

# Repetition Survey and Data Processing of Grouting CRTS II Track Slab

Xiaozuo Xu

China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an, Shanxi, 710043, China

## Abstract

Repetition survey of grouting CRTS II track slab has important significance in checking grouting track slab quality and positive meaning in improving followed track slab precise regulation as well as grouting technology. On this basis, the paper elaborates equipment and processes used in field repetition survey of grouting CRTS II track slab, and then, the theory of data processing is introduced. Meanwhile, the calculation formula of mileage and midline point corresponding to repetition point is derived rigorously by the way of extreme value method, and the correctness of which is verified. All of the above, standardized field operation and tight data processing principle are clarified in order that the surveyors can fully grasp the repetition technology of grouting CRTS II track slab and measure carefully to reach the purpose of determining accurate geometric position of grouting track slab.

## Keywords

CRTS II track slab; grouting repetition survey; data processing

## CRTS II型轨道板灌浆后复测及其数据处理

徐小左

中铁第一勘察设计院集团有限公司, 中国·陕西 西安 710043

## 摘要

CRTS II型轨道板灌浆后复测,一方面对检查已灌浆轨道板质量具有重要作用,另一方面对改善后续轨道板精调及灌浆工艺具有积极意义。正是基于此,论文首先对CRTS II型轨道板灌浆后复测外业测量设备配备及作业流程进行了详细的阐述,然后介绍了内业数据处理原理,通过极值法严密推导出复测点对应的线路中线点与里程的计算公式,并验证了其正确性。力求通过阐明规范化的外业操作和严密的内业数据处理原理,以期使测量人员全面掌握CRTS II型轨道板灌浆后复测技术,切实做好复测工作,真实反映轨道板灌浆后的几何状态。

## 关键词

CRTS II型轨道板; 灌浆后复测; 数据处理

## 1 引言

CRTS II型板式无砟轨道是将预制轨道板通过板下充填层,铺设在支承层或连续的钢筋混凝土底座板上,并适应ZPW-2000轨道电路的连续轨道板无砟轨道结构形式<sup>[1]</sup>,具有几何精度高、结构整体性和纵向连续性好的突出优点<sup>[2]</sup>,在中国京沪高铁、沪杭客专、宁杭客专等多条客运专线得到大范围的应用。

客运专线铁路轨道具有较高的平顺度标准,以适应客运专线铁路高速行车对平顺性、舒适性的要求<sup>[3]</sup>。对于CRTS II型板式无砟轨道,轨道板灌浆完成后,已基本不再具备调

整的可能性,施工误差所引起的轨道变形只能依靠扣件进行微小的调整。客运专线扣件技术条件中规定扣件的轨距调整量为 $\pm 10\text{mm}$ ,高低调整量 $-4$ 、 $+26\text{mm}$ <sup>[4]</sup>,因此用于施工误差的调整量非常小,必须在钢轨铺设前进行灌浆后复测精确确认轨道板的几何状态。

由于CRTS II型板式无砟轨道系统是经过改进的博格板式无砟轨道系统,虽然经过了消化、吸收、再创新,施工工艺及其配套的测量方法基本上还是沿用德国方法<sup>[5]</sup>。CRTS II型轨道板灌浆后复测亦是如此,无论是外业观测的实施还是内业数据处理,均是参照德国方法进行。由于可参考的资料相对较少,测量人员很难完全按照德国方法的原意进行CRTS II型轨道板灌浆后复测工作,因此论文对CRTS II型轨道板

【作者简介】徐小左(1985-),男,工学硕士,从事高速铁路精密测量工作研究。

灌浆后复测外业实施、内业数据处理进行了全面、深入的阐述，以期使测量人员全面掌握 CRTS II 型轨道板灌浆后复测技术，切实做好复测工作，真实反映轨道板灌浆后的几何状态。

## 2 CRTS II 型轨道板灌浆后复测外业实施

### 2.1 仪器设备

CRTS II 型轨道板灌浆后复测的主要仪器设备，见表 1。

表 1 CRTS II 型轨道板灌浆后复测主要仪器设备表

序号	设备	数量	用途及配置要求
1	特制矮三脚架	1 个	架设全站仪。
2	全站仪	1 台	测量辅助测量标架上的棱镜坐标，带马达驱动和自动照准功能，精度不低于 (1"、1mm+2ppm)。
3	温度计、气压计	1 套	全站仪气象改正，温度计读数能精确至 0.2℃，气压计读数能精确至 0.5hPa，且均应经过相关气象部的检定。
4	CP III 棱镜组件	8 套	用于全站仪自由设站。
5	CRTS II 型板测量标架	1 个	轨道板精调作业的测量装置，应经过严格的校正，最好是使用 CRTS II 型板精调时的标准标架。

### 2.2 测量点编号的原则

每块轨道板上，选取 6 个测点，点位与精调时选择调整的点位相同。CRTS II 型轨道板灌浆后复测点位示意图如图 1 所示。

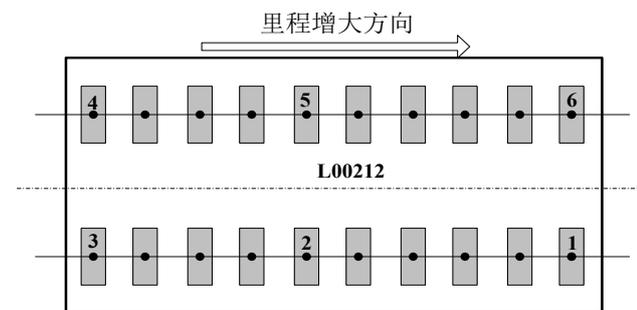


图 1 CRTS II 型轨道板灌浆后复测点位示意图

对于图 1 中的左线轨道板 L00212，复测点编号分别为 01 8 00212 1 至 01 8 00212 6。其中，01 为测站计数器，8 为线路标识符（左线为 8，右线为 9），00212 为轨道板编号，1 至 6 为复测点顺序号。

### 2.3 复测方法及流程

CRTS II 型轨道板灌浆后复测，总体上，1 个测站可测 6 块轨道板，在外界条件甚佳或隧道内作业情况下，也可测 8 块板。为覆盖全部板接缝区，每次换站时，要求有 1 块板的重叠。同轨道板精调时一样，全站仪测站总是沿着预先选定

的检测作业方向运动。轨道板灌浆后复测示意图，如图 2 所示。

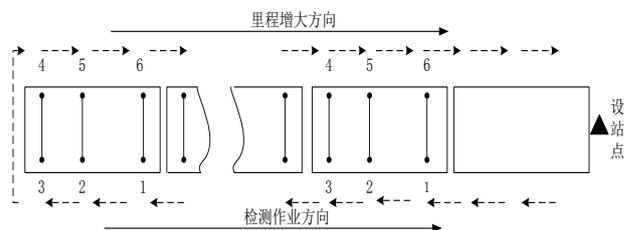


图 2 轨道板灌浆后复测示意图

测站的建立采用 CP III 点，轨道板灌浆后复测的流程如下：

- (1) 在距离待复测轨道板 1 块板的地方架设并调平全站仪，同时进行气象改正。
- (2) 利用全站仪上自带的“自由设站”程序，根据全站仪附近至少 4 对 CP III 点进行自由设站，自由设站点精度应符合表 2 的要求<sup>[6]</sup>。

表 2 自由设站点精度要求

项目	X	Y	H	方向
中误差	≤ 0.7mm	≤ 0.7mm	≤ 0.7mm	≤ 2"

完成自由设站后，CP III 控制点的坐标不符值应满足表 3 的要求。当 CP III 点坐标 X、Y、H 不符值大于表 3 的规定时，该 CP III 点不参与平差计算。每一测站参与平差计算的 CP III 控制点不少于 6 个<sup>[6]</sup>。

表 3 CP III 控制点坐标不符值限差要求

项目	X	Y	H
控制点余差	≤ 2mm	≤ 2mm	≤ 2mm

(3) 测量标架从仪器的左边开始向离仪器远的小里程测量，测量精调时调整过的 3 个承轨台，顺时针测量一周回到仪器边，该站测量完成，然后继续向前进行下一站测量，更换测站后，相邻测站重叠观测的 CP III 控制点不少于 2 对。

(4) 如果不是第一站，全站仪“自由设站”后，还需利用上一测站最后一块轨道板最后一个承轨台上的 2 个点（左和右检测点）采用全站仪“定向与高程传递”功能进行再次定向，并进行高程检测<sup>[7]</sup>。由此，可消除由于换站所引起的高程和平面搭接折线。

## 3 CRTS II 型轨道板灌浆后复测内业数据处理

CRTS II 型轨道板灌浆后复测外业完成后，将全站仪测量得到的复测点坐标数据通过“格式管理器”编辑的格式文件导出 DPU 格式的文件，DPU 文件是一个文论文件，按行

记录数据, 每行按照点号、Y 坐标、X 坐标、高程、点代码、简短说明顺序记录数据, 数据以分号为分隔符。

为了计算复测点的横向和高程偏差, 需要根据复测点实测坐标结合平曲线计算复测点对应的中线里程, 继而可以得到该中线里程处的设计坐标和高程, 再根据定义的断面即可计算得到复测点的设计位置, 亦即容易计算得到复测点的坐标和高程偏差, 此时复测点的坐标偏差还需根据线路切线方位角进行坐标转换得到该复测点的横向偏差。

上面介绍了计算复测点横向和高程偏差的具体实现原理, 下面将复测点横向和高程偏差的具体计算过程阐述如下。

### 3.1 复测点在平曲线上对应点的位置判断

如图 3 所示, 实测的复测点记为点  $O$ , 平曲线上距离点  $O$  最近的点记为点  $B$ , 点  $B$  的里程即为点  $O$  对应平曲线上的里程<sup>[8]</sup>。

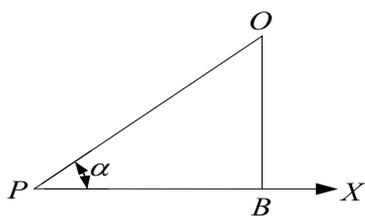


图 3 复测点在平曲线上对应点的位置示意图

通过距离计算与图形条件分析可以得到以下结论:

(1) 若计算平曲线上的五大桩点或者直线点  $P$  与点  $O$  之间的距离, 一定能找到距离点  $O$  最近的五大桩点  $P$  或者直线点  $P$ , 则点  $O$  在点  $P$  的附近。若  $PO$  之间的距离为零, 则点  $P$  即为找到的点。

(2) 设  $PO$  的方位角与点  $P$  切线方向  $PX$  方位角的夹角为  $\alpha$ , 则  $\alpha$  的取值分为三种情况:

- ①  $\alpha > 90^\circ$ , 则点  $B$  一定处在点  $P$  的里程减少方向, 并令:  $f_q = -1$ , 其表示点  $B$  在点  $P$  的里程减少方向;
- ②  $\alpha = 90^\circ$ , 点  $P$  与点  $B$  重合, 即点  $P$  就是找到的点;
- ③  $\alpha < 90^\circ$ , 则点  $B$  一定处在点  $P$  的里程增加方向, 并令:  $f_q = 1$ , 其表示点  $B$  在点  $P$  的里程增加方向。

通过以上两步计算和点  $P$  的属性, 可以获得任意点  $O$  所对应线路中线点  $B$  所在曲线的属性, 即可知点  $B$  是在直线段上、还是在圆曲线段上或者是在缓和曲线段上。

### 3.2 点 $O$ 在平曲线上对应点 $B$ 坐标与里程的计算

从上述可知, 点  $O$  在平曲线上对应点  $B$  的位置可能在

直线段、圆曲线段或缓和曲线段上, 其中以缓和曲线方程最为复杂, 计算也相对繁琐。因此, 限于文章篇幅, 下面仅给出点  $O$  在平曲线上对应点  $B$  的位置位于缓和曲线时点  $B$  坐标与里程的计算过程。

设复测点  $O$  在缓和曲线独立坐标系中对应的坐标记为  $O(x_0, y_0)$ , 可通过坐标转换的方法计算得到。则点  $O(x_0, y_0)$  到缓和曲线上任意一点距离的平方, 可以表示为<sup>[9]</sup>:

$$D = \left( l - \frac{l^5}{40R^2l_0^2} + \frac{l^9}{3456R^4l_0^4} - x_0 \right)^2 + \left( \frac{l^3}{6Rl_0} - \frac{l^7}{336R^3l_0^3} - y_0 \right)^2 \quad (1)$$

对式 (1) 求关于  $l$  的一阶导数, 且忽略高次项的影响, 则有:

$$D_l = l - x_0 - \frac{l^2 y_0}{2Rl_0} + \frac{l^4 x_0}{8R^2l_0^2} - \frac{l^5}{15R^2l_0^2} + \frac{l^6 y_0}{48R^3l_0^3} - \frac{l^8 x_0}{384R^4l_0^4} + \frac{l^9}{945R^4l_0^4} \quad (2)$$

再对式 (2) 求关于  $l$  的一阶导数, 有:

$$D_{ll} = 1 - \frac{l y_0}{Rl_0} + \frac{l^3 x_0}{2R^2l_0^2} - \frac{l^4}{3R^2l_0^2} + \frac{l^5 y_0}{8R^3l_0^3} - \frac{l^7 x_0}{48R^4l_0^4} + \frac{l^8}{105R^4l_0^4} \quad (3)$$

因点  $O$  在缓和曲线附近, 一般有  $\frac{y_0}{R} < \frac{1}{2}$ ,  $\frac{x_0}{R} < 1$ , 因此在  $l \in [0, l_0]$ , 有:

$$D_{ll} > 1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{3} - \frac{1}{48} = \frac{7}{48} > 0 \quad (4)$$

同时在  $l \in [0, +\infty]$ , 有:

$$D_l(0) = -x_0 < 0, D_l(+\infty) > 0 \quad (5)$$

若存在  $l > l_0$  使  $D_l = 0$  成立, 说明  $B$  点不在缓和曲线段上, 与前面的“ $B$  点只能在缓和曲线段上”矛盾, 因此一定存在  $l \in [0, l_0]$  使  $D_l = 0$  成立。同时结合式 (3) 可知,  $D_l = 0$  在  $l \in [0, l_0]$  时有且只有一个解。

由于  $D_l = 0$  是关于参数  $l$  的高次方程, 因此可以采用简单迭代、Newton 法或弦截法等方法求解, 当  $|l_{i+1} - l_i| < \zeta$  时, 停止迭代。然后把得到的  $l$  值代入缓和曲线方程, 即可以求得  $b$  点在缓和曲线独立坐标下的坐标  $(x_b, y_b)$ , 利用坐标转换模型, 就可以将点  $b$  的坐标转化成点  $B$  在设计坐标系下的坐标  $(x_B, y_B)$ ; 同时也可计算  $B$  点里程,  $L_B$  为  $P$  点里程  $L_P$  与  $f_q \times l$  之和。

有了  $B$  点里程之后, 结合竖曲线就可以计算点  $B$  的高程, 由于计算过程相对简单, 不再赘述。

### 3.3 复测断面的定义及复测点设计坐标的计算

经过上述步骤, 可计算得到该复测点对应中线里程处的

设计坐标和高程,同时可计算得到该中线里程处的线路切线方位角。再根据表4定义的断面<sup>[10]</sup>并考虑超高的影响,利用坐标正算公式即可计算得到左右复测点的设计位置,亦即容易计算得到复测点的坐标和高程偏差,此时复测点的坐标偏差还需根据线路切线方位角进行坐标转换得到该复测点的横向偏差。

表4 复测断面定义

点 位	左 (1)	中线 (2)	右 (3)
Dy (m)	-0.750000	0.000000	0.750000
Dz (m)	棱镜高	0.000000	棱镜高

复测断面的基准面为钢轨顶面基准面,基准点为线路中线点,Dy/Dz沿断面坡向计算左右复测点的设计位置。其中,“棱镜高”指的是轨顶到棱镜中心的距离,可在标准承轨台上采用专用设备精确测定。

### 3.4 复测点对应的线路中线坐标计算模型的验证

在复测点横向和高程偏差计算过程中,复测点对应的线路中线里程和坐标的计算较为繁琐且至关重要。为了验证所推导的数学模型的正确性,根据某高速铁路的线路设计要素,在CAD中绘出相应的设计线路图,在线路图上任取一点O并过该点作线路的垂线,即可获得垂点B的设计坐标。并与线路坐标计算模型计算得到的坐标进行比较,可以反映计算模型的正确性和该点的计算精度,由于数据较多,此处仅列出5个点的具体比较情况,见表5。

表5 线路中线点计算坐标与设计坐标比较统计表

线路附近任意点坐标 (m)		对应线路中线点计算坐标 (m)		对应线路中线点设计坐标 (m)		坐标差值 (mm)	
X	Y	X	Y	X	Y	Δ X	Δ Y
241.4109	838.4016	194.2165	845.9636	194.2165	845.9636	0.0	0.0
740.5951	4779.3375	811.3628	7780.2033	811.3627	7780.2033	0.1	0.0
639.8669	5928.8742	712.4871	5940.4306	712.4871	5940.4306	0.0	0.0
644.4891	6240.3522	658.3414	6243.1058	658.3414	6243.1058	0.0	0.0
523.5432	6618.6943	571.2528	6630.6660	571.2528	6630.6660	0.0	0.0

从表5可以看出,线路中线点计算坐标与设计坐标的差值大部分为0,说明了线路中线点计算值与其理论值具有一致性,也验证了推导的计算对应线路中线点坐标模型的正确性。

CRTS II型轨道板灌浆后复测内业数据处理,利用两点之间的距离、方位角及其与线路走向间的几何关系,首先判断

出测点所在段位置,然后通过极值法严密地推导出复测点对应的线路中线点坐标与里程的计算公式,避免了在线路中线点坐标计算中,出现人为干预和迭代求解的多值性等问题。

## 4 结语

CRTS II型轨道板灌浆后复测作为钢轨铺设前轨道板位置检查的重要手段,能发现在板接缝处平面和高程上的误差超限情况以及板中央的高程偏差,借以发现并避免轨道板精调和灌浆作业引起的周期性误差。因此,全面掌握CRTS II型轨道板灌浆后复测技术,通过规范化的外业测量作业流程以及严控作业过程中的精度指标,采集得到高精度、高可靠性的外业数据,后续通过严密的数据处理,获得真实反映轨道板灌浆后几何状态的结果。一方面,可以对轨道板位置偏差较大的轨道板进行揭板处理;另一方面,可以基于复测数据的分析结果改进、优化轨道板扣压及灌浆工艺,提高轨道板灌浆质量,降低扣件更换率,对于降低项目建设成本、加快工程推进速度具有积极意义。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国铁道部.铁建设〔2010〕241号高速铁路轨道工程施工技术指南[S].2011.
- [2] 李中华.CRTS I型与CRTS II型板式无砟轨道结构特点分析[J].华东交通大学学报,2010(01):22-28.
- [3] 罗林.高速铁路轨道必须具有高平顺性[J].高速铁路,2000(09):8-11.
- [4] 铁道部科学技术司.科技基〔2007〕207号WJ-8型扣件暂行技术条件[S].2009.
- [5] 王建红.轨道基准网平面测量及其数据处理的探讨[J].铁道标准设计,2013(08):19-22.
- [6] 中华人民共和国铁道部.TB10601-2009高速铁路工程测量规范[S].2009.
- [7] 李峥辉.CRTS II型板式无砟轨道系统铺板后的检测方案[J].工程实践,2010(01):34-36.
- [8] 郑子天.客运专线轨检仪研制过程中的关键算法研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [9] 王兆祥.铁道工程测量[M].成都:西南交通大学出版社,1999.
- [10] 许非.CRTS II型板式无砟轨道施工布板软件的研发[J].铁道标准设计,2011(08):22-25.