

蒸汽发生器下部水平支承改进型缓冲结构刚度性能试验

谢洪虎, 周 鹏, 任红兵, 张兴辉, 梁小龙, 刘小华

深圳中广核工程设计有限公司, 广东深圳, 518124

摘要: 介绍核电厂蒸汽发生器 (SG) 下部水平支承改进型缓冲结构, 以及截面尺寸为 10 mm×10 mm 缓冲结构的刚度试验选材、试验设备、载荷施加方式等, 并对缓冲结构刚度试验的结果进行处理, 得到此改进型缓冲结构在不同区间内的加载载荷与位移之间的关系式、对应的弹塑性区的刚度值以及加载载荷与残余变形之间的变化曲线。

关键词: 蒸汽发生器; 下部水平支承; 缓冲结构; 刚度试验

中图分类号: TL35 **文献标志码:** A

0 引言

在反应堆冷却剂系统 (RCS) 正常运行工况下, 蒸汽发生器 (SG) 下部水平支承能够保证 SG 不受约束地在预定的尺寸范围内自由热位移; 在地震或反应堆冷却剂丧失事故 (LOCA) 发生时, SG 下部水平支承能够限制 SG 的瞬间位移, 保证 RCS、SG 及土建结构的稳定与安全。

为了 SG 支承结构有效地满足 RCS 的功能要求, SG 下部水平支承采用了一种改进型的缓冲结构。截至目前, 此种改进型缓冲结构在国外已经得到工程应用, 但国内应用较少。由于这种改进型缓冲结构在国内核电厂首次使用, RCS 力学计算过程中需要用到这些缓冲结构的机械特性 (如刚度特性等), 而这些缓冲结构的机械特性只能通过试验的方法才能准确获得。

1 结构介绍

SG 下部水平支承结构布置见图 1。主要由主管道热段轴线两侧的侧挡架和主管道热段轴线前端的前挡架组成。两侧的侧挡架结构相同, 由 2 个支承限位座组成; 前挡架由 3 个支承限位座组成。支承限位座主要包括缓冲结构和间隙调整结构两部分。每个间隙调整结构的底部都设置有缓冲结构, 缓冲结构的设置主要是用来缓冲和削弱地震或 LOCA 发生时 SG 的瞬间位移对土建结构及 RCS 造成的冲击载荷。

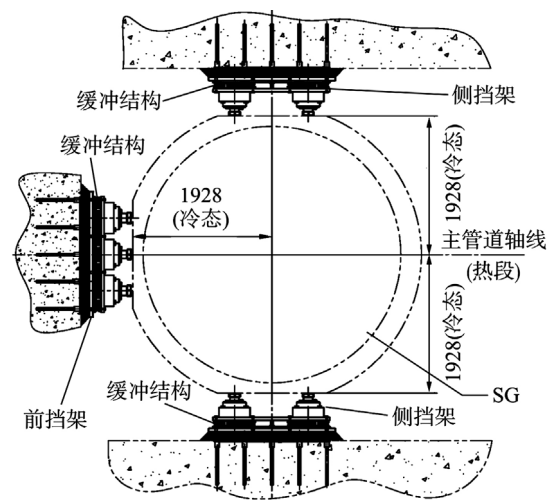


图 1 SG 下部水平支承结构简图

Fig. 1 SG Lower Horizontal Support

SG 下部水平支承限位座中的缓冲结构都是由截面为 10 mm×10 mm 的正方形缓冲条按一定的规律排列而成, 共 7 层。每一层由一定数量的缓冲条平行排列组成, 缓冲条相互间有一定的间距, 相邻两层的缓冲条相互垂直排列, 缓冲条的长度有 2 种规格, 分别为 492 mm 和 240 mm, 缓冲结构的高度为 70 mm, 具体的缓冲结构见图 2。

2 缓冲结构试验方案

2.1 缓冲条选材

在地震或 LOCA 事故工况下, SG 的瞬间位

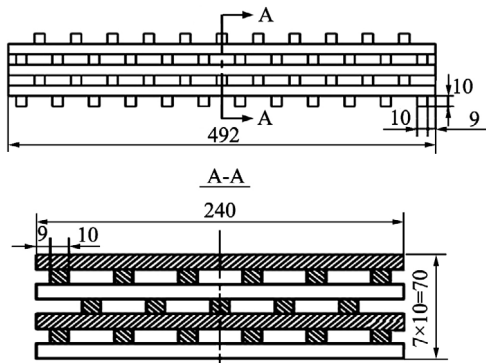


图2 缓冲结构

Fig. 2 Energy Absorbing Device

移产生的冲击载荷较大，为了保证缓冲结构具有足够的刚度，同时考虑其工作环境，材料选择的原则为：高强度结构钢，要求具有良好的综合机械性能；具有良好的耐腐蚀性能。

根据上述原则，综合考虑国内材料采购的可行性和经济性，缓冲结构中的缓冲条按照标准 GB/T 1220-2007(不锈钢棒材)选择2Cr13^[1]。

2.2 试验设备

缓冲结构刚度试验过程中载荷加载设备采用型号为CSS-254、最大负荷15000 kN、有效试验空间为7000 mm的试验机；载荷传感器的型号为YZC-810/800t；位移传感器型号为WY-20。

试验数据采集系统的数据采集频率为50 Hz，可同时采集1个载荷数据和6个位移数据，并实时显示“载荷-位移”变化曲线。

2.3 试验载荷施加方式

计算机系统根据操作人员设定的载荷值和加载速度对缓冲结构进行加载，整个加载试验过程根据弹、塑性区域内曲线的变化趋势划分为2个阶段：

第一阶段：加载载荷与缓冲结构位移表现为线性关系。采用阶梯式加载方式，载荷从0开始，以 25×10^4 N作为阶梯载荷，逐级增加，在每一级的载荷值上压力机保持此载荷值1 min，然后再连续、缓慢、均匀地增加到下一个载荷等级值。

第二阶段：从第一阶段试验结束点的载荷值开始，以 5×10^4 N为载荷等级，进行阶梯式加载，在每一级载荷值上压力机保持此载荷值1 min，再进行下一个载荷等级值的加载，之后持续加载，直到试件破坏为止，最后卸载至0 N，缓冲结构的加载试验结束。

为了得到缓冲结构的残余变形随施加载荷变

化而变化的趋势，上述载荷施加过程进行了7次加载、卸载的试验过程。

3 试验结果

3.1 载荷-位移曲线

根据整个试验过程中数据采集系统采集的加载载荷和位移数值绘制试验曲线，之后根据试验变化趋势进行分段处理，得到图3中的整合曲线。

由图3可以看出，在刚开始加载的区域（区间），缓冲结构的加载载荷与位移之间呈线性比例变化；缓冲结构进入弹性阶段，之后进入弹塑性转变阶段（区间），缓冲结构相应地开始产生残余变形，过了弹塑性转变区之后进入塑性阶段（区间），此阶段只要稍微施加更大的载荷，缓冲结构就会产生显著的塑性变形，最后由于材料的塑性硬化特性，缓冲结构的刚度会有一定程度的提高，之后缓冲条被压断破坏，缓冲结构失去缓冲特性。针对整合得到的刚度试验曲线，对划分的3段曲线进行拟合处理，得到表1中所列的拟合公式。

由图3可知，区间和区间分别为弹性区

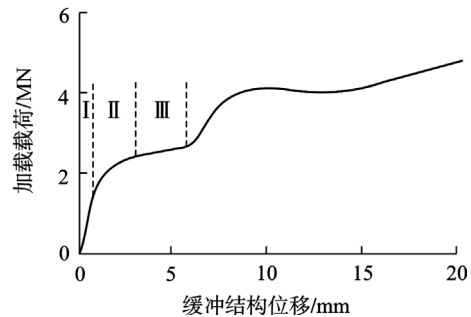


图3 10 mm×10 mm 缓冲结构刚度试验加载载荷-位移变化曲线

Fig. 3 Exerting Load - Deformation Curve for 10 mm×10 mm Energy Absorbing Device

表1 10 mm×10 mm 缓冲结构载荷-位移曲线分段拟合公式

Table 1 Formulas of Load Exerting vs Deformation for 10 mm×10 mm Energy Absorbing Device

区间	区间下限		区间上限		拟合公式
	载荷 /kN	位移 /mm	载荷 /kN	位移 /mm	
	0	0	1450	0.84	$y = 1726.2x$
	1450	0.84	2400	3.11	$y = -125.5x^4 + 1157x^3 - 4050.5x^2 + 6531.3x - 1801.3$
	2400	3.11	2650	5.83	$y = 88.8x + 2130.4$

注：y表示加载载荷，kN；x表示位移，mm

间和塑性区间,根据表1中的拟合公式,可以得到这两区间内的试验刚度值(表2)。

3.2 载荷-残余变形曲线

为更好地掌握缓冲结构的力学性能,试验过程中,在每个卸载点记录了缓冲结构的残余变形,之后根据记录的载荷和残余变形试验数值绘制图4所示残余变形曲线。

表2 10 mm×10 mm 缓冲结构弹、塑性区域刚度试验值

Table 2 Experiment Stiffness for 10 mm×10 mm Energy Absorb Device

区间	弹性区	塑性区
刚度值 $K/N\cdot mm^{-1}$	1.7262×10^6	8.88×10^4

4 结束语

通过试验对截面尺寸为10 mm×10 mm缓冲条组成的改进型缓冲结构进行刚度试验研究,得到了缓冲结构在不同区间内的加载载荷与位移之间的关系式、对应的弹塑性区的刚度值,以及加载载荷与残余变形之间的变化曲线。这些试验刚度结果的获得有利于此种改进型缓冲结构在SG下部水平支承中的工程应用。

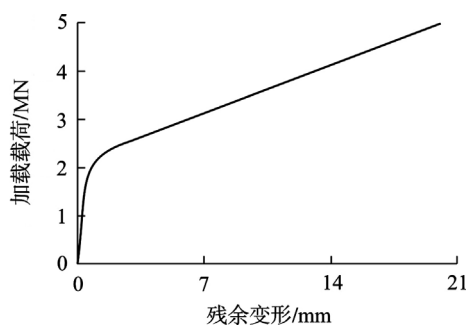


图4 10 mm×10 mm 缓冲结构刚度试验残余变形曲线
Fig. 4 Exerting Load - Residual Deformation Curve for 10 mm×10 mm Energy Absorbing Device

另外,本文仅对10 mm×10 mm缓冲条组成的缓冲结构进行试验研究,后续根据实际工况需要,可考虑对其他截面尺寸(如8 mm×8 mm、12 mm×12 mm等)缓冲条组成的缓冲结构进行试验研究,以便全面掌握缓冲结构的刚度与缓冲条截面尺寸间的对应关系。

参考文献:

- [1] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.

Experiment on Structural Stiffness of Energy Absorbing Device in Steam Generator Lower Horizontal Support

Xie Honghu, Zhou Peng, Ren Hongbing, Zhang Xinghui, Liang Xiaolong, Liu Xiaohua

China Nuclear Power Design Company, LTD, Shenzhen, Shenzhen Guangdong, 518124, China

Abstract: The 10 mm×10 mm energy absorbing device used for steam generator lower horizontal support, and its stiffness experiment, including material selection, experimental scheme, equipments and load exerting are briefly introduced. Then, the formulas of the load exerting vs displacement for the energy absorbing bar are formulated, and the experimental stiffness of the energy absorb device in the region of elastic and ductile are deduced from the formulas. Also, the curve of the load exerting vs residual displacement for the energy absorb device is obtained by the experimental data. All of which provide lots of conveniences for the energy absorb device used in steam generator lower horizontal support.

Key words: Steam generator, Lower horizontal support, Energy absorb device, Stiffness experiment

作者简介:

谢洪虎(1983—),男,工程师。2009年毕业于华南理工大学过程装备与控制工程专业,获工学硕士学位。现主要从事核岛主设备支承及专用工具设计工作。

周鹏(1979—),男,工程师。2005年毕业于西北工业大学热能工程专业,获工学硕士学位。现主要从事核岛主设备支承及专用工具设计工作。

任红兵(1967—),男,高级工程师。1990年毕业于四川轻化工学院化工机械专业,获工学学士学位。现主要从事核岛主设备设计管理工作。

(责任编辑:刘君)