

沿江高速中都河大桥主桥设计

周 霆, 曹发辉, 王 戈

(四川省公路规划勘察设计研究院有限公司桥梁分院, 四川 成都 610041)

摘 要: 沿江高速中都河大桥主桥为 148 m+320 m+148 m 双塔双索面混凝土斜拉桥。主梁采用双纵肋式混凝土梁, 索塔采用 H 形索塔。主要介绍了桥梁概况、结构尺寸、以及在索塔抗震、拉索锚固区防裂和桥梁运营期健康监测几个方面采取的关键技术, 为山区同类桥梁的设计提供思路。

关键词: 斜拉桥; 混凝土主梁; 波折钢腹板横梁; 钢混组合锚固齿块; 健康监测

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)05-0081-04

1 概 述

中都河大桥位于四川省屏山县新市镇, 是沿江高速的控制性工程, 跨越金沙江一级支流中都河。大桥全长 1 009.5 m, 其中主桥为 148 m+320 m+148 m 预应力混凝土斜拉桥, 引桥采用 10×39 m 预应力混凝土 T 梁。布置图见图 1。

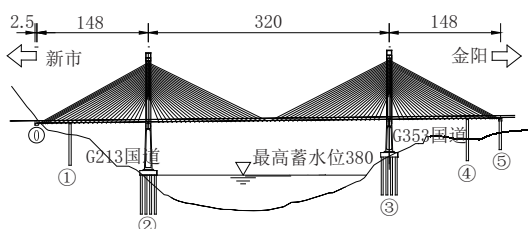


图 1 桥型布置图(单位:m)

桥区位于四川盆地西南边陲向云贵高原过渡地带, 场地属侵蚀构造单面山中山区, 两岸斜坡呈折线状, 地势上陡下缓, 缓坡地带多为旱地及林地, 局部有少量的水田, 陡坡地带多为岩石陡坎陡崖。河谷呈“U”型。此处中都河位于金沙江向家坝水电站库区尾部, 河面开阔, 宽 300~330 m, 水深 5.20 m(靠岸边)~60.0 m(河中心), 水流速度缓慢, 接近静止。

桥址区地层属于红层碎屑岩, 基岩为粉砂质泥岩和砂岩。桥区属亚热带季风气候, 多年平均温度为 17.8℃, 极端最低气温 1.8℃; 极端最高气温 39.1℃, 年平均降水量为 1 066 mm。

2 技术标准

(1) 道路等级: 双向 4 车道高速公路。

(2) 设计速度: 80 km/h。

(3) 汽车荷载: 公路—I 级。

(4) 主线标准路基宽度: 25.5 m。

(5) 设计洪水频率: 1/300。

(6) 通航等级: 不通航。

(7) 抗震设防: VII 度, 地震动峰值加速度 0.15g。

(8) 风速: $V_{10} = 24.3$ m/s。

3 桥梁设计

3.1 桥型布置

桥位处控制条件一是总体路线与河岸斜交, 两岸边坡陡峻, 场地狭窄, 且均有国道通过, 施工期保通压力大。二是桥位跨越中都河属于金沙江库区, 水位较深。三是主桥新市岸侧接互通, 受互通匝道路基渐变段影响, 主桥宽度由 35.88 m 变化至 33.5 m。

结合桥位控制条件, 主桥应采用大跨跨越水面, 减少水中墩; 主桥墩位布设应避让两岸国道; 初步设计阶段拟定了主跨 320 m 混凝土斜拉桥和主跨 330 m 钢管混凝土拱桥方案进行比选。拱桥方案造价上更有优势, 但是拱座开挖量大, 需对国道进行改移, 而两岸山体陡峭, 场地狭窄, 道路改移风险大, 并且缺乏大型钢构件施工场地。斜拉桥方案对既有道路影响小, 无需大型钢构件制造、运输、安装, 施工难度较小, 确定为推荐方案。

中都河大桥主桥为双塔双索面混凝土斜拉桥, 全长 616 m, 孔跨布置为 (44.1+103.9+320+103.9+44.1)m, 边跨设一个辅助墩和交界墩。

主桥桥梁标准宽度: 36.2 m, 横断面布置为 1.5 m 拉索锚固区 +0.6 m 防撞护栏 +14.5 m 车行道 +0.5 m 路缘带 +2 m 中分带 +0.5 m 路缘带 +14.5 m 车行道 +0.6 m 防撞护栏 +1.5 m 拉索锚固区(见图 2)。边跨变

收稿日期: 2021-09-17

作者简介: 周霆(1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

宽段车行道宽度由 14.5 m 逐步渐变为 16.105 m。

主桥采用索塔处设置竖向约束的半漂浮体系。主桥索塔、辅助墩和交界墩采用球形钢支座,横向设置限位挡块;索塔处设置横向抗风支座。

3.2 结构设计

3.2.1 上部结构

主梁采用预应力混凝土双纵肋式梁(图 2)。主梁由纵肋、顶板、加劲小纵肋和横隔板构成格子梁板体系。纵肋梁高 2.7 m,宽 2.2 m,顶板厚为 0.28 m。为减小宽桥面带来的剪力滞效应,并提高桥面板的刚度,横桥向设置了三道加劲小纵肋,肋高 0.88 m,肋宽 0.5 m。梁顶面设 2% 的双向横坡,路线中心处梁高 3.062 m。每个梁段节段内设一道底宽 50 cm,腹板 30 cm 厚的马蹄形横隔板以加强主梁横向刚度。

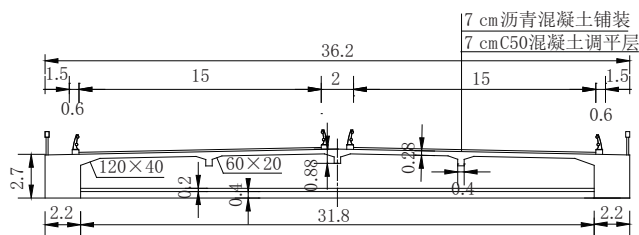


图 2 主梁标准断面 (单位: m)

变宽段主梁保持中心处梁高与标准段主梁一致,纵肋侧高按中心梁高减去变宽长度乘以 2% 横坡值确定,以实现主梁高度的平顺过渡。

主梁从索塔处分块,1 号梁段长 18 m,主跨共划分 25 个悬臂浇筑梁段,边跨共划分 14 个悬臂浇筑梁段,梁段长均为 6 m,最大悬臂施工长度为 151 m。悬臂浇筑梁段采用前支点挂篮施工,标准节段控制重量 434 t,挂篮设计重量 200 t。中跨合龙段长 2 m,边跨合龙段长 3 m。边跨辅助墩至交界墩之间梁段均采用支架法施工。主梁在交界墩附近设置 9.85 m 长的实心段,在辅助墩处设置 5.5 m 长的实心段以平衡负反力。

3.2.2 下部结构

本桥索塔采用 H 型索塔,设置下横梁和上横梁,索塔左右侧下塔柱采用不同高度,以适应陡峻的横向地形,以下横梁中线为界,索塔上段塔柱 97.4 m,新市岸左侧下塔柱 53.7 m,右侧下塔柱 74.7 m;金阳岸左侧下塔柱 61.1 m,右侧下塔柱 37.8 m。金阳岸索塔一般构造见图 3。上段塔柱断面为变截面空心矩形截面,顺桥向尺寸 7.0 m,横桥向尺寸 4.4~6.7 m,顺桥向壁厚 0.9 m,横桥向壁厚 1.2 m。下段塔柱断面为变截面空心矩形截面,新市岸左肢 7.0×6.7 m(顺桥

向×横桥向)~8.1×10.1 m,右肢顺桥向尺寸 7.0×6.7~8.1×11.3 m;金阳岸左肢 7.0×6.7~10.5×8.3 m,右肢 7.0×6.7~9.1×7.7 m。顺桥向壁厚 1.1 m,横桥向壁厚 1.0 m。

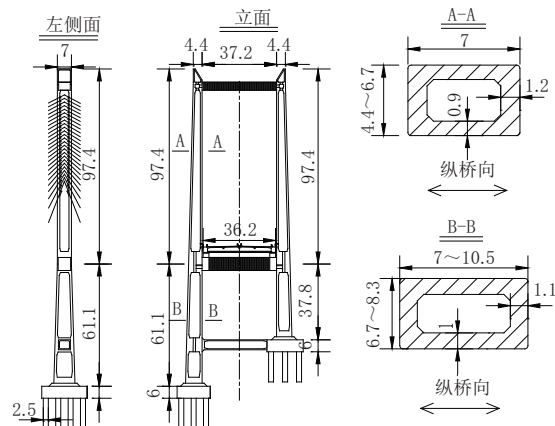


图 3 金阳岸索塔构造图 (单位: m)

主塔横梁采用钢-混凝土组合结构。顶、底板为混凝土结构,腹板采用波形钢腹板,见图 4。上横梁高 4 m(高)×6.2 m(宽),下横梁 6.5 m(高)×6.2 m(宽)。

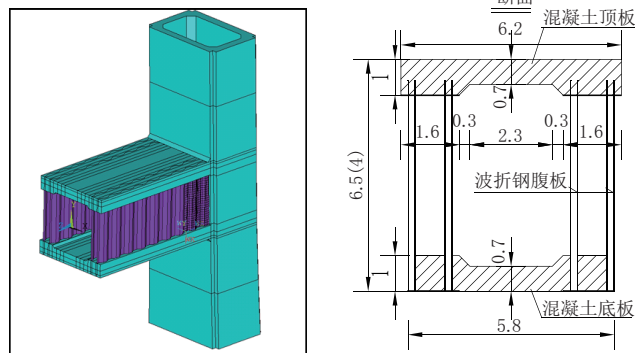


图 4 波折钢腹板组合横梁 (单位: m)

主塔基础采用桩基承台基础。承台厚 6 m,承台顶设置厚 1.5 m 塔座,在矮塔柱与高塔柱之间设置 6×5 m 系梁连接,每个承台底面设 12 根 2.5 m 的桩基础。

交界墩采用三柱式桥墩,墩截面采用 3×3 m 方形实心截面,最大墩高 28 m。盖梁采用 3.4×3 m 的单箱单室截面,腹板厚 80 cm,顶板厚 60 cm。桩基础采用 3×3 m 方桩基础。

辅助墩采用双柱式桥墩,墩截面采用 3 m(顺桥向)×4 m(横桥向)矩形实心截面,最大墩高 40 m。桩基础采用 3×4 m 方桩基础。

3.2.3 斜拉索

全桥设置了 50×2 共 100 对斜拉索,按空间双索面扇形布置,拉索标准间距 6 m,1 号索距离索塔中心线 14 m。拉索通过梁上和塔上的预埋索导管,锚

固于齿块。拉索采用 $\phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线成品索,其标准强度为 1 860 MPa,拉索体系在 0.45 倍公称荷载下具有 280 MPa 的抗疲劳性能。斜拉索规格有 85,73,61,55,50,43,37 共 7 种,每根拉索塔端锚具内安装 3 个 CCT 单孔磁通量传感器,使拉索成为智能化拉索,可实现索力实时监测。长度大于 100 m 的拉索下端设置外置式永磁磁流变减震阻尼器,以减小风雨导致的振动,减缓拉索锚固端的疲劳,延长拉索结构的使用寿命和更换周期。针对近年来运营中容易出现的斜拉索烧断事故,拉索外包具有防火隔热功能的护套。

3.3 技术特点和创新

3.3.1 波形钢腹板横梁

索塔的横向受力是由横梁与塔柱形成的框架结构共同承担,横梁刚度和塔柱刚度共同形成了索塔的整体横向刚度。本桥将组合设计思想引入桥塔横梁设计中,横梁是采用 Q355 波形钢腹板与 C50 混凝土顶底板的组合结构(图 4),利用预应力混凝土顶底板抗弯、高强度钢腹板抗剪,充分发挥了两者的材料优势。波形钢板的褶皱效应使腹板轴向和抗弯刚度很小,可只考虑顶底板的轴向刚度和抗弯刚度,与同样高度和宽度的混凝土横梁相比,轴向刚度减小 47%,抗弯刚度减小 45%,抗剪刚度减小 70%,重量减小 48%。横梁刚度和重量的减少,降低了索塔整体的自重和刚度,以索塔横向振动为主的第三阶自振周期由 2.648 s 变为 2.791 s,增加了 5.4%,减小了地震影响系数,降低了地震作用效应。高强钢腹板又保证了横梁的抗剪能力,实现了“强剪弱弯,强柱弱梁”的抗震设防理念,两种横梁的地震响应比较见表 1、表 2。

表 1 E2 地震工况下横梁内力 单位:kN/m

梁类型	上横梁端			下横梁端		
	轴力	弯矩	剪力	轴力	弯矩	剪力
波折腹板横梁①	3 440	156 623	8 735	11 523	416 411	25 028
混凝土横梁②	4 238	172 305	10 161	12 541	488 166	28 977
(①-②)/②)%	-18.8	-9.1	-14.0	-8.1	-14.7	-13.6

表 2 E2 地震工况下塔底内力 单位:kN/m

梁类型	长肢塔柱底			短肢塔柱底		
	轴力	弯矩	剪力	轴力	弯矩	剪力
波折腹板横梁①	59 995	439 473	19 978	52 229	525 442	41 020
混凝土横梁②	62 206	448 833	20 867	54 628	481 869	42 237
(①-②)/②)%	-3.6	-2.1	-4.3	-4.4	-8.3	-2.9

由上表可以看出,相比采用混凝土横梁的索塔,采用波形钢腹板横梁的索塔地震响应明显减小,受力得到改善,提高了结构安全度。

3.3.2 拉索锚固区防开裂构造

索塔拉索锚固区是斜拉桥索塔设计的关键部位,拉索的局部集中力将通过这一部位安全、均匀地传递到塔柱中。拉索强大的局部集中力、预应力筋的锚固力以及孔洞削弱等因素使得该区域受力状态十分复杂,属于典型的应力扰动区。齿块上缘与塔壁相交处、齿块锚面都存在局部高应变和高应力区域,长期荷载作用下,混凝土很容易开裂。针对这一问题,设计将结构构造与索塔施工模板相结合,提出了组合锚固齿块构造形式(图 5)。组合锚固齿块采用 12 mm 厚的 Q235GNH 钢板,上面布置间距 30 cm 的 $\phi 22 \times 150$ 剪力钉,按齿块尺寸放样制作,钢板作为索塔内壁施工模板,浇筑混凝土后,形成钢混组合齿块,协同受力。采用该构造后,索塔锚固区施工无需内模板,方便施工;齿块应力集中区域受力也得到改善,计算分析表明,高应力范围缩小约 1/2,最大主拉应力由 6.2 MPa 降低为 3.1 MPa,最大主压应力由 24 MPa 降低为 13.5 MPa,(图 6,图 7),降低了裂缝发生几率,提高了锚固区混凝土耐久性。

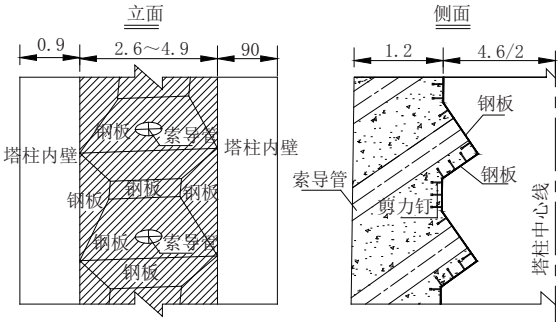


图 5 组合锚固齿块构造图(单位:m)

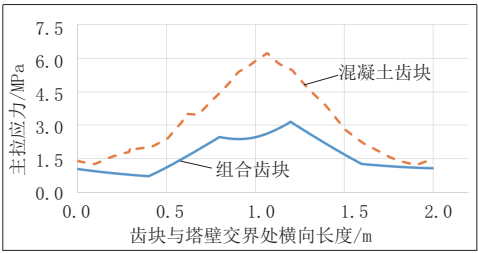


图 6 齿块上缘与塔壁相交处应力路径图

3.3.3 全方位的健康监测

为贯彻落实交通运输部《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》(交公路发[2018]35 号)的要求,桥梁设置结构安全监测与预警评估系统,通过可靠的实时监测、及时的预警响应、准确的安全评估和科学的决策支持,切实提高大桥的安全运营和养

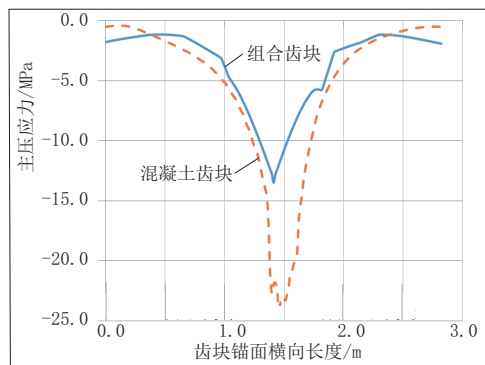


图7 齿块锚面应力路径图

护管理水平。

桥梁结构安全监测与预警评估系统由传感器子系统(图8)、数据采集传输子系统、数据处理与控制系统、结构健康与评估子系统组成,其层次图如图9所示。系统建成后能够实现自动对桥梁结构安全风险事件和主要风险源进行长期实时监测;并以实时监测数据为基础,结合人工试验检测成果,对桥梁结构安全风险进行预警和评估,为公路安全运营和养护维修决策提供技术支撑;结合行业主管部门的管理要求和养管单位的管理制度,建立桥梁安全评估体系和应急响应机制。

4 结 语

中都河大桥作为西部山区的水电站库区范围内修建的跨河桥,它所面临的建设条件具有一定代表性,其桥型方案、主梁和索塔的形式都是结合实际、因地制宜选择的结果;同时吸收了国内外混凝土斜拉桥设计和施工的宝贵经验和教训,着力在索塔抗震、斜拉索锚固区防裂、桥梁健康监控方面做了一些

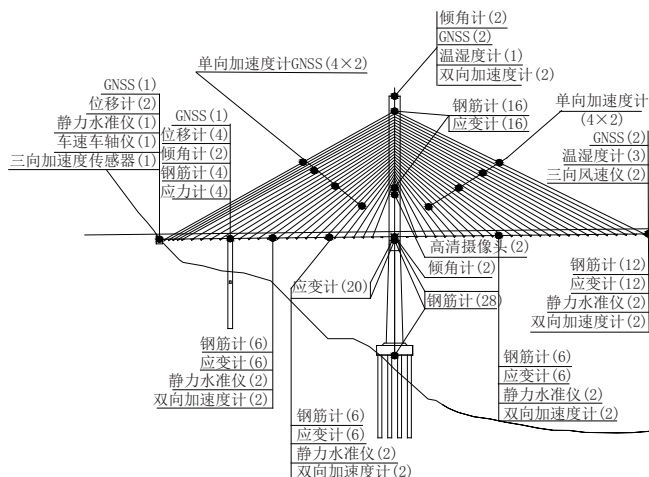


图8 传感器子系统总体布置图(示意半跨)

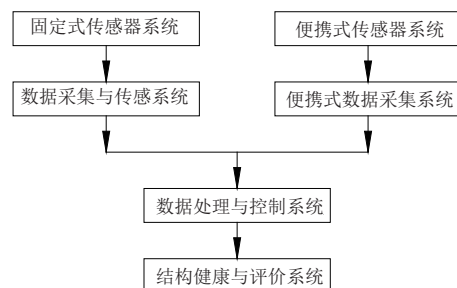


图9 安全监测与预警评估系统层次结构图

有益的尝试,大桥已于2019年10月开工建设,目前施工进展良好。

参考文献:

- [1] 刘士林,王似瞬.斜拉桥设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 陶齐宇,曹发辉,蒋劲松,等.泸定大渡河兴康特大桥抗震设计关键技术[J].桥梁建设,2018,48(4).
- [3] 王为刚,奉龙成,王福敏.重庆市江津观音岩长江大桥索塔锚固区受力分析[J].公路交通技术,2007(2).

(上接第73页)

- [6] 崔鹏,邵敏华,孙立军.长寿命沥青路面设计指标研究[J].交通运输工程学报,2008(3):37-42.
- [7] 李小满.武汉市快速路与主干道长寿命路面结构研究[D].武汉:武汉工程大学,2014.
- [8] 王选仓,侯荣国.长寿命路面结构设计[J].交通运输工程学报,2007(6):46-49.

- [9] CJJ 193—2012,城镇道路路面设计规范[S].
- [10] JTG D50—2017,公路沥青路面设计规范[S].
- [11] 栗威,黄美燕,魏建国.沥青道面高温抗车辙性能评价指标[J].长沙理工大学学报(自然科学版)[J],2013,10(4),9-16.
- [12] 陈杰,樊炜安,熊剑平,王彬.沥青混合料高温性能评价指标研究[J].中外公路,2020,40(2),268-272.