

电工高新技术丛书

中国电工技术学会
编

- 洁净煤发电技术
- 磁流体发电
- 燃料电池

第1分册



机械工业出版社
China Machine Press

电工高新技术丛书

第1分册

- 洁净煤发电技术
- 磁流体发电
- 燃料电池

中国电工技术学会 编



机械工业出版社

电工高新技术丛书共六个分册，本书为第1分册。本分册共分三个专题，其技术内容包括：洁净发电技术；磁流体发电和燃料电池三个部分。

随着高新技术对传统的电工技术的渗透，电工技术的更新和创造日新月异，读者可从这套书中开拓视野、增长才智、启迪借鉴并从中汲取营养，以促进事业的发展 and 再创造。

本丛书的内容新颖、文字深入浅出、适于中级以上的工程技术人员、国家公务员、企事业单位技术管理人员及工科院校的师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工高新技术丛书/中国电工技术学会编. —北京：机械工业出版社，2000.3

ISBN 7-111-07898-5

I. 电… II. 中… III. 电工技术：高技术—丛书
IV. TM-51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03631 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：牛新国 版式设计：冉晓华 责任校对：吴美英

封面设计：姚毅 责任印制：何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 1 版·第 2 次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·10.375 印张·222 千字

2 001—3 500 册

定价：19.00 元 (全套 6 册，共 108.00 元)

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

《电工高新技术丛书》编辑委员会名单

主 任：赵明生

常务副主任：张林昌

副 主 任：赖 坚 严陆光 姚福生 石定寰

周鹤良 冯冠平 陈瑞藻

委 员：汪 耕 梁维燕 万遇良 吴维韩

王赞基 林良真 陈伯时 吴济钧

罗命钧 李方训 胡必权

主 编：张林昌

副 主 编：万遇良 吴维韩 李方训 满慧文

编辑部主任：王玉洁

编辑部副主任：王琳

前 言

人类历史的发展证明，科学精神、科学思想和科学方法在物质文明和精神文明建设中发挥着先导和支柱的作用。中国电工技术学会受科学技术部高新技术发展及产业化司委托，组织编写《电工高新技术丛书》，以下简称《丛书》。我会一贯具有面向人民群众宣传普及科学知识的光荣传统，最近几年来，我们以《中共中央、国务院关于加强科学普及工作的若干意见》为指导思想，经过各方面专家、教授的努力，着手编辑出版《电工高新技术丛书》（以下简称《丛书》），面向各级领导干部、技术人员普及科学知识，弘扬科学精神，提倡科学态度，传播科学思想。

本套《丛书》分为六个分册，内容包括新能源发电技术、超导技术、智能控制技术、电气设备状态监测技术、电力电子技术、电动车技术等。每个分册约 25 万字，由若干个相近专题组成，内容新颖，通俗易懂，文字精炼，引人入胜。《丛书》的定位为高科技科普读物，包括新理论、新产品、新方法、新技术、新工艺、新材料，主要涉及国际上技术已经成熟，且国内尚未完全掌握或属于世界电工技术的前沿课题，这样，保证了《丛书》普及高新技术的特点。

《丛书》的出版，对宣传电工技术最新发展动态，对加强技术创新，发展高科技，推动生产力跨越式发展，具有十分重要的现实意义和深远影响。《丛书》的出版，为国家公务员、科技人员提供一个了解当今世界先进电工技术的窗

口，使读者开拓视野、增长才智，起到启迪借鉴、触类旁通的作用。

《丛书》的出版，在列选题、写作及编辑过程中得到了清华大学、北京邮电大学、北方交通大学、中国科学院电工研究所、天津电源研究所和文章作者的支持，在《丛书》出版之际，谨向支持的部门、单位和作者致以深切的谢意。

由于时间所限，还有其他一些电工高新技术没有编入本丛书，编写中也难免会出现某些差错，欢迎读者给予批评指正。

中国电工技术学会

2000年3月

目 录

前言

I 洁净发电技术

第 1 章 绪论	3
1.1 概述	3
1.2 洁净发电技术	8
参考文献	10
第 2 章 循环流化床 (CFB) 燃烧技术	11
2.1 循环流化床 (CFB) 燃烧装置	11
2.2 CFB 锅炉炉内过程的特点	17
2.3 循环流化床 (CFB) 燃烧技术在工业中的应用	23
2.4 循环流化床 (CFB) 锅炉在电力工业中的应用	25
2.5 CFB 锅炉内控制污染气体排放的优化组织原则	30
2.6 结束语	33
参考文献	34
第 3 章 增压流化床燃气 - 蒸汽联合循环 (PFBC - CC) 的特性与发展概况	36
3.1 什么是增压流化床燃气 - 蒸汽联合循环	36
3.2 PFBC - CC 的工艺流程简介	37
3.3 PFBC - CC 的优缺点	42
3.4 PFBC - CC 的发展现状与趋势	43

3.5 发展 PFBC-CC 的关键技术	46
参考文献	47
第 4 章 整体煤气化燃气-蒸汽联合循环	
(IGCC) 的特性与发展概况	49
4.1 什么是整体煤气化燃气-蒸汽联合循环	49
4.2 IGCC 的工艺流程简介	50
4.3 IGCC 的优缺点	57
4.4 IGCC 的发展现状与趋势	59
4.5 发展 IGCC 的关键技术	64
参考文献	65
第 5 章 直接燃用超净煤的联合循环发电	
方式 (CEN)	66
5.1 什么是直接燃用超净煤的联合循环发电方式	66
5.2 超净煤的制备工艺	67
5.3 超净煤的质量水平及其与环保标准的关系	68
5.4 超净煤在现有的燃气-蒸汽联合循环中使用的可能性	70
5.5 超净煤联合循环的比投资费用	72
5.6 初步结论	73
参考文献	73
第 6 章 在役粉煤燃烧 (PC) 锅炉降低 SO_x 和 NO_x	
排放量的技术途径	74
6.1 在役 PC 锅炉降低 SO_x 的生成与控制原则	74
6.1.1 燃煤过程 SO_x 的生成与控制原则	74
6.1.2 PC 炉内喷钙脱硫的工艺过程	76
6.1.3 PC 炉内喷钙带尾部增湿活化的脱硫过程	79
6.1.4 循环流化床式的尾部脱硫技术	83
6.1.5 用过的脱硫剂之蒸汽活化技术	84
6.2 在役 PC 锅炉中降低 NO_x 排放量的技术途径	85

6.2.1 PC 炉内 NO_x 的生成与控制原则	85
6.2.2 炉内空气的分级燃烧	88
6.2.3 炉内燃料的分级燃烧 (再燃技术)	89
6.2.4 低 NO_x 燃烧器	90
6.2.5 低 NO_x 改装对锅炉操作性能的影响及其 改善措施	92
6.2.6 选择性催化反应还原 (SCR - Selective Catalytic Reduction) 技术	94
参考文献	96

第 7 章 几种洁净煤发电技术的评价与发展

前景的展望	97
7.1 洁净煤发电技术方案的选取原则	97
7.2 几种洁净煤发电技术的现状及其特性的比较	98
7.3 我国洁净煤发电技术应用前景的展望	101

II 磁流体发电

第 1 章 绪论

1.1 磁流体发电的基本原理和特点	108
1.2 磁流体发电的分类	112

第 2 章 磁流体发电系统及其主要部件

2.1 磁流体发电燃烧室	118
2.2 磁流体发电通道	120
2.2.1 线型磁流体发电通道	121
2.2.2 盘式磁流体发电通道	126
2.2.3 磁流体发电通道用高温材料	128
2.3 超导磁体	129

2.4 扩压器	130
2.5 功率调节系统	131
第3章 磁流体-蒸汽联合循环电站及其下游系统	132
3.1 余热锅炉	133
3.2 种子回收系统	133
第4章 磁流体发电的关键技术和经济问题	137
4.1 大型磁流体发电燃烧室	137
4.2 磁流体发电通道和耐高温材料	138
4.3 超导磁体	138
4.4 氧化剂问题	139
4.5 种子问题	139
第5章 现状与前景	141
5.1 磁流体发电研究的发展现状	141
5.2 磁流体发电的前景分析	149
参考文献	152

III 燃 料 电 池

第1章 燃料电池简介	157
1.1 燃料电池及其特征	157
1.1.1 什么是燃料电池	157
1.1.2 燃料电池的特征	157
1.2 燃料电池的分类	159
1.2.1 按工作温度分类	159
1.2.2 按燃料来源分类	160

1.2.3 按燃料电池采用的电解质分类	160
1.3 燃料电池的历史及现状	161
1.3.1 实验室研究开发阶段	162
1.3.2 实用性研究开发阶段	164
第2章 燃料电池的基本知识	170
2.1 燃料电池发电原理	170
2.1.1 燃料电池内的电化学反应	170
2.1.2 燃料电池的电极电位及电动势	171
2.1.3 燃料电池的工作电压及放电特性	173
2.1.4 燃料电池的能量转换效率	174
2.2 燃料电池本体的主要构成	178
2.2.1 气体电极及催化剂	178
2.2.2 电解质	181
2.2.3 双极性导电连接板	181
第3章 燃料电池系统及其开发意义	182
3.1 系统的组成	182
3.1.1 燃料预处理单元	182
3.1.2 燃料电池本体	183
3.1.3 电源调节及控制单元	184
3.1.4 热量管理单元	184
3.2 燃料电池发电系统的基本特征	185
3.2.1 高效率	185
3.2.2 对环境污染小	185
3.2.3 负荷响应快, 运行质量高	186
3.2.4 建设周期短、占地面积小	186
3.2.5 使用燃料灵活、便于热电联产	186
3.3 燃料电池发电系统的开发意义	187

第 4 章 碱性电解质燃料电池 (AFC)	188
4.1 概述	188
4.2 原理及特点	189
4.2.1 工作原理	189
4.2.2 碱性电解质燃料电池的特点	190
4.3 培根型氢氧燃料电池及其应用	192
4.3.1 培根电池简介	192
4.3.2 阿波罗飞船用的培根型燃料电池系统	192
4.4 石棉膜氢氧燃料电池及其应用	195
4.4.1 石棉膜氢氧燃料电池简介	195
4.4.2 航天飞机用石棉膜氢氧燃料电池系统	195
4.4.3 航天飞机用氢氧燃料电池的改进	197
4.5 碱性氢-氧(空气)燃料电池其他应用领域的开发	198
4.6 碱性燃料电池(AFC)的应用展望	200
第 5 章 磷酸燃料电池 (PAFC)	201
5.1 概述	201
5.1.1 概况	201
5.1.2 PAFC 技术的历史回顾	201
5.2 原理及特点	205
5.2.1 PAFC 反应原理	205
5.2.2 PAFC 特点	205
5.3 结构及材料	206
5.3.1 电池本体	206
5.3.2 单体电池	207
5.3.3 燃料处理器	209
5.3.4 逆变器	211
5.3.5 控制系统	212

5.4 工作特性及其影响因素	212
5.4.1 电化学因素的影响	212
5.4.2 工作温度的影响	213
5.4.3 工作压力的影响	214
5.4.4 反应物浓度的影响	215
5.4.5 磷酸电解质的影响	215
5.4.6 燃料气中杂质的影响	216
5.5 磷酸燃料电池电站	216
5.5.1 PAFC 电站的优点	216
5.5.2 PAFC 电站效率	217
5.5.3 PAFC 商品电站的规格	222
5.6 研究及开发现状	222
5.6.1 目前 PAFC 电站性能评价	222
5.6.2 存在问题及改进措施	223
5.6.3 PAFC 在电动汽车中的应用	226
5.6.4 小容量可移动电源用 PAFC	227

第 6 章 熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC) 229

6.1 概述	229
6.2 原理及特点	229
6.2.1 发电原理	229
6.2.2 特点	231
6.3 电池结构及性能	232
6.3.1 电池结构	232
6.3.2 电池性能	237
6.4 熔融碳酸盐燃料电池电站	241
6.4.1 燃料的选择	241
6.4.2 工作方式的选择	242
6.5 研究开发概况	243

第 7 章 固体氧化物燃料电池 (SOFC)	246
7.1 概述	246
7.2 原理及特点	247
7.2.1 发电原理	247
7.2.2 电解质中电子电导的影响	249
7.2.3 固体氧化物燃料电池的特点	250
7.3 结构及材料	250
7.3.1 圆管式结构	250
7.3.2 平板式结构	256
7.3.3 叠层波纹板整体式结构	258
7.4 工作性能	259
7.5 研究开发现状	261
7.5.1 圆管式结构 SOFC	261
7.5.2 平板式 SOFC	262
7.5.3 波纹板整体式 SOFC	264
7.5.4 我国 SOFC 研究概况	265
第 8 章 质子交换膜燃料电池 (PEMFC)	266
8.1 概述	266
8.2 原理及特点	267
8.2.1 PEMFC 的基本组成	267
8.2.2 发电原理	268
8.2.3 电池特点	270
8.3 结构及材料	271
8.3.1 电池本体	271
8.3.2 辅助系统	279
8.3.3 燃料和氧化剂的储存系统	280
8.4 工作特性	281

8.4.1 电堆的影响	281
8.4.2 工作条件的影响	282
8.4.3 PEMFC系统的水管理和热管理	284
8.5 登月飞行器上的质子交换膜燃料电池	286
8.5.1 概况	286
8.5.2 “双子星座”用1kW PEMFC简况	287
8.5.3 试验情况	287
8.6 近期开发与应用的进展	288
8.6.1 PEMFC在空间的开发与应用	289
8.6.2 PEMFC在海上的应用	290
8.6.3 PEMFC在地面的应用	292
8.7 研究开发现状	303
8.7.1 PEMFC电堆目前水平	303
8.7.2 PEMFC在电动汽车中应用的前景	303
8.7.3 降低PEMFC电堆成本方面的进展	304
8.7.4 PEMFC技术的其他进展	306
8.7.5 直接甲醇燃料电池(DMFC)的发展	307
参考文献	314

I 洁净煤发电技术

清华大学 焦树建 郑洽余

