

主跨170m预应力混凝土连续梁桥总体设计

杨杰

上海林同炎李国豪土建工程咨询有限公司, 中国·上海 200080

摘要: 本桥为孔跨为 105m+170m+105m=380m 的预应力混凝土连续梁桥, 其跨径在同类型桥梁中处于领先水平。桥梁采用单箱单室截面设计, 中间支点截面的高度为 10.5m, 梁端支点的截面高度为 4.4m, 底板线型为 1.6 次抛物线。主墩采用空心墙式墩, 边墩采用盖梁柱式墩。桥址所在区域为邵家渡古渡口, 梁祝文化浓厚。桥梁外侧采用铝板、花岗岩板进行外立面装饰, 形成浓郁的古典风格。桥型方案对当地文化有较好的补充和引领作用。本文对桥梁的总体设计、主要结构布置进行研究, 以期对于相关工程起到指导和借鉴作用。

关键词: 预应力混凝土连续梁桥; 桥梁景观设计; 挠度及裂缝控制

Overall Design of a 170m Prestressed Concrete Continuous Girder Bridge

Yang Jie

Shanghai T.Y. Lin & L.G.H. Civil Engineering Consulting Co., Ltd., China Shanghai 200080

Abstract: This bridge is a prestressed concrete continuous girder bridge with spans arranged as 105 m + 170 m + 105 m = 380 m, and its span length ranks among the leading levels for bridges of the same type. The bridge adopts a single-cell single-box section, with a section height of 10.5 m at the intermediate supports and 4.4 m at the end supports, and the bottom slab profile follows a 1.6-power parabola. The main piers are hollow wall-type piers, while the side piers are column-type piers with capping beams. The bridge site is located at the ancient Shaojiadu ferry crossing, where the Liangzhu culture is rich in heritage. The exterior facades of the bridge are decorated with aluminum panels and granite slabs, giving it a strong classical style. The proposed bridge scheme effectively complements and leads the local culture. This paper studies the overall design and main structural arrangement of the bridge, with the aim of providing guidance and reference for related engineering projects.

Keywords: Prestressed concrete continuous girder bridge; Bridge landscape design; Deflection and crack control

1 工程概况

桥梁位于宁波市境内, 横跨余姚江(杭甬运河)。河口规划宽度为 300m, 现状河底标高 -5.9m。

桥址所在的区域, 属于北亚热带季风气候区, 温暖湿润, 雨量充沛, 四季分明。平均气温 16.6℃, 极端最高气温 41.3℃, 极端最低气温 -6.6℃。历年最大积雪深度 14.0cm。场区北部位于长江下游-南黄海地震带, 南部位于华南沿海地震带, 拟建场区距区域深大断裂较远, 场地范围及附近历史地震强度弱、频度低, 属于相对稳定区。桥位处抗震设防烈度为 7 度。

主桥采用跨径组合为 105m+170m+105 m 的预应力

混凝土连续梁桥; 桥面总宽 38m, 分两幅布置, 单幅桥宽 18.5m。引桥以 35m 为标准跨径, 局部跨径根据规划路口、主桥边墩位置进行调整。桥两侧设置人行梯道与地面人行道衔接, 桥台侧设置人行梯道与地面人行道衔接。

引桥设计采用先简支后连续的预应力混凝土小箱梁结构, 墩身均与桥梁轴线正交布置, 如图 1 所示。

2 结构设计

2.1 总体布置

桥梁跨径的主要控制性因素:

(1) 航务要求(余姚江规划Ⅲ级航道, 通航净宽 110m, 净高 7m);

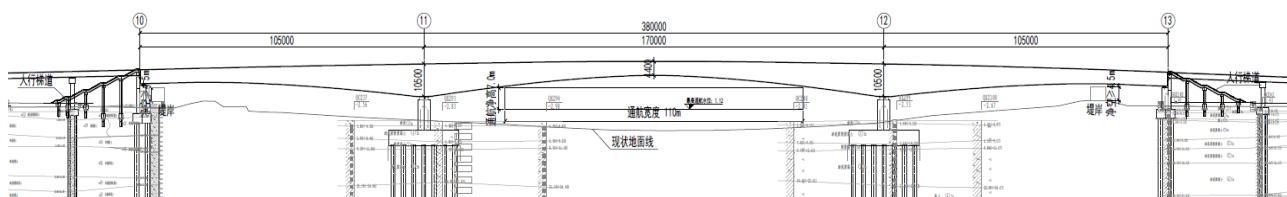


图1 主桥总体布置(单位: mm)

(2) 水利要求(余姚江两侧堤线范围内,堤岸内侧水中不得设置多于 2 个桥墩,桥墩阻水率不得超过 7%);

(3) 河道蓝线要求(两侧规划堤线间距 332m,堤线外侧坡脚间距约 360m)。

根据以上限制性条件,桥梁跨径按照以下原则进行布置:

(1) 堤线内水中只设置两个桥墩;边墩不侵占姚江大堤边坡,避免施工期间开挖大堤;

(2) 主桥跨径总长需大于 360m,结合基础及开挖宽度,主桥长度约为 380m。考虑该桥型的(预应力混凝土连续梁)结构特点,中跨跨径不宜大于 170m。

结合桥梁受力特点、现状条件等因素,主桥跨径调整为 105+170+105=380m。

2.2 主梁设计

2.2.1 结构布置

主桥主梁的构件类型为全预应力混凝土构件计。标准断面采用体式箱型断面(抗扭性能好),单箱单室布置,单幅箱梁宽度为 18.5m。箱梁两侧挑臂长度各为 4.75m,直腹板间桥面板间距为 9.0m。

主梁截面高度在纵向按 1.6 次抛物线形变化,其中墩顶单幅箱梁结构中心线处梁高为 10.5m,高跨比为 1:16.2;跨中处梁高为 4.4m,高跨比为 1:38.6。

箱室顶板厚 30cm,跨中处箱室底板厚 32cm,底板从跨中到根部的 68m 范围内逐渐加厚到 106cm,其顶缘按 1.6 次抛物线;从距离中支点 16m 到 3.5m 范围内底板厚度从 106cm 渐变至 180cm,其顶缘按直线。箱梁跨中位置腹板厚 60cm,向中支点方向经过两次线性渐变至 130cm、175cm;向边支点方向经过一次线性渐变至端部腹板厚度为 90cm。

2.2.2 预应力布置

纵、横向采用预应力钢绞线,竖向采用精轧螺纹钢,形成三向预应力体系。

为改善运营期结构性能,主梁内部设置备用体外束。备用体外预应力钢绞线,规格为 $\phi s15-19$ 。

表 1 体外束类型选择

方案选择	优点	缺点
环氧涂覆钢绞线	耐久性相对普通钢绞线好,使用年限约 15 年;价格低	钢绞线之间容易相互滑移;环氧涂层磨损后耐久性降低
环氧涂覆无粘结成品索	耐磨、耐腐蚀,耐久性较好;使用年限约 25 年	价格较高,相比方案一造价增加约 52%

由于体外束为运营阶段预留措施,主桥竣工时体外束不需张拉,竣工时结构受力未考虑体外束作用。经综合考虑,采用环氧涂覆钢绞线的方案。

2.2.3 跨中下挠及腹板开裂的措施

大跨径预应力混凝土连续梁出现的可能影响到结构安全度和使用性能的主要问题是跨中下挠和梁体结构开裂。为减少后期病害的发生,本工程采用了对应的措施进行规避。

(1) 优化附属设施,降低二期恒载。

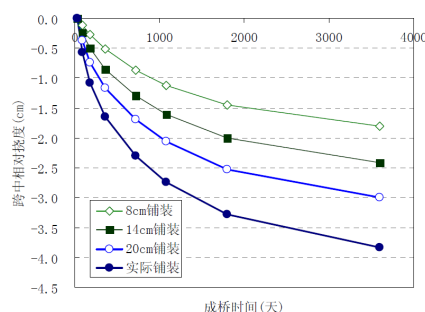


图2 结构下挠与铺装厚度的关系

混凝土铺装层较重,增加了结构下挠挠度,使结构的主拉应力增大。结合现有施工技术和工程经验,对混凝土铺装层进行减薄,以降低恒载的影响。

(2) 采用合适梁高曲线,适当提高结构关键截面高度。

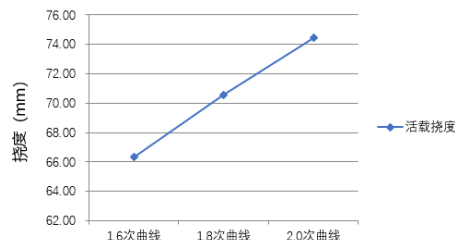


图3 结构下挠与梁高曲线的关系

结构高度变化曲线为 1.6 次抛物线,结构四分点处结构高度可提高,通过提高控制点结构高度以达到刚度增加的目的,效控制主梁的下挠程度,并改善结构抗裂性能。

(3) 腹板三段式变厚,关键处保证腹板厚度。

(4) 腹板钢束均下弯,提高结构预剪力。

(5) 设置竖向预应力钢束。

(6) 提升全断面抗剪性能,拉结筋改为四肢箍形式。

(7) 提升断面钢筋布置,保证顶底板各处配筋率。

(8) 设置备用体外束。

(9) 设计桥梁动态监控系统,实时监控桥梁变形,严控运营期间超载。

2.3 大桥防撞设计

2.3.1 防撞设计原则

(1) 防撞防护体系核心作用:耗散船舶碰撞产生的动能、缓冲吸能;规避船体直接冲击桥墩主体结构。

(2) 防护构造与配套航标布设不得侵占通航主水域,

尽可能压缩占用航道的范围，防止出现通航受阻、航道壅塞等问题。

(3) 航标的布设位置、规格选型，需匹配通航水域实际航行风险等级，贴合现场通航运行实际需求。

本项目选取 1000 吨级船舶作为设计代表船型，按照船舶满载排水量 1500t 验算。

船舶撞击计算速度：满载工况下平均航行速率 7km/h（等效 1.94m/s）。

2.3.2 防撞设施方案比选

本项目中，桥梁为实心墙式墩、承台群桩基础，本体具备防撞能力。

《公路桥梁抗撞设计规范》(JTGT3360-02-2020)：当桥梁本体具备整体防撞性能，需要设置局部防撞设施对可能的撞损的部位进行局部防护的要求。

表2 防撞设施选择

	方案一	方案二
防撞设施布设情况	附着式钢-复合材料复合消能护舷	独立式三桩防撞墩
设防效果	较好 (消能效果较好，可避免船舶刮蹭桥墩，防止桥墩局部撞损)	一般 (满足现状船舶防撞需求，但不能达到桥墩局部防护目的，消能效果一般，不能防止船舶侧撞刮蹭桥墩)
直接工程费用	较低	相对较高
防撞设防原理	通过自身结构的缓冲消能，降低船舶撞击力，避免桥墩局部撞损	防撞墩直接承受撞击力，避免船舶直接撞击桥墩
耐久性和维护要求	结构使用年限30年，损坏维修成本较低，正常维护方法简便	结构使用年限50年，损坏重建成本较高
方案比选情况	推荐方案	比选方案

因此，主桥采用附着式固定钢覆复合材料消能护舷的防撞方案。

3 大桥装饰设计

本桥采用外立面装饰的方式进行景观设计，在不影响结构主体的前提下，对结构外表面进行适当的美化，突出设计主题。

装饰设计时注重远近不同的观赏层次，有大局有细部，追求不同距离下的观赏效果。本工程主要采用以下设计：

(1) 栏杆扶手采用定制铸铝，外喷古典棕真石漆；踢脚采用铸铝，外喷仿黄锈石真石漆起到防护作用。

(2) 桥墩采用拱券结构做造型，精致的雕刻细节造型起到装饰美化的作用。采用铸铝干挂，外喷仿黄锈石真石漆进行外部装饰。桥墩根部采用古典棕蘑菇面花岗岩，桥墩结构主体直接浇筑成设计外观，外表面用花岗岩拱做贴面处理。

(3) 桥拱内凹部分直接采用米黄色真石漆，内部可结合浮雕做凹凸面做深浅变化，浮雕主题以体现当地历史文化为主要纹样。

3.1 文保设计

本工程需跨越姚江，处于浙江省省级文物保护单位浙东运河河道之宁波段余姚江的保护区划内。本工程采用了以下设计措施对文化遗产进行保护：

(1) 桥梁跨径布置需考虑堤岸保护的因素，桥墩承台不得立于堤岸之上。本工程桥梁上跨堤岸，对堤岸影响小。

(2) 工程建设不改变现状堤岸结构线位和形式；承台采用拉伸钢板桩施工，减小施工范围，降低对现状堤岸的影响。

(3) 为减小对姚江风貌的影响，本工程在建设控制范围共新建绿化，其中保护范围内（距岸线 50 米）原貌恢复；建设控制范围内（距岸线 250 米）设置桥下空间绿化及桥墩垂直绿化。

4 结语

本桥设计周期较长，设计过程中考虑了多种边界条件的影响，进行了大量的前期比选和优化设计。综合考虑河道规模、航道条件、文物保护、工程造价等多种因素进行桥跨布设。桥梁中跨跨径达到该类型桥梁的极限水平，设计难度较高。

桥梁外侧采用铝板、花岗岩板进行外立面装饰，形成浓郁的设计风格。桥梁建成之后的景观效果较好，已成当地的标志性建筑之一。

本文对桥梁总体设计进行研究，以期对于相关工程起到指导和借鉴作用。

参考文献：

[1] 李超. 大跨径 PC 连续梁桥长期下挠设计参数敏感性分析及优化[J]. 中国市政工程, 2020(6):4.DOI:10.3969/j.issn.1004-4655.2020.06.003.

[2] 朱东彦. 预防大跨径预应力混凝土梁桥长期下挠措施设计[D]. 同济大学[2026-05-25].

[3] 王勇. 中外规范下大跨径预应力混凝土连续梁桥结构设计的差异性研究[D]. 兰州交通大学, 2013.DOI:10.7666/d.Y2384694.

[4] 程功, 伍建强, 于海营. 大跨径变截面预应力混凝土连续梁桥弹性力学性能试验研究[J]. 水路运输文摘, 2014(002):000.

[5] 李文江. 大跨度预应力混凝土连续梁桥施工控制[D]. 大连理工大学, 2013.

作者简介：杨杰（1991-），男，汉族，山东聊城人，硕士，研究方向：桥梁设计。