

拱型波纹钢屋盖结构风振响应的时域分析*

王元清¹, 谭成冬², 张勇³

(1. 清华大学 土木工程系, 北京 100084; 2. 中国建筑设计研究院, 北京 100044; 3. 北京交通大学 土木工程系, 北京 100044)

摘要:拱型波纹钢屋盖结构自重轻,地震作用下的动力问题不是结构设计的控制因素,但是在风荷载作用下结构的动力响应较为显著,在设计中应给予足够重视。首先利用 Fortran 编程工具,模拟结构的风速时程曲线,然后利用 ANSYS 有限元软件中的瞬态动力学分析模块对这种结构进行动力时程分析,讨论其在脉动风荷载作用下的动力响应,给出了结构风振系数的建议值,且针对风荷载提出了这种结构在设计中应注意的问题。

关键词:拱型波纹钢屋盖; 风振响应; AR 模型; 瞬态动力学分析

中图分类号:TU393 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)02-0056-05

Analysis on Wind - induced Dynamic Response of Arched Corrugated Metal Roof

WANG Yuan - qing¹, TAN Cheng - dong², ZHANG Yong³

(1. Dept. of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China; 2. China Architecture Design & research Group, Beijing 100044, P. R. China; 3. Dept. of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, P. R. China)

Abstract: It is generally considered that the seismic response of arched corrugated metal roof is not the control factor of structure design because of its light dead weight, but the wind - induced dynamic response on the structure is significant, so more attention must be paid to it. First, the wind simulation of the structure by AR model is carried out. Then, the TRANS method in the ANSYS is used to calculate the dynamic responses in time domain to compare the results with those in frequency domain in order to verify the validity of the two methods.

Keywords: arched corrugated metal roof; wind - induced dynamic response; AR model; transient dynamic analysis

拱型波纹钢屋盖结构由于自重轻,在动力荷载,特别是在风荷载作用下,结构的动力响应较为显著^[1]。在沿海地区及北方多风地区,风荷载(包括静风荷载和脉动风荷载)往往成为设计的控制因素。一般来说,结构风振响应的分析主要包括两种方法:频域法和时域法。频域法是采用随机振动理论,输入风荷载的频谱特性,输出结构物的频谱响应规律与特性,建立两者之间的本构关系。频域法计算成本小,便于应用和掌握,实质上是一种拟动力计算方法。时域法是将风荷载(风压力)时程直接作用在结构上,通常采用时程逐步积分法,迭代计算结构的动力响应过程。时域法适用于振动频率密集和柔性大、非线性特征明显的结构物。本文作者曾经对拱型波纹钢屋盖结构进行了频域内的风振响应分析,因此在这里只进行时域分析,并且得到了结构的风振系数,以便和频域法分析结果进行对比。在时域内对结构进行风激励动力时程分析就必须得到相应的风速曲线。目前,记录到的强风作用过程应用于实际

* 收稿日期:2005-01-10

作者简介:王元清(1963-),男,安徽霍山人,副教授,博士,主要从事钢结构研究。

工程还不能普遍实现。因而,人工模拟风速曲线是解决问题的有效方法。

1 风速时程曲线的模拟

国内外对风速时程的模拟方法主要有谐波合成法^[2]和线性回归滤波器法^[3],这两种方法都是从模拟单一脉动风的风荷载时程曲线发展到多个风荷载的模拟。谐波叠加法是用一系列具有随机频率的余弦函数序列来模拟随机过程。当进行多变量模拟时,为保证脉动风速的各态历经性,需要在每个频率上进行大量的运算,因此比较费时,运算效率低。而线性滤波器法则是将人工生成的均值为零、具有白色谱的一系列随机数通过事先设计好的滤波器,使其输出为具有给定谱的随机过程,该法占用内存少,计算快捷,主要包括自回归滑动平均模型 ARMA 和自回归模型 AR。本文只考虑二维空间相关性,采用 AR 模型对具有随机性的水平脉动风荷载可以进行有效的模拟。

Iannuzzi 的研究表明,低阶的 AR 模型即可较好地模拟随机过程。本文采用 4 阶自回归模型对结构的七个关键点处的风速时程进行模拟。限于篇幅,这里只给出图 1 所示的 1、4、7 三个关键点处的风速时程曲线模拟结果,如图 2~4 所示。结构参数如下:拱型波纹钢屋盖结构为落地拱铰接结构,板型为 W666,跨度为 30 m,矢跨比为 0.25,板厚为 1.40 mm。基本风压为 0.25 kN/m²,地貌类别为 B 类地貌。

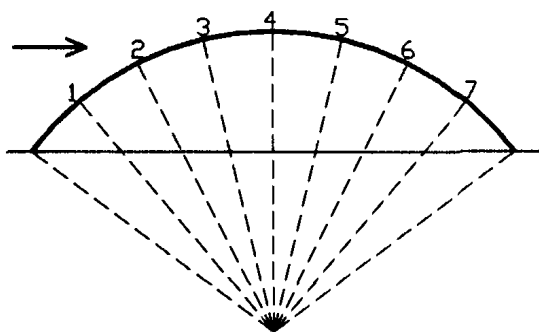


图1 模拟关键点示意图

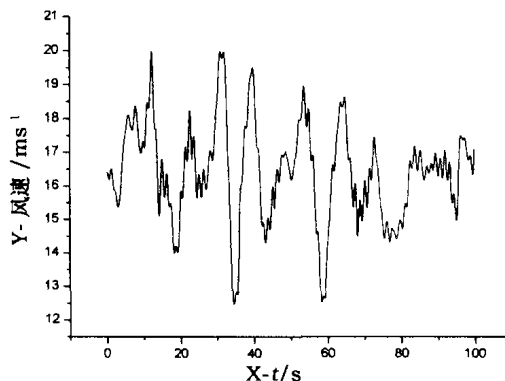


图2 1点处风速时程曲线

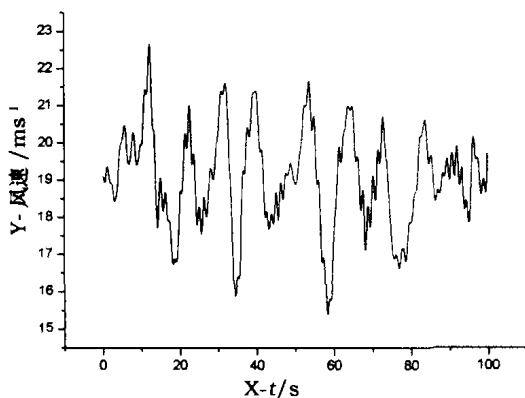


图3 4点处风速时程曲线

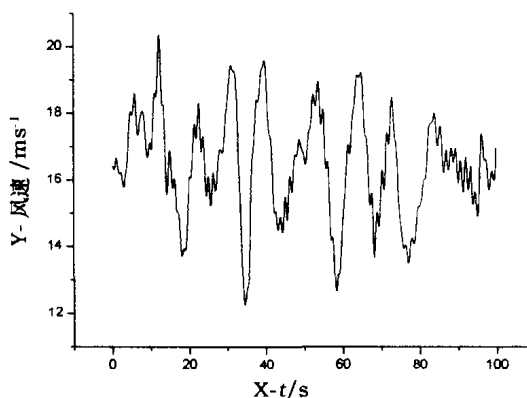


图4 7点处风速时程曲线

有了脉动风速谱,就可以得到脉动风压谱^[4],作用于结构上就可以进行风压时程反应分析。

2 瞬态动力学分析

瞬态动力学分析是用于确定承受任意的随时间变化载荷的结构的动力学响应的一种方法。可以用瞬态结构动力学分析确定结构在静载荷、瞬态载荷和简谐载荷的随意组合作用下随时间变化的位移、应变以及应力。

在顺风向脉动风荷载作用下,建筑结构的振动微分方程为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

式中: $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 分别为结构的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; $\{\ddot{x}\}$ 、 $\{\dot{x}\}$ 和 $\{x\}$ 分别为结构的加速度、速度和位移矢量; $\{F(t)\}$ 为脉动风荷载矢量。本文采用 ANSYS 中的瞬态动力学分析模块对拱型波纹钢屋盖结构的风振动力时程反应进行分析。

瞬态动力学分析(也称时间历程分析)是用于确定承受任意的随时间变化载荷的结构的动力学响应的一种方法。可以用瞬态结构动力学分析确定结构在静载荷、瞬态载荷和简谐载荷的随意组合作用下随时间变化的位移、应变、应力以及力。瞬态结构动力学分析中,载荷和时间的相关性使得惯性力和阻尼作用比较重要。如果惯性力和阻尼作用对于分析的问题不是很重要,就可以用静力学分析代替瞬态结构动力学分析。

本文在对结构进行风荷载作用下的瞬态动力学分析时主要选取了两种结构形式(a)和(b),分别代表小跨结构和大跨结构。

(a) 18 m 跨,矢跨比为 0.25,板厚为 1.0 mm 的铰接结构。

(b) 30 m 跨,矢跨比为 0.25,板厚为 1.4 mm 的铰接结构。

表 1 和表 2 分别给出了结构形式(a)和(b)在脉动风荷载作用下的位移均值和方差,并进一步求出了结构的位移风振系数^[5~6]。位移均值和位移方差都是利用统计方法经过计算得到的数值。

表 1 结构形式(a)脉动风荷载作用下位移分析

	1	2	3	4	5	6	7
位移均值/m	0.024 3	0.038 6	0.036 6	0.023 1	0.034 9	0.040 0	0.027 8
均方差值/m	0.005 6	0.008 8	0.008 3	0.005 3	0.007 9	0.009 2	0.006 5
位移风振系数	1.507 5	1.500 8	1.499 0	1.503 3	1.496 1	1.503 1	1.514 0

表 2 结构形式(b)脉动风荷载作用下位移分析

	1	2	3	4	5	6	7
位移均值/m	0.231 2	0.364 8	0.343 9	0.220 2	0.326 5	0.379 4	0.266 5
均方差值/m	0.052 7	0.077 3	0.069 6	0.045 9	0.067 7	0.079 0	0.056 6
位移风振系数	1.569 9	1.529 6	1.506 1	1.521 7	1.518 5	1.520 6	1.531 2

从表中我们不难发现,18 m 跨结构的各个关键点的位移风振系数在 1.50 左右浮动,而且各个点的差别比较小;30 m 跨结构的各个关键点的位移风振系数在 1.52 左右浮动,各个点的差别也比较小,30 m 跨结构的各个关键点的位移风振系数值要大于 18 m 跨结构的值。为了进一步分析结构的位移风振系数,图 5 和图 6 分别将结构形式(a)和结构形式(b)的频域分析结果和时域结果进行了对比。

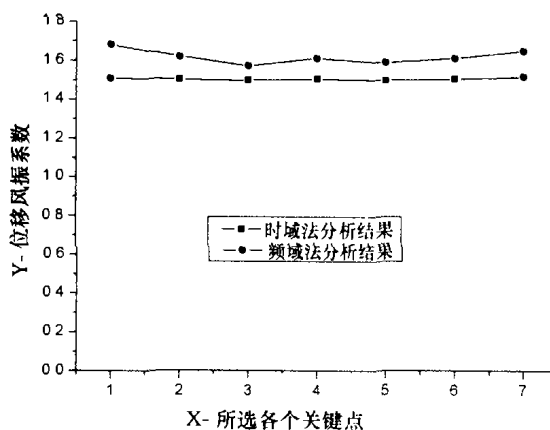


图 5 结构形式(a)位移风振系数对比分析

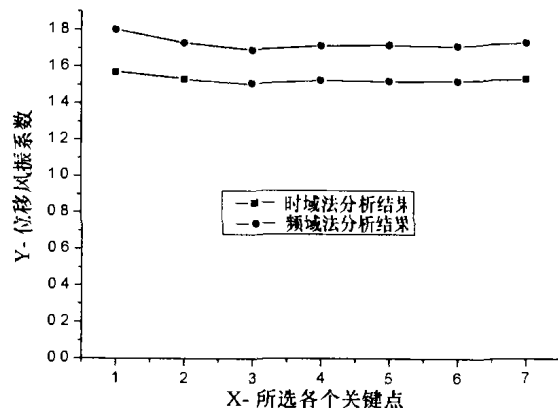


图 6 结构形式(b)位移风振系数对比分析

从图 5 和图 6 可以看出,频域法分析得到的位移风振系数与时域法分析得到的位移风振系数在所选各个关键点处变化趋势基本相同,时域法分析结果为频域法分析结果的 90% 左右。此外,时域法分析得到的结构的位移风振系数在 1.5 左右,而频域法分析的结果在 1.7 左右^[7,8],时域法比频域法的分

析结果偏小,因此采用1.7的位移风振系数得到的结果偏于保守。

图7、8分别给出了结构形式(a)1/4跨及跨中处的位移时程响应。图9、10分别为该结构1/4跨及跨中处的应力时程响应。

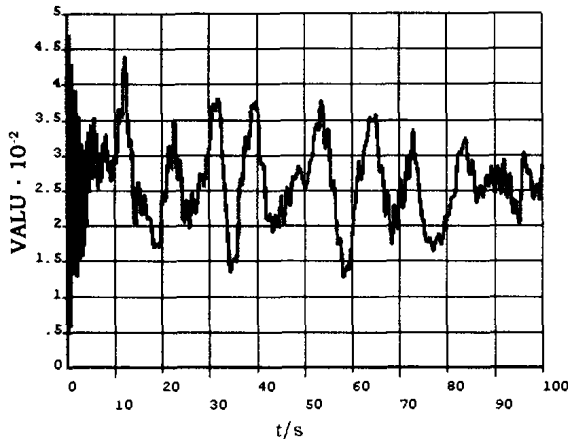


图7 1/4跨处位移时程响应

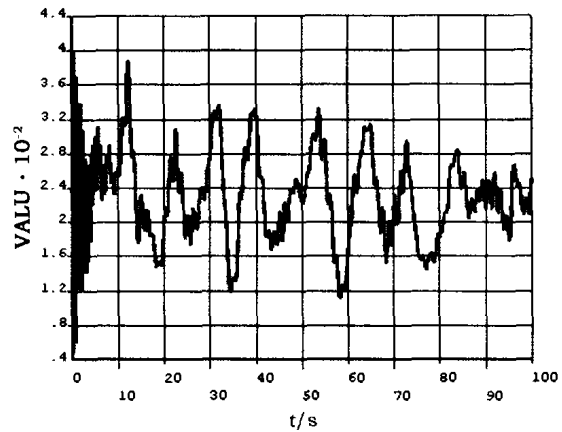


图8 跨中处位移时程响应

从位移时程响应的曲线图7和图8可以看出,1/4跨和跨中处的位移响应基本上在同一个数量级,但是1/4跨的位移响应要大于跨中的位移响应。从应力时程响应的曲线图9和图10可以看出,1/4跨的应力要远大于跨中处的应力响应,要高出一个数量级。

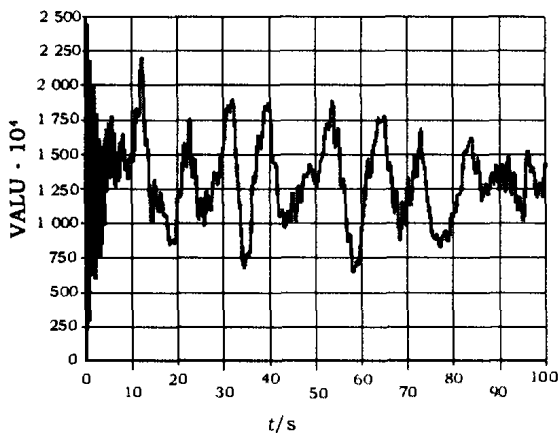


图9 1/4跨处应力时程响应

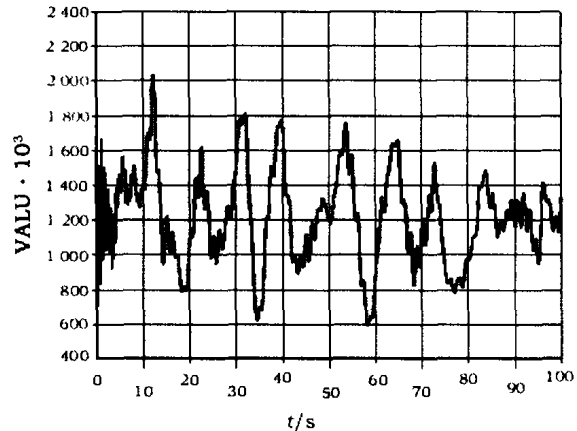


图10 跨中处应力时程响应

图11和图12分别给出了结构形式(b)1/4跨和跨中处的等效应力时程反应,从反应的曲线可见,跨中最大等效应力仅为4.7 MPa,而左1/4跨处的最大等效应力却达到了88 MPa。从而再次说明了对于拱型波纹钢屋盖结构风振动力时程响应的最危险处一般发生在左、右1/4跨处,跨中并不是风振时程响应的最危险处。

3 结论

1) 通过线性滤波器法中的自回归AR模型,利用Fortran编程工具,实现了对拱型波纹钢屋盖结构的风速时程模拟,然后将风速时程转换为风压时程分析了这种结构的风振动力时程响应。

2) 脉动风荷载作用下,拱型波纹钢屋盖结构的最大动力反应一般发生在1/4跨附近,顶点并不是动力反应的最剧烈处。

3) 从分析得到的结果来看,时域法分析得到的位移风振系数在1.5左右,比频域法分析的结果小,即按时域法得到的位移风振系数将导致计算结果偏小。但是两种分析方法得到的结构的位移,应力等响应的变化趋势均比较吻合,验证了计算结果的可靠性。

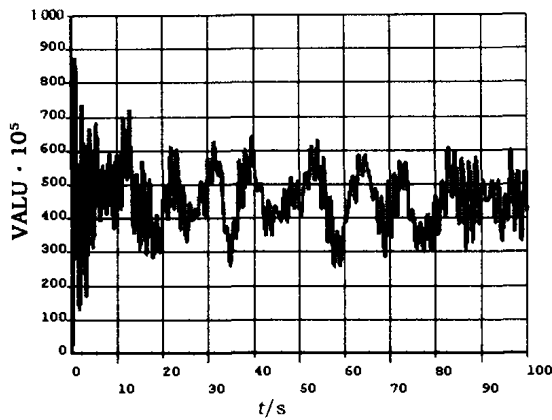


图11 1/4处应力时程响应

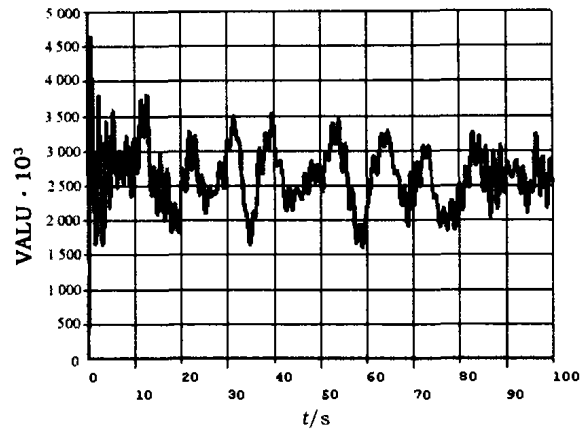


图12 跨中处应力时程响应

参考文献:

- [1] 张勇. 金属拱型波纹屋盖结构分析设计理论与试验研究[D]. 天津:天津大学,2000.
- [2] 王之宏. 风荷载的模拟研究[J]. 建筑结构学报,1994,15(1):44-52.
- [3] 董军,邓洪洲. 高层建筑脉动风荷载时程模拟的 AR 模拟方法[J]. 南京建筑工程学院学报,2000,(2):4-9.
- [4] 张相庭. 结构风压和风振计算[M]. 上海:同济大学出版社,1985.
- [5] 王珩,孙炳楠,楼文娟. 大跨网壳屋盖结构的风振系数[J]. 计算工程设计 CAD 与软件应用,2002,12(73):58-59.
- [6] 张相庭. 工程抗风设计计算手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [7] 谭成冬,张勇,王元清,等. 拱型波纹钢屋盖结构动力特性分析[J]. 成都:四川建筑科学研究,2004,(2):1-4.
- [8] 谭成冬. 拱型波纹钢屋盖结构动力特性及动力响应分析[D]. 北京:清华大学,2004.