

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.06.020

宜宾南溪(仙源)长江公路大桥总体设计

田 波

(四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 宜宾南溪(仙源)长江大桥是国家规划的长江干线新建过江通道重点项目。主桥采用五跨280 m+572 m+(72.5+63+53.5)m双塔双索面非对称混合梁斜拉桥。桥址建桥条件复杂,主要受桥址区水文行洪条件、航道条件、鱼类资源保护条件、安装建设条件限制和对大桥建设工期的严格要求,大桥的设计紧紧围绕项目的可实施性展开,并确保大桥工程的安全性。通过介绍该桥的总体设计,主梁、索塔、拉索体系等主要构造的设计及其技术特点,以期为类似工程提供借鉴。

关键词: 斜拉桥;非对称混合梁;索塔

中图分类号: U442.5 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)06-0075-04

0 引 言

宜宾南溪(仙源)长江大桥是国家规划的长江干线新建过江通道重点项目,也是四川省普通省道网布局规划(2014—2030年)中毗卢(泸县)至长宁省道S437跨越长江的过江通道,连接长江北岸国道G353与长江南岸国道G246,同时也是四川省2013—2017年消除渡运安全隐患、改善农村公路出行条件、取消渡口渡改桥建设的一座重要桥梁。大桥跨越长江,按双向四车道公路桥设计,预留六车道通车能力,两侧设置人行道,设计荷载为公路—I级、人群荷载 $2.5\text{ kN/m}^{2[1]}$ 。

1 建设条件^[2]

1.1 地形地质条件

桥位场地位于四川盆地南部丘陵区,长江在桥位段流向为南西至北东向,常水位江面宽400~500 m,洪水位江面宽度超过1 000 m,江面中心靠南岸,北岸分布有江心滩。两岸岸坡不对称,南溪岸横坡平缓,南岸横坡稍陡。

1.2 水文行洪条件

根据长江李庄水位站历年水位观测资料、实测流量资料,结合水文分析报告,得到桥位处设计水位成果(见表1)和施工水位成果(见表2)。

表1 桥位处设计水位成果

频率 $P/\%$	0.33	1.0	5.0	20
$Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	68 100	60 600	51 000	38 100
水位(黄海)/m	273.10	268.49	266.65	263.50

表2 桥位处施工期枯水位

设计枯水位 频率 $P/\%$	流量 / ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	时间	水位 /m
98	2071	12月至次年3月	248.89
95	2321	10—11月、次年4—5月	250.6

1.3 航道条件

大桥桥位位于长江上游南溪区境内,为长江上游航道里程995~1 006 km之间。目前,该河段航道等级为Ⅲ级。根据《长江干线航道总体规划纲要》,远期规划预留采用Ⅰ-(3)级航道标准。

通过桥位处通航条件技术论证,选择在鹭鸶碛江心滩和南岸岸坡上布置桥梁主墩可以覆盖主航道通航宽度,北岸江滩边孔预留辅助通航孔空间(见图1)。上述桥梁墩位布置充分结合河势、航道条件选择桥梁方案,合理解决了工程建设规模和投资问题,并充分考虑航道资源的预留和保护。

1.4 鱼类资源保护条件

本工程位于长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区的核心区内。根据《长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护总体规划报告》,长江干流核心区的主要功能是保护白鲟、达氏鲟和胭脂鱼的产卵场。

通过珍稀鱼类保护专题论证,在10 a一遇防洪标准洪水条件下,涉水桥墩仅4个,且均处于北岸江滩

收稿日期: 2021-03-28

基金项目: 交通运输部“交通青年科技英才培养项目”

作者简介: 田波(1974—),男,硕士,副总工程师,教授级高级工程师,从事桥梁工程设计研究工作。

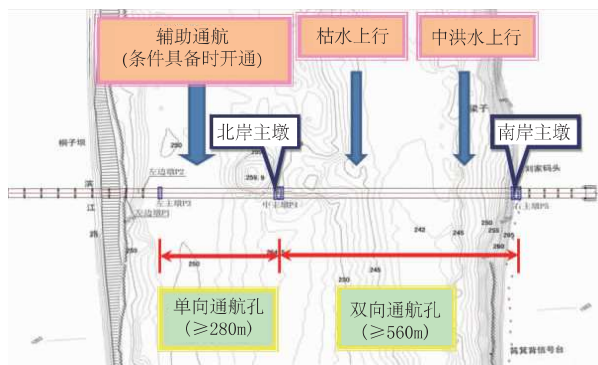


图1 桥位处通航孔布置图

段,施工期均不涉水。工程建设引起的河道流速、流向变化很小,工程实施前后对鱼类活动、栖息产生的影响均不明显,不会对鱼类带来负面影响。

2 总体布置

2.1 桥型方案选择

拟建的长江公路大桥的建设主要满足完善路网、取消渡改桥、城市发展和旅游功能等多方面的要求。大桥为公路桥梁兼有市政桥梁的功能。本工程为省道 S437 的跨江工程,桥位的选择、两岸的接线整体服从省道 S437 的路网规划布局和城市发展需求,连接长江两岸的规划城市快速路网。

考虑到对长江航道资源的最大限度利用与远期通航的需求,在鹭鸶碛江中坝至北岸防洪堤间预留辅助通航孔。桥型方案选择时需要考虑主通航孔尺度和辅助通航孔的预留尺度。考虑到鱼类资源保护的需求,充分利用鹭鸶碛江中坝设置北岸主墩。南岸主墩需要布置在 1/10 水位线以上,北岸引桥墩尽量采用大跨度的连续梁,来减少水中墩的数量、减缓对鱼类资源的影响。主跨跨径选择为 572 m,北岸边跨跨径采用一跨布置 280 m。大桥跨越的川江河段属于季节性河流,水位受汛期影响较大。充分考虑水位对大桥施工建设影响,大桥桥墩承台标高布置于枯水期水位 250.6 m 以上,满足一个枯水期完成大桥基础建设要求,利于行洪与涉河建设方案的安全。

通过对桥址区建设条件与两岸引道接线分析研究,最终采用主桥采用五跨 280 m+572 m+(72.5+63+53.5)m 双塔双索面非对称混合梁斜拉桥,参见图 2。主跨与北岸边跨主梁采用混合梁,南岸边跨主梁采用混凝土主梁,北岸边中跨比 0.49,南岸边中跨比 0.33。北岸边跨不允许设置辅助墩,尾索采用密索布置提高刚度;南岸边跨受河势限制设置 2 个辅助墩提高刚度。组合梁主梁段斜拉索间距 13.5 m,混凝土主梁斜拉索间距 9.0 m,钢混过渡段设置于南岸主塔

中跨侧。桥面全宽 30.5 m(含拉索空间),主梁中心高度 3.5 m,参见图 3。

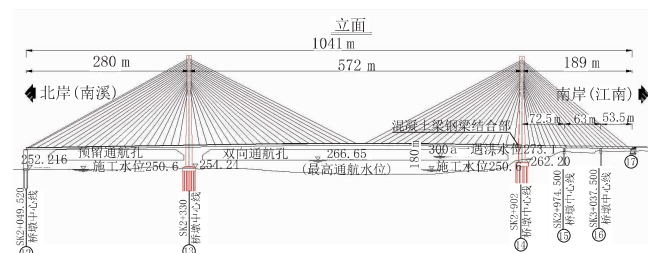


图2 主桥桥孔布置图

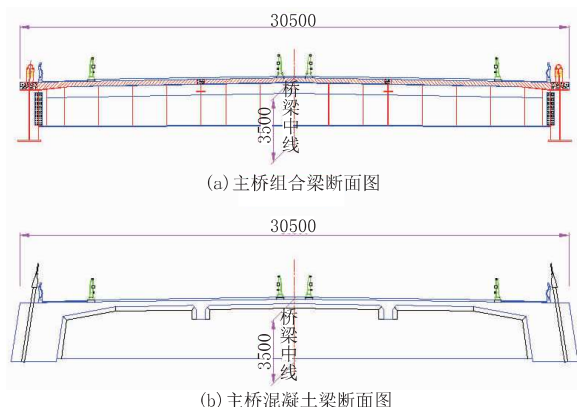


图3 主梁横断面图

2.2 支承约束体系

整个主桥结构为纵向半漂浮体系,索塔处设置竖向支座和横向支座,北岸交界墩、南岸桥台和辅助墩处设置竖向支座和横向限位构造,索塔处主梁设置纵向阻尼器。伸缩缝设置于北岸交界墩和南岸桥台处。由于北岸边跨无辅助墩,为防止北岸交界墩处出现负反力,本项目开发了“斜拉桥结构体系防止主梁出现负反力构造”专利,确保支座始终处于受压状态,且方便维修和更换,提高了支座的可靠性、安全性和耐久性^[3]。

3 主梁设计

3.1 组合梁

钢主梁与钢筋混凝土板共同受力的组合梁,中间以剪力钉结合。结合梁高 2.9 m(钢主梁中心处),桥梁中心线处梁高 3.5 m。钢主梁断面为“工”字形,横桥向两主梁中心距为 29.5 m,混凝土板厚为 26 cm。

钢主梁标准梁段长 13.5 m,标准横梁间距为 4.5 m,在桥塔处和交界墩附近的梁段为加宽截面。标准梁段单片主梁的重量约 29.5 t,最大梁段安装重量约 62 t;标准钢横梁重 17.6 t,最大重量约 34.8 t。梁段在工厂全焊连接,运输到工地后采用高强螺栓连接。主梁纵向的竖曲线通过梁段拼接缝上、下缝之间的间隙差值来实现。设计中考虑主梁受压后梁段长

度减少,在主梁梁段间的每处工地接缝中都增加了压缩预增量,以补偿长度损失。

混凝土桥面板采用 C60 型高强混凝土。各类型混凝土桥面板之间的区别主要在于预应力管道和预应力齿块之间的区别。为了减少混凝土的收缩徐变,先预制桥面板,存放至少 6 个月以上方可安装。混凝土桥面板通过焊接在钢主梁和横梁上翼缘板上的剪力钉和钢梁共同受力。预制板与小纵梁之间设置 2 cm 橡胶垫片,一防砂浆外溢,二防水浸入锈蚀钢梁。桥面板预制时,顶面采取拉毛措施增强后期与桥面铺装的结合^[4]。

3.2 混凝土主梁

主梁采用双纵肋构造,梁肋高 3.5 m,肋宽 2.5 m,肋间净距 26.5 m,顶板厚为 0.28 m,顶板下设有两道纵向加劲小纵肋,肋高 0.8 m,肋宽 0.5 m,梁顶面设 1.5% 的双向横坡,梁顶全宽 30.5 m。主梁横隔板厚度为 30 cm,间距为 3 m 布置一道。主梁、主梁横隔板均采用 C60 混凝土。

3.3 钢-混过渡段

在主桥组合梁段与混凝土梁段间设置钢混过渡段,包括钢主梁钢混结合段和小纵梁钢混结合段。工字钢梁过渡至双腹板的钢梁构造,再过渡至单箱单室箱形构造。总体设计思路为:将开口工字梁在结合部渐变过渡至箱形封闭式钢箱断面后,伸入混凝土梁段进行传力锚固。结合部采用了钢格室+开孔板连接件+焊钉+纵向预应力的梁肋全截面连接承压传剪的总体结构形式,钢梁过渡段约 13.75 m,重 53.6 t(见图 4)^[5]。

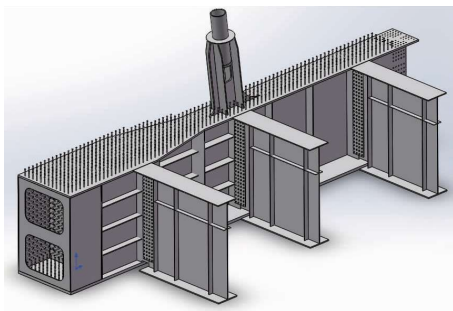


图4 钢混过渡段构造图

4 索塔与基础设计

大桥索塔的尺寸主要受大桥通航尺度和斜拉索尾索合理水平夹角控制。在满足航道通航净空(≥ 18 m)与两岸纵坡接线的条件下,对下塔柱高度进行适当加高。同时,对塔柱斜拉索锚固区与桥面以上塔柱高度尽量满足黄金分割比例。拟定了下塔柱高度

约 38 m,桥面以上塔柱高度约 150 m。索塔采用钻石形索塔,塔顶采用圆弧形成塔尖自然过渡,在中塔柱分叉处采用鳞片纹形成过渡,索塔塔身采用五变形截面构造,索塔与承台连接根部设置过渡构造。通过上述结构细部选型的优化,使索塔的景观造型更加优美。

索塔采用 C50 混凝土,塔柱采用带倒角的五边形断面,空心薄壁结构,根据结构受力需要采用变截面设计(见图 5)。索塔下横梁为预应力混凝土结构。承台采用整体式承台,六边形结构,减少水流对主墩承台的冲刷。索塔基础采用 22 根直径 2.5 m 的钻孔灌注桩。依附索塔和交界墩设置了柔性自浮式防船撞构造设施。

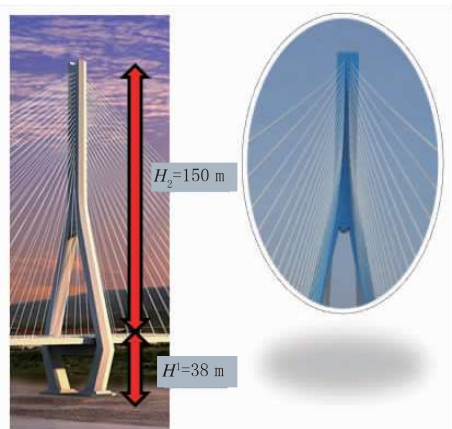


图5 索塔布置

5 斜拉索设计

本桥斜拉索采用 $\Phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线成品索,拉索规格为:M250-37~M250-85 总共分为 7 类。斜拉索拉索最小倾角 26.75° ,最大倾角 82.90° 。标准强度为 1 860 MPa,应力疲劳应力幅不小于 250 MPa,弹性模量不小于 1.95×10^5 MPa,拉索设计安全系数不小于 2.5。

为提高拉索的耐久性能,斜拉索的防腐材料选用黑色高密度聚乙烯材料(PE 材料)。第一层为环氧喷涂全涂装覆层。第二层为防腐油脂。第三层为单根钢绞线热挤 PE 防护。第四层为斜拉索整体外包 HDPE 防护,PE 护套为低应力,延长其使用寿命。索体与预埋件之间设置可调式减振装置,长拉索的下端设置外置式 HDMR 永磁磁流变减震阻尼器。

拉索在索塔上的锚固为:针对水平分力较大的拉索,采用钢锚梁+钢牛腿的索塔锚固方式;针对水平分力较小的拉索,采用钢混组合齿块+井字形预应力的锚固方式。拉索在主梁上的锚固为:在钢主梁

上的锚固方式采用了锚拉板结构形式,在混凝土主梁上采用钢混组合齿块锚固方式。这些锚固结构,根据各自受力特点选用,传力途径明确,构造简单,方便了工地施工操作。

6 主要施工方案

大桥主墩与交界墩大直径桩基采用冲孔灌注桩工艺通过砂卵石覆盖层后,再采用旋挖工艺进行大桥持力层的机械成孔方式,确保在一个枯水期完成主桥桩基、承台及塔柱底部的施工。总工期7个月(2015年10月至2016年4月)。

依附索塔设置2台塔吊,索塔采用液压爬模施工,标准节段为4.5 m,塔柱劲性骨架、钢筋网片采用地面单片加工后整体吊装。钢锚梁、钢牛腿、索导管等构件均采用塔吊安装。下横梁采用落地钢管支架现浇施工,下横梁与下塔柱施工同步进行。总工期14个月(2016年4月至2017年6月)。

组合梁安装采用桥面全回转吊机(最大吊重55 t)进行钢梁和预制板的安装,主跨直接从运梁船上起吊,通过在两岸设置驳船码头和栈桥完成北岸边跨和钢混过渡段的钢梁安装。南岸边跨混凝土主梁全部采用少支架体系的钢管支架进行支架浇筑,根据施工需要设置纵向施工缝。斜拉索挂索施工,结合主梁安装同步进行。钢绞线斜拉索采用单根挂索、单根张拉完成后再进行整体索力调整。总工期23个月(2017年1月至2018年11月)。

7 主要技术特点

(1)因地制宜地选择最合理的桥型方案。主跨采用(280+572+189)m非对称混合梁斜拉桥。充分利用江中岛设置主墩,减小主桥跨度,节约工程投资。大桥采用非对称桥跨布置,有效解决了长江珍稀鱼类资源保护的问题。北岸边跨采用280 m跨度不设置辅助墩,解决了长江航道远期提升为一级航道时辅助通航孔的预留需求。南岸边跨采用189 m跨度,适应了桥位处河势地形条件,并有效解决了桥梁结构

体系问题。

(2)技术创新设计解决桥梁的安全性、经济性和耐久性。主梁创新提出钢混组合梁与混凝土梁形成混合梁的设计方案,解决了大跨度斜拉桥的安全受力问题,并大幅节约了工程造价。主梁钢混过渡段采用新型的过渡构造设计,实现了桥梁结构安全可靠的传力需求。主桥交界墩创新采用双向受压支座,有效解决支座耐久性问题。

(3)优化施工设计、提高施工效率,保证了施工质量和施工工期。首次采用冲孔加旋挖相结合的技术进行桩基施工,确保了一个枯水期完成全部基础施工,大大节约了工期。通过采用基于等张拉值法原理的斜拉索安装、两次张拉斜拉索法等工艺,保证了斜拉索受力的均匀性,节约了施工工期2个月。通过对钢结构“匹配加工制造”的合理控制,实现了全桥高精度的顺利合龙。

8 结语

大桥的建成彻底结束了宜宾南溪区40余万群众依靠摆渡过江的历史,实现了两岸居民安全出行,并成为两岸省道路网连接最重要的交通枢纽。

通过桥梁技术创新设计,实现了资源节约、生态环保、经济安全和工期节约的总体建设目标。大桥于2015年10月开工建设,2019年1月建成通车,总工期39个月完成全部工程的建设,较目标工期提前了3个月完工。

参考文献:

- [1] JTG/T D65-01—2007,公路斜拉桥设计细则[S].
- [2] 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院.宜宾南溪长江公路大桥施工图设计文件[Z].成都:四川省交通厅公路规划勘察设计研究院,2015.
- [3] 吴庆雄,张超,黄卿维.不中断交通条件下特大跨径斜拉桥支座更换研究[C]//全国公路学会桥梁与结构分会论文集,2012.
- [4] 高宗余.青洲闽江大桥结合梁斜拉桥设计[J].桥梁建设,2001(4):13-17.
- [5] 马磊.上海黄浦江徐浦大桥设计[C]//全国城市桥梁青年科技学术会议论文集,1996.