

Research on Measurement Technology of Precise Adjustment Reference Network for Ballastless Track

Qiancheng Lu¹ Guangjian Suo² Yan Li³ Feng Zhang¹

1. Sichuan Southwest Jiaotong University Railway Development Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

2. Engineering Department of China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd., Shanghai, 201100, China

3. Southwest Jiaotong University (Shanghai) Rail Transit Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 201100, China

Abstract

China's high-speed railway has extremely high stability and comfort. In the process of continuous development of high-speed rail, China has mastered the core technology of rail precision adjustment hardware and software through independent research and development and innovation, and led the construction of new high-speed rail precision adjustment. At the same time, there are still some problems in the traditional track precision adjustment business. In order to solve the current track fine in the process, a large number of replacement adjustment cause serious loss, research and development of high precision industrial automation measuring equipment, using computer simulation track precision operation reality scenario, intelligent analysis of track smoothness degree and track assembly accessories optimal scheme, so as to realize line track-laying work step forming, fundamentally solve the track-laying unit of line shape control blind spots, difficulties, into the most economic manpower and material resources, efficient output high quality high-speed rail line, also makes China's high-speed rail construction technology more scientific.

Keywords

ballastless track; intelligent precision tuning; measurement; track alignment

对无砟轨道精调基准网测量技术的研究

路前程¹ 索广建² 李演³ 张峰¹

1. 四川西南交大铁路发展股份有限公司, 中国·四川·成都 610000

2. 中国铁路上海局集团有限公司工务部, 中国·上海 201100

3. 西南交大(上海)轨道交通研究院有限公司, 中国·上海 201100

摘要

中国高速铁路有着极高的稳定性和舒适性, 在高铁不断发展的过程中, 中国通过自主研发和创新, 掌握了轨道精调软硬件核心技术, 主导新建高铁轨道精调。同时, 传统的轨道精调业务还存在一定的问题。为了解决现行轨道精调过程中, 大量更换调整件造成损耗严重的突出问题, 计划研发高精度的工业级自动化测量设备, 采用计算机模拟轨道精调作业现实场景, 智能分析轨道平顺度及轨道组装扣配件最优方案, 从而实现线路铺轨作业一步成型, 从根本上解决铺轨单位对线位线形控制的盲点、难点, 投入最经济的人力和物力, 高效产出高品质的高铁线路, 也使得中国高铁建设技术更具科学性。

关键词

无砟轨道; 智能精调; 测量; 轨道线形

1 无砟轨道精调基准网的简介

无砟轨道精调基准网 (Ballastless Track Fine Adjustment Reference Network, 简称“TARN”) 严格依据轨道控制网 (CPIII)。在轨道控制网 (CPIII) 的基础上, 通过高精度的工程测量方式来建立稳定的无砟轨道精调基准网 (TARN), 同时与轨道控制网 (CPIII) 有较强的兼容性^[1]。然后通过 PSD 传感器在无砟轨道精调基准网 (TARN) 的基础上来实现工业级的高精度测量。无砟轨道精调基准网 (TARN)

设置在浇筑完成的单元板近线路中心位置, 设点密度等同 CPIII 测点密度, 为高精度测量轨道三维坐标提供基准。

2 测量内容

无砟轨道精调基准网 (TARN) 的平面控制网在轨道控制网 (CPIII) 的基础上布设; 无砟轨道精调基准网 (TARN) 的高程控制网在轨道控制网 (CPIII) 高程网的基础上布设。无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面控制网和高程控制网共桩。无砟轨道精调基准网 (TARN) 测量工作内容包括: ①无砟轨道精调基准网 (TARN) 桩点埋设 (间距 60~80m 成对埋设); ②无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面测量及与轨道控制网 (CPIII) 的联测; ③无砟轨道精调基准网

【作者简介】路前程 (1987-), 男, 中国河南巩义人, 硕士, 工程师, 从事测绘工程、精密工程测量等研究。

(TARN) 高程测量及与轨道控制网 (CPIII) 的联测; ④点之记制作、数据计算、平差处理、技术方案和成果报告等的资料整理并按要求上传至信息化管理平台 (见表 1)。

表 1 测量内容

工作类别	备注
无砟轨道精调基准网 (TARN) 布设	间距 60-80m 成对埋设、曲线段间距可根据设计线形计算
无砟轨道精调基准网 (TARN) 测量	平面、高程测量
轨道控制网 (CPIII) 与无砟轨道精调基准网 (TARN) 的平面联测	每个测站联测 2 对 CPIII 控制点
轨道控制网 (CPIII) 与无砟轨道精调基准网 (TARN) 的高程联测	每隔 120~150m 沿线路方向联测一个同侧的 CPIII 点, 每隔 500~600m 闭合测量一对 CPIII, 形成闭合水准路线
点之记制作、数据计算、平差处理、技术方案和成果报告等	按要求上传至信息化管理平台

3 无砟轨道精调基准网平面控制网建网及测量

3.1 一般规定

①无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面控制网起闭于轨道控制网 (CPIII)。控制点布设于左右线路中心, 每隔 60~80m 布设一对点, 宜交替布设在两对轨道控制网 (CPIII) 点对中间^[2]。

②无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面控制网宜采用自由测站边角交会法进行施测。

③控制网络的布局应遵循适应性、技术经济性以及质量保证的原则。测量的精确度需与需求相匹配, 采用的测量技术应简洁高效, 同时经济效益指标也要合理。在必要时, 可以在同等级别内增设或补充控制点, 并通过内插法进行处理。

④无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网测量应在单元板浇筑完成后, 采用合格的 CPIII 成果进行无砟轨道精调基准网 (TARN) 的测量。

⑤无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网应附合与 CPIII 控制点, 并确保每个测量站都能联测到 2 对 CPIII 控制点。此外, 自由测量站到 CPIII 控制点的距离不超过 180m, 以确保测量的准确性。

⑥无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网所使用的仪器设备应满足以下要求:

第一, 采用的全站仪应具备自动目标搜索、自动照准、自动观测以及自动记录等功能。其标称精度应满足以下标准: 方向测量的中误差不超过 $\pm 1''$, 测距的中误差不超过 $\pm (1\text{mm}+2\text{ppm})$ 。

第二, 在开始观测之前, 必须按照要求对全站仪进行校准和检验, 确保其在作业期间处于有效的检定周期内。此外, 在进行边长观测时, 应考虑温度、气压等气象因素的影响并进行相应的修正。其中, 温度的读数应精确到 0.2°C , 气压的读数应精确到 0.5hPa , 以确保观测结果的准确性。

⑦铁路控制测量需分级布设, 从整体到局部的原则。其一使轨道控制网 (CPIII) 具有可重复测量的条件, 便于轨道控制网 (CPIII) 的复测及恢复^[3]; 其二能分级消化系统误差, 使系统误差累积。线下基础平面控制网 (CPI) 测点保护工作尤其重要, 要保证线下基础平面控制网 (CPI) 的完整性和可恢复性。

3.2 选点、埋标

3.2.1 选点要求

无砟轨道精调基准网 (TARN) 设置在浇筑完成的单元板近线路中心位置, 设点密度与 CPIII 密度等同。每隔 60~80m 布设一对, 分别位于上下行线路中心位置。为高精度测量轨道三维坐标提供绝对基准。具体分别如图 1、图 2 所示。

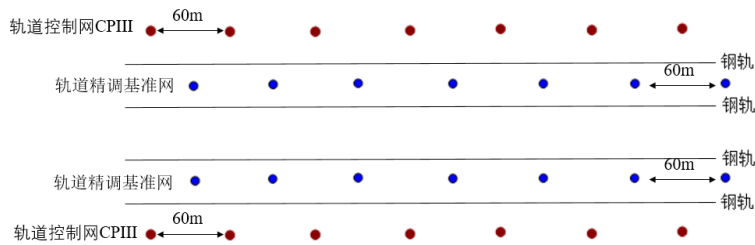


图 1 无砟轨道精调基准网 (TARN) 布设示意图

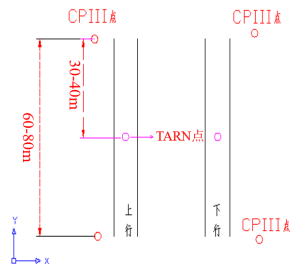


图 2 无砟轨道精调基准网 (TARN) 与 CPIII 网相对位置示意图

3.2.2 总体设计要求

考虑到成本及实用性因素，测点选用带十字丝的钢钉。钢钉长度约 5cm，保证钢钉打入结构物时，对结构物本身的结构不构成损伤。具体如图 3、图 4、图 5 所示。

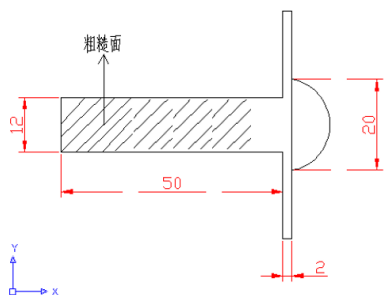


图 3 无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点侧面示意图

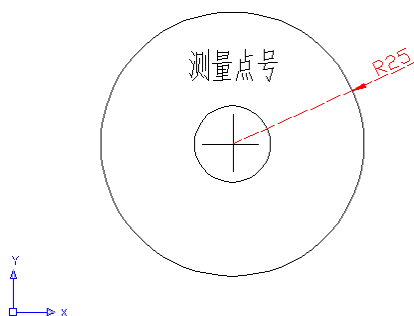


图 4 无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点顶面示意图



图 5 无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点对中标架

无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点标志组由预埋件、对中标架和棱镜 (标靶) 等组成^[4]。为了确保无砟轨道精调基准网 (TARN) 的测量准确性，测点应配置强制对中标志，

且该标志在几何尺寸上的制造误差不得超过 0.05mm。无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点标志应采用精加工原器件，用不易腐蚀及生锈的材料制作。全线必须采用统一无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点标志。

为了确保测量标志的精确安装，对于同一套测量标志在同一位置的重复安装，其空间位置偏差应严格控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内。在 X 和 Y 方向上的重复安装偏差不得超过 $\pm 0.4\text{mm}$ ，在 Z 方向上的偏差则应限制在 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内。同样地，对于不同套测量标志在同一位置的重复安装，我们也遵循相同的偏差标准，即空间位置偏差小于 $\pm 0.5\text{mm}$ ，X 和 Y 方向上的偏差不大于 $\pm 0.4\text{mm}$ ，Z 方向上的偏差不大于 $\pm 0.2\text{mm}$ 。这样的标准确保了测量标志的精确性和可靠性，见表 2。

表 2 无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点标志组件安装精度要求

无砟轨道精调基准网标志	重复性安装误差 (mm)	互换性安装误差 (mm)
X	0.4	0.4
Y	0.4	0.4
H	0.2	0.2

3.2.3 技术要求

①施工方法。测点可采用现埋式。在混凝土养护完成后，采用小钻头打孔，孔向垂直于轨道面，孔直径略大于预埋件直径 (需有轨道板钢筋结构图，以免打到钢筋处)。然后用植筋胶将测点埋设进去。带植筋胶凝固后，即可使用测点。

②施工注意事项。采用现埋式时，打孔时需要将孔内的粉末清理干净后，再使用植筋胶和测点一起埋设，埋设时需保证测点顶帽和单元板之间无缝隙。

3.2.4 命名要求

无砟轨道精调控制点 (TARN) 点号和自由测站的编号应唯一且与 CPIII 测点编号一一对应，便于查找。控制网的点编号原则如下：取同行别小里程相邻 CPIII 点编号，将倒数第三位的数字“3”改为“4”即可，见表 3。

3.3 无砟轨道精调基准网平面外业测量

无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网观测的自由测站间距一般为 100~160m，自由测站到无砟轨道精调基准网 (TARN) 点的最远观测距离不超过 180m；每个无砟轨道精调基准网 (TARN) 点至少要有三个自由测站的方向和距离观测，如图 6 所示。

表 3 测点编号原则

CPIII 点编号	含义	数字代码	在里程内点的位置	对应 TARN 测点编号
0312301	在线路里程 K0312 区间内，朝向线路里程增加方向的左侧，所标记的 CP III 序列中的第 1 个点	0312301	(线路左侧) 奇数 1、3、5、7、9、11 等	0312401
0312302	在线路里程 K0312 区间内，朝向线路里程增加方向的右侧，所标记的 CP III 序列中的第 1 个点	0312302	(线路右侧) 偶数 2、4、6、8、10、12 等	0312402

注：对应 TARN 测点编号取同行别小里程相邻 CPIII 点编号，将倒数第三位的数字“3”改为“4”即可。

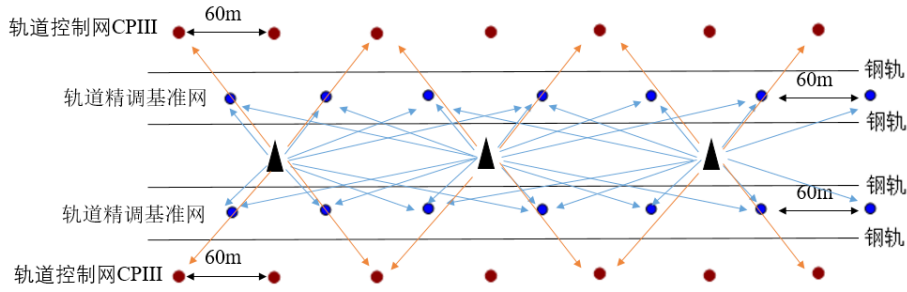


图 6 无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点网形图

无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网可根据施工需要分段测量, 分段测量的区段长度不宜小于 2km, 区段之间重复测量不少于 2 对无砟轨道精调基准网 (TARN) 点。区段接头不应出现在车站里程范围内。

3.4 技术要求和精度指标

①无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网水平方向观测应采用全圆方向观测法, 当采用分组观测时, 应统一归零方向, 并重复观测一个方向。水平方向观测应满足表 4 的规定。

表 4 平面水平方向观测技术要求

控制网名称	仪器等级	测回数	半测回 归零差	不同测回 同一方向 2C 互差	同一方向 归零后方 向值较差
无砟轨道精调 基准网平面网	0.5"	2	6"	9"	6"
	1"	3	6"	9"	6"

②无砟轨道精调基准网 (TARN) 平面网距离测量应满足表 5 的规定。

表 5 平面网距离观测技术要求

控制网名称	测回	半测回间距离较差	测回间距离较差
无砟轨道精调 基准网平面网	≥ 2	± 1mm	± 1mm

注: 距离测量一测回是全站仪盘左、盘右各测量一次的过程。

4 无砟轨道精调基准网高程网建网及测量

4.1 一般规定

①无砟轨道精调基准网 (TARN) 高程控制点水准测量应附合于 CPIII 高程控制点。每隔 120~150m 沿线路方向联测一个同侧的 CPIII 点, 每隔 500~600m 闭合测量一对 CPIII 点对, 形成闭合水准路线, 按照二等水准外业要求观测。

②无砟轨道精调基准网 (TARN) 高程控制点水准测量可按二等水准观测要求, 通过往返测水准网构网观测^[5]。

③相邻无砟轨道精调基准网 (TARN) 高程控制点高差中误差不应大于 ± 0.5mm。

4.2 水准外业测量

水准测量方法原则上要求使用几何水准测量方法, 按照《高速铁路工程测量规范》精密水准测量标准施测 (见表 6)。

表 6 水准测量方法

等级	观测方式		观测顺序
	与已知点 联测	附合或 环线	
二等水准	往返	往返	奇数站: 后 - 前 - 前 - 后 偶数站: 前 - 后 - 后 - 前

水准测量所使用的仪器及水准尺类型必须符合相应等级的要求, 水准测量所使用的仪器及水准尺应在作业前按规定进行检验。

无砟轨道精调基准网 (TARN) 高程应采用二等水准路线进行测量。采用二等水准测量方法进行时, 无砟轨道精调基准网 (TARN) 点间的水准路线图如图 7 所示, 以保证每隔 500-600 米, 无砟轨道精调基准网 (TARN) 测点之间都构成一个闭合环。水准观测时, 在奇、偶不同次序的设站应按以下顺序进行变化:

往、返测奇数站观测顺序为: 后一前一前一后。

往、返测偶数站观测顺序为: 前一后一后一前。

每隔 120~150m 沿线路方向联测一个同侧的 CPIII 点, 每隔 500~600m 闭合测量一对 CPIII 点对, 形成闭合水准路线, 按照二等水准外业要求观测。

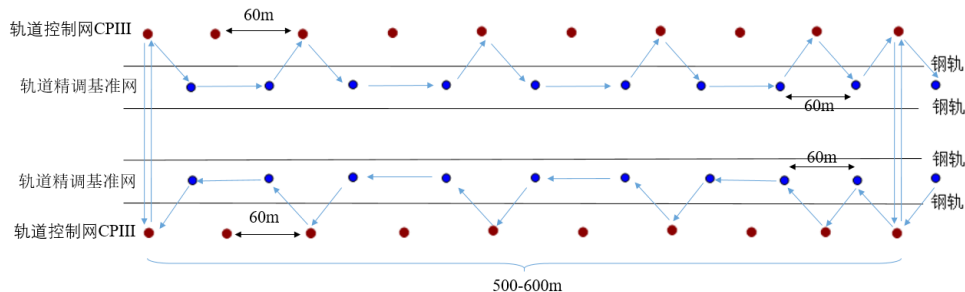


图 7 无砟轨道精调基准网 (TARN) 高程测点网形图

4.3 技术要求和精度指标

水准测量按照《高速铁路工程测量规范》二等水准测量标准施测,进行整体严密平差计算,采用专业平差软件平差,高程成果保留到0.1mm。

水准测量作业结束后,首先计算每测段往返测高差不符值,高差不符值必须满足表7的规定;为了确保水准测量的准确性,我们需要按照测段往返测高差不符值来计算每条水准路线每千米的偶然中误差 M_{Δ} ;此外,如果水准网中的环数超过20个,我们还必须基于环线闭合差来计算每千米的全中误差 M_w 。 M_{Δ} 和 M_w 应符合表8的规定。其技术要求与观测限差见表9、表10。

表7 水准测量限差要求

水准测量等级	测段、路线往返测高差不符值		测段、路线的左右路线高差不符值		附和路线或环线闭合差	检测已测测段高差之差
	平原	山区	平原	山区		
二等水准	$\pm 4\sqrt{K}$		$\pm 4\sqrt{K}$		$\pm 4\sqrt{L}$	$\pm 6\sqrt{R_i}$

表8 水准测量精度指标

水准测量等级	每千米高差偶然中误差 M_{Δ} (mm)	每千米高差全中误差 M_w (mm)	附和路线或环线周长的长度(km)	
			附和路线长	环线周长
二等水准	≤ 1	≤ 2	≤ 2	--

表9 水准测量技术要求

等级	水准仪最低型号	水准尺类型	视距	前后视距差	测段的前后视距累积差	视线高度	重复测量(读数)次数
二等	DS1	钢瓦	≥ 3 且 ≤ 50	≤ 1.5	≤ 6.0	≥ 0.55 且 ≤ 2.8	≥ 2 次

表10 水准测量测站观测限差

等级	基辅分划读数差	基辅分划所测高差的差	检测间歇点高差的差
二等	0.4	0.6	1.0

根据无砟轨道基准网的设计网形进行水准测量,需要检核相邻联测水准线路中的轨道控制点(CPIII)之间的高差。测量高差与已知高差的差值小于 $\pm 1.5\text{mm}$ 时,即满足相关要求,可进行下步平差计算。

5 结语

无砟轨道精调基准网是为了满足无砟轨道智能精调新建的一种控制网,严格依据轨道控制网(CPIII)。在轨道控制网(CPIII)的基础上,通过全站仪和水准仪来建立稳定的无砟轨道精调基准网,同时与轨道控制网(CPIII)有较强的兼容性。然后通过PSD传感器在无砟轨道精调基准网(TARN)的基础上来实现工业级的高精度测量。通过传统的测量仪器和平差软件即可对测量数据进行采集和处理,有较强的兼容性。

参考文献

- [1] 付恒友,刘成龙.高速铁路轨道基准网测量技术深化研究[J].铁道工程学报,2014(4):69-74.
- [2] 付恒友,刘成龙.应用CPIV网进行轨道几何状态测量方法研究[J].铁道工程学报,2013(6):43-46+108.
- [3] 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(8):22-25.
- [4] 许双安,任晓春,武瑞宏.CRTS II型无砟轨道板精调系统设计与实现[J].高速铁路技术,2014(5):66-69.
- [5] 周芳洪,刘成龙,李书亮,等.德国轨道基准网平面网测量与数据处理方法研讨[J].铁道勘察,2013,39(4):29-32.