

综 述(80~86)

痕量钒的催化动力学光度法研究进展

张 勇¹, 李月云², 丁玉龙³, 姬广磊³, 李 燕³, 魏 琴³

(1. 济南大学 管理学院, 山东 济南 250022; 2. 山东理工大学 化学工程学院, 山东 淄博 255091;

3. 济南大学 化学化工学院, 山东 济南 250022)

摘 要: 以指示物质为线索, 综述了近年来国内外催化动力学光度法测定痕量钒的研究情况, 从反应介质、灵敏度、线性范围等方面介绍了钒对不同指示物质的氧化(还原)的催化动力学光度法反应体系的研究情况, 并对催化动力学光度法测定痕量钒的各体系做出综合分析。

关键词: 染料; 酸碱指示剂; 催化光度法; 动力学; 钒

中图分类号: O657.32

文献标识码: A

文章编号: 1006-3757(2004)02-0080-07

自 20 世纪 70 年代人类发现钒是人体所必需的微量元素之时起, 钒即成了化学分析研究的热点之一。有资料表明, 钒具有类胰岛素作用, 且被生物无机化学列为抗癌元素之一。因此, 测定环境样品及生命有机体中的痕量钒具有重要的实际意义^[1~5]。

过去曾有人报道过非催化动力学光度法测定痕量钒^[6~8], 但就目前的研究过程和结果来看, 催化动力学光度法可根据待测物质对某些反应的催化作用, 利用反应速率与催化剂的浓度之间的定量关系, 通过测量与反应速率成比例关系的吸光度, 来计算待测物质(即催化剂)的浓度。克服了有些标准方法的局限性, 如灵敏度不够高, 以及操作过程繁琐等^[9,10]。近年来, 利用催化动力学光度法测定痕量钒, 已广泛应用于食品、人发、水样、钢样等的痕量分析中, 并取得满意的结果。

关于催化动力学光度法测定痕量钒的文献日益增多, 但国外报道相对于国内的要少得多, 对于 1993 年之前的文献报道^[11,12] 本文不再归纳, 现仅将近十年来催化动力学光度法测定痕量钒的国内外文献报道汇总, 以指示物质为线索, 从反应条件、灵敏度、检出限和应用等方面进行综合阐述。

1 钒对氧化(还原)有机试剂(染料)的催化动力学光度法

根据近十年催化动力学光度法测定痕量钒的文

献来看, 常用的有机试剂(染料)有三苯甲烷类染料、偶氮类染料、醌亚胺类等几种, 其中三苯甲烷类染料方面的研究较多, 下面将作详细阐述。

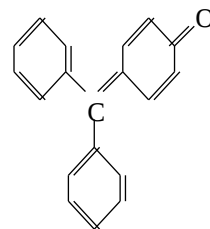


图 1 三苯甲烷基本构型

Fig. 1 Structure of triphenylmethane

1.1 钒对氧化(还原)三苯甲烷类染料的催化动力学光度法

三苯甲烷类染料(结构式见图 1), 包括碱性染料和酸性染料, 用于金属离子、非金属离子以及有机物的测定, 已有很长的历史。1989 年以前, 主要应用于配合和缔合两大类显色体系。20 世纪 90 年代以后基于该类染料的氧化还原性, 通过氧化(还原)使其褪色或显色, 从而推动了催化动力学光度法的发展, 拓宽了三苯甲烷类染料的应用范围^[13~15]。其中, 用于测定痕量钒的指示剂出现不少, 已报道有灿烂绿、维多利亚蓝、孔雀绿、溴酚蓝等。见表 1。

1.2 钒对氧化(还原)醌亚胺类催化动力学光度法

丁素芳等^[30] 基于在抗坏血酸存在下, 痕量钒

收稿日期: 2003-10-27; 修订日期: 2004-01-12.

基金项目: 山东省自然科学基金资助(编号: Y2000B09).

作者简介: 张勇(1978-), 男, 硕士生, 从事分析化学的研究工作。

表 1 钒对氧化(还原)三苯甲烷类染料的催化动力学光度法

Table 1 The catalytic kinetic spectrophotometry of vanadium on the oxidation (reduction) triphenylmethane dye

体系	介质(mol/L)	检出限(ng/mL)	线性范围($\mu\text{g/mL}$)	应用	文献号
溴酸钾-维多利亚蓝-钒(V)	柠檬酸(0.5)	0.1	0~0.008	水、人发	[16]
溴酸钾-灿烂绿-钒(V)	柠檬酸(0.1)	0.064 3	0.000 8~0.0040、 0.004 8~0.013 2	人发、水样	[17]
溴酸钾-还原型罗丹明 B-钒(V)	HAc-NaAc(pH3.9)	0.5	0~100	煤	[18]
溴酸钾-孔雀绿-钒(V)	HAc-NaAc		20~200	粮食	[19]
溴酸钾-溴酚蓝-钒(V)	柠檬酸(1)	2.3	0.002 3~0.200 0	水样	[20]
溴酸钾-维多利亚天蓝 B-钒(V)	H ₂ SO ₄ (1)		0.02~0.20	铁钒混合物	[21]
溴酸钾-丁基罗丹明 B-钒(V)	柠檬酸(0.2)	0.13	$0.4 \times 10^{-3} \sim 8.0 \times 10^{-3}$	岩石	[22]
溴酸钾-孔雀石绿-钒(V)	柠檬酸(0.14)	4.06	0.00~0.12	人发、土壤	[23]
溴酸钾-结晶紫-钒(V)	H ₂ SO ₄ (1)	0.016	$1.6 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-3}$	环境水样	[24]
溴酸钾-甲基百里酚蓝-钒(V)	磷酸(0.5)	10	0.01~0.10	钢	[25]
溴酸钾-罗丹明 B-钒(V)	柠檬酸(1)	1.9	0.01~0.20	水样	[26]
溴酸钾-二苯碳酰二胂-钒(V)	柠檬酸(0.1)	0.98(20) 0.83(25)	0.002~0.800(20) 0.001 6~0.600 0(25)	岩石	[27]
次磷酸钠-罗丹明 B-钒(V)	柠檬酸-柠檬酸钠(pH2.5)	0.06	0.0~4.0	水样、 合金钢样	[28]
溴酸钾-乙基紫-钒(V)	盐酸(2.0)	0.2	0.000 2~0.001 6	水样	[29]

(V)对溴酸钾氧化次甲基绿褪色的新指示反应,建立了一个催化动力学光度法测定痕量钒(V)的新方法.线性范围为0.000~0.004 $\mu\text{g/mL}$ 和0.004~0.008 $\mu\text{g/mL}$,方法检出限为0.34 ng/mL,用于人发、水样中痕量钒(V)的测定,结果满意.

1.3 钒对氧化(还原)偶氮类染料的催化动力学光度法

实践证明,偶氮化合物(azo-compounds)具有性质稳定、显色反应灵敏度高、选择性好、对比度大等优点,是目前应用最广泛的一类显色剂^[31,32].催化光度法基于偶氮类染料的氧化还原性质,加入氧化剂或还原剂破坏其共轭体系,使其颜色减弱或加深,从而进行光度分析.其中以变色酸的应用最多,应用于催化光度法测定痕量钒的文献较多,现将近年来有关偶氮类试剂催化动力学体系作如下归纳,详见表2.

1.4 钒对氧化蒽酮类的催化动力学光度法

蒽酮类有机试剂主要有荧光素,如四溴荧光素(曙红)、四碘荧光素、四氯四碘荧光素、荧光红等.徐胜利等^[49]基于硫酸介质中,柠檬酸作活化剂,钒催化氯酸钾氧化荧光素,建立了催化光度法测定痕量钒的方法.方法的线性范围为0.000 0~0.002 4 $\mu\text{g/mL}$,检出限为0.172 ng/mL,并已用于钢样、水

样中痕量钒(V)的测定.

1.5 钒对氧化(还原)含氮类的催化动力学光度法

孙登明等^[50]研究了在pH值为3.5的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液中,痕量钒(V)催化溴酸钾氧化邻氨基酚的指示反应,用萃取平衡控制反应时间和水相中邻氨基酚的浓度及反应程度,通过测量424 nm下有机相的吸光度,建立了萃取催化动力学光度法测定痕量钒的新方法.方法的线性范围为0.001 0~0.300 0 $\mu\text{g/mL}$,检出限1.0 ng/mL.已用于人发、煤和岩石中痕量钒的测定.

周之荣等^[51]研究了在pH值为5.5的NaAc-HAc介质中,铁(III)、钒(V)催化溴酸钾氧化邻氨基酚显色的指示反应,通过测量418 nm处有机相的吸光度,建立了萃取催化动力学光度法同时测定痕量铁(III)、钒(V)的新方法.

刘峥^[52]、黄红^[53]等根据在没食子酸(pH=4)存在下,微量钒(V)催化溴酸钾氧化邻苯二胺的动力学条件,测定痕量钒(V).其线性范围为0.000~0.001 $\mu\text{g/mL}$,检出限为1.18 ng/mL,相对标准偏差为4.63%($n=10$),线性回归方程为 $\Delta A=1.026 C(\mu\text{g/mL})-0.0157$ ($r=0.9997$),表观摩尔吸光系数 $\epsilon_{460\text{nm}}=3.27 \times 10^7 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$.并直接应用于水样和食品样的测定.

Kawakubo Susumu等^[54,55]研究了在pH值为

表2 钒对氧化(还原)偶氮类染料的催化动力学光度法

Table 2 The catalytic kinetic spectrophotometry of vanadium on the oxidation (reduction) diazo dye

体系	介质 (mol/L)	检出限 (ng/mL)	线性范围 ($\mu\text{g/mL}$)	应用	文献号
抗坏血酸-钼试剂 II-V 钒(V)	HAc-NH ₄ Ac (pH 7.5)	7	0.00 ~ 0.08	化探样品	[33]
溴酸钾- α -萘红-V 钒(V)	盐酸 (1.0)	0.08	$0.0 \sim 4.5 \times 10^{-2}$	水样	[34]
重铬酸钾-偶氮胂 II-V 钒(V)	盐酸 (0.01)	20	0.02 ~ 0.20	人发、马铃薯、茶叶	[35]
溴酸钾-偶氮胂 II-V 钒(V)	H ₂ SO ₄ (0.10)	1.8×10^{-3}	$0.0 \sim 1.5 \times 10^{-4}$	水、小麦	[36]
溴酸钾-偶氮胂 II-V 钒(V)	磷酸 (1.10)	1.92×10^{-2}	$0.0 \sim 0.8 \times 10^{-2}$	茶叶、花生等	[37]
氯酸钾-变色酸-V 钒(V)	HCl-KCl (pH 1.0)	0.08	$0.0 \sim 1.2 \times 10^{-2}$	水样、人发	[38]
溴酸钾-铬蓝黑 B-V 钒(V)	H ₂ SO ₄ (0.5)	1.11×10^{-2}	$0.0 \sim 0.2 \times 10^{-2}$	水样、人发	[39]
溴酸钾-酸性间胺黄-V 钒(V)	H ₂ SO ₄ (1.0)	0.15	$0.0 \sim 0.6 \times 10^{-2}$	人发、粮食	[40]
溴酸钾-变色酸-V 钒(V)	HCl-KCl (pH 1.0)	5.03×10^{-2}	$(1.6 \sim 5.6) \times 10^{-3}$	钢样、岩石	[41]
溴酸钾-对氯偶氮氯膦-V 钒(V)	磷酸 (1.10)	4.73×10^{-2}	$0.4 \times 10^{-4} \sim 0.4$	钢样、岩石	[42]
溴酸钾-酸性铬蓝 K-V 钒(V)	H ₂ SO ₄ (0.01)	1.0	0.004 ~ 0.020	水样	[43]
溴酸钾-酸性铬蓝 K-V 钒(V)	H ₂ SO ₄ (0.1)	0.08	$0.8 \times 10^{-4} \sim 0.08$	岩石、水样	[44]
溴酸钾-酸性铬蓝 K-V 钒(V)	H ₂ SO ₄ (1.4)	0.247	$0 \sim 1.6 \times 10^{-3}$	自来水	[45]
溴酸钾-三溴偶氮胂-V 钒(V)	柠檬酸 (0.5 g/L)	7.78×10^{-3}	0 ~ 8	人发	[46]
碘酸钾-变色酸-V 钒(V)	HCl-KCl (pH 1.0)	0.04	0.0 ~ 0.5	水样、人发	[47]
H ₂ O ₂ -变色酸-V 钒(V)	柠檬酸		2 ~ 10	水样	[48]

4.0的没食子酸存在下,钒对溴酸钾氧化间苯二胺的催化反应,以此建立了测定痕量钒的方法.方法的线性范围为 $0.000 \sim 0.008 \mu\text{g/mL}$,并已成功应用于河水中痕量钒的测定.

Safavi 等^[56]根据在 pH 值为 4.5 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液中,痕量钒(V)催化溴酸钾氧化苯胺绿的指示反应,建立了测定痕量钒的新方法.测定线性范围 $0.06 \sim 0.20 \mu\text{g/mL}$,检出限为 2.0 ng/mL ,用于河水中痕量钒的测定,结果满意.

Safavi 等^[57]研究了在 pH 值为 1.2 的 NH₃-NH₄Cl 缓冲溶液中,痕量钒(V)催化溴酸钾氧化联胺的指示反应.测定钒的线性范围为 $0.07 \sim 2.50 \mu\text{g/mL}$,已成功应用于石蜡中痕量钒的测定.

Sikalos 等^[58]根据在苯甲酸存在下,钒对溴酸钾氧化二苯胺的催化反应,测定微量钒的灵敏度为 $0.4 \mu\text{g/mL}$,线性范围 $0.4 \sim 4.0 \mu\text{g/mL}$,用于钢铁中钒的测定,结果满意.

2 钒对氧化(还原)酸碱指示剂的催化动力学光度法

酸碱指示剂是化学分析中常用的试剂,在这里是利用氧化(还原)剂对酸碱指示剂的氧化还原反应,达到对钒的测定.此方面的文献总结见表3所示.

3 钒对氧化(还原)其他显色剂的催化动力学光度法

王建华等^[70~72]根据 Cr(VI)-I⁻-淀粉体系的氧化还原反应可被 Cr(VI)-V(IV)反应所诱导,提出了一种测定微量钒的停流-诱导动力学光度法,并建立了测定最佳条件.常见离子中,除 Fe²⁺, Ti⁺, Se⁴⁺, As³⁺以外,大部分不干扰测定,该方法测定钒的线性范围为 $0.0 \sim 1.8 \mu\text{g/mL}$,测定了土壤中的微量钒,六次测定的 RSD 为 2.45%.

吕明等^[73,74]研究了在 pH 值为 9.2 的硼砂介质中,痕量钒催化 H₂O₂氧化桑色素褪色反应体系的新催化光度法.测量范围为 $0.00 \sim 0.25 \mu\text{g/mL}$,加标回收率为 95.0% ~ 98.5%,测定 $2 \mu\text{g}$ 钒, RSD 为 1.68%,并已用于水样中痕量钒的测定.

贾欣欣^[75]根据在酸性介质中痕量钒催化 H₂O₂氧化抗坏血酸体系的反应和动力学条件,建立了催化动力学光度法测定痕量钒的新方法.该方法的检出限为 0.05 ng/mL ,线性范围为 $0.00 \sim 0.02 \mu\text{g/mL}$,该方法用于水样及人发中痕量钒的测定,结果令人满意.

周之荣^[76]利用钒的阻抑作用建立了测定痕量钒的动力学光度法.在硫酸介质中,方法灵敏度较高,达到 $3.37 \times 10^{-4} \text{ ng/mL}$.

表 3 钒对氧化(还原)酸碱指示剂的催化动力学光度法

Table 3 The catalytic kinetic spectrophotometry of vanadium on the oxidation (reduction) acid-base indicator					
体系	介质 (mol/ L)	检出限 (ng/ mL)	线性范围 (μg/ mL)	应用	文献号
氯酸钾-二甲苯黄-钒 (V)	H ₂ SO ₄	0.01	0.000 ~ 0.006	水、食品	[59]
溴酸钾-乙基橙-钒 (V)	H ₂ SO ₄ (2.0)	0.14	$0.25 \times 10^{-3} \sim 3.5 \times 10^{-3}$	食品	[60]
氯酸钾-鸡冠花红-钒 (V)	H ₂ SO ₄ (3.0)	0.179	0.000 ~ 0.008	环境水样、钢样	[61]
溴酸钾-H 酸-钒 (V)	HAc-NaAc (pH4.5)	8.3×10^{-3}	$0.0 \sim 1.7 \times 10^{-3}$	水样	[62]
高碘酸钾-靛蓝胭脂红-钒 (V)	磷酸 (1.0)	0.1	0 ~ 5	钢	[63]
溴酸钾-靛蓝二磺酸钠-钒 (V)	磷酸 (1.0)	20	0.0 ~ 1.0	钢铁	[64]
高碘酸钾-靛红-钒 (V)	磷酸 (5.0)	100	0.0 ~ 4.0	钢	[65]
溴酸钾-甲基蓝-钒 (V)	柠檬酸 (0.1)	0.004	0.000 ~ 0.008	环境水样	[66]
溴酸钾-甲基橙-钒 (V)	硫酸 (0.1)	0.030	$0.1 \times 10^{-3} \sim 0.1$	铝合金、食品	[67]
溴酸钾-甲基紫-钒 (V)	柠檬酸	1.8			[68]
溴酸钾-甲基红-钒 (V)	柠檬酸	0.12	0.000 0 ~ 0.006 4	地下水	[69]

张瑛等^[77]研究了稀盐酸介质中钒(V)催化溴酸钾氧化 1-氨基-8-萘酚-3,6-二磺酸-钠盐形成红色产物的指示反应,建立了催化光度法测定痕量钒(V)的新方法:在 55 ℃ 下恒温反应 55 min,加 EDTA 抑制反应,同时以流水冷却.于 $\lambda_{\max} = 436 \text{ nm}$ 处测定催化反应和非催化反应的吸光度 A 和 A₀,钒(V)含量在 0.0 ~ 0.8 ng/ mL 与 ΔA 呈良好的线性关系,测定的检出限为 $3.6 \times 10^{-2} \text{ ng/ mL}$.

刘长增^[78]基于磷酸和棉红在沸水发色条件下反应生成的产物在钒催化下被 KBrO₃氧化而建立了一个测定超痕量钒的新方法.方法选择性好,测定范围是 0.00 ~ 0.70 ×10⁻³ μg/ mL,检出限是 7.3 ×10⁻³ ng/ mL,方法用于芹菜、人体血清和井水中超痕量钒的测定,获得了满意结果.刘长增^[1]又研究了在抗坏血酸存在时,基于在稀硫酸介质中钒(V)催化加速溴酸钾氧化中性红的反应,建立了测定超痕量钒的又一新方法,方法线性范围是 0 ~ 600 μg/ mL,检出限为 7.0 ×10⁻³ ng/ mL,已用于人体血清和河水中超痕量钒的测定.

Nabi 等^[79]研究了碘酸亚铈被高碘酸钾氧化的反应,利用钒的催化作用,建立了测定痕量钒的方法.方法的检出限为 0.5 ng/ mL,线性范围为 0.5 × 10⁻³ ~ 0.1 μg/ mL,用于矿石中钒的测定,结果满意.

Mohamed, ashraf A 等^[80]研究了在酒石酸 (pH = 3.10) 存在下,钒催化溴酸钾氧化 2,3,4-三羟基苯甲酸的指示反应.测定痕量钒的检出限可达 0.018 ng/ mL,线性范围为 0.00 ~ 0.75 ×10⁻³ μg/ mL,已成功应用于海水、天然水中痕量钒的测定.

4 结束语

总的来说,测定痕量钒的分析技术发展很快,方法日益增多.催化动力学光度法具有操作简单、灵敏度高等特点,其在测定痕量钒上的应用也越来越广泛.由以上综述可以看出,其中以 V(V) 对氧化(还原)三苯甲烷类有机试剂的催化光度法的研究最多,分析应用最广泛;从测定的结果来看,虽然反应的各有机试剂不同,但在所用方法中,催化荧光光度法的灵敏度最好,选择性也最好.

参考文献:

[1] 刘长增. 测定超痕量钒的灵敏指示反应[J]. 分析试验室, 2000, 19(6): 50-52.

[2] Ali A Ensafi, Kazemzadeh M. Determination of vanadium by flow injection analysis with spectrophotometric detection[J]. Microchem J, 1996, 53:139.

[3] Ali A Ensafi, Naderi B. Catalytic determination of ultratrace amounts of vanadium with detection by linear sweep voltammetry[J]. Fresenius J Anal Chem, 1997, 358: 480.

[4] Mazlum M, Ali A Ensafi. Highly selective catalytic differential pulse polarographic method for determination of vanadium[J]. International J Environ Anal Chem, 2001, 81: 117-125.

[5] Ali A Ensafi, Kazemzadeh M. Highly sensitive spectrophotometric kinetic determination of vanadium by catalytic effect on the gallocyanine-bromate reaction[J]. Anal Chim Acta, 1994, 298: 27.

[6] Kwapulinska, Gertruda. Spectrophotometric method for determination of vanadium(IV) using Chrome Azurol S

- and dimethylaurybenzylammonium bromide [J]. Pr Nauk Uniw Slask Katowicach, 1990, 119:42-47.
- [7] Mathew Lata, Reddy M L P, Rao T Prassada. Sensitive flotation-spectrophotometric method for the determination of vanadium(IV) with 3,5-dinitrosalicylic acid and rhodamine B[J]. Fresenius J Anal Chem, 1994, 350(3):180-181.
- [8] Ramesh A. Spectrophotometric study of the complexation reaction between vanadium(IV) and 4-(2-thiazolylazo) resacetophenone oxime[J]. Acta Cienc Indica Chem, 1994, 19(1):31-32.
- [9] Jonnalagadda S B, Sawunyamam P. Acridine orange-bromate reaction: a kinetic method for the analysis for vanadium(V) [J]. Fresenius J Anal Chem, 1991, 340(3):173-174.
- [10] 刘长增, 韩长秀. V(V)-KBrO₃偶氮胂 III 催化光度法测定痕量钒的研究[J]. 冶金分析, 2000, 20(5): 29-31.
- [11] Leon Camacho M, Ternero Rodriguez M, Callejon Morchon M. Kinetic-spectrophotometric determination of traces of vanadium(V) by its catalytic effect on the oxidation of 1,4-dihydroxyphthalimide dioxime with bromate[J]. Anal Chim Acta, 1991, 244(1):89-97.
- [12] Zotou Anastasia C, Papadopoulos Constantine G. Kinetic-spectrophotometric determination of trace amounts of vanadium(V) [J]. Analyst, 1990, 115(3):323-327.
- [13] 冯尚彩, 杨秀英. 三甲苯染料在我国光度分析和电化学分析中的应用进展 [J]. 冶金分析, 2002, 22(1): 24-32.
- [14] Mohamed Ashraf A, Iwatsuki Masaaki, Fukasawa Tsutomu. Catalytic determination of vanadium using the perphenazing-bromate redox reaction and a citric acid activator[J]. Analyst, 1995, 120(8): 281-285.
- [15] Ashraf A Mohamed, Khaled F Fawy. Catalytic determination of vanadium based on the bromate oxidative-coupling reaction of metol phloroglucinol [J]. Mikrochimica Acta, 2000, 134:229-235.
- [16] 罗从军. 维多利亚兰催化光度法测定水和人发中痕量钒[J]. 淮北煤师院学报(自然科学版), 1996, 17(1): 59-62.
- [17] 丁素芳, 袁西媛. 灿烂绿-溴酸钾体系催化光度法测定痕量钒(V)的研究[J]. 淮北煤师院学报(自然科学版), 1996, 17(3): 54-57.
- [18] 邵谦, 葛圣松, 刘志强, 等. 催化光度法测定煤中钒[J]. 岩矿测试, 1996, 15(4): 319-320.
- [19] 王术皓, 张爱梅, 杜凌云, 等. 停流流动注射催化光度法测定痕量钒[J]. 分析化学, 1996, 24(7): 832-834.
- [20] 刘秀萍, 张志琪. 反相流动注射催化光度法测定痕量钒的研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 1997, 20(2): 204-207.
- [21] 刘秀萍, 张志琪, 陈世荣. 流动注射催化光度法同时测定铁和钒的研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1998, 26(4): 63-66.
- [22] 董彦. 丁基罗丹明 B-溴酸钾-溴代十六烷基吡啶体系催化光度法测定痕量钒的研究[J]. 淮北煤师院学报(自然科学版), 1998, 19(4): 325-328.
- [23] 訾言勤, 陈立国, 洪玉斌. 流动注射催化光度法测定痕量钒的研究[J]. 现代科学仪器, 2000, (2):41-43.
- [24] 詹汉英, 乔素华, 伊红英. 经光度法测定水中痕量钒[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2001, 31(1):226-228.
- [25] 白林山. 溴酸钾-甲基百里酚蓝催化光度法测定钢中微量钒[J]. 安徽工业大学学报, 2001, 18(3):861.
- [26] 刘秀萍. 反相流动注射催化光度法测定痕量钒的研究[J]. 理化检验:化学分册, 1998, 34(3):101-103.
- [27] 孙登明, 阮大文. 萃取催化动力学光度法测定痕量钒[J]. 分析化学, 1996, 24(5): 551-554.
- [28] 张志琪, 詹汉英, 祝辉. 以还原褪色反应催化光度法测定痕量钒[J]. 分析化学, 1996, 24(2): 172-174.
- [29] 程薇. 用乙基紫和溴酸钾催化光度法测定痕量钒(V) [J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(5): 108-110.
- [30] 丁素芳, 张振新. 次甲基绿-溴酸钾体系催化光度法测定痕量钒(V)的研究[J]. 光谱实验室, 1996, 13(5): 47-50.
- [31] 徐建强. 有机试剂 4-(6-甲氧基-8-喹啉偶氮)-间苯二酚的合成和结构分析[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(4): 560-563.
- [32] Ali A Ensaf, Kazemzadeh M. Highly sensitive spectrophotometric kinetic determination of vanadium by catalytic effect on the galloycyanine-bromate reaction[J]. Anal Chim Acta, 1994, 298: 27.
- [33] 刘国均, 李锦昕, 赵秀梅. 流动注射催化光度法测定化探样品中痕量钒[J]. 分析化学, 1996, 24(7): 838-840.
- [34] 张爱梅, 王怀生, 崔慧等. 溴酸钾氧化 α -萘红催化光度法测定痕量钒[J]. 分析化学, 1997, 25(4): 494.
- [35] 何荣桓, 王建华. 催化光度法测定环境样品中痕量钒的研究- $K_2Cr_2O_7$ -偶氮胂 III 指示反应体系[J]. 稀有金属, 1998, 22(5): 358-360.
- [36] 刘长增, 韩长秀. V(V)-KBrO₃偶氮胂 III 催化光度法测定痕量钒的研究[J]. 冶金分析, 2000, 20(5): 29-31.
- [37] 黄俭根, 施踏青. 催化光度法测定痕量钒的研究[J].

- 理化检验:化学分册,1998,34(1):20-21.
- [38] 朱化雨,杨秀英,张利. 催化动力学光度法测定痕量钒(V)的研究[J]. 分析试验室,1994,13(3):38-40.
- [39] 王术皓,杜凌云,张爱梅等. 催化动力学光度法测定痕量钒的新体系[J]. 聊城师范学院学报(自然科学版),1995,8(1):73-75.
- [40] 刘德云,杜凌云,王术皓. 藉催化氧化酸性间胺黄反应动力学光度法测定痕量钒[J]. 聊城师范学院学报(自然科学版),1997,10(2):65-67,71.
- [41] 李慧芝,周长利,赵淑英,等. 巯基葡聚糖凝胶分离催化动力学光度法测定痕量钒(V)的研究[J]. 化学世界,2000,(3):153-155.
- [42] 杨春霞,李慧芝,安贵祥,等. 催化动力学光度法测定痕量钒的研究[J]. 稀有金属,2000,24(1):78-80.
- [43] 姜华,刘海凤,孔维波. 催化动力学光度法测定痕量钒的研究[J]. 理化检验:化学分册,2001,37(5):213-214.
- [44] 高琼,孙登明. 氯酸钾氧化酸性铬蓝 K 催化光度法测定痕量钒[J]. 地质实验室,1996,12(1):4-6.
- [45] 赖晓绮,杨炳华. 氯酸钾氧化酸性铬兰 K 催化光度法测定痕量钒[J]. 赣南师范学院学报:自科版,1996,(3):60-63,70.
- [46] 陆茜,蔡汝秀. 钒()催化三溴偶氮胂的褪色反应特性及应用[J]. 分析化学,2000,28(11):1417-1420.
- [47] 贾欣欣,宋珍. 催化动力学光度法测定痕量钒(V)[J]. 河北大学学报(自然科学版),2000,20(3):286-288.
- [48] Khaskhely A A, Mastoi G M, Ansari I A. Kinetic fluorometric determination of vanadium (IV) by catalytic oxidation of chromotropic acid by hydrogen peroxide[J]. J Chem Soc Pak, 1996,18(2):110-112.
- [49] 徐胜利,宋太沧. 催化动力学光度法测定痕量钒的研究[J]. 河南化工,1995,(1):18-19.
- [50] 孙登明,阮大文. 邻氨基酚萃取催化光度法测定痕量钒及其催化反应机理[J]. 分析化学,1998,26(9):48-49.
- [51] 周之荣,费忠明,胡凯. 萃取催化动力学光度法同时测定痕量铁(III)和钒(V)的研究[J]. 光谱实验室,2000,17(2):153-156.
- [52] 刘峥. 催化动力学光度法测定痕量钒(V)的研究[J]. 广西化工,2002,31(1):35-37.
- [53] 黄红,顾永祚. 催化动力学光度法测定环境中痕量钒的研究[J]. 四川环境,1996,15(1):1-5.
- [54] Kawakubo Susumu, Kajihara Koji, Iwatsuki, Masaaki. Catalytic spectrophotometric determination of picogram amounts of vanadium in natural fresh and tap water by flow injection analysis[J]. Anal Sci, 1996,12(2):237-242. \ = [55] Kawakubo Susumu, Ogihara Kiyoshi, Iwatsuki Masaaki. Catalytic spectrofluorometric determination of vanadium using oxidation of o-phenylenediamine with bromate in the presence of gallic acid[J]. Analyst, 1995,120(11):2719-2723.
- [56] Safavi A, Hormozi Nezhad M R, Shams E. Highly selective and sensitive kinetic spectrophotometric determination of vanadium (IV) in the presence of vanadium (V)[J]. Anal Chim Acta, 2000,409:283-289.
- [57] Safavi A, Sedghy H R, Shams E. Kinetic spectrophotometric determination of trace amounts of selenium and vanadium[J]. Fresenius J Anal Chem, 1999,365:504-510.
- [58] Theodosios S, Sikalos, Yannis M Arabatzis, Mamas I Prodromidis. Spectrophotometric determination of trace amounts of vanadium based on its catalytic effect on the reaction of diphenylamine and hydrogen peroxide[J]. Mikrochim Acta, 2000,135:197-201.
- [59] 张爱梅,崔慧,秦延河. 氯酸钾-二甲基黄-钒(V)体系催化光度法测定痕量钒[J]. 分析试验室,1994,13(3):44-45,51.
- [60] 杜凌云,王术皓,陈梅菊等. 利用乙基橙指示催化光度法测定痕量钒[J]. 聊城师范学院学报(自然科学版),1998,11(4):55-57.
- [61] 张爱梅. 氯酸钾氧化鸡冠花红新催化光度法同时测定痕量钒(V)、铬(IV)[J]. 分析化学,1998,26(3):1089-1092.
- [62] 李建平,黄小元. 催化光度法测定超痕量钒[J]. 分析化学,1997,25(7):1039-1042.
- [63] 白林山,金斌. 靛蓝胭脂红-高碘酸钾-草酸钠催化光度法测定钢中微量钒[J]. 分析化学,2001,29(9):120-122.
- [64] 白林山,张金华,张世欢. 靛蓝二磺酸钠-溴酸钾体系催化光度法测定钢铁中微量钒[J]. 光谱学与光谱分析,2002,22(1):120-122.
- [65] 白林山,金斌. 高碘酸钾-靛红体系催化光度法测定钢中微量钒[J]. 冶金分析,2001,21(5):39-41.
- [66] 陈运生,符广云. 催化动力学光度法测定水体中痕量钒(V)[J]. 干旱环境监测,1996,10(1):7-10.
- [67] 杨武,张煌. 溴酸钾-甲基橙-钛铁试剂-钒(V)体系催化光度法测定痕量钒[J]. 西北师范大学学报:自科版,2000,36(1):75-80(Eng.).
- [68] 陈运生. 动力学光度法测定环境水样中痕量钒[J]. 污染防治技术,1995,8(2):116-118.
- [69] 田芳,陈运生. 催化动力学光度法测定水中痕量钒的

- 研究与应用[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 1994, 21(4): 298-301.
- [70] 王建华, 阮文举, 何荣桓. 停流—诱导动力学光度法测定微量钒[J]. 中国环境监测, 1994, 10(1): 42-44.
- [71] 阮文举, 王建华, 宫宝安. 微量钒的停流流动注射—动力学光度法测定[J]. 烟台大学学报(自然科学与工 程版), 1996, 1: 49-52.
- [72] 王建华, 何荣桓. 动力学-停流流动注射光度法同时测定合金中钛和钒的研究[J]. 化学工程师, 1994, 1: 17-18, 6.
- [73] 吕明, 崔运成, 马玉环等. 动力学光度法测定人发中痕量钒的研究[J]. 松辽学刊(自然科学版), 1997, (1): 85-87.
- [74] 吕明, 崔运成, 马玉环等. 催化动力学光度法测定痕量钒(V)的研究[J]. 分析试验室, 1998, 17(4): 82-84.
- [75] 贾欣欣. 催化动力学光度法测定痕量钒(V) [J]. 海淀走读大学学报, 2002, 57(1): 58-60.
- [76] 周之荣. 动力学光度法测定痕量钒[J]. 理化检验:化学分册, 1998, 34(11): 512-513.
- [77] 张瑛. 催化光度法测定痕量钒(V) [J]. 化学分析计量, 2001, 10(6): 10-12.
- [78] 刘长增. 催化动力学褪色光度法测定痕量钒[J]. 分析化学, 2000, 28(12): 1 481-1 484.
- [79] Nabi A, Yaqoob M. Determination of vanadium(V) by flow injection analysis with spectrophotometric detection [J]. J Chem Soc Pak, 1996, 18(3): 220-222.
- [80] Mohamed ashraf A, Fawzy Khalid F. Catalytic spectrophotometric determination of vanadium in seawaters based on the bromate oxidative coupling reaction of metol and 2,3,4-trihydroxybenzoic acid[J]. Anal Sci, 2001, 17(6): 169-173.

A Review of Researches on Catalytic Kinetic Spectrophotometric Determination of Trace Vanadium

ZHANG Yong¹, LI Yue-yun², DING Yu-long³, JI Guang-lei³, LI Yan³, WEI Qin³

(1. School of Management, Jinan University, Jinan 250022, China;

2. College of Chemical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255091, China;

3. School of Chemistry & Chemical Engineering, Jinan University, Jinan 250022, China)

Abstract: The article elaborates the present status of the catalytic kinetic spectrophotometric determination of trace vanadium, including catalytic kinetic spectrophotometry on oxidation, catalytic kinetic spectrophotometry on reduction, catalytic fluorospectrophotometry and inhibitory kinetic spectrophotometry. The different systems were introduced in medium of reaction, the detection limit, the linear range and etc., and the trend of development of catalytic kinetic spectrophotometric determination of trace vanadium was forecasted.

Key words: dye; acid-base indicator; catalytic spectrophotometry; kinetic; vanadium

Classifying number: O657.32