

文章编号:1674-2869(2008)03-0114-04

扁平绕带式容器试验压力系数与安全系数分析

吴元祥,张红卫,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:应用基于随机-模糊概率模型的可靠性设计理论与方法,从控制扁平绕带式容器静强度在压力试验和正常操作时模糊可靠度范围的角度,对其试验压力系数和安全系数进行了探索。结果表明:基于模糊可靠度分析的抗拉安全系数应不小于2.30;屈服安全系数应不小于1.45;扁平绕带式容器试验压力系数,在气压试验时应不小于1.08但不大于1.18,液压试验时应不小于1.08但不大于1.33。

关键词:扁平绕带式容器;压力试验;静强度;模糊可靠度;试验压力系数;安全系数

中图分类号:TH 49; TQ 051 文献标识码:A

0 引言

为确保扁平绕带式容器的安全可靠,对于新制造或检修后再用的扁平绕带式容器,须经压力试验检验合格后才能投入使用^[1]。如果把试验压力与设计压力的比值定义为试验压力系数 λ ,有关标准基于长期实践证明可取 $\lambda=1.15$ (气压试验)或 $\lambda=1.25$ (液压试验)。

试验压力系数取值是涉及到扁平绕带式容器安全性的一个重要问题,笔者应用基于随机-模糊概率模型的可靠性设计理论与方法,从控制扁平绕带式容器静强度(屈服强度与爆破强度)在压力试验和正常操作时模糊可靠度范围的角度,对其试验压力系数与安全系数的关系进行了定量的探索分析。

1 理论分析

扁平绕带式容器静强度的可靠度,是指其屈服强度或爆破强度大于载荷的概率,因此决定可靠度的功能函数为

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

式(1)中, p_r 为容器的静强度,MPa; p_l 为容器的载荷,MPa。

由于 p_r 与 p_l 基本符合正态分布^[2,3],应用基于随机-模糊概率模型的可靠性设计理论与方法^[4,5],不难得到在一定置信度下可靠度系数的可能较小值 β^l 与较大值 β^u 为

$$\beta^l = \frac{\mu_{pr}^l - \mu_{pl}^u}{\sqrt{(S_{pr}^u)^2 + (S_{pl}^u)^2}} \quad (2)$$

$$\beta^u = \frac{\mu_{pr}^u - \mu_{pl}^l}{\sqrt{(S_{pr}^l)^2 + (S_{pl}^l)^2}} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中, β 为可靠度系数; μ_{pr} 、 S_{pr} 分别为 p_r 的均值与标准差; μ_{pl} 、 S_{pl} 分别为 p_l 的均值与标准差。

上标 l 与 u 分别表示分布参数在一定置信度下可能的较小值与较大值。

可靠度系数的取值范围为: $\beta = \beta^l \sim \beta^u$,由 β^l 与 β^u 查正态分布积分表,可得对应的可靠度范围为

$$R = \Phi(\beta^l) \sim \Phi(\beta^u)$$

压力试验时容器的试验压力为

$$\mu_{pT} = \lambda K_t p \quad (4)$$

式(4)中, μ_{pT} 为试验压力的均值; λ 为试验压力系数; K_t 为温度系数, $K_t = [\sigma]/[\sigma]^t$,本研究中取 $K_t = 1$; $[\sigma]$ 、 $[\sigma]^t$ 分别为容器材料在常温与设计温度下的许用应力,MPa; p 为设计压力,MPa。在最苛刻的试验条件下,有

$$\frac{(\mu_r^l \sim \mu_r^u) p_{my}}{\mu_{pT}} = (\mu_r^l \sim \mu_r^u) \frac{n_r}{\lambda} \quad (5)$$

式(5)中, μ_r 为静强度统计量的均值; p_{my} 为静强度的名义值,在屈服与爆破失效准则下,容器屈服强度名义值为 p_{ms} ,爆破压力名义值为 p_{mb} ; n_r 为常规安全系数, $n_r = p_{my}/p$,在屈服失效与爆破失效准则下,分别取屈服安全系数 n_s 与抗拉安全系数 n_b 。

如果已知在不同试验条件下,静强度的可靠度系数范围为 $\beta^l \sim \beta^u$,则把式(2)与式(3)代入式(5),可知试验压力系数取值的上限范围由式(6)与式(7)的较小值确定^[5]:

$$\lambda_1 \leq \frac{\mu_r^l [1 - (\beta^u C_{pr}^u)^2] n_r}{1 + \beta^l \sqrt{(C_{pr}^u)^2 + (C_{pr}^u)^2 - (\beta^l C_{pr}^u C_{pl}^u)}} \quad (6)$$

收稿日期:2008-03-07

基金项目:武汉市教育局科学技术研究项目(2007K86)。

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。

$$\lambda_u \leq \frac{\mu_r [1 - (\beta^u C_{pr}^l)^2] n_r}{1 + \beta^u \sqrt{(C_{pr}^l)^2 + (C_{pl}^l)^2} - (\beta^u C_{pr}^l C_{pl}^l)^2} \quad (7)$$

式(6)、(7)中, λ_l 、 λ_u 分别为与 β^l 和 β^u 对应的试验压力系数; C_{pr} 、 C_{pl} 分别为 p_r 、 p_l 的变异系数。

在 95% 的置信度下, 试验压力系数取值的下限为^[6~8]

$$\lambda \geq \frac{1}{1 - 1.645 C_{pl}^u} \quad (8)$$

2 分布规律与分布参数

2.1 屈服强度与爆破强度的预测公式

扁平绕带式容器屈服强度与爆破强度的预测值为^[4]

$$p_r = \sigma_1 \ln K_1 + \sigma_2 \cot^2 \alpha (K_2^{\sin^2 \alpha} - 1) \quad (9)$$

式(9)中, K_1 为内筒径比 $K_1 = r_l / r_i$; r_i 、 r_l 分别为内筒的内、外半径, mm; α 为绕带层的缠绕倾角, °; K_2 为绕带层径比, $K_2 = r_0 / r_1$; r_0 为绕带层外半径, mm; σ_1 、 σ_2 分别为内筒与绕带层材料机械性能参数, MPa。

当 K_1 、 K_2 分别取内筒径比与绕带层径比名义值, σ_1 、 σ_2 分别取内筒与绕带层材料机械性能参数的名义值时, 用式(9)计算得到的是容器静强度名义值 p_{my} ; 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_{my} 为容器屈服强度名义值 p_{ms} ; 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_{my} 为容器爆破强度名义值 p_{mb} 。

2.2 屈服与爆破强度的分布参数

当用式(9)预测扁平绕带式容器屈服强度与爆破强度时, 随机屈服强度 p_s 与随机爆破强度 p_b 基本符合正态分布, 分布参数可按表 1 选取^[2]。

表 1 屈服强度与爆破强度的分布参数

参数	取值范围	参数	取值范围
μ_s	1.021 8~1.094 0	μ_b	1.021 8~1.094 0
S_{ps}	0.100 0~0.140 8	S_{pb}	0.069 87~0.127 3
C_{ps}	0.083 56~0.137 8	C_{pb}	0.063 87~0.124 6

2.3 试验压力的分布参数

压力试验时试验压力的变异系数为: $C_{pl}^u = C_{pl}^l = C_{pl} = 0.045$; 正常操作时操作压力的变异系数^[3]为: $C_{pl}^u = C_{pl}^l = C_{pl} = 0.091$ 。

3 模糊可靠度系数的确定

在最苛刻的试验条件下, 即试验应力水平 $\sigma_T = 0.8\sigma_s$ (气压试验) 或 $\sigma_T = 0.9\sigma_s$ (液压试验) 时, 文献[4]已经分析并得到了扁平绕带式容器屈服

强度与爆破强度模糊可靠度。根据文献[4]的分析, 容器静强度在压力试验与正常操作时的模糊可靠度取值范围与相应的可靠度系数, 可按表 2 选取。

表 2 屈服与爆破强度的模糊可靠度

失效准则	工作状态	参数	取值范围
屈服失效	气压试验	R_s	0.919 24~0.986 10
屈服失效	气压试验	β	1.40~2.20
屈服失效	液压试验	R_s	0.758 0~0.859 9
屈服失效	液压试验	β	0.70~1.08
屈服失效	正常操作	R_s	0.919 24~0.986 10
屈服失效	正常操作	β	1.40~2.20
爆破失效	气压试验	R_b	0.997 445~0.9 ¹⁰ 223*
爆破失效	气压试验	β	2.80~6.40
爆破失效	液压试验	R_b	0.984 22~0.9 ¹ 40
爆破失效	液压试验	β	2.15~5.29
爆破失效	正常操作	R_b	0.997 445~0.9 ¹⁰ 223
爆破失效	正常操作	β	2.80~6.40

注: * 0.9¹⁰223=0.999 999 999 9223, 以此类推。

4 试验压力系数

4.1 试验压力系数下限

由式(8)可知, 试验压力系数取值的下限与失效准则无关, 只与压力试验时试验压力的变异系数有关, λ 的下限为:

$$\lambda \geq \frac{1}{1 - 1.645 \times 0.045} = 1.08$$

4.2 试验压力系数上限

把表 1 与表 2 及有关数据代入式(6)与式(7), 并取屈服安全系数 $n_s = 1.45$ 与抗拉安全系数 $n_b = 2.30$, 可得 λ 的上限范围, 如表 3 所示。

表 3 λ 上限范围

参数	取值范围
安全系数 n_s	1.45
气压试验 λ	1.186 2~1.268 8
液压试验 λ	1.332 7~1.427 2
安全系数 n_b	2.30
气压试验 λ	1.508 5~1.410 4
液压试验 λ	1.699 4~1.586 0

4.3 试验压力系数取值范围

当用式(9)预测扁平绕带式容器的静强度时, 由表 3 可知, 如果取屈服安全系数 $n_s = 1.45$, 抗拉安全系数 $n_b = 2.30$, 则在气压试验时, 试验压力系数取值范围为 $1.08 \leq \lambda \leq 1.18$; 在液压试验时, 试验压力系数取值范围为 $1.08 \leq \lambda \leq 1.33$ 。

5 安全系数 n_s 与 n_b 取值的讨论

把式(6)与式(7)变形可得

$$n_r \geq \frac{\lambda_r [1 + \beta^l \sqrt{(C_{pr}^u)^2 + (C_{pl}^u)^2} - (\beta^l C_{pr}^u C_{pl}^u)^2]}{\mu_r^l} \quad (10)$$

与

$$n_r \geq \frac{\lambda_u}{\mu_r} \frac{1 + \beta^u \sqrt{(C_{pr}^i)^2 + (C_{pl}^i)^2 - (\beta^u C_{pr}^i C_{pl}^i)^2}}{1 - (\beta^u C_{pr}^i)^2} \quad (11)$$

扁平绕带式容器正常操作相当于 $\lambda_1 = \lambda_u = 1^{[3]}$ 。

5.1 常规屈服安全系数

把表1与表3的有关数据代入式(10)与式(11)中,可得按模糊可靠度要求的常规屈服安全系数,如表4所示。

表4 按模糊可靠度确定的常规屈服安全系数

工况	参数	取值范围
气压试验	β	1.40~2.20
	n_s	1.45~1.45
液压试验	β	0.70~1.08
	n_s	1.45~1.45
正常操作	β	1.40~2.20
	n_s	1.25~1.20

由表4可知,可取常规屈服安全系数 $n_s \geq 1.45$ 。

5.2 常规抗拉安全系数

把表3与表4的有关数据代入式(9)与式(10)中,可得按模糊可靠度要求的常规抗拉安全系数,如表5所示。

表5 按模糊可靠度确定的常规抗拉安全系数

工况	参数	取值范围
气压试验	β	2.80~6.40
	n_b	2.30~2.30
液压试验	β	2.15~5.29
	n_b	2.30~2.30
正常操作	β	2.80~6.40
	n_b	1.59~1.83

由表5可知,可取常规抗拉安全系数 $n_b \geq 2.30$ 。

6 结 语

a. 基于随机-模糊概率模型的可靠性设计理论与方法,建立了确定扁平绕带式容器试验压力系数与安全系数关系的力学模型。

b. 用式(9)计算扁平绕带式容器的静强度,如果要求扁平绕带式容器屈服强度在气压试验条件下的模糊可靠度范围为 91.924%~98.610%,在液压

试验时为 75.80%~85.99%,在正常操作条件下的模糊可靠度范围为 91.924%~98.610%,可取常规屈服安全系数 $n_s \geq 1.45$;如果要求扁平绕带式容器爆破强度在气压试验条件下的模糊可靠度范围为 99.7445%~99.999 999 992 23%,在液压试验时为 98.422%~99.999 994 0%,在正常操作条件下的模糊可靠度范围为 99.7445%~99.999 999 992 23%,可取常规抗拉安全系数 $n_b \geq 2.30$ 。

c. 用式(9)计算扁平绕带式容器的静强度,取常规屈服安全系数 $n_s \geq 1.45$ 与常规抗拉安全系数 $n_b \geq 2.30$,在气压试验条件下,如果要求扁平绕带式容器屈服强度和爆破强度的模糊可靠度范围分别为 91.924%~98.610% 与 99.7445%~99.999 999 992 23%,可取试验压力系数范围为 $1.08 \leq \lambda \leq 1.18$;在液压试验时,如果要求扁平绕带式容器屈服强度与爆破强度的模糊可靠度范围分别为 75.80%~85.99% 与 98.422%~99.999 994 0%,可取试验压力系数范围为 $1.08 \leq \lambda \leq 1.33$ 。

参考文献:

- [1] 朱国辉,陈志平,郑传祥,等. 新型绕带式压力容器的突出发展优势[J]. 化工机械, 2000, 27(3): 162~166.
- [2] 刘小宁. 扁平绕带式压力容器模糊静强度的确定. 化工设计, 2007, 17(6): 23~26.
- [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] 吴元祥,刘小宁. 扁平绕带式容器的可靠性研究[J]. 武汉工程大学学报, 2008, 30(2): 115~116.
- [5] 刘小宁. 基于失稳失效准则的外压薄壁圆筒试验压力[J]. 石油化工设备, 2007, 36(6): 51~54.
- [6] 刘小宁. 钢制压力容器试验压力的研究[J]. 石油化工设备技术, 2004, 25(4): 4~7.
- [7] 刘小宁. 基于屈服失效准则的薄壁容器试验压力系数[J]. 化工机械, 2005, 32(2): 32~34.
- [8] 刘小宁. 基于爆破失效准则的薄壁容器试验压力系数[J]. 石油化工设备, 2006, 35(1): 26~28.

Analysis on testing pressure coefficient and safety factor of flat ribbon-wound pressure vessels

WU Yuan-Xiang, ZHANG Hong-wei, LIU Xiao-ning

(Department of Mechanical Manufacture Engineering, Wuhan Polytechnic College of Software and Engineering, Wuhan 430205, China)

Abstract: Applying the reliability design theory and methods based on random-fuzzy probability model,

it is quantitatively analyzed that reliability range of virgin static strength of flat ribbon-wound pressure vessels at pressure test and normal operation. The flat ribbon-wound pressure vessels testing coefficient and safety factor are researched in keeping a firm on side of minimal virgin reliability in different mode of working conditions. It was concluded that; based on fuzzy reliability analysis, the bursting safety factor is equal to or greater than 2.30 and the yield safety factor is equal to or greater than 1.45. The range of testing pressure coefficient is equal to or not less than 1.08 and not greater than 1.18 under barometrical pressure test, and it is equal to or not less than 1.08 and not greater than 1.33 when hydraulic pressure test.

Key words: flat ribbon-wound pressure vessels; pressure test; static strength; fuzzy reliability; testing pressure coefficient; safety factor

本文编辑:陈晓革



(上接第106页)

The application of DC-DC conversion in photovoltaic system maximum power point tracking

YANG Fan, PENG Hong-wei, HU WEI-bing

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper describes the method of maximum power point tracker with MCU C8051F020 controlling in photovoltaic system, especially introduces the techniques and principle of DC-DC conversion. Maximum power point tracker is implemented with a DC-DC conversion topology. The system is simple with good response speed. And the efficiency of system is approved apparently with the method.

Key words: DC-DC conversion; maximum power point tracking; photovoltaic system

本文编辑:陈晓革



(上接第109页)

The nonlinear compensation method analysis of the platinum resistor

WEN Xiao-ling, ZHENG Yao-zhong

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The traditional temperature measurement circuit and an improved circuit are analyzed in this paper, the improved circuit can be used to eliminate the influence of the wire resistance on the accuracy of temperature measurement. At the same time, the sub-least-squares method is used to fit the curve of voltage varying with temperature in order to reduce the measurement error caused by the nonlinearity of the platinum resistor temperature resistance curve.

Key words: platinum resistor; temperature measurement; nonlinearity; sub least squares method

本文编辑:陈晓革