

某游泳馆球面网壳屋盖结构分析与设计

吴志伟

安徽省建筑工程质量第二监督检测站 安徽合肥

【摘要】本文采用 3D3S 14.1 针对某游泳馆单层凯威特型球面网壳屋盖结构进行结构计算与分析, 分别对结构的模态、内力和位移进行分析, 研究表明: 结构前 3 阶模态自振周期分别为 0.36s、0.34s 和 0.31s, 最不利振型为顶部 Z 向上下平动。网壳结构杆件最大压力为-129.5kN, 结构最大负位移为-21.0mm, 且最不利内力和位移均发生在支座处。结构构件应力比最大值为 0.78, 能够满足承载力计算要求。

【关键词】网壳结构; 自振周期; 内力和位移; 最不利位置

The Structural Analysis and Design of Spherical Reticulated Shell Roof of a Swimming Pool

Zhiwei Wu

The Second Supervision and Inspection Station of Construction Engineering Quality of Anhui Province, Hefei

【Abstract】 In this paper, 3D3S 14.1 is used for the structural calculation and analysis of a single-layer Kaiwitt-type spherical reticulated shell roof structure of a swimming pool, and the modal, internal force and displacement of the structure are analyzed respectively. The periods are 0.36s, 0.34s and 0.31s, respectively, and the most unfavorable mode shape is the top Z translation up and down. The maximum pressure of the reticulated shell structure rod is -129.5kN, the maximum negative displacement of the structure is -21.0mm, and the most unfavorable internal force and displacement occur at the support. The maximum stress ratio of structural members is 0.78, which can meet the calculation requirements of bearing capacity.

【Keywords】 Reticulated shell structure; Natural vibration period; Internal force and displacement; The most unfavorable position

引言

随着大跨度空间结构的日益发展, 网壳结构由于其轻质、高强、易安装等特点被广泛应用于各种场馆建设。但网壳结构在节点设计、刚度退化和整体稳定等方面存在一定的安全问题, 需要在结构设计中引起关注。基于此, 国内外的一些专家学者对网壳结构的节点设计、刚度与稳定问题展开了一系列研究。在节点设计及安全问题上, 曹源^[1]等人针对某购物中心中庭采光穹顶自由曲面单层网壳节点进行有限元分析, 考察了节点的受力性能及其对整体结构性能的影响。Wu^[2]等人针对凯威特单层球面网壳进行多点弹塑性冲击和破坏性冲击试验。研究了冲击过程关键构件的动态应变、关键节点动态位移和动态加速度。在结构刚度方面, 王元清^[3]等人分析了几何参数对盘式节点整体刚度与变形性能的影响。Ma^[4]等人基于

ABAQUS, 考察节点刚度和节点承载力两个节点参数对结构破坏模式的影响, 并提出失效模式识别方法和控制方法。在稳定性研究中, 王多智^[5]等人开展了考虑有檩体系屋面系统的单层网壳结构静力稳定性研究。Liu^[6]研究了铝合金单层网壳的稳定性问题, 为铝合金单层网壳结构的稳定设计和规范提供了依据。

本文以某游泳馆单层凯威特型球面网壳屋盖结构为研究对象, 利用 3D3S 14.1 软件对网壳结构进行模态分析和静力分析。首先计算了结构的模态、杆件及节点内力和位移、构件应力比并进行结构安全验算, 进而确定结构最不利振型、自振周期及频率、最不利节点及构件及结构最不利位置, 为此类结构的工程设计提供依据和参考。

1 工程概况

该游泳馆总建筑面积 4600m², 设置深水区 and 浅

水区,分别布置6条泳道和4条泳道。游泳馆为单层半地下室结构,主体结构1层,结构高度7.4m,采用框架-剪力墙结构体系,局部存在悬挑等不规则结构,屋盖采用单层凯威特型球面网壳结构。本文研究对象为屋盖结构,屋盖模型及尺寸如图1所示。材料采用钢材,弹性模量为 $2.06 \times 10^5 \text{MPa}$,泊松比为0.30,密度为 7850kg/m^3 。结构均采用圆钢管,钢管直径范围为80mm~300mm。

结构计算施加荷载为恒荷载 1kN/m^2 、活荷载 0.5kN/m^2 、两个工况风荷载体型系数分别为0.5和-0.5、温度荷载为 $\pm 20^\circ \text{C}$ 。结构抗震设防烈度为6度(0.05g),设计地震分组为第一组,场地类别为II类,场地特征周期 $T_g = 0.25 \text{s}$,阻尼比 $\xi = 0.04$,水平地震影响系数最大值0.040,地震力计算方法采用振型分解法,结构荷载均采用双向节点导荷。

2 结构计算

2.1 模态分析

一个多自由度振动体系振动方程如式(1)所示

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = P(t) \quad (1)$$

其中 y 为运动位移, M 、 C 、 K 分别质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵, $P(t)$ 为施加荷载。

对多自由度系统响应的分析,考虑将其分解为多个单自由度系统的响应,再组合起来。由此,提出矩阵对角化即“解耦”方法。考虑无阻尼(或小阻尼)系统,同时无外界强迫荷载,即 $C=0$, $P=0$ 。那么,动力学方程解耦过程即求解质量矩阵 M 关于刚度矩阵 K 的广义特征值问题,如(2)式所示。

$$|K - \omega^2 M|Y = 0 \quad (2)$$

解得多个特征值 ω_i^2 和对应的特征向量 Y_i ,则 ω_i 就是模态分析中的频率, Y_i 就是对应的模态。

经过计算,该游泳馆单层凯威特型球面网壳屋盖

结构前3阶自振周期分别为0.36s、0.34s和0.31s,对应的频率分别为3.49Hz、3.66Hz和4.05Hz,对应的模态分别为顶部Z向上下平动,Y向左右平动和X向前后平动。

2.2 静力分析

任何一个处于平衡状态中的变形体,当发生任意一个虚位移时,变形体所受外力在虚位移时所做的总虚功恒 δW_e 等于变形体所接受的总虚变形功 δW_i ,即 $\delta W_e = \delta W_i$ 。 δW_e 和 δW_i 表达式如式(3)和式(4)所示。

$$\delta W_e = \sum_i P_i \Delta_{P_i} + \sum_i \int q_i \Delta_{q_i} ds \quad (3)$$

$$\delta W_i = \sum_i \int (F_N \delta_\epsilon + F_Q \delta_\gamma + M \delta_\tau + M_Z \delta_\phi) ds \quad (4)$$

其中, P_i 和 Δ_{P_i} 分别表示结构外加荷载和变形量, q_i 和 Δ_{q_i} 分别表示截面力和变形, F_N 、 F_Q 、 M 和 M_Z 分别表示结构的轴力、剪力、扭矩和弯矩,对应的 δ_i 即为对应方向的变形量。

3 结果分析

3.1 内力和位移结果

网壳结构结构内力和位移计算结果如图2所示。由图2(a)可以发现,结构最大拉力为21.2kN,最大压力为-129.5kN,且均为连接支座杆件。如图2(b)所示,结构最大正位移为6.5mm,最大负位移为-21.0mm,均发生在支座处。分析可知,结构杆件以受压为主,符合网壳结构一般力学原理,但最不利内力和变形均出现在支座处,在结构设计时需要注意。

3.2 验算结果

根据计算分析模型和《空间网格结构技术规程》,进行规范验算,验算结果表明,结构能够满足承载力计算要求,应力比最大值为0.78,且杆件应力比主要分布在0.7以下部分。图(3)为结构总体应力比分布图:

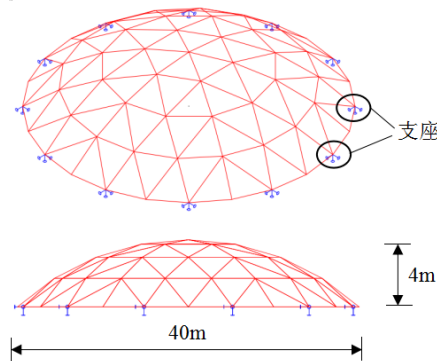


图1 屋盖模型及尺寸

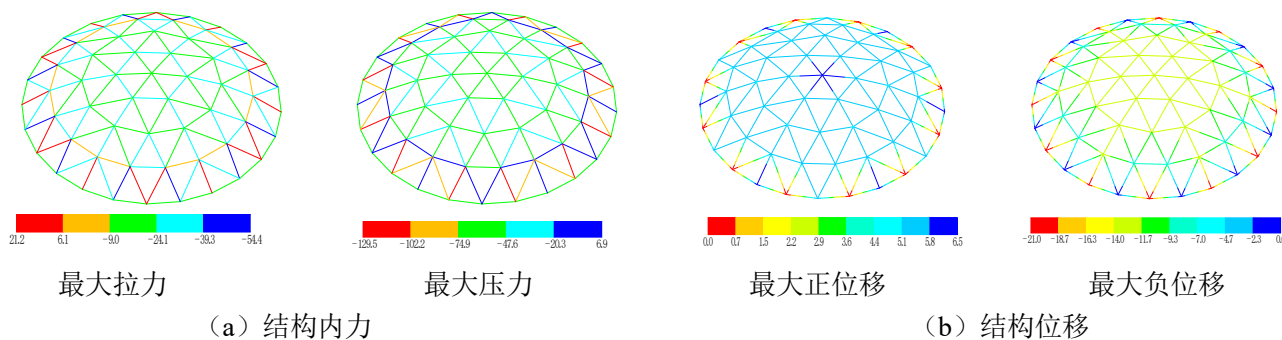


图 3 杆件应力比分布图

4 结论

本文采用 3D3S 14.1 针对单层凯威特型球面网壳屋盖结构进行模态分析和静力分析, 研究结果表明:

(1) 结构前 3 阶振型自振周期分别为 0.36s、0.34s 和 0.31s, 对应的频率分别为 3.49Hz、3.66Hz 和 4.05Hz, 最不利振型为顶部 Z 向上下平动。

(2) 结构杆件最大拉力为 21.2kN, 最大压力为 -129.5kN, 结构最大正位移为 6.5mm, 最大负位移为 -21.0mm, 且结构最不利内力和位移均发生在支座处。

(3) 结构构件应力比最大值为 0.78, 且杆件应力比主要分布在 0.7 以下部分, 能够满足承载力计算要求。

参考文献

[1] 曹源,陶志雄,龙浩,温四清.某自由曲面单层网壳结构与节点分析[J].建筑结构,2022,52(S1):591-596.

[2] Wu C., Yang Y.P., Gou B.L., et al. Research on a multi-point impact test of single-layer spherical reticulated shell [J]. Journal of Constructional Steel Research,2021,186:106897.

[3] 王元清,张俊光,张颖,刘明,柳晓晨,欧阳元文.铝合金网壳结构盘式节点整体刚度与变形性能的参数分析[J].建筑

科学与工程学报,2019,36(03):16-27.

[4] Ma H.L., Ma Y.Y., Fan F., et al. Failure mechanism and design method of reticulated shells considering joint damage accumulation effect under earthquake load [J]. Structures, 2022, 39: 667-678.

[5] 王多智,李文亮,支旭东.考虑有檩体系屋面系统的网壳结构静力稳定性分析[J].工程力学,2017,34(S1):71-77.

[6] Liu H.B., Zang Q., Chen Z.H.. Stability of single-layer reticulated shells with AAG joints, Thin-Walled Structures, 2022, 180:109675.

收稿日期: 2022 年 7 月 1 日

出刊日期: 2022 年 8 月 10 日

引用本文: 吴志伟, 某游泳馆球面网壳屋盖结构分析与设计[J]. 建筑工程进展, 2022, 2(2): 109-111. DOI: 10.12208/j.ace.20220057

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS