



波长色散型与能量色散型 X 射线荧光光谱仪之比较

简介

X 射线荧光 (X-Ray Fluorescence, XRF) 光谱仪利用原级 X 射线 (一次 X 射线) 或其他微观粒子激发待测物质中的原子, 使之产生 X 射线荧光 (二次 X 射线) 从而进行物质成分分析和化学态的研究。在成分分析方面, X 射线荧光光谱仪是现代常规分析中的一种重要仪器。

X 射线荧光光谱仪能分析范围包括原子序数 $Z \geq 4$ (铍) 的所有元素, 常规分析一般用于 $Z \geq 9$ (氟) 的元素。分析灵敏度随仪器条件、分析对象和待测元素而异, 新型仪器的检出限一般可达 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 克 / 克; 在比较有利的条件下, 对许多元素也可以测到 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ 克 / 克。至于常量元素的测定, X 射线荧光分析法的迅速和准确, 是许多其他仪器分析方法难以相比的。X 射线荧光分析具有谱线简单、不破坏样品、基体的吸收和增强效应较易克服、操作简便、测定迅速等优点, 已经广泛应用于地质、冶金、采矿、有色、海洋、生化、环境、石化、商检、电子、公安、考古、难融化和建材工业等领域。分析技术已从主、次量、微量元素分析, 扩展到痕量元素分析、元素成分微区分布分析等。随着新分析仪器的普及, X 射线荧光光谱仪已经成为各实验室的常规仪器。

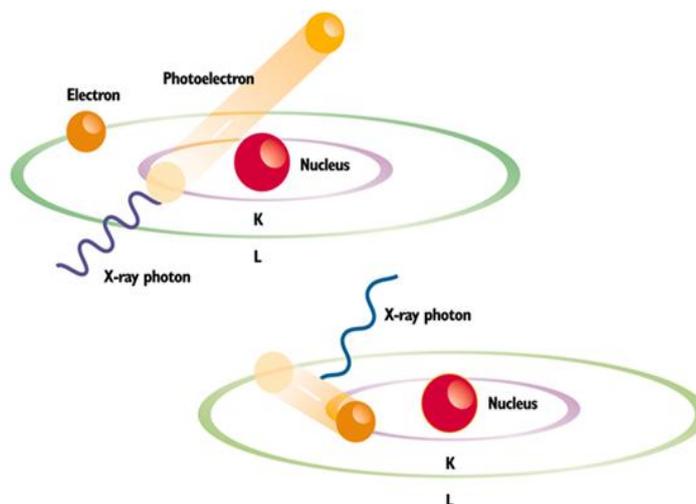
X 射线荧光光谱仪的原理

1895 年, 德国物理学家伦琴在研究阴极射线时发现了 X 射线。X 射线是电磁波谱中的某特定波长范围内的电磁波, 其特性通常用能量 (单位: 千电子伏特, keV) 或波长 (单位: nm) 描述。

X 射线荧光

X 射线荧光是原子内产生变化所致的现象。一个稳定的原子结构由原子核及核外电子组成。其核外电子都以各自特有的能量在各自的固定轨道上运行, 如果用足够能量的原级 X 射线 (一次 X 射线) 光子或其他微观粒子激发待测物质中的原子, 内层电子 (如 K 层) 就会脱离原子的束缚, 释放出来, 电子的逐放会导致该电子壳层出现相应的电子空位。这时处于高能级电子壳层的电子 (如: L 层) 会跃迁到该低能级电子壳层来填补相应的电子空位。由于不同电子壳层之间存在着能量差距, 这些能量上的差以二次 X 射线的形式释放出来, 这二次 X 射线就是 X 射线荧光 (XRF)。不同的元素所释放出来的 X 射线荧光具有特定的能量特性。

XRF :



X 射线荧光 (X-Ray Fluorescence, XRF) 的产生过程



莫塞莱提出了 X 射线荧光波长与原子序数之间的关系定律，从而为根据 X 射线荧光来对试样进行定性和定量分析打下了理论基础。

X 射线荧光的波长

元素的原子受到高能辐射激发而引起内层电子的跃迁，同时发射出具有一定特殊性波长的 X 射线，根据莫塞莱定律，荧光 X 射线的波长 λ 与元素的原子序数 Z 有关，其数学关系如下：

$$\lambda = K(Z - S)^{-2} \quad (1)$$

式中 K 和 S 是常数。

X 射线荧光的能量

而根据量子理论，X 射线可以看成由一种量子或光子组成的粒子流，每个光子具有的能量为：

$$E = h\nu = hc/\lambda = hc/K*(Z - S)^2 \quad (2)$$

式中， E 为 X 射线光子的能量，单位为 keV； h 为普朗克常数； ν 为光波的频率； C 为光速。

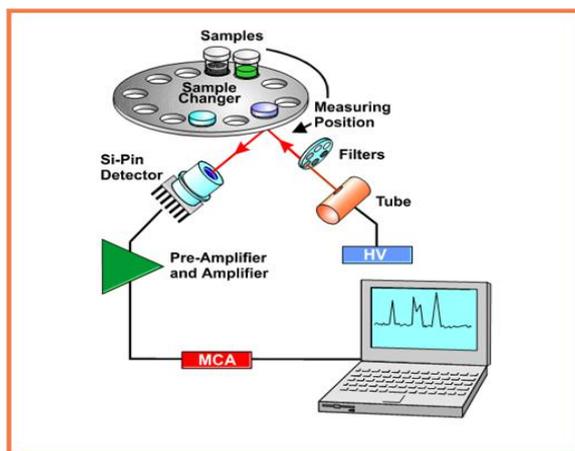
从 (1) 和 (2) 可知，X 射线荧光的波长或能量是以受激物质（待测物质）元素的原子序数为特征的，原子序数越大的元素波长越短或能量越高。各种不同的元素都有本身的特征 X 射线荧光波长或能量，因此，只要测出 X 射线荧光的波长或能量，就可以知道元素的种类，这就是用 X 射线荧光原理的 X 射线荧光光谱仪进行定性分析的依据；而元素受激发射出来的特征 X 射线荧光的强度则取决于该元素的含量，这是定量分析的依据。

X 射线荧光光谱仪的种类

X 射线荧光光谱仪主要由激发、色散（波长和能量色散）、探测、记录及数据处理等部分组成。

X 射线荧光光谱仪根据色散的不同而分为两大类，分别是能量色散型 X 射线荧光光谱仪（ED-XRF）和波长色散型 X 射线荧光光谱仪（WD-XRF）。

X 射线荧光光谱仪根据激发的不同又可分为多类，分别是同步辐射、质子、同位素、X 射线管等激发的 X 射线荧光光谱仪。同步辐射和质子激发一般用于大型实验室，而同位素则由于环保等原因而很少使用，所以我们平时常规分析所用的 X 射线荧光光谱仪都是 X 射线管所激发的。



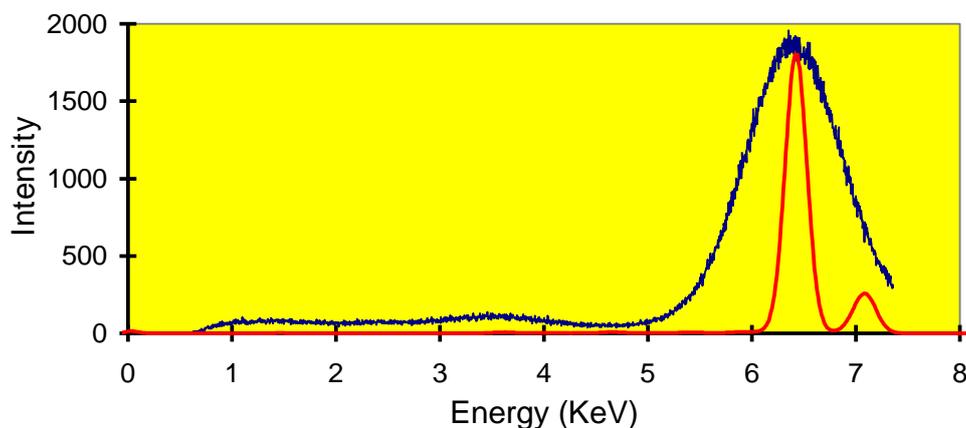
能量色散型 X 射线荧光光谱仪的原理图



能量色散型 X 射线荧光光谱仪 (ED-XRF)

能量色散型 X 射线荧光光谱仪没有复杂的分光系统，结构简单。这种仪器只须采用小型 X 射线管，其所产生的一次 X 射线在通过滤光片后直接照射到样品上产生 X 射线荧光、X 射线荧光直接进入探测器，再经放大器放大成形后进入多道脉冲幅度分析器，将不同能量的脉冲分开并处理，就可以对能量范围很宽的 X 射线谱同时进行能量分辨(定性分析)和定量测定。

能量色散 X 射线荧光光谱仪可分为采用正比计数器作探测器的低分辨率能量色散型 X 射线荧光光谱仪和采用半导体探测器作探测器的较高分辨率能量色散型 X 射线荧光光谱仪二种类型。



能量色散型 X 射线荧光光谱仪的能谱图

用正比计数器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪

上图中蓝色的谱线为采用正比计数器作探测器的低分辨率能量色散型 X 射线荧光光谱仪所测得的能谱线。

用正比计数器作探测器的低分辨率能量色散型 X 射线荧光光谱仪其能量分辨率为半高宽 800~1000eV (对 ⁵⁵Fe 的 5.96keV)。所以这类仪器只能测量一些简单和组成基本固定的样品，并且不能测量有相邻原子序数元素的样品，只能测量有一定间隔的原子序数元素的样品。典型的有 DM1240 型 X 荧光硫钙铁分析仪，它能测量元素的原子序数为 16、20、26 号。



用正比计数器做探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪
DM1240 型 X 荧光硫钙铁分析仪

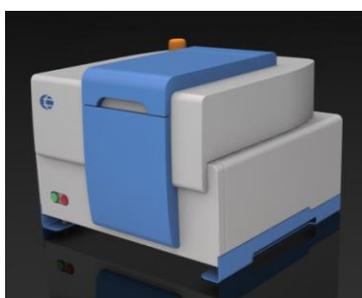
也有能测量铝硅硫钙铁 5 种元素的用正比计数器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪，DM2100 型 X 荧光多元素分析仪。但铝硅为相邻元素，用正比计数器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪是不可能将它们区分开的。所以该仪器采用了选择激发、选择滤波和选择探测等非色散谱仪的方法，使测量分析线先排除其他能量谱线的干扰，再进行测量。



用正比计数器作探测器的能量色散和非色散结合型 X 射线荧光光谱仪
DM2100 型 X 荧光多元素分析仪

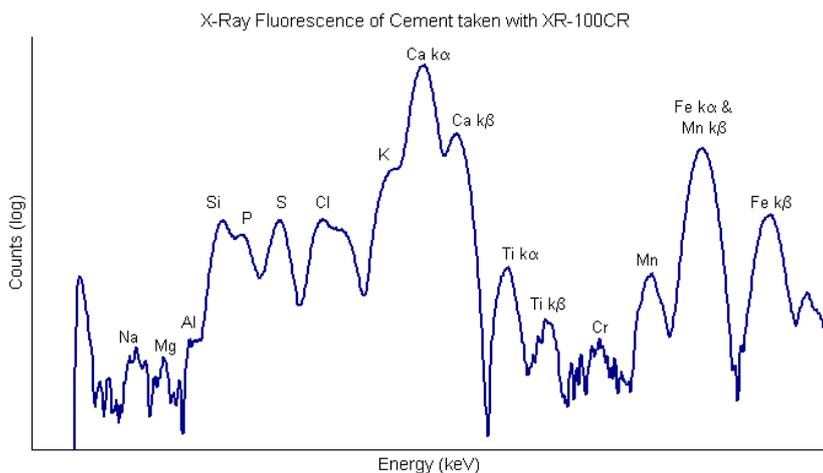
用半导体探测器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪

能量色散型 X 射线荧光光谱仪的能谱图中红色的谱线为采用半导体探测器作探测器的较高分辨率能量色散型 X 射线荧光光谱仪所测得的能谱线，



用半导体探测器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪
DM2500 型 X 荧光多元素分析仪

用半导体探测器作探测器的较高分辨率能量色散型 X 射线荧光光谱仪其能量分辨率为半高宽 140~200eV（对 ^{55}Fe 的 5.96keV）。所以这类仪器基本上能测量 $Z \geq 11$ （钠）的所有元素。但相邻轻元素的谱线还是有一定的重叠，必须通过一定的数学运算来解决，如下图。



用美国 Amptek 公司的 XR-100CR 型 Si-PIN 半导体探测器测得的水泥样品的能谱图

目前市面上用半导体探测器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪绝大部分采用的是 Si-PIN 半导体探测器。它最大的缺点就是其能量分辨率随计数率的提高而下降。如果某一 Si-PIN 半导体探测器在 1kcps 的计数率下能量分辨率为 140eV，则在 100kcps 的计数率下可能为 200eV。



近几年发展出的最好的半导体探测器为 SDD 半导体探测器，其能量分辨率在 100kcps 的计数率以下基本不随计数率而变化，为 140eV 左右。

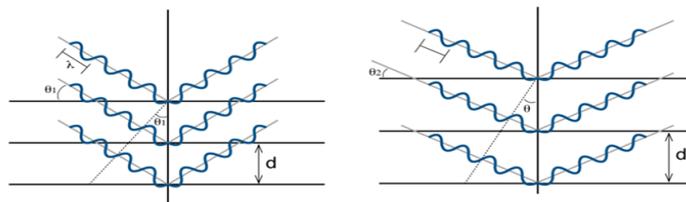
波长色散型 X 射线荧光光谱仪 (WD-XRF)

波长色散 X 射线荧光光谱采用晶体或人工拟晶体根据 Bragg 定律将不同能量的谱线分开，然后进行测量。

Bragg 定律为：

$$n\lambda=2d\sin\theta \tag{3}$$

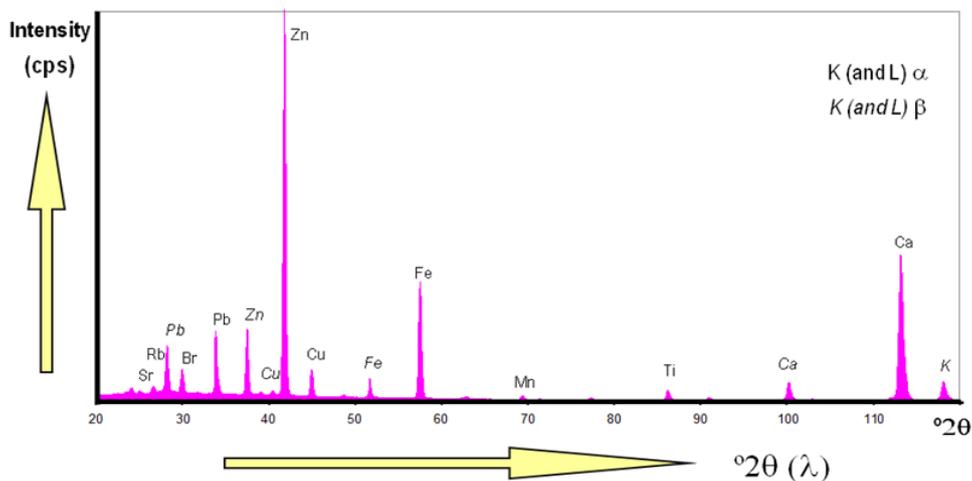
式中，λ 为 X 射线荧光的波长；n 为自然数；d 为晶格距离；θ 为入射角。



X 射线荧光的衍射

波长色散型 X 射线荧光光谱仪主要由激发、色散、探测、记录及数据处理等单元组成。激发单元的作用是产生一次 X 射线，它由高压发生器和 X 射线管组成。色散单元的作用是分出想要波长的 X 射线荧光。它由样品室、狭缝、测角仪、分光晶体等部分组成。一次 X 射线轰击样品表面，使样品激发出二次 X 射线。二次 X 射线经平行狭缝变成一束平行光以后，投射到与平行光束呈夹角 θ 的分光晶体晶面上。通过测角仪以 1：2 的角速度转动分光晶体和探测器，可在不同的布拉格角位置上测得不同波长的 X 射线而作元素的定性分析。探测器的作用是将 X 射线光子能量转化为电能，常用的有正比计数管和闪烁计数管等。记录单元由放大器、脉冲幅度分析器组成。通过脉冲幅度分析器分析后再经计算机处理就可得到被测元素的含量。

WDXRF spectrum using LiF(200)



波长色散型 X 射线荧光光谱仪的波谱图



上图是波长色散型 X 射线荧光光谱仪的波谱图。如分光晶体在分析过程中是回转的，即 θ 是连续变化的，根据 Bragg 定律， θ 的变化会使衍射光的波长随之变化，这种变化波长的衍射线投射到与分光晶体联动的检测器上，检测器便输出一个与平面分光晶体反射线强度成比例的信号。记录 2θ 与检测器信号强度的关系曲线就得到 X 射线荧光的波谱图，其横坐标是波长，纵坐标是光强。

波长色散型 X 射线荧光光谱仪其波长分辨率换算成能量分辨率为半高宽 15~30eV。所以它能将所有元素完完全全区分开来。

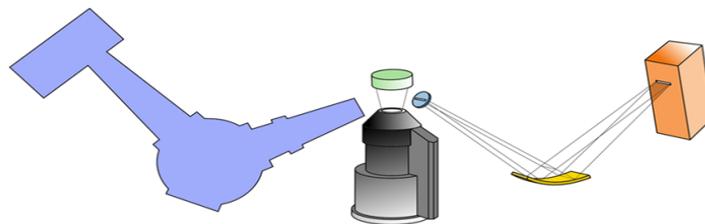
波长色散型 X 射线荧光光谱仪可分为同时式(或称多道式)谱仪、顺序式(或称单道式或扫描式)、和顺序式与同时式相结合的谱仪三种类型。

同时式波长色散型 X 射线荧光光谱仪

同时式波长色散型 X 射线荧光光谱仪由多个不进行扫描的固定道组成，1 个道只能测量 1 个元素，要测哪几个元素就要安装哪几个元素的道。由于是固定的，结构相对简单。但所有元素是同时测量的，这与 ED-XRF 一样。同时式适用于相对固定组成，对测量速度要求高和批量试样分析。

Simultaneous XRF

XRF looks at the ELEMENTS in materials



同时式波长色散型 X 射线荧光光谱仪的原理图



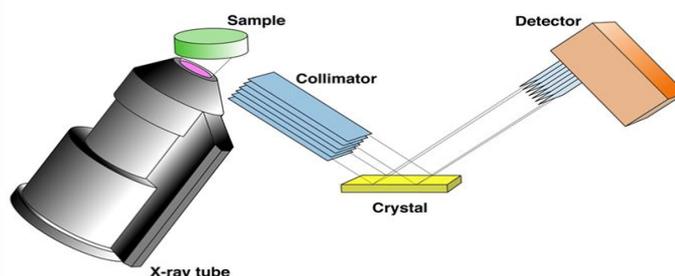
同时式波长色散型 X 射线荧光光谱仪
DM8000 型 X 荧光光谱仪

顺序式波长色散型 X 射线荧光光谱仪

顺序式通过扫描方法逐个测量元素，因此一般来说测量速度比同时式慢，但它能测量 $Z \geq 4$ (铍) 的所有元素，适用于科研及多用途的工作。



Sequential XRF



顺序式波长色散型 X 射线荧光光谱仪的原理图

现在由于高功率 X 射线管的应用，再结合少量的固定道，测量速度远高于能量色散型 X 射线荧光光谱仪，也高于部分同时式波长色散型 X 射线荧光光谱仪。

顺序式与同时式相结合的谱仪结合了两者的优点。

波长色散型与能量色散型 X 射线荧光光谱仪之比较

在这里，我们首先谈一下用正比计数器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪。由于其能量分辨率为半高宽 800~1000eV (对 ^{55}Fe 的 5.96keV)，是所有 X 射线荧光光谱仪中最差的。而能量分辨率是 X 射线荧光光谱仪最重要的指标，它是元素区分能力的依据，所以该类 X 射线荧光光谱仪是最低档的。但它对特定的对象如水泥企业样品中硫钙铁的分析并不比其它类型的仪器差。DM1240X 荧光硫钙铁分析仪 (包括测硫仪，钙铁仪) 已销售 1 万台以上。它最大的优势还在于价格便宜，仅 3 万元左右。DM2100 型 X 荧光多元素分析仪仅能测量铝硅硫钙铁 5 种元素，不能完全满足 GB/T 176-2008《水泥化学分析方法》的要求，但由于只有十几万的价格，也已销售了 500 多套。

下面我们在对波长色散型 X 射线荧光光谱仪 (WD-XRF) 与能量色散型 X 射线荧光光谱仪 (ED-XRF) 进行比较时，所比较的 ED-XRF 是指 ED-XRF 中最新最高档的用 SDD 半导体探测器作探测器的能量色散型 X 射线荧光光谱仪 (ED-XRF)。

能量分辨率之比较

能量分辨率是 X 射线荧光光谱仪的最重要指标，分辨率数值越小，分辨率越高，仪器性能越好。WD-XRF 与 ED-XRF 在原理上的不同决定了该指标的差异。WD-XRF 由分光系统对 X 射线荧光进行区分，其探测器只对已区分好的 X 射线荧光进行计数而不区分，但 ED-XRF 的 X 射线荧光是直接进入探测器的，探测器既要计数又要区分能量。所以 WD-XRF 的能量分辨率为半高宽 15~30eV，ED-XRF 的能量分辨率为半高宽 140eV (对 ^{55}Fe 的 5.96keV) 左右。所以 WD-XRF 的能量分辨率好于 ED-XRF 的能量分辨率 1 个数量级。

让我们来看一看它们的能量分辨率对水泥样品是否足够满足要求。重元素应该都是没问题的。水泥样品中必须分析 Na (11)、Mg (12)、Al (13)、Si (14)，其 X 射线荧光的能量分别是 Na: 1.041keV、Mg: 1.253keV、Al: 1.486keV、Si: 1.739keV。Na 与 Mg 相差 212eV、Mg 与 Al 相差 233eV、Al 与 Si 相差 253eV。要将 2 个相邻元素完全区分，必须有 3 个半高宽，也就是要区分 Na 与 Mg、Mg 与 Al、Al 与 Si 必须至少半高宽小于 70eV，WD-XRF 的能量分辨率小于 30eV，所以足够满足要求。而 ED-XRF 的能量分辨率最小为半高宽 90eV (对 ^{23}Na 的 1.041keV)，不能完全满足要求，在能谱图中，Na 峰右侧的尾巴和 Mg 峰左侧的尾巴有部分重叠的，因为重叠不多，所以经一定的运算能基本满足要求。

精度之比较

对于 X 射线荧光光谱仪来说，各元素含量与该元素的荧光强度成正比关系。荧光强度越高，则统计误差越小，测量的精度越高，仪器性能越好。



ED-XRF 采用半导体探测器做探测器, 该探测器既要计数又要区分能量, 由于该类探测器随计数率的提高分辨率变差, 为保证一定的分辨率, 计数率就不能太高, 即使是最新最好的 SDD 半导体探测器, 在计数率 100kcps 以上后分辨率也会变差, 所以 ED-XRF 的计数率最高不大于 100kcps, 并且由于 ED-XRF 是同时测量的, 所有元素的计数都在其中, 该计数率是所有元素的计数率之和, 还包括本底、散射等其它所有的计数, 所以真正每个元素的计数率仅几个 kcps。

WD-XRF 由分光系统区分 X 射线荧光, 其探测器只用于计数, 不必考虑探测器分辨率的好坏, 测量轻元素时一般采用正比计数管, 它的最高计数率可达 3000kcps, 并且是对一个元素来讲的。当然由于激发效率、转换效率等因素, 不可能每个元素都达到这样的计数率, 也没必要。如果是同时式 WD-XRF, 即使计数率达几十 kcps (而这是轻而易举的), 则相比 ED-XRF 就高 1 个数量级, 如果是顺序式 WD-XRF, 在计数率达几百 kcps 下 (这也是不难达到的), 则相比 ED-XRF 也高 1 个数量级。

所以 WD-XRF 的精度好于 ED-XRF 的精度 1 个数量级。

准确度之比较

X 射线荧光光谱仪测量样品的准确度取决于很多因素, 如制样、矿物效应、基体效应等, 但仪器本身的准确度主要取决于有无其它元素的干扰, 能量分辨率越好干扰就越少, 准确度就越高。准确度还与精度有关, 精度越高准确度越高。WD-XRF 的能量分辨率和精度均好于 ED-XRF, 所以 WD-XRF 的准确度也好于 ED-XRF。

灵敏度之比较

X 射线荧光光谱仪的灵敏度用检测限表示, 而检测限与本底计数和荧光强度即 X 射线荧光计数率有关。本底计数越小, 荧光强度越高, 则检测限数值越小, 仪器的灵敏度越高。在高能范围内 WD-XRF 的灵敏度与 ED-XRF 的灵敏度相当, 但在低能光子范围内即对轻元素进行分析时, WD-XRF 的灵敏度高于 ED-XRF 的灵敏度 1 个数量级。

如水泥企业中要测的 Na (11) 和 Mg (12), ED-XRF 用的探测器的窗最薄为 12.5 μm 的铍窗, 而 WD-XRF 用的探测器的窗为 0.6 μm 的超薄聚酯窗。仅这一不同就使 WD-XRF 的灵敏度高于 ED-XRF 的灵敏度 1 个数量级。

分析速度之比较

分析速度也就是指仪器的测量时间。X 射线荧光光谱仪的测量时间是由精度要求和计数率决定的, 精度要求越高测量时间越长, 计数率越高测量时间越短。在对精度要求相同的情况下, 计数率的大小决定了测量时间。由于 WD-XRF 配备较大功率的 X 光管, 荧光强度高, 因此 WD-XRF 占用较短的测量时间, 便能达到较高的测量精度。

这里存在一个误区, 认为 ED-XRF 是对所有元素同时进行测量的, 所以测量时间短, 分析速度快, 非也! 在上面精度之比较中我们已经说明, 由于探测器对计数率的限制, 所以它的测量时间相对较长。

从理论上讲同时式 WD-XRF 的测量时间比顺序式 WD-XRF 的测量时间短, 但事实上并非完全如此。现在国外大部分的 WD-XRF 生产企业都只生产顺序式的, 其水平已达到相当的高度, 分光系统极其紧凑, 所用的 X 射线管功率很大, 所以其分析速度是很快的。

X 射线管之比较

顺序式 WD-XRF 由于是每个元素一个个分时测量的, 又一般这种高档的仪器精度要求较高, 所以均采用大功率的 X 射线管, 其功率一般为几千瓦。

同时式 WD-XRF 由于是所有元素同时测量的, 所以只采用中功率的 X 射线管, 其功率一般为几百瓦。但大型的同时式 WD-XRF, 如日本岛津公司生产的同时式 WD-XRF, 由于它可同时测量多达 30 种左右的元素, 所以晶体和探测器等离样品的距离很远, 故它就必须也采用大功率的 X 射线管, 其功率一般为几千瓦。

几千瓦的 X 射线管有一缺点, 就是它需要专门的冷却装置 (水冷或油冷)。



ED-XRF 所使用的 X 射线管功率低，一般在几十瓦，最小的便携式 ED-XRF 所使用的 X 射线管功率可低至几瓦。

由于 ED-XRF 所使用的 X 射线管功率可低至几瓦，并且它的结构相对简单，所以可做成便携式的，而这是 ED-XRF 的一大优势。但它的性能是不能与台式的相比的。

有人说 ED-XRF 只需用低功率 X 射线管，所以比 WD-XRF 好，这是那些不能生产 WD-XRF 的企业瞎讲的。ED-XRF 根本不能用高功率的 X 射线管，而不是不需用。

结构之比较

WD-XRF 相比 ED-XRF 多了一个分光系统。顺序式 WD-XRF 为了准确测量衍射光束与入射光束的夹角，分光晶体系安装在一个精密的测角仪上，还需要一庞大而精密并复杂的机械运动装置。由于要测量不同的元素，还没有一种分光晶体能分开所有的元素，所以还必须多种晶体调换，为满足分辨率的要求，其入射狭缝也必须不同并调换，所以整个分光系统极其复杂。同时式 WD-XRF 相对简单，其分光系统不必运动，也不必调换部件，但 1 个道对应 1 个元素，所以也较复杂。

ED-XRF 没有复杂的分光系统，结构简单。这种仪器其所产生的一次 X 射线在通过滤光片后直接照射到样品上产生 X 射线荧光，X 射线荧光直接进入探测器，省略了晶体的精密运动装置，也无需精确调整。

使用寿命之比较

WD-XRF 的使用寿命一般为 10 年以上；ED-XRF 的使用寿命一般也大于 5 年，影响 ED-XRF 寿命的主要因素是探测器部分老化导致其性能指标变差。

价格之比较

用正比管的 ED-XRF 价格在几万到十几万。用 Si-PIN 半导体探测器的 ED-XRF 国产的价格在 20 多万。用 SDD 半导体探测器的 ED-XRF 国产的价格在 40 万左右，而国外的要 60 万左右。

最多能测 10 个元素的国产的同时式 WD-XRF 价格在 60 万左右，而国外的要 100 多万。顺序式 WD-XRF 还没有国产的，国外的要 100~300 万。能测 30 种左右元素的国外的同时式 WD-XRF 价格在 200 万左右。

应用范围之比较

同时式 WD-XRF 适用于相对固定组成，对测量速度要求高和批量试样分析。

顺序式 WD-XRF 能测量 $Z \geq 4$ (铍) 的所有元素，由于它的高分辨率，它还能进行化学态的分析，适用于要求较高的企业、科研及多用途的工作。

ED-XRF 能测量 $Z \geq 11$ (钠) 的所有元素，并能进行现场测量工作。

WD-XRF 与 ED-XRF 之简明比较

品种	波长色散型 X 射线荧光光谱仪	能量色散性 X 射线荧光光谱仪
能量分辨率	高	一般
精度	高	一般
准确度	高	一般
灵敏度	$\mu\text{g/g}$ 级	重元素 $\mu\text{g/g}$ 级，其他 $10\text{-}10^2\mu\text{g/g}$ 级
分析速度	快	一般
X 射线管	高功率，顺序式要冷却系统	低功率，不需冷却水
结构	复杂	简单
使用寿命	10 年以上	5 年以上
价格	60~300 万	30~60 万



比较之总结

从以上对波长色散型 X 射线荧光光谱仪 (WD-XRF) 与能量色散型 X 射线荧光光谱仪 (ED-XRF) 所进行比较可知: WD-XRF 在能量分辨率、精度、准确度、灵敏度、分析速度等所有指标上都比 ED-XRF 要好。它们不是同一档次的。WD-XRF 比 ED-XRF 要高档得多, 这是毋庸置疑的!

WD-XRF 相比 ED-XRF 的唯一缺点就是结构复杂导致价格较高, 但这是缺点吗? 又要马儿跑得快又要马儿少吃草, 世上哪有这种事情。全世界生产 X 射线荧光光谱仪的企业有几百家, 但能生产 WD-XRF 的仅十几家。国内能生产同时式 WD-XRF 的仅 1、2 家, 至今还未有国内企业能生产顺序式 WD-XRF 的, 可想该仪器的难度。

当然, 并不是说 ED-XRF 不好, 应该说适合就好, 从大的范围讲 ED-XRF 的用量比 WD-XRF 的大得多。对绝大部分用户来说没必要用性能最好的, 因为它价格也高。只要指标能满足要求就行。这就像奢侈品与大众商品。

水泥企业应该用哪类 X 射线荧光光谱仪? 目前国内大中型水泥企业所用的基本上都是 WD-XRF, 有 500 多台, 绝大部分都用得很好。ED-XRF 也有用的, 但很少, 现在新的 SDD 的 ED-XRF 要比原来老的好, 但相比 WD-XRF 还是差。根据 GB/T 176-2008《水泥化学分析方法》的要求, 能测 10 个元素的国产的同时式 WD-XRF 对水泥企业是性价比最高的, 是水泥企业的最佳选择。

2013 年 4 月 9 日

本文作者: 徐晓东、倪虹

徐晓东, 上海爱斯特电子有限公司总经理。倪虹, 上海爱斯特电子有限公司总工程师。均为 80 年代复旦核物理毕业生。致力于 X 射线荧光光谱仪研究已 30 多年。共同于 1992 年创办了上海爱斯特电子有限公司, 其一生在事业上最大的愿望就是在不久的将来, 研制出国产的顺序式波长色散型 X 射线荧光光谱仪

上海爱斯特电子有限公司

地址: 上海市金山区朱泾工业区中发路 169 号

邮编: 201500

电话(直线): (021)54500549 64850549

电话(总机): (021) 64851191

传真: (021) 57348305

网址: www.eastcc.com.cn

E-mail: eastsc@163.com