

尼尔森体系系杆拱桥稳定性分析

徐兵¹, 戴陈²

(1. 盐城工学院 土木工程学院, 江苏 盐城 224051; 2. 盐城市勘察测绘院, 江苏 盐城 224000)

摘要: 尼尔森体系拱桥本身结构复杂, 影响其稳定性的因素很多。通过建立空间有限元模型, 对影响该体系稳定性的因素做了分析对比, 给出各构件对稳定性的影响, 总结得出一般性的结论, 为该体系桥梁提供结构设计和稳定性分析依据。

关键词: 尼尔森体系、稳定性、失稳模态、模型

中图分类号: TU311

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2010)04-0070-03

拱桥是桥梁工程中广泛使用的一种桥梁形式。梁与拱的组合形成的系杆拱体系使得梁、拱在受力方面的优点得以充分发挥, 且因其结构轻巧、外部无水平推力, 较适用于软弱地基, 是一种具有良好发展前景的大跨度桥梁形式。根据拱肋和系梁的刚度大小及吊杆的布置形式可将拱分为以下几种: 竖直吊杆的柔性系杆刚性拱($I_{\text{系杆}}/I_{\text{拱肋}} < 0.1$)一系杆拱、竖直吊杆的刚性系杆柔性拱—兰格尔拱($I_{\text{系杆}}/I_{\text{拱肋}} > 10$)和竖直吊杆的刚性系杆刚性拱($I_{\text{系杆}}/I_{\text{拱肋}} < 10$)—洛泽拱。以上3种拱, 当采用斜吊杆代替竖直吊杆时统称尼尔森体系拱。尼尔森体系拱桥与常见的直吊杆拱桥相比, 用斜吊杆代替直吊杆会大幅度地提高结构的竖向刚度, 而且主拱和系杆的弯矩、剪力大幅度地减小; 对吊杆来说, 当采用纵横梁桥面系时, 随加载位置不同, 可能会出现压力, 因此应适当选择吊杆的间距、倾斜角和恒载分布, 使吊杆最终按拉力杆设计。

由于该结构体系非常复杂, 在我国, 吊杆采用倾斜方式布置的梁拱组合体系拱桥并不多见, 在国外的应用实例也极少。关于系杆拱桥的稳定性问题, 国内外曾有学者做过研究, 但在已有的研究中很少有人去系统的分析尼尔森体系拱桥的稳定性问题。系杆、系梁、吊杆、横撑、横梁等构件都可能是影响稳定性的因素, 但又具有不确定性。

1 稳定问题的基本理论

结构失稳是指结构在外力增加到某一量值

时, 稳定性平衡状态开始丧失, 稍有扰动, 结构变形迅速增大, 使结构失去正常工作能力的现象。结构的稳定问题一般分两种: 第1类稳定(分支点失稳问题)和第2类稳定(极值点失稳问题)^[1-2]。

1.1 第1类稳定问题

第1类稳定问题的有限元矩阵方程为

$$([K] + [K]\sigma)\{\Delta u\} = \{\Delta R\} \quad (1)$$

式中: $[K]$ 为结构的弹性刚度矩阵;

$[K]\sigma$ 为应力刚度矩阵;

$\{\Delta u\}$ 为节点位移增量向量;

$\{\Delta R\}$ 为外荷载增量向量。

当结构处在临界状态, 即使 $\{\Delta R\} \rightarrow 0$, $\{\Delta u\}$ 也有非零解, 按线性代数理论, 必有:

$$|[K] + [K]\sigma| = 0 \quad (2)$$

在小变形情况下, $[K]\sigma$ 与应力水平成正比。由于发生第1类失稳前满足线性假设, 多数情况下应力与外荷载也为线性关系, 因此, 若某种参考荷载 $\{\bar{P}\}$ 对应的结构几何刚度阵为 $[K]\sigma$, 临界荷载为 $\{P\} \sigma = \lambda \{\bar{P}\}$, 那么在临界荷载作用下结构的几何刚度阵为:

$$[K]\sigma = \lambda [\bar{K}]\sigma \quad (3)$$

于是式(2)可写成:

$$|[K]\sigma - \lambda [\bar{K}]\sigma| = 0 \quad (4)$$

式(4)就是第1类线弹性稳定问题的控制方程。稳定问题转化为求方程的最小特征值问题。

1.2 第2类稳定问题

第2类稳定问题考虑了大变形效应, 有限元

收稿日期: 2010-05-13

作者简介: 徐兵(1982-), 男, 江苏盐城人, 助教, 硕士, 主要研究方向为工程结构中的力学问题。

矩阵方程为刚度项中增添了初位移矩阵,使结构总刚变为切线刚度矩阵 $[K]L$,须进行全过程的迭代求解。一般结构的结构刚度矩阵在 $P-\delta$ 曲线上上升段是正定的,在下降段为负定的。在进行全过程的分析过程中,当荷载接近极限值时,很小的荷载增量都会引起很大的位移,可能还未找到极限荷载就出现了求解失效现象。

2 模型桥梁设计

关于尼尔森体系的结构受力特性及稳定性分析的研究尚处于起步阶段,要研究这种体系桥型的实际受力特性及稳定性分析,通过模型试验进行分析研究无疑是最有效最可靠的手段。模型制作根据宣杭铁路东苕溪特大桥主桥的为参考,依照静力等效的原则进行设计。模型外观尺寸为长5 000 mm×宽600 mm×高500 mm,材料采用铝合金型材。设计过程中的计算借助midas软件。

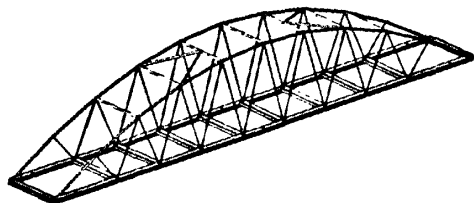


图1 模型桥梁总体布置

Fig. 1 The arrangement of the bridge model

3 稳定性分析

系杆拱桥的拱肋属压弯结构,需要考虑这类桥型的第2类稳定问题。但在实际拱桥设计中,按第2类稳定问题分析拱的稳定性相当复杂,而第1类稳定问题在力学上比较单纯明确,在数学上作为特征值问题也比较处理好。同时第1类稳定的临界荷载又近似的代表相应的第2类稳定的上限,加之第1类稳定问题具有突然性,因此对拱桥的稳定性验算采用第1类稳定理论仍具有可行性。下面根据制作的试验模型,对其用有限元程序建立空间模型,按第1类稳定理论对结构进行屈曲分析,来分析研究该体系各构件对结构整体稳定性的影响。主要影响因素有以下几个。

3.1 横撑的影响

横撑对结构整体稳定性的影响可以从横撑的布置形式和横撑的刚度两方面考虑。首先看横撑布置形式的影响,本例计算过程中,分别考虑以下3种形式的横撑布置,如图2所示。

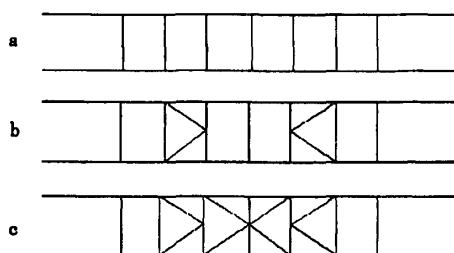


图2 横撑的布置形式

Fig. 2 3 the arrangements of stulls

对以上3种布置形式分别在跨中加载,得出第1类稳定系数分别为6.56、7.89、9.03,失稳形式见图3,由此可以看出改变横撑的布置形式不但对稳定系数的大小有影响,而且还可以改变失稳的一阶模态形式。由图3中一阶模态形式的变化还可以看出拱顶或拱顶附近的横撑对稳定性的影响效果更为显著。因此横撑的布置形式对整体稳定的影响是至关重要的。

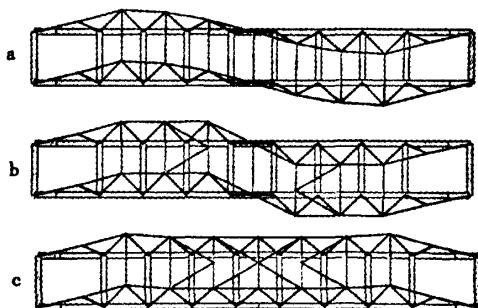


图3 3种横撑布置形式一阶失稳模态

Fig. 3 1st model with different stull arrangements bridge

对于横撑刚度的影响,在图2b布置的基础上,当把横撑的截面尺寸按比例缩小为原来的1/2时,结构的第1类稳定系数为2.71,当把横撑的截面尺寸按比例放大为原来的2倍时,为9.18,当把横撑的截面尺寸按比例放大为原来的5倍时,为9.01。

由此可以看出当横撑的刚度小于某一数值时增加其刚度对结构的整体稳定性是有利的,但随着横撑刚度的增加,全桥的稳定系数反而减小。其原因是横撑自重对整体稳定性的不利影响大于其刚度提高对整体稳定性的有利影响。因此,从提高结构整体稳定性出发,横撑的刚度不能盲目加大。

3.2 横梁的影响

横梁对结构整体稳定性的影响从横梁的数量和横梁的刚度两方面考虑。对于该模型,当仅在跨中端点处设置横梁时,结构的第 1 类稳定系数为 7.55,一阶失稳模态如图 4a;当在跨中、 $1/4L$ 、支点处设置横梁时,结构的第 1 类稳定系数为 7.91,一阶失稳模态如图 4b;当在跨中、 $1/4L$ 、 $1/8L$ 、支点处设置横梁时,为 7.89,一阶失稳模态如图 4c。由以上分析及图 4 的失稳模态可以看出横梁数量对结构的第 1 类稳定系数的大小影响不大,但严重影响结构的失稳模态。图 4c 中,其它参数都不变的情况下,第 1 类稳定系数为 7.89,当把横梁的截面尺寸缩小为原来的 $1/2$ 时,结构的第 1 类稳定系数为 7.5,当把横梁的截面尺寸放大为原来的 2 倍时,为 7.91,当把横梁的截面尺寸放大为原来的 3 倍时,为 7.6。因此,靠增大截面尺寸来增加横梁的刚度,对结构整体稳定的意义不大。计算中还发现,若保持截面面积不变,通过改变截面形式来增加横梁的纵向刚度,可以增大结构的第 1 类稳定系数。

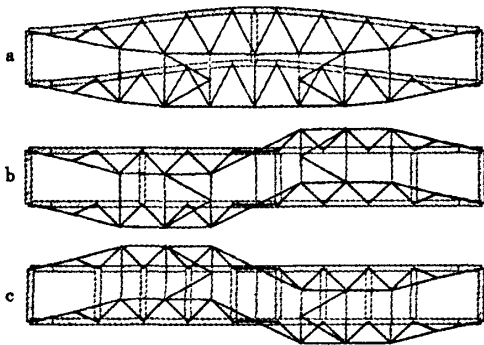


图 4 横梁数量影响下的一阶失稳模态

Fig. 4 1st model with different quality of stulls

3.3 吊杆的影响

对吊杆的分析,在建模过程中分别对吊杆采用二力杆单元、梁单元模拟,算出结构的第 1 类稳定系数分别为 7.89、10.13,表明吊杆刚度加大对稳定性系数的增加有明显效果。从增强稳定性的角度考虑,采用刚性吊杆较好。

参考文献:

- [1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥的设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 吕东莉. 系杆拱桥一类稳定问题探讨[J]. 现代交通技术,2006(1):45-47.

3.4 拱肋的影响

本模型拱肋采用空心圆管铝合金材料。按照图 1 的桥梁模型总体布置,在其它参数都不变的前提下,结构的第 1 类稳定系数分别为 7.89,当把拱肋的截面尺寸按比例缩小为原来的 $1/2$ 时,结构的第 1 类稳定系数为 1.01,当把系梁的截面尺寸按比例放大为原来的 2 倍时,为 23.21,可见拱肋刚度的增加严重影响结构的整体稳定性。为了防止结构失稳破坏,拱肋尺寸的选择是关键。

3.5 系梁的影响

同样在其它参数都不变的前提下,结构的第 1 类稳定系数分别为 7.89,当把系梁的截面尺寸按比例缩小为原来的 $1/2$ 时,结构的第 1 类稳定系数为 7.885,当把系梁的截面尺寸按比例放大为原来的 2 倍时,为 7.96,可见系梁刚度的变化对结构的整体稳定性影响不明显。

4 结论

通过对尼尔森体系系杆拱桥的屈曲分析,主要有以下几点结论:

(1) 横撑的布置形式及其刚度的变化对结构整体稳定性均有很大影响,相对来说布置形式的影响更为明显,另外横撑在拱顶及拱顶附近区域对稳定性的影响效果更为显著。

(2) 增加横梁的数量可以增强结构的整体稳定性,横梁尺寸变化对稳定性影响不大;

(3) 采用刚性吊杆对结构的整体稳定更有利;

(4) 拱肋的刚度对结构的整体稳定影响明显,这也于该体系桥梁拱肋的受力特点有关。

(5) 系梁刚度的变化对结构整体稳定性影响不大。

(6) 横撑、横梁刚度对稳定性的影响由于自重的影响不是单调的,因此不能盲目增大横撑、横梁的截面尺寸。

总之,系杆拱桥的稳定性分析是个复杂的问题,在做特征值屈曲分析时不能仅考虑特征值的变化,还要考虑其各阶失稳模态及失稳形式。

保温,兼顾夏季降温;该地区乡村住宅能源消费结构不够合理,提升新能源开发利用空间,提倡采用沼气、太阳能等洁净能源,

参考文献:

- [1] 张壁田,刘振亚. 陕西民居[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [2] 朱建达. 小城镇住宅区规划与居住环境设计[M]. 南京:东南大学出版社,2001.
- [3] 刘加平,杨柳. 室内热环境设计[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [4] JG9 26-95 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)[S]. 北京:中国计划出版社,1995.
- [5] GB50176-93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1995.

Analysis of Villagers Living Environment Current Situation in Central Shaanxi

HU Yan-li

(College of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: The current rural residential environment has been received extensive concern, so the paper takes rural house in central Shaanxi as the research object, according to a mass of field investigation and testing and analyzes the present situation of residential environment in central Shaanxi in order to provide reliable original data for related research. Investigated results mainly embodies three aspects basic maed of the residence, indoor thermal environment and consumption of the resident building energy. By presenting the situation, it can be seen that rural residential environment needs to be soon improved.

Keywords: central Shaanxi; rural residence; basic mode; indoor thermal environment; energy consumption

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)

(上接第 72 页)

Stability analysis of Arch Bridge of Nielsen System

XU Bing, DAI Chen

(1. School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China;
2. Yancheng geology bureau, Jiangsu Yancheng 224000, China)

Abstract: Arched bridge of Nielsen system structure is very complicated, and a lot of factors affect its stability. This paper makes the contrast and analyzes the factor affecting the system's stability by establishing dimensional element models, summarize the general conclusion, then offer the basis for construction design and stability analyze.

Keywords: Nielsen style; stability; model

(责任编辑:沈建新;校对:张英健)