

电源系列

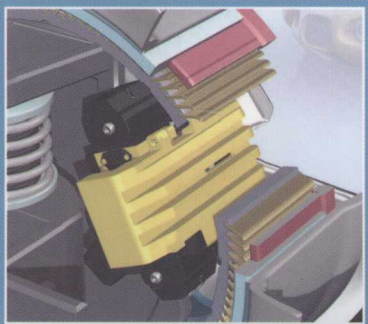
Mc
Graw
Hill

燃料电池 设计与制造

Designing & Building Fuel Cells

[美] Colleen S. Spiegel 著

马欣 王胜开 陈国顺 阎群 等译
余达太 校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

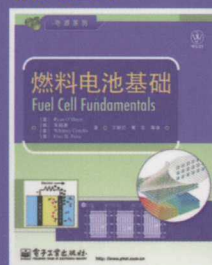
《燃料电池设计与制造》为你提供了一本便利的参考指南，用于设计、建模和构造性能卓越的燃料电池。全书提供了120多幅有关燃料电池及其组成部件的图表，涵盖了燃料电池建模的各个方面，涉及从燃料类型到燃料电池工作条件等众多内容。

本书具有以下主要特点：

- 提供了有关堆设计的全面信息
- 提供了有关燃料电池建模的最新技术
- 提供了有关新型材料与部件的便利指南
- 提供了有关燃料电池构造的详细例子

在这本完美的有关燃料电池的参考资料中，包含了以下主要内容：燃料电池应用，燃料电池与氢经济，燃料电池化学与热力学基础，燃料电池电化学，燃料电池电荷传输，燃料电池质量传输，燃料电池热传输，燃料电池建模，燃料电池材料，燃料电池堆组成部件与材料，燃料电池堆设计，燃料电池系统设计，燃料类型、传送与处理，燃料电池工作条件，燃料电池特性描述。

相关图书：



ISBN: 978-7-121-04762-6
定价：38.00 元



责任编辑：段丹辉

封面设计：孙焱津

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 978-7-121-06897-3



9 787121 068973 >

定价：45.00 元

电源系列

燃料电池设计与制造

Designing & Building Fuel Cells

[美] Colleen S. Spiegel 著

马欣 王胜开 陈国顺 阎群 等译

余达太 校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

氢能源是一种重要的清洁、绿色能源,必将在 21 世纪得到广泛应用。燃料电池的设计与制造是利用氢能源、发展氢经济的技术基础与保证。本书结合实际案例,从系统工程、系统设计角度而非深奥的电化学、热力学理论角度,介绍了燃料电池的基本概念、基本理论、关键技术、系统组成、系统分类,从工程应用角度说明了燃料电池的工作条件、堆结构与设计、流道设计与材料要求,提出了用于表征燃料电池关键性能的主要指标,论述了如何对燃料电池系统进行建模、设计与制造。

全书内容深入浅出,分析透彻,论述清楚,图文并茂,公式适度,适宜作为新能源、电化学、热力学等专业高年级本科生、研究生的教材与教学参考用书,也适合燃料电池与氢能源、新能源领域工程技术人员、系统管理人员阅读参考。

Colleen S. Spiegel: Designing & Building Fuel Cells, First Edition

ISBN: 0-07-148977-0

Copyright © 2007 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2008

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2008-1960

图书在版编目(CIP)数据

燃料电池设计与制造/(美)施皮格尔(Spiegel, C. S.)著;马欣等译.

北京:电子工业出版社,2008.7

(电源系列)

书名原文: Designing & Building Fuel Cells

ISBN 978-7-121-06897-3

I. 燃… II. ①施…②马… III. 燃料电池 IV. TM911.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 087261 号

责任编辑:段丹辉

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:23.25 字数:510 千字

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

氢能源是一种重要的清洁、绿色能源,是解决当前全球面临的能源危机的一条重要途径,被称为“21 世纪的新能源”,必将在未来得到广泛应用,因而氢经济的曙光正逐步显现。燃料电池的设计与制造是利用氢能源、发展氢经济的技术基础与保证。世界各发达国家都在积极开展燃料电池的设计与研究工作,理论与技术不断得到突破,应用前景一片光明。2008 年的北京奥运会和 2010 年的上海世博会,也为氢能源和燃料电池在我国的应用提供了良好契机。在国家相关政策支持与鼓励下,我国的工程技术人员正在加紧开展燃料电池的研究与开发工作,不断扩大其应用领域。

在我们开展有关燃料电池设计与开发的项目研究和教学实践过程中,见到了美国清洁能源燃料电池能源公司创始人 Colleen S. Spiegel 撰写的《燃料电池设计与制造》一书。在认真通读全书后,我们认为这确是一本好书,因此决定组织力量将之翻译出来,以供广大从事燃料电池设计与制造、氢能源开发与应用、电化学研究与教学等工作的技术人员、工程管理人员、教学辅导人员以及新能源、电化学、热力学等专业的大学生、研究生参考,以期推动我国燃料电池与氢能源技术以及氢经济产业的发展。

Colleen S. Spiegel 是美国燃料电池领域的著名专家,是美国化学工程师协会(AICHE)会员和美国电气与电子工程师协会(IEEE)会员,长期以来从事燃料电池的设计、建模与制造工作。在书中,Colleen S. Spiegel 结合实际案例及其实践经验,从系统工程、系统设计角度而非深奥的电化学、热力学理论角度,介绍了燃料电池的基本概念、基本理论、关键技术、系统组成、系统分类,从工程应用角度说明了燃料电池的工作条件、堆结构与设计、流道设计与材料要求,提出了用于表征燃料电池关键性能的主要指标,论述了如何对燃料电池系统进行建模、设计与制造等。全书结构清晰,内容详实,深入浅出,分析透彻,图文并茂,公式适度,理论、技术与工程相结合,并在每章末尾提出了若干可引导读者做进一步思考与讨论的问题,实用性强,参考价值高。

全书由马欣、王胜开、陈国顺、阎群等翻译,马欣、王胜开统稿。

余达太教授在百忙中对全书进行了仔细审校,在此表示衷心的感谢!

在本书的翻译与出版过程中,马景然少将、刘增良教授、汪忠民所长、全寿文研究员、张卫冬博士、高远老师、张培昌博士等领导和专家给予了大力指导与热情鼓励,在此表示衷心的感谢!

因译者水平有限,书中涉及的新概念和新名词较多,翻译不妥之处在所难免,敬请读者批评指正!

有 香 新

马欣

2008年3月

第一章 绪论 1.1 绪论 1.2 绪论 1.3 绪论 1.4 绪论 1.5 绪论 1.6 绪论 1.7 绪论 1.8 绪论 1.9 绪论 1.10 绪论 1.11 绪论 1.12 绪论 1.13 绪论 1.14 绪论 1.15 绪论 1.16 绪论 1.17 绪论 1.18 绪论 1.19 绪论 1.20 绪论 1.21 绪论 1.22 绪论 1.23 绪论 1.24 绪论 1.25 绪论 1.26 绪论 1.27 绪论 1.28 绪论 1.29 绪论 1.30 绪论 1.31 绪论 1.32 绪论 1.33 绪论 1.34 绪论 1.35 绪论 1.36 绪论 1.37 绪论 1.38 绪论 1.39 绪论 1.40 绪论 1.41 绪论 1.42 绪论 1.43 绪论 1.44 绪论 1.45 绪论 1.46 绪论 1.47 绪论 1.48 绪论 1.49 绪论 1.50 绪论 1.51 绪论 1.52 绪论 1.53 绪论 1.54 绪论 1.55 绪论 1.56 绪论 1.57 绪论 1.58 绪论 1.59 绪论 1.60 绪论 1.61 绪论 1.62 绪论 1.63 绪论 1.64 绪论 1.65 绪论 1.66 绪论 1.67 绪论 1.68 绪论 1.69 绪论 1.70 绪论 1.71 绪论 1.72 绪论 1.73 绪论 1.74 绪论 1.75 绪论 1.76 绪论 1.77 绪论 1.78 绪论 1.79 绪论 1.80 绪论 1.81 绪论 1.82 绪论 1.83 绪论 1.84 绪论 1.85 绪论 1.86 绪论 1.87 绪论 1.88 绪论 1.89 绪论 1.90 绪论 1.91 绪论 1.92 绪论 1.93 绪论 1.94 绪论 1.95 绪论 1.96 绪论 1.97 绪论 1.98 绪论 1.99 绪论 2.00 绪论

第二章 绪论 2.1 绪论 2.2 绪论 2.3 绪论 2.4 绪论 2.5 绪论 2.6 绪论 2.7 绪论 2.8 绪论 2.9 绪论 2.10 绪论 2.11 绪论 2.12 绪论 2.13 绪论 2.14 绪论 2.15 绪论 2.16 绪论 2.17 绪论 2.18 绪论 2.19 绪论 2.20 绪论 2.21 绪论 2.22 绪论 2.23 绪论 2.24 绪论 2.25 绪论 2.26 绪论 2.27 绪论 2.28 绪论 2.29 绪论 2.30 绪论 2.31 绪论 2.32 绪论 2.33 绪论 2.34 绪论 2.35 绪论 2.36 绪论 2.37 绪论 2.38 绪论 2.39 绪论 2.40 绪论 2.41 绪论 2.42 绪论 2.43 绪论 2.44 绪论 2.45 绪论 2.46 绪论 2.47 绪论 2.48 绪论 2.49 绪论 2.50 绪论 2.51 绪论 2.52 绪论 2.53 绪论 2.54 绪论 2.55 绪论 2.56 绪论 2.57 绪论 2.58 绪论 2.59 绪论 2.60 绪论 2.61 绪论 2.62 绪论 2.63 绪论 2.64 绪论 2.65 绪论 2.66 绪论 2.67 绪论 2.68 绪论 2.69 绪论 2.70 绪论 2.71 绪论 2.72 绪论 2.73 绪论 2.74 绪论 2.75 绪论 2.76 绪论 2.77 绪论 2.78 绪论 2.79 绪论 2.80 绪论 2.81 绪论 2.82 绪论 2.83 绪论 2.84 绪论 2.85 绪论 2.86 绪论 2.87 绪论 2.88 绪论 2.89 绪论 2.90 绪论 2.91 绪论 2.92 绪论 2.93 绪论 2.94 绪论 2.95 绪论 2.96 绪论 2.97 绪论 2.98 绪论 2.99 绪论 3.00 绪论

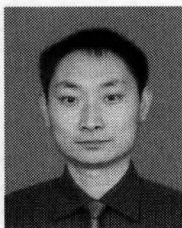
第三章 绪论 3.1 绪论 3.2 绪论 3.3 绪论 3.4 绪论 3.5 绪论 3.6 绪论 3.7 绪论 3.8 绪论 3.9 绪论 3.10 绪论 3.11 绪论 3.12 绪论 3.13 绪论 3.14 绪论 3.15 绪论 3.16 绪论 3.17 绪论 3.18 绪论 3.19 绪论 3.20 绪论 3.21 绪论 3.22 绪论 3.23 绪论 3.24 绪论 3.25 绪论 3.26 绪论 3.27 绪论 3.28 绪论 3.29 绪论 3.30 绪论 3.31 绪论 3.32 绪论 3.33 绪论 3.34 绪论 3.35 绪论 3.36 绪论 3.37 绪论 3.38 绪论 3.39 绪论 3.40 绪论 3.41 绪论 3.42 绪论 3.43 绪论 3.44 绪论 3.45 绪论 3.46 绪论 3.47 绪论 3.48 绪论 3.49 绪论 3.50 绪论 3.51 绪论 3.52 绪论 3.53 绪论 3.54 绪论 3.55 绪论 3.56 绪论 3.57 绪论 3.58 绪论 3.59 绪论 3.60 绪论 3.61 绪论 3.62 绪论 3.63 绪论 3.64 绪论 3.65 绪论 3.66 绪论 3.67 绪论 3.68 绪论 3.69 绪论 3.70 绪论 3.71 绪论 3.72 绪论 3.73 绪论 3.74 绪论 3.75 绪论 3.76 绪论 3.77 绪论 3.78 绪论 3.79 绪论 3.80 绪论 3.81 绪论 3.82 绪论 3.83 绪论 3.84 绪论 3.85 绪论 3.86 绪论 3.87 绪论 3.88 绪论 3.89 绪论 3.90 绪论 3.91 绪论 3.92 绪论 3.93 绪论 3.94 绪论 3.95 绪论 3.96 绪论 3.97 绪论 3.98 绪论 3.99 绪论 4.00 绪论

第四章 绪论 4.1 绪论 4.2 绪论 4.3 绪论 4.4 绪论 4.5 绪论 4.6 绪论 4.7 绪论 4.8 绪论 4.9 绪论 4.10 绪论 4.11 绪论 4.12 绪论 4.13 绪论 4.14 绪论 4.15 绪论 4.16 绪论 4.17 绪论 4.18 绪论 4.19 绪论 4.20 绪论 4.21 绪论 4.22 绪论 4.23 绪论 4.24 绪论 4.25 绪论 4.26 绪论 4.27 绪论 4.28 绪论 4.29 绪论 4.30 绪论 4.31 绪论 4.32 绪论 4.33 绪论 4.34 绪论 4.35 绪论 4.36 绪论 4.37 绪论 4.38 绪论 4.39 绪论 4.40 绪论 4.41 绪论 4.42 绪论 4.43 绪论 4.44 绪论 4.45 绪论 4.46 绪论 4.47 绪论 4.48 绪论 4.49 绪论 4.50 绪论 4.51 绪论 4.52 绪论 4.53 绪论 4.54 绪论 4.55 绪论 4.56 绪论 4.57 绪论 4.58 绪论 4.59 绪论 4.60 绪论 4.61 绪论 4.62 绪论 4.63 绪论 4.64 绪论 4.65 绪论 4.66 绪论 4.67 绪论 4.68 绪论 4.69 绪论 4.70 绪论 4.71 绪论 4.72 绪论 4.73 绪论 4.74 绪论 4.75 绪论 4.76 绪论 4.77 绪论 4.78 绪论 4.79 绪论 4.80 绪论 4.81 绪论 4.82 绪论 4.83 绪论 4.84 绪论 4.85 绪论 4.86 绪论 4.87 绪论 4.88 绪论 4.89 绪论 4.90 绪论 4.91 绪论 4.92 绪论 4.93 绪论 4.94 绪论 4.95 绪论 4.96 绪论 4.97 绪论 4.98 绪论 4.99 绪论 5.00 绪论

作者简介

Colleen S. Spiegel 是美国清洁燃料电池能源公司的创始人,作为一名研发管理员与化学工程师,多年以来一直从事燃料电池的设计与建模工作,是美国燃料电池领域的著名专家。Colleen S. Spiegel 是美国化学工程师协会(AICHE)会员和美国电气与电子工程师协会(IEEE)会员。

译者简介



马欣 博士(在读)

主要研究方向为电子工程、信息系统、新能源技术等,发表论文近 10 篇,出版专业技术书籍 2 本。



王胜开 博士

主要研究方向为软件工程、信息系统、系统仿真、新能源技术,发表论文 30 余篇,出版专业技术书籍 6 本。



陈国顺 博士

主要研究方向为测试工程、电子装备、新能源技术等,发表论文 30 余篇,出版专业技术书籍 4 本。



阎群 博士(在读)

主要研究方向为控制工程、信息系统、新能源技术等,发表论文近 10 篇,出版专业技术书籍 1 本。

前 言

能源的创造与消费已成为当今世界一件不可或缺的事情。它极大地提高了现代社会的生活质量,推动了现代技术的快速发展。我们的居家、办公室和汽车所需的大部分能源来自化石燃料,虽然它们是我们社会生活的必需品,但化石燃料的使用也给人们的健康带来了越来越大的不良影响,并使全球变暖。减少化石燃料的供应将引起国际形势的紧张,并导致高通货膨胀。幸运的是,燃料电池技术为解决日益增长的人口对能源的巨大需求提供了可能,为解决因化石燃料而引起的诸多矛盾提供了可能,并且它将以一种环境友好的方式来达成这些目标。

近十年来,燃料电池的研究和发展速度超过了自 1839 年其发现以来的任何时候。随着国际形势因化石燃料价格的增长、化石燃料的减少、拥有化石燃料资源之国家的实力、全球变暖的威胁而变得越来越紧张,人们对燃料电池的兴趣日益增大。燃料电池的研究涉及众多学科,如机械、化学、环境和电子工程,以及化学和材料科学。撰写本书的目的是想提供一本实用的、内容丰富的燃料电池参考书,以便为之前从未制作过燃料电池的人员提供帮助,并为准确设计性能卓越的燃料电池提供足够的理论知识。

本书的主要读者是需要一本内容全面之燃料电池参考指南的技术工程师和科学家们,它也可以供想设计与制造商业级燃料电池的技术人员或学生们使用,因此它在理论、实践知识和设计等方面做了很好的权衡。本书也可以认为是一本工程或科学读物,它包括了诸多例子和问题,以期帮助学生消除在准确设计与制造燃料电池时所需的各不同学科之间的鸿沟。

全书分为 17 章。前 4 章介绍了燃料电池技术、类型、应用等,并展望了即将到来的氢经济。第 1 章描述燃料电池基本知识,并将之与电池和热机进行了比较,阐述了燃料电池市场、历史以及燃料电池如何工作的基本知识。第 2 章描述燃料电池和氢经济,对氢与其他燃料类型进行了比较,并阐述了如何发展氢经济,讨论了氢的制造、储存和分发,提到了正在建设和发展氢经济的国家。第 3 章描述不同类型的燃料电池,介绍了一些有时不被认为是燃料电池的燃料电池类型,以及一些尚主要处于研发阶段的燃料电池类型。第 4 章讨论商业燃料电池和正在研发的燃料电池的主要应用,如在便携式电源、备用电源、移动电源和固定电源等方面的应用。

第 5~9 章介绍了预估燃料电池性能所需的科学知识。第 5 章包括燃料电池热力学基础知识,叙述了如何计算燃料电池的理论电压、理论效率、温度和压强。第 6 章描述燃料电

池电化学基础知识,介绍了电极动力学、电压损失、内部和交叉电流等内容,阐述了如何改善燃料电池的动力学性能。第7章阐述燃料电池电荷传输,重点在燃料电池电解质中的电荷传输。第8章描述燃料电池质量传输,重点讨论了在燃料电池电极中的扩散传输、在流道中的对流传输、浓度极化等内容。第9章阐述热传输,包括能量平衡、热传导、主动热消除、堆的热消散和堆的冷却方案等内容。第10章描述燃料电池建模,使用了在第5~9章中所述的概念,用于构建燃料电池各层模型。

第11~14章讨论制造燃料电池系统的基本材料和设备分系统。第11章详细阐述有关燃料电池电解质、催化剂和电极层的先进材料,说明了用于燃料电池制造的处理技术。第12章描述燃料电池堆组成部件与材料,重点讨论了双极板材料、流场设计、流道形状与尺寸,并深入分析了双极板制造技术、垫片和端板等内容。第13章描述燃料电池设计,并探讨了堆大小、单片数量、堆配置、单片互连、堆紧固以及如何组装燃料电池堆等内容。第14章描述燃料电池系统设计,介绍了燃料电池设备组成部件以及系统的电部分。

第15~17章阐述燃料类型、燃料电池工作条件和试验。第15章对燃料类型、储存和处理进行了比较,重点阐述了氢、甲醇、乙醇、金属氢化物、化学氢化物、氨、丙烷以及基于石油的燃料等内容。第16章描述如何基于工作温度、压强、流速、湿度和质量平衡来计算燃料电池工作条件。第17章介绍了常用的燃料电池特性描述方法,描述了通用的燃料电池测试方法。

最后,感谢所有在我开展燃料电池项目研究和本书撰写过程中提供了指导与帮助的老师、工程师、科学家和家人们!感谢他们长期以来给予的耐心、理解和鼓励!

Colleen Spiegel

2007年8月

于美国佛罗里达州清水市

目 录

第 1 章 燃料电池基础	1
1.0 引言	1
1.1 什么是燃料电池	2
1.1.1 与普通电池的对比	3
1.1.2 与热机的对比	4
1.2 为什么需要燃料电池	4
1.2.1 便携式设备	5
1.2.2 移动式设备	5
1.2.3 固定式设备	6
1.3 燃料电池的历史	6
1.3.1 质子交换膜燃料电池	8
1.3.2 固体氧化物燃料电池	8
1.3.3 熔融碳酸盐燃料电池	8
1.3.4 磷酸燃料电池	9
1.3.5 碱性燃料电池	9
1.4 燃料电池如何工作	10
1.5 本章小结	11
1.6 思考题	11
1.7 参考文献	11
第 2 章 燃料电池与氢经济	12
2.0 引言	12
2.1 氢的特性	12
2.1.1 概述	12
2.1.2 氢作为燃料的安全性问题	13
2.2 世界能源需求	15
2.3 氢经济的发展	16
2.4 氢的制造、运送和储存	17
2.4.1 氢制造技术	17
2.4.2 氢储存技术	18

2.4.3	全球氢加注站	19
2.5	氢基础设施方面的投资	20
2.5.1	政府支持	21
2.5.2	氢应用的长期计划	22
2.5.3	氢研发方面的主要参与者	22
2.6	本章小结	26
2.7	思考题	26
2.8	参考文献	26
第3章	燃料电池类型	28
3.0	引言	28
3.1	聚合物电解质膜燃料电池(PEMFC)	30
3.2	碱性燃料电池(AFC)	31
3.3	磷酸燃料电池(PAFC)	32
3.4	固体氧化物燃料电池(SOFC)	32
3.5	熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)	34
3.6	直接甲醇燃料电池(DMFC)	35
3.7	锌空气燃料电池(ZAFC)	36
3.8	质子陶瓷燃料电池(PCFC)	38
3.9	生物燃料电池(BFC)	38
3.10	本章小结	40
3.11	思考题	40
3.12	参考文献	41
第4章	燃料电池应用	42
4.0	引言	42
4.1	便携式电源	42
4.2	备用式电源	43
4.2.1	概述	43
4.2.2	基本的电解槽计算公式	44
4.3	移动式电源	45
4.3.1	汽车	46
4.3.2	大巴	51
4.3.3	实用运载工具	53
4.3.4	踏板车与自行车	55

4.4	固定式电源	56
4.5	本章小结	62
4.6	思考题	62
4.7	参考文献	63
第 5 章	燃料电池热力学基础	64
5.0	引言	64
5.1	热力学基本概念	64
5.2	燃料电池可逆和净输出电压	68
5.3	燃料电池理论效率	73
5.3.1	概述	73
5.3.2	能量效率	74
5.4	燃料电池温度	75
5.5	燃料电池压强	76
5.6	本章小结	78
5.7	思考题	78
5.8	参考文献	78
第 6 章	燃料电池电化学基础	80
6.0	引言	80
6.1	电极动力学	82
6.2	电压损失	84
6.3	内部电流和交叉电流	88
6.4	提高动力性能	88
6.5	本章小结	89
6.6	思考题	89
6.7	参考文献	90
第 7 章	燃料电池电荷传输	91
7.0	引言	91
7.1	因电荷传输而引起的电压损失	91
7.2	金属的微传导性	95
7.3	水性电解质的离子传导性	95
7.4	聚合物电解质的离子传导性	96
7.5	陶瓷电解质的离子传导性	98

7.6	本章小结	99
7.7	思考题	99
7.8	参考文献	100
第 8 章	燃料电池质量传输	101
8.0	引言	101
8.1	从流道到电极的对流性质量传输	101
8.2	燃料电池电极中的扩散性质量传输	102
8.3	流结构中的对流性质量传输	105
8.3.1	流道中的质量传输	106
8.3.2	流道中的压降	109
8.4	本章小结	114
8.5	思考题	114
8.6	参考文献	114
第 9 章	燃料电池热传输	116
9.0	引言	116
9.1	燃料电池能量平衡	117
9.1.1	总的能量平衡过程	117
9.1.2	燃料电池堆的能量平衡	118
9.1.3	燃料电池总的能量平衡	118
9.1.4	燃料电池组成部件和气体的能量平衡	119
9.2	燃料电池各层中产生的热和流量	121
9.3	热传导	122
9.4	通过自然对流和辐射散热	123
9.5	燃料电池热管理	123
9.5.1	热交换器模型	125
9.5.2	空气冷却	126
9.5.3	边缘冷却	129
9.6	本章小结	129
9.7	思考题	130
9.8	参考文献	130
第 10 章	燃料电池建模	132
10.0	引言	132

10.1	质量守恒	134
10.2	动量守恒	134
10.3	能量守恒	135
10.4	物质守恒	136
10.5	电荷守恒	137
10.6	电极	137
10.6.1	质量传输	138
10.6.2	电化学行为	139
10.6.3	离子/电子传输	141
10.6.4	电极中的热传输	142
10.7	电解质	142
10.8	本章小结	143
10.9	思考题	144
10.10	参考文献	144
第 11 章	燃料电池材料	146
11.0	引言	146
11.1	电解质层	147
11.1.1	PEMFC 和 DMFC	148
11.1.2	PAFC	150
11.1.3	AFC	151
11.1.4	MCFC	151
11.1.5	SOFC	152
11.2	燃料电池电极层	153
11.2.1	PEMFC, DMFC 和 PAFC 催化剂	154
11.2.2	PEMFC, DMFC 和 PAFC 气体扩散层	157
11.2.3	AFC 电极	158
11.2.4	MCFC 电极	159
11.2.5	SOFC 电极	160
11.3	低温燃料电池处理技术	160
11.4	SOFC 制造方法	162
11.5	燃料电池制造方法	163
11.5.1	制备聚合物电解质膜	164
11.5.2	催化剂/电极层材料	164

11.5.3	热压 MEA	165
11.6	本章小结	166
11.7	思考题	166
11.8	参考文献	166
第 12 章	燃料电池堆组成部件与材料	170
12.0	引言	170
12.1	双极板	171
12.1.1	中低温燃料电池的双极板材料	171
12.1.2	涂层金属板	172
12.1.3	复合板	174
12.2	流场设计	174
12.3	SOFC 材料	178
12.4	MCFC 材料	179
12.5	PAFC 材料与设计	180
12.6	流道形状、尺寸和间隔	180
12.7	双极板制造	180
12.7.1	无孔石墨板制作	181
12.7.2	涂层金属板制作	181
12.7.3	复合板制作	181
12.8	垫片和隔板	182
12.8.1	PEMFC/DMFC/AFC	182
12.8.2	SOFC 封装	183
12.9	端板	184
12.10	构建燃料电池双极板、垫片、端板和集流器	185
12.10.1	双极板设计	186
12.10.2	垫片选择	186
12.10.3	端板	186
12.10.4	集流器	188
12.11	本章小结	188
12.12	思考题	188
12.13	参考文献	189
第 13 章	燃料电池堆设计	191
13.0	引言	191

13.1	燃料电池堆大小	191
13.2	电池数	197
13.3	堆配置	198
13.4	向电池分配燃料和氧化剂	202
13.5	电池互连	203
13.5.1	SOFC	204
13.5.2	AFC	204
13.6	堆夹具	205
13.7	PEMFC 的水管理	205
13.7.1	概述	205
13.7.2	水管理方法	206
13.8	燃料电池堆装配	207
13.9	本章小结	207
13.10	思考题	208
13.11	参考文献	209
第 14 章	燃料电池系统设计	213
14.0	引言	213
14.1	燃料子系统	215
14.1.1	加湿系统	215
14.1.2	鼓风机和风机	219
14.1.3	压缩机	222
14.1.4	涡轮机	226
14.1.5	燃料电池泵	227
14.2	电子系统	231
14.2.1	功率二极管	233
14.2.2	开关器件	233
14.2.3	开关调节器	234
14.2.4	逆变器	237
14.2.5	超级电容器	238
14.2.6	手机电源电子装置	239
14.2.7	汽车用 DC-DC 转换器	240
14.2.8	大型应用中的多电平转换器	240
14.3	燃料电池混合电源系统	241