

(第二版)

GAOSU TIELU LUJI SHEJI  
YU SHIGONG

# 高速铁路路基设计与施工

杨广庆 张保俭 赵 玉 主编



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

介 简 容 内

# 高速铁路路基设计与施工

(第二版)

杨广庆 张保俭 赵 玉 主编  
蔡 英 主审

ISBN 978-7-113-08228-0  
2008年8月第1版  
2008年8月第1次印刷  
16开  
787mm×1092mm 1/16 印张:13.25 字数:330千字  
中国铁道出版社  
地址:北京市西城区右安门西街8号  
电话:(010) 21823141 电子邮箱:zdp\_xj@163.com  
网址:<http://www.tdpss.com>

高速铁路路基设计与施工(第二版)  
杨广庆 张保俭 赵玉 主编  
蔡英 主审

责任编辑: 李 佳  
封面设计: 李 佳  
责任校对: 张 玉  
责任印制: 李 佳

责任编辑: 李 佳  
封面设计: 李 佳  
责任校对: 张 玉  
责任印制: 李 佳

中国铁道出版社  
地址:北京市西城区右安门西街8号  
电话:(010) 21823141 电子邮箱:zdp\_xj@163.com  
网址:<http://www.tdpss.com>

中国铁道出版社

2008年·北京

## 内 容 简 介

为更好地满足我国铁路发展的要求和专业需要,对第一版进行了修订:增加了新的路基结构形式、基床底层改良土技术以及高速铁路无砟轨道路基设计技术;增加了路基冲击碾压技术及改良土施工技术;增加了变形模量  $E_{v2}$  以及动态变形模量  $E_{vd}$  检测技术;修改了路基与其他结构物的过渡段设计技术;完善了排水固结法、散体桩复合地基法、柔性桩复合地基法和刚性桩复合地基法的技术原理、施工工艺及质量控制措施等。

本书特点是理论联系实际,注重吸收路基工程发展的新成果、新技术、新材料,具有很强的可操作性,可供从事土木工程的设计、施工技术人员和管理人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

高速铁路路基设计与施工/杨广庆,张保俭,赵玉主编.—2版.—北京:中国铁道出版社,2008.8  
ISBN 978-7-113-08958-0

I. 高… II. ①杨…②张…③赵… III. ①高速铁路-铁路路基-设计②高速铁路-铁路路基-工程施工 IV. U213.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第100890号

书 名: 高速铁路路基设计与施工(第二版)  
作 者: 杨广庆 张保俭 赵 玉

责任编辑: 傅希刚 电话: (010) 51873141 电子信箱: crph\_zj@163.com

编辑助理: 张 婕

封面设计: 马 利

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

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: 河北遵化胶印厂

版 次: 1999年3月第1版 2008年8月第2版 2008年8月第7次印刷

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 13.25 字数: 330千

书 号: ISBN 978-7-113-08958-0/U · 2228

定 价: 28.00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)51873172 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504 路电(021)73187

## 第二版前言

在我国铁路事业跨越式发展之际，多条高速铁路已相继开工或准备开工。高速铁路对路基的高标准要求主要体现在严格控制工后沉降、强化的基床结构、高标准填筑技术以及轨道基础刚度变化处过渡段的设置等。因此，必须采用全新的理念对高速铁路路基进行合理设计与严格施工。为了适应这一需求，《高速铁路路基设计与施工》（第一版）于1999年出版。

伴随着高速铁路在我国的修建，路基工程技术也在不断的发展与创新，很多新的设计方法和施工技术相继涌出，技术标准与相应规范也在不断完善。为了更好地满足我国铁路发展的要求和专业需要，使其具有更广泛的适用性，因此对第一版进行了修订，在内容上进行了补充和修改并删除了陈旧的内容，特别是：

(1) 在路基设计内容上，增加了新的路基结构形式、基床底层改良土技术以及高速铁路无砟轨道路基设计技术，修订了路基与其他结构物的过渡段设计技术。

(2) 为了适应高速铁路对路基工后沉降的严格要求，在地基变形与加固技术一章中，详细介绍了排水固结法、散体桩复合地基法、柔性桩复合地基法和刚性桩复合地基法的技术原理、施工工艺及质量控制措施。

(3) 在路基施工技术上，增加了路基冲击碾压技术及改良土施工技术。

(4) 在路基施工质量检测技术中增加了变形模量  $E_{v2}$  以及动态变形模量  $E_{vd}$  检测技术。

(5) 增加了高速铁路路基变形监测技术等内容。

本版由石家庄铁道学院杨广庆、张保俭、赵玉担任主编，由西南交通大学蔡英教授担任主审。第一章由杨广庆修订，第二章由杨广庆、张保俭、吕鹏修订，第三章由杨广庆、赵玉、周乔勇修订，第四章由张保俭、丁军霞修订，第五章由张昀青、侯兆霞修订，第六章由张保俭、杜学玲修订。在本书的编写过程中，得到了众多同行的热情帮助，特别是铁道部工管中心孙明智对本书的修订工作提出了宝贵意见，谨在此表示感谢。

限于时间和编者水平，书中遗漏、不足之处在所难免，敬请广大读者批评、指正。最后，我们对所有为本书的编写和出版给予支持的单位和个人表示最衷心的感谢。

编 者

2008年4月



# 第一版前言

高速铁路自从1964年在日本问世以来,已经有30多年的历史。高速铁路以其快速、可靠、舒适、经济及其与环境的良好兼容等性能,成为与其他运输方式竞争中取胜的前提。由于其明显的经济效益和社会效益,世界上许多国家和地区纷纷兴建、改建或计划修建高速铁路。如今,高速铁路已成为世界各国铁路发展的总趋势。我国的第一条高速铁路——京沪线预可行性研究工作正在紧张有序地进行之中。

列车的高速、安全、平稳运行,离不开线路的稳定性和高平顺性。路基作为铁路线路工程中轨道铺设的基础,它必须以强度高、刚性大、稳定性、耐久性好、不易变形等优良特性保证列车的正常运行。由于高速铁路对路基有更严格的要求,因此使得高速铁路路基在设计、施工、检测等方面必须比普通铁路有较大的改善和提高。本书针对高速铁路路基的特点,借鉴国外经验,吸收国内高速铁路路基的研究成果,从设计、施工、质量控制手段等几方面,理论联系实际,由浅入深地进行了系统介绍和阐述。

本书由杨广庆、刘树山、刘田明担任主编,西南交通大学博士生导师蔡英教授担任主审。第一章、第二章、第三章、第五章第五节、第六章第二节、第七章由杨广庆编写;第四章由刘田明编写;第五章第一节~第四节由黄晖编写;第六章第一、三、四节由刘树山编写。

在编写本书过程中,曾广泛地参考了国内外许多文献资料。由于参考的文献资料较多,只能就其中主要的列于书后。在此谨向这些文献资料的作者、译者表示衷心的感谢和敬意。

由于本书所涉及的内容多为高新技术,我国的京沪高速铁路也还处于预可行性研究之中,各方面的情况都在不断发展变化,因此尽管我们在编写过程中对不少章节数易其稿,但限于时间和编者水平,书中错误之处在所难免,敬请广大读者批评、指正。最后,我们对所有为本书的完成和出版给予支持者表示最衷心的感谢。

编者

一九九九年一月

音 融

ISBN 7-113-00800-2

081	高速铁路工程路基工程概论	章五第
081	高速铁路工程路基工程概论	章一第
181	高速铁路工程路基工程概论	章二第
271	高速铁路工程路基工程概论	章三第
181	高速铁路工程路基工程概论	章六第
181	第一章 绪 论	1
88	第一节 高速铁路发展与现状	1
99	第二节 路基在高速铁路中的地位和作用	3
	第三节 高速铁路路基工程技术特点	5
205	第四节 路基工程技术进展	6
	第二章 高速铁路路基设计技术	8
	第一节 高速铁路路基横断面设计	8
	第二节 高速铁路路基设计荷载	12
	第三节 高速铁路路基基床表层设计	15
	第四节 高速铁路路基基床底层设计	20
	第五节 高速铁路基床以下路堤设计	21
	第六节 高速铁路路基与其他结构物的过渡段设计	24
	第七节 高速铁路无砟轨道路基设计	32
	第三章 高速铁路路基地基变形与加固技术	38
	第一节 高速铁路路基工后沉降控制指标	39
	第二节 高速铁路路基地基处理技术——排水固结法	40
	第三节 高速铁路路基地基处理技术——散体桩复合地基法	53
	第四节 高速铁路路基地基处理技术——柔性桩复合地基法	69
	第五节 高速铁路路基地基处理技术——刚性桩复合地基法	88
	第四章 高速铁路路基施工技术	106
	第一节 路基施工准备与土质调查	106
	第二节 路基施工组织设计编制	110
	第三节 常用的压实机械与设备	117
	第四节 铁路路基填料的分类	126
	第五节 路基填前基底处理技术	130
	第六节 基床以下路堤施工技术	132
	第七节 路基填料改良施工技术	137
	第八节 基床表层施工技术	145
	第九节 路堑施工技术	149
	第十节 路基与其他建筑物过渡段施工技术	158

第五章	高速铁路路基施工质量检测技术	160
第一节	检测的必要性与方法	160
第二节	压实系数检测方法	161
第三节	力学指标检测方法	175
第六章	高速铁路路基变形监测技术	187
第一节	概 述	187
第二节	路基变形监测仪器与方法	188
第三节	路基工后沉降预测方法	199
参考文献		206
8	朱对路基沉降预测方法	第二章
8	朱对而测路基沉降预测方法	节一章
11	朱对路基沉降预测方法	节二章
12	朱对路基沉降预测方法	节三章
20	朱对路基沉降预测方法	节四章
21	朱对路基沉降预测方法	节五章
24	朱对路基沉降预测方法	节六章
25	朱对路基沉降预测方法	节七章
38	朱对固结已级变基沉降预测方法	章三第
39	朱对路基沉降预测方法	节一章
40	朱对路基沉降预测方法	节二章
32	朱对路基沉降预测方法	节三章
39	朱对路基沉降预测方法	节四章
88	朱对路基沉降预测方法	节五章
101	朱对工路基沉降预测方法	章四第
101	朱对工路基沉降预测方法	节一章
110	朱对工路基沉降预测方法	节二章
111	朱对工路基沉降预测方法	节三章
129	朱对工路基沉降预测方法	节四章
130	朱对工路基沉降预测方法	节五章
132	朱对工路基沉降预测方法	节六章
131	朱对工路基沉降预测方法	节七章
141	朱对工路基沉降预测方法	节八章
141	朱对工路基沉降预测方法	节九章
128	朱对工路基沉降预测方法	节十章

# 第一章 绪 论

## 第一节 高速铁路发展与现状

一般认为，时速 200 km 以上的铁路称为高速铁路。1903 年德国用电力机车牵引，试验速度已达到 210 km/h；1954 年法国用电力机车牵引，试验速度达到 243 km/h；1962 年日本用电力机车牵引，试验速度达到 256 km/h；1972 年法国用内燃机车牵引，试验速度达到 318 km/h。到了 20 世纪八九十年代，法国、德国、日本用电力机车牵引，试验速度达到 400 km/h 以上；法国 1990 年创造了试验速度达到 515.3 km/h 的世界记录；2007 年 4 月法国 V150 列车再次创造 574.7 km/h 的世界新记录。我国分别于 1997 年、1998 年用电力机车牵引，试验速度达到 212.6 km/h 和 240 km/h，时速 350 km 的 CRH<sub>3</sub>“和谐号”动车组列车也已投入运营。

列车行驶速度要达到 200 km/h 以上，并投入商业运营，必须按高速技术条件修建高速铁路线，要按高速技术标准研制机车车辆以及建设一系列符合高速技术条件的配套设施。而列车达到的试验速度往往只是对既有线路进行改造，对机车车辆的技术性能进行改进提高，只属于试验阶段。

### 一、日 本

1964 年 10 月 1 日，世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线（东京至大阪，全长 515.4 km）正式开通营业，高速列车运行速度达到 210 km/h。从东京至大阪间运行时间由 6 小时 30 分钟缩短到 3 小时。这条专门用于客运的电气化、标准轨距的双线铁路，代表了当时世界第一流的铁路高速技术水平，并标志着世界高速铁路由试验阶段跨入了商业运营阶段。

东海道新干线以其安全、快速、准时、舒适、运输能力大、环境污染轻、节省能源和土地资源等优越性博得了政府和公众的支持和欢迎。东海道新干线投入运营后，高速列车的客运市场占有率迅速上升，每天平均运送旅客 36 万人次，年运输量达 1.2 亿人次，从而使包括东京、横滨、大阪等大城市在内的东海道地区原本旅客运输十分紧张的状况一下得到了缓解，而且大大提高了运输服务质量，同时取得了预期的经济效益。东海道新干线 1964 年投入运营，1966 年开始盈利，1972 年收回全部投资。

### 二、法 国

法国高速铁路称 TGV（Train a Grande Vitesse，法文“超高速列车”之意）。法国国铁（SNCF）从 1950 年开展高速铁路技术研究，1955 年研制的样车试车，时速达到 331 km，创造了当时的世界最高记录，使人们看到了这一技术的发展前景。

在法国，1971 年法国政府批准修建 TGV 东南线（巴黎至里昂，全长 417 km，其中新建高速铁路线 389 km），1976 年 10 月正式开工，1983 年 9 月全线建成通车，TGV 高速列车最



高运行时速达 270 km, 巴黎至里昂间旅行时间由原来的 3 小时 50 分钟缩短到 2 小时。TGV 东南线通车后, 客运量迅速增长, 1984 年原计划乘坐飞机的旅客约有 70% (约 200 万人) 转乘了高速列车, 约有 100 万 ~ 150 万人次原计划乘坐高速公路上的小汽车或公共汽车, 后转乘高速列车。1991 年东南线客运量达到 1 820 万人, 并创造了预期的经济效益, 10 年内的盈利还清了新线建设和车辆购置贷款本息 (TGV 东南线是法铁自行贷款兴建的)。1989 年 9 月又建成 TGV 大西洋线 (巴黎至勒芒, 全长 181 km, 最高运行速度 300 km/h)。1990 年 9 月, 延伸至图尔, 长 101 km, 最高运行速度 300 km/h, 1994 年提速至 320 km/h。在大西洋线的试验线上曾创造过时速 515.3 km 的试验速度, 全线开通运营后, 列车最高行驶时速达到 300 km。法国第三条高速铁路 TGV 北线 (巴黎经里尔, 穿过英吉利海峡隧道通往伦敦, 并与欧洲北部比利时的布鲁塞尔、德国的科隆、荷兰的阿姆斯特丹相连, 新建高速线 333 km), 于 1993 年 9 月全线开通运营。1997 年 12 月连接巴黎、布鲁塞尔、科隆、阿姆斯特丹, 以四个城市字首命名的 TGV - PBKA 高速列车开始投入运行。巴黎至里尔 (226 km) 的运行时间由 2 小时 10 分钟缩短为 1 小时, 巴黎至伦敦的运行速度, 在法国境内为 300 km/h, 在隧道内为 160 km/h, 目前的运行时间为 3 小时, 待英国境内从隧道口福克斯敦至伦敦市中心高速铁路 (107 km) 建成后, 运行时间可缩短为 2 小时 25 分钟, 伦敦至布鲁塞尔的运行时间可缩短为 2 小时 5 分钟。1992 年巴黎东南线里昂环线投入运营, 1994 年 7 月又完成了延伸至瓦朗斯的新线工程, 使东南线达到 530 km, 特别是 1994 年 5 月, 大巴黎区外环线 (长 104 km) 的建成, 使北线、东南线、大西洋线构成可绕过巴黎相对连接的高速铁路网系统。由于法国在修建高速铁路之初, 确定 TGV 高速列车可下高速线、上既有线运行的运输组织模式, 所以目前法国虽建成高速铁路线 1 282 km, 但 TGV 高速列车的通行范围已达 5 921 km, 约占法国铁路网的 18%, 覆盖大半个法国国土。

### 三、德 国

德国高速铁路称为 ICE (Inter City Express)。1979 年第一辆 ICE 机车试制成功。1982 年德国高速铁路计划开始实施。1985 年 ICE 的机车以时速 317 km 打破德国铁路 150 年来的记录, 1988 年又创造了时速 406.9 km 的新记录。目前, 德国已建成高速铁路 1 000 多公里, 共计 11 条线路。新建有两条高速铁路: 一条是曼海姆至斯图加特线 (长 105 km), 1991 年 6 月建成通车; 另一条是汉诺威至维尔茨堡线 (长 327 km), 1992 年 6 月建成。德国 ICE 城际高速列车行驶时速为 250 km, 在既有线上行驶速度与 ICE 城际快速列车相同, 最高时速为 200 km。

自 1964 年日本建成世界上第一条高速铁路东京至大阪 40 多年来, 高速铁路从无到有。据不完全统计, 全世界拥有或正在建设高速铁路的国家和地区已经达到 12 个, 进行研究和规划的国家有 6 个, 目前世界上运行时速在 200 km 以上的新建高速铁路营业里程约 4 400 km, 若包括运行时速 200 km 的线路, 总营业里程已超过 15 000 km。这些线路仅占世界铁路总营业里程的 1.5%, 但却担负着各拥有国铁路较大一部分的客运量。如日本现有四条新干线约占日本铁路 (JR) 总营业里程的 9%, 却承担了铁路旅客周转量的 1/3; 法国现有三条高速新线和 TGV 列车通行网络分别占法国铁路网总营业里程的 4% 和 18%, 却承担了一半以上的旅客周转量; 德国正在运营的高速线及时速达 200 km 的 ICE 列车的通达里程只占德国铁路总营业里程的 1% 和 10%, 却担负着 50% 的旅客周转量。

随着高速铁路技术的不断发展, 高速列车的商业运行速度不断提高, 从 20 世纪 60 年代

时速 210 km, 80 年代时速 250 ~ 300 km, 90 年代末或本世纪初时速 350 km 左右, 既有线经改造符合高速要求的一般运行时速为 200 km, 个别线路可达 220 ~ 225 km。旅行时间的节约, 旅行条件的改善, 旅行费用的降低, 再加上国际社会对人们赖以生存的地球环保意识的增强, 使得高速铁路在世界范围内呈现出蓬勃发展的强劲势头。欧洲、美洲、亚洲诸国和地区, 正在计划进一步加快高速铁路的建设。

## 第二节 路基在高速铁路中的地位 and 作用

高速铁路列车运行速度快、技术标准高、对路基的要求严格, 控制路基变形已成为高速铁路路基最重要的一方面。因此, 高速铁路路基与普通铁路路基的本质区别在于强化基床表层结构, 提高和完善压实标准, 同时对填料及路基与结构物过渡段的刚度提出了更高的要求。

自 20 世纪 60 年代第一条高速铁路在日本建成以来, 世界范围内出现了竞相修建高速铁路的热潮, 高速铁路的出现对传统铁路的设计、施工和养护维修提出了新的挑战, 在许多方面深化和改变了传统的设计方法和观念。就路基工程而言, 主要表现出如下特点。

### 一、多层结构系统的高速铁路路基填筑标准高, 且具有强化的基床结构

高速铁路线路结构, 已经突破了传统的轨道/道床/土路基这种结构形式, 既有有砟轨道也有无砟轨道。对于有砟轨道, 在道床和土路基之间, 已抛弃了将道砟层直接放在土路基上的结构形式, 做成了多层结构系统。例如: 法国采用道砟层/砟底层 (级配粒料)/基础层 (级配良好的砾石)/防污层 (砂、土工纤维); 日本在道床和基床之间加设了 5 cm 厚的沥青混凝土; 德国在道床与基床之间加设了路基保护层, 即 PSS 层。

高速铁路路基必须以土工结构物来对待, 对填筑材料、压实标准、变形控制、检测标准等较普通铁路有了很大提高, 同时强化了基床结构, 特别是基床表层。基床表层是路基直接承受列车荷载的组成部分, 也是路基中最重要的部分。基床表层不但给轨道提供了一个坚实的基础, 同时也对其下的土路基提供保护。作为基床表层的材料, 需要有较好的力学性能, 充分压实后要能在长期的动力作用下保持稳定, 并有很好的水稳性和较小的渗透性。

### 二、控制变形是路基设计的关键

控制变形是路基设计的关键。采用各种不同的路基结构形式的首要目的是为高速线路提供一个高平顺、均匀和稳定的轨下基础。由散体材料组成的路基是整个线路结构中最薄弱、最不稳定的环节, 路基沉降变形是导致轨道变形的重要来源。它在多次重复荷载作用下所产生的累积永久下沉 (残余变形) 将造成轨道的不平顺, 同时其刚度对轨道面的弹性变形也起关键性的作用, 因而对列车的高速走行条件有重要的影响。高速行车对轨道变形有严格的要求, 因此变形问题便成为高速铁路设计所需考虑的主要控制因素。路基变形主要包括列车行驶中路基面产生的弹性变形、长期行车引起的基床累积下沉 (塑性变形) 和路基本体填土及地基的压缩下沉。

就路基而言, 过去多注重于强度设计, 并以强度作为轨下系统设计的主要控制条件。而现在强度已不成为问题, 一般在达到强度破坏前, 可能已经出现了不能容许的过大有害变

形。日本东海道新干线的运行时速为 210 km，由于其在设计中仅仅采取了轨道的加强措施，而忽略了路基的强化，从 1965 年开始因为路基的严重下沉，致使路基病害不断，线路变形严重超限，不得不对线路以年均 30 km 以上的速度大举整修，10 年内中断行车 200 多次，列车运行平均速度也降到 100~110 km/h。

### 三、路基是列车/线路整体系统的重要组成部分

变形问题的解决相当复杂，是一个世界性的难题。日本及欧洲各国虽然实现了高速，但都是通过采用高标准的昂贵的强化线路结构和高质量的养护维修技术来弥补这方面的不足。日本对此不惜代价，在上越和东北新干线上，高架桥延长数所占比例分别为 49% 和 57%，路基仅占 1% 和 6%。所以，变形问题是轨下系统设计的关键。由于普通铁路行车速度慢、运量小，因此在以往的设计中，只孤立地研究轮/轨的相互作用，并把这种相互作用狭义地理解为轮/轨接触部位的几何学、运动学、动力学的关系，而忽略了路基的影响，其中各个部分的设计也只局限于本专业范围内。对于高速铁路，轮/轨系统应该是车轮、钢轨、道床、路基整个系统各部分相互作用的整体。因为包括路基在内的轨下系统的垂向变形集中反映在轨面上，并且又直接影响着轮、轨作用力的大小。因此，必须把轮/轨系统的各组成部分放到整个系统中去考察，建立适当的模型，着眼于各自的基本参数和运用状态，进行系统的最佳设计，实现轮/轨系统的合理匹配，尽可能降低轮/轨作用力，以保证列车的高速、安全运行。其中轨上各部分应尽量降低车辆轮载和簧下质量，轨下的道床、路基部分必须提供一个坚实稳定的轨道基础，以减少变形，同时又保持适当的弹性。德国著名的高速铁路专家 Birmann 指出，铁路路基作为承受轨道和列车荷载的基础，如果选择了合理的刚度（弹性模量），则能明显地影响轮载的分配，可以使轨面的最大支承力减少 60%~70%，而且还可以改善基床动应力的分布，减弱重复荷载的动力作用，减少列车荷载对线路的不良影响。但这并不是要求路基不存在变形，因为列车不可能在一个绝对刚性的基础上作高速稳定运行，而只能在不平顺的走行面和刚度有变化的轨道上运行。

因此，在高速铁路技术研究中，无论机车车辆、轨道结构或路基结构，都应将其放在整个系统中去考察，设计中所采用的设计参数应当使系统的各个部分相互间有合理的匹配。对于路基结构来说，这些参数主要是弹性系数、阻尼、参振质量、变形模量、动刚度、固有频率以及与之联系的密实度和含水量等。

### 四、在轨下基础刚度变化处设置过渡段

铁路线路由不同特点的结构物（桥、隧、路基等）和轨道结构构成，这些结构在强度、刚度、变形等方面都有很大的差异，因此在路桥、路涵、路堤与路堑、路隧等相连地段，纵向轨下基础刚度的变化必然影响路基/轨道/车辆系统刚度的均匀性，导致高速铁路系统振动的加剧，也加大了对轨下基础的动力作用，影响高速行车的平稳和安全。

路基与桥（涵）连接处一直是铁路路基的一个薄弱环节。一方面路基与桥梁（涵洞）刚度差别较大而引起轨道刚度的突变；另一方面由于路基与桥台（涵洞）的沉降差而导致轨面不平顺。在路堤与桥（涵）间设置一定长度的过渡段，以控制轨道刚度的逐渐变化，并最大限度地减少由于路基与桥涵的沉降不均匀而引起的轨道不平顺，保证列车高速、安全、舒适运行。

### 第三节 高速铁路路基工程技术特点

路基作为一种人工构造物，是通过设计和施工消耗大量的人力、材料和机械而完成的建筑产品。和工业生产比较，虽然路基施工同样是把一系列的资源投入产品（即工程）的生产过程，其生产上的阶段性和连续性，组织上的专门化和协作化也与之基本相符。但是，路基施工与一般工业生产和其他土建工程施工（如房屋建筑）仍有所不同。

1. 路基工程是线形建筑物，施工面狭长，流动性大，临时工程多，施工易受到其他工程和外界的干扰，施工管理工作量大。其施工基本程序如图 1—1。



图 1—1 路基施工程序

2. 由于路基施工系野外作业，受水文、气候、地质等自然条件的影响很大。特别是雨季和冬季，使一些地区的施工增加了许多困难，施工作业受到极大限制，甚至无法进行。

3. 铁路经过的地形地貌差别很大，致使工程数量很不均匀，会给各施工项目之间的协调工作带来困难。

4. 由于铁路路基是永久性建筑，占用土地较多，一般不可能拆除重建，再加上路基暴露于外界，长年经受列车荷载作用，因此对工程的质量要求极高。

高速铁路由于设计标准及工程的内在质量要求都较高，使得高速铁路工程的施工也不同于普通铁路。与普通铁路路基工程的施工相比，高速铁路路基施工具有如下特点：

(1) 填土高度的增加。为了减少横向交通干扰，必须在高速铁路下设置行人和车辆行走的设施。对于山岭重丘区，可利用地形布置天桥式横穿道；对于平原区，则只能以提高路基填土高度来满足设置下穿式通道的要求，其填土高度一般都在 4~5 m 以上。

由于填土高度的增加，路基本体发生过大和不均匀沉降变形的可能性增大，而高速铁路对路基的变形控制非常严格，因此必须对填料的性质、含水量、压实标准等指标的要求相应提高。



(2) 取土、弃土的矛盾较突出。当线路通过山区和丘陵区时,由于线形标准的提高,设计时很难实现土方的填挖平衡,有可能增大借土或弃土的数量,以及带来铁路用地范围的扩大,给工程施工造成困难。

(3) 工程地质条件复杂、特殊土和特殊地区的路基较多。由于高速铁路线形的重要性,路线通过不良地质地段的情况较多。在丘陵区,通常进行深挖和高填;在山区,通常会遇到大的滑坡体、泥石流及稻田、水库等情况;在冲积平原和三角洲地区,还会遇到大面积深层的软土地基。由于以上情况,在工程施工中就要求采取特殊的施工工艺。

(4) 线路中的桥涵和通道等特殊工程多。高速铁路必须采取全封闭的方式,以保证列车的快速通行和安全行驶。为解决高速铁路与地方交通的关系,以及广大农村生活、耕作、灌溉等问题,就需要增设较多的桥涵及通道等特殊构造物,这就给施工增加了困难,如施工对过渡段填土的压实标准要求很高等。

(5) 路基边坡的技术要求高。在高速铁路上,为了行车的舒适和安全,对路基边坡的稳定性和线路的绿化、美化均有较高的要求。路基边坡的防护和加固工程较多,其施工的技术要求和美学要求也较高。

(6) 高速铁路建设项目繁多、工程投资巨大、工程任务艰巨、工期要求紧、质量要求高,这就使路基施工的组织与管理更加精细和严格。

(7) 路基施工机械化程度高。

由上述高速铁路路基施工特点,决定了它的施工规律。只有研究并遵循这些规律,科学地组织高速铁路路基施工,才能圆满地完成施工任务。

### 第四节 路基工程技术发展

高速铁路、重载铁路和大运量铁路的兴建,对铁路线路的质量提出了新要求。因此,路基的性状必须与之相一致。在确保路基稳定的前提下,在线路养护维修允许的条件下,路基在各种因素作用下的变形应控制在确保线路不出现不良状态的范围内。近年来获得的发展主要表现在:

#### 一、设计计算技术逐步提高,设计理念逐渐转变

计算技术的发展促进了对岩土本构关系的研究,国内外出现的上百种非线性弹性、弹塑性土石本构关系模型,使对土石的变形和破坏机理的研究翻开了崭新的一页。

利用现有计算技术,能方便地对地基土石的物理力学指标进行概率统计处理,为可靠性设计奠定了基础。国内已有多个行之有效的计算机程序,可以完成路基的初步设计和施工设计。在不断应用的过程中,它必然会日臻完善。

随着高速铁路的出现和发展,深化了传统的路基设计理念。由于高速行驶对线路变形的严格要求,使得路基设计在由强度控制设计逐渐向变形控制设计转变,因为一般在路基强度破坏之前,可能出现了不能容许的变形。

#### 二、新工艺、新技术、新材料层出不穷

随着新材料、新工艺、新技术的不断出现,使路基工程面貌一新。对滑坡的处理除采用重力式挡土墙外,经历了抗滑桩、仰斜排水孔、锚杆,发展到应用预应力锚索及锚索桩;对

软土地基的处理,从采用砂井、反压护道,经历袋装砂井、塑料排水板、真空预压,发展到复合地基及桩网、桩板结构加固地基;对基床病害的处理经历了换填砂石料,铺设沥青面层,设盲沟排水等措施,发展到较普遍地应用土工合成材料进行加筋和隔离;边坡防护技术正在从工程防护向绿色植物防护发展。在相应工程中,技术人员可以因时、因地制宜,选用合理的处理方案。

我国高速公路路基工程中,已多次用粉煤灰填筑,铁路路堤也已开始在铁路专用线及地方铁路中试用,这是轻量填筑法的开始。除粉煤灰外,还有水淬矿渣等一类工业废料可以利用,它们在减轻结构物质量、保护环境、减少投资等方面有独到之处。使用高效施工机械,大大提高了施工速度和施工质量,减轻了工人的劳动强度;爆破技术的进步,减少了施工对路堑边坡的破坏;一些灾害报警装置性能的明显提高,使施工和行车安全有了保障;施工组织、管理水平也逐渐向世界先进水平靠拢。

### 三、测试手段和设备进一步提高,检测方法更加合理

室内土工试验仪器精密化、自动化程度的提高,为研究土体的应力历史、应力路径,判别砂土液化的可能性,确定动荷载作用下土体强度和变形等提供了条件。土工离心机模拟试验可直观显示构筑物因重力引起的应力、应变状态,以便于研究其破坏机理,现已用于研究软土地基上路堤临界高度、路堤沉降分析以及支挡结构物的作用机理等课题中。

利用原位测试手段了解现场土体的物理力学状态,克服了取样试验的一些局限性。通过大量试验,在各试验指标之间及各试验指标与室内试验相应指标之间相关关系的研究方面,取得了可资应用的成果。

路基施工质量的检测方法正在由以前单一的压实系数  $K$  指标逐渐向多指标(压实系数  $K$ 、地基系数  $K_{30}$ 、孔隙率  $n$ 、动态变形模量  $E_{vd}$ 、变形模量  $E_v$ ) 检测过渡。

### 四、规范逐步完善和更新

制定规范可以说是各项建筑工程的“国策”,有了规范才有章可循。只有建设者遵守规范,才能加强工程设计和施工管理及统一验收标准,确保工程质量。在调查研究、总结经验、吸取科研成果的基础上,我国相继制定和修改了若干有关铁路路基勘测、设计、施工及质量评定的规范,如《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)、《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)、《铁路路基支挡结构设计规范》(TB 10025—2006)、《铁路路基工程土工合成材料应用设计规范》(TB 10118—2006)、《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035—2006)、《铁路路基施工规范》(TB 10202—2002)、《铁路路基工程施工质量验收标准》(TB 10414—2003)、《新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定》、《新建时速 200~250 公里客运专线铁路设计暂行规定》、《新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规定》、《客运专线铁路路基工程施工技术指南》(TZ 2212—2005)、《京沪高速铁路工程地质勘察暂行规定》等。随着我国铁路建设事业的发展,规范本身也将不断改革和更新。

路基工程技术的进步,使路基更趋稳固、经济,把路基的变形控制在允许范围内奠定了基础。

## 第二章 高速铁路路基设计技术

### 第一节 高速铁路路基横断面设计

高速铁路路基面形状应为三角形,并设计为由路基面中心向两侧4%的横向排水坡。曲线加宽时,仍应保持路基面三角形形状。

#### 一、线间距

由于高速列车运行时会产生列车风,相邻线路高速列车相向运行所产生的空气压力冲击波易震碎车窗玻璃,使旅客感到不适,甚至影响列车运行的平稳性,故高速线路的线间距较普通铁路有所增大。其大小取决于机车车辆幅宽、轨距、高速列车运行速度以及考虑将来铺设渡线道岔等因素。

日本东海道新干线的设计列车最高速度为220 km/h,考虑到高速列车相遇产生的风压和列车本身的安全等情况,确定车侧间距为0.8 m,线间距为车辆幅宽3.4 m加0.8 m的车侧安全距离,计4.2 m(表2—1),但以后续建的山阳、东北、上越、北陆等新干线的列车最高设计速度为260 km/h,线间距则均采用4.3 m;法国东南线(巴黎至里昂)的列车最高速度为270 km/h。试验资料表明,线间距为4.0 m即可满足要求,但考虑到将来铺设渡线的需要,线间距采用4.2 m。我国京沪高速铁路线间距根据所采用机车车辆类型、运行速度等因素线间距确定为5.0 m。

#### 二、路肩宽度

路肩虽不直接承受列车荷载作用,但它对保证路基受力部分的稳固十分重要。路肩宽度选择应同时满足铺设接触网支柱,安放通信信号设备,埋设必要的线路标志,通行养路机具等要求。路肩宽度取决于以下几个因素:

1. 路基稳定的需要,特别是浸水后路堤边坡的稳定性。根据日本、德国的经验,在降雨量大的地区,加大路肩宽度对于保证线路畅通具有重要作用。路堤浸水后,边坡部分土质会软化,在自重与列车荷载产生的振动加速度的共同作用下,容易产生边坡的浅层滑坍。路肩较宽时,即使发生浅层坍塌,也不会影响路堤承载部分,从而不会影响列车的正常通行。

此外,路肩部分还需考虑设置电杆、电缆槽位置,路堑地段则需考虑为边坡剥落物留有空地,在开挖排水沟时不影响边坡稳定。

2. 满足养护维修的需要。高速铁路虽说是高标准、高质量的线路,但小型、紧急补修还是不可避免的,因此仍需考虑线路维修时搁置或推行小型养路机械所需的位置。

3. 保证行人的安全,满足安全退避距离的要求。虽然高速铁路线路是全封闭的,运行期间人员不能进入线路范围,但世界各国依然考虑了行人的安全问题,并做过不少试验。日本的试验结果认为,列车长度为350 m,列车运行速度为250 km/h时,作业人员能够接受安全待避的列车风速为17 m/s,以此要求风压限界定为车辆边侧以外0.8 m(车辆幅宽为

3.4 m), 距车体 0.8 m 是安全的。法国测得速度为 350 km/h 时, 离线路中心 2.4 m 是安全的。如果车体宽 2.8 m, 则距车体 1.0 m 是安全的。德国在线路设计规范中把距离线路中心 3.5 m 以外作为安全区, 如车体宽 3.0 m, 则需离车体 2.0 m。德国把这一距离作为路肩的起点, 在这以外 0.8 m 为路肩部分。前苏联对站台上旅客安全距离和相向运行高速列车安全范围的实测试验资料表明, 当列车速度达 200 km/h 及以上时, 人处在距站台边缘 1.2 m 处, 气浪的侵袭会危及人身安全。在用 3P200 型电动车组进行的 200 km/h 的试验中, 测量了站台上的压力随离站台边缘距离的变化关系, 规定气流对人体的最大压力不得大于 250 kPa, 据此得出列车以 200 km/h 通过时, 人离站台边缘的安全距离约为 2.0 m。

表 2-1 国外高速铁路轨道及路基面宽度

国 别	日 本					法 国		德 国		意大利
	线 名	东海道	山阳	东北	上越	北陆	东南	大西洋	曼海姆— 斯图加特	汉诺威— 维尔茨堡
最高设计速度 (km/h)	220	260	260	260	260	300	300	250	250	(货) 120 (客) 250
最高运行速度 (km/h)	210	230	240	240	260	270	300	250	250	250
轨 道	有砟 54%	有砟 12% 板式 50%	有砟 5% 板式 90%	有砟 1% 板式 95%	板式	有 砟	有 砟	有 砟	有 砟	有 砟
钢轨 (kg/m)	52~60	60	60	60	60	UIC60		UIC60		UIC60
轨 枕	长 2.4 m 混凝土枕, 1 700 根/km					长 2.3 m 双块 式混凝土枕, 1 667 根/km		长 2.6 m 混凝土枕, 1 667 根/km		长 2.6 m 混凝土枕
道 床	枕下 30 cm					枕下 35 cm		枕下 30 cm		枕下 35 cm
线间距 (m)	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.7	4.7	4.0
路基面宽度 (m)	10.7	11.60				13.00	13.60	13.50~ 13.70	13.50~ 13.70	11.00, 新建 线增至 13.00
路肩宽度 (m)	一侧 0.5 另一侧 1.0	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	SES 马 道外 0.9	1.3	1.3	安全界限 基柱外 1.0

4. 为路堤压密与道床边坡坍塌落留有余地。路堤在建成以后多多少少会发生一些沉降, 特别是高路堤、软弱地基路堤, 即使施工质量很好也会有压密沉降。

日本 1964 年修建东海道新干线时规定, 一侧设 0.5 m 的人行道, 另一侧设 1.0 m 宽的作业通道。但经运营实践, 修订了路肩宽度标准。自山阳新干线以后制订的路基标准规定, 路堤的路肩宽度增加到 1.2 m, 路堑为 1.0 m。法国修建东南线时, 考虑到养护人员乘车行走, 特别是电弧焊装置使用的发动机组能在路肩上通过, 双侧设 1.2 m 宽的路肩通道。但至修建大西洋干线时, 修改为在接触网支柱处设 0.7 m 宽的 SES 马道, 马道外再设宽 0.9 m 的路肩, 其结果使路基面宽度从 13.0 m 增至 13.6 m。意大利罗马—佛罗伦萨高速铁路客运专线沿线在轨道侧安全限界边设高度超过人头的基柱, 两侧在基柱外各设 1.0 m 通道。

我国《新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规定》中路肩宽度亦根据所采用的机车外型、车辆幅宽、列车长度、行车速度等, 参考其他国家的资料考虑了上述要求后, 提出有砟轨道路堤、路堑的两侧路肩宽度, 双线不应小于 1.4 m, 单线不应小于 1.5 m。

### 三、路基面宽度

#### 1. 直线地段路基面宽度

直线地段路基面宽度应不小于表 2-2 中的数值。



表 2—2 直线地段路基面宽度

轨道类型	设计最高速度 (km/h)	线间距 (m)	路基面宽度	
			单线 (m)	双线 (m)
有砟轨道	300 ~ 350	5.0	8.8	13.8
无砟轨道	300	4.8	8.6	13.4
	350	5.0	8.6	13.6

2. 曲线地段路基面加宽值

有砟轨道正线，曲线地段路基面加宽值应在曲线外侧按表 2—3 的数值加宽。曲线加宽值应在缓和曲线内渐变。

表 2—3 有砟轨道曲线地段路基面加宽值

曲线半径 R (m)	路基外侧加宽值 (m)
$R \geq 11\ 000$	0.3
$11\ 000 > R > 7\ 000$	0.4
$7\ 000 \geq R \geq 5\ 500$	0.5
$R < 5\ 500$	0.4

四、高速铁路路基标准横断面图

图 2—1 ~ 图 2—6 为高速铁路有砟轨道路基的标准横断面图。

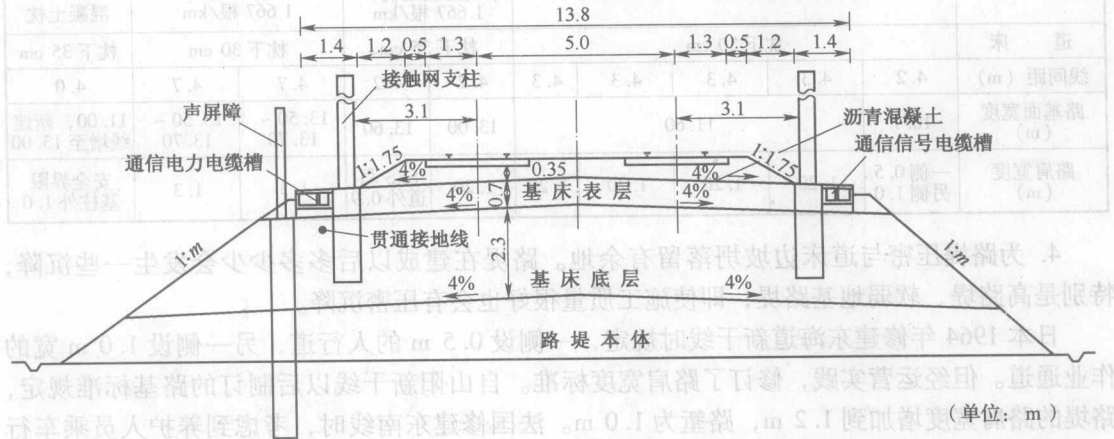


图 2—1 高速铁路有砟轨道双线路堤标准横断面

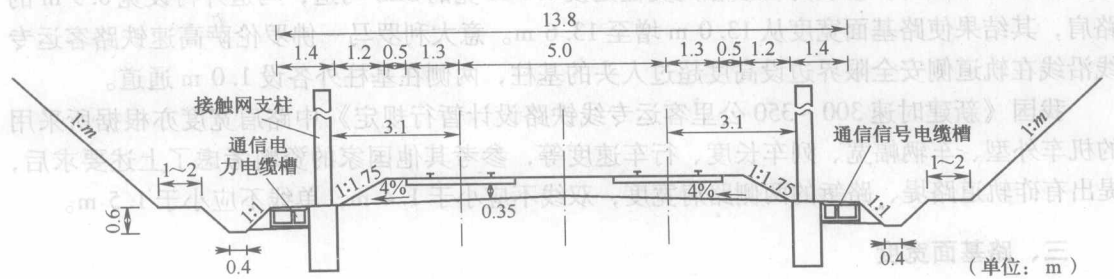


图 2—2 高速铁路有砟轨道双线路堑(硬质岩石)标准横断面图