

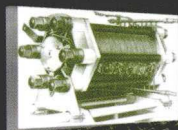


燃料电池 —— 问题与对策

Fuel Cells Problems and Solutions

【俄罗斯】Vladimir S. Bagotsky 著
孙公权 王素力 姜鲁华 译

Vladimir S. Bagotsky
Fuel Cells
Problems and Solutions



WILEY ECS



国际先进工业技术译丛

燃料电池 —— 问题与对策

Fuel Cells Problems and Solutions

【俄罗斯】Vladimir S. Bagotsky 著
孙公权 王素力 姜鲁华 译

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书概述了燃料电池的发展历史，阐述了燃料电池的工作原理，介绍了主要类型燃料电池的特性，探讨了燃料电池科学与工程方面的内在问题，分析了燃料电池领域目前面临的机遇与挑战，同时从商业化的角度介绍了国际上燃料电池在相关领域的最新应用。

本书的主要读者对象是从事燃料电池研究与开发的科研人员、工程技术人员、大专院校相关专业（主要是新能源、电化学、热力学等专业）的教师和学生，也可供燃料电池具体应用和能源供应或消费领域的投资者、行政部门的决策者等参考。

丛书前言

改革开放 30 年来，我国工业得到了飞速发展，在短短 30 年的时间内完成了发达国家上百年的工业化发展历程，建立了相对完整的工业体系。我国已成为全球制造业基地，中国模式备受世人瞩目。在信息技术快速发展以及对节能减排和环境保护日益重视的今天，为了促进我国工业由大变强的发展，我们必须走新型工业化道路，解决工业化过程中面临的一些突出问题，比如如何进一步增强自主创新能力，如何完善对工业行业的管理，如何在一些核心技术和关键技术上有更大的突破，如何促进高新技术与传统产业的结合，等等。

为配合我国工业领域设备改造，推动我国工业领域与国际间、行业内的交流与发展，加速工业生产及制造技术的进步和设备更新换代的步伐，我们精选了国外有关现代工业技术的部分图书，翻译出版了“国际先进工业技术译丛”。本丛书内容主要涉及新型能源开发与利用、绿色设计与制造、资源节约和环境保护、能效管理等方面。这些图书的原著均由英美等国的知名出版集团出版，汇集了多个国家著名专家学者在工业技术领域的重要研究成果，集中反映了当前工业领域的先进理念、方法和技术，对于解决我国当前工业发展过程中的一些关键问题和突出问题具有较大的参考价值。

现代工业技术呈现开放性、智能化、信息化与网络化的特点，融合了自动化技术、信息技术、现代控制技术、网络技术、先进制造技术、环境保护技术及现代管理理论和方法等诸多学科的先进技术，需要各学科的专家及工程技术人员通力合作，从而实现多学科专业知识与系统的集成，形成现代工业发展的手段和模式。因此，“国际先进工业技术译丛”在选编时，以促进信息化和工业化融合、技术创新和节能减排为原则，紧密结合我国国情，力求突出实用性和先进性，希望有助于解决我国工业技术应用中的一些实际问题，促进我国工业技术及管理模式的变革，提高我国工业企业的技术创新能力。

“国际先进工业技术译丛”的翻译和审定工作主要由国内相关领域的知名专家学者和专业人士承担，力求准确真实地反映原著内容并便于国内读者理解和接受。本丛书致力于“传播国际先进工业生产管理理念，推广工业领域重大技术创新成果”，以便使我国工业领域内的相关人员能够对现代工业方面的知识和技术有更深入和全面的了解，并在我国现代化工业的建设中加以应用。今后我们将继续加强对国际上工业技术领域优秀图书的翻译和出版工作，欢迎专家学者以及广大读者提出宝贵意见和建议。

本书导读

燃料电池能做什么？

燃料电池如何工作？

燃料电池目前的机遇和挑战是什么？

燃料电池的开发与应用是目前新能源领域的热点话题，国内外对此十分关注。为了向广大读者介绍燃料电池的知识与技术，我们引进翻译并出版了《燃料电池——问题与对策》一书，通过本书，希望读者能够了解燃料电池能做什么，燃料电池是如何工作的，燃料电池在全球经济中的作用是什么。读者不仅可以发现燃料电池有解决诸多问题的巨大潜力，而且还可以了解燃料电池开发与商业化所面临的技术挑战和研究人員亟待解决的一些关键问题。

本书言简意赅、通俗易懂，内容分为 4 个部分。

第一部分，引言：概述了整个燃料电池的发展历史，阐述了燃料电池的工作原理。

第二部分，燃料电池的主要类型：考察了质子交换膜燃料电池、直接液体燃料电池、磷酸燃料电池、固体氧化物燃料电池以及其他重要类型燃料电池的特性。

第三部分，燃料电池科学和工程的内在问题：探讨了燃料管理、电催化作用、电解质膜、便携式设备使用的小型燃料电池以及数学建模。

第四部分，燃料电池的商业应用：调研了国际上燃料电池一些最新的应用，讨论了燃料电池的研究开发状况。

工程类和化学类等高年级本科生与研究生可以将本书作为一本理想的入门书，了解燃料电池的技术状态与商业前景；学术界和工业界专业人员也可以将本书作为一本简明的参考书，掌握燃料电池领域各个方面的全貌。

本书作者 Vladimir S. Bagotsky 博士是国际上著名的电化学科学家，曾任莫斯科电源研究所研究室主任，他指导了俄罗斯国内多种电池和燃料电池项目的研究开发，曾在 A. N. Frumkin 电化学研究所担任研究室主任和首席科学家 30 年，在 1962 年至 1976 年期间担任 A. N. Frumkin 教授的副手。

序 言

燃料电池是将燃料的化学能直接转换为电能的一种电化学反应装置，被视为“21 世纪最理想的发电装置”之一。燃料电池能量转换效率高、发电过程对环境的影响小，只要保持燃料不断供应，就可连续稳定发电，在分布式电站、电动车辆、舰船潜器、航天航空、移动通信、电子设备、武器装备等领域具有广阔的应用前景。目前，世界上包括我国在内的很多国家都投入了大量的人力、财力来研究开发不同类型的燃料电池。

然而，燃料电池的产业化与商业化目前依然面临诸多科学与工程学的挑战，如何理解与解决这些科学与工程问题，对燃料电池产品的产业化与商业化至关重要。本书概述了燃料电池的发展历史，阐述了燃料电池的工作原理，介绍了主要类型燃料电池的特征，探讨了燃料电池科学与工程方面的诸多问题，提出了许多卓有成效的解决方案，分析了燃料电池研发和生产领域目前面临的机遇与挑战，并从商业化的角度，介绍了国际上燃料电池在相关领域的最新应用状况。本书结构清晰、内容翔实，叙述简明扼要、深入浅出，对问题分析透彻，并有独到见解。本书图文并茂，通俗易懂，实用性强，参考价值高，可供广大从事燃料电池研究开发的人员、大专院校师生、金融投资人员、政府与企业部门的决策者参考。

V. S. Bagotsky 是国际上著名的电化学科学家，曾在 A. N. Frumkin 电化学研究所担任首席科学家 30 年，担任俄罗斯科学院燃料电池科学委员会主席 20 年，发表研究论文 400 多篇。他不仅指导了俄罗斯国内多种电池和燃料电池项目的研究开发，而且对国际电化学与燃料电池学科的发展作出了重要贡献。

本书由孙公权等人翻译。译者力求翻译准确、语言规范，以便于国内读者阅读理解，对原著中一些不妥之处，经与本书作者 V. S. Bagotsky 教授商榷并征得同意后进行了更正。

愿本书的出版能为我国燃料电池的研究开发作出微薄贡献。

衣宝廉

孙公权

2010 年 12 月

作者序

早在 19 世纪，当首次提出燃料电池并对其进行讨论的时候，人们就深切地期望通过采用燃料电池将天然燃料的化学能转换为电能这种能量转换装置获得很高的能量转换效率。今天，世界上化石燃料的供应日趋紧张，人们对燃料电池的期望转变成实际的需求，即如何解决继续维持现代生活水准的问题。燃料电池除了能量转化效率高以外，还具有许多其他令人瞩目的优点，如能量转化过程较清洁、在产生电能的同时还可产生有用的热量、应用范围广阔等。在燃料电池领域工作的 George Wand 先生对燃料电池的陈述是：“燃料电池既能替代微小电池为一块手表提供电源，也可以替代大型电站为一座都市提供电能。”

过去燃料电池曾取得了诸多辉煌的成就，今天，燃料电池依然是一个充满活力的主题。世界上诸多大专院校、研究中心、经济实体、公司等都先后开展了广泛的研究开发和工程示范等工作。目前，众多科学家、工程师、技术人员密切合作，数以万计的从业人员积极奉献他们的聪明才智与精湛技能，以加速燃料电池领域的发展。

在燃料电池领域，相关的研究进展十分迅速。目前，平均每个月都有数百篇公开发表的文章报道新的研究成果与科学发现。燃料电池领域的进展和倡导氢能经济概念所开展的工作相互促进、协同发展。

本书试图为那些对燃料电池有一定了解但不熟悉其具体的发展潜力与实际应用的读者，包括从事民品、军品、工业品研制的工程师，各类研究开发人员，金融投资商，政府企业、商业贸易、各级管理部门的决策者，新闻记者，大专院校的师生以及对燃料电池有业余爱好的科技人员，提供必要的信息。此外，对那些专业工作涉及燃料电池开发应用的某些特殊方面，且想要全面了解燃料电池的技术问题、经济效益、科学意义的工业界和科研单位的读者，本书也试图为他们提供必要的信息。

本书旨在简明扼要、通俗易懂地为上述读者介绍与解释：燃料电池是做什么的？燃料电池是怎样工作的？燃料电池的重要性在哪里？目前燃料电池的问题是什么？燃料电池如何持续发展，即在防止空气污染方面燃料电池能做什么？燃料电池又能为便携式设备做什么？本书将以批判的态度对这些问题进行详细深入的介绍与讨论，所讨论的问题和技术成就仅限于 2007 年底所达到的水平。

伴随着燃料电池发展的跌宕起伏，该领域一直存在一些反驳的声音和不同意见。鉴于在化学电源领域中，电池的输出功率可能遍及毫瓦级至兆瓦级，电池种类繁多、相互竞争，这些反驳的声音与不同意见也就不足为奇。为了引导读者走出迷津，我们选择了诸多参考文献

书目为例。遗憾的是由于燃料电池工作学科交叉性很强，文献的选择比较困难，我们不得不省略大量的与本书所引用的著作同样重要的文献。

本书介绍了燃料电池发展的历史背景，展望了燃料电池未来发展的前景，包括与潜在的未来的氢能经济之间的相互促进、协同发展的前景。书中同样也介绍了具有分歧的观点，书中所提出的一些想法对未来的讨论仅作抛砖引玉之用。

衷心感谢瑞典菲林根 Paul Scherrer 研究所的 Felix Büchi 博士为本书撰写了“燃料电池建模”这一重要章节（第 14 章）；感谢我的莫斯科同事 Nina Osetrova 博士（已故）和 Alexander Skundin 博士在相关文献选择上的帮助；感谢 Timophei Pastushkin 在图形绘制方面的辛勤工作；还要感谢曾在日内瓦城 Battelle 研究所工作的 Klaus Müller 博士，他不仅将许多用俄语撰写的章节翻译成英语，而且还撰写了 18.2 节，并提出了许多宝贵的建议。

我在莫斯科 Quant 电源研究所和俄罗斯科学院 A. N. Frumkin 电化学与物理化学研究所从事教学与科研 50 余年，衷心希望这 50 余年来激励我的事物，将继续激励现在及未来的专家们和一切致力于改善我们的生活和解决我们的问题的人们。

Vladimir Sergeevich Bagotsky

2008 年 5 月

E-mail: vbag@mail.ru

目 录

第一部分 引言

第 1 章 燃料电池的工作原理	5
1.1 热力学方面	5
1.1.1 卡诺循环的限度	5
1.1.2 电化学能量转换	5
1.2 燃料电池单元的原理示意图	7
1.2.1 单体燃料电池	7
1.2.2 燃料电池电堆	8
1.2.3 基于燃料电池的电站	9
1.3 燃料电池的类型	10
1.4 真实燃料电池设计：液体电解质 氢气—氧气燃料电池	11
1.4.1 气体电极	11
1.4.2 电化学反应	12
1.4.3 电极电势	12
1.4.4 单体燃料电池的电压	13
1.5 燃料电池的基本参数	14

1.5.1 工作电压	14
1.5.2 放电电流与放电功率	14
1.5.3 燃料电池的工作效率	15
1.5.4 热量的产生	16
1.5.5 比较燃料电池参数的 方法	16
1.5.6 寿命	17
1.5.7 特殊操作要素	17
参考文献	18

第 2 章 燃料电池的悠久历史	19
2.1 1894 年以前的时期	19
2.2 1894 年至 1960 年期间	20
2.3 1960 年至 20 世纪 90 年代 期间	23
2.4 20 世纪 90 年代以后的时期	27
参考文献	28

第二部分 燃料电池的主要类型

第 3 章 质子交换膜燃料电池	33
3.1 PEMFC 的历史	33
3.1.1 Nafion 膜	34
3.1.2 Pt 催化剂的高效利用	34
3.1.3 膜电极集合体 (膜电极)	35
3.2 20 世纪 90 年代以来标准	

形式的 PEMFC	36
3.2.1 单体 PEMFC	36
3.2.2 PEMFC 电堆	37
3.2.3 PEMFC 的工作条件	38
3.2.4 PEMFC 的电流—电压 曲线	38
3.3 PEMFC 的工作特性	39
3.3.1 水管理	39

3.3.2	热管理	40	4.11.1	直接乙醇燃料电池	62
3.3.3	反应气体分压	40	4.11.2	直接甲酸燃料电池	64
3.3.4	环境温度的影响	41	4.12	使用无机液体为燃料的 燃料电池	66
3.4	氢气中痕量 CO 对 Pt 催化剂的 毒化	41	4.12.1	直接硼氢化物 燃料电池	66
3.4.1	通过电流脉冲和氧化剂 促使 CO 氧化	41	4.12.2	直接胼燃料电池	67
3.4.2	Pt-Ru 催化剂的使用	42	参考文献	68	
3.4.3	较高的工作温度	42	第 5 章	磷酸燃料电池	71
3.5	PEMFC 相关的商业活动	42	5.1	磷酸燃料电池的早期工作	71
3.6	PEMFC 未来的发展	43	5.2	磷酸水溶液的特性	72
3.6.1	较长的寿命	44	5.3	PAFC 的结构	72
3.6.2	PEMFC 的成本估算	46	5.4	PAFC 的商业化生产	73
3.6.3	双极板	47	5.5	大型固定电站的开发	73
3.7	升温的 PEMFC	48	5.6	PAFC 的未来	74
参考文献	50	5.7	PAFC 对燃料电池发展的 重要性	75	
参考文献	50	参考文献	75		
第 4 章	直接液体燃料电池	52	第 6 章	碱性燃料电池	76
4.1	作为燃料电池燃料的甲醇	52	6.1	氢气—氧气 AFC	76
4.2	电流产生反应和热力学参数	52	6.1.1	Bacon 电堆	77
4.3	甲醇的阳极氧化反应	53	6.1.2	Apollo 宇宙飞船电堆	77
4.4	DMFC 发展过程中的里程碑	54	6.1.3	早期含有基体 电解质的 AFC	78
4.5	电解质膜的甲醇渗透	54	6.1.4	Orbiter 航天飞机电池	78
4.6	DMFC 的种类	56	6.1.5	采用骨架型催化剂的 AFC	78
4.6.1	按反应物供给方式分类	56	6.1.6	使用碳电极的 AFC	79
4.6.2	按应用分类	57	6.1.7	AFC 领域存在的 一些问题	79
4.7	DMFC 的工作特性	57	6.1.8	碱性燃料电池的工作 现状与前景	81
4.7.1	反应物供给和产物排出	58	6.2	碱性胼燃料电池	82
4.7.2	DMFC 中水的管理	58	6.3	阴离子交换(氢氧根 离子传导)膜	84
4.7.3	双极板流道内 CO ₂ 的 累积	59	6.4	使用阴离子交换膜的甲醇 燃料电池	85
4.8	DMFC 实际样机及其特征	59	6.5	采用恒定浓度碱性电解质的	
4.9	未来 DMFC 需要解决的 一些问题	60			
4.9.1	延长寿命	61			
4.9.2	提高效率	61			
4.9.3	降低成本	61			
4.10	甲醇替代问题	62			
4.11	使用有机液体为燃料的 燃料电池	62			

甲醇燃料电池	86	8.7.3 新型电极材料	106
参考文献	86	8.7.4 IT-SOFC 原型样机	107
第 7 章 熔融碳酸盐燃料电池	87	8.8 低温 SOFC	107
7.1 高温燃料电池的特点	87	8.8.1 薄膜 LT-SOFC	108
7.2 氢气—氧气熔融碳酸盐燃料 电池的结构	87	8.8.2 复合电解质 LT-SOFC	108
7.3 燃料内部重整的熔融碳酸盐 燃料电池	89	8.9 影响 SOFC 寿命的因素	109
7.4 熔融碳酸盐燃料电池的 研究进展	90	参考文献	110
7.5 熔融碳酸盐燃料电池的寿命	91	第 9 章 其他类型的燃料电池	112
参考文献	93	9.1 氧化还原液流电池	112
第 8 章 固体氧化物燃料电池	94	9.1.1 铁—铬氧化还原 液流电池	112
8.1 传统的固体氧化物燃料电池的 设计方案	94	9.1.2 全钒氧化还原 液流电池	113
8.2 管式 SOFC	96	9.2 生物燃料电池	114
8.2.1 Siemens-Westinghouse 管式电池	96	9.2.1 酶生物燃料电池	115
8.2.2 其他管式电极的 SOFC	98	9.2.2 细菌生物燃料电池	116
8.3 平板式 SOFC	99	9.3 半燃料电池	116
8.3.1 密封	100	9.3.1 金属—空气电池	117
8.3.2 双极板	100	9.3.2 镍—氢气二次电池	117
8.3.3 平板式 SOFC 中的 应力	100	9.4 直接碳燃料电池	118
8.4 一体式 SOFC	101	9.4.1 目的与前期工作	118
8.5 不同类型的 SOFC	102	9.4.2 反应及热力学参数	119
8.5.1 单腔体 SOFC	102	9.4.3 1960 年之后有关碳 燃料电池的工作	119
8.5.2 直接火焰型 SOFC	102	参考文献	121
8.5.3 氨气 SOFC	103	第 10 章 燃料电池与电解过程	123
8.6 天然燃料在 SOFC 中的应用	103	10.1 水电解	123
8.6.1 利用天然燃料的方法	103	10.1.1 具有质子传导膜的 电解池	123
8.6.2 碳化问题	104	10.1.2 高温电解池	124
8.6.3 天然燃料中含硫 化合物的问题	104	10.1.3 储存电能的氢气—氧气 系统	124
8.7 中温 SOFC	104	10.1.4 可逆的 (组合的) PEMFC 系统	125
8.7.1 降低 SOFC 运行温度所 面临的问题	104	10.2 氯—碱电解	126
8.7.2 新型固体电解质	105	10.2.1 氯—碱电解池中 氧电极的问题	127
		10.2.2 氢气—氯气燃料电池	127

10.3 电化合成反应	128
10.3.1 含有二氧化碳的反应	128

10.3.2 燃料电池与化学联产	129
参考文献	130

第三部分 燃料电池科学和工程的内在问题

第 11 章 燃料管理

11.1 天然燃料的重整	133
11.1.1 天然气 (甲烷)	134
11.1.2 碳源	135
11.1.3 生物乙醇	136
11.2 用于独立电站的氢气生产	136
11.2.1 水的电解	136
11.2.2 用于独立电站的 烃类重整	137
11.2.3 甲醇重整	137
11.2.4 由无机物制取氢气	138
11.3 工业氢气的净化	138
11.3.1 脱硫	138
11.3.2 一氧化碳净化	138
11.4 氢气的运输与存储	140
11.4.1 压缩氢气	141
11.4.2 液化氢气	141
11.4.3 金属氢化物	141
11.4.4 碳材料	142
参考文献	142

第 12 章 电催化作用

12.1 电催化的基本原理	144
12.2 电极上 Pt 催化剂的引入	146
12.2.1 溅射沉积	147
12.2.2 双离子束辅助沉积	148
12.2.3 电喷涂技术	149
12.3 铂催化剂载体	149
12.3.1 其他碳载体	149
12.3.2 过渡金属氧化物载体	150
12.3.3 导电聚合物基底上的 铂纳米粒子	150
12.4 铂合金及其复合物作为 阳极催化剂	151

12.4.1 改进 Pt-Ru 催化剂的 工作	151
12.4.2 铂与其他金属的合金	151
12.4.3 复合的铂催化剂	152
12.5 用于燃料电池阳极的 非铂催化剂	153
12.6 氧还原反应的电催化	153
12.6.1 氧电极的开路电势	154
12.6.2 提高铂催化剂对 ORR 的 催化活性	155
12.6.3 非铂 ORR 催化剂	156
12.6.4 非贵金属 ORR 催化剂	157
12.6.5 双功能的氧催化剂	157
12.7 电催化剂的稳定性	158
参考文献	158

第 13 章 电解质膜

13.1 燃料电池相关的电解质膜 问题	161
13.2 克服 Nafion 膜降解的相关 研究工作	162
13.3 Nafion 膜的改性	162
13.3.1 在 Nafion 膜水含量 方面的改进	162
13.3.2 减少甲醇渗透	163
13.4 非氟聚合物电解质膜	164
13.4.1 基于聚苯并咪唑的 电解质膜	164
13.4.2 基于聚醚醚酮的 电解质膜	164
13.5 由其他材料制备的 电解质膜	165
13.6 基体型电解质膜	165
13.7 氢氧根离子传导膜	166

参考文献.....166

第 14 章 用于便携式设备的小型燃料电池.....168

14.1 小型燃料电池的工作特性168

14.2 平板式微型燃料电池电堆169

14.3 硅基小型燃料电池171

14.4 基于印制电路板的小型燃料电池172

14.5 小型固体氧化物燃料电池173

14.6 空气自吸式阴极的问题173

14.7 小型燃料电池电源样机174

14.7.1 电源的比性能指标174

14.7.2 小型 DMFC 电源175

14.7.3 小型 PEMFC 电源.....175

14.7.4 小型重整制氢燃料电池.....176

14.8 结束语.....176

参考文献.....177

第 15 章 燃料电池的数学建模.....178

15.1 零维建模.....179

15.2 一维建模.....179

15.3 二维建模.....180

15.4 三维建模.....181

15.5 结束语.....181

参考文献.....182

第四部分 燃料电池的商业应用

第 16 章 燃料电池的应用.....185

16.1 大型固定电站185

16.1.1 基本发展趋势185

16.1.2 混合电站187

16.2 小型固定电站188

16.3 交通运输应用的燃料电池190

16.3.1 传统内燃机车辆的替代方案190

16.3.2 燃料电池车实际应用存在的问题190

16.3.3 燃料电池电动车的发展前景192

16.3.4 燃料电池在其他运输工具中的应用193

16.4 便携式设备194

16.4.1 便携式设备电源194

16.4.2 用于便携式设备的燃料电池开发工作196

16.5 燃料电池的军事应用197

参考文献.....198

研究工作.....200

17.1 燃料电池研究工作的推动力200

17.2 燃料电池和氢能经济.....201

17.3 北美的燃料电池工作.....203

17.4 欧洲的燃料电池工作.....204

17.5 其他国家的燃料电池工作.....204

17.6 大量公开发表的燃料电池工作.....206

17.7 燃料电池领域的法规和标准.....207

参考文献.....208

第 18 章 展望.....209

18.1 希望与失望交替时期.....209

18.2 某些错误的概念.....210

18.3 理想的燃料电池.....211

18.4 燃料电池的未来规划.....213

参考文献.....214

符号表.....215

缩写.....217

第 17 章 世界各国燃料电池的

第一部分

引言

第 1 章 燃料电池的工作原理

第 2 章 燃料电池的悠久历史

引 言

燃料电池既可以替代微小电池为一块手表提供电源，也可以替代大型电站为一座都市提供电能。

—George Wand, 燃料电池的历史, 第一部分, 燃料电池的今天, 2006 年 4 月

1. 什么是燃料电池？燃料电池术语的定义

燃料电池是众多电化学电源（EPS）的一种，更准确地说，燃料电池是将化学反应的能量直接转化为电能的一种装置（燃料电池是将燃料的化学能直接转化为电能的一种电化学反应装置——译者注）。在电化学电源中，一次电池也称为原电池，二次电池也称为蓄电池或储能电池，燃料电池与一次电池和二次电池的区别在于：①在燃料电池中参加电化学反应的是气态或液态的反应物，而不是电池内部固态的反应物（金属或金属氧化物）；②在燃料电池中，反应物可以连续供给，反应产物可以不断排出，因此，燃料电池可以在相当长的时间内连续工作，而不需要周期性地更换部件或为电池充电。

对于电流产生反应，天然燃料（例如，天然气、石油产品等）或天然燃料的加工产物（例如，烃类燃料通过重整反应产生的氢气、煤炭经水蒸气处理得到的水煤气等）均可用作反应物或燃料，正是因为这些燃料的使用，人们才将这种电池称为燃料电池。

2. 燃料电池的经济意义

燃料电池已经广泛用于某些经济领域，本书我们介绍燃料电池的经济意义如下。

（1）同传统的热电厂相比，燃料电池尤其是大规模兆瓦级燃料电池发电站，利用天然燃料发电的能量转换效率可以大幅度提高，排放到大气中的燃烧产物及污染物可以大幅度减少。

（2）大型燃料电池发电站通过短暂的电能存储进行电网负载调节，可以改善电网的运行状态。

（3）输出功率为数十千瓦到数百千瓦的、分散的、安静的燃料电池电站可在较大范围内建立局域的输电网络，这些输电网络可为边远地区、建筑楼房或尚未连接交流电网的设施，例如气象观测站、水文观测站等，提供电力供应或热电联合供应；也可以作为紧急备用电源，为医院、检测站等独立设施提供电力供应。

（4）输出功率为数十千瓦的燃料电池可作为电动车辆的动力电源，大规模使用电动车辆，都市或人口密集地区的生态状况无疑将大幅度改善。

（5）燃料电池用于宇宙飞船、潜艇及其他水下装置时，除了可以提供电能以外，还可以为机组人员或船员提供洁净的饮用水。

(6) 输出功率为几十瓦或几十毫瓦的小型燃料电池，不仅可以为日常生活使用的可移动或便携式装置长时间连续工作提供电能，例如，个人计算机、摄像机、移动通信设备等，还可以为工业设备长时间连续工作提供电能，例如，信号发送、设备控制等。

基于上述原因，燃料电池自 19 世纪末以来得到了人们的广泛关注，20 世纪中叶，人们认识到地球上的石油资源逐渐减少，城市中生态环境问题日趋严重，在全球范围内对燃料电池的兴趣与日俱增。20 世纪 50 年代后的一段时期，太空探索极大地推动了燃料电池的发展，接近 20 世纪末期，大量的军用、民用便携式设备与其他小型装置先后问世，这些设备与装置迫切需要能够长时间工作的自主电源，这种需求再次推动了燃料电池的快速发展。

今天，人们已经建立了大量的基于燃料电池的电站，并使其成功运行，电站的规模从数十千瓦或数百千瓦到数十兆瓦，许多几毫瓦到几瓦的小型燃料电池已经投入使用。燃料电池已经为解决人类面临的经济和生态问题做出了卓越的贡献，毫无疑问，燃料电池对人类的贡献必将日益增加。

今天，世界上许多国家的国家实验室、科学中心、大专院校、工业企业等都积极开展了与燃料电池应用相关的研究与开发(R&D)工作，燃料电池领域每个月都有数百篇论文在科技杂志上发表。