

马鹿塘特大桥主桥桥型方案研究和比选

李健, 赵鹏磊

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 该文以云南天保至猴桥高速公路马鹿塘特大桥为工程背景, 为跨越马鹿塘水库设置桥梁, 从桥型方案的设计施工难度、施工工期、景观效果、养护运营等多因素综合考虑剖析, 初步设计采用了斜拉桥、悬索桥、钢管混凝土拱桥进行比选, 最终确定主跨 480 m 双塔叠合梁斜拉桥的桥型方案。

关键词: 马鹿塘水库; V形河谷; 桥型方案; 比选; 双塔叠合梁斜拉桥

峰值加速度: 0.05g。

1 工程概况

马鹿塘特大桥为国家高速公路网 G5 615 天保至猴桥高速公路天保至麻栗坡段的控制性工程, 桥址区跨马鹿塘水库, 属构造侵蚀剥蚀中低山地貌, 起点桥台斜坡标高约 796.10 m, 止点桥台斜坡标高约 810.81 m, 水库水位标高 596.88 m, 与水库水面相对高差约 213.93 m。桥梁两侧为跨斜坡, 周围多分布旱地, 斜坡地形坡度较陡, 坡面植被稍密, 多为经济林。

桥址位于云南省文山州南部, 属低纬度南亚热带季风气候, 受地形条件影响, 气候垂直分带明显, 盆地区较热, 长夏无冬, 山区较温凉, 气候较冷。根据麻栗坡县气象台资料显示, 麻栗坡县年平均气温 17.5℃, 年平均降水量 1 083.4 mm, 年平均蒸发量 1 367.6 mm, 年平均相对湿度 85.3%, 年平均绝对湿度 17.2%。

技术标准如下: ① 公路等级: 高速公路; ② 计算行车速度: 80 km/h; ③ 桥梁宽度: 25.5 m; ④ 设计荷载: 公路—Ⅰ级; ⑤ 设计洪水频率: 1/300; ⑥ 地震动

2 桥型方案构思

路线跨越马鹿塘水库, 桥位距下游马鹿塘水电站约 6.5 km, 桥位处河谷呈“V”形断面, 谷顶宽达 1 000 m, 线位距离谷底约 250 m, 麻栗坡侧岸坡较陡, 天保侧地势稍缓。因此桥型的选择应重点考虑如下几项因素^[1]:

(1) 桥位处于马鹿塘水电站大坝上游, 库区淹没水位较高, 为保证桥梁结构安全和施工便利, 桥梁墩位不宜布设在淹没水位以下, 且应尽可能远离淹没水位边缘。

(2) 桥型方案设计时桥墩基础位置尽量避开直立陡坡, 为保证结构在施工架设过程及运营阶段具有良好的抗风性能及结构稳定性, 墩身高度尽量控制在 125 m 以内, 桥跨尽量跨过公路线位较高的高墩范围。

结合桥位地形地势(图 1)进行桥梁布跨分析, 墩高 125 m 的桥梁跨度大于 480 m、墩高 80 m 的桥梁跨度大于 660 m, 公路线位较高, 桥型方案要适应高墩大跨的情况。

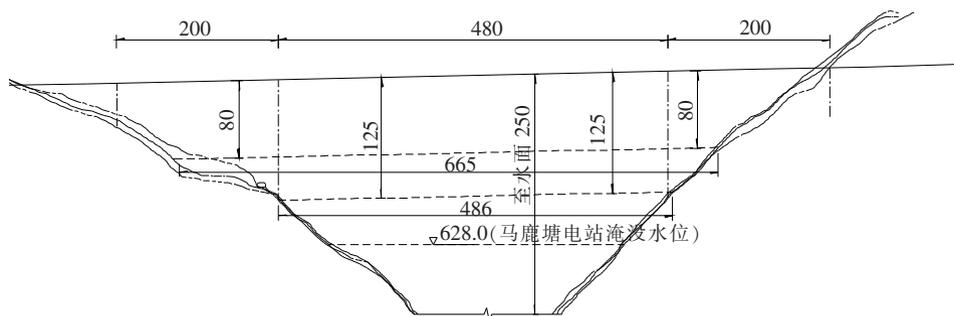


图 1 桥位地形地势(单位:m)

(3) 尽量避开原有道路及居民设施。桥位小桩号侧有省道,墩、塔位置应尽量避免,减少对地方交通的影响。

(4) 桥梁位于水库库区,水面开阔,周围环境优美,大桥的建设不宜对桥区的自然景观带来过大的负面影响,在工程安全、经济、可靠的前提下,应与环境景观协调^[2]。

通过上述分析,适应该桥位的桥梁跨径为 450~700 m,结合桥位建设条件、工程规模、保证结构经济性等角度考虑,拟定了斜拉桥、悬索桥、钢管混凝土拱桥 3 个大跨度桥型方案进行综合比选^[3]。比选方案如表 1 所示。

表 1 马鹿塘特大桥主桥方案

序号	方案名称	主桥孔径布置/m
1	双塔叠合梁斜拉桥	75+125+480+125+75
2	单跨钢桁梁悬索桥	700
3	上承式钢管混凝土拱桥	480

3 方案设计

3.1 双塔叠合梁斜拉桥(方案 1)

该方案主桥为 5 跨双塔双索面叠合梁斜拉桥,主跨布置为(75+125+480+125+75) m,边中跨比 0.417。结构体系为半漂浮体系。索塔位置设置竖向支座、横向抗风支座、纵向限位阻尼器;辅助墩位置设置竖向支座;过渡墩位置设置竖向支座,依靠单侧单向活动支座提供横向抗风承载能力。

主梁采用双“上”字形钢梁和混凝土板组合结构^[4],断面全宽 31.84 m,主梁横向中心距 29.84 m,路线中心线处梁高 3.598 m,边主梁中心线处梁高 3.3 m。边跨通过压重解决辅助墩和过渡墩支座负反力的问题。塔柱的形式为“钻石”形,6 号主塔总高度为 235 m,7 号主塔总高度为 242.5 m,塔身采用箱形截面,从上至下分为 4 段(上、中、下塔柱和下塔墩),上塔柱高 63 m,中塔柱高 65 m,下塔柱高 55.5 m,下塔墩高 51.5 和 59 m。桥型如图 2 所示。

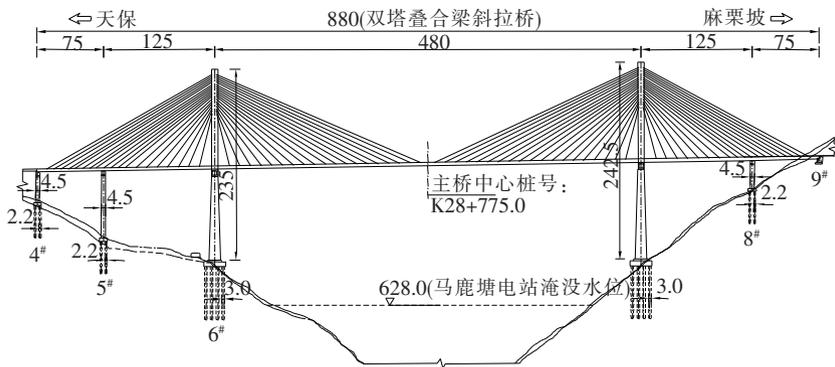


图 2 双塔叠合梁斜拉桥方案(单位:m)

3.2 单跨钢桁梁悬索桥(方案 2)

该方案跨径布置为:(4×40+700+3×40) m,主桥结构形式为单跨钢桁梁悬索桥,钢—混凝土组合梁桥面系,引桥为预应力混凝土 T 梁。主梁采用的支承体系为:在主塔处两岸均设纵向活动支座;主梁与主塔间两岸均设置侧向抗风支座;主梁端部纵向与主塔间设液压阻尼器。主缆跨中设置中央扣来形成缆梁固结。主缆矢跨比采用 1:10,横向布置 2 根,间距 29.84 m。主缆采用 PPWS(即预制平行索股)法架设,索股在工厂单束预制成形,两端锚具采用套筒式热铸锚,通过锚碇锚固前端的锚杆与主缆锚头相连。单跨钢桁梁悬索桥方案如图 3 所示。

主桁架采用华伦式,全宽为 30.54 m,中心间距为

29.84 m,上、下弦中心高度为 6.0 m。吊索纵向标准间距 12 m,塔侧吊索中心线距离主塔中心线 14 m,横向间距 29.84 m,每吊点布置 2 根吊索。吊索截面由 91 根 $\phi 5.2$ mm 镀锌高强平行钢丝组成。上下两端均采用销接式,锚头采用热铸锚。主塔采用钢筋混凝土门形桥塔,分别由塔座、塔柱、上横梁、下横梁组成。主塔承台采用分离式矩形承台接桩基础,承台上设 2 m 厚塔座。单侧承台下设 12 根直径 2.5 m 的钻孔灌注桩。

3.3 上承式钢管混凝土拱桥(方案 3)

该方案为计算跨径 480 m 的上承式钢管混凝土拱桥,拱轴线采用悬链线。矢高 110 m,矢跨比 $f=1/4.364$,拱轴系数 $m=1.4$,拱脚固结。上承式钢管

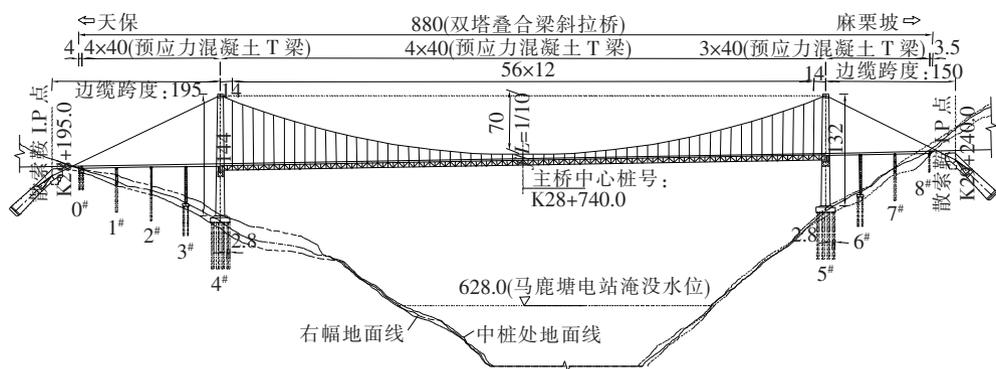


图3 单跨钢桁梁悬索桥方案(单位:m)

混凝土拱桥方案如图4所示。

主拱圈断面采用钢管混凝土与钢管组成的桁架式断面,断面高度从拱顶9m(中到中)变化到拱脚15m(中到中)。单片拱肋宽度5m,横桥向两片拱肋间的中心距离拱脚、拱顶处均为18m。肋间设置横联和斜撑。上、下弦拱肋均采用变厚度钢管,钢管内灌注C60

高强低膨胀混凝土。两岸拱座位于山体上。两岸拱座均采用整体式钢筋混凝土结构,基底呈台阶状。主桥桥面系采用跨径34m的钢-混叠合梁。钢纵梁采用焊接工字形断面,由上翼缘板、下翼缘板、腹板、竖向加劲板组成,梁高2.1m,横向间距6.7m,顺桥向每4.25m设置一道钢横梁,立柱支承处设置X形平联。

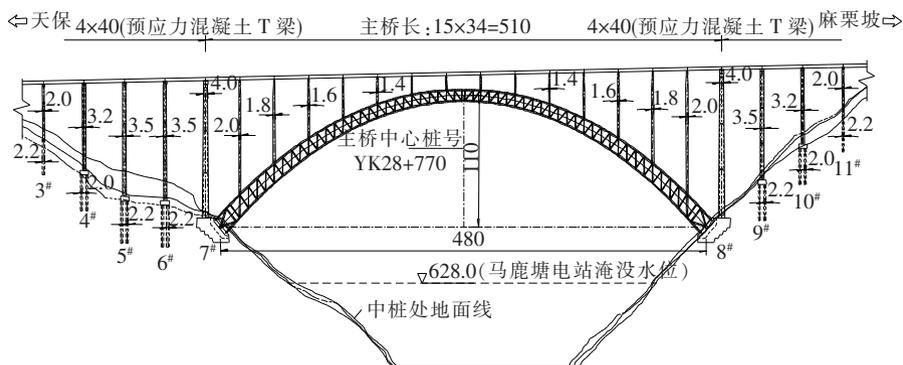


图4 上承式钢管混凝土拱桥方案(单位:m)

4 方案比选

4.1 建设规模与工程经济性

主跨480m的叠合梁斜拉桥方案主桥长880m;单跨700m钢桁梁悬索桥方案主桥长700m;480m上承式钢管混凝土拱桥方案主桥长510m。从造价上看,上承式钢管混凝土拱桥方案相对较经济,叠合梁斜拉桥方案稍贵,钢桁梁悬索桥方案造价较高。

4.2 环境影响与防护

斜拉桥方案避开了附近道路,桥塔的位置岸坡相对较陡,基础内力对岸坡的稳定性有一定影响。

钢桁梁悬索桥方案塔墩位于岸坡中上部,基础内力对岸坡的稳定性影响较小,受力较好。

上承式钢管混凝土拱桥方案拱座基础所处岸坡较

陡,拱轴线与坡面接近垂直,受力较好;但基础开挖量偏大,对环境有一定影响,需要恢复植被;基础开挖边坡要做好防护。

4.3 施工难度及工期

斜拉桥方案高塔施工控制技术的日益成熟,一般认为,其施工风险相对较低。两岸塔墩施工条件较好。叠合梁钢构件均具有杆件重量轻、运输方便、施工便捷的优点。

700m钢桁梁悬索桥,最大塔高144m,加劲梁可采用缆索吊机整节吊装,施工技术较成熟。

钢管混凝土拱桥方案主拱肋等钢构件需在工厂制作、预装,然后将杆件长距离运输至施工现场再行拼装。钢管拱桥缆索吊装施工技术已在多座类似桥梁实施,经验成熟,但山区施工运输条件较差,施工难度相对稍大。

工期:方案 1 相对较短,方案 2 工期略长,方案 3 较长。

综合看,叠合梁斜拉桥和钢桁梁悬索桥施工技术成熟,施工风险低;钢管混凝土拱桥方案施工风险略高。

4.4 景观效果

斜拉桥方案具有雄伟、挺拔、轻巧的景观效果。高耸的桥塔与陡峻的山峰比肩,三角形的索面与周围险峻的山峰呼应,具有独特的视觉效果,景观效果较好。

悬索桥方案造型优美,主缆的弧形曲线与 V 形沟谷在视觉上统一、协调、美观,轻盈的桥面和排列有序的吊杆跃然于山谷间,大自然的天然瞬间变成人类通途,在大山中形成一道亮丽的风景,景观效果较好。

拱桥方案造型优美,形似彩虹,再配上富有旋律的立柱,弧形拱与 V 形沟谷的搭配在视觉上效果最好。

相比较而言,拱桥的景观效果有一定的优势。

3 种方案的具体比较结果如表 2 所示。

表 2 马鹿塘特大桥主桥方案比选

项目	方案 1:叠合梁斜拉桥	方案 2:钢桁梁悬索桥	方案 3:钢管混凝土拱桥
主桥布置	(75+125+480+125+75) m=880 m	700 m	510 m(主跨径 480 m)
主桥结构	上构:双上字形组合梁,下构:钻石形桥塔	上构:钢桁梁+组合梁桥面系,下构:门形桥塔	桥面系:工字形叠合梁主拱:钢管混凝土结构
设计、施工难度	同类结构已建桥梁较多,均有成熟经验,但施工中抗风要求较高	本跨径在已建悬索桥中较多,设计施工经验丰富	大跨径钢管混凝土拱桥已有应用,对于上承式跨径较大,对钢管的制作要求较高,施工难度偏高
施工方法	吊机悬臂拼装	缆索吊装	缆索吊装
施工工期	36 个月	37 个月	38 个月
景观效果	桥塔高耸,比例合适,整体效果较好	主缆的外部曲线与地形和谐统一,轻盈的桥面和排列有序的吊杆跃然于山谷间,景观效果较好	拱轴线形优美,气势宏伟,景观效果好
环境适应性	基础施工量相对小,对环境影响小,适应性好。边坡防护要求偏高	两侧为隧道锚,基础开挖量小,对环境影响较小	拱座基础开挖量大,对环境影响较大,对拱桥基础地质要求较高
养护运营	钢结构和斜拉索容易腐蚀,斜拉索定期更换,费用偏高	存在主缆、吊索,钢结构及鞍室等部分的养护及吊索的更换,养护量大,后期养护费用高	主拱圈等钢结构需定期涂装,费用中等
风险	斜拉桥结构受力好,换索等较方便	悬索桥结构受力好,吊杆更换较方便	拱桥结构体系复杂,但受力好
比选结果	推荐	备选	备选

5 结语

遵循“安全、适用、经济、美观和有利环保”的原则,根据桥址处地形、地质条件,结合各桥梁方案,从结构受力、施工难度、工程造价、景观效果等因素对桥型方案进行综合比选。主跨 480 m 的叠合梁斜拉桥(方案 1),与其他两个方案相比,具有结构受力合理、造价适中、对环境影响较小、施工工艺成熟、施工工期较短,并

且与周围环境较适应、景观效果佳等优点。经综合比选和考虑各方意见,主跨 480 m 叠合梁斜拉桥作为该项目的推荐方案。

参考文献:

- [1] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].
- [2] JTG 3365—01—2020 公路斜拉桥设计规范[S].
- [3] 和丕壮. 桥梁美学[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [4] 刘春,余化彪,李德宏. 虎跳峡金沙江大桥桥型方案比选分析[J]. 中外公路,2020,40(4):130—133.