

# 对压力容器的机械强度可靠性设计的简单探讨

李小涛

四川广虹霖工程咨询有限公司 四川成都 610041

**摘要:** 现如今,在对压力容器进行设计时,它的外形尺寸及强度都是根据需求来设计,也就说这些数值都是非恒定值,因此,对压力容器进行设计时要对每个变量的参数进行研究分析再确定。压力容器的可靠性是经过系统性的测试得来的,通常情况压力容器的生产可以划分为4个环节,其中包括容器的设计、容器的制造、容器市场应用及容器售后维护。一个产品的设计直接影响其可靠性,如果把压力容器机械强度的变量稳定在一个合理的范围之内,然后再建立压力模型就能直接计算出压力容器的可靠性。

**关键词:** 压力容器;机械强度;可靠性;设计

## A simple discussion on reliability design of mechanical strength of pressure vessel

Xiaotao Li

Sichuan guanghonglin Engineering Consulting Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610041

**Abstract:** Nowadays, when designing the pressure vessel, its overall dimensions and strength are designed according to the requirements. That is to say, these values are non-constant values. Therefore, when designing the pressure vessel, the parameters of each variable should be studied, analyzed, and determined. The reliability of pressure vessels is obtained through systematic testing. Generally, the production of pressure vessels can be divided into four links, including vessel design, vessel manufacturing, vessel market application, and vessel after-sales maintenance. The design of a product directly affects its reliability. If the variable of the mechanical strength of the pressure vessel is stabilized within a reasonable range, then the reliability of the pressure vessel can be calculated directly by establishing the pressure model.

**Keywords:** pressure vessel; Mechanical strength; Reliability; Design

### 引言:

压力容器在现代经济建设中承担着非常重要的作用,目前随着科学技术的快速发展,压力容器的生产技术与测试技术均得到了快速发展,压力容器的强度性能得到提升。机械强度是压力容器的一项重要性能指标,是影响压力容器产品质量的关键因素之一,因此,针对有关压力容器机械强度可靠性方面的内容进行研究。在压力容器的设计过程中,几何尺寸和强度都是随机变量,相应的其承载的负荷也非恒定值,所以在可靠性设计时需要各个变量的不确定性进行充分的考虑,压力容器的可靠性是一个综合性的过程,一般可以分为4个阶段即设计、制造、应用和维护。产品的设计水平决定着其固有可靠度,若将压力容器的机械强度变量都限制在一个正常且安全的状态下,在建立强度应力模型之后便能够

计算出其可靠性。

### 1 压力容器可靠性设计的意义

压力容器可靠性是指其在特定的情况下,能够让使用功能满足用户的需求,并且在使用的过程不发生故障性质。与压力容器机械强度可靠性存在密切关联的因素有使用环境、环境温度、消费者使用需求以及应力等,压力容器机械强度的可靠性和压力容器的使用时间存在密切联系,随着压力容器使用时间的延长,压力容器机械强度的可靠性逐渐降低,也正是由于有可靠性的存在人们才对压力容器产生了使用寿命的认识。无论是电子产品还是人们日常生活用品,研究可靠性都是非常必要的<sup>[1]</sup>。随着国家经济水平和人们生活质量的提升,人们对压力容器的要求也越来越高,在科技发展的支持下,压力容器可靠性得到了大幅度的提升,由于可靠性在一

一定程度上体现了一个国家的实力水平,产品的可靠性研究具有非常重要的意义。

## 2 压力容器的机械强度可靠性设计的基本步骤

2.1 计算设计数据,在得到压力容器的工艺参数后,把工艺参数带入到压力容器设计计算公式里,计算出机械强度可靠性设计的设计数据。

2.2 计算故障率,导致压力容器发生故障的原因众多,设计人员应在设计阶段计算出故障的发生率,并采取相应措施降低故障发生率,故障率 $F$ 可以通过公式 $B=[R]$ 来计算, $F=1-R$ 。

2.3 明确故障分布,压力容器的机械强度可靠性受到压力容器口径、壁厚、大小及耐腐蚀性等因素的影响,设计人员应从整体上对压力容器的故障分布情况进行明确,利用计算所得的故障率计算出压力容器的可靠度指数<sup>[2]</sup>。

2.4 选择制造材料,压力容器的机械强度可靠性与制造材料的选择密切相关,为了保障压力容器的机械强度可靠性,设计人员应根据压力容器制造材料的载荷参数、变形参数和耐腐蚀性参数选择相应的材料。

2.5 计算应力均值,在明确压力容器故障分布情况和计算出压力容器可靠度指数的基础上计算出压力容器所承受的应力平均数值。

2.6 确定壁厚数据,并根据压力容器应力平均值与压力容器尺寸二者间的关系,通过应力平均值计算出压力容器壁厚数据<sup>[3]</sup>。

## 3 压力容器的机械强度可靠性设计相关指标

### 3.1 可靠度

可靠性指标是指压力容器在规定使用条件下和规定使用时间段内,其自身功能得以正常稳定发挥的概率,一般压力容器的可靠性指标用字母 $R$ 来表示,压力容器可靠性指标主要由分析对象、应用条件、功能实现、分析时间和概率值5个因素决定,设计人员将压力容器可靠性指标和时间建立起了一个函数公式,具体函数表达式为: $R=R(t)$ ,其中 $R$ 代表可靠性,其数值在0到1区间内, $t$ 代表压力容器的使用时间。

### 3.2 安全度

压力容器的安全度与其机械强度成正比关系,从以前开始,国际上开始对压力容器安全度指标进行研究,其中德国、英国和美国在压力容器安全度方面的研究一直处于国际先进水平,尤其是德国的压力容器安全度相关研究数据被作为国际通行标准,我国压力容器安全度方面研究落后于西方发达国家,因此我国必须积极学习

发达国家研究成果,并加大对压力容器安全度的研究力度,以提高我国压力容器设计和制造水平。

### 3.3 维修度

维修度是指产品在发生故障之后在规定的条件下实施维修然后在规定的条件下完成维修的概率,并且根据其定义可以看出,维修度表示的是产品维修操作难易程度,其与维修的时间成正相关关系,经维修之后能够让产品的功能恢复到以往的状态。在衡量压力容器的可靠度和安全性能时使用 $\beta$ 进行表示,现如今研究者们分别对美国、德国和英国的压力容器的可靠度统计数据进行分析,结果推算出美国的设计生产的压力容器的失效概率为 $0.63 \times 10^{-5}$ ,德国的压力容器其失效概率为 $10^{-5}$ ,目前对于压力容器失效概率都以德国的统计结果为标准<sup>[1]</sup>。

## 4 压力容器机械强度可靠性设计的理论基础

### 4.1 可靠性含义

压力容器可靠性是指其在特定的情况下,能够让使用功能满足用户的需求,并且在使用的过程不发生故障性质。与压力容器机械强度可靠性存在密切关联的因素有使用环境、环境温度、消费者使用需求以及应力托等,压力容器机械强度的可靠性和压力容器的使用时间存在密切联系,并随着压力容器使用时间的延长,压力容器机械强度的可靠性逐渐降低,也正是由于有可靠性的存在人们才对压力容器产生了使用寿命的认识。无论是电子产品还是人们日常生活用品,研究可靠性都是非常有必要的。随着国家经济水平和人们生活质量的提升,人们对压力容器的要求也越来越高,在科技发展的支持下,压力容器可靠性得到了大幅度的提升,由于可靠性在一定程度上体现了一个国家的实力水平,因此产品的可靠性研究具有非常重要的意义<sup>[2]</sup>。

### 4.2 理论基础

根据国家标准,压力容器设计应充分的考虑实际厚度和计算厚度的附加值。实际厚度的附加值是指筒体的腐蚀裕量和材料得到实际厚度误差,材料的实际厚度误差是根据材料标准中所规定的误差范围进行计算,而筒体的腐蚀裕量则指的是压力容器中所装的物体对材料腐蚀速率的影响和对压力容器的预期使用时间的计算等。通过长期实践研究表明,我国大部分的压力容器机械强度可靠性设计,在对使用寿命进行计算的弹性失效的中径公式都是将其设为极限情况,计算并没有考虑到腐蚀裕量,所以所得出的结果与实际存在差别。

## 5 压力容器可靠性设计中的注意事项

在化工压力容器可靠性设计中,提出以下几点注意

事项,一是注意设计技术、规范的合理应用,加强容器设计的标准化,避免设计过程中出现误差,防止容器使用中潜在侵权隐患。二是注意容器设计的压力与温度,采用焊接的方式,规范的处理材料的连接为主,根据使用材料的等级,设计焊接过程。三是控制好压力容器壳体的厚度,强化基础性设计,防止外界设施对压力容器自身造成冲击干扰,既保持压力容器的可靠性,又能完善化工压力容器的使用环境,并能加强可靠性及安全性的控制力度<sup>[3]</sup>。

## 6 压力容器的机械强度可靠性设计的基本方法

### 6.1 受压材料的科学利用

首先,选用不同的受压材料将会直接影响压力容器的机械强度,因此对于受压材料的选择至关重要。在选择受压材料时,要按照设计压力、外界环境和介质腐蚀性的实际参数来确定。除此之外介质的选择也很重要,介质易燃、易爆就会影响受压材料,所以说在压力容器中所使用的材料务必要满足工作及国家制定的行业标准。基于此,科学的设计结构也将会影响压力容器的可靠性。

### 6.2 精确压力容器筒体的厚度计算

目前科研人员在研究铝合金的强度时,证明了实际条件下材料的腐蚀深度的分布,后来,随着研究范围的不断扩展,关于实际情况下材料腐蚀深度研究的成果也越来越显著。所以,对于压力容器筒体腐蚀裕量的完全可以计算,并可以计算出压力容器筒体的最初厚度。根据蒙特卡罗的模拟方法可知,若压力容器筒体的厚度为23毫米,则十年之后,压力容器的可靠性为0.9的五次方。因此,通过大量的实践分析证明,压力容器筒体的

厚度会随着时间的增长而发生变化,但是需要保证的是,在压力容器的使用年限中,其可靠性务必要高于0.9的五次方才可以。

### 6.3 重视极限使用情况

压力容器随着使用的时间延续,压力容器的壁厚会发生变化,同时,在应力的长期作用下压力容器也会发生变化,在压力容器的机械强度可靠性设计时,设计人员应对盛放物质对容器的腐蚀速率进行分析,然后计算出压力容器壁厚的实际值,压力容器在使用中,受到应力作用的影响,会出现压力容器断裂和压力容器屈服失效两种极限情况,并且设计人员需要对极限使用情况重视,最大程度提高压力容器的可靠性<sup>[1]</sup>。

## 7 结语

目前,我国压力容器的机械强度可靠性设计都较为随意,没有对于压力容器可靠性的明确要求,而以上的可靠性方法主要通过公式、假设等进行分析概括。压力容器的机械强度可靠性设计的主要目的是为了时压力容器的机械强度能够达到安全水平,经济水平、外界环境以及应力等都是对压力容器的机械强度可靠性设计的最终考量,因此,压力容器的机械强度可靠性设计具有极其重要的作用。

### 参考文献:

- [1]孙维国.对压力容器的机械强度可靠性设计的简单探讨[J].科技资讯,2012(18).
- [2]胡小芳,郑小海.对压力容器的机械强度可靠性设计的探讨[J].化工理,2015,19:162-164.
- [3]田旭.对压力容器的机械强度可靠性设计的简单探讨[J].技术平台,2019(01):16-18.