

基于 ANSYS 的压力容器开孔补强结构 可靠性分析与优化设计

吕 明

(蚌埠学院 机械与电子工程系,安徽 蚌埠 233030)

摘要:在压力容器上开孔,不仅削弱了材料的强度,而且会导致开孔部位局部应力集中,降低压力容器的承载能力,严重影响压力容器的安全性。国标中对压力容器开孔补强设计虽然有一系列规定,但对影响结构安全性诸因素的随机性考虑较少。采用 ANSYS 有限元软件可靠性分析及优化设计功能相结合的方法,对压力容器开孔补强结构进行可靠性分析并获得应力敏感因素,从而进行相应优化设计。结果表明这种设计方法切实可行。

关键词:ANSYS;开孔补强;可靠性分析;优化设计

中图分类号:TP391.77

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2012)02-0027-03

在压力容器上,由于结构设计或施工工艺上的要求,需要开孔安装大型接管,如为了方便地更换筒内零部件以及容器检修后的清理、除渣等工作要求,需要在容器筒体上开设手孔、人孔等。当容器开孔后,由于其筒体器壁结构连续性的破坏,在开孔边缘产生很高的局部应力,削弱了结构本体的强度。为降低开孔边缘的局部应力,须在开孔部位进行补强。开孔补强的主要方法是在补强有效范围内,通过增加材料的方法,来弥补开孔所除去的全部或部分金属重影响。在传统设计中,压力容器的设计与制造单位为弥补筒体开孔带来的缺陷,基本上都是采用经验公式与试验相结合的方法,先假设产品的各设计变量为确定常量,然后根据给定的安全系数条件进行设计。对开孔结构进行强度安全校核,在不超过结构强度极限的情况下尽可能地减少材料消耗,以减轻产品重量及节约制造成本。但是依据传统的经验设计方法,开孔补强结构的合理性与可靠性以及压力容器的安全性都无法得到较好地保证。应用 ANSYS 建模以及实验数据进行比较分析,对压力容器开孔结构的可靠性分析和优化设计的方法显得非常重要。

1 ANSYS 的可靠性分析及优化设计功能

在充分考虑影响压力容器产品安全性的各种随机因素的影响下,将全部或大部分随机因素的参数作为随机变量进行综合分析,以此建立压力容器开孔补强结构可靠性设计的统计模型^[1]。通过分析该统计模型中确定的输入参数和假设的不确定性随机因素对计算结果的影响程度,利用可靠性指标对模型计算结果进行条件判断,从而在不完全消除输入参数的不确定性的情况下,来提高结果分析的准确性和优化产品的设计,提高产品的安全性和可靠性,使最终设计结果更符合实际需求。

ANSYS 软件提供的概率分析功能能对模型中各输入参数的敏感度进行自动分析,从而确定出对补强结构可靠性起主要影响的关键性因素。从影响的关键因素出发,ANSYS 软件的优化设计功能可从补强结构的形状优化到设计参数的选择做进一步的优化设计,以提高结构的可靠性,并满足产品轻量化和安全性的目标^[2]。由此可见,利用 ANSYS 可靠性分析和优化设计功能,可使补强结构更加合理,从而弥补常规设计中存在的多方面的不足。

2 实例分析

已知内压筒形容器的设计压力 $p = (5 \pm 0.5)$ MPa, 设计温度 $T = 280\text{ }^{\circ}\text{C}$, 筒体长度 $L1 = 1\ 000$

mm, 筒体内径 $D = 12\ 004\text{ mm}$, 壁厚 $\delta = 25\text{ mm}$, 接管大小为 $\phi 280 \times 20$ 。材料 16 MnR, 其屈服强度为 325 MPa, 筒体厚度变差系数 0.04, 焊缝系数 0.85。补强区的结构形式和有关尺寸如图 1。

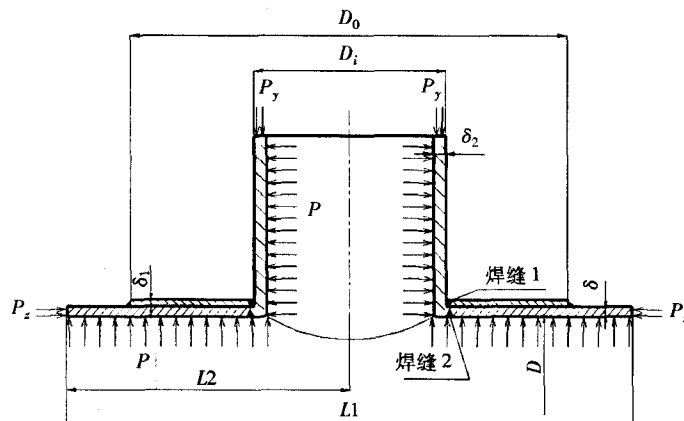


图 1 补强区结构示意图

Fig. 1 Sketch map on reinforcement structure

D - 筒体内径, mm; $L1$ - 筒体长度, mm; δ - 筒体壁厚, mm; $L2$ - 接管中心到筒体端长度, mm;
 Di - 补强圈内径, mm; Do - 补强圈外径, mm; δ_1 - 补强圈壁厚, mm; p - 内压值, MPa;
 δ_2 - 接管壁厚, mm

2.1 有限元模型

考虑筒体开孔区的对称性及开孔影响区应力集中的影响, 建立开孔影响区二维模型。在建立二维模型时, 取用实际结构的 1/4, 在对称面上添加相应约束条件。有限元模型采用 plane82 单元, 该单元可较好地解决曲线边界问题。根据薄壳理论载荷边界条件, 确定远离相贯区的接管横截面上的均布边界载荷 q_y 以及在远离相贯区的筒体横截面上的均布边界载荷 q_z [3], 然后进行求解。

2.2 可靠性分析

利用 ANSYS 有限元软件的可靠性分析功能, 选用蒙特卡罗法进行可靠性分析, 设应力 σ 与强度 s 均为正态分布的随机变量, 其均值分别为 $\bar{\sigma}$, $\bar{s}$; 标准差分别为 n_σ , n_s , 随机抽样次数选取为 4 000 次, 由第三强度理论确定的最大等效应力的抽样过程如图 2 所示。

图 2 中上下两条曲线分别表示在抽样过程中应力与强度的平均值曲线逐渐趋近的过程。从图中可以看出应力与强度的平均值在抽样次数内逐渐趋向收敛, 由蒙特卡罗法可靠性分析方法可知 [4], 本例所采用的随机抽样循环次数是足够的。同时可知, 最大应力值基本上是以设计条件下的最大应力为均值, 服从正态分布。

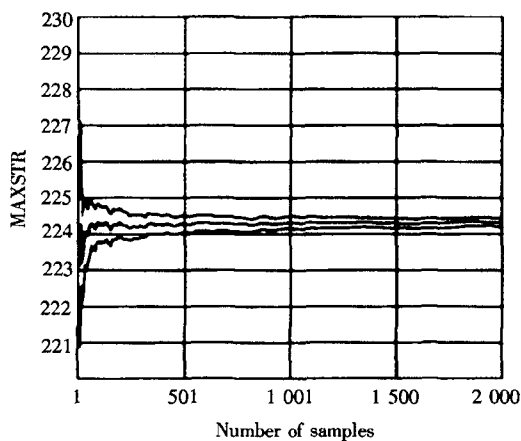


图 2 最大等效应力抽样过程

Fig. 2 Sampling process of maximum stress

查看 ANSYS 程序概率分析计算结果可知, 接管补强的可靠度为 68.72%。虽然开孔后的补强结构能满足强度条件要求, 但由于可靠度不高, 意味着产品的安全性未能得到较好地保证。作为压力容器的设计者, 特别是高压容器的设计, 我们的目标就是将危险性尽可能的降低, 因此有必要对补强结构的设计做进一步的修改, 以提高其可靠度。

通过 ANSYS 的敏感性分析发现,在给定输入变量及标准差的条件下,影响开孔补强区最大应力的因素的显著性依次为:压力载荷 p 、筒体厚度 δ 、筒体内径 D 、开孔直径 D_i 。补强区的最大应力随设计压力 p 、随筒体壁厚 δ 的增加而增加、随筒体内径 D 的增大而减小、随开孔直径 D_i 的增大而先减少后增大。在结构允许范围内,开孔位置 L_2 对补强区最大应力的影响不显著。

2.3 开孔补强结构优化设计

从 ANSYS 可靠性和灵敏性分析的结果可知,一方面开孔补强结构的可靠度偏低,不足以保证产品使用中的安全性需要,需对结构重新设计以提高其安全性;另一方面产品的设计压力,筒体壁厚,筒体内径和开孔直径对补强结构的最大应力影响均较为敏感。因此可以考虑从敏感性影响因素出发,对各因素进行优化设计,以获得较为合理的开孔补强结构。由于产品的设计压力和筒体内径由工作条件决定,在满足强度条件的情况下筒体厚度越小越好,可以节省材料、降低筒体卷制工艺难度、降低制造成本。因此要获得最优的补强结构设计,只能对开孔直径进行优化设计。将开孔直径 D_i 作为设计变量,按第三强度理论计算所得到的开孔部位最大等效应力作为目标函数,利用 ANSYS 的优化设计功能,计算使得目标函数最小时的 D_i 。

取不同开孔直径 D_i 时所对应的最大等效应力值如图 3 所示。由图可知,随着 D_i 的增加,最大应力呈现下降趋势,当 D_i 为 276.58 mm 时最大应力达到最小值,之后随 D_i 的增加又呈现上升趋势。

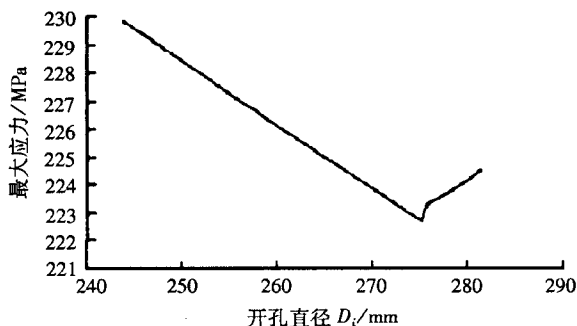


图3 最大应力随开孔直径的变化

Fig. 3 The maximum stress changes with the hole diameter

通过可靠性分析,当开孔直径 D_i 为 276.58 mm 其可靠度达到 100%, 应力均值为 228.34 MPa, 平均应力下降了约 17 MPa。由此可见经优化设计之后的开孔补强结构更为合理,结构的可靠度得到较大提高,同时充分发挥了材料的强度性能。

3 结论

压力容器开孔补强结构的实例分析表明,借助于 ANSYS 软件的可靠性分析与优化设计功能,可以准确的获得影响开孔补强结构可靠性的主要影响因素,通过对主要影响因素的优化设计,使得补强结构更加合理,其可靠性得到较大提高,从而可极大地提高产品使用的安全性。

参考文献:

- [1] 董金善,李涛.采用 ANSYS 的烘筒 S 形封头优化设计及其参数化分析[J].现代制造工程,2009(12):60-62.
- [2] 余伟炜,高炳军. ANSYS 在机械与化工装备中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [3] 杨长明,刘苏.压力容器开孔补强结构的有限元分析系统[J].化工机械,2010,37(1):79-82.
- [4] Roque Diaz P, Benito Y R, Parise J A R. Thermo economic assessment of a multi-engine, multi-heat-pump CCHP (combined cooling, heating and power generation system) - A case study[J]. Energy, 2010, 35(9):1-11.

参考文献:

- [1] 苏举端,高春艳,谢殿荣. 煤矿瓦斯监测系统的分析与研究[J]. 工业安全与环保,2009,35(10):30-32.
- [2] 史会余,孟凡荣. Bp神经网络在煤矿监测数据预测中的应用[J]. 微计算机信息,2008,24(19):278-279,294.
- [3] Babcock B, Datar M, Motwani R. Sample from a moving window over streaming data[C]. Proc of the 14# Annual ACM-SIAM Symp on Discrete Algorithms. San Francisco:ACM Press,2002:633-634.
- [4] 张尚剑,刘永智. 用滑动窗多项式拟合法实时预测运动目标轨迹[J]. 光电工程,2003,30(4):24-27.
- [5] Koza J R. Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection[M]. Cambridge, MA: MIT Press,1992.
- [6] 王小平,曹立明. 遗传算法-理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002:92-102.
- [7] Hinchliffe M P, Willis M J. Dynamic Systems Modeling Using Genetic Programming[J]. Computers Chemical Engineering, 2003(27):1 841-1 854.
- [8] Kang Lishan, Li Yan, Chen Yuping. A Tentative Research on Complexity of Automatic Programming[J]. Wuhan University Journal of Natural Science, 2001,6(1-2):59-62.

Alert and Forecast for Mine Safety Monitoring Data Based on Sliding Window - Genetic Programming Algorithm

MA Ru-hong, DONG Xiao-hui, WANG Jian-lin

(Mechanical Engineering School, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: SW-GP (Sliding Window - Genetic Programming) algorithm is provided to implement dynamic forecast of monitoring data in order to more effectively utilize coal mine monitoring data to alert and forecast safety accident. In the program, sampling data is obtained by sliding window technology and model is founded automatically by GP algorithm. The result of instance shows that forecasting values from the model well agree with the real values, which explains that employing SW-GP modeling can settle problem for alert and forecast for mine safety monitoring data satisfactorily.

Keywords: Coal Mine Safe; Sliding window; Genetic programming; Alert and forecast

(责任编辑:张英健)

(上接第29页)

Reliable Analysis and Optimum Design for Opening Reinforcement Structure of Pressure Vessel Based on ANSYS

LV Ming

(Bengbu College Department of Mechanical and Electronic Engineering, Bengbu Anhui 233030, China)

Abstract: If the pressure vessel was holed, it not only weakened the material strength of container, but also led to local stress concentration in the hole site, so that the pressure vessel carrying capacity was reduced, which seriously affected the safety of the pressure vessel. Although there were a series of regulations on opening reinforcement structure design for pressure vessel in GB, but the influence of the safety factors' randomness was considered less. It analyzed and designed for pressure vessel with a method of combining reliable analysis and optimum design function of ANSYS, the reliability of opening reinforcement structure was analyzed, and stress sensitive factors was obtained, then the corresponding optimization was designed on stress sensitive factors. The result showed that this method was practical and feasible.

Keywords: ANSYS; opening reinforcement; reliable analysis; optimum design

(责任编辑:张振华)