

工作的开始系列

工作的开始

——高速铁路施工新技术

李向国 黄守刚 张鑫 等编著

START



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工作的开始系列

工作的开始 ——高速铁路施工新技术

李向国 黄守刚 张 鑫 等编著



机械工业出版社

高速铁路不同于普通铁路,其运营速度快、建设标准高、施工难度大、施工工艺新。本书立足于我国高速铁路建设实际情况,突出高速铁路与普通铁路在施工上的异同点和创新点;在传承普通铁路施工技术的基础上,着重阐述高速铁路施工的新技术、新工艺、新设备、新材料。

本书可供有关工程技术人员及管理人员参考,也可作为高等学校土木交通类专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路施工新技术/李向国等编著. —北京:机械工业出版社, 2010.5

(工作的开始系列)

ISBN 978-7-111-30306-0

I. ①高… II. ①李… III. ①高速铁路-铁路工程-工程施工 IV. ①U238

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第060126号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:薛俊高 责任编辑:范秋涛

版式设计:霍永明 责任校对:程俊巧

封面设计:马精明 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年5月第1版·第1次印刷

184mm×240mm·18.25印张·402千字

标准书号:ISBN 978-7-111-30306-0

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

《中长期铁路网规划》确立了我国铁路宏伟的建设蓝图：到2020年，全国铁路营业里程达到12万km以上，复线率和电化率分别达到50%和60%以上，主要繁忙干线实现客货分线，基本形成布局合理、结构清晰、功能完善、衔接顺畅的铁路网络，运输能力满足国民经济和社会发展需要，主要技术装备达到或接近国际先进水平。为满足快速增长的旅客运输需求，建立省会城市及大中城市间的快速客运通道，规划了“四纵四横”等客运专线以及经济发达和人口稠密地区城际客运系统，建设客运专线1.6万km以上。届时将形成我国铁路快速客运网，为广大旅客提供更加安全、快捷、舒适的服务。中国铁路客运面貌将为之一新，高速化、快速化势不可挡。

本书从理论联系实际出发，对高速铁路施工新技术由浅入深地进行了系统阐述。全书共分6章：第1章绪论；第2章高速铁路路基施工新技术；第3章高速铁路桥梁施工新技术；第4章高速铁路隧道施工新技术；第5章高速铁路轨道施工新技术；第6章高速铁路测量新技术。

高速铁路不同于普通铁路，其运营速度快、建设标准高、施工难度大、施工工艺新。本书立足于我国高速铁路建设实际情况，突出高速铁路与普通铁路在施工上的异同点和创新点；在传承普通铁路施工技术的基础上，着重阐述高速铁路施工的新技术、新工艺、新设备、新材料。

本书第1章、第5章由石家庄铁道大学李向国撰写；第2章、第3章第5~8节、第4章由石家庄铁道大学黄守刚撰写；第3章第1节、第3节由中铁二十五局集团公司朱扬琼撰写；第3章第2节、第4节由中铁二十五局集团公司孙学猛撰写；第6章由武汉鑫旗舰测绘技术有限公司张鑫撰写。全书由李向国、黄守刚、张鑫统稿。此外，中交第二公路工程局江波、全国印，中铁二十局集团公司梁月胜、宋凤报、康利伟、张维，中铁二十一局集团公司张发祥、张根造，西安铁一院工程咨询监理有限责任公司朱福典提供了大量的施工现场资料，并参与了该书的讨论和部分章节的撰写工作，石家庄铁道大学杨庆花、梁素平参加了本书的文字整理和校对工作。同时本书出版得到了石家庄铁道大学学术著作出版基金的资助。

本书在撰写过程中，参考了大量的国内外文献和资料。由于参考的文献和资料较多，只能就其中主要的文献列于书后。在此谨向所有文献和资料的作者表示衷心的感谢和敬意。

本书所涉及的内容多为高新技术，各方面的技术都处在不断变化之中，同时限于时间和作者的水平，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第1章 绪论 1

- 1.1 高速铁路发展动态 1
 - 1.1.1 高速铁路的概念 1
 - 1.1.2 列车速度的演变 1
 - 1.1.3 高速铁路的主要技术特征 2
 - 1.1.4 中长期铁路网规划 4
- 1.2 高速铁路线路 5
 - 1.2.1 线路平面 5
 - 1.2.2 线路纵断面 8
- 1.3 高速铁路工程结构设计要点 11
 - 1.3.1 高速铁路路基 11
 - 1.3.2 高速铁路桥梁 20
 - 1.3.3 高速铁路隧道 27
 - 1.3.4 高速铁路轨道 31
- 1.4 高速铁路施工组织与管理 40
 - 1.4.1 高速铁路工程施工组织特点 40
 - 1.4.2 施工组织设计的编制 41
 - 1.4.3 高速铁路工程施工进度指标 42
 - 1.4.4 高速铁路工程质量管理要点 45

第2章 高速铁路路基施工新技术 46

- 2.1 高速铁路路基的特点 46
- 2.2 软土地基加固与处理技术 48
 - 2.2.1 排水固结法施工技术 48
 - 2.2.2 置换法双层地基或复合地基 51
 - 2.2.3 刚性桩基础 55
 - 2.2.4 深层密实法 59
 - 2.2.5 其他方法 60
 - 2.2.6 软土地基加固与处理注意事项 61
- 2.3 路基施工技术 62
 - 2.3.1 原地面处理 62
 - 2.3.2 路堤施工技术 62
- 2.4 路桥过渡段施工与控制技术 67

- 2.4.1 工艺流程及工艺要点 67

- 2.4.2 施工质量控制 68

第3章 高速铁路桥梁施工新技术 69

- 3.1 概述 69
 - 3.1.1 桥梁施工方法分类 69
 - 3.1.2 主要施工机械设备的选择 69
- 3.2 高速铁路桥梁结构形式 70
 - 3.2.1 常用跨度桥梁 70
 - 3.2.2 结合梁桥 71
 - 3.2.3 大跨度桥梁 72
- 3.3 桥位制梁与架设 74
 - 3.3.1 膺架浇筑 74
 - 3.3.2 悬臂施工 75
 - 3.3.3 连续法顶推 78
 - 3.3.4 先简支后连续箱梁 80
 - 3.3.5 移动模架造桥机制梁 82
 - 3.3.6 移动支架造桥机制架梁 88
- 3.4 箱梁集中预制与架设 90
 - 3.4.1 概述 90
 - 3.4.2 梁场建设 90
 - 3.4.3 后张法简支箱梁预制 91
 - 3.4.4 先张法预应力混凝土筒支箱梁预制 104
 - 3.4.5 箱梁徐变上拱、梁端转角控制关键新技术 106
 - 3.4.6 箱梁运输与架设 109
- 3.5 T梁预制及架设 112
 - 3.5.1 T梁预制 112
 - 3.5.2 T梁架设安装和横向连接 114
- 3.6 结合梁桥施工 115
- 3.7 墩台沉降控制 117
 - 3.7.1 扩大基础施工控制措施 117
 - 3.7.2 桩基础施工控制措施 117

3.7.3 墩台沉降监测	119	5.2.6 CRTS II 型双块式无砟轨道 道床施工	213
3.8 高速铁路桥梁箱梁运架施工案例	119	5.2.7 无砟轨道长钢轨铺设施工	217
第4章 高速铁路隧道施工新技术	131	5.2.8 无砟轨道精细调整施工	219
4.1 高速铁路大断面隧道施工方法	131	5.3 高速道岔施工技术	220
4.1.1 钻爆法	131	5.3.1 国外高速铁路道岔 铺设方法	220
4.1.2 机械开挖法	148	5.3.2 国内高速铁路有砟道岔 铺设方法	223
4.1.3 爆破与机械开挖相结合的 施工方法	153	5.3.3 国内高速铁路无砟道岔 铺设方法	228
4.1.4 高速铁路大断面隧道施工 方法的选择	155	第6章 高速铁路测量新技术	235
4.1.5 高速铁路隧道施工技术 发展趋势	156	6.1 高速铁路测量技术特点	235
4.2 高速铁路隧道施工综合超前 地质预报技术	158	6.1.1 高速铁路测量的特点	235
4.2.1 常规地质法	158	6.1.2 高速铁路精密工程测量的 技术文件	235
4.2.2 物探方法	159	6.1.3 平面坐标系统和高程系统	236
4.3 高速铁路隧道施工案例简介	162	6.2 “三网合一”的内容及工作流程	236
4.3.1 工程概况	163	6.3 平面与高程控制测量	239
4.3.2 工程特征分析	163	6.3.1 平面控制测量	239
4.3.3 出口浅埋地段设计概况	163	6.3.2 高程控制测量	241
4.3.4 CRD 法施工工序及施工 方法	163	6.4 线下工程测量	247
4.3.5 黄土隧道 CRD 法施工原则 的具体运用	165	6.4.1 线下工程施工测量	247
第5章 高速铁路轨道施工新技术	168	6.4.2 线下工程竣工测量	250
5.1 有砟轨道施工技术	168	6.5 无砟轨道铺设阶段测量流程	251
5.1.1 长钢轨铺设方法	169	6.6 CPⅢ控制网布设与测量	253
5.1.2 施工工艺及作业要点	176	6.6.1 CPⅢ控制网布设	253
5.2 无砟轨道施工技术	188	6.6.2 CPⅢ平面控制网测量	258
5.2.1 CPⅢ轨道控制网测设	188	6.6.3 CPⅢ高程控制网测量	261
5.2.2 CRTS I 型板式无砟轨道 道床施工	188	6.6.4 CPIII 控制网的维护与 资料上交	263
5.2.3 CRTS II 型板式无砟轨道 道床施工	195	6.7 无砟轨道安装测量	264
5.2.4 CRTS III 型板式无砟轨道 道床施工	205	6.7.1 CRTS I 型板式无砟轨道	264
5.2.5 CRTS I 型双块式无砟轨道 道床施工	207	6.7.2 CRTS II 型板式无砟轨道	265
		6.7.3 CRTS III 型板式无砟轨道	266
		6.7.4 CRTS I 型双块式无砟轨道	267
		6.7.5 CRTS II 型双块式无砟轨道	268
		6.7.6 无砟轨道道岔	269

6.8 高速客运专线测量案例	6.8.2 数据采集	271	
简介	6.8.3 内业计算	271	274
6.8.1 工程概况	参考文献	271	282

第 1 章 绪 论

1.1 高速铁路发展动态

1.1.1 高速铁路的概念

20 世纪 60 年代以来,高速铁路在世界发达国家崛起,铁路发展进入了一个崭新的阶段。高速铁路的蓬勃兴起,在世界范围内引发了一场深刻的交通发展变革。

根据所采用的技术不同,高速铁路分为轮轨技术类型和磁悬浮技术类型。轮轨技术有非摆式车体和摆式车体两种;磁悬浮技术有超导排斥型和常导吸引型两种。非摆式车体的轮轨技术是目前世界高速铁路的主流。

高速铁路运行速度是一项重要的技术指标,也是铁路现代化水平的重要体现。高速铁路是一个具有国际性和时代性的概念。20 世纪 70 年代,日本把列车在主要区间能以 200km/h 以上速度运行的干线铁道称为高速铁路。随着高速铁路技术的发展,欧洲铁路联盟于 1996 年 9 月发布的互通运营指导文件(96/0048/EC)对高速铁路有了更确切的规定:新建铁路运营速度达到或超过 250km/h;既有线通过改造使基础设施适应速度 200km/h;线路能够适应高速,在某些地形困难、山区或城市环境下,速度可以根据实际情况进行调整。

我国把高速铁路界定为“新建铁路旅客列车设计最高行车速度达到 250km/h 及以上的铁路”。应当指出的是,高速铁路不一定是客运专线,客运专线也不一定是高速铁路,就目前而言我国正在大量修建的客运专线铁路属于高速铁路的范畴,本书不再严格区分高速铁路和客运专线铁路。

1.1.2 列车速度的演变

自有铁路以来,人们就在不断致力于提高列车的运行速度。1825 年出现在英国的第一条铁路,其列车最高运行速度只有 24km/h,1829 年“火箭号”蒸汽机车牵引的列车最高运行速度就达到了 47km/h,几乎提高了 1 倍。19 世纪 40 年代,英国试验速度达到 120km/h,1890 年法国将试验速度提高到 144km/h,1903 年德国制造的电动车组试验速度达到了 209.3km/h。这时期英国西海岸铁路用蒸汽机车牵引的列车旅行速度达到了 101km/h。1955 年法国电力机车牵引的试验车组最高运行速度突破了 300km/h,达到了 311km/h。1964 年 10 月日本东海道新干线最高运行速度达到了 210km/h,旅行速度也达到了 160km/h。此后列车试验速度不断刷新:1981 年 2 月法国 TGV 试验速度达到 380km/h,1988 年 5 月德国

ICE 把这一速度提高到 406.9km/h, 半年后法国人创造了 482.4km/h 的新纪录, 1990 年 5 月 18 日法国 TGV-A 型高速列车把试验速度提高到 515.3km/h, 2007 年 4 月 3 日法国再次刷新了自己的纪录, TGV 最新型“V150”超高速列车行驶试验速度达到 574.8km/h, 创下了有轨铁路列车行驶的世界纪录。

近年来, 随着国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高, 我国也开始重视提高旅客列车的速度。2002 年秦沈客运专线铁路最高试验速度达到了 321.5km/h, 2008 年京津城际铁路最高试验速度达到了 394.3km/h, 2009 年 12 月武广铁路客运专线列车跑出 394.2km/h, 创造了两车重联情况下的世界高速铁路最高运营速度。图 1-1 所示为在京津城际铁路上运行的时速 350km “和谐”号动车组。

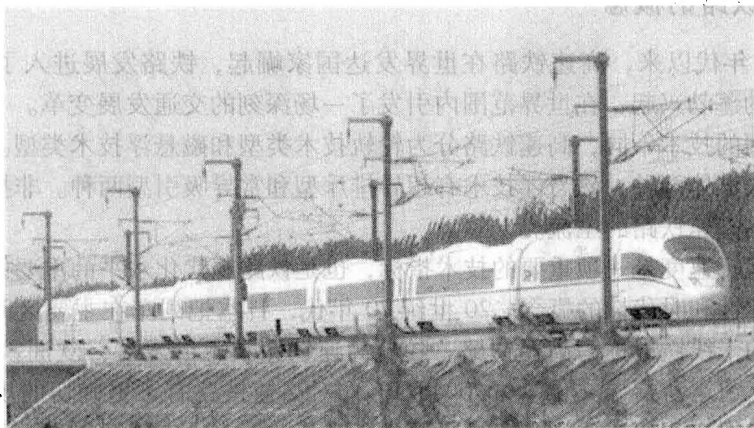


图 1-1 时速 350km “和谐”号动车组

1.1.3 高速铁路的主要技术特征

在轮轨接触的铁路技术中, 随着速度的提高, 对基础设施和移动的车辆都提出了新的要求, 主要可以归结为两个方面, 一方面当速度超过 250km/h 以后, 空气动力特性发生显著变化, 因此对车辆结构和铁路基础设施提出新的要求; 另一方面由于高速运行的列车需具备持久稳定、高平顺性及安全舒适的运行条件, 因此对轨下基础提出新的要求。

列车高速运行时, 行车阻力、振动和机械动力噪声有所增加, 列车与空气摩擦噪声的指标亦有所提高。对列车的结构, 需要修改头型及外轮廓设计, 改善空气流向, 优化弓网关系及受电弓的位置, 增加减振措施等。

试验证明, 高速铁路对车辆的密封性能有很高的要求 (包括对车辆空调、门、窗、排污设施等方面的要求), 以满足高速运行的空气动力学特性。此外, 还要求具有高性能的制动系统和较高的乘坐舒适度。

高速行驶的列车在会车时所产生的空气压力波明显高于既有线, 因此, 高速铁路在进行

线路规划时,要适当加大线间距(包括站台安全距离)。通过隧道时,洞口空气阻力与高速列车在瞬间产生的压力形成巨大的微气压波,对行车安全、乘坐舒适度以及环境都产生了明显的影响。因此,要适当加大隧道断面积,改善洞口及辅助结构的设置等。

高速运行出现的高频振动,要求结构物除了满足静态荷载的条件,还必须满足高速列车动力特性要求。概括地讲,除了保证“强度”这一基本要求(即使用期不致破坏)以外,更要严格控制其“变形”。因此,保持轨道持续稳定的高平顺性,是对高速铁路工程提出的最基本的功能性要求。轨道的高平顺性又是路基、桥梁、隧道、轨道变形的最终表现,要求轨道高平顺性,必须从控制上述工程变形着手。

高速铁路特殊结构设计应进行车、线、桥(或路基、隧道)耦合动力响应符合行车安全性和乘坐舒适度要求。高速铁路路基、桥涵及隧道等主体结构设计使用年限为100年,无砟轨道主体结构设计使用年限不小于60年。我国高速铁路限界轮廓及基本尺寸如图1-2所示,曲线地段限界加宽根据计算确定。我国高速铁路列车设计荷载采用ZK活载,ZK活载为列车竖向静活载,ZK标准活载如图1-3所示,ZK特种活载如图1-4所示。

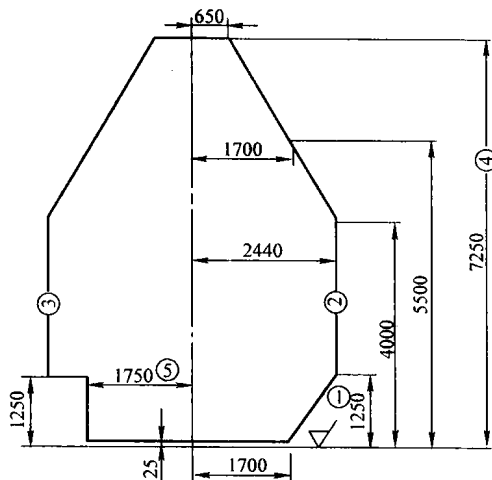


图 1-2 高速铁路限界轮廓及基本尺寸(单位: mm)

- ①—轨面 ②—区间及站内正线(无站台)建筑限界
- ③—有站台时建筑限界 ④—轨面以上最大高度
- ⑤—线路中心线至站台边缘的距离(正线不适用)

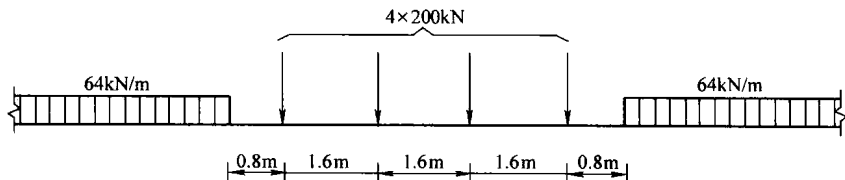


图 1-3 ZK 标准活载

此外,由于高速行车的特殊情况,高速铁路需要配置风、雨、雪、地震等自然灾害告警系统,监测信息经过通信网与调度中心直接相连,以保证高速行车的安全。沿高速线设置的跨线桥需安装坠落物告警装置。高速铁路必须全封闭、全立交,不设平交道口。由于高速行驶中列车与空气摩擦产生了大量噪声,因此,高速铁路途经人口

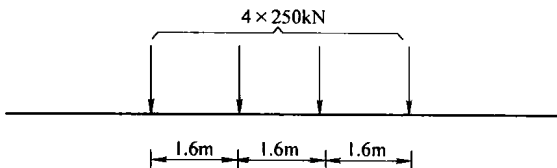


图 1-4 ZK 特种活载



密集的地区时,沿线需采取降低噪声的措施,安装隔声墙。

总而言之,采用轮轨技术的高速铁路具有以下四个方面的主要技术特征:

- (1) 轮轨方面 持久高平顺性的轨道,轻量化、高走行稳定性的列车。
- (2) 弓网方面 大张力的接触网,高性能的受电弓。
- (3) 空气动力方面 流线形、密封的列车,较大的线间距和隧道断面。
- (4) 牵引与制动方面 大功率的交-直-交列车和大容量的牵引供电设施,大能力的盘形、再生、涡流列车制动系统和车载信号为主的列控模式。

应当指出,快速(高速度、高密度)、舒适(高平顺性、高稳定性、高环保性)、安全(高可靠性、高耐久性)是高速铁路的三大要素,三者缺一不可。高速是当代铁路运输的必然选择。

1.1.4 中长期铁路网规划

按照我国中长期铁路网规划(2008年调整),为适应全面建设小康社会的目标要求,铁路网要扩大规模,完善结构,提高质量,快速扩充运输能力,迅速提高装备水平。到2020年,全国铁路营业里程达到12万km以上,复线率和电化率分别达到50%和60%以上,主要繁忙干线实现客货分线,基本形成布局合理、结构清晰、功能完善、衔接顺畅的铁路网络,运输能力满足国民经济和社会发展需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平。为满足快速增长的旅客运输需求,建立省会城市及大中城市间的快速客运通道,规划了“四纵四横”等客运专线以及经济发达和人口稠密地区城际客运系统,建设客运专线1.6万km以上,包括:

1. “四纵”客运专线

- 1) 北京~上海客运专线,包括蚌埠~合肥、南京~杭州客运专线,贯通京津至长江三角洲东部沿海经济发达地区。
- 2) 北京~武汉~广州~深圳客运专线,连接华北和华南地区。
- 3) 北京~沈阳~哈尔滨(大连)客运专线,包括锦州~营口客运专线,连接东北和关内地区。
- 4) 上海~杭州~宁波~福州~深圳客运专线,连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。

2. “四横”客运专线

- 1) 徐州~郑州~兰州客运专线,连接西北和华东地区。
- 2) 杭州~南昌~长沙~贵阳~昆明客运专线,连接西南、华中和华东地区。
- 3) 青岛~石家庄~太原客运专线,连接华北和华东地区。
- 4) 南京~武汉~重庆~成都客运专线,连接西南和华东地区。

同时,建设南昌~九江、柳州~南宁、绵阳~成都~乐山、哈尔滨~齐齐哈尔、哈尔滨~牡丹江、长春~吉林、沈阳~丹东等客运专线,扩大客运专线的覆盖面。

3. 城际客运系统

在环渤海、长江三角洲、珠江三角洲、长株潭、成渝以及中原城市群、武汉城市圈、关中城镇群、海峡西岸城镇群等经济发达和人口稠密地区建设城际客运系统，覆盖区域内主要城镇。

随着时间的推移，我国客运专线铁路规模还会不断扩大。高速客运专线铁路工程建设具有线路里程长、建设周期短、桥梁所占比例高、地域气候条件复杂（区域性沉降，气候条件差异大）、地质条件复杂（软土、膨胀性黏土、湿陷性黄土等）、采用 ZPW2000 高频谐振式无绝缘轨道电路等特点，要建设世界一流的高速客运专线，在这么短的时间内建设这么多的高速客运专线，任务十分繁重，国内无现成经验可借鉴，只有加快原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新，才能完成如此浩大的工程。

1.2 高速铁路线路

高速列车首先要满足安全与舒适的要求。影响列车安全和舒适的因素很多，虽然机车车辆性能及运营方式起着很大的作用，但高速铁路的线路参数也是重要的影响因素，在设计高速铁路时必须予以重视。

在高速条件下，列车各种振动的衰减距离延长，从而各种振动叠加的可能性提高，相应旅客乘坐舒适度在高速条件下更为敏感，所以，要求线路的技术标准也相应提高。在高速铁路的线路平、纵断面设计中应重视线路的平顺性，采用较大的线路平面曲线半径、较长的纵断面坡段长度和较大的竖曲线半径，以提高旅客乘坐舒适度。以下主要结合《高速铁路设计规范（试行）》（TB 10621—2009）对相关内容进行扼要介绍，各种线路设计参数随着工程实践的不断深入会有所变化。

1.2.1 线路平面

1. 平面曲线半径

高速铁路正线的线路平面曲线半径应因地制宜，合理选用。与设计行车速度匹配的平面曲线半径见表 1-1。位于车站两端减加速地段，可采用与设计速度和速差相适应的平面曲线半径，同时要求正线不应设计复曲线，区间正线宜按线间距不变的并行双线设计，并宜设计为同心圆。

2. 线间距

线间距是指相邻两股道（区间正线地段实际为上、下行线）线路中心线之间的最短距离。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振碎车窗玻璃，使旅客感到不适，甚至影响列车运行的稳定性，所以高速线路的线间距较普通铁路有所增大。



表 1-1 平面曲线半径表

(单位: m)

设计行车速度/(km/h)	350/250	300/200	250/200	250/160
有砟轨道	推荐 8000 ~ 10000; 一般最小 7000; 个别最小 6000	推荐 6000 ~ 8000; 一般最小 5000; 个别最小 4500	推荐 4500 ~ 7000; 一般最小 3500; 个别最小 3000	推荐 4500 ~ 7000; 一般最小 4000; 个别最小 3500
无砟轨道	推荐 8000 ~ 10000; 一般最小 7000; 个别最小 5500	推荐 6000 ~ 8000; 一般最小 5000; 个别最小 4000	推荐 4500 ~ 7000; 一般最小 3200; 个别最小 2800	推荐 4500 ~ 7000; 一般最小 4000; 个别最小 3500
最大半径	12000	12000	12000	12000

注: 个别最小半径值需进行技术经济比选, 报铁道部批准后方可采用。

根据国内外的研究成果, 我国高速铁路区间及站内正线线间距按表 1-2 选用, 曲线地段可不加宽。位于车站两端减加速地段, 可采用与设计速度相适应的线间距。正线与联络线、动车组走行线并行地段的线间距, 应根据相邻一侧正线的行车速度及其技术要求和相邻线的路基高程关系, 考虑站后设备、路基排水设备、声屏障、桥涵等建筑物以及保障技术作业人员安全的作业通道等有关技术条件综合研究确定, 最小不应小于 5.0m。正线与既有铁路或客货共线铁路并行地段线间距不应小于 5.3m。当两线不等高或线间设置其他设备时, 最小线间距应根据有关技术条件要求计算确定。隧道双洞地段两线间距应根据地质条件、隧道结构与防灾与救援要求, 综合分析研究确定。

表 1-2 区间及站内正线线间距

设计行车速度/(km/h)	350	300	250
最小线间距/m	5.0	4.8	4.6

3. 缓和曲线

为使列车安全、平稳、舒适地由直线过渡到圆曲线或由圆曲线过渡到直线, 在直线与圆曲线间必须设置一定长度的缓和曲线。缓和曲线是在直线与圆曲线之间的一段变曲率、变超高线段, 其作用是在缓和曲线范围内完成曲率半径由直线上的无限大逐渐变化到圆曲线的曲率半径, 曲线外股钢轨高度从直线上左右股钢轨水平一致逐渐变化到圆曲线时达到外轨超高值。在高速行车条件下, 旅客对乘坐舒适度比较敏感, 因而对缓和曲线的设置要求也更为严格。

缓和曲线线形很多, 从研究和实测结果表明, 只要缓和曲线长度达到一定要求, 各种线形均能保证高速行车安全和旅客舒适度要求。考虑到三次抛物线线形简单, 设计方便, 平立面有效长度长、现场运用、养护经验丰富等特点, 我国高速铁路仍以三次抛物线形缓和曲线为首选线形。

(续)

设计行车速度 /(km/h) 曲线半径/m	350			300			250		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
6000	670	590	540	450	410	370	280	250	230
	680 *	610 *	550 *						
5500	670	590	540	490	440	390	310	280	250
	680 *	610 *	550 *						
5000	—	—	—	540	480	430	340	300	270
4500	—	—	—	570	510	460	380	340	310
				585 *	520 *	470 *			
4000	—	—	—	570	510	460	480	430	380
				585 *	520 *	470 *			
3500	—	—	—	—	—	—	480	430	380
3200	—	—	—	—	—	—	480	430	380
3000	—	—	—	—	—	—	480	430	380
							490 *	440 *	400 *
2800	—	—	—	—	—	—	480	430	380
							490 *	440 *	400 *

注：1. 表中(1)栏为舒适度优秀条件值，(2)栏为舒适度良好条件值，(3)栏为舒适度一般条件值。

2. *号标志表示为曲线设计超高175mm时的取值。

表 1-4 夹直线、圆曲线或缓和曲线与道岔间的直线段最小长度

设计行车速度/(km/h)	350	300	250
夹直线或圆曲线最小长度/m	280(210)	240(180)	200(150)
缓和曲线与道岔间的直线段最小长度/m	210(170)	180(150)	150(120)

5. 其他

连续梁、钢梁及较大跨度的桥梁宜设在直线上；困难条件下，经技术经济比选，也可设在曲线上。隧道宜设在直线上；因地形、地质等条件限制可设在曲线上，但不宜设在反向曲线上。站坪长度应根据远期车站布置要求确定；车站应设在直线上。钢轨伸缩调节器不应设在曲线上。

1.2.2 线路纵断面

1. 最大坡度

在一定自然条件下，线路的最大坡度与设计线的输送能力、牵引质量、工程数量和运营

质量有着密切的关系,有时甚至影响线路走向。客货共线的铁路,线路最大坡度是由货物列车运行要求所决定。高速列车采用大功率、轻型动车组,牵引和制动性能优良,能适应大坡度运行。但各国高速铁路由于采用的运输组织模式和线路条件各不相同,采用的线路最大坡度也不大一样。我国高速铁路设计规范规定区间正线的最大坡度,不宜大于20‰,困难条件下,经技术经济比较,不应大于30‰。动车组走行线的最大坡度不应大于35‰。

2. 最小坡段长度

两个坡段的连接点,即坡度变化点,称为变坡点。一个坡段两端变坡点间的水平距离称为坡段长度。从列车运行的平稳性要求出发,纵断面坡段长度宜设计为较长的坡段;但从节省工程投资的角度分析,较短的坡段能够较好地适应地形,减少工程数量,降低工程投资。因此,最小坡段长度的确定,既要满足列车运行的平稳性要求,又要尽可能地节约工程投资,使两者取得最佳的统一。我国高速铁路设计规范规定正线宜设计为较长的坡段,最小坡段长度应符合表1-5的规定。一般条件下的最小坡段长度不宜连续采用。困难条件的最小坡段长度不得连续采用。

表 1-5 最小坡段长度

设计行车速度/(km/h)	350	300	250
一般条件/m	2000	1200	1200
困难条件/m	900	900	900

3. 坡段连接

(1) 相邻坡段的坡度差 相邻坡段的坡度差允许的最大值,主要由保证运行列车不断钩这一安全条件确定,客货共线的铁路相邻坡段的坡度差主要受货物列车制约。由于旅客列车质量远低于货物列车,国内外高速铁路对相邻坡段的坡度差均未做规定。

(2) 竖曲线半径 为保证列车在变坡点的运行安全和乘客的舒适性要求,参照国外有关规范,高速铁路正线相邻坡段的坡度差大于或等于1‰时,应采用圆曲线形竖曲线连接(动车组走行线相邻坡段坡度差大于3‰时设圆曲线形竖曲线,竖曲线半径一般为5000m,困难条件为3000m)。竖曲线半径由旅客舒适性要求控制,即受列车运行于竖曲线产生竖向离心加速度 a_{sh} 限制的最小竖曲线半径为

$$R_{sh} \geq \frac{v_{\max}^2}{3.6^2 [a_{sh}]} \quad (1-2)$$

其中, $[a_{sh}]$ 为乘客舒适度允许的竖向离心加速度,通过国外高速铁路线路竖向离心加速度允许值的分析,认为高速铁路线路的竖向离心加速度允许值取 0.4m/s^2 较为合适(困难条件下为 0.5m/s^2)。据此可导出根据舒适度要求的高速铁路线路最小竖曲线半径,经计算取整后最小竖曲线半径按表1-6选用。同时,由于当竖曲线半径增大到一定程度,养护维修很难达到其设置要求,因此,根据国内外养护维修经验,最大竖曲线半径一般不大于30000m;最小竖曲线长度不得小于25m。

表 1-6 最小竖曲线半径

设计行车速度/(km/h)	350	300	250
最小竖曲线半径/m	25000	25000	20000

(3) 竖曲线与缓和曲线、圆曲线、道岔及钢轨伸缩调节器重叠设置问题 竖曲线与缓和曲线、道岔及钢轨伸缩调节器重叠有如下不利影响：①增加线路测设工作量；②对行车安全和乘坐舒适度的影响；③增加养护维修工作的难度。同时考虑到缓和曲线、道岔及钢轨伸缩调节器长度相对圆曲线较短，避免重叠设置容易处理，我国高速铁路设计规范规定竖曲线与缓和曲线、道岔及钢轨伸缩调节器不得重叠。

竖曲线与平面圆曲线重叠设置，同样增加线路测设工作量，对行车安全和乘坐舒适度产生不利的影响，增加养护维修工作的难度，但由于高速铁路平面圆曲线半径较大，圆曲线长度较长，一般可达 1~2km 以上，为避免竖曲线与圆曲线重叠设置而增加的工程投资巨大，同时此项重叠可通过采取适当措施减轻其不利影响。因此，我国高速铁路设计规范规定竖曲线与平面圆曲线不宜重叠设置，困难条件下竖曲线与圆曲线可重叠设置，但应满足表 1-7 的要求。

表 1-7 竖曲线与平面圆曲线重叠设置的曲线半径最小值

设计行车速度/(km/h)		350	300	250
一般条件/m	有砟轨道	7000	5000	3500
	无砟轨道	6000	4500	3000
最小竖曲线半径/m		25000	25000	20000

4. 其他

正线两线并行时，两线轨面高程宜按等高（曲线地段为内轨面等高）设计。正线与联络线、动车组走行线、既有线并行时，其轨面设计高程应根据路基横断面设计情况综合研究确定。

连续梁、钢梁及较大跨度的桥上纵断面设计应符合桥梁设计的技术要求。

隧道内的坡道可设置为单面坡道或人字坡道，地下水发育的长隧道宜采用人字坡，其坡度不应小于 3‰。路堑地段线路坡度不宜小于 2‰。

跨越排洪河道的特大桥和大中桥的桥头路基、水库和滨河地段、行洪及滞洪区的浸水路堤，其路肩设计高程应按有关设计规范并结合国家防洪标准设计。

站坪宜设在平道上；困难条件下，可设在不大于 1‰的坡道上；特别困难条件下，可设在不大于 2.5‰的坡道上；越行站可设在不大于 6‰的坡道上。到发线有效长度范围内宜采用一个坡度。车站咽喉区的正线坡度宜与站坪坡度一致；困难条件下，可适当加大，但不宜大于 2.5‰；特别困难条件下不应大于 6‰。