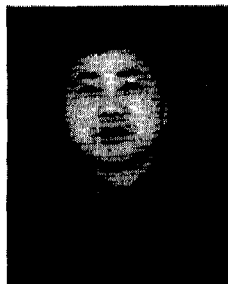


## 金属材料分析



马冲先 1984 年毕业于湖南大学化学化工系, 1988 年获机械科学研究所硕士学位。现为上海材料研究所教授级高级工程师, 硕士生导师, 检测中心标样室主任, 《理化检验 - 化学分册》杂志付主编, 《分析试验室》编委。主要从事金属材料分析方法的研究和标准物质的研制, 已在《化学学报》、《分析化学》等发表论著 30 余篇(部)。(通讯处: 上海市邯郸路 99 号 200437, 上海材料研究所检测中心)。

吴 诚 上海材料研究所教授级高级工程师, 《理化检验 - 化学分册》杂志主编, 《分析试验室》编委, 《冶金分析》荣誉编委, 中国分析仪器学会高速分析专业委员会主任委员。长期从事金属分析领域的技术与研究工作, 主编出版了《金属材料化学分析(第二分册)》、《机械工程材料测试手册(化学卷)》、《金属材料化学分析 300 问》及《高速分析

及其应用》等著作, 在各类杂志发表论文 100 余篇。(通讯处: 上海市邯郸路 99 号 200437, 上海材料研究所《理化检验 - 化学分册》编辑部)。

中图分类号: O65 文献标识码: A 文章编号: 1000-0720(2006)12-103-20

摘要: 评述了 2002 年 7 月至 2005 年 12 月期间国内在金属材料分析领域的现状及进展概况。内容包括标准和标准样品、重量分析法、滴定分析法、分光光度法和荧光光度法、催化动力学光度法、原子吸收光谱法和原子荧光光谱法、原子发射光谱法、ICP - 质谱、X - 射线荧光光谱法、气体元素的分析、电化学方法等, 涉及文献 621 篇。

关键词: 金属材料分析; 评述

作者曾在本刊评述过轻重元素的分析<sup>[A1~A2]</sup>, 吴瑞林等<sup>[A3]</sup>则撰写了本刊第一篇“金属材料分析”定期评述。本文评述了 2002 年至 2005 年间国内金属材料分析的最新进展。涉及金属材料分析的部分综述及介绍见表 1。

表 1 有关金属材料分析的综述及介绍

Tab. 1 Reviews on analysis of metallic materials

主题	作者	文献
金属中碳的分析方法综述	陈晓春等	A4
化学计量学在钨和钼同时分光光度法测定中的作用	唐本玲等	A5
原子吸收及原子荧光光谱分析	邱海鸥等	A6
原子吸收和原子荧光光谱分析	舒永红等	A7
GFAAS 法测定痕量元素中一些关键问题	周林爱	A8
2002 年云南冶金分析年评	朱利亚	A9
导数原子光谱分析技术研究进展	孙汉文	A10
等离子体原子光谱分析中溶液样品雾化进样方法的新进展	那延富等	A11
原子吸收光谱法在元素形态分析方面的应用	邓勃	A12
我国贵金属饰品成色检验进展	王烨等	A13
贵金属元素铂、铑、钯的分析进展	朱若华等	A14
双波长和多阶导数分光光度法在贵金属分析中的应用	朱利亚等	A15
催化滴定法在金属及其化合物分析中应用	何智娟等	A16
不对称变色酸双偶氮类试剂在贵金属及其合金分析中的应用与研究进展	朱利亚等	A17
杂环偶氮类试剂在贵金属分析中的应用进展	吕玲等	A18
钼的分析进展	吴辛友等	A19
辉光放电光谱分析技术在金属材料分析中的应用	赵金伟等	A20
微波消解技术及其在分析化学中的应用	周勇义等	A21

## 1 标准和标准样品

国家标准对分析化学术语重新作了修订<sup>[A22]</sup>。稀土金

属及其氧化物中非稀土杂质<sup>[A23]</sup>、锌及锌合金<sup>[A24]</sup>、镁及镁合金<sup>[A25]</sup>、锡铅焊料<sup>[A26]</sup>、锰铁及高炉锰铁<sup>[A27]</sup>、碳素钢和中

低合金钢<sup>[A28]</sup>和银合金首饰中含银量<sup>[A29]</sup>等材料的国家标准分析方法得到了修改和完善。同时颁布了一些行业标准方法,如铜铍合金<sup>[A30]</sup>、铸造轴承合金<sup>[A31]</sup>、铜及铜合金中硼<sup>[A32]</sup>、铜及铜合金的光电发射光谱法<sup>[A33]</sup>和 X 射线荧光光谱法<sup>[A34]</sup>。田玲等<sup>[A35]</sup>则介绍了国际标准 ISO5725-1,2,3 中重量法测定钢铁中硫含量的修订情况。

与方法标准一样,标准物质或标准样品在材料分析中的作用也越来越被人们所重视<sup>[A36]</sup>。一些新颖的金属材料标准物质不断问世。如系列不锈钢<sup>[A37]</sup>、含氮铸铁<sup>[A38]</sup>、高炉生铁<sup>[A39]</sup>、钛合金<sup>[A40]</sup>、5A66 铝合金<sup>[A41]</sup>、含磷铸造铝合金<sup>[A42]</sup>、铝基中间合金<sup>[A43]</sup>、铝锂合金中氢<sup>[A44]</sup>等。武荣俭<sup>[A45]</sup>通过对出现问题的分析,提出对一些含轻元素和易偏析元素的铸铁光谱样品的均匀性检验应进行必要的深度分析。柯瑞华<sup>[A46]</sup>对冶金标准物质的稳定性作了评价。魏绪俭等<sup>[A47]</sup>、马冲先等<sup>[A48]</sup>则分别探讨了仪器分析中各类标准样品的名称、作用及使用特点,并建议在研制及使用中对其进行规范化,以免误用。

## 2 重量分析法和滴定分析法

作为常量分析的有效手段,重量分析法和滴定分析法在金属材料分析中仍然占有较重要的地位,特别是近些年,我国钢产量大幅提升,与之相关的各类铁合金分析问题也愈显突出。关志中<sup>[B1]</sup>研究了快速重量法测定硅铁中硅的误差和校正问题,指出铝和碳是造成误差的主要元素,并提出了校正公式。用重铬酸钾溶解试样,经浸取、分离,

在 pH 10 时以铬黑 T 为指示剂,EDTA 络合滴定钙镁含量;再在 pH $\geq$ 12 时,以钙试剂为指示剂,EDTA 滴定钙量,差减法求得镁量,借此可测定稀土镁硅铁中的氧化镁<sup>[B2]</sup>。以 HNO<sub>3</sub>-HF 溶样, HClO<sub>4</sub> 冒烟,过量 EDTA 络合,氟化钠释放,铜标液返滴定可以测定硅铝钙钡合金中的铝<sup>[B3]</sup>。利用不同的沉淀条件和滴定条件,可以用 EDTA 分别测定铝钙包芯线中的铝和钙<sup>[B4]</sup>。古映莹等<sup>[B5]</sup>通过绘制按比例添加硫酸铁的 KMnO<sub>4</sub> 标准溶液的工作曲线,采用分光光度法测定锰锌铁氧体中的总锰含量,采用 KMnO<sub>4</sub> 标准溶液返滴定草酸钠的方法测定其中高价锰的含量,从而测得还原电子数,结合总锰含量得出其锰的平均价态。曾波等<sup>[B6]</sup>利用超声波粉碎方法进行试样预处理,应用 WFC-3 型磁选仪测定铁矿中磁性铁。利用在柠檬酸-氯化钾溶液中进行电解,氟化物均以电解残渣的形式附着于试样上,然后用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HClO<sub>4</sub> 溶解电解残渣(所有氟化物都转变成铍盐),将试样溶液转移入蒸馏瓶中,加碱蒸馏,随后用氨基磺酸标准溶液滴定,结果与非水溶液电解法吻合<sup>[B7]</sup>。采用选择性螯合滴定,用 DL-半胱氨酸释放,可以分别滴定合金样品中的铜、锡、铅、汞、钨和钽<sup>[B8]</sup>。大量锰存在将影响锌的测定,可以在 pH 1~2 时,加入过硫酸铵,煮沸使 Mn<sup>2+</sup> 转化成 MnO<sub>2</sub> 沉淀消除其干扰<sup>[B9]</sup>。郑典慧等<sup>[B10]</sup>合成了 2,7-双(5-羟基-1,3,4-三氮唑偶氮)-变色酸,并用于络合滴定法测定铜的指示剂,终点由蓝色变为橙黄色,变色敏锐,准确度高。重量法和滴定法的其他应用见表 2。

表 2 重量法和滴定法的应用

Tab. 2 The application of gravimetric and titrimetric analysis

元素	方法概要	样品	文献
Al	络合滴定,先滴定铁,再调整酸度,用硝酸铋返滴定, XO 作指示剂	铝铁合金	B11
Al	络合滴定, BF <sub>4</sub> <sup>-</sup> 置换,铜标液返滴定, 5-Br-PADAP 和 OP 或 Tween-80 作混合指示剂	Ni-Cr-Al-Y 合金粉	B12
Al	络合滴定,氟化铵释放,铜标液返滴定; PAN 作指示剂	纯铝、铝合金	B13
Al, Ca	硫酸钡沉淀分离钡, EDTA 滴定铝; 三乙醇胺和 L-半胱氨酸联合掩蔽剂, EDTA 滴定钙	硅钡合金	B14
Al, Ca	HNO <sub>3</sub> -HF 溶样, EDTA 滴定钙; CAS 光度法测铝	硅钙合金	B15
Al, Ca, Si	氟盐置换滴定法测铝; 在硫酸钡重量法测定钡后的滤液中测钙; 氟硅酸钾滴定法测硅	硅铝钡合金	B16
B	酸碱滴定, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 熔融, NaOH 标液滴定, 溴甲酚绿作指示剂	硼镁合金粉	B17
B	酸碱滴定, NaOH 标液滴定	硼铁	B18
Ba	硫酸钡重量法	硅钡钡	B19
Ba, Ca, Si	连续滴定,用三乙醇胺代替 KCN	硅钡钙合金	B20
Ba, Ca	HNO <sub>3</sub> -HF 溶样, 邻甲酚酞作指示剂, 测钡、钙含量; 另用钙试剂作指示剂, 测钙	硅铝钙钡合金	B21
Ba, Ca, Mg	硫酸钡重量法测钡; 乙二胺和三乙醇胺作掩蔽剂, 滴定法测钙; SrCl <sub>2</sub> 作释放剂, 原子吸收光度法测镁	硅钙钡镁合金	B22
Bi	HNO <sub>3</sub> -HBr-HClO <sub>4</sub> 溶样, EDTA 滴定, XO 作指示剂	易熔合金	B23

元素	方法概要	样品	文献
Co	pH 7.0 $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Ac}$ 中, 2-(四氮唑偶氮)-5-二乙氨基苯甲酸作指示剂, EDTA 直接滴定	钴基合金	B24
Cr	硫磷混合酸 - HF 溶样, 过硫酸铵氧化, 亚铁滴定	高碳铬铁	B25
Cr	氨性介质, 铬酸钡沉淀将铬与铜分离, 硫磷酸溶解, 亚铁滴定	铜铬合金	B26
Cr, Mn	同一份溶液中用亚砷酸钠 - 亚硝酸钠滴定锰; 以苯代邻氨基苯甲酸作指示剂, 用亚铁滴定铬	合金钢	B27
Hg, Pb	络合滴定, 以 PAN-6S 作指示剂, 在 pH 3.0 用 EDTA 滴定汞; 再在 pH 5-6 滴定铅	合金	B28
In	pH 2~3.5, 以 XO-MTB 作指示剂, 用铋标液返滴定 HEDTA	银铜合金等	B29
Mg	pH 10, 以铬黑 T 作指示剂, EDTA 络合滴定	铝合金	B30
Mn	以苯代邻氨基苯甲酸作指示剂, 在 $\text{HClO}_4$ 介质中用对苯二酚标液进行滴定	高锰钢	B31
Mo	pH 4.5 $\text{HAc} - \text{NaAc}$ , 以 5-Br-PADAP 为指示剂, 铜盐返滴定过量 EDTA	钼铁	B32
Mo	$\text{HCl} - \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 溶解, XO-孔雀绿作指示剂, 硝酸铋返滴定过量 EDTA	钼铁, 合金钢	B33
Pb	pH 5.5~6.0 $\text{HAc} - \text{NaAc}$ , 硫脲 - 亚铁氰化钾 - VC 混合掩蔽剂, 以 XO 作指示剂, EDTA 滴定	电子焊料	B34
Pb	$\text{HCl} - \text{HNO}_3$ 溶解, 加 NaCl 防止铅析出, pH 5.4 六胺缓冲液, 硫脲 - 邻二氮菲掩蔽剂, XO 作指示剂, EDTA 直接滴定	铅基合金	B35
Ni	紫脲酸铵作指示剂, EDTA 直接滴定	超细镍粉	B36
Si	600 °C KOH 熔融, 氟硅酸钾滴定法	铁合金	B37
Si	$\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{ZnO} - \text{KNO}_3$ 半熔剂溶样, 用聚乙二醇快速凝聚硅胶, 重量法测定	硅铁	B38
Sn	以 XO 作指示剂, 氟化钠释放, $\text{Zn}(\text{Ac})_2$ 标液回滴置换出的 EDTA	锡青铜	B39
Zn	pH 3.4~5.5, 用邻二氮菲定量解蔽锌, 用硝酸铅标液滴定置换出的 EDTA	镀锌钢板	B40

## 3 分光光度法和荧光光度法

分光光度法由于仪器简单, 操作简便, 适用范围广, 在金属材料分析中仍占据最重要的位置, 特别是在一些小实验室中更是如此。

大量新颖有机显色剂的合成、新的多元显色体系的研究, 在提高方法的灵敏度、改善选择性、增溶和稳定性等测定条件方面取得了不少进展, 表 3 列出了一些显色体系在金属材料分析中的应用情况。

表 3 分光光度法在金属材料分析中的应用

Tab.3 The application of spectrophotometry in metallic material analysis

元素	酸度介质	显色体系	$\lambda/\text{nm}$	$\epsilon/10^{-4}$	样品	文献
Al	pH 5.5 六胺缓冲液	DBN-偶氮氯膦	630	2.4	钢铁	C1
	pH 8 硼酸 - 硼砂	4,5-二溴邻硝基苯基荧光酮-OP	590	12.7	铝合金	C2
	pH 5.0 HCl	铬天青 S	545	5.3	合金钢及高温合金等	C3
	pH 6.7 $\text{HAc} - \text{NaAc}$	铬天青 S - OP	620	23.0	高纯氧化铋	C4
Ba	$\text{HNO}_3$	DBS-偶氮膦	610	3.0	硅铝钡	C5
			/620	/3.32		C6
Bi	pH 1.45~2.80	1-[(2,3,4-三羟基苯)偶氮]-4-苯甲酸-CTMAB	445	5.45	铜合金	C7
	0.36 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ - 0.60 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	DBF-偶氮氯膦	638	9.4	锡及锡合金	C8
	$\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4$	DBC-偶氮羧膦	630	20.3	铜合金	C9
	0.8~1.3 mol/L $\text{HNO}_3$	N-烯丙基-N'-(对苯磺酸钠)硫脲	365	4.10	合金	C10
Ca	pH 2.63 $\text{HAc} - \text{NaAc}$	偶氮氯膦 III-乙醇	665	3.48	工业硅	C11
Ce	pH 1.5 HCl	偶氮氯膦 III	550	2.94	球墨铸铁	C12
		三溴偶氮氯膦	628	12.0	热镀锌合金	C13

元素	酸度介质	显色体系	$\lambda/\text{nm}$	$\epsilon/10^{-4}$	样品	文献
Cr	$\text{H}_3\text{PO}_4$	DBK-偶氮胂	632	12.0	热镀锌合金	C14
		DBF-偶氮胂	624	12.0	热镀锌合金	C15
	1.7 mol/L HCl	DApHPVM-Mn(II)-NTA- $\beta$ -CD	540	229	镁合金	C16
	pH 4.0 $\text{KH}_2\text{PO}_4 - \text{K}_2\text{HPO}_4$	DBC-偶氮胂	630		高温合金、碳钢等	C17
	pH 5.9	2-(2-噻唑偶氮)-5-二甲氨基苯甲酸-CTMAB	620	12.5	钢铁	C18
	HCl - $\text{H}_3\text{PO}_4$	2-(8-噻唑偶氮)-5-二甲氨基苯甲酸	650	4.2	纯铜	C19
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	对氨基苯基荧光酮	497	2.63	钢铁	C20
	pH 3.0 HCl-NaAc	5-Br-PADAQ	580	11.0	合金钢	C21
	0.08 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	DBC-偶氮胂-OP	625	2.46	钢	C22
	pH 2.5 HCl - KCl	铬蓝黑 - R	545	14.0	钢	C23
	0.216 mol/L $\text{HNO}_3$	聚乙二醇-二苯偶氮脒肟肟萃取	545	3.0	合金钢, 铝合金	C24
	0.216 mol/L $\text{HNO}_3$	间羧基偶氮羧-SDS	560	29.0	合金钢	C25
	$\text{HNO}_3$	偶氮羧 I -SDS	510	9.8	合金钢	C25
		偶氮羧腈-mA-SDS	550	8.2	合金钢	C26
	pH 6.0 ~ 7.3	2-[3-(1H-1, 2, 4-三唑)偶氮]-5-磺甲基苯甲酸-CTMAB	550	3.75	合金	C27
Cu	HAc - NaAc	2-(5-羧基-1,3,4-三氮唑偶氮)-5-二甲氨基苯甲酸	585	5.14	镁合金, 锰黄铜	C28
	pH 3.0 HAc - NaAc	CAS-CTMAB	618	8.6	铝合金	C29
	1 mol/L NaAc	5-Br-PADAP-十二烷基硫酸钠	550	9.53	烧结矿, 钢	C30
	pH 10 ~ 12 硼砂 - NaOH	6-硝基-2-苯基噻唑重氮氨基偶氮苯	535	14.2	铝合金, 铜矿石	C31
	pH 6.98 磷酸盐	3-[苯基噻唑偶氮]-5-溴-2,6-二羟基苯甲酸-CPB	533	3.64	铝合金, 铜锰铸铁	C32
	pH 4.5 HAc - NaAc	2-(5-硝基-2-吡啶偶氮)-5-二甲氨基苯胺	550	3.24	铝合金, 矿样	C33
	0.08 mol/L HAc	对氯偶氮安替比林	630	3.2	铝合金	C34
	pH 11 硼砂 - NaOH	1-偶氮苯-3(5-氟基-2-吡啶)-三氮烯-PN-10	535	14.3	合金	C35
	pH 9.2 硼砂	茜素红 S-硼砂	540	2.00	铜合金	C36
	pH 6.0 ~ 8.5	1-(2-苯基噻唑偶氮)-2-羟基-3-萘甲酸	590	2.94	铝合金, 合金钢	C37
	$\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$	BCO-乙醛	540		纯铝	C38
	pH 10 ~ 11 硼砂-NaOH	1-(6-硝基-2-苯基噻唑)-3-(4-硝基苯)-三氮烯-Triton-100	540	11.5	铝合金	C39
	pH 5.0 HAc-NaAc	2,7-双(5-羧基-1,3,4-三氮唑偶氮)-变色酸	570	4.58	镁合金, 铝合金	C40
	pH 5.6 HAc-NaAc	2-羟基-3-羧基-5-磺基苯重氮氨基偶氮苯-Tween-80- $\beta$ -CD	518	13.0	铝合金, 铁矿	C41
	pH 9.5 ~ 11.0 硼砂-NaOH	2-羟基-5-硝基苯重氮氨基偶氮苯-Triton-100	530	12.1	铝合金, 矿	C42
	pH 5.8 ~ 7.2	D-(+)-葡萄糖缩氨基硫脲, 55 °C 水浴加热 3 min	310	10.3	铝合金	C43
	pH 4.0 HAc-NaAc	2-(四氮唑偶氮)-5-二甲氨基苯甲酸	570	4.08	镁合金, 铝合金	C44
	0.1 mol/L HCl	2-(1,3,4-三氮唑偶氮)-5-二甲氨基苯甲酸	578	4.0	镁合金, 铝合金	C45
	pH 10.0 ~ 11.7 硼砂-NaOH	2,7-双(4-安替吡啶偶氮)变色酸	590	5.1	粗铝	C46
Fe	pH 5.0 HAc - NaAc	2-四氮唑偶氮-5-二甲氨基酚	557	3.60	纯铝	C47
	pH 4.5 HAc - NaAc	邻二杂菲-OP	510		高纯硅	C48
	pH 5.7 HAc - NaAc	邻二杂菲	510		金属锑	C49
	0.007 ~ 0.011 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{SCN}^-$ -结晶紫	540	17.3	镁粉, 镁铝合金	C50
	pH 8.0 ~ 9.0 $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Cl}$	4-(2-噻唑偶氮)连苯三酚-吐温-40	620	4.30	纯铝, 铝合金	C51

元素	酸度介质	显色体系	$\lambda/\text{nm}$	$\varepsilon/10^{-4}$	样品	文献
Ga	pH 4.0 HAc-NaAc	5-Br-PADAP-OP	575	10.6	纯铝, 锌渣	C52
In	pH 5.20 HAc - NaAc	5-Cl-PADAB-CTMAB	492	12.6	铅粒, 锡箔	C53
	pH 6.0 HAc - NaAc	邻氯苯基荧光酮-CTMAB	580	22.6	合金	C54
Mo	0.12 mol/L HCl	2,4-二氯苯基荧光酮-Triton-100	530	10.1	合金钢	C55
	pH 6.8	异丙肾上腺素	377	13.8	钢	C56
	pH 4.8 HAc - NaAc	4-(2-吡啶偶氮)-邻苯三酚-CTMAB	507	3.92	合金钢	C57
	0.03 ~ 0.15 mol/L HCl	4-甲氧基苯基荧光酮-Triton-100	530	15.0	合金钢	C58
	0.6 mol/L H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2-羟基-3-甲氧基苯基荧光酮-CTMAB	525	13.4	合金钢	C59
	0.24 mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	硫氰酸钾-铜离子-VC-结晶紫-阿拉伯树胶- $\beta$ -CD	630	79.1	钢铁	C60
	0.041 ~ 0.086 mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	二甲氧基羟基苯基荧光酮	526	12.5	钢铁	C61
	0.16 mol/L H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	三甲氧基苯基荧光酮 - OP	525	13.0	钢铁	C62
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	对羧基苯基荧光酮-CTMAB	530	10.3	钢铁	C63
Nb	0.2 mol/L HCl	邻氯苯基荧光酮-吐温-40	533	18.6	合金钢	C64
	pH 4.0 HAc - NaAc	偶氮胂 III - 锌-邻二氮杂菲-阿拉伯树胶	530	10.2	钢	C65
	pH 5.5 HAc - NaAc	溴邻苯三酚红-DAM-PVA	565	13.4	合金钢	C66
Nd	2 mol/L H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2,6-二溴-4-甲基偶氮磺	634	10.0	钹铁硼	C67
Ni	pH 8.0 ~ 9.0 NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O - NH <sub>4</sub> Cl	2-(2-噻唑偶氮)-1,5-苯二酚-CTMAB	590	10.5	钢铁	C68
	pH 9.3 硼砂	1-羟基-2-(5-硝基)-2-吡啶偶氮-8-氨基-3,6-萘二磺酸	653	10.7	合金	C69
	弱酸性	5-(6-甲氧基苯并噻唑偶氮)-8-羟基噻唑	575	14.6	铝合金	C70
	pH 10.5 硼砂 - NaOH	5-(4-氯苯基偶氮)-8-苯磺酰氨基噻唑-CPC	600	19.3	合金钢	C71
	pH 10 ~ 11.5 硼砂 - NaOH	6-硝基-2-苯并噻唑重氮氨基偶氮苯-Triton-100	540	17.3	钢铁	C72
	pH 4.5 ~ 7.6 HAc - NaAc	2-[2-(6-氯苯并噻唑)偶氮]-5-二乙氨基苯甲酸-十二烷基硫酸钠	650	15.9	铝合金, 合金钢	C73
Ni	pH 9.3 硼砂 - NaOH	安替吡啶偶氮 III - OP	540	5.2	铁合金	C74
	pH 10 ~ 11.5 硼砂 - NaOH	1-(6-硝基-2-苯并噻唑)-3-(4-硝基苯)-三氮烯-Triton-100	500 /440	18.4	弹簧钢	C75
	pH 11.0 硼砂 - NaOH	2-羟基-4-磺酰氨基苯-3-(4-硝基苯)-三氮烯-Triton-100	540	11.8	合金钢	C76
	pH 10 硼砂	邻羧基苯基重氮氨基偶氮苯-SF	542	12.4	热镀锌合金	C77
	pH 10.5 硼砂 - NaOH	1-偶氮苯-3-(5-氯-2-吡啶)-三氮烯-OP	540	16.2	合金	C78
	pH 11.0 硼砂 - NaOH	1-(4-偶氮苯基)-3-(5-氯吡啶)-三氮烯-Triton-100	460 /540	14.3	铝合金	C79
	pH 4.6 ~ 10.4	1-(2-苯并噻唑偶氮)-2-羟基-3-萘甲酸	612	3.52	合金钢	C80
	pH 10.2 硼砂 - NaOH	对氯苯重氮氨基偶氮-Triton-100	540	12.5	合金	C81
	pH 10.0 硼砂 - NaOH	1-(2-羟基-5-硝基苯基)-重氮氨基偶氮苯	540	15.8	铝合金, 镁合金	C82
	pH 7.26 KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> - Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2-(3-羧基-2,4,5-三氮唑偶氮)-5-二甲氨基苯磺酸	541	2.86	铝合金, 镁	C83
	NaOH	1-吡啶-3-[4-(苯基偶氮)苯基]-三氮烯-Tween	536	9.00	铝合金	C84
	pH 4.9 HAc - NaAc	7-(苯并噻唑-2-偶氮)-8-羟基噻唑-5-磺酸-十二烷基磺酸钠	600	6.6	铝合金	C85
P	1 mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	钼酸铵 - 铋盐	700		碳化硅	C86
	HNO <sub>3</sub> - HF - 硼酸	钼酸铵 - 铋盐	690		铝硅合金	C87
	HClO <sub>4</sub>	钼酸铵 - 铋盐 - VC	700		电解锰	C88
Pb	0.6 mol/L HNO <sub>3</sub>	二溴对甲基偶氮磺	630	12.2	锡合金	C65

元素	酸度介质	显色体系	$\lambda/\text{nm}$	$\epsilon/10^{-4}$	样品	文献
RE	0.6 mol/L $\text{HNO}_3$	二溴对甲基偶氮磺	630	12.2	低合金钢	C66
	0.6 mol/L $\text{HNO}_3$	二溴对甲基偶氮磺	630	9.05	铝合金	C91
	0.4 mol/L $\text{HNO}_3$	二溴对甲基偶氮磺	630	10.7	锌合金	C92
	0.44 ~ 0.87 mol/L $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$	偶氮氯膦Ⅲ	672	1.76	稀土镁合金	C93
		偶氮氯膦-mK-吐温-80	668	9.1	低合金钢	C94
Rh	1.44 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	DBN-偶氮氯膦	628	12.9	铸铁	C95
		钨酸盐-耐尔蓝-PVA	580	1000	催化剂, 冶金产品	C96
		孔雀绿	635	8.75	粗钢	C97
Sb	0.04 ~ 0.18 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	5-硝基水杨基荧光酮-OP	518	10.0	铜合金	C98
	HCl	孔雀绿-苯萃取	635	238	锡铈箔	C99
Si	HCl-草酸	硼氢化钾还原硅钼黄	810	2.0	钢铁	C100
	0.18 mol/L HCl	硫酸亚铁铵还原硅钼黄	730	1.41	二氧化碲	C101
Sn	0.4 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	2-羟基-3-甲氧基苯基荧光酮-CTMAB	523.5	12.5	纯铜	C102
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	3-甲氧基苯基荧光酮-吐温-40	510	14.8	铝合金, 碳素钢	C103
	HCl - $\text{H}_2\text{SO}_4$	二溴羟基苯基荧光酮-Triton-100	515	14.8	热镀锌合金	C104
	0.4 ~ 0.6 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	二溴羟基苯基荧光酮-OP	510	12.0	碳钢, 低合金钢	C105
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	二甲氧基苯基荧光酮-Triton-100	510	11.7	碳钢, 铝合金	C106
Sr	pH 8.7 $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Cl}$	邻羟基苯基重氮氨基偶氮苯-十二烷基磺酸钠	526	13.0	铝合金, 试剂	C107
	0.72 mol/L HCl	二溴对甲基偶氮磺	633	7.7	铝合金	C108
Ti	0.012 ~ 0.020 mol/L HCl	5-硝基-水杨基荧光酮-CTMAB	599	13.6	合金钢	C109
	0.10 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	3,5-二溴水杨基荧光酮-吐温-80	539.2	27.6	合金钢	C110
	HCl	二安替比林甲烷	390	1.54	工业硅	C111
	HCl	间硝基苯基荧光酮-吐温-60-PVA	541	13.7	合金钢	C112
	0.004 ~ 0.016 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	4,5-二溴邻-硝基苯基荧光酮-十二烷基磺酸钠	568	9.5	合金钢, 稀土精矿	C113
V	0.30 mol/L HCl	偶氮氯膦Ⅲ	690	14.7	钢铁, 铁粉	C114
	pH 9.0 $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Cl}$	甲基百里香酚蓝	602	1.6	镍基合金, 铝基合金	C115
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	邻氟苯基荧光酮-柠檬酸钠	570	19.3	钢铁, 发样	C116
	0.05 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	2-羟基-3-甲氧基苯基荧光酮-OP	536	19.0	钢铁	C117
	pH 2 ~ 4 HCl	钛铁试剂 - VC	390	2.22	硅铁	C118
	0.02 ~ 0.11 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	2,4-二氯苯基荧光酮-Tween-40	542	2.10	钢铁	C119
	pH 2.0 HCl	2-(1,3,4-三氮唑偶氮)-5-二乙氨基苯甲酸	571		铝合金	C120
	pH 3.5 柠檬酸 - NaOH	2-(2-噻唑偶氮)-5-二甲氨基酚-CTMAB	580	11.2	合金	C121
	pH 3.5 柠檬酸 - NaOH	2-(2-噻唑偶氮)-4-甲基-1,3-二羟基苯-CTMAB	552	8.05	合金	C122
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	5-Br-PADAP- $\text{H}_2\text{O}_2$	595		碳素钢, 低合金钢	C123
V	$\text{H}_3\text{PO}_4$	二安替比林-(O-羟基)苯基甲烷-吐温-60	480	99.6	钢铁	C124
	pH 3.5 柠檬酸-NaOH	2-(2-噻唑偶氮)-1,3-二羟基苯-CTMAB	550	7.79	合金钢	C125
	pH 3.6 $\text{HAc} - \text{NaAc}$	2-(5-羧基-1,3,4-三氮唑偶氮)-5-二乙氨基苯甲酸	583	4.06	铝合金	C126
	pH 3.5 $\text{HAc} - \text{NaAc}$	2-(四氮唑偶氮)-5-二乙氨基苯甲酸	566	3.52	铝合金	C127
	1.3 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	3,5-二溴-PADAP- $\text{H}_2\text{O}_2$	600			C128
W	0.32 mol/L HCl	3,5-二溴-4-偶氮间苯二酚基荧光酮-Triton-100-OP	538	29.2	合金钢	C129
	0.6 mol/L HCl	2,3,7-三羟基-9-(3,5-二氯-4-羟基)-苯基荧光酮-CTMAB	536	12.8	钢铁	C130
	0.4 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	2,3,7-三羟基-9-(4,5-二溴-邻硝基)苯基荧光酮-CTMAB	547	56.4	钢铁	C131

元素	酸度介质	显色体系	$\lambda/\text{nm}$	$\epsilon/10^{-4}$	样品	文献
Zn	pH 10.14	2-苯并噻唑-3-(4-硝基苯)-三氮烯-CTMAB	528	27	铝合金, 合金钢	C132
	pH 9.5	1,5-二(2-羟基-5-氯苯)-3-氰基甲脒-Triton-100	645	3.0	铝合金	C133
	$\text{NH}_3\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Cl}$	5-Br-PADAP-CTMAB	555	13.7	铝合金	C134
	pH 8.5 碱性介质	4,5-二溴邻硝基苯基荧光酮	595	6.87	铁矿石	C135
	pH 8.0 碱性介质	2,3,7-三羟基-9-(4,5-二氯-4-羟基)苯基荧光酮-Tween-80	539	17.2	铝合金	C136
Zr	1.92 mol/L HCl	2-(肿酸基苯偶氮)-7-(2,6-二碘-4-硝基苯偶氮)-1,8-二羟基-3,6-萘二磺酸	633	4.37	合金钢	C137

除了显色体系研究外,一些新的技术也被用于分光光度法研究中。如微乳液分光光度法<sup>[C138-C145]</sup>、树脂相分光光度法<sup>[C1-C7]</sup>、人工神经网络光度法<sup>[C146-C152]</sup>、流动注射光度法<sup>[C153-C156]</sup>、双波长和三波长光度法<sup>[C157-C164]</sup>。刘晓英等还探讨了在单波长光度计上进行双波长光度法测定时的光度误差<sup>[C165]</sup>,紫外、近红外光度法也用于金属材料测定<sup>[C166-C167]</sup>。计算光度法、正交试验设计法、同时光度法、褪色光度法等也得到研究<sup>[C168-C173]</sup>。谢治民等<sup>[C174]</sup>在磷酸介质中,利用二安替比林苯甲烷与过硫酸铵生成一橙色物质,

微量铜能使显色产物的吸光度降低且在一定范围内成正比比例,据此建立了铝合金中痕量铜的测定方法,  $\epsilon = 5.35 \times 10^6$ 。用重铬酸钾溶液振荡溶解,过滤后可用偶氮氯膦 I 光度法测定稀土镁硅铁合金中的氧化镁<sup>[C175]</sup>。利用二苯基碳酰二肼光度法可以测定镀锌层中的铬<sup>[C176]</sup>。

催化动力学光度法也是光度法研究中的热点之一,它们所具有的极高灵敏度和很低的检出限,对于金属材料中痕量元素的研究具有意义。表 4 是催化动力学光度法在金属材料分析中的一些应用。

表 4 催化动力学光度法的应用  
Tab. 4 The application of catalytic spectrophotometry

元素	酸度	显色体系	$\lambda/\text{nm}$	方法检出限 /(g/mL)	样品	文献
Co	$\text{HNO}_3$	甲基紫 - $\text{H}_2\text{O}_2$ , 95 °C 水浴加热 8 min	580	$2.53 \times 10^{-11}$	合金钢	C177
Cr	pH 5.5 六胺 - HCl	酸性铬蓝 K- $\text{H}_2\text{O}_2$ , 60 °C 水浴加热 10 min	523	$1.3 \times 10^{-12}$	钢铁	C178
	0.45 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	罗丹明 6G-邻二氮杂菲, 90 °C 水浴加热 15 min	530	$3.34 \times 10^{-8}$	钢铁	C179
Cr/Mn	$\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4$	培花青, 30 °C 水浴加热 5 min	530		钢铁	C180
Cu	pH 5.0 HAc - NaAc	偶氮胂 III- $\text{H}_2\text{O}_2$ , 80 °C 水浴加热 10 min	540	$2.1 \times 10^{-9}$	钢铁	C181
	0.006 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	3-甲基-4-氨基-4'-硝基偶氮苯-VC, 沸水浴加热 8 min	500	$4.8 \times 10^{-8}$	铝合金	C182
	0.15 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	过硫酸铵-Mn(II), 沸水加热 2 min	525	$3.56 \times 10^{-5}$	铜, 铜合金	C183
Ir	0.002 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	甲基橙- $\text{KIO}_4$ , 90 °C 水浴加热 11 min	500	$7.4 \times 10^{-9}$	冶金产品	C184
	0.02 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	甲苯胺蓝- $\text{KIO}_4$ , 90 °C 水浴加热 10 min	660	$6.89 \times 10^{-9}$	冶金产品	C185
Mn	0.032 mol/L NaAc	氨三乙酸-硫酸-N-十二烷基二甲基氨基乙酸- $\text{KIO}_4$ , 85 °C 水浴加热 6 min, 加 KCNS 中止反应	600	$7.5 \times 10^{-11}$	铝合金, 自来水	C186
Ni	pH 5.0 六胺 - HCl	罗丹明 B- $\text{H}_2\text{O}_2$ -OP, 80 °C 水浴加热 8 min	550		FeNiCr 合金	C187
	0.03 mol/L NaOH	$\text{H}_2\text{O}_2$ - $\text{Co}^{2+}$ -邻联甲苯胺, 沸水浴加热 2 min, Ni 阻抑催化反应	370	$4.1 \times 10^{-13}$	铝合金, 自来水	C188
Ru	0.48 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{KIO}_4$ -偶氮胂 I, 90 °C 水浴加热 10 min	500	$3.47 \times 10^{-13}$	冶金产品, 矿石	C189
	0.36 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{KIO}_4$ -甲苯胺蓝, 90 °C 水浴加热 14 min	660	$5.53 \times 10^{-14}$	冶金产品, 矿石	C190
	0.32 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{KIO}_4$ -派罗宁 GS, 72 °C 水浴加热 7 min	550	$1.66 \times 10^{-15}$	冶金产品, 岩矿	C191
	0.24 mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{KIO}_4$ -变色酸 2R, 93 °C 水浴加热 12 min	520	$8.24 \times 10^{-11}$	冶金产品, 岩矿	C192
V	0.36 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{KIO}_4$ -柠檬酸-偶氮胂 III, 80 °C 水浴加热 10 min	530	$7.8 \times 10^{-11}$	钢铁	C193
	0.225 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{KBrO}_3$ -柠檬酸-偶氮氯膦 mA, 80 °C 水浴加热 10 min	530	$5.6 \times 10^{-11}$	钢铁	C194

荧光光度法,特别是多元体系的荧光猝灭法在金属材料中痕量元素的测定方面也得到广泛研究。李晓阳等<sup>[195]</sup>合成了 5-(4-磺酸钠苯基偶氮)-8-(对-甲苯磺酰氨基)喹啉,并研究了在 CTMAB 存在下与铜的荧光反应,可应用于粗铅和合金中铜的测定。在 pH 5.0~6.0 HAc-NaAc 介质中,氨基乙酸邻苯甲酸-溴化十六烷基吡啶荧光猝灭体系测定铝合金中痕量铜<sup>[196]</sup>,  $\epsilon = 5.56 \times 10^4$ ; 在 pH 5.26 HAc-NaAc 介质中,邻氟苯基荧光酮-CTMAB-酒石酸钠荧光猝灭法测定金属铝和人发中痕量铜,检出限达  $0.8 \mu\text{g/L}$ <sup>[197]</sup>; 在 pH 7.5 的三乙醇胺-HCl 缓冲介质中,有 CTMAB 和乙醇存在下,铜与二甲氧基羟基苯基荧光酮也发生荧光猝灭反应,室温下 10 min 反应完全,避光放置 12 h 荧光强度和猝灭值  $\Delta F$  不变,经疏基棉分离富集后,可用于钢铁、茶叶和人发等试样中微量铜的测定<sup>[198]</sup>。该试剂同样适用于荧光猝灭法测定合金钢中钼<sup>[199]</sup>。利用各种表面活性剂对稀土-桑色素的荧光反应具有增敏作用,建立了钇-桑色素-SLS 荧光反应体系测定混合稀土氧化物中钇的新方法,方法检出限达  $0.01 \mu\text{g/L}$ <sup>[200]</sup>。在稀盐酸溶液中,硒(IV)与碘化钾反应生成碘分子,再与吖啶红反应,使其发生荧光猝灭反应,借此可以测定金属锰中痕量硒<sup>[201]</sup>; 而钛(IV)-邻氟苯基荧光酮-CTMAB-柠檬酸钠多元体系荧光猝灭法则用于钢铁和人发试样中痕量钛的测定,检出限达  $0.4 \mu\text{g/L}$ <sup>[202]</sup>。

此外,傅俊红等<sup>[203]</sup>将原子吸收光谱仪的空心阴极灯改换成连续光谱,燃烧器换成吸收池,研究了铝与铬天青 S 的显色反应,并用于铝锅中铝的测定。张小燕等<sup>[204]</sup>则根据微量  $\text{Cr}^{3+}$  在 Luminol- $\text{H}_2\text{O}_2$  体系化学发光反应过程中的作用,建立了钛合金中痕量铬的直接测定,检出限达  $1 \times 10^{-10} \text{ g/mL}$ 。

#### 4 原子吸收光谱法和原子荧光光谱法

原子吸收光谱法(AAS)是金属材料分析中的重要测试手段,特别是在材料中痕量元素的分析方面更具有选择性

好、分析速度快等诸多优点。刘克玲<sup>[191]</sup>对此作了较全面的综述。人工神经网络-BP 神经网络也被应用于光谱分析中<sup>[192]</sup>。

原子吸收光谱法的应用研究多倾向于采用合适的基体匹配<sup>[193、194、195、196]</sup>及寻求合适的基体改进剂,如  $\text{SrCl}_2$ <sup>[197、198、199]</sup>、 $\text{MgCl}_2$ <sup>[200]</sup>、 $\text{CaCl}_2$ <sup>[201]</sup>、 $\text{CsCl}$ <sup>[202]</sup>、钼盐<sup>[203、204、205]</sup>等。以 OP 为增敏剂,  $\text{SrCl}_2$  为释放剂,标准加入法消除基体干扰,用 AAS 测定金属镁中痕量钙,检出限可达  $0.015 \text{ mg/L}$ <sup>[206]</sup>。尹跃群<sup>[207]</sup>采用混合增感剂十二烷基硫酸钠和苯二甲酸氢钠消除基体的干扰,实行了钢铁中铜、铬、锰的连续测定。薛光荣<sup>[208-210]</sup>采用偏硼酸锂和柠檬酸来消除铅、锌、钡等元素的干扰,借以用氧化亚氮-乙炔火焰测定高温钛合金中硅。用王水-HF 微波消解,加硼酸络合多余的 HF 后,用 AAS 可以测定钢中全铝<sup>[211]</sup>。采用铈的 206.8 nm 次灵敏线,可以消除基体铅的干扰,快速测定铅粉中痕量铁、铜、铈和钙<sup>[212]</sup>。测定锌粉中痕量铅时,采用铅的次灵敏线(283.3 nm),可以避免在灵敏线(217.0 nm)测定时基体锌(213.9 nm)的光谱干扰<sup>[213]</sup>。闻莺等<sup>[214]</sup>采用钨涂层石墨管和 KF 作基体改进剂,双重手段阻止碳化硅的生成,解决了石墨炉测硅时生成的碳化硅干扰准确测定的难题,检出限为  $5.8 \mu\text{g/L}$ 。张宝莲等<sup>[215]</sup>研究了 4 种石墨管对测定钛的影响,在热解石墨管、碳化钨和碳化钼涂层处理石墨管、平台石墨管及标准石墨管中,以热解石墨涂层管测钛为最佳,灵敏度高,记忆效应小。赵乃福等<sup>[216]</sup>应用最优化设计实验条件,最大限度地提高了锌的分析灵敏性,并通过方差分析,揭示了石墨炉各参数与吸光度的内在规律。

氢化物发生-原子荧光光谱法在测定高纯金属和合金中砷、锑、铋、铅、锡等痕量杂质元素显示了卓越性能,是非常有效的测试手段。

原子吸收光谱法和原子荧光光谱法在金属材料测试中的应用实例见表 5。

表 5 原子吸收光谱法和原子荧光光谱法的应用

Tab. 5 The application of AAS and AFS

测定元素	样品	测定方法	文献	测定元素	样品	测定方法	文献
Ag	铈	AAS	D3	Ni	钢铁	AAS	D35
	黑铜		D4		硅	GFAAS	D36
Al	钢	GFAAS	D5	Pb	铅锭	AAS	D37
Al	铅钙锡铝合金		D6		高纯镍	GFAAS	D38
As	铋	AAS	D7	高铋物料	钢	AAS	D39
	高纯镍		D8~D9		钢及钢合金		D40
Bi/Sb	纯铅	AAS	D10	Ph/Zn	电解锰	AAS	D41
Bi/Fe/Pb	纯铜		D11		高纯镍		D42
Ca	铁氧体永磁材料	AAS	D12	Sb	高纯镍	AAS	D43
	镁		D13		热镀锌		D44
	铅钙合金		D14		锡基焊料		D45



测定元素	样品	测定方法	文献	测定元素	样品	测定方法	文献
Ca/Sn	铅钙锡铝合金		D15		粗杂铜		D46
Ca/Cu/Fe/Sb	铅粉		D16		电解铜		D47
Cd	电解铅		D17	Sb/Sn	电解铜		D48
Cd/Sb	高纯铜	GFAAS	D18	Sn	铝基轴承合金		D49
Cd/Cu/Fe/Pb	铋及氧化铋	AAS	D19	Si	高温钛合金	N <sub>2</sub> O - AAS	D50
Ce	钢	N <sub>2</sub> O - AAS	D20		镍基高温合金		D51
Co	膨胀合金		D21		高纯阴极铜	GFAAS	D52
	硅铁合金	GFAAS	D22	Sr	铝合金	AAS	D53
Co/Li	锂电池正极材料	AAS	D23	Ti	不锈钢	N <sub>2</sub> O - AAS	D54
Cr/Cu/Mn	钢铁		D24		合金钢等	GFAAS	D55
Cu/Pb	铝及铝合金		D25	Tl	粗钢	AAS	D56
Cu/Fe/Zn	焊锡		D26		精钢		D57
Cu/Fe/Pb	氧化铋		D27	Zn	生铁		D58
Cu/Mn/Ni	硅		D28	As	铜及铜合金	HG - AFS	D59
Fe	粗铅		D29	Bi	镍基高温合金		D60
	铝基合金		D30		高纯铅		D61
Fe/Ni/Pb	锌粉		D31	Cd, Cu 等	高纯锌		D62
Hg	锌	HG - AAS	D32	Sb	锌合金		D63
Mn	高铬铸铁	AAS	D33	Se	纯铋		D64
K/Ni	钨及钨化合物		D34	Sn	铁矿石		D65

## 5 原子发射光谱法

电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP - AES)可以说是金属材料分析中发展最快的测试手段之一,由于其具有选择性好,适用范围广,多元素同时测定,动态范围宽等众多优点,而得到越来越广泛的应用。采用 CID 或 CCD 检测器的全谱 ICP - AES 也发展得很快<sup>[E14, E18, E25, E46, E47, E64, E97]</sup>。ICP - AES 方法研究的重点在于试样的分解和干扰的消除。因此微波溶样<sup>[E5, E8, E17, E82, E86]</sup>、精选分析谱线、基体分离或基体匹配法就被广泛采用。消除干扰的诸多方法,如内标元素校正法<sup>[E15, E19, E25, E42, E51, E54, E56, E58, E68]</sup>可以消除溶液进样的物理化学干扰和仪器漂移,其他如干扰系数法<sup>[E16, E65]</sup>、标准加入法<sup>[E17]</sup>、离峰扣背景<sup>[E28, E84]</sup>、同步背景校正技术<sup>[E65, E67]</sup>、多组分光谱拟合法(MSF)<sup>[E33, E74]</sup>也都得到应用。

秦侠等<sup>[E98]</sup>还研究了基于小波变换的卡尔曼滤波法的光谱干扰校正方法。

宋武元等<sup>[E96]</sup>使用新型氢化物发生喇叭口 II 型同心雾化器代替 Meinhard 同心雾化器,溶液雾化成为气溶胶和氢化物发生反应生成氢化物气体就可以在雾化系统中同时进行,选用 L-巯基丙氨酸和硫脲作为基体铜的掩蔽剂,无需分离基体铜,用 ICP - AES 法同时测定了纯铜样品试液中的氢化物和非氢化物元素(As、Bi、Sb、Sn、Se、Te 和 Pb、Si、P、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、Co、Cd、Ag)。此外,无机酸对 ICP - AES 分析结果的影响<sup>[E99]</sup>、浆液雾化进样问题<sup>[E100]</sup>、进样系统中乙酸溶液的雾化特性<sup>[E101]</sup>以及高盐样品时雾化器堵塞<sup>[E102]</sup>等问题都得到了研究。表 6 是 ICP - AES 在金属材料中的应用情况。

表 6 ICP - AES 在金属材料中的应用

Tab. 6 The application of ICP - AES in metallic material analysis

样品	测定元素	文献	样品	测定元素	文献
金属铁粉	Mn, Cr, Ni, Cu, Mo, V, Al, Ti, Zn, Cd, Co, Ca, Mg, As, Pb	E1	铝及铝合金	Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn, Ti 等 7 个元素	E44
改性铁	Si, Mn, P, Ni, Cr, Cu 等 16 个元素	E2	铸造铝合金	Si, Fe, Cu, As, Pb, Sb 等 23 个元素	E45
铸铁	Si, Mn, P, Cu	E3		Ca	E46
生铁	Mn, Si	E89	电解锌	Al, Pb, Cu, Cd, Fe, Sn	E94
钢	V, Ti	E4	铸造锌合金	Al, Mg, Cu, Cd, Fe, Pb, Sn	E47
	总铝	E5	铜	Al, As, Cd, Cu, Fe, Pb, Sn, Tl	E95
	Sn	E6 ~ 7	金属镁	Fe, Si, Mn, Al, Cu, Ni	E48
	P	E8	镁板	Al, Zn, Mn, Fe, Ni, Cu, Si, Be	E49
	La, Ce, Pr, Nd	E9	镁合金	Zr, Fe, Ni	E50
普碳钢	Si, Mn, P	E10		Zn, Mn, Zr, Ce	E51

样品	测定元素	文献	样品	测定元素	文献
碳钢及中低合金钢	Ti	E11	稀土镁合金	Al, Zn, Mn, Si, Fe, Cu, Ni, Be, Zr	E52
	As, Sn, Pb, Sb, Bi	E13		Nd, Zn, Zr, Fe, Si	E53
低合金钢	Ca	E12	焊锡	Ce, Mg, Ca, Mn, Fe	E54
	Zr, Nb	E14 ~ 15		P, Fe, As, In, Sb, Au, Pb, Bi, Cu, Al, Ni, Zn, Cd	E55
不锈钢	Cr, Ni, Ti, Si, Mn, P, Cu, Mo	E16	铅锡焊料	Cu, Fe, Bi	E56
合金钢	Cu, Mn, Mo	E17	铅锡焊料	Cu, Fe, Cd, Zn, Al, Bi	E57
高合金钢	主要合金元素	E18	钛基复合材料	Ni, Nd, Fe	E58
镍基高温合金	Al, B, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hf, La, Mg, Mo, Nb, Ta, Ti, W, Zr	E19	钛合金	Al, V, Mo, Fe, Zr	E59
	Al, Ca, Fe, P, Ti, Cu, Zn, Mg, Mn, Ni 等 10 个元素	E20	硅铁	Mn, P, Al, Ca, Cr, Ni, Cu	E60
金属硅	P	E21	稀土(镁)硅铁	La(398.852 nm), Ce(393.109 nm)	E61
	Al, Ca, Fe, Mn, P, Cr, B 等 13 种元素	E22	锰铁	P(178.287 nm), Si(251.612 nm)	E62
	Al, Fe, Ti, Ca, Cu, As, Pb 等 23 种元素	E96	钼铁	Sn, Sb, Si, Cu	E63
	Al, Mg, Si, Mn, P, Fe, Co, Cu, Zn, Cd	E23		Sn, Sb	E64
高纯铋	Cu, Fe, Pb, As, Te, Sb, Zn, Ag	E24		Sn, Sb, Cu, Si, Mo	E65
高纯金	Ag, Bi, Ni, Pb, Si, Co, Cr, Cu, Cd, Ba, Li	E25	铌铁	Ta, Ti	E66
纯金	Ag, Cu, Fe, Pb, Sb, Bi, Pd 等 10 个元素	E26	钛铁	V, Sn	E67
	Mg, Sn	E27	硅铬合金	Al, Mn	E68
高纯碲	Fe, Cu, Al, Na, Mg, Se, Si, As, Bi, Pb, Sb	E28	硅锆合金	Sr, Ca, Al	E69
	Ca, Ce, Ti	E92	铝锰合金	Mn, Al, Si, Cu	E70
	Al, As, Cu, Fe, Mg, Na, Pb, S, Se, Si	E93	铝硅合金	Cr, Cd, Sn, Ba, Mn, Fe, Zn, Ti, Cu, Co, Ni, Mg	E71
	Bi, Fe, Pb, Cu, Sb	E29	硅铝铁合金	Al, Fe, Mn, Si, Ca, Cr, Ni, Ti	E72 ~ 73
纯银	Cu, Fe, Pb, Sb, Bi, Pd, Se, Te, Zn	E91	硅铝钨钙合金	Ba, Sr, Ca, Al, Mn, P	E74
金属钯	Ag, Al, As, Au, Ca, Co, Cr, Bi	E30	硅铝钙锶钨合金	Ca, Sr, Ba	E75
铱化合物	Pt, Pd, Al, Ba, Au, Ru, Rh	E31	钒氮合金	Si, Mn, P, Cr, Ni, Cu, Al	E76
高纯铜	P(213.618)	E32	稀土金属	Ti, Mo, W, Nb, Ta	E77
	As, Sb, Bi, Fe, Pb, Sn, Ni, Zn	E33	铯	Ta	E78
	As, Bi, Cd, Se, Fe, Pb, Zn, Al, Ag, Sb 等	E34	铍	Fe, Li, Mo	E79
	Pb, Fe, Bi, Sb, As, Sn, Ni, Zn, P, S, Ag, Se, Te, Si, Mn, Cr	E35	铁铍合金	Ho, Er, Tb, Tm, Cu, Mo, Nb	E80
纯铜	As, Bi, Sb, Sn, Se, Te, Pb, Si, P, Cr, Mn, Fe, Ni, Zr, Co, Cd, Ag	E36	铍锆合金	Dy, Gd, La, Sm, Ce	E81
电解铜	Mg, Al, Fe, Sb, Zn, Ag, Pb, Bi, Cr, Ni, Cd, Sn, Mn, As, Te, Se	E37	氧化铍	La, Ce, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y	E82
粗铜	Sb, Bi, Pb	E38	纳米氧化钇	Ca, Si, Mg, Al, Zn, Cu, Ni	E83
黄铜	Pb, Fe, Bi, Ni, Al, Sb	E39	纳米 TiO <sub>2</sub>	Ga, In, Tl	E90
铜合金	P, Bi, Ni, Fe, Sb, S, Pb	E40	钦铁硼	Nd, Fe, B	E84
铝	Si, Fe, Cu, Ga, Mg, Zn, Mn, Ti	E41	炼钢孕育剂	Ba	E85 ~ 86
铝合金	Sc(361.384)	E42	镀锌彩板镀层	Al, Zn, Si, Mg, La, Ce	E87 ~ 88
铝合金	B	E43			

相比 ICP-AES, 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS) 由于其极好的分辨率和很低的检出限, 在高纯材料和稀土元素分析方面更显示出其卓越性能, 详见表 7。李金英等<sup>[E103]</sup>

评述了 ICP-MS 的最新进展。激光烧蚀进样 ICP-MS<sup>[E104]</sup>、激光诱导 ICP-MS<sup>[E105]</sup> 以及高效液相色谱与 ICP-MS 的联用技术<sup>[E106]</sup> 也得到了研究。

表 7 ICP-MS 在金属材料中的应用

Tab. 7 The application of ICP-MS in metallic material analysis

样品	分析元素	检出限	文献
纯铜、纯镍	P	0.54 ng/mL	E107
纯镍	As, Sb, Bi, Se, Te, Sn	0.0071 ~ 0.030 ng/mL	E108
高纯铋	Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Al, Ti, Co, Mg, Ag, Sb, Sn, Cd, Pb	0.1 ~ 4.7 ng/mL	E109
高纯镉	Cu, Zn, Pb, Fe		E110
金属铝	Cu, Ti, Zn, Mn, Co	< 1.5 ng/mL	E111
铅及氧化铅	Au	10 <sup>-9</sup> g/g	E112
铟	Cu, Pb, Zn, Fe, Ni, Mn, Cd		E113
银铈	Pd, Te		E114
高纯镓	Fe, Cu, Pb, In, Ni, Al, Sn, Zn	0.001 ~ 0.01 ng/mL	E115
高纯钽铌及其化合物	Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, Hf, W, Pb, Bi	0.005 ~ 0.2 μg/g	E116
铜锌合金	Mg, Al, Ti, Cr, Mn, Ni, Cd, In, Sn, Sb, Ti, Pb, Bi		E117
钢	V, Ce, Ti		E118
高温合金	Ag	0.000003%	E119
稀土矿石合金及碳酸稀土	Th	0.009 ng/mL	E120
高纯氧化铈	14 个稀土元素	0.003 ~ 0.10 μg/g	E121
高纯金属钐	14 个稀土元素及 Mg, Al, Ni, Cu, Mn, Cr, Ti, Mo, Zn, Co, Fe	0.012 ~ 83 μg/L	E122
高纯金属钕	14 个稀土元素及 Li, Mg, Al, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Ba, Ti, V, Cr, Mo, Ti, Pb, Bi	0.0023 ~ 0.67 μg/g	E123
高纯金属铈	除 Tm, Lu 外其他稀土及 Mo, Mg, Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu	0.12 ~ 5.0 μg/g	E124
高纯金属钹	14 个稀土元素	0.03 ~ 0.3 μg/g	E125
35CrMoA	P, Si, Ni, Mo, Cu, V, Cr, Mn		E126

为适应材料快速分析的需要, 原子发射光谱, 特别是火花源光电直读光谱仪在金属材料分析中得到了飞速发展。随着仪器技术水平的不断提高, 基于 SSE/PIES 评估技术<sup>[F1]</sup>、分步积分试验<sup>[F2]</sup>、人工神经网络<sup>[F3]</sup>或脉冲分布分析(PDA)法<sup>[F4]</sup>等都可以实现钢中酸溶铝的测定。利用电流控制光源(CCS)与时间分辨光谱技术(TRS)还可以测定低合金钢中痕量砷、锑、铋、锡和铅<sup>[F7~F8]</sup>。光电直读光谱法在测定碳、硫、氮等气体元素也得到了改善<sup>[F9~F11, F18, F20]</sup>, 金献忠等还评估了测定碳时的不确定度<sup>[F34]</sup>。定期使用漂移校准试样, 有利于提高光电直读光谱分析结果的准确性<sup>[F38]</sup>。另外随着对夹具的研究<sup>[F35]</sup>, 一些特殊规格的试样, 如 Φ6.5 mm 钢筋、薄板、薄带等也可使用光电直读光谱法加以测定。栗智等<sup>[F36]</sup>介绍了铁基线材、高铬铸铁和高锰钢等 3 种钢铁的光电光谱测定方法。

除了火花源光电直读光谱, 直流电弧激发摄谱的原子发射光谱法在某些纯金属中痕量元素的分析方面仍有独到之处<sup>[F33, F37]</sup>, 刘伟等<sup>[F37]</sup>研究了钨中 Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Au、Ag、Cu、Fe、Co、Ni、Cr、Mo、Mn、Mg、Al、Pb、Zn、Bi、

Si、Ca 等 21 个杂质元素的测定方法。火花源直读光谱的应用见表 8。

## 6 X-射线荧光光谱法(X-RFS)

XRFS 是金属材料分析的重要方法, 随着科学技术的进步和化学计量学的运用, 此方法的应用日趋广泛和深入。在本文评述的时段的工作中, 主要的成果在多元素(包括主要组分及杂质)的同时测定、制样方法的研究及金、银、铂等贵金属饰品的分析。为解决低合金钢中酸溶铝的测定, 也提出了建立 ANN-BP 网络模型, 输入总铝量可直接预测其酸溶铝的含量。相关内容及文献见表 9。

## 7 金属材料中气体元素的分析

金属材料中经常要分析的气体元素主要是碳、硫、氧、氮和氢。高频感应炉直接燃烧—红外线吸收光谱法应用于测定钢铁及其他金属材料中的碳、硫含量已十分普遍。这方面的工作主要是集中在对一些特殊的试样试验建立其最佳燃烧条件和在低碳、低硫测定中空白值的降低问题。徐建平<sup>[H17]</sup>选择 182.034 nm 和 180.734 nm 两条谱线, 使用基准物绘制工作曲线, 实现了钢中硫的 ICP-AES 测定, 准确

度可与硫酸钡重量法相媲美。在钢及其他金属材料中氧、氮和氢的测定中,主要采用仪器分析手段,建立针对一些特殊样品或特殊要求的测定条件和方法。朱跃进<sup>[129]</sup>采用自行设计的五元浴,有效地解决了惰气熔融法测定固体材

料中氧、氮时遇到的诸多问题。马爱方则用火花源发射光谱仪测定了钢中氧<sup>[128]</sup>。金属材料中气体元素的分析详见表 10。

表 8 火花源直读光谱的应用

Tab.8 The application of OES in metallic material analysis

样品	测定元素	文献	样品	测定元素	文献
低合金钢	Als	F1 ~ F5	不锈钢	N	F20
	C, Mn, Si, P, S	F6		C, S, Si, Mn, P, Cr, Ni, Cu	F21
钢	As, Sb, Sn, Bi, Pb	F7 ~ F8	铬不锈钢	Al, C, Co, Cr, Mn, Mo, Ni, P, S, Si, Ti, V, W	F22
	C	F9	球铁	C, S, Mn, Si, P, Mo, Cr, Ni, Mg, RE	F23
	S	F10	生铁	Ti	F24
	N	F11	铝合金	Si, Mn, P	F25
	Ca	F12 ~ F13		Cu	F26
	Nb	F14		Sr, Ca	F27
	Sn	F15		Si, Cu, Fe, Mn, Mg, Zn, Pb, Sn, Ni	F28
	ΣRE	F16	镁合金	Al, Zn, Cu, Si, Fe, Mn, Be	F29
	La, Ce	F17	铅锡轴承合金	Sb, Sn, Cu, Zn, Fe, As, Bi	F30
硅钢	C, Si	F18	纯金	Cu, Ag, Bi, Fe, As, Sb, Sn, Zn	F31 ~ F32
钢筋	C, Si, Mn, P, S	F19	锆	Hf	F33

表 9 X-RFS 在金属材料分析中的应用

Tab.9 The application of X-RFS in metallic material analysis

样品	测定元素	文献	样品	测定元素	文献
生铁	Si, Mn, S, P, Ti	G1	烧结矿	Si, Ca, Mg, Mn, S, Fe, Al	G13
	Si, Mn, S, P	G2	铁矿石	As	G14
	Si, P, S, Ti, Mn, Cu, As, Cr, Ni, Al, Mo, V, Bi, W	G3	超硬铝合金	Cu, Mg, Zn, Fe, Si, Mn, Cr, Ni, Ti, Zr	G15
铬铁	Cr, Si, P	G4	铸造铝合金	Mg, Si, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Zr, Cd	G16
硅石	Si, Al, Ca, Mg, P, K, Ti, Fe	G5	氧化铝	Si, Fe, Na, Ti, V, P, Zn	G17
工业硅	Al, Ca, Fe, Si	G6	纯铜	P, S, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Se, Ag, Cd 等 18 元素	G18
	Si, Al	G7	阴极铜	Al, Ag, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn 等 20 元素	G19
碳硅锰	Si, Mn, P	G8	钛合金	Al, Si, V, Cr, Fe, Ni, Zr, Mo, Sn	G20
硅铝钡	Si, Al, Ba	G9	纯金	Au	G21
钢	La, Ce, Pr, Nd, Sm	G10	纯银	Ag	G22
	Als	G11	铂首饰	Ni	G23
	P, S, As, Pb, Zn, Sn	G12	钨铼合金	Re	G24

表 10 金属材料中气体元素的分析

Tab.10 Analysis of gas in metallic materials

元素	分析方法	材料	文献	元素	分析方法	材料	文献
C	红外	硅	H1	C/S	红外	硅锰	H21
		镁粉	H2			钼铁	H22
		钽粉、铌粉和碳化钽	H3			硅	H23
		钛合金	H4			钢铁	H24

元素	分析方法	材料	文献	元素	分析方法	材料	文献
	非水	铝钛碳合金	H5			碳化钨	H25
	引燃炉	钢铁	H6			稀土金属	H26
	光电直读	重轨钢	H7		自动分析仪	钢铁	H27
	引燃炉	钢铁	H8	O	脉冲红外	纳米材料	H29
S	红外	镍基高温合金	H9		红外	钨合金	H30
		锑	H10		氧氮仪	铈钨合金	H31
		硅	H11		脉冲红外	铜粉	H32
		硅铁	H12		双碘滴定法	超导材料	H33
		碳化硅	H13		脉冲红外	锡铅银	H34
		铁矿石	H14	N	氧氮仪	钒钨合金	H35 ~ 36
		铅锌矿	H15		蒸馏中和滴定		H37
	中和滴定	钢	H16	O/N	氧氮仪	铜铬合金	H38
C/S	红外	生铁、矿石	H18			钹、镉	H40
		铁合金	H19	H	脉冲热导法	铝及铝合金	H41
		硅铁	H20		衍射物相分析	钨	H42

## 8 电化学及其他方法

应用电位滴定、示波滴定、示波极谱、精密库仑等方法解决了合金中主量组分铝、铁、铜、金及镍的测定，更多的工作反映在金属材料中微量以至痕量元素的测定。如示波极谱法测定高纯阴极铜中碲，测定下限可达  $1 \times 10^{-5} \%$  [116]。张毅等 [125] 采用辉光放电光谱法 (GD-OES) 对镀锌钢板进行了逐层定量分析，滕璇等 [126] 则利用 GD-OES 同时测定中低合金钢中 C、P、S、Si、Mn、Cu、Ni、Cr、Ti、Al、Co 和 B，精密度好，准确度高，线性范围达  $1 \sim 3$  个数量级。辉光放电质谱 (GD-MS) 则被用于高纯半导体材料锑中 Mg、Si、S、Mn 等 14 个痕量杂质元素的测定 [126]。此外，一些新的分析方法，如金属原位分析 [120]、近场激光热透镜光谱 [121]、激光微区发射光谱 [122]、拉曼光谱 [128]、电子探针 [129]、离子色谱法 [130-133]、高压液相色谱法 [134] 等也在金属材料分析中得到应用。详细情况见表 11。

表 11 电化学分析法及其他方法在金属材料分析中的应用

Tab. 11 The application of electrochemical and other methods

元素	材料	分析方法	文献
Al	金属铝、锌铝合金	恒电位氯-铝配位滴定法	I1
Al/Fe	铜合金	顺序示波滴定	I2
Au	纯金、金合金、首饰	精密库仑滴定法	I3
Bi	精锡	二阶导数示波极谱法	I4
Cl	金属锑	离子选择性电极	I5
Co/Ni	纯铝	极谱	I6
In	铜镍合金	单扫示波极谱法	I7
Mo	钢铁		I8
Ni	镍铜合金	方波伏安法	I9

元素	材料	分析方法	文献
Pb	碲	导数示波极谱法	I10
Sb	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、铜合金	导数极谱络合吸附波	I11
	锌合金	单扫极谱法	I12
Se	电解锰	催化极谱法	I13
	锰、四氧化三锰		I14
Sn	电解锰用阳极材料	示波极谱法	I15
Ti	纯铝	吸附伏安法	I17
V	钢铁	催化极谱法	I18
	Al-Ti-B	示波极谱法	I19
Ti, N, Ti, C	钢	金属原位分析	I20
Nb		近场激光热透镜光谱	I21
Cu, Zn, Mg		激光微区发射光谱	I22
Sn	6N 铜	化学光谱	I23
V	钢	流动注射-化学发光	I24
	铁氧化物	拉曼光谱	I28
C	钢	电子探针	I29
F	稀土金属及氧化物	离子色谱法	I30
Cl	氧化铁粉		I31
K, Na	高纯硅微粉		I32
Zr, Hf	钢铁、合金	离子对反相色谱法	I33
		萃取分离-HPLC	I34

致谢：在本文撰写过程中，同事钱芳华、张佩玲协助收集了大量文献资料，谨致谢意！

## 参考文献

- [A1] 吴 诚, 颜菊英. 分析实验室, 1990, 9(4): 110  
 [A2] 吴 诚, 马冲先. 分析实验室, 1992, 11(1): 69  
 [A3] 吴瑞林, 吴立生. 分析试验室, 2002, 19(5): 98

- [A4] 陈晓春, 邓大超, 方彩云. 冶金分析, 2003, 23(2): 31
- [A5] 唐本玲, 胡晓燕, 王海舟. 冶金分析, 2003, 23(3): 31
- [A6] 印海鹏, 郑洪涛, 汤志勇. 分析试验室, 2003, 22(1): 101
- [A7] 舒永红, 何华煜. 分析试验室, 2005, 24(2): 81
- [A8] 周林爱. 分析试验室, 2004, 23(增刊): 15
- [A9] 朱利亚. 云南冶金, 2003, 32(2): 62
- [A10] 孙汉文. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(2): 386
- [A11] 那延富, 郑健, 冯国栋等. 分析化学, 2003, 31(4): 490
- [A12] 邓勃. 现代仪器, 2004, (2): 1
- [A13] 王烨, 颜芝. 岩矿测试, 2003, 22(4): 284
- [A14] 朱若华, 邹洪, 贺闻娟. 分析试验室, 2004, 23(2): 82
- [A15] 朱利亚, 高芳, 马媛. 贵金属, 2003, 24(2): 57
- [A16] 何智娟, 董学芝, 胡卫平. 冶金分析, 2003, 23(5): 21
- [A17] 朱利亚, 尹家元. 冶金分析, 2002, 22(5): 26
- [A18] 吕玲, 刘根起, 张光等. 贵金属, 2004, 25(2): 61
- [A19] 吴辛友, 童坚. 分析试验室, 2004, 23(9): 84
- [A20] 赵金伟, 郑建明. 光谱实验室, 2002, 19(6): 711
- [A21] 周勇义, 谷学新, 范国强等. 冶金分析, 2004, 24(2): 30
- [A22] GB/T14666-2003 分析化学术语
- [A23] GB/T12690.4-12690.13-2003 稀土金属及其氧化物中非稀土杂质化学分析方法
- [A24] GB/T12689.1-13689.12-2004 锌及锌合金化学分析方法
- [A25] GB/T13748.1-13748.19-2005 镁及镁合金化学分析方法
- [A26] GB/T10574.1-10574.13-2003 锡铅焊料化学分析方法
- [A27] GB/T7730.1-7730.2-2002 锰铁及高炉锰铁 锰和硅的分析方法
- [A28] GB/T4336-2002 碳素钢和中低合金钢 火花源原子发射光谱分析方法
- [A29] GB/T18996-2003 银合金首饰中含银量的测定
- [A30] YS/T470.1-470.3-2004 铜铍合金化学分析方法
- [A31] YS/T475.1-475.7-2005 铸造轴承合金化学分析方法
- [A32] YS/T477-2005 铜及铜合金化学分析方法 硼含量的姜黄素直接光度法
- [A33] YS/T482-2005 铜及铜合金的光电发射光谱法
- [A34] YS/T483-2005X 射线荧光光谱法
- [A35] 田玲, 王海舟. 冶金分析, 2003, 23(2): 65
- [A36] 马冲先. 理化检验-化学分册, 2005, 41(12): 947
- [A37] 马冲先, 钱芳华, 陶美娟等. 化学分析计量, 2004, 13(6): 1
- [A38] 赵教育, 李兆智, 胡晓燕. 化学分析计量, 2003, 12(1): 1
- [A39] 李雪冬, 杜建民, 胡述戈等. 冶金分析, 2005, 25(10): 93
- [A40] 李海军, 陈超选, 赵教育. 化学分析计量, 2005, 14(3): 1
- [A41] 朱学纯. 化学分析计量, 2003, 12(2): 1
- [A42] 朱学纯. 化学分析计量, 2004, 13(4): 1
- [A43] 陈瑜. 光谱实验室, 2004, 21(40): 658
- [A44] 王强, 王兴其, 张克顺等. 冶金分析, 2003, 23(5): 68
- [A45] 武荣俭. 冶金分析, 2004, 24(5): 69
- [A46] 柯瑞华. 冶金分析, 2003, 23(1): 55
- [A47] 魏绪俭, 张存贵. 冶金分析, 2003, 23(6): 66
- [A48] 马冲先, 胡晓春. 理化检验-化学分册, 2006, 42(9): 771
- [B1] 关志中. 冶金分析, 2002, 22(5): 38
- [B2] 夏岫云. 理化检验-化学分册, 2005, 41(5): 364
- [B3] 汤成兰, 马芳. 山东冶金, 2005, 27(3): 64
- [B4] 谭莉莉, 肖洪训. 理化检验-化学分册, 2005, 41(7): 513
- [B5] 古映莹, 胡启明, 董宇清. 冶金分析, 2005, 25(3): 52
- [B6] 曾波, 段清国, 张玉滨. 冶金分析, 2005, 25(3): 58
- [B7] 彭建岭, 张芬菊. 冶金分析, 2003, 23(3): 58
- [B8] 王献科, 李玉萍. 浙江冶金, 2004, (4): 48
- [B9] 张雪梅. 冶金分析, 2003, 23(5): 76
- [B10] 郑典慧, 梁华定, 潘富友. 光谱实验室, 2005, 22(3): 487
- [B11] 曾静. 理化检验-化学分册, 2005, 41(3): 208
- [B12] 李辉, 陈明. 冶金分析, 2003, 23(1): 51
- [B13] 姚红燕. 冶金分析, 2004, 24(2): 83
- [B14] 黄仁彬. 冶金分析, 2004, 24(2): 80
- [B15] 秦玲玲, 陶蕊, 刘研. 化学分析计量, 2003, 12(1): 43
- [B16] 黄仁彬. 冶金分析, 2004, 24(6): 73
- [B17] 杨萍. 分析试验室, 2004, 23(4): 81
- [B18] 刘睿, 张蓓, 孙丕武. 辽宁化工, 2002, 31(10): 456
- [B19] 孙素珍, 崔兴元. 冶金分析, 2002, 22(5): 67
- [B20] 张丽丽, 石英. 冶金分析, 2003, 23(5): 78
- [B21] 关伟宏. 化学工程师, 2003, (1): 28
- [B22] 沙艳梅, 赵学沛, 王明军. 岩矿测试, 2004, 23(4): 308
- [B23] 谢孔文. 理化检验-化学分册, 2003, 39(7): 427
- [B24] 郑典慧, 梁华定, 葛昌华等. 化学分析计量, 2005, 14(1): 26
- [B25] 丁振东, 杜浩, 邓金玲. 理化检验-化学分册, 2003, 39(8): 489
- [B26] 袁威. 冶金分析, 2003, 23(6): 75
- [B27] 罗道成, 刘俊峰. 冶金分析, 2005, 25(2): 78
- [B28] 王京平, 吴中明. 分析试验室, 2004, 23(2): 60
- [B29] 李玉萍, 李莉芬, 王献科. 浙江冶金, 2004, (1): 37
- [B30] 薛福连. 河南冶金, 2002, (4): 14
- [B31] 詹伟雄, 赖馥馨. 云南冶金, 2004, 33(1): 56
- [B32] 赖冬梅. 四川有色金属, 2003, (4): 36
- [B33] 迟少婷, 王淑敏. 理化检验-化学分册, 2003, 39(1): 52
- [B34] 范玲. 分析试验室, 2004, 26(3): 36
- [B35] 高凤光. 理化检验-化学分册, 2004, 40(5): 298
- [B36] 程宏伟. 新疆有色金属, 2004, (11): 22
- [B37] 李京. 冶金分析, 2004, 24(3): 72
- [B38] 梁松成. 冶金分析, 2004, 24(1): 61
- [B39] 彭亚丽. 分析试验室, 2004, 23(增刊): 85
- [B40] 姚军龙, 杨浩义, 高琳. 理化检验-化学分册, 2003, 39(8): 496
- [C1] 赵文清. 黑龙江冶金, 2002, (3): 30
- [C2] 沈良峰. 冶金分析, 2002, 22(5): 43
- [C3] 黄业初. 冶金分析, 2002, 22(4): 72
- [C4] 高颖剑. 分析测试技术与仪器, 2003, 9(1): 17
- [C5] 王丽. 理化检验-化学分册, 2003, 39(8): 495
- [C6] 宋兰会, 莫庆军, 王秀艳. 冶金分析, 2004, 24(2): 76
- [C7] 陈展光, 石旭华, 张伟平. 冶金分析, 2002, 22(5): 12
- [C8] 高琳, 宋红, 姚军龙等. 化学分析计量, 2005, 14(3): 57
- [C9] 李在均, 陆敏东, 潘教麦. 冶金分析, 2003, 23(1): 7
- [C10] 马万山, 刘德录, 钟黎. 理化检验-化学分册, 2003, 39(8): 486
- [C11] 雷心恒, 虞光禹. 光谱实验室, 2004, 21(3): 569
- [C12] 邹本义, 李晶, 王日朝. 冶金分析, 2002, 22(5): 47
- [C13] 谈枝, 杨姣, 宋俊. 冶金分析, 2004, 24(6): 52
- [C14] 杨姣, 谈枝, 宋俊. 理化检验-化学分册, 2005, 41(2): 84

- [C15] 杨 姣, 凌程风, 徐 峰等. 分析试验室, 2005, 24(6): 1
- [C16] 黄章杰, 胡秋芬, 杨光宇等. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(4): 223
- [C17] 杨安香, 陈贤红, 方南辉. 江西冶金, 2003, 23(1): 30
- [C18] 董学畅, 胡秋芬, 杨光宇等. 光谱实验室, 2002, 19(5): 661
- [C19] 朱 彬, 刘恒橡. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(6): 409
- [C20] 马卫兴, 许 兴, 营爱玲. 冶金分析, 2002, 22(5): 41
- [C21] 尹洪宗, 崔 彦, 刘 蔡. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(9): 464
- [C22] 龙玉珊, 查丹明. 广西师范大学学报(自然科学版), 2002, 20(3): 61
- [C23] 沙 仁, 庄晓娟. 冶金分析, 2004, 24(5): 41
- [C24] 吴丽香, 谭立香, 冶金分析, 2005, 25(1): 63
- [C25] 于京华, 欧庆瑜, 牟艳云. 分析化学, 2003, 31(5): 587
- [C26] 于京华, 李连荣, 孙元梅. 济南大学学报(自然科学版), 2003, 17(3): 238
- [C27] 张小玲, 樊学忠, 张锐睿. 冶金分析, 2002, 22(4): 5
- [C28] 奚立民, 潘富友, 梁华定. 冶金分析, 2002, 22(6): 4
- [C29] 谢治民, 邓继勇, 王煊龙. 湖南有色金属, 2002, 18(6): 41
- [C30] 侯曼玲, 代 军, 唐资军. 矿冶工程, 2002, 22(4): 66
- [C31] 张春牛, 杨明华, 郑云法. 岩矿测试, 2004, 23(1): 77
- [C32] 温 琳, 李士和. 吉林大学学报(理学版), 2004, 42(2): 290
- [C33] 刘根起, 妙 颖, 李 山. 岩矿测试, 2004, 23(2): 159
- [C34] 李在均, 侯永根, 潘教放. 冶金分析, 2004, 24(3): 8
- [C35] 孙润香, 郑云法, 张春牛. 广东微量元素科学, 2004, 11(12): 41
- [C36] 吴小华, 吴兰菊, 陈建荣. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(1): 51
- [C37] 马卫兴, 钱保华, 李善思. 冶金分析, 2005, 25(1): 19
- [C38] 刘延荣, 曾君莲, 徐晓东. 冶金分析, 2005, 25(1): 91
- [C39] 张鑫燕, 张春牛, 顾勇冰. 光谱实验室, 2005, 22(3): 590
- [C40] 陈 红, 葛昌华, 梁华定. 冶金分析, 2005, 25(3): 55
- [C41] 王丽华, 胡 浩. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(4): 205
- [C42] 沈素眉, 杨明华, 王智敏. 冶金分析, 2003, 23(2): 14
- [C43] 党元林, 包晓玉, 卓立宏. 分析化学, 2003, 31(2): 253
- [C44] 葛昌华, 梁华定, 潘富友. 冶金分析, 2003, 23(3): 14
- [C45] 葛昌华, 梁华定, 潘富友. 光谱实验室, 2003, 20(3): 402
- [C46] 董学畅, 李志红, 杨光宇. 云南民族大学学报(自然科学版), 2003, 12(3): 171
- [C47] 葛昌华, 梁华定, 潘富友. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(8): 418
- [C48] 李 晖, 吴永康, 刘海侠. 西南民族大学学报(自然科学版), 2004, 30(2): 154
- [C49] 李 红, 张 欣. 辽宁化卫, 2004, 33(2): 120
- [C50] 胡修权. 冶金分析, 2004, 24(3): 75
- [C51] 马卫兴, 钱保华, 李善思. 冶金分析, 2005, 25(2): 24
- [C52] 彭翠红, 奚长生, 龙来寿. 冶金分析, 2004, 24(4): 46
- [C53] 陈文宾, 张雁秋, 许兴友等. 淮海工学报(自然科学版), 2005, 14(1): 48
- [C54] 李慧芝, 周长利, 赵 阳. 冶金分析, 2003, 33(5): 12
- [C55] 于彦珠. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2002, 33(6): 718
- [C56] 张根成. 光谱实验室, 2004, 21(3): 579
- [C57] 史传国, 姚 成. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(10): 584
- [C58] 樊海燕, 敖登高娃. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(11): 667
- [C59] 常世科, 李在均, 潘教麦. 化学分析计量, 2005, 14(1): 23
- [C60] 罗川南, 王忠祥, 周长利. 冶金分析, 2003, 23(1): 27
- [C61] 刘小阳, 力跃勤, 刘少民. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(8): 493
- [C62] 潘振声, 潘教麦, 康新平. 冶金分析, 2003, 23(6): 5
- [C63] 李在均, 侯永根, 潘教麦等. 分析试验室, 2004, 23(2): 39
- [C64] 白乌云, 赛 音, 王永利. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2002, 33(6): 655
- [C65] 陶慧林. 分析试验室, 2003, 22(5): 22
- [C66] 陶慧林, 钟福新. 桂林工学院学报, 2003, 23(4): 473
- [C67] 刘 瑛, 管 韵, 李在均. 化学分析计量, 2004, 13(1): 30
- [C68] 胡秋芬, 董学畅, 戴 云. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(11): 556
- [C69] 张小玲, 刘根起, 樊学忠. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(12): 603
- [C70] 刘典梅, 李舒婷, 赵书林. 广西师范大学学报(自然科学版), 2002, 20(4): 71
- [C71] 杨孝容, 成 英, 曹秋娥. 光谱实验室, 2004, 21(2): 324
- [C72] 张春牛, 郑云法, 王智敏. 冶金分析, 2004, 24(2): 16
- [C73] 樊学忠, 张国防, 范仁杰. 岩矿测试, 2004, 23(1): 40
- [C74] 高 嵩, 于秀兰, 陈关微. 冶金分析, 2004, 24(4): 1
- [C75] 郑云洁, 张春牛, 王智敏等. 江西师范大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 403
- [C76] 顾勇冰, 张春牛, 郑云法. 广东微量元素科学, 2005, 12(2): 58
- [C77] 杨 姣, 凌程风, 淡枝等. 冶金分析, 2005, 25(2): 38
- [C78] 郑云法, 张春牛, 顾勇冰. 岩矿测试, 2005, 24(2): 112
- [C79] 郑云法, 严国兵, 张春牛. 化学分析计量, 2005, 14(4): 25
- [C80] 马卫华, 李艳辉, 钱保华. 冶金分析, 2005, 25(3): 45
- [C81] 周 能, 赵书林, 刘典梅. 冶金分析, 2003, 23(3): 6
- [C82] 王智敏, 郑云法, 沈素眉. 分析科学学报, 2003, 19(3): 264
- [C83] 张利尤, 韩德满. 化学分析计量, 2003, 12(5): 26
- [C84] 冯泳兰, 邝代治. 衡阳师范学院学报(自然科学), 2003, 24(6): 28
- [C85] 张国文, 陈 钢, 陈红兰. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(8): 483
- [C86] 李继录. 黑龙江冶金, 2005, (1): 26
- [C87] 冯宝华, 陈 明. 冶金分析, 2004, 24(1): 74
- [C88] 伍乾富. 岩矿测试, 2004, 23(4): 311
- [C89] 高 琳, 姚军尤. 分析试验室, 2004, 23(增刊): 194
- [C90] 高 琳, 姚军龙, 晏高华. 化学分析计量, 2005, 14(1): 50
- [C91] 高 琳, 姚军尤, 晏高华. 冶金分析, 2005, 25(2): 54
- [C92] 汤家华, 李在均, 潘教麦等. 理化检验(化), 2004, 40(1): 17
- [C93] 龙如成, 孟 平, 甘培新. 冶金分析, 2004, 24(1): 42
- [C94] 王 平, 贾 云. 冶金分析, 2004, 24(3): 69
- [C95] 高美荣, 彭志华, 沈丽莉. 化学试剂, 2004, 26(6): 347
- [C96] 李崇宁, 李祖碧, 王加林. 分析科学学报, 2002, 18(5): 391
- [C97] 王 凯. 冶金分析, 2004, 24(2): 66
- [C98] 潘振声, 潘教麦. 冶金分析, 2004, 24(6): 19
- [C99] 刘建华, 于 美, 李松梅. 分析试验室, 2004, 23(增刊):

- 217
- [C100] 侯曼玲, 邓飞跃, 鲁统娟. 冶金分析, 2004, 24(1): 39
- [C101] 魏东兰, 廉笙辉, 吴桂明. 湿法冶金, 2004, 23(2): 109
- [C102] 汤家华, 李在均, 潘教麦. 冶金分析, 2004, 24(1): 18
- [C103] 曹伟, 杨景和, 王兴恩. 分析试验室, 2004, 23(11): 39
- [C104] 淡枝, 高雪艳, 杨姣. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(7): 477
- [C105] 严恒泰. 冶金分析, 2003, 23(6): 45
- [C106] 曹伟, 杨景和, 付佩玉. 济南大学学报(自然科学版), 2003, 17(3): 241
- [C107] 陈文宾, 伏广龙, 范丽花. 冶金分析, 2005, 25(3): 22
- [C108] 方国臻, 孟双明, 张桂枝. 分析科学学报, 2005, 21(1): 66
- [C109] 于彦珠, 李少华, 敖登高娃. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2002, 33(5): 535
- [C110] 涂平, 刘延湘, 高登云. 冶金分析, 2002, 22(5): 49
- [C111] 王永双, 张俊安, 朱利斌. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(12): 627
- [C112] 赛音, 王永利, 白乌云. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(2): 94
- [C113] 张莹, 敖登高娃. 冶金分析, 2004, 24(3): 43
- [C114] 徐刚, 刘松利, 胡俊勇. 江西冶金, 2004, 24(2): 39
- [C115] 董彦杰, 盖轲. 宝鸡文理学报(自然科学版), 2004, 24(4): 271
- [C116] 马红燕, 张永争, 张建胜. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(7): 470
- [C117] 常世科, 李在均, 潘教麦等. 冶金分析, 2005, 25(2): 10
- [C118] 张遵. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(6): 363
- [C119] 邹本东, 敖登高娃. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2003, 34(2): 238
- [C120] 梁华定, 葛昌华, 潘富友. 化学研究与应用, 2002, 14(6): 680
- [C121] 杨亚玲, 赵榆林, 尹家元. 分析试验室, 2004, 23(10): 40
- [C122] 李明, 艾华林, 李海涛等. 光谱实验室, 2004, 22(1): 145
- [C123] 许利津. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(1): 47
- [C124] 阮琼, 李碧玉, 白世发等. 冶金分析, 2005, 25(3): 73
- [C125] 饶敏, 胡秋芬, 杨光宇等. 化学试剂, 2005, 27(1): 35
- [C126] 潘富友, 梁华定. 分析科学学报, 2003, 19(1): 54
- [C127] 梁华定, 葛昌华, 潘富友. 岩矿测试, 2003, 22(1): 40
- [C128] 阚武. 冶金分析, 2003, 23(3): 43
- [C129] 王军, 李全民, 杨霞等. 河南师范大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 1
- [C130] 黄应平, 张华山. 分析测试学报, 2003, 22(2): 25
- [C131] 王军, 魏献山, 李全民. 分析试验室, 2004, 23(8): 48
- [C132] 邱凤仙, 倪良. 冶金分析, 2002, 22(6): 14
- [C133] 康新平, 潘教麦. 冶金分析, 2004, 24(1): 5
- [C134] 沈良峰. 冶金分析, 2003, 23(6): 41
- [C135] 朱理哲, 皮祖训. 冶金分析, 2005, 25(2): 59
- [C136] 黄应平, 张华山. 分析化学, 2003, 31(7): 894
- [C137] 黄永胜, 杨小洪. 湖北民族学院(自然科学版), 2004, 22(1): 39
- [C138] 包莉, 朱霞石, 吴俊. 分析试验室, 2004, 23(增刊): 168
- [C139] 高俊杰, 余萍, 张东. 冶金分析, 2004, 24(4): 13
- [C140] 王新平, 梁志华. 仪器仪表与分析监测, 2004, (1): 31
- [C141] 王新平, 区炳庆, 刘国杰. 仪器仪表与分析监测, 2004, (3): 40
- [C142] 孙玉凤, 黄莉莉. 冶金分析, 2004, 24(2): 42
- [C143] 高俊杰, 余萍, 张东. 冶金分析, 2004, 24(6): 47
- [C144] 陈文宾, 徐国想, 范丽花. 分析试验室, 2005, 24(4): 14
- [C145] 吴丽香, 盖杨. 冶金分析, 2004, 24(5): 64
- [C146] 阎永胜, 黄卫红, 陆晓华. 分析科学学报, 2004, 20(4): 409
- [C147] 郑静, 林开利, 周伟良等. 分析试验室, 2004, 23(11): 14
- [C148] 朱秀慧, 于洪梅, 朱晓明. 东北师大学报(自然科学版), 2004, 36(2): 37
- [C149] 于洪梅, 张新平, 胡云峰. 冶金分析, 2004, 24(2): 10
- [C150] 江冬青, 江焱. 现代仪器, 2003, (2): 21
- [C151] 于洪梅, 陈刚, 朱晓明. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(5): 355
- [C152] 孙晓琦, 李井会, 于洪梅. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(3): 153
- [C153] 张永清, 陈焕光. 冶金分析, 2003, 23(4): 12
- [C154] 张永清, 王立世, 陈焕光. 冶金分析, 2004, 24(1): 8
- [C155] 王旭, 徐淑坤, 范世华. 冶金分析, 2004, 24(2): 1
- [C156] 贺谊. 南昌大学学报(理科版), 2003, 26(3): 255
- [C157] 李天增, 王艳玲, 杨铭枢. 现代仪器, 2004, (6): 22
- [C158] 杨明华, 郑云法, 龚楚儒. 分析科学学报, 2003, 19(1): 39
- [C159] 庞秀言, 孙汉文, 王婷. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(1): 146
- [C160] 刘根起, 韩玲, 张小玲. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(11): 1422
- [C161] 李北昱, 宫玉红. 冶金分析, 2004, 24(3): 20
- [C162] 李北昱, 莎仁, 嘎日迪. 稀土, 2002, 23(4): 67
- [C163] 冯玉, 姜玮, 王乃兴. 分析化学, 2003, 31(1): 92
- [C164] 陈怀侠. 湖北大学学报(自然科学版), 2002, 24(3): 241
- [C165] 刘晓英, 吴性良. 大学化学, 2003, 18(2): 57
- [C166] 郑振峰. 分析测试技术与仪器, 2004, 10(1): 38
- [C167] 张萍, 李玲, 郑洪等. 淮业煤炭师范学报(自然科学版), 2004, 25(4): 44
- [C168] 冯月斌, 张锦柱, 温彬宇. 云南冶金, 2005, 34(1): 52
- [C169] 耿玉珍, 刘葵. 分析试验室, 2004, 23(4): 67
- [C170] 阮琼, 王琳, 尹宗元. 分析试验室, 2004, 23(3): 59
- [C171] 刘根起, 程永清, 张光. 冶金分析, 2003, 23(5): 9
- [C172] 杨保民. 昆明理工大学学报(理工版), 2005, 30(4): 117
- [C173] 于京华, 欧庆瑜, 王来国等. 2003, 17(1): 12
- [C174] 谢治民, 邓继勇, 王焕龙. 湖南有色金属, 2005, 21(3): 36
- [C175] 薛孝民, 朱智, 金小成. 理化检验(化), 2005, 41(6): 385 ~ 387
- [C176] 陈瑞兰, 刘英华, 徐引娟等. 上海大学学报, 2003, 9(1): 80
- [C177] 王玉宝, 蒙延峰, 郭振良. 冶金分析, 2004, 24(2): 58
- [C178] 何池祥, 岳从永, 陈友存. 冶金分析, 2004, 24(4): 4
- [C179] 张爱梅, 运波. 冶金分析, 2003, 23(6): 36
- [C180] 姜华, 张江. 分析试验室, 2004, 23(1): 61
- [C181] 邓必阳, 陈春强. 分析试验室, 2004, 23(3): 65
- [C182] 王广健, 尚德库, 郭亚杰定. 光谱学与光谱分析, 2003,



- 23(3): 619
- [C183] 李艳辉, 孙吉佑, 陈文宾. 淮海工学报(自然科学版), 2005, 14(1): 59
- [C184] 李崇宁, 李祖碧, 王加林. 分析化学, 2003, 31(4): 508
- [C185] 侯能帮, 陈吉书, 李祖碧. 分析试验室, 2003, 22(1): 51
- [C186] 谢增鸿, 傅彦斌, 陈国南. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(4): 623
- [C187] 夏锡斌, 黄念东, 王红军等. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(11): 1484
- [C188] 孙登明, 张宏兵. 分析化学, 2002, 30(11): 1401
- [C189] 杨孝容, 杨明嘉, 李崇宁. 化学世界, 2002, 43(9): 469
- [C190] 杨孝容, 万东海, 李祖碧. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(11): 549
- [C191] 李祖碧, 曹秋娥, 王加林等. 冶金分析, 2003, 23(4): 6
- [C192] 杨明惠, 杨志毅, 曹秋娥. 冶金分析, 2003, 23(5): 6
- [C193] 莎仁, 阿古拉, 庄晓娟. 内蒙古师大学报自然科学版, 2004, 33(3): 285
- [C194] 莎仁, 阿古拉, 庄晓娟. 分析试验室, 2005, 24(8): 39
- [C195] 李晓阳, 赵建好, 郭玉忠等. 昆明理工大学学报(理工版), 2003, 28(2): 25
- [C196] 左国防, 莫尊理, 杨武. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(3): 159
- [C197] 马红燕, 张琰图, 陈小利. 化学试剂, 2004, 26(4): 220
- [C198] 郭英, 张怀中. 分析化学, 2004, 32(6): 838
- [C199] 宋桂兰, 郭英, 任 焱. 分析试验室, 2005, 24(5): 44
- [C200] 康志红. 冶金分析, 2002, 22(4): 28
- [C201] 高甲友. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(8): 443
- [C202] 马红燕. 冶金分析, 2003, 23(1): 4
- [C203] 傅俊红, 陈桂琴, 陈荷华. 仪器仪表与分析监测, 2003, (3): 21
- [C204] 张小燕, 董发昕, 孙宝莲. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(2): 1123
- [D1] 刘克玲. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(1): 95
- [D2] 林亚萍, 金继红. 化学分析计量, 2004, 13(3): 52
- [D3] 吕敏丽. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(12): 734
- [D4] 陈小燕. 黄金, 2004, 25(5): 47
- [D5] 马旭红, 康华峰, 敖列哥等. 冶金分析, 2003, 23(5): 65
- [D6] 杜颂如. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(4): 278
- [D7] 乐爱山, 董敏芝, 赵收创. 冶金分析, 2003, 23(3): 40
- [D8] 景逵, 郭兴家, 刘新. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(12): 616
- [D9] 郭兴家, 景逵, 刘新. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(6): 1040
- [D10] 刘长东, 国凤杰. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(2): 100
- [D11] 方志成, 郑丽卿, 周灵君. 冶金分析, 2002, 22(6): 34
- [D12] 邓海虹, 金凤英. 矿冶, 2003, 12(3): 89
- [D13] 乐爱山. 冶金分析, 2002, 22(4): 57
- [D14] 鲁琳, 万银兰. 铜业工程, 2004, (1): 70
- [D15] 杜颂和. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(10): 521
- [D16] 梁涛. 理化检验(化学分册), 2004, 40(2): 101
- [D17] 宋波. 湖南有色金属, 2005, 21(4): 41
- [D18] 郭兴家, 张 鹏, 徐素坤. 光谱实验室, 2004, 21(5): 1018
- [D19] 张耀春. 岩矿测试, 2003, 22(1): 70
- [D20] 毛善成. 冶金分析, 2002, 22(6): 32
- [D21] 薛光荣. 现代科学仪器, 2005, (3): 68
- [D22] 缪琳, 丁 斌, 郭德济等. 安徽工业大学报(自然科学版), 2004, 21(4): 298
- [D23] 于永丽, 王乃芝, 翟秀静. 冶金分析, 2005, 25(3): 30
- [D24] 尹跃群. 有色金属, 2003, 55(1): 133
- [D25] 郭 阳, 李志辉, 刘淑兰. 冶金分析, 2004, 24(6): 57
- [D26] 唐森富. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(10): 613
- [D27] 傅 明, 胡宇东, 杨万彪. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(5): 997
- [D28] 董敏芝, 赵收创. 冶金分析, 2002, 22(6): 28
- [D29] 何宗蒲, 李四红. 湖南有色金属, 2003, 19(4): 41
- [D30] 崔彦红. 化学分析计量, 2004, 13(2): 39
- [D31] 周 群, 徐茂梁. 光谱实验室, 2005, 22(1): 161
- [D32] 杨 毅, 王劲榕. 云南冶金, 2004, 33(4): 45
- [D33] 李建强, 张伟光, 黄飞雪. 冶金分析, 2004, 24(2): 63
- [D34] 吴玉霜, 尹跃群. 分析试验室, 2003, 22(2): 67
- [D35] 吴敏丽. 冶金分析, 2004, 24(5): 78
- [D36] 谢华林, 张 萍, 刘宏伟. 冶金分析, 2002, 22(6): 30
- [D37] 雷素函. 湖南有色金属, 2005, 21(1): 40
- [D38] 郭兴家, 景 逵, 刘 新. 冶金分析, 2002, 22(6): 17
- [D39] 王 涛. 分析试验室, 2002, 21(6): 47
- [D40] 廉星辉, 魏冬兰, 吴桂明. 铜业工程, 2003, (2): 76
- [D41] 张 莹. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(12): 730
- [D42] 崔凤平. 冶金分析, 2004, 24(4): 71
- [D43] 景 逵, 郭兴家, 佟 健. 光谱实验室, 2003, 20(3): 370
- [D44] 罗 丝. 湖南有色金属, 2004, 20(2): 42
- [D45] 梁奕伦. 光谱实验室, 2004, 21(5): 907
- [D46] 刘传仕. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(9): 473
- [D47] 马丽君, 刘长久. 冶金分析, 2005, 25(1): 58
- [D48] 李俊花, 单玲, 严方. 分析科学学报, 2003, 19(5): 462
- [D49] 袁国芬. 浙江冶金, 2004, (4): 52
- [D50] 薛光荣. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(4): 245
- [D51] 薛光荣. 上海计量测试, 2004, 31(1): 15
- [D52] 闻莺, 刘世良, 刘介平. 冶金分析, 2003, 23(4): 18
- [D53] 胡俊勇, 徐刚, 王平. 江西冶金, 2003, 23(5): 36
- [D54] 薛光荣. 分析测试技术与仪器, 2005, 11(2): 117
- [D55] 张宝莲, 张小燕, 李波. 稀有金属材料与工程, 2003, 32(1): 76
- [D56] 杜颂和. 冶金分析, 2003, 23(4): 67
- [D57] 程键, 刘新玲. 冶金分析, 2004, 24(6): 66
- [D58] 赵乃福, 张 悉, 王 玲. 光谱实验室, 2004, 21(1): 198
- [D59] 周 伟, 朱晓红. 冶金分析, 2004, 24(2): 55
- [D60] 谢绍金, 杨春晨, 贾进铎. 理化检验(化), 2005, 41(6): 381
- [D61] 冯先进. 矿冶, 2002, 11(3): 96
- [D62] 梁 涛, 张绍旭, 王玉宝. 固原师专学报(自然科学版), 2002, 23(6): 9
- [D63] 鲁青庆. 湖南有色金属, 2005, 21(2): 41
- [D64] 郭汉城, 钟梅芳. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(12): 622
- [D65] 李海明, 杨少斌. 光谱实验室, 2005, 22(2): 372
- [E1] 鄢 艳, 卢汉兵, 陈 胜. 冶金分析, 2004, 24(5): 36
- [E2] 黄新平, 支国瑞, 刘吉红等. 河南冶金, 2003, 11(5): 15
- [E3] 李 超. 光谱实验室, 2004, 21(30): 556
- [E4] 王 志, 周方钦, 沈 真. 冶金分析, 2005, 25(1): 66
- [E5] 孙 焱, 王海舟. 冶金分析, 2002, 22(4): 1

- [E6] 沈真. 湘钢科技, 2003, (4): 49
- [E7] 刘伟, 李超, 滕晓雯. 山东冶金, 2002, 24(6): 52
- [E8] 刘伟, 徐霞, 钱菁等. 化学分析计量, 2003, 12(5): 11
- [E9] 魏春艳, 丁英英. 稀土, 2004, 25(5): 24
- [E10] 杨立, 胡晓, 王成. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(9): 472
- [E11] 张殿英, 李超, 刘伟. 山东冶金, 2002, 24(6): 55
- [E12] 李安, 刘小平. 冶金分析, 2003, 23(1): 39
- [E13] 关剑侠. 冶金分析, 2005, 25(2): 65
- [E14] 张光, 高霞. 冶金分析, 2004, 24(1): 44
- [E15] 梅冰. 江苏冶金, 2003, 31(6): 33
- [E16] 刘虹, 杨胜喜. 冶金分析, 2002, 22(6): 40
- [E17] 张金生, 李丽华, 金钦汉. 分析试验室, 2004, 23(7): 31
- [E18] 张光, 高霞. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(2): 85
- [E19] 李帆, 叶晓英. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(6): 1174
- [E20] 杨万彪, 傅明, 陈新焕. 冶金分析, 2003, 23(1): 9
- [E21] 谢华林, 李立波. 冶金分析, 2003, 23(5): 47
- [E22] 宋武元, 卞群州, 张桂广. 检验检疫科学, 2004, 14(3): 58
- [E23] 张瑞霖, 张好, 戴学谦. 冶金分析, 2003, 23(4): 58
- [E24] 黄晓芳, 万银兰. 铜业工程, 2005, (1): 61
- [E25] 苏菁, 刘孟刚. 岩矿测试, 2004, 23(4): 300
- [E26] 陈菲菲, 魏成磊, 黄蕊. 黄金, 2004, 25(7): 40
- [E27] 陈菲菲, 魏成磊, 黄蕊. 黄金, 2004, 25(10): 52
- [E28] 张朝阳, 马名扬, 苏流坤. 光谱实验室, 2005, 22(1): 134
- [E29] 向德磊. 冶金分析, 2004, 24(1): 37
- [E30] 江彩英, 张文梅, 史慧芳. 光谱实验室, 2003, 20(4): 593
- [E31] 徐锁平, 杨萍, 高志祥. 冶金分析, 2003, 23(2): 20
- [E32] 杨德君, 陆雅琴, 贾素娟. 光谱实验室, 2003, 20(3): 367
- [E33] 李英英. 分析化学, 2003, 31(5): 635
- [E34] 周世萍, 朱光辉, 尹家元. 冶金分析, 2002, 22(4): 13
- [E35] 谢华林, 刘宏伟. 冶金分析, 2004, 24(3): 40
- [E36] 宋武元, 郑建国, 李岩. 分析化学, 2005, 33(3): 338
- [E37] 谢华林. 分析化学, 2003, 23(1): 12
- [E38] 郑屏, 盛旋, 赵霞. 光谱实验室, 2004, 21(4): 803
- [E39] 熊晓燕. 广东有色金属报, 2004, 14(2): 145
- [E40] 张晓峰. 冶金分析, 2003, 23(6): 49
- [E41] 龚思维, 楚民生, 沈洋敏等. 分析试验室, 2004, 23(1): 40
- [E42] 李帆, 冯艳秋. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(5): 968
- [E43] 王倩, 明芳. 光谱实验室, 2003, 20(4): 542
- [E44] 费浩, 卢菊生. 冶金分析, 2004, 24(4): 28
- [E45] 成勇. 四川化工, 2004, 7(1): 37
- [E46] 周莉, 方颖, 张建中. 分析试验室, 2004, 23(4): 55
- [E47] 向德磊, 潘剑波. 湖南有色金属, 2002, 18(5): 43
- [E48] 吴冬梅, 孙兰海, 汤鹏等. 化学分析计量, 2004, 13(1): 35
- [E49] 吴云, 熊小丽. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(2): 117
- [E50] 李帆, 邹斌. 光谱实验室, 2002, 19(6): 762
- [E51] 赵海楠, 王荣. 光谱实验室, 2003, 20(2): 295
- [E52] 戴亚明, 陶美娟, 马冲先. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(3): 155
- [E53] 吴云, 熊晓丽. 分析测试技术与仪器, 2003, 9(4): 251
- [E54] 刘信文, 崔素君. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(5): 838
- [E55] 纪杉. 现代仪器, 2004, (5): 32
- [E56] 洪颖, 王春梅. 现代仪器, 2004, (2): 25
- [E57] 贺与平, 杜萍, 蔡静. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(12): 718
- [E58] 谢绍金, 赵海楠. 光谱实验室, 2003, 20(2): 234
- [E59] 王红峰, 董俊明. 化学分析计量, 2004, 13(3): 20
- [E60] 曾海梅. 云南冶金, 2004, 33(5): 44
- [E61] 吕水源, 陈辉, 林华. 冶金分析, 2002, 22(6): 38
- [E62] 莫庆军, 宋兰会, 王秀艳. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(12): 1666
- [E63] 王丽君, 杜建民, 苗国玉. 冶金分析, 2004, 24(3): 79
- [E64] 支国瑞, 刘吉, 红卢艳军. 理化检验(化学分册), 2002, 38(9): 459
- [E65] 成勇, 肖军, 宁燕平等. 冶金分析, 2003, 23(3): 28
- [E66] 徐元财. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(11): 675
- [E67] 成勇. 冶金分析, 2003, 23(6): 15
- [E68] 张香荣, 刘嫱, 张立新. 冶金分析, 2002, 22(4): 47
- [E69] 陈辉, 吕水源, 林华. 光谱实验室, 2003, 20(3): 376
- [E70] 罗小云, 刘洪, 韦琚等. 冶金分析, 2004, 24(4): 81
- [E71] 卢菊生, 盛仁伍, 侯列奇. 冶金分析, 2004, 24(2): 48
- [E72] 何海成, 黄志荣, 黄新平. 分析科学学报, 2004, 20(2): 142
- [E73] 何海成, 张光霞, 黄新平. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(7): 887
- [E74] 张敏. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(3): 177
- [E75] 傅锦华, 杨嵌. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(9): 470
- [E76] 刘琰, 程坚平, 潘忆婷. 冶金分析, 2004, 24(3): 59
- [E77] 崔爱端, 杜梅, 刘晓杰. 稀土, 2005, 26(1): 57
- [E78] 田荣花, 吴红. 江西冶金, 2003, 23(2): 44
- [E79] 邓汉芹, 钟新文, 喻雪林. 冶金分析, 2003, 23(2): 48
- [E80] 叶晓英, 李帆, 庞晓辉. 光谱实验室, 2003, 20(1): 113
- [E81] 李帆, 叶晓英. 光谱实验室, 2003, 20(1): 122
- [E82] 邓汉芹, 钟新文, 宋耀. 冶金分析, 2004, 24(4): 24
- [E83] 李玲, 彭丽萍, 王志强. 现代科学仪器, 2004, (3): 45
- [E84] 刘永明. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(10): 1257
- [E85] 徐立, 赖心. 冶金分析, 2004, 24(5): 62
- [E86] 徐立, 谢辉, 赖心. 广东有色金属报, 2004, 14(2): 148
- [E87] 金献忠, 丘寅, 黄宗平. 分析试验室, 2004, 23(8): 65
- [E88] 宋武元, 钟沛余, 梁静. 分析化学, 2004, 32(7): 861
- [E89] 杨忠梅, 何玉田. 冶金分析, 2005, 25(3): 95
- [E90] 杭义萍, 秦永超, 江祖等成. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(7): 1131
- [E91] 陈菲菲, 魏成磊, 黄蕊. 黄金, 2005, 26(8): 41
- [E92] 朱光辉, 王光灿. 光谱实验室, 2005, 20(4): 773
- [E93] 孙伟燕, 陈蓉玉. 化学世界, 2005, 46(5): 266
- [E94] 彭晖冰. 湖南冶金, 2005, (3): 45
- [E95] 刘传仕. 矿冶, 2005, 14(2): 86
- [E96] 成勇, 肖军, 宁燕平. 冶金分析, 2005, 25(3): 76
- [E97] 辛仁轩, 王建晨. 分析化学, 2002, 30(11): 1375
- [E98] 秦侠, 沈兰荪. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(6): 1009
- [E99] 陶锐, 高舸. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(1): 67
- [E100] 邱德仁. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(1): 58
- [E101] 辛仁轩, 王建晨, 宋旭文. 岩矿测试, 2002, 21(4): 284
- [E102] 赵嘉微, 王琳, 张为. 光谱实验室, 2004, 21(5): 977
- [E103] 李金英, 郭冬发, 曹淑琴. 质谱学报, 2002, 23(2): 164
- [E104] 胡净宇. 同位素, 2004, 17(1): 51
- [E105] 赵书瑞, 陈金忠, 魏艳红等. 光谱学与光谱分析, 2004, 24

- (2): 214
- [E106] 黄志勇, 吴熙鸿, 胡广林. 分析化学, 2002, 30(11): 1387
- [E107] 臧慕文, 刘 英, 童 坚. 分析实验室, 2002, 21(6): 21
- [E108] 潘元海, 刘 刚, 刘湘生. 分析实验室, 2003, 22(3): 19
- [E109] 易 永, 章新泉, 苏亚勤. 分析科学学报, 2005, 21(1): 90
- [E110] 蒋新宇, 周春山, 唐课文. 分析实验室, 2003, 22(2): 61
- [E111] 王明海. 冶金分析, 2004, 24(2): 19
- [E112] 冯先进, 陈湘炎. 有色金属, 2003, 55(4): 163
- [E113] 刘星星, 文 劫, 熊兴安. 湖南有色金属, 2002, 18(4): 43
- [E114] 刘传仕. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(1): 55
- [E115] 罗 梅. 河南冶金, 2004, 2(2): 22
- [E116] 田孔泉, 郝红梅, 张卫杰. 光谱实验室, 2004, 21(3): 551
- [E117] 胡净宇, 王海涛. 冶金分析, 2004, 24(6): 1
- [E118] 李 帆, 邹 斌. 光谱实验室, 2002, 19(5): 699
- [E119] 刘 正, 张翠敏. 冶金分析, 2004, 24(1): 1
- [E120] 郝冬梅, 张翼明, 王海涛. 等 2003, 24(6): 30
- [E121] 李继东, 伍 星, 郑永章. 分析实验室, 2004, 23(4): 73
- [E122] 章新泉, 刘晶磊, 林平等. 分析测试学报, 2005, 24(1): 73
- [E123] 章新泉, 刘晶磊, 姜玉梅. 质谱学报, 2004, 25(4): 204
- [E124] 李 继, 东 伍, 星郑永章. 分析实验室, 2004, 23(8): 37
- [E125] 章新泉, 刘晶磊, 林 平等. 分析实验室, 2004, 23(6): 73
- [E126] 吴淑芳, 姜玉梅. 江西化工, 2005, (1): 109
- [F1] 徐增芹, 高良豪, 王 斌. 光谱实验室, 2004, 21(1): 92
- [F2] 曹彦婷, 石毓霞, 朱建国. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(2): 103
- [F3] 张翔辉, 顾兰兰. 冶金分析, 2003, 23(2): 62
- [F4] 孙晓波, 李井会, 宋立伟等. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(6): 1177
- [F5] 郑建华. 冶金分析, 2005, 25(3): 64
- [F6] 周玉珍, 张秀仁, 刘淑萍等. 光谱实验室, 2003, 22(4): 727
- [F7] 郑建华. 光谱实验室, 2004, 21(3): 495
- [F8] 张 玲, 崔素君, 马爱方. 冶金分析, 2003, 23(4): 55
- [F9] 金建华. 冶金分析, 2003, 23(5): 56
- [F10] 刘玉法, 王 斌. 光谱实验室, 2004, 21(3): 273
- [F11] 李继录, 房国军. 黑龙江冶金, 2003, (4): 20
- [F12] 高良豪, 王 斌, 徐增芹. 光谱实验室, 2004, 21(2): 252
- [F13] 张 兵, 杨体绍, 李玉玲. 光谱实验室, 2004, 21(4): 735
- [F14] 王 斌, 李 洋. 光谱实验室, 2004, 21(1): 55
- [F15] 张翔辉, 顾兰兰. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(2): 114
- [F16] 郭 芳, 刘 翔, 沈 克等. 冶金分析, 2003, 23(1): 46
- [F17] 高良豪. 光谱实验室, 2004, 21(4): 672
- [F18] 廖义兵, 黄荣青, 付 韬等. 江西冶金, 2003, 23(6): 176
- [F19] 张 玲, 朱建国, 曹彦婷. 冶金分析, 2002, 22(4): 69
- [F20] 李政军, 张震坤, 刘健斌. 光谱实验室, 2005, 22(1): 83
- [F21] 蔡继杰, 黄宋平, 杨立辉. 光谱实验室, 2003, 20(2): 221
- [F22] 戚佳琳, 王境堂. 化学分析计量, 2004, 13(5): 44
- [F23] 梁启华. 江苏冶金, 2003, 31(5): 44
- [F24] 刘玉法, 王 斌. 光谱实验室, 2004, 21(3): 273
- [F25] 钱 菁. 光谱实验室, 2004, 21(3): 261
- [F26] 龚春雷, 邓振江. 冶金分析, 2004, 24(5): 43
- [F27] 文 静. 光谱实验室, 2002, 19(6): 813
- [F28] 许德英, 何小青, 姚永成. 光谱实验室, 2004, 21(2): 273
- [F29] 岳研祥. 仪器仪表与分析监测, 2005, (3): 38
- [F30] 岳研祥, 孙兰海, 蔡辉旭. 现代科学仪器, 2004, (6): 45
- [F31] 李四红, 湖南有色金属, 2004, 20(2): 40
- [F32] 陈 杰, 李 晖, 李左丹. 现代仪器, 2003, (1): 25
- [F33] 王长华, 钱伯仁, 潘元海. 分析实验室, 2004, 23(12): 51
- [F34] 金献忠, 丘 寅. 光谱实验室, 2003, 20(3): 386
- [F35] 衣忠文. 冶金分析, 2003, 23(5): 59
- [F36] 粟 智. 光谱实验室, 2003, 20(3): 406
- [F37] 刘 伟, 方 卫. 贵金属, 2003, 24(2): 53
- [F38] 蒋启翠. 冶金分析, 2004, 24(6): 77
- [G1] 朱纪夏, 李庆美. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(4): 233
- [G2] 朱明亮, 金旭荷. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(4): 241
- [G3] 萧民强, 宋兆华, 马季艳. 现代仪器, 2005, (2): 16
- [G4] 陆晓明, 金德龙, 林国强. 冶金分析, 2005, 25(1): 45
- [G5] 张运浓, 刘慧兰, 秦玲玲. 化学分析计量, 2003, 12(6): 33
- [G6] 郭庆斌. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(11): 665
- [G7] 董宏海. 检验检疫科学, 2004, 14(2): 32
- [G8] 胡正阳, 邢华宝, 华 静. 冶金分析, 2003, 23(3): 51
- [G9] 崔素君, 刘信文. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(7): 422
- [G10] 朱纪夏, 李庆美. 冶金分析, 2004, 24(1): 73
- [G11] 董 林, 宋立伟, 李井会等. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(10): 603
- [G12] 张运波, 齐 兵, 刘喜秀. 化学分析计量, 2005, 14(2): 56
- [G13] 齐 郁, 李小杰, 崔 隽. 冶金分析, 2002, 22(6): 20
- [G14] 杨 红, 王新海, 周德云. 冶金分析, 2003, 23(5): 62
- [G15] 吴岩青, 徐 海. 理化检验 - 化学分册, 2005, 41(1): 28
- [G16] 童晓民, 韩 非, 朱 智. 岩矿测试, 2003, 22(4): 303
- [G17] 罗湘宁, 李友元, 吴志华. 冶金分析, 2003, 23(5): 43
- [G18] 宋武元, 钟沛余, 梁 静等. 检验检疫科学, 2003, 13(5): 19
- [G19] 李莎莎, 陈卫东. 冶金分析, 2005, 25(2): 47
- [G20] 童晓明, 张 乔, 臧树良. 岩矿测试, 2002, 21(3): 215
- [G21] 吴奕阳, 叶晓琨, 方名成. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(11): 639
- [G22] 刘 斌, 吴奕阳, 陈丁滢. 上海计量测试, 2004, 31(3): 23
- [G23] 严 好. 上海计量测试, 2003, 30(5): 15
- [G24] 包生祥, 王守绪, 赵登华. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(3): 460
- [H1] 张震坤, 梁 静, 陈 平. 光谱实验室, 2004, 21(1): 393
- [H2] 王 虹, 杨建光, 王立克. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(12): 731
- [H3] 朱 艳. 化学分析计量, 2004, 13(4): 49
- [H4] 张庆波, 李树华, 刘 丽. 光谱实验室, 2004, 21(5): 992
- [H5] 毛禹平, 陈丽春, 王 铭等. 云南冶金, 2004, 33(1): 49
- [H6] 卫志东. 安徽化工, 2004, (1): 55
- [H7] 钟 华. 理化检验 - 化学分册, 2003, 38(8): 458
- [H8] 王春玲. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(4): 231
- [H9] 宋维第, 孙 莹, 陈 明. 冶金分析, 2004, 24(4): 57
- [H10] 粟 淘. 冶金分析, 2002, 22(4): 68
- [H11] 张震坤, 梁 静, 陈 平. 光谱实验室, 2004, 21(3): 585
- [H12] 沈 进, 宋立伟, 赵 宇等. 辽宁化工, 2004, 33(3): 185
- [H13] 王新潮. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(7): 423
- [H14] 魏逸英, 梁 静, 陈佩玲等. 光谱实验室, 2003, 20(5):

- 729
- [H15] 肖红新. 广东有色金属学报, 2005, 15(1): 70
- [H16] 王静平. 仪器仪表与分析监测, 2002, (4): 38
- [H17] 徐建平. 冶金分析, 2004, 24(4): 31
- [H18] 王朝斗, 庞秋林. 光谱实验室, 2004, 21(6): 1183
- [H19] 徐汾兰, 程坚平, 奚居柏. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(7): 414
- [H20] 王 慧, 李万国. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(8): 485
- [H21] 赵 宇, 宋立伟. 冶金分析, 2003, 23(6): 60
- [H22] 赵 宇, 宋立伟. 冶金分析, 2003, 23(1): 53
- [H23] 傅 明, 黄志强, 杨万彪. 分析科学学报, 2003, 19(2): 199
- [H24] 向元斌. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(4): 244
- [H25] 傅 明, 陈新焕, 杨万彪. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(7): 426
- [H26] 周晓东, 李 洁, 方 斌等. 稀土, 2003, 24(6): 33
- [H27] 巩春莲. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(7): 429
- [H28] 马爱方. 河北冶金, 2003, (6): 53
- [H29] 朱跃进. 冶金分析, 2003, 23(2): 11
- [H30] 姚素红. 化学分析计量, 2003, 12(2): 43
- [H31] 邹乐西, 吴伦强, 向方涛等. 分析试验室, 2004, 23(增刊): 82
- [H32] 钱庆长, 骆友健. 冶金分析, 2004, 24(6): 44
- [H33] 郑翠红. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2004, 21(2): 103
- [H34] 王启芳, 周海收, 赵振庚. 分析试验室, 2002, 21(5): 66
- [H35] 程晓舫, 程坚平, 杨劲松. 冶金分析, 2004, 24(2): 68
- [H36] 徐本平. 冶金分析, 2004, 24(6): 49
- [H37] 王爱军, 张祖辉, 常相征. 冶金分析, 2004, 24(1): 80
- [H38] 肖红新, 庄艾春, 叶 祥. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(9): 517
- [H39] 朱跃进. 分析试验室, 2004, 23(增刊): 207
- [H40] 周海收, 王启芬. 分析试验室, 2005, 24(3): 79
- [H41] 李素娟, 朱跃进. 冶金分析, 2002, 22(5): 58
- [H42] 于 赞, 季诚昌, 商宝禄. 稀土, 2004, 25(4): 44
- [I1] 张 云, 褚亮亮, 许 圆. 分析试验室, 2005, 24(3): 44
- [I2] 王 伟, 孙好德, 陆好林. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(4): 219
- [I3] 董守安, 吴长蓉. 贵金属, 2003, 24(3): 30
- [I4] 陈丽春, 王禹平. 云南冶金, 2003, 32(3): 41
- [I5] 徐 立, 谢 辉, 赖 心. 化学传感器, 2004, 24(3): 59
- [I6] 汪效祖, 张 荣, 刘建兰等. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(3): 170
- [I7] 袁玉霞. 有色金属, 2003, 55(3): 140
- [I8] 陈 文, 王正猛, 吴晓蓉等. 四川有色金属, 2003, (3): 38
- [I9] 严金龙, 孙汉东. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(8): 476
- [I10] 李江蔓. 江西冶金, 2003, 23(2): 42
- [I11] 黄美华, 李益恒, 赵巧玲. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(9): 438
- [I12] 黄美华, 李益恒, 赵巧玲. 分析试验室, 2003, 22(2): 51
- [I13] 张邵春. 中国锰业, 2002, 20(4): 48
- [I14] 高甲友. 冶金分析, 2003, 23(1): 68
- [I15] 崔凤平. 冶金分析, 2003, 23(4): 72
- [I16] 毛禹平. 云南冶金, 2003, 32(增刊): 181
- [I17] 夏蛟云, 严规有, 高桂云等. 理化检验 - 化学分册, 2003, 39(2): 92
- [I18] 严规有, 夏蛟云, 李竹英. 冶金分析, 2003, 23(1): 30
- [I19] 李 蓉. 冶金分析, 2003, 23(1): 37
- [I20] 刘 革, 贾云海, 陈吉文等. 冶金分析, 2003, 23(3): 26
- [I21] 韩 权, 阎宏涛, 洪 波. 分析试验室, 2003, 22(4): 11
- [I22] 郭庆林, 张 博, 王兰勋等. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(3): 447
- [I23] 王 波. 四川有色金属, 2002, (4): 34
- [I24] 朱英贵, 高 峰, 王 伦. 分析试验室, 2003, 22(2): 8
- [I25] 张 毅, 陈英颖, 张志颖. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(4): 191
- [I26] 腾 璇, 李小佳, 王海舟. 冶金分析, 2003, 23(5): 1
- [I27] 荣百炼, 普朝光, 鲁燕杰. 质谱学报, 2004, 25(2): 96
- [I28] 胡涛路, 欣阎研等. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(9): 1072
- [I29] 毛允静. 冶金分析, 2003, 9(1): 53
- [I30] 纽树芳, 郝 茜, 李玉梅. 稀土, 2004, 25(1): 57
- [I31] 朱子平, 李 蕾. 化学分析计量, 2004, 13(5): 39
- [I32] 刘兴利, 吴永康. 西南民族大学学报(自然科学版), 2004, 30(1): 28
- [I33] 彭 霞, 胡晓燕. 冶金分析, 2005, 25(1): 23
- [I34] 彭霞, 胡晓燕. 分析化学, 2004, 32(12): 1694

### Analysis of metallic materials

MA Chong-xian\* and WU Cheng (Shanghai Research Institute of Materials, Shanghai 200437), Fenxi Shiyanshi, 2006, 25(12): 103 ~ 122

**Abstract:** This is the second review on the analysis of metallic materials for the journal of 《Fenxi Shiyanshi》, which has systematically summarized the development of analysis of metallic materials in China during the period from Jul 2002 to Dec 2005. It contains following subjects: analytical method standard and certified reference materials; gravimetry and titrimetry; sepectrophotometry; atomic absorption spectrometry; atomic emission spectrometry; mass spectrometry; X-ray fluorensence spectrometry; analysis of gases in metallic materials; electrochemical analysis. A total of 621 references are cited.

**Keywords:** Analysis of metallic materials; Review