

DB37

山 东 省 地 方 标 准

DB 37/T 3462—2018

固定污染源烟气流速在线监测 超声波法

Continuous velocity monitoring of flue gas emitted from stationary sources-
Ultrasonic method

2018 - 12 - 29 发布

2019 - 01 - 29 实施

山东省市场监督管理局 发 布

目 次

前言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 方法原理..... 3

5 超声波气体流速计的组成..... 3

 5.1 超声换能器..... 3

 5.2 信号处理单元..... 3

6 技术指标与性能要求..... 3

 6.1 技术要求..... 3

 6.1.1 环境条件..... 3

 6.1.2 具备功能..... 3

 6.1.2.1 校准功能..... 3

 6.1.2.2 净化功能..... 3

 6.1.2.3 安全功能..... 3

 6.1.2.4 数据采集处理与输出功能..... 3

 6.1.2.5 量程设置..... 4

 6.1.3 超声波方法检出限与定量下限..... 4

 6.1.4 供电条件..... 4

 6.2 技术指标..... 4

7 安装要求..... 5

 7.1 安装位置..... 5

 7.2 声道位置与数量..... 5

8 参比方法采样位置要求..... 5

 8.1 采样位置和采样点位..... 6

 8.2 采样孔和采样平台..... 6

9 超声波气体流速计的调试检测..... 6

 9.1 一般要求..... 6

 9.2 调试检测前准备..... 6

 9.3 零点和量程漂移技术指标的调试检测方法..... 6

 9.4 速度场系数精密性调试检测方法..... 6

 9.5 相关性调试检测方法..... 6

 9.6 调试检测后处理..... 7

10 超声波气体流速计的比对监测..... 7

10.1 一般要求..... 7

10.2 比对监测方法..... 7

11 超声波气体流速计的运行维护与质量保证..... 7

11.1 一般要求..... 7

11.2 定期校准..... 8

11.3 定期维护..... 8

11.4 定期校验与准确度审核..... 8

11.5 常见故障及排除..... 8

11.6 超声波气体流速计的数据异常和处理..... 9

11.6.1 数据异常的限值..... 9

11.6.2 数据异常的处理..... 9

附 录 A （资料性附录） 超声波气体流速计相关测试原始记录表及报告..... 10

附 录 B （资料性附录） 超声波气体流速计安装位置要求..... 18

附 录 C （规范性附录） 参比方法检测数据的计算方法与公式..... 20

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由山东省生态环境厅提出并监督实施。

本标准由山东省环保标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：济南市环境保护监测中心站、泰安市环境保护监测站。

本标准主要起草人：闫学军、赵娇娇、付军华、张战朝、曹颖、仇志强。

固定污染源烟气流速在线监测 超声波法

1 范围

本标准规定了固定污染源烟气流速在线监测的超声波法。
本标准适用于低于40 m/s的固定污染源烟气流速在线监测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 30500 气体超声流量计使用中检验声速检验法

HJ 75 固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范

HJ 76 固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测系统技术要求及检测方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超声气体流量计 ultrasonic flowmeter

利用超声波在流体中的传播特性来测量流量的仪器。

3.2

超声换能器 ultrasonic transducer

在电信号作用下产生声波输出，并将声波信号转换为电信号的器件。

3.3

传播时间差法 transit-time difference method

在流动气体中的相同行程内，用超声波顺流和逆流传播的时间差来确定沿声道的气体平均流速的测量方法。

3.4

声道 acoustic path

在一对发射和接收超声换能器间的超声信号的实际路径。

3.5

声道长度 path length

一对超声换能器断面之间的直线长度。

3.6

声道角 angle of inclination

超声波脉冲方向或声道方向与气流方向的夹角。

3.7

测量平面 sampling plane

声道正交于烟道或烟囱中心线的平面。

3.8

分界流量 transition flow rate

在最大流量和最小流量间的流量值，将流量范围分割成允许误差不同的两个区，即“高区”和“低区”。

3.9

速度采样间隔 velocity sampling interval

一对超声换能器或声道进行相邻两次气体流速测量的时间间隔。

3.10

测量声速 average speed of sound

超声波气体流速计各声道测量到的声速平均值。

3.11

计算声速 calculated speed of sound

利用声速计算软件计算得到的声速。

3.12

声速偏差 speed of sound deviation

测量声速与计算声速间的相对偏差。

3.13

声速检验 Detection of sound speed

通过比较测量声速和计算声速来检验超声波气体流速计系统是否正常工作。

3.14

调试检测 performance testing

超声波气体流速计安装、初调和至少正常连续运行168 h后，于技术验收前对超声波气体流速计进行的校准和校验。

3.15

比对监测 comparison testing

用国家或行业发布的标准方法对正常运行的超声波气体流速计的准确度进行抽检。

3.16

速度场系数 velocity field coefficient

国家或行业发布的标准方法与超声波气体流速计同步测量烟气流速，国家或行业发布的标准方法测量的烟气平均流速与同时时间区间且相同状态的超声波气体流速计测量的烟气平均流速的比值。

4 方法原理

声波在流体中传播时会因流体流动方向不同而传播速度不同，测量超声波在流体中逆流传播时间和顺流传播时间，从而计算流体流动的速度和流量。

5 超声波气体流速计的组成**5.1 超声换能器**

5.1.1 超声换能器应设置带压拆装超声换能器的阀。

5.1.2 更换、拆卸或重装超声换能器时，应不改变流量计的测量性能。

5.2 信号处理单元

5.2.1 信号处理单元包括电子组件和微处理器系统。

5.2.2 应具有超声流量计自诊断系统，反馈流量计的工作状态。

5.2.3 更换整个信号处理单元或更换任何现场替换模块时，应不改变流量计的测量性能。

6 技术指标与性能要求**6.1 技术要求****6.1.1 环境条件**

环境温度：-20℃~55℃；相对湿度：≤90%；大气压：50 kPa~106 kPa；烟气温度：≤450℃。

6.1.2 具备功能**6.1.2.1 校准功能**

超声波气体流速计应具有自动零点校准功能和量程校准功能。

6.1.2.2 净化功能

超声波气体流速计应具有污染净化系统。净化系统能有效的隔离探头与烟气接触，或保护插入烟道的探头不被烟气遮挡或腐蚀。

6.1.2.3 安全功能

超声波气体流速计应具安全设置功能，以防止误操作和未经批准的调节。

6.1.2.4 数据采集处理与输出功能

速度信号采集间隔： $\leq 1\text{ s}$ ；检测信号刷新闻隔： $\leq 5\text{ s}$ ；信号输出方式： $4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$ 模拟信号；
数据单位：流速 m/s ，流量 m^3/h 。

6.1.2.5 量程设置

超声波气体流速计的量程应设置为烟气最大流速的 $1.0\sim 1.5$ 倍，上限不低于 45 m/s ，流速范围 $0\sim 40\text{ m/s}$ 。

6.1.3 超声波方法检出限与定量下限

超声波气体流速计的时间差检出限 $\leq 1\text{ }\mu\text{ s}$ ；在满足时间差检出限的条件下，应根据烟气检测现场工况确定安装设计方案，保证超声波气体流速计的流速检出限 $\leq 0.10\text{ m/s}$ 。

6.1.4 供电条件

- 6.1.4.1 6 AC (220 ± 22) V，频率 (50 ± 0.5) Hz。
- 6.1.4.2 在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%$ 条件下，电源引入线与机壳之间的绝缘电阻应不小于 $20\text{ M}\Omega$ 。
- 6.1.4.3 应设有漏电保护装置，防止人身触电。
- 6.1.4.4 应有良好的接地措施，防止雷击对仪器造成损坏。

6.2 技术指标

- 6.2.1 进行实流校准系数调整之前，应规定超声波气体流量计的流量界限值，最小流量 $q_{\min}$ 、分界流量 q_t 和最大流量 $q_{\max}$ ，并满足以下要求：
- a) 重复性： 0.2% ， $q_t\leq q\leq q_{\max}$ ； 0.4% ， $q_{\min}\leq q< q_t$ ；
 - b) 分辨率： 0.001 m/s ；
 - c) 声速偏差： $\pm 0.2\%$ ；
 - d) 各声道间的最大声速差： 0.5 m/s ；
 - e) 流量计的测量范围为 $0.2\text{ m}\sim 15.0\text{ m}$ ，可测量烟道内径范围为 $0.14\text{ m}\sim 13.0\text{ m}$ 。
- 6.2.2 超声波气体流速计投入运行前和运行中，需要通过声速检验来检验系统是否正常运行，且声速相对误差控制在 $\pm 9\%$ （含）以内，具体要求及检验方法参照 GB/T 30500 的要求。
- 6.2.3 当预测烟气流速 $\geq 5\text{ m/s}$ 时，也可进行调试、比对监测和质量保证监测，并达到表 1～表 3 中规定的技术指标。

表 1 调试检测技术指标

调试检测项目		数据对数量	考核指标
精密性	速度场系数精密度	≥ 15 个数据对	$\leq 5.0\%$
相关性	相关系数	≥ 9 个数据对	≥ 0.90

表 2 比对监测技术指标

比对监测项目		数据对数量	考核指标
流速准确度	相对误差	≥ 5 个数据对	流速 $>10\text{ m/s}$ 时，控制在 $\pm 10\%$ （含）以内； 流速 $\leq 10\text{ m/s}$ 时，控制在 $\pm 12\%$ （含）以内
	或相对准确度	≥ 9 个数据对	流速 $>10\text{ m/s}$ 时， $\leq 10\%$ ； 流速 $\leq 10\text{ m/s}$ 时， $\leq 12\%$

表 3 超声波气体流速计的运行质量控制的周期和技术指标

审核的类型		时间频率	数据对数量	计算	技术指标
稳 定 性	零点校准	1 个月	-	零点漂移	$\leq \pm 5\% \text{C. S.}$
	量程校准			量程漂移	
准 确 度	校验	6 个月	≥ 5 个数据对	相对误差	流速 $> 10 \text{ m/s}$ 时，控制在 $\pm 10\%$ （含）以内；
	审核	1 年			流速 $\leq 10 \text{ m/s}$ 时，控制在 $\pm 12\%$ （含）以内
	临时性 审核	不定	≥ 5 个数据对	相对误差	流速 $> 10 \text{ m/s}$ 时，控制在 $\pm 10\%$ （含）以内； 流速 $\leq 10 \text{ m/s}$ 时，控制在 $\pm 12\%$ （含）以内

7 安装要求

7.1 安装位置

- 7.1.1 不影响颗粒物和气态污染物连续排放监测系统的测定，能够代表烟道横截面烟气的平均流速。
- 7.1.2 测量断面距离流速扰动源（如弯头、变径、阀门等）下游应不小于 4 倍烟道直径，距离流速扰动源上游应不小于 2 倍烟道直径（以下简称“前 4 后 2”）。矩形烟道直径按当量直径计算，当量直径 $D = 2AB / (A+B)$ ，式中 A、B 为边长。当不能满足上述条件时，测量断面应设置在距流速扰动源下游不小于 2 倍烟道直径，以及距流速扰动源上游不小于 0.5 倍烟道直径处（以下简称“前 2 后 0.5”）。
- 7.1.3 尽量避开振动环境，特别要避开可引起信号处理单元、超声换能器等部件发生共振的环境。
- 7.1.4 尽量避开出现水气冷凝（液滴或水雾）的位置，如不能避开，应选用能够适用的监测探头及仪器。
- 7.1.5 尽量防止声学噪声对测量性能产生的不利影响，安装时应采取必要的措施消除环境声学噪声的干扰。
- 7.1.6 流量计相关导线尽量避开可能存在强烈电磁或电子干扰的环境。

7.2 声道位置与数量

- 7.2.1 流量计应在烟囱或烟道上对穿安装，声道应正交于烟囱或烟道的中心线，正交角度在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间，声道长度应大于烟道断面直径或矩形烟道边长。
- 7.2.2 应按表 4 配置超声波气体流速计声道数量，参见附录 B。

表 4 超声波气体流速计声道数量的选择表

超声波气体流速计安装位置与扰动源距离	适和的超声波气体流速计声道
$< \text{前 } 2, \text{ 或 } < \text{后 } 0.5$	交叉布置双声道仪器
$\geq \text{前 } 2, \text{ 且 } \geq \text{后 } 0.5$	单声道仪器

- 7.2.3 上下游偏移量的长度设计，应保证超声波气体流速计能够满足 7.1.2 条的要求。
- 7.2.4 烟道直管段不能满足 7.1.2 条的要求时，烟气会发生流速分层等不均匀分布，声道应尽可能穿过流速分层区。

8 参比方法采样位置要求

8.1 采样位置和采样点位

8.1.1 采样断面上采样点位的布置和数量应符合 GB/T 16157 的要求。

8.1.2 烟道内采样断面的位置优先选择在靠近超声波气体流速计的下游处，如选择在其他位置，应注意不影响烟气排放连续监测系统（以下简称 CEMS）的正常工作。

8.2 采样孔和采样平台

8.2.1 烟道壁开设采样孔的布置和数量应符合 GB/T 16157 的要求。

8.2.2 烟道外采样孔旁应设置采样平台，采样平台的建设应符合 HJ 75 中的要求。

9 超声波气体流速计的调试检测

9.1 一般要求

9.1.1 新装/改装超声波气体流速计安装后，应进行现场调试检测，其检测可选择按照 GB/T 30500 的方法要求进行声速核查，声速检验记录参见附录 A 中的表 A.8；或当流速 ≥ 5 m/s 时，可选择按照 GB/T 16157 的规定进行烟道断面分区域的移动检测。

9.1.2 烟道直管段满足 7.1.2 条的要求时，优先选择“速度场系数精密性”法，否则选择“相关性”法，方法可选择按照 HJ 75 的相关规定进行。

9.1.3 超声波气体流速计完成现场安装/改装的初步调试后，连续正常运行时间应不少于 168 小时。

9.1.4 调试检测在运行 168 小时后进行，调试检测期间不允许计划外的校准、检修和调节仪器。

9.1.5 因超声波气体流速计故障、断电等原因造成调试检测中断，应在上述因素恢复正常后重新开始进行调试检测。

9.1.6 调试检测后应编制调试检测报告，参见附录 A 中的表 A.5。

9.2 调试检测前准备

9.2.1 调试检测前可以对超声波气体流速计进行一次零点 and/or 量程校准。

9.2.2 调试检测前应将仪器的现场几何参数输入到超声波气体流速计中。

9.2.3 与用户共同制定计划，尽量安排调试检测期间高、中和低三种负荷的变化，每种负荷持续时间不少于 2 小时。

9.3 零点和量程漂移技术指标的调试检测方法

超声波流速 CEMS 采用电学的方法代替顺气流方向的信号和逆气流方向的信号，使两个信号相等得到仪器的零点。通过引入已知延迟时间的脉冲信号，并测量声脉冲延迟时间检查仪器的量程漂移。

检测结果记录参见附录 A 中的表 A.1。

9.4 速度场系数精密性调试检测方法

按 HJ 75 相关条款进行速度场系数精密性调试检测。调试检测期间尽量安排高、中和低三种负荷的变化，如速度场系数精密性符合本标准 6.2.3 表 1 调试检测技术指标，把速度场系数输入到数据采集处理系统，将超声波气体流速计测试的数据调试到手工采样参比方法所测定的流速值。

检测结果记录参见附录 A 中的表 A.2。

9.5 相关性调试检测方法

9.5.1 如果速度场系数精密性不符合本标准 6.2.3.1 调试检测技术指标,通过调节高(100 % C.S. ~ 80 % C.S.)、中(40 % C.S. ~ 60 % C.S.)、低(<20 % C.S.)三种负荷变化得到三个不同工况的烟气流速,参比方法测试在每个工况流速下至少获得 3 个有效数据,与超声波气体流速计同时段数据组成不少于 9 个数据对。在烟气流速小于 5 m/s 时,还应调节低负荷状态的流速接近 5 m/s。应报告所有的数据,包括舍去的数据。以超声波气体流速计数据为 X 轴,参比方法数据为 Y 轴,由最小二乘法建立一元线性回归方程,同时计算方程的相关系数。一元线性回归方程和相关系数计算方法参见附录 C,结果记录参见附录 A 中的表 A.3。

9.5.2 如果相关系数符合本标准 6.2.3 表 1 调试检测技术指标,把一元线性回归方程的斜率和截距输入到数据采集处理系统,将超声波气体流速计测试的数据调试到手工采样参比方法所测定的流速值。

9.6 调试检测后处理

调试检测完成后,应立即进行一次仪器的现场零点校准和量程校准,作为今后定期校准的初始值。

10 超声波气体流速计的比对监测

10.1 一般要求

10.1.1 在完成超声波气体流速计的调试检测合格后,可与烟气 CEMS 一起进行比对监测,也可以单独进行超声波气体流速计的比对监测(如:超声波气体流速计改装/更新时)。

10.1.2 比对监测可采用声速检验替代,具体要求及检验方法参照 GB/T 30500 的要求,检验结果满足 6.2.2 要求;或当流速 ≥ 5 m/s 时,可选择按照 GB/T 16157 的规定的进行烟道断面的分区域移动检测。

10.1.3 比对监测时间可在调试检测合格后立即开始,也可在仪器正常运行期间定期校验时、质控必要时进行,或采用抽检形式进行。

10.1.4 比对监测期间,生产设备和治理设施工作正常,运行状况保持稳定。

10.1.5 比对监测前可以用对超声波气体流速计进行一次零点和/或量程校准。

10.1.6 比对监测期间若对超声波气体流速计内部重要元件或整机进行修理更换,应重新开始检测。

10.1.7 超声波气体流速计的安装位置、声道位置、数量及手工采样位置应符合本标准条款 7、条款 8 的要求。

10.1.8 根据本标准 6.2.3 中表 1 的要求进行了调试检测,提供了调试检测合格报告,并已将调试检测得到的一元线性回归方程或速度场系数输入数据处理系统。

10.1.9 超声波气体流速计的监测数据能够连续正常的传输到烟气 CEMS 的数据采集处理单元。

10.1.10 比对监测后应编制比对监测报告,参见 A 中的表 A.6。

10.2 比对监测方法

用参比方法进行比对监测时,至少获得测试断面流速的 5 个有效平均值,取测试的平均值与同时段超声波气体流速计的平均值计算相对误差,计算方法参见附录 C,检测结果记录参见附录 A 中的表 A.6。

11 超声波气体流速计的运行维护与质量保证

11.1 一般要求

超声波气体流速计日常运行维护与质量保证是保障其正常稳定运行、持续提供有质量保证监测数据的必要手段。当超声波气体流速计不能满足技术指标而数据异常时，应及时采取纠正措施并缩短下一次校准、维护和校验的时间间隔。

11.2 定期校准

11.2.1 超声波气体流速计应每月一次零点校准和量程校准。

11.2.2 如果校准表明超声波气体流速计的零点和/或量程的漂移连续 3 个月符合本标准 6.2.3 表 3 运行质量控制的周期和技术指标，可将定期校准的频度减少到每 3 个月一次，此后检查发生异常时应恢复为每月一次；如果校准表明超声波气体流速计的零点和/或量程的漂移超出本标准 6.2.3 表 3 中的技术指标，应将定期校准的频度增加到每周一次，直至连续 4 周合格后才可恢复为每月一次。

11.3 定期维护

11.3.1 每月检查超声波气体流速计鼓风机和空气过滤器，保证有足够的压力和清洁的空气保护超声换能器的清洁，检查超声波气体流速计与烟道或管道连接的紧固件是否松动，避免因超声波气体流速计探头的方位发生变化，改变测量角度而严重地影响流速的准确测量。

11.3.2 季度检查应在 10 分钟内完成，期间可中断连续监测并保持检查前数据。季度检查中发现超声波气体流速计失控项目，应将该项目检查频度增加到每月一次，直至连续 3 个月不再发生才可恢复为季度检查，检查要求按照以下执行：

- a) 超声换能器堵塞和腐蚀的目视检查：如果检查表明堵塞（颗粒物包裹）和/或明显腐蚀，则超声波气体流速计失控。失控期间开始于检查发现堵塞和/或明显腐蚀之时，结束于随后采取纠正措施清洁和/或更换探头并重新检测达到技术指标为止；
- b) 声道的错位检查：声道的相对位置同轴度。如果检查表明错位超过仪器说明书规定的范围，则超声波气体流速计失控。失控期间开始于检查发现探头错位之时，结束于随后采取纠正措施复位并重新检测达到技术指标为止。

11.3.3 每半年检查数据采集与处理系统中的校准系数（一元线性回归方程斜率与截距或速度场系数）有无变化，检查超声波气体流速计安装位置和烟道内测量位置是否发生变化，确定是否需要更新校准系数。

11.3.4 各周期的定期巡检中，应同时根据超声波气体流速计说明书对保养内容、保养周期或耗材更换周期等的要求，进行日常维护保养。每次保养情况及更换备件或材料的品名、规格、数量等应记录并归档。对定期巡检或维护保养中发现的故障或问题，应及时处理并记录。

11.4 定期校验与准确度审核

11.4.1 超声波气体流速计校验和准确度审核的周期：超声波气体流速计校验至少每半年进行一次；无零点和/或量程校准功能的超声波气体流速计校验至少每 3 个月进行一次；超声波气体流速计准确度审核至少每年进行一次。

11.4.2 超声波气体流速计校验和准确度审核的方法同本标准 6.2.3 表 2 比对监测方法中流速相对误差；超声波气体流速计准确度调试审核的方法：按照 6.2.3 表 3 重新调试超声波气体流速计，合格后立即进行一次准确度审核。超声波气体流速计临时性准确度审核的方法同本标准 6.2.3 表 2 比对监测方法中流速相对误差，但可以只有 3 对检测数据。

11.4.3 校验、准确度审核超声波气体流速计的检测结果记录参见附录 A 中的表 A.7。

11.5 常见故障及排除

当超声波流量计发生故障时，设备管理维护人员应及时处理并记录。维修处理过程中，要注意以下几点：

- a) 设备需要停用、拆除或者更换时，应当事先报经主管部门批准；
- b) 运行单位发现故障或接到故障通知，应在 4 h 内赶到现场进行处理；
- c) 对于一些容易诊断的故障，如探头积灰、过滤器堵塞、数据采集仪死机等，可携带工具或备件到现场进行针对性维修，此类故障维修时间不应超过 8 h；
- d) 仪器经过维修后，在正常使用和运行之前应确保维修内容全部完成，性能通过检测程序，按本文件对仪器进行校准检查，若仪器进行了更换，在正常使用和运行前应对设备进行重新调试。

11.6 超声波气体流速计的数据异常和处理

11.6.1 数据异常的限值

超声波气体流速计定期校准/校验/准确度审核不满足本标准6.2.3.3技术指标，表明超声波气体流速计的检测数据已发生异常。

11.6.2 数据异常的处理

11.6.2.1 重复上述未通过的检查、校验和审核，并证实超声波气体流速计满足检查、校验和审核的要求。

11.6.2.2 准确度校验和审核未通过时，重新测定直至符合要求；如果仍不能达到，必须做准确度调试审核。

11.6.2.3 提出包括如下内容的报告：表明超声波气体流速计失控的审核结果，采取的纠正措施，证明已达到技术指标的检查结果。

11.6.2.4 数据异常期间从校准、校验或准确度审核和准确度调试审核不合格/失败（由于超声波气体流速计的问题）开始，到检查、校验和审核合格结束，期间以小时计。数据异常期间记录的数据不能用于计算和判断排放源是否遵守污染物排放限值，也不能作为有质量保证的数据计算数据的有效性。

附 录 A
(资料性附录)
超声波气体流速计相关测试原始记录表及报告

表 A.1 超声波气体流速计的零点和量程漂移检测

测试人员_____ CEMS 生产厂_____

测试地点_____ CEMS 型号、编号_____

测试位置_____ 校准量程值_____

CEMS 原理_____

日期	时间		计量单位（m/s）								备注
			零点读数		零点 漂移 绝对 误差	调 节 零 点 否	上标校准读数		量程漂移 绝对误差	调节跨度 否	
	开 始	结 束	起 始 (Z ₀)	最 终 (Z _i)	Δ Z= Z _i -Z ₀		起始 (S ₀)	最终 (S _i)	Δ S= S _i -S ₀		
零点漂移绝对误差最大值							量程漂移绝对 误差最大值				
零点漂移							量程漂移				

表 A.2 速度场系数和精密度检测

测试人员_____

测试地点_____

测试位置_____

参比方法仪器生产厂_____

参比方法计量单位_____

CEMS 生产厂_____

CEMS 型号、编号_____

CEMS 原理_____

型号、编号、原理_____

CEMS 计量单位_____

日期	方法	测定次数									日平均值	标准偏差	相对标准偏差(%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
	手工													
	CEMS													
	场系数													
	手工													
	CEMS													
	场系数													
	手工													
	CEMS													
	场系数													
	手工													
	CEMS													
	场系数													
	手工													
	CEMS													
	场系数													
	手工													
	CEMS													
	场系数													
	手工													
	CEMS													
	场系数													
速度场系数日平均值的均值						标准偏差					相对标准偏差(%)			
注：不参与日平均值统计的测量数据须标注。														

表 A.3 相关性调试检测

测试人员	_____	CEMS 生产厂	_____
测试地点	_____	CEMS 型号、编号	_____
测试位置	_____	CEMS 原理	_____
参比方法仪器生产厂	_____	型号、编号、原理	_____
参比方法计量单位	_____	CEMS 计量单位	_____

建立	工况	1			2			3		
回归	参比方法测定值 (y)									
方程	CEMS测定值 (x)									
斜率										
截距										
相关系数										

表 A.4 参比方法验收超声波气体流速计测定结果相对误差、相对准确度

测试人员_____

测试地点_____

测试位置_____

参比方法仪器生产厂_____

参比方法计量单位 _____

CEMS 生产厂_____

CEMS 型号、编号_____

CEMS 原理_____

型号、编号、原理_____

CEMS 计量单位_____

验收超声波气体流速计测定结果相对误差测定日期 年 月 日								
数据对号	流速（m/s）							
	1	2	3	4	5		平均值	相对误差 （%）
参比方法测定值								
CEMS 测定值								
验收超声波气体流速计测定结果相对准确度测定日期 年 月 日								
样品编号	时间	流速（m/s）						
		参比方法 A		超声波气体流速计 B		数据对差 B-A		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
平均值								
数据对差的平均值的绝对值								
数据对差的标准偏差								
置信系数								
相对准确度（%）								

表 A.5 调试检测报告

项目编号：

验收地点：

验收日期： 年 月 日

CEMS 法					
使用主要仪器名称			制造单位		型号
参比方法					
使用主要仪器名称			型号		方法依据
烟温	参比方法数据	CEMS 数据	绝对误差	限值	是否符合
				±3℃	
流速	精密性 相关性	速度场系数		当流速>10 m/s 时，≤5 %； 当流速≤10 m/s 时，≤8 %	
		精密度			
		相关系数		≥9 个数据对时，≥0.90	
结论					
备注				计算用流速校准量程： 30 m/s 实际流速校准量程： m/s 检测流速： m/s	

测试人：

审核人：

批准人：

表 A.6 超声波气体流速计比对监测报告

项目编号：

比对地点：

比对日期： 年 月 日

CEMS 法					
使用主要仪器名称			制造单位		型号
参比方法					
使用主要仪器名称			型号		方法依据
烟温	参比方法数据	CEMS 数据	绝对误差	限值	是否符合
				±3℃	
流速	准确度	相对误差		流速>10 m/s 时，±8； 流速≤10 m/s 时，≤±10	
		相对准确度		流速>10 m/s 时，≤15 %； 流速≤10 m/s 时，≤20 %	
结论					
备注				计算用流速校准量程： 30 m/s 实际流速校准量程： m/s 检测流速： m/s	

测试人：

审核人：

批准人：

表 A.7 超声波气体流速计数据校验、审核

测试人员_____

CEMS 生产厂_____

测试地点_____

CEMS 型号、编号_____

测试位置_____

CEMS 原理_____

参比方法仪器生产厂_____

型号、编号、原理_____

参比方法计量单位_____

CEMS 计量单位_____

校准系数（速度场系数、回归方程及相关系数）_____

确定日期 ____年__月__日

1. 准确度校验												
数据对号		1	2	3	4	5		平均值		相对误差/%		
参比方法测定值												
CEMS 测定值												
2. 准确度审核												
数据对号		1	2	3				平均值		相对误差（%）		
参比方法测定值												
CEMS 测定值												
3. 准确度调试审核												
数据对号		1	2	3				平均值		场系数		
第一天	参比方法测定值											
	CEMS 测定值											
第二天	参比方法测定值											
	CEMS 测定值											
第三天	参比方法测定值											
	CEMS 测定值											
新场系数平均值：					场系数精密度：							
数据对号		1	2	3				平均值		相对误差（%）		
参比方法测定值												
新场系数下 CEMS 测定值												
4. 建立回归方程（利用准确度审核获得至少 9 个数据对建立回归方程）												
数据对号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均值	相对误差（%）
参比方法测定值												
新参数下 CEMS 测定值												
5. 建立回归方程（在 3 个不同工况流速下，每个工况由参比方法测量断面的平均流速和超声波气体流速计测量至少获得 3 个数据对建立的回归方程）												
建立 回归 方程	工况	1			2			3			相关系数：	
	参比方法测定值										截距：	
	CEMS 测定值										效率：	
数据对号		1	2	3				平均值		相对误差（%）		
参比方法测定值												
新参数下 CEMS 测定值												

表 A.8 声速检验记录表

检验日期： 年 月 日

超声波流量计基本信息						
仪器名称					型号	
制造单位					安装时间	
安装位置					生产厂家	
检验数据						
使用主要仪器名称						
次数	参数记录				结果计算	
	温度(℃)	压力 (Kp)	湿度 (%)	氧气 (%)	理论声速 (m/s)	流量计测定声速 (m/s)
1						
2						
3						
4						
5						
.....						
平均值						
相对误差						
结论						

测试人：

审核人：

批准人：

附 录 B
(资料性附录)
超声波气体流速计安装位置要求

B.1 单条声道安装方式

安装位置满足“前2后0.5”时，可设置一条声道（I型设置），安装1对换能器探头，检测线平均流速，参见图B.1。

声道应穿过烟道中心区域，长度应大于烟道直径或边长；测量平面（测量线中心）选择在烟道总直管段长度靠下游1/3处；以测量平面为中心，沿上下游距离均分别开设1对检测孔（以下简称“检测对孔”），前后两侧均需建安装操作平台。

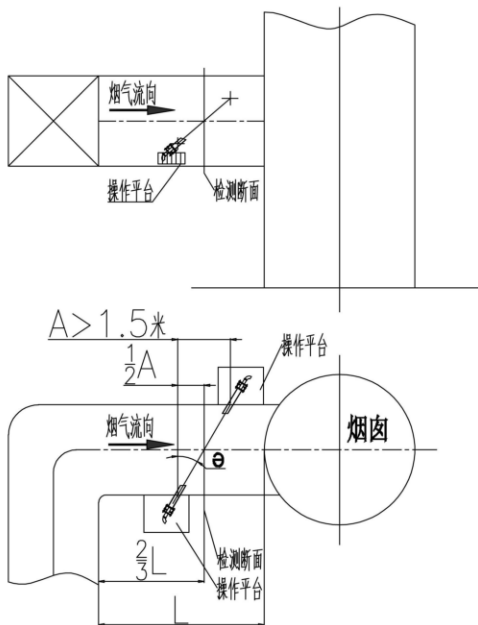


图 B.1 超声波气体流速计单条安装示意图

B.2 两条声道安装方式

直管段不满足“前2后0.5”时，应交叉设置两条声道（X型设置），安装2对换能器探头，检测平面平均流速，参见图B.2。

声道应穿过烟道中心区域，长度应大于烟道直径或边长；测量平面（测量线中心）选择在烟道总直管段长度靠下游1/3处；以测量平面为中心，沿上下游距离均开设2对检测对孔；可以建上下两层安装操作平台，高度差1.5 m时也可以只建单层平台。

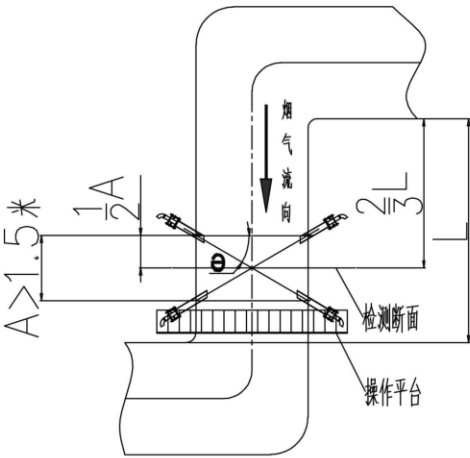


图 B.2 超声波气体流速计两条安装示意图

附录 C
(规范性附录)

参比方法检测数据的计算方法与公式

C.1 相关性调试检测的计算

C.1.1 建立一元线性回归方程：

$$V_s = b_1 V_{CMS} + b_0 \dots\dots\dots (C. 1)$$

式中：
 V_s ——参比方法测定断面湿烟气的平均流速，m/s；
 V_{CMS} ——超声波气体流速计测定断面湿烟气的平均流速，m/s；
 b_1 ——线性相关校准曲线的斜率；
 b_0 ——线性相关校准曲线的截距，m/s。
 截距：

$$b_0 = V_s - b_1 V_{CMS} \dots\dots\dots (C. 2)$$

式中：
 V_{CES} ——超声波气体流速计测定断面湿烟气的平均流速，m/s；
 V_s ——参比方法测定断面湿烟气的平均流速，m/s。

$$V_{CMS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{CMS_i}, V_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{S_i} \dots\dots\dots (C. 3)$$

式中：
 V_{CMS_i} ——超声波气体流速计测定断面湿烟气的第i个平均流速，m/s；
 V_{S_i} ——参比方法测定断面湿烟气的第i个平均流速，m/s；
 n ——数据对的数目。
 斜率：

$$b_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \dots\dots\dots (C. 4)$$

式中：

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (V_{CMS_i} - V_{CMS})^2, S_{xy} = \sum_{i=1}^n (V_{CMS_i} - V_{CMS})(V_{S_i} - V_s) \dots\dots\dots (C. 5)$$

C.1.2 相关系数计算：

$$r = \frac{s_{xy}}{\sqrt{s_{xx}s_{yy}}} \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

r ——线性相关系数。

$$s_{yy} = \sum_{i=1}^n (v_{s_i} - v_s)^2 \dots\dots\dots (C.7)$$

C.1.3 相关法调试超声波气体流速计后的流速

$$V_{CMS} = V_s = b_1 V_p + b_0 \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

V_{CMS} ——相关法调试超声波气体流速计后断面湿烟气的平均流速, m/s。

V_s ——参比方法测定断面湿烟气的平均流速, m/s;

V_p ——超声波气体流速计在测定断面固定点或测定线上测定湿烟气的平均流速, m/s。

b_1 ——线性相关校准曲线的斜率;

b_0 ——线性相关校准曲线的截距, m/s。

C.2 速度场系数调试检测的计算

C.2.1 速度场系数计算:

$$K_v = \frac{F_s}{F_p} \times \frac{v_s}{v_p} \dots\dots\dots (C.9)$$

式中:

K_v ——速度场系数;

F_s ——参比方法测定断面面积, m²;

F_p ——固定点或测定线所在测定断面的面积, m²;

V_s ——参比方法测定断面湿烟气的平均流速, m/s;

V_p ——超声波气体流速计在测定断面固定点或测定线上测定湿烟气的平均流速, m/s。

C.2.2 速度场系数精密度计算:

$$CV\% = \frac{s}{\overline{K_v}} \times 100 \dots\dots\dots (C.10)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{vi} - \overline{K_v})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:

CV ——速度场系数精密度(相对标准偏差), %;

S ——速度场系数的标准偏差;
 $\overline{K_v}$ ——速度场系数日平均值的平均值;
 $\overline{K_{vi}}$ ——速度场系数日平均值;
 n ——日平均速度场系数的个数。

C.2.3 速度场系数法调试超声波气体流速计后的流速:

$$V_{CMS} = V_s = K_v \times V_p \dots\dots\dots (C.12)$$

式中:
 V_{CMS} ——速度场系数法调试超声波气体流速计后断面湿烟气的平均流速, m/s;
 V_s ——参比方法测定断面湿烟气的平均流速, m/s;
 K_v ——速度场系数;
 V_p ——超声波气体流速计在测定断面固定点或测定线上测定湿烟气的平均流速, m/s。

C.3 比对监测中的计算

C.3.1 流速相对误差计算:

$$R_{ev} = \frac{(V_{CMS} - V_i)}{V_i} \times 100\% \dots\dots\dots (C.13)$$

式中:
 R_{ev} ——流速相对误差, %;
 V_i ——参比方法测定的测试断面的烟气平均流速, m/s;
 V_{CMS} ——超声波气体流速计与参比方法同时段测定的烟气平均流速, m/s。

C.3.2 流速相对准确度计算:

$$RA = \frac{|\bar{d}| + |cd|}{RM} \times 100\% \dots\dots\dots (C.14)$$

式中:
 RA ——相对准确度。

$$RM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RM_i \dots\dots\dots (C.15)$$

式中:
 n ——数据对的个数;
 RM_i ——第*i*个数据对中的参比方法测定值。

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \dots\dots\dots (C.16)$$

$$d_i = RM_i - CMS_i \dots\dots\dots (C.17)$$

式中：

d_i ——第*i*个数据对之差；
 CMS_i ——第*i*个数据对中的超声波气体流速计的测定值。

注：在计算数据对差的和时，保留差值的正、负号

$$cc = \pm t_{f,0.95} \frac{S_d}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (C. 18)$$

式中：

cc ——置信系数；
 $t_{f,0.95}$ ——由表D1 t值表查得， $f=n-1$ ；
 S_d ——参比方法与超声波气体流速计测定值数据对的差的标准偏差。

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (C. 19)$$

表 C.1 t 值表（95 %置信水平）

5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2. 571	2. 447	2. 365	2. 306	2. 262	2. 228	2. 201	2. 179	2. 160	2. 145	2. 131	2. 120