

某工业核电站锚固计算方法探讨

储艳春¹,倪南¹,潘毅²,季晨龙²

(1. 上海核工程研究设计院, 上海 200233; 2. 西南交通大学土木工程学院, 成都 610031)

摘要:建立了某工业核电站设备模块的有限元模型,通过在有限元模型中模拟几种不同支承边界条件,对比说明不同的简化假定能够得到不同的计算结果。通过建立普通预埋件的模型,变换各种边界假定以及根据不同的规范进行计算,对比得出最优的简化计算方法。

关键词:边界条件;锚固;LINK10;耦合;锚栓

中图分类号:TU311.3

文献标志码:A

文章编号:1674-4764(2012)S1-0019-03

Calculation Method Study of Anchoring of One Nuclear Plant

CHU Yanchun¹, NI Nan¹, PAN Yi², JI Chenlong²

(1. Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute, Shanghai 200233;

2. School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: Finite element model has been built for an equipment module of one nuclear plant. Several boundary conditions were compared in this analysis to illustrate the importance of the proper boundary condition and assumptions. A standard embedment model was built to analyze the reactions of the bolts under different conditions and assumptions to get a better method for design.

Key words: boundary condition; embedment; link10; emerge; anchor

目前国内核电站的设计中,对于核电设备、支架等的锚固计算并无统一的设计方法。对于比较规则和设备荷载不大的埋件,可根据专门的选用手册和荷载大小及形式进行直接的选用,而对于不规则以及外荷载比较大的设备的锚固,一般由设计者进行简化,进行保守的假设及模拟,得出的结果准确性和可靠性并不统一。本文就某工业核电站设备模块的锚固设计过程中遇到的一些问题进行了探讨和延伸,就锚固反力计算方法存在的问题进行一些计算和比较,得出一些结论。

1 设备模块锚固设计的过程

该设备模块的锚固设计基本流程为:

1) 利用 ANSYS 建立设备刚架的基本模型,进行模型的模态分析,提取前 5 阶频率,查找核电站相关设计资料得到设备模块所在标高的加速度值。

2) 利用此加速度值进行有限元静力计算得到设备模块的锚固反力。

3) 根据计算所得的锚固反力,依据美国规范 ACI 349-01 或国标规范进行锚固设计和计算^[1]。

本节利用 ANSYS 非线性有限元分析软件建立了该设备模块的 SOLID45 单元的有限元模型。其有限元模型见图 1。

在进行设计的过程中,边界条件假设的不同,也会导致静力计算结果的不同,从而影响设计结果的相对准确性。为说明这个问题,分别做了如下方案进行说明^[2]:

1) 不建立锚栓单元,将锚栓点固结,且不考虑底板与混

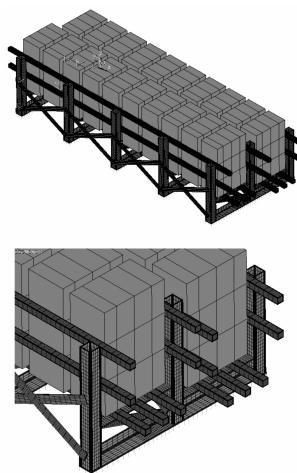


图 1 设备模块的有限元模型

凝土的力的传递。

2) 将锚栓点固结,并考虑底板与混凝土的力的传递。建立 LINK10 只拉单元。

3) 考虑混凝土与底板力的传递,并用 BEAM 单元建立锚栓的模型,同时在锚栓的侧面 4 个方向建立 LINK10 单元,沿锚栓长度方向模拟与混凝土的接触。

4) 进行手算,不考虑混凝土的接触。

通过分析,得到角点锚栓反力的结果见表 1,得到锚栓的总反力见表 2。

表 1 不同计算假定下的角点锚栓反力(10681)

假定	角点反力/lbs					
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
1)	15 174	20 759	41 826			
2)	38 923	12.7	33 793	0	25.4	22.7
3)	24 672	8 335.4	26 162	49 344	0	52 324
4)	52 265	54 8097	58 425			

表 2 不同计算假定下的锚栓总反力

假定	角点反力/lbs					
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
1)	1 046 100	4 001 900	1 169 500			
2)	1 046 600	20 170	1 170 000	454	0	508
3)	523 082	29 668	5 847.61	1 046 167	0	1 169 528
4)	1 045 304	3 998 861	1 168 507	24 384 302	4 424 122	36 952 275

可以发现,不同的边界假定,得出的角点和锚栓总反力各不相同。总体来说,不考虑混凝土作用的反力计算值较大,过于保守,考虑混凝土与底板作用的反力计算值较小,比较合理。为此,笔者将在下面一节中对锚固计算方法进行初步探讨,对基于不同边界条件和假定的计算方法进行比较,为锚固件的计算提供参考^[3]。

2 锚固计算方法的探讨

2.1 计算方案建立

通过查阅相关文献和进行一些假设,模拟如下一些设计方案:

1)假定荷载全部由锚栓承担,由静力平衡计算锚栓最大反力(拉力)。

2)假设转动中和轴位于最边上的锚栓中线,进行等效计算。见高耸结构设计规范第 4.9.1 条高耸结构法兰盘底板的计算^[2]。

3)根据式(1)计算最大拉应力,并据此计算出所需的地脚螺栓最小螺纹直径。见《钢制塔式容器》第 8.12.2 条^[3]。

$$\sigma_B = \begin{cases} \frac{M_w^{0-0} + M_e}{Z_b} - \frac{m_{\min} g}{A_b} \\ \frac{M_E^{0-0} + 0.25M_w^{0-0} + M_e}{Z_b} - \frac{m_0 g - F_y^{0-0}}{A_b} \end{cases} \quad (1)$$

根据规范要求取其最大值,并代入式(2)计算锚栓直径

$$d_1 = \sqrt{\frac{4\sigma_B A_b}{\pi n [\sigma]_w}} + C_2 \quad (2)$$

4)由《混凝土结构设计规范》中关于压弯构件的设计方法,根据力的平衡,考虑锚板与混凝土的接触,根据图 2 的计算简图计算锚栓反力。

5)建立有限元模型,并建立合理的边界条件,计算锚栓的反力^[5]。

假设图 3 中垂直于纸面向上方向为 Z 方向,组合风荷载和地震荷载后的荷载为: $F_z = -100 \text{ kN}$, $F_y = 100 \text{ kN}$, $M_x = 100 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, $d = 24 \text{ mm}$, $L = 600 \text{ mm}$

2.1 分析过程

1)不考虑混凝土与锚固底板的接触,则其计算简图见图 4。

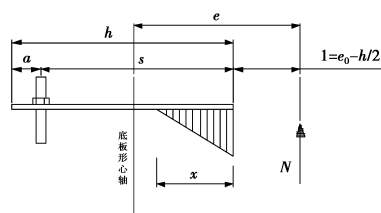


图 2 计算简图

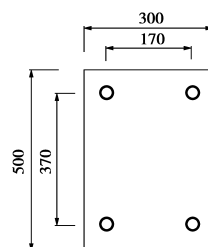


图 3 平面图

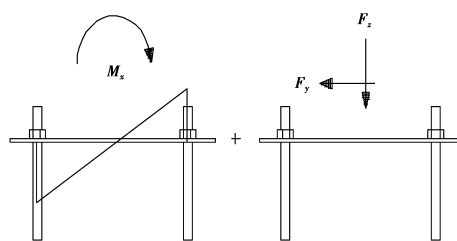


图 4 计算简图(方案 1)

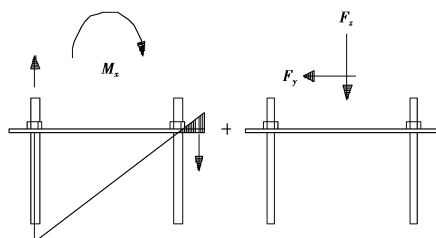


图 5 计算简图(方案 2)

经计算,由倾覆力矩提供的角点锚栓拉力为 $T_1=135.14$ kN,由竖向荷载产生的角点荷载为 $T_2=F_z/4=-25$ kN,由风荷载和地震荷载在角点产生的水平反力为 $F_{y1}=F_y/4=25$ kN。则角点锚栓的反力为 $T=110.14$ kN, $F_{y1}=25$ kN。

2)假设中和轴位于最边上的锚栓中线,其计算简图见图 5。

经计算,由倾覆力矩提供的中和轴另一边的角点锚栓拉力为 $T_1=M_x/(2 \times 370 \times 0.001 + 2 \times 2 \times 65 \times 0.001/3)$ kN = 120.97 kN,由竖向荷载产生的角点荷载为 $T_2=F_z/4=-25$ kN,由风荷载和地震荷载在角点产生的水平反力为 $F_{y1}=F_y/4=25$ kN。则角点锚栓的反力为 $T=95.97$ kN, $F_{y1}=25$ kN。

3)《钢制塔式容器》标准先根据荷载组合的输入计算出最大拉应力,再根据最大拉应力代入经验总结公式直接得出锚栓面积。为便于比较,先计算出单个锚栓面积,再乘以最大应力,得到锚栓的拉力值。与容器结构不同的是,底部计算面积形状并不是规则的筒状。为简化,假设远端受拉锚栓和中心在另一点锚栓的受压混凝土面积共同构成其计算简图^[3,6],见图 6。

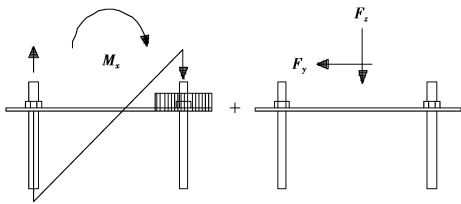


图 6 计算简图(方案 3)

由式(1)计算得 $\sigma_B=199.2$ MPa,根据式(2)计算得 $d_1=70$ mm,则锚栓反力为 $T=741$ kN, $F_{y1}=25$ kN。可以看出,本方案与本文的其它假设条件相差较大^[7]。

4)根据《混凝土结构设计规范》对于压弯构件的计算方法,计算简图见图 2。由于弯矩比较大,其计算结果与 1)计算所得的结果相同。

5)建立有限元模型进行计算。其有限元模型见图 7。

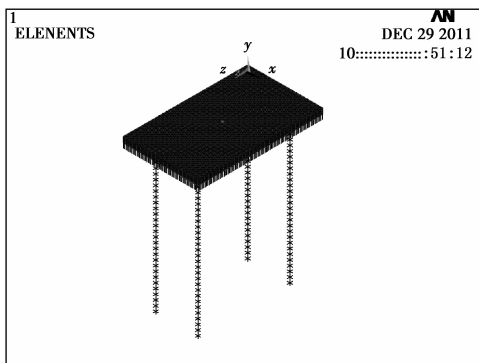


图 7 有限元模型

有限元计算的结果显示角点锚栓的反力为, $T=1.49$ kN, $F_{y1}=29.42$ kN。有限元计算较好的反映了锚栓的实际受力情况,显示了较小的锚栓竖向反力。

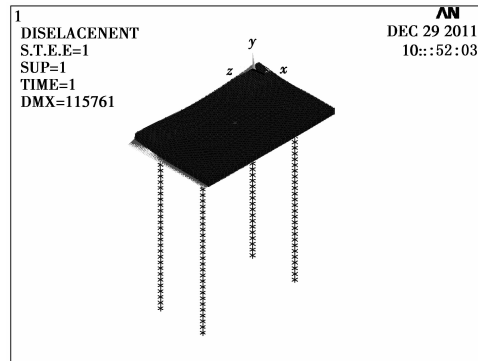


图 8 变形图

表 3 不同计算假定下的角点锚栓反力

假定	总反力/kN				
	1)	2)	3)	4)	5)
T	110.14	95.97	741	110.14	1.49
F_{y1}	25	25	25	25	29.42

通过表 3 可以发现,有限元法更好的考虑了混凝土和钢板的接触,更好的传递荷载,削弱锚栓反力。若根据有限元结果进行设计,只需按构造要求进行配置即可。其它几种方法做了相对保守的受力模式假定,所得结果相对较大,而第二种方法考虑了部分混凝土的作用,计算出的结果也相对较小,可考虑用于设计^[8]。

3 小结

通过一个设计实例,提出锚固计算时存在的问题。通过建立简单的力学模型,结合现有的假定和规范以及建立有限元模型,并得出相对较好的设计方法。由于本文算例的条件有一定的局限性,若要得到更具适用性的结论,还需进行大量的验算,如进行各种尺寸锚固板、各种锚栓排布以及各种附件形式的组合计算。

参考文献:

- [1] ACI 349-01, Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures and Commentary (ACI 349R-01), 2001; specifically referencing Appendix B, Anchoring to Concrete and Section 12.2 Development of deformed bars and deformed wire in tension.
- [2] 同济大学. (GB 50135—2006)[S]高耸结构设计规范. 北京:中国计划出版社,2007.
- [3] 全国锅炉压力容器标准技术委员会. JB/T 4710—2005 钢制塔式容器[S]. 北京:机械出版社,2005.
- [4] 一机燃化部石油化工设备规范编制小组. 塔设备地脚螺栓的几种计算方法[J]. 石油化工设备简讯,1972,4(23):42-45.
- [5] 重庆钢铁设计研究院. 工业厂房钢结构设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [6] 刘文元,白春山. 储罐及立式容器地脚螺栓计算分类[J]. 广东化工,2009,36(7):267.
- [7] 石听安. 高杆灯承受最大风荷载时紧固地脚螺栓的拉力计算[J]. 灯与照明,2002,6:8-9.
- [8] 杨振奎. 大型立式圆柱形贮罐的地脚螺栓设计[J]. 石油化工设备,1981,4:31-32.