

局部顶升更换支座的仿真分析

徐大森

浙江工业大学土木工程学院 浙江杭州 310012

摘要:我国交通事业快速发展,已经从桥梁弱国逐渐走到了桥梁大国,并且正在向桥梁强国迈进。由于中国是桥梁大国,既有桥梁多但病害也多,而支座是可更换构件,寿命为15年,所以在桥梁整体所受的使用寿命100年中,支座需更换多次,因此桥梁顶升技术就显得尤为重要,是目前既有桥梁维修加固方法的研究重点之一^[1]。此篇文章以金华市婺城区斜拉桥支座更换工程为例,利用大型通用有限元软件MIDAS对局部顶升更换支座进行仿真分析,通过验证局部顶升更换支座时斜拉桥桥梁的内力是否满足安全要求,来证明是否可行,解决这一施工工程难题,对于中国桥梁的维修有一定的借鉴意义。

关键词:顶升更换;支座;仿真分析;维修加固

Simulation analysis of partial jacking replacement support

Dasen Xu

College of Civil Engineering, Zhejiang University of technology, Hangzhou 310023

Abstract: With the rapid development of China's transportation industry, China has gradually moved from a weak bridge country to a big bridge country, and is moving towards a strong bridge country. Since China is a big country in bridges, there are many existing bridges but many diseases, and the bearings are replaceable components with a service life of 15 years, so the bearings need to be replaced many times in the 100 years of the service life of the whole bridge. Therefore, the jacking technology of bridge beams is particularly important, and is one of the research focuses of the maintenance and reinforcement methods of existing bridges [1]. This article takes the bearing replacement project of the cable-stayed bridge in Wucheng District, Jinhua City as an example, and uses the large-scale general finite element software MIDAS to carry out simulation analysis on the local jacking replacement of the bearing. By verifying whether the internal force of the cable-stayed bridge meets the safety requirements when the local jacking replacement of the bearing, to prove whether it is feasible. To solve this construction engineering problem has certain reference significance for the maintenance of Chinese bridges.

Keyword: Jacking replacement; Bearing; Simulation analysis; Repair reinforcement

引言

近些年,随着交通事业的蓬勃发展,我国建设了相当数量的桥梁,与此同时,也有相当一部分的桥梁由于使用年限过于久,面临无法避免的支座老化,开裂以及变形与受力不均导致支座无法维持其正常工作的功能^[2],从而影响了桥梁无法正常使用以及其安全性能,应及时的进行支座维修以及更换,从而防止其它病患的发生和延长桥梁运营寿命。

我国在过去顶升桥梁更换支座的案例中,通常使用的顶升办法是设置多个液压泵,使桥梁在多个液压泵的同时驱动下进行上升或者下降的操作从而达到建筑物更换支座的目的^[3],但是这一方法不仅需要封闭道路,中断交通,而且工作量极大,大大的增加了桥梁施工所需要的费用。该文主要介绍斜拉桥运用横向同步,纵向分阶段逐步顶升的顶升技术^[4],在不中断交通下的情况^[5],使用局部封道的方法来减少汽车荷载的作用以此来等代局部顶升更换支座所产生的内力,并且运用大型通用有限元软件MIDAS进行仿真分析^[6],对施工阶段应力以及成桥运营阶段应力进行分析计算,来验证斜拉桥局部顶升更换支座方法的可行性。

1 工程概述

金华市二环南路婺城大桥横跨金华江,里程桩号为K1+998.401~K2+711.401m,桥宽45m,双向六车道布置,上部结构跨径组合为5×30m(引桥)+(95.5+222+95.5)m(主桥)+5×30m

(引桥)。该处金华江规划宽度为400米,百年一遇洪水位高程37.80m,于2004年开工建设,2008年底建成,已经建成14年,支座已经产生老化以及一系列问题,需要整改。

该桥道路类别为中等城市快速路,设计时速80km/h;桥梁设计荷载:汽车-超20级,挂车-120,人群荷载4kN/m²;桥梁横向布置:0.25m(栏杆)+2.75m(人行道)+4.5m(非机动车道)+3.5m(拉索区及防撞栏杆)+11.25m(机动车道)+0.5m(双黄线分隔带)+11.25m(机动车道)+3.5m(拉索布置区及防撞栏杆)+4.5m(非机动车道)+2.75m(人行道)+0.25m(栏杆)=45m。

主桥上部结构:采用95.5m+222m+95.5m三跨双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,总长413m;该桥梁一共设置了144根斜拉索,主跨C18号索为最长斜拉索,该斜拉索的标准强度为1670MPa。主跨索距为6.0m,边跨索距为3.0m。主梁混凝土材料采用的是C50混凝土,断面为预应力混凝土边双实心主梁断面;预应力体系是纵横双向预应力体系。

主塔结构:采用的是H型混凝土结构,塔间下横梁的主塔部分截面是矩形箱型截面,在桥面与拉索锚固区之间采用的是空心截面直立柱,拉索锚固区的塔柱是空心直立柱。主塔塔身用的是C50混凝土,基础用的是C30混凝土,是扩大基础。

主桥边墩:采用柱式墩,每个主桥边墩由4个独立截面为哑铃形的混凝土立柱组成,墩身和承台采用C30混凝土;基础为桩基础,

采用 C25 混凝土。

支座：均为盆式橡胶支座。

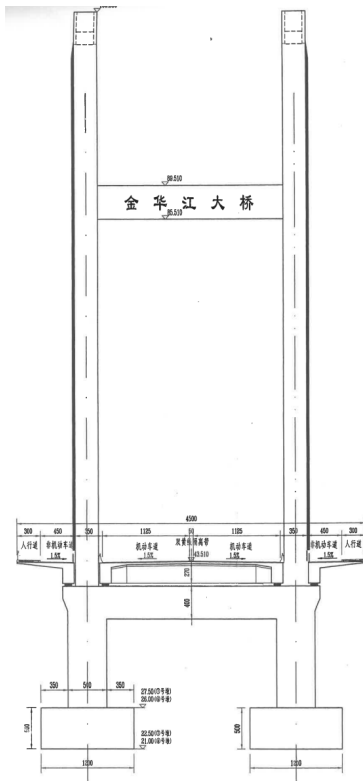


图1 主桥横断面图

桥面铺装：8cm 沥青混凝土+2mmYN 桥面防水涂料。

伸缩缝：引桥与主桥连接处设置梳齿板式伸缩缝。

两岸引桥均采用 $5 \times 30\text{m}$ 预应力钢筋混凝土连续箱梁，东西两岸各一联。桥面宽度为 45m。箱梁截面纵向等高，最低处梁高 1.7m。横截面采用分离式箱形截面，每边均为单箱四室，底板平置为减少桥面铺装的厚度，顶板根据桥面横坡设为 1.5% 的横坡，车行道人行道、人行道及非机动车道反向 1.5%，绿化隔离带部分为平坡。顶板宽 22.42m，底板宽 15.5m，箱梁顶、底板厚为 0.22m，中腹板厚 0.4m，边腹板厚 0.5m，边腹板在预应力束张拉区扩大为 0.7m。仅在支点处设横隔板，中支点处横隔板厚为 1.8m，端支点处横隔板厚度为 1.2m。

2 桥梁顶升方案

对主桥边墩（5 号、8 号墩）以及主引桥梁体进行整体顶升，并更换支座。主要施工工序如下：

（1）施工单位进场时对顶升所用设备进行检查，确保安全以及可立即投入使用，当设备或者施工现场存在问题及时整改。

（2）搭设施工操作平台，施工操作平台应保证平滑，支座附近的沙石等应处理干净，千斤顶处需保证平整，以防受力不均的情况出现。

（3）将高压电动油泵与千斤顶相连，千斤顶安装完毕后，先进行试顶升来确保整个顶升操作安全无问题，试顶过程中要保障每个千斤顶均匀受力，来保证梁体能够同步顶升。

（4）开始正式顶升后，液压千斤顶带动梁体连动整体顶升，当梁体达到更换支座要求高度时，千斤顶保持荷载，来保证梁体高

度留出空间便于后续更换支座。

（4）顶升过程分为多步顶升，每步顶升 2mm，顶升过程中要保证各千斤顶行程一致，通过多次顶升以及观察梁体受力变化将梁体安全抬高 6-12mm，后更换支座。

（6）在顶升更换支座操作结束后逐一卸载落梁，按顶升的相反程序进行。

3 顶升仿真计算分析

桥梁结构的顶升属于短暂状况，应对其进行应力验算。桥梁顶升实际是在目前的应力状态下进行的。顶升前的应力状态则受到施工工序、方法的影响。因此对桥梁结构顶升状况下的应力计算包括：

（1）桥梁施工过程的分析计算；（2）桥梁顶升的分析计算；（3）桥面交通对顶升的影响分析。

3.1 施工过程仿真分析

3.1.1 施工方法

主桥（斜拉桥）设计主要施工步骤如下：

步骤一：（1）主塔处基础施工；（2）用支架或爬模等方法进行主塔施工；（3）边墩施工；（4）主塔施工同时，主梁移动支架地基处理。

步骤二：（1）搭设移动支架，进行主梁施工；（2）浇筑边跨 S1、S2 节段及中跨 M1 节段；（3）张拉索 C1、C1'；（4）注意边跨超前中跨一个阶段。

步骤三：（1）满堂支架浇筑边跨 S11~S15 段；（2）浇筑边跨合拢段及中跨 M10 段；张拉边跨预应力束；张拉索 C10、C10'。

步骤四：用移动支架浇筑主梁跨中其余节段。

步骤五：（1）安装合拢段撑架；（2）塔梁临时水平约束拆除；（3）浇筑合拢段混凝土；（4）张拉跨中预应力。

步骤六：（1）桥面系结构施工；（2）调整拉索索力；（3）竣工通车。

引桥主要施工步骤为：

（1）满堂支架浇筑箱梁混凝土；

（2）待混凝土强度达到设计要求后张拉预应力；

（3）拆除支架及二期铺装等。

实际施工方法及步骤与设计可能有所不同，最终还应查阅施工资料，以确认实际施工方法及顺序。

3.1.2 计算方法

采用空间结构分析有限元程序 Midas/civil 进行计算分析。分析过程考虑恒载、预应力、混凝土不同龄期的收缩和徐变影响。

为了使得桥梁结构在成桥后的应力状态分析的更加精确，我们将从初始施工阶段对桥梁进行逐一计算，关于结构的配筋情况等。经过这样逐一施工阶段的结构分析的办法就叫做前进分析法。

采用的这种前进分析的施工分析方法可以为成桥结构的受力提供较为准确的分析结果，还为结构强度、刚度验算提供依据。使得论文数据能够得到有效的支撑。

3.1.3 计算模型

根据桥梁设计截面尺寸及材料特性，并经现场核无误后，按照实际截面形式建模。计算荷载包括结构自重、预应力、混凝土收缩徐变、二期荷载、汽车荷载等。初步建立主、引桥施工阶段模型分

别如图 2, 图 3。

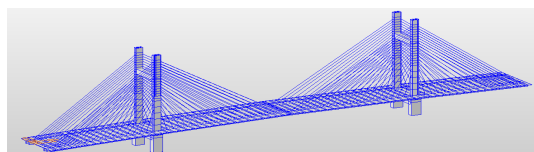


图 2 主桥(斜拉桥)模型消隐图

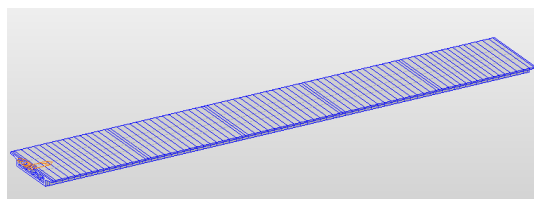


图 3 引桥(连续箱梁)模型消隐图

以上模型仅是根据初步掌握的资料建立的简单模型,我方将根据设计图纸及施工资料建立详细的施工分析模型。计算分析方法将采用梁格分析法,充分考虑结构的空问特性;引桥将采用双幅一起建模,并考虑湿接缝的影响;以求较准确的掌握桥梁的初始应力状态,为桥梁顶升工作提供强有力的支撑。

3.2 初步计算结果

根据初步建立的模型,计算主、引桥在施工阶段的应力以及成桥运营阶段的应力,支反力以及主桥位移。

(1) 施工阶段应力

根据计算结果可得到施工阶段桥梁最大应力,以下为主要施工阶段应力云图。

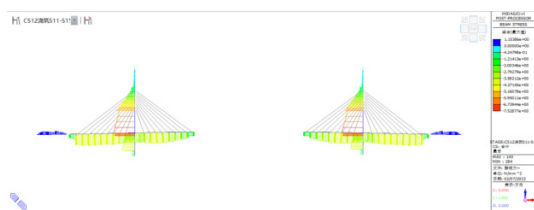


图 4 类似斜拉桥主梁施工阶段 CS12 最大应力示意图

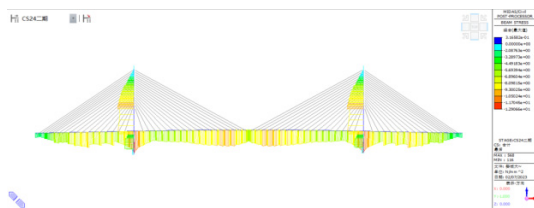


图 5 类似斜拉桥主梁施工阶段 CS24 最大应力示意图

表 1 施工阶段关键截面主桥应力结果统计

分项	位置	控制阶段	计算值 (MPa)	应力限值 (MPa)
最大压应力	中支点	CS24	-12.90	22.4
最大拉应力	边跨支点	CS12	1.15	1.83

(2) 成桥运营阶段应力

图 6 为类似斜拉桥主梁上缘永久作用累计应力图。

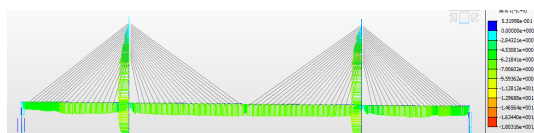


图 6 类似斜拉桥主梁上缘永久作用累计最大应力示意图

图 7 为引桥主梁上缘在永久作用累计应力图。

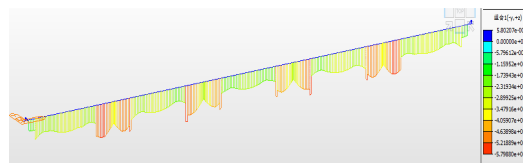


图 7 引桥主梁上缘永久作用累计最大应力示意图

图 8 为斜拉桥主梁上缘频遇作用组合累计最大正应力示意图。

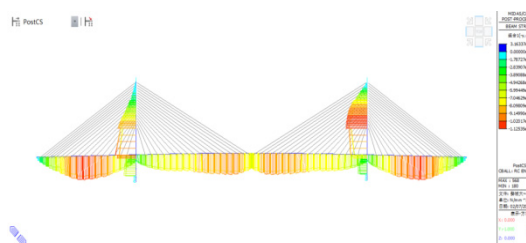


图 8 类似斜拉桥主梁上缘频遇作用组合累计最大正应力示意图

表 2 成桥运营阶段主桥关键截面主桥应力结果统计

分项	位置	计算值 (MPa)	应力限值 (MPa)
最大压应力	中支点梁底	-13.3	22.4
最大拉应力	拉索锚固区	0.92	1.83

(3) 成桥运营阶段支反力

同时可提取顶升位置支座的支反力,为千斤顶的顶升力提供依据。主、引桥在永久作用下的支反力示意如图 11, 图 12。

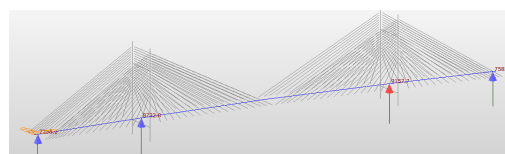


图 9 主桥主梁永久作用累计支反力示意图

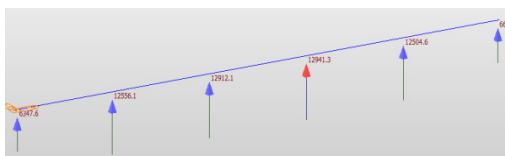


图 10 引桥主梁永久作用累计支反力示意图

3.3 顶升过程仿真验算

对拟顶升结构进行建模分析,分析在强制位移(顶升不同步)、施工临时荷载、温度、临时支撑等作用上下、下部结构、基础的承载力是否满足要求。

同时为施工监测提供结构位移、应力(或应变)、顶升反力等监测数据的预警值和极限值。

3.3.1 顶升步骤

根据设计文件报批稿,本项目是对主桥边墩处(5#、8#墩)主、引桥梁体同时顶升,并更换全部支座。通过高压电动油泵对液压扇形千斤顶进行供油,使得千斤顶带动梁体连动整体顶升,并且千斤顶保持一定强度来保证梁体高度,留出空间来更换支座。

3.3.2 计算模型及方法

顶升过程的仿真分析,可采用与施工过程仿真分析相同的计算模型。模型示意如图 2, 图 3。

本项目仅对主桥边墩实施顶升,相当于对桥梁局部支座位置施加强制位移。采用 midas/civil 程序提供的强制位移功能,可根据支座更换对顶升高度的要求,来进行计算分析结构的效应。

3.3.3 顶升初步分析结果

对主、引桥边墩顶进行顶升时，顶升量暂拟定为 2cm。经过计算分析主桥纵梁上缘如图 11。引桥箱梁上缘应力如图 12。图中均为左侧边支座为顶升位置。应力图表明：紧邻顶升边支座的中支点处应力最大，因此该截面为顶升监控过程的关键截面。

图中应力以拉为正，压为负。

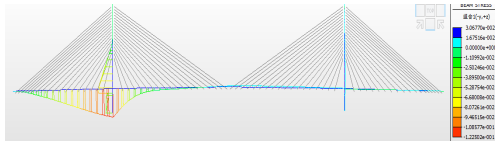


图 11 边支座顶升 主桥纵梁上缘应力图 (单位: MPa)

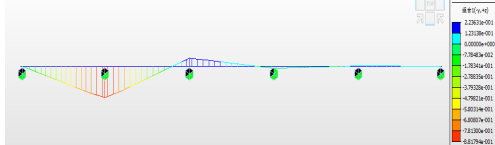


图 12 边支座顶升 引桥箱梁上缘应力图 (单位: MPa)

3.3.4 短暂状况下的应力验算

根据施工阶段仿真分析得到的累计应力，再与顶升工况产生的应力进行组合，即可得到梁体在顶升过程中的最不利应力状况，应考虑最不利应力状态下桥梁的受力状态来保证桥梁运行时的安全。引桥箱梁上缘永久作用+顶升累计应力如图 13。图 14 为主桥纵梁上缘+顶升累计应力的应力图。

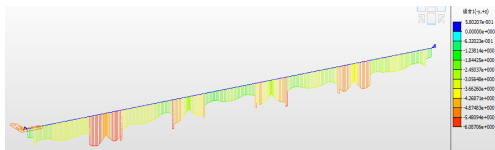


图 13 引桥箱梁上缘永久作用+顶升累计应力图 (单位: MPa)

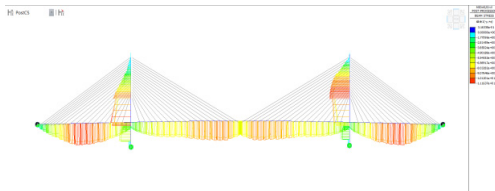


图 14 主桥纵梁上缘永久作用+顶升累计应力图 (单位: MPa)

图 15 为边支座顶升标准组合下主桥反力图，图 16 为边支座顶升标准组合下主桥位移图。

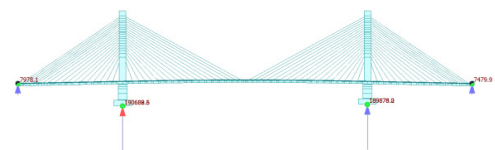


图 15 边支座顶升 标准组合下主桥反力图 (单位: MPa)

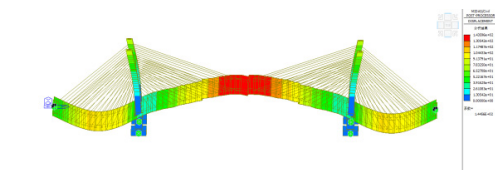


图 16 边支座顶升 标准组合下主桥位移图 (单位: MPa)

3.3.5 顶升与非顶升结果对比

(1) 应力对比

表 3 应力对比

工况	分项	位置	计算值 (MPa)	应力限值 (MPa)
无顶升	最大压应力	中支点梁底	-14.7	22.4
	最大拉应力	拉索锚固区	0.71	1.83
顶升 2cm	最大压应力	中支点梁底	-13.3	22.4
	最大拉应力	拉索锚固区	0.92	1.83

(2) 反力对比

表 4 反力对比

工况	分项	位置	计算值 (kN)
无顶升	最大反力	边支座	7978
	最大反力	中支座	190689
顶升 2cm	最大反力	边支座	7596
	最大反力	中支座	190982

4 结论

利用局部顶升更换支座技术进行支座更换施工，于 2022.10-2022.11 完成金华市市桥梁支座更换工作，结合桥梁 MIDAS 仿真计算验证了桥梁在顶升过程中内力值反力值均符合安全要求，验证了斜拉桥局部顶升更换支座的可行性，从而大大减少了顶升更换支座施工所需要的时间以及工程资金。

(1) 通过 MIDAS 有限元仿真计算可以优化施工方案，在实际施工前可以避免出现各项应力反力不满足施工要求的安全事故，同时大大减少了工程所需时间与经济支出。

(2) 在实际施工过程中，必须进行实时监控监测数据进行对比，进行顶升实时监测，在顶升过程中对关键截面例如顶升边支座的中支点处的位移、应力进行实时监测，还有其他关键截面以及控制截面。

因笔者水平有限，存在不当之处谨请批评指正。

参考文献:

- [1]吴耀冬. 基于内力优化桥梁顶升支座更换技术的研究[D]. 西华大学, 2013
- [2]邱文, 邹开泰. 高速公路桥梁支座病害分析及修复[J]. 公路, 2021, 66 (02): 129-132
- [3]李振华. 桥梁支座病害成因分析及防治措施[J]. 科技创新导报, 2019, 16 (30): 27-28
- [4]混凝土连续梁桥支座更换顶升优化研究_张昱
- [5]汤卫东. 不中断交通中的旧桥支座更换施工[J]. 交通科技与经济, 2007 (4)
- [6]白凤明. 桥梁同步顶升技术及其计算机仿真研究[D]. 湖北工业大学, 2013.

作者简介: 徐大森, 男, 1998.10.7 出生。