



高速铁路工程施工 测量技术研究与应用

席浩 武斌忠 乔世雄 廉杰 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高速铁路工程施工 测量技术研究与应用

席浩 武斌忠 乔世雄 廉杰 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以高速铁路建设中的施工测量技术为立足点,简述了控制测量中“三网合一”的概念和各控制网应用的施工区间;详细介绍了客运专线无砟轨道铁路工程的控制测量、施工测量、GPS测量、工程变形监测技术和CPⅠ、CPⅡ、CPⅢ控制网设计及应用以及客用专线无砟轨道施工工艺及安装测量;详细介绍了8个高速铁路工程测量实例。

本书用具体的工程测量实例,介绍和总结了高速铁路工程测量的各项先进测量技术和高速铁路建设中施工测量的宝贵经验,为今后此类工程建设提供借鉴。适合高速铁路工程测量的工程技术人员参考以及测量领域的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路工程施工测量技术研究与应用 / 席浩等编
著. — 北京:中国水利水电出版社, 2012. 6
ISBN 978-7-5084-9931-4

I. ①高… II. ①席… III. ①高速铁路—铁路工程—
施工测量—测量技术—研究 IV. ①U238②U212. 24

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第143300号

书 名	高速铁路工程施工测量技术研究与应用
作 者	席浩 武斌忠 乔世雄 廉杰 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 10.5印张 249千字
版 次	2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷
印 数	0001—1800册
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

《高速铁路工程施工测量技术研究与应用》

编 委 会

主 编：席 浩

副 主 编：武斌忠 乔世雄 廉 杰

参编人员：李万舒 魏孝成 宋胜登 马超英 杨芳云

李小飞 宁安平 于旭阳 唐维平 胡汉卿

衣 峻 杨 军 位福红 宋雨楠 孔德喜

吴宏杰 殷久龙 王生维 李树刚 姚得玉

马佳明 罗 斌

序



高速铁路技术从诞生之日起就被列为“大国技术”。20世纪60年代以来，这一技术一直由法国、日本和德国所主宰。而今，中国也掌握了该项技术，并且刷新了单线运行里程最长、运行时速最快的世界纪录。中国高速铁路，正以一种前所未有的速度建设和投入运行。

当前，中国高速铁路建设正处在一个快速发展的历史时期，在建或拟建的高速铁路、客运专线项目正如火如荼地进行。中国水利水电第四工程局有限公司作为工程施工企业也投入到这一新技术的施工建设中，截止目前已参加了京沪高速铁路、贵广客运专线、宁杭客运专线等国家大型铁路工程建设，培养了一大批优秀的铁路工程建设者，尤其是高速铁路工程的技术人员，研究和总结了一批施工过程中的技术和宝贵经验。

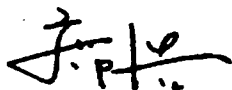
施工测量工作作为高速铁路工程建设中的重要内容，中国水利水电第四工程局有限公司勘测设计研究院的测绘人员在实践中不断认真钻研和总结，取得了不俗的成绩。每一个项目中均多次受到相关单位及专家领导的认可和表扬，并整理出了大量的技术总结，发表了多篇高铁施工测量方面的论文。每一个看似不起眼的数字，每一项细微的技术，都凝聚着技术人员引进、消化、吸收和再创新的艰辛与付出。为使高铁工程施工测量技术能够形成一个系统的技术知识体系，经过系统的研究，现将工作中的测量经验和理论知识结合，编制成本书。本书以高速铁路工程施工为前提，收集了高速铁路勘测、设计、施工、管理的各个阶段的资料，尤其是施工过程中的测量技术和经验，并全面深入地收集和总结了近几年来高速铁路施工测量方面的文献、测量成果与测量的关键技术等，内容丰富、全面，具有很高的指导价值。本书同时征引了中国水利水电第四工程局有限公司参建的京沪高速铁路、贵广客运专线、宁杭客运专线三个大型铁路工程的实例，多视角系统地介绍了测量技术在高速铁路测量中的实际应用，以飨广大读者。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体，全面、系统、深入、

多方位地阐述了高速铁路工程施工测量技术；结构严谨，条理清楚，逻辑性强，既便于读者阅读，又能给读者以完整、清晰的概念；同时也具有很高的实用价值。本书不仅从理论方面分析和总结了高速铁路及客运专线施工测量的技术和经验，更用实例说明了实际操作施工测量中需要掌握的操作要点和应用技巧以及注意事项；本书内容对于研究和学习高速铁路工程施工测量的人员有很强的技术指导性，促进技术人员在施工测量实践中总结，在总结中提高，在提高中发展，对参与高速铁路工程施工测量的技术人员，具有重要的参考价值；而且本书信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通，灵活运用。

相信本书的出版，有益于拓展广大高速铁路测量技术人员的视野，增强“以人为本、强本简末、系统优化、着眼发展”的高速铁路工程施工测量技术的新理念，提高高速铁路工程施工测量技术和管理水平。

中国水利水电第四工程局有限公司总工程师：



2012年3月16日

前言



自 20 世纪 60 年代开始，世界各国铁路相继开展各类无砟轨道的研究。目前，法国新建高速铁路无砟轨道已占铁路总里程的 90% 以上，铺设无砟轨道长度达 800km，日本板式轨道已在新干线上大量铺设，新建铁路无砟轨道已超过铁路总里程的 90%，铺设无砟轨道长度达 2700km。我国自 2005 年 6 月，石太客运专线开工建设，正式拉开了高速铁路客运专线建设的序幕，到 2010 年底，我国新建高速铁路营运里程达 8358km，在建里程 1.7 万 km，“十二五”末全国快速铁路将达到 4.5 万 km 左右，中国铁路交通正进入普及“高速”的时代。

由于列车运行速度快，对线路平顺性要求高，大大提高了对测量控制，施工测量的要求，作为测绘甲级资质单位，中国水利水电第四工程局有限公司勘测设计研究院投入大量的科技人员和专用设备到客运专线铁路工程的建设中。如：京沪（北京至上海）高速铁路，贵广（贵阳至广州）客运专线，宁杭（南京至杭州）客运专线等。技术人员深入研究了有关施工测量技术，对部分技术进行了深入研究和整理并运用到实际工作中，收到了较好的效果，且发表了多篇相关论文。为了更好地做好今后的高速铁路施工测量工作和总结积累经验，钻研相关测量技术，中国水利水电第四工程局有限公司勘测设计研究院组织相关专家整理了相关技术资料，并编写了本书。本书的编写过程中得到了西南大学和京沪高速铁路有限公司有关专家的指正和指导，我们在此谨致谢忱。另外，因本书的编写主要由生产一线专业技术人员在较短时间内完成，难免有语言用词不妥和理论依据不全之处，恳请读者朋友批评指正。

作者

2012 年 5 月 20 日

目 录

序

前言

1 客运专线无砟轨道工程测量技术简介	1
1.1 概述	1
1.2 客运专线无砟轨道工程采用精测网的必要性	5
1.3 国外客运专线无砟轨道工程测量控制网简介	7
1.4 客运专线铁路精密工程测量的特点	10
2 客运专线无砟轨道铁路工程控制测量	14
2.1 三网合一	14
2.2 工程测量控制网	16
2.3 高程控制网	19
3 CPⅠ、CPⅡ和CPⅢ控制网	24
3.1 CPⅠ和CPⅡ控制网	24
3.2 CPⅢ控制网	28
4 客运专线无砟轨道铁路工程施工测量	39
4.1 线下工程施工测量	39
4.2 线下工程竣工测量	42
4.3 无砟轨道铺设阶段测量	43
5 客运专线无砟轨道铁路工程变形监测	45
5.1 沉降观测通用要求	45
5.2 路基变形监测	49
5.3 桥涵变形监测	54
5.4 隧道沉降观测	61
6 客运专线无砟轨道铁路工程 GPS 测量	65
6.1 GPS 系统概述	65
6.2 测量误差来源	69
6.3 定位原理简介	73
6.4 控制网设计	74
6.5 外业测量	75
6.6 测量数据处理	76

6.7	铁路 GPS 测量数据处理软件	78
6.8	高程转换	82
7	客用专线无砟轨道施工工艺及安装测量	84
7.1	适用范围	84
7.2	作业准备	84
7.3	技术要求	84
7.4	工艺流程及说明	84
7.5	劳动力组织	92
7.6	设备机具配置	92
7.7	质量保证措施	93
7.8	施工安全及环境保护	93
8	工程测量实例	95
8.1	GPS 结合导线测量技术在京沪高速铁路工程施工测量中的应用	95
8.2	宁杭客运专线精测网复测技术	102
8.3	京沪高速铁路大汶河特大桥 CPⅢ 控制网平面测量技术	118
8.4	沉降观测技术在京沪高速铁路中的应用	127
8.5	京沪高速铁路大汶河特大桥大跨度连续梁施工测量技术	134
8.6	GPS-RTK 测量技术在贵广铁路工程测量中的应用	139
8.7	大汶河特大桥 CRTSⅡ 型板式无砟轨道底座板测量控制方法	142
8.8	京沪高速铁路桥梁工程施工测量中桥上高程的可靠性传递技术浅析	152
	参考文献	157

1.1 概 述

无砟轨道是以混凝土或沥青砂浆取代散粒道砟道床而组成的轨道结构形式,对于高速铁路较传统的有砟轨道有更好的适应性。与有砟轨道相比,无砟轨道有以下特点:

- (1) 良好的轨道稳定性、连续性和平顺性。
- (2) 良好的结构耐久性,维修工作少。
- (3) 工务养护、维修设施减少。
- (4) 免除高速行驶条件下有砟轨道的道砟飞溅。
- (5) 有利于适应地形选线,减少线路的工程投资。
- (6) 可减轻桥梁二期恒载,降低隧道净空。
- (7) 一旦基础变形下沉,修复困难,要求有坚实、稳定的基础。

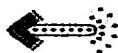
1.1.1 国外客运专线无砟轨道工程建设情况

随着 20 世纪 60 年代日本第一条新干线高速铁路的开通,世界铁路出现了一次巨大的飞跃。高速铁路(客运专线)以其速度快、能耗低、占地少、污染小、列车准时和收益率高的优点得到了人们的青睐,许多国家相继开展了高速铁路建设,被称为夕阳产业的铁路运输业迎来了又一个春天。自 1964 年日本建成世界上第一条时速 210km 的高速客运专线后,法国、德国、西班牙、意大利、韩国等国家和地区纷纷修建高速客运专线,设计速度为 210km/h、270km/h、300km/h、350km/h。1985 年 5 月欧洲经济委员会(ECE)对铁路最高运行速度的观点是:高速客运专线为 300km/h,既有线提速改造为 160~200km/h。国际铁路联盟(UIC)高速部,在“速度 320~350km/h 的新线设计科技发展动态”资料中的观点是:新建高速铁路的速度目标值是 320~350km/h。在各国高速铁路中,最具有代表性的是日本的新干线、法国的 TGV 和德国的 ICE,这些国家高速铁路因各自国情的不同有着不同的特点。

1.1.1.1 日本新干线

日本 1964 年开通了第一条东海道新干线,随后开通了山阳、东北、上越、北陆、山形小型、秋田小型和东北新干线(延伸线)等高速新干线,构成了遍布日本的高速铁路网。日本新干线铁路具有以下一些特点:日本高速铁路为客运专线,绝大部分采用修建新干线的建设模式;高速线上全部开行高速列车,不同的高速列车速度差别不是很大,行车组织工作简单。

日本东海道等五条新干线组成的高速路网为客运专线,基本运行图的铺画方式采用的是所谓的规格化运行图,即在运行图一定时段(通常为 1h)内,各种高速列车的开行数



量、运行顺序、运行速度、越行或待避车站以及在各站的到发时刻等都基本相同，而且将定期列车、季节列车和临时列车以不同运行线铺画在基本运行图中。以基本图为基础，在周六、周日可以减少一些通勤列车，旅游季节启用一些季节性列车和部分临时列车。为了提高市场占有率，在同一区间开行不同档次的列车，以希望号、光号和回声号 3 种列车相结合的方式适应市场需求，凭借 70 多种列车停站模式和每列车平均晚点时间不到 1min 时长获得良好信誉。根据日本新干线的信号制式，发车间隔时间可以缩短到 4min，即每小时单向发车 15 列。

1.1.1.2 法国 TGV

1971 年法国政府批准修建 TGV 东南线（巴黎至里昂，全长 417km，其中新建高速铁路线 389km），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 270km。1994 年 5 月，大巴黎区外环线（长 104km）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，采用 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 1282km，但 TGV 高速列车的通行范围已达 5921km，约占法国铁路网的 18%，覆盖大半个法国国土。

法国高速铁路为客运专线，大部分是新线，小部分为改造的既有线。高速铁路上全部开行 TGV 高速列车，高速列车可以上、下既有线的运行模式，大大提高了高速铁路的利用率，增加了其灵活性。

法国高速铁路编制列车运行图采用多车次、小运转的运营系统，运行的列车速度单一，线路能力可得到很好利用，但列车编组少，列车输送旅客量少，在客流高峰时段则采用多列联运的方式来增加载客量。高速线上只运行 TGV 高速列车，列车运行组织相对简单。

1.1.1.3 德国 ICE

德国目前有 4 条高速铁路：汉诺威至维尔茨堡线（长 327km），1987 年投入运营；曼海姆至斯图加特线（长 105km），1991 年 6 月建成通车；汉诺威至柏林线（长 170km），1998 年投入运营；科隆至法兰克福线（长 219km），2002 年投入运营。德国 ICE 城际高速列车行驶时速最高达 330km，在既有线上行驶速度与 ICE 城际快速列车相同，最高时速 200km。

德国高速铁路基本上采用客货混合运行而且客货列车分时运行，但是，近年来由于受到民航和公路发展的严峻挑战，为了提高高速铁路的市场占有率，德国铁路推出了大城市间城际夜车服务，城际夜车一般在 22:00 以后运行，专门为日间忙碌的人们服务，充分体现德国高度重视类似我国现在备受旅客喜欢的夕发朝至列车的开行。ICE1—ICE3 列车基本上在 6:00~22:00 开行，每小时一列，按班车制开行，其他为上高速路网的 IC 和 ICT 列车，列车运行图上繁忙时段开行各类旅客列车，夜间开行货物列车，客车停站时间在 1~4min。

1.1.2 国内客运专线无砟轨道工程规划建设情况

客运专线是以客运为主的快速铁路。目前我国，铁路等级除Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级外又

增加了客运专线等级,时速 200~350km/h 的铁路统称为客运专线。客运专线以高速和先进技术为支撑,列车运行速度实现了历史性的跨越。

客运专线运量大、效能高、社会经济效益显著。客运专线列车最小行车间隔可达 3min,列车密度可达每小时 20 列,列车定员可达 1600~1800 人/列,理论上每小时最大运输能力可达 $2 \times 32000 \sim 2 \times 36000$ 人,能够实现大量、快速和高密度运输。从发达国家实践经验来看,客运专线取得了非常好的社会和经济效益。如法国 3 条客运专线每年输送旅客各 2000 多万人次,均取得盈利。日本 4 条客运专线自运行以来客运量增加 6 倍多,被日本人誉为“经济起飞的脊梁”。

客运专线安全可靠。安全是人们出行选择交通运输方式的首要因素。据中国经济景气检测中心对北京、上海、广州 3 座城市居民的随机抽样调查问卷显示,有 66.9% 的居民外出首选火车,其中一条重要原因就是看中铁路运输安全。铁路客运专线是最安全的现代高速交通运输方式,它采用了先进的列车运行控制系统,能够保证前后两列车保持必要的安全距离,有效防止列车追尾及正面冲撞事故。信息化程度很高的行车设施诊断、监测、预警设备和科学的养护维修,构成了客运专线现代化的和完善的安全保障系统。

1.1.2.1 “四纵”客运专线

(1) 北京—上海:简称京沪,全长约 1318km,纵贯北京、天津、上海 3 市和河北、山东、安徽、江苏 4 省,连接环渤海和长江三角洲两大经济区。

(2) 北京—武汉—广州—深圳:简称京广,全长 2260km,连接华北、华中和华南地区。

(3) 北京—沈阳—哈尔滨(大连):全长约 1700km,连接东北和关内地区。秦皇岛—沈阳已于 2003 年建成。

(4) 杭州—宁波—福州—深圳:简称东南沿海铁路,全长约 1600km,连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。预留跨越台湾海峡连接台湾的设计条件。

1.1.2.2 “四横”客运专线

(1) 徐州—郑州—兰州:全长约 1400km,连接西北和华东地区,并延伸至乌鲁木齐,其中兰州—乌鲁木齐段设计时速亦为 350km/h。

(2) 上海—杭州—南昌—长沙—昆明:简称沪昆,连接华中和华东地区。

(3) 青岛—石家庄—太原:全长约 770km,连接华北和华东地区。其延长线太原—中卫—银川也已经开工。

(4) 上海—南京—合肥—武汉—重庆—成都(沪汉蓉高速铁路):全长约 2078km,连接西南、华中和华东地区。

1.1.2.3 几个重要路段客运专线

向莆铁路自南昌向塘枢纽引出,经江西抚州、福建沙县至福州莆田,全长约 560km。这条铁路将形成我国中西部地区至东南沿海新的、路程更短的通道。还有九江—南昌、海南—东环、南京—杭州、南京—安庆、成都—绵阳—乐山、长春—吉林等客运专线铁路。

1.1.2.4 区域城际轨道交通

长江三角洲(长三角)、珠江三角洲(珠三角)和环渤海地区城际轨道专线,覆盖了



区域内主要城镇。

(1) 长三角：以上海、南京和杭州为中心，形成 Z 字形主骨架，连接上海、南京和杭州周边重要城镇的城际铁路客运网络。

(2) 珠三角：以广州—深圳、广州—珠海两条客运专线为主轴，形成 A 字形线网，辐射广州、深圳和珠海等 9 个大中城市，构建包括港澳在内的城市 1h 经济圈。广深客运专线长约 105km；广珠城际轨道交通含江门支线长约 143km。

(3) 环渤海：以北京、天津为中心，北京—天津为主轴进行建设，形成对外辐射通路。京津城际轨道专线长约 115km。

1.1.2.5 建成和建设中的客运专线

目前已建成的客运专线有秦沈客运专线、京津城际客运专线、石太客运专线、郑西客运专线、武广客运专线、甬台温客运专线、温福州客运专线、福厦客运专线以及 2008 年通车的胶济客运专线东段。

已开工建设项目主要有：京沪高速铁路、武广客运专线、郑西客运专线、合武客运专线、合宁客运专线、广深港客运专线、广珠客运专线、京秦客运专线、宁杭客运专线、杭甬客运专线、长吉客运专线、九昌客运专线、哈大客运专线、胶济客运专线、海南东环客运专线和大西客运专线等。

京沪高速铁路：连接北京和上海两大直辖市，环渤海和长三角两大经济区，全长 1318km，和既有京沪线大体平行，时速为 350km，线路起自北京南站，终至上海虹桥站。

京津城际客运专线：连接北京和天津两大直辖市，全长 116.55km，线路起自北京南站，终至天津站。时速 300km/h。

武广客运专线：全长 995km，工程投资 930 亿元人民币，2009 年 12 月 9 日试运行成功，2009 年 12 月 26 日正式运营。

京石客运专线：京石铁路客运专线是北京—广州—深圳—香港客运专线的一部分，全长 281km。速度目标是 350km/h。项目投资估算总额 438.7 亿元，建成后有望形成北京至石家庄 1h 交通圈。京石铁路客运专线是北京—广州—深圳—香港客运专线的一部分。

郑西客运专线：客运专线起自郑州枢纽郑州站，途经洛阳、三门峡、渭南，从西安市绕城高速北侧贯穿西安铁路枢纽，沿咸阳市南侧向西延伸至兴平，是我国中长期铁路网规划中“四纵四横”客运专线的重要组成部分。该工程投资总额约为 369.5 亿元，总工期 42 个月，2008 年建成通车。

石武客运专线：线路自石家庄东站引出，终点为武汉新火车站，和正在建设的武广客运专线对接，线路全长 838km。

合武客运专线：合武客运专线是我国中长期铁路网规划中“四纵四横”快速客运网之一，是沪汉蓉铁路通道的重要组成部分，时速为 250km/h，已于 2009 年 4 月 1 日开通运营。合武客运专线东起合肥，向西穿越大别山腹地至武汉，实现了我国铁路第一次横穿大别山的梦想。线路建成后，武汉至合肥间构成了长三角地区通往中南区域的最短路径。

汉宜铁路：汉宜高速铁路也是我国“四纵四横”铁路主干网络中沪汉蓉高速客运专线的一部分，设计时速 200km/h，已于 2008 年 9 月 22 日开工。该线路走向基本与汉宜高速公路平行，东连合肥至武汉铁路，西接宜昌至万州铁路。由汉口站到达宜昌花艳，在宜昌

东站与宜万铁路接轨,全长 291km。

合宁客运专线:合宁客运专线是华东地区首条省际高速铁路,也是国家规划的“四纵四横”快速铁路客运网中的一条重要干线,是沪汉蓉快速客运通道的一部分,线路全长 166km,设计时速 200km/h,并预留时速 250km/h 的条件。

甬台温客运专线:起自宁波,经台州至温州,全长 282.42km,全线设 14 个车站,总投资约 163 亿元,计划总工期 4 年。

温福客运专线:线路全长 320.97km,位于浙江和福建两省交界的浙南和闽东沿海地区。北起温州南站,南至福州站。速度目标值 200km/h,并预留 250km/h 提速条件。

福厦客运专线:线路全长 273km,北起福州,终至厦门,属国家 I 级双线电气化铁路干线。

广深港客运专线:起于新广州站,经东莞、虎门至新深圳站(龙华),全长 105km,并预留位置向南延伸至香港,在虎门站预留了位置通往惠州方向。广深港高速铁路列车时速为 350km/h。

广珠城际客运专线:北起广州新火车站,南至珠海市拱北,经由广州市番禺区、佛山市顺德区、中山市,主线设 14 个车站。支线由中山市小榄镇至江门市新会区,经由中山市古镇、江门市外海,支线设 4 个车站。线路总长约 141km,总投资约 182 亿元。

长吉客运专线:长春至吉林城际铁路项目,为铁道部和吉林省合资建设项目。设计技术速度按 300km/h 考虑,全线 100km,总投资约 70 亿元,这条铁路建成将使长春到吉林的最快时间缩短至 0.5h 左右。

九昌客运专线:该项目是国家重点建设项目,由铁道部和江西省委联合投资兴建。该铁路线自庐山站(含)引入,在南昌北与京九线接轨,经京九线引入南昌,全线均按照客运专线标准进行施工建设。

哈大客运专线:全长 902km,最高时速可达 300km/h 以上。北起哈尔滨市,南经长春、营口等,直抵大连。

胶济客运专线:东起胶东半岛的龙头城市青岛,西到山东省省会济南,全线总长 362.5km,设计时速为 200~250km/h。

海南东环客运专线:线路自既有海口站起,由北向南依次经过海口市、文昌市、琼海市、万宁市、陵水县、南至三亚市境内的既有三亚站,正线全长 308.11km。

宁杭客运专线:北起南京枢纽,南至杭州东站枢纽,全长约 253.9km。宁杭客运专线采用无砟轨道,设计时速近期为 350km/h,全线实行全封闭、全立交,建成后将成为我国华东高速铁路网的重要通道。

大西客运专线:由山西省大同市向南,跨黄河后经渭南抵达西安。线路正线全长 859km,设计行车速度为 250km/h,并预留进一步发展条件。

1.2 客运专线无砟轨道工程采用精测网的必要性

客运专线铁路速度高(200~350km/h),且部分还有提升空间,如沪杭高铁时速最高达 416.6km。为了达到在高速行驶条件下,旅客列车的安全性和舒适性,高速铁路应



满足：

- (1) 严格按照设计的线型施工，即保持精确的几何线性参数。
- (2) 必须具有非常高的平顺性，精度要保持在毫米级的范围以内。客运专线铁路的平顺性要求分别见表 1.1～表 1.4。

表 1.1 无砟轨道静态几何尺寸允许偏差值

幅值 (mm) 设计速度	项目	高低	轨向	水平	轨距	扭曲 基长 6.25m
350km/h≥v>200km/h		2	2	1	±1	—
v=200km/h		2	2	2	-2~+1	3
弦长 (m)		10		—		

表 1.2 有砟轨道静态几何尺寸允许偏差值

幅值 (mm) 设计速度	项目	高低	轨向	水平	轨距	扭曲 基长 6.25m
350km/h≥v>200km/h		2	2	2	±2	2
v=200km/h		3	3	3	±2	3
弦长 (m)		10		—		

表 1.3 有砟轨道轨面高程、轨道中线、线间距允许偏差值

序 号	项 目	允许偏差 (mm)
1	轨面调和与设计比较	一般路基
		±20
		在建筑物上
		±10
		紧靠站台
		0~20
2	轨道中线与设计中线差	30
3	线间距	0~20

表 1.4 无砟轨道轨面高程、轨道中线、线间距允许偏差值

序 号	项 目	允许偏差 (mm)
1	轨面调和与设计比较	一般路基
		+4
		在建筑物上
		-6
		紧靠站台
		0~4
2	轨道中线与设计中线差	10
3	线间距	0~10

由上述可知，要实现客运专线铁路轨道的高平顺性，除了对线下工程和轨道工程的设计施工等有特殊的要求外，必须建立一套与之相适应的精密工程测量体系。

德国睿铁公司（RailOne）执行副总裁巴哈曼先生在总结无砟轨道铁路建设经验时说：

“要成功地建设无砟轨道，就必须有一套完整、高效且非常精确的测量系统——否则必定失败。”

1.3 国外客运专线无砟轨道工程测量控制网简介

国外无砟轨道铁路工程技术最为成熟的当推法国 TGV 技术、德国 ICE 技术和日本新干线技术，此外，还有西班牙的 Talgo 技术和意大利的摆式列车等。国外无砟轨道铁路建设的经验与教训，为中国铁路客运专线充分发挥后发优势和快速发展提供了有益的借鉴。现在针对德国客运专线无砟轨道工程测量的控制网做简单介绍。

1.3.1 控制网基准和体系

德国铁路线路测量所采用的大地测量基准是以德国土地测量管理部门的 ETRF89 为基础的 DB-REF。通过 7 参数坐标转换，实现由 ETRF89 转换到局部参考椭圆体，使用 3°带高斯—克吕格投影将球面坐标投影到平面上。

永久标志的控制基准点采用大地测量方法来测定，并作为固定标志导入德国铁路信息系统中。这些控制基准点具有较高的测量精度，可靠性和稳定性也较好，构成德国铁路的基准控制网。根据资料显示，德国高速铁路采用 MKS 定义的特殊技术坐标网，MKS 可根据需要把地球表面正形投影到设计或计算平面上，发生的不可避免的长度变形限制在 10mm/km 的数量级上。

基准控制网与坐标框架建立了固定的关系（如在地理信息系统中）之后，铁路线路的测量、评价和分析均可以坐标为基础来进行。与此对应，所有以坐标为基础的测量、评价和分析必须以 DB-REF 的基准控制网为基础，而新控制基准点只能在 DB-REF 系统中加密。但对于专用测量网，其控制点坐标可不与 DB-REF 保持一致。既要求基准控制网的加密和扩展必须在所规划的施工措施范围内（新建、扩建、改建和维修作业）进行，同时必须遵守铁路工程测量的相关规范。

控制基准点分为三维控制基准点、水平控制基准点和高程控制基准点。对于水平控制基准点和高程控制基准点等非三维控制基准点，需要以分米级的精度为新控制基准点给出所缺少的维数，所有新控制基准点必须以三维方式设置和测定。基准点取决于精度、测定方法、使用目的及与相邻控制基准点的距离，控制点的状态可以表明控制基准点的质量（见表 1.5）。

表 1.5 控制基准点的质量

控制点状态	标志	含 义
PS0	参考点	坐标形成，GPS 及大地测量方法的初始点
PS1	加密点	大地测量方法（测距仪、水准仪）的初始点
PS2	平面控制基准点	大地测量方法（测距仪）的初始点
PS3	高程控制基准点	大地测量方法（水准测量）的初始点
PS4	其他控制基准点	其他测量网的控制点、线路标志测设控制点

1.3.2 控制网密度和网形

相邻控制基准点之间的距离必须要确保能够经济地进行测量作业，具体数据见表 1.6。

表 1.6 控制网的密度

控制点状态	点间距 (m)	设立的规定
PS0	约 4000	在线路交汇范围内，一个点必须覆盖多条线路
PS1	800~1000	在线路两侧交替成对布设
PS2	约 150	可作为永久的控制基准点设立
PS3	700~1000	只设立在适宜的大楼和建筑物处
PS4	—	根据需要

根据资料可知，德国铁路工程测量平面控制网分为 PS0、PS1、PS2 和 PS3 四级，平面控制网的网形如图 1.1~图 1.3 所示。

德国国家控制网点的间距 30~50km，加密的 PS0 点间距 4000m 左右且远离施工区，由静态 GPS 来测定，PS0 控制网精度相当于我国客运专线无砟轨道控制网的 CP I，如图 1.1 所示。

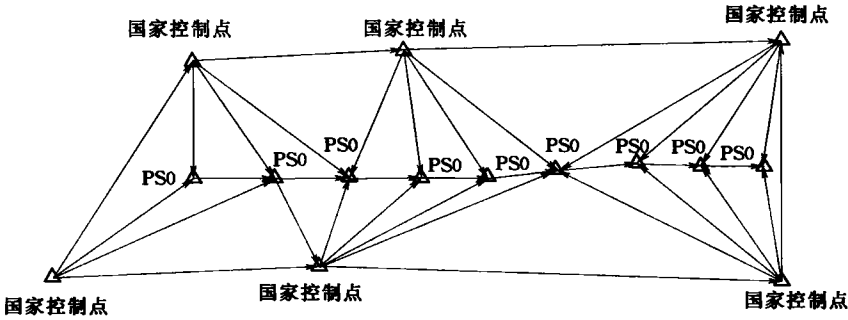


图 1.1 PS0 控制网图

PS1 控制网是在 PS0 控制网的基础上进行加密测量的，PS1 控制点沿线路单侧布设，其精度相当于我国客运专线无砟轨道控制网的 CP II，点间距为 800~1000m，位于施工区内，与线路的距离不大于 15m，PS1 控制网如图 1.2 所示。

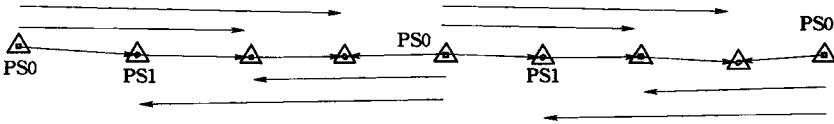


图 1.2 PS1 控制网

根据德国无砟轨道工程测量标准，PS4 控制网的测量分两种方法：一种是在 PS1 和