

# 电站锅炉水质实验室常用 3 种仪器的测定原理及其优缺点和应用

发布者：宁夏特种设备检验检测研究院 高红霞

电站锅炉对给水和炉水水质要求极其严格，水中金属元素的监测至关重要，主要目标是腐蚀产物（如 Fe、Cu）和污染物阳离子（如 Na、K、Ca、Mg）。这些元素即使浓度极低（ppb 级），也会导致严重的结垢、腐蚀和蒸汽污染。

以下是实验室最常用的 3 种仪器：

## 一、电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-OES / ICP-AES)

### 测定原理

样品由载气（氩气）引入高温（6000-10000K）的等离子体炬中。在高温下，样品被充分蒸发、分解、原子化和电离，被测元素的原子或离子被激发，跃迁到高能级。当它们跃迁回低能级时，会发射出元素特有的特征光谱。通过分光系统对特征光谱进行分离，并由检测器测定其强度，光的强度与样品中该元素的浓度成正比，据此进行定量分析。

### 优点

- 1.多元素同时分析：一次进样，可在几分钟内同时测定几十种元素，效率极高。
- 2.动态线性范围极宽：可达 4-6 个数量级，高浓度和低浓度元素可同时测定，免去多次稀释的麻烦。
- 3.检测限低：对大多数金属元素的检测限可达 1-100 ppt (ng/L) 级别，完全满足超临界机组对痕量 Na、Fe、Cu 的监测要求。
- 4.精密度和准确度高：高温等离子体使得化学干扰较少，结果可靠。

5.样品消耗少。

### 缺点

- 1.仪器非常昂贵：初始购置成本和后期维护成本是几种方法中最高的。
- 2.运行成本高：消耗大量的高纯氩气，功耗大。
- 3.光谱干扰可能更复杂：由于谱线丰富，可能存在谱线重叠干扰，需要高分辨率的光谱仪和软件校正。
- 4.对操作人员技术要求高。

### 应用

- 1.定期全面普查：对给水、锅炉水、饱和蒸汽、过热蒸汽中的 Na、Fe、Cu、Ca、Mg、Zn 等元素进行同时测定。
- 2.腐蚀诊断：精确测定 Fe、Cu 含量，判断汽水系统的腐蚀情况。
- 3.阳离子泄露监控：监测凝结水精处理系统出水中的 Na<sup>+</sup>等阳离子含量。

## 二、原子吸收光谱法 (AAS)

## 测定原理

利用待测元素基态原子对特定波长光的吸收特性。光源（空心阴极灯）发出该元素的特征谱线，穿过被火焰（FAAS）或石墨炉（GFAAS）原子化的样品蒸汽，测量光被吸收后的减弱程度，根据吸光度与浓度的关系进行定量。

## 优点

- 1.灵敏度高：尤其是石墨炉 GFAAS，检测限可达 ppt (ng/L) 级别，优于火焰法，适用于超痕量分析（如 Na、Cu）。
- 2.选择性好：每种元素都有其特定的吸收波长，元素间的干扰较少，抗干扰能力强。
- 3.准确度高：相对标准偏差一般在 1%-2%，分析结果可靠。
- 4.可测元素多：可测定多达 70 多种金属和类金属元素。

## 缺点

- 1.一次只能测一种元素：换测元素需要更换对应的空心阴极灯，多元素同时分析效率低。
- 2.线性范围较窄：标准曲线的工作范围有限，高浓度样品需要稀释。
- 3.存在化学和电离干扰：需要添加抑制剂或使用标准加入法等来消除干扰。
- 4.仪器和运行成本较高：需要消耗乙炔、氩气等气体，石墨管等耗材成本也不低。
- 5.样品前处理：对复杂基体的样品可能需要消解等前处理步骤。

## 应用

- 1.特定元素的常规分析：如专门测定铜（Cu）含量（因 ICP 测定 Cu 有时会受到多原子离子干扰，AAS 是很好的补充）。
- 2.对 ICP 结果的验证。
- 3.在没有 ICP-OES 的实验室，使用 GFAAS 测定痕量 Na 和 Fe。

## 三、分光光度计 (紫外/可见光)

### 测定原理

向水样中加入特定显色剂，使其与目标金属离子发生反应，生成有色络合物。该化合物对特定波长的光有最大吸收。使用分光光度计测量其吸光度，根据朗伯-比尔定律，吸光度与浓度成正比，进行定量分析。

### 优点

- 1.仪器便宜，操作简单：是实验室最基础的设备，易于普及。
- 2.运行成本极低：主要消耗一些化学试剂。
- 3.适用于现场快速测定：有便携式的或试剂盒式的设计。

### 缺点

- 1.一次只能测一种元素：每种离子都需要特定的显色反应和步骤。
- 2.灵敏度相对较低：通常适用于 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) 级别以上的测定，对于超临界机组要求的

超痕量分析有时不够用。

3.易受干扰：水样中其他离子或颜色可能对显色反应产生干扰，需要掩蔽或预处理。

4.分析流程长：需要人工配制试剂、显色、比色，自动化程度低。

### 应用

1.铁（Fe）的测定：邻菲罗啉分光光度法是经典方法。

2.铜（Cu）的测定：铜试剂分光光度法或新亚铜灵法。

3.联氨等非金属项目的测定也依赖分光光度法。