

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.016

# 压力容器失效概率的计算方法

万林青, 赵磊

(新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 本文从质检部门统计的万台事故率入手, 通过横向比较各台容器的设计、制造、安装、使用、维修改造等各个环节质量, 然后通过统计, 建模以及经验公式等方式, 量化每个指标, 设计出压力容器失效概率的计算公式。有了失效概率这个参数, 就可以对压力容器的快速检验, 安全分级, 风险预测提供支持。

**关键词:** 压力容器; 失效概率; 风险评级

**中图分类号:** TH49    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-4764(2013)S1-0070-03

## The Method of Failure Probability of Pressure Vessel

Wan Linqing, Zhao Lei

(Institute of Special Equipment Inspection, Urumqi 830011, P. R. China)

**Abstract:** Through thousands of accidents summarized by the department of quality supervision, comparing the design, manufacture, installation, using, and maintenance, through statistics, modeling and experience formula, the index is quantized and the calculation formula of failure probability of pressure vessel is obtained. According to the parameter, the pressure vessel can be examined quickly, be classified safely and provide support for failure probability.

**Key words:** pressure vessel; failure probability; risk rating;

一台压力容器从生到死一般要经过设计、制造、安装、使用、维修改造、检验以及最后的报废等过程。所以各个环节中的质量就决定了整台设备的质量, 也影响着该台压力容器的失效概率。要想计算压力容器的失效概率, 必须找一个基准进行比较才能统一量化各个相关项。特种设备万台事故率是从事故的角度来反映特种设备安全状况的一个指标, 是指平均每万台设备发生事故的次数, 单位: 次数/万台。其定义为:

$$\text{特种设备万台事故率} = \frac{\text{事故次数}}{\text{设备数量}} \times 10^4$$

本文选万台事故率这个参数作为基准。通过查阅历年的压力容器事故数量以及设备保有量, 统计出压力容器近3年的平均万台事故率  $G_0$ 。具体到特定某台压力容器, 通过评价其从设计、制造、安装、使用的各个环节, 在量化各个指标的基础上, 计算出万台事故率  $G_0$  的修正系数  $g_0$  (为一个无量纲的数值)。  $G_0$  与  $g_0$  的乘积  $G$  就是该台设备的失效概率。

任何事物都有老化的过程, 所以压力容器的失效概率还与其使用年限息息相关, 对于设计制造等各个环节都一样的设备, 加上年限修正系数就能更准确的预测失效概率。自然环境也对设备的失效造成相当大的影响, 比如地震, 台风等, 计算压力容器的失效必须考虑到自然环境的因素。通过分析, 本文对影响压力容器失效的原因分为以下几项:

设计单位的影响系数:  $g_1$ ; 制造单位的影响系数:  $g_2$ ; 使

用工况影响系数:  $g_3$ ; 操作和管理(包括监督检验、定期检验、安装维修的影响):  $g_4$ ; 使用年限的修正系数:  $g_5$ ; 外部环境修正系数:  $g_6$ ; 失效概率修正系数:  $g_0$ 。

### 1 影响失效概率的各个系数的量化及计算公式

#### 1.1 设计单位的影响系数

设计单位是每台设备出生的第1步, 设计的质量对整台设备的质量影响至关重要, 通过查阅资料, 调研等过程, 对设计质量影响最大的3个因素包括设计单位资质, 图纸鉴定情况, 以及其规模和信誉情况。根据调研结果, 已经历年事故原因分析以及专家意见, 各个参数量化数据如下表:

表1 设计单位的影响系数

	设计单位 资质 $g_{11}$	图纸鉴定 $g_{12}$	规模和信誉 情况 $g_{13}$
有	1	1	1
无	5	3	2

根据以上结果, 总结出设计单位的影响系数  $g_1$  的计算公式:

$$g_1 = g_{11} + g_{12} + g_{13} - 2 \quad (1)$$

#### 1.2 制造单位的影响系数

制造单位是压力容器的制造者, 所以压力容器的失效概

率受制造单位的影响非常大。同样,在分析事故原因和统计事故原因的基础上,通过征求专家意见,把制造单位的影响分为了制造单位资质的影响系数  $g_{21}$ , 监督检验影响系数  $g_{22}$ , 以及规模和效益的影响系数  $g_{23}$ 。

根据多年的事故资料分析,以及专家意见,再综合时代发展的影响,把各个系数如下量化:

表 2 制造单位的影响系数

	制造单位 资质 $g_{21}$	监督检验 $g_{22}$	规模和信誉 情况 $g_{23}$
有	1	1	1
无	5	2	3

表 3 使用工况的影响系数

风险系数	超温工况 $g_{31}$	超压工况 $g_{32}$	粉尘及油气 爆炸工况 $g_{33}$	腐蚀工况 $g_{34}$	应力腐蚀 工况 $g_{35}$	疲劳工况 $g_{36}$	冲刷或磨损 工况 $g_{37}$	非计划停车 $g_{38}$
有	8~15	3~10	3	5~10	5~10	5~20	3~10	2~4
无	1	1	1	1	1	1	1	1

根据以上结果,总结出使用工况的影响系数  $g_3$  的计算公式:

$$g_3 = g_{31} + g_{32} + g_{33} + g_{34} + g_{35} + g_{36} + g_{37} + g_{38} - 7 \quad (3)$$

1.4 使用与管理影响系数

随着设备制造质量的逐年提高,设备的原始缺陷以及由于设备质量造成的事故逐年下降趋势,使用管理方面出现的问题越来越多,所以,使用与管理方面的影响不可忽视。使用与管理的风险系数计算方法和相关项如下:

使用和管理影响系数  $g_4$  包括以下几项:

- 1) 安全管理制度  $g_{41}$ ; 2) 安全管理机构和人员配备  $g_{42}$ ; 3) 防止误操作的措施  $g_{43}$ ; 4) 维护保养  $g_{44}$ ; 5) 日常检查  $g_{45}$ ; 6) 对安全监察的重视程度  $g_{46}$ ; 7) 定期检验  $g_{47}$ ; 8) 技术档案  $g_{48}$ ; 9) 安全保卫措施  $g_{49}$ ; 10) 安装维修的影响  $g_{410}$ 。

表 4 使用和管理影响系数表

风险系数	有	欠缺	无
安全管理制度 $g_{41}$	1	1~2	3
安全管理机构和人员配备 $g_{42}$	1	1~2	3
防止误操作的措施 $g_{43}$	1	1~14	15
日常检查 $g_{44}$	1	1~2	3
维护保养 $g_{45}$	1	1~3	4
对安全监察的重视程度 $g_{46}$	1	1~2	3
定期检验 $g_{47}$	1	1~2	3
技术档案 $g_{48}$	1	1~2	3
安全保卫措施 $g_{49}$	1	2	2
安装维修 $g_{410}$	1	3	6

根据以上结果,总结出使用和管理影响系数  $g_4$  的计算公式如下:

根据以上结果,总结出制造单位的影响系数  $g_2$  的计算公式:

$$g_2 = g_{21} + g_{22} + g_{23} - 2 \quad (2)$$

1.3 使用工况的影响系数

按照设备(各部件)在正常使用条件下最恶劣的工况确定使用工况得分,使用工况包括以下诸项,其各项之和是使用工况风险系数值。各项对风险的影响系数见下表。

- 1) 超温工况  $g_{31}$  (包括高温超温工况和低温超温工况);
- 2) 超压工况  $g_{32}$ ; 3) 粉尘及油气爆炸工况  $g_{33}$ ; 4) 腐蚀工况  $g_{34}$ ; 5) 应力腐蚀工况  $g_{35}$ ; 6) 疲劳工况  $g_{36}$ ; 7) 冲刷或磨损工况  $g_{37}$ ; 8) 非计划停车  $g_{38}$ 。

$$g_4 = g_{41} + g_{42} + g_{43} + g_{44} + g_{45} + g_{46} + g_{47} + g_{48} + g_{49} + g_{410} - 9 \quad (4)$$

1.5 使用时间的的影响系数

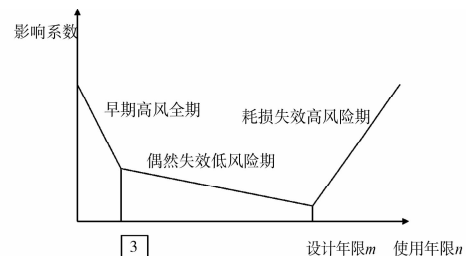
任何事物都有衰老的过程,压力容器也不例外,实践证明大多数设备的故障率是时间的函数,典型故障曲线称之为浴盆曲线(Bathtub curve,失效率曲线),曲线的形状呈两头高,中间低,具有明显的阶段性,可划分为 3 个阶段:早期故障期,偶然故障期,耗损失效高风险期。浴盆曲线是指产品从投入到报废为止的整个寿命周期内,其可靠性的变化呈现一定的规律。因该曲线两头高,中间低,有些像浴盆,所以称为“浴盆曲线”。根据调研结果、数据分析、经验以及压力容器的规律,本文给出如下使用年限影响系数计算公式:

$$0 < n < 3 \quad g_5 = 8 - 2n \quad \text{早期高风险期}$$

$$3 \leq n < m \quad g_5 = (6n + 2m - 24) / (n - 3) \quad \text{偶然失效低风险期}$$

$$m \leq n \quad g_5 = 3(n - m) + 8 \quad \text{耗损失效高风险期}$$

设计年限  $m$   
使用年限  $n$



早期高风险期和偶然失效低风险期的交点选在投入使用的第 3 年,是根据《压力容器定期检验规则》3 a 内进行首次检验的要求制定的,第 2 个拐点是由压力容器设计年限确定的。因为压力容器一旦超过了设计年限,其失效风险将大幅度的提高。所以分段函数的第 2 个交点选择在设计年

限上。

### 1.6 外部环境对风险系数的影响因素设计细则

任何一台压力容器都处在特殊的环境中,既然在环境中,就要受到环境各种不可抗力的影响,比如台风,地震,泥石流,火山等。

外部环境的影响因素包括以下各项:

地震的影响因素  $g_{61}$ ; 台风的影响因素  $g_{62}$ ; 泥石流的影响因素  $g_{63}$ ; 火山的影响因素  $g_{64}$ ; 其他不可抗力因素  $g_{65}$ ;

通过以上的分析,了解了自然环境对设备失效概率影响因素,结合以上的统计方法,给出  $g_6$  的计算公式:

$$g_6 = g_{61} + g_{62} + g_{63} + g_{64} + g_{65} - 4 \quad (5)$$

由于中国幅员辽阔,地质和环境复杂,各个地区影响的主要因素和严重程度各不相同,本文没有给出参考数据,使用单位或者风险评价单位可以根据具体情况酌情赋值。

## 2 压力容器失效概率的计算公式

根据以上论述,总结给出压力容器失效概率  $G$  的计算公式:

$$G = G_0 \cdot g_0 \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot g_3 \cdot g_4 \cdot g_5 \cdot g_6 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

国内近三年的万台平均事故率  $G_0$  ( $G_0$  可以从国家质检总局网站上公布的数据查出);

个别情况下如果选择数据偏保守,有可能出现  $G$  值大于 1 的情况,这是因为预测概率的数据不足够多,为了更安全,

更好的区分各个设备的风险比较值所用的方法,在出现  $G$  值大于 1 的时候,调整  $G$  值为 1 即可。在本文中  $G$  的范围是  $0 < G \leq 1$ 。

## 3 结 语

充分考虑了专家意见,结合经验以及工程实践,提出了压力容器失效概率的计算方法,给出多个计算公式,虽然各个系数有待进一步完善,但是本文提出的方法以及研究方向都对压力容器快速检验和安全评价具有积极的意义;有利于预测压力容器风险,帮助使用单位和安全监察单位确定重点防范目标,为压力容器能更好更安全的服务社会生产。

### 参考文献:

- [1] 特种设备安全监察条例[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [2] 压力容器定期检验规则[S]. 北京,2009.
- [3] 吴宗之,高进东. 重大危险源辨识与控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [4] GB 18218-2000 重大危险源辨识[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [5] Jo Y D, Ahn B J. Analysis of hazard areas associated with high-pressure natural-gas pipelines [J]. Journal of Loss Prevention In the Process Industries, 2002,15: 179-188.

(编辑 薛婧媛)

(上接第 51 页)

- [12] GB50017-2003. 钢结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [13] 余山雾,蔡敏. 结构模型试验的工程检测应用研究[J]. 安徽建筑工业学院学报,2009,17(5):17-21.  
Yu S W, Cai M. The study on analysis of the construction modle and technology of civil engineering tests[J]. Journal of Anhui Institute of Architecture, 2009,17(5):17-21.
- [14] 叶梅新,李恩良,侯文崎. 单索面斜拉桥主梁变宽段模型试验方法[J]. 中南大学学报:自然科学版,2011,42(1):199-206.  
Ye M X, Li E L, Hou W Q. Test method on mutative width

- girder segment of single plane cable-stayed bridge [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2011, 42 (1):199-206.
- [15] 沈祖炎,赵宪忠,陈以一,等. 大型空间结构整体模型静力试验的若干关键技术[J]. 土木工程学报,2001,34(4):102-106.  
Shen Z Y, Zhao X Z, Chen Y Y, et al. Some key technics for a static test of overallmodel of super spatial structures [J]. China Civil Engineering Journal, 2001,34(4):102-106.

(编辑 罗 敏)