

# Application of Laser Tracker in Intelligent Precision Regulation of Ballastless Track

Sheng Wang<sup>1</sup> Bin Liu<sup>2</sup> Yan Li<sup>3</sup> Guanghui Wei<sup>2</sup>

1. Public Works Department of China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd., Shanghai, 201100, China
2. Sichuan Southwest Jiaotong University Railway Development Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China
3. Southwest Jiaotong University (Shanghai) Rail Transit Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 201100, China

## Abstract

Laser tracker, as a high-precision portable coordinate measurement device, is not a new thing in the world's precision manufacturing industry. However, the laser tracker has not been effectively applied in the measurement of intelligent precision adjustment of ballastless tracks on high-speed railways. China's high-speed railway has a leading international level of stability and comfort, and is also the pioneer in the research of new high-speed railway track alignment control. China's high-speed rail relies on technological progress to improve the overall quality of engineering, which has always been the unremitting pursuit of high-speed rail builders. This paper is aimed at solving the prominent problem of severe losses caused by a large number of replacement adjustment parts in the current track fine-tuning process. In conjunction with high-precision measuring instruments, high-precision industrial level automation measurement equipment is developed, and computer simulation of the actual scene of track fine-tuning operation is used to intelligently analyze the track smoothness and the optimal solution of track assembly fasteners, thereby achieving one-step shaping of track laying operation.

## Keywords

laser tracker; ballastless track; intelligent precision adjustment; measurement; track alignment

# 激光跟踪仪在无砟轨道智能精调施测中的应用

王胜<sup>1</sup> 刘斌<sup>2</sup> 李演<sup>3</sup> 魏光辉<sup>2</sup>

1. 中国铁路上海局集团有限公司工务部, 中国·上海 201100
2. 四川西南交大铁路发展股份有限公司, 中国·四川成都 610000
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

激光跟踪仪, 以其高精度便携式的三坐标测量能力, 在全球精密制造业中已经赢得了广泛的应用。但是激光跟踪仪在高速铁路无砟轨道智能精调的测量中没有得到有效的应用。中国高速铁路有着领先国际的平稳舒适度, 更是开创新建高速铁路轨道线形控制研究之先河。中国高铁依靠技术进步提升工程总体品质一直是高铁建设者不懈的追求, 论文正是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, 配合高精的测量仪器, 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配件最优方案, 从而实现线路铺轨作业一步成型。

## 关键词

激光跟踪仪; 无砟轨道; 智能精调; 测量; 轨道线形

## 1 引言

传统轨道精调过程中, 有明显的局限性, 在成本、人工、进度、效率等方面有较大的提升空间。论文研究的目的是要从根本上解决铺轨单位对线位线形控制的盲点、难点, 以组件装配的方式, 投入最经济的人力和物力, 高效产出高品质

的高铁线路, 也使得中国高铁建造技术更具科学性。

研究无砟轨道(铁轨)精确定位及线形控制创新技术, 改变先使用标准扣配件铺轨再重复精调的传统方法。对已浇筑完成的无砟轨道单元板, 进行成对承轨台工业级精度的三维测量, 模拟标准扣配件下的轨道三维姿态, 设计轨道线形优选方案并制定相贴合的精调扣配件作业方案。研制适用于双块式和各类轨道板钢轨铺设前(摆放扣件前)现时状态的内外几何状态测量成套装备。

## 2 激光跟踪仪的介绍

激光跟踪仪同全站仪一样, 是一种精密三维坐标测量

【作者简介】王胜(1983-), 男, 中国山西左权人, 本科, 高级工程师, 从事运营铁路测量、线形线位控制技术管理研究。

仪器,它具有测量精度高、效率高、实时跟踪测量、安装快捷、便于移动、操作简便等优点,适合于航空航天、汽车制造、电子、高能粒子加速器工程的设备检测与安装,以及大尺寸工件配装测量等<sup>[1]</sup>。激光跟踪仪是一种集成了众多尖端技术的三维坐标测量设备,包括激光干涉测距、光电探测、精密机械、计算机控制以及现代数值计算等。它能够对空间中的动态目标进行实时追踪,并精准地测定出目标的三维坐标位置。

Leica公司自1990年起便率先涉足激光跟踪仪领域,推出了其首款型号SMART310。仅仅三年后,他们又成功升级并发布了SMART310的第二代产品。随后,为了满足市场的多样化需求,Leica公司进一步扩展了其产品线,推出了LT/LTD系列的激光跟踪仪。然而,Leica公司并非国际上唯一涉足此领域的公司。在美国,SMX公司和API公司同样在激光跟踪仪的生产与研发上占有一席之地,为全球用户提供了多样化的选择。

在本次项目中,我们选用了API公司生产的激光跟踪仪。API公司作为激光跟踪仪技术的全球先驱,不仅开创了这一领域,而且持续引领着技术创新。在过去,汽车行业在使用传统激光跟踪测量技术时常常面临光线阻断的难题,但现在,这一问题已经得到了有效解决。API公司推出了两种高效的解决方案:绝对测距技术(ADM)和智能测头技术(Itelliprobe)。这两种技术的应用,极大地提升了激光跟踪仪在复杂环境中的测量能力和精度。API的绝对测距(ADM)技术允许跟踪过程中断光,甚至可以直接把靶球放到目标位置,然后再将跟踪头指向靶球进行测量<sup>[2]</sup>,这是一种基于红外光脉冲反射拍频计数的绝对测距技术,其10m内精度可以高达0.02mm。

激光跟踪仪主要包含以下功能:

### 2.1 自动靶球锁定

I-Vision功能使得Radian激光跟踪仪具有自动跟踪锁定靶球的功能。测量时,操作者可将注意力集中在待测物上,而不必担心断光、接光的问题的出现。因为具备I-Vision功能的Radian激光跟踪仪会自动锁定靶球,即便断光,也会自动搜寻到靶球的位置并迅速将激光束对准靶球的中心进行跟踪。I-Vision功能具有超过30°的工作范围,让您的测量随心所欲。

### 2.2 实时自我诊断

为了确保精密测量在各种环境中都能保持稳定和可靠,了解仪器的工作状态至关重要。Radian激光跟踪仪的Self-Diagnostics升级功能允许仪器在工作过程中实时向操作员反馈其当前状态。这有助于及时识别和排除由微震、温度升高或光线不足等外部因素引起的潜在干扰,确保测量结果的准确性和可靠性。

### 2.3 智能靶球切换

Radian激光跟踪仪支持多靶球测量模式,进一步提高

了测量的效率和便捷性。当需要从一个靶球切换到另一个靶球进行测量时,操作员只需简单地手持新靶球并对准Radian进行摇动。Radian的智能测量系统会立即识别这一动作,并自动将激光束重新定向至新靶球进行跟踪测量。这种人性化的操作方式极大地简化了测量流程,提高了工作效率。

### 2.4 智能提示功能

具备Activity Advisor辅助功能的Radian激光跟踪仪能够智能地监控仪器的各种状态,并在关键时刻向操作员提供及时的提示和建议。例如,在预热完成、气压异常、温度过高或仪器需要校准时,它会通过直观的界面或声音提示来通知操作员。这一功能不仅增强了仪器的易用性,还有助于延长仪器的使用寿命和保持其最佳性能。

## 3 无砟轨道铺轨前轨道状态测量小车的简介

### 3.1 无砟轨道铺轨前轨道状态测量小车的组成

无砟轨道铺轨前轨道状态测量小车包含:①成对承轨台标准尺寸铸钢标定台。②承轨台测量电子尺(见图1)。③全自动走行装置(见图2)。



图1 承轨台测量电子尺

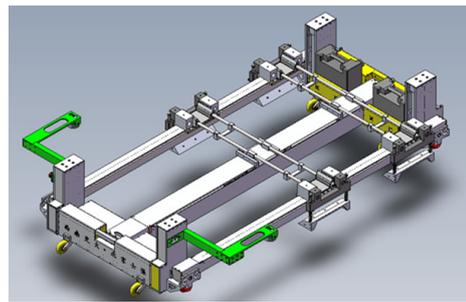


图2 全自动走行装置

### 3.2 无砟轨道铺轨前轨道状态测量小车的功能

无砟轨道铺轨前轨道状态测量小车主要是采集的三维坐标,保证承轨台数据的准确可靠。通过采集无砟轨道铺轨前轨道状态,来模拟铺轨后的承轨台状态。

## 4 激光跟踪仪在无砟轨道智能精调中的测量试验

### 4.1 激光跟踪仪使用参数

系统采用目前国际较为先进的进口激光跟踪仪进行模拟轨道绝对坐标的测量。简要的技术参数、指标:

- ①主机一次定位测量半径:  $\geq 160\text{m}$ 。
- ②水平角测量范围:  $\pm 360^\circ$ , 垂直方向旋转角度:

$\geq -145^\circ \sim +145^\circ$  (以天顶角为基准零点)。

③设备通过国际 IP54 (IEC60529) 独立验证, 使用过程中防尘, 防水。

④内置水平仪: 水平定位精度 $\leq 1s$ 。

⑤坐标测量不确定度 (MPE):  $\leq 15\mu m + 6\mu m/m$ 。

## 4.2 激光跟踪仪作业流程

①自由设站交汇。架设跟踪仪在需要交汇的 4 个 CP III 控制点内合适位置, 由于 4 个控制点坐标已知, 因此只需要学习其中两个点后, 可以控制跟踪仪自动观测该测站 4 个控制点的水平角、竖直角和斜距。

②电子尺目标棱镜测量。自由设站结束后, 手动照准 2 号电子尺“固定端”A 棱镜进行坐标测量; 根据 A 棱镜实测距离和 A、B 棱镜间距 (固定值), 自动计算旋转角度测量 B 棱镜坐标; 启动跟踪仪动态跟踪 B 棱镜, 到下个承轨台位置测量 B 位棱镜坐标和 A 棱镜坐标; 跟踪 A 棱镜至下个承轨台位置重复上述测量流程<sup>[3]</sup>。

③在同一承轨台位置测量 A 与 B 棱镜坐标后需进行实测距离与固定值比对 (同把尺上二棱镜间距保持不变), 超出 0.3mm 应复核测量。

跟踪仪测量示意图见图 3。

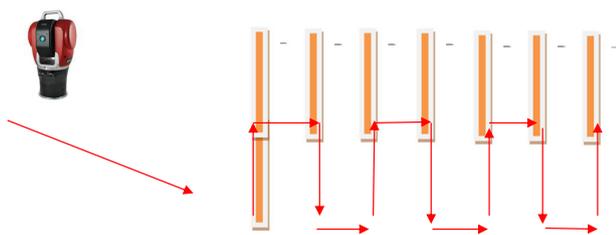


图 3 跟踪仪测量示意图

④作业流程。第一, 选取同一组承轨台, 1 号电子尺和 2 号电子尺进行作业前轨距与水平值一致性标定。第二, 跟踪仪交会 CP III 建站完成, 设备就位, 内外几何数据采集。第三, 2 号电子尺在重复 1 号尺同承轨台测量时, 实时对计算轨距、水平成果进行比对, 当其中一项偏差绝对值大于 0.3mm 时, 2 号尺应复核测量, 直至二次测量成果小于 0.3mm。第四, 2 号尺只有在轨距、水平成果数据合格时, 获取跟踪仪坐标数据并进行比对, A、B 棱镜间距大于 0.3mm 时复核测量, 直至达到精度要求。第五, 当相邻承轨台计算成果偏差大于 2mm 时, 上位机应停止动作, 提示人工观察是否受脏污等因素影响, 确保测量数据真实有效<sup>[4]</sup>。

## 5 激光跟踪仪在无砟轨道智能精调中的数据

### 分析

2023 年 8 月, 根据某在建高铁一标金光隧道、钟村中桥和里安隧道施工进度安排, 分别在 8 月 12 日至 8 月 30 日, 对里安隧道上下行 1.4km, 金光隧道上下行 2.6km, 钟

村中桥结合部上下行 0.15km 进行了承轨台内外几何数据测量, 实测里程为上行 K142+813.814~K144+834.960, 下行 K142+799.934~K144+830.191; 2023 年 10 月 10 日对铺轨完成的该段上下行轨道线形进行了现状测量, 实测里程为上行 K142+741.8~K144+850.8, 下行 K142+707.6~K144+845.2 (见图 4)。

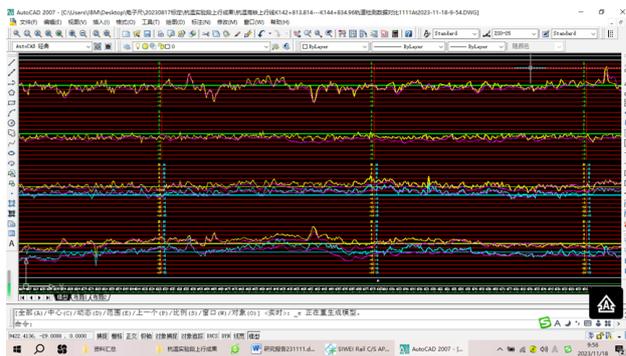


图 4 实测轨道线形与模拟轨道线形曲线对比图

数据分析说明, 承轨台实测数据与轨道线形数据相关性高, 形态一致, 精细度上承轨台数据更占优势, 生成的扣配件方案更加贴合<sup>[5]</sup>。方案数据对比平须度一致, 吻合度高, 测量数据存在系统偏差不影响扣配件选型。

## 6 结语

激光跟踪仪与承轨台内几何尺寸测量小车相结合, 在无砟轨道智能精调测量领域展现了显著优势, 充分满足了试验的各项需求。相较于传统测量手段, 这种先进技术在测量速度和精度上均表现出色。其高效、精准、实时以及可视化的特性使得无砟轨道智能精调测量效果卓著。然而, 在实际操作过程中, 激光跟踪仪也面临一些挑战。例如, 外部环境的变化, 包括仪器工作时产生的热量以及周围环境温度的波动, 都可能对测量精度造成一定影响, 从而引入误差。为了进一步提升测量准确性, 未来的研究和实际应用需要深入探讨误差消除的方法, 并对现有的观测方式进行优化和改进。

## 参考文献

- [1] 段童虎, 范百兴, 黄赫, 等. 激光跟踪仪大角度不整平测量精度分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2023, 42(1): 1-9.
- [2] 董登峰, 周维虎, 纪荣祎, 等. 激光跟踪仪精密跟踪系统的设计[J]. 光学精密工程, 2016, 24(2): 309-318.
- [3] 杨建福. 新一代双块式无砟轨道智能精调技术研究[J]. 国防交通工程与技术, 2022, 20(5): 68-70+67.
- [4] 王海桥. CRTS III 型无砟轨道板智能粗铺及精调技术研究[J]. 国防交通工程与技术, 2023, 21(3): 67-70.
- [5] 王金, 傅重阳, 苏雅拉图, 等. 板式无砟轨道三轴同向精调爪及配套辅助装置[J]. 建筑机械化, 2023, 44(10): 93-96.