

烟气排放在线监测系统中超声波流速仪选型、安装与运行维护指南

原创 二月有点暖

摘要：超声波流速仪作为烟气排放在线监测系统（CEMS）中测量烟气流速流量的核心设备，其性能表现直接关系到污染物排放总量核算的准确性与公正性。本文系统阐述了**单端式**与**对射式**超声波流速仪的技术原理与选型要点，规范了安装方法与调试流程，深入解析了测量过程中的主要干扰因素及其作用机理，并针对性提出了完整的整改建议。最后，构建了一套覆盖日常维护、定期校验与故障诊断的运行保障方案，旨在为用户与运维公司提供科学、实用、全面的技术指导，保障监测数据长期、稳定、有效。

一、技术原理与设备选型

在CEMS中，超声波流速仪主要采用**传播时间差法**（时差法）进行测量。其基本原理是：超声波在流动烟气中顺流与逆流传播的时间存在微小差异，通过高精度测量该时差，结合声道长度、安装角度等几何参数，即可计算出超声波传播路径上的线平均流速。烟气流量通过流速与烟道横截面积的乘积获得。

根据传感器（探头）的安装方式，主流的超声波流速仪可分为**单端式**与**对射式**两大类，其核心差异与选型对比如下：

特性维度	单端式超声波流速仪	对射式超声波流速仪
安装方式	单侧单点安装 收发一体的探头通过一个开孔伸入烟道，超声波经对面管壁反射后返回。	双侧对射安装 独立的发射与接收探头成对安装在烟道两侧，超声波直接穿透介质。
精度与声道	典型精度 $\leq \pm 2\%$ F.S. 通常为 单声道 测量，测量结果为单一路径的线平均流速。	典型精度 $\leq \pm 1.5\%$ F.S. 支持 单声道、双声道或四声道 定制。多声道可获取更全面的流速剖面信息，精度更高，抗流场干扰能力更强。
适用管径	适用管道直径通常 ≥ 0.5 米。对较小管径的适应性一般。	适用管道直径范围更广，可支持 ≥ 0.3 米的管道。
流场干扰	探头伸入流场，产生局部扰流 研究数据表明，这在DN200管道中可能引入 -1.2%至-2.1% 的负向系统误差，且管径越小，影响越大。	探头可不伸入流场（采用齐平或带保护套管安装） 对流场破坏小，尤其适合对压损或扰流敏感的应用。
环境适应性	探头直接接触高温、高粉尘、腐蚀性烟气，对 探头材质（需耐腐蚀） 和 吹扫防污 要求极高。烟气温度上限一般约190°C。	可通过安装设计（如带保护套管）使探头与恶劣烟气环境适度隔离。部分型号可耐受更高温度，如480°C。

特性维度	单端式超声波流速仪	对射式超声波流速仪
安装复杂度	开孔少，安装相对简便，尤其适合旧设备改造替换。	需两侧对中开孔，对安装定位的精度要求高。
核心选型建议	适用于 中大管径（≥0.8米）、流场相对稳定、对安装便捷性要求高 的场合。优先选用带强力自吹扫功能的产品。	适用于 各类管径、流场复杂（如弯头后、风机后）、要求高精度测量 的场合。对于矩形大烟道或流场严重不均的工况， 应优先选用多声道（双声道或以上）型号 。

通用选型核对清单：

1. 介质确认

是否为空气、烟气等非可燃气体。

2. 参数覆盖

确保仪表的**流速范围**（如0-40m/s）、**温度范围**、**压力范围**完全覆盖实际工况极值。

3. 防护与输出

主机防护等级不低于**IP65**；输出信号（如4-20mA，RS-485）与现有数据采集系统兼容。

二、安装规范与调试校准

规范的安装是保证测量准确性的基石。错误的安装会导致无法弥补的系统误差。

1. 安装位置选择

• 直管段要求

这是最重要的原则。测量点应选择在烟气流态稳定的管段。通常要求**上游直管段长度≥10倍管径（10D）**，**下游直管段长度≥5倍管径（5D）**。上游30D内应无泵、阀门、弯头、变径等强烈扰动源。

• 流场条件

确保测量点烟气**充满管道**，无气泡或强烈脉动。

• 环境条件

避开强烈振动、强电磁干扰区域，并有足够的操作空间。

2. 安装步骤要点

• 开孔与焊接

根据厂家提供的安装尺寸图精准开孔。对于对射式仪表，两侧开孔必须保证**中心轴线同轴**。焊接安装底座（如法兰短管）时，确保底座轴线与管道轴线满足规定的角度（通常为90°或特定角度）。

• 探头安装

○ 插入深度

对于伸入式探头，必须严格按照说明书控制插入深度，过深加剧扰流，过浅则信号太弱。

○ 方向与对中

探头上的流向标识必须与烟气实际流向一致。对射式探头安装时，需使用专用工具（如对中靶）确保发射面和接收面**严格正对**。

- **密封与紧固**

使用合适的垫片，均匀紧固，确保**气密性**，防止漏风。

- **电气连接**

信号线必须使用**屏蔽电缆**，并单独穿管敷设，远离动力电缆。屏蔽层应在控制室端**单点可靠接地**，防止地环路干扰。

3. 调试、校准与“K系数”确定

安装完成后，必须进行系统调试和现场校准。

- **通电自检**

连接主机，检查设备自检是否正常，诊断参数是否无报警。

- **信号强度检查**

查看接收到的超声波信号强度（或信噪比）是否在仪表要求的正常范围内。信号过弱需检查探头对中、污染或安装问题。

- **“速度场系数（K系数）”测定与校准**

这是**将仪器测量的线平均流速转化为烟道面平均流速的关键步骤**，也是消除安装位置流场分布不均引入误差的核心方法。

1. **参比方法测量**

在超声波流速仪安装断面，使用经过检定的**标准皮托管**或**激光多普勒测速仪**等参比方法，严格按照规范进行多点位（网格法）流速测量，计算出面平均流速 V_s 。

2. **K系数计算**

同时记录超声波流速仪输出的线平均流速读数 V_u 。则该位置的**速度场系数 $K = V_s / V_u$** 。

3. **系数录入**

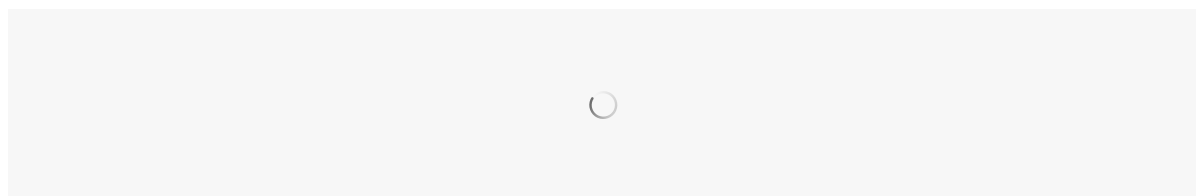
将计算得到的K系数输入超声波流速仪的配置参数中。此后，仪表输出值 = 测量值 × K系数，即为**经过修正的、代表面平均流速的有效值**。

4. **声速检验**

对比仪表根据温度、压力计算的理论声速与通过飞行时间反算的实测声速，偏差应在 $\pm 0.2\%$ 以内，这是验证计时系统是否正常的重要手段。

三、干扰因素解析与整改建议

超声波流速仪的测量误差主要来源于以下三个层面，其关系如下图所示：



1. **流场与安装干扰**

- **探头局部扰流**

插入式探头本身是对流场的破坏，会形成绕流和涡流，导致探头附近的实际流速降低，从而产生**系统性负偏差**。实验表明，在DN100管道中，该误差可达**-1.5% ~ -3%**，DN200管道中为**-1.2% ~ -2.1%**。

建议：对于小口径管道或高精度要求场合，**优先选用对射式齐平安装**。若必须使用插入式，应严格按照规范确定插入深度，并在后续的K系数标定中予以修正。

- **流场分布不均**

这是最主要的干扰源。弯头、阀门等导致的旋流和速度剖面畸变，会使单声道测量的“线平均流速”严重偏离“面平均流速”。

建议：严格遵守直管段要求。在流场无法满足条件的复杂场合，**必须使用多声道（双声道或四声道）流速仪**，通过多条声道的加权积分来“描绘”和补偿整个流速剖面，可将此类不确定度从单声道的1-10%降低到可接受水平。

- **安装不对中/角度偏移**

会导致超声波传播路径长度和实际投影角度变化，直接引入计算误差。

建议：使用专业工具精细安装，并作为K系数标定的前提。

2. 设备与信号干扰

- **信号衰减与畸变**

烟气中的高浓度粉尘、水滴会吸收和散射超声波能量；探头表面的**结垢、冷凝或腐蚀**会使声波透射效率急剧下降。这些都导致信噪比降低，测量不稳定甚至失效。

建议：选用带**自动定时反吹扫功能**的探头和安装座。定期手动清理探头表面。在湿度大的工况，确保探头或护套的**加热保温功能正常**，防止冷凝。

- **“错波”干扰**

现场电气噪声、管道振动可能产生干扰信号，若仪器设定的信号捕获阈值固定不变，可能错误地捕捉到非真实的超声波回波（错波），导致计时错误。

建议：选用具备**智能信号处理与动态阈值调整算法**的产品。这类算法能根据每次接收信号的特征（如稳态正弦波峰值、前导波幅度等）实时调整判断阈值，有效识别并锁定真实回波，避免错波干扰。

- **电路漂移**

长期运行后，电子元件可能发生老化漂移。

建议：定期进行零点校准。

3. 环境与介质干扰

- **温度与压力变化**

声速是温度和压力的函数。剧烈的温压变化若未得到实时补偿，会直接影响时差法计算的准确性。

建议：确保仪表内置或外接的温度、压力传感器工作正常，仪表使用最新的介质声速模型进行实时补偿。

- **烟气成分与湿度变化**

不同的气体成分（如CO₂、SO₂含量不同）和湿度会影响声速。虽然时差法本身对固定组分不敏感，但组分大幅波动仍需关注。

建议：对于组分波动大的特殊工艺烟气，可在标定时考虑其影响。高湿工况需做好探头防护。

- **振动与电磁干扰**

导致信号基线不稳或引入高频噪声。

建议：加固管道与仪表支架，采用屏蔽与接地措施。

四、运行维护保障方案

科学的维护是设备长期可靠运行的保障。运维工作应分为日常、定期和故障响应三个层次。

维护周期	工作内容	标准与方法
每日	远程数据巡查	查看数据稳定性、信号强度/信噪比、声速偏差等诊断参数是否正常。
每周	自动反吹系统检查	检查压缩空气压力、反吹阀动作是否正常，确保探头清洁。
每周	零点校准	在工艺停炉或流速接近零时，通过仪表面板或软件执行自动零点校准。
每月	外观与接线检查	检查探头、安装座有无泄漏、腐蚀；接线盒密封、电缆有无破损。
每季度	探头检查与清洁	停机机会，抽出探头检查表面污染情况，用无水乙醇和软布清洁。
每半年	准确度校验	使用便携式高精度参比设备（如皮托管）进行现场比对测试。按公式： $\text{误差} = (\text{仪表值} - \text{标准值}) / \text{标准值} \times 100\%$ 计算相对误差。如超出 $\pm 10\%$ （以具体法规要求为准），则需排查原因并重新标定K系数。
每年	全面年度检修与校准	系统性检查所有部件。将探头送至实验室进行声学性能检测。对整个测量系统（含温压补偿）进行全程精密度审核，必要时重新进行K系数标定。

故障诊断快速指南：

- **现象：数据为零或接近零**
 - **排查**
检查信号强度是否为0；探头电缆是否断路；反吹气压是否过高导致探头常闭。
- **现象：数据跳变、不稳定**
 - **排查**
检查信号强度是否波动剧烈；探头是否严重污染；安装是否松动；附近是否有强电磁设备启停。
- **现象：数据持续满量程或异常高**
 - **排查**
检查是否发生“错波”；探头表面是否结垢严重导致信号畸变；仪表量程设置是否正确。
- **现象：与参比方法偏差系统性偏大**
 - **排查**
：检查K系数是否正确录入；直管段条件是否变化（如新增扰流源）；温度、压力补偿传感器是否失准。

结论

超声波流速仪的性能发挥是一个从科学选型、规范安装、精细调试到系统维护的全过程管理。正确选择单端式或对射式、单声道或多声道是成功的第一步；严格遵守安装规范并完成基于现场K系数的校准是获取准确数据的关键；而认识并有效管理流场、设备、环境等多重干扰因素，并执行制度化、表格化的预防性维护，则是保障CEMS监测数据长期准确、稳定、有效的最终保障。希望本指南能为各排污单位及运维服务机构提供切实可行的技术支持。



声明：本号对转载、分享、陈述、观点保持中立，目的仅在于传递更多信息，版权归原作者所有。如涉及作品版权问题，请与本公众号后台联系，我们将尽快删除！已申明原创之作品，转载需申请并获本号授权！