



高职交通运输与土建类专业规划教材

无砟轨道施工测量与检测技术

WU ZHA GUI DAO SHI GONG CE LIANG YU JIAN CE JI SHU



主 编：赵景民

主 审：张冠军



人民交通出版社
China Communications Press



高职交通运输与土建类专业规划教材

无砟轨道施工测量与检测技术

WU ZHA GUI DAO SHI GONG CE LIANG YU JIAN CE JI SHU



主 编：赵景民

主 审：张冠军



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 简 介

本教材以国内目前应用的几种无砟轨道轨道板为基础,以轨道板铺设为主线,以测量技术和组织为核心,介绍高速铁路前期的各级控制测量方法、各型轨道板结构及其铺设中的测量方法和运营期的检测维护技术,并适当拓展相关知识。

本书为高职高专交通土建测量课程的相关教材,适用于高速铁路工程技术、铁道工程技术及工程测量等专业从事高速铁路工程施工、养护方向的测量教学用书,也可供从事高速铁路施工、养护的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

无砟轨道施工测量与检测技术 / 赵景民主编. — 北京: 人民交通出版社, 2011. 9
ISBN 978-7-114-09248-0

I. ①无… II. ①赵… III. ①无砟轨道—铁路测量②
铁路工程—检测 IV. ①U212.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 187316 号

书 名: 无砟轨道施工测量与检测技术
著 者: 赵景民
责任编辑: 杜 琛
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757969, 59757973
总 经 销: 人民交通出版社发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 14.25
字 数: 331 千
版 次: 2011 年 9 月 第 1 版
印 次: 2011 年 9 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-09248-0
印 数: 0001~3000 册
定 价: 29.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

Preface

近年来,我国高铁技术不断完善,高速铁路建设全面铺开,但就高铁测量技术而言,目前普及程度还远远不够。随着大量高铁(客运专线)投入运营和高铁技术走向世界,人才紧缺现象更加突出,人才培养任务更加艰巨。编者作为铁路职业院校的教师,在大量走访、考察和学习的基础上,与南方高铁公司朱茂栋等技术人员联合开发本教材,旨在通过职业教育,培养掌握高铁测量系统知识,具备基本操作技能的高素质专业人才。

本教材坚持理论与实践相结合,突出科学性与实用性的结合,突出学校与生产企业的结合,突出传统知识与先进技术的结合,图文并茂、言简意赅。

本教材以项目为单元,共分12个项目,分别是无砟轨道及测量背景、高速铁路控制测量、CPI和CPII网测量、沉降变形监测、CPIII测量、GRP测量、CRTSI型轨道板测量、CRTSII型轨道板测量、CRTSIII型轨道板测量、双块式无砟轨道运营及养护维修测量、工程案例等。

本书由西安铁路职业技术学院赵景民主编。具体编写分工为:南方高铁公司朱茂栋编写项目1、12;洛阳工务段刘凤恩编写项目3、11;西安铁路职业技术学院刘峰编写项目2、附录,张晓雅编写项目4、5;西安铁路职业技术学院赵景民编写项目6~10,并对全书进行统稿整理。

铁道部第三勘察设计院测绘分院总工张冠军为本书做了审阅工作,提出了有益的修改意见和建议,本教材的编写提供了相关案例素材,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和问题存在,敬请读者批评指正。

编 者

2011年6月于西安

目录 | Content

项目 1 无砟轨道交通发展及测量背景	1
1.1 无砟轨道研究背景	1
1.2 无砟轨道研究	2
1.3 无砟轨道测量技术及应用现状	5
1.4 板式无砟轨道控制测量概述	7
1.5 本书的主要内容	10
思考题	11

项目 2 框架控制网 CP0 测量	12
2.1 概述	12
2.2 国家大地控制网的简介	12
2.3 框架平面控制测量	18
思考题	23

项目 3 CP I、CP II 控制网测量	24
3.1 概述	24
3.2 CP I、CP II 控制网设计	24
3.3 CP I、CP II 控制网测量	26
3.4 CP I、CP II 控制网 GPS 数据处理	29
思考题	33

项目 4 沉降变形观测	34
4.1 概述	34
4.2 沉降变形观测方案编制依据	34
4.3 沉降变形观测范围和内容	34
4.4 路基沉降变形观测	35
4.5 桥涵沉降变形观测	37

4.6	隧道基础沉降观测	37
4.7	过渡段沉降观测	38
4.8	沉降变形测量	38
	思考题	42
<hr/>		
项目 5	CP III 测量	61
5.1	概述	61
5.2	CP III 轨道控制网的设计	61
5.3	CP III 轨道控制网测量技术要求	62
5.4	CP III 轨道控制网测量	63
5.5	CP III 轨道控制网数据处理	76
	思考题	80
<hr/>		
项目 6	GRP 测量	81
6.1	概述	81
6.2	GRP 轨道基准网的设计	81
6.3	GRP 轨道基准网测量技术要求	83
6.4	GRP 轨道基准网测量	84
6.5	GRP 轨道基准网数据处理	88
	思考题	93
<hr/>		
项目 7	CRTS I 型轨道板测量	94
7.1	概述	94
7.2	CRTS I 型无砟轨道结构形式及组成	94
7.3	CRTS I 型轨道板检测	94
7.4	底座边模确定及凸形挡台精确定位	100
7.5	CRTS I 型轨道板精调	103
	思考题	109
<hr/>		
项目 8	CRTS II 型轨道板测量	110
8.1	概述	110
8.2	CRTS II 型轨道板结构形式及结构特点	111
8.3	CRTS II 型轨道板检测	113
8.4	CRTS II 型板式无砟轨道精调	119
	思考题	124

项目 9 CRTS III 型轨道板测量	125
9.1 概述	125
9.2 CRTS III 型轨道板设计原则及结构特点	125
9.3 CRTS III 型轨道板检测	126
9.4 CRTS III 型板式无砟轨道精调	128
思考题	131

项目 10 双块式轨道精调作业	132
10.1 概述	132
10.2 双块式轨道施工任务依据	132
10.3 双块式轨道铺设工作内容	132
10.4 技术依据	132
10.5 双块式轨道铺设实施方案	133
10.6 轨道精调设备及方法	135
10.7 仪器设备和人员组织	137
10.8 上交资料与存档	137
思考题	138

项目 11 运营及养护维修测量	139
11.1 概述	139
11.2 轨道检查车简介	140
11.3 无砟轨道检测与精调	143
思考题	154

项目 12 沪宁线 CRTS I 型板式无砟轨道工程测量实例	155
12.1 沪宁城际铁路工程概况	155
12.2 轨道控制网测设	156
12.3 底座板施工测量	159
12.4 GRP 测量与平差	166
12.5 轨道板精调测量	167
12.6 轨道精调测量	168

附录 A 控制点埋石图及标石	170
A.1 控制点标志	170

A.2	平面控制点标石的埋设	170
A.3	水准点标石的埋设	172
A.4	无砟轨道 CP III 控制点埋设要求	173
A.5	线路定测标志桩尺寸	175
A.6	控制点标识	175
<hr/>		
附录 B	光电测距仪、全站仪技术要求	176
<hr/>		
附录 C	水准仪(电子水平仪)、水准尺技术要求	178
C.1	仪器作业要求	178
C.2	仪器的检校	178
C.3	二等水准测量外业高差改正数计算	179
<hr/>		
附录 D	控制点点之记	181
D.1	×××点之记	181
D.2	GPS 测量手簿封面	182
D.3	GPS 测量手簿记录格式	183
<hr/>		
附录 E	变形测量	184
<hr/>		
附录 F	轨道控制网 CPIII 的平面和高程控制网结构形式	211
F.1	CP III 控制网的平面构网图形	211
F.2	CP III 控制点高程测量的水准路线形式	212
F.3	CP III 控制网自由测站三角高程测量建网形式	213
F.4	CP III 平面控制测量	213
<hr/>		
附录 G	高速铁路工程现场交接桩纪要	216
<hr/>		
参考文献	218

项目 1 无砟轨道交通发展及测量背景

1.1 无砟轨道研究背景

随着世界经济的飞速发展,高速铁路已成为世界交通发展的主题。传统的有砟轨道主要采用的是天然道砟材料,其均一性较差,在列车荷载作用下道床肩宽、砟肩堆高、道床边坡、轨枕间距及轨枕在道床中的支撑状态相对易发生变化,导致轨道几何尺寸发生变形,结构稳定性和恒定性较差,运营时间越长,舒适度越低。随着列车速度的提高,有砟轨道在列车荷载作用下,会产生道砟颗粒磨耗、粉化、相对错位等问题,引起结构变形,严重影响结构的耐久性,维修工作越来越繁重,维护费用大量增加。再则,列车在高速行驶中会产生空气动力效应,使道床上的道砟飞溅,增加了运行安全隐患。为了消除有砟轨道结构形式下的不利影响,铁路工作者开始考虑采用一种新型的轨道结构形式来代替有砟轨道结构形式,无砟轨道由此产生。

高速铁路至少具备以下三点优势:

(1)高速铁路车辆速度快,省时间,安全系数高,乘坐空间大,舒适方便,价格适宜,迎合了现代社会出行的需求,因而受到人们的青睐,成为实践各国振兴铁路的强大动力。

(2)高速铁路运输系统是铁路大面积吸纳现代高科技成果进行技术创新的产物,它推动了铁路科学技术和铁路装备迈上一个崭新的台阶,增强了铁路的竞争力。

(3)高速铁路不仅运输能力特别大,而且兼有对环境污染相对较小的优势,因而特别适宜于大运量的城市间、城市群和城郊的高频率运输。旅行时间的节约,旅行条件的改善,旅行费用的降低,再加上国际社会对人们赖以生存的地球环境保护意识的增强,使得高速铁路在世界范围内呈现出蓬勃发展的强劲势头。除欧洲、北美洲外,大洋洲、亚洲诸国和地区,也正在进一步加快高速铁路的建设速度。总之,发展高速铁路是科技进步的必然,是时代发展的需要。

日本是世界上第一个建成使用高速铁路的国家。1964年10月1日,东海道新干线正式投入运营,最高运行速度达到210km/h,使一度被贬为“夕阳产业”的铁路显示出强大的生命力,预示着“铁路第二个大时代”的来临。全球高速铁路网建设的时期也随之而来。技术创新是世界铁路复苏的重要动力,高速技术和信息技术带动了铁路整体技术的迅猛发展,使铁路这一传统产业面貌焕然一新,铁路市场竞争能力大大提高。

世界铁路发展史大体上可分为表1-1所列的几个时期。

世界铁路发展各个阶段

表 1-1

萌芽期	蓬勃发展期	衰退期	复苏期
1825~1900年	1900~1945年	1946~1964年	1964年以后

目前已开行时速 200km 以上高速列车的国家有中国、日本、法国、德国、意大利、西班牙、比利时、荷兰、瑞典、英国、美国、俄罗斯,正在积极建设或规划建设高速铁路的国家还有瑞士、奥地利、丹麦、加拿大、澳大利亚、韩国、印度等。

1.2 无砟轨道研究

1.2.1 国外无砟轨道研究

自 1825 年世界上第一条铁路诞生的 100 多年来,世界各国从事铁路研究工作的专家、学者,始终在为提高列车的行车速度作不懈努力。按照列车运行速度每小时超过 200km 以上者为高速列车的标准,世界各国高速铁路的情况如下:

1903 年德国用电力机车牵引,试验速度达到 210km/h;

1954 年法国用电力机车牵引,试验速度达到 243km/h;

1962 年日本用电力机车牵引,试验速度达到 256km/h;

1972 年法国用内燃机车牵引,试验速度达到 318km/h。

到了二十世纪八九十年代,法国、德国、日本用电力机车牵引试验速度达到 400km/h 以上,特别是法国 1990 年试验的 TGV 高速列车速度达到 515.3km/h,创世界最高纪录。

自 1964 年日本建成世界上第一条高速铁路以来,法国、英国、德国、西班牙、意大利和美国等发达国家相继修建了高速铁路。其中最具代表性的是法国高速铁路,其最高商业运行时速已突破 300km/h。目前全世界已投入运行和正在修建的高速铁路里程超过 1.4 万公里,约占铁路总营业里程的 2%。欧洲有关部门作出的长远规划是到 2015 年,全欧高速铁路网总长达 3 万公里,其中新建路段 9100km,约占 30%。与此同时,世界上许多国家和地区也作出了自己相应的规划和目标。高速铁路的诸多特点和优势,使得传统的铁路运输重新焕发了生机,并在世界各地得到了蓬勃发展,从而加速了高速铁路现代化的步伐,为世界高速铁路网的形成和发展打下了良好的基础。

1) 日本的高速铁路

日本的高速铁路是在充分吸收德、法等国家高速列车试验经验,并凭借本国强有力的经济与技术力量,于 1964 年建成了世界上第一条高速铁路东海道新干线(东京至新大阪,全长 515.4km),并研制了“0 系”高速列车。日本的东京至大阪东海道线仅用 8 年时间就收回全部投资。近 40 年来,日本新干线技术不断进步与创新,已构成了日本国内铁路网的主干部分。

日本的新干线在速度方面的优势后来被法国的 TGV 超过,但是这条专门用于客运的电气化、标准轨距的双线铁路,代表了当时世界第一流的高速铁路技术水平,标志着世界高速铁路由试验阶段跨入了商业运营阶段。东海道新干线以其安全、快速、准时、舒适、运输能力大、环境污染轻、节省能源和土地资源等优势博得了政府和公众的支持和欢迎。新干线投入运营后,高速列车的客运市场占有份额迅速上升,而且新干线修建之后,其对于日本经济的拉动作用也成为世界高速铁路进入建设高潮的原因之一。

2) 法国的高速铁路

法国修建高速铁路,首先是对既有铁路进行现代化改造。改造后的铁路行车速度虽提高到 160km/h,最高也达到了 220km/h,但是,包括巴黎—里昂在内的许多铁路干线的通过能力已达饱和,采用提速技术已无法提高运力;采用双复线化又受到隧道等障碍,因此,从 1970 年

在建议修建巴黎—里昂东南线新线时,便确定了以下原则:一是新建高速铁路客运专用新线;二是高速铁路新线与既有铁路线网兼容;三是多车次少中转的运营系统。

法国从 1976 年开始修建巴黎—里昂东南线第一条高速铁路,1981 年部分区段开通,1984 年全线开通。截至 1996 年统计,法国国营铁路公司已经拥有 1282km 的高速铁路。法国高速铁路的主要技术特征有:新建客运专线、动力集中的电动高速列车(TGV)、集中调度控制和基于轨道电路采用混频技术的列车运行控制系统(TVM)。同时为了充分发挥高速铁路的优势,法国采取的是高速列车下既有有线运行的方式,使高速列车 TGV 可提供服务的路网范围达到了 5700km。法国修建的地中海高速线,全线长 295km,允许时速为 350km,运行间隔为 3min,于 2001 年初投入运营。

3) 德国的高速铁路

德国铁路高速化,首先从经济发达的南北长干线开始,并从提高路网能力考虑来建设高速铁路和对既有线路进行改造。1970 年制订了修建高速铁路的计划,从 1973 年开始修建慕尼黑—斯图加特和汉诺威—维尔茨堡的高速铁路,1991 年 5 月竣工开通。到目前为止,德国新建并投入运营的高速铁路里程为 427km,线路允许的最高运行速度为 280km/h;既有有线改造可允许列车以 200km/h 速度运行的线路达到 650km;新建线和改造线的总长为 1077km。德国高速铁路的主要技术特征是:新建部分高速线采用客、货分时;高、中速混跑运输组织模式;动力集中的电动高速列车 ICE(Inter City Express);分区域的集中控制和基于轨道电缆的列车运行控制系统(LZB)。德国的高速铁路在路网中起着主要通道的作用,高速列车可在既有有线运行,使高速列车 ICE 可提供服务的路网范围达到了 4000km。根据 1992 年通过的联邦运输基础设施技术,德国还将建设速度在 250km/h 以上的高速铁路,其中包括斯图加特—奥格斯堡、纽伦堡—因戈尔斯塔特、纽伦堡—埃尔福特—莱比锡铁路,扩建计划还将包括“泛欧铁路网”等。

德国的 ICE 是目前高速铁路中起步最晚的项目。ICE 的研究开始于 1979 年,其内部制造原理和制式与法国 TGV 有很多相似之处,目前最高时速是 1988 年创下的 409km。现在德国与法国政府正在设计进行铁路对接,用各自的技术完成欧洲大陆上最大的两个国家铁路网的贯通。

4) 意大利的高速铁路

意大利第一条高速铁路是 1992 年修建的罗马至佛罗伦萨线,全长 236km,ETR450 高速列车最高行驶时速 250km。但是,他们没有立即继续高速铁路的修建,而是密切观察该段高速铁路的性能,总结经验,待高速铁路的优越性变得十分明显时,才于 1994 年正式开始高速铁路网工程。1998 年对米兰—博洛尼亚段 180km 铁路进行升级改造,车速提高至 300km/h。这是继罗马—那不勒斯、博洛尼亚—佛罗伦萨和佛罗伦萨—罗马段之后的第四条升级铁路,标志着意大利的高速铁路网计划已完成一半。另外,都灵—博洛尼亚高速铁路于 2000 年完工;米兰—威尼斯高速铁路于 2001 年完工;米兰—热那亚高速铁路于 2003 年完工。意大利高速铁路网总长度超过 1600km。意大利高速铁路采用最新型的 ETR500 高速列车,被称为“意大利欧洲之星”。

5) 西班牙的高速铁路

西班牙于 1992 年 4 月 21 日在巴塞罗那奥运会前夕开通了从马德里至塞维利亚(长 471km)的高速铁路,赶上了世界高速运输发展的步伐。西班牙高速列车简称 AVE,采用法国

技术,最高时速达 300km。AVE 还创造了一天客运量达到 12338 人次的纪录。在第一条高速干线运营成功以后,西班牙继续加快高速列车的发展,制订了新的路网规划。正在修建和计划修建的新干线有:马德里—巴塞罗那—法国西南部、萨拉戈萨—毕尔巴鄂、洛格罗尼奥—法国西南部、马德里—葡萄牙首都里斯本。将要改造的旧线有:马德里—巴伦西亚、马德里—莱昂、瓦利阿多里德—洛格罗尼奥、塞维利亚—韦尔发、塞维利亚—加的斯等。经过新建和改建以后,西班牙铁路将形成一个现代化的高速路网,跻身于世界铁路的先进行列。

目前世界上运行时速在 200km 以上的新建高速铁路营业里程约 4400km,若包括运行时速 200km 的线路,总营业里程已超过 15000km。这些线路仅占世界铁路总营业里程的 1.5%,却担负着各拥有国铁路较大一部分的客运量。如日本现有四条新干线约占日本铁路(JR)总营业里程的 9%,承担了铁路旅客周转量的 1/3;法国现有的三条高速新线和 TGV 列车通行网络分别占法国铁路网总营业里程的 4%和 18%,承担了一半以上的旅客周转量;德国正在运营的高速线及时速达 200km 的 IC 列车的通达里程只占德国铁路总营业里程的 1%和 10%,却担负着 50%的旅客周转量。

随着高速铁路系统技术的不断发展,高速列车的商业运行速度不断提高。从 20 世纪 60 年代时速 210km,到 80 年代时速 250~300km,90 年代末或 21 世纪初时速可望达 350km 左右。既有线经改造符合高速要求的一般运行时速为 200km,个别线路可达到 220~225km。

由于高速铁路的优势日益显现和全社会的认可度逐步提高,高速铁路在世界范围内呈现出蓬勃发展的强劲势头。可以预见,21 世纪的铁路运输业将会出现轮轨系高速铁路的全面发展,全球性高速铁路网建设的时期已经到来。

1.2.2 国内无砟轨道研究现状

我国高铁建设起步较晚,但成效却非常显著,分别于 1997 年、1998 年用电力机车牵引试验速度达到 212.6km/h 和 240km/h。

京津城际铁路是中国最早开工建设并最先建成的第一条高标准铁路客运专线,全长约 120km,连接首都北京和天津两大直辖市。该线路采用高新技术的系统集成,于 2005 年 7 月 4 日开工建设,2007 年 12 月 15 日全线铺通,2008 年 8 月正式运营。

武广客运专线为京广客运专线的南段,位于湖北、湖南和广东境内,全长约 1068.8km,投资总额 1166 亿元,于 2005 年 6 月 23 日在长沙首先开始动工,2009 年 12 月 9 日试运行成功,于 26 日正式运营,列车最高时速可达 394km。

京沪高速铁路于 2008 年 4 月 18 日动工兴建,从北京南站出发终止于上海虹桥站,总长度 1318km。全线纵贯北京、天津、上海三大直辖市和河北、山东、安徽、江苏四省,是我国目前最长的客运专线之一。

沪宁城际铁路于 2008 年 7 月 1 日动工兴建,是上海与江苏省南京市之间建设联系区域内部交通的高速铁路,2010 年 7 月 1 日正式建成通车。

郑西客运专线是我国中长期铁路规划的 10 条客运专线中徐兰客运专线(徐州—郑州—西安—宝鸡—兰州)最先开工的一段,2009 年 6 月 28 日全线铺通,2010 年 2 月 6 日正式运营。

截至目前,我国已建成的高速铁路包括:武汉—广州、郑州—西安、北京—天津、上海—南京、北京—上海。

正在建设的高速铁路有 1 万多公里:包括哈尔滨—大连、北京—石家庄、石家庄—武汉、广州—深圳、上海—杭州、杭州—长沙、天津—秦皇岛、合肥—福州、厦门—深圳、汉口—宜昌等高

速铁路,以及上海—南京、南京—杭州、广州—珠海、哈尔滨—齐齐哈尔、成都—都江堰、武汉城镇圈、郑州城镇圈、京津城际延伸线、海南东环等城际铁路。

为了提高列车在高速运行条件下的稳定性和平顺性,减少轨道维修量,世界各国研究和开发了多种结构形式的无砟轨道。目前国内使用的轨道板主要有:德国博格板,日本单元板,综合吸收消化德国博格板和日本单元板技术而研制出的 CRTS III 型轨道板,纵联式双向预应力混凝土轨道板以及在博格板和日本单元板这两类轨道板基础上的各种改进轨道板。国内现有的轨道板精调系统也是根据不同类型的轨道板,直接全套引进或参考德国博格板和日本单元板的精调测量系统进行的仿制和改进。

当前,我国正在大规模建设铁路客运专线,已广泛采用无砟轨道施工技术,无砟轨道铁路成为我国铁路现代化建设的重要内容。无砟轨道铁路测量技术作为无砟轨道铁路建设成套技术的一个重要组成部分,在无砟轨道铁路建设过程中也越来越显示出其重要性。

1.3 无砟轨道测量技术及应用现状

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:“要成功地建设高速铁路,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。”这句话也充分说明了精密工程测量在无砟轨道工程建设中的重要作用。

1.3.1 国外无砟轨道控制测量技术现状

1) 德国高速铁路测量技术

德国的平面控制网共分为四级:PS0、PS1、PS2 和 PS4。德国的高速铁路线路采用大地测量基准,是以德国土地测量管理部门的 ETRF89 为基础的 DB-REF,采用七参数转换到局部参考椭球体,使用 3°带高斯—克吕格投影将球面投影转换到平面上。

(1)PS0 是在联测德国国家控制点(网点的间距为 30~50km)的基础上采用 GPS 大地测量方法测定的三维网络,其控制点一般分布在线路交汇的范围内,尽量保证能够被多条线路应用,它构成了德国高速铁路网的坐标框架(图 1-1)。

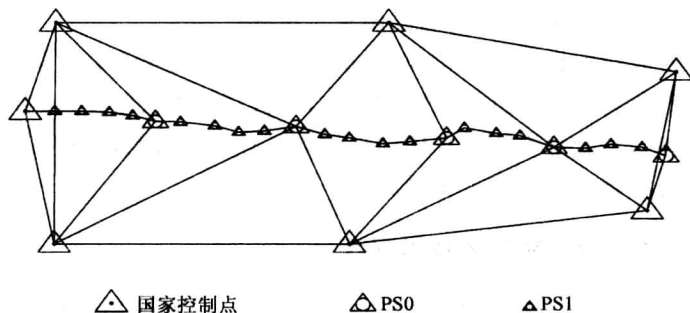


图 1-1 德国国家控制点、PS0 和 PS1 布网示意图

(2)PS1 是在 PS0 的基础上采用全站仪和水准测量的方法建立的大地测量三维网。

(3)PS2 建立在 PS1 和 PS0 的基础上,只是采用全站仪大地测量方法建立的平面控制网,其控制点以永久的控制点标准设立。

(4)PS4 则是根据需求设立的其他测量方式获得的控制网。

(5)德国的高程网只有一种 PS3,其控制点是建立在适宜的大楼和建筑物处,是采用联测

国家水准点建立的水准网。同时,对于上述维数少于三的控制网,需要用分米级精度标称缺少的维数。其控制网的标准如表 1-2 所示。

德国高速铁路控制网精度标准

表 1-2

控制网级别	距 离	绝对精度(mm)	相对精度(mm)	备 注
PS0	4km	≤ 10	≤ 5	高程误差无数据
PS1	800~1000m	≤ 8	≤ 10	高程误差无数据
PS2	150~200m	≤ 8	≤ 10	无高程精度
PS4	50~60m	≤ 5	≤ 6	具体根据要求
PS3	700~1000m	≤ 5	$\leq 5 \times R$	无水平位置精度

2) 日本的高速铁路测量技术

在高速铁路建设史上,日本起步较早,其相应的轨道板精调定位技术也有着广泛的应用。日本已建和在建的无砟轨道铁路普遍采用基准器和三角规进行轨道板的精调工作。

三角规方法进行轨道板精调的步骤如下:

- (1)标注凸形挡台中心线和测点位置;
- (2)安放基准器;
- (3)测量基准点之间的距离并作调整;
- (4)进行基准点的纵断测量并作调整,使用设定高低的量具和超高水准器;
- (5)进行基准点的平顺测量并作调整:
 - ①直线部分主要使用经纬仪和拉线测量;
 - ②曲线部分主要使用正矢测量仪器、量尺、经纬仪和拉线测量;
- (6)填充防护砂浆固定基准器;
- (7)进行内业整理;
- (8)根据每个凸形挡台的基准器的三维坐标计算出对应三角规的调整参数并打印临时参数标识卡片;
- (9)将参数标识卡片粘贴在对应凸台上;
- (10)根据参数标识来确定游标设置,以调整三角规;
- (11)按照要求安放轨道板调整三角规,根据水泡指示刻度进行轨道板调整。

采用基准器和三角规进行轨道板的精调工作,调板精度无法量化;没有最终的测量结果数据,无法进行数据追溯,不能落实质量责任到具体人员和工序;调板的精度较低,直接影响到钢轨铺设的精度及调板与调板后期的工作量。

1.3.2 我国无砟轨道控制测量技术现状

我国无砟轨道控制网由一级基础平面控制网(CP I)、二级线路平面控制网(CP II)、三级轨道控制网(CP III)和大地水准点组成。一级控制点(CP I)具有 X、Y、Z 三维坐标,间距小于 4km。二级控制点(CP II)是在一级控制点(CP I)的基础上进行,测设二级控制点(CP II)时,利用 GPS 测量和网内平差得到二级控制点的 X、Y 坐标;二级控制点的高程利用数字水准仪在大地水准点或一级控制点(CP I)基础上测设;二级控制点间距控制在 1km 左右,设置在线路附近。三级控制点(CP III)构成了线上工程的精度控制网,如果采用导线测设三级控制点,将测量仪器直接设置在部分三级控制点上(测量仪器间距控制在 120~140m),将会产生 2mm

的测站对中误差,虽然布网花费时间短,但点位误差较大,控制网稳定性不够,不利于精调施工与轨道检测。为此,必须利用自由设站法测设三级控制点,在每个设站点进行多目标测回测量,以减小观测误差,设站点间距不大于 140m,最后利用最小二乘原理进行整网的约束平差。这种方法的优点是控制网网形规则,观测精度均匀统一,点位误差小,无较弱点存在,控制网稳定性较高等。

我国从 2008 年开始研究以 CP III 为定向基准的轨道板精调方案,并进行了一些试验分析。试验结果显示,该方案受 CP III 的测量精度制约较大,而且全站仪在 CP III 自由设站换站时,站与站之间的误差较大,导致铺设的轨道板的短波平顺性很难达到高合格率。

利用 GRP 进行强制对中设站方案是参考了博格板的测量调板方案,根据在京津城际博格板精调的实践,改进其测量硬件和软件,从而适应 I 型板的精调测量。此方案利用全站仪在 GRP 点(由 CP III 网加密获得)上进行强制对中设站,测量安置在精调标架上的棱镜,然后通过软件计算偏差值,对轨道板进行调整,直至合格。应用 GRP 为基准进行轨道板精调测量的方法已经成功应用在京津城际铁路和沪宁城际铁路,京沪高速铁路、沪杭城际铁路等也已相继采用该方案进行精调测量。

1.4 板式无砟轨道控制测量概述

1.4.1 概念定义

1) 工程独立坐标系

为满足铁路工程建设要求采用的以任意中央子午线和高程投影面进行投影而建立的平面直角坐标系。边长投影在对应的线路轨道设计高程面上,投影长度的变形值不大于 10mm/km。

2) 基础框架平面控制网 CP 0

为满足线路平面控制测量起闭联测的要求,沿线路每 50km 左右建立的卫星定位测量控制网,作为全线勘测设计、施工、运营维护的坐标基准。

3) 基础平面控制网 CP I

在基础框架平面控制网(CP 0)或国家高等级平面控制网的基础上,沿线路走向布设,按 GPS 静态相对定位原理建立,为线路平面控制网起闭的基准。在勘测阶段按静态 GPS 相对定位原理建立,点间距小于 4km,点对间大于 800m,测量精度为 GPS 二等网。

4) 线路平面控制网 CP II

在基础平面控制网(CP I)上沿线路附近布设,为勘测、施工阶段的线路平面控制和轨道控制网起闭的基准。可用 GPS 静态相对定位原理测量或常规导线网测量,在勘测阶段建立。GPS 点间距为 600~800m,测量精度为 GPS 三等网,导线点间距为 400~800m,测量精度为三等导线。

5) 轨道控制网 CP III

沿线路布设的三维控制网,起闭于基础平面控制网(CP I)或线路控制网(CP II),一般在线下工程施工完成后进行实测,为轨道施工和运营维护的基准。CP III 网按自由设站边角交会方法测量,点间距为纵向 50~70m、横向为线路结构物宽度,测量精度为相邻点位的相对点

位中误差小于 1mm。

6) 轨道基准网 GRP

为了满足对某段高速铁路的外部及内部几何位置的精度要求,建立一个具有极高相对精度的控制网,GRP 的测量工作必须在轨道控制网(CP III)评估通过后方可进行,基准点之间的相对精度应满足:平面为 0.2mm,高程为 0.1mm。

7) 精密水准测量

高速铁路无砟轨道工程施工测量中,用于测量轨道控制网 CP III 各标志点高程的等级水准测量,其精度介于二等和三等水准测量之间,每公里高差测量的偶然中误差为 2mm/km 和全中误差为 4mm/km。

8) 自由设站边角交会

在线路中线附近架设全站仪,测量线路两侧多对轨道控制网 CP III 点的方向和距离,并联测就近的 CP I 或 CP II,以获取轨道控制网 CP III 平面坐标的测量方法。

9) 线路平顺性指标

线路平顺性指标主要包括轨距、高低、轨向、水平和扭曲等轨道静态参数。

10) 轨道几何状态检测仪

铁路轨道几何状态检测仪简称轨检仪,也叫轨道检测小车,是一种通过 CP III 控制网、智能型全站仪、倾角及轨距传感器和专用测量软件,自动检测线路中线坐标、轨顶高程和轨距、高低、轨向、水平和扭曲等轨道静态参数,并自动进行记录整理的智能化、轻型的轨道检测设备。

1.4.2 板式无砟轨道简介

目前我国客运专线所使用的无砟轨道主要有以下几种形式:CRTS I 型板式无砟轨道、CRTS II 型板式无砟轨道、CRTS III 型板式无砟轨道和 CRTS I 型双块式无砟轨道、CRTS II 型双块式无砟轨道等。

这里主要介绍 CRTS I 型板式无砟轨道、CRTS II 型板式无砟轨道、CRTS III 型板式无砟轨道。双块式无砟轨道将在项目 10 中系统介绍。

1) CRTS I 型板式无砟轨道

国内的 CRTS I 型板式无砟轨道技术主要是引进日本的新干线技术。CRTS I 型板式无砟轨道通过水泥沥青砂浆调整层,铺设在现场浇筑的钢筋混凝土底座上,有凸形挡台限位,适应于 ZPW-2000 轨道电路的单元轨道板无砟轨道结构形式。

CRTS I 型轨道板分预应力混凝土轨道板和框架式混凝土轨道板两种。CRTS I 型板式无砟轨道系统主要由钢轨、扣件系统、轨道板、CA 砂浆垫层、混凝土底座、凸形挡台等部分组成。在路、桥、隧道等不同线下基础上,CRTS I 型板式无砟轨道系统的结构组成相同。

20 世纪 70 年代,板式轨道作为日本铁路建设的国家标准进行推广,因此,日本的板式轨道应用非常广泛。到目前为止,日本板式轨道累计铺设里程已达 2700 多延长公里,常用的有普通 A 型轨道板、框架型轨道板、用于特殊减振区段上的防振 G 型轨道板及早期用于路基上的 RA 型轨道板等。

2) CRTS II 型板式无砟轨道

CRTS II 型轨道板采用纵向连接,可分为有挡肩和无挡肩两种。其中有挡肩的 CRTS II

型板式无砟轨道系统即博格板式无砟轨道系统,是我国引进的第一条无砟轨道结构形式,经过消化、吸收、再创新,形成了中国特色的板式轨道——II型板式无砟轨道技术。该板型已成功地应用于京津城际轨道交通工程和京沪高速铁路工程。无挡肩的 CRTS II 型板式无砟轨道系统已成功应用于武广高速铁路工程。

博格板式无砟轨道为预制轨道板结构,轨道板之间纵向连接,采用数控磨床加工预制轨道板上的承轨槽,采用高性能沥青水泥砂浆提供黏结和均匀的支撑,并使用高精度、快速便捷的测量系统保证轨道施工精度,其施工机械化程度很高。博格板式无砟轨道为近年来新研制的一种轨道结构形式,获得了德国联邦铁路管理局颁发的许可证,并在德国纽伦堡至英格施塔特的新建高速线上铺设了 35km。

3) CRTS III 型板式无砟轨道

CRTS III 型板式无砟轨道是贯彻“引进先进技术、联合设计生产、打造中国品牌”的战略方针,在无砟轨道现有研究成果基础上,针对城际铁路运营条件开展的新研究、取得的新成果。CRTS III 型无砟轨道结构是以“路基纵连、桥上单元”基本原则为指导思想,在无砟轨道结构设计、施工工艺、施工装备和材料等方面取得更为系统的研究成果,为实现无砟轨道国产化、打造中国无砟轨道品牌迈出的坚实一步,同时为中国铁路实施“走出去”的战略奠定基础。

CRTS III 型无砟轨道结构线路技术的主要设计理念是“单元思路、纵连方式、双块受力”。其核心理论架构就是“路基纵连、桥上单元、方便维修”。

CRTS III 型无砟轨道结构体系的最大特点是拼装化施工、可拆卸、方便维修,对路基塌陷和不可抗力的自然灾害均可快速维修,这也是有别于国外双块式、博格板无砟轨道板线路技术的最大亮点之一。

1.4.3 精度要求

根据《高速铁路工程测量规范》(TB 10601—2009),客运专线无砟轨道铁路工程测量各级平面控制网布网要求应按表 1-3 执行。

各级平面控制网布网要求

表 1-3

控制网	测量方法	测量等级	点间距	相对点位精度(mm)	备注
CP0	GPS	—	50km	20	
CP I	GPS	二等	≤4km 一对点	10	点对间≥800m
CP II	GPS	三等	600~800m	8	
	导线	三等	400~800m	8	附和导线网
CP III	自由测站边角交会	—	50~70m 一对点	1	

注:1. CP II 采用 GPS 测量时,CP I 可按 4km 一个点布设。

2. 相邻点的相对中误差为平面 X、Y 坐标分量中误差。

各级平面控制网的主要技术要求应符合表 1-4 的规定。

GPS 测量的精度指标

表 1-4

控制网级别	基线边方向中误差	最弱边相对中误差
CP I	≤1.3"	1/180000
CP II	≤1.7"	1/100000