

高速铁路路基 设计与施工

主编 杨广庆 刘树山 刘田明
主审 蔡英

中国铁道出版社

高速铁路路基设计与施工

GAOSU TIELU LUJI SHEJI YU SHIGONG

主编 杨广庆 刘树山 刘田明

主审 蔡 英

中国铁道出版社

1999年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书在总结国内外最新成果的基础上,理论联系实际,由浅入深,比较全面系统地阐述了我国高速铁路路基的设计理论、施工工艺、施工方法及控制管理手段。全书共分七章。第一章针对高速铁路的特点,论述路基在高速铁路中的地位和作用以及世界各国路基填料的分类;第二章阐述高速铁路路基的设计理论;第三章介绍高速铁路路基的变形与控制值;第四、五、六章介绍高速铁路路基的施工工艺、施工方法、压实机械以及高速铁路路桥过渡段和软土路基的施工;第七章介绍高速铁路路基填料压实质量检测方法。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路路基设计与施工/杨广庆等主编. —北京:中国铁道出版社, 1999.3
ISBN 7-113-03249-4

I. 高… II. 杨… 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. U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 04994 号

书 名: 高速铁路路基设计与施工

著作责任者: 杨广庆 刘树山 刘田明

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)

策划编辑: 傅希刚

责任编辑: 傅希刚

封面设计: 马 利

印 刷: 北京兴顺印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 10.75 字数: 250 千字

版 本: 1999 年 3 月第 1 版 1999 年 6 月第 2 次印刷

印 数: 2 501~4 000 册

书 号: ISBN 7-113-03249-4/U·899

定 价: 22.00 元

版权所有 翻印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

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

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 路基在高速铁路中的地位和作用.....	1
第二节 高速铁路路基的特点.....	2
第三节 路基填料的分类.....	3
一、我国铁路路基填料分类标准.....	3
二、日本铁路路基填料分类标准.....	4
三、德国铁路路基填料分类标准.....	5
四、铁盟路基填料分类标准.....	6
第四节 路基工程的现状与发展前景.....	7
一、我国铁路路基现状.....	7
二、国外铁路路基现状.....	8
三、路基工程发展前景.....	8
第二章 高速铁路路基设计	10
第一节 路基构造.....	10
一、路基横断面形式.....	10
二、路基横断面基本构造.....	11
三、高速铁路路基标准横断面图式.....	12
第二节 高速铁路路基面.....	17
一、高速铁路路基面形状和宽度.....	17
二、高速铁路路基的设计荷载.....	18
第三节 高速铁路路基基床设计.....	21
一、基床表层的作用.....	21
二、基床表层厚度.....	22
第四节 高速铁路路基填料与压实标准.....	26
一、基床表层.....	26
二、基床底层.....	28
三、路堤下部.....	29
第五节 高速铁路路基的地基条件.....	30
第三章 高速铁路路基的变形与控制值	33
第一节 运营阶段行车引起的基床累积下沉.....	33
第二节 高速行驶中路基的弹性变形.....	37
一、国外高速铁路路基弹性变形的控制值.....	37

二、弹性变形的计算	38
三、我国高速铁路路基弹性变形的控制值	38
第三节 路基填土的压密下沉	39
一、填土下沉量的数值范围	39
二、填土压密下沉控制值计算	41
三、填土压密下沉的速率及其影响	41
第四章 压实机械与设备	42
第一节 压实机械分类及使用范围	42
一、压实机械的分类	42
二、压实机械的使用范围	43
第二节 静力式光轮压路机	46
一、概 述	46
二、静力式光轮压路机的使用	46
第三节 轮 胎 碾	50
一、概 述	50
二、轮胎碾工作参数的选择计算	51
三、国内外代表型轮胎碾性能简介	52
第五节 羊 足 碾	56
一、概 述	56
二、压实原理与特点	56
三、羊足碾工作参数的选择	57
四、国内外羊足碾性能简介	59
第六节 振 动 碾	61
一、振动压实理论	61
二、振 动 碾	61
三、振荡压路机	62
四、国内外主要振动压路机简介	62
第五章 高速铁路路基的施工与组织	65
第一节 路基施工准备与土质调查	65
一、施工准备	65
二、土质调查与鉴定	67
第二节 编制施工组织设计	71
一、施工组织设计	71
二、路基土石方调配	75
三、压实机械配备	81
第三节 高速铁路路堤施工	81
一、高速铁路路堤施工工艺	81
二、高速铁路路基基床表层的施工工艺	85

第四节	路堑施工	87
一、	土方路堑的开挖	87
二、	石方的开挖	90
第五节	高速铁路路基与桥梁过渡段	95
一、	概 述	95
二、	路桥过渡段线路结构变形不一致的原因分析	96
三、	国内外路桥过渡段的处理措施	97
四、	路桥过渡段的力学分析	106
五、	高速铁路路桥过渡段的构造及技术标准	110
第六章	高速铁路软土地区路基	112
第一节	软土的性质与分类	112
第二节	高速铁路软土路基的工后沉降	113
一、	软土地基沉降计算	114
二、	高速铁路软土路基工后沉降标准	114
第三节	高速铁路软土路基的地基处理	115
一、	处理方法的分类	115
二、	处理方法的选择	115
三、	处理方法介绍	120
第四节	软土路堤施工观测与控制	134
一、	施工观测的范围	134
二、	施工观测的主要项目	134
三、	软土路堤施工控制	135
第七章	高速铁路路基填料压实质量的检测方法	137
第一节	核子湿度密度仪试验	138
一、	核子湿度密度仪法	138
二、	测量原理	139
三、	测量方式	140
四、	部件说明	141
五、	标准计数	144
六、	现场测量	145
七、	辐射安全基本知识	148
第二节	承压板试验	151
一、	主要特点	151
二、	主要技术性能及指标	151
三、	主要系统	152
四、	操作说明	153
五、	使用注意事项及维修保养	154
六、	地基系数 K_{30} 与 K_{40} 、 K_{50} 和 K_{75} 之间的关系	155

第三节 CBR 试验	155
一、试验原理	155
二、CBR 试验方法	156
三、现场 CBR 试验	158
四、试验说明	159
第四节 轻型动力触探试验	160
一、基本原理	160
二、影响因素	161
三、确定地基承载力	162
主要参考文献	163

第一章 绪 论

第一节 路基在高速铁路中的地位和作用

世界铁路产业自其产生到本世纪 50 年代,一直处于大发展之中。随后,由于受到航空业和高速公路的挑战,铁路发展速度逐渐减缓。至 1964 年世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线建成并投入运行,以其速度快,运能大,节省能源,确保安全准时,污染少等综合优势博得世人青睐,极大地提高了世界各国发展高速铁路的兴趣,从而使铁路产业出现了一个兴旺时期。继东海道新干线之后,日本又先后修建了山阳、东北、上越及北陆新干线;法国的高速列车 TGV 于 1981 年以 260 km/h 的最高运行速度投入正式运营;意大利的摆式列车在 1988 年连接了米兰和罗马;德国的高技术 ICE 列车 1991 年 6 月正式通车;西班牙于 1991 年建成马德里—塞维利亚高速铁路……。至今,全世界最高运行速度在 200 km/h 以上的新建高速铁路已有 4 000 km 以上,如果包括时速 200 km 的线路,全世界的运行总里程已超过 10 000 km。这些线路虽然仅约占世界铁路总营业里程的 1%,但却担负着各拥有国较大一部分客运工作量。例如:日本已建成的东海道、山阳、东北、上越四条新干线共长 1 835 km,约占日本铁路总营业里程的 9%,担负着铁路旅客周转量的 30%;法国的东南线和大西洋线共长 745 km,仅占法国铁路营业里程的 2%,TGV 列车却承担了铁路旅客周转量的 55.8%。所以,高速铁路已成为世界铁路发展的总趋势,也成为一个国家 and 地区发展交通运输的战略目标之一。欧洲计划在 2010 年以前建成总规模超过 2.4 万 km 的高速铁路,包括修建 9 000 km 时速在 250~300 km 及以上的新线,改造 1.5 万 km 时速约 200 km 的既有线;日本规划新干线将扩展到 6 900 km;韩国正在建造汉城—釜山高速线(411 km);美国计划在本世纪末建成休斯顿、达拉斯、圣安东尼奥之间的三角形高速网;加拿大、巴西、印度和我国台湾省也将计划或已动工修建高速铁路。我国大陆第一条高速铁路——京沪高速铁路也将于下世纪初正式修建。

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观念或思想。

就线路结构领域看,目前已经突破了传统的轨道/道床/土路基这种结构形式,既有有碴轨道也有无碴轨道。在有碴轨道中,从轨道至基床这个过渡层范围内,除了道碴/土这种两层系统外,还有多层系统。例如法国的道碴层/底碴层(或次道碴层,砂、砾料)/基层(级配良好的砾石)/反滤层(土工纤维);日本在道床与基床之间加设了 25mm 厚的橡胶垫层;德国在上部建筑与基床之间加一块钢筋混凝土板等等。

各种不同的结构形式所企图达到的首要目的是为高速线路提供高平顺性和稳定的轨下基础。有碴轨道的轨下基础是由散体材料组成的道床和路基,它们是最薄弱的也是最不稳定的环节,是轨道变形的主要来源。在多次重复荷载作用下所产生的累积永久下沉(残余变形)

会造成轨道的不平顺,而且它们的刚度也影响着轨面的弹性变形,因而对列车的高速走行条件也有重要的影响。高速行驶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考虑的主要控制因素。尤其是路基,过去按强度破坏设计,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变形。日本东海道新干线的设计时速为 220 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,以至从 1965 年开始,因为路基的严重下沉,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。

变形问题的解决是相当复杂的。日本和欧洲各国虽然实现了高速,但他们是通过采用高标准的昂贵的强化轨道结构和高质量的养护维修技术来弥补这方面的不足的。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。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 Eisenmann 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,而只能依循着不平顺的走行面和刚度有变化的轨道运行。

第二节 高速铁路路基的特点

高速铁路运行速度快、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的最大特点。因此,高速铁路路基与普通铁路路基的本质区别在于基床表层厚度增加,压实标准提高,同时对填料及路桥过渡段的刚度提出了更高的要求。

此外,高速铁路路基还具有一般路基的共同特点:

(一) 路基建筑在土石地基上并以土石为建筑材料

岩石和土都是不连续介质。各种岩石的性质差异悬殊,并具有多种结构面,使其被分割,甚至破碎;土的成因、成分、结构、构造也各不相同;在自然营力和人类活动作用下,土石的工程性质更在不断变化。所以,在工程设计中,如何取得正确反映土石工程性质的物理力学指标和如何建立表达土石的应力—应变—时间关系的本构模型,已成为岩土工程的重

要研究内容。

(二) 路基完全暴露在大自然中

在线路工程中,路基除可遇见各种复杂的地形、地质条件外,还常受严寒、酷暑、水位涨落、急风暴雨等气候、水文以至地震等自然条件的影响,从而引发路基的各种病害,如膨胀土路基干缩湿胀引起路基边坡坍落;南方淫雨和北方冬冻、春融引起路基隆起、下沉,翻浆冒泥等线路病害,雨季引起大滑坡;西北风蚀沙埋路基等。所以,认识和克服自然灾害,是路基工作的重要内容。

(三) 路基同时受静荷载和动荷载的作用

路基上的轨道结构和附属构筑物产生静荷载,列车运行产生动荷载。动荷载是造成基床病害的主要原因之一。研究土体作用下的变形、稳定问题,必须了解土的动力性质,包括土的动强度和液化、动孔隙水压力增长及消散模式、土的震陷等。一些新的测试手段和计算模型的出现,为进一步深入研究基床土动力响应提供了更完善的条件。

无论是路堤、路堑,还是不填不挖路基,都可因外荷载作用而引起土中原有应力平衡发生变化。这些变化是路基设计的依据,所以应充分掌握外荷载作用的性质和强度,及由此而引起的路基内的应力、应变及土体稳定问题。

第三节 路基填料的分类

填料是指构成铁路路基等土工建筑物的原材料。多年的工程实践证明,填料质量的好坏,直接关系到路基建物的强度高与低与变形,已越来越被工程界所重视。填料根据岩土工程性质及其适用条件划分类别。国外对路基填料标准要求较高。

一、我国铁路路基填料分类标准

在《铁路路基设计规范》(TBJ 1—96)中,路基填料根据其性质和适用条件分成A、B、C、D、E五个组。

A组——优质填料,包括硬块石,级配良好的漂石土、卵石土、砾块石、砂砾、砾砂、粗砂及中砂。

B组——良好填料,包括不易风化的软块石(胶结物为硅质或钙质),级配不良的漂石土、卵石土、碎石土、砾石土、砂砾、砾砂、粗砂及中砂,细粒土含量在15%~30%范围的漂石土、卵石土、碎石土、砾石土、及细砂、黏砂、砂黏土。

C组——可使用的填料,包括软块石(胶结物为泥质,易风化的),细粒土含量在30%以上的漂石土、卵石土、碎石土及粉砂、粉土,粉黏土。

D组——不应使用的填料,包括严重风化的软块石、粉黏土、黏土。

E组——严禁使用的填料,如有机土。

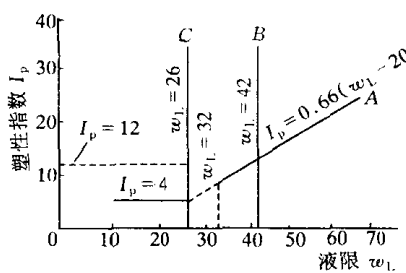
《铁路路基设计规范》(TBJ 1—96)与《铁路工程地质技术规范》(TBJ 12—96)对路基填料的分类差别主要在细粒土上。《铁路路基设计规范》中路基填料是按塑性图分类,而《铁路工程地质技术规范》则是按塑性指数 I_p 分类。

根据土石的颗粒组成、颗粒形状、塑性指数等,路基填料可分为岩块、粗粒土和细粒土

三大类，如表 1—1 所示。

表 1—1 我国路基填料分类标准

填 料		符 号	说 明	填料组别	土石分类对照
类别	名称				
岩 块	硬块石	R _h	粒径大于 200 mm 颗粒超过全重的 50%，坚硬，不易风化	A	块石土
	软块石	R _s	粒径大于 200 mm 颗粒超过全重的 50%	B、C、D	
	漂石土	R _b F	粒径大于 200 mm 颗粒超过全重的 50%，圆状为主	A、B、C	碎石类土
	卵石块	R _g F	粒径大于 20 mm 颗粒超过全重的 50%，圆状为主	A、B、C	
	碎石块	R _c F	粒径大于 20 mm 颗粒超过全重的 50%，棱状为主	A、B、C	
粗 粒 土 类	砾石块	GF	粒径大于 2 mm 颗粒超过全重的 50%，圆状为主	A、B、C	圆砾土 角砾土
	砂 砾	GS	粒径大于 2 mm 颗粒少于全重的 50%	A、B	
	砾 砂	SG	粒径大于 2 mm 颗粒为全重的 25%~50%	A、B	砂 类 土
	粗 砂	S _c	粒径大于 0.5 mm 颗粒超过全重的 50%	A、B	
	中 砂	S _m	粒径大于 0.25 mm 颗粒超过全重的 50%	A、B	
	细 砂	S _f	粒径大于 0.1 mm 颗粒超过全重的 75%	B	
	粉 砂	SM	粒径大于 0.1 mm 颗粒少于全重的 75%，细粒土部分以粉粒为主	C	
黏 砂	SC	粒径大于 0.1 mm 颗粒少于全重的 75%，细粒土部分以黏粒为主	B		
细 粒 土 类	砂粉土	MS	塑性图 A 线以下，C 线以左	B	黏 性 土
	粉 土	M	塑性图 A 线以下，B、C 线之间	C	
	黏粉土	MC	塑性图 A 线以下，B 线以右	D	
	砂黏土	CS	塑性图 A 线上，C 线以左，I _p >4	B	
	粉黏土	CM	塑性图 A 线以上，B、C 线之间	C	
	黏 土	C	塑性图 A 线以上，B 线以右	D	
	有机土	P _t	有机质含量大于 5%	E	



- 注：①软块石填料组别：B组指不易风化的，C组指易风化的，D组指严重风化的。
 ②漂石土、卵石土、碎石土和砾石土的填料组别是根据细粒土含量确定的：含量在 15%~30%者为 B 组，含量大于 30%者为 C 组。
 ③表内填料组别为 A、B 组者：A 组指级配良好的 ($C_u \geq 5$, $C_c = 1 \sim 3$)；B 组指级配不良的 ($C_u < 5$ 或 $C_c \neq 1 \sim 3$)。其中不均匀系数 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ ；曲率系数 $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$ ； d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别为颗粒级配曲线上相应于 10%、30% 及 60% 含量的粒径。

二、日本铁路路基填料分类标准

日本国铁于 1978 年 11 月 9 日制定的《铁路土工结构设计标准》中规定，把土质填料和

岩质填料适用条件分成五群（表 1—2）。

表 1—2 日本路基填料分类标准

群 记 号	土 质 和 岩 质
A 群	GW, GP, G-M, G-C, G-V, GM, SW, S-M, S-C, 硬石块（剥离性严重的除外）
B 群	G-O, GC, S-V, S-O, SP, SM, SC, 硬石块（剥离性严重的）、软石块、脆性石块（D ₁ 群的除外）
C 群	GO, GV, SV, ML, CL
D ₁ 群	MH, CH, 脆弱岩石（黏土化的、施工后风化发展的、碾压后泥土化的）
D ₂ 群	SO, OL, OH, OV, Pt, Mk
V 群	VH ₁ , VH ₂

注：石块和岩质填料的粒径为 300 mm。

A 群——容易确保地基系数 $K_{30} \geq 1.1 \text{ MPa/cm}$ ，且残余下沉量极小；在列车重复荷载作用下，塑性变形量和弹性变形量小，是一种最适宜作路堤填料的优质填料。

B 群——容易确保地基系数 $K_{30} \geq 0.7 \text{ MPa/cm}$ ，且在自重作用下压缩下沉的时间不长；另外，填料经适当改良处理后，能容易地确保地基系数 $K_{30} \geq 1.1 \text{ MPa/cm}$ ，是一种施工性能良好，适宜作为路堤的填料。

C 群——有机物，含火山灰质细粒土的砾质土和细粒土，是一种低液限的土，如施工管理得当，能确保地基系数 $K_{30} \geq 0.7 \text{ MPa/cm}$ ；另外，如填料经适当改良处理，能确保地基系数 $K_{30} \geq 1.1 \text{ MPa/cm}$ ；压缩性比 B 群差；它是用作路堤填料的最低限度的普通土。

D 群——压缩性高，施工性能不良，是不能用作路堤填料的土质和脆弱岩石。

V 群——是火山灰质黏性土，就工程特性来说，重塑后软化且强度显著降低，施工性能比其他土壤坏；这种黏性土与基床表层邻接时，容易产生翻浆冒泥，不适合作为路堤填料。

三、德国铁路路基填料分类标准

《德国铁路土工建筑物规范》(DS 836) 中，铁路路基填料的分类标准如下。

1. 非黏性土

粗粒土：

GE——砾石，颗粒级配紧密

GW——砾石，颗粒级配分散

GI——砾石，颗粒混合级配

SE——砂，颗粒级配紧密

SW——砂，颗粒级配分散

SI——砂，颗粒混合级配

颗粒混合型土壤：

GU——砾石，流砂性

GT——砾石，黏性

SU——砂，流砂性

2. 黏性土

颗粒混合型土壤：

G \bar{U} ——砾石，流砂性强

T $\bar{}$ ——砾石，黏土性强

S \bar{U} ——砂，流砂性强

S \bar{T} ——砂，黏性强

S \bar{I} ——砂，黏性

G \bar{T} ——砾石，黏性

细粒土：

U——流砂

UL——略有塑性的流砂

UM——中性流砂

T——黏土

TU——略有可塑性黏土

TM——中等塑性黏土

TA——可塑性强的黏土

3. 有机土，有动植物残杂的有机物土壤和有机物土

OU——有机混物流砂和有机流砂

OT——有机混合物黏土和有机黏土

OH——有腐殖土混合物的粗粒及混合型土

OK——有石灰石和砾石混合物的粗粒及混合型土

HN——无分解直至有部分分解的泥炭

HZ——分解的泥炭

F——淤泥

其中，粗粒土属优质填料，是基床表层的首选材料。除 OH、OK、HN、HZ、F 类土外，其他类土均可作为铁路路基的填料。

四、铁盟路基填料分类标准

铁盟将填料分成 QS₀、QS₁、QS₂、QS₃ 四级，如表 1—3 所示。

QS₀ 为不适用土，不能用作基层（基床表层）填料，一定要用时，需采取措施，如加拌掺料，进行加固或铺设土工布等。

QS₁ 为不良土，排水条件好时可用。这种土质可通过适当方法改良，如加拌掺料。

QS₂ 为中等好土。

QS₃ 为好土。

表 1—3 铁盟路基填料分类标准

土 质	土 质 级 别
1. 松软的有机土 2. 细粒土（细粒）含量 > 15% 的膨胀性，过湿不易压实的土 3. 触变性土 4. 可溶物质的土（盐渍土、石膏等） 5. 有机质与矿物混合物、工业污染废料	QS ₀
6. 细粒含量大于 40% 的土 7. 严重风化岩：干容重 < 17 kN/m ³ 及极易破碎的白垩、混灰岩、风化页岩	QS ₁
8. 细粒含量为 15% ~ 40% 的土 9. 风化岩：干容重 < 17 kN/m ³ 及弱易碎性的白垩、未风化的页岩 10. 沉积岩：干燥 Deval 硬度 < 6，洛杉矶硬度 > 33	QS ₁ （肯定水文地质条件好时划为 QS ₂ 级）
11. 细粒含量为 5% ~ 15% 的土 12. 细粒含量 < 5%，颗粒均匀的砂 13. 中等硬岩：6 ≤ Deval 硬度 < 9 及 30 < 洛杉矶硬度 ≤ 33	QS ₂ （肯定水文地质条件好时划为 QS ₃ 级）
14. 细粒含量小于 5% 的土 15. 硬岩：Deval 硬度 ≥ 9，洛杉矶硬度 ≤ 30	QS ₃

第四节 路基工程的现状与发展前景

进入本世纪 20 年代以前，路基填筑都按“自然沉落”法设计施工。直到 1930 年，美国 Proctor 才首先提出用标准击实试验控制路基填筑压实度。自此，各国开始制定路基填筑标准。随着生产力的发展，铁路运量和速度的不断提高，既有线铁路路基不断出现病害，各国也不断提高新建路基的设计标准。

一、我国铁路路基现状

建国以来，我国在路基工程的建设上取得了许多成就，特别是对特殊地区与特殊土路基，无论在科研、工程实践水平上都有很大发展和提高，积累了丰富的经验。但由于经济的迅速发展，路基工程水平仍跟不上运输发展的需要，其关键在于采用安全度方面路基与轨道、桥隧建筑物不匹配，路基强度低、变形大，影响整个铁路运输能力的提高。

长期以来，我国新建铁路没有把路基当成土工建筑物来对待，而普遍冠名以土石方。在“重桥隧、轻路基，重土石方数量、轻质量”倾向下，经常发生路基变形、下沉，边坡坍塌，道碴陷槽等病害，使新建铁路交付运营后不能立即达到设计速度与运量，一般经过 5~15 年自然沉落及病害整治才能达到，造成经济与社会效益差的后果。如梅七铁路，全长 70 km，1969 年开工，1974 年临管，1983 年底交付运营，前后历时达 14 年之久。

运营铁路路基技术状态不佳，强度低，稳定性差，严重威胁铁路运输和安全，已成为铁路运输的主要薄弱环节。随着国民经济的发展，运量不断增长，路基超负荷工作状态一直没

有缓解,以至时常发生路基病害。据统计,至1994年底,在全国68 053 km的运营线上,路基总长64 088 km,占运营线路的94%,路基病害地段81 082处,累计长11 055 km,占运营线路的16.2%。因此,路基质量问题已逐渐被人们所认识与重视。

由于我国铁路运输承担了全国70%左右的货物周转量和60%左右的旅客周转量,预测到2000年货运量将达25亿t,客运量将达30亿人次,因此国家确定了发展重载列车及高速客运专线的技术政策。如今,京沪、京广、京哈三大干线已相继提速,开行了一批最高运行速度为140~160 km/h的“快速列车”。另外,大秦重载铁路、广深准高速铁路业已开始运行。京沪高速铁路预可行性研究工作正在紧张有序地进行。

二、国外铁路路基现状

国外铁路发展的方向是重载及高速铁路。发展重载铁路(轴重250~360 kN)的国家有美国、加拿大、澳大利亚、前苏联等;发展高速铁路的国家有法国、日本、德国等。这些国家都制定了较高的路基技术标准和严格的施工工艺,其特点如下:

(1) 结合路基工程规定了详细的岩土分类,要求详细地进行调查,以为设计、施工及养护提供所必须的依据资料。

(2) 加强了轨道基础的路基基床部分,包括路堤、路堑及不填不挖地段,特别是对基床表层(日本对新干线要求设置加强基床,很多国家设置基层或防护层、垫层),有严格的材料条件并规定了强度要求。关于强度标准,有的用形变模量 E ,有的用加州承载比(CBR)。日本采用直径为30cm的平板荷载试验求出的地基系数 K_{30} ;铁盟及法国标准对基层要根据土质、承载能力、防冻要求、线路等级、运输荷载条件(轴重、运量、速度)以及线路上部结构的条件设计其结构及需要厚度。

(3) 对路堤各部分的填土规定了相应的填料标准,填土质量标准要求较高。多数标准采用压实系数 K ,如日本采用 K_{30} 的标准。施工中严格进行质量检验及控制。日本、法国标准中分别提出可用贯入仪及落球回弹法等快速检验法。为了调整接近桥台时路堤的刚度,对桥头路堤规定了更高标准。

(4) 为控制路基不发生过大的下沉,对路堤填土的地基条件提出了规定及处理的要求。

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

三、路基工程的发展前景

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。各种有关技术基础学科水平的提高,为路基工程技术的发展创造了良好条件。近年来获得的进步主要表现在:

(一) 测试方法和设备进一步现代化,对土石的工程性质有较充分的了解

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,动荷载作用下土强度和变形等提供了条件。土工离心模拟试验可直观显示构筑物因重力引起的应力、应变状态,便于研究构筑物的破坏机理,并已用于研究软土

地基上路堤临界高度等课题中。

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

在多年实践和研究的基础上，对土石的分类、填筑土的要求逐渐合理而具体，使土石成为规格分明的材料。对于软土、膨胀土、黄土、冻土、盐渍土等特殊土的性质有了较深入的了解，有利于提高上述土分布地区路基工程的工程质量。

(二) 设计计算技术提高

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模型、弹塑性模型，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。

(三) 多种新材料、新施工方法和高效施工机械的运用，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；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，发展到粉喷加固、土工织物加筋地基；对基床病害的处理经历了换填砂石料，敷设沥青面层，设盲沟排水等措施，发展到较普遍地应用高分子聚合材料。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，曾多次用粉煤灰填筑，铁路路堤也已开始试用。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。

在使用新材料的同时，还出现了一些新的施工方法。如降低地下水位取土，克服了“浅挖宽取”的缺点，为减少占地量和缩短运输距离创造了可贵的经验。

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；一些灾害报警装置效能的明显提高，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。

(四) 制定规范，有章可循

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。只有从事建设者遵守规范，才能加强管理和统一验收标准，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，我国已制定了若干有关勘测设计、施工及维修养护的规范。随着建设事业的发展，规范本身也将不断改革和更新。一个时期的规范，实际表现着那一时期的技术进步状况。

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