

横撑对大跨度钢管砼拱桥稳定性的影响分析

杨吉新¹, 梁亚兰¹, 余越², 陈一赫¹, 杨蒋鹤立¹

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430063; 2. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 以某大跨度中承式钢管砼系杆拱桥为背景, 借助有限元软件 MIDAS/Civil 2015 建立有限元空间模型, 分别对不同横撑下的拱桥进行屈曲稳定性分析, 从横撑形式、横撑刚度及横撑间距三方面探究横撑对大跨度钢管砼拱桥稳定性的影响, 为大跨度钢管砼拱桥设计、施工提供指导。

关键词: 桥梁; 大跨度钢管砼拱桥; 横撑; 屈曲分析; 稳定性

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)05-0118-03

钢管砼作为钢-砼组合材料的一种, 一方面借助内填砼提高钢管壁受压时的稳定性, 提高钢管的抗腐蚀性和耐久性; 另一方面借助管壁对砼的套箍作用, 使钢管内砼处于三向受压状态。钢管砼的出现解决了拱桥材料和施工的两大难题, 促进了钢管砼拱桥的发展。也正是因为拱桥结构主要以受压为主, 受压结构普遍存在失稳的问题, 加上大跨度钢管砼拱桥的跨度大、宽跨比较小, 其整体刚度越来越柔, 整体稳定性降低。影响钢管砼拱桥稳定性的因素较多, 如矢跨比、拱肋刚度、拱脚位置和横撑等。该文结合实际工程, 分析横撑对大跨度钢管砼拱桥稳定性的影响。

1 工程概况

合山红水河特大桥主桥为净跨径 210 m 中承式钢管砼拱桥, 主桥长 228 m, 两岸引桥均为 3×20 m 箱梁, 桥梁全长 358.42 m。拱轴线采用悬链线, 拱肋净跨径 210 m, 矢高 46.666 7 m, 计算矢跨比为 $1/4$, 拱轴系数为 1.45, 拱肋横桥向间距为 17.8 m。桥梁立面布置见图 1。桥面系采用钢纵横梁与预制砼桥面板形成的组合梁格构式体系。全桥共设 2 片钢管砼拱肋, 单片拱肋采用变高度四管式截面, 拱顶截面高 3.8 m, 拱脚截面高 6 m; 两道拱肋之间设 7 道横撑以保证拱肋的横向稳定, 其中桥面至拱顶之间设 5 道 X 形横撑, 拱脚处设 2 道 K 字形

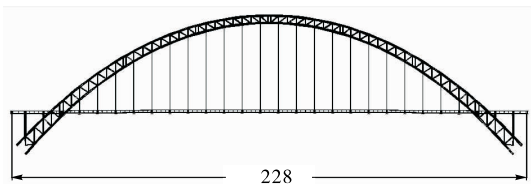


图 1 主桥的总体布置(单位: m)

横撑。吊杆采用 GJ15-22 整束挤压成型钢绞线吊杆, 横桥向间距 17.8 m, 顺桥向间距 8 m, 全桥共设 22 对对称的吊杆。主墩基础采用直径为 6 m 隧洞基础和直径为 3.5 m 桩基础。

2 有限元建模

运用有限元软件 MIDAS/Civil 2015 建立全桥结构模型, 将全桥离散成拱肋、吊杆、拱上立柱、纵梁、横梁、横撑等构件, 就横撑形式、横撑刚度及横撑间距三方面对全桥进行屈曲分析, 得到不同工况下拱桥成桥阶段的弹性稳定系数和失稳模态。全桥共由 1 846 个节点、2 877 个单元组成, 其中只受拉桁架单元 44 个、梁单元 2 833 个。除吊杆采用仅受拉桁架单位模拟外, 其余均采用空间梁单元模拟。全桥有限元模型见图 2。

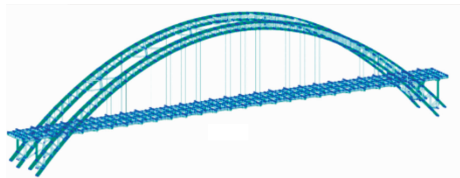


图 2 全桥有限元模型

建模时, 拱肋中的钢管砼采用 MIDAS 中的联合截面模拟, 使钢管与砼形成整体。每片拱肋的 4 根钢管砼横桥向通过 $\phi 530 \times 13$ 横缀管连接, 竖桥向之间通过 $\phi 560 \times 13$ 腹管连接。两拱肋之间设 7 道横撑以保证拱肋的横向稳定, 其中桥面至拱顶之间设 5 道 X 形横撑, 拱脚处设 2 道 K 字形横撑。拱上立柱的截面与钢管砼的截面相同, 立柱与主梁之间通过弹性连接的方式约束, 只限制主梁和立柱的竖向位移, 其他方向的自由度均释放。

3 横撑对桥梁结构稳定性的影响

3.1 横撑形式对结构稳定性的影响

主要考虑 5 种横撑设置情况,分别为不设横撑、设置一字形横撑、设置 X 形横撑、设置 K 字形横撑和设置米字形横撑,保持每种情况下横撑设置间距一致,所有横撑的规格均为 $\phi 630 \times 12$ 圆形钢管(见图 3)。

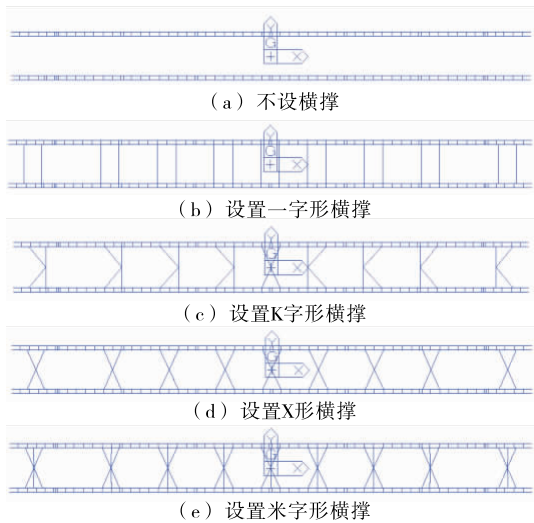


图 3 不同形式横撑的设置情况

分别建立 5 种横撑情况下的有限元模型,进行成桥阶段特征值稳定性分析,计算对应的全桥稳定系数。不同横撑形式下全桥稳定系数见表 1。

表 1 不同横撑形式下全桥稳定系数

横撑形式	稳定系数	横撑形式	稳定系数
无横撑	1.348	X 形横撑	6.486
一字形横撑	2.183	米字形横撑	6.510
K 字形横撑	6.338		

由表 1 可知:不设置横撑时拱桥的线弹性屈曲稳定系数为 1.348,采用一字形横撑时稳定系数为 2.183,均不满足规范要求;采用 K 字形、X 形、米字形横撑时,全桥屈曲稳定系数明显增大。横撑形式对拱桥屈曲稳定性的影响很大,5 种横撑对该桥整体屈曲稳定性的提高程度依次为米字形>X 形>K 字形>一字形>无横撑。横撑对拱桥屈曲稳定系数的贡献较大,实际工程中出于美观、经济和安全等因素考虑,宜多采用 K 字形、X 形和米字形横撑。

5 种横撑设置情况下,拱桥成桥阶段的第一阶失稳模态一致,均为拱肋面外对称弯扭失稳(见图 4),说明主拱肋的面内刚度可得到保证,在设计及施

工阶段应加强横向刚度,防止发生面外横向侧翻。

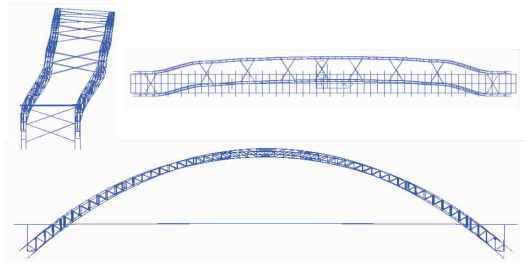


图 4 各工况下拱桥第一阶失稳模态

3.2 横撑刚度对结构稳定性的影响

从横撑受力情况看,其受到的弯矩与剪力均很小,主要承受的是轴力。因此,主要考虑横撑的抗拉压刚度,通过改变横撑截面的抗拉压刚度分析横撑刚度对桥梁结构稳定性的影响。以该桥原横撑的圆管形截面为基础,采用图 3(d)所示 9 对对称的 X 形横撑,其他参数不变,同时改变圆管外径和厚度以改变其刚度。为便于刚度比较,设定最小规格 $\phi 351 \times 8$ 横撑的抗拉压刚度为 1,其他尺寸横撑与其比较得到横撑相对刚度。不同横撑刚度下拱桥的屈曲稳定系数见表 2、图 5。

表 2 不同横撑刚度下全桥稳定系数

横撑规格	横撑相对刚度	稳定系数	横撑规格	横撑相对刚度	稳定系数
$\phi 351 \times 8$	1.000	5.991	$\phi 500 \times 13$	2.311	6.470
$\phi 402 \times 9$	1.289	6.176	$\phi 530 \times 14$	2.638	6.518
$\phi 426 \times 10$	1.517	6.273	$\phi 560 \times 15$	2.985	6.559
$\phi 450 \times 11$	1.761	6.352	$\phi 630 \times 16$	3.585	6.620
$\phi 480 \times 12$	2.049	6.422			

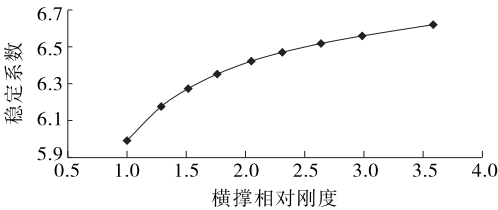


图 5 全桥稳定系数与横撑刚度的关系

由图 5 可知:随着横撑刚度的增大,全桥稳定系数增大。同时,改变横撑尺寸和刚度,全桥第一阶失稳模态不变,均为拱肋面外对称弯扭失稳。说明选用大规格的横撑,增大横撑抗拉压刚度,可在不改变失稳模态的前提下提高拱桥的线弹性屈曲稳定安全系数。

3.3 横撑间距对结构稳定性的影响

将该桥原横撑去除,选择 $\phi 630 \times 10$ 钢管以 X

形横撑的形式在全桥范围内等间距设置,分别在全桥均匀设置 3、5、7、9 和 11 对横撑,对应间距分别为 57、38、28.5、22.8 和 19 m,得到不同工况下全桥稳定系数(见表 3 和图 6)。

表 3 不同横撑间距下全桥稳定系数

横撑间距/m	稳定系数	横撑间距/m	稳定系数
57.0	3.471	22.8	7.788
38.0	5.542	19.0	7.788
28.5	6.903		

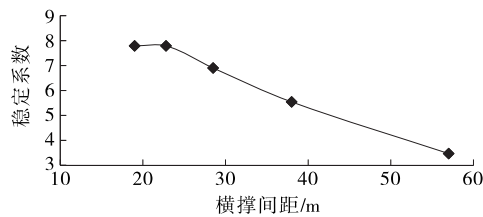


图 6 全桥稳定系数与横撑间距的关系

由图 6 可知:在全桥范围内等间距设置横撑,横撑设置较少、间距较大时,拱桥的稳定系数随着横撑间距的减小而显著增大;但横撑间距小于 22.8 m 时,减小横撑间距,全桥稳定系数不变。而且在横撑间距较大(大于 22.8 m)时,全桥第一阶失稳模态相同,均为拱肋面外对称弯扭失稳;当横撑间距减小至一定程度时,第一阶失稳模态变为主梁弯扭失稳(见图 7)。说明在一定横撑间距范围内,拱桥稳定系数随着横撑间距的减小而增大,当横撑达到一定密集程度,间距减小至一定值(22.8 m)时,主拱结构对全桥稳定系数的贡献达到最大,继续减小横撑间距,拱

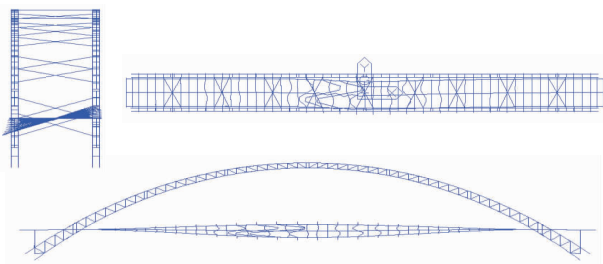


图 7 横撑间距为 22.8 和 19 m 时拱桥第一阶失稳模态

桥稳定系数保持不变。此时要提高拱桥的稳定系数,应加强主梁横向刚度,防止出现主梁弯扭失稳。

4 结论

(1) 横撑形式对大跨度钢管砼拱桥稳定性的影响很大,对拱桥整体屈曲稳定性的提高程度依次为米字形>X 形>K 字形>一字形>无横撑,斜撑对拱桥屈曲稳定系数的贡献较大,宜多采用 K 字形、X 形和米字形横撑。

(2) 随着横撑刚度的增大,大跨度钢管砼拱桥的稳定系数增大。通过增大横撑截面尺寸,提高横撑抗拉压刚度,加强拱上结构的刚度,可改善大跨度拱桥的成桥稳定性。

(3) 拱肋间横撑设置较少时,大跨度钢管砼拱桥的稳定性随着横撑间距的减小而增大;横撑设置较密集时,横撑间距减小到一定程度,拱桥的稳定系数保持不变,不再增加。说明此时拱上建筑刚度已能得到保证,要改善拱桥的成桥稳定性,需从提高主梁的刚度方面考虑。

参考文献:

- [1] 牛凯.大跨钢管混凝土拱桥的稳定性分析[D].长沙:长沙理工大学,2011.
- [2] 肖勇刚,雯芳.大跨度钢管混凝土拱桥弹性稳定性分析[J].中外公路,2014,34(2).
- [3] 魏建,李岩.横撑对拱桥稳定性的影响[J].四川建筑,2005(增刊).
- [4] 龚凯.单肋斜撑钢管混凝土拱桥稳定性及动力特性[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [5] 周亚锋.钢管混凝土拱桥的稳定性分析[D].合肥:合肥工业大学,2007.
- [6] 肖勇刚,牛凯.大跨度钢管砼拱桥结构稳定性分析[J].公路与汽运,2011(6).

收稿日期:2018-02-26

(上接第 111 页)

偏载侧的横向分布系数偏小。若采用梁格法计算双曲拱桥的横向分布系数,建议计算时考虑桥面板的横向连接作用。

(4) 双曲拱桥横向分布系数偏载侧的计算可采用刚性横梁法、连续梁支承法、梁格法,而非偏载侧数据介于刚性横梁法、连续梁支承法与梁格法之间,

在实际承载能力评定时,可综合考虑这 3 种方法。

参考文献:

- [1] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 魏保立,罗旭,邓苗毅.双曲拱桥荷载横向分布系数的探讨[J].中外公路,2011,31(5).

收稿日期:2018-05-03