

文章编号:1004-4736(2008)02-0115-02

扁平绕带式容器的可靠性研究

吴元祥,刘小宁

(武汉软件工程职业学院机械制造工程系,湖北 武汉 430205)

摘要:应用可靠性设计方法,对压力试验时扁平绕带式容器初始静强度的可靠度进行定量分析。结果表明:初始屈服强度在气压试验时的可靠度 R_{s1} 为 91.924%~98.610%,在液压试验时的可靠度 R_{s2} 为 75.80%~85.99%。初始爆破强度在气压试验时的模糊可靠度 R_{b1} 为 99.7145%~99.999 999 992 23%,在液压试验时的可靠度 R_{b2} 为 98.442%~99.999 994 0%。

关键词:扁平绕带式容器;压力试验;初始静强度;可靠度

中图分类号:TH 49,TQ 051

文献标识码:A

0 引言

扁平绕带式容器是石油、化工等行业常用的特种设备,其使用条件往往较为苛刻,为保证容器在使用时的安全可靠,对新制造的容器,须用超过操作压力的试验压力进行试验,合格才能投入使用。同时在保证压力试验的要求下,为防止压力试验时容器出现不必要事故,对容器压力试验时的应力水平进行限制^[1],液压试验时 $\sigma_T \leq 0.9\sigma_s$,气压试验时 $\sigma_T \leq 0.8\sigma_s$ 。

笔者认为:在气压或液压试验的最苛刻条件下,即在 $\sigma_T = 0.8\sigma_s$ (气压试验)或 $\sigma_T = 0.9\sigma_s$ (液压试验)条件下,扁平绕带式容器静强度(屈服压力与爆破压力)不出安全问题的概率有多大是值得探讨的问题。为此,应用基于概率统计的可靠性设计方法进行分析 and 讨论。

1 基本分析

压力试验时扁平绕带式容器初始静强度的可靠度,是指初始静强度大于试验压力的概率,决定可靠度的随机变量为:

$$y = p_r - p_T \quad (1)$$

当 p_r 、 p_T 符合正态分布时,可靠度系数为:

$$\beta = \frac{\mu_{pr} - \mu_{pT}}{\sqrt{(\mu_{pr} C_{pr})^2 + (\mu_{pT} C_{pT})^2}} \quad (2)$$

$$\text{令 } \mu_{pr}/\mu_{pT} = n_r \quad (3)$$

则有:

$$\beta = \frac{n_r - 1}{\sqrt{(n_r C_{pr})^2 + C_{pT}^2}} \quad (4)$$

由 β 查正态分布积分表^[2],可得对应的可靠度 R 。

2 p_T 、 p_s 和 p_b 分布规律与分布参数

研究表明: p_T 、 p_s 、 p_b 符合正态分布^[3~5]。

在气压或液压试验的最苛刻条件下, p_T 的分布参数为^[3]:

$$\mu_{pT} = \lambda \mu_{ps}$$

$$C_{pT} = 0.045$$

用专用公式(见符号说明)预测扁平绕带式容器的初始屈服强度时, p_s 的分布参数取值范围为^[4]:

$$\mu_{ps} = (1.0218 \sim 1.0940) u_s$$

$$C_{ps} = (0.08356 \sim 0.1378)$$

用专用公式(见符号说明)预测扁平绕带式容器的初始爆破强度时, p_b 的分布参数取值范围为^[4]:

$$\mu_{pb} = (1.0218 \sim 1.0940) u_b$$

$$C_{pb} = 0.06387 \sim 0.1246$$

3 初始屈服强度可靠度范围

3.1 气压试验

在气压试验的最苛刻条件下,有:

$$n_{rs1} = \frac{\mu_{ps}}{\mu_{pT}} = \frac{\mu_{ps}}{\lambda \mu_{ps}} = 1.25$$

把其及有关数据代入式(4)可得 $\beta_{s1} = 1.40 \sim$

2.20。根据此值查正态分布积分表,可得对应的可靠度范围 $R_{s1} = 91.924\% \sim 98.610\%$ 。

3.2 液压试验

在液压试验的最苛刻条件下,有:

$$n_{rs2} = \frac{\mu_{pr}}{\mu_{pT}} = \frac{\mu_{ps}}{\lambda \mu_{ps}} = 1.1111$$

收稿日期:2007-12-14

基金项目:武汉市教育局 2007 年度科研项目(200707)。

作者简介:吴元祥(1960-),男,湖北武汉人,工程师,研究方向:模具设计与压力容器。

把有关数据代入式(4)可得 $\beta_{s2}=0.70\sim 1.08$. 根据此值查正态分布积分表, 可得对应的可靠度范围 $R_{s2}=75.80\%\sim 85.99\%$.

4 初始爆破强度可靠度范围

为讨论方便, 假定扁平绕带式容器内筒与绕带层材料屈服比 γ 相等, 则在最苛刻压力试验条件下, 有:

$$n_{tb} = \frac{\mu_{pr}}{\mu_{pT}} = \frac{\mu_{pb}}{\lambda \mu_{ps}} = (0.931\ 0 \sim 1.071) \frac{1}{\lambda \gamma} \quad (5)$$

对于扁平绕带式容器, 通常用 $\gamma \leq 0.75$ 的钢材制成, 以 $\gamma=0.75$ 为例, 有:

$$n_{tb} = (1.245\ 3 \sim 1.427\ 5) / \lambda \quad (6)$$

4.1 气压试验

因 $\lambda=0.8$, 由式(6)可知 $n_{tbl}=1.557\sim 1.781\ 3$, 把其及有关数据代入式(4)可得 $\beta_{bl}=2.80\sim 6.40$. 查正态分布积分表, 可知可靠度范围 $R_{bl}=99.744\ 5\%\sim 99.999\ 999\ 992\ 23\%$.

4.2 液压试验

因 $\lambda=0.9$, 由式(6)可知 $n_{tb2}=1.381\sim 1.586$, 把其及有关数据代入式(4)可得 $\beta_{b2}=2.15\sim 5.29$. 查正态分布积分表可知可靠度范围 $R_{b2}=98.422\%\sim 99.999\ 994\ 0\%$.

5 结 语

a. 在最苛刻的压力试验条件下, 扁平绕带式容器初始静强度的最小可靠度与压力试验时应力水平限制有关.

b. 扁平绕带式容器在最苛刻的气压与液压试验条件下, 初始屈服强度的最小可靠度分别不低于 91.924% 与 75.80%, 最大可靠度分别不大于 98.610% 与 85.99%. 用 $\gamma=0.75$ 钢材制成的扁平绕带式容器, 在最苛刻的气压与液压试验条件下, 初始爆破强度的最小可靠度分别不小于 99.744 5% 与 98.422%, 最大可靠度分别不大于 99.999 999 992 23% 与 99.999 994 0%.

符号说明

y 随机变量

p_r ——初始静强度的预测值, MPa

$$p_t = \sigma_1 \ln K_1 + \sigma_2 \cot^2 \theta (K_2^{\sin 2\theta} - 1) \quad (1)$$

K_1 ——内筒径比

$$K_1 = r_i / r_t$$

r_i, r_t 分别为内筒的内、外半径

K_2 ——绕带层径比

$$K_2 = r_o / r_i$$

r_i, r_o ——分别为绕带层内、外半径

θ 绕带层的缠绕倾角

σ_1, σ_2 ——分别为内筒与绕带材料机械性能常数, 当 σ_1, σ_2 分别取内筒与绕带层材料屈服应力 σ_{s1}, σ_{s2} 时, p_t 为 p_s ; 当 σ_1, σ_2 分别取内筒与绕带层材料抗拉应力 σ_{b1}, σ_{b2} 时, p_t 为 p_b

p_s ——初始屈服强度(压力), MPa

p_b ——初始爆破强度(压力), MPa

σ_T 压力试验时的应力水平, MPa

p_T ——最苛刻条件下的试验压力, MPa

$p_T = \lambda p_s$ (常温)

λ 最苛刻试验条件下试验类型系数, 气压试验取 0.8, 液压试验取 0.9

μ_{pr}, C_{pr} ——分别为 p_r 的均值与变异系数

μ_{pT}, C_{pT} ——分别为 p_T 的均值与变异系数

n_t 可靠性安全系数

μ_{pb}, C_{pb} ——分别为 p_b 的均值与变异系数

μ_{ps}, C_{ps} ——分别为 p_s 的均值与变异系数

u_s, u_b 分别为 p_s, p_b 的名义值, MPa

$$u_r = \mu_{s1} \ln \mu_{K1} + \mu_{s2} \cot^2 \mu_{\theta} (\mu_{K2}^{\sin 2\mu_{\theta}} - 1)$$

$\mu_{k1}, \mu_{k2}, \mu_{\theta}$ 分别为 k_1, k_2, θ 的名义值

$\mu_{\sigma 1}, \mu_{\sigma 2}$ ——分别为 σ_1, σ_2 的名义值

$\mu_{\sigma s}, \mu_{\sigma b}$ ——分别为 σ_s, σ_b 的均值, MPa

γ ——材质的屈服比

$$\gamma = \mu_{\sigma s} / \mu_{\sigma b}$$

参考文献:

- [1] GB150-1998. 钢制压力容器[S].
- [2] 徐 灏. 机械强度的可靠性设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [3] 刘小宁. 压力容器设计压力的合理确定[J]. 锅炉压力容器安全技术, 2003, (6): 11-14.
- [4] 刘小宁. 扁平绕带式容器的可靠性安全系数[J]. 石油化工设备技术, 2007, 28(5): 11-15.
- [5] 刘小宁. 钢制薄壁内压力容器爆破压力的概率分布研究[J]. 化工设计, 2004, 14(1): 23-28.

(下转第 119 页)

- [J]. 数学学报, 1993, 36(6): 731-739.
- [7] Hoffmann-Jørgensen J. Sums of Independent Banach Space Valued Random Variables [J]. Studia Math, 1974, 52: 159-186.
- [8] de Acosta A. Strong Exponential Integrability of Sums of Independent B-valued Random Vectors [J]. Prob Math Stat, 1980, 1: 133-150.

A result of the law of large numbers for weighted empirical processes

LIU Ji-ding, WANG Tao, CHEN Pan

(School of Sciences, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Convergence for the weighted sums whose weighting coefficients is provided with some weaker natures in empirical processes is investigated. With the probability inequality and the symmetrization skill which have been obtained in empirical processes, it is obtained that almost sure convergence and convergence in probability of the weighted Marcinkiewicz sums of a sequence of random elements that are independent and identically distributed in empirical processes are equivalent under the condition $E \| f(X_0) \|_p^p < \infty (p > 1)$.

Key words: empirical processes; weighted sums of random elements; symmetrization; almost sure convergence

本文编辑: 萧 宁



(上接第 116 页)

Study of reliability analysis on flat ribbon-wound pressure vessels

WU Yuan-xiang, LIU Xiao-ning

(Department of Mechanical Manufacture Engineering,

Wuhan Polytechnic College of Software and Engineering, Wuhan 430205, China)

Abstract: By using reliability design methods, minimal reliability of virgin static strength of flat ribbon wound pressure vessels at pressure test is quantitative analyzed. The results shows that: the reliability of virgin yield strength is equal to $R_{s1} = 91.924\% \sim 98.610\%$ or $R_{s2} = 75.80\% \sim 85.99\%$ under barometrical or hydraulic pressure test. the reliability of virgin explosion strength is equal to $R_{b1} = 99.7445\% \sim 99.999\,999\,992\,23\%$ or $R_{b2} = 98.442\% \sim 99.999\,994\,0\%$ when barometrical or hydraulic pressure test.

Key words: flat ribbon-wound pressure vessels; pressure test; virgin static strength; reliability

本文编辑: 陈晓革