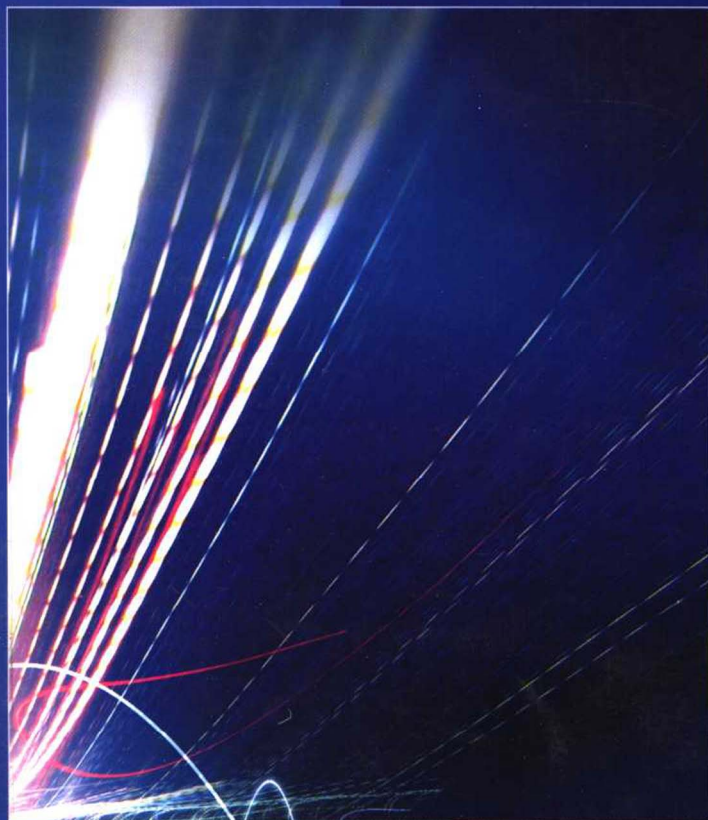


现代电力电子技术丛书

充电器 电路设计与应用

周志敏 周纪海 纪爱华 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代电力电子应用技术丛书

充电器电路设计与应用

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

充电器电路设计与应用/周志敏, 周纪海, 纪爱华编著. —北京: 人民邮电出版社, 2005. 10
(现代电力电子应用技术丛书)

ISBN 7-115-13899-0

I. 充... II. ①周... ②周... ③纪... III. 充电器—电路设计 IV. TM910.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 075777 号

内 容 提 要

充电器是采用电力电子半导体器件, 将电压和频率固定不变的交流电变换为直流电的一种静止变流装置。在以蓄电池为工作电源或备用电源的用电场合, 充电器具有广泛的应用前景。本书结合充电器的普及与应用, 系统地介绍了二次电池的分类及应用、阀控密封铅酸蓄电池充电器、阀控密封铅酸蓄电池的测试与监测、镉镍电池充电器、镍氢电池充电器、锂离子电池充电器、便携式电子设备锂离子电池充电器、锂离子电池保护电路多功能充电器、电动车蓄电池充电器等。本书在写作上把蓄电池、充电器的基础理论知识与充电器的实用电路有机地结合起来, 深入浅出地阐述了蓄电池、充电器的技术特性和典型实用充电器电路。

本书文字通俗、内容新颖、突出重点、注重实用, 可供交通、电信、航天、信息、电视传输、家用电器等行业从事充电器设计与应用的工程技术人员和高等院校相关专业的师生阅读参考。

现代电力电子应用技术丛书

充电器电路设计与应用

-
- ◆ 编 著 周志敏 周纪海 纪爱华
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20
字数: 499 千字 2005 年 10 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13899-0/TN · 2585

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

丛书前言

电力电子学(或电力电子技术)的理论是建立在电子学、电力学和控制学三个学科基础之上的。起初它被认为是介于电子学、电力学与控制学之间的边缘学科,但是随着电力电子技术的不断发展,它已成为一个涉及领域广阔的学科,可以说凡是涉及到电能应用的场合便有其用武之地。时至今日,它不仅已发展成为高科技的一个分支,而且还是许多高科技的支撑。

电力电子技术之所以和“电力”二字相关联,是因为最初它的应用范围主要是在电气工程和电力系统中,对市电或强电进行控制与变换。其作用就是根据负荷或负载的特殊要求,对市电、强电进行各种形式的变换(主要是频率的变换),以使电气设备得到最佳的电能供给,使电力系统处于最佳的运行状态,从而使电气设备和电力系统实现高效、安全、经济地运行。电力电子技术发展到今天,它不仅仅只涉及到“电力”的变换与应用,而且也涉及到化学能电源(电池)、太阳能电池电能的变换与应用。虽然已突破了当初单纯“电力”的界限,但仍然是在功率变换的范围内。仅就电力电子技术本身而言,它主要包括两个方面,即电力半导体器件制造技术和电力半导体变流技术。前者是电力电子技术的基础,后者是电力电子技术的核心。二者相互依存、相互促进,使得电力电子技术发展的势头一浪高过一浪,使其在科技进步和经济建设中也发挥着越来越重要的作用。

目前电力电子技术已经成为新世纪应用最广泛和最受关注的技术之一。发达国家对电力电子器件的研制和电力电子技术的创新十分重视,并且投入了大量的人力、物力和财力,形成了具有一定规模的产业,而我国与发达国家相比在技术和产业规模上都还有较大差距。为此,我们特组织有关专家、学者和技术人员编写了《现代电力电子应用技术丛书》,目的在于介绍目前国内外电力电子领域内的新器件、新产品、新工艺、新技术和新方法,推广和普及电力电子技术的应用。本丛书在编写时力求实用性和先进性并举,希望本套丛书的出版能够解决电力电子技术应用中的一些实际问题,促进电力电子技术的发展和广泛应用。

本套丛书主要包括《IGBT 和 IPM 模块应用电路》、《开关电源功率因数校正电路设计与应用》、《现代开关电源控制电路设计及应用》和《充电器电路设计与应用》等,将陆续出版,恳请广大读者批评指正。

本套丛书题材新颖实用,内容丰富,文字通俗,具有较高的实用价值,可供电力、工控、电信、信息、航天、军事及家电等领域的工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生阅读参考。

前 言

社会信息化进程的加快对电力、信息系统的安全稳定运行提出了更高的要求。在人们的生产、生活中,各种电气、电子设备的应用也越来越广泛,与人们的工作、生活的关系日益密切,越来越多的工业生产、控制、信息等重要数据都要由电子信息系统来处理和存储。而各种用电设备都离不开可靠的电源,如果在工作中间电源突然中断,人们的生产和生活都将受到不可估量的经济损失。

对于由交流供电的用电设备,为了避免出现上述不利情况,必须设计一种电源系统,它能不间断地为人们的生产和生活提供以安全和操作为目的可靠的备用电源。为此,以安全和操作为目的的备用电源设备上都使用蓄电池。这样,即使电力网停电,也可利用由蓄电池构成的安全和操作备用电源,从容地采用其他应急手段,避免重大损失的发生。而对于采用蓄电池供电的用电设备,从生产、信息、供电安全角度来说,蓄电池在系统中处于极其重要的地位。充电器是为蓄电池补充能源的静止变流装置,其性能的优劣直接关系到整个用电系统的安全性和可靠性指标。

本书从蓄电池技术特性、蓄电池充电技术、充电器电路结构、充电器典型电路、电池保护和电源管理、电动车蓄电池充电器等方面,多角度地讲述了充电技术发展和应用。希望本书的出版发行能对国内蓄电池充电技术的应用和产品开发具有一定的指导意义。

本书在写作过程中无论是在资料的收集上还是在技术信息的交流上,都得到了国内专业学者和同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促以及本人写作水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 二次电池的分类及应用	1
1.1.1 二次电池的分类	1
1.1.2 二次电池的生产和应用	7
1.2 电池的充电方法与充电器	8
1.2.1 电池的充电方法	8
1.2.2 充电器的辅助电路	11
1.2.3 脉冲充电技术	12
第 2 章 阀控密封铅酸蓄电池充电器	14
2.1 铅酸蓄电池的工作原理与特性	14
2.1.1 铅酸蓄电池的工作原理及特点	14
2.1.2 阀控密封铅酸蓄电池的特性	18
2.2 阀控密封铅酸蓄电池的特点和使用寿命	21
2.2.1 阀控密封铅酸蓄电池的特点	21
2.2.2 影响阀控密封铅酸蓄电池使用寿命的因素	22
2.2.3 早期容量损失	25
2.2.4 板栅腐蚀及自放电	25
2.2.5 两类阀控密封铅酸蓄电池的比较	26
2.3 阀控密封铅酸蓄电池组的均匀性及一致性	30
2.3.1 阀控密封铅酸蓄电池组的均匀性	30
2.3.2 阀控密封铅酸蓄电池容量的一致性	33
2.4 阀控密封铅酸蓄电池的充放电控制技术	35
2.4.1 阀控密封铅酸蓄电池的充电特性	35
2.4.2 阀控密封铅酸蓄电池的放电特性和放电要求	40
2.5 阀控密封铅酸蓄电池温度补偿技术	42
2.6 阀控密封铅酸蓄电池充电技术	44
2.6.1 阀控密封铅酸蓄电池充电控制技术	44
2.6.2 阀控密封铅酸蓄电池快速充电方法	46
2.7 阀控密封铅酸蓄电池充电器	49
2.7.1 基于 UC3906 专用芯片的充电器	49
2.7.2 自动充放电控制器	51
2.7.3 大功率充电器分布系统	54
第 3 章 阀控密封铅酸蓄电池的测试与监测	61
3.1 阀控密封铅酸蓄电池的测试	61

3.1.1	阀控密封铅酸蓄电池的测试项目及方法	61
3.1.2	阀控密封铅酸蓄电池内部阻抗的检测方法	64
3.1.3	虚拟阀控密封铅酸蓄电池测试系统	71
3.2	阀控密封铅酸蓄电池的监测	75
3.2.1	阀控密封铅酸蓄电池监测技术	75
3.2.2	X9241 的工作原理和接口电路	77
3.2.3	阀控密封铅酸蓄电池巡检电路及应用软件	80
3.2.4	阀控密封铅酸蓄电池组智能监测仪	86
3.2.5	智能阀控密封铅酸蓄电池系统与 PC 机的通信接口	90
3.2.6	阀控密封铅酸蓄电池在线容量的监测	94
第 4 章	镉镍电池充电器	98
4.1	镉镍电池	98
4.1.1	镉镍电池的结构、特性和参数	98
4.1.2	镉镍电池的工作原理	100
4.2	镉镍电池充电器	105
4.2.1	镉镍电池自动充放电器	105
4.2.2	新型镉镍电池充电器	106
4.2.3	简单镉镍电池充电器	107
4.3	智能型镉镍电池充电器	111
第 5 章	镍氢电池充电器	117
5.1	镍氢电池	117
5.1.1	镍氢电池的工作原理及特性	117
5.1.2	影响镍氢电池性能的因素	121
5.2	镍氢电池充电器电路	125
5.2.1	MAX712/ MAX713 及其应用	125
5.2.2	AIC1783 应用电路	134
第 6 章	锂离子电池充电器	139
6.1	锂离子电池	139
6.1.1	概述	139
6.1.2	聚合物锂离子电池的结构	141
6.1.3	锂离子电池的性能	142
6.2	锂离子电池充电器	144
6.2.1	小电流精准锂离子电池充电器	144
6.2.2	BQ2057 充电芯片的应用	151
6.2.3	降低线性锂离子电池充电器的功耗方法	154
6.2.4	MAX1679/MAX1736 应用电路	156
6.3	高性能锂离子电池充电器	158

6.3.1	DS2762 锂离子电池监测芯片的应用	158
6.3.2	由 MAX846A 构成的锂离子电池充电器	162
6.3.3	AAT3680 应用电路	165
6.3.4	TWL2213 锂离子电池管理与充电控制器的应用	168
6.3.5	LTC1732 线性锂离子电池充电控制器的应用	175
6.3.6	M62253FP 锂离子电池充电控制器的应用	177
第 7 章	便携式电子设备锂离子电池充电器	181
7.1	便携式电子设备充电技术	181
7.1.1	便携式电子设备中锂离子电池的管理	181
7.1.2	锂离子电池供电的便携式电子产品电源解决方案	183
7.1.3	开关型充电器在便携式电子产品中的应用	188
7.2	手机充电器的应用电路	193
7.2.1	智能手机电源管理系统	193
7.2.2	手机充电器应用电路	198
7.3	笔记本电脑充电器	206
7.3.1	LTC4008 电池充电控制器	206
7.3.2	BQ2400× 电池充电控制器与选择器的应用	210
7.3.3	USB 接口充电器方案	217
第 8 章	锂离子电池保护电路	219
8.1	锂离子电池集成保护电路	219
8.1.1	锂离子电池集成保护电路的基本功能和工作原理	219
8.1.2	充电器集成电路内的热调节功能	223
8.2	电源保护元件 PTC	225
8.2.1	高分子 PTC 热敏电阻	225
8.2.2	PTC 元件的应用	231
8.3	锂离子电池集成保护电路	233
8.3.1	锂离子电池集成保护电路的特性	233
8.3.2	AIC1811 单节锂离子电池保护器	238
8.3.3	锂离子电池监控器	240
8.3.4	BQ2058T/X 锂离子电池组充放电保护器	241
8.3.5	锂离子电池保护器 MAX1894/MAX1924 的应用	246
第 9 章	多功能充电器	251
9.1	集成充电控制器应用电路	251
9.1.1	MAX2003A 的快速充电器电路	251
9.1.2	LT1769 恒流/恒压电池充电芯片应用电路	256
9.1.3	MAX1501 充电芯片应用电路	260
9.1.4	UBA2008 充电芯片的典型应用电路	261

9.1.5	ST6210 充电芯片典型应用电路	264
9.1.6	DS2770 充电器芯片的应用电路	266
9.2	多功能充电器	270
9.2.1	采用 ST72 单片机的快速充电系统	270
9.2.2	分立器件的多功能充电器	273
9.2.3	基于 SM-BUS 的智能电池系统	277
第 10 章	电动车蓄电池与充电器	282
10.1	电动车 VRLA 蓄电池	282
10.1.1	电动车 VRLA 蓄电池的研究现状与发展目标	282
10.1.2	电动车 VRLA 蓄电池容量和寿命之间的关系	284
10.1.3	电动车用蓄电池的发展趋势	285
10.2	电动车充电器	290
10.2.1	单级功率因数校正器	290
10.2.2	变换器拓扑结构	297
10.3	电动车能量管理系统	301
10.3.1	DS2438 电动车能量管理系统	301
10.3.2	基于 CAN 总线的分布式电池管理系统	302
参考文献		309

第 1 章 概 述

1.1 二次电池的分类及应用

电池是一种化学电源,是通过能量转换而获取电能的器件。化学电源是在氧化还原的电气过程中将化学能转化为电能的。一次电池是一次性应用的电池,二次电池是可多次反复使用的电池,因此这里的二次实际上是多次的意思。二次电池又称为可充电电池或蓄电池。如无特别说明,下文中提到的电池多指二次电池。

化学电源主要由正极、负极和电解质构成。二次电池工作时,正极和负极发生的反应均为可逆反应,因此二次电池使用后,可用充电器对其进行充电,使电池两个电极的活性物质恢复到初态,从而使电池具有再次放电的能量。二次电池的重要特征就是反复充放电。

当对二次电池充电时,电能转变为化学能储存在电池中,同时伴随放热过程。二次电池工作时,化学能转变为电能,实现向负荷供电,伴随吸热过程。虽然电池反应总带有热量传输,但在实际的电池反应式中往往省略热量变化,因为在二次电池的充放电过程中关心的是物质组成的变化。

1.1.1 二次电池的分类

对于二次电池,其性能参数很多,主要有以下 4 个指标:

- ① 工作电压:电池放电曲线上的平台电压。
- ② 电池容量:常用单位为安时(Ah)和毫安时(mAh)。
- ③ 工作温区:电池正常放电的温度范围。
- ④ 循环寿命:电池正常工作的充、放电次数。

二次电池的性能可由电池特性曲线表示,这些特性曲线包括充电曲线、放电曲线、充放电循环曲线、温度曲线和储存曲线。二次电池的安全性可用特定的安全检测方式进行评估。

二次电池能够反复运用,符合经济实用原则,这是二次电池的最大优点,自然人们最青睐二次电池。对于二次电池的种类,就目前市场上主流产品而言,有 4 类电池,即铅酸(LA)电池、镉镍(NiCd)电池、镍氢(NiMH)电池和锂离子(Li-ion)电池。

1. 铅酸电池

铅酸电池历史最悠久,目前应用依然十分广泛。铅酸电池由普兰特(Plante)于 1859 年发明,至今已有 140 多年的历史。100 多年来,铅酸电池的工艺、结构、生产、性能和应用都在不断发展,科学技术的发展给古老的铅酸电池带来了蓬勃的生机。

铅酸电池通过极板化成,在正极板上生成二氧化铅,在负极板上生成海绵状铅。在硫酸

电解液中, 正极电位为 1.682V, 负极电位为 -0.395V (对于单格电压为 2V 的铅酸电池), 因而这种电池的电动势是 2.077V。

铅酸电池放电工作电压较平稳, 既可以小电流放电, 也可以很大的电流放电; 工作温度范围宽, 可在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ 范围中工作。这种电池技术成熟, 成本低廉, 跟随负荷输出特性好, 因此至今仍不失为蓄电池中的重要产品。但这种电池也有明显缺点, 例如重量大, 质量比能量低, 需要维护, 充电速度慢。

铅酸电池技术在近代有了重大变革, 性能有了极大飞跃, 主要标志是 20 世纪 70 年代发展的阀控密封铅酸电池 (VRLA)。美国 Gates 首创了全密封结构的超细玻璃纤维吸液式铅酸电池, 从而发展为阀控密封免维护铅酸电池。近十年来, 又出现了双极性密封铅酸电池和水平式电极密封铅酸电池。在双极性密封铅酸电池中引入强力薄板两侧为正、负活性物质的双极性电极, 使其内阻大幅度降低, 从而大大提高了比能量和充电速度。这种铅酸电池具有能量高、成本最低、寿命最长 (10 年)、容量更大 (是普通铅酸电池的两倍)、不漏液、安全、无污染、可回收、免维护、使用方便等特点。对于新发展的双极性密封铅酸电池和水平式铅酸电池, C/3 放电比能量不小于 50Wh/kg, 显示了优良的性能。

2. 镉镍电池

1899 年瑞典人杨格纳 (Jiinger) 发明了镉镍电池, 至今也有 100 多年的历史了。镉镍电池也是一种历史悠久和应用广泛的二次电池。德国的 Varta 公司是世界上第一个生产镉镍二次电池的厂家。

镉镍电池的电极板使用孔隙性镍烧结板或泡沫镍, 正极镍板浸渗 $\text{Ni}(\text{OH})_2$, 负极镍板浸渗或涂布 $\text{Cd}(\text{OH})_2$, 电解液多数为 30%~40% 的 KOH 水溶液。正极电位为 +0.52V, 负极电位为 -0.809V (对于单格电压为 1.2V 的镉镍电池), 因此镉镍电池的电动势为 1.329V。

镉镍电池的工作电压为 1.2V 左右, 具有优良的大电流放电性能, 可在 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内工作。与铅酸电池相反, 这种电池的过充电性能好, 可靠性高。类似的碱溶液二次电池还有铁镍电池、锌镍电池、锌银电池、镉银电池等, 这类电池具有充放电次数多、工作寿命长、长期不用也不影响寿命、可靠耐久、容易使用等特点, 因而有很大的产量和应用市场。总之, 镉镍电池最大的优点是稳定耐用, 缺点是镉较贵和污染环境。

镉镍电池种类繁多, 有放置用大型镉镍电池 (其容量多数在 20Ah 以上) 和小型密封式镉镍电池。容量在 6Ah 以下、0.5Ah 以上的镉镍电池为圆柱形和扁平形, 0.5Ah 以下的为纽扣式电池。日本三洋公司生产的容量从 40mAh 到 2000mAh 不等的 95 种型号的镉镍电池, 按用途可分为 8 类: 一般用 (标准型) 电池、高容量 (E 型) 电池、快速充电用 (R 型) 电池、高温用 (H 型) 电池、耐热用 (K 型) 电池、长寿命 (C 型) 电池、保护记忆用 (S 型) 电池和扁平形 (KF 型) 电池。典型的标准型电池为 AA 型, 其容量为 600mAh, 尺寸为 $14.2\text{mm} \times 50.5\text{mm}$, 重量为 23g, 内阻为 $12\text{m}\Omega$ 。AAA 型电池的容量为 250mAh, 尺寸为 $10.5\text{mm} \times 44.5\text{mm}$, 重量为 11g, 内阻为 24Ω 。在 20 世纪 60 年代, 密封式镉镍电池因具有大功率放电特性而用于导弹、火箭以及人造卫星能源系统。

镉镍电池正极板上的活性物质由氧化镍粉和石墨粉组成, 石墨不参加化学反应, 其主要作用是增强导电性; 负极板上的活性物质由氧化镉粉和氧化铁粉组成, 氧化铁粉的作用是使氧化镉粉有较高的扩散性, 防止结块, 并增加极板的容量。活性物质分别包在穿孔钢带中,

加压成型后即成为电池的正、负极板。极板间用耐碱的硬橡胶绝缘棍或带孔的聚氯乙烯瓦楞板隔开。电解液通常用氢氧化钾溶液。与其他电池相比，镉镍电池的自放电率（即电池不使用时失去电荷的速率）适中。镉镍电池在使用过程中，如果放电不完全就再次充电，那么在下次再放电时就不能放出全部电量。比如，镉镍电池放出 80% 的电量后再充足电，则在下一步的使用中该电池只能放出 80% 的电量。这就是镉镍电池所谓的记忆效应。当然，几次完整的放电/充电循环将使镉镍电池恢复正常工作。由于镉镍电池具有记忆效应，因此，若镉镍电池未完全放电，则应在充电前将每节电池放电至 1V 以下。

3. 镍氢电池

镍氢电池是才生产了几年的新电池，又称为储氢电池。20 世纪 70 年代，荷兰飞利浦实验室在研究第一代稀土永磁合金时，试验了 LaNi_5 的磁性能，竟意外地发现其有很好的储氢性能，但深入研究发现储氢合金不适用于电池，因为其平衡压太高，循环寿命太短。进一步研究和改进发现，这些缺点都可克服，从而为发展储氢电池奠定了技术基础。20 世纪 80 年代末，已找到了适用于电池的储氢合金，典型材料为 $\text{MmNi}_{3.55}\text{Co}_{0.75}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}$ ，这里的 Mm 为混合稀土，应用混合稀土替代镧，有利于降低成本。用储氢合金替代镉镍电池中的镍电极，由此形成镍氢电池。镍氢电池和镉镍电池具有相同的工作电压（1.2V），因此这两种电池在应用中有着良好的互换性。

镍氢电池的能量高，为镉镍电池的 1.8~2 倍，为铅酸电池的 3 倍。镍氢电池具有良好的充放电性能，可随充随放、快充深放，无记忆效应，不含镉、铅、汞等有害物质，对环境无污染，被称为绿色电池。

用于镍氢电池的储氢材料有两大类：一类为 AB5 系列，日本的松下公司、三洋公司以及荷兰的飞利浦公司和我国都采用这种材料；另一类为 AB2 系列，美国的 Ovonic 公司、Gates 公司以及德国的 Varta 公司等使用这种材料。通过对储氢合金的组成、制备工艺、电极改性、电极成型工艺等的研究，镍氢电池的性能不断得以提高。

镍氢电池与镉镍电池类似，多种多样，有方形蓄电池组（作为动力电池用，其容量为 10~20Ah），有圆柱形和扁平形的小型电池，也有纽扣式电池。日本三洋公司生产的 AA 型镍氢电池的容量为 1100mAh，尺寸为 14.2mm×50.0mm，重量为 27g；AAA 型的容量为 650mAh，尺寸为 10.5mm×44.5mm，重量为 13g。

镍氢电池的正极板材料为 NiOOH ，负极板材料为吸氢合金，电解液通常用 30% 的 KOH 水溶液，并加入少量的 NiOH 。隔膜采用多孔维尼纶无纺布或尼龙无纺布等。

镍氢电池具有较好的低温放电特性，即使在 -20℃ 环境温度下，采用大电流（以 1C 放电速率）放电，放出的电量也能达到标称容量的 85% 以上。但是，在高温（+40℃ 以上）时，这种电池的蓄电容量将下降 5%~10%。这种由于自放电（温度越高，自放电率越大）而引起的容量损失是可逆的，通过几次充放电循环就能恢复到最大容量。

镉镍电池和镍氢电池的充电过程非常相似，都要求恒流充电，两者的差别主要在快速充电时为防止电池过充电而采用的检测方法上。充电器对电池进行恒流充电，同时检测电池的电压和其他参数。当电池电压缓慢上升达到某个峰值时，镍氢电池的快速充电过程终止；而对于镉镍电池来说，则当电池电压第一次下降 $-\Delta V$ 时终止快速充电过程。为避免损坏电池，电池温度过低时不能进行快速充电。电池温度低于 10℃ 时，应采用涓流充电方式给电池充电。待电池温度一旦达到规定数值后，必须立即停止涓流充电而进入快速充电阶段。

4. 锂离子电池

锂离子电池是继镍氢电池后研发的一种新型二次电池。锂位于元素周期表中第一族主族的第一位，是金属中最轻的元素，有最负的标准电位，组成的电池能量密度大、电压高。1962年 Boston 电化学会上最初提出锂非水性二次电池，这因为锂同水容易发生析氢反应，必须使用不能被锂还原的非水溶剂，即使用非质子性的稳定溶剂。后来随着嵌入化合物化学的发展，1976年开始研究锂对石墨的电化学嵌入，1980年开始研究 LiCoO_2 和 LiNiO_2 层状化合物，同年意大利科学家提出了嵌入离子的摇椅概念。终于在 20 世纪 90 年代初，Sony 公司采用碳材料作负电极、锂钴氧化物作正电极和含锂盐的有机溶剂为电解质，开发出了第一代锂二次电池，即锂离子电池或摇椅电池。这种电池充电时锂离子从正极脱出而嵌入负极，放电时过程相反，锂离子从负极脱出嵌入正极。这种电池的工作模式是锂离子在正、负电极中作摇椅式来回运动。

锂离子电池的负极电位相对锂电极为正，正极电位为 4.0V。该电池的工作电压高，约为 3.6V。高电压是锂离子电池最主要的优点，一个锂离子电池的端电压相当于 3 个镍氢电池或镉镍电池串联后的端电压，但对于便携式设备的应用来说这是个缺点，因为笔记本电脑的芯片、手机芯片的电源电压趋于下降，这将挑战 3.6V 锂离子电池的应用。锂离子电池有较高的比能量，为镍氢电池的 1.5 倍和铅酸电池的 3 倍，放电曲线平稳，自放电率低，循环寿命长，与镍氢电池一样，无记忆效应，无污染，也被称为绿色电池。

锂离子电池采用卷绕式结构，盖体设计复杂，功能性多，强化了安全保护。这种高比能量电池必须经过规范的安全检测评估。镍氢和镉镍电池的电解液是水溶液，而锂离子电池必须用非水性电解液，其电导率低得多，因此电极要大大减薄，制备又薄又长的正负电极，要有着不同的电极制备工艺。锂离子电池同样有圆柱式、扁平式、纽扣式和动力用电池组等类型。Sony 公司生产的 14500 电池的容量为 500mAh，尺寸为 $14.3\text{mm} \times 50.4\text{mm}$ ，重量为 19g；18650 电池的容量为 1350mAh，尺寸为 $18.4\text{mm} \times 64.9\text{mm}$ ，重量为 40g。

锂离子电池能够很好地配合电子产品小型化、袖珍化的发展方向，以满足手机和笔记本电脑又薄又轻的要求，三洋超薄电池的厚度仅为 4mm，重量比能量为 160Wh/kg，体积比能量为 360Wh/L。

最近发展的聚合物锂离子电池被称为第二代锂离子电池，由于采用导电聚合物电解质和特别的流延工艺，容易制备特别薄的和不同形状的电池。美国和日本先后宣布开始聚合物锂离子电池的生产。松下公司生产的聚合物锂离子电池的容量为 600mAh，尺寸为 $3.6\text{mm} \times 35\text{mm} \times 62\text{mm}$ （扁平式），重量为 15g。

用 LiCoO_2 复合金属氧化物在铝板上形成阳极，用锂碳化合物在铜板上形成阴极，极板间插入带有亚微米级微孔的聚烯烃薄膜隔板，电解液为有机溶剂。为避免因使用不当而造成电池损坏，在锂离子电池内设有以下 3 种安全机构：

① 正温度系数元件（PTC）。当电池内的温度过高时，PTC 的阻值随之上升，会自动将阴极引线与阴极之间的电路切断。

② 特殊材料的隔板。当电池内温度上升到一定数值时，隔板上的微孔会自动溶解掉，从而使电池内的反应停止。

③ 安全阀。当电池内部压力升高到一定数值时，安全阀将自动打开。

锂离子电池易受到过充电、深放电以及短路的损害。单体锂离子电池的充电电压必须严

格限制。充电速率（蓄电池的充电电流通常用充电速率 C 表示， C 为蓄电池的额定容量，例如用 2A 电流对 1Ah 电池充电，充电速率就是 $2C$ ；同样地，用 2A 电流对 500mAh 电池充电，充电速率就是 $4C$ ）通常不超过 $1C$ ，最低放电电压为 2.7~3.0V，如再继续放电，则会损坏电池。锂离子电池以恒流转恒压方式进行充电。采用 $1C$ 充电速率充电至 4.1V 时，充电器应立即转入恒压充电，充电电流逐渐减小；当电池充足电后，进入涓流充电过程。为避免过充电或过放电，锂离子电池不仅在内部设有安全机构，充电器也必须采取安全保护措施，以监测锂离子电池的充放电状态。

5. 二次电池性能比较

铅酸、镉镍、镍氢和锂离子电池的性能比较见表 1-1。

表 1-1 铅酸、镉镍、镍氢和锂离子电池的性能比较

电池类型	工作电压 (V)	重量比能量 (Wh/kg)	体积比能量 (Wh/L)	循环次数	记忆效应	自放电率 (%/月)
铅酸电池	2.0	—	—	400~600	无	3
镉镍电池	1.2	50	150	400~500	有	15~30
镍氢电池	1.2	60~80	240~300	>500	无	25~35
锂离子电池	3.6	120~140	300	>1000	无	2~5

随着新材料、新工艺的出现，更为先进耐用的可再充电电池也在不断出现。国外最新开发的固态聚合物（电解质）锂离子电池、锂金属电池，不仅解决了漏液问题，而且电池的容量更大，体积更小，更为安全可靠，它们必将成为极有潜力的新一代二次电池产品。

6. 镍氢、镉镍电池与锂离子电池的差异

(1) 重量方面

以每一个单元电池的电压来看，镍氢电池与镍镉电池都是 1.2V，而锂离子电池为 3.6V，锂离子电池的电压是镍氢、镉镍电池的 3 倍。并且，同型电池的重量锂离子电池与镉镍电池几乎相等，而镍氢电池却比较重。但锂离子电池因端电压为 3.6V，在输出同等电压的情况下，单个电池组合时数目可减少 2/3，从而使成型后的电池组重量和体积都减小。

(2) 记忆效应

镉镍电池有记忆效应，因此定期的放电管理是必需的。这种定期放电管理属于模糊状态下的被动管理，甚至是在镉镍电池荷电量不确切的情况下进行放电（每次对镉镍电池放电或者使用几次后进行放电，都因镉镍电池生产厂商和使用情况不同而有所差异）。这种烦琐的放电管理在使用镉镍电池时是无法避免的。相对而言，锂离子电池没有记忆效应，在使用时非常方便简单，完全不必考虑二次电池残余电压的多少，可直接进行充电，充电时间自然可以缩短。

记忆效应是充电电池的一大天敌，一般认为是长期不正确的充电导致的，它可以使电池早衰。记忆效应可使电池无法进行有效的充电，出现一充就满、一放就完的现象。防止电池出现记忆效应的方法是，严格遵循“充足放光”的原则，也就是说在充电前最好将电池内残余的电量放光，充电时要一次充足。通常镉镍电池容易出现记忆效应，所以充电时要特别注意；镍氢电池理论上没有记忆效应，但使用中最好也遵循“充足放光”的原则，这也就是很多充电器提供放电附加功能的原因。对于由于记忆效应而引起容量下降的电池，可以通过一次性充足再一次性放光的方法反复数次，大部分电池都可以得到修复。

(3) 自放电率

镉镍电池为 15%/月~30%/月, 镍氢电池为 25%/月~35%/月, 锂离子电池为 2%/月~5%/月。在以上三种电池中, 镍氢电池的自放电率最大, 而锂离子电池的自放电率最小。

(4) 充电方式

充电电池的充电问题一直是人们关心的焦点, 正确、良好的充电方法可以确保电池的寿命。充电电池推荐的充电方法有多种多样, 不同的充电方法对充电器的线路有不同的要求, 自然影响到充电器的生产成本。电池充电时间和充电电流的关系为: 用电池容量除以充电电流可以得到充电时间, 考虑充电过程中的损耗, 所以将得到的充电时间再乘以 1.2 这个系数。

镉镍和镍氢电池最常用的简单充电方法是 10%C 恒流充电, 又被称为“慢充”, 即按照电池容量的 10% 确定充电电流。如一节标称容量为 500mAh 的电池, 它的建议充电电流为 50mA; 又如一节标称容量为 1300mAh 的电池, 它的建议充电电流为 130mA。在此电流下连续充电 12~15h 就可以视为电池已充满电。虽然建议使用恒流充电, 但要求并不严格, 电流允许有较大波动, 所以按照此方法制作的充电器结构非常简单, 一般只需要采用变压器将 220V 市电转换成适当低电压, 采用整流二极管整流, 电容器采用限流电阻限流并配以发光二极管等指示装置, 成本非常低。市面上绝大部分独立常规充电器都采用这种方式, 只不过外形不同罢了。“慢充”虽然比较简单, 但是充一次电要等待 10 多个小时, 为此, 电池生产厂商也允许用户在急需时用 30%C 的电流给电池充电 4~5h, 称之为“快充”。采用“快充”方式, 在理论上对电池有轻微的损害。所以大部分常规充电器都有“快充”和“慢充”两挡, 并建议用户不要经常使用“快充”方式。

在很多情况下用户需要对电池进行快速、有效、安全的充电, 快速充电就需要使用较大的电流。电池在大电流充电过程中会出现极化效应, 使电池发热, 而且当采用大电流充电方式将电池充满电后, 如果不及时停止, 电池会迅速发热, 严重时可导致电池烧毁和爆炸。所以, 要求快速充电器具备电池充满自停的功能, 同时也要解决极化效应, 使充电过程高效安全。早期的快速充电器采用简单的定时充电方式, 此类充电器对电池针对性强, 充电效果亦不令人满意。现代的充电器采用专用的充电控制集成电路, 以高频脉动电流给电池充电以解决极化效应, 根据不同电池的特性检测不同的参数来准确判断电池是否充满, 并提供温度保护等保护措施和初始充电前的放电等附加功能。不过这种充电器结构比较复杂, 成本也比较高, 一般多用于手机、对讲机等高档通信设备及电器。

现在市场上充电电池的型号很多, 仅以 5 号电池为例, 容量就有 500mAh、600mAh、700mAh、850mAh、1200mAh 和 1300mAh 等。不同容量的电池需要不同的充电电流; 市场上一些通用型充电器多是为早期的 500mAh 和 600mAh 电池设计的, 充电电流在 60~70mA 之间, 如果要给更大容量的电池充电, 就需要更长的充电时间。可先用万用表电流挡测量实际充电电流, 再用电池容量除以充电电流, 然后乘以系数 1.2 便可得到具体的充电时间。对于 1000mAh 以上的镍氢电池, 可以尝试用普通充电器的快充挡, 因为这挡电流较大, 用万用表电流挡测实际充电电流, 其数值应接近所充镍氢电池要求的 10%C 充电电流。实际上市场上很多所谓的镍氢电池充电器只不过是充电电流大一些的常规充电器而已。

市场上出售的充电器主要有专用型和通用型两种, 所谓专用型是为某一电器使用的一体化电池组配备的充电器, 其中典型的是移动电话配套的充电器。选择此类充电器时一般选用原装配套的产品比较合适, 一是型号对口 (有专用的充电适配器), 充电电压对应; 二是大多数此类充电器都采用高效的快充方式, 工作效率高。国产的部分专用充电器最大的优势是

价格便宜, 不过由于各生产厂采用不同的内部线路和不同的充电方式, 很多产品为了降低成本而使用简单的电子线路, 充电效果不佳, 并且没有采用国际推荐的充电方法。在选择专用充电器时, 应选用与电池组配套的专用充电器, 最好具备放电和充满自停的产品, 并且要具有液晶充电进程指示和自动快速充电功能。通用型充电器需要将电池一节一节地独立充电, 市场上通用型充电器大部分是采用 $10\%C$ 充电电流的产品, 有的带有电量测试等附加功能。购买通用型充电器时, 注意要使其与电池配套 (以“慢充”为例, 充电电流为 $10\%C$)。市场也有一些具备充满自停功能的通用型快速充电器, 使用比较方便。中档的通用型快速充电器都带有充电状态指示装置, 并在产品包装规格上注明有充满自停功能。

1.1.2 二次电池的生产和应用

20 世纪中后期, 信息、通信和电子技术等蓬勃发展, 大大推动了电池工业的进程。特别近 30 年中, 二次电池发展迅猛, 历史悠久的电池采用新技术、新材料和新工艺, 研发和生产出一批高性能、高可靠性的现代二次电池。新型高性能二次电池的研发, 使产品具有更广阔的市场空间, 电池工业将是 21 世纪最有发展前途的产业之一。

二次电池广泛应用于以下领域: 通信设备, 如蜂窝电话、移动电话、寻呼机等; 办公设备, 如笔记本电脑、个人数字助理机 (PDA)、快译通等; 家用电器, 如遥控器、剃须刀、电动牙刷等; 音像设备, 如收音机、录像机、数码照相机等; 电动玩具, 如玩具机器人、玩具电动车、无线电控制玩具等; 电动工具, 如钻孔机、电锯、电焊机等; 消防照明装置, 如探照灯、闪光灯、摄影灯等。大型二次电池多用于邮电、通信、电力电子、交通运输等部门。发展电动车船应用的动力电池是实现电动汽车等无污染交通运输的关键问题, 这已是国内外都十分关注和大力发展的项目, 一些环保汽车已在试验性运行。

我国铅酸电池的年产量已超过 3×10^7 kVAh, 1996 年生产厂家已有 4000 多家, 但大厂很少。我国也引进了一些先进的生产线, 生产阀控式密封铅酸蓄电池, 产品用于邮电、通信、电力、UPS 电源、铁路交通运输等领域。我国规模最大的阀控式密封铅酸蓄电池制造企业的年生产能力为 3.7×10^5 kVAh。国内开发的智能型密封铅酸蓄电池, 可以降低电动车的运行成本, 提高深循环寿命。应用薄板栅 (0.3mm) 和纳米材料制备的密封铅酸蓄电池, 其比能量可达 50Wh/kg。在镉镍电池方面, 我国生产厂家的数量是日本的 3 倍, 但生产量仅是日本的 1/3。我国已经发展了几十条镍氢电池生产线, 并且建立了一些研究中心和试验基地。我国的水平镍氢动力电池正负极板线、电池装配线和检测线的年生产能力为 1000 万安时。国内大多数镍氢电池生产厂也是小批量生产, 在生产技术、生产规模和产品质量上与国外存在较大差距。国内也有一些锂离子电池研发单位和生产基地, 产品有圆柱形和方形两种体系 9 个品种, 生产的 063467 方形电池产品的容量为 900mAh, 尺寸为 6mm×34mm×67mm, 重量为 36g。国内电池科研部门正在致力于开发聚合物锂离子电池。

我国在发展高性能二次电池方面, 有些单位显示了他们技术创新的先进成果。例如, 研发出了世界上第一只超级大功率电池, 其主要材料为纳米级活性碳, 既具有长时间放电特性, 又有突发大功率放电特性, 比能量是铅酸电池的近 10 倍, 体积为铅酸蓄电池的 1/16, 寿命长达 10 年以上, 充放电次数大于 1000 次, 价格是锂离子电池的 1/2。另外, 国内生产的高能胶体动力蓄电池具有容量高、充电速度快、寿命长等优点。高能胶体动力蓄电池已有 5 个品种, 其技术参数是: 电压为 3.8V, 容量分别为 10Ah、40Ah、100Ah、200Ah 和

2000Ah, 重量分别为 0.15kg、0.86kg、1.4kg、1.6kg 和 8.75kg。

电池是电源的重要补充部分, 近十年发展起来的镍氢电池和锂离子电池更具有广阔的发展空间。新老电池都将继续发展, 性能不断提高, 高性能二次电池就是高技术产品。我国电池工业的紧迫任务是加强电池科技发展, 提高技术创新力度, 开创电池工业新局面。

1.2 电池的充电方法与充电器

1.2.1 电池的充电方法

二次电池在循环使用过程中, 可以使用不同的充电方法来对其进行充电。在选择最适合的充电方法时, 应考虑二次电池的使用频率、放电倍率、用途等因素。为此, 下面对不同的充电方法作以简要概述。

1. 恒流充电

(1) 恒流充电

充电器的交流电源的电压通常会波动, 充电时需要采用一个直流恒流电源, 即恒流充电器。当采用恒流充电时, 可使电池具有较高的充电效率, 可以很方便地根据充电时间来决定充电是否中止, 也可以改变电池的数目。恒流电源充电电路如图 1-1 所示。由于直流恒流电源的制造成本问题, 直流准恒流充电电路得以广泛应用。

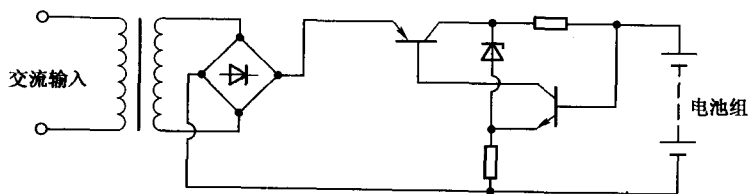


图 1-1 恒流电源充电电路

(2) 准恒流充电

准恒流充电电路如图 1-2 所示。在此种电路中, 通过在直流电源和电池之间串联上一个电位器, 以增加电路内阻来产生恒定电流。电阻值根据充电末期的电流进行调整, 使电流不会超过电池的允许值。由于结构简单、成本低廉, 此种充电电路被广泛应用在充电器中。对同时具有交流和直流电源电路的电气设备, 不需要额外的充电器, 而是采用电气设备内的直流电路对电池进行充电。

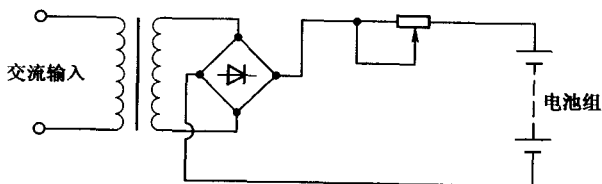


图 1-2 准恒流充电电路