

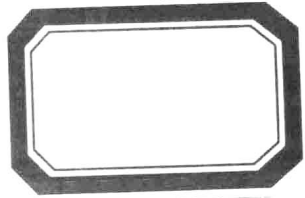


姜晨光 主编

铁道工程土建施工 技术指南



化学工业出版社



姜晨光 主编

铁道工程土建施工技术指南

常州大学图书馆
藏书章



化学工业出版社
· 北京 ·

本书从实用的角度出发,系统地阐述了铁道工程土建施工的基本理论和技术,主要包括路基工程施工、隧道工程施工、桥涵工程施工、有碴轨道工程施工等内容,对铁道工程建设活动和相关科学研究工作具有一定的指导意义和参考价值。

本书可供各级政府铁道管理部门、公路管理部门、水利管理部门、交通管理部门、建设管理部门、铁道(公路、水利)建设部门、铁道(公路、水利)工程设计及施工人员、铁道(公路、水利)工程建设与管理人员、工程勘察工作者、铁道(公路、水利)工程研究者、土木工程施工人员、土木工程企业管理人员作为工作或学习中的参考,本书也可以作为铁道土建工程的工具书使用,还可以作为土木工程专业、道路与铁道工程专业、水利工程专业研究生或高年级学生的课外辅助教材或阅读材料。

图书在版编目(CIP)数据

铁道工程土建施工技术指南/姜晨光主编. —北京:
化学工业出版社, 2012. 7
ISBN 978-7-122-13857-6

I. 铁… II. 姜… III. 铁路工程: 土木工程-
工程施工-指南 IV. U215. 2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 055493 号

责任编辑: 董琳
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 汲永臻
装帧设计: 杨北

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 449 千字 2012 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

1825年9月27日世界第一条行驶蒸汽机车的永久性公用运输设施（英国斯托克顿—达灵顿的铁路）的正式通车标志了近代铁路运输业的开端。随后，铁路以其迅速、便利、经济的优点受到了人们的重视与普遍欢迎。目前，全世界117个国家和地区拥有铁路约120万多公里（其中美国铁路20万多公里、俄罗斯铁路10万多公里，中国铁路8万多公里）。铁路作为陆上运输的主力军，在长达一个多世纪的时间里居于垄断地位，但自21世纪以来，随着汽车、航空和管道运输的迅速发展，铁路不断受到新的运输方式的冲击。为了适应社会和经济发展的需要，适应货主和旅客“安全、准确、快速、方便、舒适”要求，各国铁路在纷纷进行大规模的现代化技术改造同时改革运输组织工作、积极采用高新技术，在重载、高速运输和信息技术方面取得了新的突破，加上现代管理和优质服务以及铁路的区域联网、洲际联网，使铁路增添了新的活力，在陆上运输中仍继续发挥着骨干作用，在现代化运输方式中占有重要的地位。各国铁路客运发展的共同趋势是高速、大密度，扩编或采用双层客车。采用动车组和电力机车牵引旅客列车是实现客运高速化的重要条件。我国在未来的铁路发展中，大城市快速运输系统将同全国铁路网连接并紧密配合，形成客运统一运输网。铁路现代化的目的是为了快速而准确地运送旅客和货物。随着新材料的不断涌现，耐大气腐蚀的耐候钢、热镀锌钢板等金属材料，泡沫聚氨酯、合成纤维布等聚合材料以及精密陶瓷材料，还有光导纤维、超导材料都将逐步在铁路机车车辆、集装箱、线路、隧道、桥梁、通信以及接触网等各方面被普遍采用。可以预见，随着高新技术的发展和应用，铁路将不断展现自己蓬勃的活力。铁路建设的质量对人们的出行安全、运输能力的提高具有举足轻重的作用，普及铁路建设技术对于提高铁路建设水平和质量具有重要现实意义，出于为铁路建设事业健康发展考虑，笔者不揣浅陋编写了本书。

笔者长年关注铁道建设问题，对国内、国外铁道的建造活动做过大量调研，在多年的铁道建设咨询工作中深感铁道建设的艰辛与风险。本书是笔者在江南大学从事教学、科研和工程实践活动的经验积累之一，也是笔者30余年土木工程生涯的部分心得，本书的撰写借鉴了国内外大量的实际工程资料，吸收了许多前人及当代人的宝贵经验和认识，也包含了笔者对铁道工程的感悟、认识以及些许微不足道的研究心得。

全书由江南大学姜晨光主笔完成，深圳市长勘勘察设计有限公司尹建章，莱阳市规划建设管理局王世周、孙有国、纪少林、时永宝、于蕾，莱阳市国土资源局姜春妍，莱阳市房产管理局姜子明、王辉、宫树本、修金荣，无锡市住房保障和房产管理局贾绪领、樊文泉、邓跃智、陈志宁、曹辰、张晶、张敏明、陈镭、丁立志、章玲妹、袁君焕、吴明星、徐丹，无锡市轨道交通发展有限公司段永强，江南大学王凤芹、姜勇、张大林等同志（排名不分先后）参与了部分章节的撰写工作。李锦铭、王浩闻、苏文馨、徐至善、黄建文5位教授级高工对本书初稿进行了认真的审阅，提出了许多中肯的意见，为本书的最终定稿付出了大量心血，谨此致谢！

限于水平、学识和时间关系，书中内容难免有欠妥之处，敬请读者多提出批评与宝贵意见。

姜晨光
2011年11月于江南大学

目 录

第 1 章 路基工程施工	1
1.1 铁路路基施工的准备工作	3
1.1.1 铁路路基的构造、特点及作用	3
1.1.2 铁路路基施工的基本要求	3
1.1.3 铁路路基施工的主要准备工作	4
1.2 铁路路基施工中的地基处理方法	5
1.2.1 换填法	5
1.2.2 抛填片石	5
1.2.3 砂垫层	6
1.2.4 碎石垫层	6
1.2.5 袋装砂井	7
1.2.6 塑料排水板	8
1.2.7 堆载预压	9
1.2.8 真空预压	9
1.2.9 砂桩和碎石桩	10
1.2.10 粉体喷射搅拌桩	11
1.2.11 浆体喷射搅拌桩	12
1.2.12 高压旋喷桩	13
1.2.13 强夯	13
1.2.14 土工合成材料垫层	14
1.3 路堤施工	14
1.3.1 路堤施工填料的基本要求	15
1.3.2 基床以下路堤的施工	17
1.3.3 基床底层施工	19
1.3.4 基床表层施工	19
1.3.5 路堤边坡施工	21
1.3.6 改良土的填筑施工	21
1.3.7 填石路堤施工	22
1.3.8 加筋土路堤施工	23
1.3.9 路基沉降观测	24
1.3.10 雨季施工	24
1.3.11 低温施工	25
1.3.12 取土	25
1.4 路堑施工	25
1.4.1 路堑施工的基本要求	25
1.4.2 硬质岩石路堑施工	27
1.4.3 软质岩石及土质路堑施工	27

1.4.4	半填半挖路基施工	27
1.4.5	地下水路堑施工	27
1.4.6	爆破作业	28
1.4.7	弃土作业	29
1.4.8	路堑施工控制及检测	29
1.5	过渡段施工	30
1.5.1	过渡段施工的基本要求	30
1.5.2	路堤与桥台过渡段的施工	31
1.5.3	路堤与横向结构物过渡段施工	31
1.5.4	路堤与路堑过渡段施工	32
1.5.5	过渡段的施工控制与检测	32
1.6	支挡结构及特殊路基施工	33
1.6.1	软土、松软土路基施工	33
1.6.2	膨胀土路基施工	33
1.6.3	盐渍土路基施工	34
1.6.4	液化土路基施工	34
1.6.5	浸水路堤施工	34
1.6.6	岩溶、洞穴地区路基施工	34
1.7	路基防护及排水工程施工	34
1.7.1	坡面防护施工	35
1.7.2	冲刷防护施工	37
1.7.3	路基排水施工	37
1.8	路基相关工程及附属设施施工	38
1.8.1	检查设备施工	38
1.8.2	防护栅栏施工	39
1.8.3	其他相关工程施工	39
1.9	路基工程施工中的环境保护问题	39
1.9.1	水土保持	40
1.9.2	空气污染及噪声控制	40
1.9.3	环境绿化	40
1.10	路基工程施工相关的试验表格	40
1.11	路基工程施工质量验收	45
1.11.1	铁路路基工程施工质量验收的基本要求	45
1.11.2	地基处理质量验收	53
1.11.3	基床以下路堤验收	69
1.11.4	其他项目验收	73
1.11.5	路基单位工程综合质量评定	74

第2章 隧道工程施工 76

2.1	铁路隧道施工准备	76
2.1.1	铁路隧道施工的基本要求	76
2.1.2	铁路隧道施工的准备工作的	79

2.2	洞口工程施工	82
2.2.1	洞口工程的基本要求	82
2.2.2	明洞及洞门施工	83
2.2.3	缓冲结构施工	84
2.3	超前地质预测、预报问题	84
2.4	隧道开挖	86
2.4.1	隧道开挖的基本要求	86
2.4.2	隧道超欠挖的基本规定	90
2.4.3	隧道的钻爆法开挖	92
2.5	隧道支护	97
2.5.1	隧道支护的基本要求	97
2.5.2	喷射混凝土施工	98
2.5.3	锚杆及锚索施工	103
2.5.4	钢筋网施工	106
2.5.5	钢架施工	106
2.6	隧道施工中的装、运与弃碴问题	106
2.7	隧道衬砌施工	108
2.7.1	隧道衬砌施工的基本要求	108
2.7.2	耐久性混凝土施工	111
2.8	隧道施工监控量测	114
2.9	隧道施工中的防排水技术	120
2.9.1	隧道施工防排水基本要求	120
2.9.2	铁路隧道注浆防水	121
2.9.3	铁路隧道结构防排水	127
2.9.4	铁路隧道结构施工排水	137
2.10	隧道施工中的通风与防尘以及风水电供应	137
2.10.1	隧道施工中的通风与防尘	137
2.10.2	隧道施工中的供风	139
2.10.3	隧道施工中的供水	139
2.10.4	隧道施工中的供电	140
2.11	特殊岩土和不良地质地段的隧道施工	141
2.11.1	特殊岩土和不良地质地段隧道施工的基本要求	141
2.11.2	富水软弱破碎围岩地段的隧道施工	141
2.11.3	岩溶地区隧道施工	142
2.11.4	风积沙和含水砂层地段的隧道施工	143
2.11.5	瓦斯地段的隧道施工	143
2.11.6	岩爆地段的隧道施工	147
2.11.7	挤压性围岩地段的隧道施工	149
2.11.8	膨胀岩地段的隧道施工	149
2.11.9	黄土地段的隧道施工	150
2.12	隧道工程施工质量验收	152
2.12.1	隧道工程施工质量验收	152

2.12.2	隧道工程施工质量验收单元的划分	153
2.12.3	隧道工程施工质量验收程序	155
2.12.4	隧道工程施工质量验收内容	158
第3章	桥涵工程施工	160
3.1	铁路桥涵施工准备	160
3.1.1	施工调查与技术准备	161
3.1.2	主要施工机械设备选择	162
3.1.3	辅助工程准备	162
3.2	铁路桥梁基础施工	162
3.2.1	明挖基础施工	162
3.2.2	桩基础施工	166
3.2.3	沉井基础施工	173
3.3	铁路桥梁墩台施工	175
3.3.1	铁路桥梁墩台身施工	175
3.3.2	锥体填筑施工	175
3.3.3	桥台的排水及防护施工	175
3.4	桥位制梁施工	176
3.4.1	膺架浇筑施工	176
3.4.2	连续梁、连续刚构的悬臂浇筑施工	176
3.4.3	移动支架悬臂拼装施工	178
3.4.4	连续梁顶推施工	178
3.4.5	先简支后连续箱梁施工	179
3.4.6	移动模架造桥机制梁施工	180
3.4.7	移动支架造桥机制架梁施工	180
3.5	预应力混凝土箱梁预制施工	181
3.5.1	后张法预应力混凝土箱梁预制	181
3.5.2	先张法预应力混凝土箱梁预制	187
3.6	预制箱梁架设施工	188
3.6.1	预制箱梁架设的基本要求	188
3.6.2	架桥机架设	189
3.6.3	落梁就位	189
3.7	预应力混凝土T梁预制及架设施工	189
3.7.1	T梁的预制	189
3.7.2	T梁的架设安装与横向联结	191
3.8	结合梁施工	191
3.8.1	结合梁施工的基本要求	191
3.8.2	钢梁的工地检验	191
3.8.3	钢梁安装	192
3.8.4	混凝土桥面板施工	193
3.8.5	结合梁施工质量要求	193
3.9	钢筋混凝土连续刚架、板式刚构连续梁施工	194

3.9.1	连续刚架桥施工	194
3.9.2	板式刚构连续梁桥施工	195
3.10	桥梁支座施工	196
3.11	桥面及附属结构施工	196
3.11.1	有碴桥面施工	196
3.11.2	无碴桥面施工	196
3.11.3	桥面及附属结构质量要求	196
3.12	涵洞施工	197
3.12.1	涵洞施工的基本要求	197
3.12.2	圆形涵洞施工	197
3.12.3	盖板涵施工	197
3.12.4	框架涵施工	198
3.12.5	渡槽及倒虹吸管施工	198
3.12.6	涵洞施工质量要求	198
3.13	铁路桥涵施工中的环境保护	200
3.14	桥涵工程施工质量验收	200
3.14.1	桥涵工程施工质量验收的基本规定	201
3.14.2	桥涵工程施工质量验收单元的划分	202
3.14.3	桥涵工程施工质量验收程序及要求	207
3.14.4	桥涵工程施工质量验收内容	210

第4章	有碴轨道工程施工	211
4.1	有碴轨道施工准备	211
4.2	基地钢轨焊接施工	214
4.3	有碴轨道铺轨铺碴施工	216
4.3.1	有碴轨道铺轨铺碴施工的基本要求	216
4.3.2	铺轨前铺碴	218
4.3.3	铺枕铺轨	219
4.3.4	分层上碴整道	219
4.3.5	注意事项	220
4.4	工地钢轨焊接施工	221
4.5	应力放散及无缝线路的锁定	222
4.6	正线道岔及钢轨伸缩调节器铺设	227
4.7	钢轨胶接绝缘接头施工	229
4.8	轨道整理及钢轨预打磨施工	230
4.9	有碴轨道工程竣工验收	233
4.9.1	有碴轨道工程施工质量验收的基本规定	235
4.9.2	有碴轨道工程施工质量验收单元的划分	236
4.9.3	有碴轨道工程施工质量验收程序及要求	237
4.9.4	有碴轨道工程施工质量验收内容	242

参考文献	243
-------------	------------

第 1 章 路基工程施工

目前，在我国，铁路运输是现代化运输体系之一，也是国家的运输命脉之一。铁路运输的最大优点是运输能力大、安全可靠、速度较快、成本较低、对环境污染较小、基本不受气象及气候影响、能源消耗远低于航空和公路运输，是我国现代运输体系中的主干力量。世界铁路的发展已有近 200 年的历史，1825 年英国在大林顿到斯托克顿之间修建了世界上第一条机车牵引铁路（长 21km），后来又于 1830 年建成了第一条完全用于客货运输而且有特定时间行驶列车的铁路（利物浦到曼彻斯特，铁路全长 56km）。以后各国竞相仿效。在铁路发展初期的 1825~1860 年全世界共修建了 105000km 的铁路，在铁路筑路高潮的 1870~1913 年（第一次世界大战前）全世界每年平均修建铁路 20000km 以上。第一次世界大战后到 20 世纪 60 年代初，战争对铁路的破坏，使主要资本主义国家的铁路基本停止发展（此时，他们的公路、航空却得到快速发展），而殖民地、半殖民地、独立国、半独立国的铁路则发展较快，到 1940 年世界铁路营业里程已达到 1356000km。20 世纪 60 年代末，随着电力牵引技术、集装箱技术、通信信号与管理自动化技术的发展世界铁路迈入了现代化的道路，20 世纪 70 年代中期的世界石油危机，使铁路得到了进一步重视，高速铁路、重载铁路、磁悬浮铁路纷纷涌现。

我国有铁路、公路、航空、水运、管道运输五大运输体系，20 世纪 80 年代以前，五大运输体系中铁路基本处于垄断地位。80 年代后，我国国民经济迅猛发展，交通运输全面紧张，公路民航迅速发展，铁路垄断有所动摇，但铁路运输能力大、运输成本低的特点决定了铁路仍是中长距离客货运输的主力，是我国陆上运输的骨干。目前，我国铁路发展的重点是高速重载，通过大力发展无碴轨道和既有线逐步提速构建起现代化的铁路运输体系，目前已经开通运营的京沪（北京—上海）高速铁路已成为世界最长的高速铁路。沪杭（上海—杭州）磁悬浮修建计划目前已经获得批准，建成后将成为世界上最长的真正实用化的磁悬浮铁路（磁悬浮研究开始于 20 世纪 70 年代，有很多国家都在研究，目前仅日本和德国有试验线）。目前，世界铁路的重要份额依然是在中国。目前，我国是按速度对铁路进行等级划分的，见表 1-1。

表 1-1 我国的铁路等级

等级	行车速度/(km/h)	采用的机车车辆	线 路
普通铁路	$\leq 120\text{km/h}$	普通(我国绿色)	既有线
快速铁路	$120 < v < 200$	快速车(非绿色)	曲线超高不宜大,列车为自动倾斜列车。比如,以 160km/h 设计的广深线采用瑞典 X-2000 摆式车速度达到 200km/h
	200	动车组(白色) 摆式车	
高速铁路	200~350	高速列车(动车-白色) 高速摆式车体	新建线或既有线改造
超高速铁路	> 350	磁悬浮	特制轨道

(1) 高速铁路 发展高速铁路的关键问题是改善轮轨系统，速度 v 越快、轮轨摩擦系数 u 越小、牵引力降低越大，对提速影响越大，经测试，通常情况下 $v \leq 120\text{km/h}$ 时， $u = 0.2 \sim 0.25$ ； $v = 160\text{km/h}$ 时 $u = 0.13$ ； $v = 300\text{km/h}$ 时， $u = 0.03 \sim 0.05$ （此时，单机牵引已不够）。因此，高速铁路上必须采用高速牵引方式，目前典型的高速牵引方式有单一强力型或头尾式、动力集中式（西欧较多）、动力分散式（我国及日本的多动力车）。火车高速行驶时空气阻力会随车速 v 的增

加而增加（阻力与 v^2 成正比），因此高速车体都是流线型。车速越快、振动越大、噪声越大，因此为环保考虑高速车体及铁路均有相应的减振降噪措施。另外，高速铁路能耗大、运营及维护管理成本相对较高。目前，高速铁路轮轨系统的经济速度（能耗小、成本低），英国取 230km/h、德国取 270km/h、法国取 280~360km/h、国际铁路联盟（UIC）（办事机构在法国）取 $v=270\sim300$ km/h。

磁悬浮一般采用相吸或相斥的电磁原理，目前主要有两种代表性技术：一是超导电动磁悬浮技术（日本原创，技术含量高、价高、浮起高度较高，浮起高度为 10cm）；另一个是常导电磁磁悬浮技术（德国原创，浮起高度 1cm，要求高、优势差）。日本在 1977 年花费近 20 亿美元（当时）建了 7km 磁浮铁路，德国花费 15 亿美元建了 31.5km 磁浮铁路，至今两国均处于试验阶段而无运营线（但有计划，东京—大阪 500km/h 的超导磁浮铁路和柏林—汉堡 450km/h 以上的常导磁浮铁路）。我国西南交通大学于 20 世纪 90 年代研制出了载人常导磁浮列车。磁悬浮原理见图 1-1。磁悬浮列车是一种采用无接触的电磁悬浮、导向和驱动系统的磁悬浮高速列车系统。它的时速可达 500 公里以上，是当今世界最快的地面客运交通工具，具有速度快、爬坡能力强、能耗低、运行时噪声小、安全舒适、不燃油、污染少等优点，轨道采用高架方式，占用耕地很少。磁悬浮列车意味着这些火车利用磁的基本原理悬浮在导轨上来代替旧的钢轮和轨道列车。磁悬浮技术利用电磁力将整个列车车厢托起，摆脱了讨厌的摩擦力和令人不快的噪声，实现与地面无接触、无燃料的快速“飞行”。

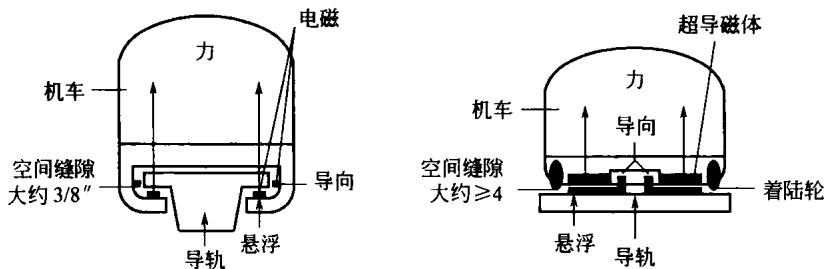


图 1-1 磁悬浮原理

日本、法国、德国是当今世界高速铁路技术发展水平最高的三个国家。高速铁路的实际应用发源于日本。1959 年，日本国铁开始建造东京至大阪的高速铁路，并在 1964 年开通，全长 515km，时速 210km，称为东海新干线。东海道高速铁路新干线一举解决了包括东京等大城市在内的经济最发达地区的陆上运输问题，经济和社会效益举世瞩目。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，就创造了当时的世界最高记录——时速 331km，使人们看到了这一技术的发展前景。1990 年，第二代 TGV 列车又以 515.3km 的时速刷新了世界记录，冲破了被称为极限的时速 375km，使 TGV 成为法国人日常生活不可缺少的一部分。德国高速铁路称为 ICE（Inter City Express）。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 Inter City Experimental 首次试车就以时速 317km 打破德国铁路 150 年来的记录，1988 年创造了时速 406.9km 的记录。

高速铁路是高新技术在铁路上的集中反映，它使交通运输结构发生了新的重大变化，是当代经济、社会、科技、交通发展的必然产物，是世界“交通革命”的一个重要标志。高速铁路具有的一系列技术经济优势得到了世界各国的高度评价，主要表现在以下 9 个方面：输送能力大（输送能力大是高速铁路的主要技术优势之一，目前各国高速铁路几乎都能满足最小行车间隔 4min 及其以下（日本可达 3min）的要求，速度快（速度是高速铁路技术水平的最主要标志，各国都在不断提高列车的运行速度），安全性好（高速铁路由于在全封闭环境中自动化运行，又有一系列完善的安全保障系统，所以其安全程度是任何交通工具无法比拟的），受气候变化影响小且正

点率高（高速铁路全部采用自动化控制，可以全天候运营，除非发生地震），既舒适又方便，能源消耗低，环境影响轻，土地利用率高，经济效益好。

(2) 重载铁路 国际重载运输理事 1994 年 6 月对重载铁路下的定义是凡符合下列条件之二者即为重载铁路，这些条件是：

- ① 经常定期开行或准备开行总重 $\geq 5000t$ 的单元或组合列车（单元是指一车头拉几个车厢；组合是指机车+几个车厢+机车+几个车厢串联起来）；
 - ② 在长度不小于 150km 线路区段上，年计费运量 ≥ 2000 万吨；
 - ③ 经常开行或准备开行轴重 $\geq 25t$ 的列车。
- 重载线路的特点是对轨道破坏严重。我国重载专线的典型代表是大秦重载铁路线。

1.1 铁路路基施工的准备工作的准备工作

1.1.1 铁路路基的构造、特点及作用

铁路路基是承受并传递轨道重力及列车动态作用的结构，是轨道的基础，是保证列车正常运行的重要构筑物，见图 1-2 和图 1-3。路基是一种土石结构，常年处于各种地形地貌、地质、水文和气候环境中，有时还要经受各种灾害的作用（比如洪水、泥石流、滑坡、崩塌、地震等）。

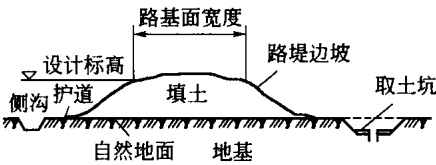


图 1-2 填方路基

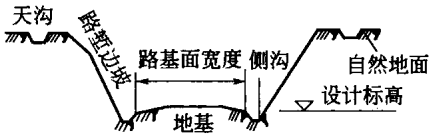


图 1-3 挖方路基

路基由路基体和附属设施两部分组成。路基面、路肩和路基边坡构成路基体。路基附属设施是指为保证路肩强度和稳定而设置的排水设施、防护设施、加固设施等，排水设施包括排水沟等，防护设施主要是植树种草等，加固设施主要有挡土墙、扶壁支挡结构等。路基横断面是指垂直于线路中心线的路基。形式有路堤型、半路堤型、路堑型、半路堑型、不填不挖型等。

路肩稳定性是指路基抵抗因列车动态作用及各种自然力影响而出现的道碴陷槽、翻浆冒泥、路基剪切滑动与挤起等现象的能力。主要应考虑的因素包括路基的平面位置和形状、轨道类型及其上的动态作用、路基体所处的工程地质条件、各种自然营力的作用等。铁路设计中必须对路基稳定性进行验算。

1.1.2 铁路路基施工的基本要求

铁路路基工程施工应保证工程质量，路基工程施工应针对铁路特点认真编制施工组织设计，应与相关工程密切配合选用正确的施工方法，应满足铁路设计的要求。路基工程施工应按批准的设计文件进行，若需变更则应按铁路变更设计管理办法进行。路基工程应作为土工结构物精心施工，并应将地基处理、路基填筑、基床表层、边坡防护及路基排水等作为一个系统进行施工，施工应严格按照工程质量标准进行管理，应加强对施工过程的控制以及质量检测工作、确保路基工程质量满足要求。铁路路基工程施工应采用机械化施工模式并积极推广和采用新技术、新工艺、新机具、新方法，路基工程施工中采用的大型机械设备、测试设备、爆破器材以及各种原材料均应符合国家和铁道部的有关标准及规定。电缆槽、接触网支柱基础、声屏障、预埋管线、综合接地等工程均应与路基工程同步施工，路基工程施工应遵守国家有关安全生产、环境保护和文物保护等方面的法规。路基工程施工应遵守国家及铁道部现行有关强制性标准的规定。对沉降控制困难的软土地段路基应合理做好施工组织、提前安排施工、保证必要的预压期。铁路路基工程

施工中应严格控制工后沉降（路基构筑物的最终沉降量与铺轨时的沉降量之差），对过渡段（路堤与桥台、路堤与路堑、路堤与横向构筑物等过渡区域）应认真处理，必要时可采用化学改良土（即通过在土中掺入石灰、水泥等掺合料改变土的化学成分，从而提高工程性能指标的土体）和物理改良土（即通过在土中掺入中粗砂、卵石及砾石等材料改变土的颗粒级配以提高工程性能指标的土体）。铁路路基工程施工中应关注并熟悉一些比较关键的设计符号的含义并按其指标要求进行施工作业，常见符号包括 D_{15} （指相邻填层中颗粒较粗层填料的颗粒级配曲线上对应于 15% 含量的粒径）、 d_{85} （指相邻填层中颗粒较细层填料的颗粒级配曲线上对应于 85% 含量的粒径）、 K （指压实系数）、 K_{30} （指地基系数）、 n （指孔隙率）、 O_{95} （指土工合成材料等效孔径）、 P_i （指静力触探比贯入阻力）、 $[\sigma]$ （指地基容许承载力）、 $N_{63.5}$ （指标准贯入试验实测击数）、 w （指含水率）、 w_{opt} （指最优含水率）、 ρ_d （指干密度）、 ρ_{dmax} （指最大干密度）、 H （指路堤高度）、 E_{vd} （指路基动态变形模量）等。

1.1.3 铁路路基施工的主要准备工作

施工单位在施工前应首先熟悉设计图纸，参加技术交底会议（以便深入了解设计意图和设计的要求，只有做到这一步，才能更好地安排施工，解决好关键技术问题，确保工程质量）。

铁路路基施工单位应在全面熟悉设计文件和设计交底的基础上充分了解施工项目的设计标准、规模、意图并对设计文件进行核查且做好核查记录，需办理变更设计手续时应按有关规定及时办理。施工前应做好路基工程的施工调查工作，应根据工程特点着重调查收集以下 9 个方面的内容资料并写出调查报告，这 9 方面内容包括：施工范围内的地质、水文、气象等情况；核对土石类别及分布、进行填料初步复查和试验，调查施工环境条件及取、弃土困难地段的填料来源、弃土位置和运土条件等；调查核对基床表层填料的来源并试验其级配分布是否符合要求，同时应收集级配混合料的拌和场地等有关资料；石方爆破地段的地形、地貌、地质和附近居民、建筑物、交通与通信设施情况；办理用地手续、拆迁补偿所需的资料；当地可利用的资源和设施情况；修建各项临时工程和施工防排水设施的资料；与本工程有关的既有运营情况、路基情况及采取安全合理、施工方便的工程措施方案所需的资料；采用新技术、新材料、新型结构所需的资料。

路基施工开工前应对特殊岩土及不良地质地基进行必要的地质核查。交接桩及施工复测应符合相关要求，这些要求包括交接桩应在现场进行并办理书面交接手续；中线、高程应与相邻地段贯通闭合（两端为桥梁或隧道时应以桥梁或隧道中线、高程为准，在两个施工单位的分界处应由双方共同复测，线路中线与水准点应与管界外的控制桩和水准点闭合；在两个施工单位的分界处，各施工单位管界外的线路控制点及水准点应由双方共同复测并做出记录以确保中线高程的正确及衔接一致）；线路控制桩以及路基中线、高程的测量误差应不超过现行《铁路工程测量暂行规定》的有关规定且测量工作应贯彻“双检制”（对主要中线控制桩应测设护桩并作出记录，边桩应根据贯通后的中线、高程进行测设，在地形、地质变化处应加测横断面的地面线）。

施工前的路基填料复查和试验应符合相关要求，应根据设计文件提供的资料，按照现行《铁路工程土工试验方法》（TB 102）对路基填料进行复查及取样试验以确定填料类别并按规定填写土工试验报告（经审查签证后方可使用），对特殊岩土除应进行常规试验外还需进行专门的鉴别试验以确定其种类和处理方法（对特殊岩土，除应进行一般规定的试验外，还应结合对各种特殊土定名的需要辅以相应的鉴别试验）。应在施工调查的基础上根据工程特点、实际工程数量、工期要求编写工程施工组织设计并落实施工方案，施工组织设计应按审批制度报批后执行。

施工便道的修筑标准应根据施工运量和施工机械的最大荷载确定并应满足施工需要（有设计要求时应按设计标准修筑。施工便道是施工运输的大动脉，应保证畅通无阻，因此便道应按标准修建。无设计标准时，施工单位应根据计划的运量和载重确定修建标准），利用原有道路作为施工便道时应实地检查（若不能满足施工运输要求应进行相应的加固改造）。

路基工程施工应按试验及检测要求设置工地试验室，试验室应通过相关部门的认证并合格，试验室的各种仪器及检测设备应满足施工需要。路基工程施工全面开工前应根据填料类别、性质和压实机械条件选择一定长度的试验区段进行试验以确定机械设备组合、施工工艺、摊铺厚度、压实遍数、改良土配合比、级配料配合比等施工参数和试验检测方法。

路基工程开工前应按规定办理开工报告。开工报告需报送的资料因工程而异，基本内容大致包括施工组织设计（施工方案）报审表；施工测量放线报验单；工程试验有关资料（含仪器设备标定情况）；主要人员、材料、设备进场情况；施工现场道路、水、电、通信等情况（应满足施工需要）等。路基工程施工前还应做好人员的技术培训工作。

1.2 铁路路基施工中的地基处理方法

地基处理施工前应熟悉有关施工图、工程地质报告、土工试验报告并收集地下管线、构筑物等的基本资料，同时应结合工程情况了解本地区的地基处理经验以及类似工程的施工情况。所用工程材料应按有关标准进行质量检测（材料合格方可用于工程），所有运至工地的材料应分类堆放、妥善保管。地基处理施工前应设置永久性的平面和高程控制基点并测定边界范围，应开挖好两侧排水沟、疏通排干地表积水，应清除场内杂物、杂草并按设计要求做好抽水、清淤、回填工作。施工前应组织施工人员了解与掌握所承担工程地基处理的目的、原理、施工工艺、技术要求、质量标准及检测方法等知识。施工前还应核查地质资料并进行地基处理的各项工艺性试验，当发现地质情况与设计不符时应按有关规定办理变更设计手续。铁路路基施工中的常用地基处理方法有换填、抛填片石、砂垫层、碎石垫层、袋装砂井、塑料排水板、堆载预压、真空预压、砂桩和碎石桩、粉体喷射搅拌桩、浆体喷射搅拌桩、高压旋喷桩、强夯、土工合成材料垫层等。软土地基处理通常应主要抓好以下 5 个关键性的技术环节：对地质资料、土工试验的详细复核以及对施工图和实践经验的调查研究；材料的选用应严格按有关标准进行质量检验（不合格材料不得用于工程）；室内试验和现场试验；施工现场的监测以及观测数据的收集；反复分析与验证设计、监测工程安全。这 5 个环节是解决土工问题的最理想方法，是国际岩土工程界根据大量实践经验提出的观测方法，被称为“边观察、边分析”方法，应用该方法在必要时可据以修改设计。

1.2.1 换填法

先挖除需换填的土层并将底部整平，底部起伏较大时可设置台阶或缓坡并按先深后浅的顺序进行换填施工，底部的开挖宽度不得小于路堤宽度加放坡宽度。应根据换填部分所处的路基位置采用设计要求的填料并分层填筑碾压达到相应的压实标准。应强化施工控制工作，换填范围及深度应符合设计要求，施工中应对需换填土层的范围及深度进行核实，若发现与设计不符则应按有关规定办理变更设计手续。采用机械挖除换填土时应预留 30~50cm 的土层由人工清理，所用填料及压实标准应符合有关规定，对外来填料应定期进行抽样检验。换填所用的填料要按换填部位在路堤所处的位置确定，即基床表层采用级配砂砾石或级配碎石；基床底层采用 A、B 组填料；基床以下 A、B 组和 C 组块石、碎石、砾石类填料。同时，其填筑压实应满足设计规定的压实标准。

1.2.2 抛填片石

抛填片石应采用不易风化的石料（片石块径不得小于 30cm）。片石抛投应从地基中部向两侧逐步进行，当淤泥下硬卧层的横坡陡于 1:10 时应自高侧向低侧抛投并在低侧部位加多抛投且留不小于 2m 的平台。片石抛出水面后应用较小石块填塞垫平并采用重型振动机械碾压或夯击密实，应根据片石所处的路堤部位满足相应的压实标准。应强化施工控制工作，抛填范围及标高应

符合设计要求，抛填片石边坡不得陡于设计值且顶面宽不得小于设计宽度，片石应抽样检验且其强度及块径应符合设计要求，压实标准应符合表 1-2 的规定，抛填片石的施工允许偏差应符合表 1-3 的规定。根据我国经验，一般情况下，抛填片石过程中，当抛填厚度较薄时可用重型振动压路机碾压密实；当抛填片石较厚时振动压路机一般难以压实，此时，可用 100~150t·m 夯击能普夯夯 2~3 遍以达到设计的压实要求，或者先通过抽水降低水位来减少抛填片石的厚度，然后再用振动压路机碾压密实，以保证压实密度。

表 1-2 填石路堤压实质量的控制标准

类别	使用部位	基床以下	基床底层	检测频次和取样部位
岩块	地基系数 $K_{30}/(\text{MPa}/\text{m})$	≥ 130	≥ 150	每层沿纵向 100m 范围内检查 3 点,距路基边 2m 处左右各 1 点,中间 2 点
	岩块抗压强度/MPa	≥ 5	≥ 5	每 10000m ³ 石料或岩性明显变化时抽取 1 组岩块抗压强度试件(每一料场不少于 2 组)

注：岩块抗压强度低于 5MPa 的按普通填料填筑。

表 1-3 抛填片石施工的允许偏差

项 目	地基边线	顶面宽度	顶面高程
允许偏差	-150mm	$\geq$ 设计值	-50mm~+200mm

1.2.3 砂垫层

砂垫层施工前应将基底清理完善并整平且应按设计要求做好基底的碾压及土拱等工作，砂垫层应采用中粗砾砂且不应含有草根、垃圾等有机杂质并要求其含泥量不得大于 5%。当用于排水固结时其含泥量应不大于 3%。这是我国《地基处理手册》等资料对于用作排水固结地基砂垫层的砂的基本规定。砂垫层应采用分层压实法施工，分层厚度、压实遍数及含水率应根据现场试验确定。分层压实法施工过程比较困难，根据实际施工经验，只要砂子质量和填筑厚度符合设计要求，砂垫层质量就能满足设计要求。砂垫层密实度应达到中密以上且应符合设计要求（所谓砂垫层达到“中密”应根据《铁路工程岩土分类标准》(TB 10077) 中的规定执行，即相对密度 $D_r=0.4\sim 0.67$ 、标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 为 15~30)，砂垫层填筑或填筑完后应及时完成两侧干砌片石护坡的施工工作并应同时做好反滤层，砂垫层的厚度及宽度不得小于设计规定，反滤层设置应符合设计要求，施工允许偏差应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 砂垫层（反滤层）施工的允许偏差

项目	顶面高程	中线至边缘距离	宽度	横坡	平整度
允许偏差	$\pm 50\text{mm}$	$\pm 50\text{mm}$	$\geq$ 设计值	$\pm 0.5\%$	$\leq 15\text{mm}$

1.2.4 碎石垫层

碎石垫层施工前应将基底清理完善并整平且应按设计要求做好基底碾压及土拱等工作，碎石垫层应采用级配良好且未风化的砾石或碎石（其最大粒径不得大于 50mm，含泥量不大于 5%，且应不含草根、垃圾等有机杂质），碎石垫层应采用分层填筑压实施工（分层厚度、压实遍数应通过现场试验确定），碎石垫层压实质量应根据路堤所处部位分别符合表 1-5 和表 1-6 的规定及设计要求，在碎石垫层填筑或填筑完后应及时完成两侧干砌片石护坡的施工并应同时做好反滤层，碎石垫层的厚度及宽度应不小于设计规定，反滤层设置应符合设计要求，施工允许偏差应符合表 1-4 的规定。

表 1-5 基床以下路堤填筑压实质量控制标准

填料	压实标准	细粒土	粗粒土	碎石土	检测频次和取样部位
A、B、C(不含细粒土、粉砂及易风化软质岩)组填料及改良土	地基系数 $K_{30}/(\text{MPa}/\text{m})$	≥ 90	≥ 110	≥ 130	每填高约 0.9m,100m 范围内检测 4 点,距路基边 2m 处左右各 1 点,中间 2 点
	压实系数 K	≥ 0.90	—	—	每层沿纵向每 100m 检测 6 点,距路基边 1m 处左右各 2 点,中间 2 点
	孔隙率 n	—	$< 31\%$	$< 31\%$	每层沿纵向每 100m 检测 6 点,距路基边 1m 处左右各 2 点,中间 2 点

表 1-6 基床底层压实质量控制标准

填料	压实标准	细粒土	粗粒土	碎石土	检测频次和取样部位
A、B 组填料及改良土	地基系数 $K_{30}/(\text{MPa}/\text{m})$	≥ 110	≥ 130	≥ 150	每填高约 0.9m,100m 范围内检测 4 点,距路基边 2m 处左右各 1 点,中间 2 点
	压实系数 K	≥ 0.95	—	—	每层沿纵向每 100m 检测 6 点,距路基边 1m 处左右各 2 点,中间 2 点
	孔隙率 n	—	$< 28\%$	$< 28\%$	每层沿纵向每 100m 检测 6 点,距路基边 1m 处左右各 2 点,中间 2 点

1.2.5 袋装砂井

袋装砂井施工准备应满足以下 4 方面基本要求。

① 砂袋可采用聚丙烯、聚乙烯、聚酯等长链聚合物编织，其技术指标应符合设计要求。袋装材料普遍采用聚丙烯编织时，其材料特点是具有足够的抗拉强度、耐腐蚀、便于制作、对人体无害、价格低廉但抗老化性能差。当其技术指标无设计要求时可参考以下指标，即质量不小于 $95\text{g}/\text{m}^2$ ，条带抗拉强度大于 $750\text{N}/5\text{cm}$ ，条带延伸率不大于 25%，渗透系数大于 $5 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$ ，等效孔径 O_{95} 采用 $0.05 \sim 0.2\text{mm}$ ，砂子应保持干燥而不宜采用潮湿填料，以免袋内填料干燥后体积减少，造成缩井。砂料应采用风干的中、粗砂，应不含草根、垃圾等有机杂质且含泥量应不大于 3%。

② 应清理好场地并排除积水且应将路基范围内原地面上淤泥、树根、草皮、腐殖土等全部挖除。

③ 在路基范围内应按设计要求填筑土拱并碾压密实（其上应按设计要求铺设砂垫层）。

④ 按设计测设桩位。

袋装砂井施工应遵守以下 6 方面规定：

① 机具应按放样的桩位准确就位；

② 应经常检查桩尖与套管口的封闭情况；

③ 应用振动法或静压法将套管压入至设计深度，导向架的铅直度应用经纬仪进行观测控制；

④ 下砂袋时应将整个砂袋吊起后从端部放入套管口并徐徐下放至设计深度，当袋装砂井长度超过桩架高度时，下砂袋过程中将无法把整个砂袋吊起，此时可以人工装入并在套管口装设滚轮；

⑤ 拔管时应启动激振器并连续缓慢提升套管直至拔离地面；

⑥ 露出地面的砂袋应埋入砂垫层中，埋入长度应大于 0.3m 或符合设计要求。

袋装砂井施工控制应遵守以下 7 条规定：

① 应按规定做好砂的质量检测工作（抽查砂袋的物理力学性质和缝制尺寸）；

② 袋装砂井孔口带出的泥土应清除并用砂子回填密实；

③ 施工所用钢套管的内径宜略大于砂井直径，以减少施工过程中对地基土的扰动；

④ 应在套管上划出控制标高的刻划线以保证砂井打入长度符合设计要求，砂袋放至井底高程后应检查留在井外的长度是否与理论值相符，当拔套管将砂袋带出长度大于 0.5m 时应重新补打；

⑤ 要防止砂袋扭结、缩颈、断裂和磨损，砂袋灌制要饱满密实，灌砂量应符合理论计算值，袋口应扎紧；

⑥ 砂袋进场后应妥善存放，禁止长时间在阳光下暴晒；

⑦ 袋装砂井的施工允许偏差应符合表 1-7 的规定。

表 1-7 袋装砂井施工的允许偏差

项目	井位 (纵横向)	井距	井深	井径	井身 铅直度	砂袋 直径	砂袋 灌砂率	砂袋埋入 砂垫层长度
允许偏差	50mm	±100mm	符合设计要求	-0~+10mm	1.5%	±5mm	≥95%	0~+100mm

砂袋灌砂率的计算公式为

$$\gamma = \frac{m_{sd}}{0.78d^2 L \rho_d} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中， m_{sd} 为实际灌入砂的干质量，kg； d 为砂袋直径，m； L 为砂袋长度，m； ρ_d 为中密砂的干密度，kg/m³。

由于砂袋制作过程中直径的精确度不高，因此灌砂率计算出入较大，故在实际施工中应精细操作。

1.2.6 塑料排水板

塑料排水板施工应首先做好准备工作，施工准备应符合以下 4 条要求：

① 塑料排水板技术指标应符合设计要求，滤膜应紧裹芯板而不松皱；

② 认真清理场地并排除积水且将路基范围内原地面上淤泥、树根、草皮、腐殖土等全部挖除；

③ 在路基范围内应按设计要求填筑土拱并碾压密实（其上应按设计铺设砂垫层）；

④ 应按设计测设好塑料排水板的位置。

塑料排水板施工应遵守以下 4 条规定：

① 机具应按测设桩位定位；

② 塑料排水板应经导管内穿出底部并应与桩尖连接、拉紧且应与管靴口贴紧并对准桩位；

③ 沉入导管应至设计深度；

④ 拔出导管应切断塑料排水板。

应严格做好塑料排水板的施工控制工作，排水板与桩尖的连接应牢固，桩尖平端与导管靴配合要适当（避免错缝）；打设后外露的排水板不得遭受污染并应及时清除排水板周围带出的泥土且用砂子回填密实；安装及打设过程中塑料排水板不得被扭曲、透水膜不得被撕破和污染并应防止泥土等杂物进入排水板滤膜内；塑料排水盘带进场后应妥善存放（禁止长时间在阳光下暴晒）；塑料排水板不得接长使用；塑料排水板顶部伸入砂垫层的长度应大于 0.3m（或符合设计要求），当拔导管过程中将塑料排水板带出长度大于 0.5m 时应补打；应详细记录整个施工过程，塑料排水板施工允许偏差应符合表 1-8 的规定。塑料排水板滤膜在转盘和打设过程中应避免损坏，应防止淤泥进入芯板而堵塞输入孔从而影响排水效果，排水板与桩尖连接要牢固并应避免提管时脱开而将排水板拔出。塑料排水板的选用应根据芯板材料、滤膜质量、排水的结构等因素综合考虑，当设计无要求时其技术指标可参考表 1-9。