

现代电子信息技术丛书

化学与物理电源

(第2版)

—— 信息化武器装备的动力之源

主编 汪继强



国防工业出版社
National Defense Industry Press

现代电子信息技术丛书

化学与物理电源(第2版)

——信息化武器装备的动力之源

主编 汪继强

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共 19 章,分别为化学电源(第 1 章至第 12 章):化学电源概述,锌负极系列原电池,锂原电池,镉镍碱性蓄电池,氢镍及金属氢化物镍蓄电池,铅酸蓄电池,锂离子电池,其他新型电化学储能装置和器件,锌氧化银电池,热电池,水激活电池,燃料电池;物理电源(第 13 章至第 18 章):物理电源概述,硅太阳电池,Ⅲ-V 族化合物太阳电池,薄膜太阳电池,太阳电池阵,温差发电器,以及温差电致冷组件(第 19 章)。

读者对象:具有中专以上文化程度,从事化学与物理电源、温差电致冷组件和有关专业的技术人员、管理干部,以及大专院校相关专业的师生。

图书在版编目(CIP)数据

化学与物理电源 / 汪继强主编. —2 版. —北京:国防工业出版社, 2008.7

(现代电子信息技术丛书)

ISBN 978-7-118-05775-1

I. 化... II. 汪... III. ①化学电源 ②物理电源 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 078745 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 410 千字

2008 年 7 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 85.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《现代电子信息技术丛书》

编 审 委 员 会

名 誉 主 任	陈炳德					
主 任	李安东					
常务副主任	童志鹏	张 弛	王志刚			
副 主 任	刘成海	王小谟	熊群力	王 峰	许建峰	
	程洪彬					
委 员	蔡 镭	彭华良	王 政	毕克允	夏乃伟	
	张光义	刘 兴	雷 厉	张冬辰	黄月江	
	李 跃	胡爱民	范茂军	瞿兆荣	张学孝	
	李立功	梅遂生	廖复疆	程辉明	骆光明	
	汪继强	许西安	陈 洁			

总 编 委

总 编	童志鹏	
副 总 编	王晓光	
委 员	张雅丽	线珊珊

《化学与物理电源》(第2版)

主 编 汪继强

编著人员 (按姓氏笔画排序)

史鹏飞	阮庆钰	孙彦铮	杜永超	李会娟
李学海	肖志斌	汪继强	张 军	张华民
张建中	陈益奎	罗 萍	周立新	赵 平
种 晋	程保义			

Preface

序

《现代电子信息技术丛书》(以下简称《丛书》)自1999年首次出版,至今已8年了。《丛书》综合地反映了20世纪90年代电子信息技术的发展,受到广大科技工作者、大专院校师生和部队官兵的欢迎。进入新世纪以来,鉴于国内外电子信息技术的高速发展,世界与局部形势发生了许多新的变化,电子信息技术循着摩尔定律预计的发展速度得到了持续的增长与进步。我国电子信息技术不论在基础层次还是在系统层次也取得了许多世界先进的成果,例如突破了纳米级的金属氧化物场效应器件(MOSFET)的设计与制造技术,研制成功了数十万亿次运算速度的巨型计算机,实现了计算栅格的研制与试验,成功地开发出世界级的第三代数字蜂窝移动通信系统,研制出空中预警与控制机系统和区域级一体化综合电子信息系统等。国际上,美国等发达国家在电子信息技术发展上处于领先地位,成功地研制出45nm的微处理器并进行批量生产,正向20nm及以下迈进。美国启动了从工业时代到信息时代的军事转型,提出从平台中心战(PCW)向网络中心战(NCW)的转型,并以全球信息栅格(GIG)为基础。GIG是美国所构想的、正在研发的国防信息基础设施,预计在2015年可形成初始作战能力。它以面向服务的结构(SOA)为体系构架,向联网的实体提供成套的、安全的信息服务与电信服务,以加强信息共享、决策优势与异构协同。GIG包括多模态数据的传递媒介,如陆上电路、空间单元和无线电台等,其所组成的互联网络可动态地、透明地将信息从发源处路由至目的地。以GIG为依托,美国军队加速向网络中心化演进,如陆军的未来战斗系统(FCS),海军的兵力网(Forcenet),空军的指挥控制星座(C² constellation)等。这里涉及十分巨大(Herculean)的技术挑战,必须通过从基础到系统的多层次创新和突破,才能在未来有限的时间内实现超越前15年Web网发明以来的发展。凡此种种,都是我们在编著《丛书》第1版时只能预测而无法探知的。然而今日,这些高新技术的面貌已逐渐清晰并迅速渗入人们的生活和竞争。这使《丛书》的作者们意识到进行再一次创作的必要性;同时,热心的读者们也期盼我们能及时对第1版进行

修改以便与时俱进。

基于以上原因,在各级领导机关的大力支持下,《丛书》各分册的原作者与新分册的新作者们在从事繁重业务工作的同时,废寝忘食、辛勤耕耘,对《丛书》各分册进行了精心修订、编撰,为第2版的问世做出了卓越的贡献。我谨代表《丛书》编审委员会向他们致以衷心的感谢与感谢。

第2版承袭了第1版的编写宗旨、编写特色及服务对象。在维持原结构不变的基础上,对内容进行了大幅度更新,并明显加大了军事科技的比重,增、删了7个分册,总册数由17分册变为18分册,总字数由800万字增加到1400万字。新版《丛书》仍以先进的综合电子信息系统为龙头,分层次、全方位地介绍各项先进信息技术,具体包括以下分册:

系统性技术分册

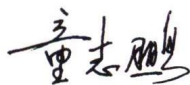
- 综合电子信息系统(第2版)
- 综合电子战(第2版)
- 侦察与监视
- 军事通信(第2版)
- 雷达与探测(第2版)
- 数据链
- 导航与定位(第2版)
- 计算机技术(第2版)
- 计算机软件技术(第2版)
- 信息安全与保密(第2版)

基础性技术分册

- 微电子技术(第2版)
- 光电子技术(第2版)
- 真空电子技术(第2版)
- 传感器技术
- 微声电子器件
- 化学与物理电源(第2版)
- 现代电子测试技术(第2版)
- 先进电子制造技术(第2版)

这两个系统分别从横向、纵向对众多先进的信息技术形成了有机的集成。

《丛书》的编写出版得到总装备部、中国电子科技集团公司及其有关研究所的领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及编辑们的积极推动与努力,谨对他们表示由衷的感谢。



2007年8月26日

Preface

第1版序

信息技术是一个复杂的多层次多专业的技术体系,粗略地可以分为系统和基础两个层次。属于系统层的一般按功能分,如信息获取、通信、处理、控制、对抗(简称为5C技术,即Collection, Communication, Computing, Control, Countermeasure五个词的第一个字母)等;基础层技术一般按专业分,如微电子、光电子、微波真空电子等。

信息技术革命的火炬是由微电子技术革命点燃的,它促进了计算机技术、通信技术及其他电子信息技术的更新换代,迄今,尚未有尽期。信息技术革命推动产业革命,使人类社会经历了农业、工业社会后进入了信息社会。

大规模集成电路的集成度是微电子技术革命的重要标志,它遵循摩尔(Moore)定律,每18个月翻一番,预计可延伸到2010年。届时,每个芯片可包含100亿(10^{10})个元件,面积可达到 10cm^2 ,作为动态存储器的存储量可达64Gb(吉比特),接近理论极限 10^{11} 个元件和256Gb存储量。微处理器芯片的运算速度每5年提高一个数量级,到本世纪末,每个芯片运算速度可达10~100亿次每秒,有人认为,实现2000亿次的单片微处理器在技术上是可能的。与此相适应,每芯片比特存储量与每MIPS(兆指令每秒)运算量的成本将呈指数式下降,现在一个100兆指令/s专用数字信号处理芯片只售5美元。如果飞机的价格也像微电子那样呈指数式下降的话,70年代初买1块比萨饼的费用在90年代就可以买1架波音747客机。3年内1部电话机将只用1块芯片,5年内1台PC机的全部功能可在1个芯片上实现,6年内1部ATM交换机的核心功能也可用1个单片完成。由于微处理器芯片价格持续不断地下降,构成了它广泛应用的基础。现在,在一般家庭、汽车和办公室中,就有100多个微处理器在工作,不仅是PC机,而且在电话机、移动电话机、电视机、洗衣机、烘干机、立体声音响、家庭影院中也有。1辆高档汽车中包含20多种可编程微处理器,1架波音777客机含有100多万行的计算机程序代码。

通信技术的进步还得力于光子技术的进步。光通信速率(比

特每秒)每两年翻一番,现在实验室中已可做到 10^{12} b/s,即可将全世界可能传输的全部通信量于同一时刻内在 1 根光纤中传送,或相当于 1s 内传输 1000 份 30 卷的百科全书。通信速率的提高和通信容量的增大,使光通信成本也不断降低,与 80 年代相比,降低了两个数量级。

因特网是全球信息基础设施的雏形,其发展速度惊人。现在每 0.4s 增加一个用户,每 4min 增加一个网络。1996 年联网数大于 10 万,联网主机数大于 1000 万,用户数大于 7000 万(预计到本世纪末,将大于 2 亿),PC 机总量将达 5 亿,联网主机达 3000 万,信息量每 5 年翻一番。越来越多的公司、团体、机关、个人通过信息网络相互联接,其应用范围从单纯的电子函件通信扩大到远程合作(包括教育、诊断、办公、会议、协作等)、按需点播、多媒体文娱、电子商务、银行、支付等,人类社会生存与发展的另一维空间,即信息空间或称为赛博空间(Cyberspace)正在形成。如果说工业社会是建筑在汽车与高速公路上的话,信息社会则是建筑在信息与信息高速公路上的。政府、军队、经济、金融、电力、交通、电信等关键部门都要依赖于信息基础设施的正常运行。信息技术和信息产业的水平已成为综合国力的重要标志,也是国际竞争力的焦点与热点。

信息技术的飞跃发展及其渗透到各行各业的广泛应用,不仅推动了产业革命,而且也深刻地改变了人们的工作、学习和生活的方式。信息技术不仅扩展了人的视觉、听觉等感知能力,而且还渗透到思维领域,减轻或部分地替代人的脑力劳动,提高思维的效率和质量,实现人的思维能力的延伸,增强人的认知能力。信息作为事物的属性与相互关系的状态的表达是客观存在的,但不是显在的,很多是潜在的,有的是深埋的,有待挖掘与提炼。信息技术大大地丰富了信息采集的内容,提高了信息处理的能力,为人们认识客观事物及其规律的认识提供了创新的工具,也为人们正确认识与有效改造主观世界和客观世界提供了源泉,将使社会的物质文明与精神文明建设得到极大的发展。

信息、能源与物质是人类社会赖以生存与发展的三大支柱。在信息社会中,信息是最重要的支柱和最重要的产业,它影响着其他两个支柱的健康发展,包括生产、传输、分配、运行、减少损耗、改善管理、提高效率、降低成本等等;同时,它还能不断地培育与发展新物质和新能源的发明与生产,不断地改善生态环境,从而使人类社会进入可持续发展的健康轨道。

信息革命在带动产业革命的同时也带动军事革命,使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式、战争形态、军事原则、军事条令与部队编成等都将发生深刻的变化。如果农业社会是冷兵器时代,工业社会是热兵器时代,那么信息社会则是信息兵器时代。信息、信息系统与信息化平台、武器与弹药成为战场上的主战兵器。信息优势成为传统的陆地、海洋、空中、空间优势以外的新的争夺领域,并深刻地制约着传统领域的战斗胜负,从而构成信息化战争的新形态。在这种战争中,战争胜负决定于敌对双方掌握信息与信息技术的广度与深度。信息不仅是兵力倍增器,它本身就是武器和目标,是双方必争的制高点。1991 年初的海湾战争,被称为硅片战胜钢铁的战争,即源于这样的认识。它开启了赛博空间战、网络战、信息战等簇新的作战方式。

以信息优势为核心的军事革命是建筑在先进的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察及其一体化的信息战能力的基础上的,这个众系之系(系统的系统)我国称为综合电子信息系统,与美军后来提出的 C^4 ISR/IW 相当,它由以下 6 部分组成。

1. 鲁棒的多探测器信息栅格网络。为作战部队提供作战空间感知优势。
2. 先进的指挥控制与作战管理栅格网络。为部队提供作战的先期规划、胜敌一筹的作战部署,执行作战指挥控制与一体化兵力管理能力。
3. 从探测器到射击器的栅格网络。为部队提供精确制导武器的动态目标管理、分配与

引导,协同作战,一体化防空,快速战损评估和再打击能力。

4. 联合的通信、导航与定位栅格网络。提供可靠、安全、大容量与高精度的信息,以支持部队的机动行动,确保全面优势。

5. 信息进攻能力。采取侵入、操纵与扰乱等手段,阻碍敌人作战空间感知、认知与有效用兵能力。

6. 信息防护能力。保证我方信息系统的安全,防护敌方对我信息网络的利用、干扰和破坏。

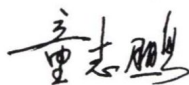
这个系统的系统涉及众多先进的信息技术的横向与纵向的有机集成,它包括雷达和光电的有源与无源探测技术、有线和无线及固定和移动通信技术、计算机硬件和软件技术、精确导航定位技术、航天航空测控技术、信息安全保密技术、电子战技术等横向专业技术的集成;也涉及微电子技术、光子与光电子技术、真空电子技术、压电与传感器技术等先进元器件技术,电子材料技术、电源技术、测试技术、先进制造技术等纵向基础技术的集成。当代军事革命要求在创新的军事思想指引下,发展有层次多专业的纵横集成的信息技术;同时,又要求在先进的信息技术驱动下,培育与发展新的军事思想,并在此基础上推动作战原则、军事条令与部队编成的变革,形成军事革命与信息革命的有机结合。

我们正处于世纪之交,党的第十五次代表大会的胜利召开,启动了有中国特色的社会主义事业在邓小平理论的指引下全面进入 21 世纪。我国的国防与军队现代化建设的跨世纪历史进程已经开始。为了适应军事革命环境下的高新技术军事斗争的需要,我军必须拥有信息优势,必须拥有以先进的综合电子信息系统为基础结构的性能优良的武器装备,必须提高部队素质,把人才培养推上新的台阶。

江泽民总书记非常重视人才的培养,他多次指示,要用高新技术知识武装全军头脑。在未来的信息化战场上,知识将成为战斗力的主导因素,敌对双方的较量将更突出地表现为高素质人才的较量。本丛书的编写出版就是为贯彻这个伟大号召提供系统基础知识。全书以先进的综合电子信息系统为龙头,多层次、全方位地介绍相关的各项先进信息技术,既包括系统技术,也包括基础技术,共 17 个方面,荟萃成 17 个分册。丛书的编写以普及先进信息技术知识为目标,以中专以上文化程度,从事军、民用电子信息技术有关业务的技术人员和管理干部为主要对象,努力做到深入浅出,雅俗共赏,图文并茂,引人入胜,文字简练,语言流畅,学术严谨,论述准确,使其具有可读性、可用性、先进性、系统性与权威性。参加丛书各分册撰写的作者都是长期从事现代信息技术研究与发展的专家,他们在繁重的业务工作的同时,废寝忘食,长期放弃节假日的休息,辛勤耕耘,鞠躬尽瘁,为本丛书做出了卓越的贡献。他们以自己的模范行动,“努力成为先进思想的传播者、科学技术的开拓者、‘四有’公民的培育者和优秀精神产品的生产者”。我谨代表总编委向他们致以衷心的敬意!

本丛书的编写出版得到原国防科工委与原电子工业部领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及责任编辑们的积极推动与努力,借此之机,向他们表示由衷的感谢!

中国工程院院士
原电子工业部科技委常务副主任



Preface

前言

本书是 1999 年出版的《化学与物理电源》一书的再版。由于技术的快速发展和撰写人员的全新变化,我们对原版书的内容作了大幅度的更新。其中,将原 12 章扩展至 19 章,新增锌负极系列原电池、其他新型电化学储能装置和器件、水激活电池、燃料电池、薄膜太阳电池、太阳电池阵和温差发电器 7 章,由此引入了全新的内容。同时考虑到锂电池中原电池和蓄电池都是技术发展与军事应用的热点产品,本次再版时还将原书中的锂电池一章拆分为锂原电池和锂离子电池两章,大大扩展了相关内容。此外,考虑到原书中的电源系统一章超出物理电源的范畴,在本书中由太阳电池阵予以取代。

当今,新能源和再生能源已经成为 21 世纪世界关注的一个重大课题,这是在环保呼声日益高涨、天然化石能源日益枯竭的背景下提出的。一般而言,太阳能、风能、潮汐能等被认为是地球上取之不尽的再生能源;而利用氢能(取之于水中或化石燃料中)也是非常具有吸引力的清洁、高效新能源。同时,由于太阳能、风能、潮汐能都需要配以储能体系,因此高效、长寿命储能电池便成为新能源领域中的一个重要组成部分。事实上,利用太阳能直接发电,即是太阳电池;利用氢能直接发电,即是燃料电池;利用化学能直接储能与转换为电能,即是蓄电池,它们构成了 21 世纪最有发展和应用前景的新型绿色能源体系。同时,它们正好都属于化学与物理电源的范畴。

如人们已经熟悉的,新型绿色电池在满足信息(如手机、对讲机、笔记本计算机、数码装置等)、交通运输、办公自动化、矿产探查、石油钻井、医疗器械乃至家用电器等所有现代社会的必需方面,已具有越来越重要的作用和地位。

同时,随着武器装备信息化的快速发展及用电能作为动力武器装备的加快发展,军用电池的地位和作用也越来越高,军用电池已经成为各种军事装备和武器系统、航天器等各种装备的“心脏”和动力,是电能源的重要和唯一供应者。

针对化学与物理电源的快速发展、广泛应用与迫切的知识普及要求,本书全面介绍了化学电源(第1章~第12章)、物理电源(第13章~第18章)以及温差电致冷组件(第19章)的相关基本知识、结构、工作原理、性能特点、制造工艺及应用。本书的一个突出特点是着重介绍了军用化学与物理电源产品及其在军事装备与武器上的应用,更加有利于从事这类装备设计、制造与应用领域的相关人员参考与借鉴。

期望本书能为从事军用与民用化学与物理电源研究、生产以及使用的技术人员和管理干部提供有益的参考与帮助,为我国化学与物理电源知识的普及,特别是提高部队指战员对化学与物理电源的认识有所贡献,从而提高我军在未来信息化高技术战争中的作战能力。

本书是由十多位专家参与撰写完成的,其中,第1章由汪继强编写,第2章由史鹏飞、汪继强编写,第3章由赵平、汪继强编写,第4章由李会娟编写,第5章由罗萍编写,第6章由史鹏飞、周立新编写,第7章由汪继强、陈益奎编写,第8章由张华民、汪继强编写,第9章由阮庆钺编写,第10章由种晋、汪继强编写,第11章由李学海、汪继强编写,第12章由张军编写,第13章由汪继强、肖志斌、张建中编写,第14章由杜永超编写,第15章由肖志斌编写,第16章由孙彦铮编写,第17章由程保义编写,第18章、第19章由张建中编写。在此特向他们表示衷心感谢。同时,应该指出本书又是在第1版《化学与物理电源》基础上的再版,因此也向第1版主编陈景贵和他所领导的撰写组成员表示衷心的感谢。

全书由汪继强总审核与修订。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,欢迎读者及时批评指正。

汪继强

Preface

第1版前言

本书是《现代电子信息技术丛书》的一个分册,全面介绍化学电源、太阳电池、电源系统及温差电致冷组件的基础知识、结构、工作原理、性能特点、制造工艺及其应用。

化学与物理电源在国防、工业、农业、医疗和科学研究各个领域都有着广泛的应用,在民用便携电子设备中应用更加广泛。军用化学与物理电源是军事电子装备和武器系统的关键部件之一,是海、陆、空三军武器系统和卫星的心脏与动力;温差电致冷组件在导弹、卫星、雷达、光纤通信和高精密科学仪器上的应用日益增多。它们不仅是整机系统中的配套件,而且在现代军事电子系统中可构成功能性单元、组件或分系统。它们的发展及水平直接决定着军事装备和武器系统的性能水平、质量、可靠性、精度与机动性,在一定程度上决定着战争的胜败。

随着世界电子技术的飞速发展,军事通信、飞机、鱼雷、导弹、卫星及移动电话、笔记本电脑、摄像机和电动工具等军、民两用化学与物理电源技术也随之迅速发展。尤其是对现代便携式军事和民用电子设备用的高比能量化学电源及卫星用高效大面积太阳电池的研制与开发,更是方兴未艾,前景光明。

21 世纪军事装备、武器系统和民用便携电子设备将向信息化、智能化、小型化方向发展,因此,发展新型的军、民两用化学与物理电源将会使新一代武器装备及民用便携电子设备的发展产生新的飞跃,意义深远重大。

本书共分为:化学电源概述;镉镍碱性蓄电池;氢镍及金属氢化物镍蓄电池;密封铅酸蓄电池;锌银电池;锂电池;热电池;物理电源概述;硅太阳电池;化合物太阳电池;电源系统;温差电致冷组件等。

希望本书能为从事军、民用化学与物理电源及有关作业的技术干部和管理干部提供有益的参考与帮助,为我国化学与物理电源的发展与普及,为增强我军指战员对化学与物理电源的认识,从而提高我军在未来信息化战争中的作战能力和全民族的科学文

化素质,实现科技强军和科技兴国尽微薄之力。

本书由 10 多位专家编写而成。在此特向他们表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

陈景贵

Contents

目 录

第1章 化学电源概述	1
❑ 1.1 化学电源的含义、基本组成和工作原理	2
❑ 1.2 化学电源的分类	3
1.2.1 原电池（或一次电池）	4
1.2.2 蓄电池（或二次电池）	4
1.2.3 储备电池	4
1.2.4 燃料电池	4
❑ 1.3 化学电源一般特性的表征方法	5
❑ 1.4 化学电源的典型应用	6
❑ 1.5 化学电源技术发展趋势	7
第2章 锌负极系列原电池	8
❑ 2.1 概述	8
2.1.1 基本概念	8
2.1.2 分类和特点	8
2.1.3 应用与发展趋势	9
❑ 2.2 锌二氧化锰电池	9
2.2.1 基本概念与工作原理	9
2.2.2 基本制造工艺	9
2.2.3 产品分类、应用及性能	10
❑ 2.3 碱性锌二氧化锰电池	11
2.3.1 基本概念与工作原理	11
2.3.2 基本制造工艺	12
2.3.3 产品型号性能及应用	13
2.3.4 技术发展趋势	15

2.4	锌氧化银(扣式)原电池	15
2.4.1	化学原理	15
2.4.2	电池结构	15
2.4.3	工作特性	16
2.4.4	商品扣式锌氧化银电池的型号和尺寸及特性	16
2.5	锌空气电池	17
2.5.1	扣式锌空气电池	17
2.5.2	方形和圆柱形锌空气电池	18
2.5.3	应用	19
第3章	锂原电池	20
3.1	特点与分类	21
3.2	锂二氧化锰电池	22
3.2.1	基本概念与工作原理	22
3.2.2	基本制造工艺	23
3.2.3	产品分类及基本技术性能	24
3.2.4	应用范围	26
3.3	锂二氧化硫电池	26
3.3.1	基本概念与工作原理	26
3.3.2	基本制造工艺	28
3.3.3	产品分类及基本技术性能	28
3.3.4	应用范围	29
3.4	锂亚硫酰氯电池	30
3.4.1	基本概念与工作原理	30
3.4.2	基本制造工艺	31
3.4.3	产品分类及基本技术性能	31
3.5	使用与维护	35
3.6	发展趋势	36
第4章	镉镍碱性蓄电池	38
4.1	分类与命名	38
4.1.1	分类	38
4.1.2	命名	39
4.2	工作原理、结构与制造工艺	40
4.2.1	工作原理	40
4.2.2	电池密封原理	40
4.2.3	圆柱形密封镉镍电池	42
4.2.4	全密封镉镍电池	42

❑ 4.3	性能与应用	44
4.3.1	性能	44
4.3.2	应用	45
❑ 4.4	使用与维护	45
4.4.1	开口烧结镉镍电池充电	45
4.4.2	密封镉镍电池充电	45
❑ 4.5	发展趋势	46
第5章	氢镍及金属氢化物镍蓄电池	47
❑ 5.1	氢镍电池	47
5.1.1	工作原理	48
5.1.2	结构	49
5.1.3	性能与应用	53
5.1.4	使用与维护	58
5.1.5	发展趋势	59
❑ 5.2	金属氢化物镍蓄电池	59
5.2.1	工作原理	59
5.2.2	结构与组成	61
5.2.3	性能及应用	61
5.2.4	使用与维护	63
5.2.5	发展趋势	63
第6章	铅酸蓄电池	64
❑ 6.1	分类与特征	65
❑ 6.2	基本工作原理	66
❑ 6.3	基本电池组成与制造工艺	66
❑ 6.4	产品应用及性能	67
6.4.1	内燃机车辆启动用铅酸蓄电池	67
6.4.2	潜艇用铅酸蓄电池	68
6.4.3	军用装备仪器备用密封铅酸蓄电池	69
❑ 6.5	使用与维护	71
6.5.1	密封铅酸蓄电池的充电方法	72
6.5.2	密封蓄电池的安装与操作使用	72
❑ 6.6	发展趋势	73
6.6.1	研究新型板栅合金	73
6.6.2	研究新型铅膏配方	73
6.6.3	研究特殊吸附式隔板和电解液吸附物	73
6.6.4	电极新材料和新结构研究	73