

矿井井塔的梁柱刚度比对剪力滞后效应的影响

曹启坤, 吴美璇

(辽宁工程技术大学 建筑工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:利用大型有限元分析软件 ANSYS, 结合井塔的实际框筒结构工程进行建模分析, 通过矿井井塔在水平荷载作用下的具体性能表现, 得出梁柱刚度比对剪力滞后效应有较大的影响。再对梁柱刚度比对剪力滞后效应的现象进行分析, 将计算结果与仿真分析的结果进行比较, 提出改进方法。

关键词:井塔; 水平荷载; 梁柱刚度比; 剪力滞后效应

中图分类号: TU973.2

文献标志码: A

文章编号: 1674-4764(2012)S1-0046-03

The Influence of Beam Column Stiffness Ratio of Mine Shaft Tower to Shear Lag Effect

CAO Qikun, WU Meixuan

(Institute of Civil Engineering, Liaoning Project Technology University, Fu Xin 123000, Liao Ning, P. R. China)

Abstract: Making use of large finite element analysis software ANSYS, combine with the mine shaft tower actual frame tube structure project to model analysis, by means of concrete performance of mine shaft tower under the effect of horizontal load, come to a conclusion that beam column stiffness ratio has a great influence on shear lag effect. Then analyse the phenomenon of beam column stiffness ratio to shear lag effect, make a comparison on calculated results and simulation analysis results, to move an improved method. It has a great guiding significance for the mine shaft tower structural design.

Key words: mine shaft tower; horizontal load; beam column stiffness ratio; shear lag effect

自从世界上第一座高层框筒建成以来^[1], 框筒结构的剪力滞后效应受到了结构设计人员的重视。所谓剪力滞后效应就是在框筒结构中, 由于裙梁的刚度有限, 在框筒柱中存在轴力两边大、中间小的现象^[2-3]。早在 1982 年 Foutch 和 Chang 对悬臂的箱型梁进行结构分析的时候就注意到了其结构受力带有明显的剪力滞后。框筒结构普遍存在剪力滞后效应, 如果忽略剪力滞后效应对结构产生的影响, 就会过低的估计计算框筒结构翼板框架与腹板框架之间的结合处在水平荷载下产生的挠度和应力^[4], 这样计算设计的结构就会存在一定的安全隐患。而许多文献对于框筒结构产生剪力滞后效应的原因定性分析很多, 而具体的定量分析研究却很少^[5], 其中大部分文献的研究都是集中在验证框筒结构存在剪力滞后效应, 而对剪力滞后效应的具体影响因素的分析并不多。若要合理地对井塔进行优化设计^[6], 不仅要弄清建立滞后效应产生的本质原因, 还要对剪力滞后效应进行定量分析, 才能对实际工程结构进行优化分析。

采用目前常用的大型有限元软件 ANSYS 对实际工程矿井井塔结构体系进行仿真分析。模拟过程中, 梁的分析模拟单元选用 BEAM 188, 筒体单元与楼板单元均选用 SHELL63 单元, 建模如下: 建立梁柱模型, 结构共 9 层, 20 根柱, 每层 20 根裙梁, 之后对结构以 1 m 为一个单元进行网格划分, 完成的模型如图 1 所示。建立外立面墙体, 然后以 1 m 为一个单元进行网格划分, 整个井塔的有限元模型如图 2 所示。

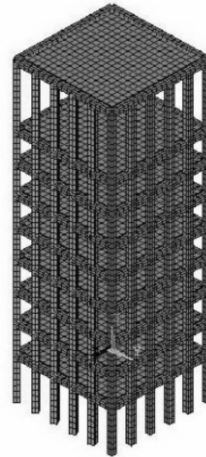


图 1 矿井井塔梁板柱 ANSYS 模型

1 ANSYS 分析及井塔有限元模型的建立

1.1 井塔的 ANSYS 模型建立

以弘霖井塔为实例进行研究, 其侧向宽度为 18 m, 法向宽度为 18 m, 总高 58.5 m。柱间距 3.6 m, 中柱截面尺寸为 600 mm×900 mm, 角柱截面尺寸为 800 mm×800 mm, 梁为 900 mm×300 mm。

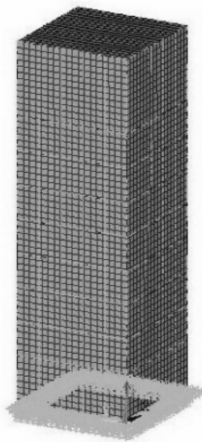


图 2 矿井井塔的 ANSYS 模型

1.2 验证不同水平荷载下的剪力滞后

1.2.1 均布荷载下的剪力滞后效应 以弘霖井塔为实例模型进行研究,结构平面 $2b \times 2c = 18\text{ m} \times 18\text{ m}$,底层与顶层层高分别为 8 m 和 12 m,其他层为 5.5 m,井塔的总高 58.5 m。中柱截面尺寸为 $600\text{ mm} \times 900\text{ mm}$,角柱截面尺寸为 $800\text{ mm} \times 800\text{ mm}$,梁为 $900\text{ mm} \times 300\text{ mm}$,柱距 3.6 m。均布荷载大小取为 30 kN/m 。利用等效连续体法计算在均布荷载作用下的柱的轴力。本工程实例中的侧向框架柱的轴力计算结果(表 1)与 ANSYS 结果(图 3)比较,如图 4。

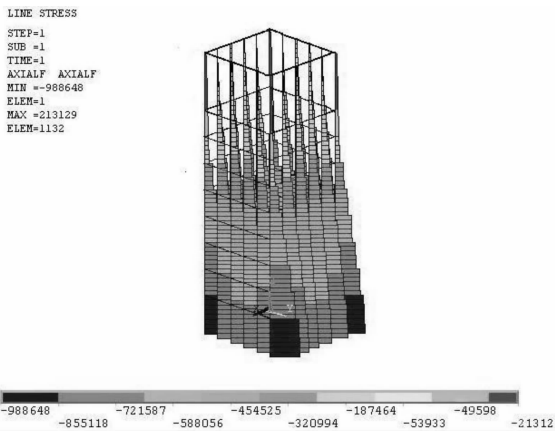


图 3 均布荷载下 ANSYS 结果

表 1 侧向框架的柱在 x_i 的轴力

柱号	柱 x_i/m	计算轴力 N_i/kN	ANSYS 轴力/ kN
1	1.8	437.15	441.32
2	5.4	696.26	703.2
3	9	993.79	988.65

从图 4 中可以看出,实际计算结果比 ANSYS 的结果稍大,但基本增长趋势不变,结果相差并不大。所以利用 ANSYS 建立有限元模型进行计算较为符合实际。

1.2.2 倒三角荷载下的剪力滞后效应 设置顶部倒三角水平荷载在顶部的值为 60 kN/m ,模拟结果如图 5,柱的轴力计算结果如表 2,比较结果如图 6。

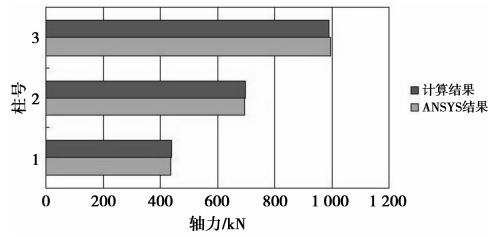


图 4 均布荷载下 ANSYS 结果与公式计算结果对比

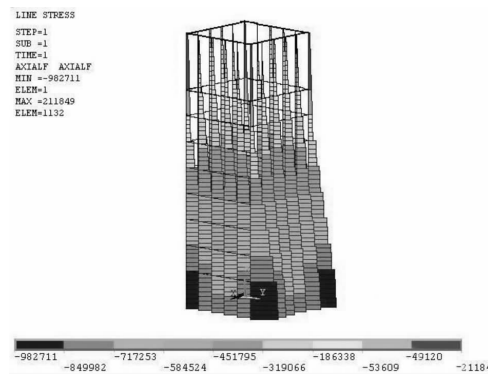


图 5 倒三角荷载下 ANSYS 结果

表 2 侧向框架的柱在 x_i 的轴力

柱号	柱 x_i/m	计算轴力 N_i/kN	ANSYS 轴力/ kN
1	1.80	437.03	441.24
2	5.40	695.45	697.00
9	985.83	982.71	

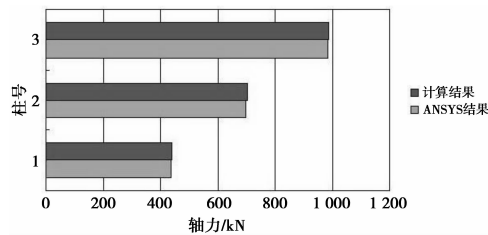


图 6 倒三角荷载下 ANSYS 结果与公式计算结果对比

从图 6 中可以看出,实际计算结果比 ANSYS 的结果稍大,但基本增长趋势不变,结果相差并不大。所以利用 ANSYS 建立有限元模型进行计算较为符合实际。

1.2.3 集中荷载下的剪力滞后效应 设置顶部集中荷载为 2000 kN ,将 ANSYS 的计算结果与实际的计算结果作了比较。在柱的高宽比为 0.5 时,水平均布荷载作用,将 ANSYS 的计算结果与用上面的等效连续体法计算结果作了比较。侧向框架柱的轴力计算结果比较,如图 7。

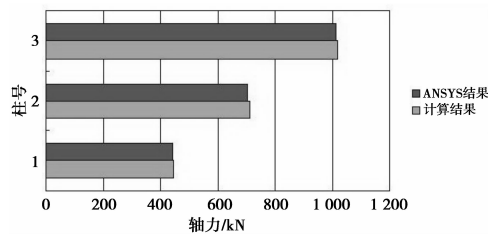


图 7 集中荷载下 ANSYS 计算结果与公式计算结果对比

从图 7 中可以看出,实际计算方法的计算结果比 ANSYS 的结果稍大,但是基本增长趋势不变的,侧向柱的内柱轴力小,角柱轴力大,结果相差并不大。所以利用 ANSYS 建立有限元模型进行计算较为符合实际。

2 梁柱刚度比剪力滞后效应的影响

通过弘霖井塔为实例模型对梁柱刚度比进行研究,分析梁刚度对剪力滞后效应的产生的影响。结构保持其他条件不变,3 种梁分别为:梁 I 截面取为 600 mm×250 mm,梁 II 取 800 mm×300 mm,梁 III 取 1 000 mm×300 mm 进行分析求各主要参数。刚度比(结构的计算示意图如图 8):

$$\text{梁 I } S_f = \frac{S_b}{S_c} \left(\frac{N}{10} \right)^2 = \frac{0.006}{0.344} \left(\frac{20}{10} \right)^2 = 0.07$$

$$\text{梁 II } S'_f = \frac{S'_b}{S_c} \left(\frac{N}{10} \right)^2 = \frac{0.01707}{0.344} \left(\frac{20}{10} \right)^2 = 0.198$$

$$\text{梁 III } S''_f = \frac{S''_b}{S_c} \left(\frac{N}{10} \right)^2 = \frac{0.0833}{0.344} \left(\frac{20}{10} \right)^2 = 0.969$$

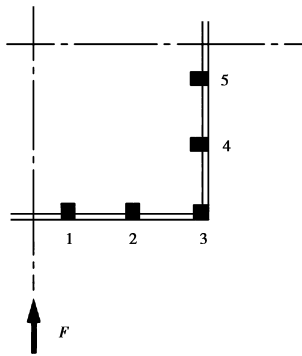


图 8 结构的计算示意图

ANSYS 模型:井塔混凝土采用 C30,弹性模量 $E=3.0 \times 10^7$ kN/m²。顶部作用的集中力为 2 000 kN,求底层各柱轴力。在 $z/H=0.1$ 时,井塔结构的柱的轴向内力图 9 所示:

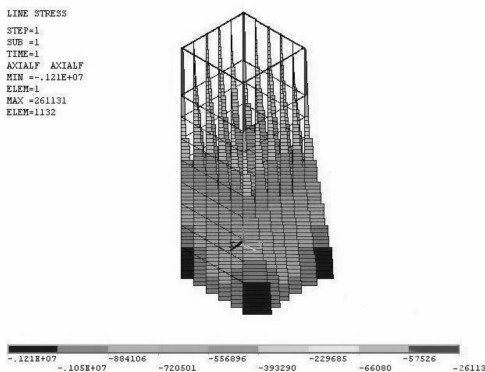


图 9 ANSYS 井塔的轴力图

如图 10 与图 11 中所示,由曲线可得梁的剪切刚度与柱的轴向刚度之比 S_f 的影响: S_f 的值越小,剪力滞后效应越大。因为结构的竖向力通过梁的剪力由角柱向内柱传递的,所以梁剪切刚度的减小使得结构截面的整体性降低,剪力滞后效应也就越严重。结构设计时要适当地增加梁的刚度,减小剪力滞后效应对结构的影响。

表 3 $z/H=0.1$ 时刚度比不同值时各柱的轴力值 /kN

刚度比 S_f 的值	$S_f=0.07$	$S_f=0.198$	$S_f=0.969$
柱 1	556.89	545.14	535.23
柱 2	764.11	731.89	702.18
柱 3	1 210.10	998.21	897.24
柱 4	761.24	730.46	701.27
柱 5	542.21	535.89	526.82

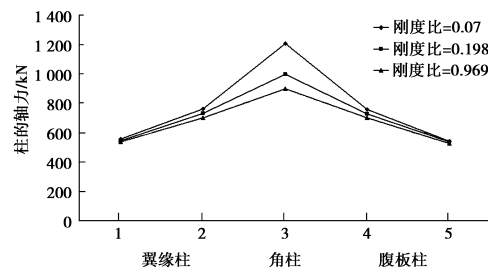


图 10 $z/H=0.1$ 时井塔结构的轴向内力

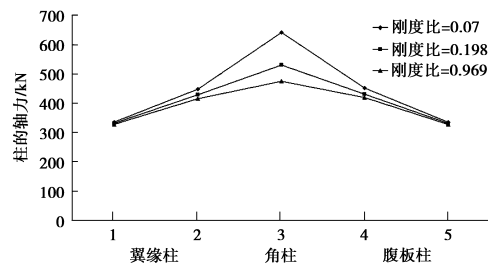


图 11 $z/H=0.5$ 时井塔结构的轴向内力

表 4 $z/H=0.5$ 时刚度比不同值时各柱的轴力值 /kN

刚度比 S_f 的值	$S_f=0.07$	$S_f=0.198$	$S_f=0.969$
柱 1	336.5	331.8	328.7
柱 2	446.5	427.2	415.3
柱 3	642.7	529.5	475.3
柱 4	451.5	429.2	419.3
柱 5	335.5	332.45	327.32

3 结论

1) 利用 ANSYS 软件建立不同水平荷载作用下剪力滞后效应的模型,仿真得出的数据虽与计算所得数据之间存在一定的差异,但变化的总体趋势还是一致的,并具有一定的安全储备,可以验证用 ANSYS 分析矿井井塔结构剪力滞后效应模型的合理性。

2) 通过分析得到梁的剪切刚度是剪力滞后效应的影响因素之一。梁柱刚度比的减小使得剪力滞后效应变得严重。所以在结构设计时要适当地增加梁的刚度以提高结构的整体性,从而减小剪力滞后效应对结构的影响。

因 Q345 钢材为结构用钢,在青藏联网电力输电铁塔及相关施工机械设备中常处于低温状态,因此在低温条件下仍然要达到一定的力学性能要求,如冲击韧性。在低温下,随着温度的降低,钢材因杂质元素等作用,淬硬性、脆性增强,而韧性和塑性会呈降低的特点。由上述可知,由于 P、S 元素的影响,Q345A 不适合用低温状态,B、C、D、E 牌号依次更适合用低温状态,并能提供安全的力学性能和稳定的化学性能。从材料的经济性能考虑,Q345D 和 Q345E 成本较高,综合考虑也很少使用。应用最广泛的是 Q345 B 和 Q345 C,由表 1 可知它们的化学成分仅在磷、硫两项化学成分指标上有微小差别,最重要的区别在于要求的冲击韧性试验温度^[4]。因此,建议采用 C 级钢。

3 抱杆试验

根据电力行业标准《架空输电线路施工抱杆通用技术条件及试验方法》的试验要求,抱杆采取落地加载方式。加载时,采取拉力表与手扳葫芦串联,以记录拉力数值,图 5 为测试拉力表照片。

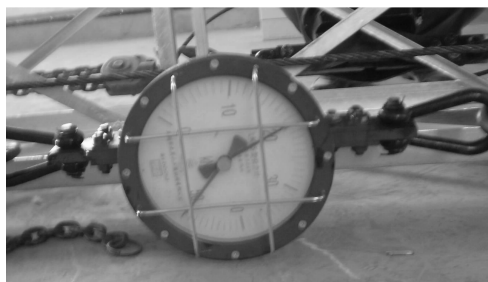


图 5 测试拉力表照片

按照标准的试验要求,载荷试验测试中的最大应力压应力(无论钢和铝)均小于材料的许用应力,强度和稳定性安全系数均大于 2.5,使用安全。图 6 为抱杆测试应力图。

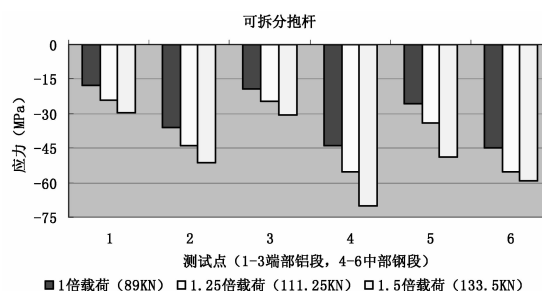


图 6 抱杆测试应力图

4 结论

通过对抱杆结构的分析以及几种常用的金属材料的结构性能分析,研制了适合青藏高原低温恶劣环境的可拆分式抱杆,并在国家电网公司《可拆分式抱杆的研制及在青藏直流输电线路工程中的应用》项目中得以实际应用。首台研制的可拆分式抱杆样机经检测及试验后,完成了青藏直流输电线路工程第 10 标段 453、421 号铁塔的组立施工。工程应用表明:可拆分式抱杆特别适用于高海拔等自然条件恶劣地区铁塔组立施工,能够有效减轻施工人员劳动强度,提高施工安全性。

参考文献:

- [1] SD 165—87 电力建设施工机具设计基本要求[S]. 北京:中国水利电力出版社,1987.
- [2] 方昆凡,黄英. 机械工程材料实用手册[M]. 沈阳:东北大学出版社,1995. 7.
- [3] 干勇,等. 中国材料工程大典[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [4] GB/T 1591—94 低合金高强度结构钢国家标准[S]. 北京:中国标准出版社,1994.

(编辑 梁远华)

(上接第 48 页)

参考文献:

- [1] 黄本才. 高层建筑结构计算与设计[M]. 上海:同济统计大学出版社,1997.
- [2] 李正良. 复杂体型筒体结构考虑剪力滞后效应的简化分析[D], 重庆:重庆建筑大学,1987.
- [3] 高雁. 筒体结构剪力滞后效应研究及其简化分析[D]. 重庆:重庆大学,2006.
- [4] 张文福,姚芳. 三角形高层框筒结构在水平荷载作用下剪力滞后

的有限元分析[J]. 四川建筑科学研究, 2005,31(1):45-47.

- [5] 方鄂华. 多层及高层建筑结构设计[M]. 北京:地震出版社, 1994.
- [6] 梁启智,陈加猛. 高层筒中筒结构的整体稳定分析[J], 华南理工大学学报:自然科学版,1998,26(1):76-84.

(编辑 胡英奎)