

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.06.004

基于 ANSYS 的中药浸膏微波真空干燥罐体的结构优化

秦国帅¹, 苏建勇², 张士伟², 李奎², 苏许昌²

(1. 黄河科技学院 机械工程学院, 河南 郑州 450063;
2. 河南勃达微波设备有限责任公司, 河南 郑州 450001)

摘要:针对中药浸膏微波真空干燥设备工作时出现的封板反复变形及旋转轴与封板连接处气体泄漏的问题,文章基于 ANSYS 的手段和理论分析,设计了旋转轴支撑方式的封板以及旋转密封与平面密封相结合的密封方式,优化了中药浸膏微波真空干燥罐体的结构。改进后的设备结构受力均匀,最大应力发生在封板近中央处,封板的变形及设备漏气的问题得到了有效的控制。优化设计提高了设备的安全性及可靠性。

关键词:微波真空干燥;中药浸膏;真空罐体;应力应变分析;ANSYS 软件;结构优化

中图分类号:TQ460.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)06-0018-04

Analysis of Chinese Medical Concrete Microwave Drying Equipment Based on ANSYS Optimization Design Research

QIN Guoshuai¹, SU Jianyong², ZHANG Shiwei², LI Kui², SU Xuchang²

(1. Department of Mechanical Engineering, Huanghe S & T College, Zhengzhou 450063, China;
2. Henan Boda Microwave Equipment Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract:In order to solve the problem of sealing plate repeated deformation and the gas leak at rotating plate for traditional medicine extract microwave vacuum dry equipment, the way of support of rotary shaft seal plate and the combination of the seal rotary with that sealing were designed based on ANSYS means and theoretical analysis, optimal structure of the equipment was obtained. The improved device structures can ensure stability and power equality, the maximum stress occurs near the center of the seal plate, seal plate deformation and the leak problem are effectively controlled, the safety and reliability of the equipment are improved.

Key words:microwave vacuum drying; Chinese medical concrete; vacuum tank; stress-strain analysis; ANSYS; optimal structure designing

微波真空干燥技术具有对干燥物料的适应性强,干燥效率高,干燥温度低的特点,并且具有灭菌功能^[1]。微波真空干燥可保证湿物料在一定的真空度及设定的低温下干燥,是一种有效的新型干燥技术^[2],非常适合于中成药生产这个对干燥要求高的特殊行业。

目前,国内微波干燥剂技术也已跨入工业化生产阶段^[3],但与国外技术设备相比,设备结构庞大,使用

不方便,真空度也达不到理想的要求,产品质量受到了严重影响,设备的技术状况急需改善。本文通过数值计算的手段,经过分析,提出了较优的真空罐体结构,改善了真空罐体的真空度、降低了设备工作时的应力集中。

1 中药浸膏用微波真空罐体的优化设计

微波真空干燥室属于外压容器,设计应遵循 GB150-2011《钢制压力容器》的设计要求^[4]。其最高

收稿日期:2015-05-28;修回日期:2015-09-06

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(15A430032);河南省工业微波应用技术工程技术研究中心资助项目;郑州市优秀教学团队“机械制造”资助项目(ZZLG201416)

作者简介:秦国帅(1986),男,河南开封人,硕士,工程师,主要研究方向为机械结构设计及有限元。E-mail:qinshuai0225@163.com

工作压力为 0.095 MPa,设计压力取 0.1 MPa,公称直径为 1 920 mm,设计温度为 100 ℃。外压圆筒无加强

圈,应进行压力试验。图 1 为中药浸膏微波真空干燥试验设备三视图。

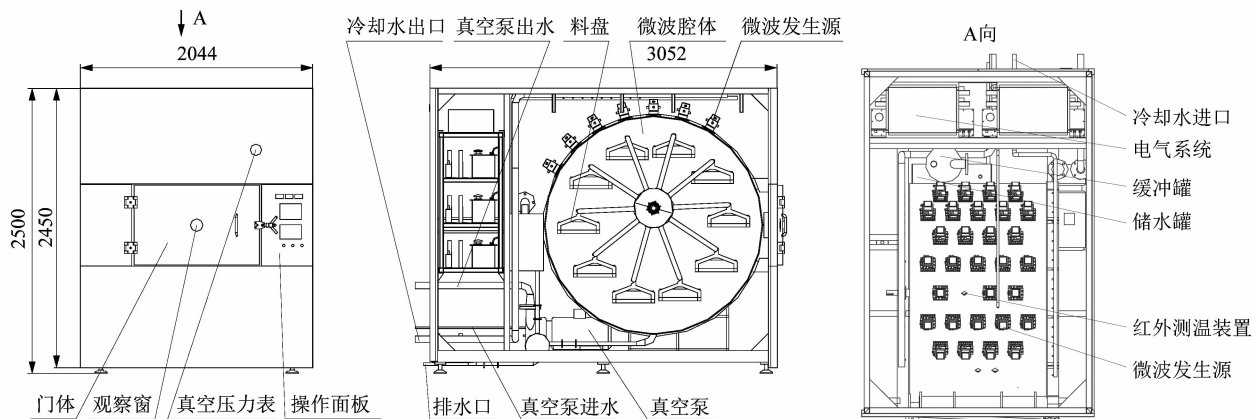


图 1 中药浸膏微波真空干燥试验设备三视图

Figure 1 Three views of Chinese medicine extract microwave vacuum drying equipment

1.1 理论计算

真空罐体的筒体、门体、两侧封板及加强筋等材料均选用不锈钢 0Cr18Ni9。材料的属性如表 1 所示。其中 σ_b 表示强度极限, σ_s 表示屈服极限, $[\sigma]$ 表示许用应力, E 表示弹性模量, μ 表示泊松比, ρ 表示密度。

表 1 中药浸膏微波干燥设备罐体材料属性表

Table 1 Chinese medicine extract microwave vacuum drying equipment material properties

性能	σ_b /MPa	σ_s /MPa	$[\sigma]$ /MPa	E /GPa	μ	ρ /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
数值	520	205	137	190	0.29	8.0×10^3

1.1.1 筒体壁厚的设计

筒体的设计压力应小于许用外压力 $[p]$, 许用外压力 $[p]$ 按下式计算^[5]:

$$[p] = \frac{B}{D_0/\delta_t}, \quad (1)$$

$$p_s < [p]. \quad (2)$$

式中: p_s 为设计压力/MPa; $[p]$ 为许用外压力/MPa; B 为系数; D_0 为外径/mm; δ_t 为计算壁厚/mm。

圆筒的计算长度为 1 200 mm, 计算壁厚为 8 mm, 材料为 0Cr18Ni9。查相关压力容器设计手册可得各参数, 计算出许用外压力 $[p] = 1.3$ MPa。设计压力 p_s 为 0.1 MPa, 因此 $[p] > p_s$, 满足设计条件。故筒体的名义壁厚为 $\delta_1 = 8$ mm。

1.1.2 液压试验计算

试验介质用水, 试验压力按下式计算:

$$p_t = 1.25 p_s \frac{[\sigma]}{[\sigma]_t}. \quad (3)$$

式中: p_t 为实验压力/MPa; $[\sigma]$ 为试验温度下材料的许用应力/MPa; $[\sigma]_t$ 为设计温度下材料的许用应力/

MPa。计算可得, $p_t = 1.5$ MPa。在试验压力下, 圆筒的应力按下式计算:

$$\sigma_t = \frac{p_t (D_i + \delta_e)}{2\delta_e}, \quad (4)$$

$$\sigma_t < 0.9\sigma_s. \quad (5)$$

式中: σ_t 为试验压力下的计算应力/MPa; σ_s 为试验温度下材料的屈服应力/MPa; D_i 为圆筒内径/mm; δ_e 为圆筒的有效厚度/mm; 查手册得 $\delta_s = 137$ MPa。计算可得, $\sigma_t = 115$ MPa, 故满足试验应力校核。

1.1.3 设计模型

筒体的名义壁厚 δ_1 为 8 mm, 外压校核满足要求。按照压力容器设计规范要求进行了封头壁厚计算及强度校核。封头内径为 1 920 mm, 内壁带筋高度为 100 mm, 名义壁厚为 20 mm; 轴承座及筋板材料为 0Cr18Ni9, 并进行了压力强度校核。整个筒体共开了 30 个方孔, 尺寸为 126 mm × 127 mm, 作为微波传输波导接管, 进行了开孔补强的压强度力校核。

1.2 有限元分析

根据设计计算得出的壁厚尺寸, 在 SolidWorks 中完成真空容器的三维几何模型, 见图 2。

根据真空容器的结构特点、载荷类型以及分析需要, 将 SolidWorks 三维模型转化为有限元网格模型, 选择单元类型为 Solid186^[6]。Solid186 单元可以较好地描述真空容器的受力和变形情况^[7]。分网后的有限元模型如图 3 所示, 共生成 317 653 个节点和 169 629 个单元。对罐体四周面体施加沿法向向内的均布压力载荷, 载荷 $p = 1.013 \times 10^5$ Pa, 模拟罐体内部在真空状态下的受力状况^[8]。

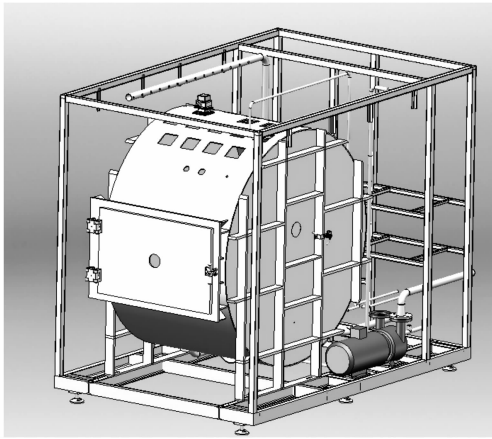


图2 中药浸膏微波干燥真空罐体的三维模型
Figure 2 Three-dimensional model of vacuum microwave drying tank

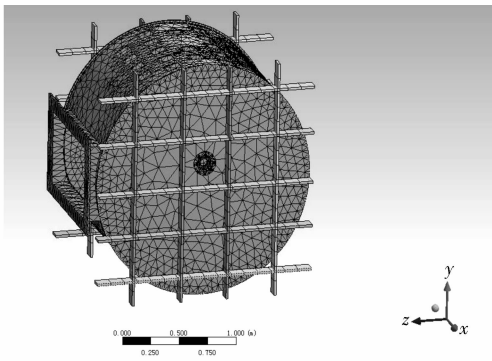


图3 中药浸膏微波干燥真空罐体的有限元模型
Figure 3 Finite element model of vacuum microwave drying tank

2 结果分析及结构改进

2.1 应力应变分析

有限元计算得到的真空罐体形变如图4所示。从图中可以看到,变形较大的区域出现在真空罐体两侧封板中部区域,单侧最大总位移为2.1 mm。罐体两侧封板在安装旋转轴及轴承处的变形显著,工作中会出现抽真空时封板向内凹,去真空后封板又回弹等问题,导致旋转轴与封板连接处气体泄漏,使得设备在工作中产生严重的噪音,影响设备的使用^[9]。其次变形较大区域为两侧封板与真空罐体焊接连接处,其最大变形为1.0 mm,该处变形不影响设备的使用,故可不用考虑,在后续设计中,可以通过提高焊透深度和焊接质量来改善。

由稀疏矩阵求解器进行求解^[10],得到中药浸膏微波干燥真空罐体的高应力区域出现在真空筒体与两侧封板交接的角焊缝,以及真空筒体两侧封板中央加强筋的附近区域,这些区域均出现一定程度的应力集中。

造成这些区域应力集中的主要是由于真空罐体的圆筒体与左右封板相连的角焊缝处变形不协调及受力方向不一致导致,还由于罐体两侧封板轴承座在与罐体焊接前分别加工,焊接后两轴承座孔同轴度较差,工作时轴与轴承座相互挤压导致。除上述区域外,其它区域的应力水平均较低。

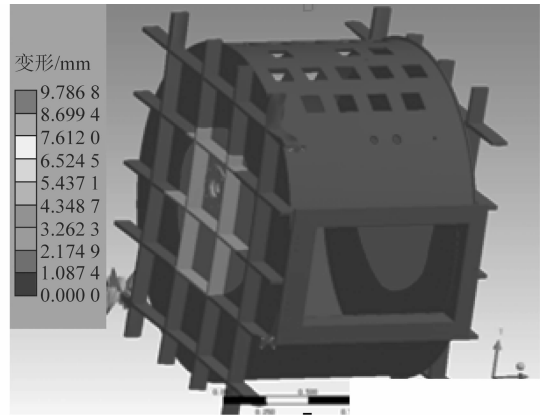


图4 中药浸膏微波干燥真空罐体变形云图
Figure 4 Deformation cloud of vacuum microwave drying tank

2.2 结构改进

封板轴承座改进前结构如图5(a)所示,结构不能保证两端轴承的同轴度,容易造成轴的卡死,从而引起封板轴承座周围应力集中,引起变形,使真空密封失效。针对以上不足,本文根据计算结果提出了具体的结构优化措施,改进后的具体结构如图5(b)所示,改进后罐体左右轴承座在焊接后上镗床一次加工出来,保证了罐体两侧封头轴承座的同心度,既能保证传动的稳定可靠,降低应力集中程度和形变量,还有利于真空密封,密封方式上,进一步防止了气体泄漏。改进后采用旋转密封与平面密封相结合的方式,保证了密封的气密性。

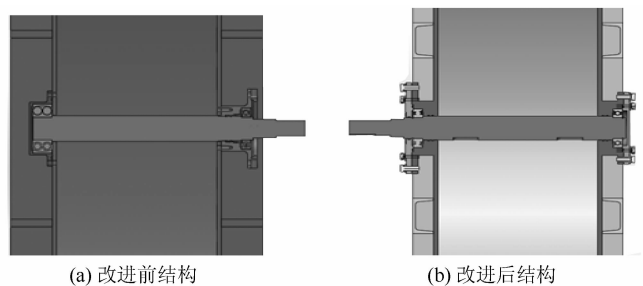
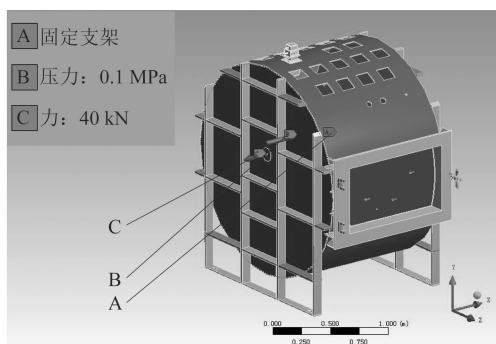


图5 改进前后结构

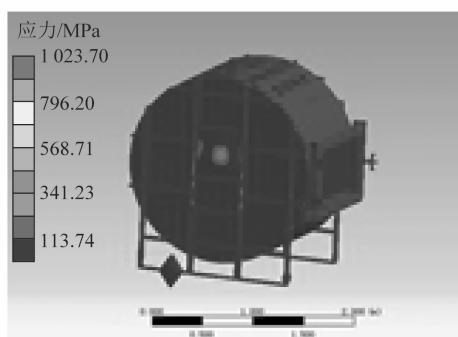
Figure 5 Structure of before and after improved

对于改进以后的结构,根据实际工况,取设备所受外部压力为0.1 MPa,内部旋转轴所受压力为40 kN,进行有限元计算,其结果如图6所示。可以看到改进

以后的结构受力均匀,最大应力发生在封板近中央处,根据应力应变关系,该区域的形变也得到有效的控制;依照根据计算结果,改进后设备满足设计和使用要求。



(a) 受力工况图



(b) 等效应力云图

图 6 改进后结构受力图

Figure 6 Improved structure stress view

3 结论

1) 容器的最大应力点发生在圆筒体与侧封板焊接处及侧封板中央加强筋处,根据改进后结构等效应

(上接第 17 页)

2) 效率。通过插入节点并调节控制点,添加边界 G^2 连续约束,该过程无需人机交互调整,提高了截面数据重构效率。

在以后的工作中,还需要进一步研究基于其他边界约束条件的重构,同时考虑更多特征间的截面重构。

参考文献:

- [1] MOHAGHEGH K, SADEGHI M, ABDULLAH A, et al. Improvement of reverse-engineered turbine blades using construction geometry [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 49(5/8): 675-687.
- [2] HAVEMANN S, EDELSBRUNNER J, WAGNER P, et al. Curvature-controlled curve editing using piecewise clothoid curves [J]. Computers & Graphics, 2013, 37(6): 764-773.
- [3] BENKO P, KOS G, VARADY T, et al. Constrained fitting in reverse engineering [J]. Computer-Aided Geometric Design, 2002, 19(3): 173-205.

力计算结果,该处的局部峰值应力为 123 MPa;真空罐体变形较大的区域出现在真空罐体两侧封板的中部区域,单侧最大总位移为 2.0 mm。

2) 改进后罐体左右轴承座焊接后在镗床上一次加工出来,保证了罐体两侧封头轴承座的同轴度,既能保证传动的稳定可靠,降低应力集中程度和形变量,还有利于真空密封;采用旋转密封与平面密封相结合的方式大大改善了密封封板设备的应力集中,降低了形变量,保证了密封的气密性,提高了真空罐体的真空度。

3) 改进以后的设备结构受力均匀,使最大应力仅发生在封板近中央处;应力值满足设备设计和使用要求,变形得到了有效地控制。

参考文献:

- [1] 张黎源.特种成膜设备真空容器设计及有限元分析[D].天津:天津大学,2007.
- [2] 达道安.真空设计手册[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [3] 刘俊.中药浸膏专用真空带式干燥机的研制[J].化工装备技术, 2005, 34(5): 131-136.
- [4] 徐成海.真空干燥技术[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [5] 张黎源.带夹套水冷矩形真空炉的有限元法分析设计[J].真空, 2005, 28(3): 78-82.
- [6] 沈莹. ASME 压力容器分析设计[M].上海:华东理工大学出版社,2014.
- [7] 沈峰,黄懿,陆建国.基于 ANSYS 的压力容器的应力分析与壁厚优化设计[J].化工装备技术,2012, 33(4): 22-26.
- [8] 董龙梅,杨涛,孙显.基于 ANSYS 对压力容器的应力分析与结构优化[J].机械设计与制造,2008(6): 99-102.
- [9] 董大勤,袁凤隐.压力容器设计手册[M].2版.北京:化学工业出版社,2014.
- [10] 博弈工作室. ANSYS 9.0 经典产品基础教程与实例详解[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [4] BENKO P, MARTIN R R, VARADY T. Algorithms for reverse engineering boundary representation models [J]. Computer-Aided Design, 2001, 33(11): 839-851.
- [5] KE Yinglin, ZHU Weidong, LIU Fengshan, et al. Constrained fitting for 2D profile-based reverse modeling [J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(2): 101-114.
- [6] 刘云峰.反求工程中切片数据处理及断面特征曲线全局优化技术[J].机械工程学报,2006, 42(3): 124-129.
- [7] PRATT V. Direct least-squares fitting of algebraic surfaces [J]. // ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1987; 21(4): 145-152.
- [8] 施法中.计算机辅助设计与非均匀有理 B 样条[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [9] 王国瑾,汪国昭,郑建民.计算机辅助几何设计[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [10] PIEGL L, TILLER W. The NURBS Book[M]. 2nd ed. New York: Springer, 1997.
- [11] 张冉,张旭,章海波.截面数据精确分段方法研究[J].轻工机械, 2014, 32(6): 70-73.