

循环式多级超声波反应釜储液槽有限元分析

张云电, 戴 胜

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对普通超声波反应釜对某些反应效果不好的问题,设计了循环式多级超声波反应釜储液槽的结构,在考虑了储液槽安全性和系统稳定性等问题的基础上,首先对储液槽温度场和受力作了理论分析,再利用有限元分析软件 ANSYS 对其温度场分布和槽壁受力作了模拟。研究表明,储液槽内温度在同一水平面上相等,随着高度增加,温度越来越低,其顶部温度最低,材料热变形最小,符合设计要求;同时软件分析结果表明,对于给定的压力远远小于槽壁的强度,其影响可以忽略不计,符合循环式多级超声波反应釜储液槽要求。

关键词:储液槽;温度场;ANSYS

中图分类号: TH122;TH6;S477⁺6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)01-0001-03

Finite element analysis of reservoir for circulatory multi-step ultrasonic reactor

ZHANG Yun-dian, DAI Sheng

(College of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem of the bad effect of ultrasowic reactor, the structure of circulatory multi-step ultrasonic reactor reservoir was designed. Considering at the security of reservoir and stability consideration of the system, analytics of the masterpiece and the temperature field with theoretical was done, then the temperature field and reservoir simulation was done by the finite element analysis software ANSYS. The results indicate that the temperature within the reservoir in the same horizontal plane is equal, as altitude increases, the temperature gets lower and lower, the top has the smaller thermal deformation, meets the design requirements. The software analysis shows that, for a given pressure is far less than the strength of the tank wall, its impact is negligible, in line with circulatory multi-step ultrasonic reactor reservoir.

Key words: reservoir; temperature field; ANSYS

0 引言

化工生产在我国的国民经济建设中占有非常重要的地位^[1],反应釜是化工领域不可或缺的设备之一,被广泛应用于有机合成、电化学、光化学、分析化学、无机化学、高分子材料、环境保护等领域。对于难反应物质,需要开发设计新型的反应釜。随着超声化学的发展和应用,超声波反应釜越来越受到广大研究人员的重视^[2]。

超声波反应釜一般是在原反应釜基础之上进行改造,将超声与反应釜相结合。然而这种反应釜对某些

反应效果不好,因此研究者在此基础上提出了循环式多级超声波反应釜的概念,并设计制造了这种装置。

1 储液槽

循环式多级超声波反应釜的三级反应器与储液槽是分离的,如图 1 所示。

储液槽并不是物质反应的场所,它只提供反应所需要的压力和温度,储液槽的设计需要满足一定的温度和抗压能力,因此对储液槽内部温度场和抗压能力作有限元分析是必不可少的,这是保证设备运行安全的基础性工作。

收稿日期:2011-07-08

作者简介:张云电(1956-),男,安徽淮南人,教授,博士生导师,主要从事精密制造与特种加工、光机电一体化、智能超声技术及产品等方面的研究. E-mail:zyydd@hdu.edu.cn

装置中的储液槽部分如图 2 所示。



图 1 循环式多级超声波反应釜



图 2 储液槽

2 储液槽温度场有限元分析

根据不同反应物质的反应条件,储液槽内的温度都需要控制在一定范围内,循环式多级超声波反应釜储液槽中的温度是由安装在底部的电加热器提供,通过温度传感器与温度控制仪连接,可以对反应釜储液槽中的温度进行自动调节。

对储液槽内壁进行温度场的分析可以得知槽内的最高温度及其最高温度点所在位置;通过对槽壁进行受力分析可以确定壁厚是否符合要求,可为储液槽的设计和检验提供科学依据^[3]。

2.1 储液槽温度场泛函

为进行循环式多级超声波反应釜储液槽温度场的有限元分析,首先必须要对被分析体进行离散化处理^[4]。首先,将被解区域分成三角形单元,三角形 3 个结点分别为 i 、 j 、 m ,对应温度分别为 T_i 、 T_j 、 T_m ,只对 3 个结点的温度进行计算,然后进行整体求解。

三角形单元如图 3 所示。

设在单元 e 中任意点的温度 T 是坐标 x 、 r 的线性函数(其中: α_1 、 α_2 、 α_3 是待定系数):

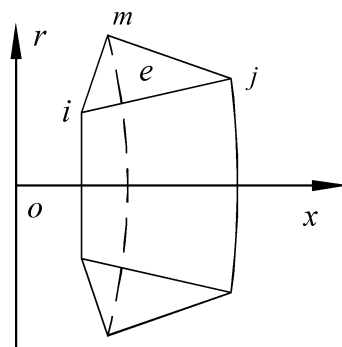


图 3 三角形单元

$$T = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 r \quad (1)$$

代入单元 e 各结点的坐标及温度 T_e ,则任意点的温度为^[5]:

$$T = NT^e \quad (2)$$

式(2)中: $N = [N_i N_j N_m]$ 。

且:

$$N_i = \frac{1}{2\Delta}(a_i + b_i x + c_i r) \quad (3)$$

其中:

$$\Delta = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i & r_i \\ 1 & x_j & r_j \\ 1 & x_m & r_m \end{vmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{cases} a_i = x_j r_m - x_m r_j \\ b_i = r_j - r_m \\ c_i = x_m - x_j \end{cases} \quad (5)$$

$$r = (1 - g)r_j + gr_m \quad (6)$$

2.2 边值条件

求解温度场必须知道热传导方程,对于各项同性材料,其热传导方程为^[6]:

$$\rho c \frac{\partial \phi}{\partial t} - k \nabla^2 \phi - \rho Q = 0 \quad (7)$$

式中: ρ —材料密度; c —比热容; Q —热源密度; ∇^2 —微分算子, $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$ 。

求解热传导方程必须已知物体在初始的温度分布(初始条件),同时还必须知道物体表面与周围介质之间进行热交换的规律(边界条件),以上两个条件合称为边值条件^[7]。

对于储液槽,初始条件的表示形式为:

$$(\phi)_{t=0} = \phi(x, y, z) \quad (8)$$

边界条件的表示形式如下:

$$\phi = \bar{\phi}(\Gamma, t) \quad (\text{在 } \Gamma_1 \text{ 边界上}) \quad (9)$$

2.3 温度场分析

利用有限元分析软件 ANSYS 对储液槽进行温度场分析^[8-10], 储液槽的半径为 300 mm, 长度为 400 mm, 壁厚 2 mm。

储液槽的简易三维模型如图 4 所示。

因为储液槽是轴对称图形, 为了简化计算, 取其 1/8 进行分析。

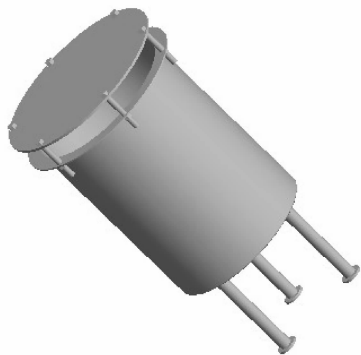


图 4 储液槽简易三维模型

储液槽材料为不锈钢, 其性能参数如表 1 所示。

表 1 储液槽参数

导热系数	弹性模量	热膨胀系数
25.96	1.93×10^{15}	1.62×10^{-5}
泊松比	槽内最大压力	外界空气温度
0.3	1×10^6	23

根据表 1 中的参数和设计要求, 本研究利用 ANSYS 分析了储液槽轴向温度分布情况, 如图 5 所示。

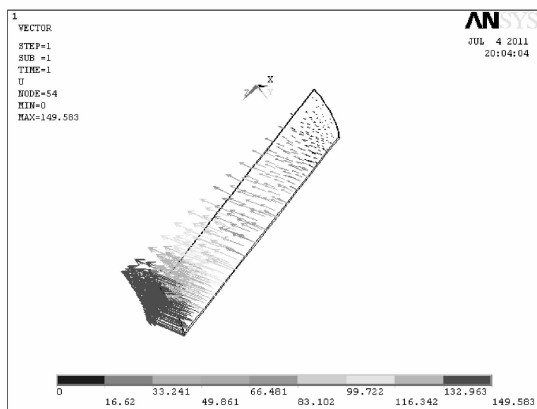


图 5 储液槽轴向温度矢量图

根据分析结果可知, 储液槽沿轴向方向(由底部向上)温度逐渐降低, 靠近底部加热器处材料膨胀最大。

3 储液槽应力分析

3.1 应力分析基础

对储液槽进行应力分析确定槽壁是否能承受规定的压强。设其单元边界内的材料可以承受初始应变 ε_0 , 则应力由真实应变与初应变之差引起, 对于不锈钢来说, 其应力与应变之间是线性关系^[11]:

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (10)$$

对于平面应力情况, σ 可由下式得到:

$$\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

根据弹性力学理论, 弹性矩阵 D 可由下式得到:

$$D = \begin{cases} \varepsilon_x - (\varepsilon)_0 = \frac{1}{E}\sigma_x - \frac{\mu}{E}\sigma_y \\ \varepsilon_y - (\varepsilon)_0 = -\frac{\mu}{E}\sigma_x + \frac{1}{E}\sigma_y \\ \gamma_{xy} - (\gamma_{xy})_0 = \frac{2(1+\mu)}{E}\tau_{xy} \end{cases} \quad (12)$$

由上式可得:

$$D = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{bmatrix} \quad (13)$$

3.2 应力分析

根据表 1 中材料的参数, 本研究对储液槽 1/8 模型进行受力分析。槽内设计压强为 1 MPa, 转化到储液槽内表面压力为 $F = 3\,768\text{ N}$, 取其 1/8, 为 $F_{1/8} = 471\text{ N}$ 。

储液槽 1/8 模型网格划分图如图 6 所示。合位移等值线图如图 7 所示。

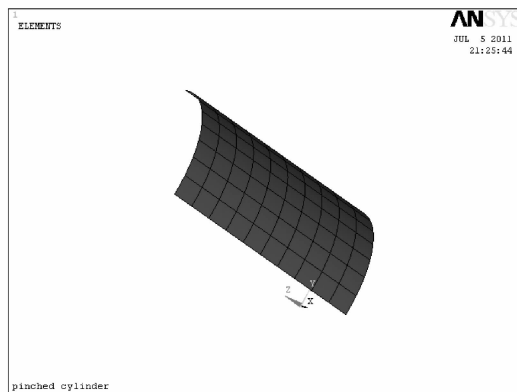


图 6 1/8 模型网格划分

(下转第 13 页)

- Electronics and Applications, 2007 European Conference on, 2007:1-8.
- [24] 周友行,邓胜达. 基于压缩空气储能的小规模风力发电新技术[J]. 装备制造技术, 2008(1):103-104.
- [25] 邓隐北. 风力发电中的储能与超级电容器[J]. 上海电力, 2007,20(6):609-612.
- [26] 崔林,文劲宇,程世杰. 超导储能系统抑制风力发电功率波动的研究[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(1):24-30.
- [27] 吴俊玲,吴畏,周双喜. 超导储能改善并网风电场稳定性的研究[J]. 电工电能新技术, 2004,23(3):59-63.
- [28] 陈星莺,单渊达. 超导储能单元在并网型风力发电系统的应用[J]. 中国电机工程学报, 2001,21(12):63-66.
- [29] 张步涵,曾杰,毛承雄. 电池储能系统在改善并网风电场电能质量和稳定性中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(15):54-58.
- [30] 崔艳华,孟凡明. 钒电池储能系统的发展现状及其应用前景[J]. 电源技术, 2005, 29(11):776-780.
- [31] 桂长清. 风能和太阳能发电系统中的储能电池[J]. 电池工业, 2008,13(1):50-54.
- [32] LOGENTHIRAN T, SRINIVASAN D, WONG D. Multi-agent Coordination for DER in Microgrid [C]//IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, 2008. Singapore:[s. n.], 2008:77-82.
- [33] LAAKSONEN H, KAUHANIEMI K. Voltage and Current THD in Microgrid with Different DG Unit and Load Configurations[C]//IET-CIRED Seminar on Smart Grids for Distribution New York:[s. n.], 2008:1-4.
- [34] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007,31(19):100-107.
- [35] 杨艳天,张有兵,翁国庆. 微网并网控制策略的研究[J]. 机电工程, 2010,27(2):14-16.
- [36] 王成山,肖朝霞,王守相. 微网综合控制与分析[J]. 电力系统自动化, 2008,32(7):98-103.
- [37] 郑漳华,艾芊. 微电网研究现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2008,32(16):27-31.
- [38] 张明锋,邓凯,陈波,等. 中国风电产业现状与发展[J]. 机电工程, 2010,27(1):1-3.

[编辑:罗向阳]

(上接第3页)

由图7可以看出,储液槽沿轴向方向受力基本没有变化;而沿着槽壁方向,力的大小呈梯度变化。

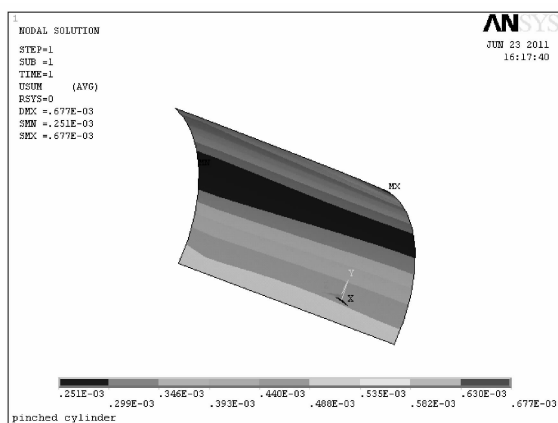


图7 合位移等值线图

4 结束语

本研究讨论了循环式多级超声波反应釜储液槽的结构,并从理论上分别对储液槽内温度场的分布以及储液槽壁应力分布进行了详细的分析,利用有限元分析软件对温度场和应力作了分析,结果都符合设计要求。

通过软件分析,可以清楚地知道储液槽温度最高点和受力最大处,这些地方相对于其他部位容易损坏一些,但本研究中的理论压强较小,故设计的储液槽具

有较高安全性。

参考文献(References):

- [1] 周晓燕. 反应釜智能控制器研究与开发[D]. 南京:南京理工大学机械工程学院, 2005.
- [2] 张涛,常琳,吴霄,等. 超声化学的发展与应用[J]. 技术与创新管理, 2008,29(5):523-525.
- [3] 王爱玲,祝锡晶,吴秀玲. 功率超声振动加工技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.
- [4] 周昌玉,贺小华. 有限元分析的基本方法及工程应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [5] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用[M]. 3版. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [6] 张洪信,赵清海. ANSYS有限元分析完全自学手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [7] 曾攀. 有限元分析及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [8] 李瑞. 基于ANSYS的金刚石合成腔内的温度场分析[J]. 吉林大学学报:工学版, 2008,38(3):535-538.
- [9] 陈碧莹,肖曙江. 木工机械用高速电主轴散热结构设计及温度场分析[J]. 机电工程技术, 2010,39(5):28-30, 99.
- [10] 王伟,刘启跃,王文健. 基于ANSYS的轻轨摩擦热效应分析[J]. 机械, 2010,37(1):12-14.
- [11] 王奇芳. 小型超声乳化器研制[D]. 杭州:杭州电子科技大学机电工程学院, 2007.

[编辑:罗向阳]