

白洋长江公路大桥钢桁加劲梁设计

徐欣, 刘琪, 彭元诚

(中交第二公路勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 白洋长江公路大桥主桥为主跨 1 000 m 双塔钢桁加劲梁悬索桥, 组合梁桥面系, 按双向六车道高速公路设计, 设计速度 100 km/h, 整体式路基宽 33.5 m。结合该桥钢桁加劲梁的设计工作, 重点介绍了结构体系、主桁、横向桁架、平联、塔连杆、桥面系的设计要点和制造、架设方案。

关键词: 悬索桥; 钢桁加劲梁; 设计要点

1 工程概况

白洋长江公路大桥是宜昌至张家界高速公路跨越长江的控制性工程, 该桥位于宜昌市境内, 北岸连接枝江市白洋镇, 南岸连接宜都市陆城镇, 桥位距上游宜昌长江公路大桥约 26 km, 距下游枝城长江大桥约 15 km, 按双向六车道高速公路设计, 设计速度 100 km/h, 整体式路基宽 33.5 m。主桥为主跨 1 000 m 双塔钢桁加劲梁悬索桥, 组合梁桥面系, 白洋岸锚碇采用重力式嵌岩锚, 宜都岸锚碇采用浅埋扩大基础。大桥总体布置见图 1。

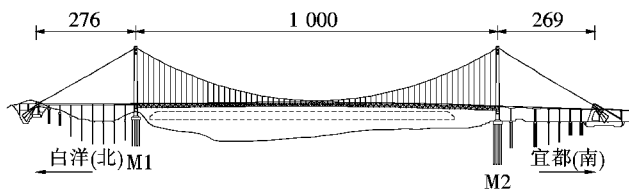


图 1 白洋长江公路大桥总体布置(单位:m)

2 钢桁加劲梁结构设计

2.1 结构体系

结合桥址处地震烈度不高的特点, 设计过程中未采用梁端设置纵向阻尼器的方案, 此举既降低了工程费用, 又减少了后期维护工作量。为提高结构刚度、改善结构受力状态和变形性能, 在跨中设置了 3 对柔性中央扣, 同时在梁端设置横向抗风支座, 并以塔连杆替代了传统的梁端竖向支座。

2.2 主桁

桁高是主桁设计首先需要确定的参数, 通常讨论梁高往往以梁的抗弯承载能力为切入点, 对梁的高跨比指标做数学归纳, 而针对悬索桥等柔性结构, 梁高相对于跨度的分布较离散, 并没有明确的规律性。在悬索桥体系中, 绝大部分的竖向荷载由主缆承担, 梁的加劲作用主要体现在其抵抗扭转的能力, 而结构的扭转效应, 尤其是动扭转效应, 主要由风荷载产生, 同时气动稳定性也是加劲梁设计的控制因素之一, 从这个角度出发, 结合文献[3]给出的钢桁加劲梁悬索桥主桁高跨比与桥面高度处设计基准风速的回归关系, 最终将桁高确定为 7.5 m, 经风洞试验验证, 结构气动稳定性满足规范要求。

待桁高确定之后, 节间长度、吊杆间距等参数相应确定, 主桁采用带竖杆的华伦桁架, 将节间长度取为 7.5 m, 与桁高相同, 此时主桁斜腹杆水平倾角 45° , 有利于主桁的受力和节点设计, 吊杆间距取为 2 倍节间长度, 即 15 m。主桁采用焊接整体节点, 由主桁上弦杆、主桁下弦杆、主桁竖腹杆和主桁斜腹杆组成, 主桁上、下弦杆均采用箱形截面, 内高 660 mm, 内宽 660 mm, 板厚 20 mm, 节点处局部加厚至 28 mm; 主桁竖、斜腹杆均采用工字形截面, 且均各自采用统一类型, 仅根据计算结果在端部节段局部加强; 所有接头均按等强连接设计, 为减小整体节点尺寸, 提高节点抗疲劳性能, 竖腹杆与整体节点采用对接式连接, 斜腹杆与整体节点采用插入式连接(图 2)。

2.3 横向桁架

为满足布设行车道、硬路肩、防撞护栏、检修道、吊

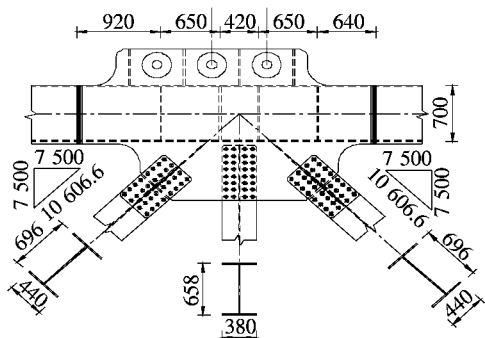


图2 钢桁加劲梁主桁上弦节点(单位:cm)

杆锚固区等的需要,横向桁架宽度最终确定为 36 m,横向桁架采用带竖杆的华伦桁架(竖杆间断布置),考虑到横梁斜腹杆水平倾角最好为 $40^\circ \sim 55^\circ$,故将节间长度取为 6 m。

横向桁架设计思路与主桁一致,采用紧凑型焊接整体节点,所有接头均按等强连接设计,由横梁上弦杆、横梁下弦杆、横梁竖腹杆和横梁斜腹杆组成,全桥主桁节间节点处均设有横向桁架。横梁上弦杆采用变高度箱形截面,底面保持水平以减少节点和腹杆的类型,端部与主桁上弦杆等高,以 2% 的横坡变高至中部,内高 765.2~1 082.8 mm,内宽 400 mm,板厚 20 mm;横梁下弦杆采用箱形截面,内高 400 mm,内宽 400 mm,板厚 20 mm;横梁竖、斜腹杆均采用工字形截面,一片横梁的腹杆共划分为 4 种类型,各片横梁保持一致。钢桁加劲梁标准横断面见图 3。

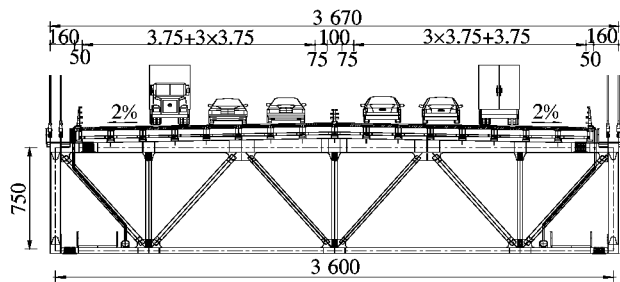


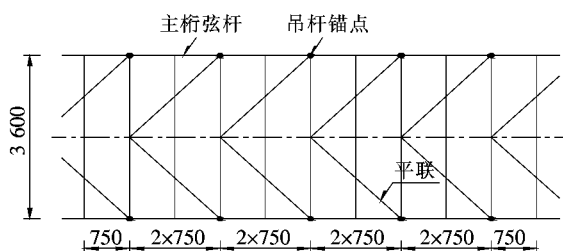
图3 钢桁加劲梁标准横断面(单位:cm)

2.4 平联

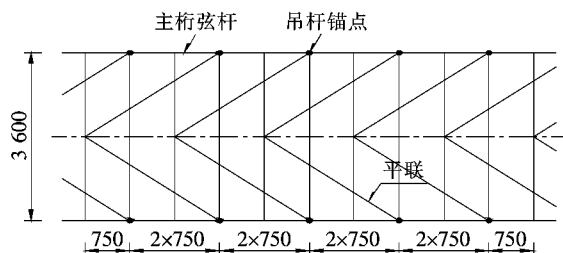
平联是钢桁加劲梁抵抗扭转的重要构件,上、下平联将主桁和横向桁架串联形成的闭合体系具有良好的抵抗扭转的能力。常用的平联形式主要有 X 形撑和 K 形撑,X 形撑对两侧主桁弦杆的纵向相对位移有一定的约束作用,同时还可以参与主桁受力,提高主桁竖向刚度,K 形撑均无以上优点,然而相较于主桁自身的竖向刚度,X 形撑提供的竖向刚度有限,从简化平联受力状态和节点构造的角度出发,平联设计选择采用 K

形撑。

设计阶段提出了两种 K 形撑平联方案(图 4),方案 1 为两节间为一道平联,依节间布置;方案 2 为 3 节间为一道平联,错节间布置。经比较,两个方案主桁竖向刚度相差不大,方案 2 较方案 1 钢桁加劲梁横向刚度提高约 11%,平联用钢量提高约 20%,由于方案 2 平联节点与横向桁架节点重合,更有利于桁架体系的整体传力,同时也简化了横梁弦杆的设计,最终选择方案 2 作为该桥的平联方案,平联采用箱形截面,内高 400 mm,内宽 340 mm,板厚 12 mm,在杆端渐变为工字形截面后与节点通过高强螺栓连接。



(a) 平联方案 1



(b) 平联方案 2

图4 平联方案(单位:cm)

2.5 塔连杆

大跨悬索桥在汽车荷载和温度的共同作用下易在梁端出现较大的负反力,一般的方案是在梁端底部布设拉压支座,然而从目前中国多座大跨悬索桥的运营情况来看,桥梁支座均出现了不同程度的损坏,对结构的安全运营造成了较大影响,大吨位拉压支座的更换更是一直以来的技术难题。

为适应梁端正、负反力和复杂的纵向位移、角位移,采用塔连杆替代了传统的梁端拉压支座,塔连杆主要应用于大跨钢桁加劲梁悬索桥,已在国外多座同类型桥梁中使用,如维拉扎诺海峡大桥(美)、关门大桥(日)、明石海峡大桥(日)等,但在中国国内尚属少见。塔连杆上端铰接于预埋在塔内的伸臂,下端铰接于主桁上弦杆耳板,拉杆采用工字形截面,长 10 m,板厚 30 mm,两端销轴挡板设计为正六边形挖空的圆形,配 6

颗 M16 高强螺栓,运营期内定期将销轴旋转 120° 即可使得销轴与拉杆的接触面均匀摩擦,保证了塔连杆的耐久性。

2.6 桥面系

桥面系采用钢—混凝土组合梁,全宽 33.5 m,整幅设计,混凝土桥面板通过接缝处钢纵梁上的剪力钉与钢纵梁形成整体,接缝采用微膨胀混凝土以改善混凝土收缩对组合结构的不利影响,混凝土桥面板刚度大,与桥面铺装结合良好,较好地规避了正交异性钢桥面板易疲劳开裂、桥面铺装耐久性一般等问题。

钢纵梁支撑于横梁上弦杆顶面,桥宽范围内共 17 道钢纵梁,横向间距 2.062 5 m,钢纵梁跨径与主桁节间相同,标准跨径 7.5 m,钢纵梁采用工字形截面,梁高 660 mm,上翼板、腹板厚 12 mm,下翼板厚 14 mm;钢纵梁间设钢横系梁,钢横系梁采用非等边单角钢,通过高强螺栓与钢纵梁加劲隔板连接。混凝土桥面板采用 C50 混凝土,分块预制,单块预制板宽 1.763 m,按纵向长度划分为 5.3、5.6、7.1、7.275 m 共 4 种类型,厚 18 cm,在端部加腋处加厚至 21 cm。桥面系纵向结构连续,桥长范围内共 7 联,端部联长 130.5 m,跨中联长 135 m,其余联长 150 m,联间设 80 型伸缩缝。

3 钢桁加劲梁制造、架设

该桥跨越长江黄金水道,具备使用大型浮运设备施工的条件,钢桁加劲梁在工厂制造并拼装成整体后船运至现场利用缆载吊机提升架设,以 4 个节间为 1 个标准节段,单个标准节段长 29.98 m,节段长度范围内桥面系钢纵梁与节段同步起吊,单个标准节段(含节段长度范围内桥面系钢纵梁)重约 450 t,缆载吊机采用 550 t 级液压千斤顶提升式缆载吊机。两岸主塔附近处河床标高较高,钢桁加劲梁节段无法由驳船运输至架设位置垂直起吊,需在两岸搭设长约 75 m 的钢支架,利用缆载吊机荡移至钢支架上临时对位后再调整精确对位。钢桁加劲梁架设顺序为由跨中向两岸对称吊装,合龙段位于水深条件满足缆载吊机垂直起吊且距离两岸最近处。

预制板采用运梁小车配合桥面吊机铺设,首先由两岸向跨中铺设横断面中间 4 块预制板形成桥面通

道,然后再按由跨中向两岸、由横断面中间向横断面两侧的顺序依次铺设预制板。为使钢桁加劲梁的初始应力达到最小同时又兼顾架设速度,节段吊装完成后平均每两个标准节段之间设一处临时铰,以适应施工过程中节段间的相对转角,待二期施工完成后再永久连接全部钢桁加劲梁。

4 结语

白洋长江公路大桥主桥已于 2016 年 10 月开工建设,目前已经完成锚碇和主塔的施工,钢桁加劲梁正在工厂内同步制造,大桥预计于 2020 年 10 月建成通车。该文对该桥钢桁加劲梁的结构设计要点和制造、架设方案做了介绍,可为今后类似工程的建设提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司.湖北省白洋长江公路大桥施工图设计[Z],2016.
- [2] 胡腾飞,华旭刚,温青,陈政清.中央扣对大跨悬索桥模态特性的影响[J].公路交通科技,2015(6).
- [3] 彭旺虎,邵旭东,胡建华.大跨悬索桥桁架加劲梁的选型与设计[J].公路交通科技,2009(3).
- [4] 长安大学风洞实验室.白洋长江公路大桥抗风试验研究[Z],2015.
- [5] 铁道部大桥工程局.孙口黄河大桥技术总结[M].北京:科学出版社,1997.
- [6] 刘高,吴文明,唐亮,等.坝陵河大桥钢桁加劲梁主横桁架焊接整体节点疲劳试验[J].公路,2010(3).
- [7] 姚勇,周建庭,仲建华,等.大跨悬索桥上平联风构弯曲变形分析及对策探讨[J].公路,2014(12).
- [8] 魏建华.鄱阳湖大桥拉压支座更换方案技术研究[J].中外公路,2014(1).
- [9] 钱冬生,陈仁福.大跨悬索桥的设计与施工[M].成都:西南交通大学出版社,1999.
- [10] 赵伟.钢桁梁悬索桥桥面系施工方法与加劲梁受力研究[D].长安大学硕士学位论文,2009.
- [11] 谭永高.大跨径悬索桥桁架加劲梁节段的安装研究[J].公路,2007(7).
- [12] 周杜,刘武,石柱.悬索桥钢桁加劲梁架设施工关键技术研究[J].中外公路,2019(3).