

某单跨 100 m 钢箱系杆拱桥总体设计

周祥树

(江苏省科佳工程设计有限公司, 江苏 无锡 214002)

摘 要:介绍了某单跨 100 m 下承式钢箱系杆拱桥的总体设计情况,包括结构形式、桥跨布置、断面形式、设计施工要点,以期对类似工程提供参考。

关键词:桥梁;钢箱系杆拱;拱桥;总体设计;设计要点

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)10-0066-03

0 引言

随着人们审美观的提升,对城市桥梁外观及造型要求越来越高,而受建设场地及桥下通行限制,传统混凝土系杆拱桥已难以满足施工要求。

下承式钢箱系杆拱桥由于其跨越能力强、结构高度低、工厂化预制、架设速度快、中断交通时间最短等优越性,近年来在桥梁领域应用越来越多。同时钢箱系杆拱桥结构轻巧独特、富有动态,配以靓丽涂装还能城市增添一道风景线,因此在城市桥梁领域有着特殊的优越性,应用前景乐观。

我国的应用实践表明,钢箱系杆拱桥不仅可以很好地满足结构功能要求,而且具有良好的技术经济效益^[1]。随着设计规范及计算软件的发展,对钢箱系杆拱桥的计算也越来越完善。

1 工程概况

1.1 项目简介

本项目位于无锡市锡山经济开发区西部,桥梁位于通云路上中心桩号 K0+314.874,主桥跨越现状北兴塘河五级航道,通航净空 45 m×5 m,道路中心线与航道夹角 62.1°。桥位西侧为 1 根架空 110 kV 高压电缆,电缆与桥位水平净距最低 1.4 m;桥位东侧为 2 道架空热力管道,管道距桥位边线约 8 m。根据实际调查,现状高压电缆及热力管道均不具备迁改条件。主桥桥位平面图见图 1。

桥梁南引桥下存在 1 条下穿道路,桥梁中心桩号距南侧交叉口不足 300 m。受水域通航要求,主桥

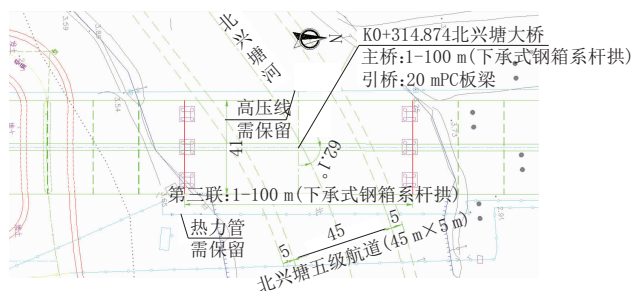


图 1 主桥桥位平面图

跨度应不低于 100 m;受现场建设条件和投资限制,主桥应尽量降低结构高度,同时减小引桥规模以节约投资,且主桥施工不能采用吊装或支架拼装施工。经过方案比选论证,最终确定主桥采用单跨 100 m 下承式钢箱系杆拱结构,引桥采用 20 m 预应力混凝土简支板梁;主桥采用南岸拼装、整体顶推过河,引桥采用桥位东侧吊装施工。

1.2 结构概况

桥梁横断面见图 2。桥面为 C50 混凝土预制桥面板,主梁横断面布置:5.25 m (人非混行道)+1.75 m (拱肋)+0.5 m (边防撞墙)+11.5 m (机动车道)+3 m (中分带)+11.5 m (机动车道)+0.5 m (边防撞墙)+1.75 m (拱肋)+5.25 m (人非混行道),全宽 41 m。

桥梁主桥立面图见图 3。主桥采用下承式钢箱系杆拱结构,主拱拱圈计算跨径为 96.8 m,矢高 20 m,矢跨比为 1/4.84,拱轴线采用 2 次抛物线。上部结构由桥面系统、拱肋、吊杆等组成。其中桥面系统由外侧挑梁、系杆及钢横梁组成。

主桥立面布置如下:

(1)拱肋:拱肋采用 3 片全焊矩形钢箱结构,拱圈结构采用 2 050 mm×1 750 mm 矩形断面,顶底板厚度 20~24 mm,腹板厚度 20~24 mm,拱圈内部每边设

收稿日期: 2021-12-08

作者简介:周祥树(1981—),男,硕士,高级工程师,主要从事桥梁设计工作。

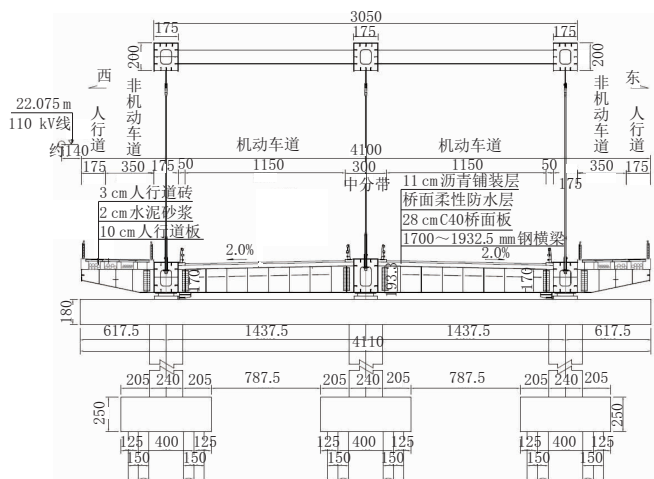


图 2 桥梁横断面(单位:cm)

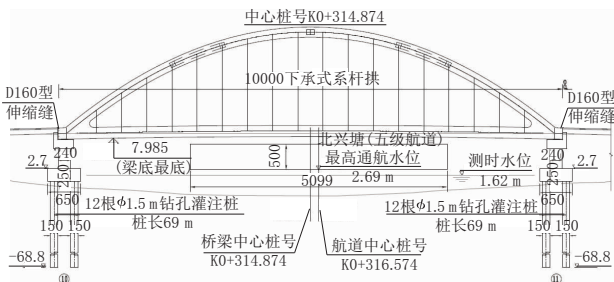


图3 桥梁主桥立面(单位:cm)

置 I 型纵向加劲。为增强拱肋横向稳定性,2 片拱肋间设置钢风撑,拱肋断面见图 4。

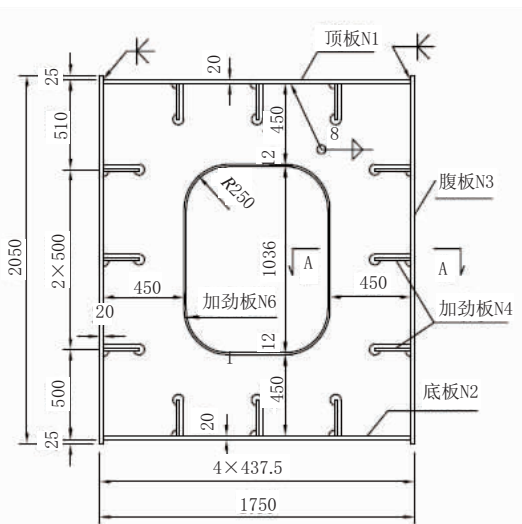


图 4 拱肋断面(单位:mm)

(2)吊杆:采用平行高强钢丝成品索,吊杆纵桥向间距均为 5 m。上端采用吊耳销接在拱肋上,系梁端采用冷铸墩头锚,吊杆锚头设置球面支座,以减小吊索附加内力。

(3)系梁:采用3片全焊矩形钢箱结构,边系杆采用 $2\ 200\text{ mm}\times 1\ 750\text{ mm}$ 矩形断面,中系杆采用 $2\ 433\text{ mm}\times 1\ 750\text{ mm}$ 矩形断面;系杆顶底板厚度 $24\sim 28\text{ mm}$,腹板厚度 $24\sim 28\text{ mm}$;系杆横桥向与挑梁

及横梁焊接成整体,为便于横向拼接,系杆顶、底板均设置翼缘板。系梁断面见图 5。

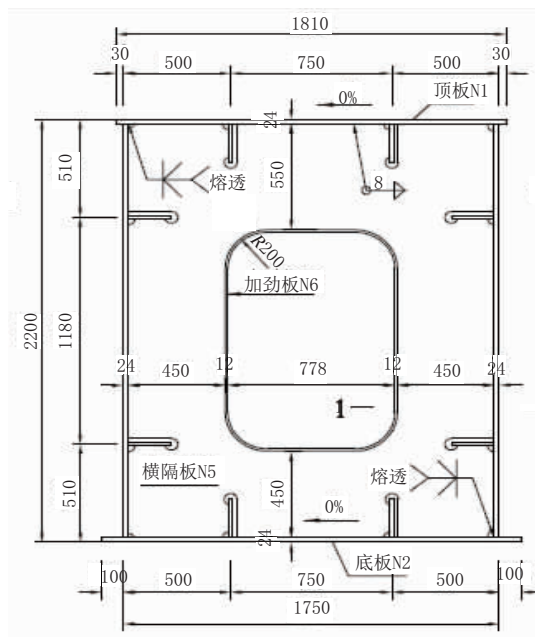


图 5 系梁断面(单位:mm)

(4)挑梁:挑梁为悬臂结构,主要承担人行及非机动车道荷载;采用“工”字形断面,工字型上翼缘宽0.6 m,下翼缘宽0.5 m,挑梁高度1.1~2.2 m,顺桥向间距5 m,挑梁横向与系杆焊接成整体。

(5) 横梁: 端横梁梁体为箱形断面, 纵桥向宽 2.2 m, 高度 2.200 ~ 2.433 m; 中横梁为“工”字形断面, 上翼缘宽 0.6 m, 下翼缘宽 0.5 m, 中横梁高度 2.200 ~ 2.433 m。

(6)小纵梁:纵梁分为2种类型,行车道横向设置4道纵梁,人行道范围横向设置2道纵梁,均为“工”字形断面,上翼缘宽0.6 m,下翼缘宽0.5 m;车行道纵梁梁高1.3 m,人行道纵梁梁高0.75 m。在横梁、挑梁和车行道纵梁上设有剪力键。

2 结构分析

2.1 荷载及组合

(1)恒载:钢筋混凝土容重 $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$; 沥青混凝土容重 $\gamma=24 \text{ kN/m}^3$; 钢材容重 $\gamma=78.5 \text{ kN/m}^3$ 。

(2)活载:汽车荷载取城—A级,双向6车道;动车荷载按《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)取用。

(3)温度荷载:计算体系均匀升温 30℃、降温 30℃引起的效应。

(4)风荷载:考虑横桥向与汽车组合风,基本风速 28.6 m/s 。

2.2 计算模型

采用空间有限元程序(Midas/Civil)建立总体计算模型,其中拱肋、系梁、横梁、纵梁采用梁单元,吊杆采用桁架单元,桥面板不参与总体受力。结构计算模型见图 6。

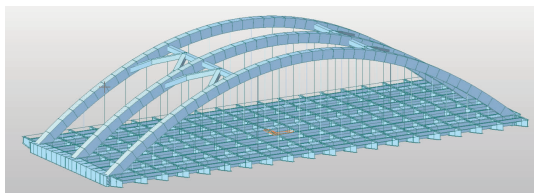


图 6 结构计算模型

2.3 主要计算结果

2.3.1 系梁强度

承载能力组合作用下,系梁最大应力 130 MPa,小于规范^[2]中 Q345qd 钢材强度 $270/1.1=245$ MPa 设计值,系梁强度满足规范要求。

2.3.2 拱肋强度

拱肋面内抗弯惯性矩 $I_y = 0.106\ 863\ \text{m}^4$,拱肋面积 $A = 0.180\ 4\ \text{m}^2$ 。

计算长度 L 为拱脚到横撑的距离,约为 35 m,则拱肋长细比为 45.5,对应整体稳定系数为 0.83。

承载力组合作用下,拱肋最大应力 155 MPa,小于规范^[2]中 Q345qd 钢材强度设计 $270/1.1 \times 0.83 = 204$ MPa,满足规范要求。

2.3.3 结构整体稳定性

在恒载、制动力、横风荷载、活载作用下对上部结构进行稳定性验算,得到的 1 阶失稳模态见图 7。

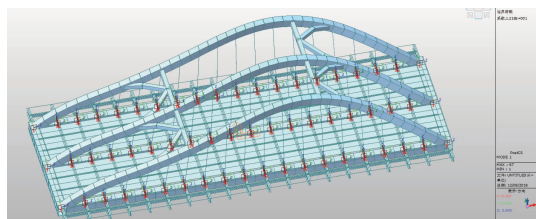


图 7 1 阶失稳模态($K=12.1$)

在成桥工况下,1 阶失稳为拱肋面内失稳,稳定安全系数 $K=12.1$,满足要求^[3]。

3 施工方案

本工程顶推采用步履式顶推设备,在 5#~9# 引桥盖梁顶部、10# 和 11# 主墩顶部设置顶推工作平台。考虑到主桥跨径为 100 m,在距离 10#、11# 主墩中心 24.8 m 河中位置各设置 1 排钢管桩作为临时支墩;为增加通航净宽,临时墩顺航道斜向布置。顶推施工示意图见图 8、图 9。

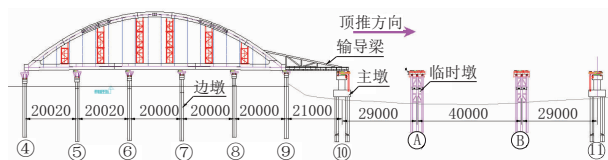


图 8 顶推施工示意图(单位:mm)



图 9 桥梁顶推施工现场图

为减小钢拱桥悬臂距离,保证顶推过程稳定性,在前端位置加设 26 m 前导梁,前导梁上通过背撑与钢拱肋连接;为减小主桥后端下挠,在主桥后端增设 12 m 后导梁。

步履式顶推为水平力自平衡系统,顶托作业时桥墩及基础总体计算时可不计入水平力影响,仅在支架局部计算时需考虑水平荷载影响。借鉴以往经验,考虑顶推过程中构件局部变形不利因素,本项目顶推水平力计算按静摩擦系数 0.1 控制。

本桥为柔性吊杆,顶推过程中,拱肋与系杆间须设置临时支撑以改善系梁受力。综合比较施工措施费用、施工难度、安全性,最终确定采用将拱肋拼装支架作为临时支撑,随主桥一起顶推过河的施工方案。临时胎架底部与系梁焊接固定,顶部与拱肋底板设置螺栓连接,按铰接设计,以降低顶推过程中的次效应。顶推施工前,对吊杆进行初张拉,初张拉荷载 100 kN。初张拉荷载可有效地对支架进行预压,改善顶推过程中支架与系梁及拱肋连接节点的受力状态。

目前桥梁已建成通车近 3 a,使用状况良好。现状施工完成桥梁见图 10。



图 10 现状施工完成桥梁

4 结语

(1)钢箱系杆拱桥可以降低主梁重量、提升跨越

(下转第 80 页)

使用;遭受 E2 地震作用时,可发生局部轻微损伤,不需修复或经简单修复可继续使用。

主桥西侧桥墩高 2.6 m,东侧桥墩高 4.8 m,墩高较低。根据验算结果可知,在 E2 地震作用下,桥墩和桩基依靠结构本身能满足受力要求,不需额外增加桩基或者增大桥墩尺寸,故主桥采用的抗震体系为地震作用下,直接依靠结构本身承担地震作用力。根据 E2 地震下支座所受地震力大小,支座水平承载力需提高至 30%^[12]。

5 结 语

宁波新典桥创造性地采用带有悬挑慢行系统的下承式系杆拱桥,拱轴线采用 1.7 次抛物线,拱肋采用六边箱型截面,由于是异型拱,为了保证拱肋受力的合理性,拱肋上设置两组共六道风撑。系梁采用单箱单室断面,与正交异性桥面系采用焊接连接。悬挑慢行系统布置在主梁两侧,主要包括三个部分:副拱(装饰拱)、挑臂系统、挑臂人行道系统。考虑到行人通过桥底的净空需求,对于小箱梁引桥与主桥衔接位置无法设置盖梁搁置引桥,因此考虑在主梁端部设置牛腿支撑引桥,即节约造价又提升景观效果。

参考文献:

- [1] 熊军,孙东利.宁波市环城南路快速路总体设计[J].城市道桥与防洪,2018,232(8):31-34.
- [2] 冯向宇,李映,郭忆.宁波长丰桥结构设计与分析[C]//第十八届全国桥梁学术会议论文集(下册),2008.
- [3] 姜群.城市景观拱桥的设计要点[J].四川建材,2020,46(9):56-57.
- [4] 魏乐永.拱式结构体系研究[D].上海:同济大学,2007.
- [5] 徐岳,申成岳.下承式系杆拱桥结构体系内力分布优化分析[J].公路交通科技,2015,32(12):67-74,87.
- [6] 吴海军,唐海陶,何立.大内倾角钢箱提篮拱几何非线性稳定分析[J].公路与汽运,2021(1):95-98,103.
- [7] 黄奶清,时娜.横撑布置形式对提篮拱稳定影响[J].安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2011,19(5):5-8.
- [8] 王福春,梁力,李艳凤.下承式系杆拱桥拱脚局部应力有限元分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2011,27(2):281-285.
- [9] 金红亮,华新,韩大章.BIM 技术在南京浦仪公路西段跨江大桥设计中的应用[J].低温建筑技术,2018,40(12):68-72.
- [10] 傅萌萌,曾敏,黄卫,等.深茂铁路潭江特大桥 BIM 设计研究[J].铁路技术创新,2016(3):58-61.
- [11] 丁文俊.朔州市安泰街大桥主桥结构设计[J].城市道桥与防洪,2017(6):107-109.
- [12] 王斌斌,袁建兵,刘延芳,等.宁波姚江大桥抗震性能研究[J].结构工程师,2007(3):38-42.

(上接第 68 页)

能力、降低结构高度,在景观及对梁高要求高的跨河跨路工程中,应用较为广泛。

(2)本项目受两侧架空管线限制,主桥无法采用传统的支架或吊装施工工艺。采用钢箱系杆拱桥整体顶推过河的施工方案,能有效解决主桥施工难题。

(3)主桥顶推施工时,将步履式顶推装置设置于引桥盖梁顶,可大大节省施工支架措施费用,也加快了施工工期。

(4)桥面采用钢筋混凝土预制桥面板,既能有效降低主桥顶推施工总体重量,又可降低后期桥面维护成本。

参考文献:

- [1] 崔佳,熊刚.钢结构基本原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [2] JTG/T D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [3] 吴冲.现代钢桥[M].北京:人民交通出版社,2006.