



客运专线

# 无砟轨道铁路 工程测量技术

朱颖 主编



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

U213.2  
ZY

# 客运专线无砟轨道 铁路工程测量技术

朱 颖 主 编



中国铁道出版社

2008 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

客运专线无砟轨道铁路工程测量技术/朱颖主编. —北京: 中国铁道出版社, 2008. 5  
ISBN 978-7-113-08712-8

I. 客… II. 朱… III. 铁路运输: 旅客运输-无砟轨道-轨道测定  
IV. U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 055662 号

书 名: 客运专线无砟轨道铁路工程测量技术

作 者: 朱 颖 主 编

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 编辑部电话: 市(010)51873142, 路(021)73142

印 刷: 北京佳信达艺术印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 12 字数: 180 千

版 本: 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-113-08712-8/TU · 931

定 价: 80.00 元

版权所有 侵权必究

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。

联系电话: 市(010)51873172, 路(021)73170

出版社网址: <http://www.tdpress.com>

# 编委会名单

主 编：朱 颖

副 主 编：米 隆 吴明友 颜 华 岑敏仪

编撰人员：朱 颖 颜 华 岑敏仪 卢建康

王智勇 刘名君 魏永幸 巩江峰

张同刚 任白珍



# 前 言

为适应高速行车对线路稳定性和平顺性的要求，整体性强、稳定性好、高平顺、少维修的无砟轨道结构已成为我国客运专线铁路轨道的主要结构形式。随着客运专线无砟轨道的推广使用，带来了铁路工程测量理念的更新。

为保证高速行车对线路平顺性的要求，线路必须具备准确的几何线形参数。无砟轨道铺设工艺复杂，一旦建成后将很难进行调整，若出现问题，将为整个工程的使用留下隐患，期间若想改善轨道几何参数将变得十分困难，必须花费高昂的代价进行弥补。因此，无砟轨道的施工质量是客运专线建设能否成功的关键，其施工精度必须保持在毫米级的范围内。高精度的测量是无砟轨道施工质量的重要保证。

无砟轨道对测量精度要求高，其测量方法也有别于普通铁路测量，但并非仅仅通过购买高精度的测量仪器设备，采用高等级的测量方法来建立客运专线测量控制网，便可一劳永逸地解决无砟轨道的测量问题。我国传统铁路测量方法是采用定测中线控制桩作为联系铁路勘测设计与施工的线路平面测量控制基准。中线控制桩在线路竣工后已不复存在，铁路平面控制基准已经失去，因而在竣工和运营阶段的线路复测只能通过相对测量的方式进行。这种方式只适合测量精度要求低的普通铁路测量。从既有线提速的实践可以发现，轨道几何参数有较大变化，这也反映了仅仅依靠相对测量方法对线路进行维护是远远不够的，必须引入绝对测量系统，恢复平面控制网。根据国外高速铁路建设和运营经验，在无砟轨道的勘测、施工、竣工和运营管理的各个环节，需要建立统一的空间数据基础，这样才能在勘测、施工、竣工和运营过程使轨道变形监测的测量数据基准统一，才有利于第三方的检测验收和测量数据的标准化和规范化。要成功地建设客运专线无砟轨道，就必须有一套完整、高效且非常精确的测量系统。因此，客运专线的勘测控制网、施工

控制网和运营维护控制网必须统一坐标系统和起算基准，即所谓“三网合一”。

高速铁路对轨道的平顺性要求主要有两条：一是短波指标，即 10 m 弦长轨向和高低偏差不大于 2 mm；二是长波指标，参照德国标准，即两检验点间距离 150 m 的轨向和高低偏差不大于 10 mm。这是客运专线控制网优化设计的最高技术指标。铁路建设的特点决定了测量控制网必然是分期建设，施工期间建立的控制网必须保证已建工程不受影响，设计坐标不得变更。不同阶段建立的控制网，需要在已有控制网的基础下加密，形成分级布网形式，先期的控制点坐标作为后期建网的已知数据参与平差。这种固定数据平差形式假定这些已知控制点是没有误差的（实际上必然含有误差），这样它们将以原始数据误差的形式影响（降低）加密控制网的精度。因此，客运专线分级控制网的设计只能采用考虑高级控制点原始数据误差的完整精度估算理论和模型，以达到在精度和可靠性约束条件下实现建网费用最省之目的。原始数据误差理论的提出距今已近半个世纪，历经几十年的不懈研究，已有一整套成熟的理论和方法。现行《工程测量规范》(GB50026—93) 明确规定，重大工程测量控制网优化设计需采用顾及原始数据误差的完整精度估算方法。采用完整精度估算方法进行多级控制网的优化设计、制定测量技术标准和规范，这在铁路、公路乃至其他长大线路工程测量中尚属首次，由此获得的客运专线测量技术指标不仅理论严密、方法得当，而且节省了大量的建网费用。她的成功应用对今后我国大型工程测量控制网的设计将产生深远的影响。

我国客运专线建设刚刚起步，无砟轨道测量实践经验尚显不足，急需培训大量的测量技术人员。无砟轨道测量精度要求高、技术新，测量方法和理念与传统的普通有砟轨道铁路完全不同。为使读者系统、全面地了解客运专线无砟轨道铁路工程测量技术，我们编写了这册《客运专线无砟轨道铁路工程测量技术》。书中介绍了客运专线无砟轨道结构的特点和德国高速铁路无砟轨道工程测量方法；将我国客运专线无砟轨道铁路测量标准与德国测量标准进行了对比分析，并按照客运专线建设过程顺序，分别介绍了客运专线无砟轨道铁路平面和高程控制网设计、变形监测、GPS 测量、各种结构形式无砟轨道施工工艺以及安装控制测量方法。书中首次论述了“三网合一”的概念和实现铁路工程测量系统统一的重要意义，系统介绍了客运专线控制网的

优化设计方法，包括解决控制网基准问题的零类设计、解决控制网布网问题的一类设计、解决控制网精度问题的二类设计以及解决已有控制网改进与加密问题的三类设计等内容，同时还根据遂渝线无砟轨道综合试验段的实践，较详细地介绍了遂渝线无砟轨道工程测量技术和方法。

本书是在国内外测量技术标准对比分析、客运专线无砟轨道工程控制网测量技术及其标准研究等大量理论研究、仿真模拟试验和遂渝线实践经验的基础上编写而成的，也是对《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》更进一步的诠释。本书可作为客运专线无砟轨道测量培训教材和大专院校师生学习参考书，同时也可作为从事客运专线无砟轨道铁路工程测量的技术人员、管理人员和关注铁路工程测量的人们提供参考。

参加本书编写的人员主要有：第1章，颜华；第2章，岑敏仪、张同刚；第3章、第4章、第5章，岑敏仪、任自珍、张同刚；第6章，卢建康；第7章，刘名君、魏永幸、巩江峰；第8章，岑敏仪、张同刚；第9章，王智勇；第10章，岑敏仪、王智勇、张同刚、颜华、卢建康。朱颖、米隆、吴明友负责全书内容的组织、修改和定稿工作。

限于编者水平，书中不妥之处，敬请读者批评指正。



# 目 录

1	客运专线无砟轨道结构特点	1
1.1	概 述	1
1.1.1	国外无砟轨道应用情况	1
1.1.2	国内无砟轨道应用情况	4
1.2	无砟轨道铺设精度要求	6
1.3	无砟轨道结构形式及结构特点	8
1.3.1	CRTS I 型板式无砟轨道 (CRTS I <sub>s</sub> )	8
1.3.2	CRTS II 型板式无砟轨道 (CRTS II <sub>s</sub> )	11
1.3.3	CRTS III 型板式无砟轨道 (CRTS III <sub>s</sub> )	13
1.3.4	CRTS I 型双块式无砟轨道 (CRTS I <sub>b</sub> )	14
1.3.5	CRTS II 型双块式无砟轨道 (CRTS II <sub>b</sub> )	16
2	国外无砟轨道工程测量	19
2.1	测量控制网	19
2.1.1	大地测量基准	19
2.1.2	控制网基准和扩展	20
2.1.3	控制网体系和维数	20
2.1.4	控制点密度	21
2.1.5	控制点指标	21
2.2	控制点选点和标志	22
2.2.1	选 点	22
2.2.2	标 志	22
2.3	平面控制网网形	23



2.4	国外无砟轨道施工测量 .....	24
2.4.1	旭普林 .....	24
2.4.2	弗莱德尔 .....	34
2.4.3	博格 .....	36
2.5	我国客运专线无砟轨道测量标准与德铁测量标准的比较 .....	38
2.5.1	德铁控制网标准 .....	38
2.5.2	现行无砟轨道控制网标准 .....	40
2.5.3	控制网对比 .....	41
3	无砟轨道铁路工程控制测量 .....	42
3.1	三网合一 .....	42
3.1.1	三网合一的概念 .....	42
3.1.2	重要性和意义 .....	43
3.2	平面控制网 .....	44
3.2.1	工程测量控制网的优化设计 .....	44
3.2.2	质量标准 .....	45
3.2.3	优化设计分类和解算 .....	46
3.2.4	无砟轨道平面控制网设计及技术指标 .....	53
3.2.5	无砟轨道平面控制网分级 .....	55
3.2.6	各级控制网的相互关系 .....	55
3.3	高程控制网 .....	55
3.3.1	高程控制的技术指标和要求 .....	55
3.3.2	高程控制的平差基准 .....	56
3.3.3	高程控制网形 .....	56
3.3.4	高程控制精度 .....	56
3.3.5	高程控制测量精度要求 .....	59
4	CP I 和 CP II 控制网 .....	60
4.1	CP I 网和 CP II 网的设计 .....	60
4.1.1	起算基准设计 .....	61

4.1.2 网形设计 .....	65
4.1.3 精度设计 .....	66
4.2 CP I 和 CP II 控制网测量技术要求 .....	67
4.3 数据处理 .....	69
4.3.1 CP I 网协方差阵 .....	69
4.3.2 CP II 网协方差阵 .....	71
<b>5 CP III 控制网</b> .....	<b>74</b>
5.1 起算基准设计 .....	74
5.2 网形设计 .....	74
5.3 精度设计 .....	74
5.3.1 轨道施工要求 .....	75
5.3.2 精度指标 .....	76
5.3.3 可靠性设计 .....	78
5.4 测量技术要求 .....	78
5.5 数据处理 .....	80
5.5.1 坐标参数协方差阵 .....	80
5.5.2 相邻控制点角度和边长中误差数学模型 .....	82
<b>6 无砟轨道铁路工程测量</b> .....	<b>83</b>
6.1 控制网设计 .....	84
6.2 初 测 .....	84
6.2.1 控制测量 .....	84
6.2.2 地形测量 .....	85
6.2.3 控制断面测量及专业调查测量 .....	86
6.3 定 测 .....	87
6.3.1 CP II 控制网测量 .....	87
6.3.2 线路定线测量 .....	87
6.3.3 路基断面测量 .....	89
6.3.4 桥涵定测 .....	89

6.3.5	隧道定测 .....	90
6.3.6	站场定测 .....	92
6.3.7	现场交桩 .....	92
6.4	线下工程施工测量 .....	93
6.4.1	施工复测 .....	93
6.4.2	施工控制网加密 .....	94
6.4.3	线路施工测量 .....	95
6.4.4	路基施工测量 .....	95
6.4.5	桥涵施工测量 .....	95
6.4.6	隧道施工测量 .....	96
6.5	线下工程竣工测量 .....	97
6.5.1	线路中线贯通测量 .....	97
6.5.2	路基竣工测量 .....	98
6.5.3	桥涵竣工测量 .....	98
6.5.4	隧道竣工测量 .....	99
6.6	无砟轨道铺设阶段测量 .....	99
6.6.1	CPⅢ网建立 .....	99
6.6.2	无砟轨道的安装测量 .....	100
6.6.3	轨道铺设竣工测量 .....	101
<b>7</b>	<b>无砟轨道铁路工程变形监测 .....</b>	<b>103</b>
7.1	路基变形监测 .....	104
7.1.1	无砟轨道路基工后沉降控制标准 .....	104
7.1.2	路基沉降观测的内容及方法 .....	105
7.1.3	观测断面布置 .....	106
7.1.4	观测技术要求 .....	107
7.1.5	观测数据记录及资料整理 .....	108
7.1.6	路基工后沉降预测与评估 .....	108
7.2	桥梁变形监测 .....	110
7.2.1	桥涵变形控制标准 .....	110

7.2.2	观测系统的建立	110
7.2.3	桥涵变形观测的阶段及频次	113
7.2.4	桥涵变形评估	115
7.3	隧道变形监测	116
7.3.1	观测断面的布设原则	116
7.3.2	观测点位的布置与埋设	116
7.3.3	观测的频度	117
7.3.4	观测的精度要求	118
7.3.5	评估方法及标准	118
<b>8</b>	<b>无砟轨道铁路工程 GPS 测量</b>	<b>119</b>
8.1	GPS 系统概述	119
8.1.1	系统组成	119
8.1.2	信 号	121
8.1.3	技术特点	122
8.2	测量误差来源	123
8.2.1	源自 GPS 卫星	123
8.2.2	源自信号传播	123
8.2.3	源自信号接收与处理	124
8.3	定位原理简介	125
8.3.1	单点定位原理	125
8.3.2	相对定位原理	126
8.4	控制网设计	129
8.4.1	精 度	129
8.4.2	网 形	130
8.4.3	基 准	130
8.5	外业测量	131
8.5.1	观测计划	131
8.5.2	野外观测	131
8.5.3	数据预处理	132



8.6	测量数据处理	132
8.7	铁路 GPS 测量的数据处理软件	133
8.7.1	三维平差和平面坐标转换	133
8.7.2	精度评定	134
8.7.3	高程转换	134
<b>9</b>	<b>无砟轨道施工工艺及安装测量</b>	<b>137</b>
9.1	安装测量目的及要求	137
9.2	无砟轨道测量精度与轨道类型的相关性	138
9.2.1	CRTS I 型、Ⅲ型板式无砟轨道	138
9.2.2	CRTS II 型板式无砟轨道	138
9.2.3	CRTS I 型双块式无砟轨道	139
9.2.4	CRTS II 型双块式无砟轨道	139
9.3	无砟轨道施工工艺、测量特点和要求	140
9.3.1	CRTS I 型板式无砟轨道	140
9.3.2	CRTS II 型板式无砟轨道	146
9.3.3	CRTS III 型板式无砟轨道	148
9.3.4	CRTS I 型双块式无砟轨道	149
9.3.5	CRTS II 型双块式无砟轨道	153
9.3.6	道岔区轨枕埋入式无砟轨道	156
<b>10</b>	<b>遂渝线无砟轨道试验段工程测量实例</b>	<b>159</b>
10.1	遂渝线无砟轨道试验段工程概况	159
10.1.1	线路概况	159
10.1.2	勘测阶段平面控制测量情况	160
10.1.3	勘测阶段高程控制测量情况	160
10.1.4	定测中线交点测量	160
10.2	平面 (CPI)、高程控制网	161
10.2.1	平面控制网测量	161
10.2.2	高程控制网测量	164

10.3 施工控制网建立 .....	166
10.3.1 施工平面控制网 (CP II) 测设 .....	167
10.3.2 施工高程控制网 .....	167
10.3.3 补测或重测 .....	167
10.3.4 数据处理 .....	169
10.4 无砟轨道施工测量 .....	169
10.4.1 铺轨预备工作 .....	169
10.4.2 基桩控制网 (CP III) 测设 .....	170
10.4.3 CRTS I 型板式轨道轨道板的施工放样 .....	172
10.4.4 CRTS I 型双块式轨道轨排的施工放样 .....	173
10.4.5 道岔施工放样 .....	174
10.4.6 铺设误差及对策 .....	175
10.5 结论及建议 .....	176
<b>参考文献</b> .....	<b>177</b>

## 1

# 客运专线无砟轨道结构特点

## 1.1 概 述

无砟轨道是以钢筋混凝土或沥青混凝土道床取代散粒体道砟道床的整体式轨道结构。与有砟轨道相比，无砟轨道具有以下特点：

- 良好的结构稳定性、连续性和平顺性；
- 良好的结构耐久性和少维修性能；
- 减少工务养护、维修设施；
- 减少客运专线特级道砟的需求；
- 免除高速行车条件下有砟轨道的道砟飞溅；
- 有利于适应地形选线，减少线路的工程投资；
- 可减轻桥梁二期恒载，降低隧道净空；
- 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 国外无砟轨道应用情况

自 20 世纪 60 年代开始，世界各国铁路相继开展了各种类型无砟轨道结构的研究。在日本，板式轨道已在新干线大量铺设，新建铁路的无砟轨道已超过全线的 90%，铺设总长度达 2 700 km。在德国，Rheda、Bögl、Züblin 等无砟轨道已在新建的高速线上全面推广，无砟轨道占线路总长度的 80% 以上，铺设总长度达到 800 km。

国外无砟轨道结构形式众多，应用较多、较为广泛的几种无砟轨道结构形式如下：

• 雷达（Rheda）型无砟轨道

Rheda 型无砟轨道是将预制轨枕埋入连续浇筑的混凝土道床板中的无砟轨道结构。Rheda 型无砟轨道于 1972 年首先铺设于德国比勒菲尔德至哈姆线的雷达车站，经过 30 多年不断的优化和完善，从最初的 Rheda 传统型（图 1—1）发展到现在的最新结构形式 Rheda 2000 型（图 1—2）。Rheda 型无砟轨道在德国得到了广泛应用，其铺设长度达到无砟轨道总长度的一半以上。



图 1—1 Rheda 型传统型无砟轨道

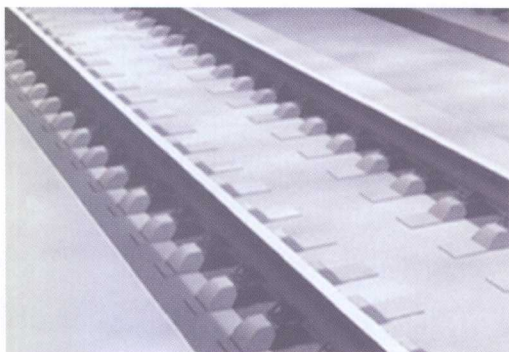


图 1—2 Rheda2000 型无砟轨道

• 博格（Bögl）板式无砟轨道

博格板式无砟轨道（图 1—3）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粘结和均匀的支承，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戈施塔特的新建高速线上铺设了 35 km。



图 1—3 Bögl 板式无砟轨道

• 旭普林（Züblin）无砟轨道

旭普林无砟轨道（图 1—4）系统与雷达型无砟轨道系统相似，都是在混



凝土支承层上铺设的双块式轨枕无砟轨道，只是所采用的施工工艺不同。施工中先灌注道床板混凝土，然后将安装好的双块式轨枕通过振动法嵌入压实的混凝土中，直至达到精确的位置。

旭普林无砟轨道在科隆至法兰克福高速线上铺设了 21 km。



图 1—4 Züblin 无砟轨道



图 1—5 板式轨道

#### • 板式轨道 (Slab)

日本板式轨道 (图 1—5) 经历了由温暖地区向寒冷地区、普通轨道板向防振轨道板、坚实基础向土质路基上长达 30 多年的运营实践和不断完善，并形成了标准。日本最早使用的是平板型板式无砟轨道，后为适应新干线沿线的环境，开发了防振型板式轨道。此外，为减少材料用量、降低造价，所开发的框架型板式轨道也得以应用。目前定型的结构形式主要包括 A 型、框架型、用于特殊减振区段的防振 G 型等，构成了适应各种不同使用范围的板式轨道系列。

#### • 弹性支承块式无砟轨道 (Low vibration track)

弹性支承块式无砟轨道 (图 1—6) 为减振型轨道，通过在支承块下设置橡胶弹性垫层和橡胶靴套，为轨道结构提供良好的弹性。弹性支承块式无砟轨道自瑞士国有铁路 1966 年首次采用以来，在很多国家



图 1—6 弹性支承块式无砟轨道