

国内高灵敏度光度法手册

1985—1994

编著 孙龄高
郭玉竹
丁杏春

中国标准出版社

065 7.29-62
6205
1

国内高灵敏度光度法手册

1985~1994

编著 孙龄高 郭玉竹 丁杏春

中国标准出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

国内高灵敏度光度法手册: 1985~1994/孙龄高等编著
北京: 中国标准出版社, 1995

ISBN 7-5066-1180-5

I. 国… II. 孙… III. 比色法, 高灵敏-手册 IV. 0657.
39-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 18167 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码: 100045

电 话: 8522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

开本 787×1092 1/16 印张 5 1/4 字数

1996 年 6 月第一版 1996 年 6 月第一次印刷

印数 1-2000 定价 9.00 元

标 目 283 03

前 言

分光光度法在分析检测中具有使用仪器简单价廉、操作简便、结果准确、适用面广等优点,所以它在我国许多行业无机微量分析中一直发挥着重要的作用。光度法的研究,尤其是高灵敏度光度法的开拓和应用长期以来为我国无机分析工作者所关注,近 10 年来每年都有约 150 篇论文发表。

高灵敏度光度法的研究与开发既是热点,众矢之的,就难免出现工作内容的雷同甚至于重复。近年来这种现象似有愈演愈烈之势,这无疑会造成一定程度的人力物力的浪费。存在这种现象的主要原因之一是由于我国可刊登分析专业论文的刊物众多,面对这方面的研究成果又缺乏系统的总结和通报,编写本书的目的就希望在这方面起些“亡羊补牢”的作用。我们尽最大努力将近 10 年来国内公开发表在各种刊物上的高灵敏度光度体系搜集、整理,以测定元素为序,以方法的主要特征为栏目,建立一个大型一览表,供广大从事无机分析的同行参阅、查索,定名为《国内高灵敏度光度法手册 1985~1994》。为了使读者一目了然,《手册》中将超高灵敏度($\epsilon \geq 10^6$)体系选拔集中成表(第三章)。为了照顾不同层次的读者,对体系中出现缩写试剂,在附录中介绍了它们的中文全称。总之,尽力为光度分析的同行提供方便,使其发挥《手册》的作用,这就是编写本书的初衷。虽然收集有关论文我们力求全面、系统,但也难免会有遗漏和疏误,望读者不吝指正,以供日后臻善。

编著者

1995 年 8 月于北京矿冶研究总院

目 录

一、我国高灵敏度光度法发展简评.....	(1)
二、1985~1994 年国内常规光度法中的高灵敏度体系	(4)
Ag(4)、Al(5)、As(7)、Au(8)、B(9)、Ba(9)、Be(9)、Bi(10)、 BrO ₃ ⁻ (11)、Ca(11)、Cd(12)、Ce(17)、Cl ⁻ (18)、CN ⁻ (18)、Co(18)、 Cr(20)、Cu(22)、Fe(26)、Ga(28)、Ge(29)、Hf(31)、Hg(31)、IO ₃ ⁻ (33)、 In(33)、Ir(34)、La(34)、Mg(34)、Mn(35)、Mo(36)、NO ₃ ⁻ (37)、 Nb(37)、Ni(38)、Os(41)、P(42)、Pb(43)、Pd(44)、Pt(46)、RE(47)、 Re(50)、Rh(50)、Ru(51)、S ²⁻ (51)、Sb(52)、Sc(52)、SCN ⁻ (53)、 Se(53)、Si(53)、Sn(54)、Sr(55)、Ta(55)、Te(56)、Th(57)、Ti(58)、 Tl(60)、U(61)、V(61)、W(62)、Y(63)、Zn(63)、Zr(67)。	
三、1985~1994 年国内常规光度法中的超高灵敏度体系	(69)
附录 体系中缩写试剂的中文名称	(74)
主要参考文献	(77)

一、我国高灵敏度光度法发展简评

3年前,正值《冶金分析》、《岩矿测试》、《分析试验室》三大分析专业刊物庆祝创刊10周年之际,南开大学沈含熙教授、清华大学郑用熙教授曾分别撰文^{〔1〕〔2〕〔3〕}对过去10年中我国光度分析领域取得的令人欣喜的进展作了全面地回顾。文献^{〔1〕}指出“从1981到1990年底10年中,我国各类学术刊物上发表的无机分析化学文章总数约为20000篇,其中属于光度分析法(包括荧光光度法及化学发光法在内)的论文约为5500篇,占总数的27%~28%。这个数字与1977年的统计(约占总数的25%)相比较,只是有增无减。”文献^{〔2〕}根据《中国无机分析化学文摘》所作的年度统计更具体地印证了文献^{〔1〕}的结论(见表1)。

表1 光度分析在国内无机分析中的地位

年 份	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
无机分析化学文献,篇	1858	2164	2398	2644	2707	2640	2665
光度分析所占比例, %	26.70	26.11	27.90	25.68	27.34	29.43	27.88

由统计得知,我国每年发表的无机分析化学文献,光度法一直占首位。光度分析能保持久盛不衰的原因,文献^{〔2〕}概括为以下几方面:① 相对于其他痕量分析法而言,光度法的精密度和准确度,公认是比较高的,所以在标样定值及标准方法中被广泛采用。② 光度法比较成熟,可测元素较多,灵活性较强。③ 光度法有一定的灵敏度和选择性,比较简便、快速。④ 不需要大型仪器,不需要过多投资,这特别适合我国目前的国情。除此之外,我们还想补充一点。⑤ 光度分析在我国历史久、普及广,有庞大的技术队伍和雄厚的技术力量从事光度分析研究和应用。由于以上原因我们深信光度分析在我国不仅会有成绩卓著的过去,而且会有令人鼓舞的未来。

在庆祝《岩矿测试》创刊10周年时,我们基于对我国近5年来发表的高灵敏度($\epsilon \geq 10^5$)光度法文章的调研,发表了《我国高灵敏度光度法发展简评》一文^{〔4〕}。此后,我们逐年对国内刊物上的高灵敏度光度体系进行搜集、整理和统计(其中某些年度已成文在刊物上发表),这就准备了《国内高灵敏度光度法手册 1985~1994》素材,在中国标准出版社的大力支持下,经过编序、整理、加工,今天成书出版。《手册》共涉及论文1405篇(不包括催化光度法、荧光光度法、化学发光光度法、双波长光度法、导数光度法、树脂光度法、浮选光度法、差示光度法)。从中,我们对我国高灵敏度光度法的发展作如下简评。

(1) 高灵敏度光度法的研究和应用在我国无机分析领域是个富有成果、十分活跃的区间。如果说光度分析是我国无机分析的热点,那么高灵敏度光度法的研究和应用无可置疑的就是这一热点的焦点。这一焦点并没有随着近年来仪器分析的发展而降温。1985~1994年全国公开发表的高灵敏度($\epsilon \geq 10^5$)常规光度法论文每年平均达120~150篇之多,共涉及元素或离子60个。其中包括95个超高灵敏度($\epsilon \geq 10^6$)光度体系(见第三章),甚至出现了 $\epsilon > 10^7$ 、 $\epsilon > 10^8$ 的实例。这对光度法的发展无论在实践上或是理论上都具有开创性的意义。

(2) 当前,高灵敏度光度法的研究从元素分布上具有相对集中性。在收集的1405篇论文中,虽然涉及到的元素或离子计60个,然而位居论文数量前5位的Cd(96)、Cu(89)、Zn(72)、

RE(71)、Ni(68)就占 396 篇,以 8%的元素数量占论文总数的 27%。而另有 20 个元素和离子各自仅有 1~10 篇。部分金属离子及大部分阴离子尚未涉及。扩展高灵敏度光度法的覆盖面,克服过分集中的倾向是今后高灵敏度光度法研究中值得注意的问题之一。

(3) 高灵敏度光度法研究中应注意情报调研,尽量避免无谓的重复劳动。由于高灵敏度光度法的研究是热点甚至是焦点,众矢之的,某些重复和雷同在某种意义上在所难免。但是作为一名负责的科技工作者,应竭力避免这种重复和雷同,研究立题前应作最大限度的周密调研,使自己的题目及获取的成果确实富有新意。为了给国内同行提供这方面研究现状较系统、简明的查索资料,也就是编写本书的初衷。以后我们将坚持每年都发表年度“高灵敏度光度体系一览”便于大家及时了解这方面动向;每 10 年成册出版,以提供系统比较并便于作资料积累。

(4) 显色试剂的开发与光度体系的研究是发展高灵敏度光度分析两个不可偏废的方面,均应给予足够地重视,使其相辅相成。10 年来,国内在卟啉类高灵敏度显色剂的开发和应用方面取得了可喜的成就,在收集的 1405 篇文献中用到卟啉试剂的有 147 篇,约占 1/10,已用于测定 Cu(32)、Zn(22)、Cd(15)、Pb(13)、Pd(11)、Co(10)、Ag(7)、Fe(6)、Hg(6)、Mn(6)、Au(4)、Rh(4)、Ru(3)、Bi(2)、Ni(2)、Ir(1)、Pt(1)、CN⁻(1)、S²⁻(1)等 19 种元素和离子。已合成的卟啉试剂近 40 种。卟啉试剂由于其分子具有较大的共轭结构,所以它与各种金属离子所形成的配合物的摩尔吸光系数均在 10⁵ 以上,是公认的灵敏显色剂。但这类试剂选择性欠佳依然是推广应用中的主要障碍。目前卟啉试剂的具体应用对象多局限于组成较为简单的自来水、人发、试剂等物料的分析,用于稍复杂物料的分析,通常要求苛刻的前分离手续。本书作者曾用卟啉试剂 TPPS4 不分离主体直接在室温条件下发色测定了金属铅中的微量铜^[5]是卟啉试剂在矿冶分析中应用的成功范例。一系列苯基荧光酮衍生物的合成和应用是近十多年来高灵敏度光度法另一十分活跃的领域。据第二章列表统计,使用此类试剂的文献达 321 篇,占 1/5 强,已用于测定 33 种元素和离子,其中报导论文多于 10 篇的元素依次为:Ge(33)、Ti(33)、Sn(28)、Mo(23)、Al(16)、Zr(16)、Fe(13)、Ga(12)、Ta(11)、W(11)。文献^[1]指出“此类试剂对一系列高价金属具有高灵敏、高选择和高稳定性的效果,成为当前测定锆、钼、钨、锡、钽、锆、铌、钽、铈等元素的首选方法。”这里应当特别提到的是这类试剂只是在 80 年代初表面活性剂广泛引入光度分析之后才焕发了青春,找到了大显身手的“舞台”。南开大学沈含熙教授对这类试剂的胶束增溶光度法进行了系统和详细地研究,对这类试剂的推广应用起了倡导和开拓性的作用;清华大学郑用熙教授、北京大学慈云祥教授在高灵敏度胶束增溶光度法机理方面作了深入地探讨,在应用方面作了广泛地实践。以他们为代表的一批年富力强的无机分析化学家们的辛勤工作,为我国高灵敏度光度法近 10 年间的快速发展作出了杰出贡献。应当指出,这期间武汉大学和华东师范大学在研制不对称变色酸双偶氮染料方面取得了公认的成就。他们研制成功的这类新试剂不下百种,成功地应用于钍、稀土和碱土金属的光度法测定。杂环偶氮显色剂是国内近 10 年来投入力量开发、研究、应用较多的另一类试剂,诱发这场“人民战争”的“导火索”是 70 年代初新钴试剂在我国成功的实用。这类试剂以其高选择性、高灵敏度、高稳定性而引人入胜。10 多年来,张光、张帆、童沈阳、俞汝勤、徐其亨、高家隆等多位知名学者致力于此类试剂的开发、研究和应用,取得丰硕的成果^{[1][2][3]},从第二章列表中可以看出由这类杂环偶氮显色剂参与的体系不但数量多,而且测定元素面广。在收集的资料中,新试剂体系与老试剂体系之比约为 3 : 7,这说明发展高灵敏度光度法既要重视新试剂的研制,也不要忽视新体系的开发(当然还包括不属于本书讨论范围的其他光度技术和手段),相互促进,相辅相成。

(5) 应加深对高灵敏度光度体系规律性的讨论和认识。当前关于高灵敏度光度体系的论文绝大多数是结果性的报告,侧重讨论导致高灵敏度结果的原因的论文极少,这种现象对高灵

敏度光度法更深、更快地发展显然是不利的。就本书第三章超高灵敏度光度体系而言,它所展\示的结果就可以提出许多发人深思且饶有兴趣的问题。在表列的 96 个超高灵敏度体系中,新灵敏显色剂构成的体系并不占主导地位,而老试剂构成的新体系比比皆是。由金属的高配位络阴离子与三苯甲烷系染料大阳离子缔合并由聚乙烯醇等稳定剂构成的体系竟有 63 个,占超灵敏体系的 2/3。显然这一现象值得光度分析界的重视和讨论,我们高兴地看到刘绍璞、刘忠芳已发表了与此有关的综述和评论^{[6][7]}。从第二章表中可知 Ru 和 Os 的高灵敏度光度体系分别只有 9 个,而各有 6 个入选超高灵敏度系列,大有“不鸣则已,一鸣惊人”之势,这一现象和它们在周期表中是上下“邻居”的内在因素应当不无关系。至于出现的 $\epsilon > 10^7$ 、 $\epsilon > 10^8$ 这些令光度分析者极为鼓舞的显色体系,也尚待作深入的机理探讨。作为一个较长远的目标,我们希望我国的化学家能运用一切现代化的技术和手段对某些已被确认的超高灵敏度光度体系进行更深入的结构化学、配合物化学、量子化学、光化学的剖析,以充足的数据定量或半定量地揭示其导致高灵敏度的机理和条件。这不仅对光度分析具有开拓性的意义,而且对上述诸学科的理论也是很有现实意义的验证。如果通过联合攻关,取得某些规律性的真知灼见,那么光度分析工作者及显色剂研制者将从必然王国向自由王国跨出一大步,中国化学家的一项实实在在的功绩将载入化学发展的史册。

二、1985~1994 年国内常规光度法中的高灵敏度体系($\epsilon \geq 10^5$)

国内常规光度法中的高灵敏度体系见表 2。

表 2

体 系	$\epsilon/10^5 (\lambda_{\max, nm})$	线性范围 $\mu g/mL$	分析对象	文 献 出 处
Ag(I)-4,4'-二硝基重氮氨基苯 -CPB	1.01 (535)	0~17/25	矿石	湖南冶金, 1986, (1)
Ag(I)-4,4'-二(二乙氨基)苯硫 酮-Triton X-100	1.32 (495)	0~1	矿石	北京大学学报, 1985, (6)
Ag-KI-亮绿-阿拉伯树胶	1.29 (620)	0~20/25	岩矿样品	地质实验室, 1986, 2 (1)
Ag-4,4'-四乙基二胺二苯甲硫酮 -Tween80	1.2 (540)	1~12/25	铅	冶金分析, 1986, 6(3)
Ag-4,4'-四乙基二胺二苯甲硫酮 -Triton X-100	1.27 (515)	0~1	铅银合金, 废 水	痕量分析, 1985, (3,4)
Ag(I)-镉试剂2B-OP	1.02 (560)	0~15/25	铋, 铅基合金, 照相铜板	分析试验室, 1986, 5 (5)
Ag(I)-镉试剂2B-Triton X-100	1.0 (554)	0.02~0.8	废水	中国环境监测, 1987, 3 (1)
Ag-荧光桃红-邻菲罗啉	1.3 (590)	0~15/25	铅, 铅合金	分析试验室, 1987, 6 (8)
Ag(I)-phen-Tpps ₄	1.36 (438)	0~0.4	生产感光乳胶 的废水	分析化学, 1989, 17(3)
Ag-meso-四(N-甲基-3-吡啶基) 卟啉-OP	3.56 (425.5)	0~12/25	照片	分析化学, 1989, 17(6)
Ag(I)-镉试剂 2B-SDS-Triton X-100	1.23 (560)	0~18/25	废水	杭州大学学报, 1991, 18(1)
Ag-邻羟基苯基重氮氨基偶氮苯 (HDAA)-三乙醇胺	1.28 (545)	0~7/25	废水	理化检验, 1991, 27(5)
Ag-meso-四(4-氯苯基)卟啉-Tri- ton X-100-CTMAB	3.94 (426)	0.0~3.2/10	相纸、定影液 废水	分析化学, 1992, 20(1)
Ag-邻菲罗啉-曙红-Tween20-聚 乙烯醇	1.35 (556)	0~20/25	合成试样, 废 水	黑龙江大学自然科学 学报, 1992, 9(1)
Ag-5,10,15,20-四(4-甲基-3-磺 酸苯基)卟啉-CTMAB-Pb ²⁺	3.70 (427.8)	0~6/25	阳极泥	黄金, 1992, 13(2)
Ag(I)-SCN ⁻ -罗丹明 B-AEO-7 (脂肪醇聚氧乙烯醚)/阿拉伯 树胶	4.17/2.73 (603/588)	0.5~2.0/25/ 0.5~5.0/ 25	中草药银花和 黄连, 人发	化学试剂, 1992, 14(2)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5(\lambda_{\max}, \text{nm})$	线性范围 $\mu\text{g/mL}$	分析对象	文 献 出 处
Ag-5,10,15,20-四(3-氯-4-磺酸苯基)卟啉- Pb^{2+} -CTMAB	3.23 (427.2)	0~6/25	阳极泥, 光谱废片	冶金分析, 1992, 12(4)
Ag-2,4-二溴-6-羧基苯基重氮偶氮苯-Triton X-100	1.05 (552)	0~0.4	废水, 矿石	岩矿测试, 1992, 11(4)
AgIO_3 -乙基紫-PVA	1.58 (550)	0~22.5/25	废水	太原工业大学学报, 1993, 24(1)
Ag-meso-四(4-磺酸基苯基)卟啉	5.21 (424)	0~8/25	相纸, 定影废液, 矿石	高等学校化学学报, 1993, 14(12)
Ag-meso-四(4-吡啶)卟啉-CTMAB	(425.5)	0~9/25	相纸, 定影废液	分析试验室, 1994, 13(1)
Ag-硫代米蚰酮-十二烷基苯基磺酸钠	1.14 (545)	0~18/25	矿石	黄金, 1994, 15(3)
Ag(1)-5-(4-氯-2-羧基苯偶氮)罗丹宁-Triton X-100	1.1 (475)	0~2.0	阳极泥, 废定影液	分析化学, 1994, 22(6)
Ag-meso-四(4-甲氧基-3-磺基苯基)卟啉-phen	1.1 (437.4)	0~25/25	阳极泥, 砷碳银	分析试验室, 1994, 13(3)
Ag-向红菲啉-曙红-PVA124-Triton X-100	1.0 (559)	0~20/50	镀金废液, 阳极泥	理化检验(化学分册), 1994, 30(6)
Al-CAB-DDMAA(十二烷基二甲氨基乙酸)	1.78 (650)		铜合金	理化检验, 1985, 21(4)
Al-CAS-Triton X-100	(615)	0~10/50	铜合金	理化检验, 1985, 21(4)
Al-CAB-CTMAB	1.35 (620)	0~0.3 Al_2O_3	硅石, 碳酸盐, 磷灰石类单矿物	理化检验, 1985, 21(4)
Al-4,5-二溴苯基荧光酮-溴化十六烷基三甲铵	1.6 (580)	0~5/25	金属钴及金属镁	理化检验, 1986, 22(1)
Al-水杨基荧光酮-CTMAB	1.4 (559)	0~0.2ppm	镁合金, 铝铁黄铜, 水等	化学试剂, 1985, 7(6)
Al-ECR-CTMAB	1.02 (595)	0~450 Al_2O_3 /100	硅酸岩, 铁锰矿, 铅锌矿	地质实验室, 1986, 2(1)
Al-CAS-CDMAA-乳化剂 OP	1.3 (620)	0~10/50	纯铁和低合金钢	分析化学, 1987, 15(1)
Al-间溴偶氮酸-m	1.1 (690)	0~8/25	纯铁和低合金钢	冶金分析, 1987, 7(1)
Al-氟-苯基荧光酮-Triton X-100	1.35 (554)	0~5/25	铜合金, 镁合金	分析化学, 1987, 15(8)
Al-CAS-溴代十四烷基吡啶-Triton X-100	1.45 (620)	0~2/25	血清	职业医学, 1987, 14(5)
Al-CAS-TDB-Phen-VC	1.2 (620)	0~8/50	镓	分析试验室, 1987, 6(12)
Al-CTMAB-邻、间、对硝基苯基荧光酮	1.56	0~4.2/25	钢、纯铁、纯 MgO , CaCO_3	分析化学, 1988, 16(5)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5 (\lambda_{\max, nm})$	线性范围 $\mu g/mL$	分析对象	文 献 出 处
Al -o-CIPF-CTMAB	1.08 (570)	0~11/25	石英岩、MgO、 水样	岩矿测试, 1988, 7(2)
Al -CAS-TPB-乙醇	1.5 (650)	0~4/50	菜油	分析试验室, 1988, 7 (4)
Al -CAS-TPB-OP	1.15 (610)	0~5/50	钴、镍	分析试验室, 1988, 7 (10)
Al -CAS-溴代十六烷基二甲基乙 酸铵	1.38 (620)	1~5/25	氧化铜	理化检验, 1988, 24(5)
Al -F ⁻ -邻羟基苯苄酮-Triton X- 100	1.5 (548)	0~4/25	镁合金, 铜合 金	理化检验, 1988, 24(5)
Al -邻氯苯基荧光酮-CTMAB	1.05 (568)	0~10/50		理化检验, 1988, 24(6)
Al -漂蓝6B-全氟辛酸钠- CTMAB	2.58 (660)	0~2/25	铜合金	分析试验室, 1989, 8 (6)
Al -CAS-CPB	1.25 (620)	2.5~25 Al ₂ O ₃ /50	矿石	理化检验, 1990, 26(2)
Al -o-NPF-CTMAB-OP	1.83 (556)	0~5/25	BN, Si ₃ N ₄	分析试验室, 1990, 9 (2)
Al -邻氯苯基荧光酮(CPF)-CD- MAA	1.40 (565)	0~4.0/25	钢样	理化检验(化学分册), 1990, 26(6)
Al -CAS-OP-CPB	1.35 (630)	2~20/50	碳钢、低合金 钢	理化检验(化学分册), 1991, 27(3)
Al -邻溴二甲基二羧基羟基品红 酮-CTMAB	1.26 (640)	0~5/25	石英, 石灰石	岩矿测试, 1991, 10(2)
Al -CPF-CTMAB	1.35 (566)	0~8/50	石灰石, 钢铁, 石英砂	冶金分析, 1991, 11(4)
Al -SAF-ODMAA	1.9 (558)	0~1.6/10	氮化硼, 氮化 硅	湖南大学学报, 1991, 18(3)
Al -CPF-ODMAA	1.86 (570)		氮化硅	冶金分析, 1991, 11(5)
Al -SAF-OP	1.34 (555)	0.025~4.8/ 25	氟化钠, 氟氢 化铵	湖南冶金, 1991, (4)
Al (Ⅲ)-铬天青 R-氯化十六烷基 吡啶(CPC)-Triton X-100	1.26 (580)	0~6.1/25	卷钢, 硅铁, 硅 酸盐岩石	广东工学院学报(自然 科学版), 1991, 8(4)
Al -2,4-二甲氧基苯基荧光酮- CTMAB	1.15(545)	0~9/25	纯度较高的石 英和石灰石 矿样	分析化学, 1992, 20(7)
Al -依来铬青蓝 R-CTMAB	1.2 (590)	0~2/25	钢, 硅铁, 纯锌	冶金分析, 1993, 13(1)
Al -5-溴水杨基荧光酮-CPB	1.7 (568)	0~6/25	饮料	分析化学, 1993, 21(3)
Al -CAS-OP	1.16 (610)	0~20/50	钢	理化检验(化学分册), 1993, 29(4)
Al -3,5-二溴水杨基荧光酮- CTMAB	1.4 (564)	0~5/50		江汉大学学报, 1993, 10(6)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5(\lambda_{\max, nm})$	线性范围 $\mu g/mL$	分析对象	文 献 出 处
Al-8-羟基喹啉-1,10-二氮杂菲-三氯甲烷萃取	(410)	0~0.5	水	重庆环境科学, 1994, 16(2)
Al-CAS-CPB-Triton X-100	1.10 (630)	0.2~8/25	自来水, 废水	湖南化工, 1994, 24(2)
As-钼酸铵-结晶紫(CV)	1.69 (555)	0~15/25	水, 合金中 Si, P, As 同测	分析化学, 1986, 14(1)
砷钼杂多酸-灿烂绿		0~6/25	铜合金	分析试验室, 1986, 5(3)
砷钼酸-孔雀绿-聚乙烯醇	2.6 (620)	0~20/50	粮食	环境污染与防治, 1986, 8(2)
砷钼杂多酸-孔雀绿-乳化剂 OP	1.21 (600)	0~18/25	钢样, 锡基合金, 铅基合金	山西师范大学学报, 1986, (2)
砷锑钼杂多酸-孔雀绿-CTMAB	2.0 (630)	0~3/10	铅粉	冶金分析, 1986, 6(3)
砷钒钼杂多酸-乙基紫-OP	1.93 (555)	0~5.0/25	纯铁	冶金分析, 1986, 6(3)
砷磷钼杂多酸-乙基紫-乳化剂 OP-混合还原剂	2.31 (553~555)	0~6.0/25	水	分析化学, 1986, 14(11)
砷锑钼蓝-乙醇	(740)	0~0.4/6	水, 植物, 钢铁	高等学校化学学报, 1987, 8(3)
砷钼钒杂多酸-丁基罗丹明 B	3.25 (590)	0~5.0/25	矿石中痕量砷	分析测试通报, 1987, 6(2)
砷钼杂多酸-乙基罗丹明 B-PVA	3.0 (589)	0~5.0/25		分析化学, 1987, 15(7)
砷钒钼酸-结晶紫-聚乙烯醇	2.14 (545)	0~5/25	污水	化学试剂, 1987, 9(3)
As(V)-乙基紫-钼酸铵-聚乙烯醇	2.3 (550)	0~6.0/25	井水, Na_2SO_4 试剂	环境化学, 1987, 6(5)
As-硝酸-硝酸银-聚乙烯醇-乙醇		2~16ppb	水	环境科技, 1988, 8(2)
砷钼杂多酸-结晶紫	1.70 (545)		贻贝, 牡蛎等海洋生物	海洋科学, 1988, (5)
砷钼蓝-孔雀绿-Triton X-305	1.13 (640)	0~7/25	水	冶金分析, 1989, 9(1)
砷钼杂多酸-罗丹明 B-阿拉伯树胶	1.99 (580)	0~8/25	钢铁, 锡基合金	山西大学学报, 1989, 12(4)
砷钼杂多酸-丁基罗丹明 B-聚乙烯醇-124	6.9 (590)	0~1.3/25	水样, 试剂	分析化学, 1990, 18(8)
砷钼杂多酸-罗丹明 6G	2.21 (560)	0~5/25	水样, 脉锡原矿	痕量分析, 1990, (3, 4)
As(V)-聚乙烯醇-钼酸铵-结晶紫	16.4 (570)	0~0.1	天然水, 生物试样 (茶叶)	痕量分析, 1992, 8(1)
As(V)- $Mo_7O_{24}^{6-}$ -乙基罗丹明 BS-PVA-T24	2.4 (586)	0~4.0/25	钢样, 化学试剂	分析化学, 1993, 21(6)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5 (\lambda_{\max, \text{nm}})$	线性范围 $\mu\text{g/mL}$	分析对象	文 献 出 处
$\text{AsH}_3\text{-I}_2\text{-淀粉}$	1.48 (590)	0~10/25	岩矿, 水	地质实验室, 1993, 9 (6)
$\text{AsH}_3\text{-Fe(III)-邻菲罗啉-甲基橙}$	13.9 (500)	0~2.5/25	高纯锌和铝	四川有色金属, 1993, (4)
Au-隐色二甲苯蓝 FF	1.3 (608)	0~10/10	矿石	分析化学, 1985, 13 (11)
Au-TMK-CPC	1.59 (548)		黄铁矿单矿物	痕量分析, 1985, (2)
Au-TMK-BRIJ35	1.3 (550)	0~25/20	地质样	地质实验室, 1986, 2 (1)
Au-TMK-SDS	1.5 (555)	0~15/25	矿石	分析试验室, 1986, 5 (6)
Au-TMK-BRIJ35	1.3 (550)	0~25/20	地质样品	痕量分析, 1985, (3,4)
Au-TMK-Tween80	1.46 (560)	0~15/25	矿石	分析化学, 1986, 14(9)
Au(I)-TMK-CTMAB	1.32 (544)	0~20/25	地质样品	分析试验室, 1987, 6 (1)
Au(III)-KI-丁基罗丹明 B-明胶- OP	5.9 (610)		镀金废液, 矿 石	分析试验室, 1987, 6 (1)
AuBr_4^- -维多利亚蓝 B-阿拉伯胶	1.5 (570)	0~20/25	矿石	冶金分析, 1987, 7(1)
Au-乙基紫-乙酸丁酯萃取	1.01 (590)	2.5~25/25	阳极泥, 电镀 液	西南师范大学学报, 1987, (1)
Au-金试剂-Tween80	1.61 (565)	0~15/50	矿石	分析试验室, 1987, 6 (7)
Au-金试剂-Triton X-100	1.65 (565)	0~20/25	地质样品	分析化学, 1988, 16(1)
Au-TMK-CTMAB	1.6 (550)	0~20/25	矿石	理化检验, 1988, 24(3)
Au-TMK-Triton X-100	1.43 (555)	0~10/25	岩石	分析试验室, 1988, 7 (11)
Au-金试剂-十二烷基磺酸钠-丙 酮	1.4 (550)		矿石	冶金分析, 1989, 9(1)
Au-TMK-OP	1.2 (550)	0~50/25	矿石	岩矿测试, 1989, 8(1)
Au-NaBr-甲基绿-环己烷、丁酮 萃取	1.31 (596)	0~10/10	岩矿、阳极泥, 浸出渣	山西大学学报, 1989, 12(2)
Au-四(4-三甲胺苯基)卟啉-HgCl	2.41 (447)	0~5/25	镀金液	桂林冶金地质学院学 报, 1989, 9(3)
Au-金试剂-N-十二烷基二甲基 氨基乙酸	1.43 (555)	0~12.5/25	地质样品	化学试剂, 1989, 11(3)
Au-氯化亚锡-结晶紫-聚乙烯醇	17.7 (545)	0~2.5/25	矿石	分析试验室, 1989, 8(5)
Au-金试剂-苄基十四烷基二甲基 氯化铵	1.73 (565)	0~12.5/25	矿石	贵金属, 1989, 10(3)
Au-TMK-Tween20	1.53 (555)	0~35/25	矿石	冶金分析, 1991, 11(2)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5 (\lambda_{\max, nm})$	线性范围 $\mu g/mL$	分析对象	文 献 出 处
Au-SCN ⁻ -罗丹明 B-阿拉伯胶	1.23 (595)	0~8/25	金精矿	分析试验室, 1991, 10 (2)
Au(Ⅰ)-TMK-十二烷基硫酸钠	1.1 (555)	0~1	矿石	分析化学, 1991, 19(4)
Au-TMK-CTMAB	1.48 (545)	0~20/25	矿石	浙江冶金, 1991, (1)
Au-5-(4-苯磺酸基偶氮)-8-氨基 喹啉-CTMAB	1.48 (605)	0~22/10	阳极泥, 矿石	黄金, 1991, 12(8)
Au-TMK-Tween80	1.75 (555)	0~10/25	矿石	冶金分析, 1992, 12(5)
Au(Ⅲ)-硫代米蚰酮-SLS	1.69 (545)	0~75/25	矿样	光谱实验室, 1993, 10 (2)
Au(Ⅱ)-meso-四(4-乙酰氧基苯) 吡啶-SLS-Triton X-100	1.62 (420)	0~1.2/10	岩矿	分析化学, 1993, 21(4)
Au(Ⅱ)-四(4-三甲胺苯基)吡啶- 二苯胍	6.62 (410)	0.004~0.2	矿样	岩矿测试, 1993, 12(3)
Au-硫代米蚰酮-CTMAB	1.5 (545)	0~10/25	铜矿	地质实验室, 1993, 9 (3)
Au(Ⅲ)-meso-四(4-磺酸基苯基) 吡啶-二苯胍	6.64 (410)	0.1~3.5/25	矿石	分析试验室, 1994, 13 (1)
Au-硫代米蚰酮-CTMAB	1.5 (545)	0~10/25	矿石, 尾矿	铀矿冶, 1994, 13(1)
Au-钼酸铵-罗丹明 B	2.65 (570)	0~10/25	矿物	分析化学, 1994, 22(7)
Au-TMK-SDS	1.4 (555)	0~10/25	矿样	冶金分析, 1994, 14(4)
Au(Ⅲ)-盐酸羟胺-联吡啶	1.72 (520)	0~15/25	金矿	冶金分析, 1994, 14(3)
Au(Ⅲ)-NNN'-四甲基二氨基 二苯甲烷-DDMAA	1.52 (615)	0~30/25	金矿石	新疆有色金属, 1994, (3)
Au-钼酸盐-耐尔蓝-PVA	2.71 (595)	0~16/25	岩矿, 冶金产 品	分析试验室, 1994, 13 (6)
Au(Ⅲ)-3,3',5,5'-四甲基联苯 胺	1.03 (450)	0~40/25	粗铜	分析化学, 1994, 22 (10)
B-姜黄素-CPB	1.80 (560)	0~3/25	岩石, 土壤	分析试验室, 1988, 7 (4)
B-姜黄素-Triton X-100	3.2 (555)	0~0.75/25	钢铁	冶金分析, 1994, 14(2)
Ba-对乙酰基偶氮羧	1.2 (710)	0~18/25	合成样 合金标样 氯化钠	化学试剂, 1985, 7(3)
Ba-偶氮氯膦Ⅲ-Zn-邻菲罗啉	1.80 (687)	0~12/25		痕量分析, 1989, 5(3)
Ba-2,2'-联吡啶-间溴偶氮羧	1.5 (710)	0~15/25		冶金分析, 1991, 11(1)
Ba-偶氮氯膦Ⅲ-Cu(Ⅱ)-phen	1.0 (675)	0~20/50		化学试剂, 1992, 14(1)
Be-CAB-Tween20	1.28 (615)			冶金分析与测试, 1985, 5(3)
Be(Ⅱ)-铬偶氮酚 KS-溴化十六 烷基吡啶	1.35 (610)	0~3/50		化学试剂, 1985, 7(3)
Be-氯化十六烷基吡啶-铬天青 B- CPC	1.0 (615)	0~3.5/25	铍青铜	理化检验, 1987, 23(6)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5(\lambda_{\max}, \text{nm})$	线性范围 $\mu\text{g/mL}$	分析对象	文 献 出 处
Be-CAS-癸基二甲基氨基乙酸-Tween80	1.40 (614)	0~1.5/25	地面水	理化检验, 1987, 23(6)
Be-4,5-二溴苯基荧光酮-CTMAB-Tween60	17.0 (568)	0~0.0068	铍青铜及矿物	分析化学, 1987, 15(10)
Be(Ⅱ)-CAS-DEDMAA-Tween80	1.20 (614)	0~1.5/25	铜, 铜合金	分析试验室, 1988, 7(2)
Be-依莱铬青 R-CPB	1.1 (580)	0~1.0/25	铍合金, 工业废水, 废气	上海环境科学, 1988, 7(6)
Be-4,5-二溴苯基荧光酮-CTMAB-Tween20	9.6 (565)	0~0.2/25	水样	重庆环境科学, 1989, 11(5)
Be(Ⅱ)-CAS-Triton X-100-乙醇	1.08 (640)	0~3.0/50	医用 Li_2CO_3	光谱仪器与分析, 1990, (2)
Be-CAS-Zeph-Triton X-100	1.04 (610)	0~1.2/25	工业废水, 硅渣	化工冶金, 1990, 11(4)
Be-姜黄素-溴代十六烷基吡啶(CPB)	1.25 (550)	0~8/25	岩矿	分析化学, 1992, 20(1)
Be^{2+} -铬天青 S-Zeph-Triton X-100	1.4 (610)	0~1.2/25	水	湖南冶金, 1992, (4)
Bi-2-(4,5-二甲基噻唑-2-偶氮)-5-二乙氨基酚	1.0 (590)	0~20/25	低合金钢, 铜合金, 工业污水等	化学学报, 1985, 43(8)
Bi-5-Br-PADAP-CNS ⁻ -乙酸正丁酯	1.1 (588)	0~9/8	井水, 河水, 自来水	分析测试通报, 1986, 5(5)
Bi-苯基荧光酮-溴化十六烷基三甲基铵	1.65 (560)	0~28/25	自来水, 铍矿	分析试验室, 1987, 6(2)
Bi-三氯偶氮氯磷-高氯酸	1.11 (640)	0~15/25	人发	化学试剂, 1987, 9(3)
Bi-二溴-氯偶氮氯磷-乙醇	1.06 (642)	0~15/25	白钨矿	冶金分析, 1988, 8(2)
Bi-罗丹明6G-KI-阿拉伯胶	6.9 (560)	0~10/25	稀土发光材料, 低合金钢等	分析化学, 1988, 16(4)
Bi(Ⅲ)-KI-乙基紫-阿拉伯树胶	2.05 (540)	0~24/25	地质样	岩矿测试, 1988, 7(3)
Bi(Ⅲ)-2-[3,5-二溴-2-吡啶偶氮]-5-二乙氨基苯酚-OP	1.05 (596)	0~25/25	粗铅, 铅板栅合金	复旦学报, 1988, 27(2)
Bi-5-[6-溴-(2-苯基噻唑偶氮)]-8-羟基喹啉-CTMAB-SLS	1.68 (560)	0~7/10	矿样, 铜合金	分析化学, 1988, 16(9)
Bi-偶氮氯磷-DBM-乙醇	1.2 (646)	0~15/25	铜合金, 锌基合金, 纯铝	分析化学, 1988, 16(9)
Bi-丁基罗丹明 B-KI-阿拉伯胶-Triton X-100	15.0 (586)	0~0.1	合金钢	分析化学, 1988, 16(9)
Bi-罗丹明 B-聚乙烯醇	2.3 (594)		钢铁及合金	冶金分析, 1988, 8(5)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5 (\lambda_{\max, \text{nm}})$	线性范围 $\mu\text{g/mL}$	分析对象	文 献 出 处
Bi-3,5-二氯-DEPAP-OP	1.32 (580)	0~18/25	矿样、锌样	冶金分析, 1989, 9(2)
Bi-DBC-偶氮氯膦-乙醇	1.06 (642)	0~15/25	铝基合金, 白 钨矿	化学试剂, 1988, 10(6)
Bi(Ⅲ)-SCN ⁻ -孔雀绿	7.1 (620)	0~20/50	纯铅, 铅黄铜	冶金分析, 1989, 9(5)
Bi-三溴偶氮氯膦	1.05 (640)	0~10/25	粗铅, 人发	冶金分析, 1990, 10(3)
Bi-KI-罗丹明 B-聚乙烯醇	(580)	0~6/50	钢, 低合金钢, 钼铁	冶金分析, 1991, 11(2)
Bi-KI-罗丹明6G-聚乙烯醇	1.07(564)	0~10/25	铁、锌、铝	冶金分析, 1991, 11(2)
Bi-DMTAM-OP	1.16(572)	0~25/25	锡	理化检验(化学分册), 1991, 27(3)
Bi-DBS-偶氮膦	(630)	0~15/25	钢铁	理化检验(化学分册), 1991, 27(4)
Bi-KI-结晶紫-阿拉伯胶	2.93 (560)	0~12.5/25	钨矿、钢样	湖南有色金属, 1991, 7 (3)
Bi ³⁺ -间氟苯基荧光酮(m-FPF)- CTMAB-硫脲	1.83 (560)	0~5.0	纯锡	分析试验室, 1991, 10 (6)
Bi(Ⅲ)-间硝基偶氮氯膦(CPA m N)-CPB-Triton X-100-乙醇	1.10	0~10/10	铅基合成试样	冶金分析, 1992, 12(4)
Bi ³⁺ -罗丹明 B(RhmB)-KI-聚乙 烯醇(PVA)-Triton X-100	2.88 (605)	0~10/25	Bi-Sr-Ce-O 超导薄膜	中国科学技术大学学 报, 1992, 22(2)
Bi(Ⅲ)-KI-乙基紫	17.7 (570)	0~6.0/25	水样	痕量分析, 1992, 8(1)
Bi(Ⅲ)-meso-四(对-磺酸基苯 基)卟啉(TPPS ₄)-Hg(Ⅱ)	3.78 (462)	0~10	矿石	分析试验室, 1992, 11 (5)
Bi-meso-四(对-三甲胺基苯基) 卟啉	3.15 (464)	0~0.48	矿样	岩矿测试, 1992, 11(4)
Bi-KI-乙基紫	3.56(560)	0~12.5/25	钨、钼矿	冶金分析, 1992, 12(6)
Bi(Ⅲ)-5-溴-水杨基荧光酮- CTMAB	3.29 (560)	0~5/25	纯锡, 水	化学试剂, 1993, 15(2)
BiH ₃ -I ⁻ -罗丹明 B-阿拉伯树胶	5.76 (595)	0~0.30	铸铁, 土壤	郑州大学学报(自然科 学版), 1993, 25(3)
Bi-I ⁻ -罗丹明 B-阿拉伯胶-OP	1.6 (580)	0~10/50	铜	理化检验(化学分册), 1994, 30(1)
Bi-三溴偶氮溴膦-HClO ₄ -乙醇	1.0 (644)	0~20/25	铸铁, 紫铜样 品	理化检验(化学分册), 1994, 30(2)
Bi-四(4-磺基苯基)-卟啉-SLS	1.7 (466)	0~1.1	胃必治, 陈香 路白路	理化检验(化学分册), 1994, 30(4)
Bi(Ⅲ)-4,5-二溴苯基荧光酮- CTMAB	3.34 (585)	0~5.0/10	铜合金	冶金分析, 1994, 14(5)
BrO ₃ ⁻ -I ⁻ -孔雀绿	1.94 (645)	0~7/10	氯酸钾	矿冶工程, 1992, 12(3)
Ca-间羧基偶氮羧	1.7 (700)	0.5~5.0/25	钨酸钠	理化检验, 1990, 26(5)
Ca-Mg-间硝基偶氮溴羧	3.57	0.1~5/25	纯镁盐中	理化检验(化学分册), 1990, 26(6)

续表 2

体 系	$\epsilon/10^5 (\lambda_{\max}, \text{nm})$	线性范围 $\mu\text{g/mL}$	分析对象	文 献 出 处
Ca-对乙酰基偶氮羧-P-偶氮氧化偶氮 BN-环己烷	1.5 (705)	0~7/25	合金钢	理化检验(化学分册), 1991, 27(3)
Ca-对羧基偶氮羧	1.51 (718)	1~13/25		化学学报, 1991, 49 (12)
Ca-对羧基偶氮羧	1.5 (718)	0~10/25	头发, 血清	理化检验(化学分册), 1992, 28(2)
Ca-4-(2-吡啶偶氮)-间苯二酚-溴代十六烷基吡啶	6.38 (495)	0~400/50	试剂氢氧化钠, 氯化铵	天津化工, 1992, (3)
Ca-对羧基偶氮羧	1.51 (718)	1~11/25	复方 NaCl 注射液	分析化学, 1992, 20 (11)
Ca-间溴偶氮羧-m	1.2 (710)	0~12/25	硅砂, 砂岩, 长石	理化检验(化学分册), 1993, 29(2)
Ca-偶氮胂 M	2.9 (640)	0~12.5/10	防龋牙膏中的释放钙	日用化学工业, 1993, (1)
Ca-对羧基偶氮羧	1.52 (718)	0~0.4	中药	分析测试通报, 1993, 12(1)
Cd-非水溶性卟啉(TPP)	4.2 (432)	0~2.5/10	工业废水, 陶瓷浸泡液	环境化学, 1985, 1(3)
Cd- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ -四(4-氯苯基)卟啉-Triton X-100-十二烷基磺酸钠	4.1 (438)	0~10/25	糖厂, 造纸厂废液等	高等学校化学学报, 1985, 6(10)
Cd-试镉灵-Tween80	1.5 (475)	0~16/50	土壤, 矿石, 工业废水	理化检验, 1985, 21(5)
Cd-meso-四(3-甲基苯)卟啉-2, 2'-联吡啶-溴代十六烷基吡啶	3.8 (432)	0~8/25		高等学校化学学报, 1986, 7(1)
Cd- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ -四(4-乙酰氨基苯基)卟啉-吡啶	4.5 (422)	0~10/25	水样	分析化学, 1986, 14(6)
Cd-Cadion2B-十二烷基磺酸钠	1.19 (520)	8~12.5/25	镉青铜, 纯锌	分析试验室, 1986, 5 (6)
Cd-乙基罗丹明 B-1'-聚乙烯醇	13 (605)	0.1~1.5/25	自来水	痕量分析, 1985, (3, 4)
Cd-达旦黄-聚乙二醇辛基醚	1.5 (470)	0~13/50	人发样, 自来水样	河南大学学报, 1986, (2)
Cd-达旦黄-硫氰酸盐-Tween80	1.6 (470)	0~10/25	难熔金属	稀有金属, 1986, 5(3)
Cd(II)-5-Br-PADAP-OP	1.66 (560)	2.5~20/25	水质, 土壤, 矿石	新疆大学学报, 1986, (4)
Cd(II)-5-Br-PADAP-OP	1.16 (560)	0~19/25	水, 土	分析化学, 1986, 14 (12)
Cd(II)-溴化十六烷基吡啶-水杨基荧光酮	2.47 (573)	0~6/25	含镉废水	分析化学, 1986, 14 (12)
Cd-碘化钾-结晶紫	2.1 (520)	0~8/25		环境化学, 1987, 6(3)