

剖分环式快开门压力容器的有限元分析

舒安庆,李昕阳,唐方雄

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205)

摘 要:为了研究剖分环式快开门压力容器的应力分布规律,识别其应力集中区域,找到此类压力容器的易破坏区,利用有限元分析软件 ANSYS,整体分析计算了内径为 560 mm 的三瓣式剖分环快开门压力容器。为减小计算量,根据该结构轴对称性,建立了三分之一的三维实体模型。根据实际情况限定边界条件为:在容器内施加 45 MPa 内压,对称面上施加对称约束,容器底部施加固定约束。经过非线性分析计算,求出该结构的整体应力分布云图,得到整体结构和剖分环、平盖、筒体的应力集中区域及其应力分布规律。然后,采用分析设计标准 JB4732-95 对该压力容器各个组件的危险截面分别沿轴向和径向进行了路径评定,评定结果显示所选的结构设计合理,强度符合设计要求,对同类结构的设计制造具有一定的参考价值。

关键词:压力容器;剖分环式快开门;有限元分析;强度分析

中图分类号: TQ053

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2013.08.008

0 引 言

由于快开式压力容器具有启闭时间短,物料装卸方便等特点,因此得到广泛地应用,如化学生产中的硫化罐、医用的高压氧舱、食品工业中的灭菌罐等。根据结构的不同,快开装置主要分为卡箍式、齿啮式、压紧式、剖分环式和移动类五大类^[1]。国内暂时没有各类快开门结构的设计计算相关标准可供选择,因此只能参考类似结构的设计标准或者国外标准,如我国的 GB150-2011《钢制压力容器》中关于“卡箍紧固结构”计算方法,日本的 JIS B4732-1993《压力容器快速开关盖装置》等标准来进行设计计算^[2]。

为研究剖分式快开门结构的受力特性和应力分布规律,本文运用有限元分析软件 ANSYS 对已知尺寸的立式高压装置快开门进行了数值模拟分析。通过分析得到该快开门装置的应力云图,找到应力比较集中的部分,并用 JB4732-1995 标准对高应力区进行强度校核。

1 剖分环式快开装置的结构

剖分环式快开结构的特点是由剖分环承受内压产生的轴向力,采用全自紧式密封结构,通过张开和收拢剖分环实现快开。剖分环式快开装置的

结构一般由筒体、剖分环、平盖、衬环、O 型圈和安全联锁装置等组成,如图 1 所示,该结构可用于压力很高的场合^[1]。

计算模型的设计参数:内径 560 mm,设计压力 45 MPa,设计温度 20 °C,筒体材料为 WCB,剖分环材料为 35#,平盖材料为 25Cr2Mo1V。在设计温度下的材料许用应力 S_m 分别为 120 MPa、315 MPa、785 MPa。模型的总体设计按常规设计方法进行。

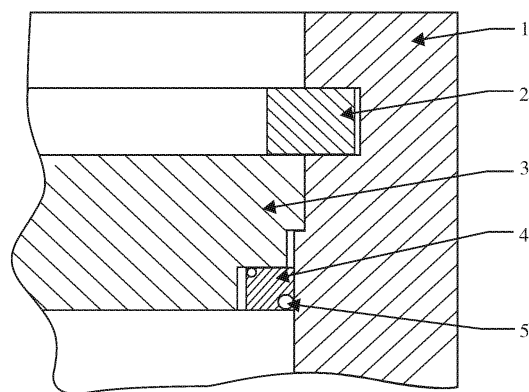


图 1 剖分环式快开装置

Fig. 1 The split quick closure device

注:1——筒体端部;2——剖分环;3——平盖;
4——衬环;5——O 形圈

收稿日期:2013-05-29

基金项目:国家自然科学基金(51176143;20176043)

作者简介:舒安庆(1964-),男,浙江宁波人,教授,硕士。研究方向:压力容器压力管道、流体机械和搅拌设备的研究开发、新型高效过程装备及仿真技术。

2 有限元分析模型

2.1 几何模型的建立

根据装置的结构特点,在不影响整体受力的情

况下,将计算模型进行了一定的简化.几何模型如图 2 所示.由于实体模型具有广义轴对称性,故为减小计算量,取整个结构的 $\frac{1}{3}$ 作为分析对象.

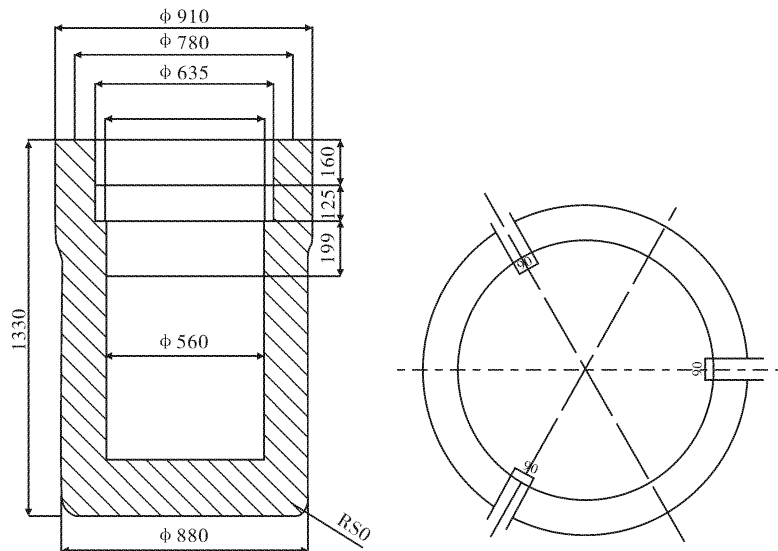


图 2 几何尺寸模型

Fig. 2 Geometry model

2.2 网格划分

利用有限元软件计算分析三维模型,需要划分网格.而在 ANSYS 中对三维实体模型的网格划分有四面体网格和六面体网格之分.相比于四面体网格,利用六面体网格计算获得的结果更为精确.综合考虑计算结果精度和计算机资源利用之间的关系,选用 20 节点六面体单元 Solid 95 对分别对结构的各个部分进行网格划分.为便于后面应力评定时更准确快捷的定义路径^[3],采用扫略方式划分六面体网格.所选的剖分环式快开门结构中,共有 7 775 个单元.其中,平盖 1 463 个单元,筒体 6 006 个单元.各部分结构的网格划分模型如图 3.

2.3 边界条件

根据结构特点,对筒体底部施加轴向的固定约束,使其轴向位移为 0.由于结构具有广义轴对称性,而且建立的是三分之一模型,故需在各对称面上施加轴对称约束,以使结构更合乎实际.另外,对整体结构内表面施加 45.0 MPa 的内压.

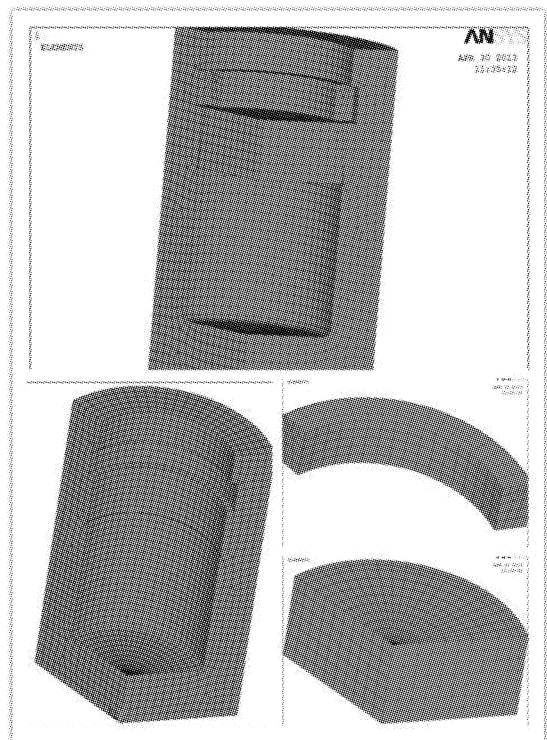


图 3 网格划分模型

Fig. 3 Meshing model

3 结果分析及强度评定

内径 560 mm 的三瓣式剖分环快开门装置的整体有限元计算结果如图 4 所示.从图中可以看到,整个结构的最大应力主要分布在筒体与剖分环上表面接触的平面上,最大应力强度 413.7 MPa,其余部分应力较小且分布较均匀.由此可

见,该快开装置最容易出现失效的部位是筒体与剖分环接触部分,与实际情况相符.

根据 JB4732-95 的要求,应对计算部位的应力作详细计算,按应力的性质、影响范围及分布状况将应力分类为一次应力、二次应力和峰值应力^[4].应用 ANSYS 进行应力强度评定有两种方法:点

处理法和线处理法. 本文采用线处理法, 即通过设置路径来确定典型的评定截面. 根据应力处理线的划定原则, 在应力云图上的高应力强度区域的内外壁面上选取相对的两个节点, 设置沿壁厚方向的路径, 然后将数据映射到路径上, 再对路径再进行线性化处理^[5]. 同理, 设置沿轴线方向的另一条路径. 从各应力处理线 SII、SIV 和 SV 的值, 对筒体、平盖和剖分环进行应力评定.

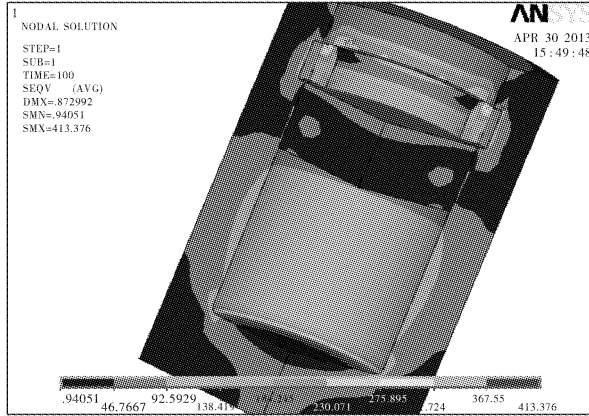


图 4 整体应力云图

Fig. 4 The overall stress nephogram

3.1 筒体应力分析和评定

分析可知在筒体与剖分环上表面接触的位置 (见图 5), 应力较大, 最大应力为 425.68 MPa. 在最大应力处作两条路径并进行线性化处理. 由图 6 的两条路径, 得到表 1、2 所示的路径评定结果^[6-9].

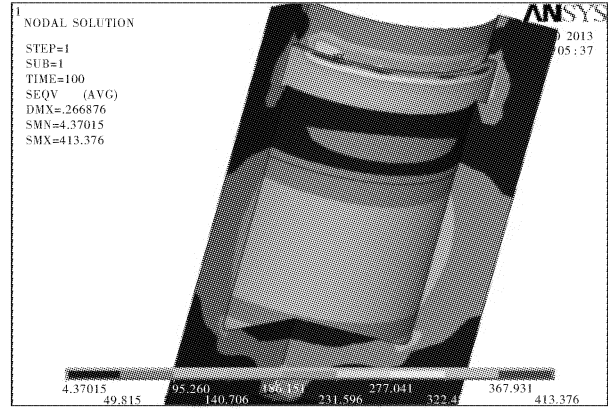


图 5 筒体应力云图

Fig. 5 Stress nephogram of cylinder

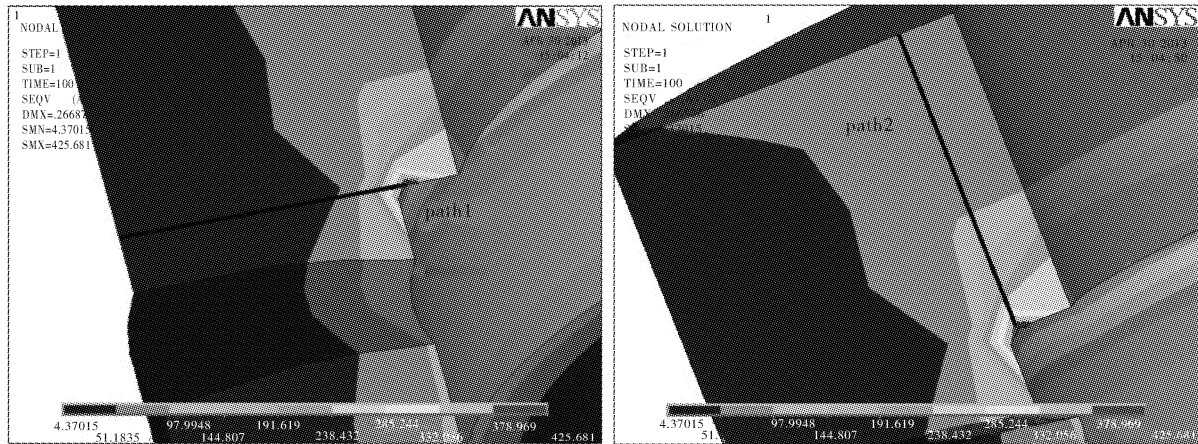


图 6 筒体路径

Fig. 6 Path of cylinder

表 1 路径 1 应力强度评定

Table 1 Stress intensity evaluation of path1

	应力分量	
	薄膜应力/MPa	薄膜加弯曲应力/MPa
计算应力	36.91	146.1
许用极限	180	360
结论	合格	合格

表 2 路径 2 应力强度评定

Table 2 Stress intensity evaluation of path2

	应力分量	
	薄膜应力/MPa	薄膜加弯曲应力/MPa
计算应力	96.4	240.3
许用极限	180	360
结论	合格	合格

3.2 平盖应力分析和评定

如图 7 所示,平盖靠近筒体与剖分环的接触区域应力水平不均匀,且由中间向两侧应力逐渐

增大,最大应力为 235.02 MPa. 在最大应力处作两条路径并进行线性化处理. 由图 8 的两条路径,得到表 3 和表 4 所示的路径评定结果.

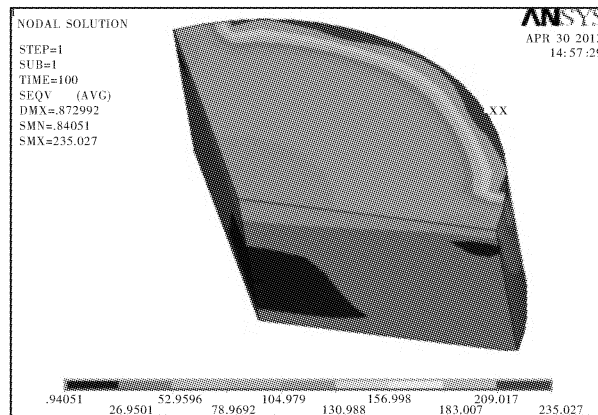


图 7 平盖应力云图

Fig. 7 Stress nephogram of flat cover

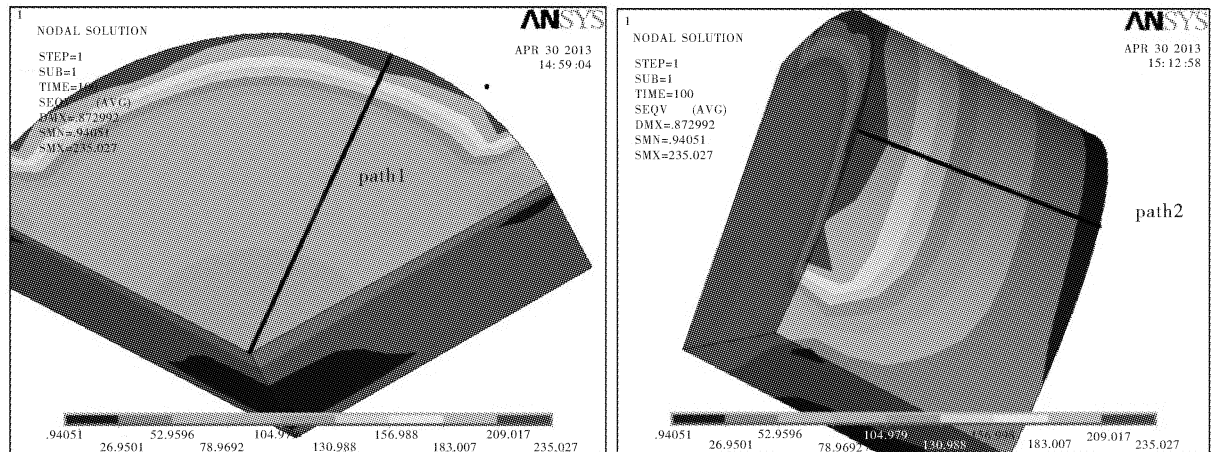


图 8 平盖路径

Fig. 8 Path of flat cover

表 3 路径 1 应力强度评定

Table 3 Stress intensity evaluation of path1

	应力分量	
	薄膜应力/MPa	薄膜加弯曲应力/MPa
计算应力	92.21	123.9
许用极限	1 177.5	2 355
结论	合格	合格

表 4 路径 2 应力强度评定

Table 4 Stress intensity evaluation of path2

	应力分量	
	薄膜应力/MPa	薄膜加弯曲应力/MPa
计算应力	117.3	239.8
许用极限	1 177.5	2 355
结论	合格	合格

表面与筒体接触的区域,最大应力发生在剖分环上表面外侧,其值为 356.94 MPa. 在最大应力处作两条路径并进行线性化处理. 由图 10 的两条路径,得到表 5、6 所示的路径评定结果.

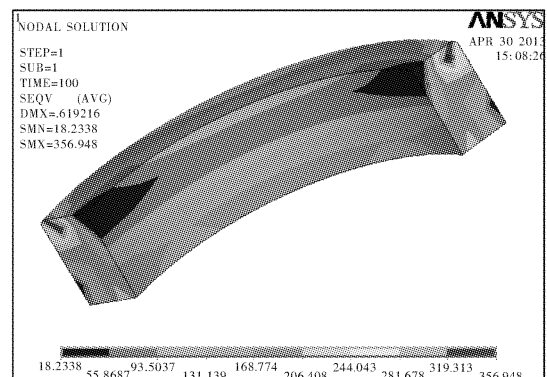


图 9 剖分环应力云图

Fig. 9 Stress nephogram of split ring

3.3 剖分环应力分析和评定

图 9 显示,剖分环的高应力区主要集中在上

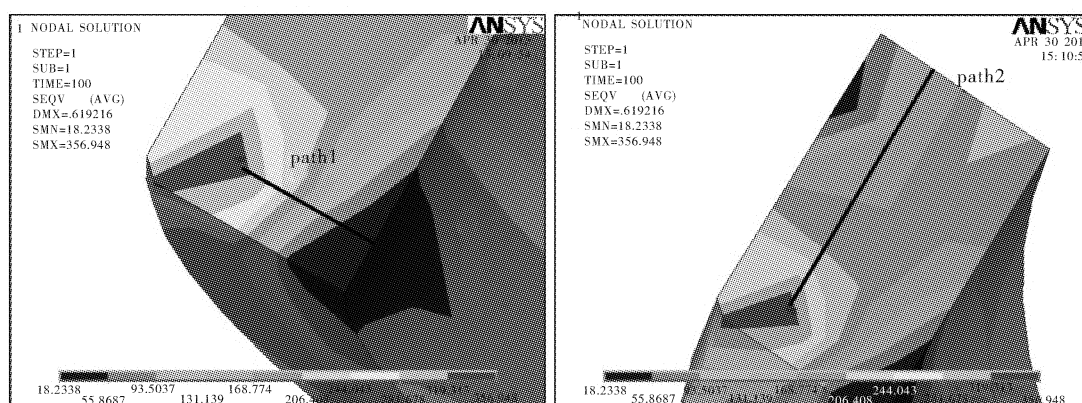


图 10 剖分环路径

Fig. 10 Path of Split ring

表 5 路径 1 应力强度评定

Table 5 Stress intensity evaluation of path1

	应力分量	
	薄膜应力/MPa	薄膜加弯曲应力/MPa
计算应力	177.2	364.2
许用极限	472.5	630
结论	合格	合格

表 6 路径 2 应力强度评定

Table 6 Stress intensity evaluation of path2

	应力分量	
	薄膜应力/MPa	薄膜加弯曲应力/MPa
计算应力	196.1	472.5
许用极限	289.9	630
结论	合格	合格

4 结 语

通过对内径 560 mm 的三瓣式剖分环快开门装置的有限元分析,可知在给定的工况下该结构满足强度评定条件.分析结果显示,组成该结构的三部分应力集中部位均在两两相接触的部位.其中剖分环受力最大,在试验和生产中应对其进行优化减少该处的应力.上述分析过程和计算结果可为工程实际提供一定的参考和依据.

致谢

论文的研究工作得到了国家自然科学基金委的资助,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 郑津洋.快速开关盖式压力容器(一)[J].化工装备技术,1997,18(1):30-38.
ZHENG Jin-yang. Pressure vessel with quick switch cover type(1)[J]. Chemical Equipment Technology, 1997, 18(1): 30-38. (in Chinese)
- [2] 涂文峰,胡兆吉,裘雪玲,等.齿啮式快开盖压力容器

的有限元分析及强度评定[J].化工装备技术,2005,26(3):40-43.

TU Wen-feng, HU Zhaoji, QIU Xueling, et al. The finite element analysis and strength evaluation of quick-open pressure vessel with gear-tooth type[J]. Chemical Equipment Technology, 2005, 26(3): 40-43. (in Chinese)

- [3] 龚曙光. ANSYS 软件在应力分析设计中的应用[J]. 计算机辅助设计与制造, 2001(7): 21-23.

GONG Shu-guang. The application of ANSYS software in the stress analysis and design[J]. Digital Manufacturing Indus-try, 2001 (7): 21-23. (in Chinese)

- [4] JB4732-1995《钢制压力容器——分析设计标准》标准释义[S].

The standard definition of JB4732-95 Steel pressure vessel :analysis design standard[S]. (in Chinese)

- [5] 胡兆吉,涂吉昌,涂文峰.卡箍式快开门压力容器的有限元接触分析[J].压力容器,2012,29(3):12-21.

HU Zhao-ji, GAN Ji-chang, TU Wen-feng. The finite element contact analysis of quick-open pressure vessel with Clamp[J]. Pressure vessel Technology, 2012, 29(3): 12-21. (in Chinese)

- [6] 郑津洋,苏文献,徐平,等.基于整体有限元应力分析的齿啮式快开压力容器设计[J].压力容器,2003,20(7):20-24.

ZHENG Jin-yang, SU Wen-xian, XU Ping, et al. Design of quick-open pressure vessel with the gear tooth type based on the finite element stress analysis [J]. Pressure Vessel Technology, 2003, 20(7): 20-24. (in Chinese)

- [7] 杜四宏,袁振伟,王三保,等.压力容器快开门法兰的有限元分析[J].中国化工装备,2008(1):34-36.

DU Si-hong, YUAN Zhen-wei, WANG San-bao, et al. The finite element analysis of quick-open flange on pressure vessels [J]. China Chemical Industry

- Equipment, 2008(1): 34-36. (in Chinese)
- [8] 李智帅, 舒安庆, 马长春, 等. 多层复杂结构有限元应力分析方法[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(8): 99-102.
- LI Zhi-shuai, SHU An-qing, MA Chang-chun, et al. The finite element stress analysis method of Multi-layer complex structure [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33(8): 99-102. (in Chinese)
- [9] 杨薇, 韩树新, 刘延雷, 等. 基于有限元方法分析不同啮合度下快开门式压力容器的力学性能[J]. 机械管理开发, 2013(1): 6-9.
- YANG Wei, HAN Shu-xin, LIU Yan-lei, et al. Mechanical Properties Analysis of Quick Actuating Pressure Vessels with Different Gear Meshing Ratio Basing on Finite Element Method [J]. Mechanical Management and Development, 2013(1): 6-9. (in Chinese)

Finite element analysis of split quick closure pressure vessel

SHU An-qing, LI Xin-yang, TANG Fang-xiong

(School of Mechanical and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

Abstract: To study the stress distribution and identify the stress concentration area of the split quick closure pressure vessel, which is easy to find the damage area of this kind of pressure vessel, finite element analysis software ANSYS was used to analyze and calculate the 3 valve type of the split quick closure pressure vessel whose inner diameter is 560 mm. To reduce the amount of computation, a third of 3D entity model was established according to the symmetry of the structure. According to the actual situation, boundary conditions were limited as follows: 45 MPa pressure was applied in the container; symmetry constraints were imposed on the symmetry planes; fixed constraints were imposed at the bottom of the container. Through nonlinear analysis and calculation, the integral stress distribution nephogram of the whole structure is obtained, and the stress distribution rules and stress concentration area of the overall structure, split ring, flat cover and cylinder of the device were discovered. Though path assessment on the dangerous section of the pressure vessel components along the axial and radial path respectively based on the analysis design standard JB4732-95, results show that the design of the selected structural is reasonable and the strength complies with the design requirements, which provides a certain reference value to the design and manufacture of similar structure.

Key words: pressure vessel; split quick closure; finite element analysis; intensity evaluation

本文编辑: 陈小平