

文章编号: 1673-9469(2012)01-0008-04

双层柱面网壳结构在 BRB 作用下的减震分析

谭燕秋, 甄晓慧, 史三元

(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 运用 SAP2000 有限元软件对跨度 30 m, 长度 42 m 的正放四角锥双层柱面网壳建立模型, 并进行模态分析和力学性能分析。在 EL-Centro 波作用下对支撑布置位置不同和布置数量不同的网壳结构进行地震响应分析。结果表明: 防屈曲支撑在双层柱面网壳中替换部分杆件时可以起到较好的减震效果, 其中替换受力较大的腹杆要比替换其他位置杆件的减震效果要好, 而在替换腹杆的不同方案中, 替换了 48 根杆件的减震效果明显优于替换 20 根杆件的效果。

关键词: 双层柱面网壳; 减震分析; 防屈曲支撑

中图分类号: TU33

文献标识码: A

Vibration reduction analysis of double-layer cylinder lattice shell with bucking-restrained brace

TAN Yan-qiu, ZHEN Xiao-hui, SHI San-yuan

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

Abstract: The model of square pyramid double-layer cylindrical lattice shell with 30 m span and 42 m length was established for modal analysis and mechanical property analysis by use of the finite element analysis software SAP2000. The seismic response analysis of the shell structures was carried out with the bucking-restrained braces in different locations and different numbers under the EL-Centro wave. The results show that replacing some bars with the bucking-restrained braces in the double-layer cylindrical lattice shell could strengthen the damping effect. The replacement of the web members bearing more loads has a better damping effect than the replacement of other members, and the effect of replacing 48 web members is better than replacing 20 web members in the web-member replacement scheme.

Key words: double-layer cylindrical lattice shell; vibration reduction analysis; bucking-restrained brace

近年来空间网壳结构以其优美的造型和合理的受力形态, 成为优越的结构体系^[1]。然而, 网壳结构复杂, 在动力荷载(如风和地震)作用下可能会造成结构的破坏或坍塌^[2]。网壳结构减震控制方法主要有支座减震、网壳结构自身减震及下部结构减震。但各种减震体系都有一定的局限性, 如在网壳结构中设置大量的阻尼器造价较高, 并需要设置数量较多的隔震支座, 且存在更换和维修的问题; 在下部支撑结构中设置耗能支撑, 有时

会受到下部结构的限制^[3-5]。对此, 王秀丽提出采用防屈曲支撑(bucking-restrained brace, BRB)替代网壳结构部分杆件的做法, 不仅网壳结构外观不会发生变化, 还可以改善结构的受力模式, 从而提高结构的抗震能力^[4-7]。本文采用有限元软件 SAP2000 对跨度 30 m, 长度 42 m 的正放四角锥双层柱面网壳进行了模态分析及动力响应分析, 并对分析防屈曲支撑在结构中替换不同位置和数量杆件时的减震效果。

收稿日期: 2011-11-25

基金项目: 河北省自然科学基金项目(E2010001012) 特约专稿

作者简介: 谭燕秋(1963-) 男, 河北邯郸人, 教授, 从事钢结构方面的教学与研究工作。

1 建立模型

建立正放四角锥双层柱面网壳结构, 两纵边支承(图 1)。网壳跨度 30 m, 长度 42 m, 厚度 1.8 m, 矢跨比 0.25, 网格划分为沿长度方向每 3 m 为 1 格, 沿弧长方向按等弧长原则划分。作用于网壳上的面荷载 $P = 1 \text{ kN/m}^2$, 网壳杆件尺寸为拱向杆 $\phi 127 \times 6$, 其它杆 $\phi 89 \times 6$ 钢管, 所有杆件均采用 Q235-B 无缝钢管, 密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, 弹性模量 $E = 206 \text{ Gpa}$, 泊松比 $\lambda = 0.3$, 防屈曲支撑核心钢件屈服强度 $\delta = 100 \text{ Mpa}$ 。II 类场地土, 抗震设防等级为 8 度, 阻尼比 $\xi = 0.02$, 计算长度 30 s。

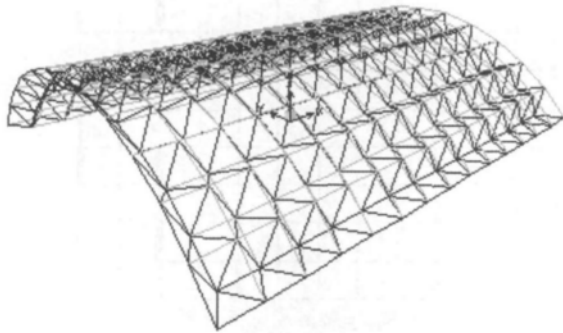


图1 双层柱面网壳计算模型

Fig.1 Calculation model of double-layer cylindrical lattice shell

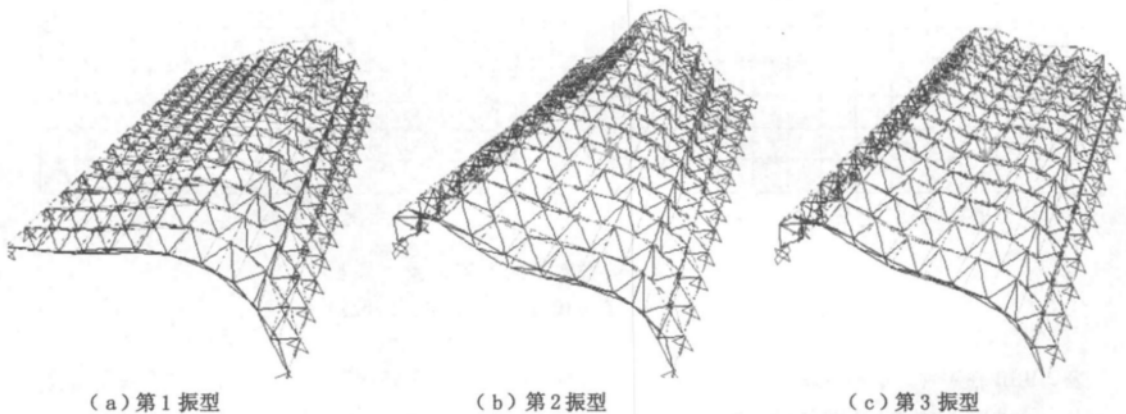
2 结构自振特性分析

模态分析主要用于确定结构的动力特性, 通过模态分析的结果, 可以了解结构的固有频率及振动形式^[8-9]。由模态分析整理结构的前 10 阶模态自振周期(表 1) 及振型(限于篇幅仅给出前 3 阶振型, 见图 2) 可以看出, 双层柱面网壳自振频率非常密集, 其第 1 振型为水平振型, 第 2 振型为竖向振型, 之后水平振型和竖向振型交错出现, 水平振型出现较多。由此可知, 该网壳动力响应主要受水平方向地震作用控制, 其中又以侧向刚度较小的 y 向为主, 而竖向地震作用也不可忽略。

表 1 双层柱面网壳前 10 阶频率及周期

Tab.1 Top ten - step frequency and the relevant period of double - layer cylindrical lattice shell

| 阶次 | 频率/Hz | 周期/s | 阶次 | 频率/Hz | 周期/s |
|----|-------|-------|----|--------|-------|
| 1 | 3.696 | 0.271 | 6 | 9.646 | 0.107 |
| 2 | 4.612 | 0.217 | 7 | 12.865 | 0.078 |
| 3 | 5.665 | 0.150 | 8 | 14.339 | 0.062 |
| 4 | 6.941 | 0.143 | 9 | 16.133 | 0.062 |
| 5 | 7.266 | 0.139 | 10 | 16.483 | 0.061 |



(a) 第 1 振型

(b) 第 2 振型

(c) 第 3 振型

图2 网壳结构前3阶振型

Fig.2 The first three-step vibration model of reticulated shell

3 结构动力响应分析

3.1 网壳结构动力响应分析

选用 EL - Centro 地震波对正放四角锥双层柱面网壳结构进行动力响应分析, 得到横向弦杆内

力大于纵向弦杆和腹杆的内力, 横向弦杆在跨中内力最大。因此, 在本网壳结构中选取位移最大的节点 231 和轴力最大杆件 679 进行分析。

3.2 支撑布置位置不同时动力响应分析

动力响应分析表明, 正放四角锥双层柱面网

壳结构的横向弦杆变形最大,尤其是横向上弦杆,其次是横向下弦杆和腹杆。因此,应首先考虑将支撑布置在横向上弦杆和下弦杆,其次是纵向杆和腹杆。但由于 BRB 屈服强度较低,替代主要受力构件会对结构承载力有较大影响,不利于抗震^[10],所以支撑不宜布置在横向上弦杆跨中。基于此,设计 4 种布置方案对支撑布置位置不同时的减震效果进行研究(图 3)。方案均采用相同数量(20 根)的支撑进行等截面杆件替换,其中,方案 1 采用支撑替换横向上弦杆,方案 2 采用支撑替换横向下弦杆,方案 3 采用支撑替换纵向上弦

杆,方案 4 采用支撑替换腹杆。

表 2 给出了 4 种方案在 EL-Centro 波作用下最大位移减震率及轴力减震率。可以看出,方案 1、方案 2、方案 4 在节点 231 处的最大位移和杆件 679 处的最大轴力都有所减小,说明这 3 种方案均达到了一定的减震效果。其中方案 4 的位移减震率和轴力减震率最大,达到了 19.9% 和 15.8%;方案 1 和方案 2 次之,表明在腹杆受力较大处布置防屈曲支撑的减震效果优于横向上、下弦杆处。方案 3 的最大位移和轴力反而有所增大,没有达到减震效果,即此方案不合理。

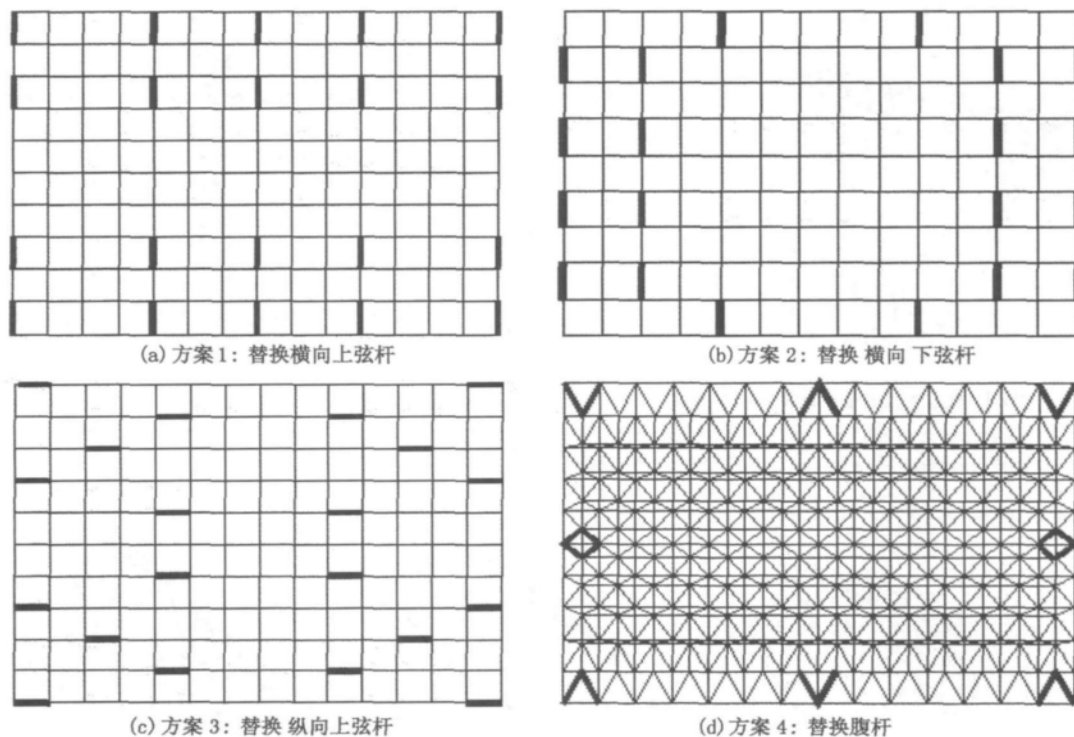


图3 BRB在4种方案中的布置位置

Fig.3 Layout location of BRB in four different scheme

表 2 BRB 在 4 种方案的减震效果比较

Tab.2 Damping effect comparison in four kinds of schemes with BRB

| 方案 | 节点 231 | | 杆件 679 | |
|------|--------|-------|---------|-------|
| | 位移/mm | 减震率/% | 轴力/kN | 减震率/% |
| 原结构 | 16.1 | - | -106.32 | - |
| 方案 1 | 14.1 | 12.4 | -92.66 | 12.8 |
| 方案 2 | 14.4 | 10.5 | -92.38 | 13.1 |
| 方案 3 | 16.9 | -5 | -106.72 | -0.3 |
| 方案 4 | 12.9 | 19.9 | -89.56 | 15.8 |

表 3 替换不同数量支撑的减震效果比较

Tab.3 Damping effect comparison in different number with BRB

| 方案 | 节点 231 | | 杆件 679 | |
|---------|--------|-------|---------|-------|
| | 位移/mm | 减震率/% | 轴力/kN | 减震率/% |
| 原结构 | 16.1 | - | -106.32 | - |
| 替换 20 根 | 12.9 | 19.9 | -89.56 | 16 |
| 替换 48 根 | 11.7 | 27.3 | -78.36 | 26.3 |

3.3 支撑布置数量不同时动力响应分析

为了对比支撑布置数量不同时结构的减震效果,在方案 4 基础上增设 28 根腹杆,布置形式仍以替换两边横向边跨的腹杆为主,并对其进行地震响应分析。表 3 给出了 2 种方案(即替换 20 根腹杆、替换 48 根腹杆)的最大位移减震率及轴力减震率。可以看出 EL-Centro 波作用下,2 种替换方案均可以起到减震控制的作用,而替换 48 根腹杆比替换 20 根腹杆的减震效果更好一些。

4 结论

1) 防屈曲支撑在双层柱面网壳中替换部分杆件对结构的减震有较好的控制效果。

2) 不同的布置位置对双层柱面网壳结构有不同的减震效果,在腹杆受力较大处布置防屈曲支撑的减震效果优于横向上、下弦杆处,但并非所有的布置形式都会对双层柱面网壳有减震效果。

3) 防屈曲支撑的数量对双层柱面网壳的减震效果有影响,替换不同数量的支撑对双层柱面网壳结构减震效果也不相同。

参考文献:

[1] 张毅刚,薛素铎,杨庆山,等. 大跨空间结构[M].

(上接第 7 页)

5 结论

1) 运用粒子群优化算法惯性权重调整策略动态的调整人工鱼的步长,很好的克服了基本人工鱼群算法后期收敛速度慢、寻优精度不高的缺陷。

2) 在承载力优化前后相差不大且符合设计要求的前提下,改进后的人工鱼群算法经过更少的迭代次数求得目标函数值,达到结构重量最轻的目的。

参考文献:

- [1] 唐文艳. 结构优化中的遗传算法研究和应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2001.
- [2] 李丽娟,黄志斌,刘锋. 启发式粒子群优化算法及其在空间结构优化中的应用[J]. 空间结构, 2008, 14(3): 47-55.
- [3] 李红芳. 混沌遗传算法与结构优化设计[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [4] 张忠伟. 结构优化中粒子群算法的研究与应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.

北京: 机械工业出版社, 2005.

- [2] 冯雷鸣,魏建国,白永兵. 双层柱面网壳在粘滞阻尼器作用下的减震研究[J]. 四川建筑, 2008, 28(6): 101-104.
- [3] 曹资,薛素铎. 空间结构抗震理论与设计[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 王秀丽. 大跨度空间钢结构分析与概念设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 薛素铎,曹资,王健宁. 双层柱面网壳弹塑性抗震性能[J]. 工业建筑, 2003, 32(2): 59-61, 82.
- [6] 王秀丽,高森,陈祥勇. 约束屈曲支撑在单层网壳减震控制中的应用研究[J]. 空间结构, 2009, 15(4): 65-69.
- [7] 史三元,刘春生,马裕超,等. 隅撑支撑钢框架结构抗震性能分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2009, 26(3): 8-11.
- [8] 张春玉,赵延林,陈勇. 混合变量遗传算法在预应力网架结构中的应用[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(4): 306-309.
- [9] 彭俊生,罗永坤,彭地. 结构动力学、抗震计算与 SAP2000 应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2007.
- [10] 周云. 防屈曲耗能支撑结构设计与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

(责任编辑 马立)

- [5] 李晓磊,邵之江,钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 32-38.
- [6] BONABEAU E, THERAULAZ G. Swarm smarts [J]. Scientific American, 2000, 282(3): 72-79.
- [7] 刘彦君,江铭炎. 自适应视野和步长的改进人工鱼群算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(25): 35-37.
- [8] 王晓敏,刘宏伟,李石妍. 改进型混沌粒子群算法求解函数均值问题[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 100-104.
- [9] 周书敬,薄涛,史三元. 混合算法在轻钢结构优化设计中的应用[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(2): 71-74.
- [10] 许小丽. 一种新的交叉粒子群算法[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2010, 23(1): 19-22.
- [11] 李峰,唐和生,薛松涛,等. 粒子群优化算法在桁架优化设计中的应用[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(1): 7-12.
- [12] 项宝卫. 结构优化中的模拟退火算法研究和应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2004.

(责任编辑 马立)