

5×25 m 简支转连续箱梁桥部分支座更换引起的附加应力分析

张元文¹, 邢世玲²

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 南京工业大学 交通运输工程学院, 江苏 南京 211816)

摘要: 针对5×25 m的简支转连续箱梁桥仅中间1墩或2墩上板式橡胶支座需更换的情况, 采用横向同步、纵向单墩或2墩同时顶升是比较合理的施工方案。为了保证顶升施工中不出现梁体应力超限问题, 建立梁格模型, 采用数值模拟方法分析了顶升高度和横向不同步对桥梁上部结构应力的影响。结果表明: 横向同步时, 顶升相同高度, 单墩顶升在梁体上产生的附加应力超过2墩同时顶升产生的附加应力; 2种顶升模式下, 梁体附加应力最大值, 包括最大拉应力和最大压应力均随着顶升高度的增加而增加, 且呈线性变化; 根据数值计算结果, 建立了梁体截面最大拉应力和最大压应力随顶升高度变化的拟合公式; 在单墩顶升高度为5 mm、横向不同步量值设为0.3 mm的4种不同步顶升工况下, 梁体在顶升点处的截面最大附加拉应力和压应力分别为0.580、-1.050 MPa, 较同步顶升时分别增加23.9%和27.4%。在顶升限值容许的情况下, 建议优先采用逐墩(单墩)顶升方式。

关键词: 简支转连续梁桥; 支座更换; 顶升高度; 顶升不同步; 附加应力

中图分类号: U445.4; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)06-0251-05

Analysis of Additional Stress Caused by Partial Bearings Replacement of the 5×25 m Simply Supported-Continuous Small Box Girder Bridges

ZHANG Yuanwen¹, XING Shiling²

(1. JSTI Group, Nanjing 210019, China; 2. College of Transportation Science & Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: Considering that only the plate rubber bearing on the middle pier or two piers needs to be replaced, the longitudinal single pier or two pier jacking construction scheme is more reasonable than the overall jacking. In order to avoid the stress overrun of the beam during the jacking construction, the influence of the jacking height and the lateral unsynchronization on the stress of the superstructure is analyzed by using the numerical simulation method based on the grillage model. The results show that the additional stress caused by single pier jacking is greater than that caused by two piers jacking at the same height. The additional maximum tensile stress and the additional maximum compressive stress in the two jacking modes increase with the increase of the lifting height and change linearly. According to the results of numerical calculation, the relation formula between the maximum additional tensile stress, the maximum additional compressive stress and the lifting height is proposed. When the lifting height is 5 mm and the height difference is 0.3 mm, the maximum additional tensile stress and compressive stress at the section of the jacking pier are 0.580 MPa and -1.050 MPa respectively, which are 23.9% and 27.4% higher than those of the synchronous lifting.

Keywords: simply supported-continuous bridges; bearings replacement; jacking height; asynchronous lifting; additional stress

0 引言

目前国内各种简支转连续梁桥绝大部分采用板式橡胶支座^[1]。此类中小跨度桥梁因活载所占比例大, 在使用过程中支座容易产生各种病害^[2-3]。病害支座如果达到失效条件, 必须进行更换, 以保证桥梁上部结构的合理受力和变形, 确保其能长期服役。

收稿日期: 2025-11-05

基金项目: 南京市建设行业科技计划项目(KS2304)

作者简介: 张元文(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁结构及工程造价研究工作。

通信作者: 邢世玲(1978—), 女, 博士, 副教授, 从事桥梁结构振动和加固改造技术研究工作。电子信箱: xingshiling@sina.com

以江苏省为例,按照江苏省地方标准《公路桥梁橡胶支座病害评定技术标准》(DB32/T 2172—2012),支座需更换的标准为:支座开裂、剪切变形评定为Ⅲ级,或支座存在完全脱空;同一排超过 1/3 支座脱空,评定为Ⅲ级。

板式支座的更换施工需要将支座处梁体顶起,拆除旧支座,再重新安装支座。支座更换施工中采用的顶升方式主要有3种:整体同步顶升;横向同步、纵向逐墩顶升;逐墩台单个支座顶升。

一般当一个支座达到更换标准时,建议将同排支座全部更换,原因如下:

(1)随着支座服役时间的增长,支座逐渐老化,其弹性模量将逐渐增大。如果不同时更换整排支座,由于新旧支座弹性模量相差较大,在荷载作用下受力不同,受力大的旧支座会过早损坏。

(2) 由于旧支座存在永久变形, 与新支座高度不同, 垫石顶面标高调整困难。所以, 国内桥梁支座更换大多采用整体同步顶升^[4-9]和横向同步、纵向逐墩顶升的方式^[10-14]。

5跨简支转连续箱梁桥的常见支座设计特点为:中间2墩上安装板式橡胶支座,其余4个桥墩上安装滑板式橡胶支座。文献[15]依托8座 5×25 m简支转连续箱梁桥的调查数据和定期检查报告,分析发现:病害仅出现在中间2墩的部分板式橡胶支座上,由此作出的养护改造决策是仅对中间1墩或2墩的板式橡胶支座进行整排更换。针对此类5跨连续梁桥仅中间1墩或2墩支座需更换的情况,采用横向同步、纵向单墩或2墩同时顶升方案,相比整体顶升方案可减少千斤顶配置数量,降低施工控制风险,显著节约工程费用,经济性更优。但该方案会引起梁体附加应力,因此施工前必须对结构受力进行详细验算,以确保结构安全。本文以 5×25 m简支转连续箱梁桥为对象,讨论桥墩支座处顶升高度、横向不同步等施工参数对桥梁上部结构应力的影响,以期为同类桥梁的施工实施提供参考。

1 研究区概况

图1为5×25 m连续箱梁桥的简支转连续箱梁桥的横断面布置图;图2为该桥中梁截面细部构造图。

沿行车方向将桥墩依次编号为 A、B、C、D、E、F, 如图 3 所示。

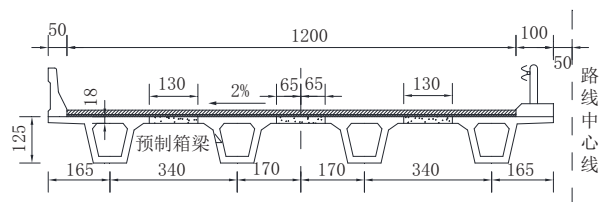


图1 桥梁横断面布置图(单位:cm)

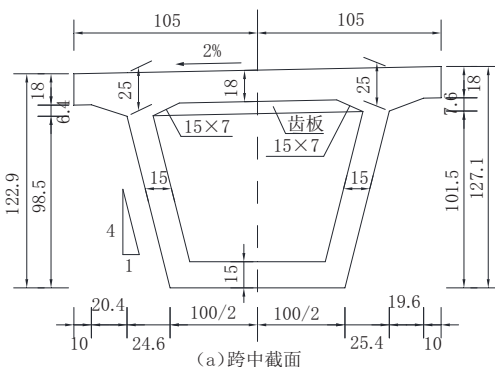


图2 桥梁中梁截面细部构造图(单位:cm)

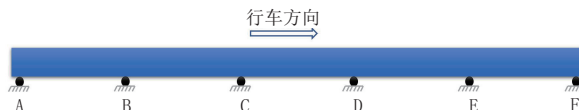


图3 5×25 m简支转连续箱梁桥纵向支座布置编号示意图

2 有限元建模信息

2.1 有限元建模

采用梁格法构建桥梁的有限元模型,如图4所示。

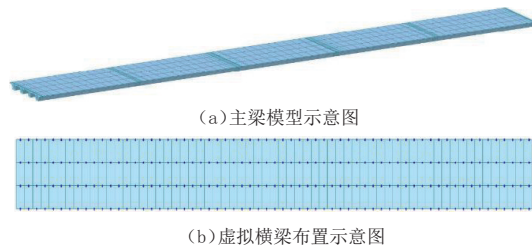


图4 梁格模型示意图

主梁划分为424个单元,横隔梁划分为18个单元,虚拟横梁按等间距划分为189个单元。主梁采用C50混凝土;虚拟横梁的定义不考虑自重。

2.2 顶升施工方法和工况设计

顶升总高度以能取出板式橡胶支座为宜。根据

工程实践总结,顶升高度一般要达到5~6 mm甚至以上^[8],才能保证顺利取出旧支座。

顶升工况设计:

模式一:逐墩顶升C墩和D墩处的梁体(单墩顶升模式),横向同步;顶升过程分10级,每级1 mm,最大顶升高度为10 mm。

模式二:同时顶升C墩和D墩处的梁体(2墩同时顶升模式),横向同步;顶升过程分10级,每级1 mm,最大顶升高度为10 mm。

2.3 顶升模拟

建模时通过对桥墩支座位置处的单元节点施加强迫位移来模拟梁体顶升过程。

3 顶升高度和横向顶升不同步影响分析

3.1 顶升高度的影响

3.1.1 C墩位置顶升(单墩顶升模式)

仅对C墩单排支座处的梁体进行同步顶升,顶升高度分别设置为1、2、…、10 mm。

仅顶升C墩处的梁体,施工时假设横向同步。图5、图6为C墩单墩顶升模式下,该桥主梁各截面上、下缘正应力图。

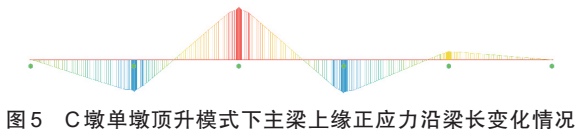


图5 C墩单墩顶升模式下主梁上缘正应力沿梁长变化情况

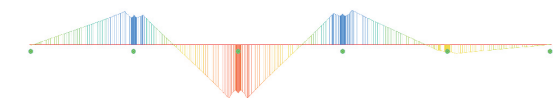


图6 C墩单墩顶升模式下主梁下缘正应力沿梁长变化情况

由图5、图6可知:

(1)上缘最大拉应力出现在C墩位置处主梁截面,上缘最大压应力出现在B墩或D墩支点截面。

(2)下缘最大拉应力出现在B墩或D墩支点截面附近,下缘最大压应力出现在C墩支点截面附近。

3.1.2 D墩位置顶升(单墩顶升模式)

仅对D墩单排支座处的梁体进行同步顶升。图7、图8为D墩单墩顶升模式下,该桥主梁各截面上、下缘正应力图。

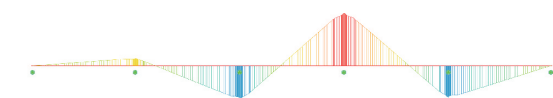


图7 D墩单墩顶升模式下主梁上缘正应力沿梁长变化情况

因跨径布置对称,当D墩单独进行顶升施工时,其对结构受力的影响规律与C墩单独进行顶升施工时相同,此处不再赘述。

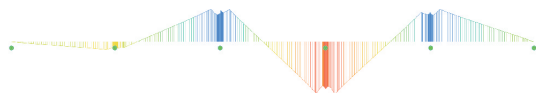


图8 D墩单墩顶升模式下主梁下缘正应力沿梁长变化情况

3.1.3 C墩和D墩位置同时顶升(2墩同时顶升模式)

在C墩和D墩位置处设置千斤顶,横向同步顶升主梁。沿整个梁长,各个截面上、下缘正应力分布情况见图9、图10。

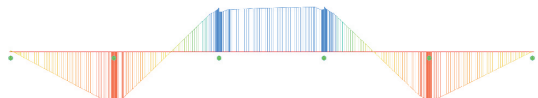


图9 2墩同时顶升模式下主梁上缘正应力沿梁长变化情况



图10 2墩同时顶升模式下主梁下缘正应力沿梁长变化情况

由图9、图10可知:

(1)2墩同时顶升模式下,C墩、D墩及2墩之间的第3跨截面上缘受拉,上缘拉应力最大值出现在C墩和D墩支点截面;上缘压应力最大值出现在B墩和E墩位置处截面。

(2)2墩同时顶升模式下,C墩、D墩及2墩之间的第3跨截面下缘受压,下缘压应力最大值出现在C墩和D墩支点附近截面和整个第3跨截面;下缘拉应力最大值出现在B墩和E墩支点附近截面。

3.1.4 比较分析

由于跨径和支座设置对称,仅选取C墩单墩顶升模式来讨论单墩顶升时的结构受力情况。单墩顶升、2墩同时顶升这2种顶升模式下,主梁上缘最大拉应力和最大压应力随着顶升高度的变化见图11;主梁下缘最大拉、压应力随着顶升高度的变化见图12。

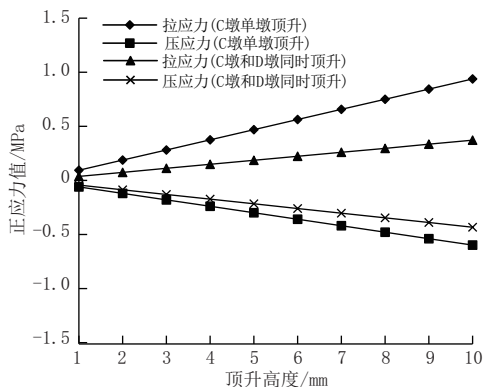


图11 2种顶升模式下主梁上缘最大正应力比较图

由图11、图12可知:

(1)相同顶升高度下,单墩顶升模式在主梁上引起的最大正应力大于2墩同时顶升模式。

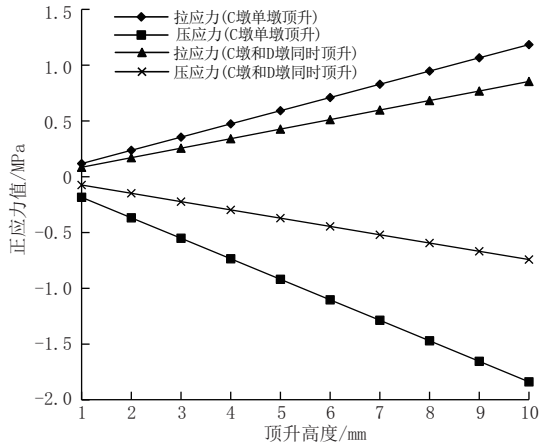


图12 2种顶升模式下主梁下缘最大正应力比较图

(2)2种顶升模式下,主梁上缘和下缘最大拉、压应力均随着顶升高度的增加而增大,且呈线性变化。

图12、图13中的应力变化曲线可用表1中的公式表示,其中 x 为顶升高度; y 为应力。

表1 主梁截面最大正应力随顶升高度的变化关系式

应力位置	顶升方式	关系式
上缘最大拉应力	C墩单墩顶升	$y = 0.094x$
	C墩和D墩同时顶升	$y = 0.037x$
上缘最大压应力	C墩单墩顶升	$y = -0.060x$
	C墩和D墩同时顶升	$y = -0.043x$
下缘最大拉应力	C墩单墩顶升	$y = 0.118x$
	C墩和D墩同时顶升	$y = 0.085x$
下缘最大压应力	C墩单墩顶升	$y = -0.184x$
	C墩和D墩同时顶升	$y = -0.074x$

3.2 顶升不同步(位移差)对桥梁结构受力的影响

由上面的分析可知,当C墩和D墩支座需更换时,逐墩更换比2墩同时更换受力更不利。所以下面以C墩单墩顶升模式为代表,来分析和讨论顶升施工出现横向顶升不同步时对结构受力的影响。沿横向给主梁依次编号1#梁、2#梁、3#梁和4#梁,如图13所示。

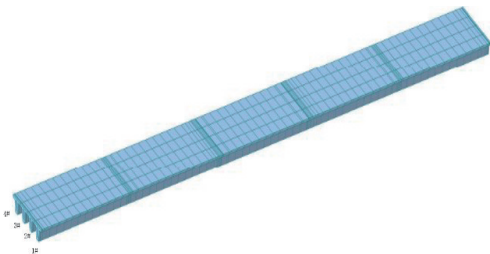


图13 主梁编号示意图

C墩、D墩中心位置处对应的主梁节点编号见表2。

实际工程中,设计单位一般要求顶升高度不超过5 mm,但在实际施工时经常会出现操作空间不足或支座取不出的问题,所以也有很多工程案例将顶

表2 C墩和D墩中心位置处主梁节点编号

位置	1#梁	2#梁	3#梁	4#梁
C墩位置处	43	150	257	364
D墩位置处	65	172	279	386

升高限值取到6~8 mm。本文在讨论顶升不同步影响时,将顶升高度取为5 mm。单墩顶升模式以仅在C墩墩顶中心位置处的顶升为代表,横向不同步工况设计见表3。

表3 顶升高度值设置 单位:mm

工况设置	1#梁	2#梁	3#梁	4#梁
工况1	5.3	5.0	5.0	5.0
工况2	5.0	5.3	5.0	5.0
工况3	5.3	5.0	5.3	5.0
工况4	5.3	5.3	5.0	5.0

4种工况下,1#~4#梁在C墩墩顶中心位置处的截面上、下缘混凝土正应力值见表4。

表4 在C墩墩顶中心位置处的主梁截面上、下缘最大正应力

工况	截面位置	最大正应力/MPa			
		1#梁	2#梁	3#梁	4#梁
1	上缘	0.536	0.439	0.478	0.471
	下缘	-0.967	-0.737	-0.821	-0.824
2	上缘	0.443	0.575	0.455	0.470
	下缘	-0.740	-1.050	-0.731	-0.818
3	上缘	0.541	0.407	0.580	0.447
	下缘	-0.966	-0.653	-1.050	-0.738
4	上缘	0.512	0.545	0.441	0.474
	下缘	-0.883	-0.966	-0.735	-0.820

注:表中数据以拉为正、压为负。

在图11、图12中,当仅对C墩处的梁体进行顶升,且横向保持同步、竖向顶升量为5 mm时,1#~4#梁在C墩墩顶中心位置处的截面上缘最大拉应力计算值为0.468 MPa,下缘最大压应力计算值为-0.824 MPa。

由表4可见:4种横向不同步顶升工况下,在C墩墩顶中心位置处,主梁截面的上缘最大拉应力值为0.580 MPa,比同步顶升时的0.468 MPa增加0.112 MPa,增加比例为23.9%;下缘最大压应力值为-1.050 MPa,比同步顶升时的-0.824 MPa增加0.226 MPa,增加比例为27.4%。

4 结 语

(1)2种顶升模式下,主梁截面最大拉、压应力均随着顶升高度的增加而增加,且呈线性变化。

(2)横向同步,顶升相同高度,纵向单墩顶升引起的主梁截面附加应力超过纵向2墩同时顶升引起的主梁附加应力值;在顶升限值容许的情况下,优先

采用逐墩(单墩)顶升模式。

(3)提出了2种顶升模式下,主梁截面最大附加应力随着顶升高度变化的关系公式。

(4)在C墩单墩顶升高度为5 mm,横向不同步量值设置为0.3 mm的4种不同步顶升工况下,1#~4#梁在C墩墩顶中心位置处的截面上缘最大拉应力值为0.580 MPa,比同步顶升时的0.468 MPa增加0.112 MPa,增加比例为23.9%。

参考文献:

- [1] 许映红. 中小跨径桥梁橡胶支座更换新技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [2] 吴宜峰, 徐泓, 李爱群, 等. 桥梁板式橡胶支座运营病害及影响研究综述[J]. 工程抗震与加固改造, 2021, 43(5): 104-113.
- [3] 李健, 赵巧燕. 桥梁板式橡胶支座病害调研及早期病害分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 106: 201-203.
- [4] 陈名扬, 王起才, 何发礼, 等. 连续梁桥整体顶升过程中梁体应力变化分析[J]. 兰州交通大学学报, 2012, 31(3): 16-21.
- [5] 王楷翔, 韩铁成. 蒙古营印河特大桥连续梁球型支座更换技术[J]. 施工技术, 2017, 46(增刊): 877-880.
- [6] 张雪彤. 桥梁整体顶升施工技术在江海大道东延工程中的应用[J]. 工程技术研究, 2022, 7(121): 63-65.
- [7] 周松, 常光照, 孟晓亮, 等. 大跨径连续梁桥整体施工分析[J]. 桥梁建设, 2017, 47(3): 116-120.
- [8] 周杨. 桥梁支座更换及梁板整体顶升施工技术[J]. 重庆建筑, 2009, 8(12): 11-13.
- [9] 胡劲松. 横潦泾主桥顶升的关键技术[J]. 城市道桥与防洪, 2013(1): 97-99.
- [10] 陈梁, 朱利明, 蒋湘成. 斜交连续梁顶升过程仿真分析[J]. 中外公路, 2016, 36(4): 161-166.
- [11] 李永麟, 沈永富, 陆健. 同步顶升更换多跨简支T梁桥橡胶支座关键技术探讨[J]. 中外公路, 2016, 36(1): 178-181.
- [12] 孙明德, 班新林, 臧晓秋, 等. 铁路连续梁顶升法更换支座技术方案研究[J]. 铁道建筑, 2021, 61(8): 36-39.
- [13] 李静斌, 陈淮, 葛素娟. 支座更换顶升方案对小箱梁桥结构性能的影响[J]. 重庆建筑, 2010, 31(1): 40-43.
- [14] 丁祥文. 桥梁顶升施工墩柱不同步效应影响分析研究[J]. 城市道桥与防洪, 2023(12): 153-157.
- [15] 贾卫东, 宋军, 邢世玲. 5×25 m简支转连续组合箱梁桥的支座更换施工方法研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(1): 3170-3173.
- [1] 应用[J]. 上海公路, 2020(1): 54-56; 67.
- [2] 祁建林, 张迎达, 赵喻. 黄茅海跨海通道节段梁预制施工测量[J]. 珠江水运, 2024(12): 82-84.
- [3] 蔡东波, 侯正宝, 江涛, 等. 混凝土预制节段梁不同厚度胶接缝抗剪试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2022, 45(8): 1072-1078.
- [4] 吴东升, 卢永成, 齐新, 等. 南昌市洪都大道高架桥节段梁结构设计[J]. 城市道桥与防洪, 2020(2): 67-70; 84.
- [5] 吴东升, 卢永成, 任才. 城市高架变宽预制节段梁结构设计与关键技术研究[J]. 桥梁建设, 2021, 51(6): 99-105.
- [6] 王猛. 大挑臂复合截面节段梁总体布置与结构体系研究[J]. 城市道桥与防洪, 2025(7): 93-97.
- [7] 严搏, 郭济, 卢永成. 大挑臂复合截面节段梁后装挑臂纵向预应力效应研究[J]. 城市道桥与防洪, 2021(10): 110-113.
- [8] 袁水生. 节段拼装混凝土箱梁结构设计及工厂化生产优化研究[J]. 铁道建筑技术, 2025(4): 42-45.
- [9] 李学斌, 苏永华, 杨心怡, 等. 预制混凝土节段梁接缝抗剪承载力试验研究[J]. 中国铁道科学, 2021, 42(6): 50-57.
- [10] 刘文杰, 韩冰, 阎武通, 等. 预制拼装混凝土节段梁的结构力学性能研究进展[J]. 中国公路学报, 2023, 36(4): 81-99.
- [11] 侯玉茹. 公路桥梁预制节段拼装施工关键技术[J]. 交通世界, 2025(8): 121-123.
- [12] 李京跃, 朱建平. 节段梁短线匹配法预制拼装技术研究进展[J]. 福建建材, 2021(2): 33-35.
- [13] 陈新元, 刘广辉, 唐超, 等. 基于最小二乘法的预制节段梁拼装线形控制[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(16): 121-126; 137.
- [14] 薛华, 王博文, 吕泰达, 等. 节段梁智能匹配预制施工技术应用探究[J]. 南通职业大学学报, 2023, 37(2): 94-99.

(上接第250页)