

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.01.029

山区公园跨水域拱桥设计方案研究

吴连波

(深圳交通公用设施建设中心, 广东 深圳 518040)

摘要: 在城市里,桥梁既是交通的纽带也是建筑美学的表达,特别当桥梁位于公园里,又会成为提升区域景观品质、改善生态环境、美化城市形象的复合景观。以深圳市阳台山森林公园内跨高峰水库拱桥为研究对象,对其方案选型、结构构造、施工方案等进行分析,过程体现创新、环保与经济的特点,实现功能与艺术景观的良好结合。该桥具有高桥位、大纵坡、地面持力层较深等特点,针对该桥开展相关研究,为今后同类型桥的设计与施工提供一定的借鉴参考。

关键词: 山区公园;跨水域桥梁;上承式连拱;有推力拱脚基础

中图分类号: U448.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0123-04

0 引言

随着时代的进步,大众对于城市建设的审美不断提升,桥梁作为城市常见的公共建筑被赋予了更高的美学要求。对于桥梁的美学研究认为,桥梁建筑的三大美学形式原则是桥型、以桥为中心元素的环境形态和构成桥体的形式,是审美的最基础因素[1]。在桥梁建设历史中,拱桥是绕不开的主题,它被公认为是最优美的桥型,根据桥面与拱肋的位置可分为上承式、中承式及下承式;按照拱脚受力特点可分为有推力拱和无推力拱;根据主拱材料可分为石拱桥、钢拱桥、钢管拱、混凝土拱、钢管混凝土拱。相比其他桥型其更加多样,这是拱桥独有的特点。

本文针对深圳市阳台山森林公园内跨高峰水库的拱桥为研究对象(如图1所示),分析其在方案选型、结构构造设计、施工方案选择中的关键点,最终方案较好结合了城市公园景观设计和桥梁功能设计,且具有很好的经济效益。

1 项目概况

深圳市侨城东北延通道项目北起福龙路,南至滨海大道,全长约15.7 km,规划为城市快速路,双向6车道,设计速度80 km/h。跨高峰水库桥为该项目中唯一一座跨水库桥梁,如图2所示,桥梁位于阳台山森林公园境内,且高峰水库是公园内的最大水库,

收稿日期:2023-09-27

作者简介:吴连波(1981—),男,工学硕士,高级工程师,从事市政工程设计、工程管理工作。



图1 跨高峰水库桥效果图

是重要的水源保护地。

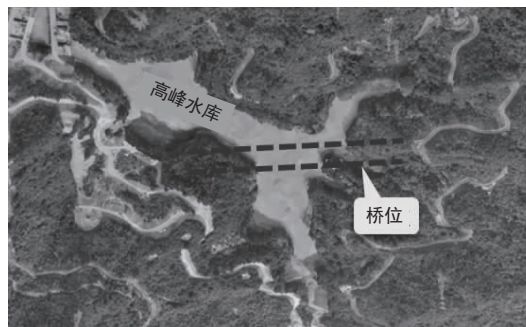


图2 桥位平面图

桥梁左右幅整体立面对齐,其中左幅跨径布置为(5×28)m引桥+(80+90+80)m主桥+(6×25)m引桥;右幅跨径布置为(5×28)m引桥+(90+90+80)m主桥+(3×25)m引桥,主桥为上承式钢结构拱桥,引桥为钢混组合梁。根据2020年《高峰水库大坝安全评价报告》,水库设计洪水位为85.56 m(黄海高程),考虑钢结构主拱耐久性,水中拱脚最低点高于设计水位线1 m以上设置;桥梁周边山势上陡下缓,桥位处基岩面较深,现状地面线距中风化花岗岩距离约10~25 m,桥型立面布置如图3所示。

主梁标准宽度13.25 m,采用双窄箱钢混组合梁,梁高2.0 m(1.75 m钢梁+0.25 m预制桥面板),铺装

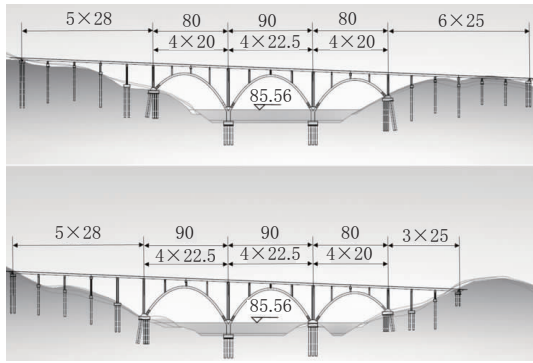


图3 跨高峰水库桥立面布置(单位:m)

厚度 18.2 cm (10 cm 沥青铺装 + 2 mm 防水层 + 8 cm C50 混凝土调平层)。桥墩立柱均采用八边形断面, 横向 4.0 m 等宽, 其中拱上立柱采用钢结构, 其他桥墩采用混凝土。主拱为 6.0 × 2.0 m 等尺寸矩形钢箱拱, 拱脚设 4 m 长钢混结合段, 主拱矢高 36~42 m, 矢跨比 2.2~2.4。中拱脚下基础为 9 根 $\phi 1.8$ m 钻孔灌注直桩 + 矩形承台, 边拱脚为抵抗拱脚推力的作用, 设计中采用 4 根 $\phi 1.6$ m 斜桩 + 6 根 $\phi 1.6$ m 直桩的基础形式, 承台采用圆柱体, 并搭配削竹式护坡处理, 提升整体景观, 主、引桥标准断面尺寸如图 4 所示。

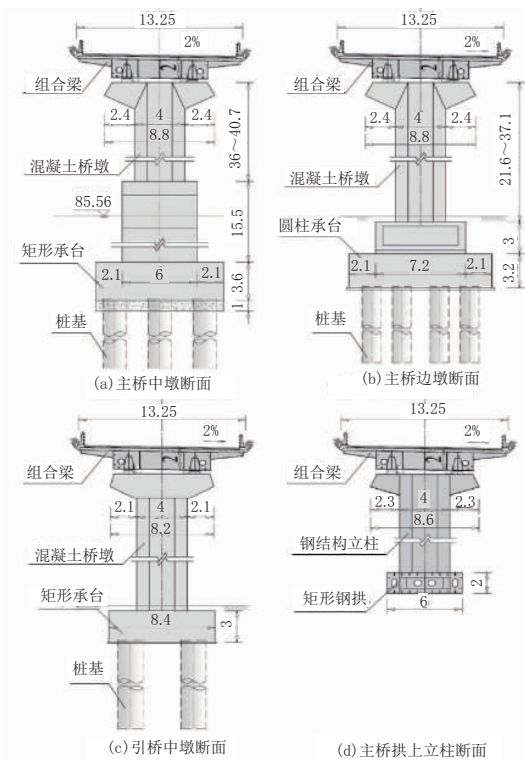


图4 跨高峰水库桥断面布置(单位:m)

2 桥梁方案选型

该桥受与上、下游隧道衔接, 桥位平面与高程受到限制, 如图 5 所示, 造成其具有以下特点:

(1) 跨越水域范围大(直接水域范围 L 约 225 m,

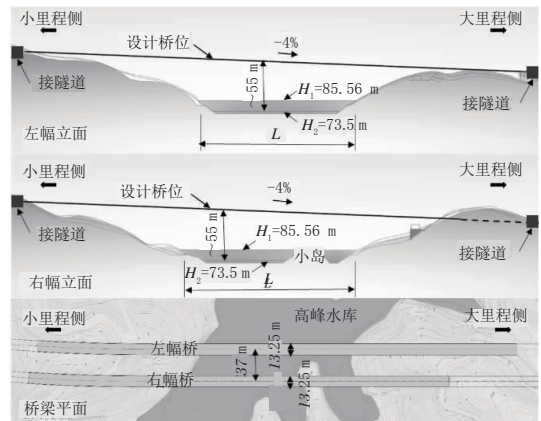


图5 桥梁设计线位图

水域管理红线范围约 245 m);

(2) 距水面高度高(主桥距离常水面位置 H_2 平均高度约 55 m 左右, H_1 为设计洪水位);

(3) 桥梁分幅较远且带有长下坡(单幅桥宽 13.25 m, 左右幅道路中心距 37 m, 全桥 4% 长下坡)。

若为了保护水库水源, 主桥可采用一跨跨过水库, 如悬索桥、斜拉桥、拱桥等方案, 但悬索桥与斜拉桥造价过高, 且由于桥位本身已经很高, 斜拉桥和悬索桥的主塔将会更突出, 其经济性、景观性和施工安全性都比较差; 若为了提高方案的经济性, 主桥可采用多跨过水库, 如连续梁桥、矮塔斜拉桥、拱桥等方案, 但连续梁桥和矮塔斜拉桥景观性差, 对公园景观没有起到提升品质的作用。综上所述, 拱桥无疑是最优选择。

拱桥可选的方案有上承式、中承式与下承式, 如图 6 所示。若一跨过水库且考虑与水库的安全施工距离, 则最小跨径不小于 260 m, 选用单跨上承式拱桥的矢跨比将接近 1/10, 受力十分不利, 故不选用; 而采用单跨下承式拱桥(方案①)时, 其桥下空间过大, 景观效果不理想, 所以优选单跨中承式拱桥(方案②)或多跨上承式连拱(方案③), 二者均有较好的经济性和景观性。相比方案②, 方案③可有效降低主拱高度, 施工安全性得到提升, 同时右幅可利用水中小岛减小跨径, 虽需水中立少量桥墩, 但对水源影响并不大, 造价却大大降低。此外, 设置多个桥墩也可限制主梁的顺向偏位, 较好地解决了主梁长联大纵坡的顺向位移问题, 所以优选三跨上承式连拱为最终桥梁方案, 单孔跨径为 80~90 m。

3 关键构造和参数比选

3.1 主拱线型及矢跨比

跨高峰水库拱桥为三跨连拱, 拱上设置立柱, 如

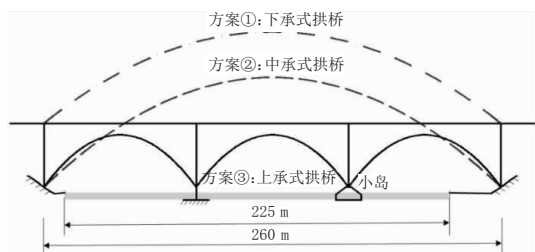


图6 拱桥方案示意图

图7所示,常规拱桥为使拱轴线与拱上荷载的压力线相吻合,从而充分利用材料强度,一般会设置合理拱轴线,对于沿拱跨分布的多点对称集中荷载时,合理拱轴线应为多段折线^[2],但其景观效果差。为兼顾主拱受力与景观,最终确定主桥拱轴线采用悬链线形式。

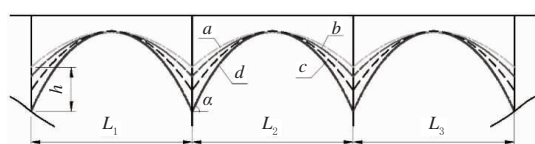


图7 拱轴线比选方案

由于主梁距水面平均高度超50m,主桥跨径 $L_1 \sim L_3$ 为80~90m,主拱采用常规矢跨比则拱脚至地面会有一定高差 h ,在拱脚水平力 V 的作用下产生附加弯矩 $M=V \cdot h$ 。因此,针对不同拱轴线比选 $a \sim d$ 四种方案,矢跨比分别为 $1/5 \sim 1/2.25$ 之间,矢跨比的增大将使拱脚与水平夹角 α 增大,拱脚水平推力 V 和拱脚至地面高差 h 均会减小,使用较大的矢跨比一定程度上会改善拱脚的受力。综合考虑受力与美观效果,优选较大矢跨比的方案 d (矢跨比 $1/2.25$),边拱脚直接与基座承台相连,拱脚受力更合理,且主拱较大的矢高也会使桥梁造型上更加新颖。

3.2 拱上立柱间距

立柱间距布置形式有密立柱(立柱间距比引桥跨径小)和稀立柱(立柱间距与引桥跨径接近)两种,二者均有工程实施前例,如拱上立柱采用密立柱布置如图8(a)所示,拱上立柱采用稀立柱布置如图8(b)所示。

对于本桥,山区公园内桥址运梁条件差,主梁吊装高度大,主梁施工方案为钢混组合梁顶推施工;同时,引桥考虑避让地面绿道和施工便道,采用了25~28m的跨径布置,为了顶推便利,主引桥宜跨径接近,梁高相同,所以立柱间距推荐采用稀立柱布置,如图9所示。稀立柱布置可避免墩柱林立,通透性好,提升景观效果;立柱数量适当减少,可降低主拱受力和改善主墩受力,节省主桥造价。

3.3 有推力拱脚方案

拱桥根据拱脚受力特点可分为有推力拱和无推力拱,就国内外已建成的上承式拱桥而言,绝大多数



(a) 景海高速澜沧江特大桥



(b) 克尔克大桥

图8 不同立柱布置方式案例

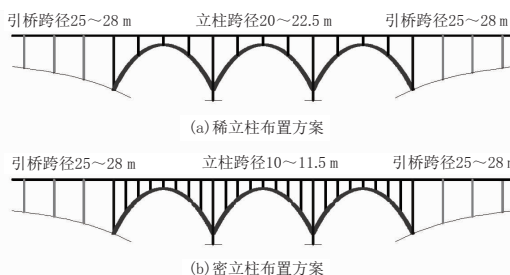


图9 不同立柱布置方式案例

为有推力拱。对于有推力拱脚的设计,已有工程实例中所采用的方案主要包括:①地连墙基础;②拱脚间设地系梁;③整体式扩大基础或重力式基础;④组合式桥台或设置群桩阻滑体系;⑤斜桩+竖桩基础等^[3-9]。本项目处于公园内,且根据勘察显示,拱脚位置持力层平均深度约22m,基岩面较深,基于此,比较不同拱脚基础方案的优缺点见表1。

表1 有推力拱脚基础方案比选表

方案	优点	缺点	结论
①	较好的整体刚度、稳定性及与土体密着性	施工要求高,制浆及处理系统占地较大,管理不善易造成泥泞和污染	不选用
②	施工简洁方便	有较大的局限性,需拱脚间具备实施空间和场地条件	不选用
③	埋深浅,结构形式简单,施工方法简便	大体积混凝土,开挖量与作业面大,对于山体破坏较大	不选用
④	原理简单,施工危险性小	拱脚基础庞大,施工工期长;对环境和植被破坏较大	不选用
⑤	开挖面积小,构造简洁,传力体系明了	斜桩施工要求高	选用

根据表1分析,为减少对公园环境的影响,显然方案⑤是最优选择,承台施工完毕后,将开挖土体回填并进行绿化恢复,与原有坡面及自然景观融为一体,公园景观也得到了有效提升,如图10所示。

4 施工方案比选

4.1 主拱施工方案

上承式拱桥的施工方案为先拱后梁,主拱的常

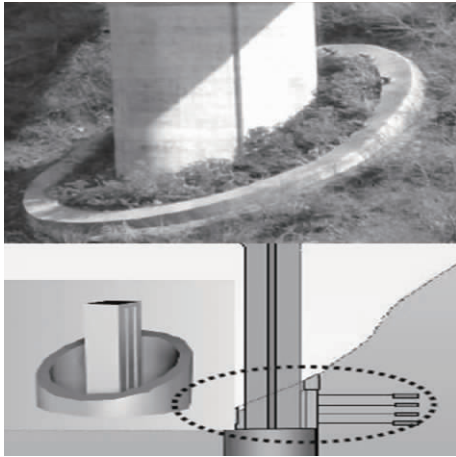


图 10 削竹式基坑支护示意图

规施工方案包括斜拉扣挂悬索吊装施工、转体施工、少支架拼装法,前两者一般适用于桥下范围内不具备作业空间的情况,而且施工复杂性和技术难度大,施工费用高。由于高峰水库并无通航需求,水库水深较浅,具备施工作业空间,因此采用少支架拼装+龙门吊吊装的方法,如图 11 所示。施工技术成熟,安全性好,造价最低,施工过程中做好水质保护工作,对水库水源影响较小。

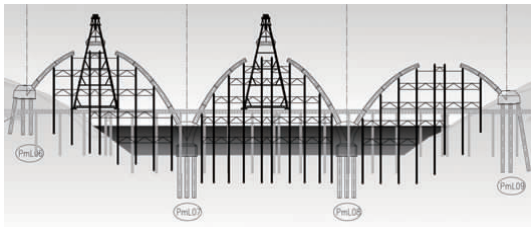


图 11 主拱施工示意图

4.2 主梁施工方案

该桥主梁选择钢混组合梁结构,钢主梁常规施工方案有三种:汽车吊或履带桥架设、架桥机架设和顶推施工。该桥位较高,采用汽车吊或履带桥架设,施工风险较高;而对于架桥机架设,其施工速度较

慢;该桥由于主引桥跨径接近,梁高均为相同高度,采用顶推施工不仅施工速度快,且技术成熟,具有很好的经济性,因此,主梁施工最终选择顶推施工方案。

5 结语

上承式拱桥有悠久的建造历史,具有良好的传力体系和优美的造型,适用于具有较高桥位的山区峡谷或者水道。跨高峰水库桥的成功实践验证了上承式拱桥在山区公园中的适用性、可实施性和经济性。它的建成也将成为深圳市最大跨度的上承式拱桥,在设计中践行了创新技术应用,实现了景观艺术与功能作用紧密结合,其方案设计研究可为今后同类桥型的设计、施工提供借鉴。

参考文献:

- [1] 刘丽,王正明,丁文慧.现代桥梁建筑设计的美学图式[J].桥梁建设,2006(1):42-44.
- [2] 邵长宇.现代拱桥[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [3] 施智,罗吉智,胡腾飞.厚覆盖层地质条件下有推力拱桥基础研究[J].世界桥梁,2021,49(1):76-82.
- [4] 胡小康,黄浩.地下连续墙基础在大跨度有推力拱桥中的设计分析[J].工程与建设,2019,33(1):101-103.
- [5] 李博,阳东.软土地基上系杆拱桥设计研究[J].公路交通技术,2012(5):77-80.
- [6] 邓海洪.大跨度拱桥基础施工控制要点[J].企业科技与发展,2017(8):85-88.
- [7] 何奇钦.柳州市文惠大桥改建工程 2# 桥墩基础方案研究[J].工程建设与设计,2018(6):86-88.
- [8] 白洪涛,唐雪迪,刘斌.大跨径拱桥桩基组合式桥台计算浅析[J].工程管理,2015,14(3):30-32.
- [9] 叶际斌.深厚软土地基拱桥台后阻滑体系设计与研究[J].绿色交通,2017(9):202-203.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com