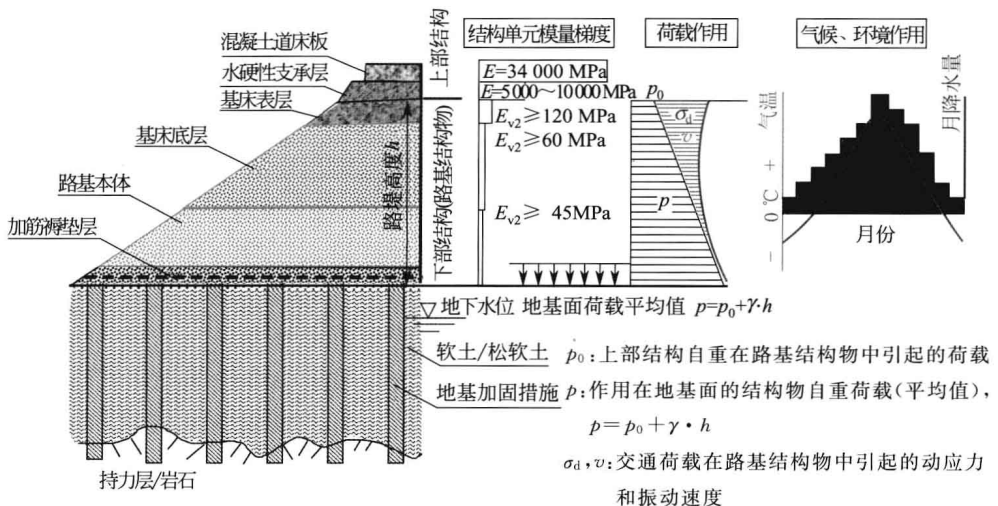


图 1.1 无砟轨道路基结构物系统、静、动荷载和气候环境作用示意图

路基地段无砟轨道下部结构单元分别为基床表层、基床底层、路基本体和地基等,见图 1.1。一般情况下,它们承受的作用因素分为两大类:荷载作用和气候、环境作用。荷载作用分为路基结构物自重(静载)和运营交通荷载(动载)。气候、环境作用主要为雨水、季节性冰冻、地表水、地下水、层间水和毛细水等。这些作用力可在不同阶段、以不同方式和程度对路基结构物的承载力、沉降变形和后续沉降变形(包括工后沉降变形和振动引起的附加沉降变形等)产生影响。

一般情况下,荷载作用下的路基沉降变形由三部分组成,见图 1.2。

第一部分:地基(原状或加固后)在路堤和上部结构自重($p = p_0 + \gamma \cdot h$)作用下发生的沉降变形 s_U ;



第二部分:路基包括基床表层、基床底层和本体在上部结构自重(p_0)和本身自重($\gamma \cdot h$)作用下发生的压缩变形 s_E ;

第三部分:路基结构物上部(一般限于基床表层和基床底层)在长期、重复交通荷载作用下产生的塑性变形 s_N (附加沉降变形)。

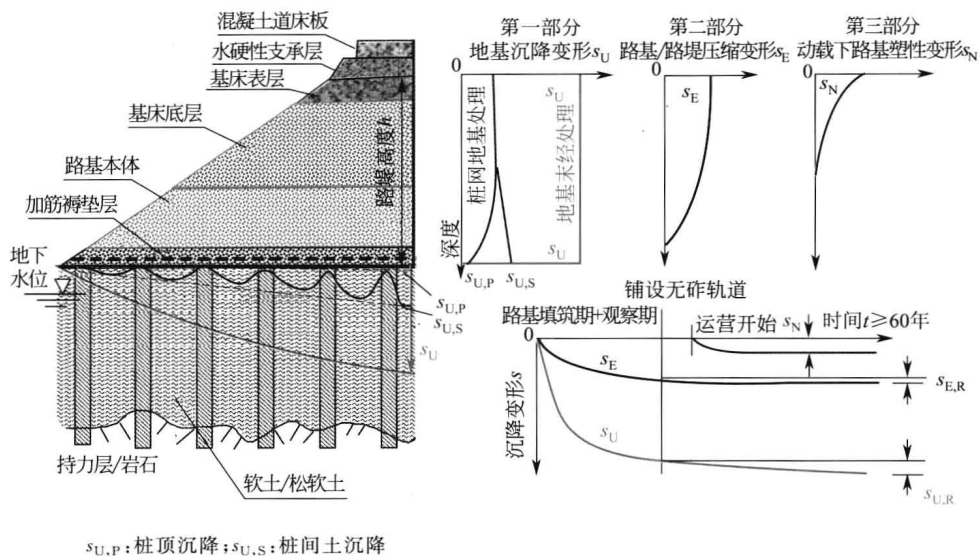


图 1.2 荷载作用下无砟轨道路基结构物沉降变形随深度和时间变化的示意图

第一部分沉降变形 s_U 的大小和与时间的关系取决于路堤的高度、地基土的种类、状态以及采用的地基加固措施,见图 1.2 中的红色示意线。一般情况下,它对路基整体沉降变形起控制作用,决定了允许铺轨的时间表和路基工后沉降值。

当地基采用刚性、半刚性桩加固并设置加筋褥垫层,例如 CFG 桩网结构等时,一般情况可使地基的总沉降变形 s_U 大大降低,沉降变形完成的时间明显缩短。但是,这种情况下地基和路堤间的荷载及沉降变形分布变得更为复杂,地基面(路堤底部)的沉降盆不再是单一形式,而呈现桩间众多小沉降盆,见图 1.2 中的棕色示意线。当桩支承在承载力较好的土层时,路堤通过土拱作用传递给桩顶的部分土压力荷载使桩发生的沉降变形远小于桩间土沉降变形,而作用于桩间土的土压力荷载部分使其发生与时间相关的沉降变形并在路堤底部形成众多小沉降盆。在桩间土沉降发展过程中,这部分土压力荷载经过土工格栅进一步传递给桩。当路堤较高时,路堤底部众多小沉降盆对路基面、轨道非均匀沉降变形的影响可以忽略,见图 1.2 中的棕色示意线。而对低路堤情况,路堤底部众多桩间小沉降盆的变形可能会传递到路基面,并对轨道的工后沉降变形及耐久性产生影响。

路基沉降变形的第二部分,即路基本身在自重作用下的压缩变形 s_E 取决于采用的路基填料和填筑质量。在填料满足相应要求的情况下,如果填筑质量良好,路



堤本身的压缩变形 s_E 约为其高度的 $0.2\% \sim 0.8\%$, 而且其大部分在施工填筑完成后已经收敛。

路基沉降变形的第三部分涉及路基特别是基床表层和底层在重复性交通荷载作用下的长期动力稳定性以及相应的附加变形 s_N , 见图 1.2 中的绿色示意线。根据德国的经验, 采用德铁路基规范 Ril 836 标准路基方案时, 在填料和填筑质量满足要求的情况下, 附加变形一般不会超过 5mm, 这也是德铁路基规范 Ril 836 预留给交通荷载引起变形为 5 mm 的基础和背景。对低路堤和路堑情况, 动力荷载还可能对地基产生影响, 特别是路堑区基床底层存在中、高塑性黏土的情况。这时, 应特别注意动力荷载对其长期稳定性和附加变形的影响。当地基采用 CFG 桩网结构加固时, 如果路堤较低, 动力荷载可能对加筋褥垫层区土压力拱、桩土荷载比以及土工格栅的变形和安全性产生影响。

对无砟轨道耐久性起控制作用的路基沉降变形为铺设无砟轨道后发生的后续沉降变形 s_T 。

$$s_T = s_R + s_N = (s_{U,R} + s_{E,R}) + s_N \quad (1.1)$$

式中 s_R ——工后沉降变形, $s_R = s_{U,R} + s_{E,R}$, 见图 1.2;

s_N ——交通荷载产生的附加沉降变形。

当地基采用桩网复合结构加固时, 特别是在浅路堤情况, 沉降变形的分析较为复杂。这时, 桩间土在铺设无砟轨道后发生的工后沉降变形以及向路基面的延伸可能对路基的后续沉降变形产生影响。

无砟轨道路基结构物设计的另一个关键部位是过渡段。轨道沿线路纵向几何形状和刚度的均匀分布是满足高速铁路对轨道结构提出的高平顺性要求的基础。但是, 在桥(涵)路、隧路、堤堑等过渡段, 由于基础结构形式和材料刚度的不同, 轨道刚度的差别不可避免; 另一方面, 由于刚性结构物基础和路基结构物基础的加固方式不同, 可能在过渡段产生差异沉降, 这将进一步降低线路的几何平顺性, 由此可能产生较大的振动, 使线路的耐久性和稳定性受到影响。所以, 如何合理地设计过渡段以实现平缓过渡, 是保证轨道结构高平顺性和高稳定性的一个重要方面。

在设计阶段, 路基沉降变形包括后续沉降变形的分析计算只能根据相应的计算理论和方法以及土力学参数来进行。岩土工程的复杂性、多变性以及室内外试验结果的局限性决定了这些分析计算不可能准确地确定真实的沉降变形, 只能粗略地估计其量级。所以, 在路基结构物施工和调整期对其沉降变形进行有针对性的观测、分析、评估以及对工后沉降的预测, 成为无砟轨道路基建设不可缺少的一部分, 它是决定是否可以铺设无砟轨道的关键。

除了静、动荷载作用产生路基沉降变形外, 气候和环境作用对路基耐久性的影响同样不可忽视, 见图 1.1。在施工和运营阶段, 无砟轨道路基可能承受各种来源的水作用, 包括雨水、地表水、地下水和毛细水作用等。例如, 渗入路基的地表水如果无法从路基结构物通畅地排走, 其聚集可能导致孔隙水压力而对路基结构物的



稳定性和沉降变形产生不利的影响,特别是在动力荷载作用较强的基床部位,水滞留、聚集可能产生超静孔隙水压力和附加变形。同样,如果地基的地下水位较高、水量丰富时,下部的水可能通过毛细作用上升到路堤部位,也可能对其稳定性和长期变形产生负面的影响。总之,路基结构物中水的存在对其长期耐久性影响很大。这里,首先涉及填料的水稳定性、渗透性和抗冻性等内在因素,所以,一方面设计上应对路基填料在水作用下本身的稳定性(水稳性)和渗透性、抗冻性提出相应的要求,并在施工阶段通过填料适用性试验验证、确认;另一方面,应通过合理规划防排水设施,如侧沟、排水槽、排水井、深排水设施(盲沟)和毛细截断层等,使路基结构物关键部分尽可能与水分离。

本书将对上述与无砟轨道路基耐久性,特别是沉降变形相关的课题,从设计背景和原理、填料适用性控制、填筑质量技术控制体系以及沉降变形监测和评估等不同方面,结合国内外高速铁路无砟轨道理论研究和工程实践的成果来探讨如何保证无砟轨道路基的功能性、耐久性和平顺性。需要指出的是,本书不是以设计手册的思路来构筑的,所以不求全面,而求突出重点、突出新颖、突出理论和工程应用的结合。本书将以专题形式展开,其结构见图 1.3。

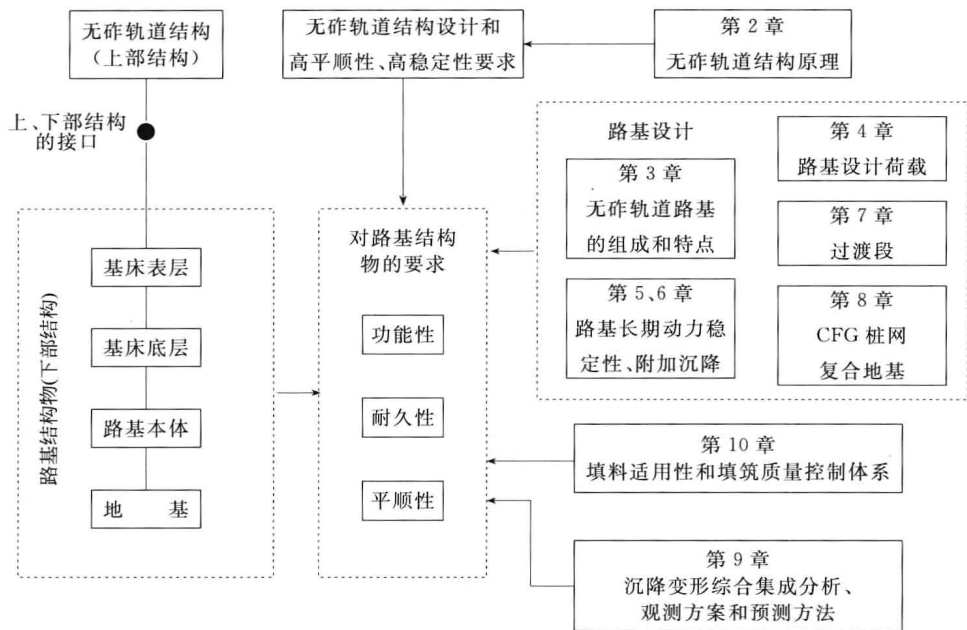


图 1.3 本书的结构:从路基设计背景和原理、填料适用性控制、填筑质量技术控制体系以及沉降变形监测和评估等不同专题来探讨如何保证无砟轨道路基的功能性、耐久性和平顺性

第 2 章代表性地介绍无砟轨道结构的基本原理,着眼点侧重其对路基结构物的要求,特别是耐久性。第 3 章到第 8 章分专题讨论如何从路基结构物设计上满足无砟轨道结构的功能性、耐久性和平顺性要求。其中,第 3 章介绍无砟轨道路基



主体结构的特点；第4章在简述国内外经典设计荷载基础上，以行车时路基实测结果为基础，描述动应力、振动速度等动荷载参数与轨道型式、行车速度、深度等的关系，并在此基础上给出路基动力稳定性设计的简化参数；第5章讨论路基在动力荷载作用下的长期稳定性，包括理论基础、分析方法、室内外试验方法和工程应用；第6章首先介绍交通荷载作用下附加沉降的常规计算方法以及工程经验，然后介绍以拟静力黏弹塑性为基础的非线性有限元模型，包括非黏性土和饱和黏性土模型，在此基础上，将计算结果分别与室内、外试验和现场实测结果进行对比，最后对这些模型的可应用性作出评价；第7章介绍路基结构物和刚性结构物过渡段的设计基础和不同设计方案，并利用部分现场模型试验和运营阶段的实测结果对其特性进行比较分析；第8章以CFG桩为例，详细介绍路堤条件下刚性桩—网复合地基承载力、变形特性和设计方法，重点讨论土压力拱作用、路堤底部应力、沉降分布和路堤内沉降变形的变化规律，并给出工程应用实例和分析结果；第9章介绍路基沉降变形综合集成分析、观测方案和工后沉降预测方法等，包括大、小变形条件下国内外高速铁路无砟轨道路基的实例和经验；第10章详细介绍无砟轨道路基填料适用性准则和检测评估方法，重点介绍填筑质量控制技术的原理、背景和方法，以及部分最新科研成果和工程应用实例。