

在线校验安全阀过程中等效密封面积计算方法的研究

吴金发

福建省劳安设备技术开发有限公司 福建 龙岩 364000

摘要: 本文针对安全阀压力在线整定过程中的等效密封面积计算方法进行了系统研究。通过分析安全阀的工作原理和影响等效密封面积计算的关键参数,构建了等效密封面积的计算模型,提出了实验数据计算方法和数值模拟计算方法,并与传统计算方法做了比较。随后,通过实验和数据模拟研究验证了所提方法的准确性与适用性。研究结果表明,合理的等效密封面积计算方法能够有效提升安全阀压力整定的精度和可靠性,为工业设备的安全运行提供了有力支持。

关键词: 安全阀; 压力整定; 等效密封面积; 计算方法

引言: 随着工业生产的不断发展和安全性要求的提高,安全阀作为压力设备的重要保护装置,承担着确保系统压力维持在安全范围内、保护设备和人员免受过压危害的重任。安全阀的性能直接影响到整个压力系统的安全性与稳定性,其中压力整定是安全阀运行中至关重要的环节。通过合理的压力整定,可以确保安全阀在过压时及时开启,防止系统损坏甚至灾难性事故的发生,而安全阀等效密封面积计算的准确性关系到压力整定的精度。

1 安全阀的工作原理与安全阀压力整定

安全阀作为一种压力释放装置,主要应用于防止系统因超压而造成的设备损坏和人员安全威胁。为了保证

系统处于安全的压力范围内,安全阀会在系统压力超过设定值时自动开启,迅速释放多余压力,防止事故的发生。在安全阀中,弹簧力 F_{spring} 主要用于控制阀瓣的开启和关闭。正常情况下,弹簧通过施加向下的压力,使阀瓣保持关闭状态,从而维持系统的密封性能。当系统内介质压力 P_{vessel} 超过整定压力时,作用于阀瓣上的力大于弹簧力,阀瓣被顶起,安全阀开启以释放压力。相反,当系统压力回落至正常范围内,弹簧力使阀瓣重新压合,关闭安全阀并恢复系统密封。通过对弹簧力的调节,可以改变安全阀的开启压力,从而实现压力整定功能。图1展示了安全阀的基本结构,包括弹簧、阀瓣和阀座等主要部件,直观的体现了安全阀的工作原理。

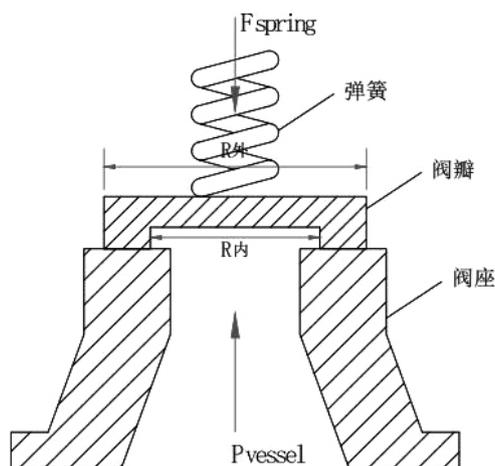


图1 安全阀工作原理示意图

压力整定是安全阀设计和使用中的关键环节,它通过调整阀瓣和弹簧之间的平衡力来确保安全阀在预定的压力点开启。压力整定主要有两种方式:离线校验和在线校验。离线校验是指安全阀脱离所在设备,在安全阀校验台上进行压力整定。在线校验是指安全阀安装在被

保护的设备上,使用在线校验仪对阀杆提供一个向上的附加力使安全阀开启从而进行压力整定。在线校验安全阀可以在设备正常运行时进行,不影响生产,降低了安全阀的检测综合成本,省去了安全阀的拆卸、吊装、运输等工作,大大减轻了工人的劳动强度。因此安全阀在

线校验技术得到广泛应用。在线校验基本原理：在线校验仪对安全阀阀杆提供一个向上的附加力，当这个附加力与系统介质对阀瓣的作用力总和大于弹簧预紧力时，阀瓣开启，此时附加力除以阀瓣等效密封面积得到的压力值与系统压力值之和就是安全阀的整定压力。安全阀在线校验的基本公式：

$$P_s = P_{vessel} + F/S_{eff}$$

公式中：

P_s ：安全阀整定压力

P_{vessel} ：系统介质压力

F ：作用在阀杆向上附加力

S_{eff} ：阀瓣等效密封面积

系统介质压力 P_{vessel} 通过系统上的压力表可读取；作用在阀杆向上附加力 F 通过在线校验仪的力传感器可测得。因此，等效密封面积 S_{eff} 成了解决问题的关键。

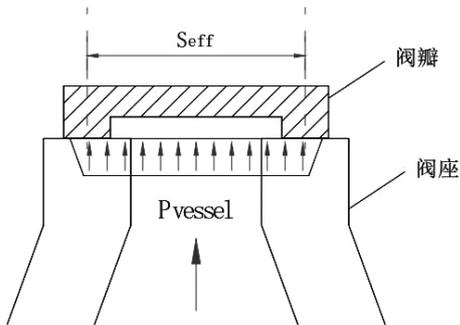


图2 安全阀关闭时受力示意图

2 等效密封面积的计算模型构建

2.1 等效密封面积的定义与理论基础

等效密封面积是衡量安全阀密封性能的关键参数之一，它反映了阀瓣和阀座之间的有效接触面积及其受力分布情况。等效密封面积并非简单地指阀瓣内径所包围的介质作用面积。阀瓣和阀座接触表面的质点不可能百分之百地绝对接触。事实上存在着许多微观通道，介质不停地从内部向外沿进行着微观流动，介质压力在密封面上类似符合三角形分布规律，如图2所示。在安全阀的

压力整定中，等效密封面积的变化直接影响阀门的开启和关闭性能。合理计算等效密封面积可以有效保证安全阀的正常工作状态，从而确保系统的压力控制精度。

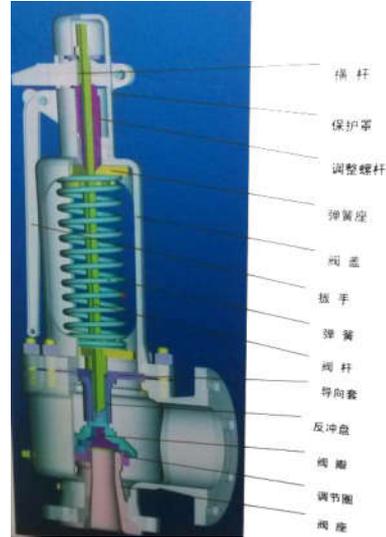


图3 安全阀剖面图

等效密封面积的理论基础主要依赖于力的平衡原理。系统内的压力通过作用在阀瓣上的总力与弹簧施加的反作用力之间达到平衡。当系统内压力超过设定值时，作用于阀瓣的力大于弹簧力，安全阀开启，释放多余的压力；反之，当压力回落至安全范围内时，弹簧力使阀瓣回到原位，确保密封性能。图3中所示的结构布局说明了弹簧力如何通过阀杆和阀瓣传递，从而实现密封和开启的双重功能，这也为等效密封面积的精确计算提供了理论依据^[1]。

2.2 影响等效密封面积计算的关键参数分析

在分析安全阀的等效密封面积时，需要关注多个影响其密封性能和压力整定的关键参数。这些参数包括弹簧刚度、阀瓣和阀座接触面的粗糙度、阀座接触面积、系统压力等。通过对这些参数的具体分析和量化研究，可以为计算等效密封面积提供理论依据和实践指导。表1是影响等效密封面积计算的主要参数及其典型值的分析表格。

表1 影响等效密封面积计算的关键参数及其典型值

参数名称	符号	单位	典型值范围	说明
弹簧刚度	k_s	N/mm	100-1000	弹簧的刚度影响压力整定的灵敏度和开启压力的控制，弹簧不能有严重的腐蚀和断裂现象。
阀瓣和阀座接触面粗糙度	R_a	μm	0.2-1.6	接触面粗糙度影响密封效果，粗糙度越大密封性越差，接触面不能有明显的锈蚀和凹坑现象。
阀瓣内径	D_v	mm	20-200	阀瓣的内径决定了接触面和受力分布，对密封面积有重要影响。
阀座接触面积	A_{seat}	mm^2	100-5000	反映阀瓣与阀座之间的接触面积，直接影响密封性能。
系统压力	P_{sys}	MPa	0.1-10	系统内的压力是开启阀门和维持密封的重要作用力。
弹簧预紧力	F_{pre}	N	50-1000	预紧力决定了阀瓣的初始密封状态和响应能力。

通过对以上关键参数的量化分析,可以更好地了解它们对等效密封面积计算的影响机制。例如,密封性能是影响安全阀压力整定精度的重要因素,良好的密封性能可以防止系统内介质泄漏,确保阀门开启的准确性,对等效密封面积的计算至关重要。密封性能取决于阀瓣和阀座接触面的粗糙度,粗糙度越大密封性越差。阀瓣和阀座接触面不能有明显的锈蚀和凹坑现象,如果出现泄漏现象,等效密封面积的计算将出现较大的误差,所以要以良好的密封作为计算前提。弹簧刚度的变化则直接影响安全阀的开启压力和响应速度,因此弹簧不能有严重的腐蚀和断裂现象。为保证密封性能与压力整定的精确性,必须合理选择和调节各个参数,从而确保安全阀在不同工况下的稳定性和可靠性^[2]。

3 等效密封面积的计算方法研究

等效密封面积的计算方法直接影响安全阀压力整定的精度和阀门的密封性能。为了确保在不同工况下安全阀的稳定性和可靠性,与传统计算方法做对比,本文提出了实验数据计算和数值模拟计算,从这两个方面对等效密封面积计算方法展开研究。

3.1 传统计算方法

3.1.1 中径法

将阀瓣的中径约等于等效密封面积的直径来计算。

$$R_{\text{等}} = R_{\text{中}} = (R_{\text{内}} + R_{\text{外}}) / 2$$

$R_{\text{等}}$: 等效密封面积的直径

$R_{\text{中}}$: 阀瓣中径

$R_{\text{内}}$: 阀瓣内径

$R_{\text{外}}$: 阀瓣外径

3.1.2 压差法

通过改变系统介质的工作压力来计算等效密封面积。

从安全阀在线校验的基本公式 $P_s = P_{\text{vessel}} + F / S_{\text{eff}}$ 可以发现, P_{vessel} 和 F 是已知的,系统介质压力 P_{vessel} 通过系统上的压力表可读取;作用在阀杆向上附加力 F 通过在线校验仪的力传感器可测得。改变系统介质的工作压力,得到两个工作压力 P_1 和 P_2 ,用在线校验仪使安全阀开启并分别测出对应的向上附加力 F_1 和 F_2 。代入公式可得:

$$P_s = P_1 + F_1 / S_{\text{eff}}$$

$$P_s = P_2 + F_2 / S_{\text{eff}}$$

通过解此二元一次方程可求得等效密封面积 S_{eff} 。

3.2 实验数据计算方法

实验数据是等效密封面积计算的重要依据。通过对安全阀在不同压力条件下的密封性能和开启测试,可以得到阀瓣与阀座之间的实际受力情况。基于实验数据的

计算方法通常采用以下公式进行计算:

$$S_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{total}}}{P_{\text{vessel}}}$$

其中 S_{eff} 为等效密封面积, F_{total} 为安全阀开启时介质作用在阀瓣向上的总力, P_{vessel} 为安全阀开启时系统内介质的压力。该方法能够直观地反映压力与受力之间的关系,通过采集的数据简单地就能计算出等效密封面积,但需注意实验条件和测试精度的影响。

3.3 数值模拟计算方法

通过计算机数值模拟和仿真,可以建立更为精确的等效密封面积模型。利用有限元分析(FEA)技术,可以模拟不同工况下阀瓣与阀座的接触情况和受力分布,得到更为准确的计算结果。典型的计算公式为:

$$S_{\text{eff}} = \int_{\text{contact}} \sigma_{\text{normal}} dA$$

其中 σ_{normal} 为接触面的法向应力, $\int_{\text{contact}} dA$ 表示对接触区域的积分。该方法能够有效描述复杂几何结构下的受力情况,但需要较高的计算能力和参数设置的精确性。

综上所述,等效密封面积的计算方法具有多种途径,传统计算方法较为简单但误差较大,受现场环境的影响和约束。实验数据计算和数值模拟计算提高了等效密封面积的计算精度,但需要采集准确和较多的测试数据,计算量较大。

4 实验与结果分析

为了验证等效密封面积实验数据和数值模拟计算方法的准确性和适用性,本文进行了系列实验,通过不同工况下的压力测试和密封性能评估,获取相关实验数据,并对结果进行分析和讨论。实验主要分为三个步骤:实验设计、数据采集与处理、实验结果分析。实验设计采用标准的安全阀测试装置,通过调节外部压力源来控制系统压力,主要测试阀瓣在不同压力下的密封性能及其对应的等效密封面积。实验使用的主要设备包括阀瓣内径为68mm、初始系统压力为0.5MPa的实验用安全阀、精度为0.1%的压力传感器、测量范围为0-10000N且精度为0.5%的力传感器,以及能够实时记录压力和力变化情况的数据采集系统。实验1首先设定弹簧的预紧力,确保安全阀处于关闭状态,然后逐步增加系统压力至1.0MPa,记录阀瓣的开启状态与受力情况。实验2设定弹簧的预紧力,确保安全阀处于关闭状态,然后逐步增加系统压力至1.5MPa,记录阀瓣的开启状态与受力情况。实验3设定弹簧的预紧力,确保安全阀处于关闭状态,然后逐步增加系统压力至2.0MPa,记录阀瓣的开启状态与受力情况。表2是实验采集的数据表格:

表2 实验数据表

试验编号	阀瓣内径 (mm)	初始压力 (MPa)	弹簧预紧力 (N)	开启压力 (MPa)	等效密封面积 (mm ²)
1	68	0.5	3984	1.0	3903
2	68	0.5	5630	1.5	3717
3	68	0.5	7624	2.0	3652

实验数据表中列出了不同试验条件下的等效密封面积和对应的开启压力值。通过对实验数据的分析，可以看出，弹簧预紧力对开启压力和等效密封面积有明显的影响。随着弹簧预紧力的增加，开启压力逐渐升高，等

效密封面积随之变小。基于实验数据，我们做了模拟计算对实验数据等效密封面积的计算方法进行了验证和对比分析。表3是实验结果分析：

表3 实验结果分析表

试验编号	实验计算面积 (mm ²)	模拟计算面积 (mm ²)	误差 (%)
1	3903	3973	1.79
2	3717	3769	1.40
3	3652	3707	1.51

由表3可见，实验计算值和模拟计算值之间的误差控制在2%以内，表明实验数据计算方法的准确性较高。实验结果显示，等效密封面积的变化与密封性、弹簧预紧力等参数密切相关，实验与模拟的结果一致性良好，验证了本文提出的计算方法的可行性和可靠性。

5 结论

本文研究了安全阀压力在线整定过程中的等效密封面积计算方法，通过实验数据和数值模拟分析，验证了不同计算方法的准确性和适用性。研究表明，合理的等

效密封面积计算能够显著提高安全阀的密封性能和压力整定精度，为工业系统的安全运行提供了有效支持。未来的研究将进一步优化计算模型，拓展其在复杂工况下的应用，为安全阀设计和运行提供更全面的指导。

参考文献

- [1]张健.安全阀金属密封及整定压力偏差致因研究[D].华东理工大学,2019.
- [2]邢金涛,李东东,马维强,等.安全阀整定压力和密封试验压力的取值探讨[J].石油工业技术监督,2015,31(8):3.