

## 稀土元素的检测技术

随着稀土元素在众多领域的应用，加大了稀土离子在环境中的排放，因此对稀土元素的定量化学分析提出了更高的要求。研究者早期是通过电感耦合等离子体产生的火焰高温汽化样品，待试样组分原子化以后，以光的形式辐射出能量。不同元素从激发态回到基态的过程中会发射出不同波长的特征光谱，以此来定性区分稀土元素。也可利用发射峰强弱的不同，借助标准曲线进行定量分析。但以上传统的原子发射光谱法很难对痕量/超痕量的稀土元素开展有效地分离和检测。近年来由于等离子体质谱分析（ICP-MS）具备灵敏度高、检出限低、线性范围宽、分析速度快，并可进行多组分同时检测的优势，已成为稀土元素最具代表性的分析手段之一。Fabrina R S 等在红酒中对 14 种稀土元素完成了系统分析。在质谱检测前，实验对液体样品先进行了超声处理，然后对 50  $\mu\text{L}$  的进样实施气动雾化操作。对制样过程、基体干扰和超声时间等因素展开了实验探讨，最终对 14 种稀土元素分别实现了高效检测，其中检测限最低的镧元素达到 0.24 ng/L。该方法通过稀土浓度的变化还可对南美洲三个国家的不同红酒品种予以区分。

实际上进样操作一直是等离子体检测技术中的一个重要环节，因为样品导入方式的优劣将决定最终的分析结果。对于等离子体质谱技术而言，其关键部分就是将载气中的微颗粒在等离子体内蒸发和电离，所以如何将试样准确而均匀的引入激发源是技术开发的研究热点。电热蒸发作为一种新型微量进样技术可实现高传输效率，可利用化学反应改变试样的蒸发过程和行为，使得样品的溶解和蒸发都在电热蒸发器内完成，这样能显著提升等离子体的电离能力。Arslan Z 等基于电热蒸发进样处理，测定了鱼耳石中的痕量稀土元素，并且发现一定量的钇元素引入可以使信号得到四倍的增强。

除了等离子体技术，中子活化分析也在多元素检测和高准确度分析领域逐渐体现其优势。该法是以一定能量的中子轰击样品元素的同位素发生核反应，通过测定产生的放射性核素衰变而导致的能量和强度，对物质中的元素实现定性和定量分析。中子活化分析可测定 60-80 种元素，灵敏度可低至  $10^{-13}\text{g}$ 。Ohde S 课题组针对非洲的四种不同碳酸盐矿石进行分析，发现其中稀土含量虽然各有差异，但其存在的形式和分布状况却基本类似。研究还深入考察了稀土元素在地质化学中的存在和相互转化的模式。