

钢桁梁桥加固顶升方案比选及受力分析

殷新锋¹, 许方塔¹, 齐林², 林伟³, 苟勇³

(1.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.中铁上海设计院集团有限公司, 上海 200070;

3.四川公路桥梁建设集团有限公司 桥梁公司, 四川 成都 610041)

摘要:以某运河钢桁梁转体桥顶升加固为例,运用不同的顶升方法,通过有限元分析,模拟计算在不同支点顶升力作用下钢桁梁桥线形、应力与节点反力,对比顶升过程中钢桁梁桥的受力状况,确定先从悬臂中间向悬臂端头方向顶升、再向主塔支座方向顶升的最优顶升方案。

关键词:桥梁;钢桁梁桥;桥梁加固;顶升方案;受力分析

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)05-0139-05

由于交通量和荷载等级不断提升,旧桥的承载能力逐渐达到其设计范围,已不能满足交通需求,须进行加固改造^[1-2]。钢桁梁桥的加固改造方法主要有体外预应力加固、增大构件截面加固和原位拓宽改建等^[3-6]。在实施加固之前,如何使钢桁梁桥处于最佳状态至关重要。本文以某运河双旋转钢桁梁桥顶升加固为例,建立有限元模型,分析不同位置顶升力作用下钢桁梁桥的受力状况,确定钢桁梁桥在顶升过程中的最佳受力状态,为钢桁梁桥加固做准备。

1 工程概况

某双翼平旋开启式钢桁梁铁路桥,全长 600 m,主跨单悬臂长 160 m,旋转合龙后主跨长 320 m、边跨长 140 m,全桥宽 10 m。该桥位于主要航运通道,有火车通过时将两岸沿运河方向位置的钢桁梁桥旋转至与运河通道垂直的方向,两桥跨中合龙后方能使火车通过(见图 1)。

全桥分为主塔底部旋转构件、桥梁主体构造和

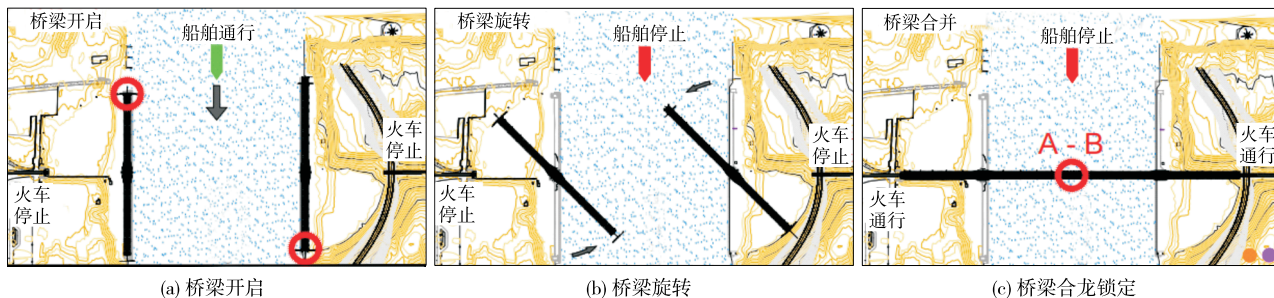


图 1 桥梁旋转示意图

端头锁定构件三部分,由转盘带动全桥进行转体合龙。图 2 为全桥三维模型,图 3~5 为各构件构造。

该桥经过 20 年的使用,受日益增长的交通压力和整体性能下降的影响,已不能满足承载力要求。

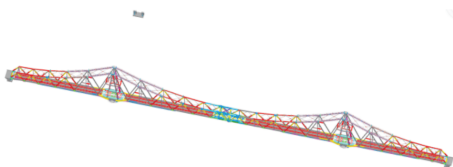


图 2 全桥三维模型

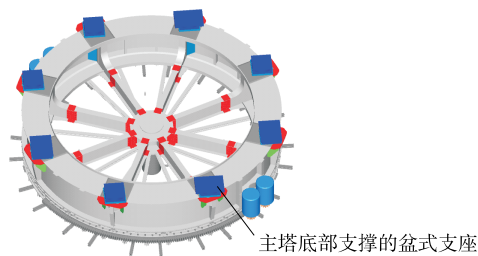
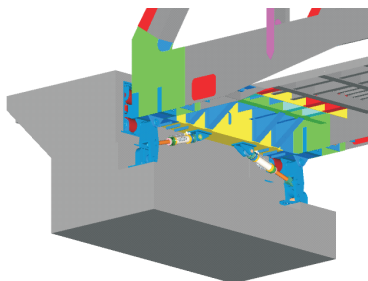


图 3 转盘结构图

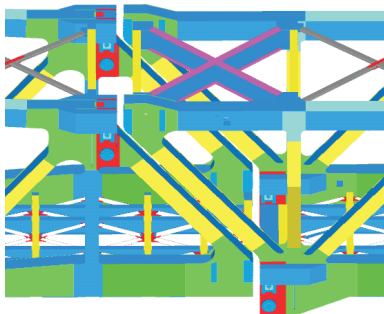
东西两岸半桥需要整体顶升,一方面对转动装置中心轴混凝土结构及主塔区域支座支撑点进行升级加固,另一方面使现有桥梁在顶升完成后处于无应力



图4 半桥结构图



(a) 边跨端头锁定构件



(b) 跨中合龙锁定构件

图5 锁定构件结构图

或低应力状态,以便进行各部位杆件焊接和升级加固。

本文以西岸半桥顶升为例,研究加固顶升方案 and 不同支点顶升力作用下桥梁线形、应力与节点反力,确定最优顶升方案。加固前西岸半桥总质量约为 4 500 t。在未合龙时,全桥全部质量由主塔底部转盘上的 8 个盆式支座支撑。采用 YSD8000-30 自锁式千斤顶进行液压顶升,千斤顶量程为 8 105 kN。

2 顶升方案

液压顶升技术作为一种桥梁改造方法,在不改变原有桥梁结构的情况下,通过顶升改变桥梁的位置,顶升过程具有特殊性、复杂性和风险不确定性,如何控制顶升过程中的风险至关重要^[7-11]。

由于钢桁梁桥在加固前两端处于悬臂状态,各杆件应力较大,须将两端悬臂顶升至低应力状态后再进行加固。该桥千斤顶放置位置见图 6、图 7。

由于千斤顶数量有限,不能在 $A(a) \sim J(j)$ 节点都布置千斤顶,在某节点顶升完成后布置支架,将

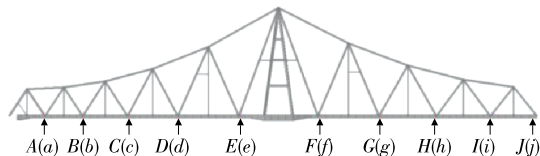


图6 桥面下缘千斤顶放置位置



图7 横向千斤顶放置位置

千斤顶移至另一节点进行顶升。顶升方案如下:方案一为从节点 $A(a)$ 至节点 $E(e)$ 、节点 $J(j)$ 至节点 $F(f)$ 依次顶升;方案二为从节点 $E(e)$ 至节点 $A(a)$ 、节点 $F(f)$ 至节点 $J(j)$ 依次顶升;方案三为按照 $C(c) \rightarrow B(b) \rightarrow A(a) \rightarrow D(d) \rightarrow E(e)$ 、 $H(h) \rightarrow I(i) \rightarrow J(j) \rightarrow G(g) \rightarrow F(f)$ 的顺序依次顶升。通过有限元模拟计算不同顶升方案下全桥应力,选择最优顶升方案。

3 有限元计算结果与分析

3.1 顶升前受力分析

顶升前,全桥处于两端悬臂状态,由主塔底部转盘处 8 个盆式支座支撑。采用有限元软件建立图 8 所示有限元模型,计算得到悬臂状态下各节点挠度(见表 1)、桥梁整体变形与应力(见图 9、图 10)。由图 10 可知:顶升前,全桥最大应力出现在节点 $E(e)$ 附近,为 112.5 MPa。

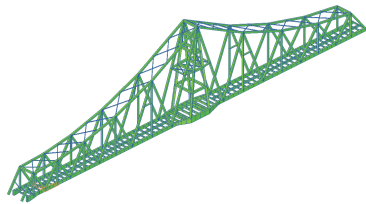


图8 有限元模型

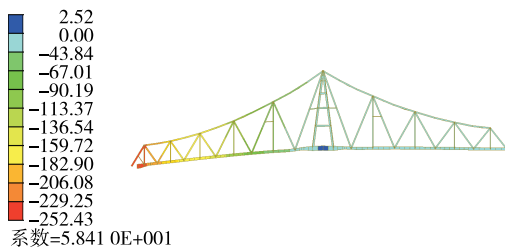


图9 悬臂状态下桥梁变形计算结果(单位:mm)

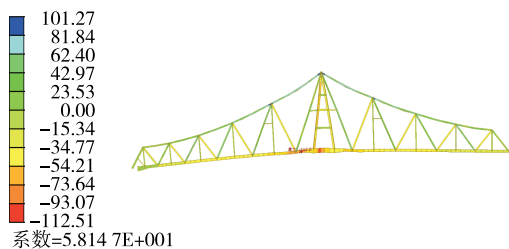


图 10 悬臂状态下桥梁应力计算结果(单位:MPa)

表 1 悬臂状态下各节点的挠度

节点	挠度/mm	节点	挠度/mm
A	-21.3	F	-1.4
B	-17.4	G	-1.1
C	-12.7	H	-1.4
D	-8.1	I	-2.1
E	-3.5	J	-2.4

根据 3 种顶升方案模拟全桥应力,最大应力出现在图 11 所示的 4 个位置。

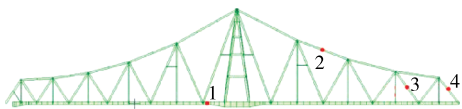


图 11 最大应力点

3.2 方案一下受力分析

按照方案一进行顶升,先将 A(a)和 I(i)节点顶升至支座水平面,再依次将各节点顶升至支座水平面。顶升过程中各节点挠度见图 12,最大应力点处应力变化见图 13,节点反力见表 2。

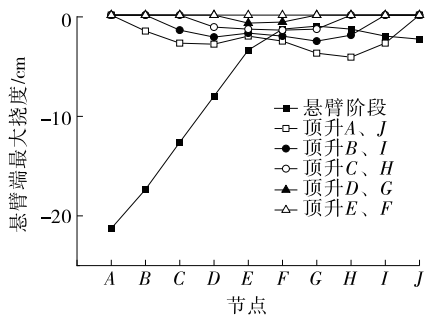


图 12 顶升方案一下各节点挠度

由图 12 可知:按方案一进行顶升,两顶升节点间最大跨中挠度为-4.2 cm。

由图 13 可知:按方案一进行顶升,顶升 B、I 时 3 号点的应力最大,为-112.9 MPa。

由表 2 可知:按方案一进行顶升,最大节点反力出现在顶升 C、H 的过程中,节点 H 的反力最大,为 3 885 kN。

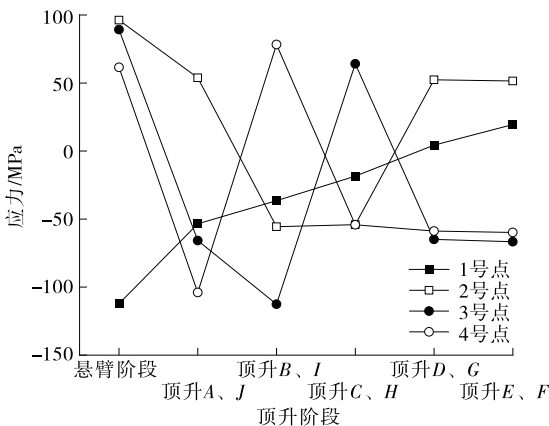


图 13 顶升方案一下各顶升阶段的应力

表 2 顶升方案一下各顶升阶段的节点反力

节点	各顶升阶段的反力/kN				
	顶升 A、J	顶升 B、I	顶升 C、H	顶升 D、G	顶升 E、F
A	2 772	452	1 286	1 525	1 567
B		3 704	767	968	998
C			3 574	1 422	1 516
D				3 271	1 917
E					2 756
F					2 652
G				3 747	2 277
H			3 885	1 584	1 732
I		3 872	950	1 204	1 258
J	2 005	-419	238	380	412

3.3 方案二下受力分析

按照顶升方案二进行顶升,依次将靠近支座的顶升节点顶升至支座水平面。顶升过程中各节点挠度见图 14,最大应力点处应力变化见图 15,节点反力见表 3。

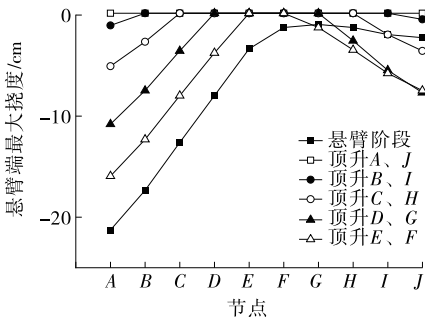


图 14 顶升方案二下各节点挠度

从图 14 可以看出:按方案二进行顶升,悬臂端最大挠度分别为-21.3 cm、-16.0 cm、-10.9 cm、-5.2 cm、-1.2 cm。

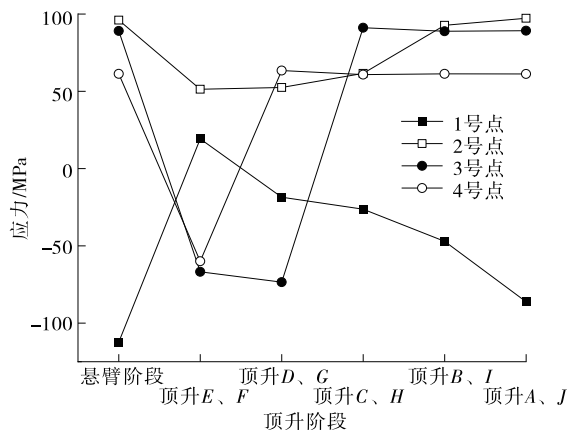


图 15 顶升方案二下各顶升阶段的应力

表 3 顶升方案二下各顶升阶段的节点反力

节点	各顶升阶段的反力/kN				
	顶升 E、F	顶升 D、G	顶升 C、H	顶升 B、I	顶升 A、J
A					1 567
B				3 251	998
C			5 250	1 025	1 516
D		6 242	866	1 764	1 917
E	6 756	1 248	2 311	2 684	2 756
F	4 607	1 542	2 395	2 635	2 652
G		5 098	1 492	2 190	2 277
H			3 909	1 559	1 732
I				1 857	1 258
J					412

由图 15 可知:按方案二进行顶升,顶升 A、J 时 2 号点的应力最大,为 96.7 MPa。

由表 3 可知:按方案二进行顶升,顶升过程中最大节点反力出现在顶升 E、F 的过程中,节点 E 的反力最大,为 6 756 kN。

3.4 方案三下受力分析

按方案三进行顶升,先将节点 C、H 顶升至支座水平面,接着向悬臂端顶升,然后向支座方向顶升。顶升过程中各节点挠度见图 16,最大应力点处应力变化见图 17,节点反力见表 4。

由图 16 可知:按方案三进行顶升,最大悬臂端挠度为 -4.5 cm,两顶升节点间最大跨中挠度为 -1.3 cm。

由图 17 可知:按方案三进行顶升,顶升 A、J 时 3 号点的应力最大,为 90.3 MPa。

由表 4 可知:按方案三进行顶升,顶升过程中最

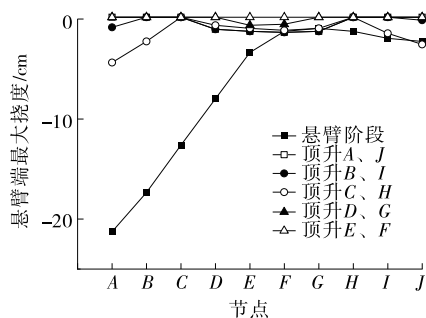


图 16 顶升方案三下各节点挠度

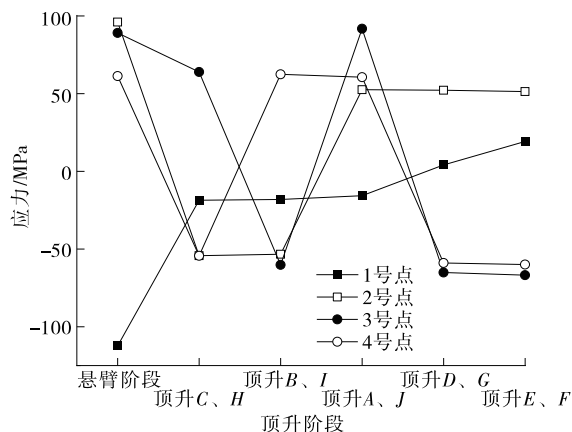


图 17 顶升方案三下各顶升阶段的应力

表 4 顶升方案三下各顶升阶段的节点反力

节点	各顶升阶段的反力/kN				
	顶升 C、H	顶升 B、I	顶升 A、J	顶升 D、G	顶升 E、F
A			1 286	1 525	1 567
B		2 641	767	968	998
C	6 078	3 067	3 574	1 422	1 516
D				3 271	1 917
E					2 756
F					2 652
G				3 747	2 277
H	5 094	3 740	3 885	1 584	1 732
I		1 302	950	1 204	1 258
J			238	380	412

大节点反力出现在顶升 C、H 的过程中,节点 C 的反力最大,为 6 078 kN。

3.5 顶升方案确定

综上,采用方案三进行顶升,最大应力点的应力比方案一、方案二下的小,最安全;最大节点反力约为千斤顶量程的 75% < 80%,满足要求。方案三为

最优顶升方案。

4 结论

本文以钢桁梁桥为例,模拟计算不同顶升方案下钢桁梁桥的受力状况。方案一采用从悬臂端头向主塔支座方向依次顶升的方法,顶升过程中产生的最大应力为 -112.9 MPa ,出现在顶升 B 、 I 时3号点;最大反力为 $3\ 885\text{ kN}$,出现在顶升 C 、 H 时节点 H 。方案二采用从主塔支座向悬臂端头方向依次顶升的方法,顶升过程中产生的最大应力为 96.7 MPa ,出现在顶升 A 、 J 时2号点;最大反力为 $6\ 756\text{ kN}$,出现在顶升 E 、 F 时节点 E 。方案三采用先从悬臂中间向悬臂端头方向顶升,再向主塔支座方向顶升的方法,顶升过程中产生的最大应力为 90.3 MPa ,出现在顶升 A 、 J 时3号点;最大反力为 $6\ 078\text{ kN}$,出现在顶升 C 、 H 时节点 C 。采用方案三顶升时,整体应力比方案一、方案二下的小,且最大节点反力满足施工要求,方案三为最优顶升方案。

参考文献:

- [1] 颜海,陈亮,邵长宇,等.公铁两用钢桁架桥原位拓宽改建设计关键技术[J].桥梁建设,2019,49(3):91-96.
- [2] 李清鑫,刘小燕,张华,等.裂缝宽度的提取及在桥梁承载力评估中的应用研究[J].长沙理工大学学报(自然

科学版),2020,17(1):60-64.

- [3] 杜鑫,闫佳磊,陈佩,等.后增钢桁架体外预应力加固新方法应用研究[J].河南科技,2018(29):103-106.
- [4] 刘振华,张玲君,王涛,等.某钢桁架桥加固改造技术研究[C]//中国土木工程学会桥梁及结构工程分会空间结构委员会,中国建筑科学研究院.第十五届空间结构学术会议论文集.中国土木工程学会桥梁及结构工程分会空间结构委员会,2014:699-703.
- [5] 肖勇刚,熊晨.组合加固法在钢筋混凝土T型梁桥中的应用[J].交通科学与工程,2021,37(2):36-40.
- [6] 张建仁,张智伟,彭晖,等.表层嵌贴碳纤维板混凝土试件疲劳性能研究[J].交通科学与工程,2020,36(4):1-9.
- [7] 石华军.城市高架桥梁体顶升及桥墩更换技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- [8] 刘二柱.通车条件下桥梁支座更换[J].施工技术,2015,44(增刊2):234-236.
- [9] 袁冠锋.桥梁上部结构整体顶升风险评价及防护措施研究[D].兰州:兰州交通大学,2017.
- [10] 肖宏宇,刘薇.桥梁整体同步顶升及监测技术[J].公路与汽运,2021(5):121-124+132.
- [11] 吴云涛,顾赛辉.混凝土连续箱梁高架桥整体顶升高改造设计研究[J].公路与汽运,2023(3):132-135+140.

收稿日期:2021-10-19

(上接第138页)

- [14] 蔡健,贺盛,姜正荣,等.单层网壳结构稳定分析中初始几何缺陷最大值的研究[J].建筑结构学报,2015,36(6):86-92.
- [15] MOST T, BUCHER C, SCHORLING Y. Dynamic stability analysis of non-linear structures with geometrical imperfections under random loading [J]. Journal of Sound and Vibration, 2004, 276 (1-2): 381-400.
- [16] 郭佳民,董石麟,袁行飞.随机缺陷模态法在弦支穹顶稳定性计算中的应用[J].工程力学,2011,28(11):178-183.
- [17] 蔡建国,涂展麒,冯健,等.初始缺陷对三向张弦梁结构整体稳定性影响研究[J].工程力学,2012,29(8):220-227.
- [18] 哈尔滨建筑工程学院,中国建筑科学研究院.钢管混凝土结构设计施工规程:CECS 28:90[S].北京:中国计划出版社,1990.
- [19] 沈世钊,陈昕.网壳结构稳定性[M].北京:科学出版

社,1999.

- [20] 钟善桐.钢管混凝土统一理论:研究与应用[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [21] 王新敏.ANSYS工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [22] British Standards Institution. Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels Part2: Tolerances, dimensions and sectional properties: BS EN 10210-2:2006[S]. British Standards Institution, 2006.
- [23] British Standards Institution. Eurocode3: Design of steel structures part 1-1: General rules and rules for buildings: BS EN 1993-1-1[S]. British Standards Institution, 2005.
- [24] MORRIS N F. Effect of imperfection on lattice shells[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1991,117(6):1786-1814.

收稿日期:2022-09-18