

折板式网壳结构的静力性能和动力性能

吴建华

(杭州应用工程技术学院 土木系 杭州 310012)

高博青

(浙江大学 杭州 310027)

摘要 对折板式网壳结构的静动力性能作了较深入的研究,分析了网壳随厚度、坡度变化下结构的静力、自振特性以及动力响应性能,得出了一些有价值的结论.文中结果可供实际工程设计时参考.

关键词 折板式网壳 静力特性 动力性能

中图分类号 TU33

折板式网壳结构是近年来发展起来的一种新型网壳结构形式,它由平板网架单元按一定规律组合折叠而成,可构造出形式丰富、不同建筑造型的结构形式^[1].这种结构综合了折板、网架和壳体的优点,受力性能好,建筑造型优美,施工制作方便,其自然形成的谷线和脊线不仅丰富了体型美感,提高了整体刚度,而且具有排水方便的优点.这种结构基本上克服了平板网架和曲面网壳的缺点,具有很大的发展潜力.

本文分析了折板式网壳在不同坡度,不同厚度情况下的静动力性能,并进行了比较分析,从而对该结构的力学性能有较全面的了解.

1 计算模型及方法

折板式网壳由杆件组成,一般由双层或局部双层网架组合而成,故可以采用铰接杆系有限元法计算静力性能,采用铰接杆系振型分解反应谱法计算结构动力性能.其基本方程^[2,3]为

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = -[M]\{I\}\ddot{x}_g(t) \quad (1)$$

用正交性原理,可将(1)式简化为 n 个独立的微分方程,用平方和开方法进行动位移、动内力组合,以求出地震作用效应.

2 折板式网壳静力性能分析

现以一平面尺寸为 $36.9\text{ m} \times 36.9\text{ m}$ 的折板式网壳为例进行分析.该网壳采用八片三角形正放四角锥,网架单元为 $2.46\text{ m} \times 2.46\text{ m}$,网架数为 15×15 ,网壳厚度为 2.1 m ,折板坡度为 $1/5$,为四边简支.上弦节点处施加集中荷载 3.9 kN 等代屋面所受均布荷载.在动力响应分析中,地震激励为 z

向(即只考虑竖直地震作用),按一定的激励谱,采用单点响应分析方法.图 1 为上弦杆件布置及有关杆件编号.

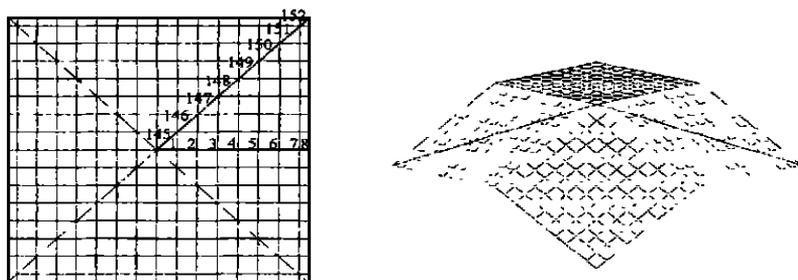


图 1 折板式网壳上弦脊线、谷线杆件编号

2.1 网壳厚度变化的影响

当坡度为 1.5 保持不变时,图 2、图 3 绘出了网壳在不同的厚度(取 1.200 m、1.500 m、1.800 m、2.100 m)下,沿上弦脊线、谷线静内力分布情况.

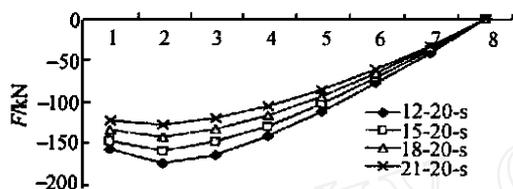


图 2 上弦脊线杆件内力分布(1.5 静力)

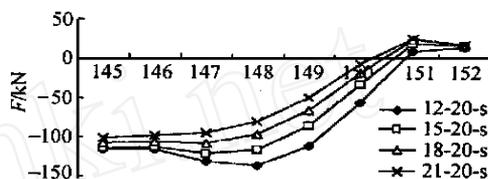


图 3 上弦谷线杆件内力分布(1.5 静力)

从图 2、图 3 可看出:

- (1) 杆件内力总趋势是从中央向两边减少,至 8# 杆处接近于零.
- (2) 上弦杆件大都为压杆,且随网壳厚度的增加而压力减少.
- (3) 杆件受力较大处大多集中在网壳中部区域,说明网壳中央为受力集中区.

2.2 网壳坡度变化的影响

当网壳厚度 $H=2.100\text{ m}$ 及其余计算参数不变时,图 4、图 5 绘出了在不同的坡度(取 0(即平板)、1.10、1.5、1.3.3、1.2.5)下,沿网壳上弦脊线、谷线静内力分布情况.

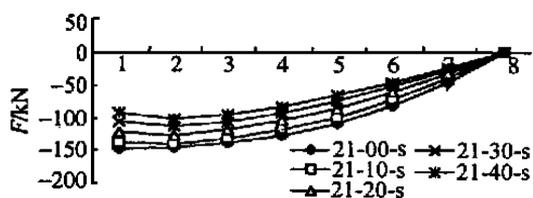


图 4 上弦脊线杆件内力分布($H=2.100\text{ m}$ 静力)

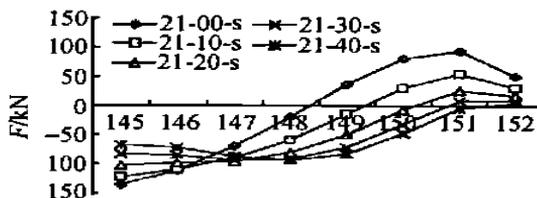


图 5 上弦谷线杆件内力分布($H=2.100\text{ m}$ 静力)

从图 4、图 5 可看出:

- (1) 上弦脊线杆件内力在网壳中心处达到最大,到边缘逐渐减小.
- (2) 上弦谷线杆件内力分布较脊线复杂,但总的趋势是从中间向两边减小.此时 150# 杆件的受力较小,特别是当坡度为 1.5 时接近于零,说明网壳沿上弦谷线杆件内力相对较小,同时杆件内力变化平缓,有较其它坡度更优越的受力性能.
- (3) 上弦杆内力随坡度增大而有不同程度的减小,这就说明折板式网壳结构较平板式能够有一定程度的降低杆件内力效果.

从下弦谷线杆件内力分布图也可看出具有非常明显的规律性,下弦脊线杆件内力与上弦接近.

由上可见,该结构采用厚度为 2.100 m,坡度为 1.5 的几何尺寸较为适宜。

3 折板式网壳的自振特性

3.1 自振频率及振型分析

从折板式网壳在周边简支情况振型图分析可见,折板式网壳的振动主要以竖向振动为主,其中大部分为对称振型,仅有第两阶振型为反对称振型,这与普通平板网架类似。经计算,在相同厚度情况下,折板式网壳的频率明显高于平板网架,说明折板式网壳具有较大的刚度。

3.2 厚度和坡度对自振特性的影响

折板式网壳基频随网壳厚度与坡度变化有如下规律:

(1) 当厚度不变时,网壳的基频随坡度的增加而增大,表明尽管网壳质量略有提高但刚度增强更为显著。厚度越大,此增幅越小,由 1.2 m 时的 114.3 % 降至 2.1 m 时的 42.0 %。

(2) 当坡度不变时,网壳的基频随厚度的增加而增大,表明尽管网壳质量略有提高但刚度增强更为显著。坡度越大,此增幅越小,由平板时的 66.8 % 降至 40 % 坡度时的 10.6 %。

4 折板式网壳的动力性能分析

现仍以上例作分析比较,计算采用 I 类场地,8 度远震情况。

当坡度为 1.5 保持不变,图 6、图 7 绘出了在不同的厚度下,沿网壳上弦脊线、谷线动力分布情况曲线。

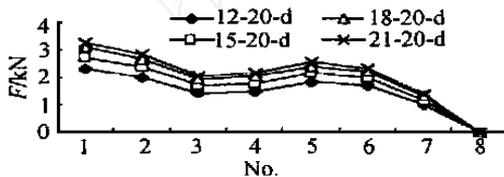


图 6 上弦脊线杆件内力分布(1.5)

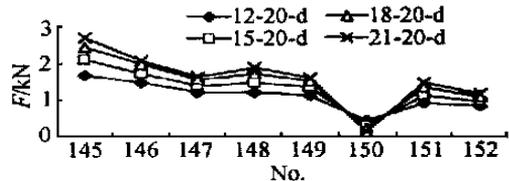


图 7 上弦谷线杆件内力分布(1.5)

从图 6、图 7 可看出:

(1) 杆件内力一般随厚度的增加而增大。

(2) 杆件受力大多集中在网壳大部分区域,上弦脊线周边内力逐渐减小,上弦谷线杆件周边内力仍然较大。

当厚度 $H=2.100$ m 保持不变,图 8、图 9 绘出了在不同的坡度下,沿网壳上弦脊线、谷线动内力分布情况。

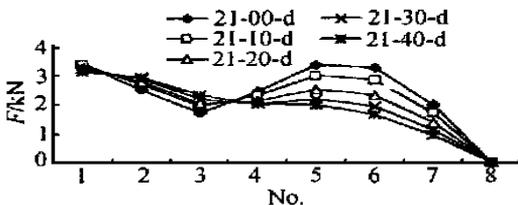


图 8 上弦脊线杆件内力分布($H=2.100$ m)

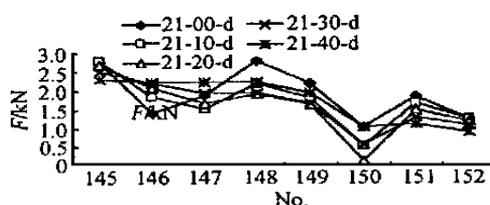


图 9 上弦谷线杆件内力分布($H=2.100$ m)

从图 8、图 9 可看出:

(1) 在 earthquake 荷载作用下,坡度越大上弦杆受力由网壳中部向四周减小的特性较明显。

- (2) 结构角部上弦杆静内力较小,动内力有可能超过静内力,应引起足够的重视.
- (3) 坡度变化对弦杆的动内力影响较大,但随着坡度增大动内力变化趋于平缓.从图中可看出平板网架杆件动内力变化较大.
- (4) 除个别杆件外,脊线杆件的动内力影响较谷线杆件略大.

5 结 语

本文通过以上计算分析,可得出如下结论:

- (1) 弦杆静内力一般随坡度增大而有不同程度的减小,而当坡度为1/5杆件内力相对最小,有较其它坡度更优越的受力性能;随网壳厚度的增加而杆件静内力减少,且内力变化曲线趋于平缓.
- (2) 折板式网壳基频在正常结构尺寸下,随厚度、坡度增大而增大,在周边简支情况下以竖向振动为主.折板式网壳结构的刚度比平板网架的刚度大.
- (3) 坡度变化对弦杆的动内力影响较大,随着坡度增大动内力变化趋于平缓;在所选择的脊线和谷线上,杆的动内力随网壳厚度的增加而增大.
- (4) 动静内力分布相似,一般杆件的动内力约为静内力的10%左右,但在静内力较小时,个别杆件动内力会超过静内力,特别在支座附近,设计时应引起重视.

参 考 文 献

- 1 高博青,杨 晔,董石麟.折板式网壳结构的形体和应用.第十届空间结构学术会议论文集,2000:247
- 2 高博青,董石麟.双层柱面网壳结构在竖向地震作用下的动力性能分析.空间结构,1996,(2):18
- 3 沈祖炎,陈扬骥.网架与网壳.上海:同济大学出版社,1997

Static and dynamic performance of folded-plate truss

Wu Jianhua

(Department of Civil Engineering, Hangzhou Institute of Applied Engineering, Hangzhou 310012)

Cao Boqing

(Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In this paper, the static and dynamic performance of folded-plate truss are studied, the structural static response, the self-vibration characteristics and dynamic response in the influence of their thickness and gradient are analyzed, some valuable conclusions are given. The results in this paper can be referenced in practice engineering design.

Key words folded-plate truss static characteristics dynamic performance