

# 基于实测数据的特种球形压力容器爆破压力计算公式\*

柳爱群<sup>1</sup>, 尹益辉<sup>2</sup>, 刘兴福<sup>2</sup>

(1. 鲁东大学 土木工程学院, 山东 烟台 264025;  
2. 中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 利用传统经验公式计算了一系列特种球形压力容器的爆破压力,将计算结果与实测值对比,分析了计算误差的散布特性.在此基础上,利用爆破压力的实测数据构建了球形压力容器爆破压力的计算公式,并对其精度进行了两类检验,一是将计算结果与同类型特种球形压力容器的实测数据对比,二是将计算结果与普通球形压力容器实测数据对比.结果表明,与原经验公式相比,所构建公式的精度有明显提高,同时表明构建爆破压力计算公式的方法是合理的,并可在类似问题的研究中推广应用.

**关键词:** 球形压力容器; 计算爆破压力; 经验公式; 实测爆破压力

**中图分类号:** TH49      **文献标志码:** A

**doi:** 10.3879/j.issn.1000-0887.2014.11.006

## 引 言

球形压力容器在内压下发生爆破是在国内外的设计中被广泛关注的问题.对于通常的球形压力容器,早在20世纪50~60年代,Cooper<sup>[1]</sup>就利用Mises屈服准则提出了预测爆破压力的理论方法;Johnson等<sup>[2]</sup>研究了考虑蠕变时厚壁球形压力容器的爆破问题;之后,Darijani等<sup>[3]</sup>导出了由非线性硬化材料制成的厚壁球形容器在内压作用下爆破压力的弹塑性解析解;Borisov<sup>[4]</sup>得到在外压作用下的厚壁球形容器应力和变形的弹性解析解.研究表明,这些预测公式和解析解与实验值之间都存在一定程度的差异.

目前国内工程界广泛采用的球形容器爆破压力计算公式是Faupel(福贝尔)公式.虽然Faupel同时对多种容器进行了实验验证,但有文献指出<sup>[5-7]</sup>,Faupel公式仍然存在一些不足:一是计算爆破压力的误差在±15%左右;二是当材料的屈强比 $\eta$ ( $\eta = R_{p0.2}/R_m$ , $R_{p0.2}$ 是材料的规定塑性延伸强度, $R_m$ 是材料的抗拉强度)较低时,Faupel公式的计算结果偏于安全,而当屈强比较高时,其计算结果偏于危险.因此,对于屈强比过高或过低、结构特殊的球形压力容器,Faupel公式及其它一些经验公式能否直接使用就成为必须关注的问题.

本文即在此背景下,研究如图1所示特种球形压力容器的爆破压力计算问题.这里,特种

\* 收稿日期: 2013-12-02; 修订日期: 2014-05-27

作者简介: 柳爱群(1965—),女,河北人,副教授,硕士(通讯作者. E-mail: ytlaq@126.com);

尹益辉(1965—),男,四川人,研究员,博士(E-mail: yinyh@caep.ac.cn).

主要指结构组成和制造工艺的特殊性,如图 1 所示,特殊球形压力容器由上、下两个带回转轴的半球壳构成,两个半球壳在对接止口,即赤道止口处经焊接构成完整的球形压力容器。球形压力容器的北极回转轴上有进/出气管,南极回转轴处于封闭状态。针对这种形状的特殊球形压力容器,尚未见有关爆破压力计算的研究报道。

文中将首先利用传统经验公式计算特殊球形容器的爆破压力,并与其爆破压力实测值进行对比,分析计算误差散布的特性;然后将利用实测数据构建特殊球形压力容器爆破压力计算公式,并将公式计算结果与同类型特种球形压力容器实测数据以及普通球形压力容器实测数据进行对比,分析误差大小和产生原因。

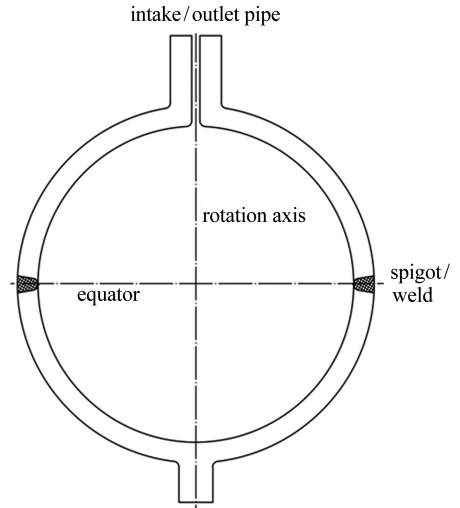


图 1 特种球形压力容器结构示意图

Fig.1 A special spherical pressure vessel

## 1 内压下球形容器爆破压力传统经验公式及其计算误差

计算内压作用下球形压力容器爆破压力的几个传统经验公式<sup>[8-12]</sup>及其用于本文特种球形压力容器爆破压力计算的误差范围如表 1,表中  $R_{p0.2}$  是材料的规定塑性延伸强度, $R_m$  是材料的抗拉强度, $\eta$  是屈强比, $\eta = R_{p0.2}/R_m$ , $K$  是容器外径与内径之比,称为径比, $n$  是容器材料的强化指数。

由表 1 可见,Faupel 公式计算的误差为负,范围为  $-32.3\% \sim -7.6\%$ ,即计算值普遍偏小;Mises 公式计算的误差为正,范围为  $9.2\% \sim 32.5\%$ ,即计算值普遍偏大;美国 ASME-III 推荐公式的计算情况与 Mises 公式计算类似;Vantlerson(凡迪森)公式、Svensson(斯文森)公式和基于真应力-应变关系的公式计算的误差均靠中但略偏大,最大误差为  $14.7\%$ 。计算分析表明,对于一定径比  $K$  的特种球形压力容器,其爆破压力计算误差受材料屈强比控制,因此可通过加强屈强比  $\eta$  的调制作用对传统经验公式进行改进。

表 1 传统公式及其计算特种球形压力容器爆破压力的误差范围

Table 1 The traditional formulas and error ranges of the calculated bursting pressure for special spherical vessels

title	expression	error range	reference
Faupel's formula	$P_b = 2R_{p0.2}(2 - \eta) \ln K$	$-32.3\% \sim -7.6\%$	ref. [8-9]
Mises' formula	$P_b = 2R_m \ln K$	$9.2\% \sim 32.5\%$	ref. [8-9]
Vantlerson's formula	$P_b = \sqrt{3} R_m \ln K$	$-5.4\% \sim 14.7\%$	ref. [8]
Svensson's formula	$P_b = 2(2/3)^n (1 - K^{-1}) R_m$	$-9.6\% \sim 10.1\%$	ref. [10]
formula based on true stress-strain relation	$P_b = R_m \left( \frac{0.433}{n + 0.227} \right) \left( \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{e}{n} \right)^n \ln K$	$-9.2\% \sim 10.2\%$	ref. [11]
formula recommended in ASME-III	$P_b = \frac{4}{3} \frac{K^3 - 1}{K^3 + 1} R_m$	$7.7\% \sim 30.8\%$	ref. [12]

## 2 特种球形压力容器的爆破压力实测数据

按尺寸和材料的不同,将特种球形容器分为 7 类,每类若干个,对每个容器通过高压气源

缓慢充入空气直至爆破,测试出爆破压力,各类容器的基本参数及实测爆破压力平均值如表 2,表中  $K, R_{p0.2}, R_m$  与表 1 中的意义相同,实测爆破压力均值是指同类若干个容器实测爆破压力的算术平均值。

表 2 特种球形压力容器的基本参数和实测爆破压力均值

Table 2 Basic parameters and measured mean bursting pressures of the special spherical pressure vessels

No.	1	2	3	4	5	6	7
number of vessels	4	6	3	3	6	5	6
ratio of outer to inner radius $K$	1.139	1.148	1.109	1.114	1.146	1.159	1.171
provided plastic extension strength $R_{p0.2}/\text{MPa}$	258.3	258.3	221.9	376.8	376.8	376.8	376.8
tensile strength $R_m/\text{MPa}$	574.2	574.2	660.0	723.5	723.5	723.5	723.5
mean value of measured bursting pressure $P_b/\text{MPa}$	112.4	128.7	112.8	143.3	181.0	180.9	201.3

### 3 基于实测爆破压力的特种球形压力容器爆破压力计算公式

#### 3.1 球形容器爆破压力经验公式的构成特点和基于实测数据构建计算公式的方法

考察球形容器爆破压力的诸多经验公式,发现它们均可用两个初等函数的乘积表示,即

$$P_b = \psi(R_{p0.2}, R_m, n) \cdot f(K), \quad (1)$$

式中  $R_{p0.2}, R_m, n$  和  $K$  的意义同前,  $\psi(R_{p0.2}, R_m, n)$  可称为容器的材料性能函数,  $f(K)$  可称为容器的几何特性函数。若不考虑材料强化的影响,同时加强屈强比  $\eta$  的调制作用,则爆破压力可表示为

$$P_b = R_m \varphi(\eta) f(K). \quad (2)$$

这里作为一种探索,仅讨论形如式(2)的爆破压力计算公式的构建。显然,构建计算公式的关键在于找到函数  $\varphi(\eta)$  和  $f(K)$  的具体表达式。

首先,将 Faupel 公式改写成为  $P_b = 2R_m \eta(2 - \eta) \ln K$ , 可见式中  $\varphi(\eta) = 2\eta(2 - \eta)$  是一个关于屈强比  $\eta$  的缺常数项的 2 次多项式,  $f(K) = \ln K$  为关于径比  $K$  的对数函数。对各改进公式作类似分析,可知其中的函数  $\varphi(\eta)$  要么是关于  $\eta$  的缺常数项或 1 次项的 3 次多项式,要么是完整的 2 次多项式;而函数  $f(K)$  要么是关于  $K$  的对数函数,要么是关于  $K^3$  组合的假分式。根据这些特点,就一般情况而言,为有效加强屈强比  $\eta$  的调制作用,可取式(2)中  $\varphi(\eta)$  为关于  $\eta$  的 2 次或 3 次多项式,  $f(K)$  为关于  $K$  的假分式或关于  $K^3$  的假分式组合。这里讨论  $\varphi(\eta)$  为  $\eta$  的 2 次函数,  $f(K)$  由现有经验公式中相应形式的适当线性组合而构成的情况,即

$$P_b = R_m (\alpha \eta^2 + \beta \eta + \gamma) \cdot f(K), \quad (3)$$

式中  $\alpha, \beta, \gamma$  为待定常数,可通过对试验数据拟合得到。下面具体介绍构建一个计算公式的方法和过程,其它计算公式的构建方法与此类似。

首先,将美国 ASME-III 推荐的爆破压力经验公式(见表 1)表示为  $P_b = AR_m(K^3 - 1)/(K^3 + 1)$ , 式中  $A$  为与材料有关的常数,对于本文特种容器所用的 3 种材料,由实验数据可分别确定出  $A$  的值。再将  $A$  视为材料屈强比  $\eta = R_{p0.2}/R_m$  的函数,通过对实验数据的拟合,于是有

$$A = 6.320\ 44\eta^2 - 4.783\ 41\eta + 1.991\ 59 = \frac{158}{25}\eta^2 - \frac{287}{60}\eta + \frac{239}{120},$$

故爆破压力

$$P_b = R_m \left( \frac{158}{25}\eta^2 - \frac{287}{60}\eta + \frac{239}{120} \right) \frac{K^3 - 1}{K^3 + 1}. \quad (4)$$

类似地,将表 1 中的 Svensson 公式做同样处理,得到爆破压力

$$P_b = R_m \left( \frac{114}{13} \eta^2 - \frac{333}{50} \eta + \frac{83}{28} \right) \left( 1 - \frac{1}{K} \right). \quad (5)$$

当初, Faupel 认为容器爆破压力介于器壁材料全屈服压力  $2R_{p0.2} \ln K$  和极限强度压力  $2R_m \ln K$  之间,且被材料的屈强比  $\eta$  调制,于是将爆破压力写成  $P_b = \eta(2R_m \ln K) + (1 - \eta)(2R_{p0.2} \ln K)$ , 将其简化便得到后来被工程界普遍使用的 Faupel 公式.这里采用 Faupel 当初建立 Faupel 公式的方法,并根据表 1 中美国 ASME-III 推荐公式和 Svensson 公式的误差分布特点,取式(4)和式(5)的中间值作为新的爆破压力公式,有

$$P_b = R_m \left[ (3.16\eta^2 - 2.39\eta + 1) \left( \frac{K^2 + K - 1}{K^3 + 1} \right) + 2.5(3.02\eta^2 - 2.29\eta + 1) \right] \left( 1 - \frac{1}{K} \right), \quad (6)$$

式中两个关于  $\eta$  的 2 次 3 项式各项的系数在数值上较接近,为了使公式的结构简洁和应用方便,再取相应次数项系数的中间值作为新的 2 次 3 项式对应项的系数,将式(6)简化,得到

$$P_b = R_m (3.09\eta^2 - 2.34\eta + 1) \left( \frac{K^2 + K - 1}{K^3 + 1} + 2.5 \right) \left( 1 - \frac{1}{K} \right). \quad (7)$$

将上式推广到一般形式,即构建出一个一般形式的计算公式:

$$P_b = R_m (\alpha\eta^2 + \beta\eta + 1) \left( \frac{K^2 + K - 1}{K^3 + 1} + 2.5 \right) \left( 1 - \frac{1}{K} \right), \quad (8)$$

式中系数  $\alpha, \beta$  通常采用最小二乘法通过对试验数据的拟合来确定.其过程如下:

首先,将表 2 中第  $i$  类容器的  $R_m, \eta$  和  $K$  的值分别记为  $R_{mi}, \eta_i$  和  $K_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ , 然后令  $\varphi_i = \alpha\eta_i^2 + \beta\eta_i + 1 (i = 1, 2, \dots, 7)$ ,  $f_i = [(K_i^2 + K_i - 1)/(K_i^3 + 1) + 2.5] (1 - K_i^{-1}) (i = 1, 2, \dots, 7)$ , 则根据式(8)有  $\varphi_i = P_{bi}/(R_{mi}f_i) (i = 1, 2, \dots, 7)$ , 由此式并利用实测爆破压力数据  $P_{bi} (i = 1, 2, \dots, 7)$  就可以求得相应的  $\varphi_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ . 设其误差为  $R_i = \alpha\eta_i^2 + \beta\eta_i + 1 - \varphi_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ , 则其平方和为

$$\sum_{i=1}^7 R_i^2 = \sum_{i=1}^7 (\alpha\eta_i^2 + \beta\eta_i + 1 - \varphi_i)^2 = \Phi(\alpha, \beta). \quad (9)$$

根据最小二乘法原理,确定的系数  $\alpha, \beta$  应使  $\Phi$  为最小,故令

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} = 2 \sum_{i=1}^7 (\alpha\eta_i^2 + \beta\eta_i + 1 - \varphi_i) \cdot \eta_i^2 = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \beta} = 2 \sum_{i=1}^7 (\alpha\eta_i^2 + \beta\eta_i + 1 - \varphi_i) \cdot \eta_i = 0, \end{cases} \quad (10)$$

由此得到确定系数  $\alpha, \beta$  的正则方程

$$\begin{cases} \alpha \sum_{i=1}^7 \eta_i^4 + \beta \sum_{i=1}^7 \eta_i^3 = \sum_{i=1}^7 (\varphi_i - 1) \eta_i^2, \\ \alpha \sum_{i=1}^7 \eta_i^3 + \beta \sum_{i=1}^7 \eta_i^2 = \sum_{i=1}^7 (\varphi_i - 1) \eta_i. \end{cases} \quad (11)$$

将利用实测爆破压力  $P_{bi}$  获得的  $\varphi_i$  以及对应的  $\eta_i$  代入上式,得

$$\begin{cases} 1.040\ 816\ 81\alpha + 2.151\ 592\ 052\beta = -1.818\ 103\ 146, \\ 2.151\ 592\ 052\alpha + 4.512\ 135\ 332\beta = -3.910\ 478\ 383, \end{cases} \quad (12)$$

解之得  $\alpha = 3.139\ 683\ 765 \approx 135/43$ ,  $\beta = -2.363\ 802\ 553 \approx -26/11$ , 将它们代入式(8), 便得到确定了待定系数的一个构建公式:

$$P_b = R_m \left( \frac{135}{43} \eta^2 - \frac{26}{11} \eta + 1 \right) \left( \frac{K^2 + K - 1}{K^3 + 1} + 2.5 \right) \left( 1 - \frac{1}{K} \right), \quad (13)$$

### 3.2 其它的构建公式

采用与建立经验公式(13)类似的方法, 建立了如下其它一些计算公式:

$$P_b = R_m \left( \frac{34}{11} \eta^2 - \frac{138}{59} \eta + 1 \right) \left( \frac{K^2 + K - 1}{K^3 + 1} + 2.5 \right) \left( 1 - \frac{1}{K} \right), \quad (14)$$

$$P_b = R_m \left( 6\eta^2 - \frac{227}{50} \eta + 2 \right) \left( \frac{1}{K^3} - \frac{5}{K^3 + 1} + \frac{6}{K^3 + 2} \right) (K^3 - 1), \quad (15)$$

$$P_b = R_m \left( \frac{35}{51} \eta^2 - \frac{221}{420} \eta + \frac{34}{155} \right) \left( \frac{1}{K^3} + \frac{6}{K^3 + 1} + \frac{2}{K^3 + 2} \right) (K^3 - 1), \quad (16)$$

$$P_b = R_m \left( \frac{141}{77} \eta^2 - \frac{25}{18} \eta + \frac{38}{63} \right) \left( \frac{2}{K^3} - \frac{8}{K^3 + 1} + \frac{11}{K^3 + 2} \right) (K^3 - 1). \quad (17)$$

## 4 新构建公式计算值与爆破压力实测值之间的误差分析

### 4.1 与同类型特种球形压力容器的实测数据对比分析

仍然采用表2中的3种材料, 但改变径比, 制作容器试样共5类, 每类3个, 同样对每个容器进行充气实验和爆破压力测试, 同时利用所构建的特种球形压力容器爆破压力计算公式(14)~(17)进行计算, 实测和计算结果如表3. 比较公式计算结果和实测结果可见, 新构建公式的相对误差范围缩小到-5.0%~8.5%, 说明新构建公式的计算精度有很大的提高.

表3 新构建公式计算的爆破压力与特种球形压力容器爆破压力实测值误差分析

Table 3 The errors of the calculated bursting pressures from the reconstructed formulas with respect to the measured bursting pressures of the special spherical vessels

ratio of outer to inner radius $K$		provided plastic extension strength $R_{p0.2}$ /MPa		tensile strength $R_m$ /MPa		mean value of measured bursting pressure $P_b$ /MPa	
1.114		258.3		574.2		115.0	
1.154		258.3		574.2		125.1	
1.199		221.9		660.0		233.9	
1.222		376.8		723.5		256.5	
1.257		376.8		723.5		220.5	
formula(14)		formula(15)		formula(16)		formula(17)	
calculated result $P_{bc}$ /MPa	error $P_e$ /%	calculated result $P_{bc}$ /MPa	error $P_e$ /%	calculated result $P_{bc}$ /MPa	error $P_e$ /%	calculated result $P_{bc}$ /MPa	error $P_e$ /%
116.7	1.5	115.9	0.8	116.1	1.0	116.2	1.0
135.4	8.3	135.8	8.5	134.0	7.2	135.2	8.1
237.8	1.7	235.0	0.5	235.3	0.6	235.9	0.8
253.5	-1.2	261.5	2.0	250.8	-2.2	256.4	-0.1
209.6	-5.0	221.7	0.5	210.4	-4.6	214.8	-2.6

值得指出的是, 这里所关心的特种球形容器的径比  $K$  均是以容器焊缝处的焊接深度作为容器壁厚计算的, 而不是以容器均匀区壁厚计算的, 这样取值是基于容器爆破多发生于焊缝薄弱区的缘故<sup>[13]</sup>.

## 4.2 与普通球形压力容器实测数据对比分析

根据文献[5]和文献[10]的分析可知,“多层球形模拟容器在内压作用下其内外壁的应力特性、爆破压力等均等同于单层球形容器”<sup>[5]</sup>,因此,可利用本文构建的公式计算文献[5]中的普通多层球形容器的爆破压力。

从文献[5]中选取一组多层球形模拟容器,该组模拟容器直径为450 mm,径比 $K$ 为1.053 3,容器材料的规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 为490 MPa,容器材料的抗拉强度 $R_m$ 为590 MPa,模拟容器的爆破压力实测值为115.0 MPa.用构建公式(14)~(17)分别进行爆破压力计算,其计算值分别为108.0 MPa,104.7 MPa,108.4 MPa,106.2MPa,爆破压力计算值与实测值之间的误差范围在-8.9%~-5.6%之间.由此可见,构建公式的计算精度比原始公式的计算精度均有很大的提高。

## 5 结 论

针对现有各种经验公式用于计算特种球形压力容器爆破压力的不足与计算误差的特点,基于爆破压力实测数据,构建了几个新的爆破压力计算公式.利用若干组材料不变但径比改变的特种球形压力容器的实测数据,以及文献中的一组普通球形压力容器实测数据对新构建的计算公式进行了检验.结果表明,与原经验公式相比,本文针对特种球形压力容器构建的爆破压力计算公式的精度有明显提高,新构建的公式不仅适合于所讨论的特种球形压力容器的爆破压力计算,也适合于普通球形压力容器的爆破压力计算.同时表明构建爆破压力计算公式的方法是合理的,可在类似问题的研究中推广应用。

## 参考文献(References):

- [1] Cooper W E. The significance of the tensile test to pressure vessel design[J]. *The Welding Journal*, 1957, **36**(1): 49S-56S.
- [2] Johnson A E, Khan B. Creep of metallic thick-walled spherical vessels subject to pressure and radial thermal gradient at elevated temperatures[J]. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1963, **5**(6): 507-532.
- [3] Darijani H, Naghdabadi R, Shamsaei N. Plastic stress study in thick-walled spherical vessels considering finite deformation[C]//*ASME Conference Proceedings*. New York, 2006, **1**: 475-482.
- [4] Borisov A V. Elastic analysis of multilayered thick-walled spheres under external load[J]. *Mechanical*, 2010, **84**(4): 28-32.
- [5] 蒲原秀明. 麦春生译. 多层封头的强度[J]. 化工与通用机械, 1976(12):50-60. (Kahara Hidea. MAI Chun-sheng transl. The strength of the multilayer head[J]. *Chemical and General Machinery*, 1976(12): 50-60.(in Chinese))
- [6] 柳爱群, 杨中. 圆筒形压力容器爆破压力经验公式的改进[J]. 机械强度, 2013, **35**(5): 652-656. (LIU Ai-qun, YANG Zhong. Amendment of empirical formulas calculating bursting pressure of cylindrical vessels[J]. *Journal of Mechanical Strength*, 2013, **35**(5): 652-656. (in Chinese))
- [7] 朱学政, 陈国理. 高压容器爆破压力的计算[J]. 石油化工设备技术, 1995, **16**(1): 10-36. (ZHU Xue-zheng, CHEN Guo-li. Calculation of bursting pressures for high pressure vessels[J]. *Petro-Chemical Equipment Technology*, 1995, **16**(1): 10-36.(in Chinese))
- [8] 邵国华, 魏兆灿. 超高压容器[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 20-36. (SHAO Guo-hua, WEI Zao-can. *Super High Pressure Vessels*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 20-36. (in Chinese))

- Chinese))
- [9] 刘新民, 韦日演. 特种结构分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 325-348. (LIU Xin-min, WEI Ri-yan. *Analysis of Special Structures* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1995: 325-348. (in Chinese))
- [10] 郑津洋, 匡继勇, 朱国辉. 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, ZHU Guo-hui. Research into bursting pressures of the multi-layered super-high pressure vessels[J]. *Chemical Engineering & Machinery*, 1994, 21(5): 271-277. (in Chinese))
- [11] 机械工程手册编辑委员会. 机械工程手册(第4卷): 机械设计(一): 机械结构强度(第十九篇)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980: 143-182. (Edition Committee of Mechanical Engineering Handbook. *Mechanical Structure Strength, the 19th Section in Mechanical Design (1): in the 4th Volume of Mechanical Engineering Handbook* [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1980: 143-182. (in Chinese))
- [12] Boiler and Pressure Vessel Committee, American Society of Mechanical Engineers. ASME boiler and pressure vessel code[S]. Michigan: University of Michigan, 1971: 62-94.
- [13] 金乘武, 王立忠, 张永强. 薄壁管道爆破压力的强度差异效应与强度准则影响[J]. 应用数学和力学, 2012, 33(11): 1266-1274. (JIN Cheng-wu, WANG Li-zhong, ZHANG Yong-qiang. Strength differential effect and influence of strength criterion on burst pressure of thin-walled pipelines[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2012, 33(11): 1266-1274. (in Chinese))

## Reconstructed Formulas Calculating Bursting Pressures of the Special Spherical Pressure Vessels Based on Experimental Data

LIU Ai-qun<sup>1</sup>, YIN Yi-hui<sup>2</sup>, LIU Xing-fu<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Ludong University, Yantai,  
Shandong 264025, P.R.China;

2. Institute of Systems Engineering, China Academy of Engineering Physics,  
Mianyang, Sichuan 621900, P.R.China)

**Abstract:** With several traditional empirical formulas, the bursting pressures of the special spherical pressure vessels were calculated, comparison between the calculated and tested results was performed, and the characteristics of the related error ranges were analyzed. Based on the experimental data of the bursting pressure, several reconstructed formulas were given and the accuracy of their calculated results was examined in two ways. One way was to compare the results with the experimental data of the same kind of special spherical vessels; the other was to compare the results with the experimental data of the general spherical vessels. It turns out that the results of the reconstructed formulas are far more accurate than those of the traditional empirical formulas, which implies that the reconstructed formulas are practically useful in design of the discussed special spherical pressure vessels, and the related reconstruction method is reasonable and helpful to the research of similar problems.

**Key words:** spherical pressure vessel; bursting pressure; empirical formula; experimental data of the bursting pressure