

高速铁路无砟轨道 CPIII 控制网测量技术

冷道远

(中铁隧道集团有限公司, 河南 洛阳 471009)

摘要: 高速铁路无砟轨道要求具有良好的稳定性、连续性和高平顺性, 施工中需采用高精度三维控制测量技术。结合温福铁路飞鸾隧道、甬台温铁路九牛山隧道及凤凰山隧道的测量实践, 介绍高速铁路无砟轨道 CPIII 控制网测量技术的特点、技术要求以及测量方法, 并对部分测量误差进行了分析。

关键词: 高速铁路; 无砟轨道; CPIII 控制网; 测量技术

中图分类号: U 452.1

文献标志码: B

文章编号: 1672-741X(2009)02-0239-04

CPIII Control Points Survey Technology for Ballastless Track of High-Speed Railway

LENG Daoyuan

(China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Luoyang 471009, Henan, China)

Abstract: The ballastless track of high-speed railways should be of good stability, continuity and high evenness. High accuracy three-dimensional control survey technology is needed in the construction of the ballastless track. Taking the survey practice in Feiluan Tunnel on Wenzhou-Fuzhou Railway and Jiuniushan Tunnel and Fenghuangshan Tunnel on Ningbo-Taizhou-Wenzhou Railway as example, the author presents the characteristics, technical requirements and survey method of CPIII control points survey technology for the ballastless track of high-speed railways and makes analysis on some survey errors.

Key words: high-speed railway; ballastless track; CPIII control points; survey technology

0 引言

高速铁路客运专线无砟轨道是以钢筋混凝土或沥青混凝土整体式道床取代散粒体道砟道床的轨道结构, 与有砟轨道相比, 无砟轨道主要具有以下特点: 良好的轨道稳定性、连续性和平顺性; 良好的结构耐久性和少维修性能; 工务养护、维修设施减少; 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。

自 20 世纪 60 年代开始, 世界各国铁路相继开展了各类无砟轨道的研究。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。德国铁路 Rheda、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的 80% 以上, 铺设总长度达到 800 km。

为了适应客运专线铁路高速行车对平顺性、舒适性的要求, 客运专线铁路轨道必须具有较高的平顺度

标准, 为此德国和中国对于 200 km/h 以上铁路轨道平顺度均制定了较高的精度标准。对于无砟轨道, 轨道施工完成后基本不再具备调整的可能性, 由于施工误差、线路运营以及线下基础沉降所引起的轨道变形只能依靠扣件进行微量的调整。客运专线扣件技术条件^[1]中规定扣件的轨距调整量为 ± 10 mm, 高低调整量 -4、+26 mm, 因此, 用于施工误差的调整量非常小, 对施工精度有着较有砟轨道更严格的要求。

1 概述

由于过去传统的铁路运行速度较低, 对轨道平顺性的要求不高, 在勘测、施工中没有要求建立一套适应于勘测、施工、运营维护的完整的控制测量系统。以往的平面控制网测量等级分为一等、二等、三等、四等、五等, 坐标系统可以采用国家坐标系^[2], 也可以局部假定坐标系。高速铁路平面测量控制网分为 3 级: CP I、CP II、CP III (CP 为 control points 的缩写), 统一采用国家坐标系统, 这将更加规范化和系统化。各级平面控制网^[3]的布网要求见表 1, 其作用为:

- 1) CP I 主要为勘测、施工、运营维护提供坐标基准;
- 2) CP II 主要为勘测和线下工程施工提供控制基准;
- 3) CP III 主要为轨道铺设和运营维护提供控制基准。

表1 各级平面控制网布网要求

Table 1 Layout requirements for horizontal control points of various levels

控制网级别	测量方法	测量等级	点间距/m	备注
CP I	GPS	C级	≥ 1000	≤ 4 km 一对点
CP II	GPS	D级	800 ~ 1000	
	导线	四等	400 ~ 600	
CP III	导线 后方交会	五等	150 ~ 200 m	10 ~ 20 一对点

注:1)当 CP II 采用 GPS 测量时,CP I 的点间距为 4 km;2)当 CP II 采用导线测量时,CP I 的点间距为 4 km 一对相互通视的点。

2 主要特点

1) 高速铁路由于行车速度高,建设标准高,要求无砟轨道具有良好的稳定性、连续性和高平顺性,因此,要建设好一条高速铁路就必须有一套完整的高精度的控制测量体系。

2) 无砟轨道铺设技术的引进在国内时间较短,其特点是施工工艺新、技术要求严、科技含量高,无砟轨道铺设前期测量工作显得尤为重要。无砟轨道的测量采用全新的高精度三维控制测量技术,使用 GPS 全球卫星定位系统^[4-6]进行 CPI、CPII 控制测量,而 CPI 属高速铁路高等级控制网,是保证全线贯通的基础,最终使用 CPIII 控制网进行三位一体精确定位。铺轨测量误差要求高,平面、高程控制在 1 mm 之内。

3 CPIII 控制点测量技术要求

1) CPIII 平面精度:相对误差不超过 1 mm,点位误差不超过 5 mm。

2) CPIII 高程精度:相对误差不超过 1 mm。

3) 联测水准点闭合差^[7-8]:小于 $4\sqrt{L}$ mm(其中 L 为距离,单位为 km)。

4) 全线的平面坐标和高程坐标应统一。

5) 平面投影变形应满足无砟轨道要求:10 mm/km。

4 无砟轨道 CPIII 控制网测量的时机^[9-10]

1) 线下工程已经竣工验收合格。

2) 变形稳定,符合铺设无砟轨道条件:

①路基沉降稳定;

②桥梁墩台沉降稳定、梁部上拱及收缩徐变稳定;

③隧道应力变化稳定;

④其他支挡工程变形稳定。

3) 已知点(CPI、CPII、水准点)坐标数据可靠。

5 测量方法

5.1 平面控制测量

5.1.1 对全站仪的要求

1) 应为能自动对中目标(棱镜)的测量机器人;

2) 角度测量标称精度不低于 1";

3) 距离测量标称精度不低于 $2\text{ mm} + 2\text{ ppm}$ (一般用 $1\text{ mm} + 2\text{ ppm}$ 的仪器);

4) 检定合格。

5.1.2 测量原理及方法

使用边角交会法测量。CPIII 控制网采用自由设站交会网(《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定^[3]》称为“后方交会网”)的方法测量,CPIII 控制点的点间距一般应为 50 ~ 60 m 1 对。第 1 站在起始的 2 对 CPIII 点中间自由设站,测量前后各 1 对(共 2 对计 4 个)CPIII 点的角度和距离;第 2 站在 4 对(包括起始第 1 对点)CPIII 点中间自由设站,测量前后各 2 对共 8 个点;第 3 站在 6 对 CPIII 之间自由设站,测量前后 3 对点共 12 个点。此后每一站都测量 12 个 CPIII 点,每个测站至少观测每个 CPIII 点 2 测回,距离的观测应与水平角观测同步进行,并由全站仪自动进行。最终保证每个 CPIII 点至少被观测 3 次(一般情况)。每个测站最远测量长度约为 150 m。在 1 个测段结束的最后 3 站要按开始的相反顺序进行测量,即倒数第 3 站测量 12 个 CPIII 点,倒数第 2 站测量 8 个 CPIII 点,最后 1 站测量 4 个 CPIII 点(见图 1)。

若有多个测段,相邻的 2 个测量段间至少重叠测量 3 对 CPIII 点(约为 180 m 的重叠测量距离),一般衔接 4 对 CPIII 点。

按照第四设计院发的 CPIII 测量作业指导书所述,测量进度约为 500 ~ 600 m/组天。实际测量过程中在没有干扰的情况下可以达到 1200 m 左右/组天。

5.1.3 与上一级 CP II 控制点联测

与上一级 CP II 控制点联测时应保证 600 m 左右的间隔联测 1 个,一般情况下应通过 2 个或 2 个以上线路上的自由测站,见图 2。联测高等级控制点时,应最少观测 3 个完整测回数据(其测量误差应在 5 mm 以下)。

5.1.4 边角交会法测量的误差分析

1) 观测点是在隧道边墙离水沟顶部 30 ~ 50 cm 处打孔埋点,在观测时使用专用插销插入孔中,在插销一端装上反射镜进行测量。此方法属于强制对中方法,这样就消除了以往使用对点器对中整平带来的对点误差,提高了测量精度。

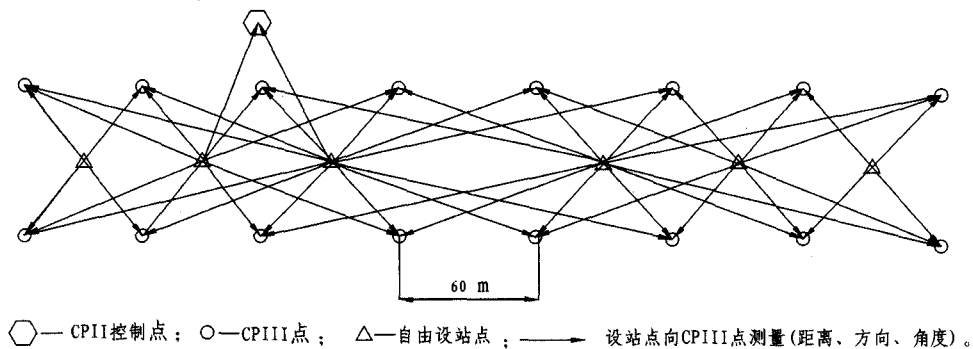


图1 自动全站仪测量 CPIII 点示意图

Fig. 1 Sketch of CPIII points survey with automatic total station

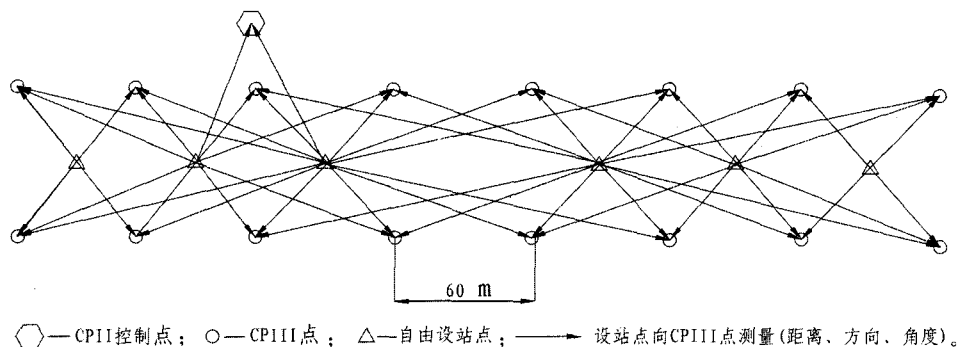


图2 与已知点的直接联测示意图

Fig. 2 Sketch of direct translocation with the known points

2) 仪器的安置是自由设站,只需将仪器整平即可,无需对中,这样又减少了仪器的对点误差,提高了测量精度。仪器的安置尽量使前后视距相等,可以减小视距差过大带来的视距误差。

3) 由于后方交会法并不是一种很严密的测量方法,其自身会有较大的误差传递,因此在 CP III 的测量中,必须保证每个 CP III 控制点要达到重复测量 3 次以上,用专门的通过相关部门正式检定合格的软件进行数据的分析处理。

5.2 高程控制测量

高程控制测量利用水准仪进行,往返测量 CP III 控制点,得到 CP III 点的精确高程。

5.2.1 对水准仪的要求

1) 水准仪标称精度应不低于 DS1。推荐使用不低于 0.4 mm/km 的数字式水准仪。

2) 水准仪必须检定合格。

5.2.2 观测方法

1) 往测 以一个水准点为已知点开始测量。水准测量路线一侧的 CP III 点作为交替测点,另一侧相对的 CP III 点则作为中视点,测量到下一个水准点时结束。见图 3。

2) 返测 从往测的结束已知水准点开始,往测的中视点在返测中作为前、后视点。另一侧相对的 CPIII 点(往测的前、后视点在返测中作为中视点)则

作为中视点,测量到往测的开始水准点结束。见图 4。

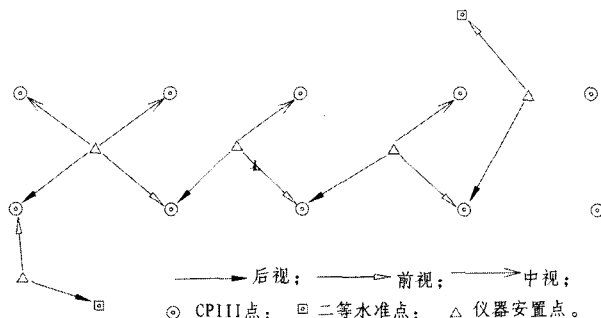


图3 往返水准仪测量往测路线观测示意图

Fig. 3 Observation sketch of back-and-forth level survey for the alignment in the "forth" direction^[10]

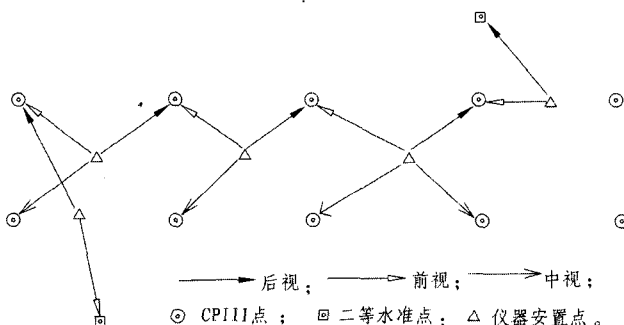


图4 往返水准仪测量返测路线观测示意图

Fig. 4 Observation sketch of back-and-forth level survey for the alignment in the "back" direction

5.2.3 CPⅢ高程控制点精度要求

CPⅢ高程控制点测量精度要求见表2。

CPⅢ控制点水准测量应按《客运专线无砟轨道铁路工程测量技术暂行规定》中的“精密水准”测量的要求施测。CPⅢ控制点高程测量工作应在CPⅢ平面测量完成后进行,并起闭于二等水准基点,且1个测段联

测不应少于3个水准点。

水准测量作业结束后,每条水准测量路线应按测段往返测高差不符值计算偶然中误差 M_{Δ} ;当水准网的环数超过20个时,还应按环线闭合差计算 M_w 。 M_{Δ} 和 M_w 应符合表2的规定,否则应对较大闭合差的路线进行重测。 M_{Δ} 和 M_w 应按下列公式计算^[3]:

表2 各等级水准测量精度要求

Table 2 Accuracy requirements for leveling surveying of various levels

水准测量等级	每 km 水准测量偶然中误差 M_{Δ}	每 km 水准测量全中误差 M_w	限差			
			附和路线或环线闭合差	左右路线高差不符值	检测已测段高差之差	往返测不符值
二等水准	≤ 1.0	≤ 2.0	$6\sqrt{L}$	$4\sqrt{L}$	$4\sqrt{L}$	
精密水准	≤ 2.0	≤ 4.0	$12\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$	$4\sqrt{L}$
三等水准	≤ 3.0	≤ 6.0	$20\sqrt{L}$	$12\sqrt{L}$	$12\sqrt{L}$	$8\sqrt{L}$
四等水准	≤ 5.0	≤ 10.0	$30\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$14\sqrt{L}$

注:表中 L 为往返测段、附和或环线的水准路线长度,单位 km。

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{\Delta\Delta}{L} \right]}$$

$$M_w = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{WW}{L} \right]}$$

式中: Δ 为测段往返高差不符值,mm; L 为测段长,km; n 为测段数目; W 为经过各项修正后的水准环线闭合差,mm; N 为水准环线数目。

6 内业数据处理

在自由设站CPIII测量中,必须使用全站仪能自动记录及计算的专用数据处理软件,所用软件必须通过铁道部相关部门正式鉴定。

7 仪器使用情况

目前能满足高速铁路无砟轨道CPIII控制网测量的仪器有天宝公司的S6、S8全站仪和瑞士徕卡TCA2003与TCRP1201+全站仪,均为国外生产。

1)在温福铁路飞鸾隧道CPIII测量中,使用的是天宝S6自动全站仪,该仪器是德国生产的,测角精度为 $1''$,测距精度为 $1\text{ mm} + 1\text{ ppm}$ 。其特点是:全站仪的旋转是由磁驱动进行的,转动时声音很小,速度较快,仪器自带程序,自动化程度较高,但在进行全圆测回法测量时不能归零;目标点夹角较小或点位较近时,自动识别目标困难,需要人工干预。

2)在甬台温铁路九牛山与凤凰山隧道的CPIII测量中,使用新购置的瑞士徕卡TCRP1201+全站仪,测角精度为 $1''$,测距精度为 $1\text{ mm} + 1.5\text{ ppm}$ 。其特点是:TCRP1201+全站仪的旋转是由马达驱动进行的,转动时噪声较大,速度较慢,仪器偶尔会出现死机的情况;仪器机载程序是由武汉恒光公司开发的,自动化程度较高,在进行全圆测回法测量时能够归零;仪器目标点

夹角较小或点位较近时,能自动识别目标,测量过程中无需人工干预。

3)两者相比较,在工作效率上相差不大,S6全站仪旋转速度较TCRP1201+要快,但在测量过程中常常需要人工干预,这样就增加了测量时间和测量人员;因为S6在进行全圆测回法测量时不能归零,而TCRP1201+在进行全圆测回法测量时能够归零,在一个全测回中S6等于少测量2个方向,这样在总的用时上S6略为省时。TCRP1201+在一站的整个测量过程中无需人工干预,因此更加方便。

8 结束语

随着铁路工程技术的发展,尤其高速铁路逐渐增多,对测量工作不断提出新的要求,高速铁路无砟轨道铺设技术的引进,给直接为经济建设服务的工程测量带来了严峻的挑战和极好的机遇。特别是GPS、CPIII控制网测量技术的发展,使工程测量的手段、方法和理论产生了深刻的变化,工程测量领域在进一步扩展,而且正朝着测量数据采集和处理自动化、实时化和数字化的方向发展。

参考文献:

- [1] 张同刚. 客运专线无砟轨道暂规、有砟指南[R]. 成都:西南交通大学, 2008: 48-50.
- [2] 铁道部. TB10101-99 新建铁路工种测量规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 1999: 31-42.
- [3] 铁道部. 铁建设[2006]189号, 客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定[S]. 北京:中国铁道出版社, 2006: 6-11, 30-33.
- [4] 李志平, 徐逃. GPS定位技术在长大隧道测量中应用[J]. 隧道建设, 2004, 24(2): 71-73.

实现稀薄流输送和喷射。挤压泵独特的滚动挤压密封结构,使混凝土在密闭的挤压胶管中,实现从常压状态向压力输送状态的转换,规避了转子型和转子活塞型湿喷机普遍存在的漏风、返风现象,且无余气排放;挤压出来的混凝土为稠流状态,不粘结、不需清理。整机除料斗和挤压胶管外,其他机械构件均不直接接触混凝土,施工环境清洁,操作维护方便。设置粉状速凝剂自动添加功能,避免使用昂贵的液体速凝剂。整机性能先进,上料高度低,机动性强,使用维护费用低,完全满足支护工程喷射混凝土的实际需要,实用性好,推广应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 李云江,张志兵,张志献.新型混凝土泵送、湿喷两用机的研制[J].铜业工程,2002(4):7-9.
- [2] 李云江,荣学文,张志献,等.湿喷机的现状和发展趋势[J].铜业工程,2003(2):25-28.
- [3] 王小宝.湿式混凝土喷射机的类型及发展[J].工程机械,2000(2):28-31.
- [4] 宋召谦,刘元俭.转子活塞式湿喷机应用情况考察[J].山东煤炭科技,2002(2):36-37.
- [5] 龚铁平.国外混凝土机械[M].北京:中国建筑工业出版社,1983:132-153.

(上接 242 页)

- [5] 刘大杰,施一民,过静.全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M].上海:同济大学出版社,2001:136-146,97-98,183-229.
- [6] 铁道部.TB10054—97 全球定位系统(GPS)铁路测量规程[S].北京:中国铁道出版社,1997:4-17,25-26.
- [7] GB/T1297—2006 国家一、二等水准测量规范[S].北京:中国标准出版社,2007:2-3.

- [8] GB/T1298—1991 国家三、四等水准测量规范[S].北京:中国标准出版社,1991:2-6.
- [9] 许提多.高速铁路(客运专线)精测网坐标系与数据处理[R].成都:西南交通大学铁路发展公司,2008:72-73.
- [10] 高山.高速铁路(客专)精密网施工加密与CPIII测量方法[R].成都:西南交通大学铁路发展公司,2008:33-35.

(上接 245 页)

所采取的治理措施进行跟踪观测,以便及时掌握情况,采取进一步的治理措施。

参考文献:

- [1] JTJ 017—96 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2000.
- [2] 中交第二公路勘察设计研究院. JTG D30—2004 公路路基设计规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 俞磊.浅谈减少高填路堤沉降变形的处治措施[J].华东公路,2007(2):42-43.
- [4] 段永侯.中国地质灾害[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [5] 张亮,周传波,郭廖武,等.大冶铁矿狮子山岩质边坡稳定性

- 性评价[J].金属矿山,2008(3):46-49.
- [6] 冯夏庭,王泳嘉,丁恩保.智能化的边坡稳定性分析方法[J].东北大学学报:自然科学版,1995,16(5):453-457.
- [7] 刘建国,周顺华,官全美.水下边坡稳定性计算模式的探讨[J].上海铁道大学学报,2000,21(2):35-38.
- [8] 李建林,王乐华,刘杰,等.岩石边坡工程[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [9] 施发伍.台阶楔体破坏可靠性分析及其应用[J].矿业快报,2007,23(10):58.
- [10] GB50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2006:23-24.
- [11] 刘涛,沈明荣,陈建峰,等.水下岩质边坡稳定性计算模式的探讨[J].水文地质工程地质,2006(4):5-8.