

桁架结构梁单元与板壳单元结果对比分析与讨论

撰文 / 大连华锐重工集团股份有限公司设计研究院 张守云

一、前言

在结构有限元分析过程中，为了提高工作效率并方便处理，工程人员习惯将桁架结构简化成梁单元进行处理，以期达到事半功倍的效果。然而，这种处理方法往往会忽略掉结构的局部细节，尤其是不同杆件连接处的节点板和加强筋板等，应用梁单元很难进行模拟。而这些局部细节问题处理的适当与否有时也会成为影响结构强度、刚度、屈曲以及疲劳等问题分析计算的关键因素。因此，为了更加准备地模拟结构的实际情况，有时需要将桁架结构处理成板壳单元进行有限元分析，但如此处理会在建模、求解及后处理上耗费大量的时间和精力，在产品设计和生产周期相对较为紧迫的情况下，一般很难满足快速准确地对结构进行设计、优化或验证的要求。

本文通过对同一桁架结构分别应用梁单元和板壳单元进行有限元模拟分析比较，讨论两种处理方法有限元分析结果的相同与不同之处，以期找到一种分析处理问题相对较为全面而且切实可行的解决方案。

二、桁架结构梁单元及板壳单元有限元模拟分析

1. 结构有限元模型

本文采用一种大型堆料机的俯仰钢结构作为分析研究对象，对其分别进行梁单元和板壳单元建模。由于在此只是分析梁单元和板壳单元最终分析结果异同点，所以分析中所用载荷并不完全考虑结构的实际承载大小，而是进行一个假定，即结构悬臂梁部分只承受物料载荷 100 吨。

2. 整体刚度分析结果比较

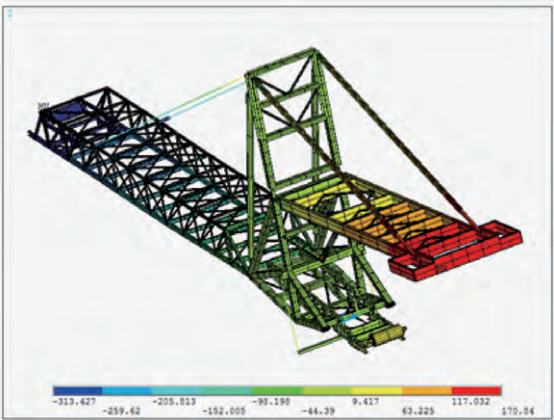
由图 1 不难看出，基于板壳单元的模型整体刚度要大于基于梁单元模型的整体刚度（前者在相同载荷作用下位

移较小）。其主要原因在于，油缸端部支承处的结构形式经梁单元简化后(图 2)，无论抗弯还是抗剪刚度都减小不少。

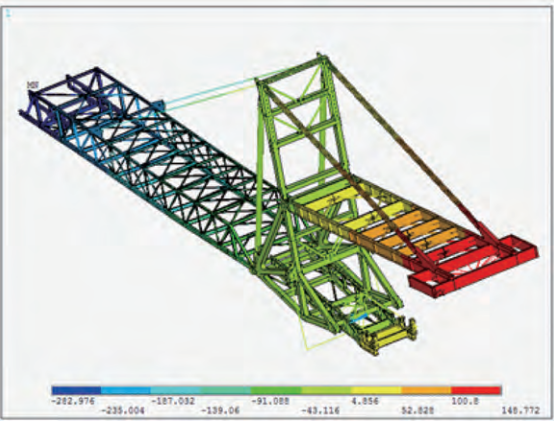
3. 强度分析结果比较

(1) 悬臂梁处综合应力结果比较。

图 3 左侧是悬臂梁梁单元结果，最大综合应力位于悬

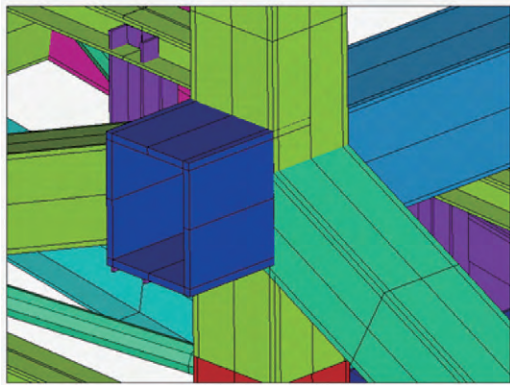


(a) 梁单元位移结果 (max=171mm, min=-313mm)

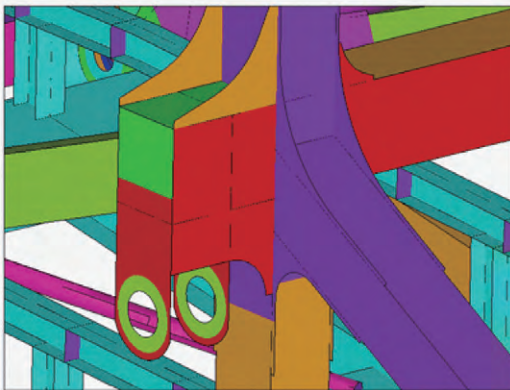


(b) 板壳单元位移结果 (max=149mm, min=-283mm)

图 1 结构整体模型竖向位移梁单元与板壳单元计算结果比较



(a) 梁单元模型

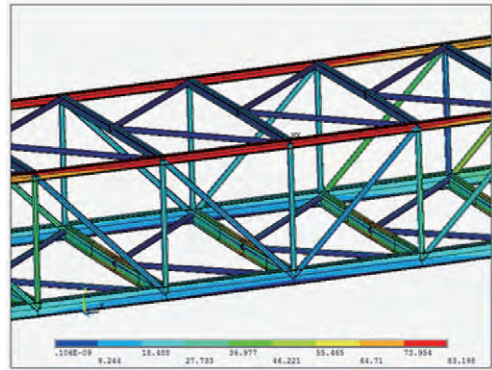


(b) 板壳单元模型

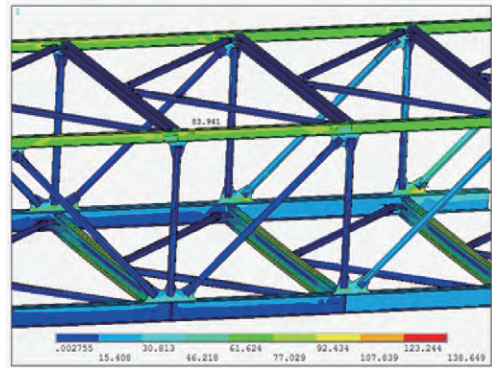
图2 油缸端部支承结构形式梁单元与板壳单元模型比较

臂梁中部的上弦杆处，最大值为 83MPa。右侧是悬臂梁板壳单元结果，最大综合应力无论数值、位置和梁单元计算结果都不一致，其最大综合应力出现在斜腹杆的节点板处，最大值为 139MPa。但由图 3 可以看出，量取悬臂梁中部上弦杆处的综合应力，其大小为 84MPa，这和梁单元计算的结果几乎一致。再比较悬臂梁根部斜腹杆结果，由图 4 可以看出，基于梁单元计算的悬臂梁根部斜腹杆的综合应力最大和最小值分 42MPa 和 20MPa，而基于板壳单元计算的悬臂梁根部斜腹杆的综合应力最大和最小值分别为 33MPa 和 25MPa，其差别还是比较大的。然而，由图 5 发现基于梁单元计算的悬臂梁根部直腹杆的综合应力最大和最小值分别为 54MPa 和 6MPa，而基于板壳单元计算的悬臂梁根部斜腹杆的综合应力最大和最小值分别为 59MPa 和 4MPa，计算结果基本相当。

出现上述情况的原因主要在于，实际的悬臂梁桁架结构各杆件一般都通过节点板相互连接，板壳单元可以真实地模拟这种情况，而通过梁单元建模只能将这些节点板简化掉。而且简化过程中为了建模方便，常习惯于将各杆件相互

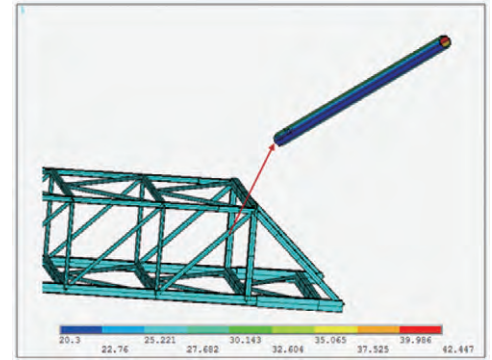


(a) 梁单元结果 (max=83MPa)

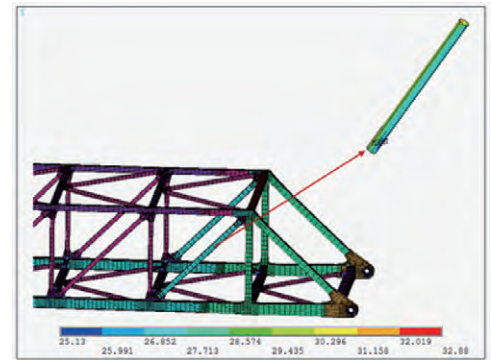


(b) 板壳单元结果 (max=139MPa)

图3 悬臂梁中部梁单元与板壳单元综合应力计算结果比较

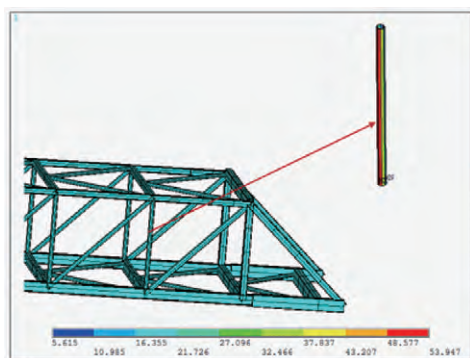


(a) 梁单元结果 (max=42MPa, min=20MPa)

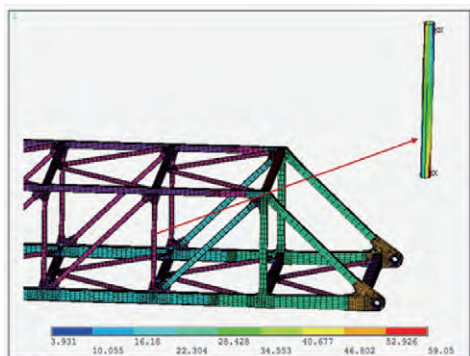


(b) 板壳单元结果 (max=33MPa, min=25MPa)

图4 悬臂梁根部斜腹杆梁单元与板壳单元综合应力计算结果比较



(a) 梁单元结果 (max=54MPa, min=6MPa)



(b) 板壳单元结果 (max=59MPa, min=4MPa)

图5 悬臂梁根部直腹杆梁单元与板壳单元综合应力计算结果比较

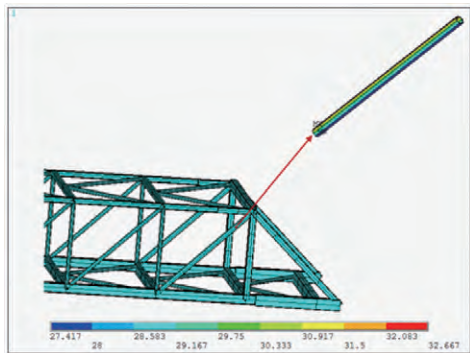


图6 悬臂梁根部斜腹杆端部节点旋转自由度释放后梁单元综合应力结果

之间认为是固接。事实上，节点板可以传递其面内的弯矩，在其面外所能传递的弯矩却很小。故上述的悬臂梁中部的上弦杆处，各弦杆间由于没有节点板，所以梁单元和板壳单元计算的结果基本一致。而悬臂梁根部的斜腹杆，杆件的两个端部都通过节点板与其它杆件相连，同时，由梁单元计算结果可以看出，其承受的主要是节点板面外弯矩，所以梁单元和板壳单元计算结果差别很大。相反，通过梁单元计算结果可以看出，悬臂梁根部的直腹杆承受的主要是节点板面内弯矩，所以梁单元和板壳结果相当。如果在梁单元建模时将节点板的杆件端部节点沿节点板面外的旋转自由度释放掉，

就可以避免出现这样的问题。如图6所示为悬臂梁根部斜腹杆端部节点沿节点板面外自由度释放后的计算结果，综合应力最大和最小值分别为33MPa和27MPa，这和基于板壳单元的计算结果基本是一致的。

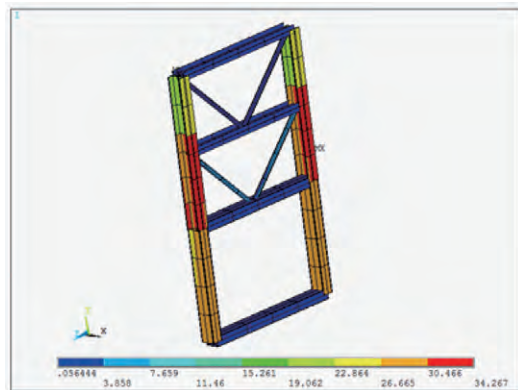
(2) 塔架处综合应力结果比较。

图7左侧是上部塔架梁单元结果，最大综合应力位于塔架中部立柱处，最大值为34MPa。右侧是上部塔架板壳单元结果，最大综合应力无论数值、位置和梁单元都不一致，其最大综合应力出现在前端拉索端部的耳板处，最大值为70MPa。但从图可以看出，量取塔架中部立柱处的综合应力，其大小为31MPa，这和梁单元分析的结果基本相当。

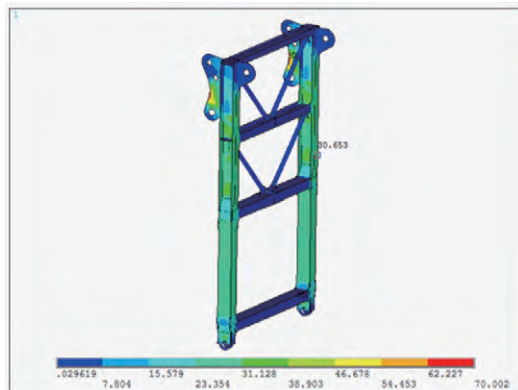
图8是下部塔架梁单元和板壳单元计算结果，由图8可以看出，与上述分析一样，除了梁单元不能表示的结构细节外，其它各处梁单元和板壳单元的计算结果基本是一致的，理论上也应该如此。

4. 疲劳分析结果比较

因为疲劳分析一般是按照结构静力分析计算结果提取校核点应力后依据相关设计规范代入到EXCEL表格模

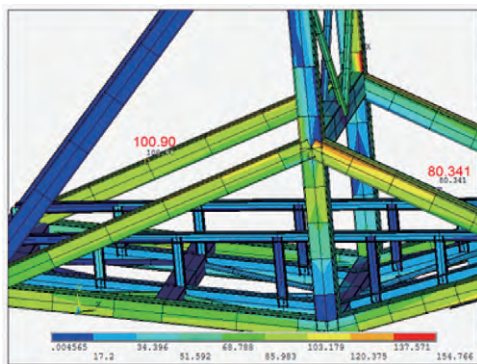


(a) 梁单元结果 (max=34MPa)

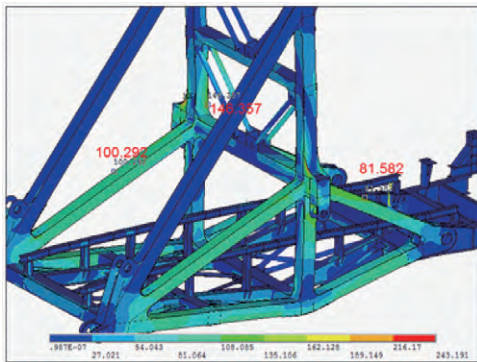


(b) 板壳单元结果 (max=70MPa)

图7 上部塔架梁单元与板壳单元综合应力计算结果比较



(a) 梁单元结果 (max=155MPa)



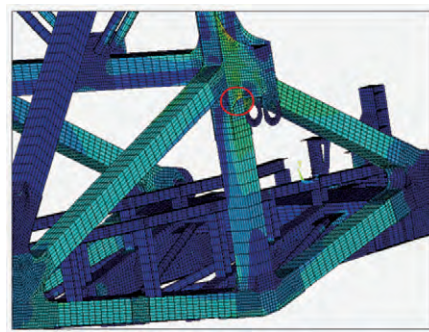
(b) 板壳单元结果 (max=243MPa)

图 8 下部塔架梁单元与板壳单元综合应力计算结果比较

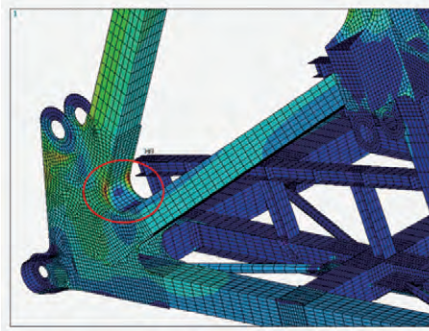
板中进行校核的，所以对于疲劳分析结果的比较，所得出的结论应该和强度分析所得出的结论是一样的，即除了梁单元无法体现的结构局部细节外，基于梁单元或板壳单元进行的疲劳计算结果基本上是一致的。但是，这并不是说梁单元可取代板壳单元进行结构疲劳计算，因为梁单元所无法体现的结构细节（如节点板和加强筋板等）往往是结构疲劳强度相对较为薄弱的地方。如图 9 所示的结构位置，这些都是用梁单元无法体现但疲劳强度相对较为薄弱的典型结构细节，结构分析时只有应用板壳单元才能具体分析这些位置的强度和疲劳性能。

5. 屈曲分析结果比较

基于软件线性屈曲计算的结果进行比较分析，图 10 为结构梁单元和板壳单元线性屈曲计算结果，无论屈曲位置和屈曲特征值的大小两种计算结果都基本一致。因此梁单元计算的屈曲特征值 4.76 比板壳单元计算的屈曲特征值 4.26 稍大。其主要原因在于，梁单元沿杆件长度方向上的节点相对较少（基于梁单元进行线性屈曲计算时，梁单元的数目要尽可能地多），如果将梁单元的节点加密到一定程度时，二者的结果必将趋于一致（例如当将梁单元的节

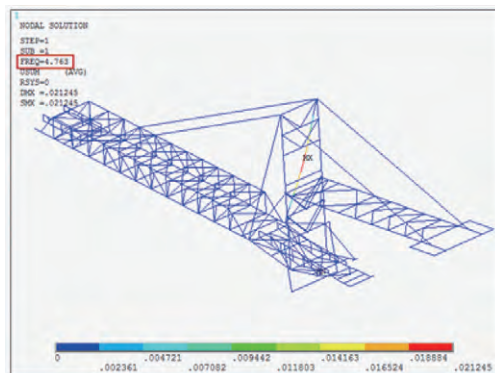


(a) 薄弱位置 1

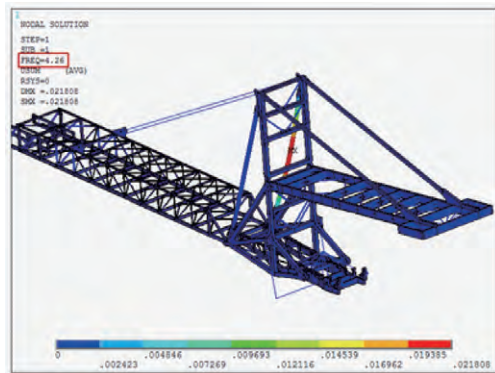


(b) 薄弱位置 2

图 9 结构疲劳强度相对薄弱位置



(a) 梁单元结果 (屈曲系数=4.76)



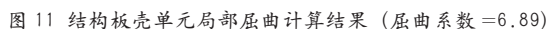
(b) 板壳单元结果 (屈曲系数=4.26)

图 10 结构梁单元与板壳单元构件整体屈曲计算结果比较

撰文 / 浙江经贸职业技术学院 单健君 顾丽敏

一、引言

点数加密一倍时，梁单元计算的屈曲特征值变为 4.45)。但是，这是限于所发生的屈曲类型为结构构件整体屈曲，如果要计算如图 11 所示的板件局部屈曲，基于梁单元是无法实现的。



(1) 由于梁单元对结构简化的原因, 结构局部细节的忽略一般会弱化结构构件连接间的刚度, 所以基于梁单元

(4) 梁单元无法体现的结构局部细节，往往是结构强度和疲劳性能相对较为薄弱的地方，为了更加快速有效而且全面准确地评价结构的各种特性，综合梁单元和板壳单元的优点，对结构进行有限元分析时，最好采用梁单元和板壳单元混合建模的方法，将梁单元无法体现的结构局部细节用板壳单元建模，而其它沿长度方向上截面相对较为规整的细长构件用梁单元建模，梁单元和板壳单元的结合处可采用蜘蛛网式的刚性单元连接。