

DOI: 10.7672/sgjs2024100063

基于轨道质量指数的地铁预制板道床动态精调 施工技术研究*

杨志

(中铁十五局集团路桥建设有限公司,江苏 南京 210031)

[摘要] 为保证地铁运营的舒适性,以深圳地铁16号线预制板轨道工程为例,围绕铁路轨道质量指数(TQI)开展了一系列调整与优化过程研究,并建立了相对完备的参数标准、数据采集、分析处理及优化调整技术体系,显著提高了焊轨后区间无缝线路的平顺度,有效解决了地铁轨道工程中因铺设预制轨道板、25m标准轨排导致的整体轨道不平顺。结合工程实例对TQI在城市轨道交通结构施工中的应用重难点问题进行了分析。

[关键词] 地铁;预制板;道床;平顺度;轨道质量指数;施工技术

[中图分类号] U215

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)10-0063-04

Research on Dynamic Fine Adjustment Technology of Subway Prefabricated Slab Track Bed Based on Track Quality Index

YANG Zhi

(China Railway 15th Bureau Group Road and Bridge Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210031, China)

Abstract: In order to ensure the comfort of subway operation, taking the prefabricated slab track project of Shenzhen Metro Line 16 as an example, a series of adjustment and optimization processes were carried out based on the railway track quality index (TQI), and a relatively complete technical system of parameter standard, data acquisition, analysis and optimization adjustment was established, which significantly improves the smoothness of seamless lines in the section after rail welding, and effectively solves the technical problems of overall track irregularity caused by laying prefabricated track plates and 25m standard track banks in subway track engineering. Combined with engineering examples, the key and difficult problems of the application of TQI in the construction of urban rail transit structure are analyzed.

Keywords: subways; prefabricated slab; track bed; smoothness; track quality index (TQI); construction

0 引言

为响应国家绿色发展理念,近年来北京、上海、广州、深圳等城市大力推广装配式构件在城市轨道交通中的应用。就深圳地铁而言,目前预制板整体道床、减振垫预制板整体道床、钢弹簧预制板整体道床、混凝土预制柱式检查坑整体道床在地铁4期工程已全面投入建设,随着装配式构造在地铁轨道工程中的应用推广,高速铁路、普通铁路的规范体系也随之得到引入和扩充^[1],其中在地铁施工中已对轨道质量指数 TQI (track quality index) 开展了一

定规模和深度的应用研究。由于地铁轨道为地下线(密闭空间)预制板整体道床,较高速铁路的高架、普通铁路的有砟道床施工难度大大增加,本文通过分析城市轨道交通轨道质量指数 TQI 在地铁工程中应用的重难点^[2],总结相关使用方法和施工经验,为同类工程施工提供借鉴与参考。

1 工程案例和评价体系

1.1 工程概况

深圳市城市轨道交通16号线起自龙岗区大运站(含),止于坪山新区田心站,正线全长29.2km,全部采用地下敷设方式。全线设车站24座,区间25个,田心车辆段1处,龙城公园停车场1处,新建双龙主变电所1座,16号线连通深圳市龙岗区和坪

* 中国铁建股份有限公司科技研发计划(18-C11)

[作者简介] 杨志,高级工程师,E-mail:43793003@qq.com

[收稿日期] 2023-12-16

山新区。全线车站主要采用明挖法施工,其中换乘站共 9 座。区间为盾构法施工,均为 5.5m 内径盾构。本线是东部组团内部普速线路,采用自动化无人驾驶技术,车辆最高速度为 80km/h, A 型车 6 辆编组,供电制式为 DC1500V 接触网供电。

其中龙城公园停车场铺轨长度约 9.75km,道岔 24 组,交叉渡线 1 组。库内线停车列检库 22 道,周月检库 2 道,线路总长约 5.91km,预制混凝土柱式检查坑线路长度 4.677km。

1.2 评价原理

轨道质量指数 TQI 是采用数学统计方法描述区段轨道整体质量状态的一种综合指标^[3]。运用 TQI 参数评价和管理轨道状态,是对单一幅值扣分评判轨道质量方法的补充,该方法可制定高效线路维修计划,以提高轨道检测数据综合应用水平,为保证轨道状态的均衡发展提供科学依据,部分相关指标在案例工程中的实际应用如图 1,2 所示。

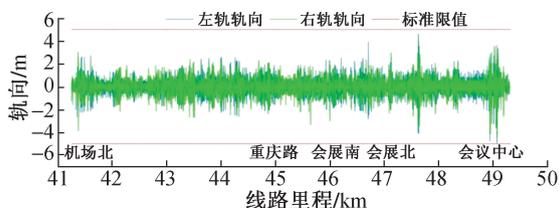


图 1 轨向曲线

Fig. 1 Trajectory curve

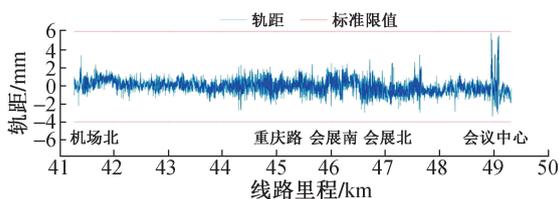


图 2 轨距曲线

Fig. 2 Gauge curve

轨道质量指数 TQI 是对轨道构件高低、轨向、轨距、水平和三角坑动态检测数据的综合统计结果,用来表征区段轨道状态的离散程度,其数值大小与轨道状态平顺性密切相关。数值越大,表明该轨道的平顺程度越差、波动性也越大^[4]。案例工程某区段轨道所采用的高低、轨向、轨距、水平和三角坑的动态检测数据局部幅值评价允许值如表 1 所示。

1.3 评价效果

轨道质量指数 TQI 能综合评价地铁轨道线路整体质量,根据轨道构件高低、轨向、轨距、水平和三角坑曲线数值,指导地铁区段线路综合维修计划编制工作和轨道施工线形调整工作的实施,确保地铁轨道整体平顺度,有效降低钢轨和运营车辆的损耗

表 1 几何状态局部幅值评价允许值

Table 1 Allowable value of local amplitude evaluation of geometric state

轨道几何状态参数	评价允许偏差值
高低(波长 1.5~42m)/mm	6.0
轨向(波长 1.5~42m)/mm	5.0
轨距/mm	6.0
轨距变化率(基长 3.0m)/‰	1.5
水平/mm	6.0
三角坑(基长 3.0m)/mm	5.0
车体垂向加速度/(m·s ⁻²)	1.0
车体横向加速度/(m·s ⁻²)	0.6

率,降低地铁轨道维护成本,经济效益显著。

2 应用过程示范

2.1 数据采集

采用惯导动态轨道检测系统(SDJ-T-NF-2,简称全测小车)进行数据采集,全测小车系统组成如图 3 所示。全测小车工作时,每隔一定距离,通过位于小车上全站仪进行一次后方交会,然后根据获得的纵向倾角、横向倾角、轨距等数据,确定小车在空间的绝对位置^[5]。测量人员推动全测小车在线路上行驶,通过全测小车定位采集钢轨顶面和内侧轨道数据,计算出走过的各点相对坐标,转换为全站仪设站时的绝对坐标。从而大幅降低全站仪测量的使用频次,实现在确保测量精度的前提下,显著提升测量效率,进而提高轨道构件的检测速度。通过后处理终端可导出与传统轨检小车一样的数据报表,便于工程人员分析和处理,CP III 控制网轨道测试原理如图 4 所示。

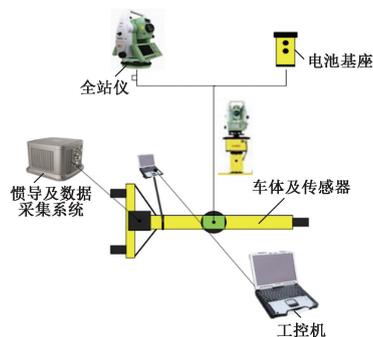


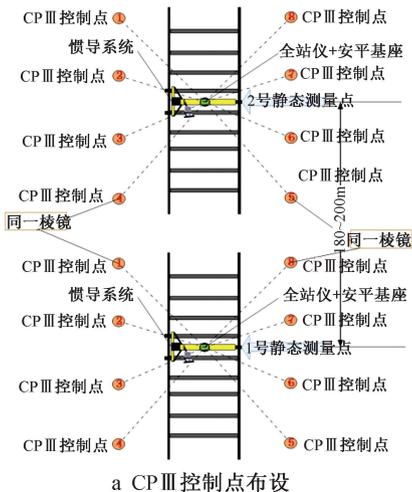
图 3 全测小车系统组成

Fig. 3 The composition of the full measurement car system

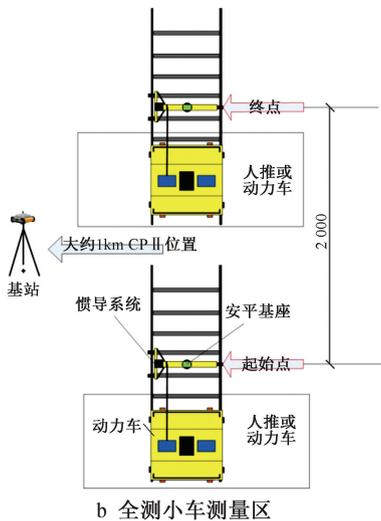
2.2 数据分析及处理

2.2.1 数据生成和分析

将全测小车采集的现场数据生成测量成果,再把相关数据导入 TQI 分析软件,生成实时的线路不平顺曲线高程偏差图(见图 5)、平面偏差图(见图 6)、轨距超高偏差图等^[6],根据数据曲线分析整体



a CP III控制点布设



b 全测小车测量区

图 4 CP III控制网轨道测试原理

Fig. 4 Track test principle of CP III control network

轨道线路线形,进而分析线路红线偏差,制定轨道调整纠偏曲线,为作业人员进行下一步的轨道调整提供精准的参考数值。

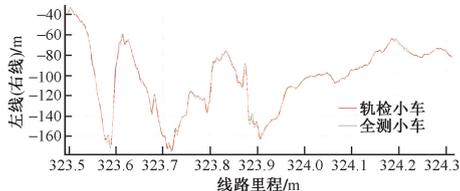


图 5 高程偏差指数实测曲线

Fig. 5 Measured curve of elevation deviation index

2.2.2 数据处理和调控

采集完现场数据,根据轨道质量指数 TQI 曲线图进行数据调整和优化。调整过程中,采取小变动、平顺过渡、满足曲线圆顺性的基本原则^[7],从而避免轨道精调调整量过大、过多的情况出现。采用该方法对现场实测轨道数据汇总、分析和处理,轨道质量各项指标调整前后的偏差值可完整呈现在

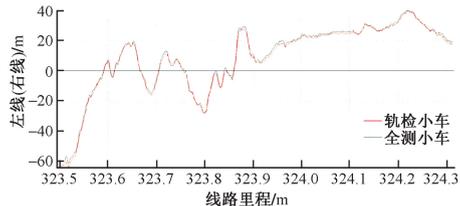
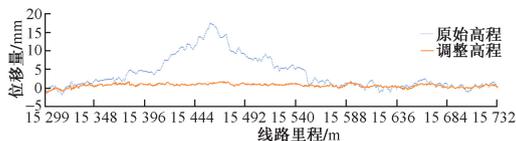


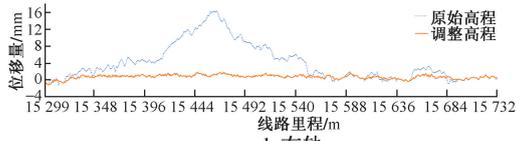
图 6 平面偏差指数实测曲线

Fig. 6 Measured curve of plane deviation index

图中,能有效指导轨道的精调工作^[8],采用 TQI 优化后的实测轨道各项指标与原轨道实测轨道指标对比曲线如图 7~10 所示。



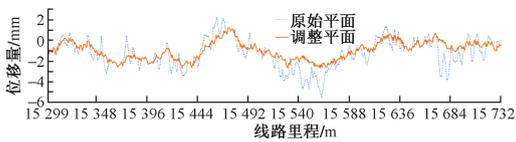
a 左轨



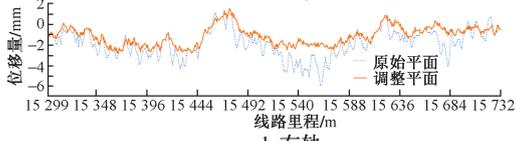
b 右轨

图 7 左右轨高程对比曲线

Fig. 7 Comparison curve of left and right rail elevation



a 左轨



b 右轨

图 8 左右轨平面对比曲线

Fig. 8 Comparison curve of left and right rail planes

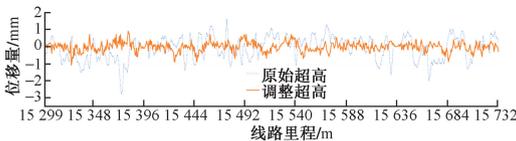


图 9 超高对比曲线

Fig. 9 Comparison curve of super-elevation

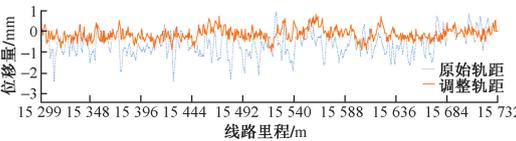


图 10 轨距对比曲线

Fig. 10 Comparison curve of gauge

2.2.3 轨道调控和优化过程

1) 规则设置和调控思路

明确基准轨,平面位置以高轨(外轨)为基准,高程以低轨(内轨)为基准,直线区间上的基准轨参考大里程方向的曲线;导向轨为“-1”表示右手曲线,平面位置以左轨(高轨)为基准,高程以右轨(低轨)为基准;导向轨为“1”表示左手曲线,平面位置以右轨(高轨)为基准,高程以左轨(低轨)为基准。

“先整体后局部”,在长波不佳区段,基于整体曲线标出期望的线路走线或起伏状态,先整体调整,再局部调整^[9];“先轨向后轨距”,通过调整高轨平面位置实现轨向优化,低轨平面位置利用轨距及轨距变化率来控制;“先高低后超高(水平)”,通过调整低轨高程实现高低优化,高轨的高程利用超高和超高变化率(三角坑)来控制。

2) 数据符号约定

以面向大里程方向定义左右;偏差与调整量符号相反。①实际平面位置位于设计位置右侧时,偏差为正,调整量为负;②实际轨面高程位置位于设计位置上方时,偏差为正,调整量为负;③超高(水平)外轨(名义外轨)过超高时,偏差为正,欠超高时偏差为负,调整量相反;④轨距以大为正,实测轨距大于设计轨距时,偏差为正,调整量为负。

3) 实现方法

轨道精调首选考虑 DT-III 型扣配件自身调整量,高低调整量为 0~20mm,轨距调整量为-16~28mm^[10]。关于轨距高低调整,在铁垫板下垫板与轨枕间垫入适当厚度的调高垫板,当调整量超过 10mm 时,采用 II 型螺旋道钉紧固铁垫板,调整量最大 20mm。在设计轨距垫块的情况下,可利用调距扣板进行轨距调整。

3 施工重难点

1) 预制板整体道床为上、中、下 3 层,轨道精调取决于预制板铺设精度,因此需严格控制预制板整体道床线形、顶面标高。

2) 因预制板整体道床具有特殊性,预制板整体道床自密实混凝土灌注中,会存在预制板上浮情况,需严格做好防上浮措施并严格控制最终顶面标高,规避轨道精调无法调低的情况^[11]。

3) 轨道质量指数 TQI 能综合评价轨道高低、轨距、三角坑等轨道几何状态。通过动态修正轨道精调数据,科学考虑各类轨道外部因素,降低轨道个别指数的突出点,提高轨道平顺性。

4) 根据轨道质量指数 TQI 进行轨道精调时,需遵循调整顺序,先整体后局部,先大再小,各项指标同步调整,避免单项调整后,其他指标变动,调整结

果无效。

5) 在轨道调整中,需利用扣配件自身性能进行轨道调整,利用调距扣板调整量,以减少调距垫块使用量。

6) 轨道高低因调高垫板只能调高,双层非线性扣配件轨下垫板无调整量,在预制板施工过程中^[12],应严格进行预制板高程控制及相邻预制板间高差控制。

4 结语

轨道质量指数 TQI 在城市轨道交通中的应用有效解决了地铁区间轨道施工中轨道平顺性的控制问题,同时大幅提高了轨道动态精调的效率,节约了人工成本,缩短了轨道施工工期。特别是在深圳地铁 16 号线预制板整体道床区间轨道动态数据采集、轨道数据分析、轨道数据调整作业过程中起到了显著的质量控制和进度控制效果,可为后续同类工程施工提供一定借鉴。

参考文献:

- [1] 姜晓文,郭世豪,王文通. 地铁装配式预制板无砟轨道结构优化分析[J]. 铁道科学与工程学报,2021,18(12):3164-3171. JIANG X W, GUO S H, WANG W T. Structural optimization analysis of prefabricated slab ballastless track in Metro [J]. Journal of railway science and engineering, 2021, 18 (12): 3164-3171.
- [2] 周昌盛,刘锦辉,周华龙,等. 深圳地铁 6 号线装配式轨道设计与施工技术[J]. 四川建筑,2021,41(6):114-117,121. ZHOU C S, LIU J H, ZHOU H L, et al. Design and construction technology of prefabricated track for Shenzhen Metro Line 6 [J]. Sichuan architecture, 2021, 41(6): 114-117, 121.
- [3] 范建华. 关于轨道交通行走智能检测平台技术的研究[J]. 山西电子技术,2023(6):99-100. FAN J H. Research on intelligent detection platform technology of rail transit [J]. Shanxi electronic technology, 2023 (6): 99-100.
- [4] 杨飞,王秀丽,尤明熙,等. 基于不平顺的 CRTS II 型轨道板状态评价方法研究[J]. 铁道工程学报,2020,37(7):29-34. YANG F, WANG X L, YOU M X, et al. Research on condition evaluation method of CRTS II track plate based on irregularity [J]. Journal of railway engineering society, 2020, 37(7): 29-34.
- [5] 祁正海. 地铁轨道工程铺轨基标及 CP III 轨道控制网应用探究[J]. 江西建材,2021(6):57-58. QI Z H. Research on the application of track laying base standard and CP III track control network in metro track engineering [J]. Jiangxi building materials, 2021(6): 57-58.
- [6] 韦合导. 轨道板无线智能精调软件设计与实现[J]. 铁道建筑技术,2023(1):121-124,147. WEI H D. Design and Implementation of track board wireless intelligent fine-tuning software [J]. Railway construction technology, 2023 (1): 121-124, 147.

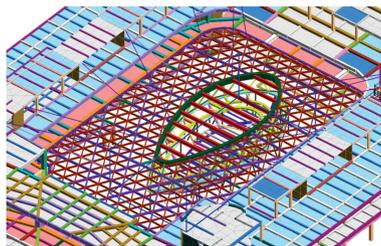


图 11 最终结构

Fig. 11 Final structure

6 结语

本文介绍了中国海洋大学船体及采光顶海洋科教创新园区(西海岸校区)一期工程船形钢结构及采光顶施工方案,解决了钢结构安装复杂的技术难题,并取得了速度快、质量好、低消耗的效果。通过有限元分析,得到了每步张拉的钢索张拉力大小,为实际张拉提供了理论依据。合理的张拉顺序和适当的工具选择确保了安装的顺利进行。经过船形钢结构安装及吊索张拉、采光顶安装及吊索张拉、船形钢结构稳定索张拉等步骤,最终实现了预期的结构状态。该施工技术具有可行性和可靠性,可为类似钢结构安装项目提供经验和参考。

参考文献:

[1] 苟生贵,崔进,张宝云,等. 钢桁架+钢网架采光穹顶整体提升技术[J]. 天津建设科技,2023,33(5):59-62.
GOU S G, CUI J, ZHANG B Y, et al. Integral lifting technology of steel truss + steel grid lighting dome[J]. Tianjin construction science and technology, 2023,33(5):59-62.

[2] NJOMO W, OZAY G. Sequential analysis coupled with optimized substructure technique modeled on 3D-frame construction process [J]. Engineering structures, 2014, 80:200-210.

(上接第 66 页)

[7] 刘堂辉,刘锦辉,冯青松,等. 基于惯性基准法的轨道高低不平顺影响分析[J]. 都市快轨交通,2022,35(2):117-123.

LIU T H, LIU J H, FENG Q S, et al. Analysis of influence of track elevation irregularity based on inertial reference method [J]. Urban rapid rail transit, 2022,35(2):117-123.

[8] 詹璐,刘仍奎,王福田,等. 地铁轨道几何不平顺指标预测方法研究[J]. 铁道建筑,2020,60(7):128-131.

ZHAN L, LIU R K, WANG F T, et al. Research on prediction method of geometric irregularity index of subway track [J]. Railway engineering, 2020,60(7):128-131.

[9] 郭叶丽. 基于信息技术的轨道动态检测数据波峰校正[J]. 铁道工程学报,2022,39(3):46-49.

GUO Y L. Wave crest correction of track dynamic detection data based on information technology [J]. Journal of railway engineering society, 2022,39(3):46-49.

[3] 田黎敏,郝际平. 深圳湾体育中心钢结构施工非线性时变有限元分析[J]. 建筑结构学报,2014,35(10):137-143.

TIAN L M, HAO J P. Nonlinear time-varying finite element analysis of steel structure construction of Shenzhen Bay Sports Center [J]. Journal of building structures, 2014, 35(10):137-143.

[4] 冯立新,杨翠青. 不规则网壳结构施工全过程非线性模拟结构分析[J]. 智能城市,2016,2(5):200-201.

FENG L X, YANG C Q. Nonlinear simulation analysis of the whole construction process of irregular reticulated shell structures [J]. Intelligent city, 2016,2(5):200-201.

[5] GAO F, ZHOU H, LIANG H J, et al. Structural deformation monitoring and numerical simulation of a supertall building during construction stage [J]. Engineering structures, 2020, 209:110033.

[6] 邝小娟,吴宇鹏,贾金廷. 基于主吊绳与平衡梁摩擦力的吊索精细选型技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(21):123-127.

KUANG X J, WU Y P, JIA J T. Fine selection technology of sling based on friction between main sling and balance beam [J]. Construction technology, 2022,51(21):123-127.

[7] 蔡彪,刘军,李斌,等. 核岛反应堆厂房安全壳钢衬里双曲面弧形穹顶拼装及吊装技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(14):36-39.

CAI B, LIU J, LI B, et al. Assembling and hoisting technology of hyperbolic arc dome with steel liner for containment of nuclear island reactor building [J]. Construction technology, 2022, 51(14):36-39.

[8] 陈思,葛银萍,吕航光. 大跨度钢结构吊装及安装关键技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(8):26-30.

CHEN S, GE Y P, LÜ H G. Key technology of hoisting and installation of large-span steel structure [J]. Construction technology, 2022,51(8):26-30.

[10] 李伟,周志军,温泽峰. 地铁弹性短轨枕轨道的钢轨波磨萌生原因[J]. 西南交通大学学报,2021,56(3):619-626.

LI W, ZHOU Z J, WEN Z F. Cause of rail wave wear on elastic short sleeper track in subway [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021,56(3):619-626.

[11] 刘锦辉,郑晓练,任娟娟,等. 特殊减振地段装配式浮置板轨道动力特性分析[J]. 铁道工程学报,2022,39(7):44-49,67.

LIU J H, ZHENG X L, REN J J, et al. Analysis of dynamic characteristics of prefabricated floating plate track in special vibration reduction section [J]. Journal of railway engineering society, 2022,39(7):44-49,67.

[12] 龙静,张丹萍,叶淑琴,等. 地铁线路曲线段几何形位对轨轮接触状态的影响[J]. 城市轨道交通研究,2022,25(9):6-10.

LONG J, ZHANG D P, YE S Q, et al. Influence of geometric position of curve section of subway line on wheel-rail contact state [J]. Urban mass transit, 2022,25(9):6-10.