

iCAP PRO Series ICP-OES 针对稀土永磁产品的中重稀土出口管控检测的解决方案

王飞

赛默飞世尔科技（中国）有限公司

关键词： 稀土永磁，中重稀土，基体干扰，光学分辨率，ICP-OES

前言

稀土永磁产品是一类以稀土元素（如钕、钐、镨等）为主要成分的高性能永磁材料，具有极高的磁能积、矫顽力和稳定性。稀土永磁材料的发展始于 20 世纪 60 年代，随着稀土元素的提取和加工技术突破，先后诞生了第一代（ SmCo_5 ）、第二代（ $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ）和第三代（钕铁硼 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ）永磁材料。其中，钕铁硼（ NdFeB ）是目前磁性能最强、应用最广泛的稀土永磁体。

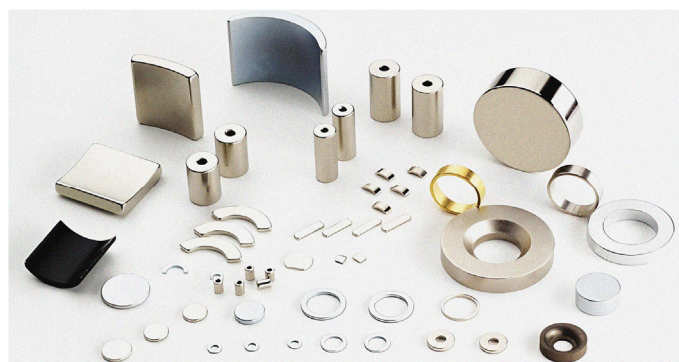
稀土永磁产品的主要应用方向

(1) 绿色能源与电动化

- 风力发电：直驱永磁风力发电机（如金风科技、西门子 Gamesa）依赖钕铁硼提高发电效率。
- 新能源汽车：
 - 驱动电机（特斯拉 Model 3 永磁同步电机使用约 2kg 钕铁硼）
 - 辅助电机（EPS 转向系统、空调压缩机等）。
- 节能家电：变频空调压缩机（如格力、大金）、冰箱电机等。

(2) 高端工业与自动化

- 工业机器人：伺服电机、关节电机需高精度磁体（如发那科、ABB）。
- 数控机床：主轴和进给系统的高效电机。



- 磁悬浮技术：轨道交通（如长沙磁浮快线）、真空半导体传输。
- (3) 消费电子与医疗
- 消费电子：
 - 手机线性马达（iPhone 的 Taptic Engine）；
 - 耳机扬声器、摄像头对焦（VCM 马达）。
- 医疗设备：
 - MRI 核磁共振成像（钕钆磁体用于高温超导环境）；
 - 精密手术器械。
- (4) 国防与航空航天
- 雷达与卫星：行波管、姿态控制电机。
- 隐身技术：磁性吸波材料。
- 航空航天电机：高功率密度、耐辐射需求（如钕钆磁体）。

稀土永磁产品是现代高科技产业的核心功能材料，尤其在能源转型和智能化进程中不可替代，中国稀土永磁行业呈现“头部集中、梯队分明”的格局，龙头企业凭借技术、资源和政策支持主导全球市场：

- 全行业企业总数：约 200-300 家（涵盖从原料加工到磁体制成品全链条）。
- 规模以上企业（年产能 ≥ 1000 吨）：50-60 家，其中 10-15 家为全球一线供应商。
- 高端磁体主导企业：约 20 家，掌握高性能钕铁硼（如 50MGOe 以上）或特种磁体（如耐高温、低重稀土）技术。

商务部 海关总署 2025 年第 18 号公告

对钐、钷、铽、镝、镱、铕、钆等 7 类中重稀土相关物项实施出口管制，磁铁若含有这些元素需额外申请许可证。《中华人民共和国出口管制法》：明确稀土及相关制品的出口需申请许可证，重点管控具有军民两用属性的物项。

政策公开 商务部 海关总署公告2025年第18号 公布对部分中重稀土相关物项实施出口管制的决定

发布单位：安全与管制局 发布日期：2025-04-04

根据《中华人民共和国出口管制法》《中华人民共和国对外贸易法》《中华人民共和国海关法》《中华人民共和国两用物项出口管制条例》有关规定，为维护国家安全和利益、履行防扩散等国际义务，经国务院批准，决定对下列物项实施出口管...

来源：安全与管制局 2025-04-04 相似信息4条

[公开目录]商务部 海关总署公告2025年第18号 公布对部分中重稀土相关物项实施出口管制的决定 2025-04-04
[对外贸易管理]商务部 海关总署公告2025年第18号 公布对部分中重稀土相关物项实施出口管制的决定 2025-04-04
[部令公告]商务部 海关总署公告2025年第18号 公布对部分中重稀土相关物项实施出口管制的决定 2025-04-04
[公开目录]商务部 海关总署公告2025年第18号 公布对部分中重稀土相关物项实施出口管制的决定 2025-04-04

钐 (Sm)、钷 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、镱 (Lu)、铕 (Sc)、钆 (Y) 等中重稀土元素在稀土永磁材料（尤其是钕铁硼和钐钆磁体）中扮演关键角色，通过微观结构调控和磁性能优化，显著影响材料的矫顽力、温度稳定性和耐腐蚀性。以下是具体影响机制及典型应用：

1. 铽 (Tb) 与镝 (Dy) —— 矫顽力与温度稳定性的核心

- 作用机制：
 - 替代钕铁硼 ($Nd_2Fe_{14}B$) 主相中的钕 (Nd)，形成 $(Nd,Tb/Dy)_2Fe_{14}B$ ，增强晶格各向异性场 (HA)，大幅提高矫顽力 (H_{cj})。
 - 抑制高温下磁矩翻转，使工作温度从 $80^{\circ}C$ 提升至 $200^{\circ}C$ 以上（如含铽磁体用于新能源汽车驱动电机）。
- 添加方式：
 - 晶界扩散技术：仅在晶界添加 0.2%-0.5% 的 Tb/Dy，可达到体掺杂 1%-2% 的效果，降低成本（特斯拉电机采用该技术）。
 - 镝 (Dy)、铽 (Tb) 是制造 F-35 战斗机、导弹制导系统的关键材料，中国是全球最大的中重稀土生产国和出口国，尤其是镝 (Dy)、铽 (Tb) 等关键元素，中国供应量占全球 90% 以上。

2. 钐 (Sm) —— 钐钴磁体的基础元素

- 钐钴磁体 ($SmCo_5/Sm_2Co_{17}$) 特性：
 - 高居里温度 ($800^{\circ}C$ 以上)、优异耐腐蚀性，适用于航空航天和国防（如导弹制导系统）。
 - 钐的 3d-4f 电子耦合作用赋予其极高的磁晶各向异性，但磁能积低于钕铁硼。
- 钐在钕铁硼中的作用：
 - 少量添加可细化晶粒，提升矫顽力，但会牺牲剩磁。

3. 钆 (Gd) ——温度系数调节剂

- 独特功能:

- 钆的 4f 电子层具有高自旋磁矩, 可调节磁体的温度系数 (β)。例如, 添加 1%-3% 的 Gd 可使钕铁硼的剩磁温度系数从 $-0.12\%/^{\circ}\text{C}$ 改善至 $-0.08\%/^{\circ}\text{C}$ 。

- 用于精密仪器 (如 MRI 磁体) 以减少温度漂移。

- MRI 造影剂和磁制冷材料的关键成分。

4. 钇 (Y) ——低成本替代与耐腐蚀性提升

- 部分替代重稀土:

- 钇的离子半径与镝相近, 可替代部分 Dy/Tb (约 10%-20%), 降低材料成本, 但矫顽力提升效果较弱。

- 耐腐蚀性:

- 在钕铁硼表面形成 Y_2O_3 保护层, 延缓氧化 (适用于潮湿环境电机)。

5. 镨 (Lu) 与钪 (Sc) ——特殊功能添加剂

- 镨 (Lu):

- 极少量添加 ($<0.1\%$) 可抑制主相晶粒长大, 提升均匀性, 但价格昂贵 (约 $\$10,000/\text{kg}$), 仅用于高端领域 (如卫星姿态控制电机)。在量子计算、核医学中有潜在应用;

- 钪 (Sc):

- 改善钕钴磁体的抗氧化性, 但应用较少 (因资源稀缺, 全球年产量不足 20 吨)。用于固态电池、航空航天合金;

6. 中重稀土的协同效应

- 复合添加策略:

- Tb+Dy: 平衡矫顽力与成本 (Tb 效果更强但价格更高);

- Gd+Y: 同步优化温度稳定性和耐腐蚀性;

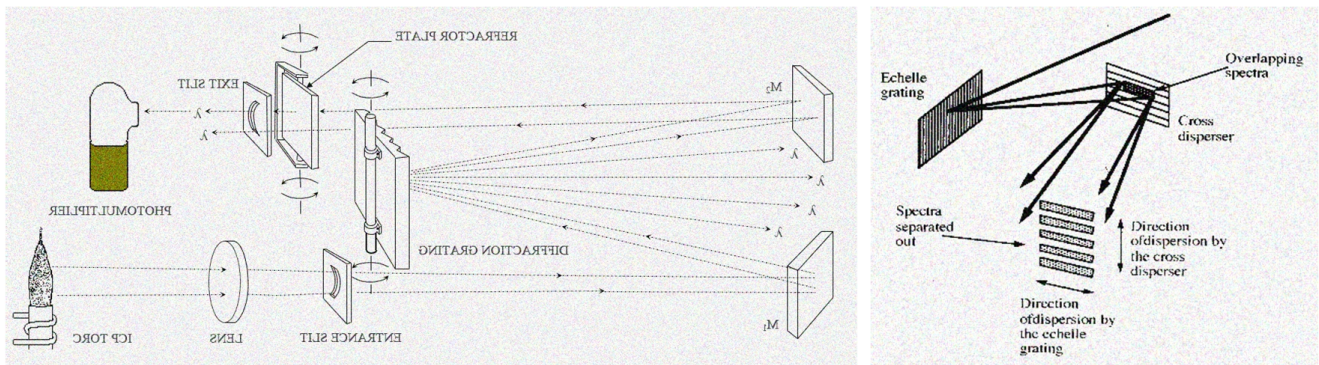
- Sm+Nd: 用于高低温混合环境磁体 (如深海探测器)。

注: 前言部分内容使用了 Thermo Fisher Scientific Gene.AI Smart Agent 人工智能模型获取

摘要

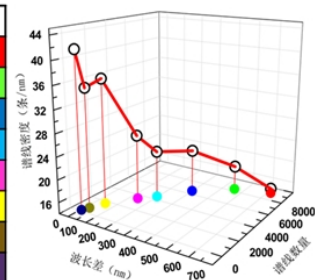
1974 年, Applied Research Laboratories (ARL, 后并入 Thermo Fisher Scientific) 推出了全球第一台商用 ICP-OES 仪器——ARL 35000, 这一里程碑事件标志着 ICP-OES 技术正式从实验室研究走向工业化应用。经过半个多世纪的技术演进, ICP-OES 已从最初的科研工具发展成为工业检测、环境监测、医疗诊断等领域的标准分析方法, 其卓越的稳定性和高效的多元素同步检测能力使其在分析仪器领域始终保持着不可替代的核心地位。

尽管在商品化 ICP-OES 多次技术迭代历程中, 但光学系统设计始终延续着两种典型结构: 一种是传统技术的以 1800l/mm 或 2400l/mm 平面光栅的 Ebert、C-T (Czerny-Turner) 或 P-R (Paschen-Runge) 为分光元件的一维色散系统 [波长], 凭借其在全波长范围内提供的较为一致的光学分辨率, 至今仍在特定应用场景中保持着独特优势; 另外一种以中阶梯光栅和棱镜构成的二维色散系统 [波长和级次], 配合线阵式、线阵组合式及面阵式半导体感光单元的固态检测器, 则代表了当前主流商品化 ICP-OES 的光室结构发展方向, 这种光学结构设计实现了多元素同时分析的高效检测, 更凭借其出色的量子化效率 (灵敏度) 优势, 在众多行业领域获得了广泛应用和高度认可。



基于稀土永磁材料成分元素构成特点，这是目前 ICP-OES 分析中光谱干扰最为严重的典型代表，不包含约为 60% 含量级别铁基体，15 种稀土元素在 185-800nm 范围内共包含约 9000 条谱线，其中约占 50% 的有效谱线集中在 350-550nm 光谱区，根据理论计算，350-550nm 中密度光谱区 100% 分辨邻近谱线的最低要求为 0.044nm，405-410nm 高密度光谱区 100% 分辨邻近谱线的最低要求为 0.024nm，这显然对 0.01% 级别的杂质元素测定更加苛刻，极限地要求着仪器的光学分辨率和检测器像素分辨率性能。

光谱区域	开始波长	结束波长	波长差 nm	谱线数量	谱线密度 λ/nm	100%分辨要求
λ 185-800	185.155	799.933	614.778	9121	14.8	0.067
λ 250-700	246.297	699.988	453.691	8362	18.4	0.054
λ 300-600	300.879	599.151	298.272	6499	21.8	0.046
λ 350-550	350.794	548.192	197.398	4439	22.5	0.044
λ 360-500	360.763	496.69	135.927	3496	25.7	0.039
λ 370-420	370.498	418.081	47.583	1725	36.3	0.028
λ 400-420	399.239	418.081	18.842	662	35.1	0.028
λ 405-410	405.143	408.968	3.825	159	41.6	0.024



本文采用 Thermo Fisher Scientific iCAP PRO Series ICP-OES，对稀土永磁材料中主量和杂质元素优化分析，着重从光学 / 像素分辨率、基体光谱干扰、分析元素谱线选择等内容进行了多维度解析，全面且系统地评估了中阶梯光栅和棱镜二维分光系统及高像素分辨率检测器的结构特点，为该仪器在稀土永磁产品中 7 类中重稀土相关物项实施出口管制的检测过程提供科学依据和技术支持。

实验部分

1. 样品前处理

- 样品采用混酸溶解完全，再以超纯水定容，摇匀即为待测溶液，并按同法制备试剂空白。
- 标准曲线采用纯铁做为近似基体匹配方法 (GB/T 26416.2)

2. 仪器配置与参数

仪器：iCAP PRO Series ICP-OES Duo

测量参数：Aqueous-Axial-iFR, Aqueous-Radial-iFR

参数类型	设定值	设定值单位
RF功率	1150	W
等离子体气	12.5/0.5	L/min
雾化气	0.60	L/min
雾化室	石英	高效旋流
中心管	石英	2.0mm
eQuant-全定量分析	15	S

3. 检出限测试

采集模式、仪器检出限与方法定量限

编号	元素	观测模式	检出限 [mg/L]	铁基体试剂空白	定量限 [%]	磁材固体样品
1	Nd 401.225	垂直				
2	Fe 238.204	垂直				
3	B 208.893	垂直				
4	Pr 414.311	垂直				
5	Al 236.705	垂直	0.0664		0.0039	
6	Ce 433.777/415.197	垂直	0.0272		0.0040	
7	Dy 340.780	垂直	0.0059		0.0010	
8	Er 323.058	垂直	0.0060		0.0010	
9	Eu 272.778	垂直	0.0224		0.0010	
	Eu 420.505	垂直	0.0011			
10	Ga 294.364	垂直	0.0127		0.0015	
11	Gd 376.839	垂直	0.0022		0.0018	
12	Ho 345.600	垂直	0.0035		0.0010	
13	La 415.197	垂直	0.0053		0.0035	
	La 469.250	垂直	0.0275			
14	Lu 261.542	垂直	0.0004		0.0010	
15	Pr 517.390	垂直	0.0157		0.0010	
16	Sc 227.318	垂直	0.0099		0.0010	
	Sc 363.075	垂直	0.0004			
17	Sm 456.621	垂直	0.0193		0.0040	
18	Tb 350.917	垂直	0.0032		0.0015	
19	Tm 262.433	垂直	0.0327		0.0015	
	Tm 346.220	垂直	0.0007			
20	Y 224.306	垂直	0.0030		0.0010	
	Y 377.433	垂直	0.0004			
21	Yb 289.138	垂直	0.0013		0.0010	

注1: 样品定量限采用0.1g实际样品溶解定容至50mL溶液, 以 $\leq 0.01\%$ 的各元素含量 $SD \times 3$ 计算

4. iCAP PRO Series ICP-OES 光学分辨率及像素分辨率测评

iCAP PRO Series ICP-OES 使用了大光栅常数 d 和大闪耀角 β 的中阶梯光栅二维分光系统, 有效光谱级次可达 80 级, 进而保证了高光学分辨率水平, Mo 202.030nm 半峰宽 / 光学分辨率达到 0.006nm。同时配备了 12 μm 连续像素结构的面阵式电荷注入式检测器 (CID), 为仪器提供了极为出色的色散率指标, 像素分辨率可达 0.002nm。受益于 iCAP PRO Series ICP-OES 的光学系统和大面积检测器综合带来的分光色散能力, 这对于应对复杂稀土永磁材料基体光谱的邻近谱线干扰和跨级光谱干扰是极为重要的, 使得中阶梯光栅二维分光结构的 ICP-OES 对稀土永磁材料中 0.01% 量级元素进行检测, 获得较为可靠的杂质元素结果准确性。

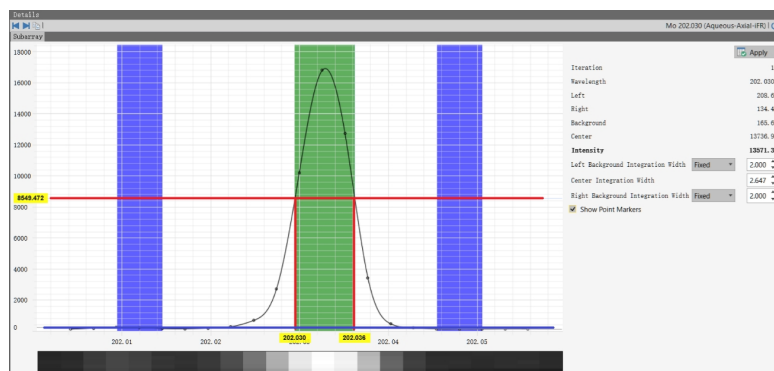


图: 0.006nm光学分辨率和0.002nm像素分辨率

注1: 光学分辨率=1/2峰高处峰宽, 即半峰宽=202.036-202.030=0.006nm

注2: 像素分辨率=半峰宽÷像素宽度, 即0.006÷2.647=0.002nm

5. 稀土永磁基体中光谱干扰评估与分析谱线选择优化指导

由于 iCAP PRO Series ICP-OES 采用了连续像素结构的大面阵检测器，对比线阵式或通道型小面阵式检测器，具有更为丰富的供选谱线，谱线数量可达 50000 条以下。同时 Qtegra ISDS 软件依照 NIST Atomic Spectra Database Lines Data 原子光谱谱线库，为每一条分析谱线提供精准的干扰模型，这对于复杂基体样品分析 SOP 的制定最终谱线是重要一环，由此为后期的精准全定量分析做出必要性的提供依据，表现了 Qtegra 软件出色的分析辅助功能便利性。

ASD DATA INFORMATION
Lines Levels List of Spectra General States & Ionization Energies Bibliography Help

NIST Atomic Spectra Database Lines Data

[\(all spectra\): 3 Lines of Data Found](#)

Wavelength range: 180 - 183 nm
 J.L: vacuum below 200 nm, air between 200 and 2000 nm, vacuum above 2000 nm
 Lower State Energy limit: 10000 cm⁻¹
 Upper State Energy limit: 100000000 cm⁻¹
 Highest relative intensity: 3700000

Query NIST Bibliographic Databases for 8 (new window)

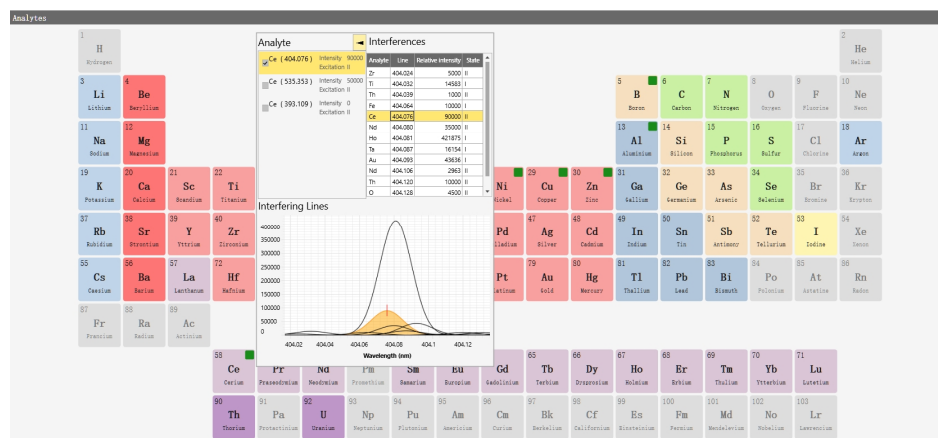
5 Energy Levels
 5 Line Wavelengths and Classification
 5 Transition Probabilities

Ion	Observed Wavelength (nm)	Unc. (nm)	Ritz Wavelength (nm)	Unc. (nm)	Rel. Int. (%)	A _{ul} (s ⁻¹)	Acc.	E _l (cm ⁻¹)	E _u (cm ⁻¹)	Lower Level Conf., Term, J	Upper Level Conf., Term, J	Type	TP Ref.	Line Ref.
II	180.73108	0.00008	180.731248	0.000009	3700000	3.27e+08	C+	0.0000	55 330.775	3s ² 3p ⁴ 3p 2	3s ² 3p ³ (⁴ P ^o) ⁴ s 3g ^o 1		78595,76054	L5664
II	182.03426	0.00008	182.034245	0.000010	3500000	1.71e+08	C+	396.05648	55 330.775	3s ² 3p ⁴ 3p 1	3s ² 3p ³ (⁴ P ^o) ⁴ s 3g ^o 1		78595,76054	L5664
II	182.62451	0.00008	182.624455	0.000010	3000000	5.64e+07	C	573.59573	55 330.775	3s ² 3p ⁴ 3p 0	3s ² 3p ³ (⁴ P ^o) ⁴ s 3g ^o 1		78595,77942e084	L5664

If you did not find the data you need, please [inform the ASD Team](#).

NIST National Institute of Standards and Technology Physical Measurement Laboratory

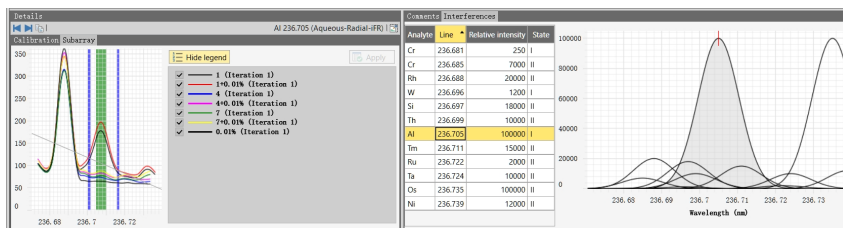
Example of how to reference these results:
 Kramida, A., Ralchenko, Y.I., Reader, J., and NIST ASD Team (2024). NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.12). [Online]. Available: <https://physics.nist.gov/asd> [2025, July 9]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.
<https://doi.org/10.18434/T4W50F> [Bibtex Citation \(new window\)](#)



图：NIST 稀土元素标准谱线示例和 Qtegra 光谱干扰模型参考

结合 Qtegra 光谱干扰模型，分别对稀土永磁实际样品中 16 种杂质元素 (不包含主含量 Nd) 的谱线进行评估和筛选，各杂质元素的参考谱线及光谱结构如下：

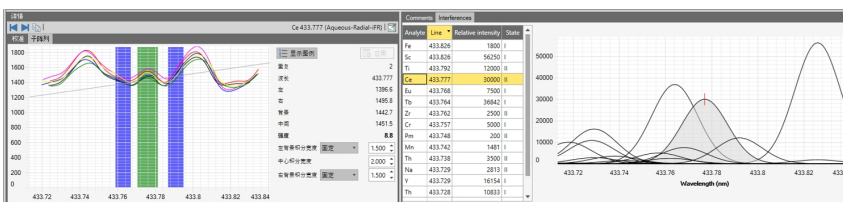
1 Al 236.705



2

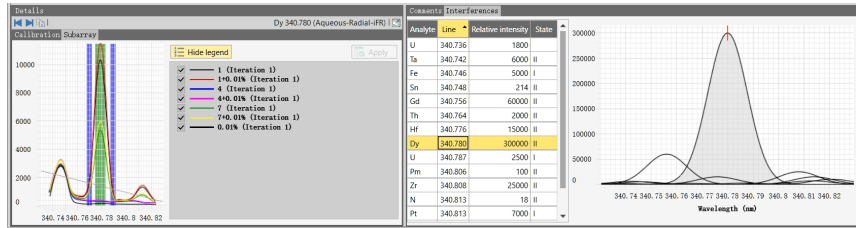
Ce 433.777

Ce 415.197



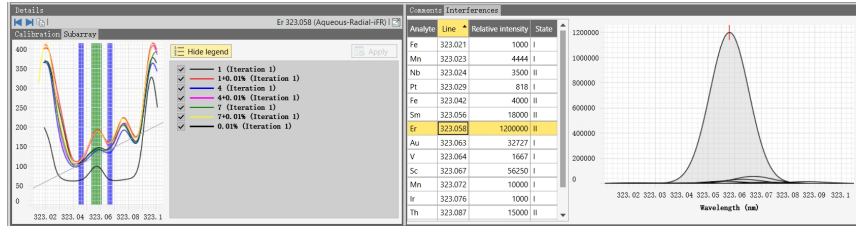
3

Dy 340.780



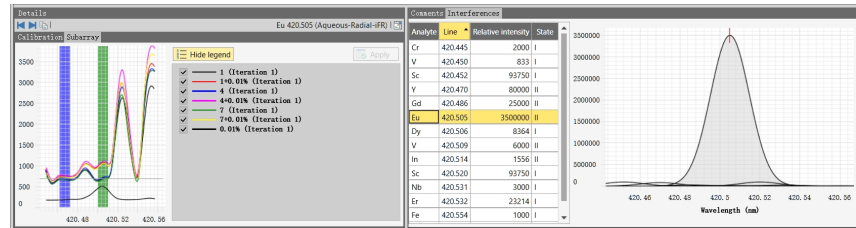
4

Er 323.058



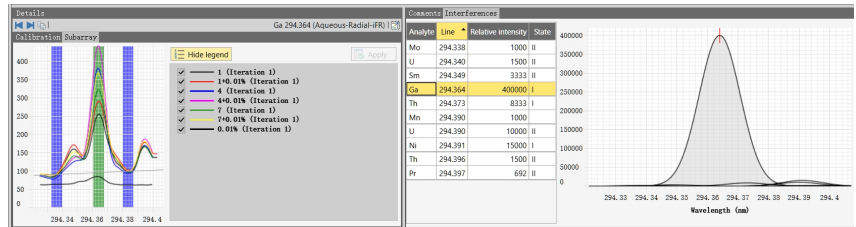
5

Eu272.778
Eu420.505



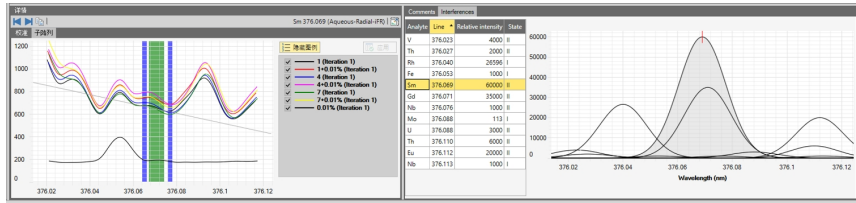
6

Ga 294.364



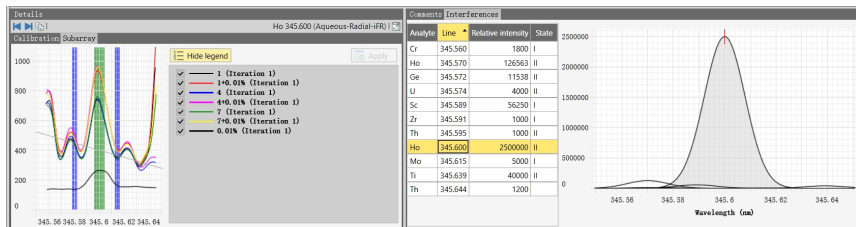
7

Gd 376.839



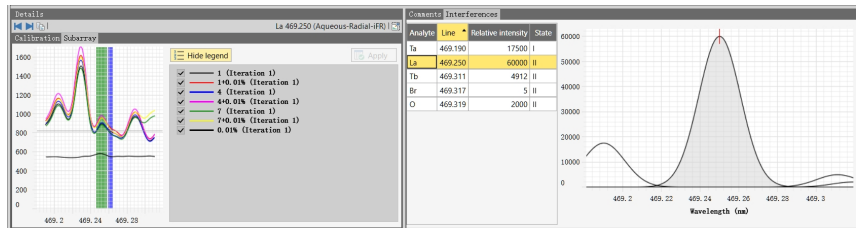
8

Ho 345.600

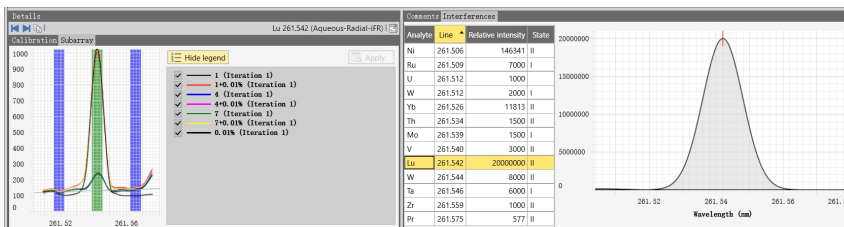


9

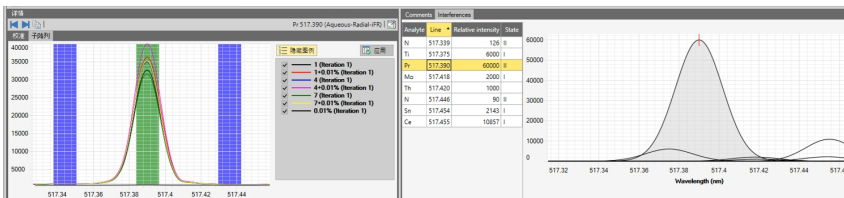
La 415.197
La469.250



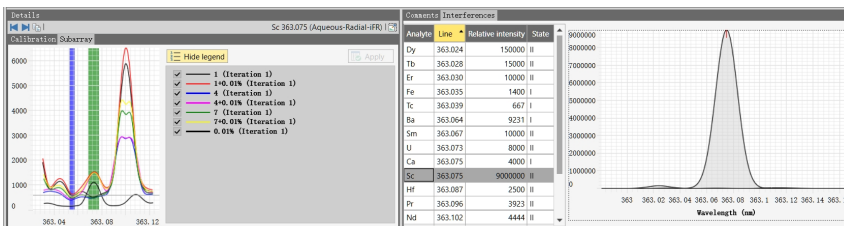
10 Lu 261.542



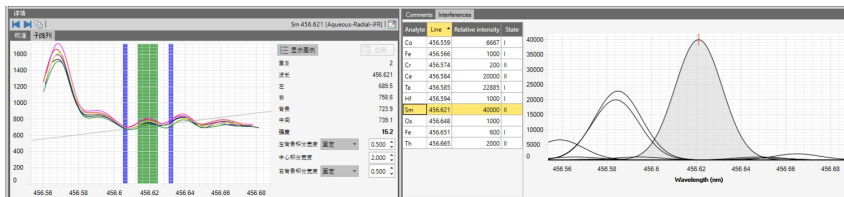
11 Pr 517.390



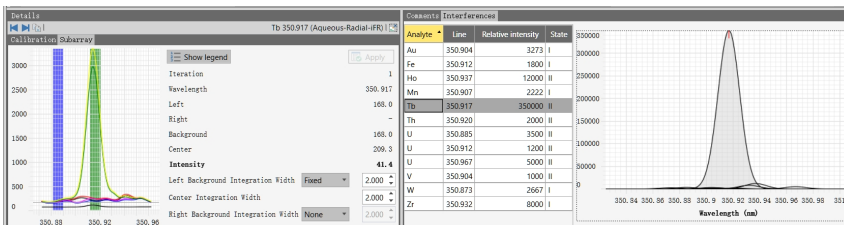
12 Sc 227.318
Sc363.075



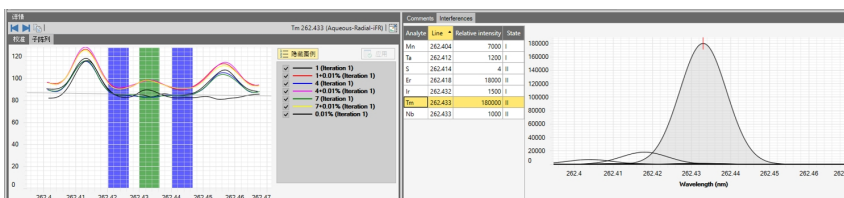
13 Sm 456.621



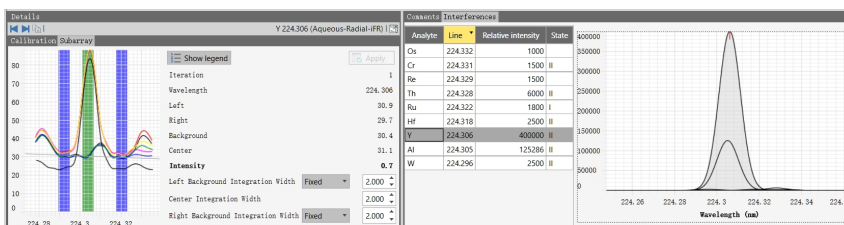
14 Tb 350.917

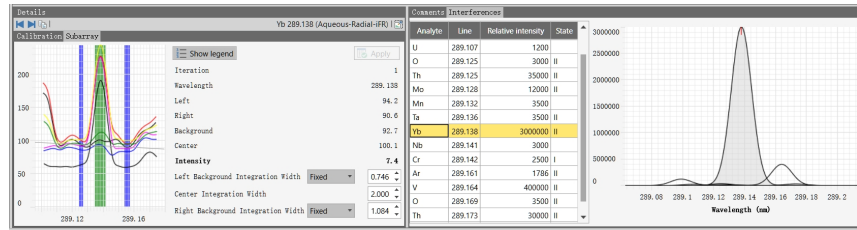


15 Tm 262.433
Tm346.220



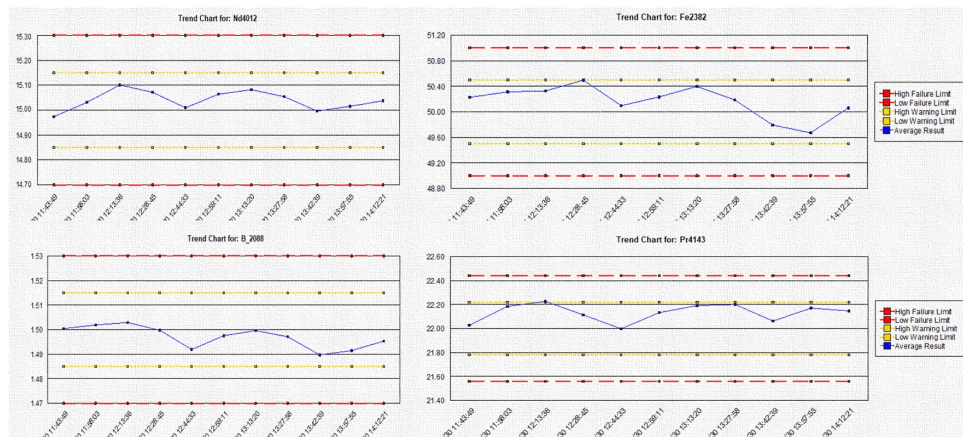
16 Y 224.306
Y 377.433





6. 稀土永磁材料中主量元素稳定性测试

稀土永磁材料中主量元素分析无需考虑谱线干扰问题，测试数据的精密度和长期稳定性是最为主要的关注点，这将直接影响生产工艺、产品质量控制和生产成本控制等多方面因素，因此测试选取 Nd 15.0%、Fe 50.0%、B 1.50%、Pr 22.0% 质控样品进行测试稳定性，以各含量的 $\pm 1\%$ 偏差做为质控警告限值，以 $\pm 2\%$ 偏差做为质控失败限值；每 15min 测量一次，即连续监控 2.5 小时后，4 种主量元素全部满足质控监测要求，表现为良好的稳定性性能。



图：Nd Fe B Pr 主量元素 2.5 小时稳定性测试

7.17 种元素测试结果及加标回收率

测试选择了 3 种稀土永磁样品进行加标实验，分别控制加标含量水平为 0.01%，通过下述表格可以看到，当含量为 0.000X~0.0X00% 范围时，各元素 0.01% 含量加标回收率可以控制在 80~120%，因此通过选择筛选后的的谱线和精细化的数据积分区域调整，能够有效应用 17 种 (杂质) 元素的日常检测工作，包括应用于钐、钕、铽、镝、镨、钕、钇等 7 类中重稀土相关物项实施出口管制的测定需求。

元素	1	1+0.01%	4	4+0.01%	7	7+0.01%
Al 236.705, [%]	0.3450	---	0.0102	0.0213	0.0198	0.0308
Ce 415.197, [%]	0.0060	0.0140	0.0047	0.0133	0.0057	0.0166
Ce 433.777, [%]	0.0000	0.0110	0.0084	0.0186	0.0000	0.0100
Dy 340.780, [%]	2.3451	---	0.0034	0.0141	1.1487	---
Er 323.058, [%]	0.0048	0.0153	0.0055	0.0165	0.0040	0.0144
Eu 272.778, [%]	0.0000	0.0095	0.0000	0.0093	0.0000	0.0089
Eu 420.505, [%]	0.0000	0.0097	0.0006	0.0107	0.0002	0.0102
Ga 294.364, [%]	0.1132	---	0.2085	---	0.1626	---
Gd 376.839, [%]	0.0024	0.0128	0.0036	0.0147	0.0031	0.0138
Ho 345.600, [%]	0.0080	0.0189	0.0060	0.0167	0.0085	0.0196
La 415.197, [%]	0.0210	0.0322	0.0221	0.0344	0.0216	0.0344
La 469.250, [%]	0.0253	0.0365	0.0363	0.0517	0.0303	0.0421
Lu 261.542, [%]	0.0000	0.0094	0.0000	0.0095	0.0000	0.0095
Pr 517.390, [%]	6.5486	---	6.9604	---	6.2618	---
Sc 227.318, [%]	0.0022	0.0121	0.0000	0.0094	0.0008	0.0105
Sc 363.075, [%]	0.0000	0.0094	0.0009	0.0111	0.0002	0.0103
Sm 456.621, [%]	0.0000	0.0100	0.0028	0.0129	0.0149	0.0236
Sm 376.069, [%]	0.0011	0.0112	0.0253	0.0372	0.0131	0.0252

元素	1	1+0.01%	4	4+0.01%	7	7+0.01%
Tb 350.917, [%]	0.0124	0.0245	0.0081	0.0196	0.8818	---
Tm 262.433, [%]	0.0022	0.0118	0.0010	0.0106	0.0012	0.0109
Tm 346.220, [%]	0.0011	0.0111	0.0027	0.0130	0.0022	0.0124
Y 224.306, [%]	0.0000	0.0094	0.0000	0.0094	0.0000	0.0096
Y 324.228, [%]	0.0000	0.0097	0.0000	0.0095	0.0000	0.0094
Y 377.433, [%]	0.0002	0.0100	0.0003	0.0103	0.0002	0.0102
Yb 211.667, [%]	0.0006	0.0103	0.0008	0.0107	0.0006	0.0103
Yb 218.571, [%]	0.0011	0.0107	0.0006	0.0105	0.0006	0.0103
Yb 289.138, [%]	0.0004	0.0101	0.0005	0.0105	0.0012	0.0111

结论

通过采用 Thermo Fisher Scientific iCAP PRO Series ICP-OES 这一综合性分析技术平台，凭借其革命性的高光学分辨率中阶梯光栅光学系统设计，配合高像素分辨率检测器，成功克服了传统中阶梯光栅二维分光技术在稀土永磁材料痕量分析中的光学分辨率不足导致的谱线干扰问题、低浓度下的信噪比限制、复杂基体带来的背景干扰等技术瓶颈，可高效实现稀土永磁材料中主量元素及痕量杂质元素的精准测定。该技术为材料性能优化、生产工艺监控和产品质量控制提供了关键的数据支撑。

针对当前钐 (Sm)、钆 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、镨 (Lu)、钪 (Sc)、钇 (Y) 等 7 类中重稀土元素的出口管制需求，通过此方案建立了完整的分析方法体系，并提供了系统的方法学验证数据。该方法显著简化了实验室标准操作规程 (SOP) 的制定流程，确保检测数据的可靠性和重现性，发挥其在稀土永磁材料的成分分析领域展的优势，为稀土功能材料的研发和产品升级提供强有力的技术支撑。

参考文献

1.GB/T 26416.2, 稀土铁合金化学分析方法第 2 部分：稀土杂质含量的测定

电感耦合等离子体发射光谱法



赛默飞
官方微信

热线 800 810 5118
电话 400 650 5118
www.thermofisher.com

thermo scientific