

DOI: 10.7672/sgjs2025080040

# 钢箱梁拼装施工环缝焊接过程及影响分析\*

赵越,王统,关晓迪,付樱姿

(西安理工大学土木建筑工程学院,陕西 西安 710048)

[摘要] 钢箱梁桥作为城市桥梁的主力桥型,其施工通常采用工厂预制、现场吊装焊接的方法。焊接过程中,钢材因快速加热和冷却产生的变形可能导致桥面不平整,并在畸变区域出现应力集中现象。为提高钢箱梁对接焊缝的焊接质量及焊后工作性能,以某城市钢箱梁桥为研究对象,采用双椭球热源模型进行有限元焊接过程模拟,分析钢箱梁拼装环缝焊接顺序对结构受力和变形的影响,提出环缝焊接的最优顺序。研究表明,不同焊接顺序对钢箱梁顶板竖向变形的影响较小,但对焊接残余应力的影响较为显著。优化焊接顺序可显著改善顶板和底板焊接残余应力,其中顶板残余应力整体明显小于底板。综合分析表明,最优焊接顺序为底板、腹板、顶板;优先焊接底板形成整体后可增强腹板对顶板的约束作用,从而减小焊接引起的竖向位移变化。

[关键词] 钢箱梁;拼装;环缝;焊接;有限元分析;变形;残余应力

[中图分类号] U445

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)08-0040-07

## Welding Process and Impact Analysis of Circumferential Seams in Steel Box Girder Construction

ZHAO Yue, WANG Chong, GUAN Xiaodi, FU Yingzi

(School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology,  
Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** As the main bridge type of urban bridges, steel box girder bridges are usually constructed by factory prefabrication and on-site hoisting and welding. During the welding process, the deformation of steel due to rapid heating and cooling may lead to uneven bridge deck and stress concentration in the distortion area. In order to improve the welding quality and post-weld working performance of the butt weld of steel box girder, a steel box girder bridge in a city was taken as the research object, and the double ellipsoid heat source model was used to simulate the finite element welding process. The influence of the welding sequence of the circumferential seam for the steel box girder assembly on the stress and deformation of the structure was analyzed, and the optimal sequence of the circumferential seam welding was proposed. The results show that different welding sequences have little effect on the vertical deformation of the steel box girder roof, but have a significant effect on the welding residual stress. Optimizing the welding sequence can significantly improve the welding residual stress of the top plate and the bottom plate, and the residual stress of the top plate is obviously smaller than that of the bottom plate. The comprehensive analysis shows that the optimal welding sequence is first bottom plate, then web, and finally top plate. After the priority welding of floor to form a whole, the restraint effect of the web on the roof can be enhanced, thereby reducing the vertical displacement change caused by welding.

**Keywords:** steel box girder; assembling; circumferential seam; welding; finite element analysis; deformation; residual stress

### 0 引言

钢箱梁桥具有自重小、施工轻便、受力性能良好的特点,在城市桥梁建设中广泛应用<sup>[1-3]</sup>。由于其无法现场制造,通常采用工厂预制后现场吊装连

\* 陕西省自然科学基金基础研究计划一般项目(2022JQ-366)

[作者简介] 赵越,讲师, E-mail: unsemike@163.com

[收稿日期] 2025-01-20







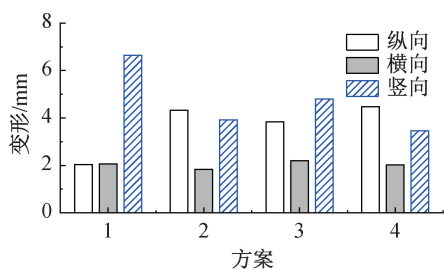


图 10 环缝焊接完成后顶板变形

Fig. 10 Roof deformation after circumferential seam welding is completed

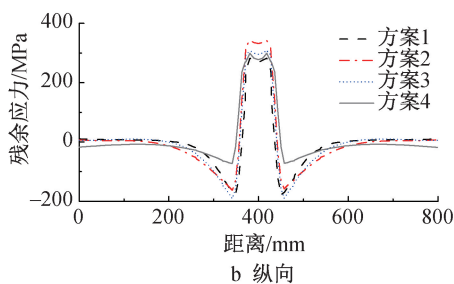
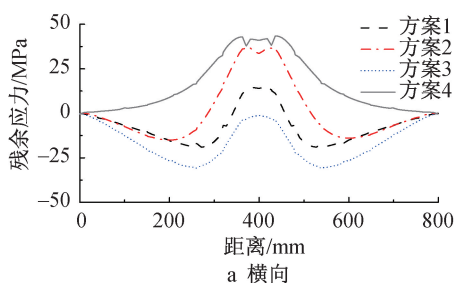


图 11 环缝焊接完成后顶板沿焊缝残余应力

Fig. 11 Roof residual stress along the welding seam after circumferential seam welding is completed

环缝焊接完成后底板沿焊缝残余应力如图 13 所示。在横向分量方面,方案 4,3 横向残余应力分别为 35.04, 40.71MPa, 明显低于方案 1, 2 的 109.07, 131.61MPa; 在纵向分量方面,方案 4,3 的纵向残余应力分别为 270.50, 276.57MPa, 也明显低于方案 1, 2 的 322.72, 370.14MPa。环缝焊接完成后底板垂直于焊缝残余应力如图 14 所示。在横向分量方面,方案 1 最大,为 316.41MPa, 方案 4 最小,为 275.49MPa; 在纵向分量方面,方案 4 最小,为 243.65MPa, 方案 1 最大,为 355.00MPa。

综上所述,就应力场而言,方案 1 的顶板横纵向路径残余应力最小,而方案 4 的底板横纵向路径残余应力最小。由于顶板的残余应力绝对值相对较小,改善底板残余应力可显著提升焊后结构性能。

#### 4 焊接行为影响原因分析

钢箱梁节段环缝焊接完成时,通常环缝节段及其附近区域变形较大,因此以钢箱梁环缝节段为研

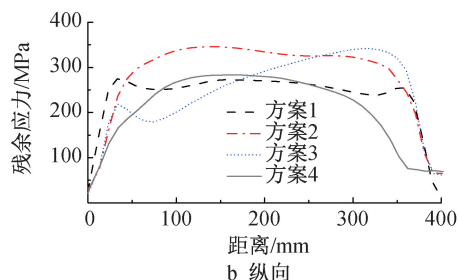
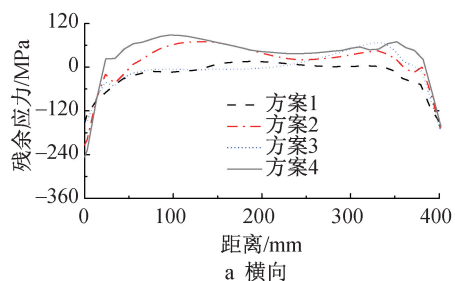


图 12 环缝焊接完成后顶板垂直于焊缝残余应力

Fig. 12 Roof residual stress perpendicular to the welding seam after circumferential seam welding is completed

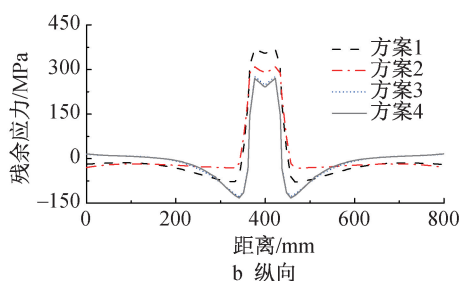
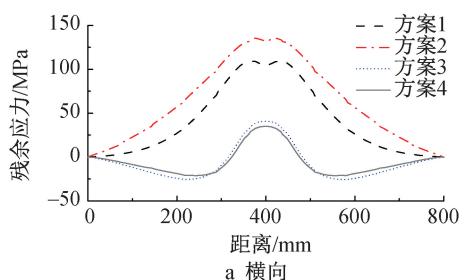


图 13 环缝焊接完成后底板沿焊缝残余应力

Fig. 13 Floor residual stress along the welding seam after circumferential seam welding is completed

究对象,分析焊接行为的影响因素。由结果可知,竖向变形最为显著。首先讨论不同焊接方案竖向变形的共性,再单独分析最优方案 4 的特性。4 种焊接方案下竖向变形如图 15 所示。

由图 15 可知,4 种方案在焊接完成时,钢箱梁环缝节段的顶板和底板均呈上拱状态。钢箱梁中部区域向上的位移分别为 4.344, 3.078, 4.801, 2.785mm。顶板上拱主要由 4 条焊缝共同作用引起,且焊缝与上拱曲率呈正相关,每条焊缝的完成均会直接增大顶板圆弧曲率。与顶板焊缝导致的

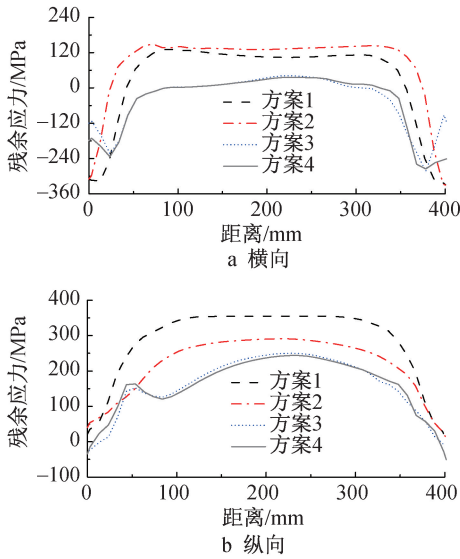


图 14 环缝焊接完成后底板垂直于焊缝残余应力  
Fig. 14 Floor residual stress perpendicular to the welding seam after circumferential seam welding is completed

下挠现象不同,底板焊缝会引起底板上拱。这是由于底板受到力学边界条件约束,对腹板施加向上的压力,腹板再将压力传递至顶板,最终导致顶板也出现上拱现象。

由 3.2 节可知,方案 4 优于其他 3 种方案,所以对方案 4 不同时刻钢箱梁节段竖向变形进行分析。方案 4 下每条焊缝焊接完成后的竖向变形如图 16 所示。

由图 16 可知,4 条焊缝焊接完成时,钢箱梁环缝节段的顶板和底板均处于上拱状态。钢箱梁中部区域向上的位移分别为 0.793, 3.619, 3.818,

2.785mm。当第 1 条焊缝焊接完成后,下表面附近的收缩大于上表面附近的收缩,所以导致焊缝附近区域下挠,中间节段底板上拱,从而导致腹板受压并传递给顶板,导致顶板上拱,由于顶板受到的约束相对较小,其上挠位移值和底板相近。第 3 条焊缝焊接完成后同第 1 条焊缝相同,焊缝附近区域会产生下挠,腹板和焊缝间的区域竖向位移迅速减小,在腹板的另一侧,底板离焊缝较远且此时已形成整体,腹板对顶板的约束作用导致竖向位移减小不明显。底板由于受到腹板的压力,竖向位移也会出现一定程度减小。第 2 条焊缝的作用性质类似于第 1 条焊缝,最终使最大竖向位移进一步减小。

总体来看,合理的钢箱梁焊接顺序可有效减小焊接部位的残余变形和残余应力。然而,由于结构整体响应与局部焊接响应的尺度差异,加上实桥施工中环境因素和施工过程的影响,微小的焊接变形难以通过实测直接观测。对于残余应力,常用的盲孔法会破坏结构,而传感器由于无法确定初始状态,也无法准确测量残余应力,因此,只能通过理想环境下的试验或有限元模拟进行分析,在确保计算精度的基础上提升钢箱梁桥的拼装焊接质量。尽管实桥测量受多种干扰因素影响,导致本文方法的计算结果未能通过实测验证,但与试验结果的对比仍证明了本文结论的可靠性。此外,实桥施工后,主梁工作状态良好,桥面平顺,表明研究成果可为提升钢箱梁桥的长期性能提供参考。

5 结语

1) 采用双椭球热源模型,基于 ABAQUS 软件建立并验证了钢箱梁焊接的有限元模拟方法,明确了

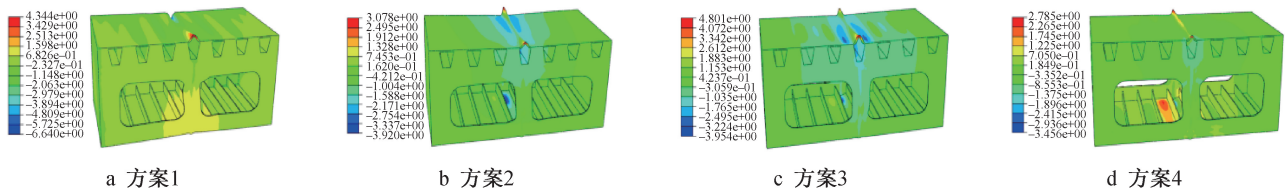


图 15 不同方案下钢箱梁环缝焊接完成时对应的竖向变形(单位:mm)

Fig. 15 Vertical deformation corresponding to the finished welded circumferential seams of steel box girder for different schemes( unit :mm)

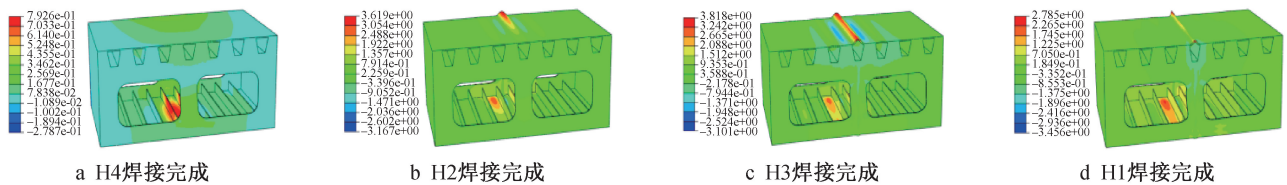


图 16 方案 4 下每条环缝焊接完成后的竖向变形(单位:mm)

Fig. 16 Vertical deformation after each circumferential seam is completed for scheme 4( unit :mm)

