

doi: 10.7690/bgzdh.2014.10.021

一种乏池检测装置的地震响应分析及优化

陈昌金, 何佳林, 尹健

(中国兵器工业第五八研究所机械电气技术部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为了提高乏池检测装置在地震时的减震性和抗震性, 提出一种乏池检测装置的地震响应优化方法。通过 Pro Engineer 软件对检测装置进行建模, 使用 SeismoSignal 软件将采样得到的地震数据通过傅里叶变换为地震波谱, 并以此为输入信息通过 Ansys workbench 的 Response Spectrum Analysis 软件模块进行谱响应分析, 优化其减震模块。分析结果表明: 该方法有效提高了乏池检测装置在地震时的抗震性, 误差不超过 5%。

关键词: 有限元分析; 谱响应; 减震

中图分类号: TP220.6 **文献标志码:** A

Earthquake Response Analysis and Optimization of Spent Fuel Detection Equipment

Chen Changjin, He Jialin, Yin Jian

(Department of Mechanical & Electrical, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industry, Mianyang 621000, China)

Abstract: For improving shock absorption and anti-seismic in earthquake, the optimization method of spent fuel detection equipment is presented. Used Pro Engineer software to established model, used SeismoSignal software to changed earthquake data sample in to earthquake spectrum by Fourier transform, then used earthquake spectrum to carry out spectrum response by Response Spectrum Analysis software module of Ansys workbench, optimize shock absorption module. The analysis results show that the method effectively improve shock absorption of spent fuel detection equipment in earthquake with error less than 5%.

Keywords: FEM; spectrum response; vibration-absorptive

0 引言

乏池是核电站贮存乏燃料的专用水池。正常情况下, 乏池内的水可完成对乏燃料的冷却、过滤和屏蔽。日本福岛事件的发生, 促使人们进一步提高核设施在地震过程中的减震性、抗震性等。乏池检测装置是乏池内状态的反馈设备, 其在地震中的可靠性也至关重要。基于此, 笔者通过对某核电站乏池的地震特征波进行谱响应分析和不断优化改进^[1], 有效提高了检测装置的实用设计水平, 并大大节省了试验费用。

1 技术方案

采用 Ansys Mechanical Dynamic 的 Response Spectrum Analysis 功能模块, 依据检测装置所处位置的地震波谱, 通过谱响应分析得到对应的位移和应力结果; 根据分析结果调整检测装置减震模块的位置和结构, 再次进行有限元分析。通过多次循环以上步骤, 最终使检测装置的减震、抗震性能最优化。如图 1 所示。由于检测装置以钢材材质为主, 笔者仅讨论其位移分析结果。

2 建模及网格划分

虽然 Ansys workbench 的 Design Modeler 软件模块也可进行三维建模, 但其易用性远不如专业的三维软件。在此, 选用 PTC 公司的 Pro Engineer 软件实现检测装置的建模^[2], 再导入到 Ansys workbench 软件中。如图 2 所示, 检测装置安装在乏池侧壁已有的安装座上, 从上往下依次为使用螺栓法兰连接方式的固定支座 1 处、套入方式的导向支座 3 处。

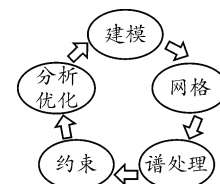


图 1 分析优化循环

首先, 在 Geometry 中设置模型材料。目前乏池位置以沿海为主且检测装置需浸入池内, 对材料的耐腐蚀性提出了很高要求。实际设计中检测装置除检测元件外均使用 316L 钢材制造, 在软件中统一简化设置为 Stainless Steel。

收稿日期: 2014-05-04; 修回日期: 2014-07-12

作者简介: 陈昌金(1977—), 男, 四川人, 工程硕士, 高级工程师, 从事专用数控装备设计研究。



图 2 某乏池检测装置模型

其次，检测装置内含减震模块且需连接安装，实际均存在接触界面，即两表面不会相互渗透且仅能传递径向压力和切向摩擦力。这对检测装置的固有频率影响较大，所以必须对特定接触区域设置接触。在 Connections 中对 Contacts 进行设置，其中固定支座处结构为法兰连接，由螺栓受力，近似为 No Separation 方式；导向支座处结构为滑套形式，近似为 Frictional 方式，并设置动摩擦因数为 0.1。同时将 Formulation 默认值的 Pure Penalty 设置为 Augmented Lagrange，后者对接触面的描述方法采用额外的控制可自动减少渗透。

至此，模型可进行网格划分，并经过对 Sizing 的设置调整以达到后续分析要求。如图 3 所示。

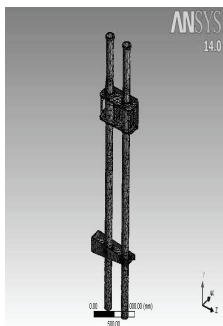


图 3 某乏池检测装置的网格划分

3 谱处理

地震波通常是由地震仪记录，其按时间间隔 Δt 进行采样，采样值为 x_m ，则加速度时间函数为

$$x_m = x(m\Delta t) \quad (1)$$

其中 m 为采样点的数量。

可由式 (1) 作为输入，在时域上对地震波作用下目标物的响应进行分析，但极其费时费力。随着计算机技术的普及和提升，使用傅里叶变换方法转换至频域后识别和处理，将极大地提高数据分析的速度和效率。

通过 SeismoSignal 软件，笔者可以快速地完

检测信号从时域到频域的转换。通过软件载入地震波后，设置基线校正为 Linear；由于地震波的高频分量可以滤掉，设置为低通滤波；而检测装置的主要频率范围为 0~100 Hz，以此设置截断频率，如图 4、图 5 所示。

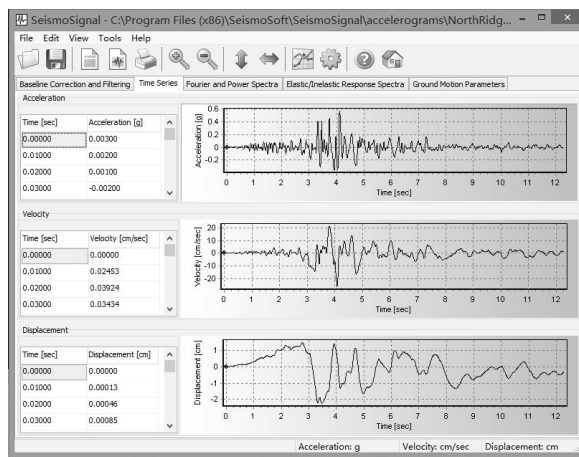


图 4 SeismoSignal 软件中时域分析界面

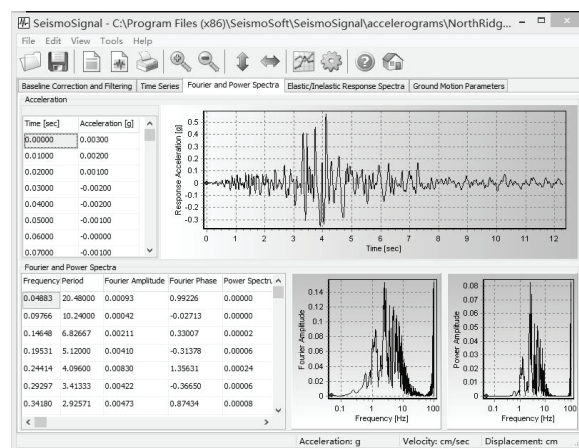


图 5 SeismoSignal 软件中频域分析界面

根据前述方法，可以得到检测装置安装位置处的地震波谱，如图 6 中 RS20 和 RS1425 曲线，分别表示不同深度下的波谱。为了更好地提高检测装置的可靠性，又增加了 1994 年 1 月 17 日的 6.7 级 Northridge 地震波验证，如图 6 中 h0、h0.02、h0.05 曲线^[3]，其表示不同阻尼下的波谱。

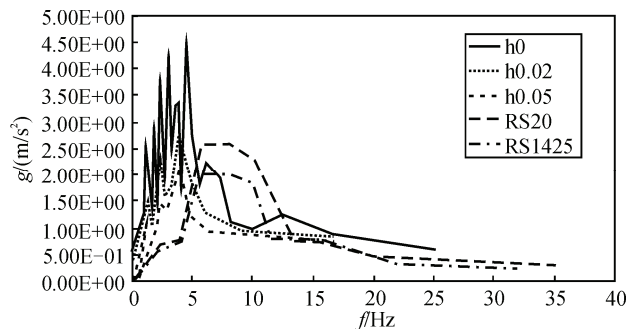


图 6 地震波谱对比

4 优化

经过前述步骤，谱响应分析的模型与信号输入准备工作已基本完成，还需完成静态结构和模态分析^[4]。

在 Static Structural 模块中，需先设定约束条件即 Fixed Support 和 Standard Earth Gravity，前者为在固定支座处对检测装置的螺栓紧固，需对 Bolt Pretension 设定，并根据螺栓直径和材料查询资料后设定 Preload 至 54 626 N；后者为重力加速度，分析中以 Z 方向的负向为重力加速度的矢量方向，并设置为 9.806 m/s²。

在 Modal 模块中，由于实际对检测装置影响最大的频率范围为 0~100 Hz，因此只需得到此范围内的振型即可。在 Modal 模块内的 Options 中可设定 Range 参数，但是由于某些原因使振型频率比较接近；因此，此步骤可能需进行多次重复，以找到数量合理的振型。

至此，Response Spectrum 的分析准备工作才算完成。而地震波响应中通常是以单质点模型为基础，即

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{y} \quad (2)$$

其中： x 为单质点相对于地面的位移； y 为地面的位移； m 为质量； k 为刚度系数； c 为阻尼系数。因此，可设置 Spectrum type 为 Single Point 方式。并采用 SRSS 分析方法，即

$$\{R\} = \left(\sum_{i=1}^N \{R_i\}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中： i 为模态分析中的振型数； R 为对应的地震响应谱。

再通过 RS Acceleration 设置导入地震波谱，将 Scale Factor 参数设置为重力加速度即可。

Ansys workbench 软件运行后可提供多种结果，文中只涉及到了在 RS20 和 h0 曲线激励下的 X、Y、Z 方向的位移变形图，以 X 方向为例如图 7、图 8 所示。

根据谱响应分析结果以及设计经验，反复优化减震模块的结构和位置，可使检测装置的抗震性最优化。

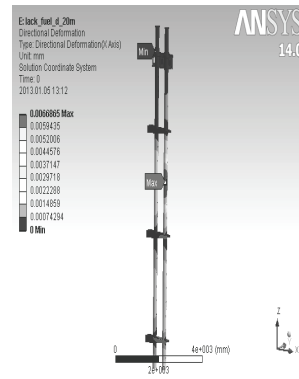


图 7 RS20 激励下的 X 方向的位移分量

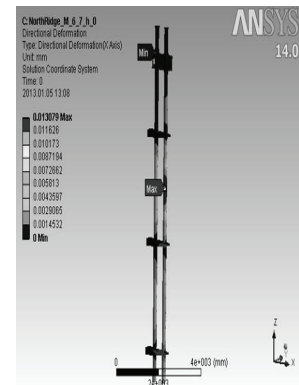


图 8 h0 激励下 X 方向的位移分量

5 结束语

通过 Pro Engineer、SeismoSignal 和 Ansys workbench 3 种软件功能的组合应用，有效提高了工程应用领域中乏池检测装置在地震时的抗震性，并经过谱响应分析结果和试验的对比，证明有限元分析可进一步代替多次地震试验，误差不超过 5%，具备实用性、可靠性和推广性。

参考文献：

- [1] 大崎顺彦. 地震动的谱分析入门[M]. 北京：地震出版社，1980：3.
- [2] 陈昌金，尹健. 虚拟样机技术在数控深孔螺旋拉床整机设计中的应用[J]. 兵工自动化，2008，27(2)：65-67.
- [3] 杨溥，李英民，赖明. 结构时程分析法输入地震波的选择控制指标[J]. 北京：土木工程学报，2000，33(6)：33-37.
- [4] 李泽天，王兴伟，李小飞. 基于 ANSYS 的轴承座有限元分析[J]. 兵工自动化，2008，27(12)：94-96.