

Optimization Analysis of Long-span Stadiums and Gymnasiums Based on Workbench

Yuji Zhang¹ Tianlun Tian¹ Cheng Wang¹ Benjun Xiang²

1. School of Water Conservancy and Electric Power of Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang, 150080, China

2. School of Architecture and Engineering of Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang, 150080, China

Abstract

The internal system of the large-span sports venues is complex, so it is difficult to optimize the calculation and analysis of the finite element structure. This paper takes a long-span sports stadium as the research object to study the impact of the structural rod section on the total quality of the structure and its total deformation, and ensure the safety of complex long-span sports venues with ANSYS Workbench software to reduce the amount of steel, and realize the purpose of saving resources. The research shows that the optimization of ANSYS Workbench multi-target genetic algorithm reduces the total mass and deformation of the complex long-span sports stadium structure by 3.00% and 5.48%, respectively, thus optimizing the structure.

Keywords

large-span stadiums; Workbench; multi-objective genetic algorithm

基于 Workbench 的大跨度体育场馆优化分析

张裕己¹ 田天伦¹ 王程¹ 向本军²

1. 黑龙江大学水利电力学院, 中国·黑龙江 哈尔滨 150080

2. 黑龙江大学建筑工程学院, 中国·黑龙江 哈尔滨 150080

摘要

大跨度体育场馆形式变化多样、结构中内部体系复杂, 在进行有限元结构的计算优化分析上具有一定程度困难。论文现以一个大跨度体育场馆为研究的对象, 研究结构杆件截面对结构总质量及其总变形的影响, 确保复杂大跨度体育场馆安全的基础上利用 ANSYS Workbench 软件对其进行优化, 减少用钢量, 实现节约资源的目的。研究表明, 通过 ANSYS Workbench 的多目标遗传算法进行优化, 使得复杂大跨度体育场馆结构的总质量以及总变形分别减少 3.00%, 5.48%, 使得结构达到优化目的。

关键词

大跨度体育场馆; Workbench; 多目标遗传算法

1 引言

随着现代化城市的发展, 越来越多大跨度空间结构出现在我们视野里, 在空间结构中大跨度体育场馆以各种各样的造型和广阔的使用空间受到设计师们的热爱。相反, 这种结构形式多变、结构中内部体系复杂, 给于结构内部体系的确定以及用钢量的计算优化分析带来一定挑战。近些年, 大跨度体育场馆的研究成果丰富, 张智博等^[1]根据实际工程, 对大跨度体育场馆的三种结构体系方案进行整体稳定性和经济性进行对比分析。向本军等^[2]对复杂体育场馆不同形式下的空间网格进行整体稳定性分析。周玥丞等^[3]结合实际工程, 对雅安天全体育馆索穹顶结构中的外脊索节

点分别运用两种优化方法进行拓扑优化。舒赣平^[4]对某高校大跨度体育馆钢结构屋盖, 在用钢量较小的情况下利用 SAP2000 软件进行优化结构整体布置。

论文针对复杂大跨度体育场馆的结构杆件截面对结构总质量及其总变形的影响, 确保复杂大跨度体育场馆安全的基础上利用 ANSYS Workbench 软件对其进行全过程优化分析。基于 ANSYS2021 R1 完成体育馆模型以及有限元优化分析, 进而选出最优模型。

2 工程概况

选取复杂大跨度体育场馆长轴 153.0m, 失高 41.6m, 短轴 143.6m。该场馆造型复杂, 底部为不规则曲面形成的气泡状结构, 中间为圆形穹顶结构。在设计过程中, 采用 ANSYS Workbench 软件建立有限元模型, 考虑结构自重和结构的悬挂荷载, 荷载采用均布恒荷载取值 $q_0=2.0\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$

【作者简介】张裕己(1995-), 男, 中国海南海口人, 硕士, 从事大跨度钢结构研究。

和均布活荷载取值 $q_L=0.6\text{kN}\cdot\text{m}^2$ ，荷载组合 $1.3q_D + 1.5q_L$ 。杆件采用 Beam188 梁单元，节点刚接节点，支座为固定铰支座。材料为理想弹塑性模型，钢材密度 $7850\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ，弹性模量为 210GPa ，泊松比为 0.3 。材料选用 Q355B 钢材，杆件选用圆钢管和 H 钢管。

3 结构体系方案

根据上部空间网格，网格形式为凯威特空间网格结构（见图 1）。凯威特空间网格结构^[5]。它是由 10 根通长的径向杆线把球面分成 10 个对称扇形曲面，然后在每个扇形曲面内，再由纬向杆系和斜向杆系将此曲面划分为大小比较匀称的三角形网格，在每个扇形平面中各左斜杆平行、各右斜杆平行，网格大小匀称，而且内力分布均匀，常用于大、中跨度的穹顶中。结构空间网格的矢高均为 6.5m ，跨度均为 62.1m 。结构底部为不规则曲面形成的气泡状结构，中间为圆形穹顶结构。基于这个结构对其结构杆件截面对结构总质量及其总变形的影响，确保复杂大跨度体育场馆安全的基础上利用 ANSYS 软件对其进行全过程优化分析。

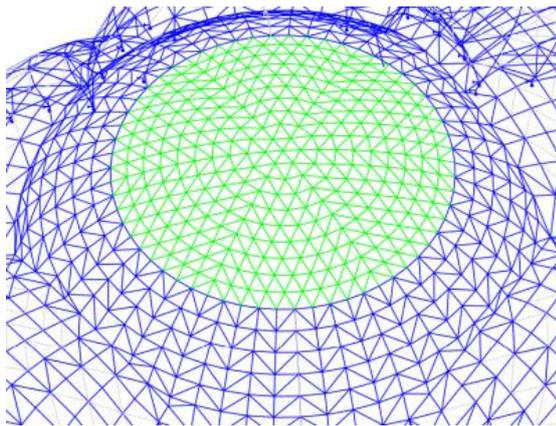


图 1 凯威特型空间网格形式主体结构

4 响应面分析

响应面分析是分析大量优化变量同时作用对优化目标影响，论文选择两个优化变量共同对优化目标影响，然后计算出相应的响应面。选择圆钢管的圆形管道 R 和圆形管道 2R 的截面尺寸对优化目标进行分析，即选圆形管道 Ri 和圆形管道 Ro、圆形管道 2Ri 和圆形管道 2Ro 两组优化变量当作其中的纵横坐标，观察优化变量对于优化目标影响变化。在响应面中总质量在两组优化变量的影响下响应面如图 2 所示。由图 2 (a)、(b) 中的颜色变化可知响应面的颜色比较分散，其中颜色偏向优化变量圆形管道 Ri 和圆形管道 2Ri，即优化变量圆形管道 Ro 和圆形管道 2Ro 变化时对于总质量变化较小，说明优化变量圆形管道 Ri 和圆形管道 2Ri 比优化变量圆形管道 Ro 和圆形管道 2Ro 对总质量的影响更大。

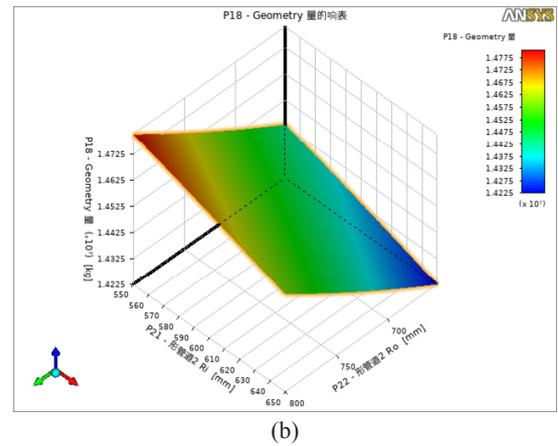
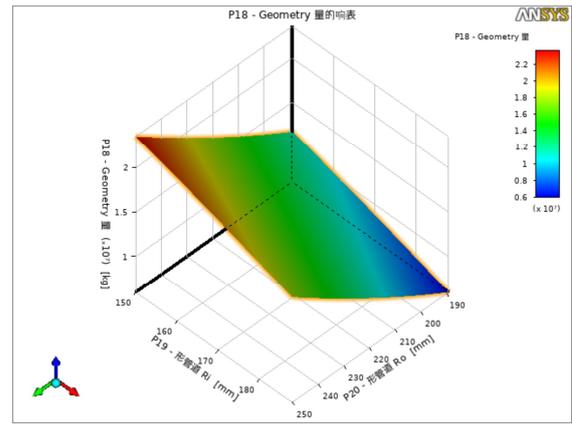


图 2 总质量响应面

在响应面中总变形在两组优化变量影响下响应面如图 3 所示，根据图 3 (a) 的颜色分布变化知，优化变量圆形管道 Ro 对总变形的灵敏度影响比圆形管道 Ri 明显，而且当两个参数共同作用时优化变量圆形管道 Ro 对总变形的影响具有主导作用，响应面的曲面弯曲小，优化变量圆形管道 Ro 和圆形管道 Ri 对总变形的作用近似线性。由图 3 (b) 知，优化变量圆形管道 2Ri 相对于圆形管道 2Ro 对于总变形的影响较大，并且优化变量圆形管道 2Ri 和圆形管道 2Ro 对于总变形的作用下近似线性。

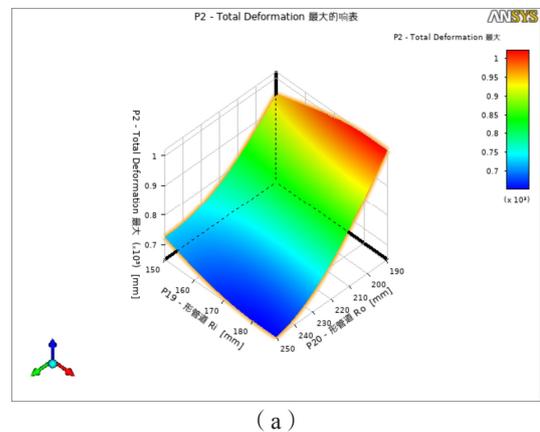
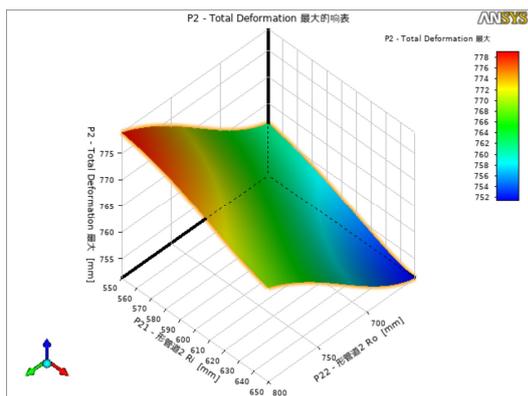


图 3 总变形的响应面



(b)

续图3 总变形的响应面

5 ANSYS Workbench 的多目标遗传算法优化

利用多目标遗传算法对复杂大跨度体育场馆进行优化计算,优化目标为总质量以及总变形,优化变量为构件截面,且考虑其约束条件,最后计算出三个候选点且计算得到总质量以及总变形。为得到最好的优化结果,将优化前后的总质量以及总变形进行对比,计算出的三个候选点对应的总质量

以及总变形的优化结果有一些差异。通过三个候选点,选择一个候选点对应的截面为最终的优化结果,结果可知总质量以及总变形分别减少 3.00%、5.48%,成功实现优化目的。

6 结语

对于该复杂大跨度体育场馆,通过 ANSYS Workbench 的多目标遗传算法进行优化计算,使得复杂大跨度体育场馆结构总质量以及总变形分别减少 3.00%、5.48%,实现结构优化,减少用钢量,实现节约资源的目的。

参考文献

- [1] 张智博,李方慧,唐浩.复杂大跨度体育场馆结构优化分析[J].黑龙江大学学报,2020,11(3):14-22.
- [2] 向本军,李方慧,张智博,等.网格形式对大跨度体育馆整体稳定性影响分析[J].黑龙江大学学报,2021,12(4):1-6.
- [3] 周玥丞,赵阳,向新岸.雅安天全体育馆索穹顶节点拓扑优化探究[J].空间结构,2021,27(3):74-80+52.
- [4] 舒贻平,严鑫.某高校体育馆钢结构屋盖设计方案比选与优化[J].建筑结构,2020,50(9):37-43.
- [5] 张志刚.单层球面网壳稳定设计方法研究[D].广州:华南理工大学,2011.