

## 磁性微孔聚合物富集/表面增强拉曼光谱法 测定水与土壤中多环芳烃

温海滨, 胡玉玲\*, 李攻科\*

(中山大学 化学学院, 广东 广州 510275)

**摘要:**建立了磁性聚亚苯基共轭微孔聚合物富集/表面增强拉曼光谱法测定水样和土壤中4种多环芳烃的分析方法。待测物经磁性聚亚苯基共轭微孔聚合物吸附萃取, 甲醇洗脱后进行SERS检测。结果表明, 葱、芘、荧蒽和苯[ $\alpha$ ]芘在0.1~10  $\mu\text{g/L}$ 范围内与其SERS特征峰峰强呈良好的线性关系, 检出限为0.03  $\mu\text{g/L}$ , 回收率为71.6%~115.8%, 相对标准偏差不大于13.7%。该分析方法灵敏度高, 能够满足实际水样和土壤中4种多环芳烃同时检测的要求。

**关键词:**聚亚苯基共轭微孔聚合物; 萃取; 多环芳烃; 表面增强拉曼光谱

**中图分类号:** O657.37; X132 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2017)10-1214-05

## Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Water and Soil Samples by Magnetic Microporous Polymer Enrichment Coupled with Surface-enhanced Raman Spectroscopy

WEN Hai-bin, HU Yu-ling\*, LI Gong-ke\*

(School of Chemistry, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** A new analytical method was developed for the determination of four polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in environmental water and soil samples by magnetic polyphenylene conjugated microporous polymer (PP - CMP) enrichment coupled with surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS). The PAHs in environmental water and soil sample were enriched with magnetic polyphenylene conjugated microporous polymer via hydrophobic interaction and  $\pi - \pi$  stacking effect, then eluted with methanol. In the experiment, desorption solvent, extraction time and desorption time were investigated. The results showed that good linearities between Raman intensities and concentrations were in the range of 0.1 - 10  $\mu\text{g/L}$  for anthracene, pyrene, fluoranthene and benzo[ $\alpha$ ]pyrene with the limits of detection of 0.03  $\mu\text{g/L}$ . The spiked recoveries for four PAHs were in the range of 71.6% - 115.8% with their RSDs no more than 13.7%. The results indicated that this method has the advantage of high - sensitivity, and could meet the requirements for monitoring four PAHs in real water and soil samples.

**Key words:** polyphenylene conjugated microporous polymer; extraction; polycyclic aromatic hydrocarbons; surface - enhanced Raman spectroscopy

多环芳烃(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是一类广泛存在于环境中, 含有两个或两个以上苯环或杂环的持久性有机污染物, 具有强烈的致癌、致突变和致畸作用, 且分布极为广泛<sup>[1-2]</sup>。由于这些多环芳烃结构稳定, 几乎不溶于水且难降解, 可通过食物链逐级传递或向周围环境释放影响生态

收稿日期: 2017-05-29; 修回日期: 2017-07-24

基金项目: 国家自然科学基金(21575168, 21475153, 21675178); 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ03012409); 广东省自然科学基金重点项目(2015A030311020); 广东省公益研究与能力建设专项(2015A030401036); 广州市科技计划项目(201604020165, 201704020040)

\* 通讯作者: 胡玉玲, 教授, 研究方向: 现代分离分析, Tel: 020-84110922, E-mail: ceshyl@mail.sysu.edu.cn

李攻科, 教授, 研究方向: 色谱及光谱分析、食品及药物分析, Tel: 020-84110922, E-mail: cesgkl@mail.sysu.edu.cn

稳定或危害人类健康, 因此 PAHs 的监测与治理具有重要的实际意义。

迄今为止, 液相色谱-质谱联用法<sup>[3-4]</sup>、气相色谱-质谱联用法<sup>[5-6]</sup>以及毛细管电泳法<sup>[7-8]</sup>因灵敏度高、重现性好、分辨率高等特点而被广泛应用于各种环境介质中 PAHs 等污染物的检测, 但这些仪器昂贵、前处理和富集浓缩过程繁琐, 无法实现现场快速原位监测。表面增强拉曼散射(Surface-enhanced Raman scattering, SERS)效应于 20 世纪 70 年代被发现后, 就引起了科学界的广泛关注。SERS 技术不仅能提供被测物结构的指纹信息, 而且可实现单分子量级的检测<sup>[9]</sup>。因此, 作为一种新型光谱分析技术, SERS 技术以其超高灵敏度、无损分析、快速和可实时原位检测等优点, 被广泛应用于环境监测<sup>[10-11]</sup>、司法鉴定<sup>[12]</sup>、催化<sup>[13]</sup>、生物医学<sup>[14-15]</sup>及传感器<sup>[16-17]</sup>等领域。

目前, SERS 技术在 PAHs 检测方面已有较多报道。Zhao 等<sup>[18]</sup>将长链烷基硫醇分子修饰到金/镍泡沫复合材料上, 形成了具有分离富集功能的三维超疏水 SERS 基底, 利用该 SERS 基底实现了对实际环境样品中芘等 PAHs 污染物的检测。史晓凤等<sup>[19]</sup>将球形金纳米颗粒和海胆状金银复合材料混合作为 SERS 基底, 实现了芘、苯并蒽和苯并[ $\alpha$ ]芘 3 种高环 PAHs 的痕量检测, 检出限为  $0.11 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。然而环境样品中 PAHs 的含量很低, 常需繁琐的富集浓缩前处理过程。为提高 PAHs 检测的灵敏度, 本研究利用磁性聚亚苯基共轭微孔聚合物与 PAHs 分子之间的疏水作用和  $\pi-\pi$  堆叠作用, 富集环境样品中痕量 PAHs, 结合 SERS 技术进行高灵敏快速检测, 实现了 4 种 PAHs(蒽、芘、荧蒽和苯[ $\alpha$ ]芘)的同时定性定量分析。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

机械搅拌器(上海新荣仪器公司); 恒温振荡摇床(江苏余姚仪器公司); 实验室拉曼系统采用美国 Delta Nu 的 Inspector 便携式拉曼光谱仪。

$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (99.95%) 购于沈阳化学试剂厂; 3-缩水甘油醚氧基丙基三甲氧基硅烷 (GLYMO, 97%)、3-氨基苯硼酸 (APB, 98%)、1, 4-苯二硼酸 (TBB, 98%)、1, 2, 4, 5-四溴苯 (BDBA, 97%)、四(三苯基膦)钯 ( $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ , 99.8%) 均购于百灵威科技有限公司;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (99%)、蒽、芘、荧蒽、苯[ $\alpha$ ]芘均购自阿拉丁试剂公司; 正硅酸乙酯 (TEOS)、30% 氨水、碳酸钾均购于广州化学试剂厂; SERS 增强试剂 CP-S1 (厦门市普识纳米科技有限公司); 实际水样取自广州市珠江江水和实验室自来水; 土壤样品取自广州市海珠区某加油站旁。

### 1.2 磁性聚亚苯基共轭微孔聚合物 (PP-CMP) 的合成与萃取条件研究

本文所用磁性 PP-CMP 参照本课题组报道的合成方法<sup>[20]</sup>。首先采用化学沉淀法合成 10 nm  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  纳米粒子, 然后经 TEOS 水解作用对  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  纳米粒子表面进行硅烷化, 再经环氧丙基化和硼酸化后得到硼酸功能化的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  纳米粒子, 将其作为硼酸基团的单体, 与聚亚苯基共轭微孔聚合物的两种反应单体共同参与铃木交叉偶联反应, 从而获得嵌入型磁性 PP-CMP。实验考察了磁性 PP-CMP 对多环芳烃萃取的最优解吸溶剂、萃取时间和解吸时间: 取一系列浓度的 4 种多环芳烃单标溶液 20 mL, 加入 5 mg 磁性 PP-CMP 萃取, 磁分离后用 200  $\mu\text{L}$  解吸溶剂洗脱, 最后利用 SERS 技术进行检测。

### 1.3 标准 PAHs 溶液的配制与仪器分析条件

以甲醇为溶剂分别配制质量浓度为 1.00 mg/L 的 4 种多环芳烃单标储备溶液和混合标准溶液, 再分别用超纯水逐级稀释成不同浓度的单标溶液和混合标准溶液。SERS 测试时, 将等量的洗脱液、SERS 增强试剂 CP-S1 和等离激元增强拉曼光谱 (PERS) 助剂滴于硅片上混合后进行 SERS 检测, 积分时间为 1 s, 连续采集 3 次光谱, 每次测试扣除暗电流 1 s, 激光功率为 High, 结果为 Average, 分辨率为 Low。

### 1.4 样品前处理与制备

环境水样: 经 0.45  $\mu\text{m}$  有机滤膜过滤后储存于 4  $^\circ\text{C}$  冰箱中待测。土壤样品: 将泥土在室温下风干, 磨碎, 过 180 目筛网, 粒径约为 0.088 mm。称取 10 g 过筛网后的泥土, 加入 30 mL 丙酮提取 1 h, 离心 10 min, 获得上层清液后再用 0.45  $\mu\text{m}$  有机滤膜过滤, 收集所有滤液用  $\text{N}_2$  吹干, 再用 5 mL 乙醇复溶得到萃取液, 取其 0.5 mL 用超纯水稀释至 20 mL 后用于多环芳烃的检测。

## 2 结果与讨论

### 2.1 SERS 特征峰的判定

在材料合成中,采用一锅法反应将 10 nm 的磁性纳米粒子镶嵌于直径约为 800 nm 的 PP-CMP 圆球中,得到的圆球状磁性 PP-CMP 不仅拥有 33.6 emu/g 的磁场强度,比表面积高,而且其微孔大小主要分布在 1.3 nm 左右,说明所采用的磁性 PP-CMP 具有高度共轭、多孔结构以及磁性特征,是一种理想的用于芳环共轭结构物质痕量分析的磁性吸附材料。

基于以上特性,本实验采用该磁性材料作为痕量多环芳烃的萃取介质。为了鉴别 4 种 PAHs 的特征峰和寻找各自的定量特征峰,利用磁性 PP-CMP 富集萃取 5.0  $\mu\text{g/L}$  的 PAHs 单标溶液和混合标准溶液,洗脱后进行 SERS 检测,结果如图 1 所示。蒽在 754  $\text{cm}^{-1}$  处的特征峰由骨架伸缩振动引起<sup>[21]</sup>; 芘在 409  $\text{cm}^{-1}$  和 591  $\text{cm}^{-1}$  处的特征峰均由骨架伸缩振动引起, 1 065  $\text{cm}^{-1}$  和 1 238  $\text{cm}^{-1}$  为 C—H 键面内弯曲振动峰<sup>[21-22]</sup>; 荧蒽在 559  $\text{cm}^{-1}$  和 671  $\text{cm}^{-1}$  处分别为骨架伸缩振动峰和 C—H 伸缩振动峰<sup>[20,22]</sup>; 苯[ $\alpha$ ]芘在 337  $\text{cm}^{-1}$  处的特征峰属于骨架弯曲振动, 610  $\text{cm}^{-1}$  和 1 238  $\text{cm}^{-1}$  处为 C—H 面内弯曲振动峰, 1 386  $\text{cm}^{-1}$  处的峰由 C—C 伸缩振动引起<sup>[21]</sup>。1 590  $\text{cm}^{-1}$  和 1 628  $\text{cm}^{-1}$  处是芘和苯[ $\alpha$ ]芘的 C—C 键伸缩振动峰,而 520  $\text{cm}^{-1}$  处为这 4 种 PAHs 的骨架变形振动峰, 1 408  $\text{cm}^{-1}$  处为 PAHs 的苯环伸缩振动<sup>[21-23]</sup>。

当洗脱液中同时存在这 4 种 PAHs 时,可以分辨出混合标准溶液的 SERS 谱图上各自对应的拉曼特征峰,且 337  $\text{cm}^{-1}$  (苯[ $\alpha$ ]芘)、591  $\text{cm}^{-1}$  (芘)、671  $\text{cm}^{-1}$  (荧蒽)和 754  $\text{cm}^{-1}$  (蒽)处的特征峰之间基本无特征峰相互叠加的影响,故该方法能实现这 4 种 PAHs 的同时 SERS 鉴别和定量分析。

### 2.2 磁性 PP-CMP 的萃取条件研究

为了贴近实际环境水样的基质,选定水为萃取溶剂,优化了解吸溶剂、萃取时间、解吸时间等 PAHs 的萃取条件。

PAHs 的解吸过程需破坏或者减弱磁性 PP-CMP 材料与 PAHs 之间的  $\pi-\pi$  共轭作用,所以选择甲醇、乙腈、丙酮、乙醇和乙酸乙酯 5 种溶剂作为解吸溶剂,研究其对磁性 PP-CMP 萃取性能的影响。上述 5 种溶剂的极性大小顺序为甲醇 > 乙腈 > 丙酮 > 乙醇 > 乙酸乙酯。结果表明,由于乙酸乙酯的极性最小,不能破坏或减弱磁性 PP-CMP 与 PAHs 之间的  $\pi-\pi$  共轭作用力,同时磁性 PP-CMP 在乙酸乙酯中的分散性较差,所以对多环芳烃的洗脱效果最差。在相同检测条件下,乙腈、丙酮和乙醇在低于 1 000  $\text{cm}^{-1}$  波数段的 SERS 特征峰较多,且拉曼信号较大,这对于 PAHs 的 SERS 检测有较大的谱峰干扰。综合考虑解吸溶剂对 SERS 信号的影响和对 PAHs 的洗脱效果,选取甲醇作为最佳解吸溶剂。另外,实验中还考察了萃取时间和解吸时间对萃取效果的影响,结果表明,当萃取时间为 60 min,且洗脱时间达 15 min 时,4 种 PAHs 均能获得较高的萃取效果,故选择最佳萃取时间为 60 min,最佳解吸时间为 15 min。

### 2.3 环境水样与土壤中多环芳烃的分析

2.3.1 分析方法的建立 配制质量浓度分别为 0.10、0.50、2.0、5.0、8.0、10  $\mu\text{g/L}$  的系列 PAHs 混合标准溶液(蒽、芘、荧蒽和苯[ $\alpha$ ]芘),在优化的条件下以 337、591、671、754  $\text{cm}^{-1}$  处特征峰峰强度(Y)对相应标准溶液的质量浓度(X,  $\mu\text{g/L}$ )绘制标准曲线,结果如表 1 所示。蒽、芘、荧蒽和苯[ $\alpha$ ]芘均在 0.10~10  $\mu\text{g/L}$  浓度范围内具有良好的线性关系,相关系数( $r^2$ )为 0.983 0~0.999 3,检出限(LOD,  $S/N=3$ )均为 0.03  $\mu\text{g/L}$ ;以蒽、芘、荧蒽和苯[ $\alpha$ ]芘的 5.0  $\mu\text{g/L}$  混合标准溶液为基础,经磁

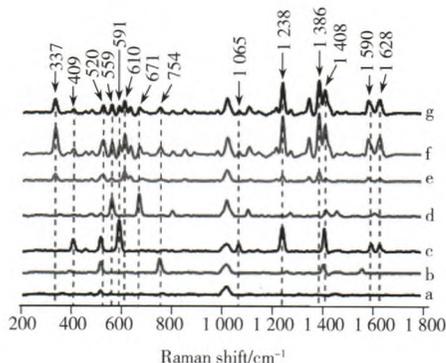


图 1 5.0  $\mu\text{g/L}$  PAHs 标准溶液及 2.5  $\mu\text{g/L}$  加标 PAHs 自来水样品的 SERS 谱图

Fig. 1 SERS spectrum of 5.0  $\mu\text{g/L}$  PAHs mixed standard solution and tap water spiked with 2.5  $\mu\text{g/L}$  PAHs  
a: blank solution, b: anthracene, c: pyrene, d: fluoranthene, e: benzo[ $\alpha$ ]pyrene, f: PAHs mixed solution, g: tap water spiked with 2.5  $\mu\text{g/L}$  PAHs

性 PP - CMP 萃取富集, 甲醇洗脱后用便携式拉曼光谱仪进行检测, 得到 4 种 PAHs 混合标准溶液浓度的批内相对标准偏差 (RSD,  $n = 3$ ) 为 2.3% ~ 5.0%, 批间 RSD ( $n = 3$ ) 为 7.4% ~ 10.4%。

表 1 磁性 PP - CMP 富集/SERS 法测定 4 种 PAHs 的线性范围、检出限及相对标准偏差

Table 1 Linear ranges, limits of detection (LODs) and precisions of magnetic PP - CMP enrichment based SERS method for the determination of PAHs

Compound	Linear equation	Correlation coefficient ( $r^2$ )	Linear range ( $\mu\text{g/L}$ )	LOD ( $\mu\text{g/L}$ )	RSD ( $n = 3$ )/%	
					Intra-batch	Inter-batch
ANT	$Y = 49.67X + 250.01$	0.996 6	0.10 ~ 10	0.03	2.3	7.4
PRY	$Y = 117.47X + 175.92$	0.983 0	0.10 ~ 10	0.03	2.8	10.4
FLU	$Y = 82.00X + 210.52$	0.995 3	0.10 ~ 10	0.03	4.0	7.6
3, 4-BPY	$Y = 418.31X + 169.32$	0.999 3	0.10 ~ 10	0.03	5.0	8.8

2.3.2 实际样品分析 为验证所提出的分析方法在实际环境样品中的适用性和可行性, 采集环境水样(实验室自来水和珠江水)和土壤实际样品, 在最优萃取条件下进行磁性 PP - CMP 富集/SERS 方法分析, 均未发现阳性样品。以空白实际样品分别添加 0.7、2.5、8.0  $\mu\text{g/L}$  的 PAHs 标准溶液进行回收率实验, 每个浓度平行 3 次, 记录其峰强度(如图 2)。结果表明, 4 种 PAHs 在环境水样和土壤中的加标回收率为 71.6% ~ 115.8%, RSD ( $n = 3$ ) 为 4.4% ~ 13.7%, 说明方法的重现性较好, 可满足实际环境样品中多环芳烃的同时分析要求。

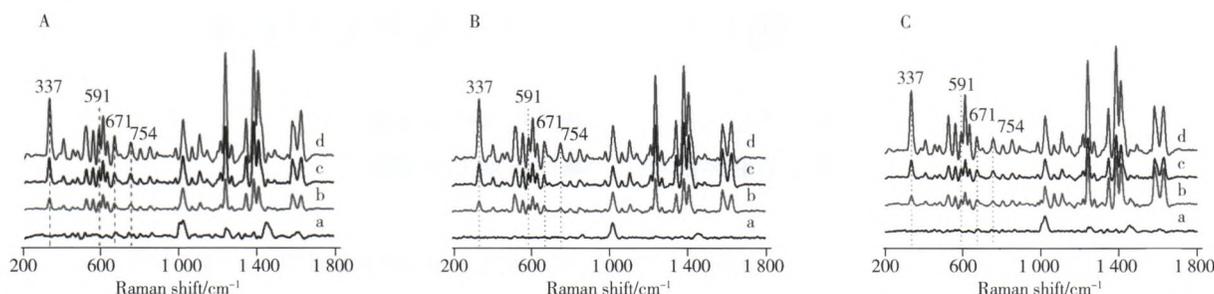


图 2 自来水(A)、珠江水(B)和土壤样品(C)中 PAHs 的 SERS 光谱图

Fig. 2 SERS spectra of PAHs in tap water(A), Pearl River water(B) and soil sample(C)

spiked (a - d): 0, 0.7, 2.5, 8.0  $\mu\text{g/L}$

### 3 结论

本文建立了自来水、珠江水和土壤中 4 种 PAHs 磁性聚亚苯基共轭微孔聚合物富集/SERS 检测的分析方法。样品经磁性聚亚苯基共轭微孔聚合物富集, 通过磁性分离并洗脱后进行 SERS 检测。4 种 PAHs 的检出限 (LOD) 均为 0.03  $\mu\text{g/L}$ , 回收率为 71.6% ~ 115.8%。研究表明该方法操作简单、试剂用量少、灵敏度高, 可用于环境样品中痕量污染物 PAHs 的同时定性定量检测, 并有潜力应用于 PAHs 的现场、快速、实时监测。

#### 参考文献:

- [1] Genies C, Jullien A, Lefebvre E, Revol M, Maitre A, Douki T. *Toxicol. in Vitro*, **2016**, 35: 1 - 10.
- [2] Jarvis I W H, Dreij K, Mattsson Å, Jernström B, Stenius U. *Toxicology*, **2014**, 321: 27 - 39.
- [3] Tang C M, Tan J H, Fan R F, Zhao B, Tang C X, Ou W H, Jin J B, Peng X Z. *J. Chromatogr. A*, **2016**, 1461: 59 - 69.
- [4] Nestola M, Friedrich R, Bluhme P, Schmidt T C. *Anal. Chem.*, **2015**, 87(12): 6195 - 6203.
- [5] Guo L, Chia S H, Lee H K. *Anal. Chem.*, **2016**, 88(5): 2548 - 2552.
- [6] Guo L, Tan S F, Li X, Lee H K. *J. Chromatogr. A*, **2016**, 1438: 1 - 9.
- [7] Ferey L, Delaunay N, Rutledge D N, Cordella C B Y, This H, Huertas A, Raoul Y, Gareil P. *Talanta*, **2014**, 119: 572 - 581.
- [8] Ferey L, Delaunay N. *Anal. Bioanal. Chem.*, **2015**, 407(10): 2727 - 2747.
- [9] Wen H B, Hu Y L, Li G K. *J. Instrum. Anal.* (温海滨, 胡玉玲, 李攻科. 分析测试学报), **2016**, 35(8): 1062 - 1070.
- [10] Li D W, Zhai W L, Li Y T, Long Y T. *Microchim. Acta*, **2014**, 181(1/2): 23 - 43.

- [11] Wei H R, Abtahi S M H, Vikesland P J. *Environ. Sci. ; Nano*, **2015**, 2(2): 120 – 135.
- [12] Muehlethaler C, Leona M, Lombardi J R. *Anal. Chem.*, **2016**, 88(1): 152 – 169.
- [13] Schlücker S. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2014**, 53(19): 4756 – 4795.
- [14] Vendrell M, Maiti K K, Dhaliwal K, Chang Y T. *Trends Biotechnol.*, **2013**, 31(4): 249.
- [15] Jun B H, Kim G, Noh M S, Kang H, Kim Y K, Cho M H, Jeong D H, Lee Y S. *Nanomedicine*, **2011**, 6(8): 1463 – 1480.
- [16] Li M, Cushing S K, Wu N Q. *Analyst*, **2015**, 140(2): 386 – 406.
- [17] Tong L M, Wei H, Zhang S P, Xu H X. *Sensors*, **2014**, 14(5): 7959 – 7973.
- [18] Zhao H Y, Jin J, Tian W J, Li R, Yu Z, Song W, Cong Q, Zhao B, Ozaki Y. *J. Mater. Chem. A*, **2015**, 3(8): 4330 – 4337.
- [19] Shi X F, Meng C, Ma L Z, Ma H K, Zhang X M, Ma J. *Spectrosc. Spect. Anal.* (史晓凤, 孟辰, 马丽珍, 马海宽, 张心敏, 马君. 光谱学与光谱分析), **2016**, 36(7): 2128 – 2133.
- [20] Zhou L J, Hu Y L, Li G K. *Anal. Chem.*, **2016**, 88(13): 6930 – 6938.
- [21] Qu L L, Li Y T, Li D W, Xue J Q, Fossey J S, Long Y T. *Analyst*, **2013**, 138(5): 1523 – 1528.
- [22] Montes – García V, Fernández – López C, Gómez B, Pérez – Juste I, García – Rfo L, Liz – Marzán L M, Pérez – Juste J, Pastoriza – Santos I. *Chem. Eur. J.*, **2014**, 20(27): 8404 – 8409.
- [23] Gu H X, Xue L, Zhang Y F, Li D W, Long Y T. *ACS Appl. Mater. Inter.*, **2015**, 7(4): 2931 – 2936.

## 2018 年《中国无机分析化学》征稿征订启事

- 技术交流的平台
- 无机分析的阵地
- 企业联系的桥梁
- 同行朋友的纽带

《中国无机分析化学》是由北京矿冶研究总院主办的无机分析化学专业性学(技)术期刊。本刊包括岩矿分析、冶金分析、材料分析、环境分析、化工分析、生物医药分析、食品分析、仪器研制、综述评论、技术交流、信息之窗等栏目。读者对象为从事无机分析化学及相关技术的广大科研人员、工程技术人员、管理人员、大专院校师生、相关公司及企事业单位。本刊也是相关图书、情报等部门必不可少的信息来源。

《中国无机分析化学》是美国“CA 千种列表”中我国化学化工类核心期刊,部分文章被 SCI 收录,《乌利希数据库》刊源,《中文科技期刊数据库》刊源,中国期刊网入网期刊,《中国科学引文数据库》刊源,《中国学术期刊》(光盘版)入编期刊,《中国核心期刊(遴选)数据库》刊源。

《中国无机分析化学》一直秉承“读者第一,作者至上,以人为本,以质为根”的办刊理念,全方位为中国无机分析化学工作者服务,促进中国无机分析化学行业的发展!

《中国无机分析化学》在国内外公开发行,双月刊,大 16 开,单价 15.00 元,全年 90.00 元。全国各地邮局发行,如有漏订的单位和读者,请直接与编辑部联系。

国内邮发代号: 80 – 377

国内统一连续出版物号: CN 11 – 6005/O6

国外发行代号: Q9045

国际标准连续出版物号: ISSN 2095 – 1035

CODEN: ZWFHAZ

京西工商广字第 0425 号

★ 欢迎投稿 欢迎订阅 广告洽谈 精诚合作

电话: 010 – 63299759

传真: 010 – 63299754

E – mail: zgwjfxhx@163.com 邮政编码: 100160

地址: 北京市南四环西路 188 号总部基地十八区 23 号楼 905

投稿网址: <http://zgwjfxhx.bgrimm.cn>