•自学之友• doi: 10.3866/PKU.DXHX201805033 www.dxhx.pku.edu.cn

多重平衡标准平衡常数的计算方法及应用

刘霞*

中国农业大学理学院，北京 100193

摘要：介绍了多重平衡标准平衡常数的技巧性计算公式及适用范围，利用该公式解题简捷、快速、准确，还可以直观判断反应的方向性及反应程度。

关键词：多重平衡；标准平衡常数；技巧性；计算公式

中图分类号：G64；O6

Calculation Method and Application of Multi-Equilibrium Standard Equilibrium Constant

LIU Xia *

College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, P. R. China.

Abstract: This paper introduces the skillful calculation formula and application scope of multi-equilibrium standard equilibrium constant. It is a simple, fast and accurate approach to solve problems. Moreover, it can also intuitively estimate the directionality and extent of reactions using this formula.

Key Words: Multi-equilibrium; Standard equilibrium constant; Skillful; Calculation formula

在化学反应中往往存在着多重平衡，例如难溶电解质溶于酸、碱和配位剂，配合物之间的相互转化，难溶电解质之间的相互转化等。单一平衡的标准平衡常数可通过查化学手册得知，而多重平衡标准平衡常数只能根据多重平衡规则推导计算，由于推导步骤较为繁琐，容易出错。本文着重介绍计算多重平衡标准平衡常数的技巧性公式，利用该公式计算一步到位，易于学生掌握，不仅解题简捷、快速、准确，还能直观判断反应的方向性以及反应进行的程度。当 $K^{\ominus} > 1.0 \times 10^{6}$，反应正向进行的程度很大，当 $K^{\ominus} > 1.0 \times 10^{-6}$，反应正向进行；当 $K^{\ominus} < 1.0 \times 10^{-6}$，反应不能正向进行。

1 多重平衡标准平衡常数的计算公式

在文献[2]基础上进一步完善和总结出计算多重平衡标准平衡常数的技巧性公式为：

$$K^{\ominus} = \prod(K^{\ominus}_{\text{反应物}})^{i} / \prod(K^{\ominus}_{\text{生成物}})^{j}$$

式中，$\prod$为若干个数相乘符号，$K^{\ominus}_{\text{反应物}}$为反应物的标准平衡常数，$K^{\ominus}_{\text{生成物}}$为生成物的标准平衡常数，i、j 分别是反应物和生成物在化学反应方程式中对应的系数。

能写入公式中的 $K^{\ominus}_{\text{反应物}}$、$K^{\ominus}_{\text{生成物}}$ 具备以下特点：

(1) 反应物和生成物为分子时，$K^{\ominus}_{\text{反应物}}$、$K^{\ominus}_{\text{生成物}}$ 为分子解离反应的标准平衡常数。例如：一元分

收稿：2018-05-22；录用：2018-07-10；网络发表：2018-07-18

*通讯作者，Email: liuxia6680@sina.com

子酸对应 $K_a^{\ominus}$，一元分子碱对应 $K_b^{\ominus}$，二元分子酸对应 $K_{a1}^{\ominus}$、$K_{a2}^{\ominus}$，难溶电解质对应 $K_{sp}^{\ominus}$。

(2) 反应物或生成物为离子时，且只能是配离子、两性物质 HA^-等时，配离子对应 $1/K_f^{\ominus}$，HA^-对应 $K_{a2}^{\ominus}$，除此之外的其他离子均不予考虑。

(3) 反应物和生成物只有通过解离反应参与了多重平衡时，对应的标准平衡常数才能写入公式中。

2 应用示例

2.1 沉淀平衡与酸碱平衡

例 1 计算 CaF_2 溶于 HCl 的标准平衡常数。已知：$K_a^{\ominus}(HF) = 3.5 \times 10^{-4}$，$K_{sp}^{\ominus}(CaF_2) = 1.5 \times 10^{-10}$。

解：方法一 利用多重平衡规则计算，则有：

$$CaF_2(s) = Ca^{2+}(aq) + 2F^-(aq) \qquad K_{sp}^{\ominus}(CaF_2) \qquad (1\text{-}1)$$

$$HF(aq) = F^-(aq) + H^+(aq) \qquad K_a^{\ominus}(HF) \qquad (1\text{-}2)$$

$$CaF_2(s) + 2H^+(aq) = Ca^{2+}(aq) + 2HF(aq) \qquad K^{\ominus} \qquad (1\text{-}3)$$

上述三个平衡的关系为：式(1-3) = 式(1-1) − 2 × 式(1-2)，则标准平衡常数关系为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(CaF_2)/[K_a^{\ominus}(HF)]^2 = (1.5 \times 10^{-10})/(3.5 \times 10^{-4})^2 = 1.22 \times 10^{-3}$$

方法二 利用技巧性公式计算，

$$CaF_2(s) + 2H^+(aq) = Ca^{2+}(aq) + 2HF(aq)$$

反应式中物质分子是 CaF_2、HF，分别对应 $K_{sp}^{\ominus}(CaF_2)$ 、$K_a^{\ominus}(HF)$，则标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(CaF_2)/[K_a^{\ominus}(HF)]^2 = (1.5 \times 10^{-10})/(3.5 \times 10^{-4})^2 = 1.22 \times 10^{-3}$$

根据计算结果，$K^{\ominus} > 1.0 \times 10^{-6}$，$CaF_2$ 可溶于 HCl。

例 2 计算 MnS 溶于 HAc 的标准平衡常数。已知 $K_a^{\ominus}(HAc) = 1.8 \times 10^{-5}$，$K_{a1}^{\ominus}(H_2S) = 9.1 \times 10^{-8}$，$K_{a2}^{\ominus}(H_2S) = 1.1 \times 10^{-12}$，$K_{sp}^{\ominus}(MnS) = 4.65 \times 10^{-14}$，

$$MnS(s) + 2HAc(aq) = Mn^{2+}(aq) + H_2S(aq) + 2Ac^-(aq)$$

解：方法一 按多重平衡规则计算，则有：

$$MnS(s) = Mn^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \qquad K_{sp}^{\ominus}(MnS) \qquad (2\text{-}1)$$

$$HAc(aq) = H^+(aq) + Ac^-(aq) \qquad K_a^{\ominus}(HAc) \qquad (2\text{-}2)$$

$$H_2S(aq) = H^+(aq) + HS^-(aq) \qquad K_{a1}^{\ominus}(H_2S) \qquad (2\text{-}3)$$

$$HS^-(aq) = H^+(aq) + S^{2-}(aq) \qquad K_{a2}^{\ominus}(H_2S) \qquad (2\text{-}4)$$

$$MnS(s) + 2HAc(aq) = Mn^{2+}(aq) + H_2S(aq) + 2Ac^-(aq) \qquad K^{\ominus} \qquad (2\text{-}5)$$

上述五个平衡的关系为：式(2-5) = 式(2-1) + 2 × 式(2-2) − 式(2-3) − 式(2-4)，则标准平衡常数关系为：

$$K^{\ominus} = [K_{sp}^{\ominus}(MnS)][K_a^{\ominus}(HAc)]^2/[K_{a1}^{\ominus}(H_2S)\,K_{a2}^{\ominus}(H_2S)]$$

$$= [(4.65 \times 10^{-14})(1.8 \times 10^{-5})^2]/[9.1 \times 10^{-8} \times 1.1 \times 10^{-12}] = 1.51 \times 10^{-4}$$

方法二 利用技巧性公式计算，

$$MnS(s) + 2HAc(aq) = Mn^{2+}(aq) + H_2S(aq) + 2Ac^-(aq)$$

反应式中的物质分子是 MnS、HAc，分别对应 $K_{sp}^{\ominus}(MnS)$、$K_a^{\ominus}(HAc)$，H_2S 对应 $K_{a1}^{\ominus}(H_2S)$、$K_{a2}^{\ominus}(H_2S)$，则标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = [K_{sp}^{\ominus}(MnS)][K_a^{\ominus}(HAc)]^2/[K_{a1}^{\ominus}(H_2S)\,K_{a2}^{\ominus}(H_2S)]$$

$$= [(4.65 \times 10^{-14})(1.8 \times 10^{-5})^2]/[9.1 \times 10^{-8} \times 1.1 \times 10^{-12}] = 1.51 \times 10^{-4}$$

由于 $K^{\ominus} > 1.0 \times 10^{-6}$，故 MnS 可溶于 HAc。

例 3 计算 $Fe(OH)_3$ 溶于 NH_4^+ 的标准平衡常数。已知 $K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3] = 1.1 \times 10^{-36}$，$K_b^{\ominus}(NH_3) = 1.8 \times 10^{-5}$。

解：方法一 利用多重平衡规则计算，则有：

$$Fe(OH)_3(s) = Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \qquad K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3] \qquad (3\text{-}1)$$

$$NH_3(aq) + H_2O(l) = NH_4^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K_b^{\ominus}(NH_3) \qquad (3\text{-}2)$$

$$Fe(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq) = Fe^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 3H_2O(l) \qquad K^{\ominus} \qquad (3\text{-}3)$$

上述三个平衡的关系为：式(3-3) = 式(3-1) − 3 × 式(3-2)，则标准平衡常数关系为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(Fe(OH)_3)/[K_b^{\ominus}(NH_3)]^3 = [1.1 \times 10^{-36}]/[1.8 \times 10^{-5}]^3 = 1.9 \times 10^{-21}$$

方法二 利用技巧性公式计算，

$$Fe(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq) = Fe^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 3H_2O(l)$$

反应式中的物质分子是 $Fe(OH)_3$、NH_3、H_2O，分别对应 $K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3]$、$K_b^{\ominus}(NH_3)$、$K_W^{\ominus}(H_2O)$，由于水不是以自身解离的方式参与反应，故 $K_W^{\ominus}(H_2O)$不写入技巧公式中，因此 $Fe(OH)_3$ 溶于 NH_4^+ 的标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(Fe(OH)_3)/[K_b^{\ominus}(NH_3)]^3 = [1.1 \times 10^{-36}]/[1.8 \times 10^{-5}]^3 = 1.9 \times 10^{-21}$$

由于 $K^{\ominus} \ll 1.0 \times 10^{-6}$，故 $Fe(OH)_3$ 不可能溶于 NH_4^+。

例 4 计算 CaC_2O_4 溶于 HAc 的标准平衡常数。已知 $K_a^{\ominus}(HAc) = 1.8 \times 10^{-5}$，$K_{a1}^{\ominus}(H_2C_2O_4) = 9.1 \times 10^{-8}$，$K_{a2}^{\ominus}(H_2C_2O_4) = 1.1 \times 10^{-12}$，$K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4) = 4.65 \times 10^{-14}$。

解：方法一 按多重平衡规则计算，则有：

$$CaC_2O_4(s) = Ca^{2+}(aq) + C_2O_4^{2-}(aq) \qquad K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4) \qquad (4\text{-}1)$$

$$HAc(aq) = H^+(aq) + Ac^-(aq) \qquad K_a^{\ominus}(HAc) \qquad (4\text{-}2)$$

$$HC_2O_4^-(aq) = H^+(aq) + C_2O_4^{2-}(aq) \qquad K_{a2}^{\ominus}(H_2C_2O_4) \qquad (4\text{-}3)$$

$$CaC_2O_4(s) + HAc(aq) = Ca^{2+}(aq) + HC_2O_4^-(aq) + 2Ac^-(aq) \qquad K^{\ominus} \qquad (4\text{-}4)$$

上述四个平衡的关系为：式(4-4) = 式(4-1) + 式(4-2) − 式(4-3)，则标准平衡常数关系为：

$$K^{\ominus} = [K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4)K_a^{\ominus}(HAc)]/[K_{a2}^{\ominus}(H_2C_2O_4)]$$
$$= [4.65 \times 10^{-14} \times 1.8 \times 10^{-5}]/[1.1 \times 10^{-12}] = 7.6 \times 10^{-7}$$

方法二 利用技巧性公式计算。

CaC_2O_4 溶于 HAc 的反应式为：

$$CaC_2O_4(s) + HAc(aq) = Ca^{2+}(aq) + HC_2O_4^-(aq) + 2Ac^-(aq)$$

反应式中分子物质是 CaC_2O_4、HAc，分别对应 $K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4)$、$K_a^{\ominus}(HAc)$，离子物质是 $HC_2O_4^-$，对应 $K_{a2}^{\ominus}(H_2C_2O_4)$，则标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = [K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4)K_a^{\ominus}(HAc)]/[K_{a2}^{\ominus}(H_2C_2O_4)]$$
$$= [4.65 \times 10^{-14} \times 1.8 \times 10^{-5}]/[1.1 \times 10^{-12}] = 7.6 \times 10^{-7}$$

由于 $K^{\ominus} < 1.0 \times 10^{-6}$，$CaC_2O_4$ 不溶于 HAc。

2.2 沉淀之间相互转化

例 5 计算加入 Na_2CO_3 使 CaC_2O_4 转化 $CaCO_3$ 的标准平衡常数。已知 $K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4) = 2.34 \times 10^{-9}$，$K_{sp}^{\ominus}(CaCO_3) = 4.96 \times 10^{-9}$。

解：方法一 按多重平衡规则计算，则有：

$$CaC_2O_4(s) = Ca^{2+}(aq) + C_2O_4^{2-}(aq) \qquad K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4) \qquad (5\text{-}1)$$

$$CaCO_3(s) = Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad K_{sp}^{\ominus}(CaCO_3) \qquad (5\text{-}2)$$

$$CaC_2O_4(s) + CO_3^{2-}(aq) = CaCO_3(s) + C_2O_4^{2-}(aq) \qquad K^{\ominus} \qquad (5\text{-}3)$$

上述三个平衡的关系为：式(5-3) = 式(5-1) − 式(5-2)，则标准平衡常数关系为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4)/K_{sp}^{\ominus}(CaCO_3) = 2.34 \times 10^{-9}/4.96 \times 10^{-9} = 0.472$$

方法二　利用技巧性公式计算。

加入 Na_2CO_3 使 CaC_2O_4 转化 $CaCO_3$ 的反应式为：

$$CaC_2O_4(s) + CO_3^{2-}(aq) = CaCO_3(s) + C_2O_4^{2-}(aq)$$

反应式中分子物质是 CaC_2O_4、$CaCO_3$，分别对应 $K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4)$、$K_{sp}^{\ominus}(CaCO_3)$，则标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(CaC_2O_4)/K_{sp}^{\ominus}(CaCO_3) = 2.34 \times 10^{-9}/4.96 \times 10^{-9} = 0.472$$

根据计算的 $K^{\ominus}$ 值，加入 Na_2CO_3 可使 CaC_2O_4 转化 $CaCO_3$。

2.3　配位平衡与酸碱平衡

例 6　计算向 FeF_6^{3-} 溶液中加入 HCl 的标准平衡常数。已知 $K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-}) = 1.0 \times 10^{16}$，$K_a^{\ominus}(HF) = 3.5 \times 10^{-4}$。

解：向 FeF_6^{3-} 溶液中加入 HCl 的反应式为：

$$FeF_6^{3-}(aq) + 6H^+(aq) = Fe^{3+}(aq) + 6HF(aq)$$

反应式中分子物质是 HF，对应 $K_a^{\ominus}(HF)$，离子物质是 FeF_6^{3-}，对应 $1/K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-})$，则标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = [1/K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-})]/[K_a^{\ominus}(HF)]^6$$

$$= 1/\{[K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-})][K_a^{\ominus}(HF)]^6\} = 1/[(1.0 \times 10^{16})(3.5 \times 10^{-4})^6] = 5.4 \times 10^4$$

由于 $K^{\ominus}$ 值很大，所以反应进行的程度很大。

例 7　计算向 FeF_6^{3-} 溶液中加入 NaOH 的标准平衡常数。已知 $K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-}) = 1.0 \times 10^{16}$，$K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3] = 1.1 \times 10^{-36}$。

解：向 FeF_6^{3-} 溶液中加入 NaOH 的反应式为：

$$FeF_6^{3-}(aq) + 3OH^-(aq) = Fe(OH)_3(s) + 6F^-(aq)$$

反应式中分子物质是 $Fe(OH)_3$，对应 $K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3]$，离子物质是 FeF_6^{3-}，对应 $1/K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-})$，则标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = [1/K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-})]/[K_{sp}^{\ominus}(Fe(OH)_3)]$$

$$= 1/[K_f^{\ominus}(FeF_6^{3-})K_{sp}^{\ominus}(Fe(OH)_3)] = 1/[1.0 \times 10^{16} \times 1.1 \times 10^{-36}] = 9.0 \times 10^{19}$$

根据计算结果，$K^{\ominus} \gg 1.0 \times 10^6$，反应进行得很彻底。

2.4　配位平衡与沉淀溶解平衡

例 8　计算 AgCl 溶于氨水的标准平衡常数。已知 $K_f^{\ominus}[Ag(NH_3)_2^+] = 1.62 \times 10^7$，$K_b^{\ominus}(NH_3) = 1.79 \times 10^{-5}$，$K_{sp}^{\ominus}(AgCl) = 1.56 \times 10^{-10}$。

解：AgCl 溶于氨水的反应式为：

$$AgCl(s) + 2NH_3(aq) = Ag(NH_3)_2^+(aq) + Cl^-(aq)$$

反应式中分子物质是 AgCl、NH_3，对应 $K_{sp}^{\ominus}(AgCl)$、$K_b^{\ominus}(NH_3)$，离子物质是 $Ag(NH_3)_2^+$，对应 $1/K_f^{\ominus}(Ag(NH_3)_2^+)$。由于 NH_3 不是通过解离反应参与反应的，故 $K_b^{\ominus}(NH_3)$不写在公式中，因此 AgCl 溶于氨水的标准平衡常数为：

$$K^{\ominus} = K_{sp}^{\ominus}(AgCl)/[1/K_f^{\ominus}(Ag(NH_3)_2^+)]$$

$$= K_{sp}^{\ominus}(AgCl)K_f^{\ominus}(Ag(NH_3)_2^+) = 1.56 \times 10^{-10} \times 1.62 \times 10^7 = 2.53 \times 10^3$$

从计算结果来看， AgCl 可溶于氨水。

例 9 计算向 $Ag(NH_3)_2^+$ 加入 KBr 溶液生成 AgBr 的标准平衡常数。已知：$K_f^\ominus(Ag(NH_3)_2^+) = 1.62 \times 10^7$，$K_{sp}^\ominus(AgBr) = 7.7 \times 10^{-13}$。

解：向 $Ag(NH_3)_2^+$ 加入 KBr 溶液生成 AgBr 的反应式为：

$$Ag(NH_3)_2^+(aq) + Br^-(aq) = AgBr(s) + 2NH_3(aq)$$

分析同例 8，则标准平衡常数为：

$$K^\ominus = [1/K_f^\ominus(Ag(NH_3)_2^+)]/K_{sp}^\ominus(AgBr)$$

$$= 1/[K_{sp}^\ominus(AgBr)K_f^\ominus(Ag(NH_3)_2^+)] = 1/[1.62 \times 10^7 \times 7.7 \times 10^{-13}] = 8.01 \times 10^4$$

由于 $K^\ominus$ 值较大，故向 $Ag(NH_3)_2^+$ 加入 KBr 溶液生成 AgBr 的程度很大。

2.5 配合物之间的相互转化

例 10 向 $Ag(NH_3)_2^+$ 溶液中加入足量固体 KCN，计算反应的标准平衡常数。已知 $K_f^\ominus(Ag(NH_3)_2^+) = 1.62 \times 10^7$，$K_f^\ominus(Ag(CN)_2^-) = 1.3 \times 10^{21}$。

解：向 $Ag(NH_3)_2^+$ 溶液中加入足量固体 KCN 的反应式为：

$$Ag(NH_3)_2^+ + CN^- = Ag(CN)_2^- + 2NH_3$$

则标准平衡常数为：

$$K^\ominus = K_f^\ominus(Ag(CN)_2^-)/K_f^\ominus(Ag(NH_3)_2^+) = 1.3 \times 10^{21}/1.62 \times 10^7 = 8.02 \times 10^{13}$$

由于 $K^\ominus \gg 1.0 \times 10^6$，故 $Ag(NH_3)_2^+$ 转化成 $Ag(CN)_2^-$ 是很彻底的。

2.6 氧化还原反应参与的多重平衡

能写入技巧性公式的 $K^\ominus$ 须为分子解离反应的标准平衡常数，因此该法不适用有氧化还原反应参与的多重平衡，此类平衡标准平衡常数的计算须依据多重平衡规则。

例 11 计算 CuS 溶于 HNO_3 的标准平衡常数。已知 $\varphi^\ominus(NO_3^-/NO) = 0.96\,V$，$\varphi^\ominus(S/H_2S) = 0.14\,V$，$K_{sp}^\ominus(CuS) = 1.27 \times 10^{-36}$，$K_{a1}^\ominus(H_2S) = 9.1 \times 10^{-8}$，$K_{a2}^\ominus(H_2S) = 1.1 \times 10^{-12}$。

解：CuS 溶于浓 HNO_3 的反应式为：

$$3CuS + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 3S\downarrow + 4H_2O + 2NO\uparrow \qquad K_5^\ominus \qquad (11\text{-}5)$$

$$CuS(s) = Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \qquad K_{sp}^\ominus(CuS) \qquad (11\text{-}1)$$

$$H_2S(aq) = H^+(aq) + HS^-(aq) \qquad K_{a1}^\ominus(H_2S) \qquad (11\text{-}2)$$

$$HS^-(aq) = H^+(aq) + S^{2-}(aq) \qquad K_{a2}^\ominus(H_2S) \qquad (11\text{-}3)$$

$$3H_2S + 2HNO_3 = 3S\downarrow + 2NO\uparrow + 4H_2O \qquad K_4^\ominus \qquad (11\text{-}4)$$

$$\lg K_4^\ominus = \frac{n\varepsilon^\ominus}{0.0592\ V} = \frac{n(\varphi_{NO_3^-/NO}^\ominus - \varphi_{S/H_2S}^\ominus)}{0.0592\ V} = \frac{6(0.96\ V - 0.14\ V)}{0.0592\ V} \qquad K_4^\ominus = 1.3 \times 10^{83}$$

上述五个平衡的关系为：式(11-5) = 3 × 式(11-1) – 3 × 式(11-2) – 3 × 式(11-3) + 式(11-4)，则标准平衡常数关系为：

$$K_5^\ominus = \{[K_{sp}^\ominus(CuS)]^3 K_4^\ominus\}/[(K_{a1}^\ominus(H_2S)K_{a2}^\ominus(H_2S)]^3$$

$$= \{(1.27 \times 10^{-36})^3(1.3 \times 10^{83})\}/[9.1 \times 10^{-8} \times 1.1 \times 10^{-12}]^3 = 2.66 \times 10^{34}$$

根据计算结果，$K^\ominus \gg 1.0 \times 10^6$，故硫化铜能溶解在 HNO_3 中。

3 结语

利用技巧性公式计算多重平衡标准常数可一步到位，解题快速、准确。适用于酸碱、沉淀及配位参与的多重平衡，不适用有氧化还原反应参与的多重平衡。

参 考 文 献

[1] 刘霞. 大学化学. 第 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2018.

[2] 叶启俭, 彭铁辉. 桂林工学院学报, **2003,** *23* (2), 191.

[3] 张文广, 王祖浩. 大学化学, **2007,** *22* (2), 56.

[4] 游丹, 程清蓉. 教育教学论坛, **2017,** *42* (10), 186.

第十届全国微型化学实验研讨会暨第八届中学微型实验研讨会征文通知

在教育部和中国化学会领导和有关专家的关怀与支持下，我国微型实验(ML)研究与应用已蓬勃开展取得了显著的教学效果和良好的社会与环保效益，受到国际同行关注。为总结交流 ML 的新进展、新经验，探讨深化 ML 研究和加快推广应用的理论与实践等问题，同时为了纪念戴安邦院士逝世和他为 ML 题词二十周年，拟于 2019 年 7 月在澳门培正中学召开第十届全国微型化学实验研讨会暨第八届中学微型实验研讨会。现已成立由沈家骢院士等为顾问的会议组织委员会，开展会议筹备工作。兹将会议征文通知如下。

1 征文内容

(1) 具有推广价值的微型实验方案、新仪器(含无机化学、有机化学、高分子化学、分析化学、物理化学和中小学自然科学)的新 ML 的软硬件；

(2) 微型实验在科学研究与工农业生产中的应用；

(3) 推广应用 ML 经验总结与问题讨论(如 ML 在生态文明建设中的作用、ML 与创新教育、ML 在课堂教学与探究活动中的应用……)；

(4) 国际上 ML 的进展。

2 征文要求

(1) 应征论文必须有实验(践)依据、数据可靠、具有新意、尚未在国内外正式刊物上发表。

(2) 征文应言简意赅，一般不超过2500字(即全文连图控制在2页内)。论文格式如下：题名、作者、作者单位、中英文摘要和关键词(3–5个)、中图分类号、第一作者简介(包括姓名、民族、籍贯、出生年月、性别、职称、学位，及研究方向)、正文、参考文献。

请以 WORD 文本输入，连同所有图表以电子函件附件方式于 2019 年 4 月 10 日前发至全国 ML 研究中心(邮箱：cmlc2019@163.com，联系电话：13957134299)，同时抄送澳门科学与人工智能教育学会电子邮箱：info.msaiea@gmail.com。

征文经专家小组评审，录用的论文将发出邀请赴会交流函，并将集结正式出版。不论录用与否，原稿恕不退还，请自留底稿。

(3) 为鼓励广大中小学教师从事 ML 研究与推广应用，将对在会上交流的中小学 ML 的优秀论文进行评奖。

本次会议举行之时适逢澳门回归祖国二十周年，又是培正中学校庆 130 周年；这就赋予会议更丰富的内涵。组委会当尽力做好会务工作，更期盼两岸学者踊跃投稿共襄盛会。

全国微型化学实验研讨会组委会
澳门培正中学
澳门科学与人工智能教育会