

一种用于吊杆更换抱箍式临时兜吊系统的设计和施工

窦勇芝 韦福堂 李东平 黄昭辉 肖朝辉 刘 炜

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

摘 要:本文结合旧桥维修工程实例,介绍了某下承式钢管桁架混凝土拱桥吊杆更换中抱箍式临时兜吊系统的选型、体系组成及各构件设计要点,并通过有限元程序进行理论计算验证及试验工况验证;另外重点介绍了临时兜吊系统相关安装及施工工艺,经工程实践证明该抱箍式临时兜吊系统能够安全有效地实现了吊杆更换。同时该实践可为同类桥型吊杆更换和同类型临时兜吊系统的设计、施工提供借鉴。

关键词:下承式钢管桁架拱桥 吊杆更换 抱箍式临时兜吊系统

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.01.006

1 引言

目前,大多数钢管桁架混凝土拱桥吊杆更换索力转换装置主要为临时吊杆或临时兜吊装置,拱上部分需采取焊接方式固定调平楔形块或抗滑挡块,达到拱上调平便于设置横梁或抗滑的目的。其缺点是:容易损伤原钢管拱肋和涂装,楔形块不能周转使用,拆除恢复作业进度慢,施工成本较高。针对这种情况,本文研究提出了一种抱箍式临时兜吊系统,并经试验测试应用于某下承式钢管桁架拱桥的吊杆更换,能够有效解决上述技术存在的问题。

2 工程概况

某高架桥于1998年建成通车,采用主跨90m的下承式钢管混凝土刚架系杆拱桥(如图1所示)。桥梁全长90m,桥面全宽25.5m。上部承重构件为90m的钢管混凝土拱肋,左右各一片,拱肋断面为桁架式,由4根钢管组成,钢管内部灌注C50混凝土。两侧拱肋之间设置4道一字式桁式

横撑。每侧拱肋下有16根吊杆,拱肋拱脚间设4根系杆。下部结构型式为墙式桥台,钻孔灌注桩基础。桥面由预应力混凝土预制横梁、现浇连续桥面板组成,沥青混凝土桥面铺装,毛勒式伸缩缝。

目前该桥已运营约18年,由于期间往返于桥上交通的车辆超载现象严重,以及混凝土收缩等原因,造成了局部受力构件出现裂缝等病害。根据检测报告结果,该桥共32根吊杆,所有吊杆都存在不同程度的表观病害,有划痕刮伤、涂层起皮、烧痕凹陷等。21根吊杆上锚头漏油现象较为严重,23根吊杆下锚头漏油现象较为严重。同时下锚头处出现锈蚀,并有进一步发展的可能,且该桥原吊杆锚头采用墩头锚,抗疲劳性能较差,需加固改造更换全桥吊杆。

根据现场对全桥吊杆长度的复测,以及施工可操作空间的考虑,吊杆更换采用抱箍式临时兜吊体系施工。

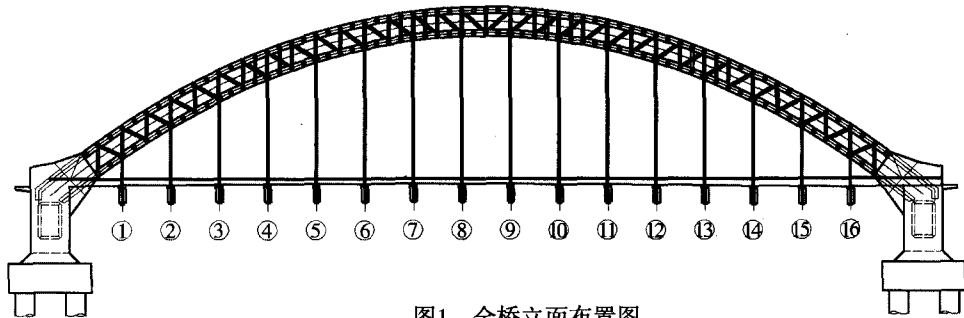


图1 全桥立面布置图



3 临时兜吊体系的设计原则^[1,2]

(1) 能满足同原吊杆恒载作用下相同的受力状态,并保证有相当的强度、刚度和稳定性安全储备。

(2) 与原吊杆进行力系转换过程中,能够分级卸载或加载定量控制,保持原结构受力状态不变和工作状态的连续性。

(3) 临时兜吊体系在安装和施工使用过程中,不会对原结构构件造成损伤,并避免构件局部应力集中情况。

4 临时兜吊体系的设计

4.1 临时兜吊体系组成

临时兜吊系统(如图2、图3所示)由抱箍、上横梁、调平钢箱、上临时索、转换梁、下临时索、千斤顶和下托梁组成。两半式抱箍通过高强螺杆预紧与钢管拱肋间产生摩擦力,与拱上下滑力平衡,并在抱箍与钢管拱肋间设置橡胶垫填充间隙使之接触密贴。在拱肋上距离原吊杆中心各一侧分别安装抱箍,抱箍上焊接调平钢箱实现调平,上横梁水平放置在调平钢箱顶面,通过4束上临时索钢绞线连接上横梁和转换梁,将转换梁兜吊在拱肋和桥面之间,在各吊点中心上、下游侧位置桥面处分别采用金刚钻机钻 $\phi 80\text{mm}$ 孔洞,以穿下临时索预应力钢筋。以转换梁为反力支架,通过4台千斤顶同时张拉4束下临时索预应力钢筋,下临时索一端通过安装挤压套锚固在下托梁底,将吊杆横梁托起,实现原桥吊杆所有受力均匀地转换到临时索上。另外,托梁与吊杆横梁间垫5mm厚橡胶板,防止兜吊加载时因局部应力集中对吊杆横梁造成损伤。

4.2 止滑抱箍设计

吊杆更换最大控制索力按 1500kN ,在止滑抱箍上最大下滑力位置为短吊杆处,拱肋法线与竖直面夹角为 34° ,故最大下滑力为:

$$1500 \times \sin 34^\circ = 838.8\text{kN}$$

止滑抱箍为两半式结构(如图4、图5所示),材料Q345B。两半式抗滑抱箍与拱肋钢管间隙之间垫5mm橡胶垫,达到增大摩擦系数目的,通过预拉两侧及中间共3排10.8级M27高强螺

栓,在两半式抗滑抱箍与拱肋钢管之间产生摩擦力抵抗下滑力实现抗滑。

单根M27高强螺栓预拉力取 290kN ,单套两半式抗滑抱箍共计24根,两半式抗滑抱箍与拱肋钢管之间摩擦系数取0.3,摩擦力计算如下:

$$24 \times 290 \times 0.3 = 2088\text{kN} > \text{下滑力 } 838.8/2 = 419.4$$

经计算,抱箍结构等效应力、剪应力等各应力均小于设计值,满足要求。

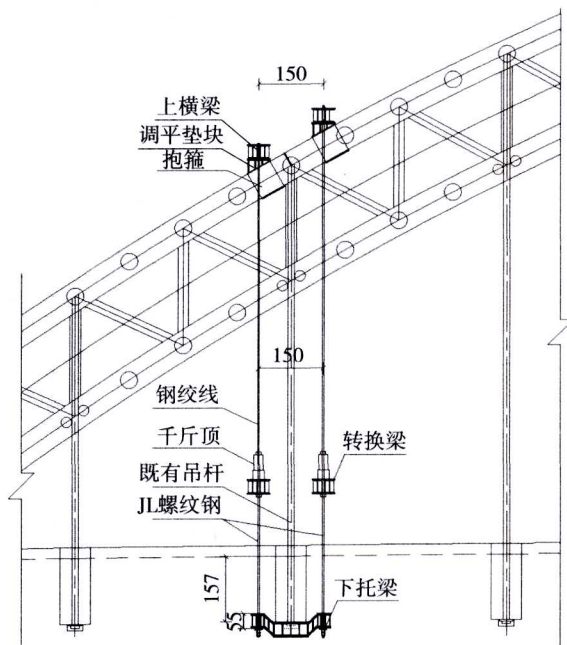


图2 临时兜吊体系立面图

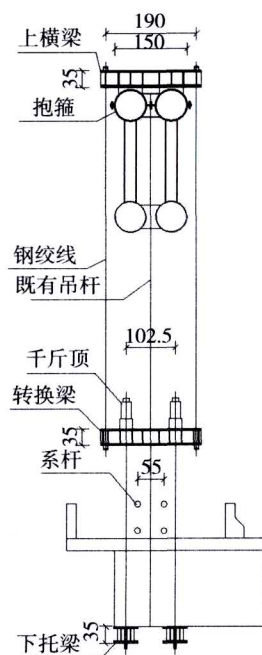


图3 临时兜吊体系侧面图

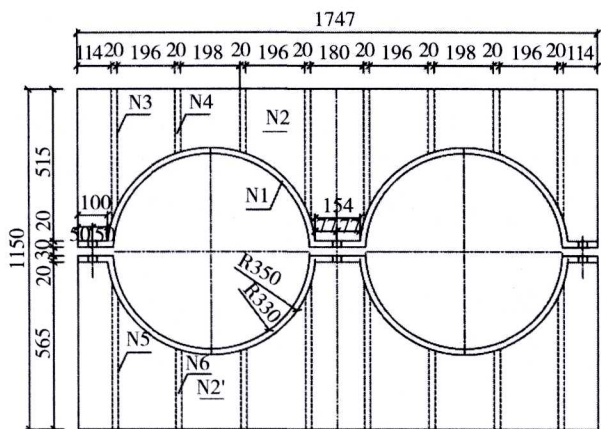


图4 止滑抱箍侧视图

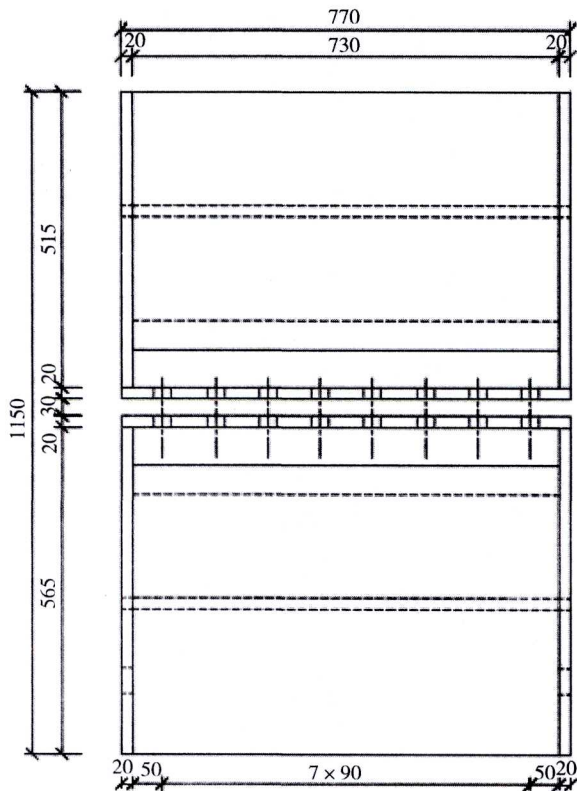


图5 止滑抱箍立面图

4.3 上临时索选型

上临时索采用公称直径15.24mm, 抗拉强度1860MPa钢绞线, 共计采用4束, 单束6根钢绞线组成。更换控制索力按150t验算。则单根钢绞线受力为:

$$1500/4/6=62.5\text{kN}$$

单根钢绞线破断力为260kN, 安全系数为 $260/62.5=4.2$ 满足要求。

4.4 上横梁设计

上横梁材料Q345B, 由双焊接H型钢拼焊组

成主要承力构件。

更换临时兜吊系统控制最大索力为150t, 单个上横梁上每个锚固点设计作用力为:

$$1500/2/2=375\text{kN}$$

采用通用有限元软件对单个上横梁进行建模计算, 简化模型计算如图6所示:

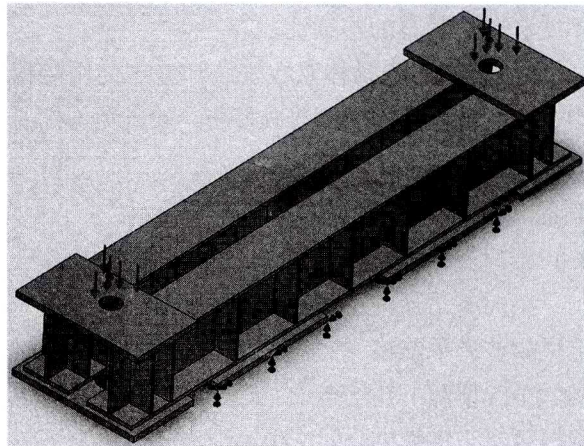


图6 简化计算简图

调平钢箱垫板对应位置型钢底部设置固定边界条件, 上临时索锚固位置加载375kN。

由上述计算结果可知(如图7、图8、图9所示), 等效应力最大值小于设计值310MPa, 剪应力最大值均小于设计值180MPa, 满足要求。

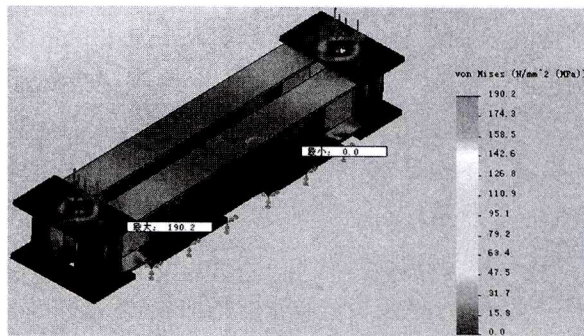


图7 等效应力云图

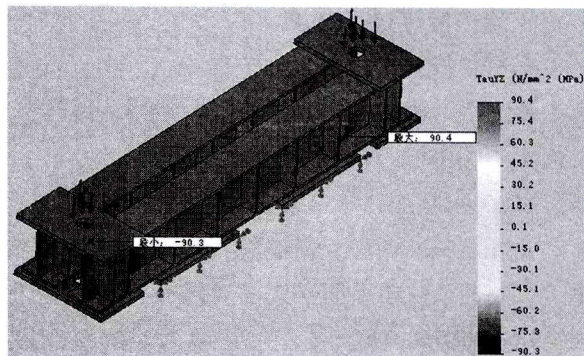


图8 剪应力云图

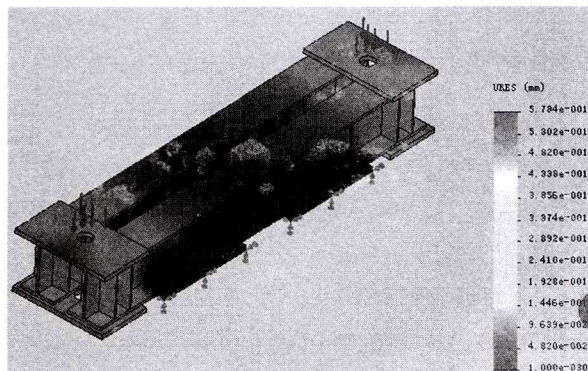


图9 变形分布图

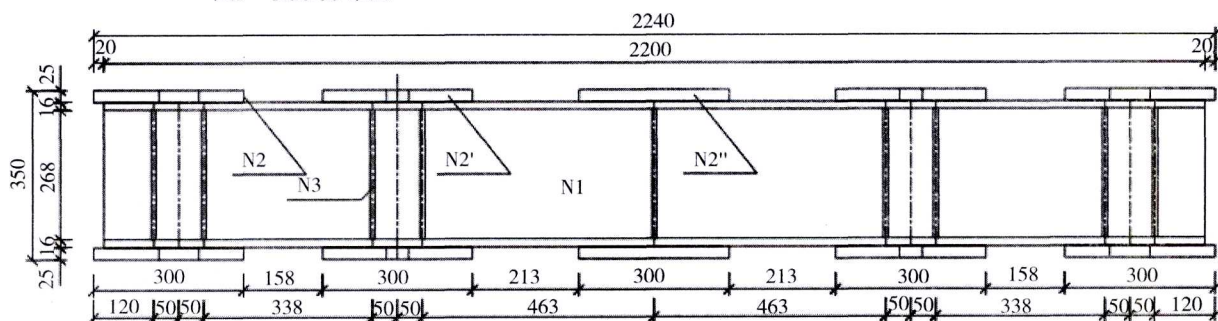


图10 立面图

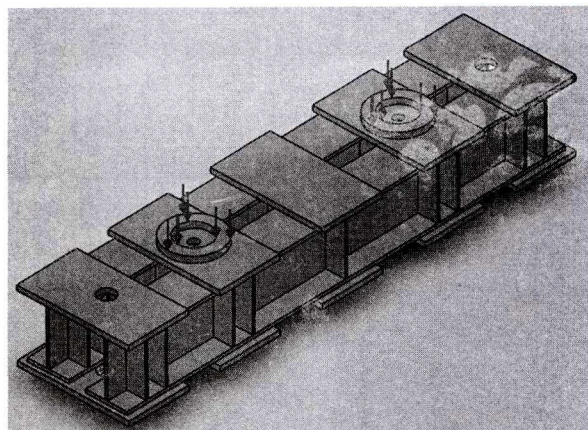


图11 简化计算简图

上临时索对应下锚固位置底部设置固定边界条件，下临时索张拉位置加载375kN。

由上述计算结果可知（如图12、图13、图14所示），等效应力最大值小于设计值310MPa，剪应力最大值均小于设计值180MPa，满足要求。

4.6 千斤顶选型

每道转换梁上设置2台千斤顶，每个反力点最大作用力为：

$1500/2/2=375\text{kN}$ ，采用型号YCW100B千斤顶，公称张拉力1000kN，安全系数为： $0.75 \times 1000/375=2$ ，满足要求。

4.5 转换梁设计

转换梁材料Q345B，由双焊接H型钢拼焊组成主要承力构件，如图10所示。

更换临时兜吊系统控制最大索力为150t，单个转换梁上每个锚固点设计作用力为：

$$1500/2/2=375\text{ kN}$$

采用通用有限元软件对单个转换梁进行建模计算，简化模型计算如图11所示。

4.7 下临时索选型

下临时索采用 $\phi 40\text{JM}$ 精轧螺纹钢，级别PSB1080，破断力1357.1kN，安全系数为： $1357.1/375=3.62$ ，满足要求。

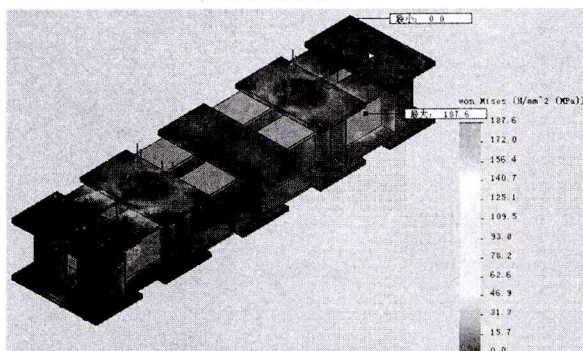


图12 等效应力云图

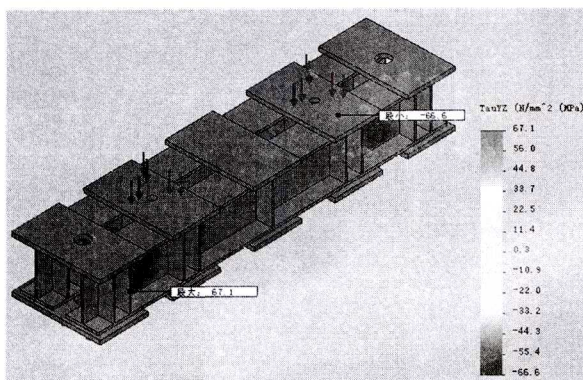


图13 剪应力云图

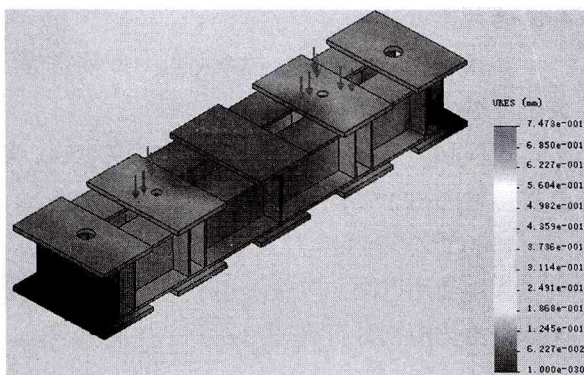


图14 变形分布图

4.8 下托梁设计

转换梁材料Q345B, 由双焊接H型钢拼焊组成主要承力构件。

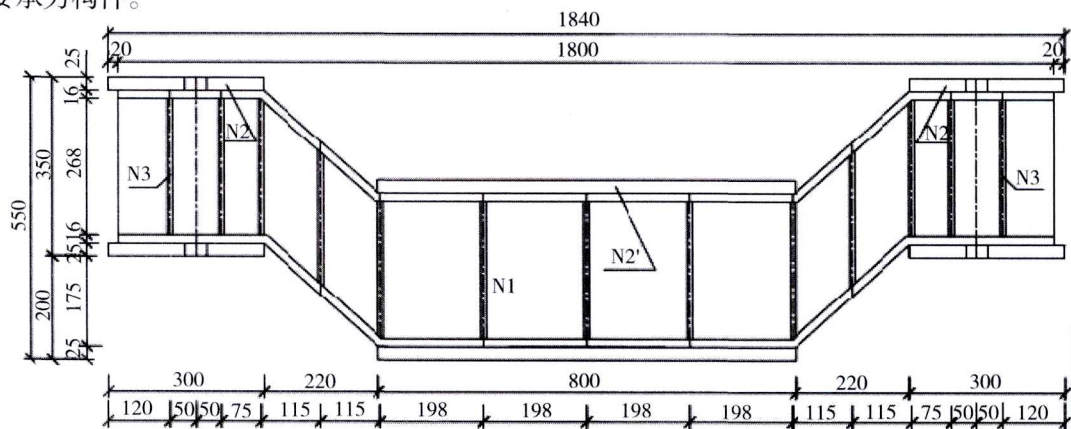


图15 下托梁立面图 (单位: mm)

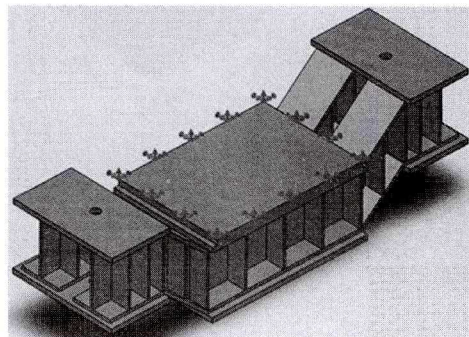


图16 简化计算简图

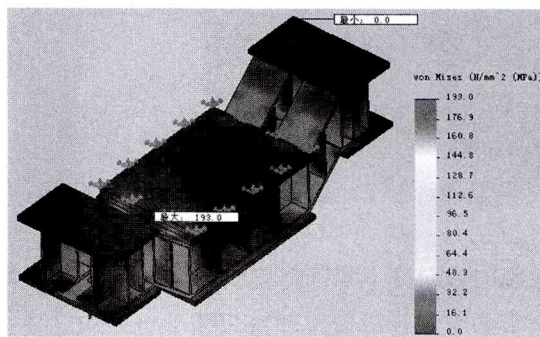


图17 等效应力云图

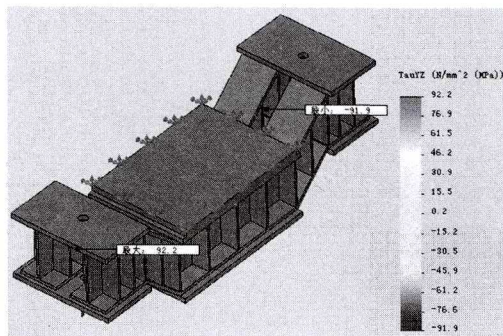


图18 剪应力云图

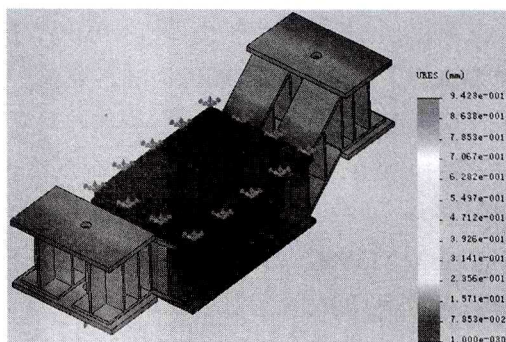


图19 变形分布图

更换临时兜吊系统控制最大索力为150t, 单个转换梁上每个锚固点设计作用力为:

$$1500/2/2=375 \text{ kN}$$

采用通用有限元软件对单个下托梁 (如图15所示) 进行建模计算, 简化模型计算如图16所示。

跨中对应横梁宽度750mm位置设置固定边界条件, 两端螺纹钢钢筋锚固端分别加载375kN。

上述计算结果可知 (如图17、图18、图19所示), 等效应力最大值均小于设计值310MPa, 剪应力最大值均小于设计值180MPa, 满足要求。

5 临时兜吊体系的试验测试

5.1 拱肋抱箍抗滑性能试验测试

试验为室外试验,拱肋抱箍抗滑试验采用制作同等尺寸的两根上弦钢管结构的方法模拟抱箍抗滑受力情况,两套抱箍上分别焊接千斤顶反力座,采用张拉预应力精轧螺纹钢加载,模拟抱箍抗滑受力情况。试验工况模拟短吊杆处抱箍抗滑情况,另外测试抱箍出现滑移时的最大抗滑力。

取短吊杆位置处与水平线夹角为 34° 计算下滑力值:

$$1500 \times \sin 34^\circ = 838.8 \text{ kN}$$

每套抱箍上两个反力座分别加载数值为:

$$838.8/2=209.7 \text{ kN}.$$

抱箍高强螺栓采用液压扭矩扳手施加预拉力,根据《钢结构高强度螺栓连接的设计、施工及验收规程》10.9级M27高强螺栓施工预拉力为290kN。扭矩系数取0.13,施工扭矩 $T_c=0.13 \times 290 \times 27=1017.9 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

高强螺栓按中间至两侧分别对称分级拧紧顺序,初拧至施工扭矩50%,复拧等于初拧扭矩,终拧至施工扭矩100%。

试验张拉设备采用油泵及千斤顶加载,能实现准确加载,并实时记录加载数值。试验装置如图20、图21所示。

利用千斤顶张拉精轧螺纹钢对抱箍施加荷载,共分5级加载至设计张拉力210kN,经测量抱箍之间最大相对位移量为4mm,主要由于橡胶垫存在不均匀剪切变形造成,锚固锁定24h,经测量无继续滑移;继续施加张拉力检验抱箍最大抗滑性能,直至加载至344kN,出现持续滑移。抱箍经试验能满足现场实际抗滑性能需要。

5.2 上横梁性能试验测试

采用2道临时兜吊上横梁对拉的方法模拟上横梁受力情况,2道临时兜吊上横梁之间设置钢箱,采用张拉预应力钢绞线加载,模拟上横梁受力情况。

每个千斤顶加载数值为: $150/2=37.5 \text{ t}$

试验张拉设备采用油泵及千斤顶加载,能实现准确加载,并实时记录加载数值。试验装置如

图22,图23所示。

利用千斤顶张拉钢绞线对上横梁施加荷载,共分5级加载至设计力375kN,再分级卸载,经测量上横梁两型钢最大相对位移经卸载后恢复正常,构件各焊点良好,无裂纹,满足施工需要。

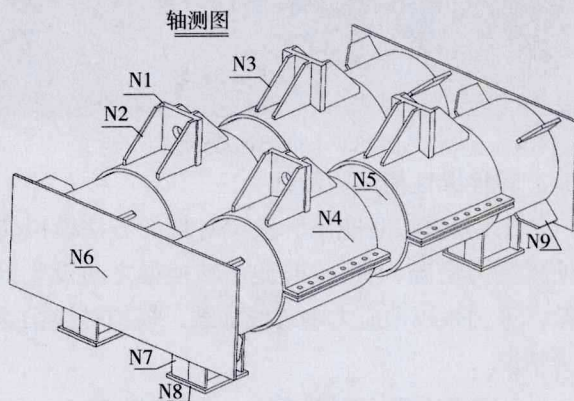


图20 模拟拱肋抱箍抗滑试验装置轴测图



图21 抱箍抗滑试验

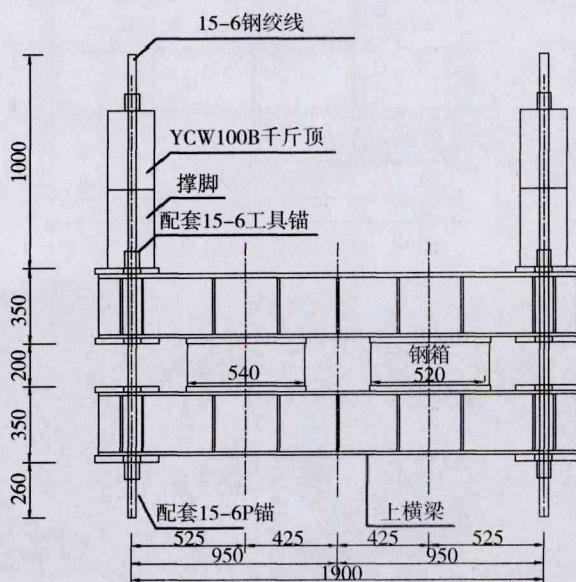


图22 上横梁加载试验立面图

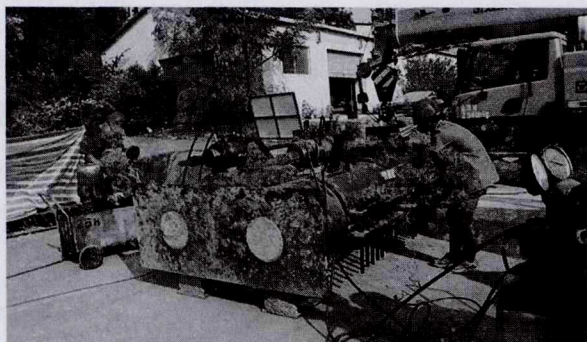


图23 上横梁加载试验

5.3 转换梁性能试验测试

采用2道临时兜吊转换梁对拉的方法模拟转换梁受力情况, 2道临时兜吊转换梁之间设置钢箱, 采用张拉预应力钢绞线加载, 模拟转换梁受力情况。

每个千斤顶加载数值为: $150/2/2=37.5\text{ t}$

试验张拉设备采用油泵及千斤顶加载, 能实现准确加载, 并实时记录加载数值。试验装置如图24, 图25所示。

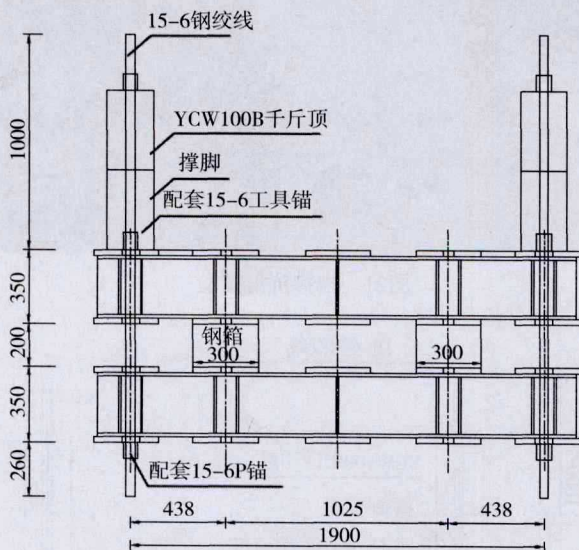


图24 转换梁加载试验立面图



图25 转换梁加载试验

用千斤顶张拉钢绞线对转换梁施加荷载, 共分5级加载至设计力375kN, 再分级卸载, 经测量转换梁两型钢最大相对位移经卸载后恢复正常, 构件各焊点良好, 无裂纹, 满足施工需要。

5.4 下托梁性能试验测试

采用2道临时兜吊下托梁对拉的方法模拟转换梁受力情况, 2道临时兜吊下托梁之间设置钢箱, 采用张拉预应力精轧螺纹钢加载, 模拟下托梁受力情况。

每个千斤顶加载数值为: $150/2/2=37.5\text{ t}$

试验张拉设备采用油泵及千斤顶加载, 能实现准确加载, 并实时记录加载数值。试验装置如图26, 图27所示。

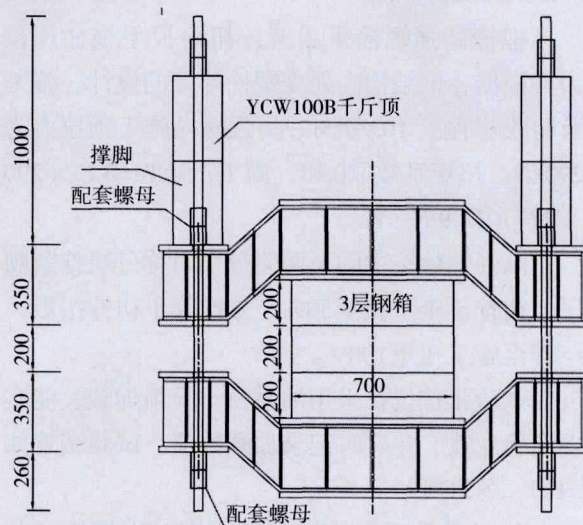


图26 下托梁加载试验立面图

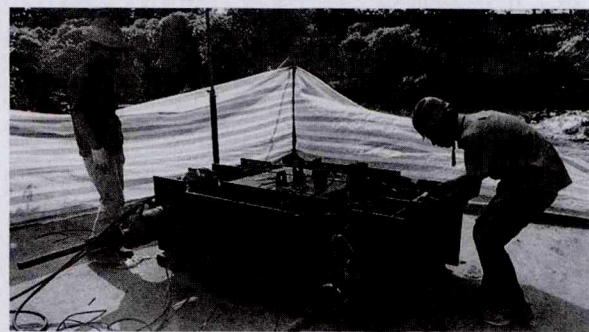


图27 下托梁加载试验

利用千斤顶张拉精轧螺纹钢对转换梁施加荷载, 共分5级加载至设计力375kN, 再分级卸载, 经测量上横梁两型钢最大相对位移经卸载后恢复正常, 构件各焊点良好, 无裂纹, 满足施工需要。

6 临时兜吊体系的安装与施工要点

6.1 临时兜吊体系的安装要点

通过汽吊在拱肋上距离原吊杆中心各一侧分别安装抱箍,用液压扭矩扳手预紧高强螺杆至设计值,抱箍上焊接调平钢箱以实现调平,汽吊将上横梁水平放置在调平钢箱顶面,通过4束上临时索钢绞线连接上横梁和转换梁,将转换梁兜吊在拱肋和桥面之间,在各吊点中心上、下游侧桥面处分别采用金刚钻机钻 $\phi 80\text{mm}$ 孔洞,以穿下临时索预应力钢筋。以转换梁为反力支架,通过4台千斤顶同时张拉4束下临时索预应力钢筋,下临时索一端通过安装挤压套锚固在下托梁底,将吊杆横梁托起,实现原桥吊杆所有受力均匀地转换到临时索上。另外,托梁与吊杆横梁间垫5mm厚橡胶板,防止兜吊加载时因局部应力集中对吊杆横梁造成损伤。

安装好兜吊系统后,先用2台YDC240Q千斤顶预紧4束钢绞线上临时索,并调整转换梁平整度。

下临时索的张拉端设置在桥面转换梁反力架,采用4台YCW100B千斤顶固定在转换梁反力座上,反力座里设置一套安全工具螺母锁紧,千斤顶配自动液压锁,通过分配阀控制4台千斤顶同步张拉或放松。

6.2 临时兜吊体系与吊杆力系转换施工要点

(1) 临时兜吊体系与旧吊杆力系转换施工要点:设计采用逐级加载(释放)内力的方法,将原有吊杆索力逐步转移到临时吊杆上。为确保桥面不会因此出现大的应力变化,将吊杆力设计值分为5级,逐级施加至临时吊杆,相对应逐批切断原吊杆钢丝(预应力临时吊杆的张拉与原吊杆钢丝的切割交替进行),即原有吊杆分5批割掉。在索力转换全过程中,应注意跟踪监测索力和更换吊杆所处的高程变化情况以及关键截面处的应力变化情况,观察桥面有无裂缝产生,同

时还应进行邻近点桥面标高的测量以判断是否需要调整索力。桥面上、下位移应控制在 $\pm 5\text{mm}$ 范围内^[3]。

(2) 临时兜吊体系与新吊杆力系转换施工要点:根据设计的张拉索力值、标高控制对新吊杆进行张拉及桥面标高的调整。张拉过程中交替逐步放松临时吊杆。张拉分级进行加载,分级解除临时吊杆索力,分级大小与原吊杆拆除程序一致,临时吊杆索力的放松是通过千斤顶逐步回程实现的。张拉加载速度一般应小于 10MPa/min ,达到张拉要求时停止,即打紧夹片锁紧钢绞线。在张拉过程中,读数测量要准确,记录要全面,真实无误。同样在换索全过程中,应跟踪监测索力和更换吊杆所在处的挠度变化情况以及关键截面处的应力变化情况,并检测桥面裂缝,判断是否需调整索力。

7 结语

本文提出的抱箍式临时兜吊系统解决了拱肋因直接焊接调平楔形块或抗滑挡块容易损伤原钢管拱肋和涂装,拆除恢复作业进度慢的技术问题,同时安拆方便,可周转使用。

另外,下承式钢管拱桥吊杆更换的临时兜吊系统的选型和设计,需结合拱肋构造型式、拱肋下施工空间、吊杆控制索力、吊杆长度、横梁构造型式及吊杆受力特点等因素综合考虑。施工时需在有有效的测量和监控措施下保证临时兜吊体系与新、旧吊杆力系转换的同步性、均衡性。本文总结的临时兜吊系统设计方法、工程实践可为同类桥型吊杆更换和同类型临时兜吊系统的设计、施工提供借鉴。

参考文献

- [1] 李世忠,易著炜.中承式钢管混凝土拱桥吊杆更换施工技术[J].施工技术,2008,(1):214-216
- [2] 窦勇芝,黎祖金,李东平.中承式钢管混凝土拱桥吊杆更换临时兜吊系统的设计和施工[J].预应力技术,2013,(5):29-35
- [3] JTG/T J23-2008,公路桥梁加固施工技术规范[S].