

文章编号: 1005—0523(2003)01—0059—03

钢管砼拱桥反应谱抗震分析

郭 刚, 王一军, 阳震宇, 乔建东, 于向东

(中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

摘要:通过介绍反应谱基本理论和组合法,应用通用有限元程序,对设计中的茅草街大桥钢管砼拱桥设计方案进行了反应谱抗震性能分析与研究.其主要方法结论对该大桥的设计具有指导意义.

关 键 词:钢管砼拱桥;抗震;地震动;反应谱
中图分类号:U448.34 **文献标识码:**A

1 反应谱基本概念^{[1][2][5]}

广义线性单自由度体系

$$\ddot{u}(t) + 2\zeta\omega\dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

的相对位移、相对速度和绝对加速度反应为

$$u(t) = \frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

$$\dot{u}(t) = \frac{\omega}{\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \cos \omega_d(t-\tau) + \alpha] d\tau \quad (3)$$

$$\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t) = \frac{\omega^2}{\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin[\omega_d(t-\tau) + 2\alpha] d\tau \quad (4)$$

式子, $\omega_d = \sqrt{1-\zeta^2}\omega$, $\tan \alpha = \zeta / \sqrt{1-\zeta^2}$. 通过数值积分法,由式(2),(3),(4)可以得出 $u(t)$, $\dot{u}(t)$, $\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)$ 的时间过程,并从中找出它们各自的最大值, $SD(\zeta, \omega) = |u(t)|_{\max}$, $SV(\zeta, \omega) = |\dot{u}(t)|_{\max}$, $SA(\zeta, \omega) = |\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)|_{\max}$. 它们分别称为与阻尼比 ζ 、自振频率 ω 相对应的相对位移、相对速度和绝对加速度反应谱值. 对于确定的阻尼 ζ ,变动 ω ,可得到三条 SD , SV , SA 曲线,即为地震动反应谱曲线. 可以给出对应不同阻尼比的反应谱曲线.

2 反应谱组合法^{[1][2][5]}

由振型分解法可将多自由线性振动体系分解为多个独立的广义单自由振子. 广义单自由振子的最大反应可由谱曲线查出. 但一般情况下,广义单自由振子的最大反应不同时发生,因而需要以适当的方式将它们组合起来,以得到工程设计所关心的反应量最大值的一个近似估计值. 已经建议了多种反应谱组合法,从目前情况看,应用广泛的是基于随机振动理论所提出的各种组合方案,如 CQC 方法等. CQC 表达式为

$$R_{\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{ij} R_{i,\max} R_{j,\max}} \quad (5)$$

式子, ρ_{ij} 为模态组合系数. 对于所考虑的结构,若地震动可看成宽带随机过程,则白噪声下的 ρ_{ij} 值是实际情况下的一个良好近似,此时:

$$\rho_{ij} = \frac{8 \sqrt{\zeta_i \zeta_j \omega_i \omega_j (\zeta_i \omega_i + \zeta_j \omega_j) \omega_i \omega_j}}{(\omega_i^2 + \omega_j^2)^2 + 4 \zeta_i \zeta_j \omega_i \omega_j (\omega_i^2 + \omega_j^2) + 4(\zeta_i^2 + \zeta_j^2) \omega_i^2 \omega_j^2}$$

体系的自振频率相隔越远,则 ρ_{ij} 值越小,如当

$$\frac{\omega_i}{\omega_j} < \frac{0.2}{\zeta_i + 0.2} \quad i < j$$

则 $\rho_{ij} < 0.1$,便可认为 ρ_{ij} 近似为零. 此时式(5)变为

$$R_{\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n R_{i,\max}^2}$$

这就是所熟知的 SRSS 方法.

CQC 法来源于随机振动理论,它有三条基本假定:

- 地震动为平稳随机过程;
- 地震动为宽带过程;
- 平稳随机过程的性质对其峰值因子的影响不显著.

3 工程背景及地震动输入

对建设中的益阳茅草街钢管砼特大拱桥进行了反应谱地震反应分析.茅草街大桥位于湖南省益阳市洞庭湖区,桥型为飞燕式钢管砼系杆拱桥,跨径为 80 m+368 m+80 m,中跨计算跨径为 356 m,全桥总长 528 m.根据大桥桥址场地地震安全性评价,选用了未来 50 年超越概率为 10%(P1 水平)和 2%(P2 水平)的地震烈度进行抗震分析,地震动输入采用了基岩加速度反应谱.

4 动力计算模型^[3]

基于 ANSYS 平台,采用三维有限元方法建立动力计算模型(如图 1).主拱圈、主拱风撑桁架等效为空间梁单元(BEAM4);边拱拱圈、桥面板、横梁、立柱、边墩均采用空间梁单元(BEAM4)模拟;吊杆、系杆采用三维桁架单元(LINK8)考虑了几何刚度的影响;吊杆上部、立柱下部采用质量单元(MASS21)模拟局部加固部分的质量.

边界条件处理为:边拱顶与桥墩之间纵桥向平动及转动自由度相对自由,其他自由度主从,采用边墩底及拱顶固结的计算模型.

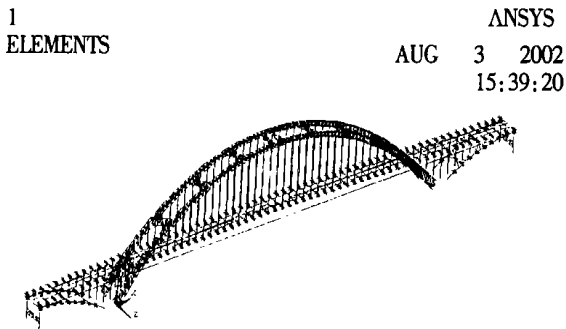


图 1 动力计算模型图

5 动力特性分析

分析和认识大跨度拱桥的动力特性是进行地震反应分析和抗震设计的基础.表 1 列出了茅草街大桥的前 10 阶振型的频率及振型特征.

一般来说,大跨度拱桥的第一阶振型是侧向对称弯曲振动振型,而第二阶为竖向反对称弯曲振动振型.而高阶振型的振动特性比较复杂,与结构形式、支承连接条件有关.从表 1 可以看出,第一阶振型频率很小,第二阶仍然是侧向对称弯曲振动振型,这主要是由于桥面宽度比较小,只有 16 m,横向刚度比较小的缘故.

表 1 茅草街大桥的动力特性

振型序号	频率(Hz)	振型特性
1	0.190 979	主拱和桥面板对称侧弯
2	0.343 154	主拱和桥面板对称侧弯,但两者方向相反
3	0.424 372	主拱和桥面板反对称竖弯
4	0.437 723	主拱和桥面板反对称竖弯
5	0.69 093	主拱和桥面板对称竖弯
6	0.796 577	主拱、边拱、边墩和桥面板对称侧弯
7	0.850 654	主拱、边拱、边墩和桥面板对称侧弯
8	1.179	主拱、主拱部分桥面板反对称竖弯
9	1.192	主拱、主拱部分桥面板,桥面板纵向平动
10	1.259	主拱、主拱部分桥面板对称竖弯

6 地震反应分析^[4]

在两种概率水准的地震作用下,基于 ANSYS 平台,分别计算了茅草街大桥的地震反应分析,考虑了两种动输入方式,即纵向+竖向输入和横向+竖向输入,同时横向考虑了平面内和平面外的效果,其中,竖向反应谱值取水平反应谱值的 2/3.为保证计算精度,取前 170 阶振型进行叠加,包括了主拱,边拱,桥面板和立柱的主要振型.各种地震动输入方式下地震应力最大处的截面位置及其相应内力反应如下各表.

表 2 P1 概率水平下内力反应

地震动输入方式	结构位置	弯矩(t·m)	剪力(t)	轴力(t)	地震应力(MPa)	允许应力(MPa)
纵向+竖向输入(平面内)	边拱脚	5 157.60	247.57	436.07	3.054	14.000
横向+竖向输入(平面内)	边拱脚	3 635.40	185.34	225.64	2.107	
横向+竖向输入(平面外)	主拱脚	2 012.26	134.42	517.45	5.676	

表 3 P2 概率水平下内力反应

地震动输入方式	结构位置	弯矩(t·m)	剪力(t)	轴力(t)	地震应力(MPa)	允许应力(MPa)
纵向+竖向输入(平面内)	边拱脚	11 019.30	528.37	925.61	6.521	
横向+竖向输入(平面内)	边拱脚	7 752.60	395.26	478.70	4.491	14.000
横向+竖向输入(平面外)	主拱脚	4 131.87	279.91	1 044.87	11.630	

计算结果表明:无论是在 P1 概率水准下还是在 P2 概率水准下,纵向+竖向输入下平面内的应力反应要比横向+竖向输入下平面内的应力反应大.而将横向+竖向输入下平面外的内力反应与横向+竖向输入下平面内的内力反应进行比较,无论是在 P1 概率水准下还是在 P2 概率水准下,横向+竖向输入下平面外各控制点的轴力与横向+竖向输入下平面内的轴力相同,而主拱各控制点平面外的弯矩、剪力和应力要比平面内的大很多,边拱各控制点平面外的弯矩、剪力和应力要比平面内的小很多.同时,将大桥的地震分析结果与大桥在各种工况下(包括恒载、汽车活载、人群活载、温度和支座沉降等的各种荷载组合)的计算结果进行比较,地震应力要小得多,所以,本桥的设计受成桥阶段最大应力的控制,地震反应不控制本桥设计.

7 结束语

本文介绍了反应谱的基本理论和反应谱组合方法,同时对茅草街大桥进行了地震反应分析,进

行了主要构件强度的校核,主要结论是:

1) 竖向地震动和横向地震动面外效果对茅草街大桥地震反应十分重要,在抗震设计中不可忽略;

2) 主拱、边拱拱肋即使是在 P2 概率水平的地震作用下仍处于材料弹性工作状态,不会因强度不足而发生破坏;

3) 在茅草街大桥工程场地的地震环境下,现有的设计方案具有足够的抗震能力,不会因地震而发生破坏.

参考文献:

[1] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1997.

[2] 范立础,胡世德,叶爱君.大跨度桥梁抗震设计[M].2001.

[3] 丫髻沙特大拱桥抗震分析研究,同济大学,1998.

[4] 公路工程抗震设计规范,交通部部标准[S].1989.

[5] 李国豪.桥梁稳定与振动[M].北京:中国铁道出版社,1996.

Seismic Spectrum Analysis for CFST Arch Bridge

GUO Gang, WANG Yi-jun, YANG Zhen-yu, QIAO Jian-dong, YU Xian-dong

(School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: This paper introduces the outline of spectrum and the method of combination ,and applys FEM program ,ana-lyzing and studying the seismic performance of CFST arch bridge of maocaojie bridge .The main methods are helpful to the design of the bridge .

Key words: CFSTArch bridge ;seismic ;· seismic excitation spectrum