

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.05.027

虎跳峡金沙江大桥桥型方案比选分析

刘春¹, 余化彪², 李德宏²

(1. 中建四局第五建筑工程有限公司云南分公司, 云南 昆明 650200; 2. 云南省建设投资控股集团有限公司路桥总承包部)

摘要: 香丽高速公路虎跳峡金沙江大桥位于云南省丽江市和迪庆州交界处金沙江虎跳峡附近, 桥区两岸地质条件差异较大。香格里拉岸地形陡峭、浅部坡强卸荷带发育; 丽江岸地形较缓, 覆盖土层差异大。根据制约因素, 因地制宜采用 766 m 跨径的独塔单跨地锚式悬索桥, 不设香格里拉岸陡峭岸坡上的索塔及引桥, 将主缆通过集主索鞍和散索鞍于一体的滚轴式复合索鞍锚于隧道锚中, 而桥另一端为重力锚。因减少了一岸索塔和引桥墩开挖, 在安全、环保和经济上均有很大优势。

关键词: 独塔; 悬索桥; 隧道锚; 重力锚; 复合索鞍

随着经济发展, 国家高速公路迅猛发展, 为适应山区山谷、河流海域等地形特征, 大跨度的拱桥、悬索桥及斜拉桥等大桥应运而生。云南香丽高速公路虎跳峡金沙江大桥在桥型比选设计中依据地形地质条件、施工条件、交通旅游情况设计成独塔单跨地锚式悬索桥。因香格里拉岸为陡峭岸坡, 且下方为当地东环线旅游公路, 在地形上和施工安全上均不允许设置主塔, 桥型方案有大跨度拱形桥、双塔斜拉桥、缆洞悬索桥、常规悬索桥及独塔单跨悬索桥等。最终选择独塔单跨地锚式悬索桥, 因独塔特点则采用新发明滚轴式复合索鞍, 此类索鞍在国内外大跨悬索桥中是第一次应用。

1 工程概况

该桥属于香格里拉至丽江高速公路第九合同段, 近垂直跨越虎跳峡上游的金沙江河谷。丽江岸有那田增断层、滑坡体区、蠕变坡、莫谷喜滑坡、土冰碛土、中落鱼段层、岩堆等; 此桥桥址往下游方向 500 m 处地形地质较理想, 此处已为丽香高速铁路的桥址。桥区

海拔为 1 800~3 500 m, 最大高差为 1 700 m, 属深切割、构造剥蚀—侵蚀中山区。地震基本烈度为Ⅷ度, 地震动峰值水平加速度为 0.3g, 场地类别为Ⅱ类。大桥设计全长 1 017 m, 主跨为 766 m 悬索桥, 引桥为 6×41 m 钢混叠合梁, 设计为双向四车道。

2 桥位选择

下游丽香高速铁路的桥址因其先设计选址而动工; 往上游处方向则河谷太宽广, 地势较低, 且居民住户较多, 当拟设计在此处的水库蓄水后将淹没上游段海拔低的宽广区域。

丽江岸地势相对平缓, 岸坡稳定性较差, 并有不良地质发育, 桥位受限。重力锚及索塔布置为避开严重地质灾害区, 在毗邻灾害地质区采用抗滑桩、锚索框格梁或锚索混凝土板等进行处治加固。

香格里拉岸地势高、岩质较坚硬, 工程地质条件较好, 但该岸边坡均较为陡峻, 无法设置塔柱, 且山坡底为旅游公路, 车流量大, 施工安全隐患极大。若设置引

温度应力分析[J]. 土木工程学报, 2018(3).

[15] GB 50204-2015 混凝土结构工程施工质量验收规范[S].

[16] 刘广龙, 刘江, 刘永健, 等. 西北极寒地区混凝土箱梁温度场实测与仿真分析[J]. 公路交通科技, 2018(3).

[17] B K J. Soliman M H. Temperature Distribution in Com-

posite Bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1987, 113(3): 475-482.

[18] 凯尔别克. 太阳辐射对桥梁结构的影响[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1981.

[19] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 1998.

收稿日期: 2020-03-13(修改稿)

作者简介: 刘春, 男, 硕士, 工程师. E-mail: 961768026@qq.com

桥则有不利影响,该岸将不设置引桥,尽量做到边坡集中处治、施工平台集中设置,最大限度降低对环境的影响。

3 桥型方案比选

3.1 方案主要控制因素

总体上看,大桥区位地势较高、桥位区内无地表水体分布,适宜大桥建设。香格里拉岸地势高、岩质较坚硬,但地形陡、施工场地狭窄。块状玄武岩岩质坚硬,无构造及不良地质发育,地质条件较简单;锚碇区地表水、地下水不发育,工程地质、水文地质条件较好,岩质边坡整体稳定性较好,锚碇区总体地质条件较好。

锚碇区局部地表覆盖土层厚为1~3 m,大部分区基岩出露,浅表强风化层带较薄(水平向1~2 m),强卸荷带较薄(1~3 m),不宜作为锚碇及散索鞍基础工程的持力层;弱卸荷带稍厚(水平向8~10 m不等),能够承受较大压应力,可以作为墩台基础、边坡锚固工程的持力层,但由于存在劈理密集带、岩体均匀性差,不宜作为隧道锚的锚固持力层。坡面25 m以内的未卸荷带岩体较为完整、岩质坚硬,为Ⅲ级围岩,对隧道锚洞室开挖较为有利,为较好的隧道锚锚固持力层。

丽江岸金沙江区域地质环境十分脆弱,大桥桥位原本就是按“差中选优”原则从区内“断层密织、不良地质及堆积体遍布”这样复杂、脆弱地质环境中筛选出的“地质安全岛”,同时加之施工场地狭窄,高速公路与丽香铁路施工之间相互干扰大;丽香铁路进场后,在大桥丽江岸索塔右上方的莫古喜1#滑坡范围内建设了混凝土拌和站、在重力锚右上方建设了砂石制料场,都对大桥上边坡形成了人为加载情况。

3.2 桥型方案

(1) 方案1:主跨480 m双塔双索面斜拉桥

斜拉桥丽江岸主塔高约213 m,群桩桩基长60 m,桩径2.5 m,共16根桩,承台高8 m;香格里拉岸主塔高约194 m,群桩桩基长55 m,桩径2.5 m,共16根桩,承台高8 m。斜拉桥跨径布置为(6+340+480+120+6) m,全长952 m。丽江岸中跨比为0.708,香格里拉岸中跨比为0.25。桥梁梁设计为钢桁梁,预制拼装。桥台初步设计为重力式桥台,依据地质开挖情况做合理变更,桩基重力式桥台为备选方案。两主塔可同时施工,每个主塔两端的梁可以同时对称架设,每个主塔两端两侧的斜拉索可以同时对称架设,桥型如图1所示。

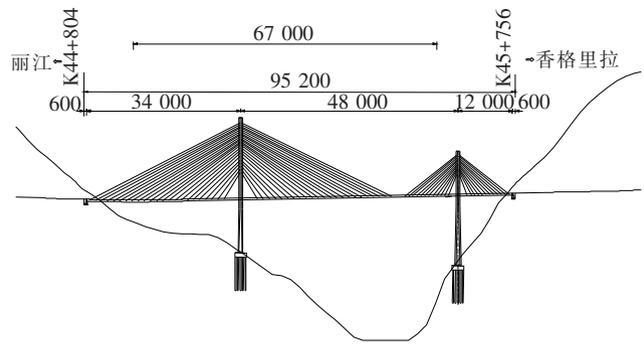


图1 斜拉桥桥型图(单位:cm)

(2) 方案2:主跨480 m混凝土拱桥

拱桥主桥采用一孔480 m净跨径混凝土拱桥,全长904 m。桥跨径布置为(5+160+160+480+90+8) m,两端初步设计为重力式桥台,桥梁墩柱可同时施工,桥面均采用预制T梁,上部结构架设施工速度快,因下部结构施工工期较长,整个工期比其他桥梁较长。丽江岸拱座设置在山坡脚,采用扩大式拱座基础;香格里拉岸拱座设置于主河槽岸坡上,因此岸地质条件较好,地势较陡,采用拱轴线延伸式拱座基础。拱肋计算跨度为460 m,矢高为92 m,钢筋混凝土拱桥的矢跨比一般为1/5~1/8,而该主桥的净矢跨比为1/5,桥型如图2所示。

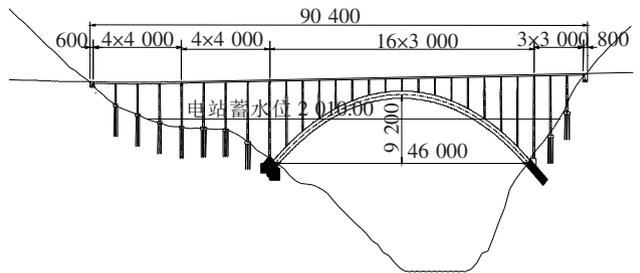


图2 混凝土拱桥桥型图(单位:cm)

(3) 方案3:常规悬索桥

常规悬索桥桥型采用主跨为580 m,全长共954 m,桥跨径布置为(5+6×41.5+580+2×41.5+8+29) m,丽江岸主塔高125.4 m,香格里拉岸主塔高161 m,矢高58 m,计算跨度为580 m,矢跨比为1/10。丽江岸因山坡上方存在中落鱼断层及土冰碛体,山腰地势较为平缓,故采用重力式锚碇,丽江岸采用5座引桥墩;香格里拉岸采用一座引桥墩,此岸因地势陡,地质岩层较好,故采用隧道式锚碇,此桥型的特点是主跨两端有引桥,两桥端为重力式桥台,其丽江岸有两座引桥墩设置在重力锚中,对重力锚有压重的作用,有利于重力锚的稳定。桥型如图3所示。

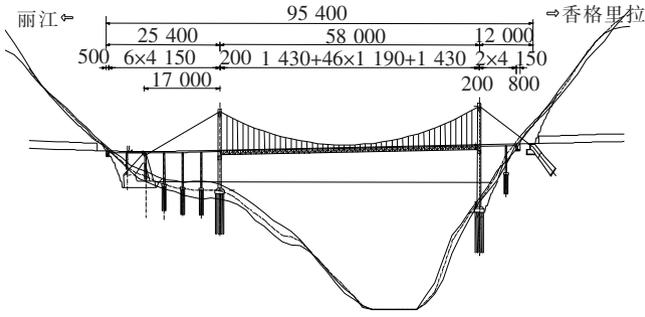


图 3 常规悬索桥桥型图(单位:cm)

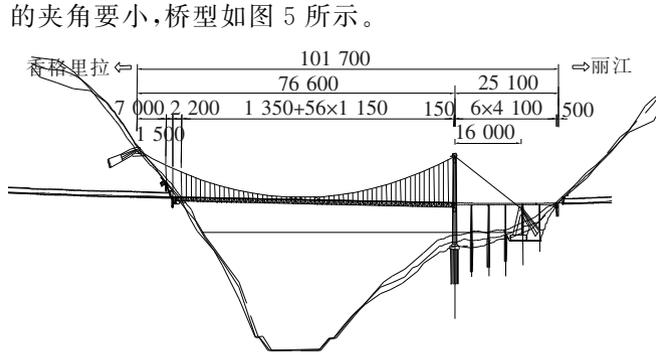


图 5 独塔悬索桥桥型图(单位:cm)

(4) 方案 4: 缆洞悬索桥

缆洞悬索桥桥型采用主跨为 670 m 的悬索桥, 全桥共长 1 094 m, 桥跨径布置为 (5+6×41.5+670+170) m, 丽江岸主塔高 134.4 m, 香格里拉岸主塔高 81 m。丽江岸采用重力式锚碇, 丽江岸采用 5 座引桥墩; 而香格里拉岸采用隧道式锚碇, 主缆索通过缆洞延伸至山体内部然后锚固于埋在隧道下方的隧道锚中。矢高 67 m, 计算跨度 670 m, 矢跨比为 1/10。此缆洞悬索桥的特点是将引桥及引桥墩取消, 将主塔在山坡上往上移, 则主塔避开河岸旁及下方的旅游公路, 移至山坡腰隧道洞口处, 在此岸端开挖缆洞后将缆索往缆洞中移设, 桥型如图 4 所示。

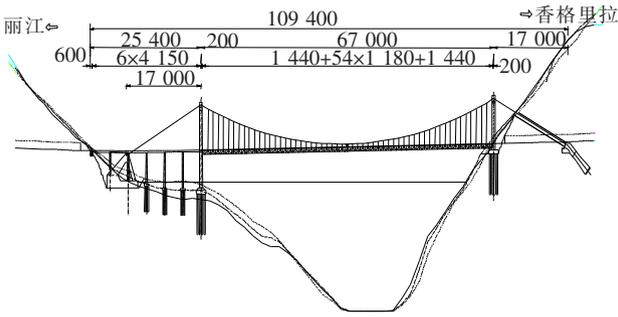


图 4 缆洞悬索桥桥型图(单位:cm)

(5) 方案 5: 独塔悬索桥

独塔悬索桥桥型采用主跨 766 m, 全长 1 017 m, 桥跨布置为 (766+6×41+5) m, 丽江岸主塔上游塔高 145.6 m, 下游塔高 161.6 m, 采用 5 座引桥墩, 引桥为钢混组合梁。桥台采用桩基重力式桥台。香格里拉岸无塔, 无引桥, 桥台初步设计为简易 U 形桥台。矢高 76.6 m, 计算跨度 766 m, 矢跨比为 1/10。设计中因地制宜地采用独塔单跨地锚式悬索桥, 取消了香格里拉岸陡峭岸坡上的索塔, 将主缆通过集主索鞍和散索鞍于一体的滚轴式复合索鞍锚于隧道锚中, 为减小索鞍对索鞍支墩下方岩体的压力, 隧道锚主轴线与水平面夹角设计为 200°, 比普通隧道锚轴线与水平面

的夹角要小, 桥型如图 5 所示。

4 桥型比选

4.1 桥型比选分析

方案 1 斜拉桥丽江岸主塔偏高, 而香格里拉岸主塔设在河岸陡坡上将侵占沿河岸旅游公路, 且施工交叉干扰极大, 桥梁造价较高; 方案 2 混凝土拱桥工期相对较长, 香格里拉岸拱座施工将严重影响沿河岸的旅游公路运营, 施工安全隐患大, 且此岸段的两引桥墩施工风险极大, 满足要求施工便道极难修建, 引桥墩设在陡坡上风险大, 且全桥造价高; 方案三常规悬索桥香格里拉岸主塔侵占旅游公路, 且此岸陡坡引桥墩施工风险极大, 满足要求施工便道无法修建, 经济上也无优势; 方案 4 缆洞悬索桥取消引桥及引桥墩, 在施工风险方面相对方案 3 有很大优势, 但香格里拉岸陡坡设主塔仍有风险, 同时施工时对下方旅游公路安全隐患大, 且缆洞开挖对山体造成扰动, 造价上也无优势。

4.2 独塔悬索桥特点

方案 5 独塔悬索桥取消香格里拉岸主塔、引桥及桥墩, 直接运用隧道锚。大桥在两岸均与隧道相接, 香格里拉岸采用隧道式锚碇, 位于隧道上方, 隧道和隧道锚之间需要保持一定的安全距离。此桥的复合式索鞍为此桥的特殊性而专门设计, 申报为国家重点专利。而丽江岸有条件设置主塔及重力锚, 重力锚基坑高边坡高 80 m, 采用了锚索框格梁及锚索抗滑桩群支护。且丽江岸引桥的 5# 墩柱沉落在重力锚上对重力锚起压重作用。桥型方案比选如表 1 所示, 经综合比较, 最终采用独塔悬索桥, 独塔悬索桥效果如图 6 所示。

5 独塔悬索桥结构设计

5.1 主桥钢桁梁

主桥钢桁架标准横断面, 桁宽 26 m。在满足 24.5

表1 桥型方案比选

桥型	跨径布置/m	施工难度	全桥造价/亿元	安全影响	施工工期/月	环境影响
斜拉桥	(6+340+480+120+6)双塔	小	11.10	一般	40	较小
混凝土拱桥	(5+160+160+480+90+8)独拱	较大	16.10	大	44	较大
常规悬索桥	(5+6×41.5+580+2×41.5+8+29)双塔	大	8.10	大	43	较大
缆洞悬索桥	(5+6×41.5+670+170)双塔	大	8.30	大	43	较大
独塔悬索桥	(766+6×41+5)独塔	小	6.26	小	40	较小



图6 独塔悬索桥效果图

m路基宽的基础上还在桥面设置0.75 m宽的上检修道(吊索处 <0.75 m),钢桁内设置双侧1.5 m宽的下检修道。未设置人行道。

钢桁架为带竖腹杆的华伦式结构,上、下平联采用K形撑。主桁上、下弦杆采用箱形截面。主桁桁高6.0 m,桁宽26 m,标准节间长度为5.75 m。一个标准节段长度为10.5 m,由两个节间组成,在每节间处设置一道主横桁架。

5.2 引桥钢混组合梁

丽江岸引桥各桥墩均采用矩形变截面薄壁空心墩配群桩基础,跨径布置为 6×41 m的T形钢混组合梁。单幅桥宽为12 m。单幅每跨采用3个T形竖向布置的钢腹板,在3个钢腹板上焊接钢桥面板,再在钢桥面板上现浇8 cm厚C50混凝土,其上铺防水材料,在防水材料上现浇10 cm厚沥青混凝土。

5.3 主塔设计

塔柱为矩形空心薄壁截面,上游塔高145.6 m,下游塔高161.6 m,上塔柱壁厚0.8 m,下塔柱壁厚1 m;下横梁尺寸为 $7\text{ m}\times 6\text{ m}$,壁厚1 m;上横梁尺寸为 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$,壁厚1 m。塔座为C40纤维混凝土,塔柱、横梁为C55混凝土,塔柱底部8 m范围内添加纤维;标高2 013 m以下防渗指标为P12级,标高2 013 m以

上防渗指标为P8级。

5.4 主塔基础

索塔为钢筋混凝土门形塔,左右塔柱基础相互独立,两塔柱下设正方形承台加群桩基础,承台纵横向尺寸为 $21.4\text{ m}\times 21.4\text{ m}$,高度6 m,承台上设塔座,塔座为矩形台,上底为 $10\text{ m}\times 12\text{ m}$,下底为 $16\text{ m}\times 18\text{ m}$,高3 m。每个承台下布置16根 $\phi 2.5\text{ m}$ 的钻孔灌注桩基础,群桩间中心间距为5.5 m,行列式布置,桩基设计时考虑嵌岩与摩擦效用。

6 结语

介绍了虎跳峡金沙江大桥桥址处的地形地质、地势、周围施工环境及桥梁岸坡岩体的稳定性、地震参数和场地类别,对金沙江大桥提出了5种桥型方案,从桥跨布置、施工难度、全桥造价、安全影响、施工工期及环境影响6个方面对桥梁各方案进行比较分析,最终选定方案5独塔悬索桥。

参考文献:

- [1] JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S].
- [2] 孟凡超,王仁贵,等.悬索桥[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 胡美英.岔河特大桥主桥方案比选[D].西南交通大学硕士学位论文,2012.
- [4] 吴宝诗,魏建华.九江长江公路大桥主桥设计方案比选[C].全国斜拉桥关键技术论文集,2012.
- [5] 胡斯彦,周安娜.丹江口公路大桥主桥设计方案比选[J].世界桥梁,2016(3).
- [6] 徐树焕,刘福泽.跨江大桥桥型方案构思与比选[J].桥隧工程,2015(12).