

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.01.028

斜靠式钢箱拱桥稳定承载力及成桥试验

顾晓毅

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 斜靠式拱桥为采用主拱、斜靠拱、横撑和系梁形成的空间受力体系。以主跨 145 m 斜靠式钢箱拱桥为工程背景, 研究分析其稳定承载力。有限元分析和成桥静动载试验表明: 斜靠式钢箱拱桥具备足够的稳定承载力, 大桥受力性能良好。

关键词: B 桥梁, 拱桥, 斜靠拱, 稳定, 设计

中图分类号: U441+.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0120-03

0 引言

世界上首座斜靠式拱桥为 1987 年建造于巴塞罗那的 Bacde Road Bridge, 我国已建成的斜靠式拱桥有昆山玉峰大桥、义乌丹溪大桥和上海康宁路蕙藻浜大桥等。该类型拱桥是传统拱桥的创新, 避免了主拱间风撑造成的行车压抑感, 同时增设斜靠拱, 与主拱形成的三角形体系有效保证了拱肋的空间稳定性。

斜靠式拱桥一般用于桥面宽度较大、对景观有一定要求的桥梁。国内该类桥梁的最大桥面宽度、主跨分别达到了 60 m 和 160 m。根据桥位地质条件, 斜靠式拱桥可采用有推力拱、系杆拱或组合体系(图 1 所示), 其中(a)、(b)体系适用于地质条件较好地区, (c)、(d)体系适用于软土地区。

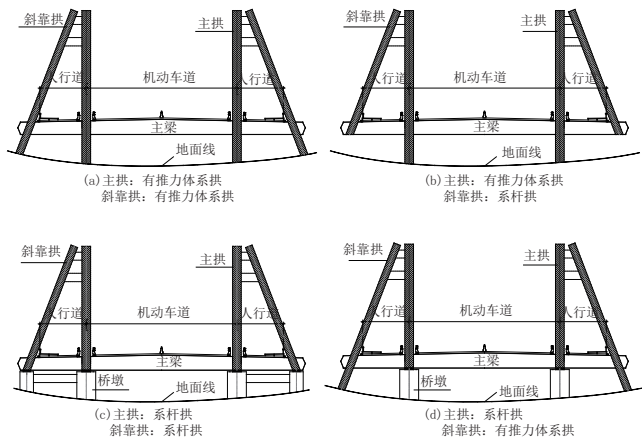


图 1 斜靠式拱桥结构体系(横断面)图

斜靠式钢箱拱桥结构体系较为新颖, 国内相关研究并不多。肖汝诚^[1]等以昆山玉峰大桥为例, 对斜

收稿日期: 2023-03-31

作者简介: 顾晓毅(1980—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计、管理工作。

靠式钢管混凝土拱桥的力学性能、构造特征等问题进行分析; 王玉银^[2]等以广东金山大桥为背景, 探讨其力学性能、破坏机理和稳定承载力; 陈准等以益阳康富南路桥^[3]、潮州韩江北桥^[4]为研究对象, 进行振动特性及参数分析。上述研究主要针对钢管混凝土斜靠拱桥, 而针对斜靠式钢箱拱的稳定研究很少。本文以已建成的上海康宁路蕙藻浜大桥为背景, 研究斜靠式钢箱拱桥的稳定承载力, 同时进行成桥静动载试验, 验证大桥受力性能。

1 大桥设计概况

蕙藻浜大桥采用图 1(c)所示受力体系, 设计荷载等级为城-A 级。大桥主孔跨径 145 m, 矢高 24 m (矢跨比 $\approx 1/6.0$), 桥梁满足机动车、非机动车和行人过河需求, 桥面总宽度达到 52.3 m。大桥采用斜靠式拱桥结构, 斜拱设计倾角为 $\theta=19^\circ$, 斜拱与主拱之间设置风撑, 两片主拱间不设风撑。

考虑河道通航要求, 大桥采用“先拱后梁”的安装方法, 施工期间设置少量支架。大桥主体结构采用便于预制安装的钢箱拱、钢系梁和钢-混凝土叠合桥面系。

拱肋及拱间横撑: 主、斜拱肋均采用全焊接钢箱断面, 拱肋宽度与钢系梁对应; 主拱与斜拱间设置 4 对横撑, 横撑与拱肋采用焊接连接。

钢系梁及桥面系: 钢系梁为单箱室钢箱梁, 对应主拱和斜拱处设置; 桥面系为钢-混凝土叠合梁格体系, 横梁采用开口 H 形焊接钢梁, 其上铺设预制钢筋混凝土桥面板。

吊杆及水平系杆: 吊杆选用平行钢丝拉索, 主、斜吊杆布置在对应拱肋所在面内; 水平系杆选用平行钢

丝冷铸锚拉索,锚固在钢系梁端部。

大桥总体布置如图2、图3所示。

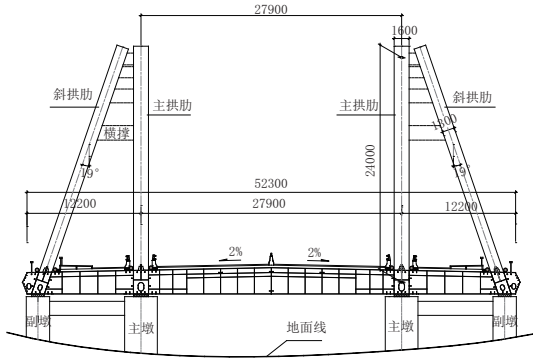


图2 斜靠式钢箱拱桥横断面图(单位:mm)

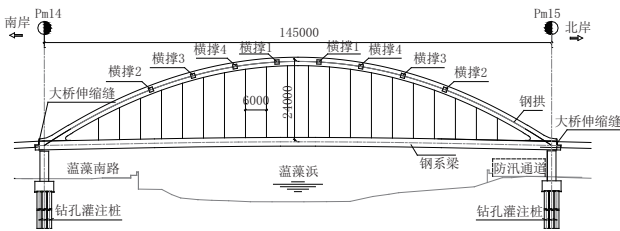


图3 斜靠式钢箱拱桥立面图(单位:mm)

2 稳定承载力分析

2.1 有限元模型

建立有限元空间仿真模型:拱圈、系梁、横梁、横撑均采用空间梁单元,混凝土桥面板采用板单元,吊杆采用拉杆单元,同时输入桥梁下部结构模拟约束刚度。分析模型如图4所示。

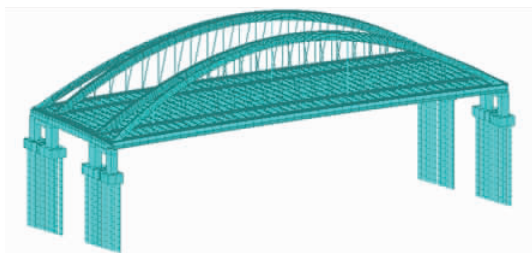


图4 有限元分析模型

2.2 荷载组合工况

主要计算分析见表1所列六种荷载工况^[5]对应的大桥稳定系数,其中重力荷载采用重力加速度场的方法施加,其它荷载换算成等效荷载施加在相应节点处。

2.3 分析结果

通过弹性屈曲稳定分析,得到大桥的屈曲特征值和失稳模态。从图5、图6可见,大桥的屈曲模态前15阶均为拱肋面外失稳,面内失稳出现在第16阶之后,说明大桥的面外刚度相对面内刚度较小。图5中的失稳模态为n倍半波面外失稳,拱顶、1/4L处为拱肋的最大平面外变形位置,该处位移应作为成桥监

表1 荷载组合工况

工况	荷载组合	说明
1	$1.2G+1.4Q_q+0.75 \times 1.4 \times Q_p$	汽车“全桥”布置
2	$1.2G+1.4Q_q'+0.75 \times 1.4 \times Q_p$	汽车“半幅偏载”布置
3	$1.2G+1.4Q_q+0.75 \times (1.4 \times Q_p+1.1 \times Q_w)$	汽车“全桥”布置+风载(汽车活载控制)
4	$1.2G+1.4Q_q'+0.75 \times (1.4 \times Q_p+1.1 \times Q_w)$	汽车“半幅偏载”布置+风载(汽车活载控制)
5	$1.2G+1.4Q_w+0.75 \times (1.4 \times Q_q+1.4 \times Q_p)$	风载+汽车“全桥”(风载控制)
6	$1.2G+1.4Q_w+0.75 \times (1.4 \times Q_q+1.4 \times Q_p')$	风载+汽车“半幅偏载”(风载控制)

注:G为恒载, Q_q/Q_q' 为汽车荷载, Q_p 为人群荷载, Q_w 为风载。

测的重点。

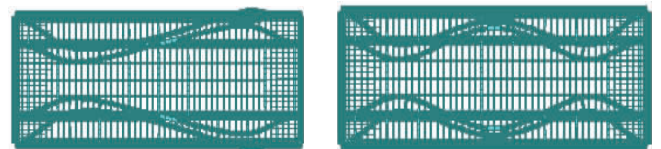


图5 面外弹性屈曲模态(前15阶,特征值系数 $\lambda=4.9\sim 16.0$)



图6 面内弹性屈曲模态(第16阶之后,特征值系数 $\lambda > 16.7$)

考虑几何非线性,对大桥进行非线性稳定分析,其一阶稳定系数及其与弹性屈曲一阶特征值系数的对比如表2所列。从表2可见:(1)大桥的弹性屈曲稳定是以竖向荷载为控制荷载,汽车荷载全桥布置时(工况1、工况3)竖向力最大,其稳定性最低;(2)在考虑几何非线性因素时,由于结构横向刚度较低,对横向风载、活载偏载最为敏感,因此汽车偏载布置、考虑风载时(工况4)稳定性最差;(3)与弹性屈曲稳定相比,在考虑几何非线性后,大桥稳定系数大约降低20%,降低幅度不是很大。

表2 稳定系数表

工况	弹性屈曲一阶特征值系数 f_1	几何非线性一阶稳定系数 f_2	f_2/f_1
1	4.88	4.57	0.94
2	5.12	4.17	0.81
3	4.88	4.58	0.94
4	5.11	4.16	0.82
5	5.08	4.68	0.92
6	5.17	4.27	0.83

3 成桥试验

3.1 试验内容

通过成桥状态试验,主要了解桥梁在设计使用荷载下的结构性能,获取结构静动力特性等特征参数。大桥静、动载试验测点布置如表3所列。

表3 成桥试验测点布置一览表

名称	内容	测点布置	汽车布载方式
静载试验	应力测试	$x=0、L/4、L/2$ 处系梁和拱肋	车队分别布置在 $x=L/4、x=L/2$ 附近
	挠度测试	$x=L/4、L/2$ 处系梁和拱肋	车队分别布置在 $x=L/4、x=L/2$ 附近
动载试验	动应变测试	$x=L/4、L/2$ 处系梁和拱肋	模拟车队以不同速度,在桥面行驶及跳车

注: $x=0、L/4、L/2$ 分别表示拱脚、1/4跨和跨中位置

3.2 静载试验

静载试验结果分析主要包括变位(应力)校验系数、相对残余变位。

大桥静载试验变位校验系数如表4所列。结果表明:各测点挠度实测值均小于理论计算值,检验系数在0.57~0.68之间,满足设计刚度要求。

表4 静载试验变位校验系数表

位置	实测变位值/mm	理论变位值/mm	校验系数
$x=L/4$	拱肋	-31.9	0.57
	系梁	-34.3	0.58
$x=L/2$	拱肋	-18.8	0.68
	系梁	-21.9	0.67

大桥静载试验相对残余变位如表5所列。结果表明:各测点相对残余变位在4.8%~7.8%之间,大桥具备较好的弹性恢复能力。

表5 静载试验相对残余变位一览表

位置	实测总变位/mm	残余变位/mm	相对残余变位
$x=L/4$	拱肋	-33.5	4.8%
	系梁	-36.5	6.0%
$x=L/2$	拱肋	-20.4	7.8%
	系梁	-23.6	7.2%

3.3 动载试验

该桥动载试验应变动态增量 μ 如表6所列。结

果表明:试验车辆以不同速度驶过平整桥面时引起的动态增量为0.04~0.14,驶过模拟不平整桥面时引起的动态增量为0.12~0.29;由于桥梁整体刚度较大,设计中动载冲击效应较为明显。

表6 动载试验应变动态增量一览表

速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	位置	最大动应变 $\xi_d/\mu\varepsilon$	最大静应变 $\xi_s/\mu\varepsilon$	μ
$\nu=10$ 跑车 / 跳车	拱肋上缘	-13.5/-14.5	-13	0.04 / 0.12
	系梁上缘	-7.5/-8.5	-7	0.07 / 0.21
$\nu=20$ 跑车 / 跳车	拱肋上缘	-13.5/-15	-13	0.04 / 0.15
	系梁上缘	-7.5/-9	-7	0.07 / 0.29
$\nu=30$ 跑车	拱肋上缘	-13.8	-13	0.06
	系梁上缘	-7.8	-7	0.11
$\nu=40$ 跑车	拱肋上缘	-14	-13	0.08
	系梁上缘	-8	-7	0.14

4 结 语

通过设置斜靠拱,并通过横撑与主拱形成空间受力体系,可为拱桥提供足够的横向刚度,满足设计要求。成桥静动力试验表明,静载变位校验系数和相对残余变位均反映大桥受力性能良好,同时动载应变动态增长率可达到0.29,设计中动载冲击不可忽视。

参考文献:

- [1] 肖汝诚,孙海涛,等,昆山玉峰大桥:首座大跨度无推力斜靠式拱桥的设计研究[J],土木工程学报,2005,38(1).
- [2] 王玉银,刘昌永,等,斜靠式钢管混凝土拱桥稳定承载力分析及成桥试验[J],建筑结构学报,2005,36(增刊1).
- [3] 陈淮,王艳,等,康富钢管混凝土拱桥振动特性分析[J],世界地震工程,2003,19(4).
- [4] 陈淮,朱倩,等,结构参数变化对斜靠式拱桥动力特性的影响[J],中国公路学报,2009,22(1).
- [5] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com