

DOI: 10.19701/j.jzjg.22S1200

商用大飞机撞击对核岛厂房 隔震结构的影响研究

史晨程, 万松琳, 陈健, 蒋迪

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要: 基于有限元分析软件 ANSYS/DYNA 建立采用隔震方案和非隔震方案的“华龙一号”核岛厂房模型, 并分别进行商用大飞机撞击模拟。系统分析了核岛厂房变形情况、隔震支座最大位移、厂房结构的振动反应谱。分析结果表明, 隔震方案有利于提高大飞机撞击下核岛厂房的结构完整性; 隔震层在飞机撞击下不会损坏; 隔震方案对飞机撞击振动响应的影响较小, 且影响是有利的。

关键词: 商用大飞机撞击; 核岛厂房; 整体隔震; 有限元分析

中图分类号: TU312^{+.3} 文献标志码: A 文章编号: 1002-848X(2022)S1-1007-03

Study on the impact of commercial large aircraft on the isolated structure of nuclear island building

SHI Chencheng, WAN Songlin, CHEN Jian, JIANG Di

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China)

Abstract: Based on the finite element analysis software ANSYS / DYNA, the model of HPR1000 nuclear island building with isolation scheme and non isolation scheme is established, and the simulation of the impact of commercial large aircraft is carried out respectively. The deformation of the nuclear island plant, the maximum displacement of the isolation bearings, the shock response spectrum of the structure of building are systematically analyzed. The results show that the isolation scheme is beneficial to improve the structural integrity of the nuclear island building under the impact of large aircraft; the isolation layer is not damaged under the impact of aircraft; the isolation scheme has little influence on the vibration response under the impact of aircraft, and the influence is favorable.

Keywords: commercial large aircraft; nuclear island building; overall isolation; finite element analysis

0 引言

目前, 我国三代自主核电机组“华龙一号”、欧洲 EPR 等国内外主要三代核电机组均能够抵御商用大飞机撞击。同时, 在核岛厂房采用基础隔震技术, 可以拓宽核电机组标准化设计的厂址适用范围, 也是当前核电结构领域研究的前沿技术^[1]。而对于采用整体隔震方案的三代核电机组核岛厂房, 自然也应该考虑商用大飞机撞击所造成的影响。

1 整体隔震方案介绍

本文分析中的“华龙一号”核岛厂房隔震方案共采用 567 个直径为 1.5m 的铅芯橡胶隔震支座, 其中包括 173 个一型支座和 394 个二型支座, 隔震布置方案平面图见图 1。两种支座具有不同的水平刚度, 通过调整, 该方案可以保证地震工况下隔震层刚心与上部结构质心的重合, 从而避

免隔震层扭转^[2-3]。

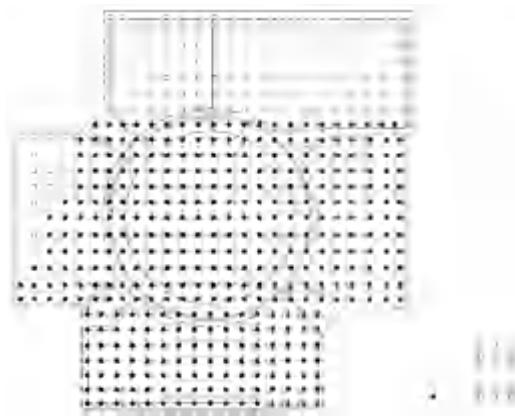


图 1 隔震方案布置平面图

2 商用大飞机撞击分析模型

模型采用 ANSYS 建模, 导入 LS-DYNA 后计算。上部结构采用壳单元及梁单元, 隔震支座采

第一作者: 史晨程, 硕士, 工程师, 主要从事核工程厂房结构研究与设计, Email: shichencheng10@163.com。

用梁单元，隔震层底板采用体单元，飞机模型采用 SPH 单元^[4-5]。隔震支座水平向采用双线性本构，竖向采用线性本构。计算中所考虑的商用大飞机的撞击位置为燃料厂房北墙中部，大飞机撞击抗震和隔震结构模型见图 2、3。



图 2 商用大飞机撞击核岛厂房隔震结构模型



图 3 商用大飞机撞击核岛厂房抗震结构模型

3 核岛厂房的结构完整性分析

核岛厂房隔震结构在飞机撞击下的变形最大值仅相当于抗震结构的 80%，见图 4。由于商用大飞机撞击工况相关数据需要保密，本文中的变形时程曲线的纵坐标不显示绝对数值，仅表示隔震结构及抗震结构在撞击下响应的相对关系，用于总结相关规律。

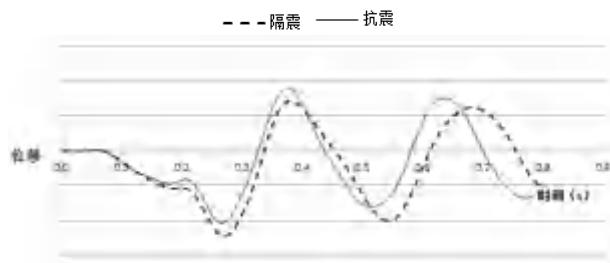


图 4 撞击中心区域的变形时程

飞机撞击未造成隔震结构上部厂房的较大位移，并且撞击造成的隔震结构变形小于抗震结构，可见隔震方案可以降低结构的受力水平，提高结构在撞击下的完整性。

4 商用大飞机撞击对隔震层的影响

各个隔震支座在撞击下的最大水平向位移情况见图 5。由图 5 可以看出，各个隔震支座的水

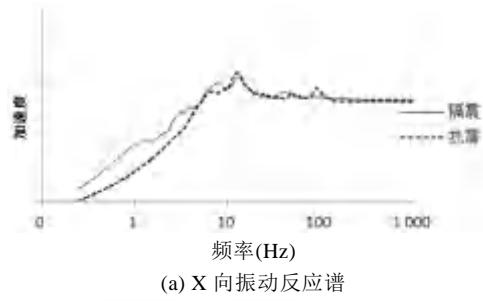
平向位移并不一致，整个隔震层出现较明显的扭转，扭转是由于飞机撞击位置合力点作用线与隔震层刚心并不重合；所有支座中的最大位移为 16.78mm，远小于隔震支座的极限位移，可见隔震层在撞击荷载下不会破坏。



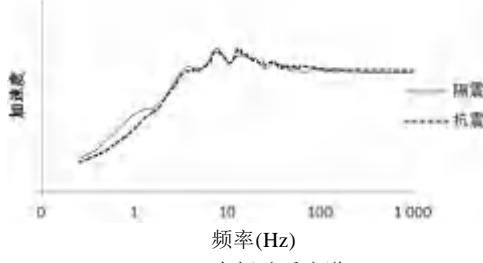
图 5 各个隔震支座在撞击下的最大水平向位移情况

5 核岛厂房的结构动力响应

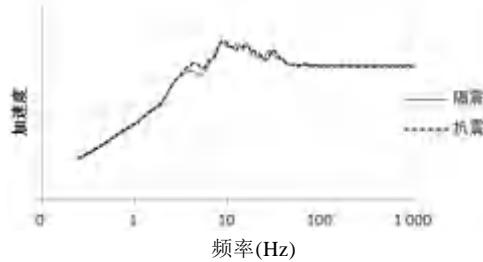
由于“华龙一号”核岛厂房为双层结构，飞机撞击产生的振动响应几乎无法传播到厂房内部。为比较隔震结构和抗震结构在飞机撞击下的振动响应，本文选取了燃料厂房 APC 壳屋面中部作为响应输出位置，即 95684 点，见图 2、3。图 6 为该位置在飞机撞击下的三方向振动反应谱。



(a) X 向振动反应谱



(b) Y 向振动反应谱



(c) Z 向振动反应谱

图 6 商用大飞机撞击下 95684 点三个方向的振动反应谱

由于商用大飞机撞击工况相关数据需要保密，本文中的振动反应谱曲线的纵坐标不显示绝对数值，仅表示隔震结构及抗震结构在撞击下响应的相对关系，用于总结相关规律。

在水平方向上，隔震结构的反应谱较抗震结构略向低频移动，整体形状略有不同，在高频段仍较接近；在竖向，隔震结构的反应谱与抗震结构较接近，反应谱峰值略低于抗震结构。

6 结论

在商用大飞机撞击下，采用隔震结构的核岛厂房的结构变形及楼层反应谱峰值均低于抗震结构，且隔震层也不会损坏。虽然隔震结构反应谱并不能完全被抗震结构反应谱包络，但整体形状仍较接近。可见，核岛厂房采用隔震结构方案，

有利于提高大飞机撞击下的结构完整性，能够抵御商用大飞机的撞击；隔震方案对飞机撞击振动反应谱的影响较小，且整体来讲影响偏向于有利。

参 考 文 献

- [1] 谢礼立, 翟长海. 核电工程应用隔震技术的可行性探讨[J]. 地震工程与工程振动, 2012, 32 (1).
- [2] 建筑隔震设计标准: GB/T51408-2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- [3] 国家能源局. 核电厂结构隔震设计技术规程(报批稿).
- [4] 王新敏. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [5] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.