

# 高铁无砟轨道控制网测设和精度控制

郝亚东<sup>1,2</sup>,李聚方<sup>1</sup>,刘利<sup>2</sup>

(1. 黄河水利职业技术学院 测绘工程系,河南 开封 475003;

2. 开封市规划勘测设计研究院,河南 开封 475000)

## High-speed Rail Ballastless Track Layout of Control Network and Precision Control

HAO Yadong, LI Jufang, LIU Li

**摘要:**介绍无砟轨道控制网的建立及施测方法,论述无砟轨道控制网精度控制要求,从而明确无砟轨道控制网网位的误差,为满足无砟轨道施工对平顺性要求提供测量保障。

**关键词:**高铁;无砟轨道;精测控制网;精度控制

### 一、概述

随着我国铁路大幅提速和高速铁路建设项目的增加,基础线路工程向无砟轨道方向发展。无砟轨道满足了行车安全、乘车舒适和准点行车的要求,具有结构连续、平顺、稳定、耐久和少维修等性能。

无砟轨道铁路工程测量控制网按分级布网、逐级控制的原则分三级布设:第一级为基础平面控制网(CPI),主要为勘测、施工、运营维护提供坐标基准;第二级为线路控制网(CPII),主要为勘测和施工提供控制基准;第三级为轨道控制网(CPIII),为满足无砟轨道铺设要求,在已完成的CPI、CPII及二等水准基础控制网基础上,进一步布设高精度、均匀布置的两网(平面控制网、高程控制网)合一的三维控制测量网,即CPIII测量网。

### 二、CPI、CPII控制网测设

CPI沿线路走向,每4 km一个或一对点,按铁路B级GPS测量要求施测。基线边方向中误差不大于 $\pm 1.3''$ ,最弱边相对中误差为1/170 000。

CPII在CPI的基础上采用GPS测量或导线测量方法施测。点间距离为800~1 000 m。GPS测量按铁路C级要求施测。基线边方向中误差不大于 $\pm 1.7''$ ,最弱边相对中误差为1/100 000;导线测量等级为四等,测角中误差为 $\pm 2.5''$ ,相对闭合差为1/40 000。

### 三、CPIII控制网测设

#### 1. CPIII控制网布设形式

CPIII控制点均匀布设于线路两侧,距线路中线的距离应为3~4 m,控制点间距宜为60~80 m。对线路特殊地段、曲线控制点、线路变坡点、竖曲线起终点及道岔区均应增设加密控制点,曲线地段加密控制点间距宜为50~60 m, CPIII平面控制网布设形式,如图1所示。

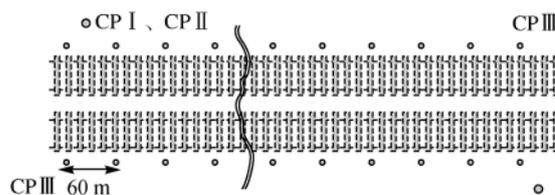


图1 CPIII控制点布设示意图

#### 2. CPIII控制网平面施测方法

CPIII控制网平面测量采用自由设站后方交会方法进行施测,自由测站测量时,从每个自由测站,将以 $2 \times 3$ 对CPIII点为测量目标,每次测量应保证每个点被测量3次,如图2所示。

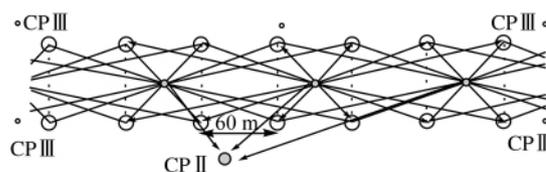


图2 CPIII控制网测量方法图

为保证每次测量时同一个点使用同一个棱镜,建议对测量需要的12个棱镜进行编号(1~12),并对每个CPIII点使用的棱镜号和连接器进行记录。

每次测量开始前在全站仪初始行中输入起始

点信息并填写自由测站记录表,每一站测量3组完整的测回。

应记录下每个测站的温度、气压以及 CPI、CPII 点上的目标点的棱镜高,并输入温度、气压改正数。

水平角测量的精度应按如下要求进行:① 水平方向测量3个测回;② 测站至 CPIII 标记点间的距离测量3个测回;③ 方向观测各项限差符合《精密工程测量规范》(GB/T 15314—94)的要求,观测最后结果按等权进行测站平差。

在自由站上测量 CPIII 的同时,应将靠近线路的 CPI 点及全部 CPII 点纳入网中进行联测,CPI/CPII 点应至少在两个自由站上进行联测,有可能时应联测3次,联测长度应控制在150 m之内。当受观测条件限制,只能有一个自由站点和 CPI/CPII 通视时,应设置辅助点。与上一级 CPII 控制点联测时应保证800~1 000 m的间隔联测一个。

#### 四、控制网精度标准要求

##### 1. 高速铁路控制网精度控制标准

高速铁路控制网精度控制标准是为了保证旅客列车高速运行时的安全性和舒适度,铁路轨道的平顺度是其重要指标。轨道平顺度包含线路方向和纵向方向两个分量,线路方向的不平顺是指钢轨头内侧与钢轨方向垂直的凸凹不平顺。高速铁路平顺度要求在线路方向弦实测正矢与理论正矢之差不大于 $\pm 2 \text{ mm}/10 \text{ m}$ 。

##### 2. 短波平顺度对线路位置的影响

现以直线线路为例进行讨论,当在10 m处产生2 mm不平顺度时,线路将出现转折角为 $82.5''$ ,直线AB移至AB',如图3所示。每个不平顺度具有偶然性,因此,由各段不平顺度产生的点位按偶然误差计算,设AB为150 m,则 $m_\beta = \pm 127 \text{ mm}$ 。

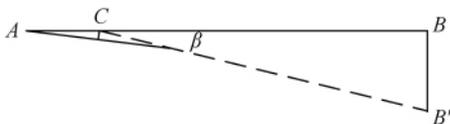


图3 短波不平顺累计误差示意图

##### 3. 长波平顺度对线路位置的影响

长波平顺度要求150 m处不大于 $\pm 10 \text{ mm}$ ,当在150 m处产生 $\pm 10 \text{ mm}$ 的不平顺度时,线路将出现转折角为 $27.5''$ 。设AB为900 m,则 $m_\beta = \pm 147 \text{ mm}$ 。

对于无砟轨道铺设150 m不大于 $\pm 10 \text{ mm}$ 的要求,从控制测量精度来讲,要比每20 m弦实测正矢与理论正矢之差小于 $\pm 2 \text{ mm}$ 的精度要求高。虽然

如此,如果仅仅控制轨道的平顺度,在达到要求的情况下,轨道的整体线形仍是不能保证。

由上可知,在客运专线无砟轨道的施工过程当中,仅仅控制轨道的平顺度是不够的,还需要建立无砟轨道施工测量控制网来实现轨道的总体线形的正确。

#### 4. CPI 和 CPII 误差计算

通过无砟轨道施工中轨道对平顺度的相关要求,可以反推出 CPI 和 CPII 控制网的相关精度要求。

##### (1) CPI 和 CPII 最弱点的横向中误差计算

按导线测量方法,计算最弱点的横向中误差公式为

$$m_k = \frac{1}{2} \frac{S m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n+6}{48}} \quad (1)$$

《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设[2006]189号)(以下简称《暂规》)中要求的各级平面控制网布网要求如表1所示。

表1 各级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/m	备注
CPI	GPS	B级	$\geq 1000$	$\leq 4 \text{ km}$ 一对点
CPII	GPS	C级	800~1000	
	导线	四等		
CPIII	导线	五等	150~200	10~20 m 一对点
	后方交会		50~60	

对于 CPII,取 $S = 800 \text{ m}$ ,则可计算得 $m_k = \pm 3.7 \text{ mm}$ ;对于 CPI,取 $S = 4000 \text{ m}$ ,则可计算得 $m_k = \pm 11.6 \text{ mm}$ 。

假定导线纵向误差等于横向误差,则可计算最弱点点位中误差分别约为 $\pm 5 \text{ mm}$ 和 $\pm 15 \text{ mm}$ 。

##### (2) 相邻两点的相对中误差计算

《暂规》中 GPS 测量的精度要求规定如表2所示。

表2 CPI、CPII GPS 测量精度要求

控制网级别	基线边方向中误差/( $''$ )	最弱点相对中误差
CP I	$\leq \pm 1.3$	1/170 000
CP II	$\leq \pm 1.7$	1/100 000

##### 1) CPI 相邻两点的相对中误差

边长: $4000000 \times 1/170000 = 23.5 \text{ mm}$

方向: $4000000 \times 1.3''/206265 = 25 \text{ mm}$

相邻两点的相对点位中误差为 $\pm 34.3 \text{ mm}$ 。

2) CPII 相邻两点的相对中误差

边长:  $800\,000 \times 1/100\,000 = 8\text{ mm}$

方向:  $800\,000 \times 1.7''/206\,265 = 6.6\text{ mm}$

相邻两点的相对点位中误差为  $\pm 10.4\text{ mm}$ 。

### 5. CPIII 控制网的可重复性测量精度要求

《暂规》对 CPIII 网的可重复性测量精度也有明确规定: 当 CPIII 网采用自由测站的边角交会法测量时, 各“CPIII 点两次定位坐标差的中误差应达到  $\leq \pm 5\text{ mm}$ ”的要求。

设  $P$  为某 CPIII 点, 其两次定位的坐标分别为  $(X_1, Y_1)$  和  $(X_2, Y_2)$ , 则其两次定位的坐标差分别为

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= X_1 - X_2 \\ \Delta Y &= Y_1 - Y_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

根据《暂规》对 CPIII 点“两次定位  $X, Y$  方向坐标差的中误差应达到  $\leq \pm 5\text{ mm}$ ”的要求, 由式(2)和误差传播定律, 并考虑到两次测量  $P(X_1, Y_1)$  和  $P(X_2, Y_2)$  时误差的独立性, 可得式(3)

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta X}^2 &= m_{X_1}^2 + m_{X_2}^2 \leq 5^2 \\ m_{\Delta Y}^2 &= m_{Y_1}^2 + m_{Y_2}^2 \leq 5^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式(3)中  $m_{\Delta X}, m_{\Delta Y}$  分别为该 CPIII 点两次测量  $X, Y$  方向坐标较差的中误差。  $m_{X_1}, m_{X_2}$  和  $m_{Y_1}, m_{Y_2}$  分别为  $(X_1, Y_1)$  和  $(X_2, Y_2)$  在  $X, Y$  方向的坐标中误差。

对于 CPIII 网的两次测量, 应该是在相同观测方案下的两次独立观测, 也即两次观测的网形、精度和起算数据是一样的, 因此, 可认为  $m_{X_1} = m_{X_2} = m_X, m_{Y_1} = m_{Y_2} = m_Y$ , 这样由式(3)可得

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta X}^2 &= m_{X_1}^2 + m_{X_2}^2 = 2m_X^2 \leq 5^2 \\ m_{\Delta Y}^2 &= m_{Y_1}^2 + m_{Y_2}^2 = 2m_Y^2 \leq 5^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

通过式(4)可得到 CPIII 点可重复性测量精度

推算的 CPIII 点的点位中误差为

$$m_X = m_Y = \pm 3.5\text{ mm} \quad (5)$$

$$m_p = \pm \sqrt{(m_X^2 + m_Y^2)} = \pm 5\text{ mm} \quad (6)$$

### 五、结束语

无砟轨道施工过程中所使用的控制参考点是 CPIII 控制网(点), CPIII 控制点将在线路施工过程中被反复使用, 控制网的坐标精度决定了后面无砟轨道板施工中各个工序的测量和建造精度。在高速铁路的修建过程中, 不论是线路中线放样、底座混凝土钢模放样方案、凸形挡台钢模放样、轨道板调整还是最终的钢轨调整, 都必须使用设计线路的坐标参考系。使用这些控制参考点进行自由设站后方交会, 可以精确地获得全站仪设站坐标和方位, 极大地提高了施工进度, 确保了工程质量。

### 参考文献:

- [1] 贺国宏. 桥隧控制测量[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [2] 李峰. 工程测量[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [3] 李明领. 高速铁路无砟轨道 CPIII 控制网建立与精度控制[J]. 铁路标准设计, 2010(1): 84-86.
- [4] 程昂, 刘成龙, 徐小左. CPIII 平面网必要点位精度的研究[J]. 铁道工程学报, 2009(1): 44-48.
- [5] 刘成龙, 杨友涛, 徐小左. 高速铁路 CPIII 交会网必要测量精度的仿真计算[J]. 西南交通大学学报, 2008, 43(6): 718-723.
- [6] 贺挨宽. 无砟轨道施工平面控制主要技术标准的研究[J]. 铁道工程学报, 2006(9): 27-30.
- [7] 邢静忠, 王永岗, 程晓霞, 等. ANSYS7.0 分析实例与工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [8] SMITH I M, GRIFFITHS D V. 有限元方法编程[M]. 3版. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [9] 董国凤. 地面沉降变形预计模型与监测技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2005: 66-80.
- [10] 姜晨光, 于雪鹏, 蔡伟, 等. 城市地面沉降与地下水位变化关系的数学模拟[J]. 中国煤田地质, 2004, 16(1): 29-31.
- [11] 张可绪, 李明宰. 开采地下水引起地面变形的分析[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 50-59.
- [12] 鲍鲭. 城市地面沉降浅析[J]. 防灾博览, 2007(1): 4-6.
- [13] 吴中如. 水工建筑物安全监控理论及其应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990.
- [14] 李小青, 张欣, 袁蓉, 等. 高填方路堤沉降的数值分析研究[J]. 土工基础, 2005, 19(3): 56-58.

(上接第22页)

有限元分析的基本原理, 并结合土的渗流理论和弹性力学等原理, 论述建立地面沉降确定性模型的基本原理和方法, 并将其应用于实际工程中。结果表明, 所研究的数学模型具有较高的精度和可靠度, 有较高的实际应用价值。

### 参考文献:

- [1] 鲍鲭. 城市地面沉降浅析[J]. 防灾博览, 2007(1): 4-6.
- [2] 吴中如. 水工建筑物安全监控理论及其应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990.
- [3] 李小青, 张欣, 袁蓉, 等. 高填方路堤沉降的数值分析