

摘要

本报告介绍了一种方法，该方法可以大大减少评估和选择用于气体计量应用的超声波换能器所需的时间。

尽管制造商经常强调诸如灵敏度和零流量漂移之类的换能器特性，但在换能器生产批次中保持一致的阻抗温度变化对于实现具有成本效益的高精度燃气表大规模生产至关重要。

将本报告中描述的比较方法应用于来自不同制造商的多对换能器后，发现 [200kHz Jiakang 换能器](#)、[400kHz Ceramtec 换能器](#)和 [500kHz Wuxi Lianhui 换能器](#)在多对换能器中的变化均小于 0.5%。

内容

1 引言.....	1
2 灵敏度和带宽.....	1
3 频率响应变化.....	2
4 零流量漂移.....	5
5 总结.....	7
6 修订历史记录.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在评估用于燃气流量计量应用的超声波换能器时，应考虑各种特性。这些特性包括灵敏度、带宽、频率响应和零流量漂移。

换能器的灵敏度可以决定低流速下测量的标准偏差。更灵敏的换能器需要以更低的功耗进行测量，从而在低流速下得到准确的结果。

宽带宽 (50kHz) 换能器还可以提供较低的标准偏差，因为可以将更多的频率信息编码到激励中。因为对频率响应的谐振峰值的依赖性较小，宽带宽换能器可以在工作温度范围内提供更准确的绝对飞行时间测量。

同一生产批次的窄带 (30kHz) 换能器的频率响应在工作温度范围内保持一致至关重要，可确保在大规模生产中可以使用通用的配置和校准程序。

在工作温度范围内，换能器在飞行时间差保持零流量漂移对于仪表能检测到的最小流量至关重要。这是因为，考虑到在生产线上校准单个仪表在工作温度范围内性能的成本，无法在室温下校准飞行时间差随温度的变化。

此外，文中还提供了演示源代码和原理图，用以加快超声波计量应用的开发。可以从 [USSWLib_Gas 02_30_00_03](#) 下载这些文件。

有关本应用报告中使用的示例代码和 GUI 的更多信息，请参阅[适用于燃气流量测量的超声波感应子系统参考设计](#)。本应用报告使用无修改的标准示例和 GUI。

2 灵敏度和带宽

对于燃气流量计量，灵敏度是决定所用换能器频率的关键考虑因素。对于较小的流量测定管，400 或 500kHz 换能器可能优于 200kHz 换能器，因为它们可以提供较小的测量变化。200kHz 换能器可能更适合较大的管设计，其中超声波信号可能会更加衰减。图 2-1 显示了在不同甲烷浓度下，不同频率换能器在增量为 100kHz 时的衰减曲线。

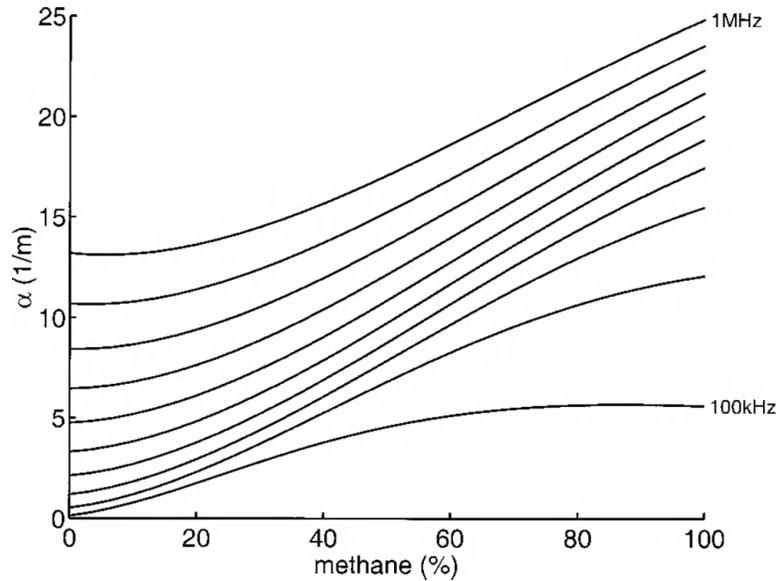


图 2-1. 增量为 100kHz 时甲烷中的超声波衰减

燃气流量换能器通常包括一压电陶瓷元件，该元件用胶水粘合到陶瓷或钢面上。该面通常通过橡胶垫圈安装到流量测定管上。钢或陶瓷表面的胶水界面的一致性对于确保不同制造批次的可重复灵敏度和带宽至关重要。图 2-2 显示了一个气体超声波换能器，其安装索环被剥去以露出压电陶瓷。



图 2-2. 典型超声波换能器结构

除了换能器的频率，换能器本身的灵敏度对测量的标准偏差也有直接影响。

具有更强激励响应的窄带换能器（20kHz 带宽）可以提供更低的测量标准偏差，但更容易受到频率响应随温度变化的影响。

宽带（50kHz 带宽）换能器可以在测量中提供较低的标准偏差，不易受频率响应随温度变化的影响，但在某些管设计中可能没有足够的灵敏度来提供足够强的信号。

有关标准偏差测试的更多信息，请参阅[适用于燃气流量测量的超声波量子系统参考设计](#)。

3 频率响应变化

如果材料（例如，用于将压电陶瓷粘合到换能器表面的胶水）和用于制造换能器的方法不同，会导致这些换能器的频率响应发生变化。这些频率响应变化会导致绝对飞行时间测量发生变化，从而导致流量计量精度降低。

如果是宽带（50kHz）换能器，则可以在换能器对之间找到一个共同的激发频带，以减少频率响应随温度的变化。如果是窄带（20kHz）换能器，那么这些换能器的频率响应在温度范围内以一致的方式变化至关重要。

图 3-1 显示了来自同一制造商的两个换能器对之间的频率响应变化。从该图中可以看出，8892 对的频率响应（和灵敏度）在 24°C 和 -30°C 之间的变化比 3145 对的要大。有关如何测量频率响应的更多详细信息，请参见快速入门指南。

如图 3-1 所示的频率响应的变化会导致绝对飞行时间测量变化超过 3%。

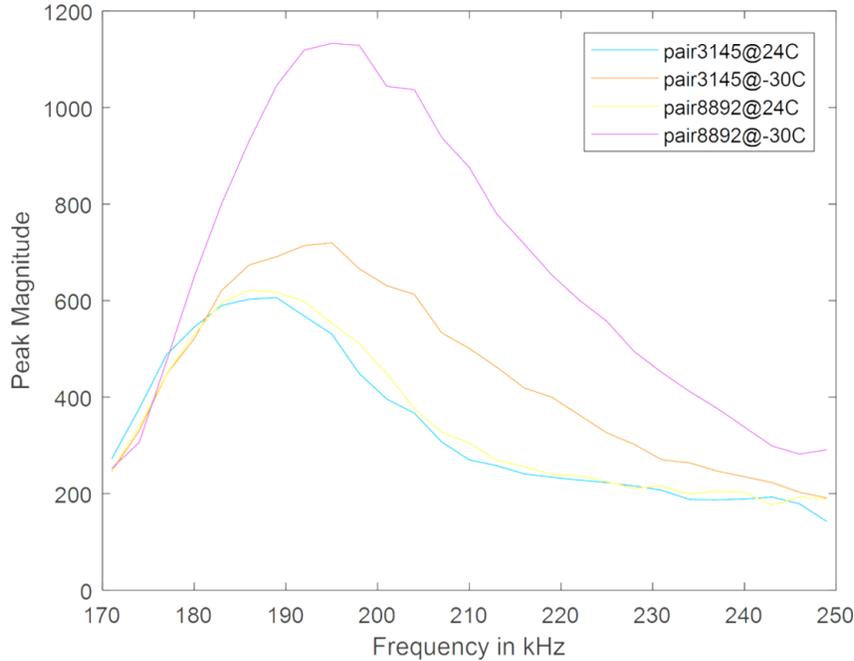


图 3-1. 换能器对的频率响应随温度的变化

对于窄带换能器，通过将换能器制造和筛选方法相结合，来尽可能减少换能器对的频率响应随温度的变化。图 3-2 显示了如图 3-1 所示的同一生产批次换能器在经过筛选后的频率响应变化减少了。

如图 3-2 所示的换能器对频率响应变化会导致绝对飞行时间测量变化不到 1%。

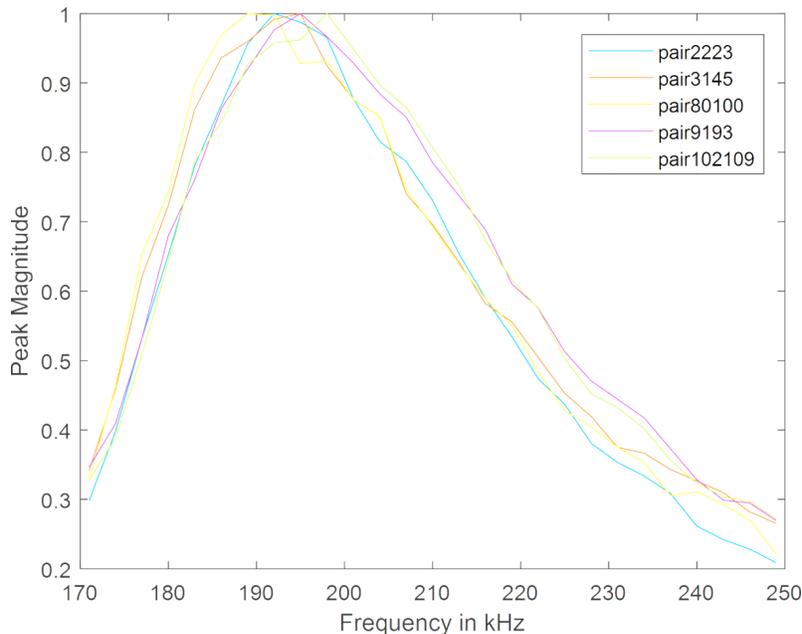


图 3-2. 筛选后的频率响应变化

在评估换能器时，重要的是还必须确定这些换能器的报告流量随温度变化的方式。可以进行一个简单的测试，将两个管子与加热室中的风扇串联，以确定在不同的流速下会产生多大的变化。图 3-3 所示为一个典型的测试设置。

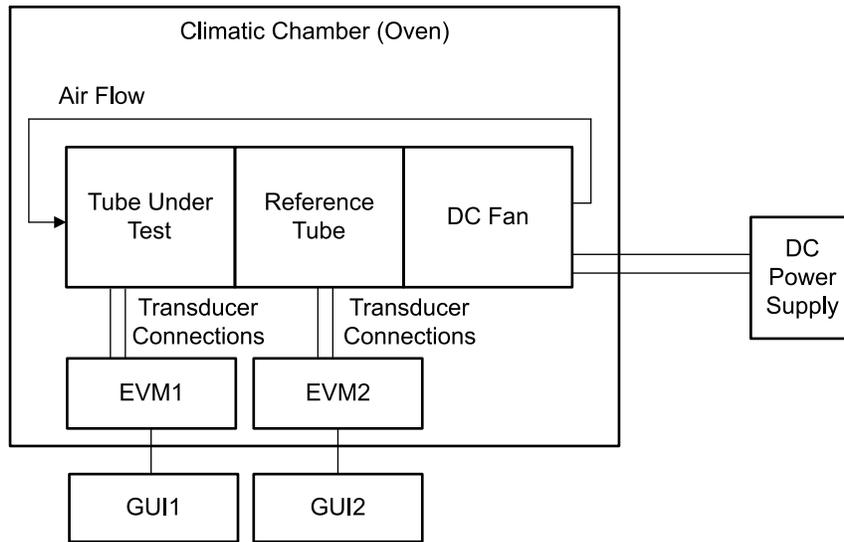


图 3-3. 对换能器对的对比测试设置

在此测试过程中，单个换能器对（在一个管中）用作参考，而带有另一组换能器的第二个管代表受测器件（DUT）。

首先在室温下记录给定流速下报告的体积之间的比率（加热室门关上且加热室关闭）。然后将加热室带到极端工作温度并关闭（55°C）。接着，计算所报告的两个体积之间的比率。24°C 和 55°C 时比率的百分比差异表示 24°C 和 55°C 之间两个换能器对之间的误差漂移百分比。

随后将温度提高到另一个极端工作温度并关闭（-10°C）。接着，计算所报告的两个体积之间的比率。24°C 和 -10°C 时比率的百分比差异表示 24°C 和 -10°C 之间两个换能器对之间的误差漂移百分比。

然后，将受测器件管中的换能器对替换为制造商提供的另一对换能器，并重复这些测试。至少应测试 10 个换能器对，以便收集足够的统计数据来准确确定换能器对之间的“误差分布”。

图 3-4 显示了详细说明此比较测试过程的方框图。以这种方式评估至少 10 个换能器后，还应评估体积比误差之间的差异。如果任何两个换能器对在给定流速下的体积误差百分比差异超过准确度百分比要求的 2 倍，可能需要对备用换能器进行进一步的测试和评估。

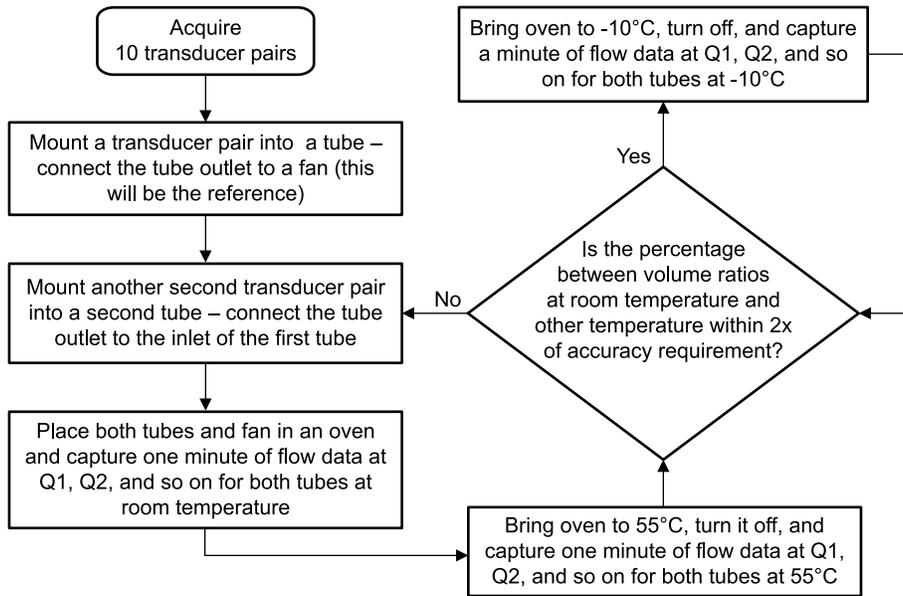


图 3-4. 对比测试过程

图 3-5 显示了两个换能器对在 60l/h 流速下报告的体积误差，第三对用作参考。

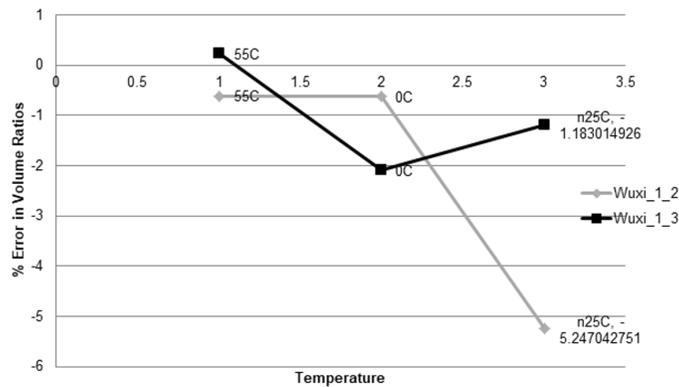


图 3-5. 报告的体积比率中的对比误差

从图 3-5 中可以看出，这 3 对组合在 55°C (1%) 时的 spread 远小于 -25°C (5.2%) 时的 spread。假设有更多对的额外测试给出的结果都在 0% 到 -5.2% 误差范围内。

-25°C 时报告的流量结果将调整 +2.6%，以补偿平均 -2.6% 的误差偏移。这样，在 60l/h 时，精度为 ±2.6%。

可以通过从绝对飞行时间结果中添加（或减去）相关的微秒数来实现这种温度补偿。如果气体的成分已知，则可以通过对上游和下游的绝对飞行时间测量求平均来确定气体的温度。如果气体的成分变化很大（或未知），则应在设计中添加数字温度计。

如果换能器对之间的温度变化太大，则每个仪表都可以将独立的温度校准参数存储到生产线上的非易失性存储器中。

4 零流量漂移

在给定的管中，给定的换能器对的零流量漂移 (ZFD) 决定了该管可以测量的最小可检测流量。在管子两端密封且工作温度从最冷 (-25°C) 到最热 (55°C) 变化时测量最大飞行时间差 (DTof) 来确定零流量漂移。有关如何测量 ZFD 的更多详细信息，请参阅适用于燃气流量测量的超声波计量子系统参考设计。

零流量漂移与基于燃气表灵敏度的最小可检测流量有关。如果燃气表的 dToF 灵敏度为 1ns，对应于室温下 1 升/小时 (l/h) 的体积流量，则 1ns 的零流量漂移将导致在仪表的工作温度下可检测到的流量大于 1l/h。

从典型的生产批次中测试多个换能器对 (>10) 以获得给定管设计具有统计代表性的 ZFD 非常重要。从表 4-1 中可以看出，对于从典型生产批次中随机选择的一组 (10 对) 换能器，ZFD 在 10 对换能器中从 500ps 到 1500ps 不等。

在投入过多时间为给定换能器设计流量测定管之前，评估典型生产批次的随机子集非常重要。如果制造商没有提供大量的换能器对进行评估，则换能器可能是预先筛选的，不能代表将在生产测试中看到的流量精度。

**表 4-1. 换能器对之间零流量
漂移的变化**

换能器对	ZFD (ps)
1	700
2	500
3	1500
4	1000
5	500
6	1000
7	1500
8	800
9	1000
10	900

单独评估表 4-1 中的换能器对 1、2 和 5 可能会得出关于 ZFD 和此特定换能器的最小可检测流量的错误结论。

5 总结

在评估超声波燃气流量换能器时，应仔细考虑灵敏度、带宽、频率响应的变化和零流量漂移。

具有高灵敏度的窄带（20kHz 带宽）换能器可能需要额外的筛选，以确保频率响应随温度的变化受到限制。

宽带（50kHz 带宽）换能器不易受到频率响应变化的影响，但在某些管设计中可能没有足够的灵敏度。

在对管设计进行重大投资之前，应该对典型生产批次中的大量换能器对（超过 10 个）的灵敏度、带宽、频率响应变化和 ZFD 进行评估。

6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (October 2020) to Revision B (January 2021)	Page
• 更改了图 3-3 成对换能器的对比测试设置	2

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司