

让我们提供：更好的产品，更好的服务！



DM 2500

MMEDXRF 轻中元素光谱仪

多单色激发实现**高峰背比**，使
能测元素 (**B~Zn**)，其准确
度媲美大型波长色散光谱仪

标准型针对水泥行
业设计。亦或经微
改后用于各行各业

采用

多单色激发能量色散X射
线荧光(MMEDXRF)分析
技术

对数螺线型双曲面弯晶
(LSDCC)实现衍射并作为
二次靶

高计数率、高分辨率、高
透过率(AP3.3窗)SDD探测
器

电压、电流、靶材完美组
合的**微焦斑**薄铍窗X射线
管源

符合标准：

GB/T176
JB/T11145
JC/T1085



专利号：ZL 201811272585.7

上海爱斯特电子有限公司
SHANGHAI EAST ELECTRONIC CO., LTD.

DM2500 MMEDXRF 轻中元素光谱仪，详称 **DM2500 多单色激发能量色散 X 射线荧光轻中元素(B ~ Zn) 光谱仪**，是本公司集数十年 X 荧光光谱仪的研究经验，在公司原有的 DM 系列 X 荧光硫钙铁分析仪、X 荧光多元素分析仪、X 荧光光谱仪等的基础上研制推出的一种达到国际领先水平的 XRF 光谱仪。它采用多单色激发能量色散 X 射线荧光 (MMEDXRF) (Multiple Monochromatic Excitation Energy Dispersive X-Ray Fluorescence) 分析技术。主要部件，如：单色晶体采用本公司研制的具有本公司专利的对数螺线旋转点对点聚焦单色晶体，X 射线管采用 KeyWay 公司生产的 50W 微焦点大辐射角薄铍窗 X 射线管，并对其高压、电流、靶材进行最佳组合，X 射线探测器采用德国 Ketek 公司生产的具有高计数率、高能量分辨率、高透过率的常温用 SDD 半导体 X 射线探测器。并且采用具有本公司自主知识产权的轻元素专用的光学系统及多种方法组合使用的多个单色激发系统等独有的技术，极大地提高了仪器的灵敏度和峰背比。由此使本光谱仪达到国际领先水平。在与大型波长色散光谱仪的比较试验中，其大部分性能指标接近或达到大型波长色散光谱仪的性能指标，某些甚至超过大型波长色散光谱仪的性能指标。它采用 X 射线向下照射系统，特别适合水泥生熟料等粉末样品，且可根据应用选择真空系统或自充气系统。具有分析速度快、精度高、人为误差小、操作人员劳动强度低、只需一次性投资、无污染等特点。其性能比进口同类产品更好，而价格仅为进口同类产品的一半，具有无可比拟的价格性能比。另外国内企业售后服务的方便程度是国外企业所无法相比的。且本光谱仪良好的屏蔽防护设计保证无任何射线泄漏，满足辐射豁免要求。

适用范围

DM2500 MEDXRF 轻中元素光谱仪的标准型是针对水泥行业专门设计制造的，可用于水泥生料、熟料、原料等的含量测量。其符合国家标准 GB/T 176—2017《水泥化学分析方法》的相关要求，符合行业标准 JC/T1085—2008《水泥用 X 射线荧光分析仪》，符合行业标准 JB/T11145—2011《X 射线荧光光谱仪》。

DM2500 MEDXRF 轻中元素光谱仪除用于水泥行业外，还能用于其他各行各业所有物料的含量测量。其标准型虽然是针对水泥行业专门设计制造的，但只要用户所要求的测量元素在 B(5) ~ Zn(30) 的范围内，则大部分情况可直接使用标准型进行测量。如贵用户对某些元素的测量有特殊的要求，则本公司可根据用户的要求更改单色激发系统和或软件系统以满足用户对测量元素的要求。

特点

- 快速同时** —— 所需测量元素同时快速分析，一般几十秒给出含量结果。
- 高准确度** —— 采用先进 MMEDXRF 技术，LSDCC 核心技术，根据所要测量的元素来选择单色光的能量及产生单色光的方法，极大地提高了仪器的灵敏度和峰背比，具出色的重复性和再现性，极高的准确度。
- 向下照射** —— 采用 X 射线向下照射系统，杜绝了样品粉末污染损坏探测系统的可能，特别适合水泥生熟料等粉末样品。
- 样品自旋** —— 具有样品自旋装置，消除了压片样品中由于特硬物质的存在而不易粉碎造成的样品不均匀性。
- 长期稳定** —— 采用可变增益数字多道，有 PHA 自动调整、漂移校正、偏差修正等功能，具极好的长期稳定性。
- 环保节能** —— 射线防护达豁免要求。分析时不接触不破坏样品，无污染，无需化学试剂，也不需要燃烧。
- 使用方便** —— 触摸屏操作。样品粉碎压片放入仪器后只需按 [启动] 键即可，真正实现一键操作。
- 高可靠性** —— 一体化设计，集成化程度高，环境适应能力强，抗干扰能力强，可靠性高。
- 高性价比** —— 无需钢瓶气体，运行维护成本极低。价格为国外同类产品的一半。是真正的高性价比产品。

多单色激发能量色散 X 射线荧光 (MMEDXRF) 分析技术

传统 XRF，特别是 EDXRF，无法实现超轻元素准确测量的一个主要原因是 X 射线光管出射谱中连续韧致辐射的散射使得 X 射线荧光光谱的连续散射背景较高，而原子序数越低的元素荧光产额越低，较低的荧光射线强度将淹没在较高的背景之中。

(Monochromatic Excitation Beam Energy Dispersive X-Ray Fluorescence) 单色激发能量色散 X 射线荧光分析技术，就是采用光学器件将 X 射线光管出射谱单色化，进而使得荧光光谱的连续散射背景极大地降低，同时尽可能少的降低甚至于可能的话增加所需激发 X 射线的单色化的线或窄能量带的强度，从而大大提高所测元素 X 射线荧光光谱的峰背比，实现超轻元素的准确测量。其原理图如图 1。

激发样品的 X 射线能量越远离所需分析元素的吸收限，其激发效率就越低。这就使得单色激发的光谱仪有一个局限，就是某一个单色能量的激发源只能测定一定原子序数范围内的元素。由于 DM2500 要求轻中元素都可测量，所以用只有一个单色能量的激发源将使轻元素的激发效率很低从而无法准确测量轻元素，为此 2500 采用 2 个单色能量的激发源，分别激发轻元素 (Cl 以下) 和中元素 (K-Zn)。故称多单色激发。

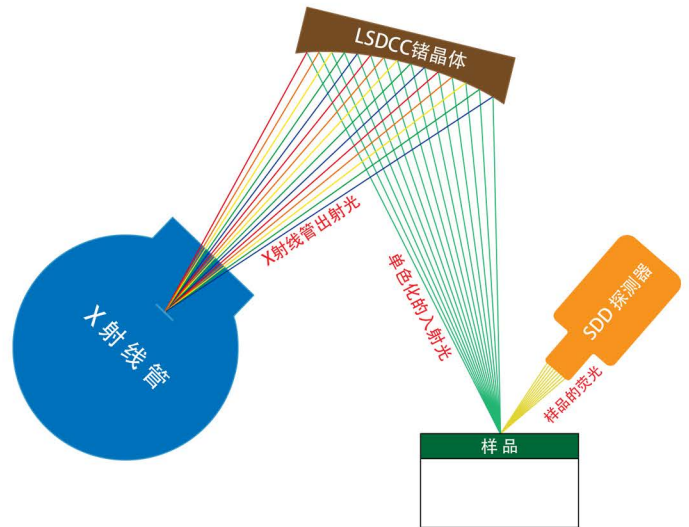


图 1. MEDXRF 分析技术原理图

用于轻元素测量的高衍射效率点对点聚焦的对数螺旋线旋转双曲

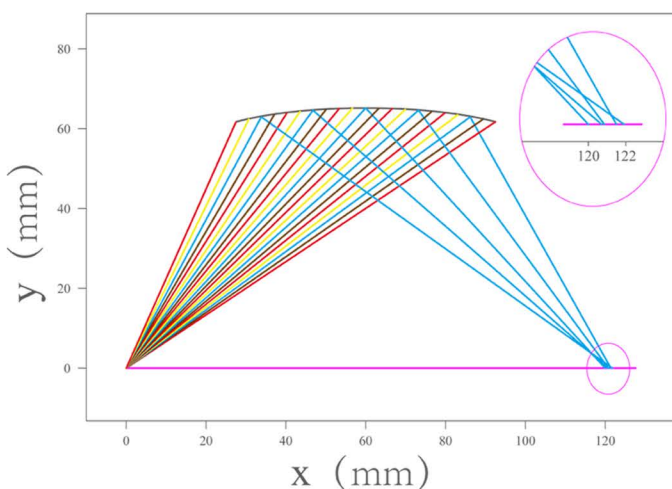


图 2. LSDCC 点对点聚焦原理图

将 X 射线光管出射谱单色化的方法很多，有滤波片法，二次靶法和衍射法等。衍射必须满足 Bragg 定律： $n\lambda = 2d\sin\theta$ ，所以其具有极好的单色性。而衍射法中的双曲面衍射晶体 DCC (Doubly Curved Crystals) 又由于能将点源聚焦，所以有大的收集立体角，从而有极高的效率。另外，聚焦还能使照射到样品的光斑很小，从而使小面积的半导体探测器 Si-PIN 或 SDD 可以接受大部分样品较小面积中的荧光射线，也就是说 DCC 还提高了探测效率。由于对数螺旋线 LS (Logarithmic Spiral) DCC 有制作方便，可制作较大面积等优点。所以 DM2500 采用的对数螺旋线旋转双曲面晶体 LSDCC。其点对点聚焦原理图如图 2。

由于轻元素荧光产额很低，所以 DM2500 用以 LSDCC 实现单色化的高效率单色激发射线来激发轻元素。

用于中元素测量的锆二次靶

由于中元素荧光产额较高，对激发射线的强度要求不高，所以我们采用了二次靶的方法来实现中能量的单色化。巧的是，能实现轻元素单色化的 LSDCC 其可选择的晶体材料中有一种是锆晶体，锆的 X 射线荧光能激发 Zn 以下所有元素，所以 DM2500 用锆晶体作为 LSDCC 的材料同时兼作为二次靶。也就是说 DM2500 巧妙地用一个光学器件实现了二种方法产生的 2 个单色能量的激发源。

激发源的能谱图如图 3。

图 4 为实际测得水泥生料样品的 XRF 光谱图。

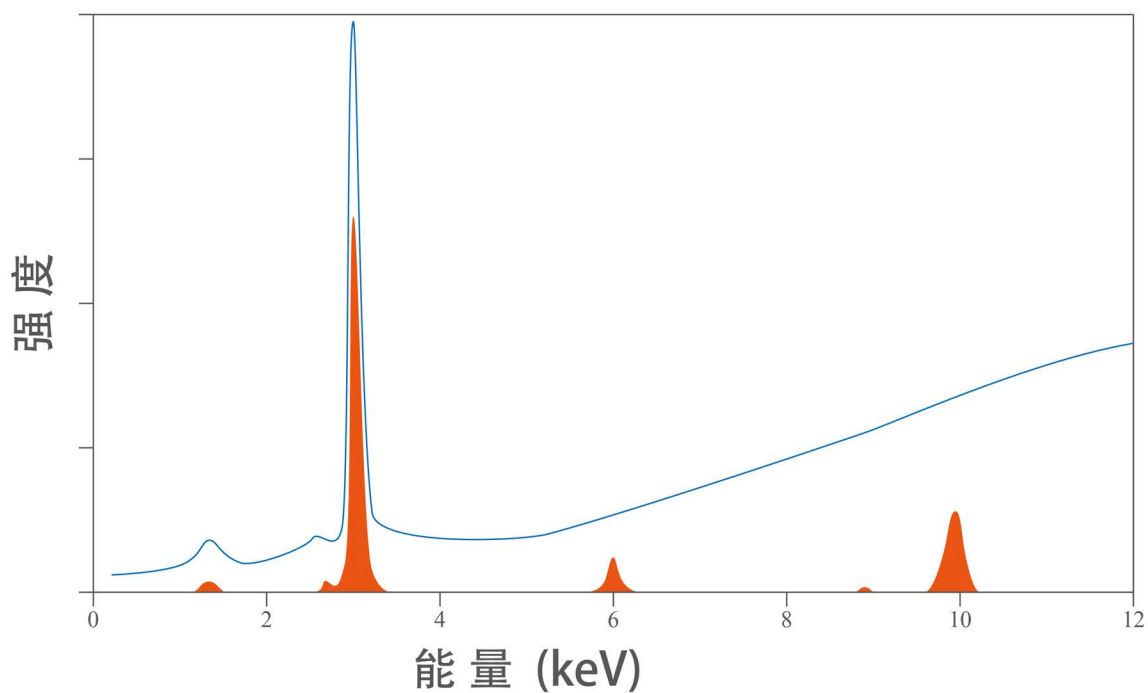


图 3 — X 射线管的出射谱
— 经锆 LSDCC 单色化的 X 射线入

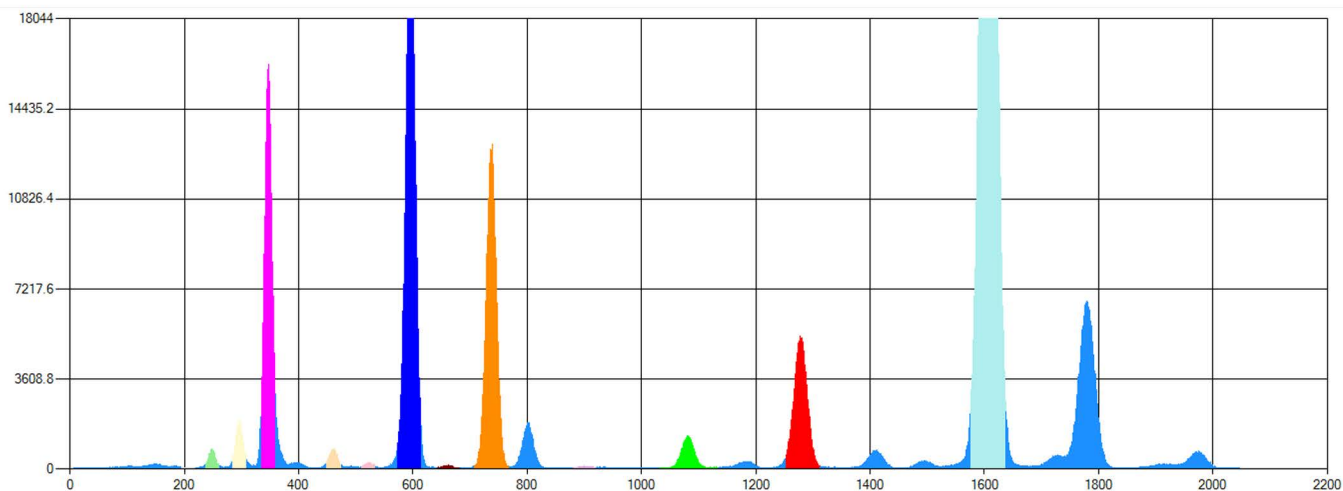


图 4. 水泥生料样品的 XRF 光谱图

高分辨率(123eV)高计数率(2Mcps)高透过率(AP3.3窗)的SDD探测器

X 射线探测器的种类有很多，其中硅漂移探测器 SDD 是最好的，其分辨率一般小于 140eV，是波长色散的 5 倍左右。而单色激发能将背景下降一个数量级，所以理论上讲如果没有谱线重叠干扰，则单色激发能量色散的峰背比好于一般的波长色散的。

DM2500 采用德国 KETEK 公司生产的 VITUS H20LE SDD 探测器，其分辨率小于 129eV，有效探测面积 20mm²，计数率 2 Mcps，窗为 AP3.3 polymer，最低可测量 B K α (185 eV)。



图 5. 硅漂移探测器 SDD

合理kV、mA、靶材组合的微焦斑大辐射角薄铍窗X射线管

为准确测量轻元素，LSDCC 仅衍射 X 射线管出射谱中的高强度特征 X 射线，其有靶材发出，合理的选用靶材能得到最高的激发效率。DM2500 标准型由于可测量 Cl 以下的元素，所以选择 Ag 作为靶材。

选定靶材后，在 X 射线光管最大功率一定的情况下，如 50W，合理的光管高压 (kV) 和电流 (mA) 组合能达到最大的激发效率。由于采用点对点的聚焦，所以必须采用微焦斑的、大辐射角的 X 光管。由于靶材的特征 X 射线能量很低，所以必须用薄铍窗 X 射线管。



图 6. 微焦斑大辐射角薄铍窗 X 射线管

校准

X 荧光分析方法是一种参考方法,校准是为得到定量的结果所必须的。XRF 光谱仪通过比较已知标样与未知样的光谱强度来得到定量分析的结果。其某元素的浓度计算式(即校准曲线)为:

$$C=D+El_c+Fl_c^2 \quad (1)$$

式中, $l_c=f(I_0)$, I_0 为原始强度(即原始道计数率), l_c 为处理后强度(或修正后强度), D、E、F 是由校准确定的系数。校准的方法是:用光谱仪测量一系列校准标准样品或有证标准样品的每种元素强度,利用回归分析,例如最小二乘法,确定(1)式的系数。

用已知含量的 11 个水泥生料国家标准样品对光谱仪进行校准,得到的数据如表 1。

成分	系数D	系数E	系数F	相关系数 γ
Na ₂ O	-0.2863	4.597×10 ⁻³	0	0.9863
MgO	-0.3367	1.9030×10 ⁻³	0	0.9937
Al ₂ O ₃	-0.4244	1.0007×10 ⁻³	0	0.9983
SiO ₂	-3.0672	6.4984×10 ⁻⁴	0	0.9985
SO ₃	0.0093	1.1017×10 ⁻⁴	0	0.9886
Cl ⁻	-0.0076	2.9487×10 ⁻⁵	0	0.9690
K ₂ O	-0.3218	3.2338×10 ⁻³	0	0.9988
CaO	11.9195	2.2918×10 ⁻³	0	0.9931
TiO ₂	0.0015	1.3559×10 ⁻³	0	0.9903
Fe ₂ O ₃	-1.3648	3.5440×10 ⁻³	0	0.9984

这些校准曲线的相关系数 γ 大部分都大于 0.99,最小也有 0.9690,表示 DM2500 光谱仪的线性误差极小。

重复性

对水泥生料国家标准样品中的 XS1 标样,进行 11 次测量,得到各元素的重复性数据如表 2。

XS1 标样	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
标准值	0.46	2.74	4.16	16.71	0.70	0.03	0.75	37.61	0.26	3.16
平均示值	0.45	2.67	4.18	16.86	0.69	0.03	0.75	37.75	0.26	3.17
最大示值	0.46	2.68	4.19	16.90	0.69	0.03	0.76	37.82	0.26	3.19
最小示值	0.44	2.66	4.16	16.80	0.69	0.03	0.75	37.69	0.26	3.15
极差	0.02	0.02	0.03	0.10	0	0	0.01	0.13	0	0.04
示值标准偏差	0.006	0.0054	0.0094	0.032	0.001	0.001	0.003	0.035	0.001	0.013
3倍示值标准偏差	0.018	0.0162	0.0282	0.096	0.003	0.003	0.009	0.105	0.003	0.039
GB/T176的重复性限	0.05	0.15	0.20	0.20	0.15	0.005	0.10	0.25	0.05	0.15
DM2500与国标的符合性	远优	远优	远优	远优	远优	远优	远优	远优	远优	远优

注:粉末压片样品。在X射线源为半功率(25W),测量时间为180s的条件下,连续进行11次测量所得的结果。

按国家标准 GB/T 176—2017《水泥化学分析方法》的重复性要求,光谱仪的重复性必须满足:其示值标准偏差的 3 倍不大于 GB/T176 的重复性限,从表 2 可知,用 DM2500 光谱仪可以实现所有元素远优于国家标准 GB/T 176—2017 所要求的重复性。

公司其它同类产品

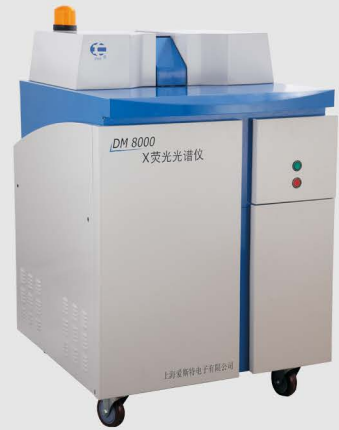
DM1240 型
X 荧光硫钙铁分析仪



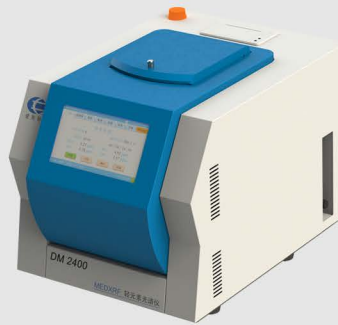
DM 2100 型
X 荧光多元素分析仪



DM8000 型
多元素分析仪 (波散)



DM2400 型
MEDXRF 轻元素光谱仪



上海爱斯特电子有限公司主要从事 X 射线类仪器特别是 X 射线荧光 (XRF) 光谱仪的开发和生产。公司位于人杰地灵的金山区, 在 G1501 亭枫公路出口旁, 公司占地 12 亩, 厂房面积 7500 平方米, 固定资产近亿元。公司骨干源于核工业部国营 263 厂, 为具有数十年 XRF 仪器研制经验的高级技术人员, 员工 80% 以上为具有本科以上学历。公司自 1993 年成立以来, 已生产 DM 系列 X 荧光钙铁分析仪、测硫仪、多元素分析仪、波长色散光谱仪等一万多台。公司还大量生产 X 射线灌装液位计、X 射线测厚仪等。公司用户遍布全国各地, 在建材行业, 全国水泥厂大部分已使用本公司的分析仪, 在石油、环保行业, 本公司的 X 荧光测硫仪市场占有率名列前茅。目前公司还涉足冶金、化工、地质、矿山、电子电气、食品机械等多个行业。公司每年的科技投入占销售额的 20% 以上。公司产品无论技术、质量、市场占有率均居国内领先地位, 部分产品达到甚至超过国外同类产品。其中 DM2100 型 X 荧光多元素分析仪被认定为上海市高新技术成果转化项目, 并获上海市科技创新基金。获国家发明专利二项 (①专利名称: X 荧光多元素分析仪, 专利号: ZL 200610025556.1。②专利名称: 单色激发能量色散 X 射线荧光 (MEDXRF) 光谱仪, 专利号: ZL 2018111272585.7)。



地址: 上海市金山区朱泾工业
区中发路169号

邮编: 201500

电话(总机): 021-64851191

电话(直线): 021-54500549

021-64850549

电话(手机): 13801632300

13311916785

传真: 021-57348305

E-mail: eastsc@163.com

网址: www.eastcc.com.cn