



国外优秀科技著作出版专项基金资助

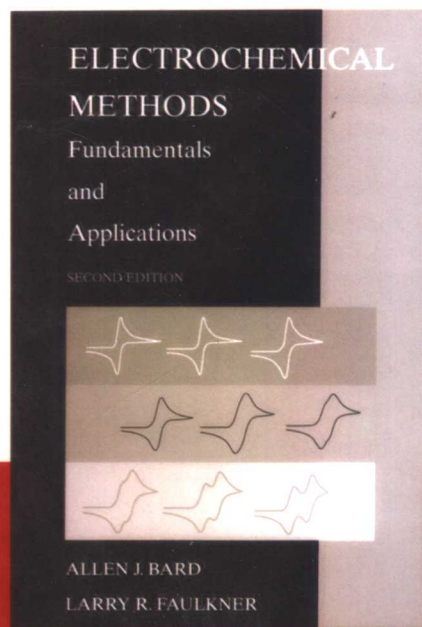
电化学方法 原理和应用

第二版

[美] 阿伦·J·巴德 拉里·R·福克纳 著

邵元华 朱果逸 董献堆 张柏林 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

国外优秀科技著作出版专项基金资助

电化学方法 原理和应用

第二版

[美] 阿伦·J·巴德 拉里·R·福克纳 著
邵元华 朱果逸 董献堆 张柏林 译



化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

电化学方法 原理和应用. 第二版 [美] 巴德 (Bard A. J.), [美] 福克纳 (Faulkner L. R.) 著; 邵元华等译. 北京: 化学工业出版社, 2005. 3
书名原文: Electrochemical Methods Fundamentals and Applications
ISBN 7-5025-6704-6

I. 电… II. ①巴…②福…③邵… III. 电化学 IV. 0646

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 014545 号

Electrochemical Methods Fundamentals and Applications, 2nd Edition/by Bard A. J., Faulkner L. R.

ISBN 0-471-04372-9

Copyright ©2003 by JOHN WILEY & SONS, INC. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by JOHN WILEY & SONS, INC.

本书中文简体字版由 JOHN WILEY & SONS, INC. 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-4832

电化学方法

原理和应用

第二版

[美] 阿伦·J. 巴德 拉里·R. 福克纳 著
邵元华 朱果逸 董献堆 张柏林 译

责任编辑: 杜进祥

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 陈 静

封面设计: 关 飞

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 37½ 字数 1143 千字

2005 年 5 月第 2 版 2005 年 5 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-6704-6 (O·101)

定 价: 80.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

译 序

由国际著名电化学家 A. J. Bard 和 L. R. Faulkner 合著的“ELECTROCHEMICAL METHODS Fundamentals and Applications”一书于 1980 年问世，引起了全世界电化学和电分析化学界热烈反响，大家普遍认为这是一本非常好的教科书和参考书。它既适于大学化学系高年级学生和研究生作为教材，同时也是从事电化学与电分析化学领域研究和应用的必备基础书。世界各大学相应专业均指定为教科书和参考书。我国相关大学和研究所也不例外，普遍选用该书为研究生相应专业的教材。很快天津大学谷林镓先生（已去世）等翻译为中文，在化学工业出版社出版。

该书的修订版较第一版有了很大扩展，对电化学和电分析化学原理、方法和应用进行了很有深度和广度的精辟阐述。把修订版翻译为中文是非常急迫和需要的。中国科学院长春应用化学研究所电分析化学国家重点实验室（原为中科院开放室）自该书第一版问世后，即将其指定为研究生的电化学和电分析化学课程的教科书，每年对该专业的研究生进行每周 4 小时的授课。经 A. J. Bard 教授（美国科学院院士，曾任美国化学会志 JACS 主编 20 年）等同意，化学工业出版社从 John Wiley & Sons 公司购买了该书的版权。我所组织了以邵元华研究员（现北京大学教授）负责，朱果逸研究员、董献堆研究员和张柏林研究员参与共同编译该书。这四位研究员均长时间以此书为主要教材对研究生“电化学和电分析化学的基础和应用”授课。在研究和教学方面都取得很好的成绩，也都有在国外留学和工作的经历。无疑他们能够胜任该书的翻译工作。他们辛勤的劳动，持之以恒，终于完成了该书的翻译出版。这将对我国电化学与电分析化学界基础和应用教育的重要贡献，也是我国电化学和电分析化学界的大事，必将推动我国相关领域的发展。热烈祝贺该书的出版。

第三世界科学院和中国科学院院士
汪尔康 2005 年 1 月于长春
中国科学院长春应用化学研究所

译者的话

2001年初,当 A. J. Bard 和 L. R. Faulkner 的“ELECTROCHEMICAL METHODS Fundamentals and Applications”(第二版)出版不久,我们通过美国的朋友就买到了该书,大家阅后深感第二版较第一版有较大扩展。该书对电化学和电分析化学原理和方法阐述的深度和广度是大多数相关的丛书或专著无法比拟的,对于国内电化学和电分析化学领域的研究人员以及相关的研究生是非常急需的,翻译成中文是非常必要的。加之第一版主要的翻译者天津大学的谷林镓先生已经去世,在征得著者之一 A. J. Bard 教授同意后,我们决定组织人员进行翻译,化学工业出版社从 John Wiley & Sons 公司购买了版权,并与我们签署了翻译协议。由于该书篇幅大(英文 800 多页)、涉及的内容多、难度大,因而由北京大学邵元华教授(原中科院长春应用化学研究所电分析化学国家重点实验室研究员)负责,朱果逸研究员、董献堆研究员、张柏林研究员(中科院长春应用化学研究所电分析化学国家重点实验室)参与共同翻译。

本书的两位作者 A. J. Bard 教授和 L. R. Faulkner 教授是国际著名的电化学和电分析化学专家。其中 A. J. Bard 教授是美国科学院院士和 2002 年度美国化学会最高奖 Priestley Medal 得主,曾任美国化学会志(Journal of American Chemical Society, JACS)主编 20 年。两位作者在电化学与电分析化学的诸多领域均有开拓性的建树。

本书的学术水平一流,是两位作者花费大量心血完成的。本书的主要特点是系统地论述了电化学的基本原理和各种电化学技术方法原理,读者只要具备基本的物理和化学基础,均可自学。本书第一版于 1980 年出版后,得到全世界电化学及电分析化学界广泛好评。本书适用于大学化学系高年级学生、研究生作为教材,同时也适用于非化学专业人员,例如涉及到采用各种电化学技术进行研究的材料科学、环境科学和生命科学等领域科技人员,是从事电化学及电分析化学领域研究和应用的当然必备书。我们希望该书第二版中文版的出版正如第一版一样,能够推动我国在相关领域的发展。

本书在翻译的过程中得到了汪尔康院士、陈洪渊院士、查全性院士以及董绍俊先生的大力支持和关怀,特别是汪先生在百忙中为本书写序,对我们是极大地鼓励和鞭策。在本书的策划和翻译过程中,本书责任编辑做出了很大的努力和花费了大量的时间,我们对于他认真的态度和一丝不苟的工作精神表示敬佩和感谢。我们在翻译的过程中也参考了第一版的中译本,并从中学习了许多东西,在此对天津大学的谷林镓先生等表示感谢。我们也感谢在翻译过程中给予我们帮助的同事和学生,如高壘、詹东平、张美芹、陈忠、何莎莉、梁中伟、静平等,他们在翻译初稿出来后,进行了仔细阅读并提出了宝贵的意见。我们也感谢在翻译过程中家人所给予的理解和支持。

邵元华主要翻译了本书 1~4 章、12 章、17 章、18 章以及附录 C、D,并对全书进行了校对和统一符号用法。朱果逸和邵元华翻译了 9~11 章和 15 章。董献堆翻译了 5~8 章以及附录 A、B。张柏林翻译了 13 章、14 章和 16 章,并参与了部分校对。同时我们将封面和封底上的基本公式、量纲换算、重要关系式、物理常数、25℃ 时导出的常数等整理成为附录 D。索引我们没有按照原文进行翻译,而是按照中文的常规做法整理

的。由于我们的水平有限，可能存在许多翻译不准确、甚至不正确的地方，欢迎读者随时提出宝贵的意见。

邵元华（北京大学化学与分子工程学院）

朱果逸（中科院长春应用化学研究所）

董献堆（中科院长春应用化学研究所）

张柏林（中科院长春应用化学研究所）

2005年1月

前 言

在本书第一版出版后的 20 年内，电化学和电分析化学领域已有充分的发展。对各种现象的更深层理解，对在当时已有的实验工具的进一步发展和引入新的方法等都是该进展的重要体现。在 1980 年版的序中，我们指出电化学研究的重点看来已从发展方法学转移到应用这些方法来研究化学行为，历史的发展大体上证实了这个观点。我们在那时对于方法学的总结已过时了，在实际应用中这些方法也有重要变化。在此新版中，我们是本着这样一个思路来进行修订的，即将此书的内容进行扩展，使之能作为一本通用的介绍电化学方法的书。

我们保持了第一版的写作宗旨和方式，即全面涵盖了现在广泛应用的电化学方法的原理。本书试图使其作为教科书，包括了大量的习题和化学实例。为了使概念阐释清楚，采用了大量的图表，通篇格式适用于教学。这本书可用于大学高年级学生和研究生开始阶段的正规教程，同时我们也力图使写作方式适用于感兴趣的读者自修之用。虽然要求读者具有基本的物理化学知识，但是通常的讨论方式是从基础入手并逐渐加深。我们试图使这本书从最基本的化学和物理原理出发来阐述几乎所有的与电化学有关的重要概念。因为我们强调基本原理和应用的范围，此版继续突出所述方法的数学理论；但是关键思想始终避开繁冗的数学基础。特定的数学基础知识因需要而介绍。每一章后的习题作为教学手段而设计，它们经常扩展了在正文中所介绍的概念，或者显示实验结果如何被转化为基本的结论。本书还引用了大量的文献，但主要包括具有创新性的论文和综述，不可能覆盖本领域中数量巨大的原始文献，因而我们也没有试图朝这个方向努力。

我们的方式首先是给出一个电极过程的全貌（第 1 章），介绍电化学实验中所有的基本内容集成起来的方法。然后再对热力学和电势，电子转移动力学和物质传递等进行讨论（第 2~4 章）。第 5~11 章是将上述基本概念集成起来论述各种电化学方法。第 12 章单独处理均相化学动力学的影响，以便对不同电化学方法的响应进行对比。第 13~14 章讨论界面结构、吸附和修饰电极；接下来是对电化学仪器的简介（第 15 章），第 16~18 章详细介绍了电化学和其他研究工具相结合的实验方法。附录 A 介绍了相关数学背景知识；附录 B 简介了数值模拟的方法；附录 C 包含了一些有用数据表。

此版的结构总体上和第一版相同，但进行了一些重要的增补，主要包括这段时期快速发展的新领域和新课题。它们是超微电极的应用、完整表面上的电化学现象、修饰电极、现代电子转移理论、扫描探针方法、液相色谱电化学联用方法（LCEC）、阻抗谱学、现代形式的脉冲伏安法和各种谱学电化学技术。第一版中的第 5 章“控制电势的微电极技术——电势阶跃方法”现已分成了新的第 5 章“基本的电势阶跃方法”和新的第 7 章“极谱学和脉冲伏安法”。第一版中的第 12 章“双电层结构和电极过程的吸附中间体”现在变成了两章：第 13 章“双电层结构和吸附”和第 14 章“电活性层和修饰电极”。原版中仅有一章是介绍其他的表征方法和电化学体系的联用（第 14 章“光谱和光化学实验”）。在新版中，专设“扫描探针技术”（第 16 章），并增设了“光谱电化学和其他联用表征方法”（第 17 章），“光电化学和电致化学发光”（第 18 章）。虽说在新版中有相当大的修订，但其他章节和附录仍与原版相对应。

全书中数学符号用法是统一的，最大限度地不用重复符号。主要的符号表和缩写表均提供了定义、量纲和引用章节。通常我们遵循国际纯粹和应用化学联合会 (IUPAC) 电化学委员会推荐使用的符号 [R. Parsons et al., *Pure Appl. Chem.*, **37**, 503 (1974)]。有些例外是因为沿袭习惯用法或为使符号不致混淆而不得不用。

本书在深度、广度和篇幅之间不可避免地要进行妥协。一些“经典”的电化学内容，如电解池的热力学、电导、电势法没有涵盖。同样道理，对于许多有用但在实践中没有广泛应用的技术，在本书中也没有介绍。实验程序的具体细节，如电解池的设计、电极的制备和试剂的提纯均超出了本书的范围。在新版中，我们删去和简化了一些内容。通常，我们新版中注明这些内容在旧版中对应的章节，以便感兴趣的读者仍然可以在旧版找到相关的内容。

与第一版一样，我们应该感谢许多对此工作给予帮助的人们。我们特别感谢 Rose McCord 和 Susan Faulkner，在本书的准备和出版过程中辛勤劳动。S. Amemiya, F. C. Anson, D. A. Buttry, R. M. Crooks, P. He, W. R. Heineman, R. A. Marcus, A. C. Michael, R. W. Murray, A. J. Nozik, R. A. Osteryoung, J. -M. Savéant, W. Schmickler, M. P. Soriaga, M. J. Weaver, H. S. White, R. M. Wightman 和 C. G. Zoski 等对此书提出了有建设性的意见。我们感谢他们和许多电化学界的同仁，在多年的工作中给予我们的启迪。最后，我们也感谢我们的家人对于这个相当艰苦工作所给予的无私支持。

Allen J. Bard
Larry R. Faulkner

主要符号

下面列出的是在各章中或某一章中使用较多的符号。类似的符号在具体章节中可能会有不同的意义。在大部分情况下，这些符号的用法都遵循国际纯粹和应用化学联合会（IUPAC）电化学委员会的建议 [R. Parsons et al., *Pure Appl. Chem.*, **37**, 503 (1974)]; 但也有例外。

用于浓度或电流的上划 [如 $\bar{C}_O(x,s)$] 表示变量的 Laplace 变换，但当 \bar{i} 表示极谱法中的平均电流时例外。

标准下标

a	阳极的	dl	双电层	O	特指 $O + ne \rightleftharpoons R$ 中的 O
c	(a) 阴极的 (b) 荷电的	eq	平衡	p	峰
D	圆盘	f	(a) 正向的 (b) 法拉第的	R	(a) 特指 $O + ne \rightleftharpoons R$ 中的 R (b) 圆环
d	扩散	l	极限的	r	反向的

罗马符号

符号	意义	常用单位	涉及章节
A	(a) 面积 (b) 多孔电极的横截面积 (c) 速率表达式中的频率因子 (d) 放大器开环增益	cm ² cm ² 取决于级数 无	1. 3. 2 11. 6. 2 3. 1. 2 15. 1. 1
\mathcal{A}	吸光度	无	17. 1. 1
a	(a) 多孔电极内表面 (b) 扫描电化学显微镜的探头半径	cm ² μm	11. 6. 2 16. 4. 1
a_j°	α 相中物质 j 的活度	无	2. 1. 5
b	$\alpha Fv/RT$	s ⁻¹	6. 3. 1
b_j	$\beta_j \Gamma_{j,s}$	mol/cm ²	13. 5. 3
C	电容	F	1. 2. 2, 10. 1. 2
C_B	电解池的串联等效电容	F	10. 4
C_d	双电层的微分电容	F, F/cm ²	1. 2. 2, 13. 2. 2
C_i	双电层的积分电容	F, F/cm ²	13. 2. 2
C_j	物质 j 的浓度	mol · L ⁻¹ , mol/cm ³	
C_j^*	物质 j 的本体浓度	mol · L ⁻¹ , mol/cm ³	1. 4. 2, 4. 4. 3
$C_j(x)$	物质 j 在离电极表面为 x 处的浓度	mol · L ⁻¹ , mol/cm ³	1. 4
$C_j(x=0)$	物质 j 在电极表面的浓度	mol · L ⁻¹ , mol/cm ³	1. 4. 2

符号	意 义	常用单位	涉及章节
$C_j(x, t)$	物质 j 在离电极表面为 x 、时间为 t 时的浓度	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{mol}/\text{cm}^3$	4. 4
$C_j(0, t)$	物质 j 在时间为 t 时电极表面的浓度	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{mol}/\text{cm}^3$	4. 4. 3
$C_j(y)$	物质 j 在旋转电极下方距离为 y 处的浓度	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{mol}/\text{cm}^3$	9. 3. 3
$C_j(y=0)$	旋转电极上物质 j 的表面浓度	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{mol}/\text{cm}^3$	9. 3. 4
C_{sc}	空间电荷电容	F/cm^2	18. 2. 2
C_s	假电容	F	10. 1. 3
c	光在真空中的速度	cm/s	17. 1. 2
D_E	修饰电极薄膜内电子的扩散系数	cm^2/s	14. 4. 2
D_j	物质 j 的扩散系数	cm^2/s	1. 4. 1, 4. 4
$D_j(\lambda, E)$	物质 j 的浓度态密度	$\text{cm}^3 \cdot \text{eV}^{-1}$	3. 6. 3
D_M	模拟中的模型扩散系数	无	B. 1. 3, B. 1. 8
D_S	修饰电极薄膜内主要反应物的扩散系数	cm^2/s	14. 4. 2
d	扫描电化学显微镜探头到基底的距离	$\mu\text{m}, \text{nm}$	16. 4. 1
d_j	j 相的密度	g/cm^3	
E	(a) 相对于参比电极的电极电势 (b) 反应电动势 (c) 交流电压的振幅	V V V	1. 1, 2. 1 2. 1 10. 1. 2
ΔE	(a) 示差脉冲伏安法中的脉冲高度 (b) 断续和阶梯伏安中阶跃高度 (c) 交流伏安法中交流激励的幅值 ($1/2$ $p \sim p$)	mV mV mV	7. 3. 4 7. 3. 1 10. 5. 1
E	电子的能量	eV	2. 2. 5, 3. 6. 3
\mathcal{E}	电场强度矢量	V/cm	2. 2. 1
\mathcal{E}	电场强度	V/cm	2. 2. 1
\dot{E}	电压或电势的相量	V	10. 1. 2
E^{\ominus}	(a) 电极或电对的标准电势 (b) 半反应的标准电动势	V V	2. 1. 4 2. 1. 4
ΔE^{\ominus}	两个电对的标准电势差	V	6. 6
E^{\ominus}	相对于电对标准电势的电子能量	eV	3. 6. 3
$E^{\ominus'}$	电极的形式电势	V	2. 1. 6
E_A	反应的活化能	kJ/mol	3. 1. 2
E_{ac}	电势的交流组分	mV	10. 1. 1
E_b	NPV 和 RPV 中的基本电势	V	7. 3. 2, 7. 3. 3
E_{dc}	电势的直流组分	V	10. 1. 1
E_{eq}	电极的平衡电势	V	1. 3. 2, 3. 4. 1
E_F	费米能级	eV	2. 2. 5, 3. 6. 3
E_{fb}	平带电势	V	18. 2. 2
E_g	半导体的禁带隙	eV	18. 2. 2
E_i	初始电势	V	6. 2. 1
E_j	接界电势	mV	2. 3. 4
E_m	膜电势	mV	2. 4
E_p	峰电势	V	6. 2. 2
ΔE_p	(a) 循环伏安法中的 $ E_{pa} - E_{pc} $ (b) 方波伏安法中的脉冲高度	V mV	6. 5 7. 3. 5

符号	意义	常用单位	涉及章节
$E_{p/2}$	线性扫描伏安法 $i = i_p/2$ 处的电势	V	6. 2. 2
E_{pa}	阳极峰电势	V	6. 5
E_{pc}	阴极峰电势	V	6. 5
ΔE_s	方波伏安法中的阶梯阶跃高度	mV	7. 3. 5
E_z	零电荷电势	V	13. 2. 2
E_λ	循环伏安法的换向电势	V	6. 5
$E_{t/4}$	计时电势法的 1/4 波电势	V	8. 3. 1
$E_{1/2}$	(a) 伏安法测量或预测的半波电势 (b) 导出的可逆半波电势	V	1. 4. 2, 5. 4, 5. 5 5. 4
	$E^{\ominus'} + \left(\frac{RT}{nF}\right) \ln\left(\frac{D_R}{D_O}\right)^{1/2}$		
$E_{1/4}$	$i/i_d = 1/4$ 时的电势	V	5. 4. 1
$E_{3/4}$	$i/i_d = 3/4$ 时的电势	V	5. 4. 1
e	(a) 电子的电量 (b) 电路的电压	C V	10. 1. 1, 15. 1
e_i	输入电压	V	15. 2
e_o	输出电压	V	15. 1. 1
e_s	放大器的输入端电压	μV	15. 1. 1
$\text{erf}(x)$	x 的误差函数	无	A. 3
$\text{erfc}(x)$	x 的余误差函数	无	A. 3
F	法拉第常数; 1 mol 电子所带的电量	C	
f	(a) F/RT (b) 旋转的频率 (c) 正弦振动的频率 (d) 方波伏安法的频率 (e) 滴定分数	V^{-1} r/s s^{-1} s^{-1} 无	 9. 3 10. 1. 2 7. 3. 5 11. 5. 2
$f(E)$	费米函数	无	3. 6. 3
$f_i(j, k)$	物质 i 在盒子 j 中模拟迭代 k 次后的部分浓度	无	B. 1. 3
G	吉布斯自由能	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	2. 2. 4
ΔG	化学过程的吉布斯自由能变化	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	2. 1. 2, 2. 1. 3
\bar{G}	电化学自由能	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	2. 2. 4
G^\ominus	标准吉布斯自由能	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	3. 1. 2
ΔG^\ominus	化学过程的标准吉布斯自由能变化	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	2. 1. 2, 2. 1. 3
ΔG^\ddagger	标准活化的吉布斯自由能	kJ/mol	3. 1. 2
$\Delta G_{\text{transfer}, j}^{\ominus \alpha \rightarrow \beta}$	物质 j 从 α 相转移到 β 相的标准自由能	kJ/mol	2. 3. 6
g	(a) 重力加速度 (b) 吸附等温线的相互作用参数	cm/s^2 $\text{J} \cdot \text{cm}^2/\text{mol}^2$	13. 5. 2
H	(a) 焓 (b) $\frac{k_f}{D_O^{1/2}} + \frac{k_d}{D_R^{1/2}}$	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$ $\text{s}^{-1/2}$	2. 1. 2 5. 5. 1
ΔH	化学过程中焓的变化	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	2. 1. 2
ΔH^\ominus	化学过程中标准焓变化	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	2. 1. 2
ΔH^\ddagger	标准活化焓	$\text{kJ}, \text{kJ}/\text{mol}$	3. 1. 2
h	普朗克常数	$\text{J} \cdot \text{s}$	
h_{corr}	滴汞电极的校正汞柱高度	cm	7. 1. 4

符号	意义	常用单位	涉及章节
I	交流电流幅值	A	10.1.2
$I(t)$	电流的卷积变换; 电流的半积分	$C/s^{1/2}$	6.7.1
l	电流相移	A	
\bar{I}	平均电流的扩散电流常数	$\mu A \cdot s^{1/2} / (mg^{2/3} \cdot mM)$	7.1.3
$(I)_{\max}$	最大电流的扩散电流常数	$\mu A \cdot s^{1/2} / (mg^{2/3} \cdot mM)$	7.1.3
I_p	交流电流幅值的峰值	A	10.5.1
i	电流	A	1.3.2
Δi	方波伏安法的微分电流 = $i_t - i_r$	A	7.3.5
δi	示差脉冲伏安法的微分电流 = $i(\tau) - i(\tau')$	A	7.3.4
$i(0)$	本体电解的初始电流	A	11.3.1
i_A	描述旋转圆盘修饰电极主要反应物流量的特征电流	A	14.4.2
i_a	阳极分电流	A	3.2
i_c	(a) 充电电流 (b) 阴极分电流	A	6.2.4 3.2
i_d	(a) 扩散流量的电流 (b) 扩散极限电流	A	4.1 5.2.1
\bar{i}_d	通过整个汞滴寿命的平均扩散极限电流	A	7.1.2
$(i_d)_{\max}$	滴汞电极在 t_{\max} 时的扩散极限电流(最大电流)	A	7.1.2
i_E	描述修饰电极表面电子扩散的特征电流	A	14.4.2
i_f	(a) 法拉第电流 (b) 正向电流	A	5.7
i_K	动力学极限电流	A	9.3.4
i_k	描述修饰电极薄膜内反应的特征电流	A	14.4.2
i_l	极限电流	A	1.4.2
$i_{l,a}$	阳极极限电流	A	1.4.2
$i_{l,c}$	阴极极限电流	A	1.4.2
i_m	迁移电流	A	4.1
i_p	描述主要反应物渗透进入修饰电极薄膜的特征电流	A	14.4.2
i_p	峰电流	A	6.2.2
i_{pa}	阳极峰电流	A	6.5.1
i_{pc}	阴极峰电流	A	6.5.1
i_r	反向阶跃电流	A	5.7
i_S	(a) 描述主要反应物扩散通过修饰电极薄层的特征电流 (b) 扫描电化学显微镜的基底电流	A	14.4.2 16.4.4
i_{ss}	稳态电流	A	5.3
i_T	扫描电化学显微镜的探头电流	A	16.4.2
$i_{T,\infty}$	扫描电化学显微镜远离基底时的探头电流	A	16.4.1
i_0	交换电流	A	3.4.1, 3.5.4
$i_{0,t}$	真实交换电流	A	13.7.1
$\text{Im}(\omega)$	复变函数 ω 的虚部		A.5

符号	意义	常用单位	涉及章节
$J_j(x, t)$	物质 j 在 x 处 t 时间下的流量	$\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	1. 4. 1, 4. 1
j	(a) 电流密度 (b) 模拟的盒子指数 (c) $\sqrt{-1}$	A/cm ² 无 无	1. 3. 2 B. 1. 2 A. 5
j_0	交换电流密度	A/cm ²	3. 4. 1, 3. 5. 4
K	平衡常数	无	
$K_{p,j}$	反应物 j 的前置平衡常数	取决于具体情况	3. 6. 1
k	(a) 均相反应速率常数 (b) 模拟迭代数 (c) 吸光系数	取决于级数 无 无	 B. 1 17. 1. 2
κ	玻尔兹曼常数	J/K	
k^0	标准异相速率常数	cm/s	3. 3, 3. 4
k_b	(a) 氧化的异相速率常数 (b) “逆”反应均相速率常数	cm/s 取决于级数	3. 2 3. 1
k_f	(a) 还原的非均相速率常数 (b) “正”反应均相速率常数	cm/s 取决于级数	3. 2 3. 1
$k_{i,j}^{\text{pot}}$	物质 j 干扰物质 i 电势法测量的选择性系数	无	2. 4
k_i^0	真实标准异相速率常数	cm/s	13. 7. 1
L	多孔电极的长度	cm	11. 6. 2
$L\{f(t)\}$	$f(t) = \bar{f}(s)$ 的拉普拉斯变换		A. 1
$L^{-1}\{\bar{f}(s)\}$	$\bar{f}(s)$ 的拉普拉斯逆变换		A. 1
l	薄层电池溶液的厚度	cm	11. 7. 2
ℓ	模拟中相应 t_k 的迭代数	无	B. 1. 4
m	滴汞电极的汞流速度	mg/s	7. 1. 2
$m(t)$	电流的卷积变换; 电流的半积分	C/s ^{1/2}	6. 7. 1
m_j	物质 j 的物质传递系数	cm/s	1. 4. 2
N	旋转环盘电极的收集效率	无	9. 4. 2
N_A	(a) 受主密度 (b) 阿伏加德罗常数	cm ⁻³ mol ⁻¹	18. 2. 2
N_D	施主密度	cm ⁻³	18. 2. 2
N_j	物质 j 在体系中的摩尔总数	mol	11. 3. 1
n	(a) 电极反应中所涉及的电子数 (b) 半导体的电子密度 (c) 折射率	无 cm ⁻³ 无	1. 3. 2 18. 2. 2 17. 1. 2
\hat{n}	复合折射率	无	17. 1. 2
n^0	z : z 电解质中每种离子的浓度	cm ⁻³	13. 3. 2
n_i	本征半导体的电子密度	cm ⁻³	18. 2. 2
n_j	(a) 物质 j 在一相中的摩尔数 (b) 电解液中离子 j 的浓度	mol cm ⁻³	2. 2. 4, 13. 1. 1 13. 3. 2
n_j^0	离子 j 在主体电解液中的浓度	cm ⁻³	13. 3. 2
O	标准体系 $O + ne \rightleftharpoons R$ 的氧化形式; 通常用来表示相应于物质 O 的下标		
P	压力	Pa, atm	
p	(a) 半导体的空穴密度 (b) $m_j A/V$	cm ⁻³ s ⁻¹	18. 2. 2 11. 3. 1

符号	意义	常用单位	涉及章节
p_i	本征半导体的空穴密度	cm^{-3}	18.3.2
Q	电解时通过的电量	C	1.3.2, 5.8.1, 11.3.1
Q^0	根据法拉第定律, 一组分完全电解所需 的电量	C	11.3.4
Q_d	扩散组分的计时库仑电量	C	5.8.1
Q_{dl}	用于双电层电容的电量	C	5.8
q^j	j 相的过剩电荷	C, μC	1.2.2.2
R	标准体系 $O + ne \rightleftharpoons R$ 的还原形式; 通 常用作表示相应于 R 的下标		
R	(a) 气体常数	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
	(b) 电阻	Ω	10.1.2
	(c) 多孔电极中电解物质的分数	无	11.6.2
	(d) 反射率	无	17.1.2
R_B	电池的串联等效电阻	Ω	10.4
R_{ct}	电荷传递电阻	Ω	1.3.3, 3.4.3
R_f	反馈电阻	Ω	15.2
R_{mt}	物质传递(转移)电阻	Ω	1.4.2, 3.4.6
R_s	(a) 溶液电阻	Ω	1.3.4
	(b) 等效电路中的串联电阻	Ω	1.2.4, 10.1.3
R_u	未补偿电阻	Ω	1.3.4, 15.6
R_Ω	溶液欧姆电阻	Ω	10.1.3
r	距电极中心的径向距离	cm	5.2.2, 5.3, 9.3.1
r_c	毛细管半径	cm	7.1.3
r_0	电极半径	cm	5.2.2, 5.3
r_1	旋转圆盘电极或旋转环盘电极的半径	cm	9.3.5
r_2	圆环电极的内径	cm	9.4.1
r_3	圆环电极的外径	cm	9.4.1
Re	雷诺数	无	9.2.1
$Re(w)$	复变函数 w 的实部		A.5
ΔS	化学过程的熵变	$\text{kJ}/\text{K}, \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	2.1.2
ΔS^\ominus	化学过程的标准熵变	$\text{kJ}/\text{K}, \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	2.1.2
ΔS^\ddagger	标准活化熵	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	3.1.2
$S_\tau(t)$	$t = \tau$ 时上升的单位阶跃函数	无	A.1.7
s	(a) 拉普拉斯平面变量, 通常对 t 互补		A.1
	(b) 多孔电极的比表面	cm^{-1}	11.6.2
T	绝对温度	K	
t	时间	s	
t_j	物质 j 的传递数	无	2.3.3, 4.2
t_k	模拟的已知特征时间	s	B.1.4
t_{\max}	滴汞电极的滴落时间	s	7.1.2
t_p	方波伏安法的脉冲宽度	s	7.3.5
u_j	离子 j (或电荷载体) 的淌度	$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	2.3.3, 4.2
V	体积	cm^3	
v	(a) 线性电势的扫描速度	V/s	6.1
	(b) 均相反应速率	$\text{mol} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$	1.3.2, 3.1

符号	意 义	常用单位	涉及章节
	(c) 异相反应速率	$\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	1. 3. 2, 3. 2
	(d) 溶液流动的线速度, 通常是位置的函数	cm/s	1. 4. 1, 9. 2
v_b	(a) “反向”均相反应速率	$\text{mol} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$	3. 1
	(b) 阳极异相反应速率	$\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	3. 2
v_j	j 方向的速度分量	cm/s	9. 2. 1
v_{mi}	向表面的物质传递速率	$\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	1. 4. 1
$W_j(\lambda, E)$	物质 j 的密度函数概率	eV^{-1}	3. 6. 3
w	带状电极的宽度	cm	5. 3
w_j	电子转移反应中物质 j 的功项	eV	3. 6. 2
X_C	容抗	Ω	10. 1. 2
X_j	物质 j 的摩尔分数	无	13. 1. 2
x	距离, 通常指距一个平板电极	cm	
x_1	内海姆荷茨平面距离电极表面的距离	cm	1. 2. 3, 13. 3. 3
x_2	外海姆荷茨平面距离电极表面的距离	cm	1. 2. 3, 13. 3. 3
Y	导纳	Ω^{-1}	10. 1. 2
Y	导纳向量	Ω^{-1}	10. 1. 2
y	旋转圆盘电极或旋转环盘电极下方的距离	cm	9. 3. 1
Z	(a) 阻抗	Ω	10. 1. 2
	(b) 模拟的无量纲电流参数	无	B. 1. 6
Z	阻抗矢量	Ω	10. 1. 2
Z_f	法拉第阻抗	Ω	10. 1. 3
Z_{im}	阻抗的虚部	Ω	10. 1. 2
Z_{Re}	阻抗的实部	Ω	10. 1. 2
Z_w	Warburg 阻抗	Ω	10. 1. 3
z	(a) 到圆盘电极或圆柱电极表面的垂直距离	cm	5. 3
	(b) z : z 电解液中每个离子的电荷	无	13. 3. 2
z_j	以电子电荷为量纲的物质 j 的电荷	无	2. 3

希腊符号

符号	意 义	常用单位	涉及章节
α	(a) 传递(转移)系数	无	3. 3
	(b) 吸收系数	cm^{-1}	17. 1. 2
β	(a) 扩展的电荷转移的距离因子	$(10^{-10} \text{m})^{-1}$	3. 6. 4
	(b) 旋转环盘电极的几何参数	无	9. 4. 1
	(c) $1 - \alpha$	无	10. 5. 2
β_j	(a) $\partial E / \partial C_j(0, t)$	$\text{V} \cdot \text{cm}^3 / \text{mol}$	10. 2. 2
	(b) 物质 j 吸附等温线的平衡参数	无	13. 5. 2
Γ_j	平衡时物质 j 的表面过剩	mol/cm^2	13. 1. 2
$\Gamma_{j(r)}$	物质 j 对于组分 r 的相对表面过剩	mol/cm^2	13. 1. 2

符号	意 义	常用单位	涉及章节
$\Gamma_{j,s}$	饱和时物质 j 的表面过剩	mol/cm ²	13. 5. 2
γ	(a) 表面张力 (b) 用于定义在球形电极上的阶跃实验的频率(时间)域的无量纲参数	dyn/cm 无	5. 4. 2, 5. 5. 2
γ_j	物质 j 的活度系数	无	2. 1. 5
Δ	椭圆参数	无	17. 1. 2
δ	$r_0(s/D_0)^{1/2}$, 用于定义球形电极表面扩散	无	5. 5. 2
δ_j	电极上由对流传递提供的“扩散层”厚度	cm	1. 4. 2, 9. 3. 2
ϵ	(a) 介电常数 (b) 光频率介电常数 (c) 孔率	无 无 无	13. 3. 1 17. 1. 2 11. 6. 2
ϵ	复光频率介电常数	无	17. 1. 2
ϵ_j	物质 j 的摩尔吸光率	L · mol ⁻¹ · cm ⁻¹	17. 1. 1
ϵ_0	真空的介电常数	C ² · N ⁻¹ · m ⁻²	13. 3. 1
ζ	Zeta 电势	mV	9. 8. 1
η	过电势, $E - E_{eq}$	V	1. 3. 2, 3. 4. 2
η_{ct}	电荷转移过电势	V	1. 3. 3, 3. 4. 6
η_j	流体 j 的黏度	g · cm ⁻¹ · s ⁻¹	9. 2. 2
η_{mt}	物质传递(转移)过电势	V	1. 3. 3, 3. 4. 6
θ	(a) $\exp\left[\left(\frac{nF}{RT}\right)(E - E^{\ominus'})\right]$ (b) $\tau^{1/2} + (t - \tau)^{1/2} - t^{1/2}$	无 s ^{1/2}	5. 4. 1 5. 8. 2
θ_j	物质 j 对界面的覆盖度分数	无	13. 5. 2
κ	(a) 溶液的电导率 (b) 反应的传递系数 (c) $r_0 k_f / D_0$, 用于定义球形电极的动力学区域 (d) 双层厚度参数 (e) 修饰电极体系主要反应物的分配系数	S/cm = $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 无 无 cm ⁻¹ 无	2. 3. 3, 4. 2 3. 1. 3 3. 5. 2 13. 3. 2 14. 4. 2
κ_{el}	电子转移系数	无	3. 6
Λ	溶液的当量电导	cm ² · Ω^{-1} · equiv ⁻¹	2. 3. 3
λ	(a) 电子转移的重组能 (b) $\frac{k_f \tau^{1/2} (1 + \xi \theta)}{D_0^{1/2}}$ (c) 无量纲均相动力学参数 (d) 循环伏安法的换向时间 (e) 真空中光的波长	eV 无 无 s nm	3. 6 5. 5. 1 12. 3 6. 5 17. 1. 2
λ_i	重组能的内组分	eV	3. 6. 2
λ_j	离子 j 的当量离子电导	cm ² · Ω^{-1} · equiv ⁻¹	2. 3. 3
λ_{0j}	外推到无限稀释时离子 j 的当量电导	cm ² · Ω^{-1} · equiv ⁻¹	2. 3. 3
λ_o	重组能的外组分	eV	3. 6. 2
μ	(a) 反应层厚度 (b) 磁导率	cm 无	1. 5. 2, 12. 4. 2 17. 1. 2
$\bar{\mu}_e^\alpha$	电子在 α 相的电化学势	kJ/mol	2. 2. 4, 2. 2. 5
$\bar{\mu}_j^\alpha$	物质 j 在 α 相的电化学势	kJ/mol	2. 2. 4
μ_j^α	物质 j 在 α 相的化学势	kJ/mol	2. 2. 4
$\mu_j^{\ominus\alpha}$	物质 j 在 α 相的标准化学势	kJ/mol	2. 2. 4

符号	意 义	常用单位	涉及章节
ν	(a) 动力黏度 (b) 光的频率	cm^2/s s^{-1}	9. 2. 2
ν_j	物质 j 在化学过程中的当量系数	无	2. 1. 5
ν_{ii}	核频率因子	s^{-1}	3. 6
ξ	$\left(\frac{D_0}{D_R}\right)^{1/2}$	无	5. 4. 1
ρ	(a) 电阻率 (b) 粗糙因子	$\Omega \cdot \text{m}$ 无	4. 2 5. 2. 3
$\rho(E)$	电子态密度	$\text{cm}^2 \cdot \text{eV}^{-1}$	3. 6. 3
σ	(a) $\frac{nFv}{RT}$ (b) $\left(\frac{1}{nFA\sqrt{2}}\right)\left[\frac{\beta_0}{D_0^{1/2}} - \frac{\beta_R}{D_R^{1/2}}\right]$	s^{-1} $\Omega \cdot \text{s}^{-1}$	6. 2. 1 10. 2. 3
σ_j	j 相的过剩电荷密度	C/cm^2	1. 2. 2. 2
σ_j	描述取决于吸附能的电势参数	无	13. 3. 4
τ	(a) 计时电势法的过渡时间 (b) 采样电流伏安法的采样时间 (c) 双阶跃实验的正向阶跃宽度 (d) 通常由实验性质定义的特征时间 (e) 在处理超微电极时, $4D_0t/r_0^2$	s s s s 无	8. 2. 2 5. 1, 7. 3 5. 7. 1 5. 3
τ'	常规和示差脉冲伏安法的电势脉冲的开始	s	7. 3
τ_1	溶剂的纵向弛豫时间	s	3. 6. 2
Φ	一个相的功函	eV	3. 6. 4
ϕ	(a) 静电势 (b) 两个正弦信号之间的相角 (c) I_{ac} 和 E_{ac} 之间的相角 (d) 修饰电极的修饰膜厚度	V 度数, 弧度 度数, 弧度 cm	2. 2. 1 10. 1. 2 10. 1. 2 14. 4. 2
$\Delta\phi$	(a) 两点或两相间的静电势差 (b) 半导体空间电荷区的电势降	V V	2. 2 18. 2. 2
ϕ_i	j 相的绝对静电势	V	2. 2. 1
$\Delta\phi_\beta^\alpha$	液/液界面的接界电势	V	6. 8
$\Delta\phi_\beta^\alpha \phi_j^\ominus$	物质 j 的离子从 α 相转移到 β 相的标准 Galvani 电势	V	6. 8
ϕ_0	双电层溶液一侧总的电势降	mV	13. 3. 2
ϕ_2	外海姆荷茨平面相对本体溶液的电势	V	1. 2. 3, 13. 3. 3
χ	$\left(\frac{12}{7}\right)^{1/2} \frac{k_f \tau^{1/2}}{D_0^{1/2}}$	无	7. 2. 2
$\chi(j)$	模拟中盒子 j 的无量纲距离	无	B. 1. 5
$\chi(bt)$	线性扫描伏安法和循环伏安法中完全不可逆体系的归一化电流	无	6. 3. 1
$\chi(\sigma t)$	可逆体系扫描实验的归一化电流	无	6. 2. 1
χ_t	修饰电极主要反应物渗透进入薄膜的速率常数	cm/s	14. 4. 2
Ψ	(a) 椭圆参数 (b) 循环伏安法的无量纲速率参数	无 无	17. 1. 2 6. 5. 2
ω	(a) 旋转的角频率, $2\pi \times$ 转速 (b) 正弦振荡的角频率; $2\pi f$	s^{-1} s^{-1}	9. 3 10. 1. 2