

宿迁市北京路京杭运河网状吊杆拱桥设计

顾 超

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 宿迁市北京路京杭运河桥主桥是一座 40 m+172.5 m+40 m 的网状吊杆拱桥,主桥全长 252.5 m。标准断面全宽 37.45 m,主梁采用双边钢箱梁。主拱矢高 28.75 m,矢跨比 1/6,主拱采用带有外包装饰板的钢箱拱。吊杆采用网状布置。通过详细介绍宿迁市北京路京杭运河桥的设计和计算情况,以期为其他类似工程提供参考。

关键词: 拱桥;网状吊杆;钢箱拱;双边钢箱梁

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)11-0074-03

0 引 言

网状吊杆拱桥的拱肋、主梁(系杆)的弯矩很小,能充分发挥“拱肋受压、系杆受拉”的力学意图,同时网状吊杆拱桥具有较大的竖向刚度和自振频率,行车条件较为舒适。然而,网状吊杆拱桥的疲劳应力幅相对较大,在吊杆的节点构造上也相对复杂^[1-2]。网状吊杆拱桥在欧美的应用比较广泛,在我国的应用则相对较少。仅在京沪高铁蕴藻浜特大桥、武广客运专线胡家湾特大桥^[3]、济南齐鲁黄河大桥^[4]、深圳大桥^[5]等为数不多的大桥中被采用。网状吊杆拱桥受力性能优良,经济性较好,是一种非常值得推广的桥型。

1 工程概况

宿迁市北京路快速化改造工程西起迎宾大道,东至宿连高速-新扬高速立交西侧收费站,路线总长度为 11.51 km。主线采用城市快速路标准,设计速度为 80 km/h,双向 6 车道;辅路采用城市主干路标准,设计速度为 50 km/h。北京路京杭运河桥是该工程的重要节点,景观要求高。经过方案比选,主桥采用主跨 172.5 m 的网状拱桥跨越通航水域。主桥立面布置图如图 1 所示,主桥效果图如图 2 所示。

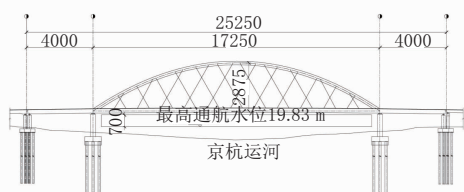


图 1 主桥立面布置图(单位:cm)



图 2 主桥效果图

2 技术标准

(1)荷载等级:城-A级;人群荷载按照《城市桥梁设计规范》(2019年版)(CJJ 11—2011)执行。

(2)桥梁设计使用年限:100 a。

(3)桥梁设计安全等级:一级,结构重要性系数 1.1。

(4)抗震设防标准:地震动峰值加速度 0.3g,抗震设防基本烈度 8 度。抗震设防类别为甲类,抗震设防措施等级按 9 度要求。

(5)耐久性设计环境类别:Ⅰ类。

(6)通航标准净空高度:京杭运河为二级航道,主桥通航净空 162.5×7 m。设计最高通航水位 19.83 m(85 高程),设计最低通航水位 17.83 m(85 高程)。

(7)设计风速:设计基本风速 $V_{10}=26.7$ m/s。

3 结构设计

3.1 结构体系

主桥采用连续体系,主墩采用 1 个 30 000 kN 固定摩擦摆支座,2 个 30 000 kN 单向滑动摩擦摆支座,1 个 30 000 kN 双向滑动摩擦摆支座。两处边墩各采用 1 个 6 000 kN 单向滑动摩擦摆支座和 1 个 6 000 kN 双向滑动摩擦摆支座。采用连续体系可以

收稿日期:2022-01-16

作者简介:顾超(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

有效地减少梁端转角,令行车更为舒适。

3.2 下部结构设计

运河桥主桥主墩采用分离式双柱桥墩,墩柱间距为 31.84 m,沿墩高方向墩柱等截面,截面轮廓尺寸为 4.1 m(横桥向)×3.0 m(顺桥向),横桥向直线段长度为 3.0 m,两侧迎水面采用半径为 2.32 m 的圆弧。基础采用 9 根直径 1.5 m 钻孔灌注桩组成的群桩基础,承台尺寸为 10 m×10 m×3 m,承台下设置 2 m 厚的封底混凝土。运河桥主桥两侧过渡墩形式不同,Pyhy21 边墩采用分离式双柱桥墩,Pyhy24 边墩采用 2 个分离式的盖梁独柱桥墩。主墩立柱及承台平面布置图如图 3 所示。

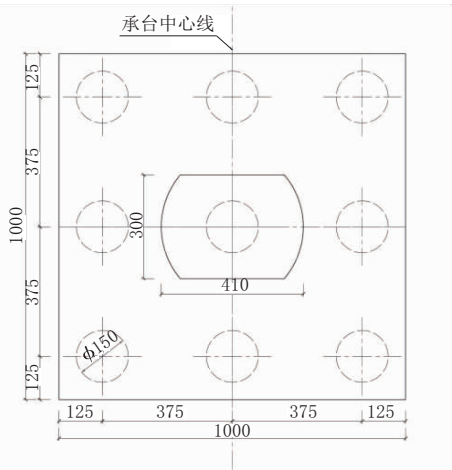


图 3 主墩立柱及承台平面布置图(单位:cm)

3.3 主梁设计

主梁为正交异性双边钢箱梁,全宽 37.45 m。钢梁由钢梁标准段和拱梁结合段两部分组成。

(1)钢梁标准段

主梁钢结构采用双边钢箱梁,钢梁标准段全宽 37.45 m,梁高 2.5 m。其中,标准节段长 7 m,每隔 3.5 m 设置一道横梁、箱梁横隔板及人行挑梁。钢梁标准段分为 A、B、C、D 四种类型。

双边钢箱梁采用平行四边形断面,标准段顶板、底板、腹板均厚 30 mm,加劲肋采用 220×22 mm 板肋。车行道区域顶板板厚 16 mm,加劲肋采用 10 m 厚,开口 300 mm,高度 280 mm 的 U 肋。人行道顶板厚 12 mm,加劲肋采用 100×10 mm 板肋。

横梁采用工字形断面,标准横梁腹板厚 20 mm,横梁底板宽 600 mm,横梁底板厚度由跨中的 45 mm 渐变至 36 mm。横梁腹板加劲肋采用 140×14 mm 板肋。钢主梁标准横断面如图 4 所示。

(2)拱梁结合段

全桥对称设置两个拱梁结合段,拱梁结合段长

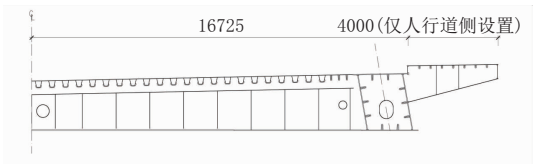


图 4 钢主梁标准横断面图(单位:cm)

15.75 m。

拱梁结合段纵向主梁顶板、底板厚度由端部的 30 mm 加厚至 40 mm。主拱断面的顶板、底板均厚 50 mm。主拱与主梁的腹板为同一块板件,厚 50 mm。主拱的顶、底、腹板加劲肋采用 360×36 mm 板肋,纵向主梁的顶、底板加劲肋采用 300×30 mm 板肋。

3.4 主拱设计

主桥主拱水平投影的矢高 28.75 m,矢跨比 1/6,主拱拱轴采用 2 次抛物线,采用提篮形拱,拱肋倾角 10°。主拱由 A 类拱肋及横撑组成。全桥共 16 个 A 类拱肋节段。

A 类拱肋主受力部分采用矩形断面,主拱高度 2.2 m,主拱宽度 2.8 m。外包装板形成六边形断面,拱肋分为 A1、A2、A3、A4 共 4 个主拱区段,其中 A1、A2、A3 区段拱肋顶、底、腹板的厚度均为 40 mm,加劲肋采用 300×30 mm 板肋;A4 区段拱肋顶、底、腹板的厚度由 40 mm 加厚至 50 mm,加劲肋采用 300×30 mm 板肋变化至 360×36 mm 板肋。拱肋横隔板分为普通隔板、横撑隔板和吊点隔板三类。普通隔板沿拱轴线法向布置,厚度 20 mm;横撑隔板与横撑腹板位置对齐,厚度 30 mm;吊点隔板沿斜吊杆中心线布置,厚度 30 mm。

横撑采用钢箱结构,宽 1.6 m,高 1.5 m,顶、底、腹板的厚度均为 30 mm,加劲肋采用 220×20 mm 板肋。全桥共 6 道横撑。

主拱及横撑断面如图 5 所示。

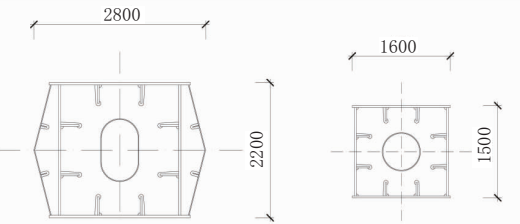


图 5 主拱及横撑断面(单位:cm)

3.5 吊杆设计

吊杆采用网状布置,斜吊杆与水平线夹角约 60°。根据倾斜方向不同分为 W1~W11、N1~N11 两组共 22 对吊杆,吊杆横桥向对称布置,全桥共 44 根。吊杆索体采用环氧涂层钢绞线,型号为 $\phi 15.2-25$,抗拉强度 $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$ 。吊杆疲劳性能满足:应力上

限为 $0.4 f_{ptk}$, 应力幅为 400 MPa, 经 200 万次循环荷载。梁上张拉端及拱端均采用销接式叉耳。

4 结构静力计算

4.1 结构建模

采用大型有限元分析软件 Midas Civil 进行建模计算, 主梁、主拱采用梁单元模拟, 吊杆采用桁架单元模拟。整个结构计算模型共有 261 个节点, 256 个单元。结构边界条件根据结构实际情况分别进行模拟, 并考虑了截面的有效分布宽度。计算模型图如图 6 所示。

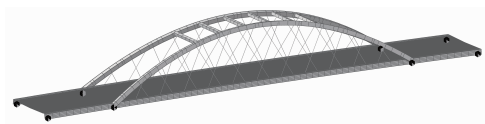


图 6 计算模型图

4.2 静力计算结果

如图 7 至图 10 所示, 从内力图上可以看到主梁和主拱在恒载作用下弯矩很小, 主拱的压力和主梁的拉力整体分布也比较均匀。基本组合下主拱、主梁的弯矩、轴力分布也比较均匀。

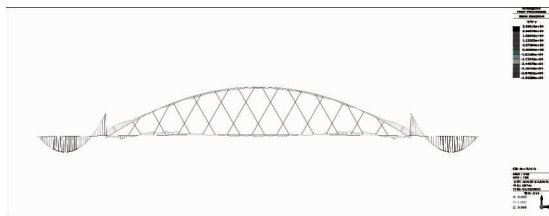


图 7 恒载作用 主梁主拱弯矩图 (单位: kN·m)



图 8 恒载作用 主梁主拱轴力图 (单位: kN)

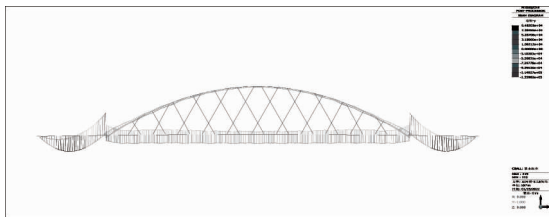


图 9 基本组合 主梁主拱弯矩图 (单位: kN·m)

承载能力基本组合作用下, 第一体系主梁上缘最大拉应力 118.7 MPa, 主梁上缘最大压应力 102.3 MPa; 第一体系主梁下缘最大拉应力 135.2 MPa, 主梁下缘最大压应力 167.4 MPa。主拱上缘最大压应力

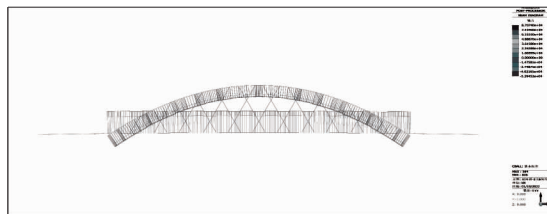


图 10 基本组合 主梁主拱轴力图 (单位: kN)

157.3 MPa, 主拱下缘最大压应力 187.6 MPa。主梁和主拱均采用 Q345qD 钢材, 应力满足规范要求。

汽车活载作用下, 主梁中跨最大竖向位移为 45 mm, 相应挠跨比为 1/3833; 主梁边跨最大竖向位移为 13 mm, 相应挠跨比为 1/3076。结构的刚度很大, 活载的变形量很小。

4.3 稳定性分析结果

主桥成桥状态一阶失稳模态为主拱横桥向侧弯, 如图 11 所示。一期 + 二期恒载 + 拱脚最不利活载状态下一阶弹性稳定系数为 $8.65 > 4.0$, 满足规范要求。

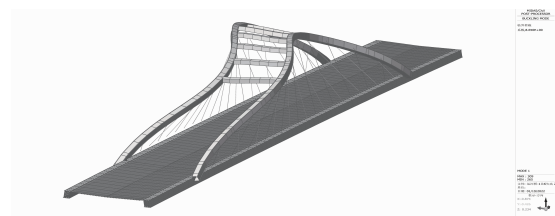


图 11 一阶失稳模态

5 结 语

宿迁市北京路京杭运河桥是一座网状吊杆拱桥, 采用矩形断面钢主拱和双边箱钢主梁。双边箱钢主梁可以充分发挥钢主梁抗拉的性能, 而不必配置水平向预应力系杆。

网状吊杆体系使拱、梁、吊杆的受力更为合理、结构纤细美观、造价更为经济。网状吊杆拱桥是一种值得在市政、公路领域进一步推广的桥型。

参考文献:

- [1] 邵长宇. 现代拱桥[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
- [2] 林英, 何承珩, 任淑琰, 等. 网状系杆拱桥——一种经济美观的桥型[J]. 结构工程师, 2006, 22(5): 1-5.
- [3] 何波. 高速铁路网状吊杆系杆拱桥结构分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [4] 赵世超. 齐鲁黄河大桥约束体系及抗震计算[J]. 城市道桥与防洪, 2020(11): 38-41.
- [5] 周浩. 230 m 网状吊杆组合梁拱桥设计分析[J]. 城市道桥与防洪, 2020(5): 87-90.