

机械式检测元件

类型	总的原理	不同形式	工作原理	应用场合	优点	局限性	备注（补偿和抗干扰措施、选用注意事项）
弹性式检测元件	弹性变形原理， Δ 被测量 \rightarrow 变形或应变 \rightarrow 电信号。测力，力矩，压力，温度等	弹簧管	椭圆或扁圆形截面 \rightarrow 圆形，伸直；一定压力内，位移和压力关系线性	压力			难以直接测量的物理量（压力、流量、温度）转换成长度、角度等参量
		薄壁圆筒	筒径=20壁厚，筒内通气，受压力 p ，轴向、径向有应力和应变，借助电阻应变片，感受之， ϵ 径向=2 ϵ 轴向	压力			
		波纹管	感受管内压力或管外集中力而产生高度方向形变（拉或压）	压力	线性好 弹性位移大		
		膜片	扰性薄片，或膜盒		膜盒比膜片更灵敏	非线性	
其他机械式	振动式检测元件，被测量（力压力密度） \rightarrow 谐振元件的 Δ 固有频率	振弦式	钢弦固有频率与所受应力或张力有关系，切割磁力线，产生感应电动势，其频率与所加的力或应力有关	动态称重	易于与计算机结合，小轻分辨率精度高		难以直接测量的物理量（压力、流量、温度）转换成长度、角度等参量
		振筒式	振筒谐振频率改变	气体压力和密度			

电阻式检测元件

类型	总的原理	不同形式	工作原理	应用场合	优点	局限性	备注（补偿和抗干扰措施、选用注意事项）
应变式检测元件	Δ 应变 \rightarrow Δ 电阻，力，压力，位移，扭矩，加速度等，优点：测量范围宽，准确度高，响应速度快，动态测量，寿命长，价优，耐高低温恶劣；缺点：微弱，抗干扰弱需屏蔽，受温度影响，大应变时非线性	金属应变片：丝式、箔式、薄膜式			性能稳定，准确度高	灵敏系数K较小，粘贴工艺繁琐	主要特性：电阻值、灵敏系数、绝缘电阻、横向效应、机械滞后、零漂和蠕变、允许电流、应变极限、温度效应与补偿；温度补偿：半桥单臂、半桥双臂、全桥
		半导体应变片：单晶膜片、体型、薄膜型和扩散型	单晶膜片为敏感元件		灵敏系数高50-80倍，尺寸小滞后小动态好	温度稳定性差大应变时非线性	
热电阻检测元件	电阻率随温度变化；需外加电源；灵敏度高，稳定性互换性精度高；中低温测量（-200, 650）；工业测温	金属热电阻：Pt, Cu, Ni		Pt: 工业测温，-200, 850 Cu: -50, 150	Pt稳定耐氧化电阻率高复现性好 Cu 电阻温度系数大，容易加工和提纯，线性好价格便宜	Pt还原环境中易于脆； Cu超过100度易氧化	Pt高温下只适用于氧化气氛中，真空和还原气氛会导致关系改变 金属：注意电阻体自热误差，引线电阻误差
		半导体热电阻	半导体	(-50, 350)，温度控制和一些精度要求小的测温中	灵敏度高体积小热惯性小大批量等	互换性差，热电特性非线性	NTC(线性，突变) PTC(线性，突变)，温度检测或补充元件；温度控制元件
其他电阻式检测元件		湿敏电阻					需温度补偿，非线性补偿
		气敏电阻	氧化锡，氧化锌				不同的催化剂，对不同气体敏感

电容式检测元件

序号	原理	应用场合	优点	局限性	备注
电容式	Δ 物理量 $\rightarrow \Delta C$	机械量—位移、角位移、加速度；过程量—压力、差压、物位	①结构简单 ②低功耗 ($C \downarrow$ 容抗 \uparrow 损耗 \downarrow 输入力和能量 \downarrow) ③动态特性 \uparrow (f 固 \uparrow 动态 \uparrow 数 MHz) ④非接触，适应 \uparrow	$C \downarrow \rightarrow \Delta C \downarrow$ 易受寄生杂散C和各种干扰 需屏蔽、绝缘	温度补偿 抗干扰措施



2.6 压电式检测元件

- 2.6.1 压电效应与压电材料
- 2.6.2 等效电路及连接方式
- 2.6.3 压电式检测元件的误差
- 2.6.4 压电式检测元件的应用

序号	原理	应用场合	优点	局限性	备注
压电式	外力作用 $\rightarrow \Delta V$	机械量—加速度、扭矩； 过程量—力、压力	①频带宽、灵敏度高、 结构简单、工作可靠、 重量轻等		配套二次仪表、电阻电缆（低噪声、小电容、高绝缘）更方便了



2.5 热电式检测元件

1 热电偶检测元件

- ① 热电效应及测温原理
- ② 热电偶的四个定律
- ③ 热电偶的材料与结构
- ④ 热电偶冷端的温度补偿
- ⑤ 热电偶的误差

2 晶体管温度检测元件

- ① PN结温度检测元件
- ② 晶体三极管温度检测元件

光电式检测元件

序号	原理	应用场合	优点	局限性	备注
光电式	Δ 物理量 \rightarrow Δ 光信号	<p>直接引起光量变化的非电量—光强、光照度、辐射测量、气体成分分析；</p> <p>可转换成光量变化的非电量—应力、位移、振动、速度、加速度等</p>	结构简单、精度高、响应快、非接触、性能可靠等		<p>①烟道烟尘浊度检测（吸收和折射）</p> <p>②星载太阳辐射计（跟踪太阳，光电池电压差）</p>

- 2.7.1 光电效应
- 光电效应：光 → 物质上 → Δ 电特性（电子发射、电导率、电位、电流）

光电效应	特点	类型	规律
外光电效应 (光电发射效应)	光线作用下， 内部电子逸出物体表面	光电管 光电倍增管	①入射光频谱不变时，输出光电流 $I \propto$ 入射光强（光子数 \uparrow 逸出电子 \uparrow ） ②光电子动能 $E_{\max} = h\gamma - A_0 = \text{Planck常量} \times \text{入射光}f - \text{金属逸出功} = \frac{1}{2} \text{光电子质量} \times \text{逸出最大速度}^2 = h\gamma - h\gamma_0$ ③光电发射阈值 $h\gamma \geq A_0$ ④光电子有初始动能，光电管即使没有阳极电压也会有 I 光电流
内光电效应	光线作用下， 内部原子释放电子 → $\Delta\rho, \Delta E$	$\Delta\rho$ 光电导效应 → 光敏电阻 ΔE 光生伏特效效应 → 光电池、光敏二极管、光敏三极管	

- 2.7.2 光电器件的基本特性

序号	基本特性	定义特点	备注
1	光谱灵敏度（某波长下的）	$S(\lambda)=dI/d\Phi$ d输出光电流/d入射辐射通量= S （某波长）	Φ 单色辐射通量, λ_m 峰值波长
2	相对光谱灵敏度	$S_r(\lambda)=S(\lambda)/S(\lambda_m)$	光电器件光谱灵敏度之比
3	积分灵敏度	$S=I/\Phi$	对连续光通量的反应
4	光照特性	$I=f(E)$ $S=f(E)$	输出电流（电流或电压） = f (输入光照度E)
5	光谱特性	$S_r=f(\lambda)$	光线波长与相对光谱灵敏度之间的关系
6	频率特性	$S_r=\varphi(f)$ $I=\varphi(f)$	振幅随入射光通量调制f变化的关系
7	温度特性	$S=\psi(T), I=\psi(T)$	

• 2.7.3 光敏元件及特性

光电效应	类型	种类	原理	特性
外光电效应	光电管	真空光电管	阴极K (-) 阳极A (+), 电场, 光, 电子被阳极收集→I	
		光电倍增管	光电发射、二次电子发射、电子光学 K A间加 Dn , $I = I_0 \sigma^n$, 电流= I_k 电子倍增级数	9-11级, 灵敏度比光电管↑许多
内光电效应	光敏电阻	光电导效应	光↑导电性能↑电阻率↓硫化镉、硫化铅、硫化铊、硒化镉、硒化铅	暗电阻暗电流 亮电阻亮电流 光电流=亮-暗 暗 $R1-100M\Omega$ 亮 R 几千 Ω ① $I=f(E)$ ② $I=f(U)$ ③ $Sr=f(\lambda)$ ④ $I=f(T)$
	光电池	光生伏特效应	硅光电池, P型硅片, N型杂质, PN结, 电子-空穴, 光照→I	① $I=f(E)$ 开路电压曲线 短路电流曲线 ② $Sr=f(\lambda)$ ③ $I_r=\varphi(f)$ I_r =高频I/低频 I_{max} ④ $I=f(T)$ 开路电压 短路电流与T关系
	光敏晶体管	光敏二极管	可接受光照的PN结, 反向偏置工作状态, 暗电流极小, 有光→反向饱和电流I, 1000倍暗I	线性好, 频率特性好 (比光电池好)
		光敏三极管	2个PN结, 入射光子 $b e \rightarrow I_b$, $I_c=\beta I_b$	比光敏二极管灵敏度更高

- 磁电感应式检测元件的误差及补偿方法

误差类型	产生误差的原理	补偿措施	备注
温度误差	磁场B ($-\Delta T$) , 线圈l, 电阻R ($+\Delta T$)	热磁分流器, $\Delta T \uparrow$, $\Phi_h \downarrow$, 保持 了空气隙中的工 作磁通的总体恒 定, $S \approx C$	是误差主要来源, 温度系数* Φ_h * ΔT =温度 系数* Φ * ΔT , 根据磁通 分流比, $\alpha_h=(1+A_0/A_h) \alpha_T$ 温度系数要够大
永久磁铁不 稳定误差	磁性会随时间变 化 (内应力) $R_i \ll R_L, S_v = NBL$ $\delta r = dS_v/dS = dB/B$ $+dl/l$ (dl 小, dB 大)	充磁前进行退火 处理, 消除内应 力, 充磁后进行 老化处理	
非线性误差	线圈内部i生成 $d\Phi_1$ 削弱永久磁 铁 Φ , $v \uparrow$, $S \downarrow$ 非线 性 \uparrow	补偿线圈 反馈电 流 $i_k = Ai$, $d\Phi_2$ 补 偿 $d\Phi_1$ 调整放大 系数A	

磁弹性式检测元件

序号	原理	应用场合	优点	局限性	备注
磁弹性式	基于铁磁材料的磁弹性效应，铁磁材料受机械力→内部产生机械应力→ Δ 磁阻或磁导率	测力称重 温度测量 应力无损检测	输出功率大，抗干扰抗过载 \uparrow ，便于制造，经济实用，可在恶劣环境下应用	精度不太高 (1%) 反应速度慢	

• 2.9.1 磁弹性效应

磁弹性效应	特点	规律
磁致伸缩效应	铁磁材料在外磁场作用下其磁化矢量发生转动(或称磁化),而使其形状发生变化(沿磁场方向伸长或缩短),但体积保持不变的现象	$\lambda = \Delta l / l$ 伸缩比 正磁致伸缩 负磁致伸缩 $10^{-5} \sim 10^{-6}$
压磁效应	当铁磁材料因磁化而引起伸缩或受到外部作用力时 $\rightarrow \varepsilon$ $\rightarrow \sigma \rightarrow \Delta \mu$ $\Delta \mu / \mu = 2 \lambda \sigma \mu / B^2$	正磁致伸缩材料 $F \uparrow \mu \uparrow$ 负磁致伸缩材料 测量磁导率的变化 来测量力等参数

核辐射式检测元件

序号	原理	应用场合	优点	局限性	备注
核辐射式	被测物对射线的吸收、散射、反射，或射线对被测物质的电离作用而工作	检测厚度、物位、密度、成分等参数，金属探伤	非接触，且不受许多化学和物理特性影响，特别适合于具有腐蚀、高温、剧毒、爆炸等物质及环境恶劣的场合	放射源管理	组成：放射源、探测器和转换电路

种类	原理	质量	能量	速度	特点	应用
α	原子核→2个带正电粒子(2中子2质子) 2+	4.002775u (原子质量单位)	4-9MeV	2万m/s	粒子质量较重, 电离作用最强, 贯穿力↓	气体成分分析, 气压、流量
β	中子→质子 →1负电荷电子 1-	0.0000549u	<2MeV	$2*10^5\text{m/s}$	比 α 快, 电离较弱, 贯穿力较强	
γ	核跃迁或粒子湮没→电磁辐射, 粒子性能↑, 光子, 不带电 0	静止0	几十keV-几MeV	光速	电离↓, 贯穿力↑	光子能量=普朗克常量*频率=普朗克常数*c/波长

• 射线与物质的作用

带电粒子和物质的作用(α , β)	电离和激发	带电粒子与核外电子库伦作用, 带电粒子能量 $E_{\text{粒子}} \downarrow$, 物质被电离或激发	直接电离: 入射粒子与物质原子静电作用, 使得原子的电子加速 \rightarrow 自由电子 间接电离: 距离较远, 电子逃不出来, 只是 $E \uparrow$, 激发	主要方式, 许多探测器用此原理, 用电离或激发效应来探测带电粒子	粒子 $m \uparrow$ 电离 \uparrow 射程 \downarrow	射线透过物质, 将发生电离、激发和散射作用, 结果是 $E \downarrow$, 强度 $I = I_0 e^{-\mu_m \rho x}$ = 原来 $\exp(-\text{吸收系数} \cdot \text{密度} \cdot \text{厚度})$
	散射	带电粒子穿过物质受到原子核电场作用而改变运动方向		β 粒子 $E \downarrow$ 主要方式		
γ 射线和物质的作用 (本质是电磁辐射, 各种 E 的光子, 次级效应)	次级效应: 单次性随机事件, γ 光子 \cap 原子或电子作用, 消失或 $E \downarrow \rightarrow$ 次生电子 e	光电效应	碰撞: γ 光子和原子碰撞, $E \rightarrow e$ 电子飞出, 自己被吸收 (光子撞击产生电子)	与频率 ν 线性, 与入射强度无关, $E_{\text{max}} = \text{普朗克常量 } h * \text{入射光频率 } \nu - \text{逸出功 } A_0$		γ 射线穿透物质, $I = I_0 \exp(-\text{吸收系数} * \text{厚度})$, 吸收系数 = 光电吸收系数 + 康吸 + 电子对生成吸
		康普顿效应	散射: γ 光子的能量 $E \uparrow$, 与核外电子弹性碰撞, 自己偏离, e 电子冲出来, e 康	散射光子, 反冲电子 (外层电子)		
		电子对效应	变电子对: $\gamma E \uparrow$, 路过, 库伦场, $\rightarrow e^+ e^-$ 电子对, 光子消失	能量守恒 前 = 后 $h\nu = E_{e^+} + E_{e^-} + 2m_0c^2$ 动量守恒, 且能量 $\geq 2m_0c^2 = 1.022\text{M eV}$		

物性型压力传感器小结

类型	原理	测量范围	准确度 (等级)	适用场合	备注
应变式压力传感器	弹性元件+应变片			要求一般的动态压力检测	膜片、膜盒、弹簧管、其它。温漂、时漂
压阻式压力传感器	弹性元件+压阻元件		灵敏系数50~100倍	微压；脉动压力	半导体压阻元件带有扩散电阻的硅膜片（弹性元件和压敏元件）。体积小
固态压力传感器（集成压力传感器）	压阻式单晶硅膜片		带温度补偿		将温度补偿电路、放大电路、电源变换电路等集成在同一块单晶硅膜片上
压电式压力传感器	弹性元件+压电元件			不能用于稳态测量	简单紧凑小巧可靠线性好频率响应高量程范围宽。准确度？电荷运算放大器。晶体边界漏电。

(3)仪表类型

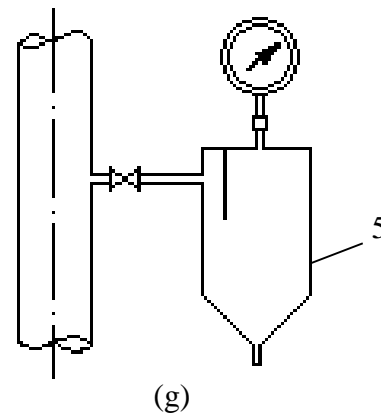
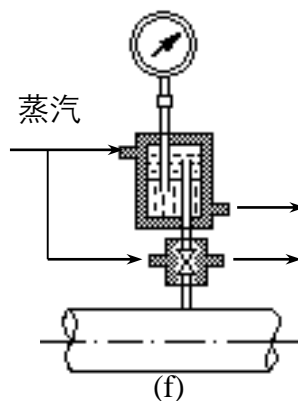
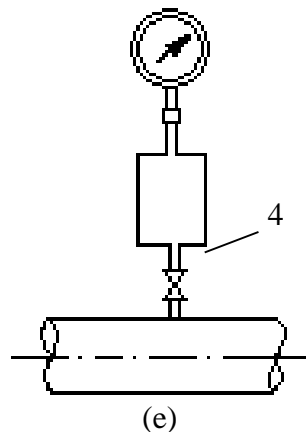
正确选用仪表类型是保证仪表正常工作及安全生产的前提。主要应考虑以下几个方面:

- **仪表的材料** 压力检测(**检测仪表**)的特点是压力敏感元件往往要与被测介质直接接触, 因此在选择仪表材料的时候要综合考虑仪表的工作条件。
例如: 对腐蚀性较强的介质应使用像不锈钢之类的弹性元件或敏感元件;
氨用压力表则要求仪表的材料不允许采用铜或铜合金, 因为氨气对铜的腐蚀性极强;
又如氧用压力表在结构和材质上可以与普通压力表完全相同, 但要禁油, 因为油进入氧气系统极易引起爆炸。
- **输出信号类型**
只需观察压力变化的, 可选如**弹簧管压力表**、**液柱式压力计**那样的直接指示型的仪表;
如需将压力信号远传到控制室或其他电动仪表, 则可选用电气式压力检测仪表或其他具有电信号输出的仪表;
如果要检测快速变化的压力信号, 则可选用电气式压力检测仪表, 如压阻式压力传感器;
如果控制系统要求能进行数字量通信, 则可选用智能式压力检测仪表。
- **使用环境** 对爆炸性较强的环境, 在使用电气压力仪表时, 应选择防爆型压力仪表; 对于温度特别高或特别低、环境温度变化大的场合, 应选择使用温度适当、温度系数小小的敏感元件以及其他变换元件。

上述选型原则也适用于差压、流量、液位等其它检测仪表的选型

测量特殊介质时的压力测量仪表安装

- 测量波动剧烈（如泵出口压力）的压力时，应在压力仪表之前加装针形阀和缓冲器，必要时还应加装阻尼器，如图(e)



- 测量高粘或易结晶介质压力时，应安装隔离罐，必要时可采取保温措施，如图(f)
- 测量含尘介质压力时，最好安装除尘器，如图(g)。

一句话，要采取相应的**防热、防腐、防冻、防堵和防尘**等措施

差压变送器取压口的选择

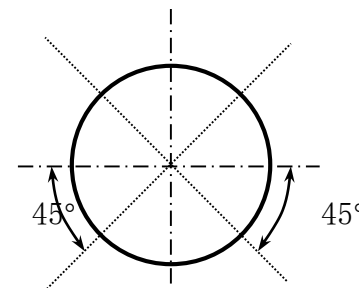
液体、气体、蒸汽??

被测介质为**液体**时，取压口应位于管道下半部与管道水平线成 $0 \sim 45^\circ$ 角内，目的是保证引压管内没有气泡，两根引压管内液柱产生的附加压力可以相互抵消；

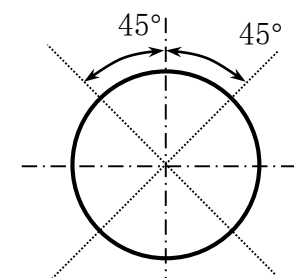
问：能否从底部引出？为什么？

被测介质为**气体**时，取压口应位于管道上半部与管道垂直中心线成 $0 \sim 45^\circ$ 角内，其目的时为了保证引压管中不积聚和滞留液体。

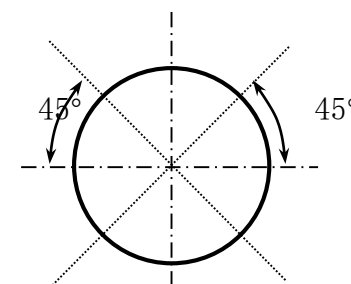
被测介质为**蒸汽**时，取压口应位于管道上半部与管道水平线成 $0 \sim 45^\circ$ 角内。最常见的接法是从管道水平位置接出，并分别安装凝液罐，这样两根引压管内部都充满冷凝液，且液位高度相同。



(a) 液体



(b) 气体

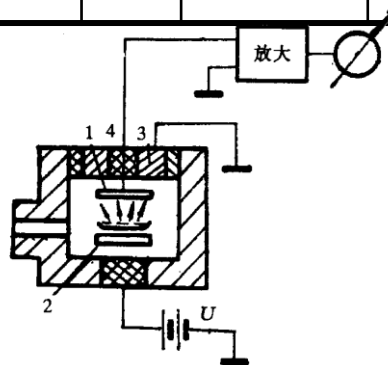


(c) 蒸汽

磁弹性式检测元件

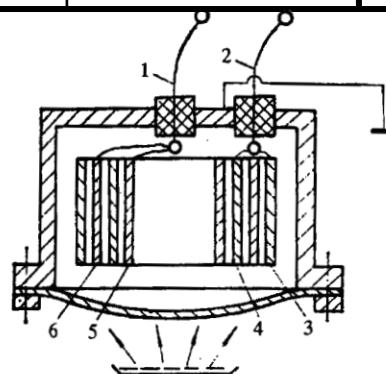
序号	原理	应用场合	优点	局限性	备注
磁弹性式	基于铁磁材料的磁弹性效应，铁磁材料受机械力→内部产生机械应力→ Δ 磁阻或磁导率	测力称重 温度测量 应力无损检测	输出功率大，抗干扰抗过载 \uparrow ，便于制造，经济实用，可在恶劣环境下应用	精度不太高 (1%) 反应速度慢	

气体探测器	电离室	射线→ 气体→ 电子-正离子对 → 电容U→ 收集→ 输出=f (射线种类和强度)	检测 α	平行极板电容器, 收集电极1, 高压电极2, 绝缘层4和保护电极3。U极化电压→电离电流	工作体积↑耗粒子能多些, 为↓ β γ 影响加铅屏蔽层	工作气体: Ar Ne等惰性气体N ₂ 等, 俘获电子概率低形成负离子不多 减少离子复合概率 脉冲工作式: 记录单个入射粒子引起的电脉冲 电流工作式: 记录大量入射粒子在单位时间内产生的平均电流 两者结构和信号产生机制无本质差别, 在输出回路的时间常数和电离室电极间绝缘结构的不同
			检测 β	容积大, 对准射线源有薄窗口, 电极56接1端子, 34接2端子	电极距离不大电压不必太高容积和窗口够大	
			检测 γ			



检测 α

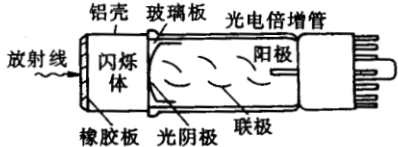
- 1 - 收集电极
- 2 - 高压电极
- 3 - 保护电极
- 4 - 绝缘层



检测 β 多电极电离室

- 1、2 - 端子;
- 3、4 - 圆柱电极;
- 5、6 - 圆柱电极

气体探测器	电离室			
	正比室			
	盖革弥勒计数管	多次电子雪崩→高压电源充电。不能区分不同种类不同能量的粒子，只要射入的粒子引起电离，就可被记录	灵敏度、输出脉冲、结构、使用↑，造价↓对带电粒子如 α β 检测效率↑对 γ 检测效率↓	用来测 γ 和 β ，也可测 α X，G-M计数器通常由G-M计数管（产生电脉冲）、高压电源和定标器（记录脉冲数）组成

类型	原理	特点	应用
气体探测器			
闪烁探测器 (闪烁计数器)	<p>辐射→光→电，闪烁晶体，光电倍增管，输出电路</p> <p>射线，闪烁体原子电离或激发，在退激时发出荧光，被光阴极收集，光电效应，光电子，光电倍增管倍增，阳极电流脉冲</p> 	<p>闪烁晶体：无机（对入射粒子阻止本领↑发光效率↑探测效率↑）、有机（发光时间↓需与倍增管配合），固态液态气态，</p> <p>效率高，分辨时间短，可测γ还可测带电不带电粒子，广泛</p>	<p>α—硫化锌</p> <p>β—有机</p> <p>γ—碘化钠 无机</p> <p>应用广泛</p>
半导体探测器	<p>锗、硅，与气体电离室相似，电子空穴对，收集电极上感应出电荷，脉冲信号</p>	<p>入射粒子更易产生电子-空穴对，分辨率高（10倍）可测低能量X射线；体积小重量轻结构简使用方便；难做大做厚难测高能辐射输出信号小电路复杂</p>	<p>对带电粒子能谱学和γ射线谱学带来飞跃，常用：</p> <p>PN结、面垒型、高纯锗</p>

项目	微波	超声波
波类型	电磁波	机械波
反射特性	在不同介电常数的界面上反射	在不同声阻抗的界面上反射
压力影响	微不足道	很小
温度影响	微不足道	需温度补偿
传播速度	约 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ （真空中）	约 344m/s （空气中， 20°C ）
测量盲区	到天线顶端	离辐射面 $>250 \text{mm}$
动态范围	高达 150dB	高达 100dB
传播环境	很少受气相环境影响	要求均一气体环境