

DYNAMICS PRINCIPLE AND
ENGINEERING APPLICATION FOR

CONTINUOUS COMPACTION CONTROL OF FILL ENGINEERING OF SUBGRADE

路基连续压实控制

动力学原理与工程应用

徐光辉 著



科学出版社

路基连续压实控制 动力学原理与工程应用

徐光辉 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍连续压实控制动力学方法的理论体系、测试技术和工程应用等,全书共7章。其中,第1章论述路基结构的基本特征,分析连续压实控制方法的特点;第2、3章为动力学方法的理论基础,从评定和控制指标体系、压路机与路基相互作用的动力学原理等方面进行论述;第4章阐述相关的测试技术;第5章介绍压实过程的模拟试验成果,这是对一些结论的试验验证;第6章论述连续压实控制的基本原理,这是现场实施的技术基础;第7章介绍一些典型工程应用实例,这是对控制原理的试验验证。为了方便工程技术人员学习,本书最后给出问答形式的附录,其中一些问题是现场技术人员与作者之间展开的问答实录。

本书可供高等院校有关公路、铁路、机场、市政、建筑、水工等专业的高年级本科生及研究生阅读,也可供土木工程和工程机械等领域相关技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

路基连续压实控制动力学原理与工程应用 / 徐光辉著. —北京:科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-049023-0

I. ①路… II. ①徐… III. ①路基工况-压实施工法-研究 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 141819 号

责任编辑:陈 婕 高慧元 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:卓辰传媒

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:30 1/4

字数:590 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

填筑工程是指由建筑材料(岩土、水泥、沥青等)按照一定要求堆积碾压而成的土工结构物的统称,覆盖到铁路、公路、机场、大坝、市政等诸多领域。其中,公路和铁路路基在填筑工程中占有主导地位。决定填筑工程质量的关键因素是填料和碾压,目前的焦点主要集中在碾压控制方面。加强填筑工程质量控制,特别是碾压全过程的控制已成为本领域的重中之重。

鉴于传统碾压质量控制方法的局限性,作者自1993年起参加了有关碎石土路路基施工质量控制课题的研究工作,从一些资料中了解到国外有一种称为“压实计”的方法可以进行碾压面的连续检测,但经过研究和实践发现,该方法问题较多,特别是在粗颗粒填料中,因此只好另寻蹊径,从压路机与路基相互作用的动力学原理出发,开始了自主研发的艰辛历程。经过理论与工程实践,作者于1998年提出了连续压实控制的动力学方法,并以此为基础研发了第一代“压实过程监控系统”(CPMS1.0)且获得国家专利。自1993年起,作者结合东北三省和交通部等多个科研课题,在公路路基、基层和面层的压实质量控制中进行了试验性应用,取得了很好的效果,这为制定相关技术标准奠定了基础。

随着我国高速铁路建设的快速发展,对铁路路基结构性能提出了更高的要求,同时铁路路基填筑质量也越来越受到重视,因此将连续压实控制技术引入铁路建设中的时机开始成熟。2007年,哈尔滨工业大学和中铁二院工程集团有限责任公司合作,承担了第一个铁路领域的连续压实控制技术应用的研究课题。2008年,西南交通大学、哈尔滨工业大学等单位共同承担了铁道部“高速铁路路基连续压实检验控制技术与装备研究”科研任务,从理论体系、测试技术和工程应用等方面进一步完善了这项技术。随后,这项技术在多条铁路建设工程中进行了大量的对比试验和工程应用。2011年,作者主持编写了我国首部连续压实控制技术方面的行业标准——《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(TB 10108—2011)。该标准为连续压实控制技术在国内外相关领域开展工程应用提供了依据和技术保障。2015年,作者又主持编写了中国铁路总公司企业标准——《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(Q/CR 9210—2015)。目前这项技术已经在铁路建设中开始普及应用,对提高路基压实质量起到了促进作用。2015年,作者还主持编写了《公路路基填筑工程连续压实控制系统技术条件》,这是首部对连续压实控制系统(产品)作出技术规定的国家行业标准。

动力学方法在控制指标方面提出了采用路基结构抵抗力(进一步可以得到模

量)的思路,在控制内容方面提出了在碾压过程中同时控制压实程度、压实均匀性和压实稳定性的技术方案。该方法既避开了既有评定指标的局限性,又避免了需要配置专用压路机的问题。以该方法为核心,形成了一套具有自主知识产权的技术体系。本书基于作者承担完成的东北三省、原交通部、原铁道部和国家自然科学基金委员会等多个部门的十余项科研课题的研究成果,对作者二十余年从事连续压实控制动力学方法研究的技术进行了总结,是首部系统论述连续压实控制技术方面的书籍。初稿始于2006年,以作者的博士论文为基础进行撰写,其后,随着近年来工程应用的增多和研究的深入,又进行了修订完善,以确保所有资料都处于最新状态。尽管如此,仍然感觉还有许多不满意的地方,只能有待于今后的补充完善了。

本书研究的实质是散粒体碾压成形中的动力学控制问题。虽然是以路基为对象进行的论述,但对于所有填筑工程都是适用的,对于振动压路机的设计也有借鉴意义。为适应不同读者的需求,尽量将涉及的有关理论进行较为详细的阐述,以方便读者阅读。

作者从事连续压实控制方面的研究二十余载,虽历经千辛万苦,但也自娱自乐,非几句话所能表达。在这些年的研究过程中,先后得到了东北三省交通界、交通运输部、原铁道部、哈尔滨工业大学、西南交通大学等单位的众多领导、老师、朋友和同学的大力支持,在此一并致以衷心的感谢!同时,也感谢家人的支持与陪伴,成绩的背后也有她们付出的汗水!此外,感谢国家自然科学基金项目(编号:51178405)对本书的资助。

限于作者水平,本书虽经反复修改,但不妥之处仍在所难免,恳请读者批评指正。反馈意见请发至 highx@163.com。

目 录

前言	
第 1 章 引论	1
1.1 路基结构特征	1
1.1.1 路基结构性能要求	1
1.1.2 路基外部作用特征	4
1.1.3 路基结构变形特征	5
1.1.4 路基结构性能指标	7
1.1.5 性能指标的复杂性	10
1.2 压实与路基结构性能	12
1.2.1 压实方式及其特点	13
1.2.2 填筑质量控制要素	16
1.3 压实质量控制方法	17
1.3.1 控制方法分类	18
1.3.2 点式控制方法	19
1.3.3 工艺控制方法	22
1.3.4 面式控制方法	23
1.4 连续压实控制	23
1.4.1 发展历程	24
1.4.2 瑞典方法	32
1.4.3 德国方法	39
1.4.4 动力学方法	43
1.5 几个问题	46
1.5.1 路基系统问题	46
1.5.2 压实机具系统问题	48
1.5.3 振动压实的动力学试验系统	48
参考文献	48
第 2 章 压实状态与评定指标	50
2.1 路基系统与状态	50
2.1.1 基本特征	50
2.1.2 系统状态	56

2.2 路基系统状态演化	59
2.2.1 状态变化	59
2.2.2 压实影响	60
2.2.3 演化方程	62
2.2.4 实测结果	65
2.2.5 一般规律	69
2.3 压实状态评定指标	71
2.3.1 物理指标	72
2.3.2 力学指标	78
2.3.3 路基结构抵抗变形能力特征	81
参考文献	88
第3章 路基与压实机具相互作用	89
3.1 静力学基础	89
3.1.1 弹性半空间理论	89
3.1.2 接触力学理论	97
3.2 动力学基础	99
3.2.1 几个概念	100
3.2.2 振动要素与基本形式	104
3.2.3 单自由度振动特征	108
3.2.4 双自由度振动特征	119
3.2.5 非线性初步	120
3.3 传统模型与动力分析	123
3.3.1 理想状态下路基系统动态响应	124
3.3.2 振动压路机动态响应与仿真分析	126
3.4 连续测试模型与动力分析	133
3.4.1 模型选择	133
3.4.2 线性分析	137
3.4.3 非线性分析	141
3.4.4 抗力信息与识别	146
参考文献	152
第4章 压实信息测试	154
4.1 基本概念	154
4.1.1 生活中实例	154
4.1.2 几个概念	156
4.2 测试系统特征	158

4.2.1 系统组成与性能参数	159
4.2.2 激励系统	165
4.2.3 量测系统	168
4.2.4 分析系统	181
4.2.5 校准试验	182
4.2.6 现代测试系统简介	185
4.3 压实过程监控系统	186
4.3.1 系统特点	186
4.3.2 系统要求与功能	194
4.4 物联网与远程监控	198
4.4.1 物联网概述	198
4.4.2 压实过程远程监控实施方案	202
参考文献	207
第5章 压实过程模拟试验	208
5.1 常规试验	208
5.1.1 压实标准再讨论	208
5.1.2 填料级配与特性	212
5.2 振动压实试验系统	218
5.2.1 试验系统设计	218
5.2.2 振动压实工艺	219
5.3 振动压实模拟试验	221
5.3.1 两个验证试验	222
5.3.2 寻找最佳工艺	224
5.3.3 改善级配措施	234
参考文献	237
第6章 压实过程控制原理	238
6.1 反馈控制	238
6.1.1 几个概念	238
6.1.2 控制模式	242
6.2 相关校验	245
6.2.1 两类试验特征	245
6.2.2 校验方法与结果应用	250
6.2.3 影响相关性的因素	255
6.2.4 相关性与填筑质量关系分析	261
6.3 控制内容与控制准则及措施	270

6.3.1 施工管理控制	270
6.3.2 压实工艺监控	272
6.3.3 压实程度控制	278
6.3.4 压实均匀性控制	284
6.3.5 压实稳定性控制	292
6.3.6 压实状态与最小风险验收控制	298
6.3.7 两种控制结果的一致性	306
6.3.8 碾压中的控制顺序	308
参考文献	309
第7章 工程应用	311
7.1 概述	311
7.1.1 应用回顾	311
7.1.2 操作流程	313
7.2 准备工作	316
7.2.1 设备检查	316
7.2.2 碾压与控制方案	318
7.3 相关校验	322
7.3.1 试验方案与要点	323
7.3.2 数据处理实例	327
7.3.3 关于目标值	334
7.3.4 相关校验实例	337
7.4 ¹ 过程控制实例之一——公路拓宽工程	352
7.4.1 试验路段	352
7.4.2 压实工艺监控	357
7.4.3 压实质量判定准则	358
7.4.4 山皮土路基压实质量分析	361
7.4.5 石渣路基压实质量分析	375
7.4.6 砂砾路基压实质量分析	386
7.4.7 压实均匀性分析	392
7.5 过程控制实例之二——公路碎石土路基	403
7.5.1 试验路段	404
7.5.2 压实工艺监控	407
7.5.3 压实质量分析	408
7.6 过程控制实例之三——铁路路基	417
7.6.1 一个典型的过程控制实例	417

7.6.2 填料级配不合理实例	423
7.6.3 填料含水量变化过大实例	425
7.7 过程控制实例之四——其他工程	426
7.7.1 市政道路强夯后整体评定	427
7.7.2 机场工程高填方压实	432
7.8 质量检测	437
7.8.1 连续检测与压实状态	437
7.8.2 薄弱区内的常规检测	438
7.9 压实成果管理	440
7.9.1 报告组成与格式	440
7.9.2 压实信息化监管	443
参考文献	446
附录 问答录	447

第 1 章 引 论

在道路与铁道工程中,路基作为一种带状土工结构物是上部结构——路面和轨道的基础,其位置位于线路的地基之上,其根本任务是为行车提供稳定而安全的运行环境。因此,对路基结构的性能要有一定的要求,即满足安全行车。路堑和路堤是路基结构的两种主要形式,一般都是由岩土填料构成的。其中,路堑是经过开挖形成的,其性能主要取决于原地基的性状;而路堤则是由土石材料填筑而成的,其性能主要取决于填料的性质和压实的好坏。本书的主要研究对象为颗粒填料的路堤路基(填方路基)的压实质量控制问题,其实质是如何控制散粒体在一定外力作用下形成一个满足一定要求的结构体问题,也可以说是散体碾压成型动力学监控问题。

为了进行路基压实质量的控制,首先需要了解路基结构应该具有哪些技术特征。只有对路基结构性能有了一个清晰的了解,才有可能提出控制路基填筑体达到这些技术要求的方法和途径。

1.1 路基结构特征

研究路基填筑体的压实质量控制问题,必须首先确定控制目标,也就是压实应使路基填筑体达到何种状态,该状态下路基结构性能应该达到什么样的规定要求。由于路基结构性能在很大程度上取决于其结构特征,因此有必要了解路基结构的一些技术特征。这些特征主要包括路基填筑体的结构性能要求、变形特征、外部作用特征以及表征路基结构的指标特征等。

1.1.1 路基结构性能要求

路基结构由散体填料构成,具有带状特征,其中填方路基是经过填筑、压实而成的。作为交通基础设施,要为上部结构以及行车提供安全保障,其性能要求是依据上部结构与行车特征而提出的。不同的上部结构和行车要求,对路基结构性能的要求也不尽相同。下面按照公路与铁路工程的各自特点分别进行阐述。

1. 公路路基结构

公路路基是路面的基础,主要承受道路面层和基层结构恒载以及经结构层传递下来的行车荷载作用。按照路面刚度的不同,路面分为刚性路面和柔性路面两

种类型,因此路基也可分为刚性路面路基和柔性路面路基两种,其各自的性能要求也不完全相同,但具有足够的抵抗变形能力是其根本要求。多年的工程实践表明,无论是柔性路面还是刚性路面,其损坏、特别是早期损坏,很多都与路基结构性能的变异有密切关系,典型的案例就是路基结构的不均匀变形(沉降)而造成的路面损坏^[1]。

1) 柔性路面对路基结构性能要求

柔性路面就是通常所说的沥青路面(俗称黑色路面)。由于柔性路面的刚度明显低于刚性路面的刚度,因而得名柔性路面。一般来讲,柔性路面的路基结构应具有足够的整体稳定性和均匀一致的强度和刚度(抵抗变形能力),这是最基本的要求。目前许多沥青路面的早期损坏都与路基结构性能变异有关,最明显的例子就是由于压实不好而出现的路基结构局部变形过大而引起的路面开裂问题。

2) 刚性路面对路基结构性能要求

刚性路面就是通常所说的水泥混凝土路面(俗称白色路面)。水泥混凝土路面的路基结构除了要满足基本要求外,更要满足均匀支承的要求。如果路基结构出现局部不均匀沉降(变形),该处就会失去对水泥混凝土板的支承,在行车荷载长期、反复作用下,混凝土板就会因疲劳而开裂和断裂。这是最典型的刚性路面问题,路基结构性能在其中起到了关键作用,详见后面的分析。

2. 铁路路基结构

铁路路基作为轨道的基础,是铁路线路的重要组成部分。与公路路基相比,有其独特之处,其区别主要在于受到的上部荷载形式不同以及上部结构的差异。因而对路基结构提出的性能要求也就不尽相同。对于铁路路基而言,为了保证行车安全,路基结构必须具有足够的刚度、强度和稳定性,以便承受上部结构传递下来的列车荷载作用,同时也要具有抵抗自然因素作用的能力。

与公路路基一样,铁路路基结构特征与其上部结构类型是密不可分的。从轨道结构方面来讲,总体上可以分为有砟轨道和无砟轨道两种结构形式。由于各自的特点不同,因而对其下部基础——路基结构性能的要求也不完全相同^[2]。

1) 有砟轨道对路基结构性能要求

有砟轨道主要由钢轨、轨枕、道床等部分组成。其中道床是轨枕的基础,主要由碎石等散体填料构成(散体道床),其下便是同样由散体填料构成的路基结构。这是整个结构中最薄弱、最不稳定的环节,是轨道产生变形的主要来源。

对于有砟轨道,路基表面为碎石道床,这是一种散粒体结构,实际是一层应力吸收层——起到分散应力的作用,同时也是一个变形调节层——调解路基变形所带来的轨道不平顺。通过调整碎石道床(养护)便可以将路基产生的一些问题化解掉。因此有砟轨道下路基结构变形(沉降)的变化对其影响一般是不显著的,可以

允许达到 5~10cm。尽管有砟轨道路基的沉降变形可以通过起道调整,但是会增加运营期的养护维修成本(图 1-1)。因此,在考虑路基结构性能要求时,其维修模式、维修周期和维修费用是必须要考虑的,也应该满足刚度、强度和稳定性三方面的要求。

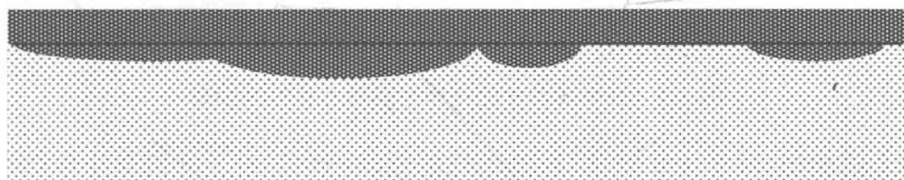


图 1-1 普通铁路路基不均匀变形引起的道床变化

目前,普通铁路一般均为有砟轨道结构,其路基结构是按强度设计的,它考虑的主要问题是强度问题,要求路基结构的强度必须满足要求,不能产生破坏。随着认识的提高,加强有砟轨道结构路基结构的质量控制的呼声也越来越高。

2) 无砟轨道对路基结构性能要求

无砟轨道主要由钢轨、轨道板、混凝土层等组成。由于无砟轨道没有散体道床部分而变成了一种整体结构,因此它实际上是一种板式构造。混凝土层下面为路基结构,其中顶层一般为一定厚度的级配碎石层。由混凝土板和路基组成的结构,在形式上与公路中的混凝土路面(刚性路面)有许多相似之处,如图 1-2 所示。

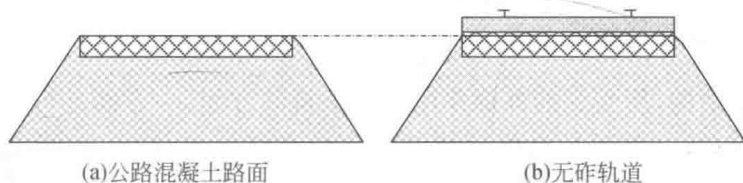


图 1-2 公路混凝土路面与无砟轨道

混凝土路面的混凝土板下面为基层(一般为半刚性结构),然后为路基的基床部分,这与现行的轨道结构中的路基与混凝土板的结构是非常相似的,因此可以借助混凝土路面的损坏现象来说明路基结构性能是如何对混凝土板产生影响的。

在公路领域,对于水泥混凝土路面,大量的实际调查数据表明,混凝土板的断裂原因之一就是路基过量的塑性变形致使板底脱空而失去支承。而路基结构过量的塑性变形并非是一次荷载造成的,是汽车荷载的重复作用引起的。在重复荷载作用下,如果路基弹性变形过大,会使混凝土板产生疲劳开裂的问题;如果路基塑性变形过大,则会使混凝土板产生断裂(图 1-3)。这些损害都在局部产生,说明路基局部存在过大的弹性变形或塑性变形,而这正是路基结构性能不均匀的表现。因此对于混凝土路面,提高路基抗变形能力(弹性与塑性)是防止路面发生断裂或开裂的主要措施之一。

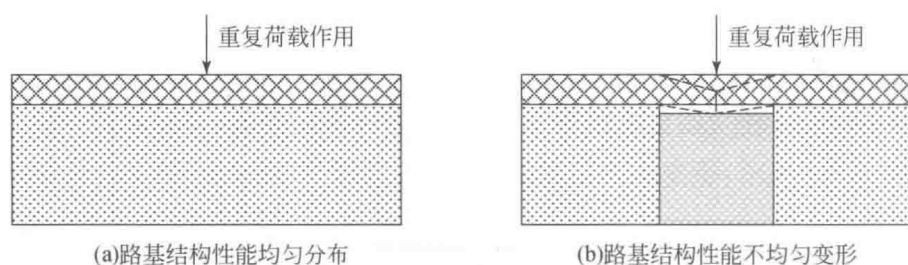


图 1-3 路基结构性能变异对混凝土底座的影响

与上述相仿,对于无砟轨道,路基结构性能的不均匀对上部混凝土板的影响也存在疲劳开裂和断裂问题。这种损坏通过混凝土底座的传递,进而又会对轨道板以及行车带来影响,因此控制路基结构性能的均匀性是非常重要的。与有砟轨道不同,无砟轨道由于只能通过扣件调整,所以工后沉降的控制值十分严格。因此,变形控制、特别是不均匀变形控制是无砟轨道面临的主要问题。

从线路结构的角度看,目前高速铁路已突破了传统的轨道/道砟/路基这种结构,既有传统的有砟轨道,也有新的无砟轨道。对于高速铁路,路基是影响列车高速、安全以及舒适性的关键要素。与一般铁路路基相比,在基床结构、填料要求等方面要求更高,作为轨道结构的基础是不允许有任何病害发生的。国外的实践证明:高速铁路安全而平稳运行的关键之一便是路基结构性能非常良好(所谓成也路基、败也路基)。

1.1.2 路基外部作用特征

对于路基结构,所受到的外部作用主要来自两方面:一方面是行车荷载传递下来的重复作用;另一方面是自然环境的周期性和随机性作用,主要以水和温度为主。下面分别简述其主要特征。

1. 交通荷载特征及引起的主要问题

行车荷载即交通荷载,是铁道与道路所受到的主要外荷载。无论轨道上行驶的列车还是路面上行驶的汽车,都是一种典型的移动荷载,即荷载的作用点不但随时间(位置)而变化,其大小也随时间而变化,如图 1-4 所示。这类荷载的一个最主要特征就是长期的重复作用。

由于路基结构具有一定的孔隙,在外荷载反复作用下会出现进一步的压缩变形。因此对于路基结构来讲,重复荷载作用下的主要问题是塑性变形的累积问题,或者称为永久变形问题(即沉降问题的一部分),这类问题的实质是一种疲劳破坏问题。

2. 自然环境特征及引起的主要问题

由岩土填料构成的路基结构长期处于自然环境之中,不可避免地会受到自然

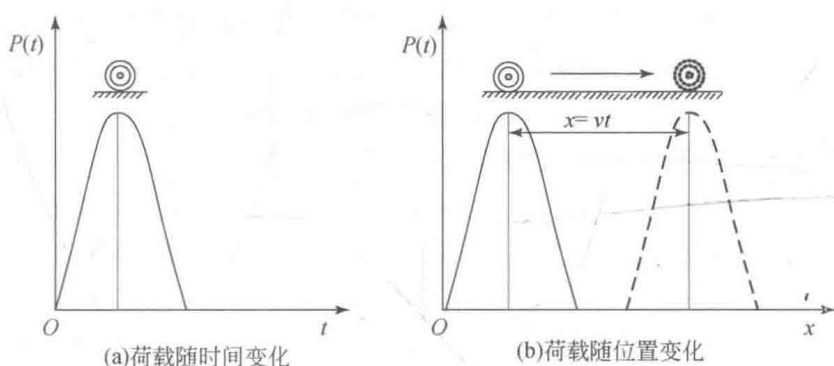


图 1-4 交通荷载特征

环境的影响。如地理条件——地形地貌,地质条件——岩土种类、风化及裂隙程度、滑坡及泥石流,水文条件——地表水、地下水,气候条件——温度变化、降水,以及地震等因素,都会对路基结构性能产生影响。在这些影响因素中,比较典型的是温度和水,特别是二者的耦合作用。

路基的各种病害或变形的产生都与地表水和地下水的浸湿和冲刷等破坏作用有关。水的作用主要表现在路基结构含水量的变化上,也就是湿度的变化上。一般来讲,由岩土填料构成的结构对水是非常敏感的,路基也是如此,特别是细粒料路基。如果路基结构内部含水量过大,就会使路基结构的物理力学性质明显下降,抵抗外部作用的能力下降,当超过容许范围后,就会发生病害。可以说,铁路和公路上发生的许多病害,有相当一部分都与水有直接或间接的关系;温度的影响主要表现在路基结构内部温度场的变化上,特别是细粒料路基,低温可能会引起的路基结构收缩裂缝、冻胀和翻浆等病害问题,这又与路基结构内部含水量的变化和多少密切相关。

此外,交通荷载和自然因素的联合作用,更将加剧路基结构性能的劣化乃至破坏。因此,为了保证路基结构具有一定的抵御能力,在路基结构的形成阶段——压实阶段就必须采取有力措施,增加这种抵御能力。而加强路基结构在形成过程中的质量控制是其最重要的手段之一。

1.1.3 路基结构变形特征

对于填方路基结构,由于是由岩土材料经压实而构成的,所以路基结构出现损伤的主要形式就是沉降问题——永久变形(当然还有边坡问题)。因此,路基结构的变形及控制问题是我们关心的重点。

路基结构的变形主要发生在两个阶段,如图 1-5 所示。第一阶段是在建造期,主要由施工机械的压实作用产生的塑性变形积累(永久变形),这是我们希望发生的变形;第二阶段是在运营期,主要是由交通荷载作用和路基本体及地基的再压密

所产生(可以称为工后沉降)的塑性变形和弹性变形,其大小将影响到铁路轨道和公路面层的平顺与否以及行车的舒适性,这是我们不希望发生的变形,因此需要进行一定量的控制。一般来讲,在建造期对路基填筑体压实质量标准要求越高、控制越好,在运营期所产生的变形也就越小。

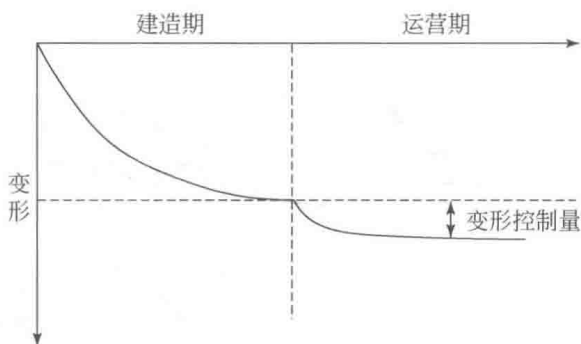


图 1-5 路基结构不同阶段的变形

目前,公路路基的变形指标主要是弯沉(一定荷载下的竖向变形),路基结构顶面的弯沉是作为设计时的控制指标使用的。而铁路路基对变形有更多的具体要求,下面主要阐述铁路路基情况。

1. 运营期的永久变形

如前所述,运营期路基结构的变形主要包括塑性(永久)变形和弹性变形两部分。对于填方路基结构而言,路基面上的永久变形主要由地基的压密变形和填筑体本身的压密变形两部分组成(列车荷载作用与路基本体自重所产生)。如果从轨道面上观察,永久变形还应包括道床部分的变形(列车荷载作用产生)。这些永久变形最终都会反映到轨道面上,当永久变形达到一定程度后就有可能造成轨道的不平顺,影响行车安全和舒适度。因此,必须对路基结构进行变形控制。如何控制路基结构变形的大小,则是由轨道结构的技术要求所决定的。

对于有砟轨道,由于路基结构的沉降变形可以通过起道来进行调整,所以对变形量的控制并不是十分严格,一般控制在 5~10cm 即可,这也是基于维修模式、维修周期和维修费用方面提出的要求;对于无砟轨道,受板式结构的限制,变形只能通过扣件进行调整,但调整量是非常有限的,因此对变形量的要求较高,一般控制在 15mm,可见与有砟轨道相比是非常严格的。永久变形即沉降如果过大,就会对上部结构失去支承作用,在行车荷载重复作用下上部结构就会开裂。从目前调查情况看,这种现象正在发生,会产生十分巨大的维修费用。

2. 运营期的弹性变形

运营期路基结构的弹性变形是由路基结构的刚度所决定的,这种变形主要对

轨道结构的变形会产生一定影响。轨道面上的弹性变形主要由道床的弹性变形和路基结构的弹性变形组成。路基结构弹性变形的控制由基床表层的要求所决定,在制定控制值时主要考虑以下三方面的因素:

- (1)要满足高速行车的舒适性和安全性的要求;
- (2)要满足基床表层不发生结构破坏的要求;
- (3)要满足养护维修模式和费用的要求。

基于上述这些要求,经过综合考虑,对于高速铁路,我国目前对路基结构的弹性变形控制量为 3.5mm,不允许超过这个控制值。如何达到这个要求呢?主要依靠在建造期对于填筑体的压实作用和控制予以实现和保证,这就需要提高压实质量控制的技术要求。

从这里也可以看出,普通铁路和高速铁路对路基结构性能的要求是明显不同的,具体体现在对变形量的控制要求上。从路基结构性能的角度看,控制变形量最终要体现在如何控制其性能指标上,通过控制路基结构的性能指标及其大小来实现对变形量的控制。因此,有必要对路基结构的性能指标有一个全面的了解。

1.1.4 路基结构性能指标

路基结构的主要作用是为上部结构提供坚实而稳定的基础,因此,对路基结构的性能有一定的要求,需要通过压实及质量控制的方式予以实现和保证。一般来讲,路基结构的力学指标是最关键的,因为它的主要功能毕竟是承受荷载作用。表征路基结构性能的力学指标主要有三个,即强度、刚度和稳定性。此外,还有一些表征物理性质的指标,如密度、孔隙度等,这些指标也可以说是为了保证其力学性能及其稳定性而提出来的。这里主要阐述强度、刚度和稳定性这三个指标的含义,这是在整个压实控制过程中始终贯穿的三个最重要的概念^[3]!

1. 强度

路基结构强度是指路基结构抵抗外荷载作用、防止产生破坏(破裂或过大塑性变形)的能力。这是一个衡量路基结构发生破坏时的指标,其实质就是路基结构抵抗外部破坏作用的能力。

那么,在什么情况下需要考虑强度问题呢?一般地,当路基结构的应变级别达到 10^{-4} 以上时归结为大变形问题,这时考虑的主要问题应该就是强度问题。由于压实过程正是路基填筑体发生大变形的过程,因此压实过程是一个结构强度不断变化的过程(一般都是由小到大地变化),属于结构强度构成问题。

在路基结构中,一般认为发生的破坏为剪切破坏。因此,路基结构强度也就往往指的是抗剪强度(也可以定义成克服路基结构抵抗力所需的剪应力),其指标以黏聚力和内摩擦角的组合来表征(称为库仑强度理论):