

化学电源技术丛书

化学电源设计

王力臻 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是我国第一部全面系统论述化学电源优化设计的专著。作者本着指导生产、服务生产的宗旨，通过总结电池行业的相关研究成果以及作者多年来与工厂合作的经验，着重介绍了化学电源设计中的相关理论、设计原则及一般的计算方法。同时，以常规电池为例，对设计方法、步骤进行了详细阐述。此外还介绍了化学电源壳体材料、隔膜材料的选择原则以及清洁生产等重要知识与技术。全书内容全面、系统、实用，对实际生产具有非常重要的指导意义。

本书可供研究院所和企业的科研人员、技术人员阅读参考，也可供高校相关专业师生学习使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

化学电源设计/王力臻等编著. —北京: 化学工业出版社,
2007. 11
(化学电源技术丛书)
ISBN 978-7-122-01342-2

I. 化… II. 王… III. 化学电源-设计 IV. TM911.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 162035 号

责任编辑: 成荣霞 梁虹

文字编辑: 向东

责任校对: 宋玮

装帧设计: 郑小红

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 18 字数 355 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

序

化学电源又称电化学电池，是一种直接把化学能转变成低压直流电能的装置。太极图是各种化学电源很好的示意图（见图 1），最外的圆圈是电池壳；阴阳鱼是两个电极，白色是阳极，黑色是阴极；它们之间的“S”是电解质隔膜；阴阳鱼头上的两个圆点是电极引线。用导线将电极引线和外电路联结起来，就有电流通过（放电），从而获得电能。放电到一定程度后，有的电池可用充电的方法使活性物质恢复，从而得到再生，又可反复使用，称为蓄电池（或二次电池）；有的电池不能充电复原，则称为原电池（或一次电池）。化学电源具有使用方便，性能可靠，便于携带，容量、电流和电压可在相当大的范围内任意组合等许多优点。在通讯、计算机、家用电器和电动工具等方面以及军用和民用等各个领域都得到了广泛的应用。



图 1

到了 21 世纪，化学电源与能源的关系越来越密切。能源与人类社会生存和发展密切相关。持续发展是全人类的共同愿望与奋斗目标。矿物能源会很快枯竭，这是大家的共识。我国是能源短缺的国家，石油储量不足世界的 2%，仅够再用 40 余年；即使是占我国目前能源构成 70% 的煤，也只够用 100 余年。我国的能源形势十分严峻，能源安全将面临严重挑战。矿物燃料燃烧时，要放出 SO_2 、 CO 、 CO_2 、 NO_x 等对环境有害物质，随着能源消耗量的增长， CO_2 释放量在快速增加，是地球气候变暖的重要原因，对生态环境造成严重的破坏，危及人类的生存。21 世纪，解决日趋短缺的能源问题和日益严重的环境污染，是对科学技术界的挑战，也是对电化学的挑战，各种高能电池和燃料电池在未来的人类社会中将发挥它应有的作用。为了以电代替石油，并降低城市污染，发展电动车是当务之急，而电动车的关键是电池。现有的可充电池有铅酸电池、镉镍电池（ Cd/Ni ）、金属氢化物镍电池（ MH/Ni ）和锂离子电池四种。储能电池有两方面的意义，一是更有效地利用现有能源；另一方面是开发利用新能源，电网的负载有高峰和低谷之分，有效储存和利用低谷电，对于能源短缺的中国，太重要了。储存低谷电有多种方案，用电

池储能是最可取的。当前正大力发展太阳能和风能等新能源，由于太阳能和风能都是间隙能源，有风（有太阳）才有电，对于广大农村和社区，用电池来储能，构建分散能源，是最好的解决方案。

正因为化学电源在国民经济中起着越来越重要的作用，我国化学电源工业发展十分迅速。目前，国内每年生产各种型号的化学电源约 120 亿只，占世界电池产量的 1/3，为世界电池生产第一大国。我国已经成为世界上电池的主要出口国，锌锰电池绝大部分出口；镍氢电池一半以上出口；铅酸电池，特别是小型铅酸电池出口量增长很大；锂离子电池的世界市场已呈日、中、韩三足鼎立之势。

我国是电池生产大国，但不是电池研究开发强国。化学电源面临难得的大发展机遇和严峻挑战，走创新之路是唯一选择。但是，目前国内图书市场上尚缺乏系统论述各类化学电源技术和应用方面的书籍，这套《化学电源技术丛书》（以下简称《丛书》）就是在这种形势下编辑出版的。《丛书》从化学电源发展趋势和国家持续发展的需求出发，选择了一些近年来发展迅速且备受广大科研工作者和工程技术人员广泛关注的重要研究领域，力求突出重要的学术意义和实用价值。既介绍这些电池的共性原理和技术，也对各类电池的原理、现状和发展趋势进行了专题论述；既对相关材料的研究开发情况有详细叙述，也对化学电源的测试原理和方法有详细介绍。《丛书》共有 9 个分册，分别为《化学电源设计》、《化学电源概论》、《锂离子电池原理与关键技术》、《锂离子电池电解质》、《电化学电容器》、《锌锰电池》、《镍氢电池》、《省铅长寿命电池》、《化学电源测试原理与技术》。相信《丛书》的出版将对科研单位研究人员、高校相关专业的师生、电池应用人员、企业技术人员有所裨益。更希望《丛书》的出版，能够推动和促进我国化学电源的研究、开发以及化学电源工业的快速发展。

中国科学院物理研究所研究员

陈立泉

中国科学院院士

2006 年 6 月

前 言

化学电源具有能量转换效率高、能量密度大、无噪声污染、可任意组合、可随意移动等特点，在国民经济与国防建设以及人们日常生活中发挥着越来越重要的作用。随着社会的进步、科学技术的发展，人们对化学电源的要求也越来越高。在目前市场经济的条件下，生产出既经济（综合成本低）、又具有高性能的电池，对企业参与市场竞争和取得经济效益无疑具有重要意义。

尽管化学电源已有一百多年的发展历史，常规电池生产工艺渐趋完善，但对其设计与优化，尤其是新产品的开发仍沿用传统的设计模式，即经验加试验模式。经过反复验证，总结成功经验，克服不足，实现优化设计的目的，这样不仅浪费大量精力、财力，而且设计周期长。目前尚未见到有关全面系统地论述化学电源优化设计方面的专著和其他有关文献，关于设计的内容大多为结合某种具体电池产品的特点而进行，缺乏对电池设计的普遍指导意义。

1991年原国家轻工业部受原国家教育委员会的委托，对郑州轻工业学院进行评估时，我们对已毕业的电化学专业学生进行调查，大部分学生反映化学电源设计在工厂用途很广，而且也是他们知识结构中的薄弱环节。另外，许多工厂的工程技术人员同样反映化学电源设计在生产中的重要性。为此，就开设了化学电源设计课程。为了适应教学、科研、生产实践的需要，作者搜集了大量的文献资料，走访了多家电池企业，于1993年编写了《化学电源设计》校内讲义。此讲义受到行业内同行的广泛关注和好评，并在1995~1996年度的《电池》杂志上以技术讲座的形式连载，共7期讲座内容。经过10余年的教学与工厂实践，作者先后与国内近百家生产不同类型电池（主要包括铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池、中性锌锰电池、碱性锌锰电池等）的企业进行交流与合作，对化学电源设计有了更深刻的认识。本书在原校内讲义的基础上，总结电池行业的相关研究成果以及作者近年来与工厂合作的经验，对教学实践的讲稿进行充实与整理编写而成。

本书以服务生产、强化工程理念为宗旨，第一，总结了具有普遍化指导意义的优化设计理念，以及设计的基本步骤，从降低原材料消耗、提高经济效益角度出发，对选材、过程控制、工艺及机械设备之间的关系、成品质量、清洁生产等方面加以概括性论述，期望达到指导生产、服务生产的目的。第二，从电池理论、优化设计角度出发，论述如何使化学电源最大限度地发挥其作用，以满足用电器具的要求，期望使本书具有理论性与普遍性。第三，结合不同电池系列的具体设计实例，论述不同系列电池的设计过程，期望使本书具有实用性。

全书共分7章，第1章主要论述了化学电源发展现状、设计现状、设计的现实意义、化学电源设计含义与分类等；第2章主要介绍了化学电源的基本组成、分

类、相关要求及基本性能等；第3章主要从设计的角度出发介绍了法拉第定律及其应用，电池热力学、动力学理论及其应用，表界面现象及其应用，电池组合原理等；第4章主要介绍了化学电源设计的终极目标与实现、设计的基本程序、设计前的准备、设计的一般步骤等；第5章主要介绍了化学电源中的隔膜、壳体材料与选择原则；第6章主要介绍常用电池（铅酸、镉镍、锌锰、锂离子等电池系列）的设计举例；第7章主要介绍电池行业的清洁生产。

全书主要由王力臻编写，其中第6章中第6.6节的内容由刘勇标编写，王力臻复核。限于编者水平有限，而且缺少一些以资参考的现成模式，所以无论在体例上，还是在内容上，都会存在值得商榷的地方，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

在此完成书稿之际，感谢为电池行业发展辛勤工作的专家教授以及行业的工程师们；感谢对于本书的编写给予过帮助的企业以及所参考引用文献的作者；感谢朱继涛、蔡洪波、方华、郭会杰等研究生在本书文字输入、编辑、绘图等方面所给予的帮助，感谢化学工业出版社的相关编辑所给予的帮助。

王力臻

2007年7月于郑州轻工业学院

《化学电源技术丛书》编委会

名誉主任 陈立泉

主 任 黄可龙

副 主 任 江志裕 马紫峰

委 员 (按姓氏汉语拼音排序)

付延鲍 郭炳焜 郭自强 何建平 黄可龙

江志裕 李文良 马紫峰 唐有根 王久林

王力臻 王先友 小泽昭弥 解晶莹 轩小朋

杨 军 杨 立 袁国辉 张虎成 郑洪河

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 化学电源发展现状	1
1.2 化学电源设计概述	2
1.2.1 化学电源设计的含义	2
1.2.2 化学电源设计分类	2
1.2.3 化学电源设计定位	3
1.2.4 化学电源设计的评价	3
1.2.5 化学电源设计的地位和作用	4
第 2 章 化学电源概述	5
2.1 化学电源的组成	5
2.1.1 电极	5
2.1.2 电解质	6
2.1.3 隔膜	7
2.1.4 外壳	7
2.2 电池的分类	8
2.3 化学电源的工作原理	8
2.4 化学电源的基本性能	9
2.4.1 原电池的电动势	9
2.4.2 电池的开路电压	10
2.4.3 电池的工作电压	10
2.4.4 电池的内阻	11
2.4.5 电池的容量	12
2.4.6 电池的能量	13
2.4.7 电池的功率	16
2.4.8 电池的贮存性能	17
2.4.9 电池的寿命	18
第 3 章 化学电源设计中的相关理论	20
3.1 化学电源中的电传导	20
3.1.1 电子导体的导电机理	21
3.1.2 电解质溶液概述	23
3.2 法拉第定律及其应用	30
3.2.1 法拉第定律	30
3.2.2 二次电池充电时的电量(流)效率——充电效率	31
3.2.3 电池放电时的电量效率——活性物质的利用率	32

3.2.4	法拉第在容量设计中的应用	32
3.2.5	法拉第定律在电池串联组合中的应用	33
3.3	电化学热力学基础	34
3.3.1	可逆电池	34
3.3.2	可逆电极	36
3.3.3	电极-pH图	39
3.4	电化学动力学基础	42
3.4.1	不可逆的电极过程	42
3.4.2	金属的阳极过程	47
3.5	电池设计中的表界面现象与应用	52
3.5.1	表界面的含义与分类	52
3.5.2	液体表面	54
3.5.3	固体表面	55
3.5.4	高分散体系的表面能	57
3.5.5	固-液界面现象	57
3.5.6	电极/溶液界面的双电层现象	60
3.6	电池组合原理	61
3.6.1	电池的串联	61
3.6.2	电池的并联	61
3.6.3	电池的复联(串并联)	62
第4章	化学电源设计过程	64
4.1	电池设计的终极目标与实现	64
4.1.1	电池设计的终极目标	64
4.1.2	电池设计终极目标的实现	64
4.2	电池设计的基本程序	65
4.2.1	综合分析	66
4.2.2	性能设计	66
4.2.3	结构设计	67
4.2.4	安全性设计	70
4.3	电池设计前的准备	70
4.3.1	材料来源	71
4.3.2	电池特性的决定因素	71
4.3.3	电池性能	82
4.3.4	工艺方面的准备	83
4.4	电池设计的一般步骤	85
4.4.1	确定组合电池中单体电池数目、工作电压和工作电流密度	85
4.4.2	计算电极总面积和电极数目	85
4.4.3	电池容量计算	85
4.4.4	计算电池正、负极活性物质的用量	86

4.4.5	电池正负极的平均厚度	87
4.4.6	隔膜材料的选择与厚度、层数的确定	88
4.4.7	电解液的浓度与用量的确定	88
4.4.8	确定电池的装配松紧度及单体电池容器尺寸	88
第5章	化学电源的隔膜及壳体材料	90
5.1	常规电池用隔膜材料	90
5.1.1	概述	90
5.1.2	铅酸电池隔板	93
5.1.3	碱性蓄电池隔膜	96
5.1.4	锂离子电池隔膜	101
5.2	化学电源的壳体材料选择	105
5.2.1	化学电源对壳体材料的基本要求	105
5.2.2	常用电池的壳体材料	107
5.2.3	选用蓄电池壳体材料的原则	110
第6章	各类电池设计举例	112
6.1	铅酸蓄电池设计	112
6.1.1	电动自行车电池设计	112
6.1.2	启动型铅酸电池设计	120
6.1.3	牵引用铅蓄电池设计	122
6.1.4	阀控式密封铅酸电池设计中的若干问题	127
6.1.5	铅蓄电池设计计算中的若干问题	142
6.2	镉镍电池设计	162
6.2.1	电池性能设计	163
6.2.2	电池结构参数设计	164
6.3	锌银电池的设计与计算	166
6.3.1	电压设计	166
6.3.2	容量设计	167
6.3.3	单体电池的结构设计	167
6.3.4	极板组厚度的计算及装配松紧度的选择	169
6.3.5	在给单体电池壳内电池结构参数的计算	170
6.3.6	电解液的设计	170
6.4	圆柱形单体镍氢电池设计	171
6.4.1	设计举例之一	171
6.4.2	设计举例之二	172
6.5	圆柱形锌锰电池设计计算中的若干问题	174
6.5.1	中性锌锰电池正负极的理论容量及其利用率	174
6.5.2	中性电池正极电芯粉的配比	176
6.5.3	纸板电池电解液的确定	183
6.5.4	碱锰电池中的若干问题	185

6.5.5	干电池的爬液及解决方法	188
6.6	锂离子电池设计	190
6.6.1	锂离子电池设计概述	190
6.6.2	影响锂离子电池设计的相关因素	190
6.6.3	锂离子电池设计关键技术	192
6.6.4	设计基本过程	198
6.6.5	软包装锂离子电池设计实例	200
第7章	电池行业的清洁生产	205
7.1	概述	205
7.2	清洁生产的含义与实施	206
7.2.1	清洁生产的含义	206
7.2.2	清洁生产的实施	207
7.2.3	电池行业清洁生产评价指标体系	207
7.3	电池生产过程中“三废”的危害与防治措施	211
7.3.1	锌锰电池系列生产过程中的“三废”危害与防治措施	211
7.3.2	铅酸电池生产过程中的“三废”危害与防治措施	213
7.3.3	镉镍、镍氢电池生产过程中的“三废”危害与防治措施	215
7.3.4	电池污染物控制的有关规定	217
参考文献	218
附录一	固定型阀控密封式铅酸蓄电池 (GB/T 19638.2—2005)	219
附录二	起动用铅酸蓄电池产品品种和规格 (GB/T 5008.2—2005)	234
附录三	起动用铅酸蓄电池技术条件 (GB/T 5008.1—2005)	237
附录四	起动用铅酸蓄电池端子的尺寸和标记 (GB/T 5008.3—2005)	246
附录五	蜂窝电话用锂离子电池总规范 (GB/T 18287—2000)	248
附录六	原电池 第I部分: 总则 (GB 8897.1—2003)	256

第 1 章 绪 论

1.1 化学电源发展现状

化学电源通常称为电池，其中包括原电池、蓄电池、贮备电池和燃料电池。当今，化学电源已广泛应用于国民经济（如信息、能源、交通运输、办公和工业自动化等方面）、人民日常生活以及卫星、载人飞船、军事武器与装备等各个领域。化学电源技术以新材料科技为基础，与环保科技相关联，与电子、电力、交通、信息产业相配套，与现代文明社会的生活相适应，特别是作为新能源和再生能源的重要组成部分，它直接关系到 21 世纪可持续发展战略的实现，因此，化学电源技术与产业已成为全球关注与致力发展的一个新热点。

近几年我国国民经济持续快速发展，人民生活水平不断提高，极大地推动了我国电池工业和电池市场的发展。2000 年 1 月 20 日，中央电视台广播了一条消息，我国年生产电池已达 140 亿只，国内年消费电池量也达到了 60 亿只，人均年消费量为 5 只，由此奠定了中国电池生产和消费大国的地位。进而随着电子信息产业，特别是移动通信、笔记本电脑、小型摄像设备等的巨大需求，我国电池工业，特别是新型、小型二次电池生产迅速崛起。随着现代社会生活质量的不断提高，对随身听、学习机、电子按摩器、助听器、美容器、电子温度计、电子血压计、电子玩具等的需求越来越多；随着环保意识的增强和石油价格的快速上涨，对电动助力车、电动摩托车、混合电动车及纯电池或燃料电池车辆的市场正在形成和逐步扩大，为其配套的新型电池将向小型、轻便、高能、无污染的方向发展。根据资料显示，中国内地的电池制造商数量超过了 3000 家，2005 年度各类电池出口数量总值为 222 亿只以上，同比增长 4%，创汇额超过 51 亿美元，同比增长 28%，中国已成为世界最大的电池生产和消费国。中国电池制造商正在更新其生产技术并更新其生产技术与生产设备以满足 20%~60% 的预期出口增长，中国也正在成为世界最大的电池进出口大国。化学电源产业在我国迅速崛起，势头必将在“十一五”持续下去。

从市场分布看，最大的电池市场在美国、日本、欧洲，约占全球电池市场的 60%。亚洲，特别是中国的电池市场有了很大增加。近几年来，全球电池产量的年均增长率约为 5%，我国约为 15%。一次电池中，碱性锌锰电池增速最快，二次电池中，普通铅酸电池和镉镍电池的增速趋缓，密封铅酸蓄电池，特别是锂离子电池的增速最快。此外，新型高能电池发展很快，例如燃料电池、电化学电容器、锌镍蓄电池、金属燃料电池等依然受到极大的重视，并不断取得技术进步。

1.2 化学电源设计概述

1.2.1 化学电源设计的含义

化学电源是一种直接把化学能转变成低压直流电能的装置，这种装置实际上是一个小的直流发电机或能量转换器。它是为用电的电器设备、仪器配套的能量供应系统。用电设备、仪器的体积和质量不一，可以大到火箭、导弹，也可以小到助听器和电子手表。从广义上说，这些用电设备、仪器统称为用电器，用电器的使用有一定的技术要求，相应地与之相配套的化学电源也有一定的技术要求。人们设计使化学电源既能发挥自己的特点，又能以较好的性能适应用电器的要求，这种寻求使化学电源能最大限度地满足用电器技术要求的过 程，被称为化学电源设计。

从化学电源设计的含义出发，化学电源设计应考虑如下问题：①用电器对化学电源的要求；②化学电源自身所具备的性能；③二者之间的关系。随着现代技术的发展，民用和军用的化学电源种类很多，各种化学电源设计有相似之处，但也有各自的特点，而且同一品种的化学电源，因规格型号、工艺方式、工装模式等的不同，又各有其自身的特点和差异。就共性的问题而言，化学电源设计需解决的主要问题是：

- ① 在允许的尺寸或质量范围内进行结构和工艺设计，使其尽可能地满足用电器具的要求；
- ② 寻找可行和尽可能简单方便的工艺；
- ③ 尽量降低成本；
- ④ 在条件允许的情况下，尽量提高产品的技术性能；
- ⑤ 尽量克服和解决环境污染的问题，以满足清洁生产的要求。

化学电源设计传统的计算方法是在过去积累的经验或实验基础上，根据要求条件进行选择 and 计算，经过进一步试验，确定合理的参数。随着电子计算机技术的发展和应 用，也为化学电源设计开辟了道路，目前已经能根据以往的经验数据编制计算程序进行设计，预计今后将进一步发展到完全用电子计算机进行设计，对缩短化学电源的研制周期有着广阔的前景。本书利用化学电源发展的新成果以及成熟的工艺技术进行论述。

1.2.2 化学电源设计分类

根据化学电源的种类，化学电源设计可分为原电池设计和蓄电池设计；同一类别的电池设计又分为单体电池设计和电池组设计。所谓的单体电池设计是指实现构成化学电源基本单元的设计过程，所谓电池组设计是指实现多个单体电池组合的设计过程。原电池设计多为单体电池设计，蓄电池设计既有单体电池设计，又包含电池组设计。原电池设计虽然多为单体电池设计，但在多数用电场合下为多只单体经过组合而被使用，如便携式手电一般为两节或三节锌锰干电池以串联形式使用。所以，无论是原电池还是蓄电池设计，都直接地或间接地包括单体电池设计和电池组

设计。

对于同一类别的电池，按照其不同的设计内容又可分为研究开发性设计、产品更新换代设计、工艺优化设计。

研究开发性设计是指为满足生产最优化的要求，从事原材料性能的确定与选择、工艺参数的优化及工艺过程的确定、电池的影响因素及其相互之间的关系等研究过程，研究开发性设计按其不同的研究阶段又分：①基础研究与设计过程，主要解决相关基础理论问题；②中试设计过程，是在基础研究与设计过程的基础上组成中试生产线，扩大研究数量和规模，发现问题并解决问题的过程。

产品更新换代设计是在原有技术的基础上通过改进某些工艺参数、工艺模式等实现产品性能提高的过程。由 R20P 替代 R20 或 R20C 的过程，密封式铅酸电池替代开口式铅酸电池的过程均属于此类设计。

性能优化设计是指对同一品种、同一规格型号的电池通过改进原材料、电池结构、工艺配方等达到提高该电池某一特征性能的过程。例如，启动型铅酸电池，通过改进负极膨胀剂、电解液配方、结构优化等实现其低温启动性能的提高，糊式锌锰电池，正极通过不同 NMD 的搭配，在电池性能不降低的情况下实现成本降低，均属于性能优化设计。在实际生产中，性能优化设计存在于每一类电池的生产中，工厂工程技术人员每年、每月、每天无时不在进行着性能优化设计过程。

1.2.3 化学电源设计定位

从广义上来说，化学电源设计定位取决于满足用电器具用电要求的程度。从满足用电程度的要求上来说，电池满足用电器具用电要求分为：尽可能地满足、最大限度地满足、一般满足。在电池生产实际中，对于用于特定用电器具的电池，在设计中应在不增加产品成本的基础上，设计出最大限度地满足用电场合要求的产品；而对于非特定的电池产品，由于用电器具的不确定性，设计应重在综合性能上。

当然，化学电源设计定位会受到工厂定位的影响，为了开拓市场，或拥有更大的市场份额，在工厂可接受的成本与利润范围内，通过增加成本的方式来提高产品的性能是设计定位中较为常见的影响因素。另外，品牌效应也是设计定位的影响因素，名牌产品价格高、利润巨大，与之相应的设计定位也要高。

1.2.4 化学电源设计的评价

化学电源设计的优劣，不同的人群有不同的评价方法。对用户而言，设计的优劣取决于产品的性价比，简单地说就是花最少的钱买到最好的电池。对于制造商而言，设计的优劣取决于物质效用的最大化和利润的最大化，简单地说就是投入产出比的最大化。通常可由生产效果中的产品均匀率、成品率、生产效率来评价。产品的均匀率是指不同时间、不同批次、同一批次不同电池之间的均匀性，它主要反映工装稳定性。同一天或同一批次的电池实现均匀性易，不同生产环境（如温度的变化）、不同批次电池间实现均匀性难。产品的均匀性会影响到市场的稳定性，不均匀的产品性能，会影响到消费者的消费心理，从而导致市场的波动。成品率是指生

产出的合格电池占投入应生产合格电池总量的百分数。主要反映投料的物质效用问题，成品率越高，单只电池的综合成本越低，利润就越高，反之，利润越低。生产效率是指单位时间内电池产品的生产数量，主要反映工装设备的能力，生产效率越高，在保证均匀率和成品率的前提下，电池产品综合成本越低，反之，则越高。

应当指出，在考虑物质效用及利润的前提下，仅从电池性能的优劣来评价电池设计的优劣是不全面的。在后工业时代，为满足特定场合用电或具有较大利润空间的前提下，为抢占市场或培育市场，设计速度是第一位的，设计完美程度是第二位的。

1.2.5 化学电源设计的地位和作用

随着现代科学技术的发展，一些新兴的用电器对化学电源的各项性能指标的要求越来越高，而我国大多数电源生产厂家无论从生产工艺技术水平，还是从生产线机械化或自动化程度与国外厂家仍存在一定差距，目前化学电源设计与生产的性能指标、参数确定主要是靠经验上反复地实践来完成的，不仅浪费人力、物力，而且浪费时间，效率较低。本书的主要目的就是使从事化学电源专业的人员能够掌握优化电池性能、节约成本、便于生产、提高效率、保护环境等方面必要的基本知识。

化学电源设计是许多理论和实际知识的综合利用。化学电源设计基础的相关知识有：物理化学、电极过程动力学、化学电源工艺学、电工学、机械制图、机械工程、高分子材料在电化学电源中应用、金属学、金属热处理技术、金属腐蚀理论等。

化学电源设计人员要从实际情况出发，要调查研究，要广泛吸取用户和工艺人员的意见，在设计加工过程中及时发现问题、解决问题，反复调整和完善设计内容，以期取得最优化的设计效果，并从中积累设计经验。

第2章 化学电源概述

2.1 化学电源的组成

化学电源在实现能量转换过程中必须具备以下条件：

① 组成电池的两个电极进行氧化还原反应的过程中，必须分别在两个分开的区域进行，它有别于一般的氧化还原反应；

② 两个电极的活性物质进行氧化还原反应时，所需要的电子必须有外电路传递，这有别于腐蚀过程的微电池反应。

为了满足以上条件，不管电池是什么系列、形状、大小，均由以下四部分组成：电极（分为正极和负极）、电解质（液）、隔离物（隔膜）、外壳，常称为电池构成的四要素。

2.1.1 电极

电极是电池的核心，由活性物质和导电骨架组成，正负极活性物质是产生电能的源泉，是决定电池基本特征的重要部分，活性物质是正负极参加成流反应的物质，放电时能通过化学反应产生电能的电极材料。导电骨架常称为导电集流体，起着传导电流、均分电极表面电流电位的作用，有的集流体还起着支撑和保持活性物质的作用，如用于铅酸电池的板栅和用于镍氢电池的发泡镍集流体等。

电极活性物质的状态分为固态、液态、气态三种，不同电池所选用的物态不同，以适应不同的设计要求。一般情况下，大多数电池系列选用固态活性物质，因为它具有体积比容量大、活性物质易保持、便于生产、两极之间只需一般隔膜隔离就可以防止两极活性物质短路等优点。液态与气态活性物质，一般用于燃料电池中，平时这种活性物质保持在电池外面，只有在电池工作时，由外部连续地给电池供应活性物质，就能够保持电极反应的正常进行。

对活性物质的要求：

① 组成电池的电动势高，即正极活性物质的标准电极电位愈正，负极活性物质标准电极电位愈负，这样组成的电池电动势愈高；

② 活性物质具有电化学活性，希望活性物质自发的反应能力越强越好；

③ 质量比容量和体积比容量要大；

④ 活性物质在电解液中化学稳定性要高（且具有不溶性），以减少电池贮存过程中的自放电，从而提高电池的贮存性能；

⑤ 有高的电子导电性，以降低电池内阻；

⑥ 物质来源广泛，价格便宜。

在实际使用中,如何选择活性物质是个关键问题,主要考虑活性物质的能量、性能可靠性、经济性,具体选择时,应根据理论和实践两方面结合起来考虑,理论方面又要根据能量和容量两方面来综合考虑。

电池电动势越高,电池给出的能量就越大,在元素周期表中,各元素的电极电位有规律地变化,表左侧第 I, II 族元素(如 Li, Na, K, Rh),标准电极电位最负,理论上做负极最好,周期表中右侧元素,第 VI, VII 主族元素(如 F, Cl, Br)其标准电极电位最正,理论上做正极最好,由这两部分元素分别组成的电化学可逆电池,电动势最高,也给出高能量,如 Li(锂), $\varphi_{\text{Li}^+/\text{Li}}^\ominus = -3.03\text{V}$; F_2 (氟), $\varphi_{\text{F}^-/\text{F}_2}^\ominus = 2.866\text{V}$,组成的锂氟电池的标准电动势: $E^\ominus = \varphi_{\text{F}^-/\text{F}_2}^\ominus - \varphi_{\text{Li}^+/\text{Li}}^\ominus = 5.896\text{V}$,这是化学电池标准电动势的顶峰,但是受到制造工艺的限制,很难做成实用的电池。因为标准电极电位最负的一些碱金属在水溶液中不稳定,自发地进行反应,这些金属只能存在于非水溶液中,氟又是强氧化剂,不易贮存和控制,因此这种电池很难做成。又如用金或金的化合物做正极材料,钾做负极材料,组成电池的标准电动势:

$$E^\ominus = \varphi_{\text{K}^+/\text{K}}^\ominus - \varphi_{\text{Au}^+/\text{Au}}^\ominus = 1.39 - (-2.923) = 4.31 (\text{V})$$

理论上电动势也很高,但是钾和锂同样在水溶液中不稳定,而金又是贵金属,价格昂贵,所以作为电极材料均不现实。

电化当量[指电极上通过单位电量(例如 $1\text{A}\cdot\text{h}$)时电极反应所需反应物的理论质量,通常以“ $\text{g}/(\text{A}\cdot\text{h})$ ”表示]小的元素可供出大的容量,电化当量越小的元素也是周期表中第 I, II 主族元素,同样也存在以上缺点,所以电动势和电化当量都不是选择活性物质的唯一决定性条件。还要根据实用来选择活性物质,但是全部满足所有要求是很困难的,一般根据电池性能、用途、经济性、可靠性等来选择不同的电化学对,组成不同系列的电池,目前用作电池的正极活性物质是以金属氧化物为主体,如氧化镍、二氧化铅、二氧化锰、氧化银、钴锂氧化物等,负极活性物质多为金属,如镉、铅、锂、锌等,实用的一次电池除新型锂电池负极用锂外,几乎所有的负极全部用锌。近年来,发展起来的镍氢电池、锂离子电池丰富了电池正负极材料的种类。

2.1.2 电解质

电解质是电池的主要组成之一,是具有高离子导电性的物质,在电池内部起到传递正负极之间电荷的作用,有时电解质也参与成流反应(如铅酸电池中的硫酸)。为了使用方便,电解质多用水溶液,故称之为电解质溶液。因此,要求正极活性物质的氧化能力和负极活性物质的还原能力均应比水的氧化、还原能力要强,因为水可部分地电离成 H^+ 和 OH^- 形式。

电解质应具备以下条件。

① 稳定性强:因为电解质长期保存在电池内部,所以必须具有稳定的化学性