

文章编号: 1674—8247(2017)06—0015—06

## CRTSⅢ型无砟轨道板精调方法探讨

许双安

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

**摘 要:** 主要介绍 CRTSⅢ型无砟轨道板的精调方法, 重点对精调总体思路、定位基准、精调标架软硬件及生产作业模式进行阐述, 并结合多条高速铁路 CRTSⅢ型轨道板精调的工程实践, 对精调中需要注意的事项进行了总结。得出结论如下: (1) CRTSⅢ型无砟轨道板精调理论数据计算应在现场动态布板结果基础上进行; (2) 标架硬件选型应考虑轨道板本身几何相对关系及现场作业环境适应性; (3) 轨道板精调以轨道控制网 CPⅢ作为定位基准, 并考虑相邻板之间的平顺搭接。

**关键词:** CRTSⅢ型无砟轨道板; 轨道板精调系统; 精调标架

中图分类号: U213.2<sup>+</sup>44

文献标志码: A

## Discussion on the Fine-adjustment Method for CRTSⅢ Ballastless Track Plate

XU Shuang'an

(China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

**Abstract:** The fine-adjustment method for CRTSⅢ Ballastless Track Plate is mainly introduced in this paper, focusing on the fine adjustment's general ideas, locating datum, system of hardware and software and the production model, and according to the engineering practices of a number of high-speed railway CRTSⅢ Ballastless Track Plate fine-adjustment, the items that need to be noticed in the fine adjustment are summarized. The results are: (1) The calculation of the fine-adjustment theoretical data should be carried out on the basis of dynamic layout results. (2) The geometric relation of the track plate and the adaptability of the site operation environment should be taken into account for the selection of the frame hardware. (3) The track control network CPⅢ is used as the positioning benchmark for the track plate fine-adjustment and the smooth lap between adjacent plates is also considered.

**Key words:** CRTSⅢ ballastless track plate; Fine adjustment system for track plate; Accurate adjustment frame

CRTSⅢ型板式无砟轨道是我国自主研发的完全具有自主知识产权的一种新型无砟轨道, 其布板设计、制板、施工及安装等整套技术特点不同于已有的无砟轨道结构<sup>[1-3]</sup>。CRTSⅢ型板式无砟轨道结构建设周期内, 通过布板软件计算出每块轨道板的结构参数和铺设里程, 轨道板厂进行规模化生产、检测, 再运输到施工现场进行铺设。轨道板精调就是把轨道板逐一调整到线路设计的理论位置, 通过自密实混凝土实现轨

道板与底座的连接。本文主要介绍了 CRTSⅢ型无砟轨道板的精调方法, 重点对精调定位基准、精调标架软硬件及生产作业模式进行阐述, 并根据多条高速铁路 CRTSⅢ型轨道板精调的工程实践, 对精调中需要注意的事项进行了总结。

### 1 轨道板精调总体思路

轨道板精调是在施工现场将板厂制造的轨道板逐

收稿日期: 2017-05-02

作者简介: 许双安(1986-), 男, 工程师。

引文格式: 许双安. CRTSⅢ型无砟轨道板精调方法探讨[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(6): 15-20.

XU Shuang'an. Discussion on the Fine-adjustment Method for CRTSⅢ Ballastless Track Plate [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(6): 15-20.

块调整到设计位置。轨道板精调本质上属于安装测量,即轨道板的安装测量或精密放样。在精调工作开始前,可利用线路参数和布板软件,计算出轨道板上任意里程位置上断面点的理论平面坐标和高程。以轨道板承轨槽大钳口的两个外钳口挡肩面或承轨槽上螺栓孔预埋套管为参考基准,采用精密设计加工的专用标架模拟钢轨系统,利用智能型全站仪采集安放在指定承轨槽上的精调标架棱镜三维坐标,精调软件计算出实时计算轨道板线路三维偏差,指挥工人调整安装在轨道板下的精调器,使轨道位置调整到设计的理论位置。精调整原理如图1所示。

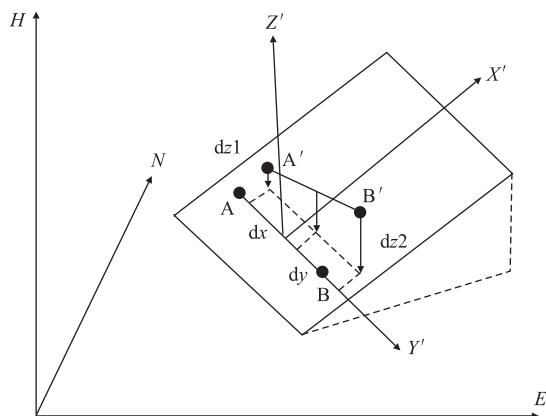


图1 轨道板精调原理图

图中A、B两点为左右股钢轨设计理论位置,A'、B'为钢轨粗铺后的实际位置,轨道板精调就是进行竖向和横向调整,使得轨道板A'、B'点与A、B逐渐趋近的过程。按照图1的原理实现轨道板精调,则需要:

#### (1) 轨道板精调理论数据

通过内业布板设计软件施工布板模块,利用线路设计参数、轨道布板参数计算出轨道板上作为精调理论参考点的理论平面坐标和高程。

#### (2) 模拟钢轨实现空间位置的精调装置——精调标架

标架上棱镜中心即为钢轨顶中心点,可使用全站仪进行测量,钢轨顶示意如图2所示。标架应满足稳

定性好,受外界环境变化变形量小的要求。

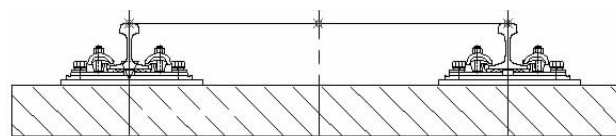


图2 标架模拟钢轨示意图

#### (3) 高精度智能型全站仪及配套的基于PDA的精调软件

使用的全站仪应具有自动化观测测功能,其标称精度不低于( $1''$ 、 $1\text{mm} + 2\text{ppm}$ ),如徕卡TS30、TS50、TS60、TCRP1201+、TCA2003、TS15等。采用基于.NET的GeoCOM在线程序开发技术进行全站仪二次开发,常规测量程序步骤包括串口初始化、测量参数设置、目标学习、自动测量<sup>[4]</sup>。基于PDA的CRTS CPM型无砟轨道板精调程序必须协调控制标架系统、测量机器人系统及测量控制终端,集成各部分之间的无线通信和数据交换,具备实时处理精调数据。CRTSⅢ型轨道板精调系统构成示意如图3所示。

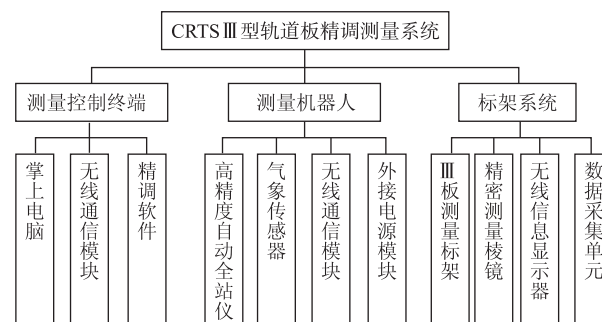


图3 CRTSⅢ型轨道板精调系统构成示意图

## 2 动态布板与理论数据计算

在CRTSⅢ型板式无砟轨道结构施工放样计算中,所有的理论数据都是以线路参数为基础,根据轨道结构参数,按照里程分断面计算。轨道板的横断面结构示意图如图4所示。根据CRTSⅢ型板式无砟轨道结构特点,先定义基准点,再根据基准点定义断面,直观的

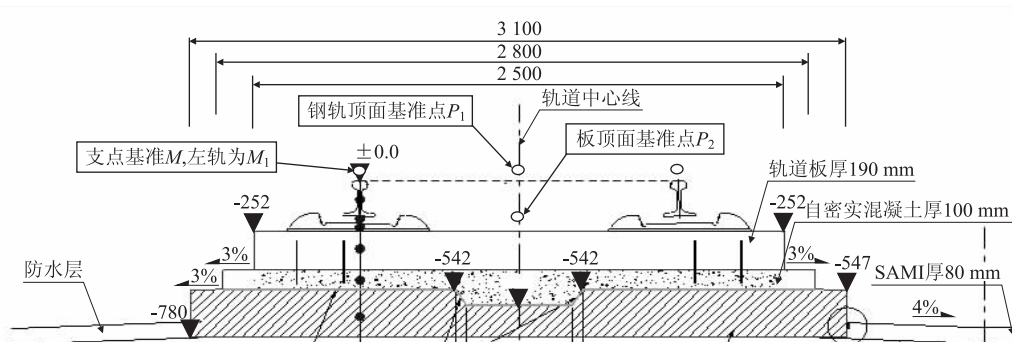


图4 轨道板的横断面结构示意图(mm)

表达断面点的相互关系<sup>[5]</sup>。

以钢轨中心点为基准点,轨道板精调数据及自密实混凝土灌注后复测评估数据,断面定义如表1所示。

表1 断面1点分布( $P_1$ 基准)

	左1	中2	右3
dy	-0.752 55	0.000 000	0.752 55
dz	0.000 000	0.000 000	0.000 000

在设计阶段,通过设计布板软件进行线路区间内的轨道板布置计算,确定段落内轨道板的类型及数量配置,提供给板厂用于轨道板预制。待线下结构施工完毕,线上无砟轨道施工时,施工单位还需重新进行轨道板布置。原因是设计阶段所确定的路基、桥梁、隧道等结构分段表里程与实际施工存在差异,主要体现在梁跨长度、梁缝值与理论设计值有偏差。CRTSⅢ型轨道板在路、桥、隧均采用单元分块式结构,底座也按照单元分块施工,布板结果数据是板下结果放样的依据。轨道板下底座也按照单元分块施工底座,座板放样数据、轨道板粗铺边线及轨道板精调数据需一一对应,两者相互紧密关联为一体。严禁底座放样采用一套数据,调板数据采用另外一套数据,否则会造成轨道板覆盖底座板缝、轨道板粗铺不到位等严重后果。

因此,施工布板的数据是底座放样数据计算的基础,这与CRTSⅡ型底座连续施工计算模式不一样。在线上无砟轨道施工前,需要对线下结构分段有效布板长度进行实地量测,并与设计理论值进行比较。动态布板工作主要在桥梁地段,梁端里程、梁跨长度及梁缝值与设计值差异较小,原有梁跨布板数量不变,仅调整板缝及梁端悬出量。若实际有效布板区间与设计值差异较大,则应将现场实测结构有效布板区间反馈给设计单位,重新设计该段落的布板方案。施工布板计算流程如图5所示。

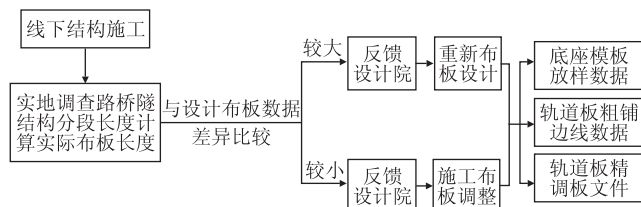


图5 施工动态布板计算流程

为方便现场实际操作,一般在梁体架设完毕,底座板施工前,逐一采集梁跨梁端坐标。根据实测坐标反算每块梁的实际布板区间,对理论布板数据进行调整,真正意义上最终确定轨道板的布设位置。同理,隧道、路基实际布板区间起止点里程都要进行实测。基于动态布板数据,依次计算各结构层施工放样理论数据。

### 3 精调定位基准

CRTSⅡ型板精调以轨道基准网 GRP 为基准,采用博格精调系统。轨道基准网 GRP 作为定位基准存在以下不足:(1)GRP 是在轨道控制网 CPⅢ中加密次级控制网,(2)精度略有降低;精调之前必须建立且仅在轨道板铺设时使用一次,不能永久保存<sup>[6]</sup>;(3)轨道板 CA 砂浆灌注后的复测及后期的轨道精调是基于轨道控制网 CPⅢ的,轨道平顺性参数评价基准不一样;(4)利用 GRP 调板,需特殊制作强制对中三脚架,增加了轨道板精调误差源。

CRTSⅢ型板采用单元结构,底座在单元与单元间断开。板与板之间板缝为 70 mm,板端齐整,无限位凹槽,故不存在空间布设轨道基准网 GRN。CRTSⅢ型板精调应采用轨道控制网 CPⅢ作为定位基准。以 CPⅢ作为基础控制网,能确保线路测量的连续性。轨道板精确定位的测量方向为单向后退测量,一个测站内的全站仪与轨道板之间的测量距离宜为 5~30 m。

采用 CPⅢ作为基准进行 CRTSⅢ型板精调,精调标架上棱镜的三维坐标可表示为:

$$\left. \begin{aligned} X_{P1} &= X_A + S_1 \times \cos V_1 \times \cos(Z - \alpha_1) \\ Y_{P1} &= Y_A + S_1 \times \cos V_1 \times \sin(Z - \alpha_1) \\ H_{P1} &= H_A + S_1 \times \sin V_1 + \frac{1-K}{2R} \times \\ &\quad (S_1 \times \cos V_1)^2 + i - v \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中:  $Z$  ——定向角未知数。

对式(1)求全微分,可得:

$$\begin{aligned} dX_{P1} &= dX_A + \cos \alpha_{AP} \times \\ &\quad \left[ \cos V_1 \times dS_1 - S_1 \times \sin V_1 \times \frac{dV_1}{\rho} \right] + \\ &\quad \Delta Y_{AP} \times \frac{d\alpha_1}{\rho} - \Delta Y_{AP} \times \frac{dZ}{\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} dY_{P1} &= dY_A + \sin \alpha_{AP} \times \\ &\quad \left[ \cos V_1 \times dS_1 - S_1 \times \sin V_1 \times \frac{dV_1}{\rho} \right] - \\ &\quad \Delta X_{AP} \times \frac{d\alpha_1}{\rho} + \Delta X_{AP} \times \frac{dZ}{\rho} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} dH_{P1} &= dH_A + \sin V_1 \times dS_1 + S_1 \times \cos V_1 \times \frac{dV_1}{\rho} + \\ &\quad di - dv \end{aligned} \quad (4)$$

式中:  $\rho = 206\,265$ 。

对式(2)、式(3)合并同类项,并令

$$F_1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha_{AP} \times \cos V_1 & \frac{\Delta Y_{AP}}{\rho} & -\frac{\cos \alpha_{AP} \times S_1 \times \sin V_1}{\rho} \\ \sin \alpha_{AP} \times \cos V_1 & -\frac{\Delta X_{AP}}{\rho} & -\frac{\sin \alpha_{AP} \times S_1 \times \sin V_1}{\rho} \end{bmatrix}_{2 \times 3} \quad (5)$$

$$F_{a1}^{2 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{\Delta Y_{AP}}{\rho} \\ 0 & 1 & \frac{\Delta X_{AP}}{\rho} \end{bmatrix} \quad (6)$$

则式(2)、式(3)可用矩阵形式表达为:

$$\begin{bmatrix} dX_{P1} \\ dY_{P1} \end{bmatrix} = F_1 \times \begin{bmatrix} dS_1 \\ d\alpha_1 \\ dV_1 \end{bmatrix} + F_{a1} \times \begin{bmatrix} dX_A \\ dY_A \\ dZ \end{bmatrix} \quad (7)$$

考虑测距和测角误差的独立性,忽略自由设站仪器高和后视高误差的影响,由式(4)、式(7)运用协方差传播律得:

$$\begin{bmatrix} D_{XP1XP1} & D_{XP1YP1} \\ D_{YP1XP1} & D_{YP1YP1} \end{bmatrix} = F_1 \times \begin{bmatrix} m_{S1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\alpha1}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{V1}^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{XAXA} & D_{XAYA} & D_{XAZ} \\ D_{YAXA} & D_{YAYA} & D_{YAZ} \\ D_{ZXA} & D_{ZYA} & D_{ZZ} \end{bmatrix} \times F_{a1}^T \quad (8)$$

$$D_{HP1HP1} = D_{HAHA} + (\sin V_1)^2 \times D_{S1S1} + \left( \frac{S_1 \times \cos V_1}{\rho} \right)^2 \times D_{V1V1} \quad (9)$$

式(8)、式(9)即为自由设站测量标架上棱镜所推导的精密定位棱镜点  $P$  三维坐标的严密精度评定公式。

从上述测量标架上棱镜测量中误差的精度评定公式可以看出,要精密评定棱镜点  $P$  的精度比较复杂。轨道精密测量侧重相对精度,同一测站内的测量点都含有定向控制点误差,故一站内测量不考虑设站误差。因此可在仅考虑距离测量和角度测量误差情况下,精调棱镜横向、竖向偏差。

设平面点位精度为  $m_p$ , 横向调整量精度为  $m_L$ , 竖向调整量为  $m_H$ , 则可得:

$$\left. \begin{aligned} m_p^2 &= m_x^2 + m_y^2 \\ m_H^2 &= m_z^2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

精调时,仪器安置于线路中线,高于轨面高度控制在 1.2 m, 竖直角控制在  $3.5^\circ \sim 10^\circ$ , 则天顶距可控制在  $80^\circ \sim 6.5^\circ$ 。在这种情况下,全站仪的水平角、竖直角测角精度相当,假定测角精度为  $m_v = m_\beta = m$ , 将式(2)、式(3)、式(4)带入式(10)中可得:

$$\left\{ \begin{aligned} m_p^2 &= \sin^2 v m_s^2 + \left( \frac{s}{\rho} \right)^2 m^2 \\ m_H^2 &= \cos^2 v m_s^2 + \left( \frac{\sin v s}{\rho} \right)^2 m^2 \end{aligned} \right. \quad (11)$$

设站方向大致与线路平行,与线路的夹角可控制在  $10^\circ$  以内。精调时只用全站仪的一个盘位,且只用

到测量仪器的分辨率。用于轨道板精调的全站仪标称精度不应低于  $(1'', 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ , 在 30 m 范围内测距分辨率不大于  $\pm 0.2 \text{ mm}$ , 测角分辨率不会大于  $\pm 2''$ 。由式(7)~式(11)可得:

$$\begin{cases} m_L^2 \leq \sin^2 10 \sin^2 90 \times 0.2^2 + \left( \frac{s}{206265} \right)^2 \times 2^2 = 0.5 \\ m_H^2 \leq \cos^2 80 \times 0.2^2 + \left( \frac{s}{206265} \right)^2 \times 2^2 = 0.5 \end{cases} \quad (12)$$

可求得  $s = 30.73 \text{ m}$ 。

常见 CRTSⅢ型板长度为 5.6 m、5.35 m、4.856 m、4.925 m, 故设站一次可调节 4~5 块板。由上述分析可知,用 CPⅢ网直接控制轨道精调是可行的,且精度优于 GRP 点的测量精度。实际上,GRP 点测量的距离范围是 7~85 m, 而精调的距离范围是 6~30 m, 利用 GRP 点设站,强制对中三角架横向和高度的误差也会影响精调结果。

以线路两侧的 CPⅢ轨道控制网作为测量的基准参考点,采用自由设站边角交会的方法确定全站仪的设站坐标和方位。测站宜设在线路中线附近、两对 CPⅢ控制点之间,且全站仪目镜高度尽量与精调标架棱镜高度保持一致,建议采用特制矮三脚架。全站仪自由设站精调示意图如图 6 所示。

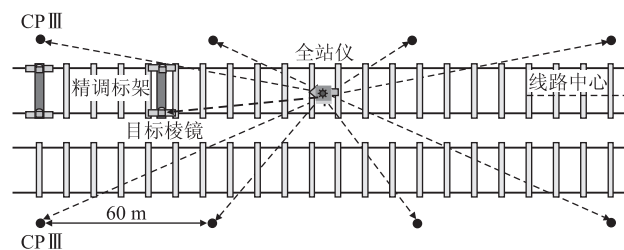


图6 全站仪自由设站精调示意图

全站仪设站原则为:

(1) 每一测站观测的 CPⅢ点数为 3~4 对,且保证精调区域前后各有 2 对。

(2) 测量气象条件应避免在气温变化剧烈、阳光直射、大风或能见度低下等恶劣气候条件下进行,宜选择在阴天无风、日落 2 h 后或日出前气象条件稳定的时段进行。

(3) 轨道板精确定位的测量方向为单向后退测量,一个测站内的全站仪与轨道板之间的测量距离宜为 5~30 m, 现场多采用架 5 调 4 和架 6 调 5 作业模式。

(4) 相邻测站之间保证重合至少 2 对 CPⅢ点。



## 4 精调标架

精调标架模拟理想的轨道系统,通过精确调整轨道板的空間位置间接调整轨道。一套完整的标架系统由7个单体标架,其中4个放置于待精调轨道板,2个放置在搭接的上一块板,1个标准标架用于作业前检校6个测量标架。现有的精调标架产品都是将轨道板上某一特征点作为参考点,利用轨道板本身几何相对关系设计加工的。含有1对Ⅰ型和Ⅱ型的CRTSⅢ型承轨台作为精调标架设计依据,整体和细部尺寸严格按照CRTSⅢ型无砟轨道板结构设计图进行精密加工和安装,同时精密加工的Ⅰ型和Ⅱ型承轨台具有可量测性。轨道板承轨台特征点位示意如图7所示。

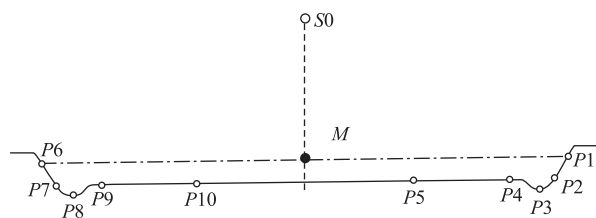


图7 轨道板承轨台特征点位示意图

现有标架设计思路主要有两种,一种是以内侧预埋套管为定位基准,即图7中的P5、P10,标架检校、标定、测量安放均以内侧预埋套管为基准点。成品板检测要求同一锚垫板位置的相邻预埋套管中心距离偏差限差为 $\pm 0.5$  mm,预埋套管处承轨台横向位置偏差限差为 $\pm 0.5$  mm。

另一种是采用类似博格精调系统以侧钳口面为参考基准<sup>[7]</sup>,外钳口距指轨道板同一横断面内,左右两个承轨台1:40承轨面向上平移28 mm后,与左右两个承轨台外侧钳口面交点之间的距离,即图7中同一对Ⅰ型和Ⅱ型承轨台左右对应P1点之间的距离,承轨台外钳口间距偏差限差为 $\pm 1$  mm。

若经过检测的成品板不考虑制造误差,两种类型标架模拟轨道系统效果是等价的。但根据轨道板外形尺寸检测偏差限差要求,以承轨台内侧预埋套管为定位基准精度更高。同时,螺栓孔预埋套管也是制板调模、轨道板检测测量工作中的重要参考点。

标架的稳定性直接决定CRTSⅢ型轨道板的精调精度,标架应稳定性好,受外界环境干扰变形量小,标架结构尺寸应严格满足钢轨与轨道板之间相对几何关系。精调标架只要满足上述要求,且一套标架(7个单体标架)几何相对关系稳定,安放重复性好,则轨道板几何特征点制造误差对线路平顺性的影响较小。设计制造的标架出厂前,在检定台上进行几何尺寸检校。

现场精调过程中,标准标架应定期到板厂标准板上进行检校,确保各个单体标架棱镜横偏差、竖向偏差绝对值都小于0.5 mm,标架参数偏差在精调计算中进行同步改正。

## 5 作业模式

轨道板精确定位的测量方向为单向后退测量,一个测站内,全站仪与轨道板之间的测量距离宜为5~30 m。按照调板的作业模式,一测站内调板都是从距离全站仪最远端的那块轨道板开始,由远及近依次调板。一站内,采用架5调4模式,即全站仪架设在第5块末位,设站一次可以精调前面4块板。精调测量中,标架安放时严格贴近参考点,将标架安放在轨道板的4个调整点位处,调整工位位于轨道板首末两段第二对承轨台上。需要搭接时,将5号和6号标架安放在搭接轨道板的调整点位处,安放位置如图8所示,最后调整棱镜对准全自动全站仪。

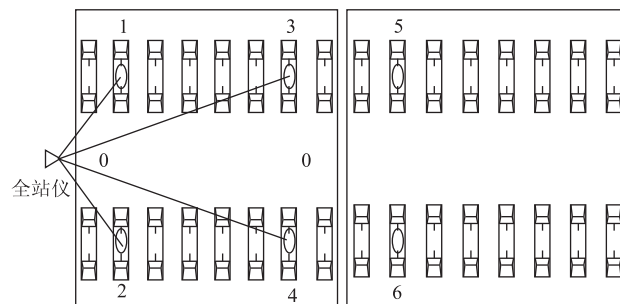


图8 精调标架安放

上述准备工作完成后,就可开始进行轨道板的精调测量,精调测量流程如图9所示。

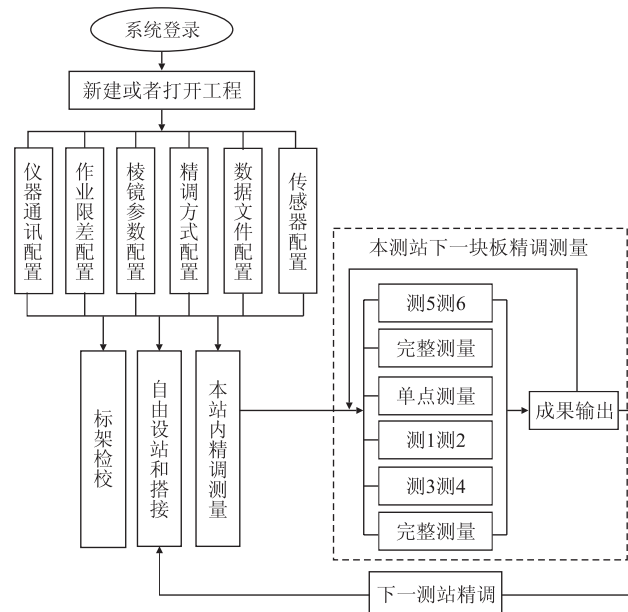


图9 精调测量流程

实际生产作业时,可根据施工组织先进行粗调<sup>[8]</sup>。粗调时,将轨道板横向偏差、竖向偏差都调整到1 mm即可。粗调完毕后,再安装压紧装置,压紧装置螺栓不固定。在灌注前安排精调,严格按照作业限差作业,合格后将压紧装置螺栓固定。

## 6 注意事项

(1)全站仪定向是确定仪器的初始方位角,是确定精调的起算点,定向结束后,全站仪才能自动找到待调轨道板上的各个棱镜完成自动测量。若一测站内仪器已定向完成,仪器没有移动且状态稳定,则可继续测量下块板,不需要重新定向。在精调过程中,架设全站仪的轨道板不准被踩踏,保证全站仪状态稳定。

(2)轨道板精调作业时,采取自由设站定向和搭接定向二种方式。调节首块板时,由于没有上块板搭接数据,只能采用 CPIII 自由设站控制点定向。从第二块板开始,采用搭接定向,即测量上一块搭接板上的5号和6号棱镜,并作为基准参与定向,保证前后板之间的平顺性。搭接定向是假定上一块板5号和6号棱镜位置已调整到设计位置,定向时测量5号和6号棱镜,并计算实际位置与理论位置偏差,换算成方位角偏差,并对自由设站后的定向参数进行改正。

(3)在实际作业中,搭接定向5号、6号棱镜时有可能超限。原因有可能为:①上一块板未精调到位;②5号、6号标架与1号、2号标架之间相对几何关系标定不准确;③同一块轨道板上5号、6号标架与1号、2号标架安放位置不唯一;④换站自由设站 CPⅢ点不一样,不同 CPⅢ网点兼容性较差。因此,保证精调定位搭接顺利的前提是一套标架(7个单体标架)内几何相对关系稳定,安放重复性好,且作业前检校正确,使用过程中无外力形变。同时应保证作业环境良好, CPIII 控制网精度均匀兼容。

## 参考文献:

[1] 李阳春. 武汉至咸宁城际铁路 CRTSⅢ型板式无砟轨道技术[J].

铁道工程学报,2013,30(4):51-55.

LI Yangchun. CRTSⅢ Slab Track Technology Applied in Wuhan to Xianning Intercity Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society,2013,30(4):51-55.

[2] 刘延龙. CRTSⅢ型路基纵连轨道板制造技术及创新[J]. 铁道建筑技术,2010,37(9):83-86.

LIU YanLong. Manufacturing Technology and Innovation of CRTSⅢ Subgrade Vertical Track Plate[J]. Railway Construction Technology, 2010,37(9):83-86.

[3] 黄众. 城际板式无砟轨道结构优化研究[D]. 成都:西南交通大学,2011.

HUANG Zhong. Study on the Optimization of the Intercity Slab Ballastless Trace Structure [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University,2011.

[4] 杨健健,饶国和,许昌,等. 测量机器人 GeoCom 接口技术的开发与应用[J]. 水电自动化与大坝监测,2008,32(1):72-74.

YANG Jianjian, RAO Guohe, XU Chang, et al. Development and Application of Georobot GeoCOM Technology [J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2008,32(1):72-74.

[5] 许双安. CRTSⅢ型板式无砟轨道施工布板计算模型研究[J]. 铁道标准设计,2015,59(7):74-78.

XU Shuang'an. Research on the Calculation Model of Plate Layout and Construction for CRTSⅢ Ballastless Track [J]. Railway Standard Design,2015,59(7):74-78.

[6] 徐万鹏. 基于 CPⅢ网的板式无砟轨道精调系统[J]. 铁道工程学报,2011,28(7):53-58.

XU Wanpeng. Fine-adjustment System for Slab Ballastless Track Based on CPⅢ Control Net [J]. Journal of Railway Engineering Society,2011,28(7):53-58.

[7] 许双安. CRTSⅢ板式无砟轨道布板设计与定位测量系统设计与实现[J]. 铁道勘察,2017,43(1):1-5.

XU Shuang'an. Design and Realization of Layout Design and Position Measurement System for CRTSⅢ Ballastless Track Plate [J]. Railway Investigation and Surveying, 2017,43(1):1-5.

[8] 许双安,任晓春,武瑞宏. CRTSⅡ型无砟轨道板精调系统设计与实现[J]. 高速铁路技术,2014,5(5):66-69.

XU Shuang'an, REN Xiaochun, WU Ruihong. Design and Realization of Fine-adjustment system for CRTSⅡ Ballastless Track Slab [J]. High Speed Railway Technology,2014,5(5):66-69.

(编辑:朱雨辰 白雪)