

文章编号:1673-9469(2013)03-0001-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2013.03.001

ANSYS对钢框架结构地震谱响应的计算分析

王美农,周晓慧,张付彬

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:本文采用 ANSYS 有限元分析法,进行框架结构地震作用按照地震谱响应计算的分析,以某十层钢框架结构为例,进行模态求解,谱响应分析,模态扩展,模态合并以及时程分析的模拟。结果表明,模态分析得到钢框架的固有频率和振型,可以在设计阶段使结构的自振周期远离主振周期;谱响应分析得到地震谱响应曲线和响应振型,将两者结合考虑可发现发生共振情况的振型和频率,从而测试结构在地震时抗共振的能力,避免钢框架结构在发生地震时由于共振而产生的破坏。

关键词:钢框架;ANSYS;谱分析;地震谱响应;共振

中图分类号: TU352.1

文献标识码: A

Computational analysis of steel frame structures earthquake spectrum action by using ANSYS

WANG Xian-nong, ZHOU Xiao-hui, ZHANG Fu-bin

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: This article uses the ANSYS finite element analysis. The frame structures under earthquake action in accordance with the seismic spectral response are analyzed. With a 10 layer of steel frame structure as an example the modal solving spectral response analysis, modal expansion, modal mergers and schedule analysis of the simulation. The results show that the modal analysis to obtain the natural frequencies and mode shapes of the steel frame. The vibration period of the structure is away from main vibration cycle at the design stage and earthquake spectral response curve and response modal spectral response analysis. Consider the combination of the two can found that the vibration and resonance frequency. All above can avoid the steel frame structure during an earthquake due to damage as a result of the resonance.

Key words: steel frame; ANSYS; spectrum analysis; earthquake spectrum action; resonance

对于钢结构地震作用的计算分析通常采用有限元法,在众多的有限元分析软件中 ANSYS 有建模简单、方便、快速的特点,是结构计算的有效工具。用有限元法来计算钢结构的地震作用通常有四种方法:①把地震作用看作外荷载来处理;②把地震作用看作惯性力来处理;③把地震作用看作瞬态动力响应来处理;④把地震作用看作地震谱响应来处理。一般来说,对于普通钢框架结构进行抗震设计,采用①②两种方案即可;对于重要结构进行抗震设计或对于带有研究性质的抗震设计,采用③④两种方案较优^[1]。

谱分析是一种把模态分析的结果和一个已知谱联系起来,计算结构模型响应(包括位移及反应力等)的分析方法。主要用来确定结构对于随机荷载或随时间变化荷载(地震、风载等)的动力响应。谱即为谱值与频率两者的关系曲线。谱分析适用于任何承受地震作用或其它不规则荷载的结构或构件,如建筑框架结构、桥梁、飞机部件、太空船部件^[2]。本文用有限元软件 ANSYS 对某钢框架的地震作用进行了谱响应分析,从而为钢框架的设计提供了优化方法。

收稿日期:2013-05-08

作者简介:王美农(1965-),女,河北辛集人,教授,从事钢结构教学、科研和设计方面的研究。

1 工程结构计算模型

1.1 基本假设和依据

建筑结构进行地震响应的分析要基于4条假设:1)假设地域为完全刚性。即结构由地震所引起的速度和加速度各处均相同。2)假设运动一致。即地震发生时,结构自身运动特性和所在地域运动特性一致。3)假设为单质点体系,即用ANSYS对结构进行分析时,结构上各个节点在各时刻运动特性相同。4)假设移动分量为线性叠加,即结构所受到的响应可由三个移动分量(转动分量忽略)单独叠加计算得到^[3]。

水平地震谱值可以由《建筑抗震设计规范》GB50011-2010中水平地震影响系数 α 曲线^[4]得到,如图1所示。垂直地震影响系数 $\alpha_v(T)$ 与图1所示水平地震影响系数的趋势大体上相同,一般取 $\alpha_v = (1/2 \sim 3/2) \alpha$ 。

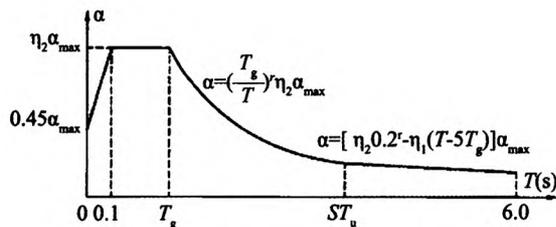


图1 水平地震影响系数曲线

Fig.1 The curve of horizontal seismic effect coefficient

图中: α - 地震影响系数; α_{\max} - 地震影响系数最大值; η_1 - 直线下降段的下降斜率调整系数; γ - 衰减指数; η_2 - 阻尼调整系数; T_g - 特征周期; T - 结构自振周期。

由图1得水平地震谱值简化公式为

$$\alpha = (5.5T + 0.45) \alpha_{\max} \quad (0 < T \leq 0.1 \text{ s})$$

$$\alpha = \alpha_{\max} \quad (0.1 < T \leq T_g)$$

$$\alpha = (T_g / T) 0.9 \alpha_{\max} \quad (T_g < T \leq 3 \text{ s})$$

式中: α - 地震影响系数; α_{\max} - 地震影响系数最大值; T_g - 特征周期; T - 结构自振周期。

1.2 结构有限元模型

钢框架结构模型一共10层,总高度为5.26 m,宽13 m,各层层高相等均为5.26 m,材料数据为弹性模量 $E = 2.1 \text{E}5$,泊松比 $\sigma = 0.3$,材料质量密度 $\rho = 7.85 \text{E} - 9$ 。杆件规格如下表1所示。

表1 杆件规格

Tab.1 The specification of the rods

杆件	截面号	形状	规格/mm
立柱	1	工字钢	700 × 450 × 20 × 30
横撑	2	工字钢	700 × 450 × 16 × 20
竖撑	2	工字钢	700 × 450 × 16 × 20

进行有限元建模时,各层的立柱以及所有的横撑和竖撑均采用空间梁单元 BEAM 188 来进行模拟,所有拉杆均采用杆单元 LINK 8 来进行模拟。BEAM 188 梁单元截面特性的数据由程序自动计算可得,ANSYS 程序可根据所输入截面特性的数据显示出真实截面形状^[5]。结构的有限元模型如图2所示。

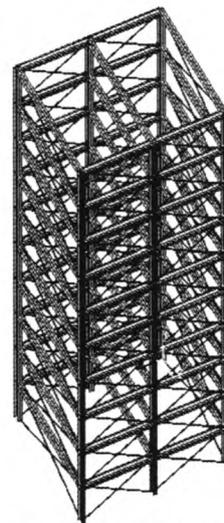


图2 框架结构有限元模型

Fig.2 The model of frame structure finite element

2 模型有限元分析

2.1 模态分析

有限元进行模态分析本质是求矩阵特征值问题,模态的阶数与对应固有频率的阶数相同^[6]。对结构进行模态分析,识别出系统模态的参数,为结构动力特性的设计与优化提供依据^[7]。对钢框架与地连接处各个节点施加位移全约束。采用李兹法^[8]提取前12阶模态,通过分析得到各阶频率计算结果(表2)。

表2 频率计算结果

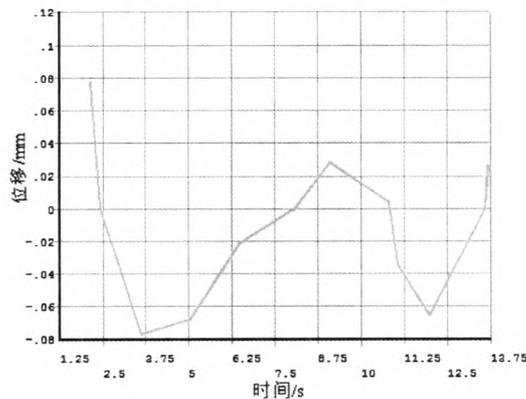
Tab.2 The results of frequency calculation

阶次	频率/Hz	阶次	频率/Hz	阶次	频率/Hz
1	2.135 1	5	6.482 8	9	11.050
2	2.423 7	6	8.093 0	10	11.973
3	3.613 1	7	9.081 6	11	13.583
4	5.018 9	8	10.812	12	13.677

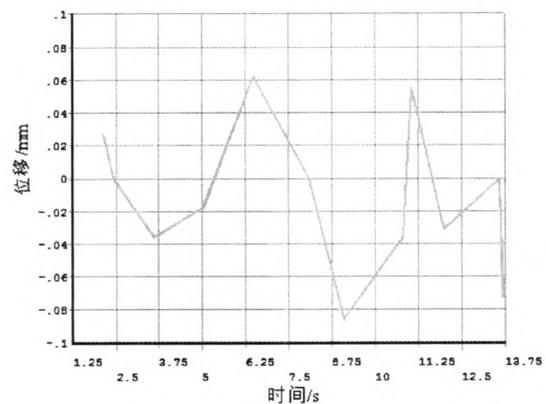
2.2 谱响应分析

地震特征周期 T_g 和地震影响系数 α_{\max} 是进行地震反应谱设计时所需要的两个重要参数^[9]。框架抗震设防烈度 8 度,处于 I 类场地,第二设计地震分组,根据相关规范要求可取 $T_g = 0.3$, $\alpha_{\max} = 0.25$ 。由水平地震影响系数 α 曲线或简化计算公

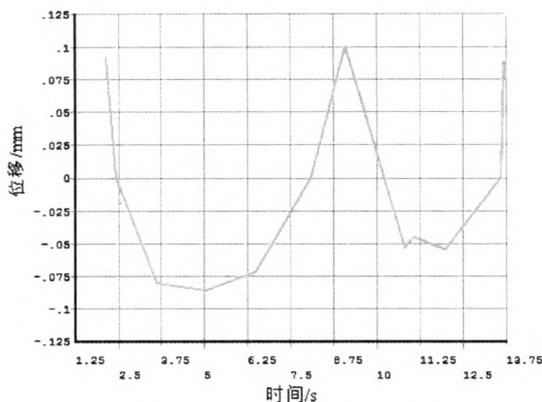
式(1)可求出水平地震谱数据。进行谱响应分析时需要将振动频率和相应的水平地震谱数值根据要求按步骤输入。模态扩展与合并后,进行时程后处理,得到钢框架的地震谱响应曲线。分别选取底层、第 3 层、第 8 层、顶层的正立面中间节点的地震谱响应曲线对此钢框架进行地震谱响应分析,如图 3 所示。



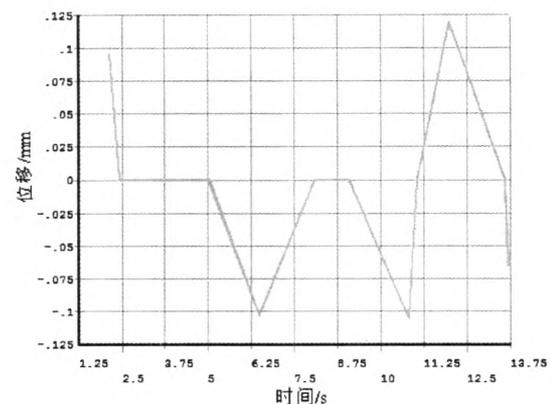
(a) 底层正立面中间节点处



(b) 第3层正立面中间节点处



(c) 第8层正立面中间节点处



(d) 顶层正立面中间节点处

图3 钢框架地震谱响应曲线

Fig. 3 The curve of Steel frame earthquake response spectrum

由图 3 可以看出,此钢框架的谱响应最大的有第 2 阶、第 3 阶、第 6 阶、第 9 阶、第 11 阶,对应频率分别为 2.423 7 Hz、3.613 1 Hz、8.093 0 Hz、11.050 Hz、13.583 Hz,对应振型位移分别为 0.098 8mm、0.105 5mm、0.088 8mm、0.101 4mm、0.082 5mm,以上各阶振型图如图 4 所示。通过图 4 可以看出第 2 阶、第 11 阶振型处结构的变形很小,地震发生时结构不会发生很大破坏,而第 3 阶、第 6 阶和第 9 阶振型处结构的变形很大,地震发生时结构会产生重大破坏。结合谱响应曲线和

振型图可以发现第 3 阶、第 6 阶和第 9 阶振型处易产生共振,设计时应尽量避开这三阶振型。

3 结论

钢框架模态分析得到的固有频率均比较低,自振周期比较大,容易发生共振,主要表现在前 9 阶模态。结合地震谱响应曲线和响应振型进行分析,可以使结构在设计阶段的自振周期远离主振周期,避开共振的振型和频率。

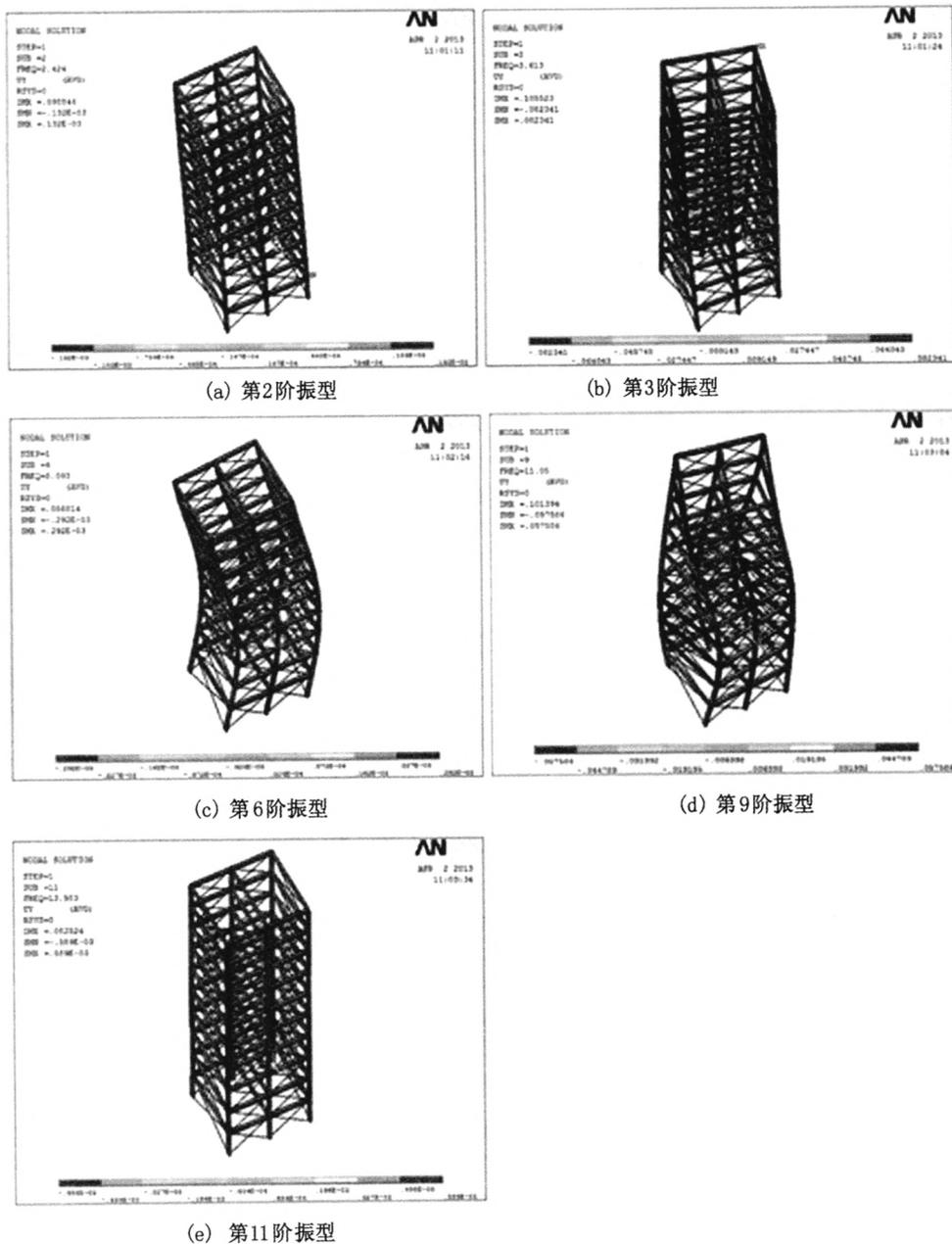


图4 各阶振型

Fig. 4 The vibration mode of the order

参考文献:

- [1] 徐鹤山. ANSYS 建筑钢结构工程实例分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [2] 花能新, 叶献国. 基于 ANSYS 的巨型框架结构体系地震响应分析[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2011, 34(4): 545-548.
- [3] 裴永生, 李淑慧, 赵亦希, 等. 多点成形有限元参数化建模的研究[J]. 河北科技大学学报, 2012, 33(6): 564-568.
- [4] GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].
- [5] AVERY P, MAHENDRAN M. Analytical benchmark solutions for steel frame structures subject to local buckling effects [J]. Journal of Multi Science Advances in Structural Engineering: International, 2009, 3 (3): 215-229.
- [6] 孟庆赛. 钢板剪力墙的极限抗剪承载力[J]. 黑龙江科技学院学报, 2012, 22(2): 42-45.
- [7] 杜加清, 夏军武. 半刚性钢框架竖向跨间刚度计算[J]. 黑龙江科技学院学报, 2012, 22(2): 33-37.
- [8] 张朝晖. ANSYS12.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [9] 朱庆杰, 代兆立, 周云章, 等. 结构抗震设计中最大地震影响系数的计算[J]. 华中科技大学学报: 城市科学版, 2008, 25 (3): 42-45.

(责任编辑 马立)