

化学和容积控制系统下泄热交换器抗震分析

张世伟

(中国核动力研究设计院, 四川 成都 610041)

摘要:采用有限元方法对辽宁红沿河核电厂一期工程设备中的化学和容积控制系统(RCV)下泄热交换器进行了抗震计算分析,载荷包括自重、压力、温度、接管载荷和地震。根据 RCC-M 和 ASME 规范对计算结果进行评定。结果表明,RCV 下泄热交换器的设计满足规范要求。

关键词:化学和容积控制系统;抗震分析;应力评定

中图分类号:TL353.11

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2008)S1-0431-03

Seismic Analysis for Discharging Heat Exchanger of Chemical and Volume Control System

ZHANG Shi-wei

(Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China)

Abstract: A finite element model for chemical and volume control system (RCV) discharging heat exchanger was set up to take seismic analysis by finite element method. The loads include weight, pressure, temperature, pipe load and earthquake. The result was evaluated by RCC-M and ASME. The results of evaluation indicate that the design of RCV discharging heat exchanger is satisfied with the requirement of standard.

Key words: chemical and volume control system; seismic analysis; stress evaluation

红沿河核电厂一、二号机组的下泄热交换器的主要功能是使用设备冷却水系统的冷却水将下泄流的温度冷却到除盐器的树脂所允许的运行温度。根据核电设备相应的规范^[1],需要对该设备进行抗震分析和评定。

1 结构特性

化学和容积控制系统(RCV)下泄热交换器^[2]属于核安全2级设备,抗震等级为1I,安装于N厂房内。RCV下泄热交换器由水室入口

组件、水室出口组件、换热管、管板-拉杆-折流板组件、上部筒体组件、下部筒体组件、支承框架组件、三角形支架组件等组成。系统干重5 245 kg,湿重6 050 kg。有4个地脚螺栓,螺栓直径为42 mm。

2 有限元模型

钢结构支承、水室筒体、水室盖板、水室进出口接管、管板、壳侧筒体、导流筒体、壳侧进出口接管用壳单元模拟,传热管和拉杆组件用等

效的梁模型模拟,梁根部与管板位置的筒体耦合,在中间布置的折流板位置处与筒体耦合横截面方向进行平动,流体质量用集中质量单元模拟。在支承根部螺栓位置所在区域节点上,约束3个方向的平动位移。有限元模型示于图1。

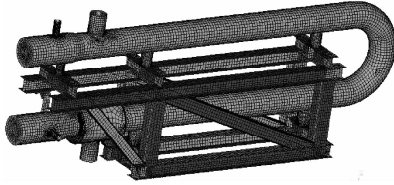


图1 有限元模型

Fig.1 Finite element model

3 材料特性

管侧、传热管等材料为00Cr19Ni10,壳侧材料为20HR-D,水室连接螺栓材料为0Cr17Ni4Cu4Nb,地脚螺栓材料为42CrMoE,型钢支承材料为Q235-D,各材料参数及许用应力列于表1。

表1 材料参数及许用应力

Table 1 Material parameters and allowable stress

材料	弹性 模量/ GPa	抗拉 应力/ MPa	屈服 应力/ MPa	许用 应力/ MPa	泊松比
00Cr19Ni10	197	517	207	92	0.3
20HR-D	204	410	245	104	0.3
0Cr17Ni4Cu4Nb	204	960	700		0.3
42CrMoE	204	800	640		0.3
Q235-D	204	375	235	125	0.3

4 计算载荷

热交换器主要承受的载荷有自重、压力、温度、接管载荷和地震^[3]。管侧内压为4.9 MPa,壳侧内压为1.2 MPa,相关参数列于表2。

表2 接管载荷

Table 2 Connected piping load

接管位置	工况	轴力/ N	剪力/ N	扭矩/ (N·m)	弯矩/ (N·m)
冷却水出、入口	1	5 960	5 960	3 030	6 060
	2	8 940	8 940	4 550	9 090
	3	11 920	11 920	6 060	12 120
堆冷却剂入、出口	3	4 200	4 200	1 400	1 400

5 计算分析

应用模态分析计算结构的固有频率和振型,交换器的1阶频率为12.10 Hz,1阶振型再用谱分析方法输入结构安装位置的楼板响应谱,计算结构在OBE、SSE地震作用下的响应。将地震工况的分析结果按ASME规范的要求与自重、内压、接管载荷分析结果进行组合。结构1阶振型与设计工况下的结构应力分布分别示于图2、3。各工况组合与应力评定列于表3、4。

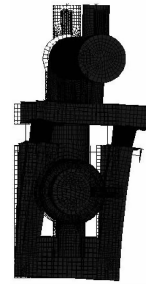


图2 1阶振型

Fig.2 The 1st mode

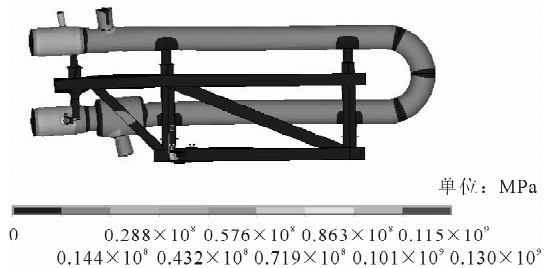


图3 设计工况应力强度

Fig.3 Stress contour of design load

从不同载荷组合计算结果中提取螺栓所在节点3个方向的反力,计算得到螺栓在各工况下的应力(表5)。

根据设计参数,螺栓的伸长量为0.129 mm,计算得到螺栓的预紧力 $F_{Si} = 65\ 850\ \text{N}$,柔性石墨金属缠绕垫片的垫片系数 m 取3,密封比压取69 MPa,垫片有效宽度为1.8 mm。在设计内压下,计算得到 $W_{m1} = 7\ 700\ \text{N}$ (W_{m1} 为设计工况需要最小螺栓载荷),同时考虑在地震作用下的水室盖板和水室内的水对单根螺栓产生的最大拉力为525 N,因此,在地震和设计压力联合作用下,螺栓承受的最大载荷 $F_t = 8\ 225\ \text{N}$ 。 $F_t < F_{Si}$,所以,水室与盖板的连接密封性满足要求。

表 3 不同载荷工况作用下结构应力评定
Table 3 Stress comparison under different conditions

工况	部位	σ_m /MPa	σ_m 限值/MPa	$(\sigma_m + \sigma_b)$ /MPa	$(\sigma_m + \sigma_b)$ 限值/MPa
设计工况	壳侧筒体	104	104	129	155
	水室筒体	76.1	92	83.9	138
	传热管	12.74	92	14.77	138
	管板	4.83	92	26.92	138
	型钢支承	39.6	125	170	188
扰动工况	壳侧筒体	113	114	149	170
	水室筒体	78.2	101	89.7	152
	传热管	12.84	101	15.38	152
	管板	5.18	101	27.28	152
	型钢支承	73	125	180	188
事故工况	壳侧筒体	123	208	169	247
	水室筒体	80.3	184	97.1	221
	传热管	12.95	184	15.92	221
	管板	5.54	184	27.64	221
	型钢支承	142	187.5	280	300
水压试验工况	壳侧筒体	129	233	141	343
	水室筒体	129	233	141	343
	传热管	18.78	197	18.78	290
	管板	7.04	197	39.71	290

注: σ_m 为薄膜应力; σ_b 为薄膜加弯曲应力

表 4 水室筒体与堆冷却剂接管交接区应力评定
Table 4 Stress comparison of primary coolant inlet and outlet

工况	P_L /MPa	P_L 限值/MPa	$(P_m + P_b)$ /MPa	$(P_m + P_b)$ 限值/MPa
设计工况	135	173	163	—
扰动工况	139	190	188	—
事故工况	143	345	216	—
水压试验工况	189	295	201	—

注:根据 RCC-M2000 表 C3382 的规定,此不连续区的弯曲应力不予评定, P_L 为局部薄膜应力, $P_m + P_b$ 为薄膜加弯曲应力

表 5 地脚螺栓应力评定
Table 5 Stress comparison of anchor bolt

工况	f_t /MPa	f_{tb} /MPa	f_v /MPa	f_{vb} /MPa	$f_t^2/f_{tb}^2 + f_v^2/f_{vb}^2$	限值
设计工况	8.5	400	25.3	165	0.02	1
扰动工况	12.5	400	43.3	165	0.07	1
事故工况	15.8	400	59.7	165	0.13	1

注: f_t 为拉应力; f_v 为剪应力; f_{tb} 为拉应力限值; f_{vb} 为剪应力限值

根据最为严酷的事故工况计算得到的载荷,计算得到型钢支承的 1 阶临界屈曲因子为 53。根据 ASME 规范,扰动工况下的屈曲安全因子取 2,则 $53/2 = 26.5 > 1$,说明本结构的型钢支承不会发生屈曲,是安全的。

6 总结

通过建立热交换器的整体有限元模型,应用 ANSYS 程序对交换器的壳体、型钢支承、传热管、地脚螺栓等部件进行了详细的力学计算,对计算结果根据不同的载荷组合工况进行了分

析与评定,结果表明,RCV 下泄热交换器的力学性能满足规范要求。

参考文献:

- [1] 国家技术监督局. GB/T 16702—1996 压水堆核电站核岛机械设备设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
- [2] 王圆,李磊. RCV 下泄热交换器设计图册[M]. 成都:中国核动力研究设计院,2007.
- [3] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1995.