

环境温度对压降法漏率测试的影响

肖祥正

(兰州物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 介绍了差压法测量漏率的原理并结合差压测量的过程对环境温度变化的影响进行了分析, 给出了温度修正公式, 提出了被检系统的有效容积的测量方法。

关键词: 压降法; 差压测量法; 温度; 有效容积

中图分类号: TB771

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2002)03-0154-03

THE EFFECT ON TOTAL LEAKAGE MEASUREMENT USING THE PRESSURE DECREASE METHOD BECAUSE OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE

XIAO Xiang-zheng

(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The principle of leakage measurement using differential pressure transducer is introduced. The effect of environmental temperature change is analyzed in view of the processes of differential pressure measurement. The amended formula with the temperature is given. The measurement method for effective volume of detected system is put forward.

Key words: pressure decrease method; leakage measurement method using differential pressure transducer; temperature; effective volume

1 引言

静态压降法是压力系统总漏率测试的主要方法, 压力测量中必须考虑温度变化的影响。在静态压降法总漏率测试中, 如果用绝压计分别直接测量被检系统在起始时间和 Δt 时间后的压力值, 再计算压差, 则会因被测压力值较大(0.15 MPa 以上), 环境温度变化对压力测量值的影响也较大。如果采用差压测量法, 尽管此时被检系统(测量室)和参考室中的工作压力也较大, 这时测量的是两室之间的压力差, 可以测量出较小的压差。且环境温度变化对测量室和参考室压力的影响始终是同向的, 当两室所处的工作温度相同时, 其环境温度变化对压力测量的影响基本可以相互抵消, 这就是采用差压测量的重要特点。尽管如此, 差压测量的主要误差来源仍然是环境温度变化对压力测量的影响^[1]。

2 测量分析

采用差压测量法对被检系统进行总漏率测试的测试系统如图 1 所示。它是以差压式电容薄膜规作为压力传感器, 测量被检系统在一定时间内的压力下降值, 从而确定其总漏率大小的一种方法。差压式电容薄膜规通过连接管道被接在参考室与测量室(被检系统)之间, 测量室与参考室之间还装有一个阀门, 以控制两室之间的通断状态。参考室是一个经过严格检漏, 其漏率极低的金属容器。测试时, 先将阀门置于开启位置, 向测量室及参考室内充以工况压力的空气, 并静放一段时间, 使两室的压力达到平衡。此时参考室与测量室

收稿日期: 2002-06-17

作者简介: 肖祥正(1940-), 男, 湖南省隆回县人, 研究员, 从事检漏技术的研究、开发和应用工作。

处于同一压力, 差压计指示为零, 且两室之间的温度也基本相同。然后关闭阀门, 如果测量室(被检系统)有漏, 测量室中的压力将随时间而下降, 经过 Δt 时间后, 在参考室与测量室之间就出现压差, 其压差 Δp 值由差压式电容薄膜规指示出来。计算被检系统总漏率 Q_z 的公式如下

$$Q_z = \Delta p \times V_x / \Delta t \quad (1)$$

式中 Δt 为测试时间, s; Δp 为在测试时间 Δt 内, 因被检系统泄漏产生的压力下降, Pa; V_x 为被检系统的有效容积, m^3 。

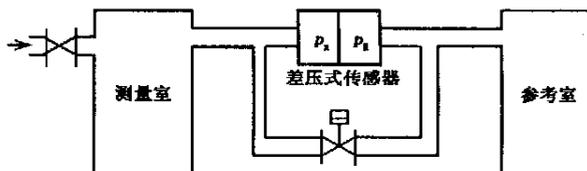


图1 差压法总漏率测试系统

下面结合差压测量的过程对环境温度变化的影响进行分析。

(1) 测试前, 两室之间的阀门处于开启状态, 通过充气系统向两室中充入高压气体, 经过一段时间的稳定后, 参考室与测量室中的温度、压力均达到平衡, 即有

$$\begin{aligned} t=0 \text{ 时, } T_{x0} &= T_{R0} = T_0, \\ p_{x0} &= p_{R0} = p^0, \\ p_{R0} - p_{x0} &= 0. \end{aligned}$$

(2) 测试开始, 在 $t=0$ 时, 关闭阀门。经过时间 Δt 后, 因泄漏的影响, 测量室的压力变为 p_{xt} , 压差为 Δp_x , 而参考室的压力为 p_{Rt} 。如果在此测试时间内, 环境温度保持不变, 设 T_0 温度下因泄漏引起的测量室的压力变化为 Δp , 则有

$$\begin{aligned} t = \Delta t \text{ 时, } T_{xt} &= T_{Rt} = T_0, \\ p_{Rt} &= p_{R0} = p^0 \text{ (参考室无泄漏)}, \\ p_{xt} &= p_{x0} - \Delta p = p^0 - \Delta p. \end{aligned}$$

参考室与测量室之间的压差为 Δp_t (即差压计的读数) 为

$$\Delta p_t = p_{Rt} - p_{xt} = p^0 - (p^0 - \Delta p) = \Delta p \quad (2)$$

如果在测试时间内, 环境温度发生变化, 测量室温度变为 T_{xt} , 参考室温度变为 T_{Rt} , 则有

$$t = \Delta t \text{ 时, } T_{xt} \neq T_{Rt}$$

因环境温度变化造成的参考室起止温度差 ΔT_R 为

$$\Delta T_R = T_{Rt} - T_{R0} = T_{Rt} - T_0$$

因环境温度变化造成的测量室起止温度差 ΔT_x 为

$$\Delta T_x = T_{xt} - T_{x0} = T_{xt} - T_0$$

在测试期间, 参考室与测量室之间的温度差 ΔT 为

$$\Delta T = T_{Rt} - T_{xt} = \Delta T_R - \Delta T_x$$

参考室和测量室之间的压力分别为

$$p_{Rt} = p_{R0} \times T_{Rt} / T_{R0}; \quad p_{xt} = (p_{x0} - \Delta p) \times T_{xt} / T_{x0}$$

所以, 测试期间参考室与测量室之间的压差 Δp_t (即差压计的测量值) 为

$$\begin{aligned} \Delta p_t &= p_{Rt} - p_{xt} = p_{R0} \times T_{Rt} / T_{R0} - (p_{x0} - \Delta p) \times T_{xt} / T_{x0} = \\ & p^0 \times T_{Rt} / T_0 - (p^0 - \Delta p) T_{xt} / T_0 = p^0 \times \Delta T / T_0 + \Delta p \times T_{xt} / T_0 \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)可知: ① 当环境温度变化造成参考室和测量室的温度变化完全相同, 即 $T_{Rt} = T_{xt}$, $\Delta T = T_{Rt} - T_{xt} = 0$ 时, $p^0 \times \Delta T / T_0 = 0$, 这表明环境温度变化对测量室和参考室本底压力的影响完全抵消, 故有

$$\Delta p_t = \Delta p \times T_{xt} / T_0 \quad (4)$$

即压差的测量值与温度成正比关系, 这种修正非常简单。② 当环境温度变化引起参考室与测量室之间的温度变化不一样, 即出现温度差 $\Delta T \neq 0$ 时, 测量值 Δp_t 由两部分组成, 一部分是由被检系统泄漏造成的 $p \times T_{xt} / T_0$ 项; 另一部分是因本底压力引起的 $p^0 \times \Delta T / T_0$ 项。在总漏率测试时, 需要测量的是前面一项, 即 $\Delta p \times T_{xt} / T_0$, 而由本底压力引起的 $p^0 \times \Delta T / T_0$ 项是应该避免和扣除的。因此, 希望 $p^0 \times \Delta T / T_0$ 项的值越小越

好,这样对 $\Delta p \times T_{xt}/T_0$ 项的测量就越容易和越精确。如 $p_0 \times \Delta T/T_0 \gg \Delta p \times T_{xt}/T_0$, 则 $\Delta p \times T_{xt}/T_0$ 项的测量就变得十分困难,甚至不可能,因为 $p_0 \times \Delta T/T_0$ 值会将 $\Delta p \times T_{xt}/T_0$ 值覆盖。^③ 要提高总漏率测试中的准确性,延长测试时间 Δt 可以使 Δp_t 的值增加,但同时也将使 ΔT 变大。因此这不是一种可行的办法。有效的方法是尽可能地降低 ΔT , 为此需要采取措施,有效地控制测试环境的温度变化。除此之外,在设计参考室时,要注意其材料、形状、结构、大小均应与被检系统相接近,并保证参考室与测量室之间具有良好的热传导性。提高总漏率测试精度的另一条途径是选用带有恒温装置的高精度电容薄膜规,最大限度地减小差压规本身的零点漂移。恒温型电容薄膜规的恒温温度范围是 $45 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$, 环境温度越接近恒温温度,其效果就越差。由于差压规的工作环境温度一般不会超过 $40 \text{ }^\circ\text{C}$, 所以选用恒温型电容薄膜规对降低压力传感器的零点漂移是十分有效的。大量实验证明:当环境温度变化 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,电容薄膜规的温度变化只有 $0.01 \sim 0.02 \text{ }^\circ\text{C}$, 薄膜规的零点漂移只有满量程的 0.002% , 测量精度极高。因此,在总漏率测试过程中,若环境温度的变化不超过 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,可以不考虑温度变化的影响。^④ 总漏率测试的关键是要准确测出因泄漏引起的测量室的压力下降 Δp 值,从式(3)可得

$$\Delta p = (\Delta p_t - p_0 \times \Delta T/T_0) T_0/T_{xt} = \Delta p_t \times T_0/T_{xt} - p_0 \times \Delta T/T_{xt} \quad (5)$$

即 Δp 是从测量值 $\Delta p_t \times T_0/T_{xt}$ 中减去温度影响项 $p_0 \times \Delta T/T_{xt}$ 得到的。由于对 ΔT 的测量可能是困难的,所以 $p_0 \times \Delta T/T_{xt}$ 项一般可通过实验来获取,即当测量室漏率 $Q \approx 0$ 时,在相同的测试时间 Δt 内,用差压计测出这时的 Δp_t 值,同时分别测出测量室测试前后的温度 T_0 和 T_{xt} ,由式(5)可知

$$p_0 \times \Delta T/T_{xt} = \Delta p_t \times T_0/T_{xt}$$

需要注意的是,每一次测得的 Δp_t 值可能会不同,应采用多次测量取平均值的方法来确定其值的大小。

(3) 由式(1)得知,要获得系统的总漏率 Q_z 的值,除需要测出 Δp 的值外,还需要知道测试时间 Δt 和被检系统的有效容积 V_x 的值。关于 V_x 的测量,可利用图1所示的装置,根据波义耳定律将容积的测量转化为压力的测量。其方法是:① 测量参考室的容积 V_R 及大气压力值(参考室中的初始压力) p_0 。② 开启测量室与参考室之间的阀门,向两室内充入表压为 p_1 的空气。③ 关闭测量室与参考室之间的阀门,通过接在系统上的放气阀,将测量室中的气压泄至 p_0 , 然后关闭放气阀。④ 开启测量室与参考室之间的阀门,待两室的压力平衡后,测出其压力值 p_2 (表压)。根据波义耳定律可知

$$(p_1 + p_0) V_R + p_0 V_x = (p_2 + p_0) (V_R + V_x)$$

被检系统的有效容积 V_x 为

$$V_x = (p_1 - p_2) V_R / p_2 \quad (6)$$

3 结论

采用差压测量法对被检系统进行总漏率测试时,仍然要考虑环境温度变化对压力测量的影响^[1]。在测试过程中,若环境温度变化引起参考室与测量室之间的温度变化不一样,即出现温度差 $\Delta T \neq 0$ 时,要获得系统的总漏率 Q_z 的值,其 Δp 值可按温度修正式(5)计算。若选用带有恒温装置的高精度电容薄膜规且环境温度的变化不超过 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,可以不考虑温度变化的影响。被检系统的有效容积 V_x 可按本文介绍的方法进行测量,并按式(6)计算。

参考文献:

- [1] ROBERT C. McMaster. Nondestructive testing handbook [M]. (second edition) Vol. 1 Leak testing, 1982. 222.
[2] 肖祥正. 泄漏检测技术 [M]. 北京: 航空航天无损检测人员资格鉴定委员会, 2000.