

声学成像仪的泄漏速率量化 (LRQ) 方法

Toros Senan,
博士声学工程研究工程师

简介

许多应用需要进行泄漏检测。人们较为熟悉的应用包括压缩空气系统，该系统在许多应用中都有使用，且最常用于制造工厂。

ii900/ii910 操作回顾

ii900/ii910 使用按特定阵列模式排列的 64 个麦克风。阵列的中间有一个可见光相机，用于提供场景的图像。该设备使用复杂的算法生成声源的声图或声像，然后将生成的声音图覆盖到可见光图像上。根据声源在 ii900/ii910 视野中的位置，每个麦克风接收声音的时间略有不同。麦克风之间的时间差异允许定位声源的位置：如果声音来自设备右侧，阵列右侧的麦克风接收声音的时间将比左侧的麦克风早几分之一秒。ii900/ii910 将在屏幕右侧显示该声音的图像。

ii900/ii910 如何检测泄漏？

当加压系统中发生泄漏时，逸出的气体（空气）分子将导致紊流，从而导致压力和流速快速变化。这些变化会以声波形式传输。ii900/ii910 能够检测这些声波的位置和强度。

压缩空气泄漏到环境大气中会产生位于可听频率范围和超声波频率范围内的宽带噪声 (Eret 和 Meskell, 2012 年; Holstein 等人, 2016 年)。在工业压缩空气系统中，窄带（以约 40 kHz 为中心）超声波传感器是一种广为使用的泄漏定位工具。不过，使用窄带超声波传感器会带来一些限制。

泄漏部位与测量设备之间的距离以及测量角度是影响超声波传感器有效性的重要因素：首先，高频声音通过大气吸收会得到迅速衰减（参见 Wolstencroft 和 Neale, 2008 年）。

其次，压缩空气泄漏产生的声压级随测量角度的变化而变化 (Wolstencroft 和 Neale, 2008 年)。此外，已知噪声环境会降低窄带超声波传感器的性能 (Eret 和

Meskell, 2012 年)。利用在可听频率范围和超声波频率范围内工作的宽带传感器，用户可以补偿上述限制。所提供的频率范围灵活性提高了泄漏检测系统的稳定性。例如，在图 1 中可以看到，在系统压力为 6 巴的情况下，从开口孔中泄漏出来的压缩空气会产生宽带噪声。图 1 显示测得的声压级最大的频率区域处于可听范围内。相比之下，在 35 – 45 kHz 频率范围内测得的声压级（图 1 中的红色虚线）明显低于频谱的其余部分。



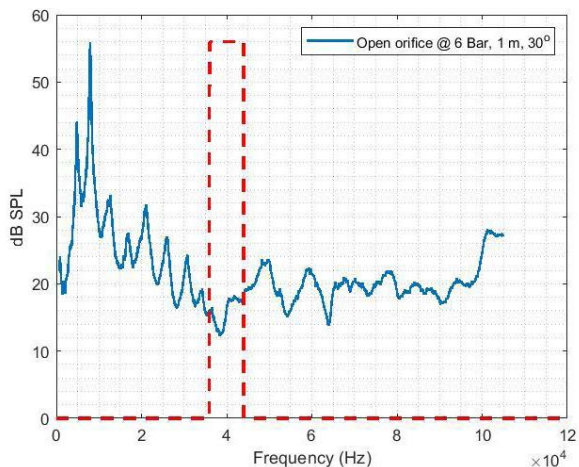


图 1: 压缩空气通过开口孔 (1/4 英寸) 泄漏。使用 ii910 以 30 度测量角度从距泄漏源 1 米远的位置进行测量。蓝色线表示平滑频谱, 红色虚线表示约为 40 kHz 的频率区域。

探讨压缩空气泄漏声音频率特征的研究数量有限。在 Holstein 等人的研究 (2016 年) 中, 介绍了压缩空气泄漏测量值随流速系统性增加而变化的频谱 (参见 Holstein 等人的研究 (2016 年) 中的图 2)。泄漏源是一个圆形开口孔, 测量是从离泄漏源 20 cm 的距离处进行的。频谱显示流速越大, 50 kHz 以上的能量会增加。对于实验中测得的最大流速, 频谱显示了约 80 kHz 的峰值。

影响泄漏检测的因素

影响泄漏检测的因素在本节中单独进行探讨。应当指出的是, 本节中所述各项因素相互作用, 应视为一个广泛复杂现象的单一组成部分。

泄漏源因素:

1. 系统压力

通常, 系统压力越大, 泄漏就越大, 导致声音强度越高, 检测就越容易。

2. 流速

与压力一样, 系统的流速越高, 泄漏就越大, 导致在泄漏位置测得的声音强度就越高。声音强度越高, 声音检测就越容易。

3. 开口孔的大小和形状

需要一起考虑开口孔的大小和形状。当我们考虑各种潜在的空气泄漏时, 要提供有关形状和大小对泄漏检测的影响的指南很快就变得具有挑战性。此列表显示了一些潜在的泄漏源。开口孔的尺寸和形状对于列表“空气软管和空气软管接头或连接器”中的各个项目而言各不相同

- 断流阀磨损或断流阀缺失 O 形圈
- 过滤器、注油器和调节阀 (如果安装不当)
- 打开的放空阀
- 打开的冷凝水收集器
- 泄漏或故障的排放口
- 螺纹密封剂出现故障或质量不佳, 或螺纹密封剂涂抹不当
- 控制阀和截止阀
- 密封件或垫片磨损
 - 气动工具陈旧或保养不当
 - 配有空气输入的机器或生产设备空闲或未使用

气体	分子式	Po (Kg/m3)
乙炔	C2H2	1.173
空气	-	1.2929
氨气	NH3	0.7710
氩气	A	1.7837
二氧化碳	CO2	1.977
一氧化碳	CO	1.250
氯气	Cl2	3.214
乙烷 (10 °C)	C2H6	1.356
乙烯	C2H4	1.260
氦气	He	0.1785
氢气	H2	0.0899
硫化氢	H2S	1.539
甲烷	CH4	0.7168
氖气	Ne	0.9003
一氧化氮 (10 °C)	NO	1.34
氮气	N2	1.2506
一氧化二氮	N2O	1.977
氧气	O2	1.429
丙烷	C3H8	2.9009
二氧化硫	SO2	2.927
蒸汽 (100 °C)	H2O	0.598
六氟化硫**	SF6	6.17
制冷剂 R134a***	CH2FCF3	14.433

表 1: 气体密度值列表。0°C、1 个大气压下的气体密度 po*

*《物理化学手册》, 第 48 版

**https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride

***https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html

液体特性

液体的特性会影响液体从泄漏部位逸出时发出的声音。

4. 密度

下表显示了 0°C 和一个大气压力下气体的密度 (单位为 Kg/m³)。气体的密度会影响泄漏的声音强度。例如, 氦的低密度意味着, 与压缩空气相比, 假设流量和压力相同, 在泄漏位置测得的声压级将较低。现场经验证实, 检测氦泄漏具有挑战性。

5. 粘度

气体的粘度会影响泄漏位置的声压级。但是, 其影响将小于密度的影响。

6. 环境温度

我们必须考虑泄漏源和路径中的环境温度。对于泄漏源而言, 环境温度将影响密度和粘度。这两个因素都会改变泄漏位置的声压级。随着环境温度升高, 分子动能会增加, 从而导致泄漏位置处的声音强度增加。

7. 环境压力

环境压力将直接关系到气体的密度。环境压力降低将导致密度降低, 从而降低泄漏位置处的声音强度。

8. 从泄漏位置到成像仪的距离

测量距离会影响测得的声压级。当声音从音频源向所有方向传播时, 其强度会随着距离的增加而减弱。

9. 环境温度

环境温度的变化会改变气体的密度和粘度。而这两者又会影响声音在介质中传输时的速度。随着温度的升高, 声音传输得越快。环境温度变化是影响大气吸收的声能量的因素之一。对于低频和短距离而言, 温度对空气吸收的影响可忽略不计 (Harris, 1966 年)。但是, 对于极高频和长距离而言, 声压级会显著降低 (Vladišauskas 和 Jakevičius, 2004 年)。

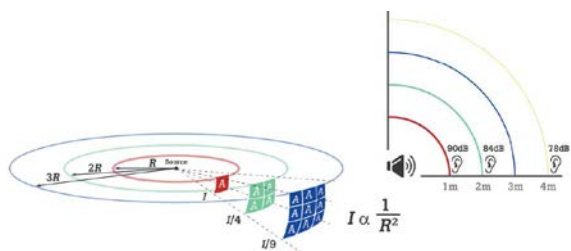
10. 湿度

由于空气吸收而影响声压级的第二个因素是湿度。和环境温度影响一样, 在正常条件下, 湿度对声压级的影响可忽略不计 (Harris, 1966 年)。对极高频和较高湿度水平而言, 这种影响非常显著 (Vladišauskas 和 Jakevičius, 2004 年)。

11. 环境压力

环境压力在理想气体近似情形中不会影响声压级, 因为空气密度和气体压力对声速有相似但相反的影响。这两个影响会抵消。因此, 泄漏位置和测量位置之间的声压级预计不会由于环境压力而有差异。

路径因素和大气影响



声源到自由场测量位置的距离增加一倍, 可将声强降低 6 dB。

ii900/ii910 可测量哪些泄漏特性?

ii900/ii910 可揭示泄漏类型, 并根据声学输入估计泄漏的流速。为了开发泄漏类型分类和流速预测算法, 研究人员设计并进行了一系列实验室实验。

ii900/ii910 中的泄漏类型分类

ii900 和 ii910 根据发生位置对捕获的声学泄漏数据进行分类:软管、开口端、快速连接和螺纹联接器。这四类位置(四种泄漏类型)位于压缩空气管路系统的末端,并且声学测量是在半消声室中进行的。实验设置的两个示例如图 3 和图 4 中所示。构成实验四种泄漏条件的接头如图 5 中所示。

1. **软管:**软管是一种挠性管,可轻松进行管道连接。但是,与金属和黄铜管相反,它是一种更为敏感的材料。因此,沿着将空气压缩机连接到气动设备的软管可轻松形成特定的切口和孔。实验使用了狭缝软管切口泄漏来捕获软管泄漏的声学数据,以便进行分类和流速预测(图 3 和图 5a)。
2. **开口端:**开口管或开口孔是科学研究(参考)中最常见的泄漏类型。当压缩空气系统的管道/管段保持打开时,就会发生这种情况。在 ii900 的开发阶段中,分类和流速预测实验使用了开口管(图 4 和图 5b)。
3. **快速连接:**快速连接接头,也称为快速断开或快速释放联接器,可实现轻松快速的连接。快速连接接头依靠倾斜装置工作,倾斜装置可沿一个方向滑动,并在反方向抵抗拉动。通常,如果其中一个或多个内部倾斜装置损坏,压缩空气就会通过快速连接接头泄漏。空气在接头周围散开,并且压缩空气泄漏的方向因每种变形情况而异。在开发 ii900/ii910 的分类和流速预测算法期间,使用了一个变形的快速连接接头进行声学测量(图 5c)。
4. **螺纹联接器:**压缩空气系统端点通常使用螺纹端盖。必须小心地放置螺纹端盖,并根据必须滑入端管的螺纹数量进行正确调整。有时,工程师可能会让这些端部松动。此外,螺纹端盖可能会因多次使用而变形。在此类情况下,压缩空气会通过端盖发生泄漏,这对系统的效率不利。在实验中,使用松动的螺纹端盖作为泄漏源(图 5d)。

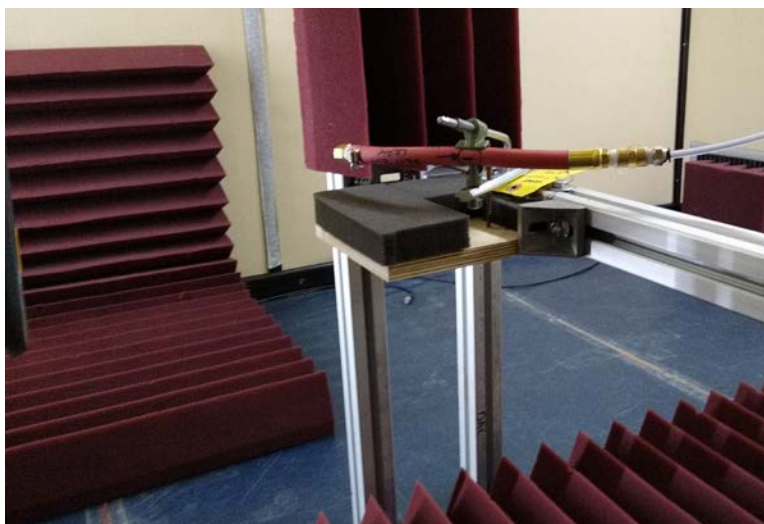


图 3:以 30 度角进行的软管泄漏类型测量。

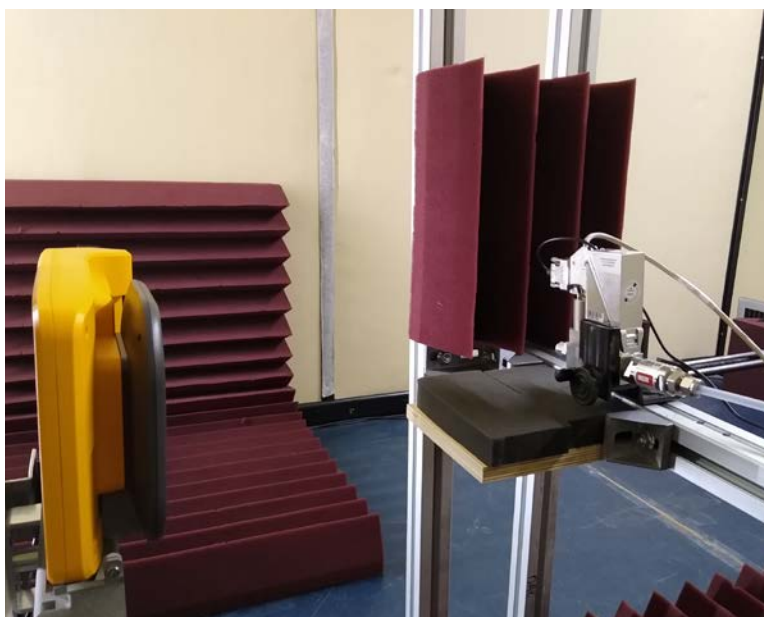


图 4:以 90 度角进行的开口端泄漏测量的试验设置。



图 5:试验期间研究的四种泄漏类型:软管 (a)、开口端 (b)、快速连接 (c) 和螺纹联接器 (d)。

泄漏速率量化指标

ii900/ii910 根据捕获的声学数据提供泄漏位置处的流速估计。流速算法是根据在半消声室中进行的实验室测量结果而设计的。由于每种泄漏类型的声学特征不同,因此每种泄漏类型都有一种流速预测算法。因此,流速估计算法在分类阶段后运行。

然后,泄漏类型的预测流速会转换为泄漏速率量化(LRQ)指标。LRQ 值介于 0 和 10 之间。LRQ 值越高,表示泄漏位置的流速越大,并且可将其视为维修建议。

结论

ii900/ii910 提供了有效的频率范围和用户友好型手持式设备解决方案,该解决方案可试图解决泄漏检测困难和量化分析问题。LRQ 功能对于保持压缩空气系统的效率至关重要,并且报告功能可提高维护工程师之间的通信速度。

参考文献

Eret, P., & Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012.

Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 40(1), 148-159.

Holstein, P., Barth, M., & Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. In *Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing* (pp. 13-17).

Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.

Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. *Proceedings of Acoustics (AAS' 08)*.

Fluke. 让您的工作畅通无阻。

福禄克测试仪器(上海)有限公司
电话:400-810-3435

北京福禄克世禄仪器维修和服务有限公司
电话:400-615-1563
福禄克测试仪器(上海)有限公司上海维修中心
电话:021-54402301, 021-54401908分机269
福禄克测试仪器(上海)有限公司深圳第一特约
维修点 电话:0755-86337229

©2020-2021 福禄克公司。
具体规格可能会有变化,恕不另行通知。
06/2021 210581-cnzh

未经许可,本文档禁止修改。