

外夹式超声波密度计 与 PS7000 超声波声阻抗密度计

面向浆液密度在线测量的原理与特性对比（技术版）

适用工况：有色冶金、火力发电脱硫、煤炭洗选、化工冶金、钾肥盐化、矿山尾矿充填等固液两相浆体 | 编制：西安派声 · 2026 年 6 月

一、概述

浆液（固液两相）密度的在线测量有多种非核源超声方案。本文对两种代表性技术做客观对比：

外夹式超声波密度计（换能器外贴管壁、透射测量）与 **PS7000 超声波声阻抗密度计**（探头声窗接触浆液、界面反射测量）。两者均不使用电离辐射源，传感几何与适用条件不同。下文从测量原理、关键技术特性、安装方式等方面进行对比，并给出基于工况的选型参考。

说明：两类技术各有适用场景，本文不对原理本身作优劣判断，重点在于厘清各自的工作方式与适用边界，便于按实际工况匹配。

二、测量原理

外夹式（透射法）：成对换能器外贴于管道，超声依次穿过耦合剂、管壁、衬里与浆液，依据声速和 / 或声衰减与密度的关系推算浆体密度。其特点是非侵入，可在不停产的情况下安装与移动。

PS7000（声阻抗反射法）：单探头自发自收，蓝宝石声窗与管内壁平齐并直接接触浆液。由“声窗—浆液”界面反射系数 $R = (Z_m - Z_w) / (Z_m + Z_w)$ 、声阻抗 $Z = \rho \cdot c$ 反演密度，采用线性调频（Chirp）宽带信号与脉冲压缩处理。其特点是声窗接触浆液、声程短、测量不经过管壁与衬里。

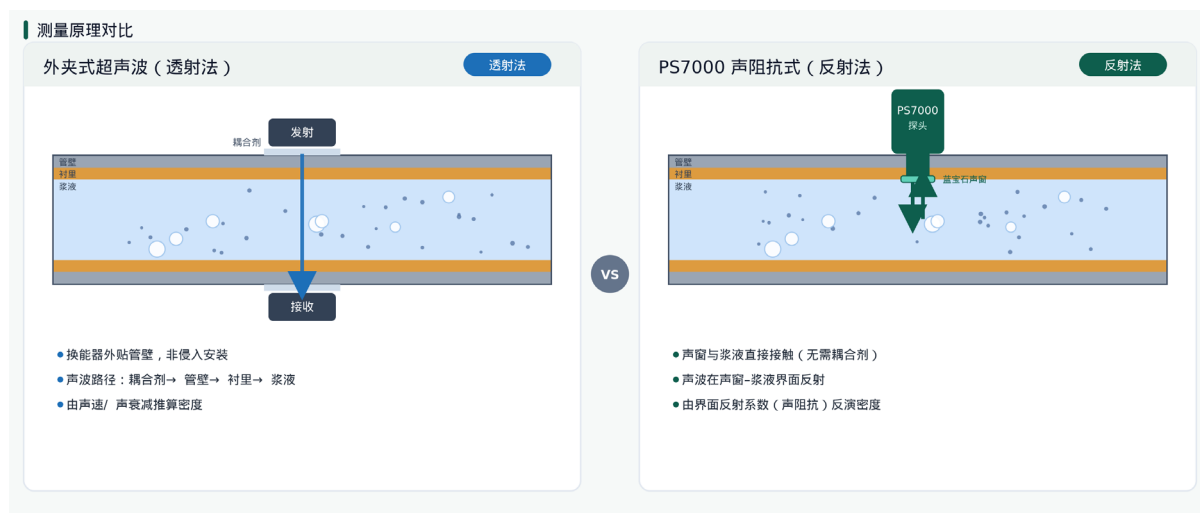


图1 两种测量原理示意：左为外夹式透射法（声波穿过管壁、衬里与浆液，由声速/衰减推算密度）；右为PS7000声阻抗反射法（声窗直接接触浆液，由界面反射系数反演密度）。

三、关键技术特性对比

3.1 管道衬里

- **外夹式**：超声须穿过管壁与衬里，适用于无衬里或薄衬里、声学可穿透（如金属）的管道；当衬里较厚或为强吸收/高阻抗失配材质（橡胶、厚PTFE、陶瓷、水泥）时，信号衰减增大，安装前需评估声学可穿透性。
- **PS7000**：声窗位于管内、直接接触浆液，测量不经过管壁与衬里，因而不受管道衬里材质影响；测量管段也可按工况选配衬里以适应腐蚀/磨蚀。

适用提示：洁净金属薄壁管路两者均可；带较厚或强吸收衬里的管路更适合采用接触式声阻抗方案。

3.2 浆液气泡与固含量

- **外夹式**：透射声程贯穿管径、相对较长，当浆液含气泡或固含较高时，超声散射与衰减增强，对信噪比和读数稳定性有影响，宜选择混合均匀、气泡较少的测点。
- **PS7000**：测量为声窗界面的短程反射，并采用Chirp宽带、子带一致性判别与多发统计等处理以降低气泡干扰，对含气泡、高固含工况适应性较好。

适用提示：气泡少、混合均匀的工况两者均适用；含气泡或高固含工况下接触式短程反射更易保持稳定。

3.3 声学耦合方式

- **外夹式**：换能与管壁之间需声耦合剂以传导超声；耦合剂状态会随时间、温度与振动变化，需按维护周期检查或补涂以保持信号稳定。
- **PS7000**：声窗与浆液直接接触，以浆液为耦合介质，无需外加耦合剂；蓝宝石声窗光洁、抗结垢。

适用提示：可定期维护的场合外贴方式安装灵活；追求长期免维护、少人工干预时接触式更省心。

四、其他技术特性

- **精度与管壁相关性：** 外夹式测量受管材、壁厚、衬里、耦合等路径因素影响，标定与管道状态相关；PS7000 测量与管壁无关，标定后全量程 $\pm 1\%$ FS。
- **满管与流态：** 外夹式透射通常要求满管并避开管顶气体；PS7000 无满管要求，可测少量流体，建议流速 > 1 m/s 以防颗粒沉降。
- **浓度与温度范围：** 外夹式适用范围取决于声学可穿透性与耦合条件；PS7000 适用 0–80% 质量浓度 (0–3000 kg/m³)，介质温度 0–80°C、高温型可达 120°C。
- **安装与维护取向：** 外夹式非侵入、不停产、可移动，需关注耦合剂维护；PS7000 需一次法兰安装，换取长期免维护与高精度连续测量。两者取向不同，无绝对优劣。

五、 技术特性对比汇总表

(下表客观罗列两种技术的特性与适用条件，不含优劣评价；“视型号 / 视工况而定”表示取决于具体配置或现场条件。)

| 对比维度 | 外夹式超声波密度计 (透射法) | PS7000 声阻抗密度计 (反射法) |
|-----------|---------------------------------------|--|
| 测量原理 | 外贴换能器，超声透射穿过 管壁 / 衬里 / 浆液 (声速 · 声衰减法) | 单探头声窗接触浆液，界面反射 (声阻抗法) |
| 安装方式 | 非侵入外贴，可不停产安装、可移动 | 法兰测量管段串接直管段；一体 / 分体 |
| 管道衬里 | 适用于声学可穿透管道；较厚或强吸收衬里需评估 | 测量不经过衬里，不受衬里材质影响；可选配衬里 |
| 含气泡 / 高固含 | 透射声程较长，散射 / 衰减随之增大；宜选均匀、少气测点 | 短程界面反射，配合 Chirp 宽带处理，适应含气泡 / 高固含 |
| 声学耦合 | 需耦合剂传导超声，按周期检查 / 补涂 | 浆液直接耦合，无需耦合剂；蓝宝石声窗抗结垢 |
| 与管壁相关性 | 与管材、壁厚、锈层、衬里相关 | 与管壁无关 |
| 满管要求 | 通常需满管，并避开管顶气体 | 无满管要求 |
| 测量精度 | 受路径因素影响，与管道状态相关 | $\pm 1\%$ FS (0–3000 kg/m ³) |
| 介质温度 | 视耦合与器件而定 | 0–80°C (高温型可达 120°C) |
| 维护 | 关注耦合剂状态与周期标定 | ≥ 5 年免维护，断电不丢数据 |
| 输出 / 通讯 | 视具体型号 | 4-20mA $\times 2$ + RS485 Modbus-RTU |

| 对比维度 | 外夹式超声波密度计（透射法） | PS7000 声阻抗密度计（反射法） |
|----------------|----------------|---------------------|
| | | (可选 4G) |
| 防爆 / 认证 | 视具体型号 | 可选 Exd II CT6Gb; CE |

六、安装与使用

6.1 外夹式（透射法）

清洁管道外壁，在直管段上按规定间距 / 角度成对固定换能器，涂抹声耦合剂以排除空气间隙，设置管径、壁厚、管材等参数后进行标定。非侵入、可不停产安装与移动；运行中需按周期检查耦合剂状态与读数标定。

6.2 PS7000（声阻抗反射法）安装要求与方法

采用直管段法兰式安装，支持一体式与分体式。要点如下：

| | |
|--------------|--|
| 安装形式 | 法兰测量管段串接工艺直管段；一体式（便于观察） / 分体式（空间受限或非满管，信号 ≤ 500 m）；可壁挂防护箱 |
| 直管段 | 远离泵、阀门、弯头等局部阻力件；水平安装前 10D、后 5D（最少前 5D、后 3D）；无满管要求 |
| 方向与流速 | 推荐垂直安装、流体自下而上、流速 > 1 m/s（矿料越重所需流速越高）；避免低流速 / 静止 |
| 水平安装 | 探头位于管道下方并浸没于浆液；保证测点浆液具代表性、不分层、均匀稳定 |
| 环境 | 无强烈震动、环境温度变化小、预留维护空间；环境 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，介质 $0\sim 80^{\circ}\text{C}$ （高温型 120°C ） |
| 电气接线 | DC 24V（或 AC 220V 经模块）； $4\sim 20\text{mA} \times 2$ （负载 $\leq 500\Omega$ ）；RS485 A/B/G $\leq 500\text{m}$ ；探头信号 MEA、温度 PT1000（红+ 白-） |
| 现场标定 | 取样称重法，修正 $Y = aX + b$ ；清水填 1000 kg/m^3 。首次 12–24h 内，稳定运行每 6–12 月复标 |

安装步骤（概要）

- 1) **确认安全**：断电、管道泄压、关闭取样阀。
- 2) **安装测量管段**：法兰串接于工艺直管段，优先垂直、自下而上；远离泵与弯头阀门，满足前 10D、后 5D（最少 5D/3D）。
- 3) **选择安装形式**：一体式直接装于测量管段；分体式时水平管道探头置于下方并浸没，主机壁挂。

- 4) **电气接线**: 接 DC 24V (或 220V 经模块) ; 按需接 4-20mA ×2 与 RS485; 探头信号 MEA、温度 PT1000 (红+ 白-) 。
- 5) **通电设置与标定**: 经遥控器设置地址、波特率、输出与量程等; 取样称重得真实密度, 求修正系数 a、b ($Y = aX + b$) 。

七、选型参考

两类技术为互补方案, 建议结合管道条件、介质特性、精度与运维要求选择; 必要时可现场试装验证。

- **更适合外夹式 (透射法) 的情形**: 管道不可停机开孔、需临时或移动测量、介质洁净满管且无 (厚) 衬里、对安装灵活性要求高。
- **更适合 PS7000 (声阻抗反射法) 的情形**: 管道带衬里、介质含气泡 / 高固含、要求长期稳定免维护与高精度连续测量、需接入 DCS 或防爆场合。

小结: 外夹式以非侵入、安装灵活见长; 接触式声阻抗以不受管壁 / 衬里影响、长期稳定见长。按工况匹配即可发挥各自优势。