

闵浦三桥越江工程总体设计

乔静宇

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 闵浦三桥越江工程主桥采用双层桥面钢-混凝土组合箱形截面,结构体系采用独塔四跨斜拉-连续协作体系。工程采用110 m×28.5 m通航标准,按此标准设计非机动车道的纵坡不满足规范要求,为解决非机动车过江问题,设计采用安装大型垂直电梯的垂直交通方案。引桥采用预制立柱、盖梁和小箱梁的拼装结构,使桥梁达到最大的预制拼装率。同时为解决桥梁穿越二级水源保护区问题,大桥工程设置了三座蓄毒沉砂池作为危险品污染事故的缓冲处置设施,加强环境保护,提升环境韧性。

关键词: 公路桥梁;垂直交通;斜拉桥;预制拼装;蓄毒沉砂池

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0100-05

Overall Design of Minpu Bridge III Cross-river Project

QIAO Jingyu

[Tongji University Architectural Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The double-deck steel-concrete composite box section is used for the cross-river bridge. The structural system is a single-pylon four-span cable-stayed continuous cooperative system. The 110 m×28.5 m navigation standard is used in the Minpu Bridge III Cross-river Project. The longitudinal slope of non-motorized lanes designed according to this standard does not meet the requirements of the specification. In order to solve the problem of non-motorized vehicles crossing the river, the vertical transportation scheme of installing the large elevators is used in the design. The structural assembly structure of prefabricated columns, bent caps and small box girders is used for the approach bridge, which can make the bridge achieve the maximum prefabricated assembly rate. At the same time, in order to solve the problem of the bridge crossing the secondary water source protection area, three toxic sedimentation tanks are constructed as the buffer disposal facilities of dangerous goods and pollution accidents to strengthen the resilience of environmental protection.

Keywords: highway bridge; vertical transportation; cable-stayed bridge; prefabricated assembly; toxic sedimentation tank

1 工程概况

闵浦三桥桥位与上游松浦大桥相距6.4 km,与下游闵浦二桥相距5.1 km。2016年闵浦三桥越江工程开工建设,2020年正式通车,建造历时4 a。

该项目北起东川路,向南过江川路后为避让闵行发电厂折向西约400 m,在邬桥渡附近以桥梁形式跨越黄浦江,越江后路线折向东南,于西闸公路交叉口前落地,终点与浦卫公路(闵浦三桥—南亭公路)改建工程衔接,路线全长约3.49 km。其中北岸接线道路长1 142.96 m,南岸接线道路长405 m,黄浦江大桥长1 939.33 m。车道规模为双向6快2慢,黄浦江大桥在下层桥面设置人非混行道,人非通过主桥两

端的人非电梯上下,大桥两侧设置地面辅道解决沿线地块出行。

该项目主桥设计为独塔双索面四跨连续钢-混凝土叠合梁斜拉桥,跨径布置为50 m+2×220 m+50 m,总长540 m,采用整体箱形断面、机动车和非机动车分层布置的桥面,上层桥面供机动车越江通行,下层桥面供行人和非机动车通行。

工程内容主要为桥梁工程,还包括附属的道路交通工程、排水工程、绿化工程、房建工程、电气工程等分项。工程主要技术经济指标见表1。

2 主要技术标准

(1)道路等级及设计速度:二级公路,设计速度60 km/h。

(2)主桥及引桥设计使用年限为100 a。

(3)桥梁结构设计安全等级一级。

收稿日期:2024-05-04

作者简介:乔静宇(1974—),男,学士,高级工程师,从事道路桥梁工程设计工作。

表 1 主要技术经济指标

编号	指标名称	数量
1	主线路面面积/m ²	55 207
2	辅道路面面积/m ²	10 957
3	非机动车面积/m ²	18 639
4	人行道面积/m ²	14 029
5	主线桥梁/(m·m ⁻²)	2 299.5 / 65 263
6	地面辅道桥/(m·m ⁻²)	226 / 2001
7	匝道桥/(m·m ⁻²)	570 / 4845
8	人非电梯/部	16
9	雨水管道/m	8 960
10	概算总额/万元	309 630.61
11	每公里造价/万元	88 719.37

(4)环境类别为Ⅰ类环境。

(5)桥梁设计荷载:公路—Ⅰ级。

(6)双通航孔,单个通航孔净空尺度:净宽 $B\geq 110\text{ m}$,净高 $H\geq 28.5\text{ m}$;设计最高通航水位吴淞高程 4.37 m 。

(7)抗震设防标准:基本烈度7度,地震动峰值加速度 $0.1g$,主桥抗震设防目标为A类,引桥为B类。

(8)设计基本风速为 33.8 m/s ,场地地表类别B类。

3 黄浦江河势及布墩设计

巨潮港是黄浦江港界,下游是黄浦江吴泾—巨潮港3 000 t级海轮航道,上游是内河Ⅲ级航道。闵浦三桥位于巨潮港下游约50 m处。

闵浦三桥桥址水域宽390 m,扣除至巨潮港河口沿岸靠泊宽度 $26\text{ m}^{[1]}$,通航水域宽规划码头前沿线间宽度338 m。10、8 m等深线的宽度在180、280、5 m等深线宽度为320 m。该河段主槽居中稍偏浦北侧,航道水深良好,桥址处最大水深11 m。

根据近年来的桥址处实际通航船舶的调查情况,已有3 000 t级船舶进入桥址上游水域,而黄浦江水深现状也符合运输船舶的大型化趋势,为今后通航3 000 t级海轮的可能性创造条件,闵浦三桥的净空尺度按照3 000 t级船舶设计,通航净高28.5 m。

根据地上障碍物布设条件,昆阳路越江大桥段的线位除主桥段在直线段上以外,其余线位均在曲线段上,无法布置一跨过江的桥型方案。

最终,采用江中设置一墩的方案,此方案能兼顾以下5个因素:(1)浦北侧上游金星轮渡码头(见图1);(2)下游市电厂码头(见图1);(3)浦南侧桥址下游邬桥轮渡码头(见图1);(4)上游浦江仓储码头的系泊(见图1);(5)合理的主桥下部结构构造和受力。

桥梁投影与浦南侧巨潮港小型船舶锚地重叠,该锚地需迁建。

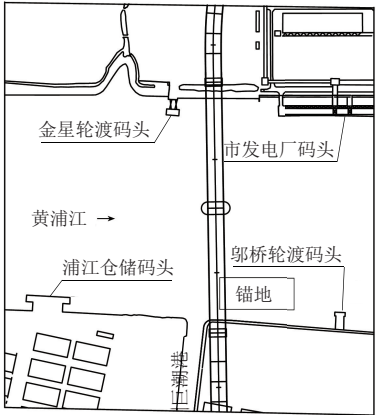


图 1 桥位与周边码头关系示意图

4 垂直慢行交通系统设计

原桥址处两岸居民通过邬桥轮渡往返两岸,在桥梁建成后,仍有相当多的居民采用助动车、自行车等慢行交通方式越江。经测算,远景每年有超过700辆/h的人非交通量。

受闵行侧江川路及奉贤侧西闸公路平面位置限制,作为近江交通的闵浦三桥引道纵坡,闵行侧为3.5%,奉贤侧为4.0%。非机动车越江若采用随主桥一同过江的方案,不能满足现行规范对非机动车坡度的要求,且国内现行规范对部分关键指标无相应规定^[2]。唯有另建稍缓的人非坡道,以满足展线要求,从桥面至地面需克服30 m左右的高差。

坡道经多方案设计并选优,采用“主桥→210 m长6.5%纵坡(推)→第一个转向平台→直线170 m长6.5%纵坡(推)→第二个转向平台→156 m长0.6%纵坡(骑)→第三个转向平台(骑)→260 m长3.0%纵坡(骑)”的回形针式方案与电梯方案进行同深度比选。回形针式推骑结合方案的工程造价处于劣势,在使用上存在多次骑行和推行的上下车转换,会导致使用时的安全不易管理,最终选用电梯方案。

在经过非机动车车型尺寸、载重—自重调研,电梯参数选型,并进行运行速度及运送能力等测算之后,本工程单向单侧需要设置4部5 t电梯在非高峰通行期间具有更好的经济适应性^[3],全桥共设置16部5 t电梯。

当相邻两层地坎之间距离超过11 m时,在其间井道壁上开设的通往井道供援救乘客用的门^[4],因此该工程电梯方案另需要设三道平台,并配备逃生楼梯,电梯方案的平面及立面布置如图2所示。电

梯外采用钢架+玻璃幕墙,人行梯道采用钢楼梯。

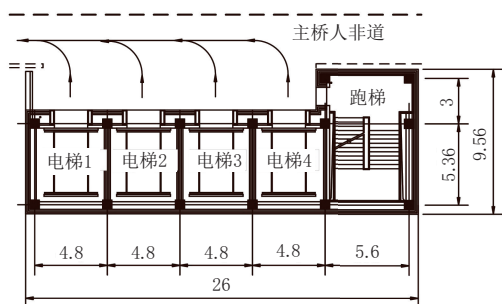


图 2 电梯进入二层桥面示意图 (单位:m)

5 主桥设计

5.1 主桥总体布置

桥梁跨越黄浦江时,主跨采用两跨 220 m,在江中设置一个主桥墩,结构体系为独塔斜拉桥(见图 3)。

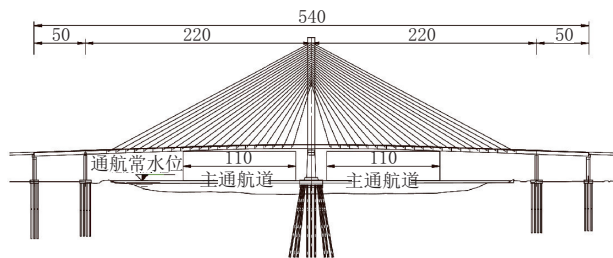


图 3 主桥立面图(单位:m)

两跨对称布置的独塔斜拉桥锚固体系,无法克服因尾端锚索缺失而导致的塔顶刚度小的弱点,不能充分发挥斜拉桥的优势,但采用增大索塔构造尺寸提高刚度来控制塔顶位移的方案不够经济。而在活载作用下,在边跨端梁附近会产生较大的正弯矩,导致梁端转角过大。设计时配置 50 m 协作跨,形成斜拉连续协作体系,达到减小端索应力的目的,并有效克服了边墩支点的负反力,减小了主梁和索塔的内力和位移,不但可对边孔提供压重,还可提供恒载负弯矩,减轻边孔的正弯矩^[5],提高了全桥刚度。综上所述,主桥采用四跨 50 m+220 m+220 m+50 m 的独塔斜拉-连续协作体系。

大桥的支撑体系采用半漂浮体系,在主塔下横梁处,为主梁设置两个竖向支撑。大桥的减隔震措施采用在中支点设置双向阻尼器,耗散地震作用力。辅助墩及主桥边墩设置纵桥向活动支座,支座具备减隔震性能。

出于以人为本考虑,大桥与以往越江工程不同,允许行人和非机动车过桥。桥面采用快慢分离的双层布置,并将慢行通道布置在下层桥面,降低人非越江过大的落差。采用闭合箱形截面,梁高 3.8 m,

以期提供较大的抗扭刚度、较强的空气动力稳定性(见图4)。

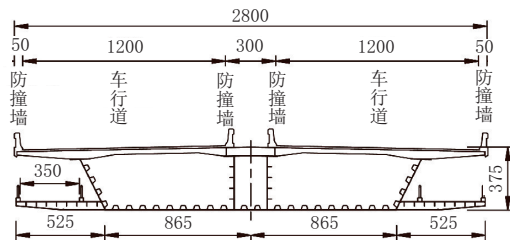


图 4 主桥横断面布置图(单位:cm)

主桥上层桥面布置为:0.5 m(防撞栏)+12 m(快车道)+0.5 m(防撞栏)+2 m(索区)+0.5 m(防撞栏)+12 m(快车道)+0.5 m(防撞栏)=28 m。下层桥面布置为:0.25 m(栏杆)+3.5 m(人非混行道)+0.25 m(栏杆)+19.8 m(箱体)+0.25 m(栏杆)+3.5 m(人非混行道)+0.25 m(栏杆)。

5.2 主桥主梁

主桥主梁采用钢-混凝土组合截面。混凝土主梁施工周期长,将延长大桥建设周期^[6],而钢-混凝土组合梁施工速度快,能避免混凝土主梁在施工过程中可能出现的各种开裂风险。

对于斜拉索设于中央的断面而言,采用箱形截面能极大地提高横向抗扭刚度,更能避免钢桥面板疲劳裂缝问题以及钢桥面板沥青铺装耐久性问题的发生。

钢主梁顶宽 21.4 m, 底部设挑臂作为下层人非混行道, 底宽为 27.8 m, 挑臂长 5.25 m, 挑臂根部高度为 500 mm。钢主梁标准节段长 9 m, 每个节段设两道横隔梁, 间距 4.5 m。外侧斜腹板倾角 63° , 内侧直腹板, 采用开口单箱三室, 斜拉索锚固在中央两直腹板间的钢锚箱上。钢主梁采用 Q345qD 钢材。

混凝土桥面板厚 0.28 m, 四边加厚至 0.5 m, 由槽型钢梁的纵横向腹板(隔板)支撑, 悬臂长 3.15 m。桥面预制板以 8 m 为标准节段, 两侧各设 0.5 m 后浇带。桥面板设横向预应力, 并局部设置纵向预应力以改善主梁在斜拉索锚固区、过渡墩墩顶的应力状况, 桥面混凝土采用 C55。

采用常规的剪力钉群连接混凝土桥面板与钢梁,剪力钉采用直径 22 mm 的 ML15 圆柱头焊钉。

5.3 主塔

该桥主塔采用钻石形桥塔,塔高 136 m,桥面以上高度 104 m,高跨比 0.47:1。在桥面以下设置一道横梁(见图 5)。

塔柱宽度:上塔柱断面为等宽度 $7\text{ m}\times 6\text{ m}$;中塔

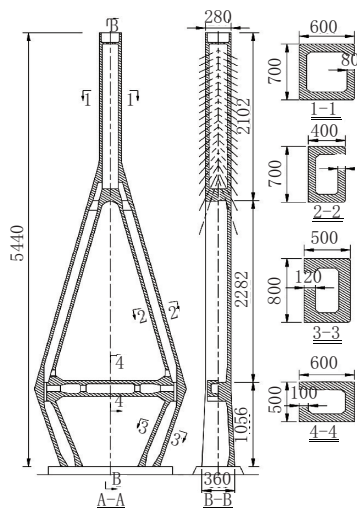


图5 主塔构造图(单位:cm)

柱断面为等宽度 $7\text{ m}\times 4\text{ m}$ 。下塔柱断面在纵桥向由 7 m 变至承台顶的 9 m 宽,横桥向由 4 m 变至承台顶的 6 m 宽。主塔塔柱采用单箱单室矩形截面,上塔柱和中塔柱壁厚 0.8 m ,斜拉索锚固边加厚;下塔柱前壁与侧壁均采用 1.2 m ,采用 C50 混凝土。

斜拉桥索塔上采用综合性能好的钢锚梁锚固。钢锚梁的支承牛腿采用钢结构,并在塔柱锚固区内壁增设钢板,以方便牛腿焊接连接,同时可兼做施工内模,优化了塔柱、锚固、内模施工。塔壁内侧钢板与混凝土采用剪力钉连接,形成钢-混凝土组合锚梁和局部组合桥塔。

江中墩承台最终选用圆端矩形,不仅能减小波浪对承台的作用,且能降低波浪对桩基带来的影响。^[7]

5.4 斜拉索

在横桥向居中布置斜拉索,竖琴形双排单索面,横向索间距为1.0 m。纵向对称布置21对斜拉索,索距为9 m。索梁采用钢锚梁连接,锚固在主梁中箱内;塔上索间距为2 m。斜拉索采用标准强度为1 860 MPa的环氧涂层钢绞线,包裹双层PE护套。

6 引桥设计

根据跨越河道的要求、道路平面交叉等情况以及桥墩基础尺寸,引桥需要采用30~35 m跨径。根据上海地区桥梁工程建设经验,桥墩较高的长大桥梁的引桥跨径布置在30~40 m范围内时经济性较好,可兼顾主桥边跨与引桥跨长的总体协调性。该工程采用35 m作为引桥的标准跨径。

北岸引桥东侧半幅布置为: $(35+35+25.2)+(35+35+29.1)+15 \times 35=719.3 \text{ m}$, 北岸引桥西侧半幅布置为: $(35+35+35)+(35+35+19.3)+15 \times 35=719.3 \text{ m}$ 。

南岸引桥布置为 $12 \times 35 + (35 + 30 + 30) + (30 + 30 + 35) + (35 + 35) = 680 \text{ m}$ 。可以选择简支后张预应力刚接箱梁,并采用桥面连续构造。

根据总体布置,引桥仅有车行道,在高墩双节拼装条件下,采用分幅断面能极大地降低吊装重量,引桥标准横断面宽 $13\text{ m} \times 2\text{ m}$,布置如图6所示。

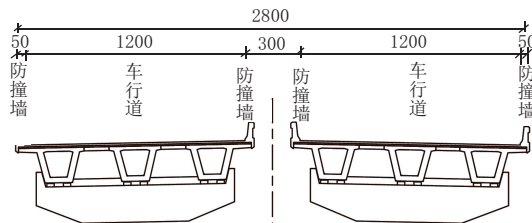


图6 引桥横断面图(单位:cm)

桥梁分上下行两幅,每幅采用3片小箱梁。引桥共41孔、78榀盖梁。

引桥简支小箱梁采用了等宽混凝土湿接缝、环形钢筋交错布置^[8]的窄缝宽梁降低现场接缝工作量。为进一步提高预制率,将防撞墙与边梁同时预制、一体架设。预制时预留梁端3 m范围现浇以接顺标高。引桥桥墩盖梁及双立柱采用装配式工艺施工,承台及桩基现浇。每个立柱节段长度一般在12 m以下,质量在150 t以下^[8],分2段预制。引桥墩最长立柱高度达23.15 m,为当时在建工程中最高的预制拼装双立柱桥墩。

经核算,引桥最终预制率达到 83%,远超《上海市交通建设装配式技术应用推广方案》的 65% 的要求,预制率工程数量统计见表 2。

表2 引桥混凝土用量汇总表 单位: m^3

位置		预制	现浇
主梁	小箱梁	16 684.5	
	湿接缝		1 110.8
附属结构	铺装		2 858.3
	防撞墙	1 961.5	405.8
桥墩	盖梁	2 853.6	
	立柱		451.1
桥台	立柱	4 128.4	244.5
	台身		143.5
小计		25 628	5 214

另外,该项目引桥在复杂曲线段上,更有约6跨位于超高缓和段上,设计经过平面和立面的归一化处理,使引桥只有3种跨径,5个桥墩型号。预制拼装的墩台共计68个,占87%。上部结构最终仅3种跨径小箱梁,采用相同的梁高及构造设计,全桥可使用同一套模板生产,节约成本约140余万元。

7 环保工程

该工程线路必须穿越饮用水水源二级保护区,在保护区范围内的公路及桥梁沿线设置蓄毒沉砂池,对初期雨水进行沉淀处理,降低或减少径流对水体的污染^[9]。沿线共设置3座蓄毒沉砂池。其中1#、2#池位于闵行区,3#池位于奉贤区。

闵行段规划为雨水强排区,雨水经雨水收集管收集后排入区域雨水总管,经总管末端泵站提升后排入黄浦江。为更好地保护水源,闵行段蓄毒沉砂池除考虑越江大桥雨水外,还考虑工程范围内道路的雨水收集。

1#蓄毒沉砂池收集该工程东川路—金彭河段雨水,排入DN3600雨水总管。经计算确定尺寸为28 m×26 m×6.8 m,有效水深4.0 m。

2#蓄毒沉砂池收集金彭河—北段越江大桥雨水,排入DN3600雨水总管。经计算确定尺寸为28 m×26 m×3.85 m,有效水深3.0 m。

3#蓄毒沉砂池收集南段越江大桥—渔沥港雨水,排入渔沥港。经计算确定尺寸为26 m×23 m×4.1 m,有效水深3.5 m。

为节约建设占地,本次蓄毒沉砂池选址于引桥桥下空间。

蓄毒沉砂池由进水管、分叉管、池体、集砂槽、出水管及闸门组成。分叉管闸门处于常开状态。当危化品泄漏后,由管理中心遥控关闭,阻止化学危险品污染水源。另在集砂槽处设控制闸门2套,出水管处设置闸门1套,闸门处于常闭状态,仅当需要放空池体时开启。在上游进水管处设快速启闭冲洗闸门2套,该闸门处于常闭状态,需要截流危险品时打开。集砂槽内的废液及沉砂通过清理车抽吸外运处置。

蓄毒沉砂池为地下全封闭式结构,池顶设置检修人孔,周围设置保护围栏。

8 结 语

(1)在城市用地日趋紧张的建设形势下,采用电梯形式的垂直交通方案是解决非机动车及人行交通并减少占地的有益尝试。从目前的运行情况来看,公共、便捷、现代化的慢行交通设施深受市民青睐。

(2)本次主桥主梁采用节段吊装工艺,引桥采用带预制防撞墙的拼装工艺,若需进一步提高拼装率,主桥主塔可采用钢塔,并将桥台等为数不多的结构预制化,进一步降低如湿接缝、调平层等构造分项工程的工程量。

(3)桥址处水域在2022年由水源保护区调整为水源保护缓冲区,保护等级有所下降,但工程内所建设的蓄毒沉砂池,仍将在昆阳路—浦卫公路这条货运交通干道上发挥长期作用。

参考文献:

- [1] 上海海事局.上海黄浦江通航安全管理规定[Z].上海:上海海事局,2024.
- [2] 杨永平.北京市首条自行车专用路设计要点综述[J].市政技术,2019(3):21-24.
- [3] 魏华.垂直电梯在越江桥梁工程中的应用初探[J].城市道桥与防洪,2019(10):193-195.
- [4] GB 7588—2003,电梯制造与安装安全规范[S].
- [5] 王伯惠.斜拉桥结构发展和中国经验[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [6] 彭俊,周良.黑河—布拉戈维申斯克黑龙江界河桥总体设计[J].中国市政工程,2017(3):1-3;119.
- [7] 张哲元,黄土柏等.跨海大桥承台波流力作用研究[J].结构工程师,2011(3):41-45.
- [8] 卢永成,黄虹,吴东升,等.桥梁预制拼装技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [9] 傅婷.公路项目蓄毒沉砂池的设置依据及原则[J].建筑技术开发,2019,46(2):112-113.

(上接第94页)

种新的选择。

(2)与常规多级放坡相比,双排桩扶壁式挡土墙可以节省边坡的占地面积,同时减小路堤的填方量。与泡沫轻质土相比,双排桩扶壁式挡土墙可以节省工程造价,又安全可靠。

参考文献:

- [1] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].
- [2] 陈玉新,郭建辉,陈似华.预应力锚索桩板墙在高填方边坡中的失稳分析及加固研究[J].重庆建筑,2023(1):55-57.

- [3] TB 10025—2019,铁路路基支挡结构设计规范[S].
- [4] 张云平.陡坡路基桩基托梁挡土墙受力分析研究[J].建材世界,2017,38(4):58-61.
- [5] 江涛.预应力锚索桩基托梁挡墙在建筑高填方边坡中的设计与应用[J].福建建设科技,2022(5):55-57.
- [6] 李海平,陶五平,沈为等.新型桩基托梁扶壁式挡土墙受力特性影响因素研究[J].建筑结构,2022,52(22):126-130.
- [7] 陈荣,杨仕教,李锐,等.高填土边坡中双排桩扶壁式挡墙设计方法研究[J].南华大学学报(自然科学版),2016,30(2):117-122.
- [8] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].