

计算滴定分析法的分类及其进展

张 云

(同济大学化学系, 上海 200092)

摘 要: 提出了将计算滴定分析法分为控制体积滴定法和控制电位滴定法两个大类的观点。控制体积滴定法包括线性滴定法、单点滴定法及双点滴定法; 控制电位滴定法包括控制单电位滴定法和控制多电位滴定法。本文介绍了两类计算滴定分析法的基本原理、方法特点、相互联系、引起误差的原因及其最新进展。

关键词: 滴定; 电位滴定; 计算滴定分析法; 评述

中图分类号: O655.2 **文献标识码:** A

1 前言

20 世纪 50 年代, 瑞典化学家 Gran 提出了线性滴定法的思想^[1,2], 后经 Ingman、Johansson 等人工作^[3,4], 逐步完善了线性滴定法, 并为计算滴定分析法的形成和发展奠定了基础。汪葆浚等^[5]率先在我国进行线性滴定法研究, 并编著了《线性滴定法》^[6]一书。在线性滴定法的基础上, 逐渐形成了单点滴定法^[7-10]、双点滴定法^[11,12]及恒电位滴定法^[13-15]。从理论上而言, 计算滴定分析法并不要求滴定曲线在化学计量点附近有明显的滴定突跃, 突破了传统的滴定分析法的限制, 可以用于滴定产物稳定性小的单组分及滴定产物稳定性接近的多组分混合物。

根据滴定形式、计算模型、测定原理及滴定剂的性质等特点, 本文建议将计算滴定分析法分为控制滴定剂体积的计算滴定分析法(以下简称控制体积滴定法)和控制溶液电位的计算滴定分析法(以下简称控制电位滴定法)两个大类, 并介绍了这两类方法的基本原理、方法特点、内在联系、引起误差的原因及其最新进展。

2 计算滴定分析法的分类

第一类, 即控制体积滴定法, 包括线性滴定法、单点滴定法及双点滴定法。这类方法以热力学平衡为基础, 从溶液的若干平衡关系导出计算模型。将多点滴定数据代入该计算模型, 用适当的数学方法求出待测离子的浓度, 这便是线性滴定法。将单点滴定数据代入该计算模型, 求出待测离子的浓度, 这便是单点滴定法。将该计算模型作适当的简化和推导, 用两点滴定数据求出待测离子的浓度, 这便是双点滴定法。第二类, 即控制电位滴定法, 也被称作恒电位滴定法或校正滴定法。控制电位滴定法还可以分为控制单电位滴定法(以下简称单电位滴定法)和控制多电位滴定法(以下简称多电位滴定法)。这类方法的基本思想是: 滴定曲线上一定电位对应的滴定剂体积与待测物质的含量有确定的关系, 测出滴定至一定电位所加入的滴定剂体积, 便可以求出待测物质的含量。

3 控制体积滴定法

3.1 线性滴定法

3.1.1 计算模型 以 Ag^+ 滴定 Cl^- 的沉淀滴定为例, 从溶液的平衡关系, 可以导出计算模型^[16]:

收稿日期: 2005 07 26

修回日期: 2005 09 27

通讯联系人: 张 云, 男, 副教授, 从事计算滴定分析法研究。

$$V_0c - V_{CB} + (V_0 + V)[Ag^+] - (V_0 + V) \frac{K_{sp}}{[Ag^+]} = 0 \quad (1)$$

其中, V_0 、 V 是 Cl^- 溶液的初始体积和加入的 Ag^+ 溶液的体积; c 、 c_B 是 Cl^- 和 Ag^+ 的分析浓度; $[Cl^-]$ 、 $[Ag^+]$ 是滴定过程中 Cl^- 和 Ag^+ 的平衡浓度。

线性滴定法的计算模型通常包含某些常数, 如式(1)中的 K_{sp} , 这些常数的误差会影响测定结果的准确度。在一定条件下, 往往可以对计算模型作适当的简化。以 Ag^+ 滴定 Cl^- 为例, 当滴定到达化学计量点后, 可以令式(1)中的 $K_{sp}/[Ag^+] = 0$ 。这样, 可以得到适用于化学计量点后的式(1)的简化式:

$$V_0c - V_{CB} + (V_0 + V)[Ag^+] = 0 \quad (2)$$

按与导出式(1)类似的方法, 还可以导出酸碱、配位及氧化还原线性滴定法的计算模型。

3.1.2 电极的校正 所谓电极的校正, 也称电极的定位, 是指工作电池的电动势 E 与电极的响应离子浓度之间的换算。以 Ag^+ 滴定 Cl^- 为例, 用银电极作指示电极, 溶液中 $[Ag^+]$ 与 E 的关系为:

$$[Ag^+] = 10^{(E-K)/S} \quad (3)$$

在实验温度、离子强度等一定的条件下, K 和 S 是常数, 可以用一系列 Ag^+ 校正定位液测出。

3.1.3 测定步骤 以 Ag^+ 滴定 Cl^- 为例, 线性滴定法通常采用下述操作步骤: (1) 电极的校正: 见 3.1.2; (2) 滴定数据的测定: 控制滴定剂体积, 测出 m 组滴定数据 V_i 、 E_i ($i=1 \cdots m$); (3) 按下式求出 c :

$$c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left[\frac{V_i}{V_0} c_B - \frac{V_0 + V_i}{V_0} 10^{(E_i - K)/S} + \frac{V_0 + V_i}{V_0} \cdot \frac{K_{sp}}{10^{(E_i - K)/S}} \right] \quad (4)$$

除了求出待测物质的浓度, 线性滴定法还可以同时求出计算模型中的有关常数^[16-17], 甚至可以同时求出滴定剂的浓度^[16-18]。

3.2 单点滴定法和双点滴定法

单点滴定法和双点滴定法的计算式可以从线性滴定法的计算模型导出。以 Ag^+ 滴定 Cl^- 为例, 将式(3)代入式(2), 可以得到适用于化学计量点后的单点滴定法计算式^[19]:

$$c = \frac{1}{V_0} [V_{CB} - (V_0 + V) 10^{(E-K)/S}] \quad (5)$$

化学计量点后, 一次滴定加入标准溶液, 测出 V 和 E , 按式(5)便可以求出 c 。化学计量点后, 两次滴定加入标准溶液, 测出 V_1 、 E_1 和 V_2 、 E_2 , 分别代入式(5), 可以导出双点滴定法的计算式^[19]:

$$c = \frac{c_B}{V_0} \left[V_1 - \frac{\Delta V}{10^{\frac{\Delta E}{S}} - 1} \right] \quad (6)$$

其中, $\Delta V = V_2 - V_1$ 是第二次加入的滴定剂体积; $\Delta E = E_2 - E_1$ 是第二次加入滴定剂后电动势的增量。

按与上述类似的方法, 还可以导出酸碱^[20]、配位^[8]及氧化还原^[21]单点滴定法和双点滴定法计算式。

4 控制电位滴定法

4.1 计算模型

仍以 Ag^+ 滴定 Cl^- 的沉淀滴定为例, 从式(1)可得:

$$V = \frac{V_0[Ag^+]}{c_B[Ag^+] - [Ag^+]^2 + K_{sp}} c + \frac{V_0[Ag^+]^2 - V_0K_{sp}}{c_B[Ag^+] - [Ag^+]^2 + K_{sp}} \quad (7)$$

令上式右边的第一项为 kc , 第二项为 k_0 , 则上式可以写作:

$$V = kc + k_0 \quad (8)$$

式(8)便是 Ag^+ 滴定 Cl^- 的控制电位滴定法的计算模型。在待测溶液初始体积、滴定剂浓度、实验温度、离子强度及电位一定的条件下, k 和 k_0 是常数。按式(8), 测出滴定至一定电位用去的滴定剂体积, 便可以求出待测物质的浓度。对其他的单组分而言, 其控制电位滴定法的计算模型与式(8)是相同的。

控制电位滴定法也可以同时测定多组分混合溶液, 其计算模型为^[22]:

$$V_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} c_i + k_{0j} \quad (9)$$

其中, n 是待测溶液的组分数; c_i ($i=1 \cdots n$) 是第 i 种组分的浓度; V_j 是滴定到电位 E_j 处加入的滴定剂体积; k_{ij} 是电位 E_j 处第 i 种组分的比例系数; k_{0j} 是电位 E_j 处的截距。

4.2 测定原理

4.2.1 单电位滴定法 单电位滴定法也被称作单点滴定法(但应注意与 3.2 介绍的单点滴定法的区别), 单点校正滴定法, 或单元校正滴定法。该法一般仅适用单组分的测定。单电位滴定法分两步进行^[23]: 第一步, 在某个电位下, 测出滴定 $L(L > 2)$ 个浓度为 $c_l(l = 1 \cdots L)$ 的校正溶液所消耗的滴定剂体积 $V_l(l = 1 \cdots L)$, 将 V_l 分别代入式(8), 可以得到一个由 L 个方程构成的超定方程组。用适当的数学方法, 求出 k 和 k_0 。第二步, 在上述电位下, 测得待测溶液所消耗的滴定剂体积 V , 按下式求出待测溶液的浓度:

$$c = \frac{V - k_0}{k} \quad (10)$$

4.2.2 多电位滴定法 多电位滴定法也被称作多元校正滴定法^[14, 22]。该法既适用单组分的测定, 也适用多组分的测定。以多组分测定为例, 多电位滴定法同样分两步进行^[24, 25]: 第一步, 配制 $L(L > n + 1)$ 个不同浓度比的含 n 种离子的校正溶液, 其中第 l 个溶液第 i 种离子的浓度为 $c_{il}(i = 1 \cdots n; l = 1 \cdots L)$ 。在 $m(m > n)$ 个电位下, 测出 L 个溶液所消耗的滴定剂体积 $V_{jl}(j = 1 \cdots m; l = 1 \cdots L)$, 代入式(9), 可以得到对应 m 个电位的 m 个超定方程组。用适当的数学方法, 求出 m 组 k_{ij} 及 $k_{oj}(j = 1 \cdots m)$ 。第二步, 在上述 m 个电位下, 测得混合离子试液所消耗的滴定剂体积 $V_j(j = 1 \cdots m)$, 将 V_j 及 k_{ij} 和 k_{oj} 分别代入式(9), 可以得到一个超定方程组。用适当的数学方法, 求出 $c_i(i = 1 \cdots n)$ 。

4.3 滴定波谱的概念

控制电位滴定法的基本原理与吸收光度法非常相似。对吸收光度法而言, 一定溶液的吸光度 A 是入射光波长 λ 的函数(见图 1), 在 λ 一定的条件下, A 与溶液浓度 c 的关系符合比耳定律:

$$A = Kc \quad (11)$$

对控制电位滴定法而言, 一定溶液中滴加的滴定剂体积 V 是溶液电位 E 的函数(见图 2), 在 E 一定的条件下, V 与溶液浓度 c 的关系符合式(8)或式(9)所示的关系式。在控制电位滴定法中, 滴定曲线(V 与 E 的关系曲线, 见图 2)(通常的滴定曲线是 $E \sim V$ 曲线, 这里为了说明问题, 将其作成 $V \sim E$ 曲线)相当于吸收光度法中的光度波谱(A 与 λ 的关系曲线, 见图 1); E 相当于吸收光度法中的 λ ; V 相当于吸收光度法中的 A 。因此, 可以将控制电位滴定法中的滴定曲线看作滴定波谱^[22]。

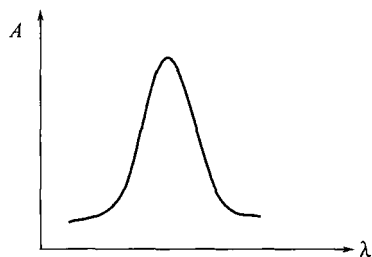


Fig. 1 Absorption spectra

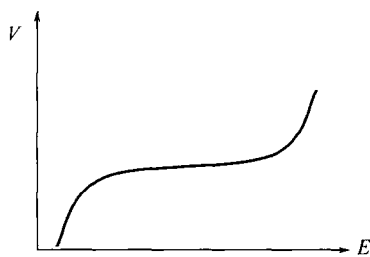


Fig. 2 Titration spectra

5 两类计算滴定分析法的区别和联系

5.1 计算模型的差异

首先, 对不同的滴定体系而言, 控制体积滴定法的计算模型通常是不同的^[8, 16-18], 而控制电位滴定法的计算模型是相同的(均与式(8)或式(9)相同)。其次, 控制体积滴定法的计算模型一般涉及滴定产物的条件常数(如沉淀物质的溶度积常数等), 而控制电位滴定法的计算模型不涉及这些常数。

5.2 滴定形式的差异

控制体积滴定法的滴定形式是, 在控制滴定剂体积的条件下, 测出溶液的电位。控制电位滴定法的滴定形式是, 在控制溶液电位的条件下, 测出滴定剂的体积。因此, 控制电位滴定法的操作通常比控制体积滴定法烦琐。此外, 控制体积滴定法通常采用等体积滴定步长的滴定方式(对线性滴定法而言), 而控制电位滴定法通常采用等电位滴定步长的滴定方式(对多电位滴定法而言)。

5.3 标准溶液(或校正溶液)的差异

第一, 控制体积滴定法涉及滴定剂(同时也是标准溶液)和电极校正定位液两种试剂, 这两种试剂可以

是相同的,也可以是不同的。控制电位滴定法也涉及滴定剂和校正溶液两种试剂,但这两种试剂必须是不同的。

第二,控制体积滴定法的标准物质与待测物质是不同的,该法标准溶液的选择范围比较大。控制电位滴定法的校正物质与待测物质必须是相同的,对那些不易配制校正溶液或无法标定校正溶液的离子,其应用受到一定的限制。

第三,控制体积滴定法必须对电极进行校正,而且通常还需要知道滴定剂的准确浓度(文献^[16-18]介绍的方法除外)。控制电位滴定法无需对电极进行校正,而且无需知道滴定剂的准确浓度,只需其浓度恒定。

第四,对控制体积滴定法而言,无论测定单组分还是多组分,只需一种标准溶液(即滴定剂)。对控制电位滴定法而言,在单组分测定中,为了求出 k 和 k_0 ,需使用 >2 个不同浓度的校正溶液;在多组分测定中,为了求出 k_{ij} 和 k_g ,需使用 $>n+1$ 个不同浓度比的校正溶液。

5.4 电动势误差对两类计算滴定分析法的影响

电动势测定误差是影响控制体积滴定法测定结果准确度的主要因素,这种影响不但与电动势测定误差的大小有关,还与滴定分数 α 有关。 α 越接近1,结果误差越小^[26]。控制电位滴定法的计算模型中虽然没有直接涉及电动势,但由电动势的控制误差 dE 引起的滴定剂的体积误差 dV 仍然是影响该法测定结果准确度的主要因素。在化学计量点附近或滴定曲线变化率比较大的区域,这种误差比较小^[23]。

6 两类计算滴定分析法的新进展

倪永年对1995年以前的计算滴定分析法作过比较详细的评述^[22],本文重点对此后该法的进展作一简单简述。

在控制电位滴定法方面,倪永年^[24,27,28]对多种金属离子,混合酸及卤素离子和硫氰酸根离子的测定;朱仲良^[29-31]对酚类同系物及氯苯甲酸的测定;邢宝忠^[32,33]对混合弱酸的测定;黄源^[34]、朱化雨^[35]对极弱酸(碱)的测定;朱化雨^[36]对钙和镁的同时测定;文献^[23,25,37]对铝和铁的测定进行了研究。张大伦^[38-40]对同时单电位滴定法进行了研究。

在控制体积滴定的线性滴定法方面,李蕾^[41]、顾百年^[42]对壳聚糖氨基的测定;刘建华^[43]、常树岚^[44]对弱酸弱碱的测定;文献^[45]对海藻培养基中 H_2CO_3 、 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 分布的测定;文献^[46]对溴酸根和碘酸根的同时测定;文献^[47-49]对铁的测定;文献^[50]对铝的测定进行了研究。在单点和双点滴定法方面,曾云龙^[51]用单点滴定法对硝酸胍的快速测定;冯俊贤^[52-54]用双点滴定法对维生素 B_1 、盐酸曲马多及盐酸二甲双胍等的测定进行了研究。文献^[19-21]将单点滴定法和双点滴定法作为整体,对这两种方法进行了比较研究。

参考文献:

- [1] Gran G. Acta. Chem. Scand. [J], 1950, **4**: 559.
- [2] Gran G. Analys[J], 1952, **77**: 661.
- [3] Ingman F, Still E. Talanta[J], 1966, **13**: 1431.
- [4] Johansson A. Analys[J], 1970, **95**: 535.
- [5] WANG Bao jun(汪葆俊), WU Wan hua(吴婉华), FAN Xing xue(樊行雪). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1982, **10**(10): 618.
- [6] WANG Bao jun(汪葆俊), FAN Xing xue(樊行雪), WU Wan hua(吴婉华). Linear Titrimetry(线性滴定法)[M]. Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社), 1985: 1.
- [7] Horvai G, Toth K, Pungor E. Anal. Chim. Acta[J], 1979, **107**: 101.
- [8] XIA Xin rui(夏新瑞), LI Chun tang(李春塘), WANG Ren(王 韧). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1986, **14**(3): 186.
- [9] ZHANG Da lun(张大伦). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1989, **17**(3): 198.
- [10] ZHANG Yun(张 云). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1993, **21**(7): 796.
- [11] Johansson A, Gran G. Analys[J], 1980, **105**: 802.
- [12] LIN Wen ru(林文如). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1990, **18**(7): 633.
- [13] Noszal B, Juhasz M. Talanta[J], 1987, **34**(4): 397.

- [14] Lindberg W, Kowalski B. Anal. Chim. Acta[J], 1988, **206**: 125
- [15] LU Xiao hua(陆晓华), SHEN Xiang di(沈祥娣), SHI Wen zhao(施文赵). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验 化学分册)[J], 1989, **25**(2): 101.
- [16] ZHANG Yun(张 云). Chemistry(化学通报)[J], 1994, **11**: 44.
- [17] ZHANG Yun(张 云). Chem. J. Chinese Universities(高等学校化学学报)[J], 1993, **14**(11): 1514.
- [18] ZHANG Yun(张 云), XU Yuan(许 圆), JIANG Yong(江 勇), DENG Zi feng(邓子峰). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 2002, **30**(12): 1448.
- [19] ZHANG Yun(张 云), TAN Chao(谭 超). Chinese J. Analysis Laboratory(分析试验室)[J], 2004, **23**(1): 9.
- [20] ZHANG Yun(张 云). University Chemistry(大学化学)[J], 1997, **12**(1): 31.
- [21] ZHANG Yun(张 云), YANG Li(杨 立). Chinese J. Analysis Laboratory(分析试验室)[J], 2003, **22**(4): 21.
- [22] NI Yong nian(倪永年), JIN Ling(金 玲). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1996, **24**(10): 1219.
- [23] ZHANG Yun(张 云), CHU Liang liang(褚亮亮), XU Yuan(许 圆), YANG Li(杨 立). Chinese J. Analysis Laboratory(分析试验室)[J], 2005, **24**(3): 44.
- [24] NI Yong nian(倪永年), WU Ying liang(吴英亮), JIN Ling(金 玲). Chem. J. Chinese Universities(高等学校化学学报)[J], 1998, **19**(3): 359.
- [25] ZHANG Yun(张 云), SUN Jian(孙 健), YU Xue tao(于雪涛), LI Tong hua(李通化). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 2005, **33**(12): 1764.
- [26] ZHANG Yun(张 云). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 2004, **32**(4): 464.
- [27] Ni Y N. Anal. Chim. Acta[J], 1998, **367**: 145.
- [28] Ni Y N, Wu A G. Anal. Chim. Acta[J], 1999, **390**: 117.
- [29] ZHU Zhong liang(朱仲良), ZHAO Guo hua(赵国华), LI Tong hua(李通化), CHU Jian xin(褚建新). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1996, **24**(1): 87.
- [30] ZHU Zhong liang(朱仲良), CHU Jian xin(褚建新), LI Tong hua(李通化), CONG Pei sheng(丛培盛). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1996, **24**(6): 643.
- [31] Zhu Z L, Li T H, Cong P S et al. Chemom. Intell. Lab. Syst. [J], 1999, **45**: 185.
- [32] XING Bao zhong(邢宝忠), ZHANG Yong qin(张永琴), YU Yi ying(余翼鹰). Journal of Instrumental Analysis(分析测试学报)[J], 1996, **15**(2): 81.
- [33] XING Bao zhong(邢宝忠), ZHANG Yong qin(张永琴), LIU Yin fan(刘荫藩), YU Yi ying(余翼鹰). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1996, **24**(8): 961.
- [34] HUANG Yuan(黄 源), YU Ming hua(俞明华), XU Yan(许 艳), YU Zhang min(俞钟敏). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验 化学分册)[J], 1998, **34**(10): 445.
- [35] ZHU Hua yu(朱化雨), WANG Cheng jiang(王成江), WANG Ming ge(王铭阁). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验 化学分册)[J], 1999, **35**(1): 23.
- [36] ZHU Hua yu(朱化雨), WU Ren tao(吴仁涛), LIU Rui ling(刘瑞玲). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验 化学分册)[J], 1998, **34**(9): 401.
- [37] ZHANG Yun(张 云), LIU Ting ting(刘婷婷), SUN Jian(孙 健). J. Analytical Science(分析科学学报)[J], 2006, **22**(4): 451.
- [38] ZHANG Da lun(张大伦). J. Analytical Science(分析科学学报)[J], 1996, **12**(2): 112.
- [39] ZHANG Da lun(张大伦). J. Analytical Science(分析科学学报)[J], 1996, **12**(4): 294.
- [40] ZHANG Da lun(张大伦). J. Analytical Science(分析科学学报)[J], 2003, **19**(2): 148.
- [41] LI Lei(李 蕾), LIU Xiao ming(刘小明), ZHONG Yong cong(钟永聪). Chinese J. Anal. Chem. (分析试验室)[J], 1996, **15**(2): 21.
- [42] GU Bai nian(顾百年), WANG Qing(王 氢), LIU Xin(刘 欣), XIA Wei(夏 玮). Journal of East China University of Science and Technology(华东理工大学学报)[J], 2003, **29**(3): 317.
- [43] LIU Jian hua(刘建华), LIN Wen ru(林文如), LIN Su mi(林索密). Chinese J. Analysis Laboratory(分析试验室)[J], 1996, **15**(5): 15.
- [44] CHANG Shu lan(常树岚), JIANG Ri shan(姜日善), LI Ming jie(李明杰), WANG Jing heng(王景恒). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1996, **24**(7): 786.
- [45] Rigobello Masini M, Masini J C. Anal. Chim. Acta[J], 2001, **448**: 2390.

- [46] ZHANG Yun(张 云), XU Gang(徐 刚), JIANG Yong(江 勇), ZHU Zhong liang(朱仲良). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 2002, **30**(5): 605.
- [47] Michalowski T, Baterowicz A, Madei A, Kochana J. Anal. Chim. Acta[J], 2001, **442**: 287.
- [48] ZHANG Yun(张 云), YU Xue tao(于雪涛). J. Analytical Science(分析科学学报)[J], 2004, **20**(6): 631.
- [49] ZHANG Yun(张 云), XU Yuan(许 圆), YANG Li(杨 立). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验 化学分册)[J], 2004, **40**(3): 164.
- [50] ZHANG Yun(张 云), LI Da peng(李大鹏), YANG Li(杨 立), XU Yuan(许 圆). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 2005, **33**(7): 947.
- [51] ZENG Yun long(曾云龙), TANG Chun ran(唐春然), SHEN Guo li(沈国励), YU Ru qin(俞汝勤). Journal of Instrumental Analysis(分析测试学报)[J], 1999, **18**(6): 36.
- [52] FENG Jun xian(冯俊贤), SONG Li ying(宋丽英), LI Su juan(李素娟), QIE Wen juan(鄒文娟). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 1999, **27**(4): 453.
- [53] FENG Jun xian(冯俊贤), WANG Xiu qing(王秀卿), WANG Li ping(王立平), ZHANG Ya chao(张亚超). Chinese J. Anal. Chem. (分析化学)[J], 2001, **29**(12): 1487.
- [54] QIE Wen juan(鄒文娟), FENG Jun xian(冯俊贤), HUANG Hong yan(黄鸿雁), YU Yun(余 云), YU Li xin(于立薪). Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis(理化检验 化学分册)[J], 2002, **38**(12): 632.

Classification and Development of Calculating Titrimetric Analysis

ZHANG Yun

(*Department of Chemistry, Tongji University, Shanghai 200092*)

Abstract: It has been suggested in this paper that the calculating titrimetric analysis can be divided into controlled volumetric titration and controlled potentiometric titration. The controlled volumetric titration consists of linear titration, single point titration and double point titration. The controlled potentiometric titration involves controlled single potential titration and controlled multiple potential titration. The basic principle, characteristics, interrelation, main cause of error making and recent development of the two kinds of titration have also been discussed.

Keywords: Titration; Potentiometric titration; Calculating titrimetric analysis; Review