

# Monitoring Technology for the Slip Process of the Steel Structure of the Roof of the Suqian High-Speed Railway Station

Chuanling Tian<sup>1</sup> Changle Zhu<sup>1</sup> Bibo Ni<sup>2</sup>

1. China Railway Electrification Bureau Group Beijing Construction Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China
2. China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

## Abstract

The roof of the Suqian high-speed railway station station adopts a large-span, large-diameter inverted triangle three-dimensional pipe truss and a flat sheet truss. Considering the structural layout and on-site construction layout, the slide rails used for slip construction are non-linear. To ensure the safety control when the truss is slipping, this paper proposes a process monitoring technology that combines wireless data-based automatic data monitoring and manual inspection, and closely monitors the structural characteristics of the roof structure of the Suqian high-speed railway station. The full-scale, full-time, high-precision measured data of each process structure during the construction phase is used to ensure that the construction is carried out in an orderly manner. This slip process monitoring technology integrates high-tech such as structural analysis and calculation, computer technology, communication technology, sensor technology, etc. During the construction period, APP is used for full-automatic monitoring and alarming, and the safety status analysis of the entire process is obtained through comparative analysis with numerical simulation models. And assessment can provide reference for other similar structure corresponding disposal methods.

## Keywords

long-span steel structure; high-altitude slip; arc track; process monitoring

# 宿迁高铁站站房屋盖钢结构滑移过程监控技术

田川岭<sup>1</sup> 朱长乐<sup>1</sup> 倪碧波<sup>2</sup>

1. 中铁电气化局集团北京建筑工程有限公司, 中国·北京 100000
2. 中国铁路上海局集团有限公司, 中国·上海 200000

## 摘要

宿迁高铁站站房屋盖采用大跨度、大管径倒三角立体管桁架和平面片式桁架, 考虑结构布置及现场施工平面布置等条件限制, 滑移施工所用滑轨为非直线型, 为保障桁架滑移时的安全控制, 本文提出了一种以无线监测为主的自动化数据监控和人工排查相结合的过程监控技术, 紧密围绕宿迁高铁站站房屋盖的结构特性进行规划监测内容, 获取对于施工阶段各工序结构全尺度、全时段、高精度的实测数据, 用以保障施工安全有序进行。该滑移过程监控技术集结构分析计算、计算机技术、通信技术、传感器技术等高新技术于一体, 施工期间采用 APP 进行全自动监测和报警, 通过与数值模拟模型对比分析获取结构全过程安全状况分析与评定, 可为其他类似结构相应处置方法提供借鉴。

## 关键词

大跨度钢结构; 高空滑移; 弧形轨道; 过程监控

## 1 引言

大跨度空间钢结构凭借其新颖的建筑造型、超大的使用空间、良好的受力性能等优势, 被广泛应用于现代建筑中。但越来越复杂的构造形式给大跨度空间钢结构的施工技术提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。宿迁站采用高空滑移及原位拼装方法进行站房屋盖桁架安装, 可以有效解决结构布置及现场施工平

面布置等条件限制问题, 保障施工进度。但是, 由于结构跨度增大、同步性要求提高, 结构体系不规则、安装精度要求高等, 对高空滑移法施工过程带来较大的风险<sup>[2-3]</sup>。

针对以上问题<sup>[4]</sup>, 本文以宿迁站钢结构屋盖滑移施工为研究对象, 提出一种基于热点应力的钢结构屋盖滑移过程实时监控系

迁站钢结构屋盖滑移过程数据多点共享传输与查看,用以保障滑移施工过程监控,通过深入分析对比滑移过程实时监控数据,对大跨度空间钢结构弧形滑移施工控制提供工程借鉴。

## 2 工程概况

宿迁站站房整体屋面为东西对称结构,大屋面主桁架之间的屋脊造型由中心向四角放射,如图1所示。屋盖钢结构桁架为大跨度体系,屋脊长度达88米,大屋面最高标高处34.249米,最低标高处21.105米。主桁架跨度为52m,桁架最大高度为12m,如图2所示。桁架杆件、节点类型复杂多样且数量大,管桁架焊接节点多,节点位置管件连接为相贯焊接。桁架地面拼装完成后吊至高空拼装焊接,后滑移至指定位置,高空滑移分别从东西两端往中间滑移,其桁架的杆件内力、几何变形与弧形滑移施工过程密切相关。



图1 宿迁站效果图

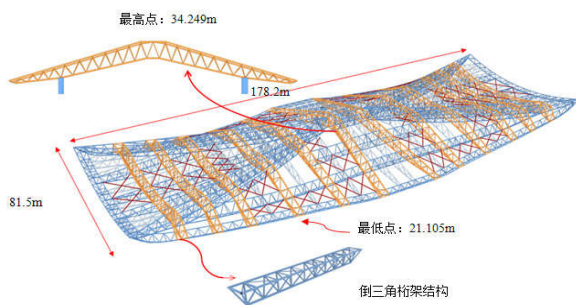


图2 屋盖桁架三维效果图

## 3 滑移过程监控技术方案

本工程屋盖钢结构主桁架屋脊造型为由中心向四角放射的大跨度体系,建筑形式新颖,柱顶支座标高不一,采用弧形轨道,曲率半径与滑移梁上翼缘一致,均为R310.6m(以2、4、6轴立柱顶点三点为基准取圆),便于累积拼装滑移,且累积滑移比普通滑移速度更块,后补杆件更少。桁架整体抬高,在这个抬高范围内放置滑移梁和滑靴,滑移梁和滑靴高

度根据同圆弧原则确定,保证轨道上表面和滑靴下表面形成的圆弧接触面一致,高度和相等。滑移过程的主要承力构件:滑动轨道(主要由承载梁和钢轨组成)、滑靴、挡板等这些位置通过布设传感器采集施工过程相关的力学信息为滑轨受力模型和数量提供施工过程变力学行为分析依据,监测系统采用自动化实时采集、无线传输为主的监测方法,以APP作为实现实时在线和报警预警的基础,可随时数据查询,对滑移过程进行人为把控。

本次的施工步骤如下:1)在地面拼装需滑移桁架;2)根据上部钢结构形式及吊装分段在合适的屋盖桁架下方布置临时支撑胎架;3)主桁架每段地面拼装完成后即吊至高空胎架对接(ZHJ1分为六段高空对接)。每榀主桁架高空安装完成后,相连系次桁架、片桁架地面拼装后吊至高空拼装成稳定单元结构;4)最后将所有钢结构屋盖桁架分区滑移直至所有滑移点达到要求值,完成滑移过程施工。本工程钢结构屋盖滑移施工过程监控传感器布设位置按照易损性分析满足控制施工安全监控的需要的同时考虑经济合理性,选择穿插选跨布设传感器,因此需要监测的滑移梁共计8跨(图3)。各跨传感器分布如下(图4):滑移轨道承载钢梁抗弯截面考虑偏心力影响,每跨跨中布设2个传感器,每个加固斜撑位置的跨中位置布设1个传感器,共计32只;连续梁梁端为剪力最大位置,传感器布设于腹板位置,每跨2个,共计16只传感器,图5为传感器布设位置。

滑移阶段根据屋盖刚桁架结构易损性分析计算结果,结合现场施工情况布置安全考虑,仅选取桁架受力较大杆件进行应力监测,共计6个传感器。

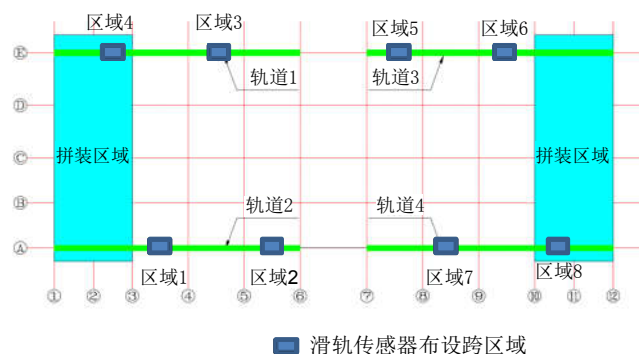


图3 滑移轨道传感器布置跨平面示意图

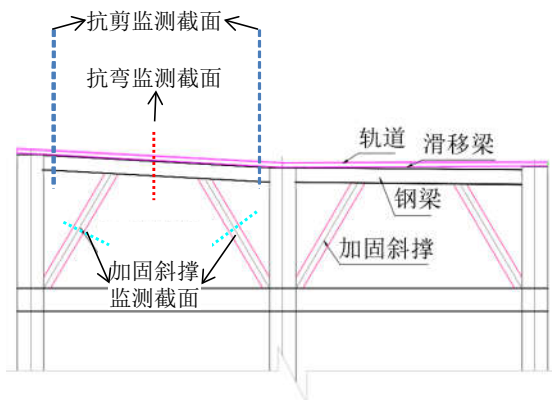


图 4 单跨滑移轨道钢梁传感器布置图



(b) 轨道钢梁传感器布置

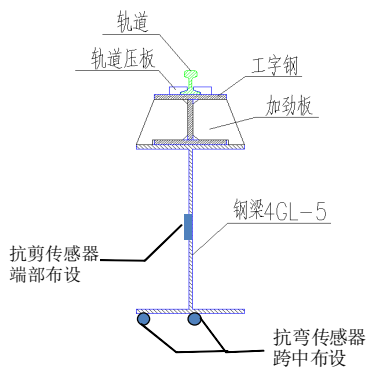


图 5 滑移梁传感器布设位置示意图



(c) 传感器布设照片

图 6 系统实施相关情况

## 4 屋盖滑移过程监控实施与数据分析

### 4.1 滑移过程监控实施概况

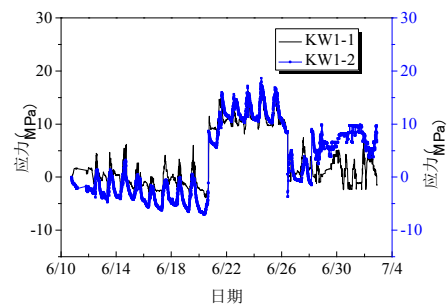
按照屋盖钢结构滑移过程监控方案布设传感器，并进行系统的集成与调试。传感器选用 BGK-4000 弧焊型振弦式应变计和配套数据采集仪（BGK-MICRO-40 型）。应变计点焊牢固连接到钢结构监测点处，通过测量其应变计算出构件的应力。宿迁站站房屋盖钢结构西侧于 2019 年 06 月 07 日 13 点 30 分左右开始滑移；东侧于 2019 年 06 月 14 日 15 点 30 分左右开始滑移，现场滑移施工照片如图 6 所示。



(a) 现场滑移调试

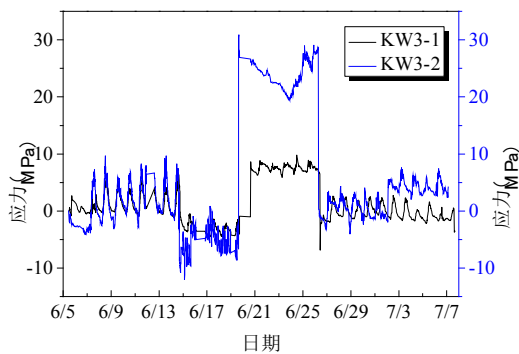
### 4.2 滑移过程监测数据分析

图 7 至图 9 为宿迁站站屋盖钢桁架滑移过程中部分布设传感器的应力数据分析图，包括应力和温度两个参数的演化规律。考虑文章篇幅限制和同类型分析，我们仅给出区域 1 和区域 3 相对跨的抗弯传感器数据对比分析（图 7），区域 7 加固斜撑传感器数据分析（图 8），区域 3 抗剪传感器数据分析（图 9）。



(a) 区域 1 抗弯传感器





(b) 区域3抗弯传感器

图7 区域1和区域3抗弯传感器数据对比分析图

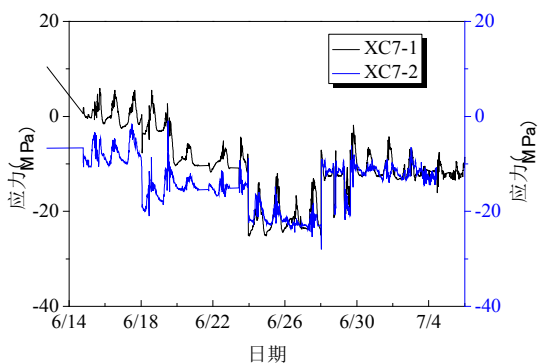


图8 区域7斜撑传感器数据分析图

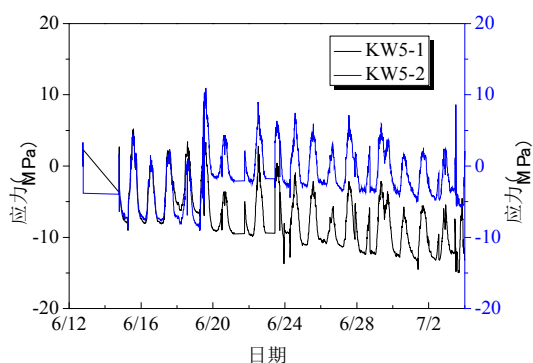


图9 区域5抗剪传感器数据分析图

#### 4.2.1 滑移钢梁抗弯传感器数据分析

图7为屋盖桁架滑移过程中区域1和区域3轨道钢梁跨中梁底安装传感器的应力监测数据对比分析图。可见,滑移前轨道钢梁布设传感器的数据在5MPa左右随温度波动变化,当桁架滑移至该轨道梁时,钢梁传感器数据有骤变且差值较大,最大差值为30MPa,桁架滑移结束后传感器的数据在5MPa左右随温度波动变化,符合施工过程对结构的影响变化

规律。此外,区域1两个传感器实测数据数值基本相等,说明滑移过程中区域1轨道梁受力稳定;区域3轨道钢梁在桁架滑移过程中两个传感器数据实测数值相差15MPa,说明滑移过程中区域3轨道梁受偏心荷载,根据实测数据结果,通过控制各爬行器的顶推速度,使钢结构在滑移过程中回到滑移位置。

#### 4.2.2 滑移钢梁斜撑传感器数据分析

图8为屋盖桁架滑移过程中区域7轨道钢梁斜撑传感器的应力监测数据对比分析图。可见,滑移前轨道钢梁布设传感器的数据在-10MPa左右随温度波动变化,当桁架滑移至该跨轨道梁时,斜撑传感器数据有骤变且差值较大,最大差值为25MPa,桁架滑移结束后传感器的数据在-10MPa左右随温度波动变化,结构安全。

#### 4.2.3 滑移钢梁抗剪传感器数据分析

图9为屋盖桁架滑移过程中区域5轨道钢梁端部腹板安装传感器的剪应力监测数据对比分析图。可见,滑移前轨道钢梁布设两个传感器的数据正负号相反,数值在±5MPa左右随温度波动变化,当桁架滑移至该轨道梁时,钢梁传感器数据有变化但差值较小,最大差值为10MPa,桁架滑移结束后传感器的数据较为稳定仅随温度波动变化。

屋盖桁架布设传感器采集数据表明在滑移施工过程中钢结构桁架应力值最大为50MPa与施工模拟值较为接近,远小于其屈服强度(Q345B),主要受温度波动影响变化,在滑移过程中弦杆的拉应力趋于平稳,说明桁架在滑移过程中安全。

## 5 结语

对宿迁高铁站站房钢结构屋盖弧形滑移施工进行了全过程实时监控,得到以下主要结论。

a) 宿迁站房钢结构施工过程监控系统可准确获得钢结构桁架及轨道系统钢梁及斜撑的受力演化规律,考察屋盖钢结构桁架滑移过程中易损杆件的应力状态,监测结构响应信息,为结构的安全服务,从而保证了结构在滑移过程中的安全性;

b) 布设传感器杆件在滑移过程中受力状态与设计模拟状态相符;钢结构桁架在滑移过程中杆件应力均远小于其屈服强度,桁架安全;

c) 在同一滑移轨道钢梁的下表面截面中部及边角位置布设的两个传感器受力状态相同且受力较小,说明滑移轨道钢

梁在滑移过程中滑移轨道钢梁受力平衡且刚度较大,满足设计及施工要求;

d) 通过分析传感器滑移工况下采集数据的变化可以得到结构滑移施工过程结构安全影响,从而对结构滑移过程结构的安全把控,提出后续施工过程应采取的技术措施,保证安全。

宿迁高铁站站房钢结构屋盖弧形滑移过程监控说明,对于复杂大跨空间结构不规则滑移施工过程监控是十分必要的。通过对弧形滑移施工过程监控可有效定量把控大跨钢结构弧形滑移施工全过程安全问题,具有较大的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 林志野. 大跨度空间钢结构滑移法施工全过程力学行为研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2011.
- [2] 高永祥, 杨京骛, 胡泓志. 首都机场 A380 机库 4 万 m<sup>2</sup> 钢屋盖结构整体滑移施工技术 [J], 建筑技术, 2008, 39(10): 776-778
- [3] 刘彪, 刘航, 李晨光等. 首都机场 A380 机库屋盖整体滑移施工过程分析, 施工技术, 2008, 37(8): 50-52
- [4] 钱稼茹, 张微敬, 赵作周等. 北京大学体育馆钢屋盖施工模拟与监测 [J]. 土木工程学报, 2009(09): 21-28.