

Study on the Impact of Temperature on Bridge Alignment of High-Pier Long-Span Bridges

Tao Wang

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

Abstract

A high-speed railway First Songhua River Super Major Bridge in Northeast China is a key control project of the entire line. Located in the high-cold region of Northeast China, it endures extreme low temperatures ranging from -30°C to -40°C in winter. Additionally, the bridge includes a 110-meter "first high pier" of high-speed railways in Northeast China. These special climatic conditions and structural characteristics pose severe challenges to the stability of the CPIII track control network. Taking the CPIII control network of this bridge as the research object, this paper analyzes the mechanism of temperature on bridge structure deformation, explores the correlation between temperature changes and CPIII point displacement by combining measured data, establishes a temperature influence prediction model, and proposes targeted control measures. The research results show that temperature changes have a significant impact on the longitudinal and transverse displacements of CPIII points. Among them, the maximum longitudinal deformation of the continuous beam segment can reach 60.3mm, and the transverse deformation difference in the high pier area is obvious. The temperature correction method based on the linear regression model can control the CPIII measurement error within $\pm 1\text{mm}$, meeting the millimeter-level accuracy requirement for ballastless track construction. This study provides technical support for the layout, measurement and maintenance of the CPIII control network of high-pier and long-span bridges in high-cold areas, and has important engineering value for ensuring the track smoothness and operation safety of the high-speed railway.

Keywords

High-speed railway; CPIII plane network; Temperature influence; CPIII stability determination

高墩大跨度桥梁温度对桥梁线路影响的研究

王涛

中铁第一勘察设计院集团有限公司, 中国·陕西 西安 710043

摘要

东北某高铁特大桥作为全线关键控制性工程, 地处东北高寒区域, 冬季极端低温可达 -30°C 至 -40°C , 且桥梁包含 110 米东北高铁“第一高墩”, 特殊的气候条件与结构特征给 CP III 轨道控制网的稳定性带来严峻挑战。本文以该大桥 CP III 控制网为研究对象, 通过分析温度对桥梁结构变形的作用机理, 结合实测数据探究气温变化与 CP III 点位位移的相关性, 建立温度影响预测模型并提出针对性控制措施。实际测量结果表明, 温度变化对 CP III 点位的纵向及横向位移影响显著, 其中连续梁段纵向最大变形量可达 60.3mm, 高墩区域横向变形差异明显; 基于线性回归模型的温度修正方法可将 CP III 测量误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内, 满足无砟轨道施工的毫米级精度要求。该研究为高寒地区高墩大跨连续梁 CP III 控制点的布设、测量与维护提供了技术支撑, 对保障某高铁轨道平顺性及运营安全具有重要工程价值。

关键词

高速铁路、CP III 平面网; 温度影响; CPIII 稳定性判定

1 引言

近年来, 随着高速铁路建设的快速发展和高铁轨道测量技术的进步, 为了满足线路跨越大的交通干线、陡峭宽阔峡谷等特殊地段的要求, 高铁线路设计中越来越多的出现高墩大跨度连续梁。由于大跨度连续梁特殊的结构特点及相邻桥梁结构间构造的差异, 在桥墩受到温度时, 桥梁线路受温度影响产生一定的形变, 在高墩大跨度桥梁中, CPIII 点随

温度变化而变化, 对后期轨道的平行性产生一系列的影响。因此, 需要研究温度对 CPIII 点的影响程度。

1.1 研究背景

轨道 CP III 控制网作为高速铁路测量控制体系的核心组成部分, 是无砟轨道铺设与运营维护的基准保障, 其点位精度直接决定了高速铁路的轨道平顺性和列车运行安全。该大桥 CP III 控制点布设于桥梁防撞墙顶部, 与桥梁结构刚性连接, 而桥梁结构在温度变化作用下易产生伸缩、弯曲等变形, 进而影响 CP III 点位的位移变化。本大跨度连续梁的布置形式为 $(75+136+136+75)\text{m}$ 连续梁, 在极端温差环境, 温度

【作者简介】王涛 (1991-), 男, 中国陕西凤翔人, 助理工程师, 从事铁路精密工程测量研究。

对 CP III 控制网的影响更为显著，若不加以精准控制，将导致轨道铺设精度不会满足规范要求，从而影响列车运行时的高铁线路的不平顺性和乘客的舒适感。其总布置如图 1 所示。

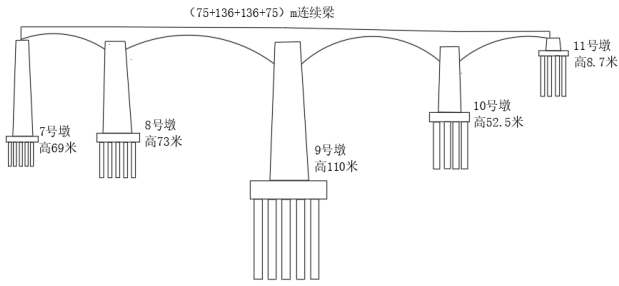


图 1 某高墩大跨桥梁立面布置

1.2 研究意义

- 1、理论意义：揭示高寒地区高墩大跨桥梁环境下温度与 CP III 点位变形的耦合关系，完善特殊工程条件下 CP III 控制网的温度影响理论体系，为同类工程提供理论参考。
- 2、工程意义：针对特大桥的特殊环境与结构特征，发现温度对 CP III 控制点的影响规律，保障某高铁无砟轨道的施工精度，降低运营阶段维护成本，为列车高速、安全、舒适运行筑牢基础。

2 CP III 控制网与桥梁温度变形基础理论

2.1 CP III 控制网体系构成

高铁测量控制网采用分级布设模式，包括 CP0 基础框架网、CP I 基础平面网、CP II 线路控制网和 CP III 轨道

控制网四个等级，实现勘测、施工、运营维护的“三网合一”。CP III 控制网作为直接服务于轨道施工的三维控制网，起闭于 CP I 或 CP II 控制网，沿线路每 60 米左右成对布设控制点，点位布设于桥梁防撞墙顶部，需满足设计轨道顶面以上 30cm 且大致等高的要求。

CP III 测量采用 0.5 秒级以上全自动全站仪，通过自由设站边角交会法观测，相邻点位相对中误差需小于 1mm。其核心功能是为无砟轨道板精调、长钢轨铺设及运营期轨道变形监测提供精准基准，是保障高铁毫米级轨道平顺性的关键技术支撑。

2.2 桥梁温度变形机理

桥梁结构的温度变形主要源于环境温度变化和结构内部温度梯度差异。对于特大桥的混凝土结构，线膨胀系数约为 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，温度变化会引发结构纵向伸缩变形，其变形量可通过公式 $l_t = \alpha (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) L$ 计算，其中 α 为线膨胀系数， T_{max} 与 T_{min} 分别为最高与最低温度， L 为结构伸缩长度。

在纵向变形方面，连续梁结构 8 号、9 号梁为墩梁固结，7 号、10 号、11 号墩为支座，75m 连续梁在 18℃ 温差下纵向变形量可达 60.3mm；在横向变形量可达 24 mm；高程变化最大可达 12.37mm；136 m 连续梁在 18℃ 温差下纵向变形量可达 51.6 mm，在横向变形量可达 17.9mm；高程最大变化量可达 12.58mm；且高墩结构在温度梯度作用下易产生弯曲变形，进一步加剧 CP III 点位的横向偏移。此外，东北高寒地区的极端温差会放大这种变形效应，给 CP III 控制网精度带来更大挑战。其计算结果如表 1 所示。

表 1 桥墩 CPIII 监测变化成果

布设位置	2025/9/13 当天温度 16°	2024/10/23 当天温度 -1°	2025/3/15 当天温度 -2°	$\Delta\text{①-②}(\text{mm})$	$\Delta\text{②-③}(\text{mm})$	$\Delta\text{①-③}(\text{mm})$						
7#墩左侧防护墙上	46***95.28726	51***6.53354	46***95.28651	51***6.54013	46***95.28572	51***6.53781	-0.7	6.6	-0.8	-2.3	-1.5	4.3
7#墩右侧防护墙上	46***86.55071	51***8.48577	46***86.55182	51***8.49192	46***86.55064	51***8.4879	1.1	6.1	-1.2	-4.0	-0.1	2.1
7#墩到8#墩跨中左侧防护墙上	46***03.58797	51***4.23756	4672203.5878	51***4.25195	4672203.5915	51***4.26144	-0.2	14.4	3.7	9.5	3.5	23.9
7#墩到8#墩跨中右侧防护墙上	46***94.83527	51***6.2088	46***94.83846	51***6.22452	46***94.84124	51***6.23404	3.2	15.7	2.8	9.5	6.0	25.2
8#墩左侧防护墙上	46***11.78307	51***1.36345	46***11.79088	51***1.3947	46***11.78519	51***1.39944	7.8	31.3	-25.7	4.7	-17.9	36.0
8#墩右侧防护墙上	46***02.99992	51***3.3228	46***03.00191	51***3.33262	46***03.00455	51***3.33973	2.0	9.8	2.6	7.1	4.6	16.9
8#墩到9#墩跨中左侧防护墙上	46***26.24001	51***7.39425	46***26.23715	51***7.39223	46***26.2386	51***7.39379	-2.9	-2.0	1.4	1.6	-1.4	-0.5
8#墩到9#墩跨中右侧防护墙上	46***17.49278	51***9.31835	46***17.4931	51***9.31558	46***17.49355	51***9.31754	0.3	-2.8	0.5	2.0	0.8	-0.8
9#墩左侧防护墙上	46***40.9962	51***4.37486	46***40.99069	51***4.35992	46***40.99044	51***4.35578	-5.5	-14.9	-0.3	-4.1	-5.8	-19.1
9#墩右侧防护墙上	46***32.21531	51***6.31236	46***32.21273	51***6.29715	46***32.21303	51***6.29371	-2.6	-15.2	0.3	-3.4	-2.3	-18.6
9#墩到10#墩跨中左侧防护墙上	46***55.73003	51***1.47483	46***55.72448	51***1.44786	46***55.72245	51***1.44041	-5.5	-27.0	-2.0	-7.5	-7.6	-34.4
9#墩到10#墩跨中右侧防护墙上	46***46.96091	51***3.37828	46***46.95761	51***3.3515	46***46.9573	51***3.34401	-3.3	-26.8	-0.3	-7.5	-3.6	-34.3
10#墩左侧防护墙上	46***70.07572	51***6.64713	46***70.06597	51***6.60934	46***70.06485	51***6.59548	-9.8	-37.8	-1.1	-13.9	-10.9	-51.6
10#墩右侧防护墙上	46***61.24498	51***8.43828	46***61.2368	51***8.40091	46***61.23723	51***8.38674	-8.2	-37.4	0.4	-14.2	-7.7	-51.5
10#墩到白方台跨中左侧防护墙上	46***78.30348	51***4.17473	46***78.28172	51***4.13719	46***78.27945	51***4.11792	-21.8	-37.5	-2.3	-19.3	-24.0	-56.8
10#墩到白方台跨中右侧防护墙上	46***69.53292	51***6.05512	46***69.52347	51***6.01131	46***69.52271	51***5.99478	-9.4	-43.8	-0.8	-16.5	-10.2	-60.3
白方台左侧防护墙上	46***86.53245	51***1.69029	46***86.5315	51***1.68831	46***86.5325	51***1.6903	-1.0	-2.0	1.0	2.0	0.0	0.0
白方台右侧防护墙上	46***77.79892	51***3.68066	46***77.79579	51***3.6787	46***77.80053	51***3.68033	-3.1	-2.0	4.7	1.6	1.6	-0.3

3 温度对特大桥 CP III 的影响分析

3.1 研究区域环境与结构特征

气候特征：特大桥所在区域属高寒山区，冬季极端低温可达 -25℃ 至 -35℃，夏季最高气温约 30℃，年温差超过 60℃，且昼夜温差大，温度变化速率快，对桥梁结构变形影响显著。

结构特征：大桥包含 110 米高墩及多跨连续梁，高墩结构重心高、刚度分布不均，连续梁跨度大、伸缩变形明显；CP III 控制点分别布设于高墩顶部、连续梁跨中及支座区域，不同位置点位受温度变形的影响程度存在差异。

3.2 温度对 CP III 点位变形的影响规律

1、纵向变形规律：CP III 点位纵向位移与温度变化呈

显著线性相关，温差越大、控制点距固定支座越远，变形量越大。连续梁跨中区域 CP III 点位纵向变形最大，在极端温差条件下可达 60.3mm 左右；高墩区域因结构刚度较大，纵向变形量相对较小，但仍超出轨道施工允许误差范围。

2、横向变形规律：横向变形以固定支座为中心呈对称分布，活动支座端点位横向位移显著大于固定端，在 18℃ 温差下，活动端与固定端相对横向位移可达 24mm。高墩结构在温度梯度作用下的弯曲变形会导致顶部 CP III 点位产生附加横向偏移，进一步增大横向变形差异。

时间分布规律：CP III 点位变形随温度变化实时响应，昼夜温差导致点位位移呈现周期性波动，而季节温差则引发累计变形；冬季低温收缩使点位向固定支座方向偏移，夏季高温膨胀使点位向活动支座方向偏移，这种周期性变形给 CP III 复测与数据应用带来挑战。

3.3 温度对 CP III 测量精度的影响

温度引发的 CP III 点位变形直接导致不同时段测量成果出现偏差。在相邻测段搭接测量中，温度差异会使活动支座端 CP III 点位坐标偏差显著增大，而固定支座端偏差较小，这种偏差若不修正，将导致轨道施工基准不一致，引发轨道平顺性超标。

此外，温度变化还会影响全站仪的测量精度，环境温度与仪器标称温度的差异会导致仪器轴系误差变化，进一步扩大 CP III 测量误差。在高寒环境下，低温还会影响测量仪器的稳定性和电池续航能力，间接降低测量效率与数据可靠性。

4 温度影响的控制措施与优化方案

4.1 测量时机优化

结合区域温度变化规律，选择温度稳定时段进行 CP III 观测。优先采用夜间或阴天观测，避免强光直射和温度剧烈变化时段；冬季测量选择中午前后 2-3 小时的温度稳定期，夏季避开正午高温时段，确保观测期间环境温度变化不超过 5℃，减少温度波动对测量数据的影响。

4.2 测量数据温度修正

基于线性回归理论，建立 CP III 点位位移与温度的数学模型。通过长期观测获取不同温度条件下的点位坐标数据，采用最小二乘法拟合得到各点位的温度 - 位移回归方程，实现测量数据的温度修正。对于连续梁跨中、高墩顶部等变形敏感区域，增加观测频次，优化回归模型参数，提

高修正精度，确保修正后相邻测段公共点坐标差值控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内。

4.3 CP III 布设与观测方案优化

点位布设优化：在高墩顶部及连续梁跨中等变形敏感区域，加密 CP III 控制点布设，缩短观测间距至 40-50 米，提高对变形的捕捉精度；将关键区域 CP III 点位布设于结构变形较小的位置，如固定支座上方或墩梁固结处，减少温度变形传递。

观测技术优化：测量前对仪器进行不少于 30 分钟的恒温预热，确保仪器温度与环境温度一致；观测过程中实时记录环境温度、气压等参数，用于后续数据修正；采用多测回观测法，每个测站观测 4 测回以上，取平均值作为最终观测结果，提高数据可靠性。

5 结论与展望

特大桥所在区域的极端温差和高墩大跨结构特征，导致温度对 CP III 控制网的影响显著，连续梁跨中区域纵向最大变形量可达 60mm 以上，支座端横向相对位移超过 24mm，直接影响 CP III 测量精度。

CP III 点位变形与温度变化呈显著线性相关，变形量随温差增大和距固定支座距离增加而增大，高墩区域还存在温度梯度引发的附加横向变形。

通过优化测量时机、建立温度修正模型、加密敏感区域点位及开展动态监测等综合措施，可将 CP III 控制网误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内，满足无砟轨道施工与运营维护的精度要求。

参考文献

- [1] 刘福星,黄文强,吕光辉. 高铁大跨连续刚构桥梁轨道线形控制技术[J].建筑机械,2025,(05):323-326.DOI:10.14189/j.cnki.cm1981.2025.05.055.
- [2] 张梦楠,胡志鹏,巫裕斌,等. 高墩大跨桥梁桥墩升温对桥上无缝线路的影响研究[J].铁道标准设计,2014,58(09):32-35. DOI:10.13238/j.issn.1004-2954.2014.09.008.
- [3] 熊勇. 大跨度桥梁高墩施工工法及技术探讨[J].黑龙江交通科技,2017,40(06):86+88.DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2017.06.052.
- [4] 柳良兵. 高速铁路精密控制网CP III测量技术分析[J].中华民居(下旬刊),2013,(01):234-236.