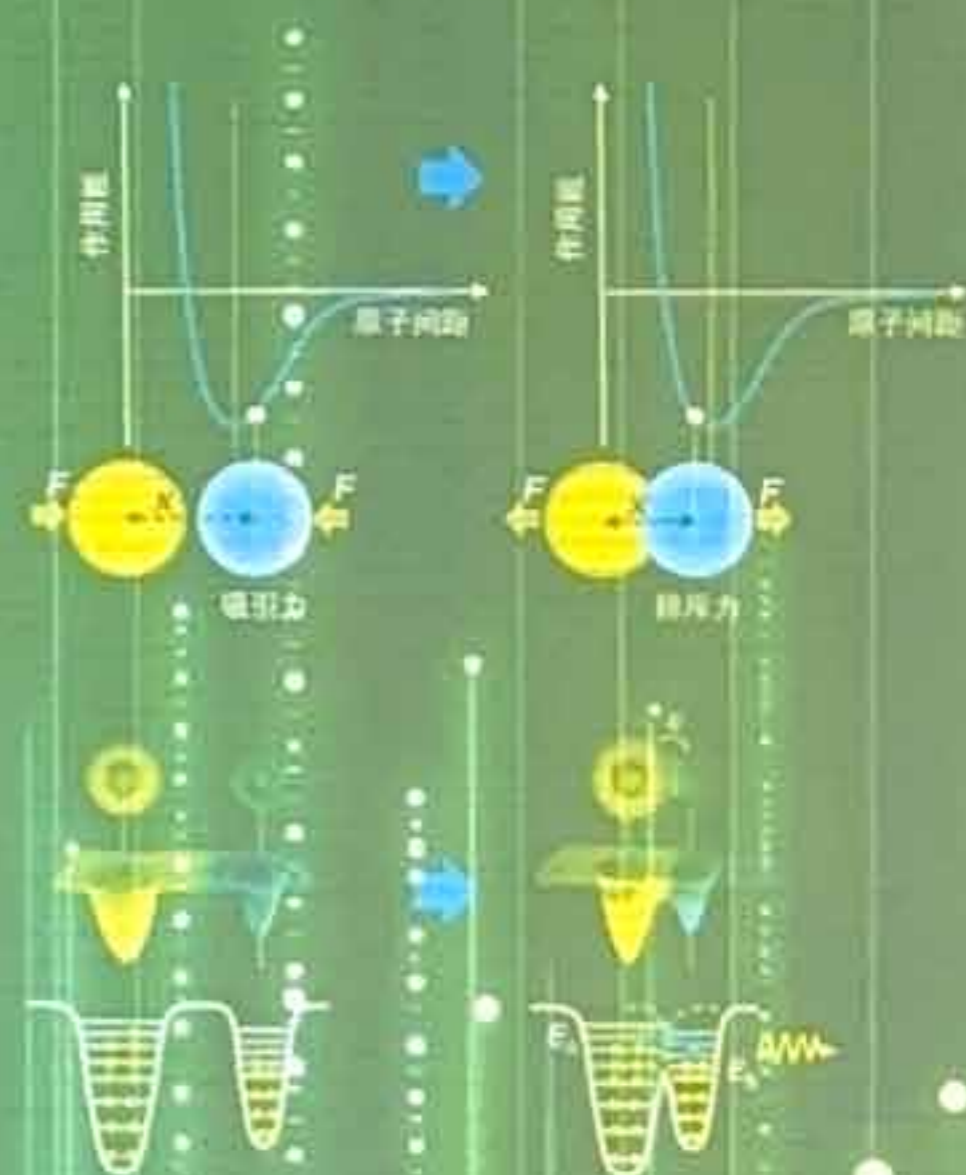
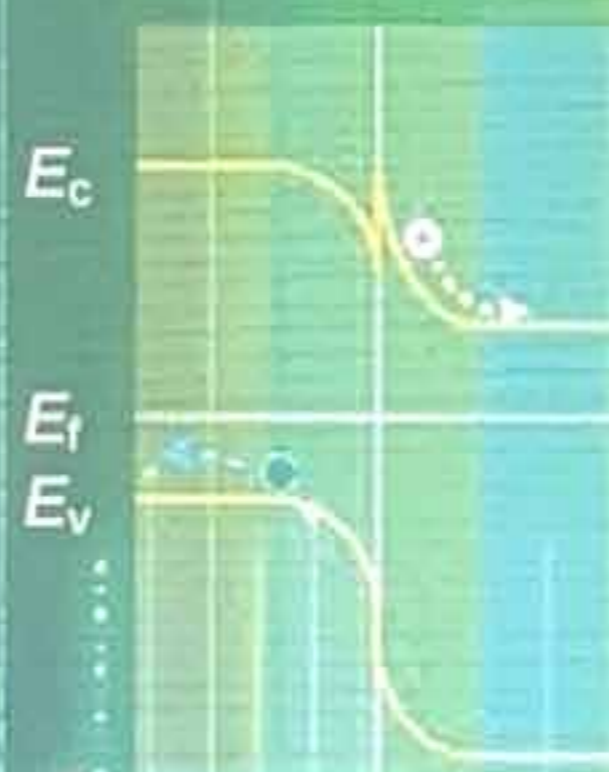
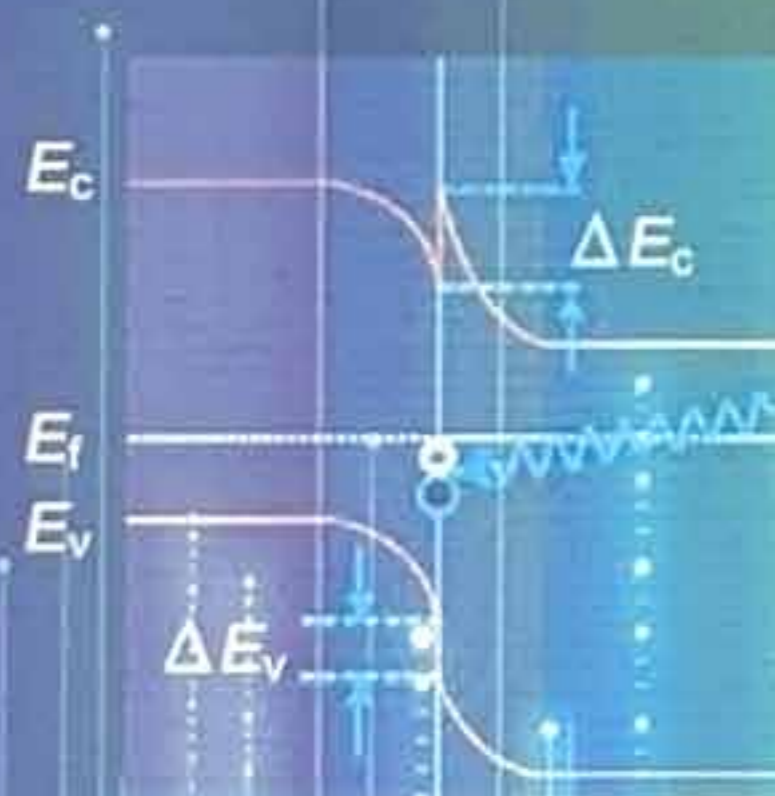


Contact-Electrification of Matter

# 物质的接触起电

王中林 等 © 著



科学出版社

Contact-Electrification of Matter

# 物质的接触起电

王中林 等 著

中国科学院物理研究所  
北京 100080  
中国科学院物理研究所  
北京 100080  
中国科学院物理研究所  
北京 100080

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

接触起电在日常生活中常被称为摩擦起电,是自然界中普遍存在的基本物理现象之一。尽管其历史可追溯超过 2600 年,但其微观机理的科学研究长期进展缓慢且复杂。近年来,摩擦纳米发电机(TENG)的发明从根本上改变了这一局面,它将接触起电从一种“负面效应”转化为一种可利用的高效能源技术。本书系统地总结了该领域的重大进展。其中第一部分深入阐述接触起电的基础科学,包括其研究历史与贡献、表面电荷的量化方法与标准、半经典与第一性原理量子理论探索,并分别详述了金属-绝缘体、绝缘体-绝缘体、半导体-半导体界面的电子转移机理与模型(如电子云模型、摩擦伏特效应),以及液-固界面电荷转移与双电层形成的王氏“两步法”模型,最后介绍了新发现的、能驱动氧化还原反应的接触电致催化(CEC)。第二部分则全面展示了基于这些基础原理的颠覆性应用,涵盖了摩擦纳米发电技术、基于摩擦伏特效应的新型直流纳米发电机 TVNG,以及利用 CEC 进行污染物降解、重要化学品合成、资源回收乃至癌症治疗等广阔前景。

本书能为物理学、化学、材料科学及电气工程等领域的研究生和科研人员提供重要的教学与研究参考,希望大家共同推动这个古老而崭新的领域迈向未来。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

物质的接触起电 / 王中林等著. -- 北京: 科学出版社, 2026. 3.

ISBN 978-7-03-084798-0

I. O441.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2026FE5809 号

---

责任编辑: 李明楠 李丽娇 / 责任校对: 杜子昂

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 润一文化

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2026 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2026 年 3 月第一次印刷 印张: 25 1/2

字数: 602 000

定价: 238.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 前言

接触起电 (contact-electrification, CE) 是指两种不同物质在直接接触并分离时产生电荷转移的过程。这种现象在日常生活中通常被称为摩擦起电 (triboelectrification, TE), 是产生静电的一个基本过程。摩擦起电的主要特征是两个物体接触时发生电荷转移, 导致一个物体带正电, 另一个物体带负电。实际上, CE 是液体、固体和气体之间任何两种物质表面之间普遍存在的现象。

尽管自古希腊以来记录和研究摩擦起电已有 2600 多年的历史, 但人类对其机理的研究一直进展缓慢且对其的研究十分复杂, 这可能是由于不同的科学家群体从不同角度看待这一现象, 同时缺乏合适的技术手段也限制了相关研究的开展。由于摩擦起电常被视为一种负面效应, 因此对其研究的动力也相对不足。然而, 近年来摩擦纳米发电机 (TENG) 的发明激发了人们对接触起电基础研究的浓厚兴趣。本书旨在总结该领域的研究进展, 系统地介绍液态、固态和/或气态系统中的接触起电。我们计划对接触起电效应及其各种应用进行最新的综述。

本书的前半部分 (第 1 章 ~ 第 8 章) 主要涉及与接触起电相关的基础科学, 具体内容概述如下。

第 1 章由王中林和王琦撰写, 旨在简要介绍摩擦起电效应研究的简史。本章还总结了摩擦起电效应对人类文明的重大贡献。通过介绍摩擦起电效应及相关应用的新进展, 以加快与摩擦起电效应相关的科学和技术的发展。本章为后续各章的内容奠定了基础。

第 2 章由邹海洋、林世权、丁相天和王中林撰写, 介绍了接触起电量化表征方法。描述了从纳米尺度到宏观尺度量化表面电荷密度的基本技术, 并介绍了为量化接触起电而制定的标准。这些技术的建立对于研究各种界面的电荷转移过程至关重要。

第 3 章由 Lok C. Lew Yan Voon 和 Morten Willatzen 共同撰写, 探讨了对接触起电的理论理解, 还介绍了半经典量子理论和第一性原理量子理论。与实验进展相比, 接触起电的理论研究仍处于初步阶段, 未来仍需开展更多的工作。

第 4 章由陈翔宇和王中林撰写, 主要介绍与肖特基势垒相关的电荷转移过程, 并研究绝缘体-金属界面的电子转移。该研究通过原子力显微镜相关的探针技术进行。通过改变样品温度或施加偏置电压, 实验结果表明, 主要的电荷是电子。

第 5 章由许程和王中林撰写, 主要讨论了绝缘体与绝缘体之间的接触起电。首先介绍了能带模型, 该模型有助于理解材料间的电子转移, 主要通过能带图并引入表面态来进行相关描述。然后详述了 2018 年王中林首次提出的电子云模型, 该模型为理解物质中的接触电荷提供了更普遍的视角。假设电子转移是接触起电的主导过程, 电荷转移仅可能发生

在原子间密切接触且电子波函数强重叠的区域。此外，还介绍了多种电荷释放机制。

第6章由林世权、丁相天和王中林撰写，介绍了半导体界面接触起电的基本原理，重点讨论了王中林于2019年首次提出的摩擦伏特效应这一新发现。以n型半导体在p型半导体表面滑动为例，界面上两个原子之间的结合会释放出一种结合能，称为键合子，这种能量可能以内部光子的形式存在，能够激发局部的电子-空穴对。在pn结的内建电场作用下，这些电子-空穴对被分离，从而产生直流电输出。目前，这一效应已成为研究动态半导体界面传输和能量收集的新兴领域。

第7章由魏迪撰写，系统地描述了液-固界面上的电荷转移，重点讨论了导体、电介质和半导体界面上的电荷转移过程。本章特别强调了双电层(electrical double layer, EDL)的形成和动力学，EDL是调节液-固界面电荷行为的基本结构。研究中介绍了王氏“两步法”模型，阐明了接触起电在电介质表面形成EDL中的作用。该模型描述了界面上电子转移的关键因素及其对EDL形成的初始贡献。

第8章由王子铭、何沐林、杨雪燕和王中林撰写，介绍了接触电致催化(CEC)。该现象是由王中林研究组于2022年首次提出的，指的是在液-固界面上通过接触起电驱动电子转移，从而促进局部的氧化还原反应。本章全面概述了CEC的基础理论、改进CEC的策略及其独特优势。此外，还提出了未来研究和开发CEC的路线图。

本书的后半部分(第9章~第12章)讲述了接触起电的各种应用，具体内容概述如下。

第9章由赖盈至和王杰撰写，系统介绍了TENG的基本理论和技术应用。本章首先介绍了交流(AC)型和直流(DC)型两种主要类型的TENG，并详细阐述了交流型TENG的五种工作模式及直流型TENG使用的两种类型。本章还讨论了固-固TENG的性能优化，包括材料选择、环境控制和电荷激励等方面。此外，还综述了TENG在作为微/纳米电源(如收集人体运动能量、体内机械能、振动能和风能)、作为自供电传感器(包括触觉、生物力学、声学、人体生理和化学传感)、蓝色能源和高压电源等领域的应用。

第10章由程纲、张金洋和秦怀方撰写，介绍了基于液-固接触起电的TENG应用，包括水能收集和传感系统。TENG已被证明是测量电荷转移和液-固界面的有效探针，这对基础化学研究具有重要意义。本章详细介绍了利用液-固接触起电的TENG应用的最新进展，主要包括能量收集、传感和TENG探针等方面。这些应用能够实现液体动能转化为电能、自供电的微流控或化学传感，以及液-固界面的相关研究。

第11章由张弛和张之撰写，介绍了利用摩擦伏特效应的创新能源转换装置——摩擦伏特纳米发电机(TVNG)。该装置在机械零部件、多源能量俘获、智能柔性器件和自供电传感等领域具有巨大的应用潜力。本章还展示了摩擦伏特效应在不同场景下的广泛适应性和高效性，同时为未来智能系统和新能源技术的发展提供了宝贵的指导。

第12章由唐伟和姜鹏撰写，介绍了CEC的应用，包括污染物降解、二氧化碳捕获、重要化学品的合成(如过氧化氢合成和氨合成)、资源回收(如锂离子和贵金属)、癌症治疗方面。CEC在温和的条件下具有很高的反应效率，这使其区别于需要更高条件的其他催化过程。CEC的一个显著优势是其催化剂的广泛选择范围，包括许多传统的有机和无机材料。此外，CEC的应用范围已经从固-液界面扩展到液-液界面，如油-水界面，在这些界面

上,液-液接触电致催化可诱导电子转移,推动氧化还原反应,类似于固-液系统,这为液体界面的催化过程开辟了新的可能性,而传统催化方法在这些界面可能不太有效。

我一直希望能够出版一部关于物质接触起电的书,使它可以帮助广大读者全面了解接触起电。接触起电是最为人知、随处可见的现象,它在自然界中无时无刻不在发生,但人们却缺乏对其深入的科学认识。我认为,在过去的几个世纪中,接触起电的研究一直是被科学界忽视的领域,这可能是因为在许多情况下会产生负面影响,如引发火灾和放电。然而,随着摩擦纳米发电机的出现,接触起电可能会成为第五大应用。因此,系统地了解接触起电变得尤为重要。

最后,我对所有为本书做出贡献的作者深表感谢。没有这些同事和合作者的支持,本书是不可能完成的。

由于时间仓促且作者水平有限,书中不足之处在所难免,请广大读者批评指正。

王中林

中国科学院北京纳米能源与系统研究所

2026年1月

# 作者名单

## 第 1 章 接触起电（摩擦起电）简介

王中林<sup>a</sup>, 王琦<sup>b</sup>

- a. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所（中国北京）
- b. 美国佐治亚理工学院材料科学与工程学院（美国亚特兰大）

## 第 2 章 接触起电量化表征方法

邹海洋<sup>a</sup>, 林世权<sup>b,c</sup>, 丁相天<sup>b,c</sup>, 王中林<sup>d</sup>

- a. 四川大学材料科学与工程学院（中国成都）
- b. 北京理工大学机械与车辆工程学院（中国北京）
- c. 北京理工大学唐山研究院 河北省智能装配与检测技术重点实验室（中国唐山）
- d. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所（中国北京）

## 第 3 章 摩擦起电及相关现象的量子理论

Lok C. Lew Yan Voon<sup>a</sup>, Morten Willatzen<sup>b</sup>

- a. 芬德雷大学科学学院（美国俄亥俄州芬德雷）
- b. 奥尔堡大学数学科学系（丹麦奥尔堡）

## 第 4 章 金属和绝缘体界面的接触起电

陈翔宇, 王中林

中国科学院北京纳米能源与系统研究所（中国北京）

## 第 5 章 绝缘体-绝缘体界面的接触起电

许程<sup>a</sup>, 王中林<sup>b</sup>

- a. 中国矿业大学材料与物理学院（中国徐州）
- b. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所（中国北京）

## 第 6 章 半导体界面的接触起电——摩擦伏特效应

林世权<sup>a,b</sup>, 丁相天<sup>a,b</sup>, 王中林<sup>c</sup>

- a. 北京理工大学机械与车辆工程学院（中国北京）
- b. 北京理工大学唐山研究院 河北省智能装配与检测技术重点实验室（中国唐山）
- c. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所（中国北京）

### 第 7 章 液-固界面接触起电

魏迪

中国科学院北京纳米能源与系统研究所 (中国北京)

### 第 8 章 接触电致催化

王子铭, 何沐林, 杨雪燕, 王中林

中国科学院北京纳米能源与系统研究所 (中国北京)

### 第 9 章 基于固-固接触起电的摩擦纳米发电机

赖盈至<sup>a,b,c</sup>, 王杰<sup>d</sup>

a. 中兴大学材料科学与工程系 (中国台湾)

b. 中兴大学永续农业创新发展中心, 永续能源与纳米科技研究中心 (中国台湾)

c. 中兴大学物理系 (中国台湾)

d. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所 (中国北京)

### 第 10 章 基于液-固接触起电的摩擦纳米发电机

程纲<sup>a</sup>, 张金洋<sup>b</sup>, 秦怀方<sup>a</sup>

a. 河南大学纳米科学与材料工程学院 (中国开封)

b. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所 (中国北京)

### 第 11 章 摩擦伏特纳米发电机

张弛, 张之

中国科学院北京纳米能源与系统研究所 (中国北京)

### 第 12 章 接触电致催化的应用

唐伟<sup>a</sup>, 姜鹏<sup>b</sup>

a. 中国科学院北京纳米能源与系统研究所 (中国北京)

b. 武汉大学药学院 (中国武汉)

# 目 录

## 前言

第 1 章 接触起电 (摩擦起电) 简介	1
1.1 摩擦起电效应和接触起电	1
1.2 摩擦起电效应的研究简史	2
1.3 摩擦起电效应对人类文明的重大贡献	4
1.4 固体材料的接触起电机理	6
1.4.1 在金属-介电材料界面	6
1.4.2 在介电-介电界面: 表面态模型	7
1.4.3 在介电-介电界面: 电子云重叠模型	7
1.4.4 在金属-半导体界面: 摩擦伏特效应	9
1.4.5 在半导体-半导体界面: 摩擦伏特效应	9
1.5 液-固界面接触起电	11
1.6 接触电致催化	12
1.7 总结	13
参考文献	14
第 2 章 接触起电量化表征方法	16
2.1 引言	16
2.2 宏观尺度开尔文探针力显微镜	17
2.3 电容器探针	21
2.4 法拉第杯	24
2.5 视觉辅助方法	26
2.6 原子力显微镜-开尔文探针力显微镜	29
2.6.1 开尔文探针力显微镜	29
2.6.2 静电力显微镜	32
2.6.3 扫描摩擦纳米发电机	33
2.6.4 静电力曲线	36
2.6.5 导电原子力显微镜	36
2.7 摩擦纳米发电机	37
2.7.1 通过摩擦纳米发电机对固体进行量化的机制	37
2.7.2 通过摩擦纳米发电机量化液体摩擦序列的原理	39

2.8	摩擦电序列的量化	44
2.8.1	聚合物的测量	44
2.8.2	无机非金属材料测量	46
2.8.3	液体材料的测量	47
2.8.4	二维层状材料的测量	49
2.9	总结	49
	参考文献	50
<b>第 3 章</b>	<b>摩擦起电及相关现象的量子理论</b>	<b>55</b>
3.1	引言	55
3.2	以往理论的综述	56
3.2.1	现象学模型	56
3.2.2	Alicki-Jenkins 理论	56
3.2.3	密度泛函计算	56
3.3	哈密顿模型	57
3.3.1	方案	57
3.3.2	紧束缚哈密顿模型	58
3.3.3	连续体模型	60
3.4	光耦合机制	62
3.4.1	二能级系统中的光子发射	63
3.4.2	摩擦电致发光	64
3.5	摩擦伏特效应	66
3.5.1	半导体 p-n 方程	67
3.5.2	摩擦伏特电流	68
3.5.3	示例结果	68
	参考文献	69
<b>第 4 章</b>	<b>金属和绝缘体界面的接触起电</b>	<b>73</b>
4.1	引言	73
4.2	肖特基接触	74
4.3	绝缘体-金属界面的电子转移	76
4.4	电气化工作函数模型	79
4.5	电荷泄漏及其相关现象	82
4.6	总结	84
	参考文献	85
<b>第 5 章</b>	<b>绝缘体-绝缘体界面的接触起电</b>	<b>87</b>
5.1	引言	87
5.2	能带模型	88
5.3	电子云模型	90
5.4	界面电子转移-跃迁诱导光子发射	96

5.5	自放电过程	102
5.5.1	热电子发射	102
5.5.2	光子激发	106
5.6	绝缘体-绝缘体界面的其他效应	110
5.6.1	曲率效应	110
5.6.2	原子电负性	114
5.6.3	材料转移和异裂键	117
5.6.4	偶极极化	122
5.6.5	深陷阱	125
5.7	总结	127
	参考文献	128
<b>第 6 章</b>	<b>半导体界面的接触起电——摩擦伏特效应</b>	<b>132</b>
6.1	引言	132
6.2	半导体-金属界面的接触起电	133
6.3	半导体-半导体界面的接触起电	134
6.4	摩擦伏特效应	136
6.4.1	摩擦伏特效应的机制	136
6.4.2	摩擦伏特效应的界面工程	139
6.4.3	材料工程在摩擦起电效应中的应用	144
6.5	接触起电对摩擦伏特效应的的影响	147
6.6	摩擦伏特效应的应用	150
6.7	总结	151
	参考文献	152
<b>第 7 章</b>	<b>液-固界面接触起电</b>	<b>158</b>
7.1	引言	158
7.2	双电层	159
7.3	液体-导体界面接触起电	162
7.3.1	超级电容器	162
7.3.2	电化学传感器	164
7.3.3	水-金属接触界面的摩擦伏特效应	168
7.4	液体-介电体界面接触起电	169
7.4.1	离子与电子转移的量化分析	169
7.4.2	液体-介电体界面处的王氏“两步法”双电层模型	172
7.4.3	液体-介电体界面双电层的动态调控	173
7.5	液体-半导体界面的接触起电	199
7.6	总结	201
	参考文献	202

第 8 章 接触电致催化	206
8.1 引言	206
8.1.1 催化简史	206
8.1.2 催化的基本过程	207
8.1.3 催化的重要应用	207
8.1.4 电催化	207
8.1.5 光催化	209
8.1.6 压电催化	210
8.1.7 接触电致催化的发现	211
8.2 接触电致催化的基础理论	212
8.2.1 接触电致催化的起源	212
8.2.2 接触电致催化的“两步走”机理	214
8.2.3 接触电致催化催化剂的广泛遴选范围	215
8.2.4 启动接触电致催化的策略	219
8.2.5 接触电致催化的影响因素	222
8.2.6 与摩擦催化的比较	224
8.3 总结	225
8.3.1 提高接触电致催化催化剂的催化性能	227
8.3.2 接触电致催化启动的有效策略	227
8.3.3 接触电致催化机理的基础研究	228
8.3.4 总结与展望	228
参考文献	229
第 9 章 基于固-固接触起电的摩擦纳米发电机	235
9.1 引言	235
9.2 固-固摩擦纳米发电机的工作模式	236
9.2.1 基于接触起电与静电感应的 AC-TENG	236
9.2.2 基于接触起电和静电击穿的 DC-TENG	237
9.3 固-固摩擦纳米发电机的性能优化	237
9.3.1 材料优化	238
9.3.2 环境控制	239
9.3.3 电荷激励	239
9.4 固-固摩擦纳米发电机的应用	241
9.4.1 作为微/纳米电源	241
9.4.2 作为自供电传感器	255
9.4.3 蓝色能源	273
9.4.4 高压电源	286
9.5 总结	290
参考文献	290

<b>第 10 章 基于液-固接触起电的摩擦纳米发电机</b> .....	300
10.1 引言 .....	300
10.2 用于能量收集的液-固摩擦纳米发电机 .....	301
10.2.1 液滴基摩擦纳米发电机 .....	301
10.2.2 液流基摩擦纳米发电机 .....	312
10.2.3 液波基摩擦纳米发电机 .....	315
10.3 用于传感的液-固摩擦纳米发电机 .....	317
10.3.1 自驱动微流体传感器 .....	317
10.3.2 自驱动化学传感器 .....	320
10.3.3 其他自驱动传感器 .....	323
10.4 液-固摩擦纳米发电机探针 .....	325
10.4.1 结构设计 .....	325
10.4.2 基本检测原理 .....	326
10.4.3 环境因素对摩擦纳米发电机探针的影响 .....	327
10.4.4 基于摩擦纳米发电机探针的液-固界面电荷转移机理研究 .....	328
10.4.5 基于摩擦纳米发电机探针的传感系统 .....	330
10.4.6 基于摩擦纳米发电机探针的化学分析 .....	331
10.5 总结 .....	332
参考文献 .....	333
<b>第 11 章 摩擦伏特纳米发电机</b> .....	339
11.1 引言 .....	339
11.2 在机械零部件中的应用 .....	340
11.2.1 用于旋转气缸的气动监测传感器 .....	340
11.2.2 用于传感的摩擦伏特轴承 .....	342
11.2.3 自驱动传感的推力轴承系统 .....	347
11.3 在多源能量俘获方面的应用 .....	349
11.3.1 摩擦能与光能耦合能量装置 .....	350
11.3.2 摩擦能与热能耦合能量装置 .....	352
11.3.3 摩擦能与水滴能耦合能量装置 .....	354
11.3.4 摩擦能与风能耦合能量装置 .....	356
11.4 在智能柔性器件方面的应用 .....	357
11.4.1 柔性摩擦伏特纳米发电机在传感中的应用 .....	358
11.4.2 柔性摩擦伏特纳米发电机为小型电子设备供电应用 .....	361
11.5 在自供电传感方面的应用 .....	363
11.5.1 摩擦伏特纳米发电机在运动传感中的应用 .....	363
11.5.2 摩擦伏特纳米发电机在润滑状态监测中的应用 .....	365
11.5.3 摩擦伏特纳米发电机用于自供电传感 .....	366
11.5.4 摩擦伏特纳米发电机用于环境监测 .....	368

11.6	总结	370
	参考文献	371
	参考文献	373
<b>第 12 章</b>	<b>接触电致催化的应用</b>	<b>373</b>
12.1	引言	373
12.2	低碳应用 (污染物降解、二氧化碳捕获)	374
12.3	重要化学品的合成 (过氧化氢、氨合成)	379
12.4	资源回收 (锂离子、贵金属)	383
12.5	生物医学应用 (癌症治疗)	386
12.6	总结与展望	389
	参考文献	390

## 第 7 章 液-固界面接触起电

**摘要:** 液-固界面作为一种普遍存在的相界面, 在自然界中广泛分布, 其界面行为与特性是众多基础科学领域研究的核心问题之一, 对理解界面现象的本质及其在工程技术中的应用具有重要的理论指导意义。其广泛的分布特性以及其复杂的动力学行为, 支撑着催化、能源、传感器以及环境科学等领域中重要的物理与化学现象, 为多个学科的研究开辟了广阔的探索空间。液-固界面的功能性源于由电位梯度或跨相材料性质差异驱动的电荷积累与释放过程。本章系统探讨了液-固界面的接触起电机理, 重点分析了液体与导体、介电体以及半导体材料等不同界面的电荷转移过程。详细讨论了液-固界面双电层的形成与动态特性, 强调了双电层作为调控界面电荷行为的基本结构。特别是, 引入了王氏“两步法”模型以阐明接触起电在液体-介电体界面双电层形成中的核心作用。文章重点讨论了离子与电子转移的定量分析、电子-离子耦合模型及双电层的杂化特性, 揭示了液-固接触起电的物理化学机理。此外, 探讨了通过电场或机械力动态调控双电层的技术手段, 以精确调控电荷载体的动力学行为。这些调控方法通过优化界面离子迁移和电荷浓度, 直接影响能量俘获和存储以及信息传输等过程。本章还展示了液-固接触起电在各种设备中的实际应用。在液体-导体界面, 双电层的调控促进了超级电容器等高效能量存储与电化学传感器的应用; 在液体-介电体界面, 双电层的动态调控推动了摩擦纳米发电机和摩擦离子电子学纳米发电机 (TING) 等高效能量俘获及信息传输技术的进展; 而在液体-半导体界面, 借助液-固接触起电引发的摩擦伏特效应, 有望实现高效的直流能量转换。这些研究进展展示了液-固界面双电层调控的巨大应用潜力, 为未来能源与信息技术的创新提供了坚实的基础。

### 7.1 引言

液-固界面接触起电 (CE) 是界面科学中的基础问题, 其物理本质通常通过双电层 (EDL) 理论加以刻画。自 19 世纪以来, 双电层理论不断演进。Helmholtz 首次将界面电荷分布类比为平行板电容器模型<sup>[1]</sup>, 奠定了双电层研究的初始框架。随后, Gouy 和 Chapman 引入扩散层概念<sup>[2,3]</sup>, 揭示了离子在静电作用与热运动共同影响下的空间分布特征。1924 年, Stern 提出的 Gouy-Chapman-Stern (Stern) 模型通过引入 Stern 层并考虑离子特异性吸附效应, 显著提升了双电层模型对真实液-固界面的描述能力<sup>[4]</sup>。该理论体系至今仍是理解液体-固体接触起电及界面电荷行为的核心基础。

传统双电层模型的研究主要聚焦于液体-导体界面, 而对于液体-介电体体系的复杂性研究则相对匮乏。王中林教授团队通过在不同液体-介电体界面开展热电子发射实验, 填补了这一研究空白<sup>[5]</sup>。该研究首次在纳米尺度上揭示了界面电荷转移的微观机制。研究表明, 液体-介电体接触界面的电荷交换不仅涉及电子转移, 还涵盖电离反应, 并且这两者

(SCPC-BZBFZC05-0044)



Contact-Electrification of Matter

# 物质的接触起电



科学出版社微信公众号

电话: 010-64030754

Email: limingnan@mail.sciencep.com

销售分类建议: 物理学/化学/材料科学/电气工程

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

ISBN 978-7-03-084798-0



9 787030 847980 >

定价: 238.00元