

文章编号:1674-2869(2015)07-0049-06

单层与多层球形容器爆破压力的概率分布

刘小宁^{1,2}, 刘 岑², 张红卫¹, 刘 兵¹, 袁小会¹, 陈 刚¹

1. 武汉软件工程职业学院机械工程学院, 湖北 武汉 430205;

2. 武汉工程大学机电工程学院, 湖北 武汉 430205

摘 要:为了建立压力容器可靠性设计方法, 基于 59 组实测数据, 应用数理统计理论与方法, 定量分析了材料屈服比范围为 0.336 2~0.847 5 与径比范围为 1.053~1.257 的单层与多层球形容器爆破压力的概率分布。结果表明, 在显著度为 0.05 时, 其爆破压力的实测值与中径公式计算值之比, 是基本符合正态分布的随机变量; 在双侧置信度为 98% 时, 该随机变量的均值为 1.001 3~1.049 7, 标准差为 0.068 95~0.095 95; 在可靠度为 99.98% 时, 爆破压力的实测值与中径公式计算值与之比 0.644 5~1.358 1。

关键词:单层与多层; 球形容器; 爆破压力; 中径公式; 概率分布

中图分类号: TH 49

文献标识码: A

doi: 10. 3969/j. issn. 1674-2869. 2015. 07. 011

0 引 言

球形容器是压力容器的常见类型, 也是石油、化工、医药与能源等行业的常用设备。球形容器的结构可分为单层与多层两种形式。目前, 工程上采用确定性方法设计球形容器, 即采用中径公式计算球形容器爆破压力并确定容器壁厚^[1-2]。

由于容器的几何尺寸、容器制造材料的抗拉强度存在随机不确定性^[3], 因此, 基于随机不确定性, 探索球形容器爆破压力概率分布, 是建立压力容器可靠性设计方法的基础, 也是工程界研究的热点课题^[4-7]。分析球形容器爆破压力概率分布包括两方面, 一是研究爆破压力分布规律, 即分析其概率密度函数的形式, 二是探讨分布参数的取值范围。对于用相同材料制造的单层与多层球形容器, 文献[8-9]基于少量试验数据, 定性分析了其爆破压力的分布规律与参数。

文中以用相同或者不同材料制造的单层与多层球形容器为研究对象, 基于容器爆破压力的 59 组试验数据^[10-12], 应用数理统计理论与方法^[3, 13-16], 定量研究了球形容器爆破压力的分布规律与分布参数的取值范围。

1 理论分析

1.1 球形容器爆破压力计算公式

为研究方便, 对球形容器作如下基本假设:

1) 球形容器有 n 层, 每层球壳材料有足够韧性, 不发生低应力破坏; 2) 在内压作用下, 每层球壳变形后形状保持不变, 材料的压缩可忽略不计; 3) 每层球壳的间隙足够小, 即容器各层球壳同时爆破, 多层球形容器的爆破压力为每层球壳爆破压力之和。

如果不考虑有关因素的不确定性, 采用中径公式时, 球形容器爆破压力的计算值 u_b 为

$$u_b = 4 \sum_{i=1}^n \varphi_i R_{mi}' \frac{K_i' - 1}{K_i' + 1} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式(1)中, u_b 为采用中径公式(1)得到的球形容器爆破压力计算值, MPa; R_{mi}' 为第 i 层球壳材料抗拉强度的均值, MPa; K_i' 为第 i 层球壳径比的均值, $K_i' = D_{i+1}/D_i$; D_i, D_{i+1} 分别为第 i 层球壳内、外直径的均值; φ_i 为第 i 层球壳焊接接头系数的均值。

如果考虑有关因素的不确定性, 用中径公式可得到球形容器爆破压力的预测值 u_b' 为

$$u_b' = 4 \sum_{i=1}^n \varphi_i R_{mi}' \frac{K_i' - 1}{K_i' + 1} \quad (2)$$

式(2)中, u_b' 为采用中径公式(1)得到的球形容器爆破压力预测值, MPa; R_{mi}' 为第 i 层球壳材料抗拉强度的实测值, MPa; K_i' 为第 i 层球壳径比的实测值, $K_i' = D_{i+1}'/D_i'$; D_i', D_{i+1}' 分别为第 i 层球壳内、外直径的实测值; φ_i' 为第 i 层球壳焊接接头系数的实测值。

收稿日期: 2015-05-07

基金项目: 湖北省教育厅科研资助项目(B2014209)

作者简介: 刘小宁(1963-), 男, 湖北武汉人, 教授, 正高职高级工程师。研究方向: 机械结构与压力容器可靠性等。

1.2 构建具有统计性质的随机变量

为分析球形容器爆破压力的概率分布,构建如下随机变量:

$$r = \frac{P_b}{u_b} \cdot \frac{u_b'}{u_b} = r_1 \cdot r_2 \quad (3)$$

式(3)中, P_b 为球形容器爆破压力的实测值, MPa; r 为与式(1)对应的随机变量; r_1 为容器爆破压力实测值与预测值的比值; r_2 为容器爆破压力预测值与计算值的比值。

根据数理统计理论^[3,13-15], 当 r_1 和 r_2 基本符合正态分布时, r 也基本符合正态分布时, 如果已知 r_1 和 r_2 在 $(1-\alpha)$ 的双侧置信度时分布参数范围

$$\mu_1 = \mu_1^l \sim \mu_1^u, S_1 = S_1^l \sim S_1^u \quad (4)$$

$$\mu_2 = \mu_2^l \sim \mu_2^u, S_2 = S_2^l \sim S_2^u \quad (5)$$

式(4~5)中, μ_1, μ_2 分别为 r_1, r_2 的均值; S_1, S_2 分别为 r_1, r_2 的标准差。在一定置信度下, 上标 l 与 u 分别表示分布参数的较小值与较大值。

根据可靠性理论与方法^[3,14-15], 在 $(1-\alpha)$ 的双侧置信度时, r 的参数范围由式(4)与式(5)可得

$$\mu = \mu^l \sim \mu^u = \mu_1 \times \mu_2 = \mu_1^l \times \mu_2^l \sim \mu_1^u \times \mu_2^u \quad (6)$$

$$S = S^l \sim S^u =$$

$$\sqrt{(\mu_1^l S_1^l)^2 + (\mu_2^l S_2^l)^2} \sim \sqrt{(\mu_1^u S_1^u)^2 + (\mu_2^u S_2^u)^2} \quad (7)$$

式(7)中, μ, S 分别为 r 的均值与标准差。

1.2.1 r_1 的概率分布 当 r_1 基本符合正态分布时, 其分布参数必须由容器爆破压力实测值与预测值的比值来确定, 对于 m 组有效实测数据, 根据式(3)可得到第 j 组实验数据的统计量为

$$r_{1j} = \frac{P_{bj}}{u_{bj}'} \quad (8)$$

式(8)中, P_{bj} 为第 j 组容器爆破压力的实验值, MPa; U_{bj}' 为第 j 组容器爆破压力预测值, MPa。

r_1 的准确度与精密度分别为

$$\bar{r}_{1m} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m r_{1j} \quad (9)$$

$$S_{1m} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (r_{1j} - \bar{r}_{1m})^2} \quad (10)$$

式(9~10)中, m 为有效试验数据组数; \bar{r}_{1m}, S_{1m} 分别为 r_1 的准确度与精密度。

在 $(1-\alpha)$ 的双侧置信度时, r_1 的均值与标准差的分布区间为^[3,14-15]

$$\mu_1 = [\mu^l, \mu^u] =$$

$$\left[\bar{r}_{1m} - t_{m-1, 1-0.5\alpha} \frac{S_{1m}}{\sqrt{m-1}}, \bar{r}_{1m} + t_{m-1, 1-0.5\alpha} \frac{S_{1m}}{\sqrt{m-1}} \right] \quad (11)$$

式(11)中, $t_{m-1, 0.5\alpha}, t_{m-1, 1-0.5\alpha}$ 分别是单侧置信度为

0.5α 与 $(1-0.5\alpha)$ 时的 t 分布系数。

$$S_1 \in [S_1^l, S_1^u] =$$

$$\left[S_{1m} \sqrt{\frac{m}{\chi_{m-1, 1-0.5\alpha}^2}}, S_{1m} \sqrt{\frac{m}{\chi_{m-1, 1-0.5\alpha}^2}} \right] \quad (12)$$

式(12)中, $\chi_{m-1, 1-0.5\alpha}^2, \chi_{m-1, 0.5\alpha}^2$ 分别是单侧置信度为 $(1-0.5\alpha)$ 与 0.5α 时的 χ^2 分布系数。

文中所用的有关系数如表 1 所示^[3,13-15]。

表 1 系数

Table 1 Coefficient

	系数				
	$t_{10,0.99}$	$\chi_{1,0.88}^2$	$\chi_{10,0.01}^2$	$\chi_{10,0.99}^2$	$\phi_{(3,719)}$
取值	2.764	3.841	23.209	2.558	0.999 8

1.2.2 r_2 的概率分布 由于影响爆破压力预测值的物理量是随机变量, 有关国家通过标准限制这些物理量的误差范围, 把其控制在允许值内, 因此, r_2 基本符合正态分布。对于按标准设计、制造与检验的球形容器^[1-2], 在双侧置信度为 $(1-\alpha)$ 时, r_2 的均值与标准差的分布区间为^[8-9]

$$\mu_2 = \mu_2^l \sim \mu_2^u = 1.0 \quad (13)$$

$$S_2 = S_2^l \sim S_2^u = 0.068\ 83 \sim 0.073\ 30 \quad (14)$$

1.2.3 r 分布的概率密度函数 根据数理统计理论^[3,13-15], 当 r_1, r_2 基本符合正态分布时, r 也基本符合正态分布, 其概率密度函数为

$$f(r) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(r-\mu)^2}{2S^2}\right] \quad (15)$$

1.3 P_b 的概率分布

在相同的试验条件时, 爆破压力的计算值 u_b 是确定量, 如果 P_b 也基本符合正态分布, 取双侧置信度为 $(1-\alpha)$, 根据式(1)、式(3)、式(6)与式(7)可知, P_b 的均值与标准差的分布区间为

$$\mu_{pb} = \mu \cdot u_b \in [\mu^l u_b, \mu^u u_b] \quad (16)$$

$$\sigma_{pb} = S \cdot u_b \in [S^l u_b, S^u u_b] \quad (17)$$

式(16~17)中, μ_{pb}, σ_{pb} 分别为 P_b 的均值与标准差。

P_b 分布的概率密度函数为

$$f(P_b) = \frac{1}{\sigma_{pb}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(P_b - \mu_{pb})^2}{2\sigma_{pb}^2}\right] \quad (18)$$

将式(16)与式(17)代入式(18)可得

$$f(P_b) = \frac{1}{u_b S \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(r-\mu)^2}{2S^2}\right] = \frac{f(r)}{u_b} \quad (19)$$

若试验条件相同, 由式(1)得到的爆破压力计算值 u_b 是确定量, 根据式(19)可知, P_b 与 r 的分布规律相同, 即 P_b 基本符合正态分布, 但是两者的分布参数不同。

1.4 P_b 的取值区间

根据式(16)与式(17),取 P_b 最苛刻的分布参数为 $(\mu^l u_b, S^u u_b)$ 时,爆破压力的实测值位于取值区间

$$P_b \in [\mu^l u_b - \beta S^u u_b, \mu^l u_b + \beta S^u u_b] \tag{20}$$

的可靠度为

$$R = \phi(\beta) \tag{21}$$

式(21)中, β 为可靠度系数; $\phi(\beta)$ 为标准正态积分。

2 概率分布的假设检验与分布参数

2.1 实测数据及有效性分析

文献[10]提供了 4 组单层球形容器爆破压力实测数据,文献[11]提供了 7 组由相同或者不同材料制造的多层球形容器爆破压力实测数据,有关的试验数据如表 2 所示. 关于 r_1 统计量的准确度与精密度如表 3 所示.

表 2 单层与多层球形容器的爆破压力试验数据

Table 2 Single-layer and multilayer spherical vessel burst pressure test data

序号	K	n	材料机械性能					实测爆破压力 P_{ij}/MPa
			层序 i	材料	每层厚度/mm	抗拉强度 R_m/MPa	屈强比 η_i	
1	1.128	1	1	16Mn	—	519.0	0.618 1	127.5
2	1.128	1	1	16Mn	—	507.2	0.591 9	124.6
3	1.128	1	1	16Mn	—	507.2	0.591 9	125.1
4	1.128	1	1	16Mn	—	470.9	0.618 9	117.7
5	1.053	2	1~2	SPV24	6	430	0.720 9	45.0
6	1.107	4	1~4	SPV24	6	430	0.720 9	91.0
7	1.080	3	1	SPV24	6	430	0.720 9	87.0
			2~3	SPV36	6	580	0.810 3	
8	1.107	4	1	SPV24	6	430	0.720 9	112.5
			2~4	SPV36	6	590	0.779 7	
9	1.107	4	1~4	SPV46	6	590	0.8305	115.0
			1	SPV24	6	430	0.720 9	
10	1.107	4	3	SPV36	6	570	0.824 6	116.0
			2,4	SPV36	6	590	0.779 7	
			1	SPV24	10	460	0.782 6	
11	1.077	6	2,5	SPV36	6	590	0.847 5	85.0
			4,6	SPV36	6	590	0.813 6	
			3	SPV36	6	590	0.847 5	

表 3 r_1 的统计数据

Table 3 Statistics data of r_1

序号	P_{ij}/MPa	公式(1)	
		u_j/MPa	r_{ij}
1	127.5	124.9	1.020 8
2	124.6	122.0	1.021 3
3	125.1	122.0	1.025 4
4	117.7	113.3	1.038 8
5	45.0	44.5	1.011 2
6	91.0	87.2	1.043 6
7	87.0	81.4	1.068 8
8	112.5	111.2	1.011 7
9	115.0	119.6	0.961 5
10	116.0	110.2	1.052 6
11	85.0	82.9	1.025 3
r_{1m}		1.025 5	
S_{1m}		0.027 65	

由于试验数据有效性对物理量概率分布的分析有重要影响^[13-15],因此,在双侧置信度为 98% 时,必须分析表 2 中试验数据的有效性. 采用文献[14]的方法可知,有效性判别指标的绝对值均小于 $t_{10,0.99}$ (等于 2.764),表明有 98% 的把握认为表 2 中试验数据都是有效的.

2.2 r_1 概率分布的假设检验

对 r_1 概率分布可采用假设检验的方法为^[3,14-16],假设 r_1 基本符合正态分布,根据 11 个有效试验数据,因为 $1+3.3\lg 11=4.44$,因此,把 $r_{11}, r_{12}, \dots, r_{111}$ 分为 4 个区间,其 $f=4-1-2=1$,取 $\delta=0.05$,由表 1 可知,皮尔逊统计量的允许值 $\chi^2_{1,0.05}=3.841$. 每个分组区间的皮尔逊统计量之和如表 4 所示.

由表 4 可知,当用式(1)计算球形容器爆破压力时, r_1 的皮尔逊统计量 χ^2_σ 为 0.675 2,小于临界值 3.841,表明在显著度为 0.05 时, r_1 基本符合正态分布.

表 4 r_1 的皮尔逊统计量 χ^2_σ
Table 4 Statistic χ^2_σ of r_1

序号	分组区间 $[a_j, a_{j+1}]$	实际频数 N_j	理论概率 p_j	理论频数 $(m-q)\times p_j$	$\frac{[N_j-(m-q)p_j]^2}{(m-q)\cdot p_j}$	χ^2_σ	备注
1	[0.961 5, 0.988 3]	1	0.078 1	0.859 1	0.023 1	0.675 2	$m=11$ $q=0$
2	[0.988 3, 1.015 1]	2	0.263 5	2.898 5	0.278 5		
3	[1.015 1, 1.042 0]	5	0.373 7	4.110 7	0.192 4		
4	[1.042 0, 1.068 8]	3	0.216 1	2.377 1	0.163 2		

2.3 r 分布参数的取值区间

当球形容器材料屈强比范围为 0.591 9~0.847 5, 径比范围为 1.053~1.128 时, 由于 r_1 基本符合正态分布, 因此, 取双侧置信度为 98%, 将表 3 中有关统计数据代入式(11)与式(12), 得到 r_1 分布参数的取值区间

$$\mu_1 \in [1.001\ 3, 1.049\ 7] \quad (22)$$

$$S_1 \in [0.001\ 90, 0.057\ 33] \quad (23)$$

由以上分析可知, r 基本符合正态分布, 将式(22)、式(23)、式(13)、式(14)代入式(6)与式(7), 可得到 r 分布参数在双侧置信度为 98%时的取值区间

$$\mu \in [1.001\ 3, 1.049\ 7] \quad (24)$$

$$S \in [0.068\ 95, 0.095\ 95] \quad (25)$$

2.4 P_b 的概率分布

根据以上分析, r_1 与 r 基本符合正态分布, 因此, 用式(1)计算球形容器爆破压力时, P_b 基本符合正态分布, 把式(24)与式(25)代入式(16)与式

(17), 在 98%的双侧置信度时, 球形容器爆破压力 P_b 参数的分布区间

$$\mu_{pb} \in [1.001\ 3u_b, 1.049\ 7u_b] \quad (26)$$

$$\sigma_{pb} \in [0.068\ 95u_b, 0.095\ 95u_b] \quad (27)$$

2.5 实测爆破压力的取值区间

根据式(26)与式(27), 爆破压力最苛刻分布参数为 $(\mu'u_b, S'u_b) = (1.001\ 3u_b, 0.095\ 95u_b)$ 时, 取可靠度为 $R = \Phi(3.719) = 99.98\%$, 将有关数据代入式(20), 可得实测爆破压力的取值区间

$$P_b \in [0.644\ 5u_b, 1.358\ 1u_b] \quad (28)$$

即有 99.98%的把握认为, 球形容器实测爆破压力的取值区间由式(28)确定。

3 验 证

为证明式(28)的正确性, 应用文献[12]提供的 48 组单层特种球形容器实测爆破压力进行验证, 如表 5 所示。

表 5 48 组单层球形容器实测爆破压力的验证

Table 5 Verification of 48 groups burst pressure measured of single-layer spherical vessel

序号	径比 K	抗拉强度 R_m/MPa	屈强比 η_i	实测爆破压力 P_{bi}/MPa	爆破压力取值区间/ MPa
1~3	1.114	574.2	0.449 8	115.0	[79.85, 168.27]
4~6	1.154	574.2	0.449 8	125.1	[105.83, 223.00]
7~9	1.199	660.0	0.336 2	233.9	[153.97, 324.45]
10~12	1.222	723.5	0.520 8	256.5	[186.32, 392.63]
13~15	1.257	723.5	0.520 8	220.5	[212.36, 447.49]
16~19	1.139	574.2	0.449 8	112.4	[96.22, 202.76]
20~25	1.148	574.2	0.449 8	128.7	[102.02, 214.99]
26~28	1.109	660.0	0.336 2	112.8	[87.91, 185.24]
29~31	1.114	723.5	0.520 8	143.3	[98.67, 207.93]
32~37	1.146	723.5	0.520 8	181.0	[126.71, 267.00]
38~42	1.159	723.5	0.520 8	180.9	[137.34, 289.41]
43~48	1.171	723.5	0.520 8	201.3	[146.88, 309.51]

由表 5 可知, 48 组单层特种球形容器爆破压力实测值, 均在式(28)的取值区间内, 表明对于径比范围为 1.114~1.257 与屈强比范围为 0.336 2~0.520 8 的单层球形容器, 文中的分析与研究也有

一定的试验基础。

4 结 语

对于单层球形容器, 以及用相同或者不同材

料制造的多层球形容器,基于59组材料屈服比范围为0.336 2~0.847 5,径比范围为1.053~1.257的球形容器爆破压力的实测数据,定量分析与验证了其爆破压力概率分布,研究表明:

a.显著度为5%时,球形容器爆破压力实验值与中径公式计算值的比值,是基本符合正态分布的随机变量;在98%的双侧置信度时,该随机变量均值的范围为1.001 3~1.049 7,标准差的范围为0.068 95~0.095 95.

b.可靠度为99.98%时,球形容器爆破压力实测值与中径公式计算值之比不小于0.644 5但不大于1.358 1.

c.用中径公式计算球形容器爆破压力,会出现计算值大于实测值的结果.

致 谢

感谢湖北省教育厅科研项目(B2014209)对本研究的资助!

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB 150.1~150.4-2011, 压力容器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
National Standard of the People's Republic of China. GB 150-2011 Steel pressure vessel [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2012.(in Chinese).
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB12337-1998, 钢制球形储罐[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
National Standard of the People's Republic of China. GB 12337-1998 Steel spherical tanks [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1998. (in Chinese)
- [3] 徐灏. 机械强度的可靠性设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
XU Hao. Mechanical strength reliability design [M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 1984. (in Chinese)
- [4] 袁小会, 刘岑, 吴元祥, 等. 单层厚壁圆筒容器爆破压力的分布规律与参数 [J]. 武汉工程大学学报, 2014, 36(2): 49-55.
YUAN Xiao-hui, LIU Cen, WU Yuan-xiang, et al. Distribution law and parameters of monolayer thick-wall cylindrical vessel burst pressure [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2014, 36 (2): 49-55. (in Chinese)
- [5] 刘小宁, 张红卫, 韩春鸣, 等. 耐压试验时薄壁内压力容器静强度的可靠度 [J]. 机械设计与研究, 2013, 29(1): 39-40, 45.
LIU Xiao-ning, ZHANG Hong-wei, HAN Chun-ming, et al. Reliability of Thin-walled internal pressure vessels static strength in pressure test [J]. Machine Design & Research, 2013, 29 (1): 39-40, 45 (in Chinese).
- [6] 刘小宁, 刘岑, 张红卫, 等. 钢制薄壁内压力容器静强度最小安全系数的研究 [J]. 现代制造工程, 2014 (9): 130-133.
LIU Xiao-ning, LIU Cen, ZHANG Hong-wei, et al. Study on the minimum safety factor of static strength for Thin-walled internal pressure vessel [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2014(9): 130-133. (in Chinese)
- [7] 刘小宁, 张红卫, 韩春鸣. 基于模糊可靠度的薄壁外压力容器稳定性设计 [J]. 机械强度, 2011, 33(2): 217-224.
LIU Xiao-ning, ZHANG Hong-wei, HAN Chun-ming. Stability design of steel thin wall external pressure vessels based on fuzzy reliability[J]. Journal of Mechanical Strength, 2011, 33(2): 217-224. (in Chinese)
- [8] 刘小宁, 刘岑, 张红卫, 等. 球形容器静强度的分布规律与参数[J]. 压力容器, 2012, 29(8): 26-30.
LIU Xiao-ning, LIU Cen, ZHANG Hong-wei, et al. New methods of calculation distribution law and parameters of the spherical vessel static strength[J]. Pressure Vessel Technology, 2012, 29(8): 26-30. (in Chinese)
- [9] 刘小宁. 球形容器静强度概率分布研究[J]. 石油化工设备, 2004, 33(4): 17-19.
LIU Xiao-ning. Study on probability distribution of spherical vessel static strength [J]. Petro-Chemical Equipment, 2004, 33(4): 17-19. (in Chinese)
- [10] 李生昌. 压力容器爆破压力的确定 [J]. 化工机械, 1987, 14(2): 120-126.
LI Sheng-chang. Burst pressure determination of pressure vessel [J]. Chemical Engineering Machinery, 1987, 14(2): 120-126. (in Chinese)
- [11] 郑津洋, 匡继勇, 徐平, 等. 多层超高压容器爆破压力研究[J]. 化工机械, 1994, 21(5): 271-277.
ZHENG Jin-yang, KUANG Ji-yong, XU Ping, et al. Research into bursting pressures of the multi-layered super-high pressure vessel [J]. Chemical Engineering & Machinery, 1994, 21(5): 271-277. (in Chinese).
- [12] 柳爱群, 尹益辉, 刘兴福. 基于实测数据的特种球形压力容器爆破压力计算公式 [J]. 应用数学和力学, 2014, 35(11): 1232-1238.
LIU Ai-quan, YIN Yi-hui, LIU Xing-fu. Reconstructed formulas calculating bursting pressures of the special spherical pressure vessels based on experimental data[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2014, 35(11): 1232-1238. (in Chinese).
- [13] 化学工程手册编辑委员会. 化工应用数学 [M]. 北

- 京: 化学工业出版社, 1983: 23–28, 369–375.
Editorial Board of Chemical Engineering Handbook. Chemical application mathematics [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1983: 23–28, 369–375 (in Chinese).
- [14] 李清, 袁小会, 刘岑, 等. 有效试验数据对钢材机械性能分布规律的影响 [J]. 武汉工程大学学报, 2015, 37(4): 69–73.
LI Qing, YUAN Xiao-hui, LIU Cen, et al. Validity test data effect on steel mechanical properties distribution law[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2015, 37(4): 69–73. (in Chinese).
- [15] 刘智敏. 误差与数据处理 [M]. 北京: 原子能出版社, 1981.
LIU Zhi-min. Errors and data processing [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1981. (in Chinese)
- [16] 刘小宁, 刘岑, 吴元祥, 等. 超高压圆筒形容器爆破压力计算公式的比较 [J]. 机械强度, 2015, 37(2): 373–376.
LIU Xiao-ning, LIU Cen, WU Yuan-xiang, et al. Burst pressure caculation formula compare of super-high pressure cylinder vessel[J]. Journal of Mechanical Strength, 2015, 37(2): 373–376. (in Chinese)

Probability distribution of burst pressure in single-layer and multi-layer spherical vessel

LIU Xiao-ning^{1,2}, LIU Cen², ZHANG Hong-wei¹, LIU Bing¹, YUANG Xiao-hui¹, CHEN Gang¹

1. School of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic College of Software and Engineering, Wuhan 430205, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: To establish the reliable design method of pressure vessel, the probability distribution of single-layer and multi-layer spherical vessel burst pressure was analyzed; Based on 59 set test data, applying statistical theory and methods, we explored quantitatively the probability distribution of burst pressure of single-layer and multi-layer spherical vessel with the material yield and tensile strength ratio of 0.336 2–0.847 5 and the radius ratio of 1.053–1.257. The results shows that the ratio of the measured burst pressure values and mid-diameter formula theory value is consistent with the normal distribution of random variables at the saliency of 0.05; the mean values of the random variable are 1.001 3–1.049 7, and the standard deviations are 0.068 95–0.095 95 at two-sided confidence of 98%; the ratios of the measured burst pressure value and the mid-diameter formula calculated value are 0.644 5–1.358 1 when the reliability is 99.98%.

Keywords: single-layer and multi-layer; spherical vessel; burst pressure; mid-diameter formula; probability distribution

本文编辑: 陈小平