

上海浦东新太平桥自锚式悬索桥总体设计与技术创新

张芳途

(上海浦东建筑设计研究院有限公司,上海市 201204)

摘要:新太平桥主桥采用两跨连续不对称独塔自锚式悬索桥,跨径布置为 $112+72=184$ m。简要介绍了新太平桥项目概况、美学设计理念、总体布置与结构设计、项目特点、技术难点及解决方法等。采用等梁高主缆锚固区设计,简化了锚固结构;采用一系列新材料、新工艺和新技术,延长了本桥耐久性,降低了养护工作量和成本;采用预应力承台解决了地铁盾构共线问题。设计方案为同类桥型的设计提供参考。

关键词:自锚式悬索桥;钢结构;双边箱

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0043-04

1 项目概况

新太平桥位于上海浦东新区的川环南路,跨越浦东运河。川环南路为川沙新市镇的的东西向中轴线,东接临空产业区,西接奥林匹克公园,是以服务功能为主的交通主干道,同时也是一条东西向景观性通道。

浦东运河为规划 III 级航道,与川环南路道路中心线的法线方向 14° 斜交,根据通航要求,主桥一跨过河,水中不设墩,采用斜交正做方法,航道上控制梁底标高 10.0 m。

在对主桥经过多轮比选后,最终采用造型优美的独塔两跨不对称自锚式悬索桥的桥型,主跨一跨跨越规划浦东运河,边跨跨越景观岛的开发利用空间。实景效果如图 1 所示。



图 1 新太平桥效果图

桥梁结构方面:主梁采用双边箱钢梁,索塔采用钢筋混凝土结构门式塔;引桥跨越河滨路,为简支小箱梁,其余为简支空心板梁;桥基采用钻孔灌注桩。

2 主要技术标准

(1)道路等级:城市次干路 I 级,红线宽度 40 m (曙光路至规划河滨路为 60 m)。

(2)设计车速:40 km/h。

(3)跨路净空高度:4.5 m。

(4)汽车荷载等级:城-A 级。

(5)人群荷载:按《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ 77—98)^[2]取用。

(6)抗震要求:地震动峰值加速度 $0.1g$ (等同于按地震基本烈度 VII 度设防)。

(7)最大台后填土高度:2.5 m。

(8)通航标准:浦东运河要求一跨过河,墩台间的净宽不小于 85 m,通航净宽 67 m,梁底控制高程 10.0 m;设计最高通航水位 3.0 m,设计最低通航水位 2.0 m。

3 总体及结构设计

(1)总体布置

新太平桥总体跨径采用 $4 \times 22.84 + 29.84 + 2 \times 22.84 + (112 + 72) + 5 \times 22.84 = 465.08$ m 的布置方案。主桥为两跨连续独塔双索面自锚式悬索桥,跨径布置为:112+72=184 m。主缆主跨的跨垂跨比为 1/10,主桥桥梁横断面布置如下:0.25 m(栏杆)+2.5 m(人行道)+1.0 m(吊杆区)+3.5 m(非机动车道)+0.5 m(隔离墩)+8.0 m(机动车道)+0.5 m(中央分隔带)+8.0 m(机动车道)+0.5 m(隔离墩)+3.5 m(非机动车道)+

收稿日期:2024-04-25

作者简介:张芳途(1980—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

1.0 m (吊杆区)+2.5 m(人行道)+ 0.25 m(栏杆)= 32.0 m。引桥桥面总宽为 17.5 m,行人和非机动车通过坡道引至地面辅道。下部结构为柱式桥墩,设承台、钻孔灌注桩为基础,总体布置如图 2 所示。

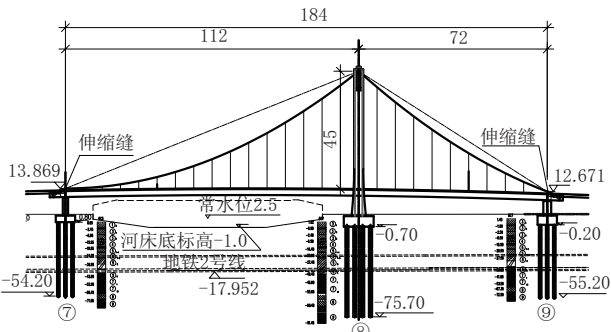


图 2 新太平桥总体布置图(单位:m)
桥梁横断面布置如图 3、图 4、图 5 所示。

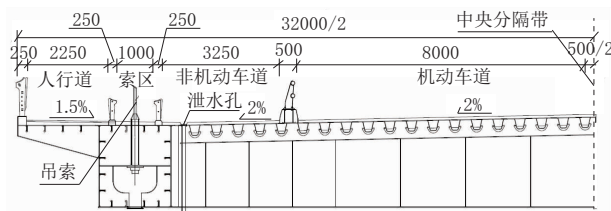


图 3 主桥标准横断面图(单位:mm)

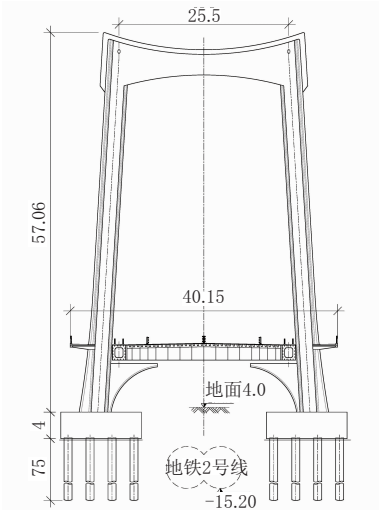


图 4 主桥主塔处横断面图(单位:m)

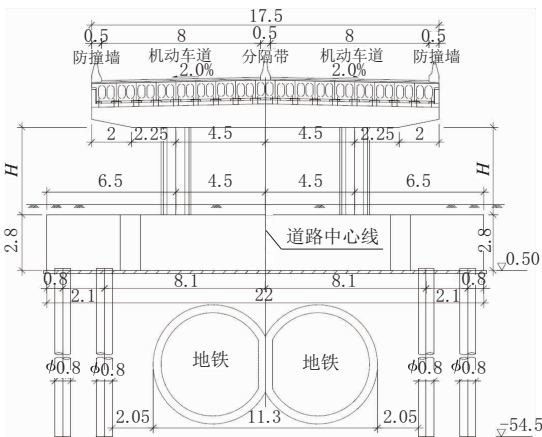


图 5 引桥标准横断面图(单位:m)

由于地铁 2 号线区间盾构从本项目的道路中心线穿过,因此引桥采用了预应力承台进行跨越避让。

(2)钢主梁设计

主梁采用双边箱钢梁+横梁+正交异性钢桥的面板结构。主梁两侧边箱宽 2 m,高度 2.267 m,顶板厚 20 mm,底板厚 28 mm,腹板厚 16 mm。两侧边箱之间设横梁,纵向间距为 3.5 m,边箱外挑 2.25 m 以设置人行道,使桥梁总宽达 32 m,桥面设有双向 2%的横坡,桥梁中线处的梁高 2.5 m。桥面板厚度 14 mm,采用 U 型加劲肋。吊索在钢梁上纵向索距为 7 m,因此钢梁的标准节段长度也是 7 m,全桥共分为 27 个钢梁节段,节段间为全焊连接,位于桥塔附近和梁端主缆锚固处的为特殊节段。梁端的锚固采用厚锚板和加劲肋形式,将强大的缆力均匀传递到边箱内,并适当调整主缆入梁角度,使得锚固段的主梁与标准梁段同高。

(3)主缆

主缆共 2 根,间距 25.5 m,每根主缆均由 19 股平行钢丝索股^[1]组成,每股含 91 根直径 5.0 mm 的镀锌高强低松弛平行钢丝。塔顶采用鞍座,梁端采用散索套,散索套支撑于主梁顶面,纵向可滑动,以释放多余内力。梁端锚头采用冷铸锚。

(4)吊索

吊索采用高强镀锌平行钢丝成品索,每根吊索含 109 根直径 5.0 mm 的镀锌高强钢丝成品索,全桥共 24 对,横桥向为双索面布置。两端锚头均为冷铸锚,梁端锚固在边箱内,采用套管螺母的方式,在箱梁底板开孔,梁下张拉;主缆端采用销轴耳叉锚固。索夹采用上下两半结构,以方便安装。

(5)桥面铺装

钢桥面铺装体系的设计根据项目所在地的气候环境、自然条件与桥面通行车辆的情况,以及项目所在区域的施工能力,综合考虑后采用了双层高弹改性沥青 SMA(Stone Mastic Asphalt)10 的钢桥面铺装体系,如表 1 所列。

表 1 钢桥面铺装体系

铺装上层	3.5 cm 高弹改性沥青 SMA10
黏结层	改性乳化沥青
铺装下层	3.5 cm 高弹改性沥青 SMA10
防水层	防水黏结层
防腐层	环氧富锌漆一道 80 μm
钢板	喷砂(抛丸)除锈 Sa2.5 级

(6) 索塔

索塔采用钢筋混凝土门形塔,塔高 45 m,由上、下塔柱及上横梁三部分组成,塔高(从承台顶面算起)为 57.06 m,桥面以上塔高为 46.989 m,主塔塔柱设计为向内倾的斜塔柱,以保持主缆为平行索面。

下塔柱高 18 m,其中 7.4 m 为单箱单室截面。内侧壁厚 0.6 m,外侧壁厚 0.900~1.068 m。下塔柱内侧设置圆弧形牛腿,一直延伸至承台顶面,牛腿上布置支座。

上塔柱高 39.060 m, 其中塔顶 3.868 m 为后浇混凝土装饰罩。上塔柱横桥向宽 3.3 m、顺桥向宽 3.5 m, 采用单箱单室截面, 基本壁厚为 0.6 m, 外侧壁厚为 0.9 m, 柱顶为主鞍座区域。上塔柱横断面如图 6 所示。

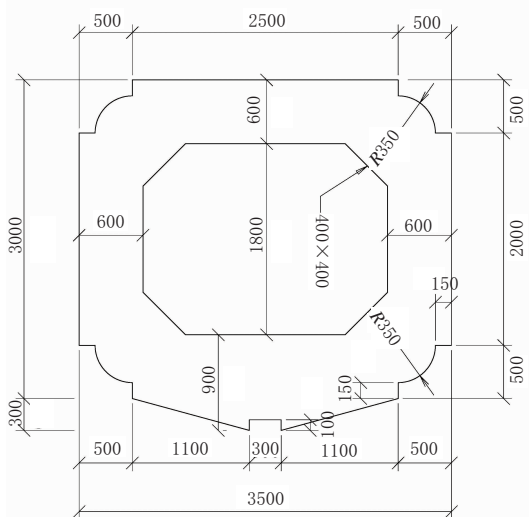


图 6 上塔柱标准横断面图(单位:mm)

上横梁位于塔柱顶部,高 2.50~3.99 m,底板为弧形,顺桥向宽 3.5 m,采用单箱单室截面。横梁顶、底板厚度为 0.4 m,腹板厚度为 0.4 m。

上塔柱底部、上横梁顶面留有进人孔,塔柱内部设检修爬梯,检修人员可到达塔顶进行检修工作。

(7) 桥梁施工

本桥为自锚式悬索桥,采用“先梁后索”的方式进行施工。主梁采用少支架法进行拼装,在河中设置2个临时墩,中间预留49 m的临时通航净宽,采用船吊分段吊装的方法施工;在边跨及主塔附近岸上搭设膺架,采用支架法架设。安装主梁可选择的方法有顶推法、节段滑移法、分段吊装法等,经过综合比选,最后采用船吊分段吊装的方法进行主梁拼装施工。

缆索系统在主梁施工完毕后再进行施工。主缆采用预制平行钢丝索股的安装方法,先架设猫道,再利用桥面固定的循环牵引装置进行索股的架设,然后进行索夹、主缆缠丝等施工,最后进行吊索施工并

张拉。

经过多轮调索,达到预定索力后,主梁落架,再进行桥面附属结构的施工,最终成桥。

4 项目主要特点与难点及解决方案

新太平桥主桥为独塔两跨不对称自锚式悬索桥,结构较复杂,主要特点及难点如下。

(1)结构体系

大多数悬索桥结构体系都采用了全漂浮或半漂浮体系,纵向不设固定约束,采用阻尼器来防止风载或地震荷载下纵桥向位移过大,能满足正常使用状态下温度变形的需要,但阻尼器的价格及维护成本较高。

本桥由于只有两跨,且跨径不大,地震荷载响应较小,可以采用的约束体系除了漂浮体系外,还有连续梁体系和中墩固接体系。经过受力计算及构造比选,连续梁体系不但受力情况较好,且避免了钢梁与砗塔的复杂固接构造,因此最终本桥设计方案采用了连续梁体系,以实现简单可靠、宜维护的优点。

(2) 不设加高段主缆锚固区设计

常规自锚式悬索桥的梁端锚固区都采用了加高的方式,外形较为笨重。本桥在梁端锚固区采用了与标准断面等高的形式,通过调整主缆入梁角度,使得主缆的受力传递到梁端以轴力为主。主缆在梁端顶面设置散索套,散索后锚固于钢锚板上,在锚板设加劲,并把缆力均匀地传递到边箱上。经过详细计算,该构造受力良好,满足规范要求。图 7 为主缆梁端锚固区三维应力分析。

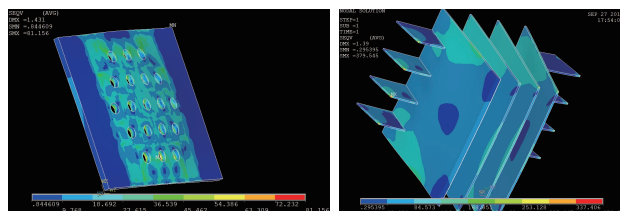


图 7 主缆梁端锚固区三维应力分析

(3) 吊杆锚固形式

本桥主梁为双边箱形式,梁高仅为 2 m,且最大吊杆力不到 100 t,故本桥吊杆在梁端采用锚管的简单形式进行锚固。每个吊杆对应一个横隔板,锚管采用无缝钢管,将横隔板一分为二,锚管两侧与横隔板焊接成一体,锚管所在横隔板均垂直与水平面布置。主缆端采用销轴耳板锚固,为固定端。梁端为张拉端,锚头设在边箱内,在底板开张拉孔,在梁下进行张拉。

(4)新工艺新材料新技术应用

为提高耐久性、减少维护次数和成本,该桥采用了一系列如下的新工艺新材料及新技术:

a. 主缆及吊索钢丝涂层采用镀锌铝工艺,代替传统镀锌钢丝,具有更好的耐腐蚀性。

b. 主缆外防腐采用氯磺化聚乙烯缠包带新材料,代替传统油漆防腐,解决了油漆寿命短、易开裂的问题,外防腐寿命可达 30 a 以上。

c. 梁端索导管的漏水问题一直是难以解决的问题,是导致锚头锈蚀,进而影响整个缆索的耐久性的最大因素。本桥采用了在索导管前端设置铝合金气囊防水的新技术,较好地解决了索导管的漏水问题,当前使用情况良好。

(5) 预应力承台

本项目与地铁 2 号线重叠,地铁区间盾构为倒 8 字形,位于桥梁中心线处,根据地铁部门要求,本项目桩基只能设置在盾构两侧,且间距不小于 16 m。有两种方案可解决横向布置问题:第一种为将基础和桥墩设置在两侧,上面采用大跨度盖梁的方案,但是由于桥面仅为 17.5 m,盖梁两侧会有多余部分露出,景观性差;第二种为在两基础间设置承台系梁,系梁上布置桥墩,这种方案下的桥墩盖梁可按常规布置,承台埋于地下,不影响景观,但是承台系梁需要设置预应力。经过综合比选,最后本桥采用了第二种方案设置预应力承台的方式,在不影响景观的前提下,完美地避开了地铁盾构,取得了较好的社会效益。需要注意的是,应加强承台的防水能力。

(6) 主塔造型设计

本项目位于上海浦东新区的川沙新市镇,主塔造型设计脱胎于川沙镇名居——黄炎培故居,名为川沙之脊,意在融入川沙历史之悠久,传达开放新城之力量(见图 8)。主塔造型简洁、美观且富有意境。

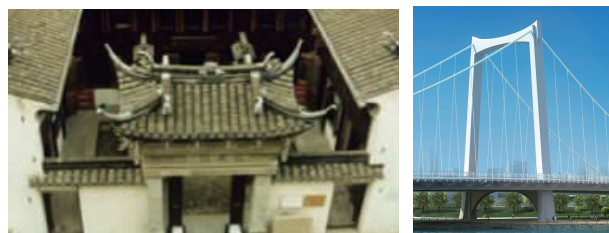


图 8 主塔造型演变

5 结 语

(1) 本文简要介绍了新太平桥的项目概况、美学设计、总体布置与结构设计、项目特点、技术难点及解决方法等情况。采用了一系列新技术、新材料、新工艺、新构造和新造型,解决了相应设计难题,以期作为同类桥型设计的参考。

(2) 新太平桥于 2008 年开工,2010 年竣工通车,克服了地铁 2 号线同期建设、拆迁等困难,历时 12 a,在各参建方的共同努力下,终于圆满完成建设任务。

参考文献:

- [1] JTG/T D65-05—2015,公路悬索桥设计规范[S].
- [2] CJJ 77—98,城市桥梁设计荷载标准[S].

(上接第 37 页)

(2) 在原状土密实度较小且含水量较大工况下,桩间距减少,增加挤密能量级别,可以获得较好的扩孔效果,进而增加桩基础深层的密实度和稳定性。

(3) 建筑工程的复合地基承载力验收标准为褥垫层以上的承载力值,灰土桩桩径 B 和灰土桩桩间距 C 对复合地基承载力有很强的相关性和显著性,其他因素相关性不明显;市政道路工程因为有管道基础的埋深影响,需要深层土体的压实效果,采用增大灰土桩击实能量级别的方案更为经济。

(4) 考虑湿陷性黄土一般构造较深,兼顾投资因素的前提下,适当的增大挤密夯击能量级别,通过扩孔被动增大桩径的方案能够产生更好的工程效果和

经济效益。

参考文献:

- [1] 德成,王中荣,李春秀.灰土挤密桩处理回填砂土施工难点解决及效果[J].勘察科学技术,2016(4):29-31,54.
- [2] 王宗文.灰土桩在处理湿陷性黄土地基中的应用与研究[J].施工技术,2015,44(增刊 1):64-67.
- [3] 齐秀廷.夯扩挤密桩改良强湿陷性黄土地基试验研究[J].中外公路,2015,35(2):57-60.
- [4] 张苇,郑建峰,杜湧.多桩型复合地基在湿陷性黄土地区的应用[J].施工技术,2014,43(17):11-15.
- [5] 刘松玉.公路地基处理(第二版)[M].南京:东南大学出版社,2009.
- [6] 盛聚,谢式千,潘承毅.概率论与数理统计(第二版)[M].北京:高等教育出版社,1995.
- [7] 辛益军.方差分析与实验设计[M].北京:中国财政经济出版社,2001.