

反应堆用辅助泵的实体建模和抗震计算

Real 3-Dimension Model and Analysis of Auxiliary Nuclear Reactor Pump

盛选禹/SHENG Xuan-yu

清华大学核能 and 新能源技术设计研究院, 北京 100084

Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

[摘要] 运用 CATIA 软件建立了与真实辅助泵完全一样的三维模型, 使用四面体单元对建立的模型划分有限元网格, 克服了采用壳体单元的近似, 使模型的计算结果更加可靠。计算了反应堆用辅助泵的抗震性能, 在地震载荷、温度场的作用下, 最大 Mises 等效应力为 15.8 MPa, 小于应力极限值 132.825 MPa, 辅助泵完全满足相关规范抗震强度的要求。

[关键词] 泵; 核反应堆; 抗震; 三维模型

[中图分类号] TL362

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)07-0051-03

Abstract: A 3-dimension pump model which has the same size as the real pump is built in CATIA software. Tetrahedron element is used for the finite element method. The method overcomes the approximation of using shell element and thus makes the result more reliable. The strength of auxiliary reactor pump is calculated under seismic load and temperature field. The maxim Von Mises stress is 15.8 MPa, which is smaller than strength 132.825 MPa. The auxiliary pump is safe and fulfills the requirement of standard document.

Key Words: pump; nuclear reactor; aseismic; 3-dimension model

CLC Number: TL362

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)07-0051-03

1 引言

在泵的强度和抗震计算中, 一般都是采用壳体单元, 按统一的厚度进行简化计算。但实际上, 泵体各部分的厚度不是均匀的, 入水口和出水口处的厚度也有变化, 因此按统一厚度的壳单元对泵进行计算, 是一种近似。同时, 由于一般的计算和设计软件难以处理泵的渐开线形状, 因此, 对泵的建模, 也一般采用一个圆型轮廓的近似。这

两个近似, 使建立的泵模型和实际泵体有一定差别。本文使用 CATIA 软件按照泵的实际设计尺寸对建立的真实模型进行计算。

核级泵/电机机组是回路系统的主要设备之一, 其功用是在反应堆正常运行工况下用来驱动回路介质在回路中循环。反应堆满功率运行时, 2 台泵/电机机组同时并行运行; 反应堆降功率到 10 MW 以下运行

时, 只运行 1 台。本文按照有关规范的要求, 为验证泵的安全性, 对辅助泵进行抗震计算。

辅助泵的要求和一些参数如下: ① 位于地下室 -7.5 m 层面; ② 水泵安全等级为 3 级, 电动机安全等级为 1E 级; ③ 泵/电机机组的抗震类别为 I 类。因此, 必须对主循环泵进行抗震分析。核级泵泵体包括轴承部件和电动机通过螺栓固定于机座上。

收稿日期: 2006-03-07

作者简介: 盛选禹, 男, 清华大学核能与新能源技术研究院反应堆结构室, 副教授, 主要研究方向为反应堆结构设计和力学分析、反应堆相关材料的摩擦学; E-mail: xuanyu@tsinghua.edu.cn

首届“城市、工业、交通和矿区土壤”国际学术会议[J]. 土壤, 2001(3): 111-112.

[16] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤的磁学特征[J]. 科技导报, 2005, 23(11): 14-19.

[17] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中铁的氧化物、有机质以及颗粒组成与磁学参数的关系[J]. 科技导报, 2006, 24(2): 30-33.

[18] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中金属元素的磁学响应[J]. 科技导报, 2006, 24(5): 39-43.

[19] HAY K L, DEARING J A, BABAN S M J, et al. A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from Magnetic susceptibility measurements[J]. Physics and Chemistry of Earth, 1997, 22 (1, 2): 207-210.

[20] 江苏省环境保护厅. 江苏省环境状况公报[N]. 新华日报, 2004.

[21] 王学松. 徐州城市表层土壤重金属富集迁移特征与磁学响应[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2005.

[22] GEORGEAUD V M, ROCHETTE P, AMBROSI J P, et al. Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchment: the etang de berre (south of France)[J]. Physics and Chemistry of Earth, 1997, 22 (1-2): 211-214.

[23] KAMINSKI M D, LANDSBERGER S. Heavy metals in urban soils of East St. Louis, IL part 2: leaching characteristics and modeling[J]. Journal of Air & Waste Management Association, 2000, 50: 1680-

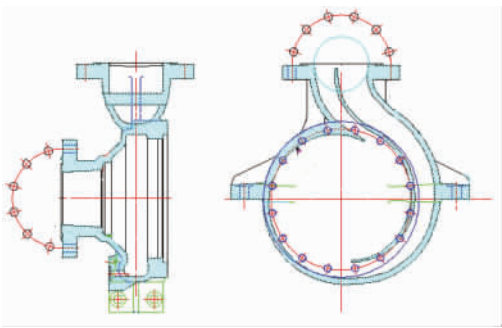
1687.

[24] FLANDERS P J. Collection, measurement and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment[J]. Journal of Applied Physics, 1994, 75: 5931-5936.

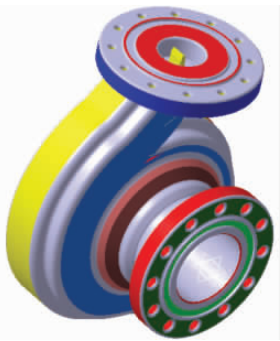
[25] MATZKA J, MAHER B A. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particles[J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 4565-4569.

[26] KAPICKA A, JORDANOVA N, PETROVSKY E, et al. Magnetic study of weakly contaminated forest soils[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2003, 148:31-44.

(责任编辑 王 芷)



(a)辅助泵平面图纸



(b)使用 CATIA 建立的辅助泵三维模型

图 1 辅助泵平面及三维实体模型

(a) Two-dimension design drawing of the auxiliary pump

(b) Three-dimension model of auxiliary pump built in CATIA software

Fig. 1 Two-dimension design drawing and three-dimension model of auxiliary pump

2 三维模型的建立

为保证计算的可靠性,采用 CATIA 软件,根据制造厂商提供的实际泵尺寸,建立了和实际泵完全一样的三维模型。对于泵主体的渐开线轮廓,建立模型的方法是:先建立一个轮廓的方向线,然后再画出一个截面的轮廓,运用 CATIA 扫描成型的功能,得到泵主体模型。其他泵的进口和出口部分,可以采用简单的旋转成型得到。CATIA 扫描和旋转成型的方法参见文献^[1]。最后建立的辅助泵三维模型如图 1 所示。

3 有限元分析

3.1 网格划分

计算采用四面体单元,单元的参数是 CATIA 软件根据模型大小和尺寸确定的默认参数,没有进行修改。泵单元划分完毕后,如图 2 所示。

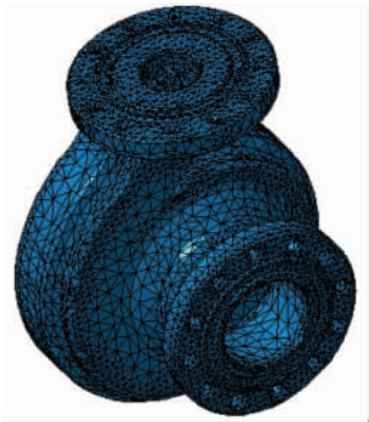


图 2 辅助泵的三维有限元网格
Fig. 2 Auxiliary pump finite element net in CATIA software

3.2 载荷条件

抗震分析的目的在于证明核级泵在运行基准地震和安全停堆地震期间或之后,能保证结构完整性,包括承压边界完整性以及泵的可运行性。具体要求如下:①承压部件,即泵壳及轴承座部件的完整性;②泵支撑件和连接螺栓以及地脚螺栓满足强度要求;③在地震和最大接管载荷共同作用下,保持可运行性,在转动件与静止件之间的相对变形应小于它们之间的间隙,不影响运转。

根据辅助泵安装厂房-7.5 m 标高的 SSE 地震楼层谱,使用时应再乘以 1.5 的系数。其反应谱最大加速度, X 方向为 0.8g; Y 方向为 0.8g; Z 方向为 0.5g。在计算中实际上是 3 个方向都按 1.425g 给定。这个值比 2% 阻尼的 1.5 倍还大。这样可使计算简单化,又偏于安全。

泵的主要设计参数由设备制造厂提供,设计压力:1.0 MPa;回路冷却剂的设计温度为 55℃;泵房环境温度为 25℃。

辅助泵并没有固定在一个基础底座上,只是出水口和入水口处通过接管限制泵的运动,给出的边界条件是限制在孔中心线方向的运动。

泵的材料为 CF-8,抗拉强度 S_u 为 483 MPa,屈服点 S_y 为 207 MPa,弹性模量 E 为 210 GPa,许用应力 120.75 MPa。

事故工况时的载荷为:自重+设计压

表 1 准则与许用应力极限				
Tbl. 1 Standards and strength limits				
载荷	工况	准则	公式	ASME-III
工况	号	级别		ND3400
N3	9	B 级	$\sigma_n \leq 1.1S$	132.825 MPa
		B 级	$(\sigma_m \text{ 或 } \sigma_t) + \sigma_n \leq 1.65S$	199.237 5 MPa

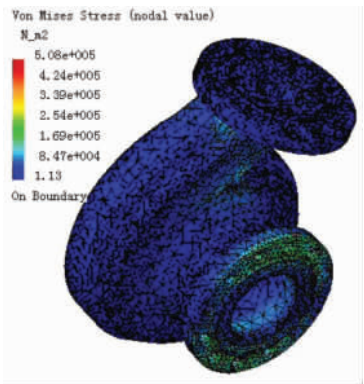


图 3 温度场作用下 Mises 等效应力图

Fig. 3 Von Mises stress under temperature field

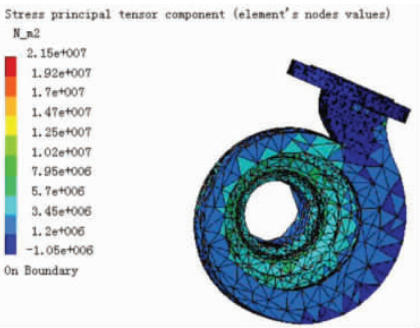


图 4 应力主张量的分量

Fig. 4 Stress principal tensor component

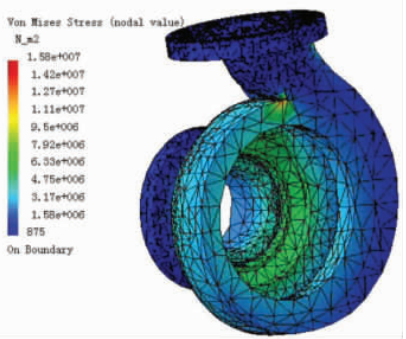


图 5 Mises 等效应力

Fig. 5 Von Mises stress

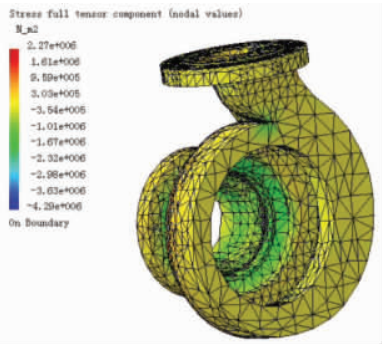


图 6 应力全张量的分量

Fig. 6 Stress full tensor component

盛选禹：反应堆用辅助泵的实体建模和抗震计算

力+热胀+N3+SSE。由于事故工况下的应力也很小,因此,只进行事故工况下的抗震计算。计算使用的规范和对材料的要求如表1所示。

3.3 计算结果

首先,使用CATIA对辅助泵进行了模态分析,分析得到基频为126.65 Hz,已经超过100 Hz,故知设备为刚性结构,对地震反应可采用准静力法进行分析。

在只施加温度场的情况下,对辅助泵的温度应力进行了计算,计算结果如图3所示。其最大Mises等效应力为 5.08×10^5 Pa。由温度场引起的应力水平很低,在下面的计算中,没有考虑温度场的影响,只考虑在3个方向所施加的载荷。

在地震载荷的作用下,计算结果见图4~6。应力主张量的分量最大值为 2.15×10^7 Pa;Mises等效应力最大值为 1.58×10^7 Pa;应力全张量的分量最大值为 2.27×10^6 Pa。

从这些数据可以看出,最大的应力在21 Mpa,比应力极限值132.825 MPa小得多。因此,满足强度要求。

4 结论

- 1) 设备整体频率超过33 Hz,可用等效静力的方法计算抗震。
- 2) 计算表明泵体所有节点应力均远小于ASME规范的要求。
- 3) 设计温度下泵壳热应力很小。
- 4) 计算中采用了放大加速度值的做法

提高地震力,计算结果表明应力均能满足B级准则,证明主循环泵不仅能满足地震条件下压力边界的完整性,而且能满足可运行性的要求。

参考文献 (References)

- [1] 盛选禹. CATIA 三维模型入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] ASME-II 材料技术条件(SI版). 中国机械工程学会压力容器学会, 1983.
- [3] 中国石油设备工业协会. ASME-III, ND 分卷[S]. 1989.
- [4] 中国石油设备工业协会. ASME-III, NC 分卷[S]. 1989.

(责任编辑 黄永明)

· 图片科技新闻 ·

“2006 国际弦论会议”在京召开

6月19日~24日,2006国际弦论会议在北京召开,包括国际弦论界重量级人物格罗斯(David Gross)、斯特明格(Andrew Strominger)、威顿(Edward Witten)和霍金(Stephen Hawking)在内的众多理论物理学家云集会场,对弦论进行学术研讨并发表公众演讲。

会议开幕式19日上午在人民大会堂举行,中国科协主席韩启德、副主席白春礼,以及物理学家格罗斯和斯特明格、数学家丘成桐出席了会议。此后几天,参会的物理学家在友谊宾馆、晨兴数学中心等处进行了学术交流。

弦论起源于20世纪60年代的粒子物理学,它对物质组成所提出的理论完全不同于传统上的观点。传统上,科学家认为物质是由基本粒子组成的,而弦论认为基本粒子只不过是弦的振动激发态,弦才是组成物质的最基本的单元。

自20世纪80年代末始,国际弦论界的专家每年都要召开一次会议,探讨该领域的理论进展,有许多弦论的重要发展都是在这样的会议上提出的。弦论不像其他多数物理理论那样起源于现象,而是起源于数学公式,目前尚缺乏实验的验证。物理学家寄望于欧洲核子中心的大型对撞

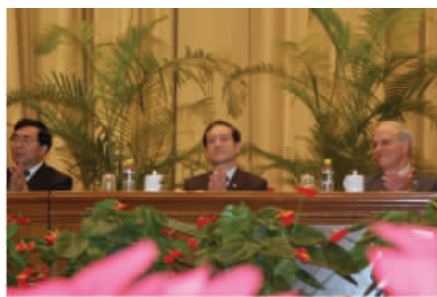
机能够证实对于弦论具有关键意义的超对称现象,由此获得弦论的首次实验验证。

虽然目前弦论尚不是一种革命性的理论,但研究人员仍认为,它有望解决一些长期困扰物理学家的难题,比如黑洞的本质、宇宙的起源等。格罗斯表示,中国目前在弦论研究上与国际弦论界存在较大的差距,希望看到更多的中国学生将来成为国际弦论界的主力。

(本刊记者 黄永明 摄影 张良)



2006 国际弦论会议开幕式在人民大会堂举行



中国科协主席韩启德(中)、副主席白春礼(左)和物理学家格罗斯(右)出席开幕式



哈佛大学教授斯特明格做公众演讲



霍金在新闻发布会上答记者问(摄影 韩磊)



数学家丘成桐与学生一起聆听演讲