

文章编号 : 0258-0926(2017)01-0085-0x; doi: 10.13832/j.jnpe.2017.01.0085

核岛主设备支撑用大吨位液压阻尼器密封件延寿可行性研究

谢洪虎, 杨锦春

中广核工程设计有限公司, 广东深圳, 518124

摘要: 基于液压阻尼器密封件的密封压缩回弹原理, 通过密封件压缩变形与服役时间的变化关系曲线, 对美国麦奎尔核电厂 2 号机组运行 20 a 后拆卸的德国 Lisega 大吨位液压阻尼器密封件的预测寿命进行了计算。计算结果表明, 以德国 Lisega 公司生产的大吨位液压阻尼器为例, 无论是外部密封还是内部密封, 其密封件预测寿命明显要长于目前在役或在建核电厂中规定的密封件更换周期。

关键词: 核岛主设备; 液压阻尼器; 寿命; 密封件; 压缩; 回弹

中图分类号: TL943 **文献标志码:** A

Feasibility Study on Large-Loaded Hydraulic Snubber Seal Life Extension Used in Primary Equipment Supports of Nuclear Power Plants

Xie Honghu, Yang Jinchun

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

Abstract: Based on the variation of compression set and service time, the projected seal life of the Lisega large loaded hydraulic snubber uninstalled from McGuire nuclear power station Unit 2 after maintenance free service for over 20 years are calculated. The results show that, taking the large loaded hydraulic snubber provided by Lisega as an example, the projected seal life for external seal and a seal within the fluid boundary is much longer than the replacing cycle for these seals regulated in nuclear power stations in operation or under construction.

Key words: Primary equipment of nuclear island, Hydraulic snubber, Life, Seal, Compression, Relaxation

0 引言

核岛主设备支撑用大吨位液压阻尼器(简称液压阻尼器)主要用于地震及冷却剂失水事故(LOCA)工况下限制蒸汽发生器、反应堆冷却剂泵等核岛主设备的瞬间移动, 以确保反应堆冷却剂系统的稳定和安全。目前国内核电厂核岛主设备支撑采用的液压阻尼器均由国外供应商提供, 其阻尼器密封件均采用了橡胶材料, 为防止核电厂在役运行期间液压阻尼器因密封件老化而产生液压油泄漏事件的发生, 各在役或在建核电

厂一般规定液压阻尼器密封件的更换周期不超过 5 a。

考虑到目前各国都对在役和在建核电厂提出了延寿的要求(寿命由原设计的 40 a 延长到 60 a), 本文以美国麦奎尔核电厂 2 号机组在役运行近 20 a(期间密封件无更换、无液压油泄漏)后拆卸的德国 Lisega 大吨位液压阻尼器为例, 采用分析、计算的方法, 对液压阻尼器密封件的预期寿命进行计算和评估, 为在役和在建核电厂液压阻尼器密封件的延寿提供参考和借鉴。

收稿日期: 2016-03-07; 修回日期: 2016-07-05

作者简介: 谢洪虎(1983—), 男, 高级工程师, 现从事核电厂核岛设备设计工作

1 液压阻尼器密封结构

德国 Lisega 公司生产的大吨位液压阻尼器采用的是外置式补偿油箱结构 (图 1), 其密封性能稳定, 密封结构相对复杂, 包括活塞杆密封、活塞密封、压缩拉伸阀、储油塞密封等。这些密封件的材料均为氟弹性橡胶; 此种材料具有稳定性高、耐高温、老化、辐照、化学腐蚀等优点。

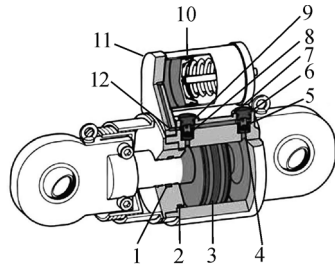


图 1 液压阻尼器密封结构

Fig. 1 Seals of Snubber

1—活塞杆密封; 2—缸盖盖体密封; 3—活塞密封; 4—压缩阀盖 O 形密封; 5—测试端 O 形密封; 6—压缩阀上 O 形密封; 7—阀套筒下 O 形密封; 8—拉伸阀盖 O 形密封; 9—拉伸阀上 O 形密封; 10—储油塞密封; 11—脱气阀盖 O 形密封; 12—定心衬套 O 形密封

2 液压阻尼器密封件压缩回弹原理

液压阻尼器密封件的寿命基于低压泄漏原理来评估, 主要是通过密封件的密封压缩回弹的趋势来计算。

由于受到温度、压力的作用, 密封件材料将发生老化、变质, 致使密封件发生永久变形, 产生蠕变松弛、回弹能力下降, 造成液压油泄漏。因此, 液压阻尼器密封件多采用具有良好的耐老化和耐辐射性能的含氟聚合物人造弹性橡胶。

图 2 为液压阻尼器密封件安装前和拆除后的变形回弹示意图。回弹率 C 计算公式为:

$$C = \frac{W_0 - W_1}{W_0 - W_s} \quad (1)$$

式中, W_0 为密封件安装前测定方向尺寸; W_1 为密封件拆除后测定方向尺寸; W_s 为密封件安装后测定方向尺寸。

一般要求 C 为 18% ~ 30%, 作为密封件使用时 C 越大越好。

图 3 为密封件压缩变形随服役时间的变化关系曲线。由图 3 可以看出, 通过起始坐标点 t_0 和压缩变形测量点可以绘制出保守的密封件寿命预测曲线; 通过密封件一系列压缩变形测量点可以

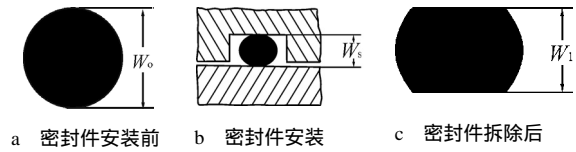


图 2 密封件密封回弹示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Seal Relaxation

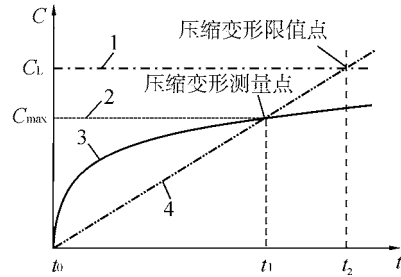


图 3 密封件压缩变形与服役时间关系曲线

Fig. 3 Compress Deformation vs. Service Time of Seals

1—压缩变形限值; 2—压缩变形测量值; 3—实际压缩变形曲线; 4—保守的寿命预测曲线; C_L —压缩变形限值点对应回弹率; C_{max} —压缩变形测量点对应回弹率; t_0 —密封件起始服役时间; t_1 —压缩变形测量点对应服役时间; t_2 —压缩变形限值点对应服役时间; t —服役时间

绘制出实际的压缩变形曲线, 通过密封件的压缩变形限值可以计算出保守的阻尼器密封件服役时间 (预测寿命)。

3 液压阻尼器密封件寿命计算

以美国麦奎尔核电厂 2 号机组近 20 a 在役运行后拆卸下来的德国 Lisega 公司生产的大吨位液压阻尼器为例, 根据密封件压缩变形实测值, 对液压阻尼器密封件的寿命进行预测计算。

3.1 密封件压缩变形

现场测得的拆卸后的阻尼器密封件压缩变形值和美国国家环境试验室通过试验得到的不同密封件压缩变形限值见表 1。由表 1 可见液压阻尼器密封件压缩变形的限值因密封件的结构形式、截面形状等因素的不同而存在一定的差异。

3.2 液压阻尼器密封件寿命计算

根据表 1, 以序号 2 缸盖盖体密封件为例, 可以绘制出图 4 所示保守的寿命预测曲线。在此预测曲线的基础上, 结合美国国家环境试验室通过试验得到的不同密封件压缩变形限值可以计算出不同密封件的保守的服役时间 (预测寿命)。通过此方法计算得到的供应商德国 Lisega 公司生产的大吨位液压阻尼器密封件保守的预测寿命 (表 2)。

从表 2 可以看出，阻尼器脱气阀盖 O 形密封的预期寿命最短，约为 45.5 a，而液压油边界内的密封件最短的预期寿命为 52.3 a。

表 1 液压阻尼器密封件压缩变形结果
Table 1 Compression Results of Seals for Hydraulic Snubber

序号	密封件	压缩变形测量值/%	压缩变形限值/%
1	活塞杆密封	0.6	7
2	缸盖盖体密封	4.5	20
3	活塞密封	0.2	4
4	压缩阀盖 O 形密封	5.1	21
5	测试端 O 形密封 1	2.3	14
	测试端 O 形密封 2	0.6	7
	测试端 O 形密封 3	7	25
	测试端 O 形密封 4	3.6	18
6	储油塞密封	11.2	30
7	阀套筒下 O 形密封 1	13	34
	阀套筒下 O 形密封 2	8.2	27
8	拉伸阀盖 O 形密封	9.5	29
9	拉伸阀上 O 形密封	12.2	33
10	压缩阀上 O 形密封	7.2	25
11	脱气阀盖 O 形密封	15.3	35
12	定心衬套 O 形密封 1	9.2	27
	定心衬套 O 形密封 2	4.1	18

注：数据来源于德国 Lisega 公司提供的内部报告《Seal Life Extension LISEGA Model # 314807 Duke Energy, McGuire Station》

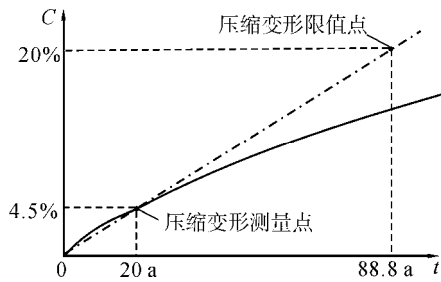


图 4 缸盖盖体密封件寿命预测曲线

Fig. 4 Life Extension Forecast of Cylinder Head to Body Seal

表 2 液压阻尼器密封件预期寿命

Table 2 Life Extension of Seals for Hydraulic Snubber

序号	密封件	密封件预期寿命/a
1	活塞杆密封	238.2
2	缸盖盖体密封	88.8
3	活塞密封	432.0
4	压缩阀盖 O 形密封	82.8
5	测试端 O 形密封 1	124.3
	测试端 O 形密封 2	248.5
	测试端 O 形密封 3	71.0
	测试端 O 形密封 4	99.4
6	储油塞密封	53.5
7	阀套筒下 O 形密封 1	52.3
	阀套筒下 O 形密封 2	65.9
8	拉伸阀盖 O 形密封	61.0
9	拉伸阀上 O 形密封	54.2
10	压缩阀上 O 形密封	69.7
11	脱气阀盖 O 形密封	45.5
12	定心衬套 O 形密封 1	58.6
	定心衬套 O 形密封 2	86.8

4 结论

(1) 德国 Lisega 公司生产的大吨位液压阻尼器，密封件的最短预期寿命约为 45.5 a，液压油边界内的密封件最短预期寿命约为 52.3 a。此研究结果将有助于在役和在建核电厂液压阻尼器密封件的更换周期由目前规定的 5 a 或 10 a 提高到 20 a 以上。

(2) 本文是基于美国麦奎尔核电厂 2 号机组经历近 20 a 在役运行后拆卸下来的液压阻尼器进行的分析计算，实际应用过程中需要考虑到其他不确定性和各类误差，需预留足够的安全裕量。

(3) 根据计划，德国 Lisega 公司下一步将对服役 32 a 的液压阻尼器进行密封件拆卸检测，根据图 3 密封件压缩变形与服役时间关系曲线中实际压缩变形曲线的走势推断，届时液压阻尼器密封件的预期寿命将可能进一步提高。

(责任编辑：张明军)