

改性聚丙烯塑料贮槽有限元计算及强度校核

胡国栋 常春梅 吴学纲 张金伟 王永卫

(兰州石油机械研究所,兰州 730050)

摘要 根据所研究对象的结构特点,对改性聚丙烯塑料贮槽进行3D建模,利用有限元计算软件ANSYS进行了应力计算,得到了该设备应力、应变的分布状况,确定出该设备的危险区域,并用常规的强度校核方法及HG20640-1997规定的校核方法,校核该设备的强度,确定壁厚不足是导致贮槽变形泄漏的主要原因,为改性聚丙烯塑料贮槽的设计提出改进建议。

关键词 有限元 ANSYS 应力分析 强度评定

聚丙烯(PP)是一种热塑性塑料,为半透明状无色固体。由于其结构规整而高度结晶化,故熔点较高,达167℃;耐热性能好,可在100℃左右使用。添加抗氧剂、金属、橡胶或玻璃纤维等的改性PP复合材料,其强度、刚度、硬度及抗蠕变性能都有所提高。由于它具有无臭、无毒、低密度、抗酸碱腐蚀、成型工艺简便多样、生产效率高、产量大、价格低、通用性好等特点,被广泛地应用于化工领域。

某化工厂所用改性PP贮槽(以下简称贮槽)尺寸为4200 mm×7000 mm×30 mm,为空心圆柱体结构,内壁采用网格状的加强筋结构,加强筋厚度为30 mm,分为12层,每层46格。加强筋在筒体径向方向的尺寸为270 mm,故贮槽上最大壁厚为300 mm,贮槽所用材料全为改性PP,筒体对接、加强筋与加强筋为X形坡口对接焊,加强筋与筒体之间采用双面角焊的焊接工艺加工而成。工作温度为常温至50℃,工作介质为质量分数为16.7%的CuSO₄溶液,介质盛装高度为6000 mm。贮槽的设计使用年限为10 a,但在投产不足2 a时,发现贮槽有较大尺寸的鼓胀变形及不同程度的渗漏现象,为了校核贮槽的强度是否满足设计要求,特此进行有限元计算,通过强度校核确定出壁厚不足是导致贮槽变形泄漏的主要原因,为贮槽的设计提出改进建议。

1 有限元计算

先假定贮槽满足强度要求,采取保守的原则采集数据,因而所取的参数值以对贮槽的当量应力影响最小为原则。具体思路是:首先应用有限元计算软件ANSYS计算贮槽在盛装介质工况下的最大应力、应变及位移,利用常规的强度校核方法对贮槽进行校核;然后应用文献[1]提供的解析式计算贮槽的理论壁厚、当量应力,利用其提供的断裂力学解析式对贮槽进行强度校核。由于改性PP的强度校核

鲜有报道,为慎重起见,此次校核采用数值模拟及解析分析两种校核方法。

50℃时改性PP的材料参数:弹性模量 $E=780$ MPa,假设贮槽所用材料为一等品,其许用应力 $[\sigma]=2.73$ MPa^[1](σ 为该温度下改性PP的最大应力值)。改性PP的连续耐热温度为121℃,内压为1.86 MPa时热变形温度为56~67℃,内压为0.46 MPa时热变形温度为100~116℃;脆化温度为-35℃,拉伸强度为30~39 MPa,弯曲强度为42~56 MPa,压缩强度为39~56 MPa,断裂伸长率 $A>200\%$ ^[2],密度为1130 kg/m³;16.7% CuSO₄的密度为1150 g/L(上述参数值为实验实测数据)。

1.1 结构分析和几何模型

由于贮槽主体为三维轴对称结构,考虑到贮槽的实际结构、所用的材料及承受的载荷,为简化计算,有限元计算采用旋转对称结构建1/46模型,贮槽高度 $L_n=7000$ mm,加强筋与加强筋、加强筋与筒体之间采用半径为20 mm的圆弧过渡处理。贮槽的几何模型见图1,经旋转延伸后的贮槽全模型见图2。

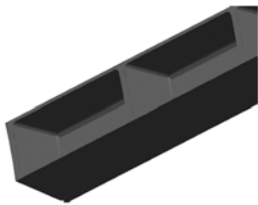


图1 贮槽几何模型

1.2 单元类型的选择

考虑到贮槽的实际结构状况,选择三维实体单元。使用ANSYS单元库中的实体结构单元Solid95单元。该单元有20个节点,每一个节点有3个自由

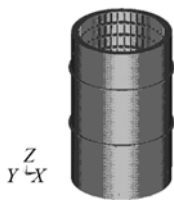


图 2 贮槽全模型

度,分别为 x 轴、 y 轴、 z 轴方向的平移。

1.3 网格划分

由于贮槽几何模型为非六面体结构,几何形状比较复杂,故采用自由网格划分,如图 3 所示。划分单元后,共计 9 949 个单元,19 164 个节点。

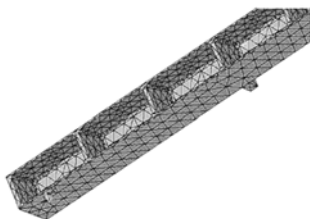


图 3 网格图

1.4 边界条件及载荷的施加

在有限元模型的底面上约束所有自由度,在两侧面上施加对称面约束,在除上、下底面、两侧面及外圆柱面外的其它所有面上施加 $P = \rho \cdot g \cdot (6\,000 - h_z)$ 的静水压(ρ 为 CuSO_4 的密度, $1.15 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; h_z 为液体介质在筒体轴向上的坐标, mm)。

图 4 为边界约束及加载图。

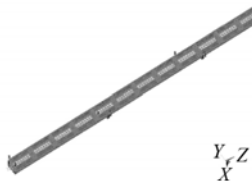


图 4 边界约束及加载图

1.5 计算结果

计算结果如图 5 ~图 8 所示。从图 6 可以看出贮槽上有两个部位的高应力区,分别位于贮槽底部及第二、第三节加强筋处。

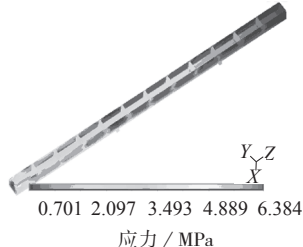


图 5 Mises 应力云图

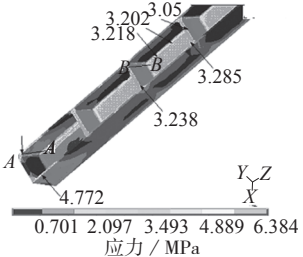


图 6 高应力区 Mises 应力云图

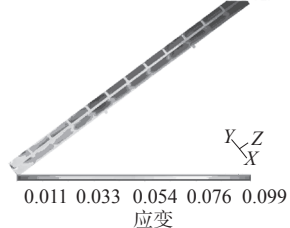


图 7 Mises 应变云图

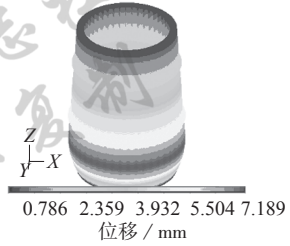


图 8 筒体径向位移云图(全模型)

2 强度校核

2.1 常规强度校核

贮槽上高应力区有两处:第一处位于贮槽内表面底部,最大应力为 6.55 MPa,虽然小于拉伸强度,但是大于改性 PP 的许用应力 $[\sigma]$,最大应变为 0.01。第二处位于第二、第三节加强筋部位,此处的应力在 3.08 ~3.45 MPa 之间,大于改性 PP 的许用应力 $[\sigma]$,贮槽上最大位移也位于此处,最大形变位移为径向位移,最大位移量为 7.2 mm。

2.2 解析分析校核

(1) 贮槽理论壁厚的校核

通过对贮槽的受力分析可知,贮槽所受的内压为液体介质引起的静水压:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \tag{1}$$

式中: h ——介质的高度,6 000 mm。

计算得: $P = 6.76 \times 10^{-2} \text{ MPa}$ 。

令贮槽的理论厚度为 δ 由文献[2]:

$$\delta = \frac{P \cdot D_i}{2[\sigma]^{1/2} \cdot \Phi} \tag{2}$$

式中: D_i ——内径,4 200 mm;

Φ ——焊缝系数,贮槽采用的是双面对接焊接

工艺,由文献[2]知, $\Phi = 0.5$ 。

代入式(2)得: $\delta = 104$ mm,所以贮槽的理论设计厚度应为 104 mm。

(2) 贮槽强度的校核

由文献[2]知,由内压引起的轴向应力 σ_1 ,按式

(3) 计算:

$$\sigma_1 = \frac{P_0 \cdot D_i}{4 \delta_e} \quad (3)$$

式中: P_0 ——外界施加于液体、气体上的内压,0。

所以 $\sigma_1 = 0$ 。

质量载荷引起的轴向应力 σ_2 ,按式(4) 计算:

$$\sigma_2 = \frac{9.81 Q_{1-1}}{\pi D_i \cdot \delta_e} \quad (4)$$

式中: δ ——贮槽壁厚;

Q_{1-1} ——计算截面以上筒体承受的质量载荷,即介质质量:

$$Q_{1-1} = \rho \cdot S \cdot h = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D_i^2 \cdot h}{4} = 1.73 \times 10^{-3} \pi D_i^2$$

①无加强筋处, $\delta = 30$ mm 时

$$\sigma_2 = \frac{9.81 Q_{1-1}}{\pi D_i \cdot \delta_e} = \frac{9.81 \times 1.73 \times 10^{-3} D_i}{\delta_e} = 2.37 \text{ MPa}$$

对 σ_1 、 σ_2 进行组合,得到的最大组合压应力 $\sigma_c = 2.37$ MPa, $[\sigma]_c$ 即为贮槽的当量应力。

贮槽的极限应力为 $[\sigma]_{cr}$:

$$[\sigma]_{cr} = 0.06E \frac{\delta}{R_0} = 0.69 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$[\sigma]^{11} = 2.73 \text{ MPa}$$

由文献[2]知极限应力 $[\sigma]_{cr}$ 应取二者中最小,所以 $[\sigma]_{cr} = 0.69$ MPa,即贮槽的极限应力为 0.69 MPa,显然 $\sigma_c > [\sigma]_{cr}$ 。

②加强筋处, $\delta_e = 300$ mm 时

$$\sigma_2 = \frac{9.81 Q_{1-1}}{\pi D_i \cdot \delta_e} = 0.237 \text{ MPa}$$

对 σ_1 、 σ_2 进行组合,得到的最大组合压应力 $\sigma_c = 0.237$ MPa, σ_c 即为贮槽的当量应力。

$$[\sigma]_{cr} = 0.06E \frac{\delta}{R_0} = 6.9 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$[\sigma]^{11} = 2.73 \text{ MPa}$$

所以 $[\sigma]_{cr} = 2.73$ MPa,显然 $\sigma_c < [\sigma]_{cr}$ 。

3 结论

(1) 通过数值模拟及解析分析可知:贮槽上最大应力大于改性 PP 的许用应力 $[\sigma]$,所以贮槽不满足强度要求。

(2) 对贮槽进行结构分析可知,最厚处壁厚为 300 mm,最薄处壁厚为 30 mm,由断裂力学解析分析可知,贮槽薄弱处壁厚小于理论最薄壁厚,所以贮槽的壁厚不满足设计要求。由此可以推断,造成贮槽鼓胀变形及渗漏的原因是贮槽壁厚太薄,无法满足盛装介质的强度要求。

(3) 贮槽上最大位移部位同时也是高应力区与检验发现的渗漏部位相吻合,由此可见有限元计算对强度校核具有参考价值。

(4) 第二、三节加强筋处为贮槽的薄弱部位,设计时应适当地增加此处的壁厚。由于单片成品改性 PP 的厚度太薄,如一定要用改性 PP 制作盛装介质的贮槽,建议采用内衬为改性 PP 材料外壳为钢制材料的复合结构。

参考文献

- [1] HG20640-1997,塑料设备[S]。
- [2] 成大先.机械设计手册.第1卷[M].北京:化学工业出版社,2007。

FEM ANALYSIS AND STRESS ASSESSMENT FOR MODIFIED PP STORAGE TANK

Hu Guodong, Chang Chunmei, Wu Xuegang, Zhang Jinwei, Wang Yongwei

(Lanzhou Petroleum Machinery Research Institute, Lanzhou 730050, China)

ABSTRACT A 3D model of the modified PP storage tank was build up according to the feature of object structure of study. The stress of it was calculated using 3D-FE software ANSYS, and a distributions of stress and strain and the dangerous area of it were obtained. According to the normal strength check analysis and the rule of HG20640-1997 Plastic Equipment, stress assessments were done and the strength of equipment was tested. So the modified suggestion of the PP storage tank was given.

KEYWORDS finite element method, ANSYS, stress analysis, strength assessment

新型低 VOC 聚氨酯阻燃剂成功面世

英国伯明翰消息,PUR 添加剂分销商 Cellular Technology 欧洲公司在最近发表的声明中宣布推出新型 PUR 阻燃剂 Celltech60®。这是一种低雾化、挥发性有机物含量低、高分

子量磷酸酯阻燃剂,适用于多种软泡聚醚和模塑泡沫,据 Cellular 公司称,它是“需符合 VOC/FOG 测试标准的软泡材料理想之选”,尤其适用于耐低强度火焰燃烧的泡沫生产。它同时也适用于汽车和家具领域。(徐)