

WUGUANG TIELU KEYUN ZHUANXIAN  
WUZHA GUIDAO JINGMI GONGCHENG CELIANG

# 武广铁路客运专线 无砟轨道精密工程测量

王志坚 杨友元 李明颌 刘 彬 编著



# 武广铁路客运专线无砟轨道 精密工程测量

王志坚 杨友元 李明领 刘 彬 编著



中国铁道出版社

2012年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

武广铁路客运专线无砟轨道精密工程测量/王志坚等,  
编著. —北京:中国铁道出版社,2012.9  
ISBN 978-7-113-14593-4

I. ①武… II. ①王… III. ①铁路运输-客运专线-  
无砟轨道-轨道测定-中国 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 082913 号

书 名: 武广铁路客运专线无砟轨道精密工程测量  
作 者: 王志坚 杨友元 李明领 刘 彬

---

责任编辑: 江新锡 曹艳芳 电话: 010-51873018 电子信箱: jxinxi@sohu.com  
编辑助理: 王 健 张荣君  
封面设计: 郑春鹏  
责任校对: 张玉华  
责任印制: 郭向伟

---

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)  
网 址: <http://www.tdpress.com>  
印 刷: 北京精彩雅恒印刷有限公司  
版 次: 2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷  
开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 10 字数: 137千  
书 号: ISBN 978-7-113-14593-4  
定 价: 55.00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,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187



# 前言

武广铁路客运专线是我国引进、消化世界先进铁路建设技术,自主建设的第一条长距离干线高速铁路,达到世界先进水平,对我国高速铁路建设具有引领和示范作用。

高速铁路轨道的平顺性是重要指标,为保证轨道的几何设计参数和轨道的平顺性要求,必须建立相应的高速铁路精密工程测量体系,建立高等级的平面控制网(CP I、CP II)和二等水准高程控制网,以及轨道控制网 CP III,并进行轨道的精测精调。

精密工程测量是高速铁路建设的关键技术之一,本书全面总结了武广铁路客运专线无砟轨道工程控制网测量和轨道的精测精调技术,共分八章:第一章武广铁路客运专线工程概况;第二章高速铁路控制测量基本知识;第三章武广铁路客运专线平面控制测量;第四章武广铁路客运专线高程控制测量;第五章武广铁路客运专线 CP III 控制测量;第六章武广铁路客运专线无砟轨道铺设测量;第七章武广铁路客运专线无砟轨道精调与动态检测;第八章高速铁路在运营期间无砟轨道检测和调整。本书可作为从事高速铁路工程测量的技术人员、管理人员的参考书。

本书是在武广铁路客运专线参建单位对工程测量总结的基础上完成的,广大工程管理和测量技术人员发表大量的科技论文,为本书提供了丰富的参考资料。在本书编写中,中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司和武汉大学测绘学院给予积极的支持。作者在此谨向有关单位和个人表示衷心感谢。

限于作者水平,书中不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2012年2月



<b>第一章 武广铁路客运专线工程概况</b> .....	1
1.1 工程概况 .....	1
1.2 无砟轨道的结构形式 .....	3
1.3 精密工程测量控制测量体系 .....	6
1.4 精密工程测量控制测量的管理 .....	10
<b>第二章 高速铁路控制测量基本知识</b> .....	13
2.1 高速铁路控制测量特点 .....	13
2.2 坐标系与投影变换 .....	14
2.3 控制测量仪器 .....	22
2.4 平面控制测量方法 .....	26
2.5 高程控制测量方法 .....	43
<b>第三章 武广铁路客运专线平面控制测量</b> .....	49
3.1 平面控制网布设 .....	49
3.2 CP I、CP II GPS 控制网观测与数据处理 .....	54
3.3 CP II 导线控制网观测与数据处理 .....	57
3.4 CP I、CP II 平面控制网复测 .....	59
<b>第四章 武广铁路客运专线高程控制测量</b> .....	62
4.1 高程控制网布设和观测 .....	62
4.2 高程控制网的数据处理和精度分析 .....	66
4.3 高程控制网复测 .....	68
4.4 精密三角高程测量应用案例 .....	70
<b>第五章 武广铁路客运专线 CP III 控制测量</b> .....	74



## 武广铁路客运专线无砟轨道精密工程测量

5.1	CPⅢ控制网技术设计 .....	74
5.2	CPⅢ控制网测量实施 .....	80
5.3	CPⅢ控制网数据处理 .....	85
5.4	CPⅢ控制网测量精度分析 .....	96
5.5	CPⅢ控制测量评估 .....	101
5.6	在高速铁路特大桥 CPⅢ 高程测量中的高程传递 .....	103
<b>第六章</b>	<b>武广铁路客运专线无砟轨道铺设测量 .....</b>	<b>107</b>
6.1	无砟轨道铺设测量的技术标准 .....	107
6.2	轨道测量方法与设备 .....	108
6.3	无砟轨道铺设测量 .....	111
6.4	无砟轨道道岔铺设测量 .....	116
6.5	连续梁桥面无砟轨道铺设调整测量 .....	123
<b>第七章</b>	<b>武广铁路客运专线无砟轨道精调与动态检测 .....</b>	<b>127</b>
7.1	CPⅢ控制网复测 .....	127
7.2	无砟轨道长轨的精测、精调 .....	128
7.3	无砟轨道动态检验及轨道调整 .....	137
<b>第八章</b>	<b>高速铁路在运营期间无砟轨道检测和调整 .....</b>	<b>144</b>
8.1	高速铁路在运营期间无砟轨道检测方法 .....	144
8.2	高速铁路在运营期间控制测量作用 .....	146
8.3	高速铁路在运营期间控制测量的实施 .....	149
<b>参考文献</b>	.....	<b>152</b>

# 第一章

## 武广铁路客运专线工程概况

### 1.1 工程概况

#### 1.1.1 地理位置及径路

武广铁路客运专线位于湖北、湖南、广东三省境内,北起武汉市的武汉站,途经咸宁、岳阳、长沙、湘潭、株洲、衡阳、郴州、韶关、清远、佛山 10 个地市,南到广州市的新广州站(图 1-1),正线全长 968.57 km,其中湖北境内长度为 152 km,湖南省境内为 518 km,广东省境内为 298 km。全线设 15 座客运站,营运里程 1 068.6 km,是“四纵四横”快速客运网京广铁路客运专线的重要组成部分。

武广铁路客运专线全线桥梁 684 座 468.511 km,占线路总长的 48.4%,其中大桥 375 座共 91.482 km;特大桥( $< 3$  km)212 座共 232.485 km;特大桥( $\geq 3$  km)23.5 座共 135.162 km。隧道及明洞工程 226 座 177.218 km,占线路总长的 18.3%,其中特长隧道 2 座,总长 20.196 km;长隧道 12 座,总长 61.630 km;中长隧道 56 座,总长 61.673 km。路基 322.841 km,占线路总长的 33.3%。正线轨道按一次铺设跨区间无缝线路设计,铺设无砟轨道。正线高速道岔 169 组,其中长枕埋入式道岔 76 组,板式道岔 93 组。2005 年 6 月开工建设,2009 年 12 月 26 日正式运营。

武广铁路客运专线乌龙泉至花都段位于中南、华南地区,线路行经于湖北、湖南、广东三省。线路自江汉平原,穿越湘鄂交界的五尖大山进入洞庭湖盆地,之后线路行经于长沙、株洲、衡阳三大红层盆地,进入湘南中高丘陵区,线路过郴州后行经于五盖山与骑田岭夹持地带于武水东穿越



图 1-1 武广铁路客运专线线路示意图

南岭瑶山山脉后进入韶关断陷盆地,然后线路顺北江西岸南行,穿越粤北低山丘陵区或河谷区,进入珠江三角洲平原。临湘至岳阳之间的五尖大山,以及湘粤交界的南岭瑶山山脉为中低山区,五尖大山峰岭高程为 588.1 m,相对高差 170~393 m。南岭瑶山山脉区内最高峰岭高程近千米,山峦巍峨,河谷深切,地形险峻,东有五盖山,西为骑田岭,南为大瑶山东西向山脉,武水乘隙穿凿其间,两岸沟壑纵横,河床狭窄,水流湍急,是著名的九龙十八滩险地所在,是全线地形、地质最困难地段。

武广铁路客运专线线路主要穿越长江水系和珠江水系。线路穿越长江水系,湖北省境内主要与淦河、陆水、新店河等相关,湖南省境内主要与





湘江干流及其支流新墙河、汨罗江、白沙河、捞刀河、浏阳河、耒水等相关。线路在广东省穿越珠江水系,主要与北江干流及其支流武水、连江等相关。

### 1.1.2 工程主要技术标准

武广铁路客运专线速度目标值为 350 km/h,联络线、动车走行线等其他线路,按其确定的速度目标值采用对应的技术标准。其他线路速度目标值为:株洲北联络线 140~200 km/h;株洲南联络线 120~200 km/h;株洲十里冲西南(南西)联络线 120~200 km/h;长沙(株洲)枢纽西北联络线 140 km/h;广州北联联络线 140~200 km/h;动车组联络线不大于 120 km/h;养护维修列车走行线不大于 100 km/h。

相应主要技术标准如下:

铁路等级:客运专线。

正线数目:双线。

正线最小曲线半径为 9 000 m,困难地段 7 000 m。最大曲线半径一般不大于 12 000 m,个别不大于 14 000 m。

相邻坡度代数差不小于 1‰时设置圆曲线型竖曲线,竖曲线半径介于 25 000 m 至 35 000 m 之间,视情况选用。

正线线间距:5 m。

最大坡度:一般 12‰,最大 20‰。

到发线有效长度:650 m。

牵引种类:电力。

列车运行控制方式:自动控制。

调度指挥方式:综合调度。

建筑限界:按《新建时速 300~350 公里客运专线铁路设计暂行规定》(铁建设〔2007〕47 号)执行。

## 1.2 无砟轨道的结构形式

武广铁路客运专线全线除武汉站、广州站及其北侧大跨径桥梁地

段为有砟轨道外,其余地段均为无砟轨道。无砟轨道主要类型有: CRTS I 型双块式、单元板式、道岔区轨枕埋入式、道岔区板式等。在武汉综合试验段内(正线全长 62.160 km)铺设有多种无砟轨道结构形式。

## 1.2.1 双块式无砟轨道

双块式无砟轨道是将预制的双块式轨枕组装成轨排,以现场浇筑混凝土方式将轨枕浇入均匀连续的钢筋混凝土道床内,为混凝土浇筑一次性成型的轨道结构。双块式无砟轨道由钢轨、弹性扣件、带有桁架钢筋的双块式轨枕、现浇钢筋混凝土道床板、桥面钢筋混凝土保护层(仅桥梁地段设置)或混凝土支承层(仅路基地段设置)、垫层(仅隧道地段设置)等组成,可应用于路基、桥梁和隧道地段,如图 1-2、图 1-3 和图 1-4 所示。双块式无砟轨道系统采用铁道部由德国前弗莱德(现睿铁)公司引进的全套技术,除轨枕为工厂预制外,道床板、支承层、保护层等其他构件均采用混凝土现浇,且路基和隧道地段为连续浇筑,因而结构整体性好,施工难度低。

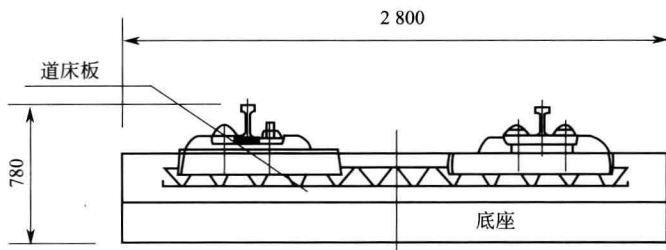


图 1-2 双块式无砟轨道轨枕断面图(单位:mm)

## 1.2.2 单元板式无砟轨道

单元板式无砟轨道结构从上至下由钢轨、扣件、轨道板、CA 砂浆调整层和底座和凸型挡台组成,如图 1-5 和图 1-6 所示。轨道板需在厂内预制,其质量应满足相关技术要求。



图 1-3 双块式无砟轨道结构



图 1-4 双块式无砟轨道结构组成

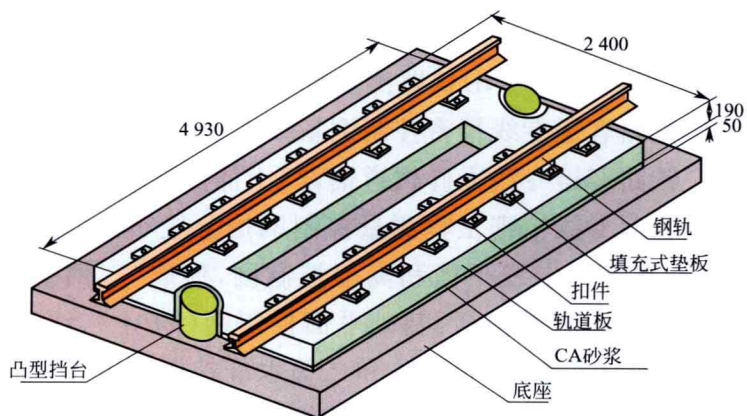


图 1-5 单元板式无砟轨道结构示意图(单位:mm)



图 1-6 单元板式无砟轨道结构

## 1.3 精密工程测量控制测量体系

### 1.3.1 精密工程测量控制测量体系基本情况

精密工程测量控制测量执行的规范及标准有：

- (1)《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设[2006]189号)；
- (2)《客运专线无砟轨道铁路工程施工质量验收暂行标准》(铁建设[2007]85号)；
- (3)《国家一、二等水准测量规范》(GB/T 12897—2006)；
- (4)《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T 18314—2001)；
- (5)《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB 10054—97)；
- (6)《武广铁路客运专线精密控制测量技术书》；
- (7)《武广铁路客运专线无砟轨道铺设 CPⅢ控制网测量技术方案》。

武广铁路客运专线精密工程测量控制网按分级布网、逐级控制的原则，建立武广铁路客运专线平面和高程控制网，形成“三网合一”控制体系。精密工程测量控制网包括：基础平面控制网(CPⅠ)、线路平面控制网(CPⅡ)、轨道平面控制网(CPⅢ)和二等水准控制网及 CPⅢ精密水准控制网。武广等客运专线精密工程测量控制网的特点是坐标系统、高程基准及测量精度的协调统一，CPⅡ附合到 CPⅠ上，CPⅢ平面控制网附合

到 CP I 或 CP II 控制点上,CP III 高程控制网附和到二等水准点上。武广铁路客运专线精密工程测量控制测量体系改变了过去我国铁路建设没有一套适应于勘测、施工、运营维护各阶段使用的完整控制测量系统。按“三网合一”理念建立的精密控制网不仅适应了我国铁路现代化建设的要  
求,而且为铁路工程的勘测、施工、竣工和运营维护建立了统一基准,使工程建设各阶段测量数据统一协调。

武广铁路客运专线各级平面控制网的要求,按照《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设[2006]189 号)的要求,平面控制网布网要求见表 1-1。

**表 1-1 无砟轨道铁路工程测量平面控制网布网要求**

控制网级别	测量方法	测量等级	点间距	备注
CP I	GPS	B 级	≥1000 m	≤4 km 一对点
CP II	GPS	C 级	800~1000 m	
	导线	四等		
CP III	导线	五等	150~200 m	10~20 m 一对点
	后方交会		50~60 m	

武广铁路客运专线平面控制网坐标系统采用 1954 年北京坐标系椭球,建立高斯投影工程独立坐标系统。根据工程需要,技术设计书规定:“边长投影在对应的线路设计平均高程面上,投影长度的变形值不大于 10 mm/km。”,全线共采用 19 个任意中央子午线,中央子午线及高程投影面划分见表 1-2。

**表 1-2 武广铁路客运专线中央子午线及高程投影面划分**

序号	里 程	中央子午线	高程异常(m)	线路平均高程(m)	投影面大地高(m)
1	DK1191—DK1300	114 度 15 分	45	40	85
2	DK1298—DK1329	114 度 0 分	45	60	105
3	DK1323—DK1361	113 度 45 分	45	60	105
4	DK1360—DK1391	113 度 30 分	45	70	115
5	DK1389—DK1487	113 度 15 分	45	65	110
6	DK1487—DK1657	113 度 0 分	45	60	105

续上表

序号	里 程	中央子午线	高程异常(m)	线路平均高程(m)	投影面大地高(m)
7	DK1655—DK1751	112 度 45 分	45	80	125
8	DK1751—DK1793			100	145
9	DK1793—DK1803			130	175
10	DK1803—DK1826			170	215
11	DK1824—DK 1857	113 度 0 分	45	200	245
12	DK1857—DK1870			250	295
13	DK1870—DK1881			300	345
14	DK1881—DK1904			250	295
15	DK1904—DK1918	113 度 20 分	50	240	290
16	DK1918—DK1939			180	230
17	DK1939—DK1959			120	170
18	DK1959—DK1989			80	130
19	DK2167—DK2220	113 度 15 分	50	0	50

武广铁路客运专线各级高程控制网的要求,按照《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号)的要求,高程控制网布网要求见表 1-3。高程坐标系采用 1985 年国家高程基准。

**表 1-3 无砟轨道铁路工程测量高程控制网布网要求**

控制网级别	测量等级	点间距
勘测高程控制测量	二等水准测量	$\leq 2\ 000\ \text{m}$
	四等水准测量	
水准基点高程控制测量	二等水准测量	$\leq 2\ 000\ \text{m}$
CPⅢ 高程测量	精密水准测量	$\leq 200\ \text{m}$

各标段(即工程局施工单位)先复测设计院提供的 CP I、CP II 控制网,满足有关误差范围要求,再在设计院提供的 CP I、CP II 点的基础上根据各自标段情况加密自己的 CP II 点;二等水准点复测满足要求并加密二等水准点。依据复测的 CP I、CP II 和二等水准控制点进行路基、桥梁、隧道施工测量。在无砟轨道铺轨前设计院进行全线或区域性的





CP I、CP II 和二等水准的复测及长大隧道的加密测量。各标段施工单位再次复测后进行 CP III 控制网布设。在测量 CP III 控制点的时候,平面每隔 500~1 000 m 联测 CP I、CP II 点,高程每隔 2 000~3 000 m 联测二等水准点;各标段之间要进行 CP II、CP III 贯通衔接测量。在轨道精调前对 CP III 控制网进行系统复测以指导轨道精调。

武广铁路客运专线武汉站(不含)至新广州站(不含)设计共布设精测网 CP I 点约 413 个,CP II 点约 557 个,施工单位 CP II 加密点约 1 045 个,二等水准点 599 个;无砟轨道基桩 CP III 点控制点约 14 269 对(29 538 个)。

### 1.3.2 精密工程测量控制网的测量方法和精度指标

#### 1. CP I 平面控制网

CP I 平面控制网根据《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设[2006]189 号)的要求施测,CP I 控制网采用 GPS 测量方法,最弱边相对中误差小于 1/170 000,基线边方向中误差不大于 1.3"。

#### 2. CP II 平面控制网

CP II 平面控制网根据《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设[2006]189 号)的要求施测,CP II 主要采用 GPS 测量方法,最弱边相对中误差小于 1/100 000,基线边方向中误差不大于 1.7"。在隧道贯通后测量 CP III 控制网之前,采用全站仪导线测量隧道洞内 CP II 导线。隧道长度 1~4 km,布设四等导线网;4~7 km 布设三等导线网,7 km 以上,则布设二等导线网。

#### 3. 二等水准控制网

二等水准测量根据《国家一、二等水准测量规范》(GB/T 12879—2006)的要求施测,二等水准测量的测段往返测不符值满足  $\pm 4\sqrt{K}$  mm ( $K$  为测段长度,单位 km),附和水准路线闭合差满足  $\pm 4\sqrt{L}$  mm ( $L$  为附和长度,单位 km),每千米水准测量偶然中误差  $M_{\Delta}$  不大于 1 mm,每千米水准测量全中误差  $M_w$  不大于 2.0 mm。在部分困难地段采用精密三角高程测量方法施测,并满足二等水准测量精度。

## 4. CPⅢ控制网

根据《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号)的要求,采用自由设站测量,CPⅢ控制网的平面定位精度要求见表 1-4。

表 1-4 CPⅢ控制点的定位精度要求(mm)

控制点		可重复性测量精度	相对点位精度(X、Y 方向)
CPⅢ	自由设站测量	5	1

CPⅢ高程控制网测量按精密水准测量要求执行,精密水准测量精度要求见表 1-5。

表 1-5 精密水准测量精度要求(mm)

水准测量等级	每千米水准测量偶然中误差 $M_{\Delta}$	每千米水准测量全中误差 $M_w$	限 差			
			检测已测段高差之差	往返测不符值	附和路线或环线闭合差	左右路线高差不符值
精密水准	$\leq 2.0$	$\leq 4.0$	$12\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$	$4\sqrt{L}$

## 1.4 精密工程测量控制测量的管理

### 1.4.1 精密工程测量控制网总体要求

在武广客运专线建设期间,根据铁道部有关标准、规范和规定,对精密测量控制系统总体要求如下:

(1)建设、勘察设计、施工及监理单位要提高对工程测量控制网重要性的认识,将工程测量控制网作为工程的一部分(固定资产的一部分)进行测设和管理,依据国家和铁道部保密规定对工程测量控制网设施及资料进行管理。

(2)武广铁路客运专线应构建适应于勘测、施工、运营维护各阶段使用的“三网合一”的完整统一的工程测量控制网。

### 1.4.2 各参建单位的责任分工

(1)建设单位负责组织工程测量控制网测设和维护管理工作,要对设





计单位提交的工程测量控制网设计方案进行审查,对测设工作进行统一管理,统一平差标准,统一组织复测和验交。督促勘察设计、施工单位做好基桩维护、资料保管和交接工作。

(2) 勘察设计单位负责客运专线工程测量控制网中的 CP I、CP II 及相应高程控制网的测设和建设期间的维护管理工作,并及时处理建设过程中上述测量成果相关问题,同时为施工单位测设 CP III 提供基础资料。

(3) 施工单位负责 CP III 测设工作并负责维护管理工作。

(4) 监理单位负责对施工单位 CP III 测设工作进行质量监控。

(5) 各参建单位应明确组织结构和责任人,负责精密测量控制网的(组织)测设、质量监控或维护管理。

### 1.4.3 工程测量控制网管理工作程序

(1) 在工程测量控制网测设前,由客运专线总体勘察设计单位制订工程测量控制网设计方案,提交建设单位进行审查。

(2) 勘察设计单位根据审定的工程测量控制网设计方案进行客运专线工程测量控制网中的 CP I、CP II 及相应高程控制网的测设。

(3) 建设单位组织勘察设计单位向施工、监理单位进行技术交底和线路基桩交接,同时应将 CP I、CP II 和水准点及施工单位测设 CP III 需要的资料交各施工单位。

(4) 建设单位组织勘察设计单位会同施工单位对 CP I、CP II 和水准点进行复测。

(5) 施工单位依据复测资料和规范进行 CP III 测设。其过程是:各标段(即工程局施工单位)先复测设计院提供的 CP I、CP II 控制网点,满足有关误差范围要求,再在设计院提供的 CP I、CP II 点的基础上根据各自标段情况加密自己的 CP II 点;二等水准点复测满足要求并加密二等水准点。依据复测的 CP I、CP II 和二等水准控制点进行路基、桥梁、隧道施工测量。在无砟轨道铺轨前设计院进行全线或区域性的 CP I、CP II 和二等水准的贯通测量及长大隧道的贯通测量;各标段施工单位再次复测后进行 CP III 控制网布设。在测量 CP III 控制点的时候,平面每隔 500~