

# Analysis of the Design of a Steel Structure Shed at a Gas Station

Xing Liu

College of Water Resources and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang, 150080, China

## Abstract

This paper takes the grid structure of a gas station as a research object, and uses 3D3S and ANSYS to establish the structure model of the canopy, and compares and analyzes its dynamic characteristics. Determine the load on the structure according to the actual situation, perform static analysis on the structure under different load conditions and consider the structure's economy. The research results show that: For the dynamic characteristics of the structure, 3D3S and ANSYS calculate the maximum natural vibration period of the structure is 0.70 and 0.73 respectively; in the first 9 modes, the mass participation coefficients in the X, Y, and Z directions are 93.37% and 94.28, and 15.81%. In the static analysis of the structure, the maximum axial force (tensile) of the structural members is 138.3kN, and the minimum axial force (compressed) is -174.0kN; the maximum positive displacement and the maximum negative displacement of the structure are 5.1mm and -33.9mm, the strength-stress ratio and stable stress of the structure are concentrated in 0.00~0.50, and a few of the members are between 0.50 ~ 0.80.

## Keywords

grid structure; load conditions; dynamic characteristics; static analysis

# 某加油站钢结构罩棚设计分析

刘兴

黑龙江大学水利电力学院, 中国·黑龙江 哈尔滨 150080

## 摘要

论文以某加油站网架结构罩棚为研究对象, 分别采用 3D3S 和 ANSYS 建立罩棚结构模型, 对其动力特性进行对比分析。根据实际情况确定结构所受荷载, 在不同荷载工况下对结构进行静力分析并考虑结构的经济性。研究表明: 对于结构的动力特性, 3D3S 和 ANSYS 计算结构的最大自振周期分别为 0.70 和 0.73; 前 9 阶振型中, X、Y、Z 方向的质量参与系数分别为 93.37%、94.28% 和 15.81%。在结构的静力分析中, 结构杆件轴力最大值(受拉)为 138.3kN, 轴力最小值(受压)为 -174.0kN; 结构最大正位移和最大负位移分别为 5.1mm 和 -33.9mm, 结构的强度应力比和稳定应力均集中在 0.00~0.50, 少部分杆件在 0.50~0.80 之间。

## 关键词

网架结构; 荷载工况; 动力特性; 静力分析

## 1 引言

网架网壳体系结构稳定、造型轻盈, 不仅节省使用空间, 而且满足结构经济性的要求, 是设计师在设计大跨度结构时的首要选择。结构的静力特性与动力特性对结构的优化设计与结构的整体稳定性至关重要。近年来, 针对结构静动力特性的研究成果层出不穷, 张爱林<sup>[1-2]</sup>等对 2008 年奥运羽毛球馆弦支穹顶的进行了动力特性分析, 并根据分析结果对结构进行了地震时程分析。渠瑞娟<sup>[3]</sup>详细分析了大跨四坡折板网架结构的静动力特性, 为四坡折板网架结构的工程应用提供了重要依据和参考。韩庆华<sup>[4]</sup>等针对吊顶结构的自振特性进行研究, 并对每层附有吊顶的空间钢框架进行了振动台试验。

为了研究不同地震输入维数以及地震输入角度对结构响应的影响, 张爱林<sup>[5]</sup>等对屋盖及其支承结构的整体结构进行了动力特性分析。

上述研究仅仅局限于大跨度钢结构的动力特性及地震响应, 而对加油站网架结构的动力特性、静力分析十分有限, 论文以某加油站双层网架结构罩棚为研究对象, 分别采用 3D3S 和 ANSYS 建立罩棚结构模型, 对其动力特性进行对比分析。根据实际情况确定结构所受荷载, 在不同荷载工况下对结构进行静力分析并考虑结构的经济性。

## 2 工程概况

加油站网架结构罩棚占地面积 926.7m<sup>2</sup>, 总建筑面积

320m<sup>2</sup>, 如图1加油站鸟瞰图所示, 结构总长20.0m, 宽16.0m, 高度9.5m, 挑檐长度2.0m。



图1 加油站鸟瞰图

结构效果如图2所示, 根据《钢结构设计标准 GB50017-2017》<sup>[6]</sup>和《空间网格技术规程》(JGJ7-2010)<sup>[7]</sup>, 结构设计安全等级为一级, 设计使用年限为50年, 防火等级为一级。基本风压为0.50kN/m<sup>2</sup>, 地面粗糙度类别为B类, 风压高度变化修正系数为1.00, 风荷载计算用阻尼比去0.02。抗震设防烈度为7度, 基本地震加速度为0.10g, 场地土类别为II类, 设计地震分组为第一组, 结构重要性系数取1.1。



图2 加油站效果图

### 3 模型建立与结构特性

#### 3.1 模型建立

加油站钢结构罩棚由双层网架结构和支撑柱子组成。罩棚主体采用焊接空心球网架结构, 支撑柱子与地面混凝土墩相连, 形成稳定的受力体系。其中网架结构长20.0m, 宽16.0m, 高1.5m, 支撑柱子高8.0m。结构构件均采用圆钢管, 钢管截面和数量如表1所示。由3D3S和ANSYS建立的整体结构模型分别如图3和图4所示。

表1 钢管截面和数量

| 直径 | φ48x3.5 | φ60x3.5 | φ88.5x4 | φ114x4 | φ159x10 | φ180x12 | φ219x14 | φ245x14 |
|----|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 数量 | 1067    | 113     | 165     | 98     | 22      | 16      | 8       | 8       |

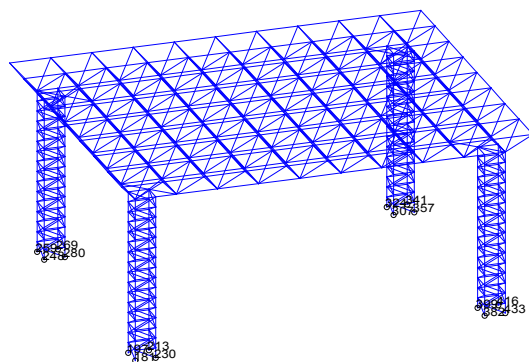


图3 体育场西看台模型图

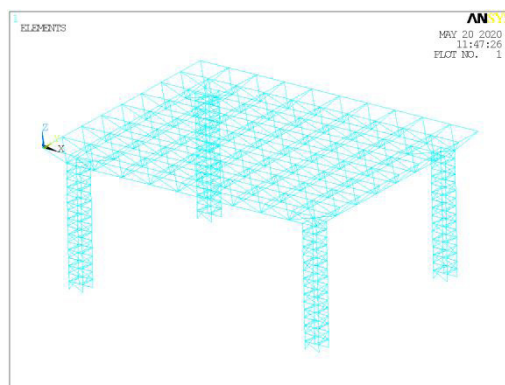


图4 体育场西看台模型图

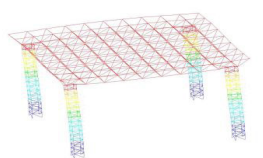
#### 3.2 结构动力特性

采用3D3S和ANSYS对结构的动力特性进行分析, 分别对自振周期、振型以及质量参与系数展开研究。如表2所示: 3D3S和ANSYS计算的结构前9阶自振周期, 可以发现, 两种软件计算得到的自振周期非常接近, 数据比较可靠。结构最大自振周期为0.70~0.73, 符合规范以及结构设计的要求, 结构安全合理。

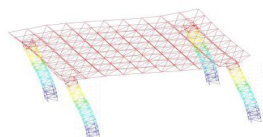
表2 前20阶自振周期表(单位: s)

| 周期    | 第1阶  | 第2阶  | 第3阶  | 第4阶  | 第5阶  | 第6阶  | 第7阶  | 第8阶  | 第9阶  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3D3S  | 0.70 | 0.67 | 0.54 | 0.31 | 0.24 | 0.19 | 0.16 | 0.13 | 0.10 |
| ANSYS | 0.73 | 0.68 | 0.52 | 0.29 | 0.21 | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.11 |

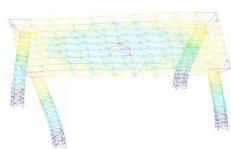
图5给出了结构的前四阶振型图, 由图可知, 结构的前3阶振型主要由结构的支撑柱子引起, 第1、2、3振型分别为结构向左摆动、结构向右摆动、结构绕柱子方向扭转, 第4振型为网架结构中部的整体振动, 表现为上下摆动。



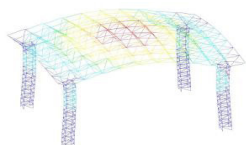
(a) 第 1 阶振型



(b) 第 2 阶振型图



(c) 第 3 阶振型图



(d) 第 4 阶振型图

图 5 结构前 4 阶振型

结构前 9 阶自振周期与质量参与系数如表 3 所示，前 9 阶振型中，X 方向的质量参与系数为 93.37%，Y 方向的质量参与系数为 94.28%，Z 方向的质量参与系数为 15.81%。说明振型主要为 X 方向、Y 方向的振动，其中 7 阶与 X 方向有关，8 阶与 Y 方向有关。在设计时，需要注意 X、Y 两个方向的动力特性。

表 3 前 9 阶振型质量参与系数

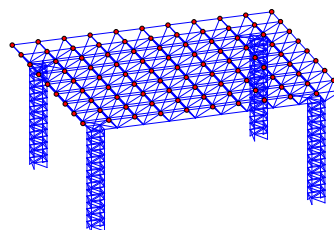
| 振型号 | 各振型质量参与系数 |        |       |
|-----|-----------|--------|-------|
|     | X 方向      | Y 方向   | Z 方向  |
| 1   | 0.00%     | 88.08% | 0.00% |
| 2   | 87.96%    | 0.00%  | 0.00% |
| 3   | 0.09%     | 4.11%  | 0.04% |
| 4   | 2.69%     | 0.02%  | 7.63% |
| 5   | 2.28%     | 0.01%  | 7.20% |
| 6   | 0.08%     | 1.51%  | 0.12% |
| 7   | 0.00%     | 0.33%  | 0.37% |
| 8   | 0.27%     | 0.18%  | 0.22% |
| 9   | 0.08%     | 0.04%  | 0.23% |

### 3.3 荷载选取

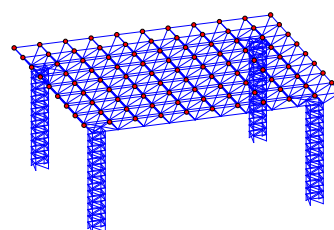
#### 3.3.1 恒荷载和活荷载

恒荷载 1 表示整个单棚所受恒荷载，为  $0.40\text{kN/m}^2$ 。恒

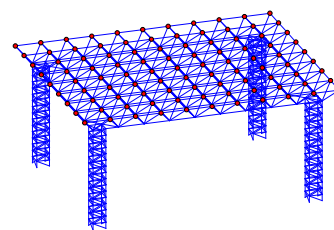
荷载 2 表示双层网壳所受恒荷载，为  $0.30\text{kN/m}^2$ 。荷载分布如图 6 (a) 所示。取屋面活荷载与雪荷载的最大值。取  $0.50\text{kN/m}^2$ ；基本雪压为  $0.55\text{kN/m}^2$ 。荷载分布图如图 6 (b) 所示。



(a) 恒荷载分布图



(b) 活荷载分布图



(c) 风荷载分布图

图 6 荷载分布图

#### 3.3.2 风荷载

结构的风振系数为 1.21。当风向延长轴方向时，网壳受风吸作用，水平向网壳体型系数为  $-0.36$ ，竖向向网壳体型系数为  $-0.21$ 。当风向垂直长轴方向时，网架受风压作用，水平向网壳体型系数为  $0.16$ ，竖向向网壳体型系数为  $0.65$ 。荷载分布图如图 6 (c) 所示。结构恒荷载、活荷载和风荷载如表 4 所示。

表 4 荷载列表 (力: kN; 弯矩: kN.m)

| 序号 | 荷载类型 | 工况 | 导荷方式 | 面荷载值 (基本风压) |
|----|------|----|------|-------------|
| 1  | 恒    | 0  | 双向节点 | 0.40        |
| 2  | 恒    | 0  | 双向节点 | 0.30        |
| 3  | 活    | 1  | 双向节点 | 0.50        |
| 4  | 风    | 2  | 双向节点 | 0.55        |

#### 3.3.3 温度荷载与地震作用

温度的变化对钢结构的影响较大，根据气温资料，最高气温为  $37^\circ\text{C}$ ，最低气温为  $-6^\circ\text{C}$ ，设计中对于双层网架的温度效应整体考虑升温 and 降温各  $25^\circ\text{C}$  两种情况，并要求结构合拢

温度为 10℃ (构件表面温度)。采用振型分解法计算地震作用下结构的反应, 水平地震影响系数最大值为 0.12, 竖向地震作用系数为 0.09, 周期折减系数取 1.00。

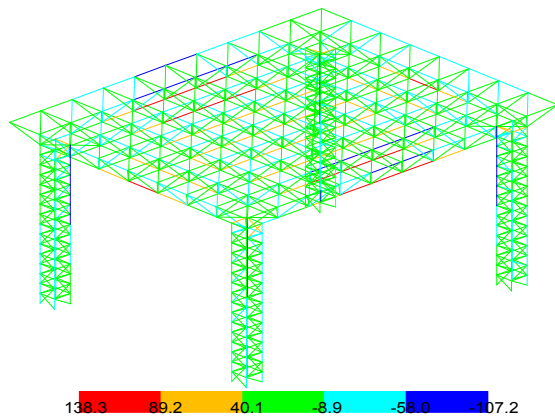
## 4 结构静力分析

### 4.1 内力分析

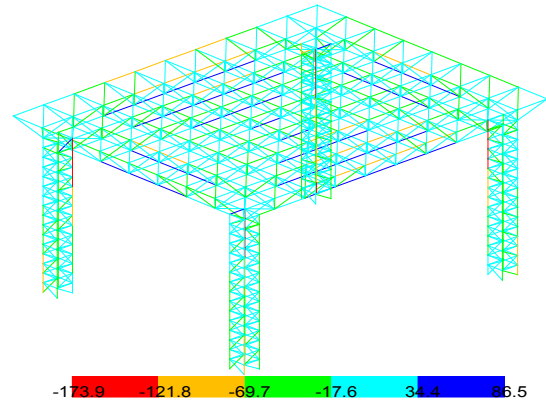
由于加油站结构为网架结构和格构式支撑柱子, 所以将构件的轴力作为主要研究对象。轴力最大的前十个单元内力表如表 5 所示, 由表可知: 轴力最大值 (受拉) 为 138.3kN, 轴力最小值 (受压) 为 -174.0kN。构件轴力图如图 7 所示, 由图 7(a)可知结构大部分杆件受拉轴力值为 -107.2kN~89.2kN, 极少部分杆件受拉轴力值为 89.2kN~138.3kN, 且红颜色杆件均位于双层网架结构上, 格构式支撑柱子所受轴力不大, 且结构的受力呈轴对称分布。从图 7(b)可以发现: 结构大部分杆件受压轴力值为 -69.7kN~86.5kN, 极少部分杆件受压轴力值为 -173.9kN~-69.7kN, 且红颜色杆件主要分布在双层网架结构边缘和支撑柱子上。

表 5 轴力 N 最大和最小的前 10 个单元 (单位: kN)

| 轴力 N 最大的前 10 个单元的内力 |     |       | 轴力 N 最小的前 10 个单元 |      |        |
|---------------------|-----|-------|------------------|------|--------|
| 序号                  | 单元号 | 轴力 N  | 序号               | 单元号  | 轴力 N   |
| 1                   | 246 | 138.3 | 1                | 848  | -174.0 |
| 2                   | 183 | 138.2 | 2                | 849  | -173.3 |
| 3                   | 247 | 125.3 | 3                | 1356 | -168.5 |
| 4                   | 182 | 125.0 | 4                | 1203 | -168.4 |
| 5                   | 184 | 124.9 | 5                | 1355 | -167.7 |
| 6                   | 245 | 124.8 | 6                | 1202 | -166.7 |
| 7                   | 192 | 101.9 | 7                | 1259 | -164.1 |
| 8                   | 237 | 101.8 | 8                | 1260 | -161.2 |
| 9                   | 254 | 95.9  | 9                | 772  | -154.1 |
| 10                  | 317 | 95.3  | 10               | 1354 | -153.6 |



(a) 轴力 N 最大构件 (kN)

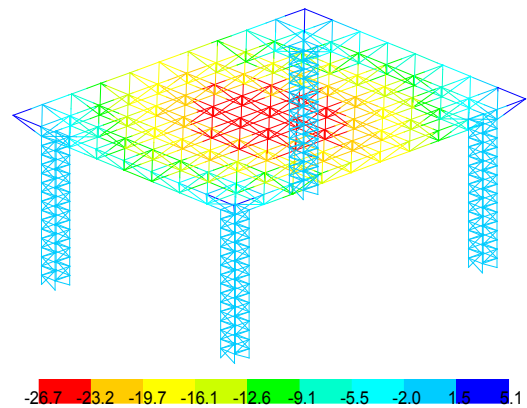


(b) 轴力 N 最小构件 (kN)

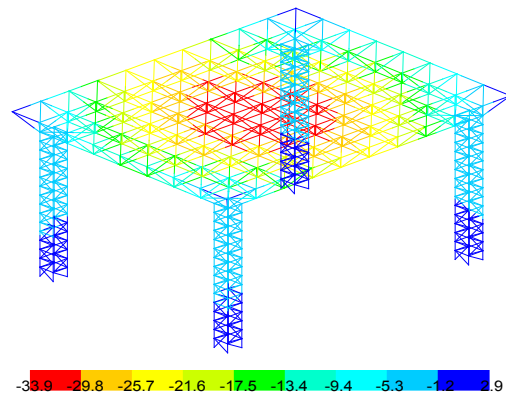
图 7 构件轴力图

### 4.2 位移分析

结构位移图如图 8 所示, 计算结果表明: 结构最大正位移为 5.1mm, 位于双层网架结构中间位置, 双层网架跨度 L 约为 20m。根据《空间网格技术规程》(JGJ7-2010), 容许挠度为 L/250, 即容许挠度值约为 8mm, 因此结构竖向变形满足要求。



(a) 最大正位移 (mm)



(b) 最大负位移 (mm)

图 8 结构位移图



### 4.3 应力比分析

结构整体应力比控制在 0.85，结构总体应力比分布图如图 9 所示，根据计算分析模型，进行规范检验，检验结果表明：结构能够满足承载力计算要求，应力比最大值为 0.80。图 10 为构件强度应力比图，结构杆件的强度应力比主要集中在 0.00~0.50，少部分杆件的强度应力比在 0.50~0.80 之间，结构强度合格。由表 6 可知，结构强度应力比最大的单元是 1260，最大值为 0.799，对应的整体稳定应力比、抗剪应力比和长细比均符合规范要求。

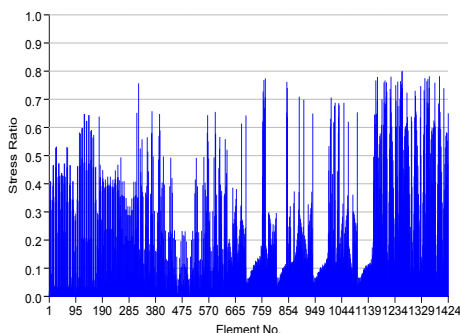


图 9 结构应力比分布图

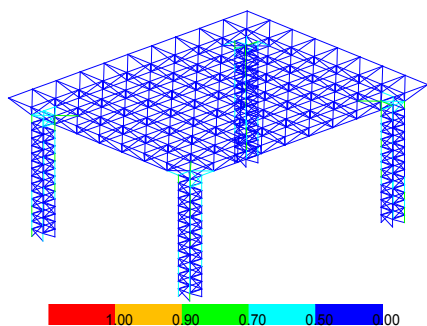


图 10 构件强度应力比图

表 6 “强度应力比”最大的前 10 个单元

| 序号 | 单元号  | 强度          | 整体稳定  | 沿 2 轴抗剪应力比 | 沿 3 轴抗剪应力比 | 绕 2 轴长细比 | 绕 3 轴长细比 |
|----|------|-------------|-------|------------|------------|----------|----------|
| 1  | 1260 | 0.799 (5/1) | 0.781 | 0.078      | 0.150      | 9        | 9        |
| 2  | 1259 | 0.796 (5/1) | 0.781 | 0.062      | 0.030      | 13       | 13       |
| 3  | 1357 | 0.780 (5/1) | 0.773 | 0.145      | 0.114      | 7        | 7        |
| 4  | 1172 | 0.777 (5/1) | 0.770 | 0.119      | 0.001      | 17       | 17       |
| 5  | 1220 | 0.772 (9/1) | 0.778 | 0.006      | 0.019      | 20       | 20       |
| 6  | 772  | 0.771 (5/1) | 0.772 | 0.016      | 0.025      | 17       | 17       |
| 7  | 1393 | 0.769 (5/1) | 0.780 | 0.017      | 0.007      | 20       | 20       |
| 8  | 1341 | 0.767 (9/1) | 0.773 | 0.006      | 0.019      | 20       | 20       |
| 9  | 1352 | 0.767 (6/1) | 0.769 | 0.018      | 0.018      | 20       | 20       |
| 10 | 1166 | 0.765 (5/1) | 0.000 | 0.033      | 0.001      | 50       | 50       |

### 5 结语

(1) 3D3S 和 ANSYS 计算结构的最大自振周期分别为 0.70 和 0.73，结构前 3 阶振型主要由结构的支撑柱子引起，第 4 阶振型为网架结构中上部上下摆动。

(2) 前 9 阶振型中，X 方向的质量参与系数为 93.37%，Y 方向的质量参与系数为 94.28%，Z 方向的质量参与系数为 15.81%。振型主要为 X 方向、Y 方向的振动，其中 7 阶与 X 方向有关，8 阶与 Y 方向有关。

(3) 轴力最大值（受拉）为 138.3kN，轴力最小值（受压）为 -174.0kN。结构大部分杆件受拉轴力值为 -107.2kN~89.2kN，结构大部分杆件受压轴力值为 -69.7kN~86.5kN，受力较大杆件主要分布在双层网架结构边缘和支撑柱子上。结构最大正位移和最大负位移分别为 5.1mm 和 -33.9mm，均位于双层网架结构中间位置。

(4) 结构的强度应力比和稳定应力均集中在 0.00~0.50，少部分杆件在 0.50~0.80 之间。结构强度应力比最大的单元是 1260，最大值为 0.799，结构强度应力比对应的抗剪应力比和长细比均符合规范要求。

### 参考文献

- [1] 张爱林,王冬梅,刘学春,等.2008 奥运会羽毛球馆弦支穹顶结构模型动力特性试验及理论分析[J].建筑结构学报,2007(06):68-75.
- [2] 张爱林,张庆亮,王冬梅,等.2008 奥运羽毛球馆新型预应力弦支穹顶结构动力特性及地震响应分析[J].钢结构,2008(06):1-6.
- [3] 渠瑞娟.大跨四坡折板网架结构静动力特性及关键技术分析[D].天津:天津大学,2017.
- [4] 韩庆华,赵一峰,芦燕.吊顶系统自振特性分析及试验研究[J].建筑结构学报,2018(07):95-103.
- [5] 张爱林,牟俊霖,刘学春,等.北京大兴国际机场航站楼屋盖大跨度钢结构动力特性及多维地震响应分析[J].建筑结构,2019(14):1-7+17.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部批准部门.钢结构设计标准 GB50017-2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [7] 北京市建筑设计研究院.空间网格结构技术规程 JGJ7-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.