

# 无砟轨道 CP III 平面控制网测量精度影响因素分析

谯生有<sup>1</sup>, 闻道荣<sup>2</sup>

(1. 中铁一局集团第五工程有限公司, 陕西 宝鸡 721006; 2. 沈阳天宝全测科技有限公司, 辽宁 沈阳 110001)

## Precision Analysis of Ballastless Track Control Network CP III

QIAO Shengyou, WEN Daorong

**摘要:**从已知点兼容性、测量设备误差、距离投影改化等方面分析影响 CP III 平面控制网测量精度的主要因素。通过剔除兼容性差的 CP II 加密测量已知点、更换误差超标的棱镜、测定并改正全站仪综合加常数误差、对观测边长进行投影改正, 能有效提高无砟轨道 CP III 平面控制网平差精度, 减少观测数据的返工重测次数, 为我国无砟轨道 CP III 平面控制网测量技术的补充和完善提供有益的借鉴。

**关键词:**无砟轨道; CP III 平面控制网; 测量精度; 影响因素

### 一、前言

CP III 平面控制网测量借鉴了德国高铁测量经验, 采用自由测站边角交会法施测, 控制网具有相对精度高、点位分布密集、测量工作量大、使用周期长等特点<sup>[1]</sup>。目前, 国内测量工作者对 CP III 平面控制网测量精度的影响因素还缺乏深入的分析。实际测量过程中, 经常遇到平差后方向改正数、距离改正数、点位中误差、相邻点点位中误差超限的情况。分析影响 CP III 平面控制网测量精度的主要因素, 并提出行之有效的解决方案, 是提高 CP III 平面控制网测量精度和效率的关键。

### 二、CP III 平面控制网平差计算的主要精度要求

#### 1. CP III 平面控制网纵横向闭合差

纵向闭合差是指根据不同测站计算两同侧纵向相邻 CP III 点之间弦线长度的差值。如图 1 所示, 由测站 Z1、Z2 分别计算弦线 3-5 的长度差以及由测站 Z1、Z3 分别计算弦线 6-8 的长度差即为 CP III 纵向闭合差。横向闭合差是指根据不同测站计算同一横断面左右一对 CP III 点之间弦线长度的差值。如图 2 所示, 由测站 Z1、Z2 分别计算弦线 5-6 的长度差以及由测站 Z1、Z3 分别计算弦线 7-8 的长度差即为 CP III 横向闭合差。纵横向弦线长度可通过解测站与 CP III 点组成的三角形(用余弦定理)求得。

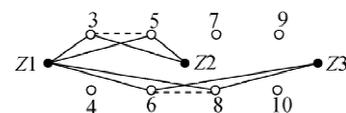


图 1 CP III 纵向闭合差构成示意图

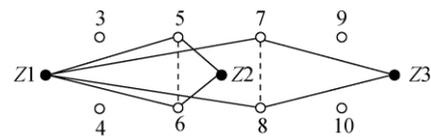


图 2 CP III 横向闭合差构成示意图

纵向闭合差主要反映不同测站的测距误差, 横向闭合差主要反映不同测站的测角误差。在实际测量中, 该图形条件客观存在, 并且是反映 CP III 平面控制网观测值精度和可靠性的一个重要指标, CP III 点的横向误差对轨道平顺性的影响尤为重要。

#### 2. 自由网平差后应满足的技术指标

CP III 平面自由网平差后的主要技术要求如表 1 所示。

表 1 CP III 平面自由网平差后的主要技术要求<sup>[2]</sup>

控制网名称	方向改正数/(")	距离改正数/mm
CP III 平面网	3	2

#### 3. 约束平差后应满足的技术指标

CP III 平面网约束平差后的精度指标如表 2 所示。

收稿日期: 2011-05-26

作者简介: 谯生有(1975—), 男, 甘肃徽县人, 高级工程师, 主要从事铁路施工测量技术的研究与管理。

表2 CP III平面网约束平差后的精度指标<sup>[2]</sup>

控制网名称	与 CP I、CP II 联测		与 CP III 联测		点位中误差 /mm
	方向改正数 / (")	距离改正数 /mm	方向改正数 / (")	距离改正数 /mm	
CP III 平面网	4.0	4	3.0	2	±2

基于轨道高平顺性要求,相邻 CP III 点之间的点位相对中误差不容忽视。在哈大客专、京沪高铁 CP III 平面控制网测量实践中,将自由网平差和约束平差后 CP III 点之间的相对中误差限值设为  $\pm 1$  mm。

### 三、加密 CP II 控制网已知点兼容性影响

CP III 控制网测量前,应对 CP II 控制点进行加密测量。CP II 加密点进行整体平差前,应先对原网 CPI、CP II 点的稳定性和兼容性进行分析,剔除不满足精度要求的 CPI 和 CP II 已知点,以稳定性和兼容性高的 CPI 和 CP II 已知点作为起算点,从而避免因 CP II 已知点兼容性差导致随后的 CP III 控制网平差精度指标超限。实践证明,CP II 已知点兼容性对 CP III 控制网精度的影响呈系统性,对 CP III 控制网约束平差的精度影响至关重要。

### 四、测量设备误差的影响

CP III 平面控制网测量的主要仪器设备有高精度智能型全站仪及 CP III 棱镜组。全站仪综合加常数误差是指全站仪加常数与测距使用的棱镜加常数误差叠加后的综合值,测距时往往只考虑全站仪加常数与棱镜加常数,而忽略了全站仪综合加常数误差。若该项误差不能得到消除,可能造成平差后距离改正数超限,即使返工重测也不能使距离改正数满足表 1 和表 2 的要求。

#### 1. CP III 棱镜误差影响分析

##### (1) CP III 棱镜安装精度要求

CP III 棱镜误差分重复性安装误差和互换性安装误差。重复性误差是指同一只 CP III 棱镜在同一个 CP III 点上重复安置时产生的安置误差;互换性误差是指不同的 CP III 棱镜组件在同一个 CP III 点上安置棱镜时产生的安置误差。CP III 平面控制网测量前,必须对使用的棱镜组件逐一检测,误差超标的棱镜应予以更换。

表 3 中  $X$ 、 $Y$  指棱镜的平面位置方向, $Z$  指棱镜的铅垂线方向。

表3 CP III棱镜组件安装精度要求<sup>[2]</sup>

CP III 标志	重复性误差 /mm	互换性误差 /mm
X	0.4	0.4
Y	0.4	0.4
Z	0.2	0.2

#### (2) CP III 棱镜重复性误差检测

在平坦开阔和周围无震动干扰的场地,按图 3 所示安置全站仪和棱镜支架。全站仪与棱镜之间的距离以 30 m 左右为宜,保持支架不动,将各棱镜反复安装 4 次分别测量各棱镜中心在测站任意坐标系内的坐标  $(X, Y, Z)$ ,每次读数 4 次取平均值,各次测量棱镜中心坐标  $(X, Y, Z)$  互差应小于表 3 规定。



图3 棱镜误差检测示意图

#### (3) CP III 棱镜互换性误差检测

按图 3 所示检测棱镜互换性误差,分别将各棱镜依次安置在棱镜支架上,观测棱镜中心的坐标  $(X, Y, Z)$ ,每次读数 4 次取平均值,各棱镜中心坐标  $(X, Y, Z)$  互差应小于表 3 规定。

#### (4) 棱镜瞄准误差影响

CP III 平面控制网测量时,棱镜未瞄准全站仪是造成纵横向闭合差超限的主要原因,该误差不能通过测站观测数据的检核发现。

#### 2. 全站仪综合加常数误差的测定与修正

##### (1) 检测方法及其原理

如图 4 所示安置全站仪和棱镜支架,现场标定 I、A、II、B 4 点,4 点位于一条直线,全站仪 I 和棱镜支架 B 之间约 30 m 为宜,在全站仪中正确设置棱镜标准加常数值,每次测量时确保全站仪和 A、B 安放棱镜后大致等高,先将全站仪安置在 I,在 A 安放棱镜测量  $S_1$ ,再将棱镜移至 B 测量  $S_2$ ,依次测量完一组棱镜。然后将全站仪安置在 II,依次测量各棱镜对应的  $S_3$ 、 $S_4$ ,每边测量 4 次读数取平均值。

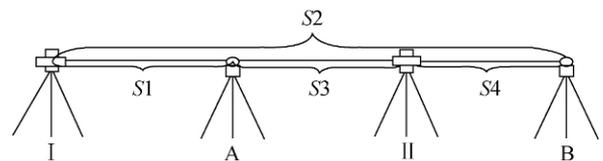


图4 全站仪综合加常数误差检测

## (2) 全站仪综合加常数误差计算

假设综合加常数误差为  $K$ ,  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  理论长度分别为  $S_1'$ 、 $S_2'$ 、 $S_3'$ 、 $S_4'$ , 由于检测边长短, 比例误差对加常数计算精度的影响很小, 可略去不计, 依据图 4 可得

$$\left. \begin{aligned} S_1' &= S_1 + K \\ S_2' &= S_2 + K \\ S_3' &= S_3 + K \\ S_4' &= S_4 + K \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$(S_3' + S_4') = S_2' - S_1' \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)整理后得

$$K = \frac{(S_2 - S_1) - (S_3 + S_4)}{2} \times 1000 \quad (3)$$

由式(3)计算出的  $K$  值单位为 mm, 取全站仪对各棱镜的综合加常数误差平均值作为最终结果。

## (3) 对测距边进行修正

将棱镜加常数误差输入全站仪或者对测距边进行修正, 假定距离观测值为  $S$ , 修正后的距离为  $S'$ , 则有

$$S' = S + K \quad (4)$$

## 五、距离改化影响

铁路客运专线控制网采用任意中央子午线和高程投影面进行投影的工程独立坐标系, CP III 平面控制网地面观测边长应归算到工程独立坐标系投影面上, 文献[2]没有明确规定 CP III 平面控制网距离改化问题。但是在哈大客专、京沪高铁 CP III 平面控制网测量过程中, 投影变形较大的分带边缘, 若对观测边长不进行投影改化, 平差后距离改正数呈现显著的系统误差特性, 部分边长改正数超限, 对边长进行投影改化后, 无须返工重测, 平差后的距离改正数满足精度要求, 验证了距离改化是影响 CP III 平面控制网精度不可忽略的因素。

## 六、结 论

通过对影响 CP III 平面控制网测量精度的因素

进行分析, 得出以下几点结论:

1) CP III 平面控制网纵横向闭合差、相邻 CP III 点点位相对中误差是衡量 CP III 平面控制网不可忽略的要素, CP III 平面控制网平差系统应设计纵横向闭合差检验模块。

2) 加密 CP II 控制网时应对已知点兼容性进行检验, 剔除兼容性差的已知点。

3) CP III 平面控制网测量前, 必须对使用的棱镜进行重复性、互换性误差检测。

4) CP III 平面控制网测量前, 应对使用的全站仪和棱镜组综合加常数误差进行检测, 并对距离进行修正。

5) 测量过程中, 棱镜没有准确瞄准全站仪是导致 CP III 平面控制网纵横向闭合差超限的主要原因。

6) CP III 平面控制网数据处理时, 应对距离进行投影改正, 相关平差软件应设置投影改正模块。

## 参考文献:

- [1] 谯生有, 周建军, 周建东. 客运专线无砟轨道 CP III 精密控制网测量探讨[J]. 铁道标准设计, 2009( S1): 36-39.
- [2] 中华人民共和国铁道部. TB 10601—2009 高速铁路工程测量规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [3] 王国昌, 徐小左, 刘成龙. 高速铁路 CP III 平面网的闭合差研究及其应用[J]. 铁道学报, 2009, 31(5): 78-83.
- [4] 周建东, 谯生有. 高速铁路施工测量[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2011: 102-123.
- [5] 朱颖. 客运专线无砟轨道铁路工程测量技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009: 99-100.
- [6] 冷道远. 高速铁路无砟轨道 CP III 控制网测量技术[J]. 隧道建设, 2009, 29(2): 239-242, 251.
- [7] 郝亚东, 周建东, 孙清娟, 等. 高速铁路无砟轨道 CP III 控制网测量[J]. 铁道工程学报, 2010, 36(11): 38-42.