

文章编号:1671-6833(2004)01-0045-04

蒸汽扩容器切向接管应力分析研究

王定标, 魏新利, 郭茶秀, 吴金星

( 郑州大学化工学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 采用三维有限元方法对蒸汽扩容器与切向接管联接的关键部位进行了应力分析, 获得了该部位的应力分布. 计算结果表明, 蒸汽扩容器筒体上开孔设置切向接管, 使连接区的应力分布复杂化, 并产生明显的应力集中, 接管与筒体连接处应力值较大, 最大应力发生在接管与筒体连接处且位于接管上部内侧, 是筒体失效的危险区域; 各类应力最大值均发生在蒸汽扩容器与切向接管的内侧连接处, 并随着离该处距离的增加而减小. 并按照JB 4732-1995 采用应力分析设计方法对该蒸汽扩容器切向接管结构进行强度评定, 蒸汽扩容器切向接管强度足够, 满足安全要求.

**关键词:** 扩容器; 切向接管; 有限元; 应力计算; 强度评定

**中图分类号:** TQ 051.5; O 343.2      **文献标识码:** A

0 引言

在核工业、石油化工生产中, 由于工艺条件的需要, 大量存在着设备与管道采用开孔接管的结构形式. 在开孔接管处, 因几何不连续引起孔边应力集中, 使该部位应力状态复杂, 应力梯度较大, 该部位很有可能成为设备的破坏源, 特别是对于设备切向开孔的接管结构, 更加容易引起设备破坏. 因此对设备切向开孔接管部位作较详细的应力分析和强度评定是确保设备安全运行必不可少的内容之一.

目前, 国内外对正交接管以及斜接管研究较多<sup>[1~9]</sup>, 且已较为成熟, 而对切向开孔接管的研究则很少见文献报道. 由于设备切向开孔接管使几何不连续加剧, 较小的开孔接管也易成为大开孔结构, 且该部位应力梯度剧增, 无论对试验研究还是理论探索都增加了许多难度. 目前各国的压力容器设计规范, 对切向开孔接管结构设计方面的规定都显得不够详尽和具体. 有限元技术的发展, 为设备整体强度分析和切向接管优化设计提供了强有力的工具. 因此, 本文对设备切向开孔接管进行应力分析和强度评定具有重要的工程意义和应用价值.

某厂生产的蒸汽扩容器, 由于工艺需要, 开设多个切向接管. 蒸汽扩容器与切向接管的形状见图 1 所示. 对该蒸汽扩容器, 切向接管结构已属于大开孔结构形式, 国标 GB 150 已不能适用, 只能采用应力分析设计或实验的方法. 本文采用三维有限元对该蒸汽扩容器切向接管进行应力分析, 并根据国标 JB 4732-1995《应力分析设计标准》对该蒸汽扩容器切向接管结构进行强度评定.



图 1 切向接管形式  
Fig. 1 Form of pipe

1 力学模型

根据蒸汽扩容器切向接管的结构特点, 对蒸汽扩容器及切向接管进行应力分析, 建立蒸汽扩容器切向接管的力学模型如下.

**收稿日期:** 2003-11-10; **修订日期:** 2003-12-20  
**基金项目:** 河南省教育厅科技攻关项目( 20024800001 ); 河南省高校青年骨干教师基金资助项目  
**作者简介:** 王定标( 1967- ), 男, 浙江省杭州市人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事高效能过程装备 CAD/CAE/CFD 技术方面的研究与开发.

1.1 基本参数

蒸汽扩容器筒体及接管内受均布蒸汽内压,设计压力为 0.18 MPa,设计温度为 114 ℃,筒体材料为 Q235-B,接管材料为 20 号钢,筒体公称直径为 2 000 mm,壁厚为 8 mm,接管公称直径为 325 mm,壁厚为 8 mm,腐蚀裕量为 1.5 mm.

材料在设计条件下的力学参数为:筒体的弹性模量  $E=1.9\text{e}5\text{ MPa}$ ,其设计应力强度  $S_m=130\text{ MPa}$ ;接管的弹性模量  $E=1.9\text{e}5\text{ MPa}$ ,其设计应力强度  $S_m=145\text{ MPa}$ ;材料的泊松比为 0.3.

1.2 物理模型

根据蒸汽扩容器及切向接管的结构特点和载荷特性,采用了三维实体的力学模型.在筒体长度方向取 1 m 长,周向取一半作为计算模型,如图 2 所示.

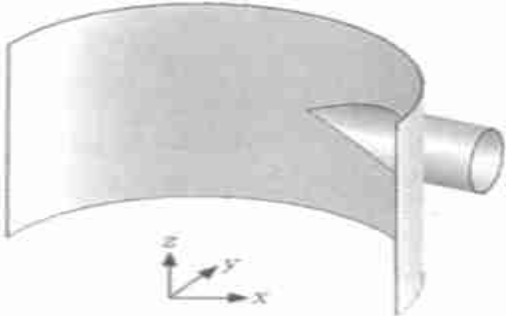


图 2 物理模型  
Fig.2 Physical model

蒸汽扩容器切向接管的边界条件其位置和方向如图 3 所示.其位移边界条件:筒体下端  $Z=0$  处  $\Delta Z=0$ ;筒体中间截开处  $\Delta Y=0$ ;筒体最左端边界给定  $\Delta X=0$ .载荷边界条件:根据计算可得,筒体内部及接管内部承受内压  $P=0.18\text{ MPa}$ ;筒体上端承受拉应力  $P=15.78\text{ MPa}$ ;接管右端承受拉应力  $P=2.432\text{ MPa}$ .

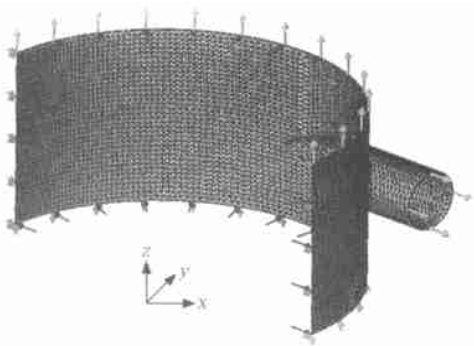


图 3 边界条件与网格划分

Fig.3 Boundary condition and grids

1.3 有限元软件选择与分析类型

目前,国际上应力分析的有限元软件较多,如著名的 ANSYS、NASTRAN、ADINA、COSMOS、ABAQUS 等有限元软件,本文采用国际通用的大型结构分析软件 ANSYS 软件,其分析技术在国际上处于领先地位,是国际上最早通过 ISO 质量认证的分析软件,并为我国压力容器标准化委员会推荐使用.

采用 ANSYS 软件提供的三维实体四面体 10 节点高阶等参单元 (Solid 92) 进行网格划分,如图 3 所示.图 4 所示为其中切向接管部分放大图.总节点数为 359 923,单元数为 178 498.根据模型条件,应力分析采用静态分析.

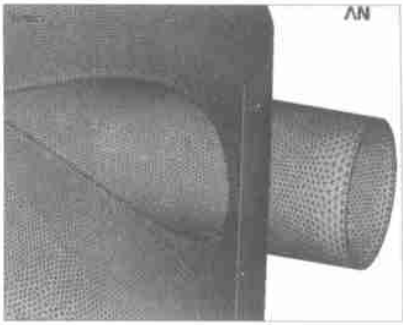


图 4 切向接管部分网格放大图  
Fig.4 Partial grids of tangential pipe

2 计算结果及分析

图 5 所示为蒸汽扩容器切向接管的变形图,从图中可以看出,蒸汽扩容器切向接管在外载荷作用下,其最大变形为  $\delta=0.003\text{ 96 m}$ .

图 6 所示为蒸汽扩容器切向接管的 von Mises 应力分布图,其最大 von Mises 应力为 163.39 MPa.图 7(a),7(b) 所示分别为蒸汽扩容器切向接管内、外壁的应力强度分布图,其最大应力强度为 187.097 MPa.

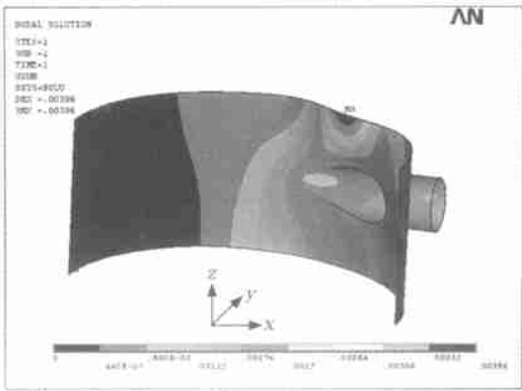


图 5 蒸汽扩容器切向接管的变形图

Fig.5 Structural deformed picture

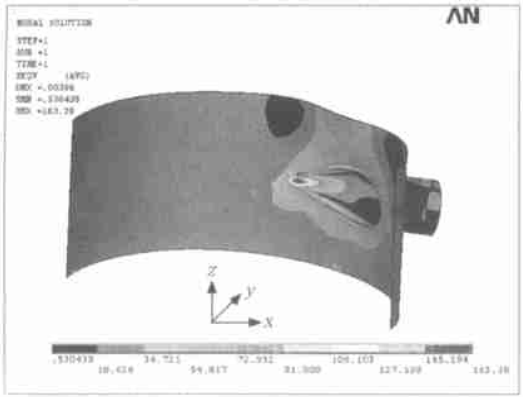
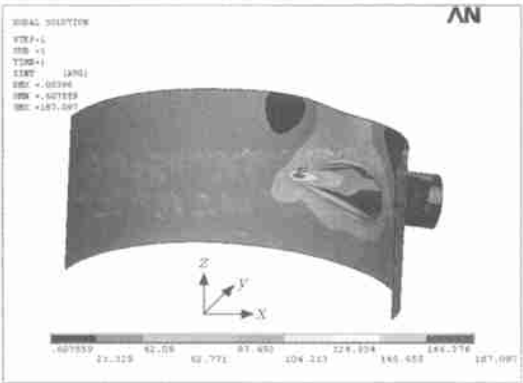
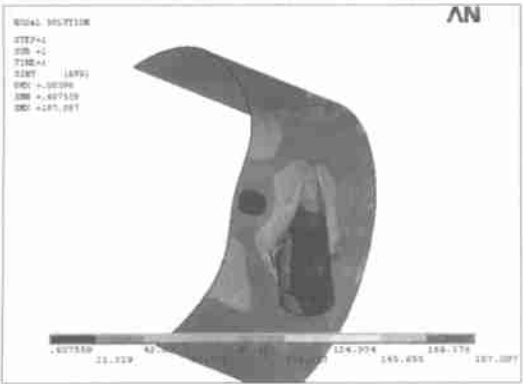


图 6 切向接管的 von Mses 应力分布图  
Fig. 6 Von Mses stress distribution



(a) 内壁



(b) 外壁

图 7 切向接管应力强度的应力分布图  
Fig. 7 Stress distribution of stress strength

从图中可以看出,接管与筒体连接处应力值较大,最大应力发生在接管与筒体连接处且位于接管上部位内侧,这表明,该处的应力集中是明显的,此为最危险部位,应对其进行强度评定.其余远离连接处部位如筒体、接管其应力值均较小.

同时,从有限元计算结果中发现,各类应力最大值均发生在蒸汽扩容器与切向接管的内侧连接处,并随着离该处距离的增加而减小.

3 强度评定

图 6,7 的计算结果包含了一次薄膜应力、二次弯曲应力和峰值应力在内的总应力场.常规的计算方法采用的是弹性失效准则,结构中任一点的最大应力强度不得超过材料的许用应力强度.有限元分析方法则是基于塑性失效准则,如果结构是稳定与安定的,则允许出现局部塑性区,我国 JB 4732—1995《应力分析设计标准》要求对计算部位的应力作详细计算,并根据应力的分布、产生的方式,以及对设备失效所起作用的差异分为一次应力、二次应力和峰值应力.一次应力是由施加载荷而产生的一种法向力,它包括“总体薄膜应力”、“局部薄膜应力”和“一次弯曲应力”,它必须满足力与力矩的平衡方程,是非自限性的.当一次应力超过材料的屈服限时将产生过度变形而破坏.二次应力是相邻部件的约束或结构本身的约束产生的一种法向力或剪力(如总体不连续处、蒸汽扩容器与切向接管的联接处等),它们必须满足变形协调条件,是自限性的.对各类应力及其组合的当量应力给予不同的限制条件,因此,需要对计算结果进行分类处理.

应力分析方法对一次应力强度的限制是防止过度的弹性变形和延性破坏,对一次加二次应力强度的限制是防止塑性变形引起的增量破坏,对峰值应力强度的限制是防止周期性载荷引起的疲劳破坏.

对于蒸汽扩容器切向接管,由于所受载荷是非周期性载荷,使蒸汽扩容器产生破坏影响的是二次应力和峰值应力,对峰值应力的影响可不予考虑,因此需要从总应力场中分解出一次应力和二次应力,然后考察一次应力及一次加二次应力组合应力的应力强度是否满足要求.

根据上述的应力分布,考虑接管与筒体材料的不同,选定进行强度评定的危险区域如下:①在接管与筒体连接处且位于接管上的部位,应力值最大,此为最危险部位,如图 8 中的 A—A 路径(内外壁);②接管与筒体连接处且位于筒体处部位,应力值较大,如图 8 中的 B—B 路径(内外壁).

分别对 A—A 路径、B—B 路径应力进行线性化处理,并进行强度评定.

(1) 接管与筒体连接处且位于接管上的部位 A—A 路径的强度评定.

总体薄膜应力强度:  $S_t = 4.41 \text{ MPa} < S_m =$

145 MPa ;

局部薄膜应力强度:  $S_{II} = 49.78 \text{ MPa} < 1.5 S_m = 217.5 \text{ MPa}$  ;

局部薄膜加局部弯曲应力强度:  $S_{III} = 187.097 \text{ MPa} < 1.5 S_m = 217.5 \text{ MPa}$  .

(2) 接管与筒体连接处且位于筒体处部位 B—B 路径的强度评定.

总体薄膜应力强度:  $S_I = 27.8 \text{ MPa} < S_m = 130 \text{ MPa}$  ;

局部薄膜应力强度:  $S_{II} = 53.21 \text{ MPa} < 1.5 S_m = 195 \text{ MPa}$  ;

局部薄膜加局部弯曲应力强度:  $S_{III} = 93.86 \text{ MPa} < 1.5 S_m = 195 \text{ MPa}$  .

因此,该蒸汽扩容器切向接管强度足够,校核合格.

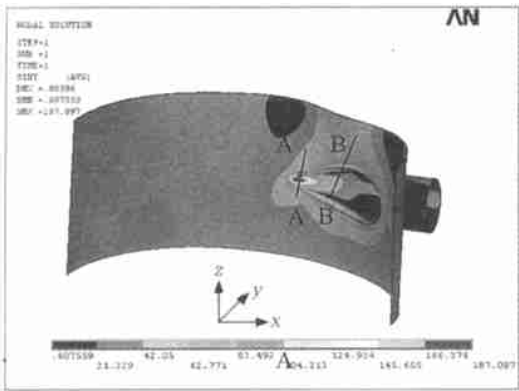


图 8 强度评定的分析点 A—A、B—B 路径  
Fig. 8 Road A—A and B—B of strength assessment

4 结论

(1) 蒸汽扩容器筒体上开孔设置切向接管,使连接区的应力分布复杂化,并产生明显的应力集中,是筒体失效的危险区域,应确保有足够的强

度.

(2) 应用三维有限元方法,运用有限元分析软件 ANSYS 进行了该区域的应力分布.发现各类应力最大值均发生在蒸汽扩容器与切向接管的内侧连接处,并随着离该处距离的增加而减小.

(3) 根据国标 JB 4732—95 对连接区的应力强度安全性进行了评价.结果表明,强度足够,满足安全要求.

(4) 在计算区域接管与筒体连接处附近所有 A、B 类焊缝需 100% 无损检测,合格标准按 JB 4732—95 的规定.在计算区域设备的材料、设计、制造均按 JB 4732—95 标准进行.

参考文献:

[ 1 ] 张国栋.尿素合成塔封头接管区和过渡区三维有限元分析[J].大氮肥,1999,22(2):73~75.  
[ 2 ] MACKERLE J. Finite elements in the analysis of pressure vessels and piping, an addendum: a bibliography( 1998—2001)[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2002, 79:1~26.  
[ 3 ] 淡 勇,周 强,吴曾谅.容器斜接管区应力状态的研究[J].化工机械,1997,24(1):10~16.  
[ 4 ] 杨伟春,梁基照.中压汽包接管应力分布的三维有限元分析[J].压力容器,2000,17(5):37~40.  
[ 5 ] 景国泉,沈士明.冷凝器大直径接管的应力计算与强度分析[J].压力容器,2002,19(5):12~14.  
[ 6 ] 张卫义,俞建荣,陈 罕.内压柱壳大开孔率开孔平齐式接管应力分布研究[J].压力容器,2000,17(6):1~5.  
[ 7 ] 蔡慈平.对大开孔补强方法的探讨[J].化工装备技术,2000,21(2):31~36.  
[ 8 ] 李成清,王定标,魏新利.销钉式挤出机的机筒三维有限元分析[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(3):83~86.

Stress Analysis of Steam Expanding Vessel and Tangential Pipe

WANG Ding-biao, WEI Xin-li, GUO Cha-xiu, WU Jin-xing

(College of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract :** This paper applies the three-dimensional finite element method to the analysis of the stress for steam expanding vessel with tangential pipe, and the stress distribution has been obtained. Calculation results show that it is the dangerous area of failure of cylindrical shell for a hole on steam expanding vessel by tangential pipe. It makes the stress distribution in the adjoining area complex, and causes obvious stress concentration, and makes the stress value become greater in the linking area of the pipe and the cylinder. The biggest stress occurs in the inner side of pipe with the connection of cylindrical shell, and with the increase of distance, the stress is reduced. The strength assessment of this structure according to JB 4732—1995 shows a satisfactory result.

**Key words :** steam expanding vessel; tangential pipe; finite element method; stress analysis; strength assessment