

*Gaosu Tielu Yanrong Dizhi
Luji Sheji yu Zhengzhi Jishu*

高速铁路 岩溶地质路基 设计与整治技术

高军 © 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

Gaosu Tielu Yanrong Dizhi
Luji Sheji yu Zhengzhi Jishu

高速铁路 岩溶地质路基 设计与整治技术

高军◎著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路岩溶地质路基设计与整治技术/高军著. —武汉:中国地质大学出版社,2014. 10
ISBN 978-7-5625-3541-6

- I. ①高…
- II. ①高…
- III. ①高速铁路-岩溶-铁路路基-设计
- IV. ①U213. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 243581 号

高速铁路岩溶地质路基设计与整治技术		高 军 著
责任编辑:段连秀	策划编辑:张 华	责任校对:张咏梅
出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮政编码:430074
电 话:(027)67883511	传真:67883580	E-mail:cbb@cug.edu.cn
经 销:全国新华书店	http://www.cugp.cug.edu.cn	
开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16	字数:210 千字 印张:8 彩插:2	
版次:2014 年 10 月第 1 版	印次:2014 年 10 月第 1 次印刷	
印刷:武汉教文印刷厂	印数:1—800 册	
ISBN 978-7-5625-3541-6		定价:36.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

武广高速铁路是中国一条连接湖北省武汉市与广东省广州市的高速铁路,为京广客运专线的南段,位于湖北、湖南和广东境内,于2005年6月23日开始动工,2009年12月26日正式运营。线路全长约1 068.8km,投资总额1 166亿元。设计时速350km/h,最高时速380 km/h。武广客运专线的开通,让“珠三角”拥有了湖北、湖南这两块重要的腹地,也加快了两省融入“珠三角”的步伐,有利其升级转型,以及提高在世界产业链条上的位置。武广客运专线开通后,武汉到广州仅需3.5小时,到深圳4个多小时,到香港约5小时,它不仅仅是一条快速交通工具,同时有利于大区域经济发展,拉近了城市间,甚至两岸间的距离,将华中、华南城市圈合为一体。武广客运专线大大方便了内地与港澳间往来,加强香港作为中国南方乃至亚太地区重要进出口口岸和经济、金融中心的地位,进一步改善香港的外部交通环境,打通香港与内陆腹地的陆上交通动脉,有利于香港经济的长期稳定发展。从长远看,也有利于台湾与内地的生产要素的对流,提升台湾与大陆的经济关联度,为台资进入大陆提供更便捷的通道。

武广高速铁路工程建设以丘陵地貌为主,海拔标高一般为60~462m,相对高差20~270m。南北两端分别为江汉平原及珠江三角洲平原,间夹剥蚀残丘、丘陵化高阶地,地势波状起伏,相对高差多小于50m,湖汉港地、湖泊、水塘星罗棋布,水网密布。

武广高铁沿线岩溶主要分布在乌龙泉至临湘、长沙芦荻塘、株洲中路铺及马家堰、耒阳至韶关段,岩溶发育岩组主要为寒武系(ϵ)、泥盆-石炭系(D-C)、二叠系下统栖霞组(P_1q)、三叠系中下统(T_{1+2})碳酸盐岩以及白垩系-下第三系(K-E)钙质砾岩,可溶岩地段总长度约268.4km,占全线总长度的34%,是全线最主要的不良地质问题,处理安全与否直接影响着铁路运营安全。

关于岩溶地质的设计与治理,是一个复杂的课题。国内外许多部门、院校的专家进行了全面研究,出版了大量的科研专著,有关这方面的学术论文,可说是学富五车,有关的咨询资料可谓浩如烟海。但是,不管哪种治理方法和措施,各有用武之地,适用于不同的地域和地质,反映不同历史时期的社会生产力发展水平。

人类的知识总是不断的积累,社会总是不断的进步,生产力水平不断的提高。正是遵循这一基本规律,我们在总结实践的基础上,依据建设过程中取得的科研成果,同时吸取有关著作的资料,采取删繁就简,突出重点,经过系统分析、归纳整理,编纂成书,以期与同行们进行交流。更重要的是,通过图书载体进行传承,不断丰富对岩溶地质路基的治理技术的知识,为铁路建设事业积累技术经验,为铁路建设事业的发展贡献微薄之力。

本书主要依托武广高铁和宜万铁路工程建设实践,共分为八章:

第一章介绍世界高速铁路的发展和各国高速铁路路基的特点。

第二章扼要地阐述了岩溶地质特征,并结合武广高铁和宜万铁路实际工程,总结和论述了岩溶发育的基本规律,并介绍了目前国内外对于岩溶地质灾害的研究现状。

第三章介绍了我国高速铁路线路和路基的设计标准。

第四章概述了岩溶路基形成的机理,并根据不同的岩性组合介绍了岩溶路基的变形模式。

第五章介绍了岩溶路基常用的勘察方法以及在武广高铁中的应用。

第六章介绍了岩溶路基整治的常用方法、设计原则等,并对武广高铁三处地区的岩溶路基设计实例进行了分析。

第七章结合武广高铁工程实例具体介绍了岩溶路基施工工作流程、关键工序、质量控制措施等。

第八章结合武广高铁工程实例阐述了岩溶路基整治后的评价过程和方法。

本书所述内容,密切以工程为依托,便于举一反三,有利于实际应用,期望让读者阅读后获得最佳效果,笔者则感到无限欣慰。本书在编写过程中得到了武广客运专线有限责任公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中南大学、中国矿业大学(北京)、中铁三局、中铁十九局、华铁监理咨询有限责任公司及相关施工单位的大力支持,特别是王志坚、邓卫升、黄光义、顾祥生、郭建湖等人的鼎力相助,在此一并表示衷心感谢,并致以崇高的敬意。

武广高速铁路,已经投入使用4年有余。实践表明:建设中采用过的设计和施工整治措施是成功的。愿本书所述能有的放矢,对今后高速铁路、公路,乃至其他类似工程设计和施工有所借鉴和参考,祝我国的高铁事业蒸蒸日上。

由于作者水平所限,书中难免存在疏漏和欠妥之处,敬请读者指正。

高 军

2014年5月

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 高速铁路概述	(1)
1.2 高速铁路国内外发展现状	(2)
1.3 高速铁路路基特点及发展	(4)
1.4 本章小结	(7)
第二章 岩溶发育基本规律及特征	(8)
2.1 岩溶地质概述	(8)
2.1.1 岩溶的概念和特征	(8)
2.1.2 岩溶的分布特征	(9)
2.1.3 我国岩溶发育的总体特征	(9)
2.2 岩溶地质	(10)
2.2.1 一般规律	(10)
2.2.2 岩溶与岩层的关系	(10)
2.2.3 岩溶与地质构造的关系	(11)
2.2.4 岩溶路基	(17)
2.3 岩溶国内外研究现状	(19)
2.4 本章小结	(22)
第三章 高速铁路线路与路基设计	(23)
3.1 高速铁路线路平面设计	(23)
3.1.1 最小曲线半径	(23)
3.1.2 最大曲线半径及曲线半径的选用	(23)

3.1.3	缓和曲线	(24)
3.1.4	建筑限界	(25)
3.1.5	线间距	(26)
3.1.6	安全退避距离	(27)
3.2	高速铁路线路纵断面设计	(29)
3.2.1	最大坡度	(29)
3.2.2	坡段长度	(29)
3.3	高速铁路路基设计	(30)
3.3.1	高速铁路路基面设计荷载	(31)
3.3.2	动应力沿深度的衰减	(31)
3.3.3	基床厚度的确定	(32)
3.3.4	高速铁路路基横断面设计	(32)
3.4	基床质量控制	(36)
3.4.1	路基表层	(36)
3.4.2	基床底层	(37)
3.5	本章小结	(37)
第四章	岩溶路基变形特征	(38)
4.1	岩溶路基变形特征的研究意义	(38)
4.2	岩溶塌陷形成机理	(39)
4.3	岩溶路基塌陷模式	(41)
4.4	岩溶塌陷的数值模拟	(42)
4.5	本章小结	(43)
第五章	高速铁路岩溶路基勘察	(44)
5.1	高速铁路岩溶路基勘察特点和主要内容	(44)
5.1.1	岩溶路基工程地质勘察特点	(44)
5.1.2	岩溶工程地质勘察的主要内容	(44)
5.2	高速铁路岩溶路基勘察主要方法	(45)
5.2.1	遥感解译	(45)
5.2.2	物探探测	(48)
5.2.3	深孔钻探	(52)

5.3 岩溶路基勘察实例	(53)
5.3.1 新耒阳车站岩溶路基勘察	(53)
5.3.2 武广客运专线 K1920+817~+886 段岩溶路堑勘察	(55)
5.3.3 武广客运专线 K2107+206~+406 段岩溶路基勘察	(56)
5.4 本章小结	(58)
第六章 高速铁路岩溶路基整治	(59)
6.1 高速铁路岩溶路基整治的难点和设计原则	(59)
6.1.1 整治难点	(59)
6.1.2 岩溶路基整治原则	(60)
6.2 岩溶路基常用整治方法	(63)
6.2.1 填堵法	(63)
6.2.2 跨越法	(63)
6.2.3 强夯法	(63)
6.2.4 灌注法	(64)
6.2.5 深基础法	(64)
6.2.6 疏、排、围、改治理方法	(65)
6.2.7 平衡地下水、气压力法	(65)
6.2.8 综合治理法	(65)
6.3 整治设计实例	(66)
6.3.1 武广客运专线耒阳车站岩溶整治设计方案	(66)
6.3.2 武广客运专线 K1920+817~+886 段岩溶路堑整治设计	(69)
6.3.3 武广客运专线 K2107+206~+406 段岩溶路基整治设计	(70)
6.4 本章小结	(72)
第七章 高速铁路岩溶路基施工	(73)
7.1 武广客运专线新耒阳车站岩溶路基施工过程	(73)
7.1.1 工点施工工艺流程	(73)
7.1.2 施工过程控制	(75)
7.1.3 质量控制措施	(78)
7.2 武广客运专线 K1920+817~+886 段岩溶路基施工过程	(80)
7.2.1 工点施工工艺流程	(80)

7.2.2	施工过程控制	(82)
7.2.3	关键工序及质量控制措施	(84)
7.3	武广客运专线 K2107+206~+406 段岩溶路基施工过程	(89)
7.3.1	施工工艺及流程	(89)
7.3.2	岩溶注浆施工过程控制	(89)
7.3.3	质量控制措施	(94)
7.4	本章小结	(95)
8.1	武广客运专线岩溶路基处理质量验收标准	(96)
8.2	武广客运专线岩溶路基处理检测	(97)
8.2.1	武广客运专线新耒阳车站岩溶路基处理检测	(97)
8.2.2	武广客运专线 K1920+817~+886 段岩溶路基检测	(98)
8.2.3	武广客运专线 K2107+206~+406 段岩溶路基检测	(101)
8.3	武广客运专线岩溶路基运营效果评价	(103)
8.3.1	武广客运专线新耒阳车站运营效果评价	(103)
8.3.2	武广客运专线 K1920+817~+886 运营效果评价	(107)
8.3.3	武广客运专线 K2107+206~+406 运营效果评价	(111)
8.4	本章小结	(115)
参考文献		(116)

第一章 绪论

1.1 高速铁路概述

随着世界人口的快速增长和经济建设的高速发展,人们的生活节奏明显加快,对交通工具的便捷要求也在日益提高,继航空线路和高速公路快速发展之后,人们又把目光集中到铁路的高速发展上,因此高速铁路的研究和建设应运而生。世界上一些发达国家首先根据自己国家的幅员、人口分布、工商业布局、经济与科技实力等具体国情,从人们的实际出行需要出发,纷纷采取了这种高效快捷的客运工具。目前,高速铁路在发达国家和大多数发展中国家都有建设,不同国家由于国情原因,发展程度和技术水平也有很大差别。随着航空、公路和海运的全面快速发展,铁路也面临着严峻的挑战和新的发展机遇,这种发展趋势必将促进铁路管理的体制改革和运输手段的技术创新,进一步加速铁路的高速化、重载化和多式运输的立体化,进而实现铁路路网的现代化。

高速铁路的定义是随着世界科学技术的发展和客观条件的变化而变化的。在世界上首先以法律条文明确高速铁路定义的是日本。1970年5月,日本在第71号法律《全国新干线铁路整備法》中规定:“列车在主要区间以200km/h以上速度运行的干线铁道称为高速铁路”。也有一些不同的提法,如将最高时速160km/h划归为高速铁路。但在众多已进入高速铁路时代的各国高速列车,一般最高时速均在200km/h以上。因此人们又把时速在200km/h以上的干线铁道称作高速铁路,一般来说是没有什么异议的。综上所述,高速铁路是指列车在主要行车区间上能以200km/h以上速度运行的干线铁路。

高速铁路与其他的运输方式相比具有非常明显的优越性特点,并在以下几个方面表现较为突出:

- (1) 运送速度快。高速铁路最高运营速度已超过300km/h,旅行速度超过200km/h。
- (2) 安全性好。高速铁路投入运营几十年来很少有伤亡事故发生。
- (3) 运行准确性高。高速铁路与汽车和飞机不同,它严格按照列车运行时刻表运行,不因天气等原因而延误。
- (4) 占地面积小。高速铁路的占地面积只有高速公路的1/3。
- (5) 环境污染轻。电气化高速铁路基本消除了CO₂等所造成的污染。
- (6) 运价低。高速铁路单位运程客票票价比汽车、飞机的费用都低。

(7)效益高。

高速铁路具有上述技术经济优势,加之世界石油资源的逐渐减少,公路拥挤不堪,飞机空难不断,环境污染恶化,所以高速铁路自问世以来发展迅速,现在有些国家已从修建高速铁路线向高速铁路网方向发展。高速铁路逐步代替了原有铁路,已经成为铁路交通普遍发展的趋势,在我国高速铁路的发展也相当迅速,优势也相当明显。

1.2 高速铁路国内外发展现状

20 世纪 20 年代高速公路得到了快速发展,在第一次世界大战中发展起来的航空工业,在战后由大量军用飞机转为民用,在速度上取胜。由于铁路长期忽略列车运行速度的提高,于是出现了长途运输受到飞机排挤,短途客流又被汽车所吸引,形成了经营上连年亏损的局面,铁路一度被称为“夕阳产业”。在 20 世纪初至 50 年代,德国、法国、日本等国率先开展了提高铁路速度的试验和研究,取得了一定的成果。

日本 1957 年首次在世界上提出了高速铁路的修建方案,1958 年日本政府决定批准修建高速铁路的方案。1964 年 10 月日本建成了世界上第一条真正意义上的高速铁路,即日本东海道新干线。该线路从东京起始,途经名古屋、京都等地终至(新)大阪,全长 515.4km,运营速度高达 210km/h。新干线的正式通车,标志着世界高速铁路新纪元的到来。1971 年,日本国会审议并通过了《全国铁道新干线建设法》,随后,东海道新干线向西延伸,1975 年开通至终点站博多、大阪。至博多称为山阳新干线,全长 1 069km,列车行驶最高时速达 270km/h。1982 年上越新干线全线通车运营,列车行驶时速 240km/h。1985 年东北新干线(东京至盛冈,全长 496.5km)全线通车运营,列车行驶最高时速达 240km/h。1997 年长野新干线(高崎至长野,全长 117.4km)全线通车营业,列车行驶最高时速 260km/h。

法国 1976 年开始修建了法国第一条高速铁路,其造价要比日本低得多,性能也有了突破性的提高。法国 TGV 列车的成功运行,推动了世界各国高速铁路的发展。1989 年 9 月和 1990 年 9 月,法国又建成巴黎至勒芒(181km)与图尔(101km)的大西洋线。大西洋试验线上一列由两辆动车、三辆车厢组成的第二代以 515.3km/h 的时速创造了新的世界纪录,引领了当时的高速时代。该线开通运营后,列车最高行驶时速达 300km/h,载客量由第一代的 368 人提高到 485 人。1992 年巴黎东南线里昂环线投入运营。1994 年 7 月又完成了延伸到瓦朗斯的新线工程,使东南线长度达到 530km。特别是 1994 年 5 月,大巴黎区外环线的建成,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。

德国早在 20 世纪初就已论证了采用轮轨系统可将列车速度提高到 300km/h 的可行性,它的 ICE 列车也是世界上有名的。1979 年试制成第一辆 ICE 机车。1982 年德国高速铁路计划开始实施。1985 年 ICE 的前身首次试车,以 317km/h 的时速打破德国铁路

150 年来的记录,1988 年创造了时速 406.9km/h 的记录。1990 年由 1 台机车加 13 辆车厢的 ICE 列车开始在高速铁路试运行,时速可达 310km/h。德国 ICE 城际高速列车行驶时速 250km/h,而在既有线上行驶速度与 IC 城际快速列车相同,最高时速 200km/h。1993 年以来,ICE 高速列车已进入柏林,把德国首都纳入 ICE 高速运输系统。ICE 也穿过瑞士边界,实现了苏黎世至法兰克福等线路的国际直通运输。

英国于 1976 年靠 HST 内燃动车组实现了 200km/h 的高速运行,最早的高速干线是 CTRI(连接英伦海峡的隧道铁路),其第一区间(74km)已于 2003 年 9 月 16 日开通,CTRI 的高速铁路技术引进法国的 TGV 技术。

前苏联通过改造既有线路,在莫斯科—圣彼得堡间采用电动车组,实现了时速为 200km/h 的高速运行,率先成为拥有高铁为数不多的国家之一。

“欧洲之星”高速列车于 1994 年 11 月在法、英、比三国首都间正式投入运营。1997 年 12 月连接巴黎、布鲁塞尔、阿姆斯特丹,以 4 个城市首字母命名的 TGV-PBKA 高速列车开始投入运行。巴黎至里尔(226km)的旅行时间由 2 小时 15 分缩短为 1 小时,巴黎至伦敦的行车速度,在法国境内时速为 300km/h,在隧道内时速为 167km/h,目前旅行时间为 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(109km)建成后,旅行时间可缩短为 2 小时 25 分,伦敦至布鲁塞尔的旅行时间可缩短为 2 小时 5 分。

韩国汉城—釜山间运营最高速度为 300km/h 的高速新线,采用法国 TGV 技术的高速列车命名为 KTX,于 2004 年 4 月 1 日开通。这样韩国就成为继日本之后,东亚第 2 个拥有高速铁路的国家。

意大利连接罗马和米兰两大都市的意大利干线由于曲线多和坡度大,提速比较困难。雷德西马高速新线,全长 239km,客货两用线路,于 1977 年部分开通,1998 年运营。摆式电动车组 ETR450 开始了 250km/h 的高速运行。罗马向南的那不勒斯高速新线(220km)于 2004 年开通。

20 世纪 80 年代,中国台湾制定了台北—高雄高速新干线计划,设计运营最高速度 300km/h,运行 1 小时 30 分,里程 345km,采用日本 700 系新干线技术。

1998 年 10 月在德国柏林召开了第三次世界高速铁路大会,参会国家的特征主要表现为:一是多数国家在高速铁路新线建设初期制定了修建高速铁路的全国规划;二是虽然建设高速铁路所需资金较大,但从社会效益、节约能源、治理环境污染等诸多方面分析,修建高速铁路对整个社会具有较好的效益,成为各国政府的共识;三是高速铁路促进地区之间的交往和平衡发展,欧洲国家已经将建设高速铁路列为一项政治任务,各国呼吁在建设中国携手打破边界的束缚;四是高速铁路从国家公益投资转向多种融资方式筹集建设资金,建设高速铁路出现了多种形式融资的局面;五是高速铁路的技术创新正在向相关领域辐射和发展。这次高潮波及到亚洲、北美、澳洲以及整个欧洲,形成了交通领域中铁路的一场复兴运动。

自 1992 年以来,俄罗斯、韩国、中国台湾、澳大利亚、英国、荷兰等国家和地区先后开

始了高速铁路新线的建设。据不完全统计,为了配合欧洲高速铁路网的建设,东部和中部欧洲的捷克、匈牙利、波兰、奥地利、希腊以及罗马尼亚等国家正对干线铁路进行改造,全面提速。亚洲(韩国、中国)、北美洲(美国)、澳洲(澳大利亚)也都掀起了建设高速铁路的新热潮。

我国中东部地区人口密度大、城市布局集中、运载压力大,适合高速铁路规划建设营运。“九五”时期,针对铁路客运速度慢、运输能力严重不足等突出问题,我国先后进行了三次大提速。在此基础上,以高速铁路建设列入铁道部《“十五”期间铁路提速规划(2001—2005)》为标志,我国高速铁路建设进入加速期。《“十五”规划》提出:初步建成以北京、上海、广州为中心,连接全国主要城市的全路快速客运网,客运专线旅客列车最高时速达到 200km/h 及以上,实现高速铁路、部分繁忙干线客货分线。根据中国中长期铁路网规划方案,到 2020 年,我国铁路运营里程将达到 12×10^4 km 以上。其中,新建高速铁路将达到 1.6×10^4 km 以上,连接所有省会城市和 50 万人口以上城市,覆盖全国 90% 以上人口。

“十五”以来,我国铁路充分利用“后发优势”,高速铁路迅猛发展。以国际铁路联盟规定的商业(平均)运营时速(全程运行距离/全程运行时间)超过 200km/h 的标准作为高速铁路的定义。自 2007 年 4 月 18 日零时起,我国铁路正式实施第六次大面积提速和新的列车运行图。列车在京哈、京沪、京广、陇海、胶济等既有铁路干线上实施时速 200km/h 的提速,部分区段列车运行时速达到 250km/h。提速后,全国铁路客运能力增长 18% 以上,货运能力增长 12% 以上。成渝铁路在运营初期就可使用国产机车车辆,开行 200km/h 的列车或动车组,待条件成熟时,可开行 250km/h,甚至 300km/h 及以上的高速列车。

2008 年 3 月 31 日,我国时速 350km/h 的首列国产化 CRH3 高速动车组在“唐车”下线,进入测试运行。2009 年 12 月 9 日,武广高速铁路成功试运行,从广州南站发车至武汉站用时不到 3 小时。其间,国产 CRH3“和谐号”动车组跑出 394.2km/h 时速,创造两车重联情况下的世界高速铁路最高运营速度。2009 年 12 月 26 日,武广高速铁路正式开通运营,标志着我国高速铁路设计、建设和运营技术不仅领先世界,而且进一步完善成熟。总体上讲,我国铁路已经掌握高速铁路线型精测精调、客站功能完善、路基沉降控制、长大梁制运架、大跨高桥长隧、无砟有砟轨道等设计与施工成套关键技术,实现了具有世界先进水平的客运动车组的国产化,形成了具有世界先进水平的中国高速铁路技术标准体系和成套工程技术。

1.3 高速铁路路基特点及发展

高速铁路由于运行速度快,对轨道结构的平顺度和稳定性都有严格要求。路基作为轨道基础必须牢固稳定,它的质量对轨道平顺和稳定有直接影响。法国在两条高速铁路运营多年后的总结中指出:“高速铁路能顺利运行是因为有非常好的下部结构工程——路

基”。控制路基变形、保证轨面平顺是高速铁路路基的最大特点,因此高速铁路对路基填料、压实标准等方面提出了更高要求,并主要表现在以下几方面:

(1)结合路基工程规定了详细的岩土分类,要求进行详细调查,为设计、施工及养护提供所必需的依据资料。

(2)加强路基基床部分,特别是基床表层,很多国家设置基层防护层或垫层,并有严格的材料条件与强度要求。

(3)对路堤各部分填土规定了相应的填料标准,填土质量标准要求较高。

(4)为控制路基不发生过大下沉,对路堤填土的地基条件作出了规定及处理要求。

(5)加强路基的排水系统,加强边坡和灾害的防护,要求防护工程与土体工程同时完成,增加路基的坚固和稳定,避免运营期间发生病害。

铁路路基中基床是路基顶部直接受列车动荷载作用的部分,基床表面又直接与道碴接触,因此基床表层是路基设计中最重要的一部分。基床表层的作用主要是增强线路强度,扩散列车运行引起的动应力,防止道碴压入基床及基床土进入道碴层以致发生翻浆冒泥等病害。为了提供一个强度高、刚度大、纵向变化均匀并具有长期动力稳定和耐久性以及防渗、抗冻等良好的轨道基础,法国、德国、日本等国采取了新的高速铁路基床结构。

1. 法国高速铁路基床形式(图 1-1)

法国基床由覆盖层、封堵层、上层土方组成。覆盖层及封堵层均有严格级配要求:其压实系数 $K_h > 1$,覆盖层平板压力试验二次加载变形模量 $E_{v2} > 120\text{MPa}$,封堵层 $E_{v2} > 80\text{MPa}$ 。上层土方则要求: $K_h > 0.95$, $E_{v2} = 45 \sim 60\text{MPa}$ 。

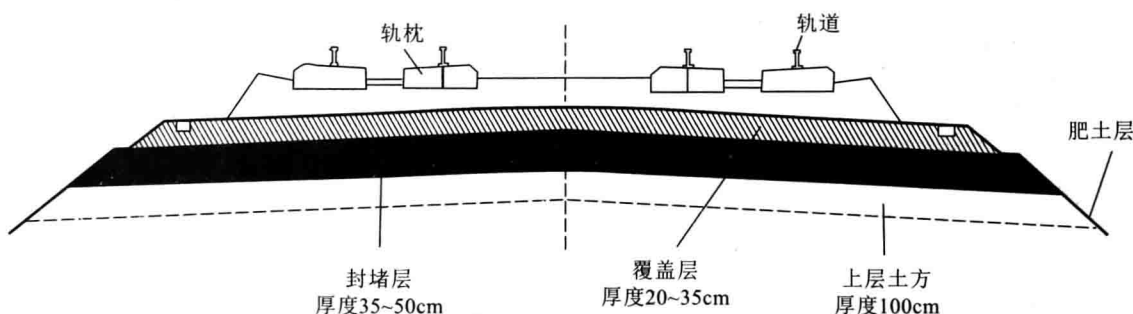


图 1-1 法国高速铁路基床结构

2. 德国高速铁路基床形式(图 1-2)

德国的基床表层由保护层(即 PPS 层)($> 20\text{cm}$)、防冻层(FSS)(40cm)组成,采用工厂配制的矿物材料混合物填筑,保护层级配 K_{G1} (不透水),渗水系数 $< 1 \times 10^{-6}\text{m/s}$,防冻层级配 K_{G2} (弱透水),不均匀系数 > 15 ,各层之间颗粒粒径及组成均满足隔离和过滤准则。保护层加防冻层总厚度 $> 0.7\text{m}$, $E_{vd} > 50\text{MN/m}$ 。

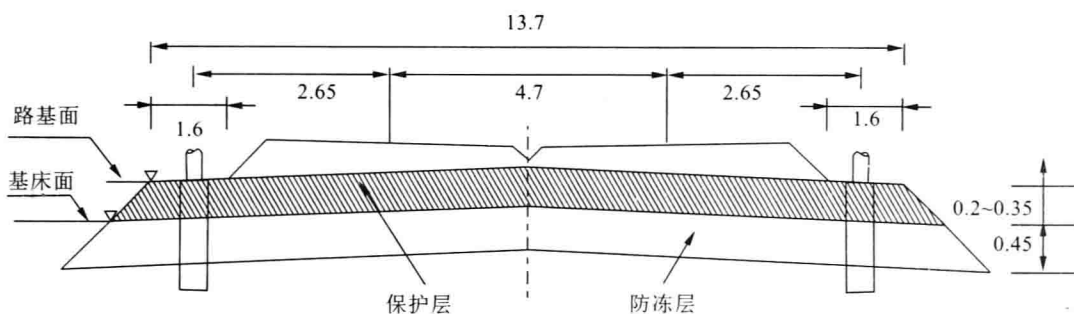


图 1-2 德国高速铁路基床结构

3. 日本新干线铁路基床形式(图 1-3)

日本的基床采用强化结构,有碎石基床表层和炉碴基床表层两类,在路基土上面设置基床封闭层,由隔水的沥青混凝土和高强度的塑料胶组成垫层。基床表层由沥青混凝土(5cm),级配碎石(地基系数 $K_{30} > 15 \text{kgf/cm}^3$)组成,厚度根据基床底层的 K_{30} 系数确定,基床底层 $K_{30} > 11 \text{kgf/cm}^3$ 时,其厚度为 30cm;当基床底层 $7 \text{kgf/cm}^3 < K_{30} < 11 \text{kgf/cm}^3$ 时,其厚度为 65cm。基床底层厚度为 230~265cm。

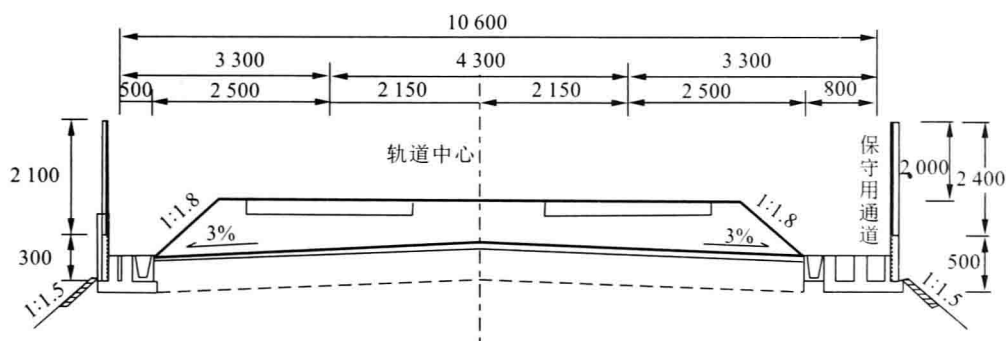


图 1-3 日本高速铁路基床结构

4. 我国客运专线基床形式(结构图见第三章)

我国采用级配砂砾石或级配碎石作基床表层的结构形式。200km/h 客运专线也采用级配碎石或级配砂砾石基床表层结构。路基基床由表层与底层组成。表层级配碎石或级配砂砾石厚 0.7m, $K_{30} > 190 \text{MPa/m}$, $E_{u1} > 55 \text{MPa/m}$, 基床底层厚 2.3m, $K_{30} > 110 \text{MPa/m}$ 。

高速铁路路基不仅在结构上有了改变,对路基质量检测由过去单一采用压实度检测,发展为压实度与力学指标双控制检测,其主要目的是评价路基的强度、抗变形能力。 K_{30} 、 E_{u2} 、CBR、回弹模量等均是评价路基的指标与参数,表 1-1 是目前铁路主要检测内容与标准。

表 1-1 各国基床质量控制参数

检测内容	列车速度 (km/h)	中 国		日 本	法 国	德 国
		200~250	300~350	200~300	230~300	230~300
压实系数 K_h	基床表层				1.0 1.0	1.03 1.0
	基床底层	0.95	0.95	0.95	0.95	0.97
	本 体	0.90	0.90	0.90	0.90	0.97
地基系数 $K_{30}/(\text{MPa/m})$	基床表层	190	190	170		
	基床底层	110~150	110~150	70~110		
	本 体	90~130	90~130			
变形模量 E_{v2}/MPa	基床表层				120 80	120 80
	基床底层				50	60
	本 体				50	45
变形模量 E_{vd}/MPa	基床表层		55			50
	基床底层					

1.4 本章小结

高速铁路是未来铁路客运发展的必然趋势,其定义为列车在主要行车区间上能以 200km/h 以上速度运行的干线铁路。高速铁路与其他的运输方式相比具有非常明显的优越性特点:①运送速度快;②安全性好;③运行准确性高;④占地面积小;⑤环境污染轻;⑥运价低;⑦效益高。

日本、德国、法国等国家的高速铁路技术处于世界领先地位。2008 年 3 月 31 日,我国时速 350km/h 的首列国产化 CRH3 高速动车组在“唐车”下线,进入测试运行。2009 年 12 月 26 日,武广高速铁路正式开通运营,标志着我国高速铁路设计、建设和运营技术不仅领先世界,而且进一步完善成熟。

控制路基变形、保证轨面平顺是高速铁路路基的最大特点,因此各国高速铁路对路基结构、填料压实标准等方面提出了更高要求,以确保路基牢固稳定。

第二章 岩溶发育基本规律及特征

2.1 岩溶地质概述

2.1.1 岩溶的概念和特征

岩溶,国外称之为 Karst(音译为喀斯特),原为 Kras,即石头的意思,是斯洛文尼亚境内伊斯特里亚半岛(Istria Peninsula)上一个有石灰岩分布的地方的地名。这个地方靠近意大利,意大利人称之为 Carso,而德国人称之为 Karst,后来即以德语 Karst 命名这类地貌现象;英语也沿用此名称。我国也像世界上其他国家那样,在描述或研究这种孕育着奇峰异洞的石灰岩地貌时,仍沿用这一专有名词,并音译为“喀斯特”。

1966年3月,在广西桂林召开的中国地质学会第一次全国岩溶学术会议上,根据一些学者的提议,认为“喀斯特”在我国分布广泛而典型,与广大人民日常生活及经济建设具有密切的关系,而用音译“喀斯特”不易为群众所理解,于是建议另用可反映这种作用与现象的名称以代替之。通过百多位学术界人士的讨论,最后选用“岩溶”这一名称。因为奇峰异洞这种现象,就是由于岩石被水溶解这个主要因素而产生的,采用岩溶这个名称,可以反映这种地质作用的本质。

岩溶,主要是指水对可溶性岩石——碳酸盐岩(石灰岩、白云岩等)、硫酸盐岩(石膏、硬石膏等)和卤化物岩(岩盐)等的溶蚀作用,及其所形成的地表及地下的各种景观与现象。在岩溶作用过程中,经常伴随发生的侵蚀、潜蚀、冲蚀、崩塌、塌陷与滑动,以及化学、物理与机械的风化、搬运、堆积与沉积等作用,还有不少的生物,例如微生物、菌类、藻类、植物与动物的生命活动及其死亡机体的分解作用等,都可对岩溶的发育产生影响。岩溶作用多数是发生在大气降水的条件下,也可在冰雪覆盖的环境中进行;地下的热液活动可以产生另一类热液岩溶作用,所有这些作用,都是以可溶岩被水溶解的作用为基础的,所以最本质的现象就是“岩石的溶解”,即岩溶作用。

岩溶作用的结果表现在以下两个方面:一方面形成地下和地表的各种地貌形态,如石芽、溶沟、溶孔、溶隙、落水洞、漏斗、洼地、溶盆、溶原、峰林、孤峰、溶丘、干谷、溶洞、地下湖、暗河及各种洞穴堆积物。另一方面形成特殊的水文地质现象,如冲沟,地表水系不发育;岩体透水性增大,常构成良好的含水层;岩溶水空间分布极不均匀,动态变化大且流态