

拱桥吊杆加固体系的应用探讨

石伟 华剑平 郑国坤 王瀚德 雷欢

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:近年来,交通量不断增多,交通荷载不断增大,使原吊杆的受力不能满足原设计的要求,拱桥吊杆的维护越来越多,如采取更换吊杆的方式,不仅给桥梁本身带来损害,还造成交通拥堵。本文结合成都绕城高速府河桥的实际应用,介绍了该桥的加固体系以及在设计、施工时所存在的问题,并对存在的问题提出了建议,对今后类似的桥梁加固设计及施工提供参考。

关键词:拱桥 吊杆 加固 钢丝绳

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2014.05.001

随着我国经济的快速发展,拱桥吊杆已由原来镢头锚具发展成冷铸锚具,相比原来的镢头锚具具有更好的防腐保护作用。但同时出现一个问题,由于原来镢头锚具所配备的预埋管径比冷铸锚具所配备的预埋管径要小,因此同规格的冷铸锚吊杆无法替换同规格的镢头锚吊杆。加上汽车数量不断增多,货车的载重量不断加大,对旧桥的换索及加固维修带来了困难。以成都绕城高速府河桥为例,原设计时的汽车流量为每天最大8万辆,到2012年每天的汽车流量达12万辆,给桥梁带来了巨大的负担,对该桥进行加固维护是势在必行。下面将针对该桥所采用的一些加固方式进行探讨,给后续类似桥梁的加固提供参考。

1 桥梁概述

成都绕城高速府河桥位于成都平原东南部和镇,该桥横跨府河后与人民南路互通式立交桥相连。全桥自K37+318.31起,止于K37+461.69,主孔分为两幅,采用一孔跨越府河净跨径为130m中承式钢管砼拱桥。拱肋为钢管砼桁架结构,横断面为哑铃形,桥面结构采用吊杆吊T型横梁,纵置小T梁。全桥吊杆和立柱间距均为6.51m。桥面标高为484.569m,净空满足1/300的洪水标准。桥面纵坡为0.938%,横向设2%双向坡;桥面全宽为40.84m,府河部分桥长为143.380m。

上部结构拱肋为钢管砼组成的桁架结构:

拱肋高3.0m,宽0.92m,每肋为上、下各一根 $920 \times 12\text{mm}$,内灌50号砼的钢管弦杆。弦杆通过竖向 $355.6 \times 8\text{mm}$ 腹杆连接而构成钢管砼桁架。两侧焊接8mm厚(拱脚段为12mm)钢板作为装饰钢板,两拱肋间桥面以上设置5道横撑,每道横撑均为空钢管桁架,拱肋采用吊装施工。吊杆原采用151- $\phi 5\text{mm}$ 高强度低松弛预应力钢丝,两端采用镢头锚具,下端锚具设有可调节横梁高度的螺母;吊杆在拱肋和横梁内采用外套钢管,管内压注40号聚丙烯纤维水泥浆防护,吊杆外露部分采用热挤PE防护。

2 桥梁吊杆的病害

府河大桥于1999年开工建设,2001年竣工通车,至今已营运了十几年。在此期间分别进行了三次检测。2007年经检测该桥属于二类桥,处于较好状态。桥下吊杆横梁及小T梁存在些问题,由于2007年12月将开放高速公路,到时车流量将会大增,势必会影响该桥的整体受力,建议对该桥主跨进行特殊检查。2008年10月经检测,其结果为上下锚头未见积水、锈蚀、钢丝回缩等现象,仅个别锚头略有锈蚀;吊杆索力实测值与计算基本一致;桥跨主拱结构具有足够的竖向和横向刚度。2010年4月再次对该桥进行了检测,发现桥面铺装每根吊杆对应位置均有不同程度的横向开裂现象,尤其以4号、5号吊杆对应的位置

铺装破损严重,伴有纵向开裂,本次共抽检检测区域内的10根吊杆中的4根吊杆,吊杆及锚头部分可见轻微锈蚀,除下锚头表面有轻微锈蚀外,其余部分未见锈蚀。

3 加固方案

受先前制造技术和设计观念的影响,目前国内吊杆的平均使用寿命不超过15年,并因超载和防腐失效等因素开始陆续出现吊杆断裂、桥面板垮塌等安全事故。为确保府河大桥的安全营运,有必要对老式的吊杆进行更换,采用新技术和新工艺生产的新型吊杆。新型吊杆具有锚固可靠、结构尺寸紧凑、张拉调索方便、防腐性能好的特点,预期设计使用寿命更长,更换更方便。但根据原桥的特点,如果要取出原吊杆进行更换,不可避免地将伤及拱肋吊点和吊杆横梁,且造价和风险高,工期和断道时间长,对交通的影响较大,基于以上原因该方案无法实施,需寻找另一种更为理想的方法。

结合该桥的结构特点,我们决定在原吊杆位置横梁下方增设钢节点(如图1),并对称增加两组新吊杆或钢拉杆,原吊杆仍保留,最终将原吊杆的受力部分分摊到新吊杆或钢拉杆上,以减小原吊杆受力,使其达到共同受力。本桥拱肋为哑铃型,增加吊杆可采用骑跨式构造,由于骑跨式对吊杆弯曲性能要求较高,排除采用平行钢丝的吊杆截面构造,而采用弯曲性能好的钢丝绳。根据构造及美观需要6号、12号吊杆由骑跨式改为吊耳式,1号、17号短吊杆采用钢拉杆,其吊杆上端采用销接构造(如图2)。3号、9号、15号吊杆处于两拱肋间的横撑位置,在布置骑跨式吊杆时需避开横撑,两吊杆之间顺桥向的距离相对较大。所有吊杆的下端均为等距的,因此只能在吊杆上端设置上纵向吊索夹具与下纵向吊索夹具(如图3)。在吊杆横梁上考虑采用销铰式构造,构造形式是在横梁上增设耳板,结构形式有钢混组合和纯钢节点。本桥采用纯钢节点的销铰

式构造,其整桥的加固布置如图4所示。

在原吊杆前后各增加一组骑跨式钢丝绳吊杆,其作用有五方面:一方面增加了竖向刚度,降低了活载作用下桥面系的竖向变位;第二方面前后两组吊杆对单一吊杆横梁自身扭转起到一定的限制作用;第三方面,三组吊杆共同作用,使原吊杆在使用荷载下的最大拉力减小,应力疲劳降低,提高使用寿命;第四方面,作为安全保证措施,前后两组吊杆能起到防落梁的作用(即特殊情况下原吊杆断掉,汽车和桥面梁板不会坠下桥梁);第五方面,为今后吊杆更换等维修保养提供了方便(可不断道施工)。

4 加固注意事项及存在的困难

虽然钢丝绳吊索在悬索桥上有过类似的应用,但应用于拱桥的加固上还属首次,存在一些不可预见的问题,通过在成都绕城高速府河桥的实际应用,在此提出来供后续类似桥梁设计提供参考。

4.1 钢丝绳的选择

对于钢丝绳的选择可以按悬索桥设计规范中的吊索进行选择,但考虑到吊杆采用骑跨式,拱肋半径与钢丝绳索径之比应大于7.5,根据府河桥设计的钢丝绳直径为 $\phi 48\text{mm}$,其拱肋半径为 $920/2 = 460\text{mm}$,其拱肋半径与钢丝绳索径之比为9.58,因此满足设计的要求。

随着社会的发展,当前对索体的防腐要求也越来越高,因此出现一种耐防腐性较好的钢丝绳,即密封钢丝绳。密封钢丝绳在许多地方都广泛应用,如矿山、体育场馆等。虽然密封钢丝绳具有许多的优点,但我们设计时必须清楚认识到密封钢丝绳的缺点,其可挠性很差,不能在较小的半径上弯曲,需用较大直径的绳轮和卷筒,其直径与绳径之比一般应达到165:1,最小也不得小于115:1,从而限制了此类钢丝绳的使用范围,因此对于该桥不能完全采用密封钢丝绳做吊杆。

4.2 吊杆长度的确定

由于是旧桥加固,为了不对交通造成过多的

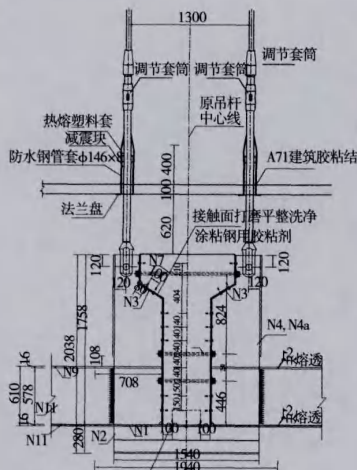


图1 横梁下方增设钢节点示意

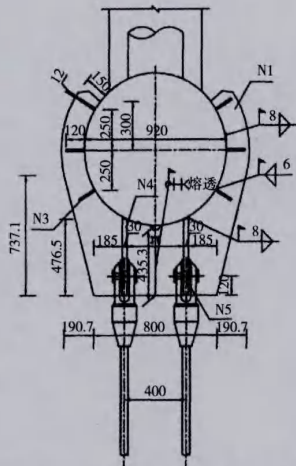


图2 吊杆上端销接构造示意图

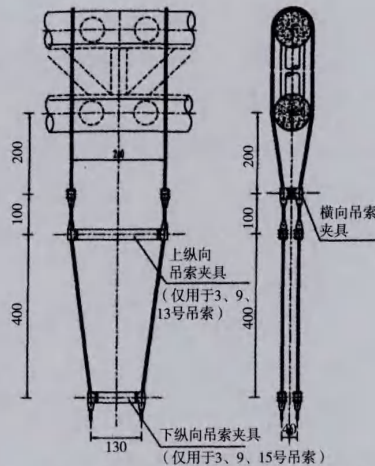


图3 特殊吊杆上端构造示意图

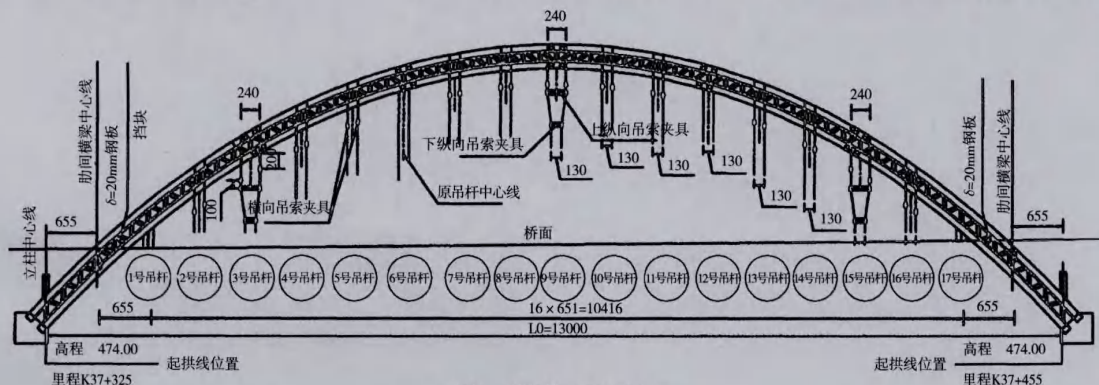


图4 桥梁加固布置图

影响,吊杆的加工与横梁下方增设的钢节点、拱肋钢节点是同时加工制作的,也就是说在提供吊杆的长度时,其钢节点与拱肋钢节点可能未加工或未安装好,因此对于吊杆长度的测量是极其困难的。结合吊杆的构造形式,特别是3号、9号、15号吊杆需经过几个转向,所测量的长度的误差最大。拱桥的吊杆的长度测量,通常采用全站仪测量,但在这里不是很适用。主要有三个原因:其一由于交通的影响,测量点的位置会随车辆的通过而产生变化,无法取得准确值;其二由于吊杆的跨跨式,是一种空间变化的结构,无法选取合适的点来进行测量;其三测量出来的点的位置,还需要经过理论的计算来转换甚至还需采用局部测量法,可能会造成较大的误差。

我们经讨论后决定还是采用直接测量法,如果横梁下方增设的钢节点、拱肋钢节点加工安装已完成,采用该测量法是最好的办法。但面对未

安装的节点,如何保证测量的精度,以保证吊杆加工完成后满足张拉调节的要求?经过多次的尝试,在测量时应满足以下要求:其一,在测量时横梁下方增设的钢节点必须安装,因为该节点安装后可以产生一基准点,方便后期的测量;其二,在测量时要求预先在拱肋处画线打点,测量时要求测量绳与打点重合,待拱肋钢节点加工安装时必须按画线打点来安装;其三,测量面拱肋上相贯线长度应在测量时提供,以便于校核;其四,测量所用的钢丝绳应采用 $\phi 2\text{mm}$ 的钢丝绳,在标识测点时要保证钢丝绳处于绷直的状态;其五,在测量时要注意避开脚手架或支架的影响。除了对测量时有以上要求外,还要通过计算来实现空间长度的转换,为保证数据的准确性,通常采用理论计算、三维制图测量法以及实际测量数量三者对比。吊杆的长度数据不允许有错,否则

会造成整根吊杆重新制作,势必影响到施工工期。最后还需要校核每根吊杆的长度,通过吊杆之间的数据比较分析,如发现问题必须重新测量,以保证测量的准确性。数据比较分析的一个重要原则就是应满足吊杆可调范围的一半的测量误差方能允许通过的。

4.3 吊杆下端的结构设计

因为吊杆长度的测量误差较大,所以吊杆需满足较大的调节量。此外,由于钢丝绳的弹性模量较小,为便于吊杆的下端节点的安装,同样要求吊杆满足较大的调节量。按钢丝绳最终受力的情况,计算得出该桥吊杆的调节长度为 $\pm 200\text{mm}$,即可满足上述的要求。

该桥的吊杆下端是穿过桥面板的,为了安装时便于张拉调节,要求拉杆长度穿出桥面板,其调节套的位置应位于桥面板500mm以上。

4.4 拱肋上U型槽安装问题

骑跨式吊杆的上端锚固方式采用U型槽锚固,因此在拱肋上端及拱肋下端的两侧焊接U型槽,以固定钢丝绳的位置(如图5)。由于钢管拱在每个吊杆的截面上尺寸不一样,造成加工的困难,加上理论与实际尺寸的误差,造成在实际安装时无法安装或存在间隙过大。其解决方法只能将U型槽分成几段,然后一段一段的拼接起来(如图6)。虽然解决了安装问题,但也同时对内U型面的表面处理造成了困难,内U型面的不平滑可能对吊杆的受力产生影响。

4.5 张拉的选择及张拉力的测量

由于吊杆结构的特殊受力,在选择张拉的方式的时候,要求每个横梁上设置的四个吊点张拉力是均匀的,通过几次的张拉尝试后,决定采用井字形的张拉方式,即上端拴在井字形张拉架上并通过张拉葫芦提供张拉力,下端通过钢丝绳拴于横梁上。张拉方法的选择同时也给吊杆的受力带来了困难,为保证吊杆的受力符合设计值,最后采用在张拉杆上贴应变片来监控吊杆的受力。通过对吊杆的实际张拉测量,验证该张拉方法解

决了在张拉过程中各吊点的受力不均匀的问题,同时也提高了施工效率(如图7)。

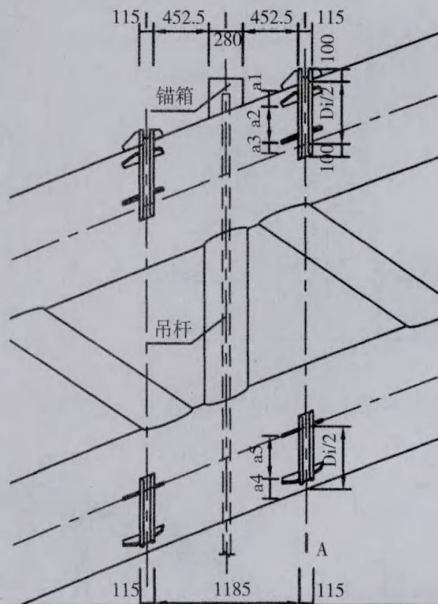


图5 骑跨式吊杆上端的U型槽设置

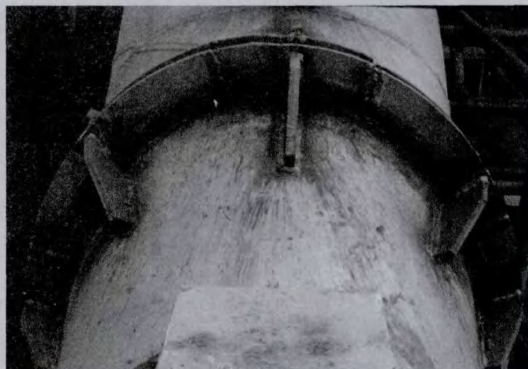


图6 拼接式U型槽

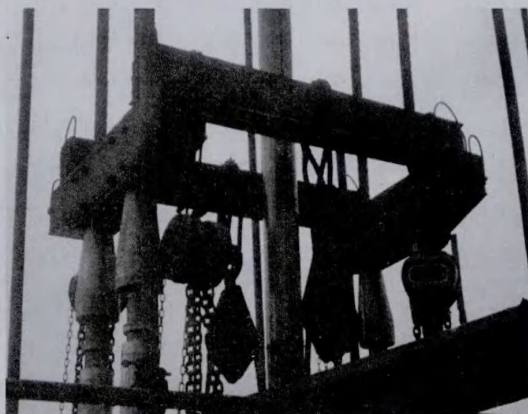


图7 井字形张拉法

(下转第18页)

螺母, 锁定索力;

(2) 放松锁紧螺母, 利用手动葫芦拉紧上排钢绞线, 形成更换空间;

(3) 逐一取下抗滑插片;

(4) 选取一根钢绞线, 用千斤顶放张索力, 取出该根钢绞线的同时牵引一根新的钢绞线更换到原抽出的钢绞线位置;

(5) 通过千斤顶的张拉, 将更换后的钢绞线两端安装夹片, 完成新钢绞线的锚固, 换索完毕。

5.4 试验结果

根据模拟实桥情况进行单根换索试验, 抽取 OVMAT-31 锚具的中心单根钢绞线进行更换, 该换索工艺能实现单根更换, 并且换索便利, 在实桥中需要更换的拉索能在梁面完成抽换步骤, 解决了换索空间问题, 试验中能够抽取最难更换的中心丝进行换索, 具有较强的可操作性和便利性, 完全满足拉索体系在桥梁运营阶段实现拉索的单根换索功能。

(上接第6页)

4.6 吊杆的防腐

该桥所采用的吊杆, 其防腐重点是骑跨式吊杆的U型槽内的防腐, 主要原因是U型槽与钢丝绳的接触容易造成雨水的储蓄, 使钢丝绳处于最易腐蚀的环境中; 此外钢丝绳在U型槽处的受力最大, 易产生应力腐蚀; 最后钢丝绳与U型接触面不好做防腐。针对以上三点原因, 须填充一种常温硫化的防水密封胶, 使钢丝绳与雨水完全隔离, 最后在密封胶表面刷涂面漆。吊杆其余外表面要求分别刷涂底漆、面漆进行防腐, 其防腐要求符合标准要求。

5 总结

通过在成都绕城高速府河桥的加固应用, 证实了该加固方案的可行性, 为今后拱桥旧桥的加固提出了一种新的方案, 以及如何解决在施工中存在的困难, 并针对在应用中所遇到的困难, 提出如下改进意见:

(1) 在加固应用中, 为能选择耐腐蚀较好

6 建议

对于预应力混凝土矮塔斜拉桥节段模型鞍座区拉索的换索试验已经有较多次的试验论证, 据调查统计, 目前在国内的矮塔斜拉桥实桥的施工及后期维护中, 均未尝试过实桥的单根钢绞线抽换, 进行实桥的换索试验具有重大的技术突破, 对今后该桥后期维护具有较高的指导意义, 实桥的单根钢绞线抽换技术及实际操作工艺有待进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 张海文, 李亚东. 矮塔斜拉桥索鞍混凝土局部应力分析[J]. 铁道标准设计, 2009(1):42~44.
- [2] 陈小强, 徐晓和等. 部分斜拉桥鞍座锚固区局部应力分析[J]. 山西建筑, 2009, 35(24):319~320.
- [3] 刘钊, 孟少平等. 矮塔斜拉桥索鞍区模型试验及设计探讨[J]. 东南大学学报, 2007, 37(2):291~295.
- [4] 汤少青, 蔡文生等. 漳州战备大桥主塔鞍座处节段模型试验研究[J]. 桥梁建设, 2002, (1):15~18.
- [5] 李文献, 徐栋等. 拉萨市纳金大桥桥塔节段尺寸模型试验研究[J]. 世界桥梁, 2012,40(5):63~68.
- [6] 李文献, 宋强等. 矮塔斜拉桥中交叉抗滑键的研究及应用[J]. 桥梁建设, 2012,42(6):92~96.

的密封钢丝绳, 在加固方案中可以考虑采用两端销接式。这样既可以降低吊索的使用安全系数, 又解决了U型槽内的防腐问题, 从而降低加固费用。

(2) 采用销接式可以减小测量长度的误差, 使测量更方便, 避免返工的可能性。

(3) 采用销接式不用加工制作U型槽, 避免对安装及使用所产生的影响。

今后的桥梁发展中, 可能出现越来越多的旧桥加固, 希望能通过本文的介绍, 为今后的旧桥加固方案提供参考。

参考文献

- [1] 成都绕城高速东段府河大桥维修处治设计说明[S].
- [2] JTJ041-2000[S]. 公路桥涵施工技术规范. 人民交通出版社, 2000.
- [3] 公路悬索桥设计规范(报批稿)[S]. 人民交通出版社, 2002.
- [4] JT/T694-2007[S]. 悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件. 中华人民共和国交通部. 2007.