

交流耦合烟尘在线监测技术原理

1. 交流耦合与直流耦合技术的比较

当烟道或烟囱内粉尘流经过应用耦合技术的探头时，探头所接收到的电荷来自粉尘颗粒对探头的撞击、摩擦和静电感应。由于安装在烟囱上探头的表面积跟烟囱的横截面积相比是非常小，大部分接收到的电荷是由于粒子流经过探头附近所引起的静电感应而形成。排放浓度越高，感应、摩擦和撞击所产生的静电荷就越强。当前用于接收、放大、分析和处理这些电荷使之成为在线粉尘排放显示数值的主要技术有两种：交流耦合和直流耦合技术。

交流耦合技术是测量电荷信号围绕着电荷平均值的扰动量。在交流耦合技术中电荷的正负平均值被过滤清除，然后系统探测剩余扰动信号的电场、波峰值、均方根值、以及其他各种混合变化。以上各种数值中，均方根值能够准确显示信号的标准偏移。所以交流耦合技术以监测电荷信号的标准偏移来确定交流信号的扰动量，并以即时扰动量的大小来确定粉尘排放量。根据完全相反原理，直流耦合技术完全滤除以上所有的交流信号，只靠粉尘颗粒对探头的撞击和摩擦以直流电导方式传进探头，这产生一个正负电荷平均值，经过系统的放大，分析和处理来显示粉尘的排放量。

耦合技术监测仪器的准确度基本上局限于它能够接收到的“信号比噪声”的对比值。一个最佳性能的直流信号放大器，它所产生的直流信号误差包括自我偏移、温感和时间漂移等噪声，这些直流噪声可以形成一个高达 20 微伏的总误差。交流信号放大器的误差主要来自一种“1/F”噪声，温感 (Johnson) 噪声以及一些微弱的噪声，在某个指定的频率范围内，这些噪声的总量普遍不会引起超过 1 微伏的误差。当信号强度减弱到噪声水平时，监测仪器不能分辨出其接收到的电流是有效信号或者噪声，所以总噪声水平将确定设备的监测精度。因此无论在任何情况下，**交流耦合监测系统的精确性比直流耦合监测系统高 10 倍以上。**

由于直流耦合监测仪器的信号接收来自粉尘颗粒与探头的直接撞击所产生电子传导，电荷的正负平均值将接近零。如果发生以下任何一种或多种情况时，直流耦合探头所接收的信号显示就非常不真实：

- 探头部分表面被粉尘覆盖
- 探头材质与粉尘颗粒性质接近
- 探头材料不单纯，导致对同一种粉尘颗粒同时产生正和负电荷
- 探头镀上一层非导体，直流电受到绝缘不能传导进监测系统
- 由于粉尘颗粒在烟道内壁的碰撞，在撞击探头时已经达到电荷平衡状态，没有产生电导现象

以上的任何一种因素都能使总直流电荷正负抵消导致直流耦合监测系统完全失效。而交流监测系统由于交流耦合感应电荷本身就具有不规则的扰动性，保证探头能够即时接收到可测、有效的交流电荷信号。

直流探头表面不可以被镀上保护层，所以用户能够很明显地理解到**直流耦合技术并不适合安装在带腐蚀性的环境中应用**。相对来说，被粉尘颗粒粘附上厚度达 10 毫米或以上的交流耦合探头也不会失去它原来的校定精度。而用户对直流耦合探头却必须经常拆卸清洁来保证没有任何粉尘粘附在探头表面。

由于直流耦合技术是靠粉尘颗粒与探头表面的摩擦和撞击来产生直流电导，探头的表面积远远小于烟道的截面积，**直流耦合探头所覆盖的面积经常太小，不能有效地代表整个烟道的截面积**。如果探头的安装需要具有同等水平的烟道截面积代表性，直流耦合探头的尺寸将会是交流耦合探头大小的几十倍。

在实际工业环境应用中，如果探头的根部由于粉尘的堆积，引致部分信号接地流失，交流耦合监测系统将会显示出明显的信号减弱，用户能够在系统上设置最低水平报警线防止这种情况发生。而当直流耦合监测系统处于同样情况下，将根据当时的接收偏移电压，产生非常高或者非常低的显示输出，使用户不能采取有效预防措施。

2. 影响探头接收信号的因素

影响电荷感应烟气排放浓度监测仪的接收信号，来自几个主要因素。在大部分工业式生产工艺上这些因素都可以人为控制，因此烟气排放浓度监测仪的信号输出会十分稳定。当其中一个或多个因素在实况应用中会大量改变时，排放信号也会因而改变。在大部分安装应用实例中，用户可能不需要深入了解这些因素，但是在某些情况下用户或者设计单位希望得到监测仪的最佳准确信号，就必须理解它们所带来的影响。以下对各种影响因素的技术分析，主要针对这

种情况而编写。

2.1 排放颗粒物

每一种物质都在《电荷感应序列》中都占有一个席位，如下：

+++++	空气，大部分气体，干燥的人手皮肤，石棉，兔子皮毛
++++	醋酸盐，玻璃，云母
+++	人类头发，尼龙，羊毛，皮草
++	铅，丝绸，铝，纸，棉花
+	钢材，木材，琥珀，蜡，硬橡胶
	聚酯薄膜，镍，铜，银
-	生产线路板的 UV 保护材料
--	黄铜，黄金，白金，硫磺
---	人造纤维，假象牙，聚丙烯腈纤维，苯乙烯，聚丙烯树脂，聚偏氯乙烯纤维，聚氨脂，聚脂
----	聚乙烯，聚丙烯
-----	硅树脂，聚四氟乙烯，硅橡胶

当两种物质互相感应时，信号大小将和这两个物质在序列中的位置间隙距离成正比。在运用电荷感应作为粉尘排放浓度监测技术中，粉尘颗粒在排放过程中将与管道内壁、滤料、烟气和探头等物体碰撞，这些碰撞将影响到最终排放信号。一个物质产生的过程，特别是经过燃烧所形成，将直接影响到它的物理性质，包括它的表面硬度、平整度、可塑性等等。这些性质将决定粉尘颗粒如何与其他物质互相感应。再者，大多数粉尘颗粒具有多相性，颗粒表面的组成与内部绝然不同。这些原因将改变颗粒的电荷感应性。**综上所述，基本上所有物质都具有独特的电荷感应性。当粉尘颗粒物体性质改变时，监测探头的精度在同一个范围内可以增减高达 5:1 的倍数。**

在目前现有全部在线粉尘监测技术中，只有质量计声称能够容忍排放物质的变化而不会影响其监测精度。但是实验结果显示，最好的 β 射线质量监测仪在排放物质改变时，其测量精度起码改变 2:1 以上。散光监测仪，浊度仪和光闪烁射仪器的准确性受到排放物质的比重和透光率影响。**因此，几乎所有在线烟尘排放监测仪器均必须在现场安装后进行在线设备校定步骤。**

2.2 排放总量

当监测设备用于监测粉尘排放值时系统可以按用户需要选择任何单位。当更多的粉尘物质流经任何一种排放监测仪器时，仪器将输出对应的信号强度，所以唯一不受气体流速所影响的“自然”单位只有排放总量单位（例如：mg/s 或 kg/hr）。一个以总量单位校定后的排放信号可以累积起来，显示在某段时间内的粉尘颗粒总重量（粉尘总重量=排放总量×时间）。总量信号并不受外来空气的引入，或者气体温度压力的改变所影响。比如，当气流的体积增加一倍（用另一倍体积的空气稀释，或压力减半，或绝对温度加倍），气体流速也将增加一倍，而颗粒排放浓度将会减半，结果探头的测量数据将保持正确不变。

总之，当电荷感应探头以总量来显示颗粒的排放单位时，探头信号相对来说并不受流速，温度，压力，和外来空气的影响。可以准确测出单位时间内的总量累积或平均值。

2.3 排放浓度

很多政府环保政策的烟尘排放指标在习惯上是以即时排放浓度单位作为标准（例如：mg/M³），此单位相对于设备负荷改变更有意义。所以普遍的电荷感应排放监测仪一般以浓度排放值作为校定单位。在大多数工厂排放中，气流速度变化不大，其经过校定后的浓度排放值也能够保持准确。浓度排放值与总量排放值之间的关系如下：

$$\text{浓度排放值} = \text{总量排放值} \div (\text{流速} \times \text{烟道截面积}) \text{ 或者 } ([\text{mg}/\text{M}^3] = [\text{mg}/\text{s}] \div [(\text{M}/\text{s}) \times \text{M}^2])$$

监测点的管道截面积 [M²] 是个常数，所以烟气流速的变化直接影响到浓度排放值的准确性。如果实际气流速度比较进行仪器校定时所记录的速度相差很大，实际浓度值也将有很大的变化，而在某限定时间内的累计量就不准确，这就是对流速的敏感性。如果必须对速度的变化进行处理，可以同时采用一个即时流速修正系数对浓度值进行纠正，以在排放速度有变化时显示出准确的即时排放浓度。高原公司推出的 CONNECT V5.x 版软件带有这种功能。利用免费的 CONNECT 2.16 版软件，客户也可以直接用 DDE 指令设定即时数据输出，然后在 EXCEL 档案中设置公式利用总量值和流速计算出在线浓度值。一般来说，流速信号的来源并不需要安装一个实在的速度测量仪器，利用设备的空气入口风速，或者设备负荷信号等等输出，已经可以达到准确纠正即时浓度值的要求。

采用最新 ISE 技术的 EMP7 监测探头可监测流速变化，所以仪器能够根据实际流速输出实时准确的浓度排放值。

2.4 NPTO (标准温度、压力、氧气量)

温度、压力和空气量的增加等等变化不会减弱排放浓度或者总量信号的准确性。但越来越多用户希望以“标准”环境来测量排放指标，把排放浓度值放在 NPTO 环境下 (300K 温度，1 个大气压和 0%或 5%附加空气量) 进行表示和比较。在对仪器进行校定时如果抽样结果经过计算以 NPTO 环境表示，那么排放信号也必须纠正成为 NPTO 环境才准确。用户可以根据以下方程式计算：

$$N=M \times [O_2 \div (21-O_2) + 1] \times (T \div P) \div 3 \div [R \div (21-R) + 1]$$

M=仪器输出浓度信号

N=标准化后浓度信号 (标准环境: 300K, 100kPa, 5%氧气量)

O₂=排放氧气含氧量 (单位: %)

P=排放气体绝对压力值 (单位: kPa)

R=参考烟气含氧量 (单位: %, 比如 5%)

T=排放气体绝对温度 (单位: K)

2.5 分辨率

交流耦合电荷法烟尘排放监测设备具有最高的监测分辨率，普遍用于监测 0.01mg/M³ 以上的粉尘排放浓度。这种分辨率一般已经超出质量计或者散射光技术的应用极限。在实际工业应用中，由于不可能有效清洁监测镜面，光闪烁仪和浊度仪的分辨率很难保持在 10mg/M³ 以下。

2.6 颗粒大小

颗粒大小会影响电荷感应探头的精度，使不同探测点的精度有所变化。但由于在各个探测点中一般都包括分布面比较广而且相对稳定的颗粒尺寸，这种影响很少被发觉。颗粒大小从两方面影响探头的总体精度：由于其本身具有的特性 (自带不同的能源，动量，表面积，物理性质)，每单位重量比较细小的颗粒带有更高的累积电荷。但另一方面，细小烟尘颗粒之间具有一种电荷屏蔽效果，电荷感应探头对小颗粒的感应精度略为下降。由于此两种影响因素大部分相互抵消，因此烟尘颗粒大小的变化对交流耦合监测技术没有很大的影响。在高排放浓度时，实验室所测出的浓度值应比实际浓度值低，而滤袋除尘器出口的浓度值应比实际浓度值高。这是因为除尘器出口的高浓度排放是由于破袋所引起，导致烟尘总量及其颗粒尺寸大大提高。

大部分的光电法监测仪器只能探测到大颗粒粉尘，而对长期浮动于大气中、对人体更有害的可吸入物小颗粒 (比如 PM_{2.5}) 却全部忽略。

2.7 洁净房的含尘量监测

洁净房的等级区分是按照每立方英尺体积内所含有的 0.5 微米颗粒数量，从 1 级到 10 万级共有六个等级。

比如 1 级洁净房即是：

$$= 1 \times 0.5 \mu\text{m} \text{颗粒} / \text{立方英尺}$$

$$= 35.3 \text{ 颗粒} / \text{M}^3$$

$$= 2.31 \times 10^{-18} \text{ 体积}$$

$$= 0.007 \mu\text{g} / \text{M}^3 \text{ (假设比重}=3)$$

因此，如果把高原公司探头安装在空气输送管道中，风速达到 10m/s 或以上时，交流耦合监测技术能够有效监测 1000 级或以上的洁净房含尘量 (0.007mg/M³ 或以上)。100 级或更高等级的洁净房需要用其他技术 (比如激光法) 监测含尘量。

2.6 水分含量

由于颗粒的水分含量会改变其物理和化学成分而影响探头精度，特别是当水含量成分集中在颗粒表面时，情况更甚。颗粒湿度增高，单位重量的电荷感应度减弱，但颗粒总量也会由于增加了水分而变重，总效应是两者互相抵消。因此在低到中度的颗粒含水量范围，对探头精度没有影响。水分含量对光电法监测仪的影响最小，对质量计的影响最大。

气流中的水珠将如尘埃颗粒一样被探头感应到，但电荷感应量比粉尘颗粒低 5 至 20 倍。所以在普通的燃烧排放工艺中，管道内水珠的出现对探头的电荷感应没有很大影响。但如果探头安装位置太接近水膜除尘器出口，水珠的重量可能比尘埃颗粒重量高，甚至高达 100 倍，水珠可能会引起探头的总体误差。因此探测点位置的选择必须距离水膜除尘器出口越远越好。这样可以使排放中的水珠到达探头时已经全部挥发掉，烟尘颗粒表面也相对已经干燥。

气体中的相对湿度，如果是比较稳定的话，并不会影响电荷感应探头的准确性。如果湿度高于 80% 或者状况不稳定，会凝集大量临时性水珠被感应到而增加系统误差。

2.7 微粒回降

利用称重法来作为探头校定或测量烟尘排放时将会受到管道内的微粒回降而影响准确性。但是，如果应用交流或直流耦合技术探头进行在线监测，就不会受到影响。

2.8 维护保养

由于其特殊的工作原理，交流耦合探头是最不需要定时维护的监测系统。相对来说，直流耦合探头和所有的光电仪器都需要作经常性的清洁和保养维护。

2.9 设备使用寿命

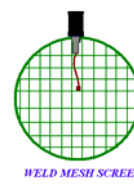
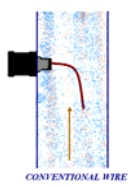
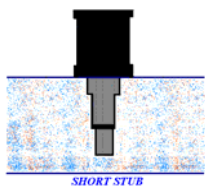
交流耦合探头只用一节实芯不锈钢棍或钢丝与排放粉尘接触，对于带有腐蚀性气体的探测可以选用特氟隆保护套对探头进行有效保护。探头的电子部件用树脂完全密封再装进一个坚固的铝合金壳体中。所以高原公司对探头的设计寿命是 20 年，而第一批高原探头自 1992 年安装后，至今仍然在连续正常运作。

2.10 其他因素

气体涡流对感应度没有直接影响。气体涡流普遍认为是一种高流速，使探头感应度增强。在极端情况下，比如把探头安装在管道弯位的内侧时，局部气流漩涡会使探头产生高排放感应假象，甚至到烟气排放停止时，这种假象仍然存在。与各种其他气流探测仪器一样，用户必须尽量按照厂家建议去选择探头安装点以克服类似问题。

排放监测仪所接收到的电子信号，是根据烟尘颗粒流经探头时，与探头、特别是探头前端暴露于气流中的表面积之间的有效耦合而产生。改变探头尺寸与几何形状是用于感应度特别低的粉尘物质，或者在低浓度排放时增强探头灵敏度的最佳方法，反之亦然。

探头的形状，可以是仅仅几厘米的短棍，或是一根达到烟道直径 80% 长的钢丝，甚至一个覆盖整个管道截面的不锈钢网（例如用 5mm 直径不锈钢丝焊接而成的 50 或 100mm 网孔）。这种大几何面积探头安装方法最主要的困难，在于必须安装多个支撑点，支撑件的信号绝缘体可能会受到高温、腐蚀的破坏或者由于尘埃杂质的堆积而引起信号流失。但这些问题都可以在安装过程中采取办法解决：比如把支撑件安装在管道外壁，利用冷空气流入烟囱冷却绝缘体等等。



3. 各种监测技术比较结果

目前在国内应用比较普遍的在线烟尘排放监测系统主要采用以下技术：

- 交流耦合技术（澳大利亚 GOYEN 公司专利申请）
- 直流耦合技术（如：英国 CODEL 公司）
- 光电技术（如：中国山西；澳大利亚 GOYEN；美国 BHA；德国 SICK 等公司）

各项技术对比结果列表如下：

主要影响因素	交流耦合技术	直流耦合技术	光电技术
技术原理	利用粉尘颗粒流经探头时与探头之间的动态电荷感应产生信号	粉尘颗粒必须与探头直接撞击或摩擦，靠电子传导产生信号。	监测烟尘透光率。因此只能监测排放烟尘中较大的粉尘颗粒。
监测精度	最低浓度 0.01mg/M ³ (GOYEN EMP6 型)	最低浓度 0.1mg/M ³ (CODEL MonoGard 型)	最小颗粒 ± 不透明度的 2% (GOYEN CPA1000 型)
监测范围	EMP6: 0.01~1000 mg/M ³ EMS6: 0.002~1000 mg/M ³ EMP7: 0.001~1,000,000 mg/M ³	0.1~1000 mg/M ³	2~100% 不透明度
粉尘颗粒材料	不同的粉尘颗粒材料会产生不同大小的感应电荷，因此必须进行安装后校定。	不同的粉尘颗粒材料会产生不同大小的摩擦电流，因此必须进行安装后校定。	不同的粉尘颗粒材料会含有不同大小透光率，因此必须进行安装后校定。
颗粒大小	比较小的颗粒也会产生感应电荷，因此可以精确测量不同大小的颗粒排放。	只有大颗粒才可以与探头摩擦出足够电子信号，所以精确度不足。	体积小粉尘颗粒不能被探测，因此不适用于特细烟尘颗粒的排放监测。
温度压力湿度变化	不受温度压力湿度的变化影响。	温度压力湿度的变化对电子传导信号有一定的影响。	温度压力湿度的变化对透光率有一定的影响。
安装和维护难度	安装方便，不需要定时维护。加保护套后不需要用压缩空气喷吹清洁。探头是实芯不锈钢材料，可以用特氟隆镀层进行表面保护。	必须安装压缩气喷吹系统保证没有尘埃粘付在探头上。必须至少每星期一次人为拆卸清洁探头。不可以对探头采取任何防腐蚀保护。	安装维护特别困难，需高质量干燥压缩气长期喷吹保护镜面。维修费用高。
相对价格比较	GOYEN EMP6=1（普通工业安装应用不需安装压缩气系统对探头喷吹清洁）	是 EMP6 的 2 倍以上（包括压缩气系统）	是 EMP6 的 4 倍以上（包括压缩气系统）