

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.01.04

真空腔泄漏对振动筒压力传感器 长期稳定性的影响分析

陈丽艳, 康志宏, 宋继红

(太原航空仪表有限公司, 山西太原 030006)

摘要: 针对高精度绝压振动筒压力传感器的测量压力原理, 提出传感器对真空度的要求。介绍了真空腔的设计方法和真空度的测试方法。从漏率的角度分析了真空腔泄漏对传感器长期稳定性和测量准确度的影响, 最终给出传感器真空腔设计依据和传感器存储使用要求。

关键词: 绝压传感器; 真空腔; 漏率; 稳定性

中图分类号: TB9; TP212

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)01-0021-03

Analysis of the Leaking of Vacuum Cavity Effecting on Long-term Stability of a Vibration Cylinder Pressure Sensor

CHEN Liyan, KANG Zhihong, SONG Jihong

(Taiyuan Aviation Instrument Limited Liability Company, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The theory of measuring the sensor's pressure was discussed and the requirement of the vacuum degree for the sensor was proposed. The design method of vacuum cavity and the test method of vacuum degree were given out. The effect of different vacuum cavity's leaking on the sensor's long-term stability and measurement accuracy was analyzed. At last, we also need to think about the way on how to design the vacuum cavity and the storage methods and the using environment of the sensor.

Key words: absolute pressure sensor; vacuum cavity; the speed of leaking; stability

0 引言

绝压振动筒压力传感器具有准确度高、抗干扰性强、长期稳定性等优点, 主要应用在大气数据测量仪表中。在测量气体的绝对压力时, 作为零压力基准。零压力基准作为绝对压力的参考点, 其稳定性直接影响绝压传感器的长期稳定性和准确度^[1]。因此, 零压力基准即真空腔是绝压振动筒压力传感器的重要组成部分, 真空腔的真空度是振动筒压力传感器重要指标之一, 能够直接反映振动筒压力传感器的准确度在一定时间内的稳定性。

振动筒压力传感器是通过对不同组件焊接形成真空腔, 必然存在一定的气体泄露影响真空腔的真空度, 因此, 采用泄漏率分析绝压振动筒压力传感器的零压力基准对研究振动筒压力传感器的长期稳定性具有重要意义。

为了优化设计振动筒压力传感器的长期稳定性, 此文主要从真空腔的设计角度探索振动筒传感器的真空腔对绝压振动筒压力传感器的长期稳定的影响。

1 绝压振动筒压力传感器测压原理

绝压振动筒压力传感器是基于谐振技术典型的对频率敏感的谐振式传感器, 振动筒敏感元件将感受的压力转变为频率信号输出, 即用频率信号表征压力信号^[2], 对频率信号的处理只需简单数字电路即可转换为微处理器容易接受的数字信号, 并且具有准确度高、性能稳定、抗干扰性强等优良性能。

绝压振动筒压力传感器的核心部分如图 1 所示。绝压振动筒压力传感器的真空腔由振动筒敏感元件的外表面和保护筒的内表面组成^[3], 它们用连接套环焊接在一体, 因此, 焊接质量和焊接方法以及真空腔的形成过程直接影响绝压振动筒压力传感器真空腔的质量和绝压振动筒压力传感器的测量性能。

绝压振动筒压力传感器是靠振动筒敏感元件感受压力的变化。当不同的压力 P 作用在振动筒内壁时, 导致振动筒敏感元件刚度发生变化, 振动筒敏感元件固有频率随之变化。振动筒敏感元件受力发生形变, 同时形变作用于压电陶瓷片产生电信号, 这样就把机械信号转变为电信号; 同理, 给压电陶瓷片电信号, 压

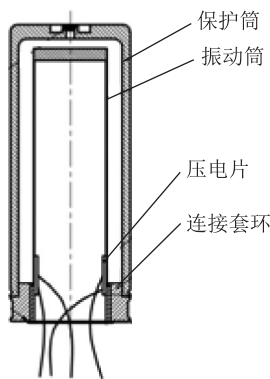


图1 绝压振动筒压力传感器的核心部分

电陶瓷片发生形变并作用于振动筒敏感元件，这样就把电信号转变为机械信号^[4]，该过程与谐振电路相结合就够成绝压振动筒压力传感器谐振系统。

振动筒敏感元件的固有频率随其测量压力变化过程表示为

$$f_p = x(p - p_0) \quad (1)$$

式中： f_p 为振动筒敏感元件在内腔压力 p 作用下固有频率； p_0 为真空腔的压力。

对于绝压振动筒压力传感器来讲，真空腔内的压力 p_0 应为零。考虑到真空腔的形成过程及组成，绝压传感器应该有 $p \gg p_0$ ，且 p_0 趋于零。若真空腔有微漏现象则必然影响绝压振动筒的测量准确度和长期稳定性^[5]。

2 传感器真空腔泄漏测试方法

振动筒压力传感器真空腔泄漏测试装置如图2所示。将保护筒底部开一个小孔，然后用连接套环连接振动筒和保护筒，在连接处有焊缝1和焊缝2，这时可以用图2装置对真空腔泄露处焊缝1和焊缝2检漏。将该装置装在氦质谱检漏仪上，然后在底部开孔处用真空泵抽真空，使漏率达到 $1 \times 10^{-13} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，之后向焊缝1和焊缝2处喷氦气，并观察漏率的变化情况，

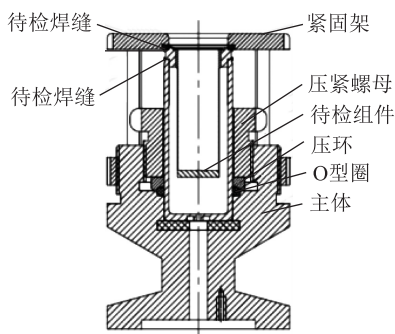


图2 振动筒压力传感器真空腔泄露测试装置图

若漏率在数量级 $10^{-13} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 左右变化或保持，说明焊缝的泄漏率不高于 $10^{-13} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。对于真空腔而言，泄漏率越低，真空腔的质量越好，绝压振动筒压力传感器的长期稳定性越好。

3 传感器真空腔泄漏数学分析

从真空腔的泄漏测试方法可知，可以用泄漏率来评估真空腔的质量和预测真空腔的长期稳定性。

3.1 漏率的定义

考虑到真空腔内气体分子之间的距离非常大，气体之间的作用力非常小，而分子本身的体积相对于真空腔的体积可忽略不计，可以用理想气体状态方程对真空腔的泄漏进行描述。

理想气体状态方程表示为

$$PV = nRT \quad (2)$$

式中： P 为理想气体的压强； V 为理想气体的体积； n 为理想气体物质的量； R 为理想气体常数； T 为理想气体热力学温度。

让真空腔处于恒温恒压的环境中，真空腔在 t_1 时刻的理想气体状态方程表示为

$$P_1 V = n_1 RT \quad (3)$$

式中： P_1 为 t_1 时刻真空腔的压力； V 为真空腔的体积。

真空腔在一定泄漏率下，在 t_2 时刻下的状态方程为

$$P_2 V = n_2 RT \quad (4)$$

式中： P_2 为 t_2 时刻真空腔的压力。

式(3)和式(4)计算出该真空腔的泄漏率 Q 表示为

$$Q = \frac{(P_1 - P_2)V}{t_1 - t_2} = \frac{(n_1 - n_2)RT}{t_1 - t_2} = \frac{\Delta PV}{\Delta t} \quad (5)$$

从式(5)可以看出漏率可以定义为在恒温条件和恒定环境压力的条件下，真空腔体积保持不变，真空腔内压力随时间的变化，或者是真空腔内的气体摩尔数随时间变化情况。

气体瞬时泄漏率与真空腔所处环境压力和漏孔的面积有关，表示为

$$Q \propto (P_E - P) \cdot S \quad (6)$$

式中： P_E 为环境压力； P 为真空腔压力； S 为漏孔面积。

从式(6)可以看出某时刻的泄露量与环境压力的大小和漏孔面积的大小成正比，可见氦质谱泄漏测试只能给出绝压振动筒压力传感器某时刻的泄露状态，并不能对一段时间内的泄漏状态考核。为保证绝压振动筒压力传感器的长期稳定性不仅要提高焊接质量而且

要给绝压振动筒压力传感器合适的存储环境。

3.2 绝压振动筒压力传感器长期稳定性数学分析

长期稳定性是绝压振动筒压力传感器的一个重要指标,可以用式(5)对绝压振动筒压力传感器长期稳定性进行分析。真空腔的真空度变化情况可以表示为

$$Q \cdot t = \Delta PV \quad (7)$$

式中: t 为泄漏时间; ΔP 为真空腔真空度的变化量。

从式(7)也可以看出在泄漏率和泄漏时间不变的情况下,真空腔的体积不同,真空度的变化也不同。

以某单位 9 mm 振动筒传感器为例,当泄漏率 $Q = 1 \times 10^{-13} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 体积 $V = 2.21 \text{ cm}^3$, n 年内振动筒压力传感器的真空腔的真空度变化情况为

$$\Delta P = \frac{Qt}{V} = \frac{1 \times 10^{-13} \times n \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}{2.21 \times 10^{-6}} = 1.4269 \cdot n \quad (8)$$

式(8)给出了在一定泄漏率下,随着年限的增加,振动筒压力传感器真空腔的真空度不断变差的关系,如图 3 所示。

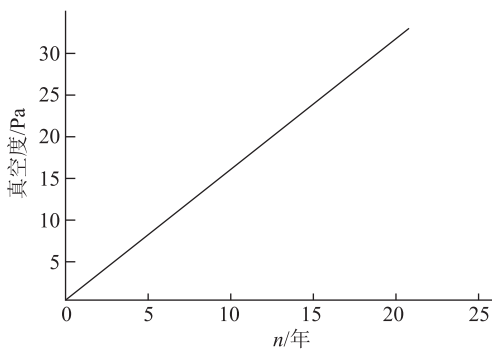


图 3 真空度随年限的变化情况

式(8)也给出在不同的泄漏率下,振动筒压力传感器真空腔的真空度随着时间的增加,真空腔的变化情况,如图 4 所示。

4 结论

介绍了绝压振动筒压力传感器的封装结构、测压原理及真空腔泄露的检测方式,并对传感器真空腔泄

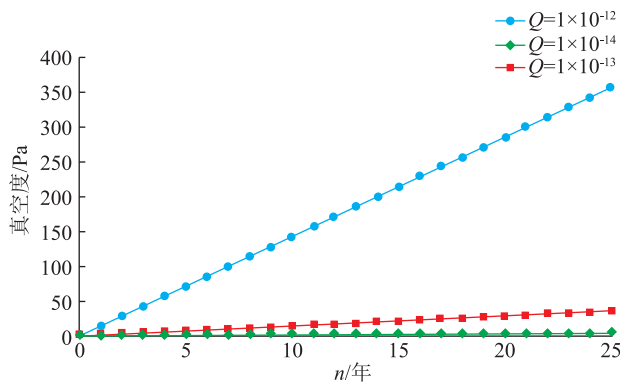


图 4 不同泄露率下真空度随年限的变化情况

漏进行了数学分析。通过对绝压振动筒压力传感器瞬时泄漏和长期泄漏的数学分析,给出了泄露与存储年限的量化关系、泄漏与环境条件的关系。为保证绝压振动筒的长期稳定性,必须给出合适的封装过程和焊接方法;同时,也要考虑其合理的体积设计和存储方式。

参 考 文 献

- [1] 《航空制造工程》总编委会主编. 航空制造工程手册弹性敏感元件工艺[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
- [2] 冯冠平. 谐振传感器理论及器件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [3] 张文娜, 叶湘滨, 熊飞丽, 等. 传感器技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [4] 樊尚春, 周浩敏. 信号与测试技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [5] 吴建平. 传感器原理及应用[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2012.

收稿日期: 2017-11-09



陈丽艳(1984-), 女, 工程师, 毕业于南昌大学, 在太原航空仪表有限公司主要从事温度传感器和压力传感器的理论和应用研究。

福禄克推出高精度气流分析仪 VT900

呼吸机作为风险等级最高的医疗设备, 必须确保病人每次使用时都处在最佳运行状态。因此, 对呼吸机进行质控检测是确保患者安全的关键一步。

VT900 是福禄克公司 2018 年最新推出的高精度气

流分析仪, 可适用于高精度、超低流量和超低压力测量值的设备, 如麻醉机和流量计等; 也可以准确可靠地测试所有类型的医疗气体流量设备, 如呼吸机、气腹机、测氧计等。
(刘倩倩)