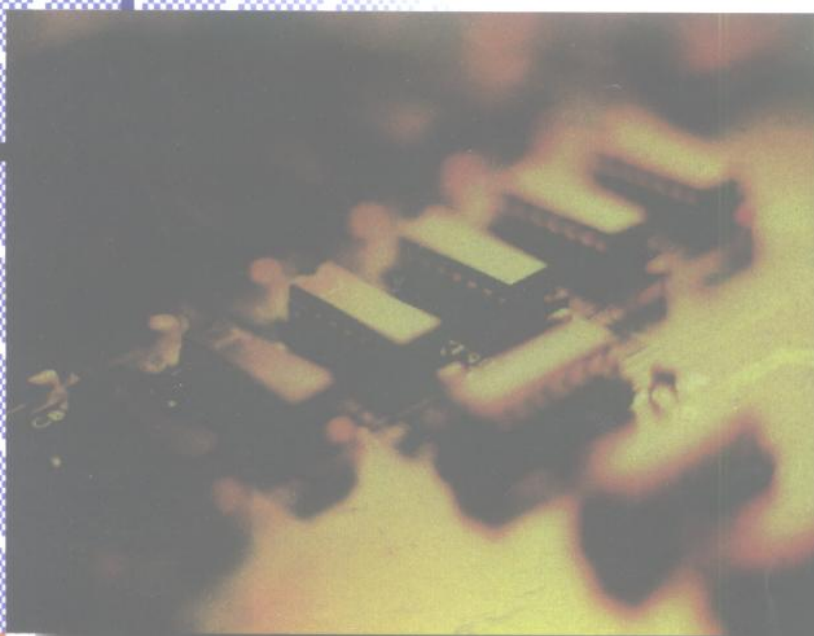


实用电源技术丛书

智能快速充电器设计与制作

王鸿麟 钱建立 周晓军 编著
车 杰 钱 聪 主审



科学出版社

智能快速充电器设计与制作

王鸿麟 钱建立 周晓军 编著

车杰 钱聪 主审

科学出版社

1998

内 容 简 介

本书介绍了各类新型电池(镍镉电池、镍氢电池、免维护铅酸电池和锂离子电池)的基本结构、工作原理和充放电特性,详细分析了各种快速充电控制专用集成电路的结构和工作原理,给出了各种智能快速充电器的设计方法和实际电路,并简要介绍了几种国产智能快速充电器的主要性能和技术参数。

本书可供广大电子工程技术人员作设计手册,以便研制性能优良的新型智能快速充电器;也可供广大电子爱好者阅读,学习和制作小型智能快速充电器;还可供广大电池用户参考,以便选用更适当的智能快速充电器。

图书在版编目(CIP)数据

智能快速充电器设计与制作/王鸿麟等编者. -北京:
科学出版社, 1998. 5
ISBN 7-03-006315-5

I. 智… II. 王… III. ①充电器-设计 ②充电器-制作
IV. TM910.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01777 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

新 世 纪 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

*

1998 年 5 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 5 月 第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—3 000 字数: 287 000

定 价: 20.00 元

序 言

什么是电源？很难用一句话概括。但是，现代人谁能离得开电源？衣食住行离不开电源，文化娱乐、办公学习、科学研究、工农业生产、国防建设、教育、环境保护、医疗卫生、交通运输、照明、通讯、宇宙探索等等，哪一样能少得了电源？只要用电就离不了电源。绝大部分的电是由发电厂生产发送的，称为市电。白炽灯、电炉、交流电动机等只要接通市电就行；计算机、电视机、X光机等虽然也是打开开关就能工作，但是这些机器里面都已经做了电能变换处理，将正弦波的交流市电转换成各自需要的直流电、高压电、脉冲电；在无法提供市电的岛屿、车船上，可以用蓄电池经过电能变换获得跟市电一样的交流电，让计算机、仪器设备等工作起来；进入太空的卫星、飞行器，把太阳能收集起来，再经过电能变换，获得需要的各种电能来维持长期运行；电能是宝贵的资源，需要珍惜和节约。绿色照明的节能荧光灯、高光效的 HID 灯电子镇流器，是经过功率因数校正和高频化处理的电源装置，既省电又净化了电网；交流电动机经过频率变换即所谓变频调速实现了电动机科学运转及电能的合理使用；水力发电、火力发电、核电站是电的主要来源。太阳光、风力、沼气、潮汐、生物能、化学能等等在特定环境里也能发电，作为电力的补充，这些补充发电需要经过 DC/DC 和 DC/AC 电能变换使其便于储存，并转换成与电网频率一致的正弦波。电网不稳定给用电设备带来许多麻烦，甚至无法正常工作；太阳、风力受四季和天气影响，发出的电更是不稳，很多场合需要稳压供电，这有赖于电能变换加以调整。总括起来，所谓电源乃是利用电能变换技术将市电或电池等一次电能转换成适合各种用电对象的二次电能的系统或装置。

上述电能变换主要体现在变压、调压，整流、滤波，稳定，变换等。而这些基本的电能变换是通过一系列的技术方法实现的，并且这些技术方法分别适用于不同的环境条件和要求。

变压：变压器是交流变压最常用的装置，相位控制也能完成交流变压，线性补偿、频率变换、时间分割（脉冲宽度调制，即著名的 PWM）等都能实现变压。直流变压最常用的手段就是 DC/DC 变换，无源和有源分压器是小功率直流变压较简便的方法。

调压：在变压的基础上加以步进和连续的设置就成为调压。根据需要可以手动、自动或遥控。

整流：整流是最早使交流电转换成直流电的方法。利用单相性的无源器件来实现则最简单，利用有源开关的同步整流器能将整流器的损耗减至极小。

滤波：滤波为获得平滑的直流，可以通过无源或有源的滤波电路来实现。

稳定：将变压或调压引入自动负反馈控制，就能使之稳定。若反馈量分别是电压、电流、功率、频率、相位，则响应获得稳压、稳流、恒功率、稳频、稳相的稳定电源。

变换：变换的特定含义是由一种状态转变到另一种状态。比如交流-直流之间的转换；正弦波、方波、三角波、梯形波、脉冲波、特物波等波形转换；低频-高频转换；光、热、

机械、风、磁、理化等能量与电能之间的转换。

电能变换涉及的技术非常多,常见的有参数稳压、线性反馈稳压、磁放大器技术、数控调压技术、相控技术、变频、PWM、SPWM、软开关PWM、移相谐振、无功补偿、功率因数校正、裂相、电流均分、传感采样、驱动保护、储能、充电、抗干扰、电磁兼容等等。实际需要推动这些技术不断发展和进步,使电源装置能满足负载各种各样的需求。

造就这些电源装置还需要专用的元器件和材料。电能变换用到的器材有功率开关器件、专用的集成电路、软磁材料以及外围元器件等。由于很多电源装置结构相当复杂,为简化设计而出现的集功率开关、变换控制电路、传感保护电路为一体的智能功率集成模块受到欢迎。

厚膜集成的电源模块、积木式的功能模块,灵活机动,既能单独使用,又能相互组合成较大的电源系统。在这里器件和整机的界限已相当模糊。

不同的负载要求不同的电源装置,万能的电源至少今天还未出现。一个特定用途的电源装置,应当具有符合负载要求的性能参数和外特性,这是基本的要求。安全可靠是必须加以保证的。高效率、高功率因数、低噪音是普遍关注的品质。无电网污染、无电磁干扰、省电节能等绿色指标是全球范围的热门话题,并有相关的国际和国家标准规范进行约束。有时特定的使用环境又要求电源具备一些额外的适应性能力,比如高温、高寒、高湿、抗辐射、抗振动、防爆、体积小、重量轻、智能化等。

电源技术发展到今天,已融汇了电子、功率集成、自动控制、材料、传感、计算机、电磁兼容、热工等诸多技术领域的精华,已从多学科交叉的边沿学科成长为独树一帜的功率电子学。

电源技术又是实用性极强的技术,服务于各行各业、各个领域的各式各样的负载,它们的性能特点以及采用的技术方法千差万别,这就造就了电源技术的丰富内涵。

由中国电源学会和科学出版社联合组织出版的《实用电源技术丛书》将展示多彩的电源世界,帮助读者全面了解当今电源的方方面面,并希望读者能从这套丛书中获得启示,在实际工作中找到最佳的电源方案。为此,丛书的选题力求从实际需要出发,内容突出实用性、新颖性和广泛性,写作侧重于原理阐述、实例解剖和经验介绍。我们将尽力让《实用电源技术丛书》成为广大读者的良师益友,但是,电源技术浩若湮海,有限的书目实难尽述。另外,电源的新技术不断涌现,且成长周期相当短,作者的实践有限,谬误之处在所难免,敬请读者指正。

《实用电源技术丛书》编辑委员会

《实用电源技术丛书》编辑委员会

顾 问：蔡宣三 丁道宏
主 任：倪本来
副主任：王鸿麟 张建荣 侯振程
委 员：马传添 马鹤亭 区键昌 刘凤君 庄蕃田
李厚福 李朔生 李宗光 陈 坚 严仰光
张 立 张广明 张志国 张 嵘 张承志
张占松 张卫平 陆 鸣 段军政 季幼章
周庭光 赵良炳 赵修科 徐德高 徐会明
徐泽玮 徐德洪 徐兰筠 袁维慈 黄济青
龚绍文 喻 翔 谭 信

前 言

自蓄电池发明以来,已有一百多年了,目前广泛应用的有镍镉电池、镍氢电池、铅酸电池和锂离子电池等。各种便携式电子设备,如笔记本电脑、移动电话、无绳电话、对讲机、摄像机、小型电台和测量仪器,都要求电池轻、薄、短、小且容量大。为了满足这种要求,世界各国都投入巨大的人力和财力,开发新型电池。近年来,镍氢电池、锂离子电池已逐渐取代镍镉电池。铅酸电池具有价格低廉、供电可靠、电压稳定等优点,广泛应用于通信、铁路、交通、电力、石油、国防、工农业生产等部门,但是普通铅酸电池需要经常加水补酸,而且还产生腐蚀性气体,损伤人体和设备。全密封免维护铅酸电池具有无泄漏、无污染、容量大等优点,在国内外得到广泛应用。

目前,由于常规充电技术不能适应各类新型电池的要求,因此严重影响电池的使用寿命。实践证明,免维护电池的浮充电压偏差5%,浮充寿命将减少一半。锂离子电池的充电电压超过 $4.1V \pm 50mV$,将造成电池永久性损坏。如果采用镍镉电池常用的 $-\Delta V$ 检测法,控制镍氢电池快速充电,可能造成镍氢电池因严重过充电而损坏。

为了满足各类电池快速充电的不同要求,世界各国都在研究智能化快速充电技术。目前已研制出几十种各类电池快速充电控制集成电路,利用这些集成电路,很容易制作智能化快速充电器。本书介绍了各种新型电池的基本结构、工作原理和充放电特性,详细分析了各种快速充电控制专用集成电路的结构和工作原理。为了便于广大电子爱好者制作,给出了各类快速充电器的设计方法和实际电路。为了便于用户选购国产智能快速充电器,还简要介绍了几种国产智能快速充电器的主要性能和技术参数。

本书第一章由王鸿麟、钱建立、段景汉编写;第二章由王鸿麟、朱明媛、周晓军、许英编写;第三章由王鸿麟、王英杰、王学纪编写;第四章由周晓军、钱建立、蒋卓勤编写;第五章由田金玉、林键伟编写。全书由王鸿麟、钱建立综合整理并作了文字加工。

本书由车杰教授和钱聪副教授主审,参加审校的还有侯振义副教授。在本书编写过程中,中国航空技术设备器材进出口公司的祝大卫先生,Unitrode Electronics Asia Ltd.的Stephen So, MEMEC (Asia Pacific) Ltd.的陈永亨先生、胡立荣先生,飞利浦公司北京办事处的刘英豪先生,贵州神奇电子医疗仪器公司的赵惠英女士,清华大学紫光集团通信工程部刘鹏先生都提供了许多宝贵、详实的技术资料。《国外电子元器件》杂志社的夏红霞、王迎春、陈榕等也作了大量的工作。作者在此表示衷心感谢。由于作者水平有限,书中可能有某些不当之处,敬请读者批评指正。

王 鸿 麟

1996年6月10日

目 录

第一章 镍镉/镍氢电池智能快速充电器	(1)
1.1 镍镉/镍氢电池的原理及充电方法	(1)
1.1.1 镍镉/镍氢电池的发展	(1)
1.1.2 蓄电池参数	(1)
1.1.3 镍镉蓄电池的工作原理	(2)
1.1.4 镍氢电池的工作原理	(5)
1.1.5 电池充电特性	(6)
1.1.6 充电过程与充电方法	(7)
1.1.7 快速充电终止控制方法	(9)
1.1.8 充电器控制集成电路	(10)
1.2 由 ICS1700 微处理器组成的充电器	(11)
1.2.1 ICS1700 微处理器	(11)
1.2.2 用 ICS1700 组成的镍镉电池快速充电器	(17)
1.2.3 用 ICS1720 组成的镍氢电池充电器实际电路	(19)
1.3 由 UT550 组成的智能充电器	(22)
1.3.1 UT550 功能说明	(22)
1.3.2 管脚结构及功能	(23)
1.3.3 充电电路与充电程序	(24)
1.3.4 保护功能	(27)
1.3.5 放电功能	(29)
1.3.6 电量显示	(31)
1.3.7 生产测试	(32)
1.3.8 实用电路	(32)
1.4 由 MAX2003 组成的快速充电器	(34)
1.4.1 概述	(34)
1.4.2 基本工作原理	(34)
1.4.3 实用开关型快速充电器设计	(43)
1.4.4 其它应用实例	(47)
1.5 由 bq2002 组成的快速充电器	(49)
1.5.1 bq2002 主要特点	(49)
1.5.2 基本工作原理	(51)
1.5.3 由 bq2002 组成的快速充电器实际电路	(54)
1.6 TEA1100 (1101) 组成的快速充电器	(54)
1.6.1 TEA1100/TEA1101 主要特性	(55)
1.6.2 管脚排列及功能	(55)

1.6.3	TEA1100 基本工作原理	(56)
1.6.4	串联型开关电源充电器设计	(60)
1.7	MAX712 (713) 组成的快速充电器	(63)
1.7.1	MAX712/MAX713 简介	(63)
1.7.2	简单快速充电器设计	(66)
1.7.3	充电特性曲线	(68)
1.7.4	MAX712/MAX713 的供电	(69)
1.7.5	充电状态	(69)
1.7.6	控制回路	(71)
1.7.7	控制快速充电终止的方法	(72)
1.7.8	应用实例	(73)
1.8	UCC3905 组成的伺服快速充电器	(77)
1.8.1	UCC3905 简介	(77)
1.8.2	充电特性	(78)
1.8.3	UCC3905 的充电状态	(79)
1.8.4	采用 UCC3905 的开关型充电器	(81)
第二章	密封铅酸蓄电池智能快速充电器	(82)
2.1	密封铅酸蓄电池	(82)
2.1.1	密封免维护铅酸蓄电池的结构	(82)
2.1.2	密封铅酸蓄电池的充电特性	(83)
2.2	密封铅酸蓄电池充电控制器	(84)
2.2.1	密封铅酸蓄电池线性充电控制器 UC3906	(84)
2.2.2	开关型充电控制器 UC3909	(86)
2.2.3	铅酸蓄电池快速充电控制器 bq2031	(88)
2.3	铅酸蓄电池智能充电器	(98)
2.3.1	双电平浮充充电器	(98)
2.3.2	两级恒流充电器	(104)
2.3.3	采用 UC3906 的开关型充电器	(106)
2.3.4	由 UC3909 组成的开关型快速充电器	(110)
2.3.5	离线式开关型铅酸蓄电池快速充电器	(115)
第三章	锂离子电池充电器	(116)
3.1	锂离子电池	(116)
3.1.1	锂电池进展	(116)
3.1.2	锂离子电池基本工作原理和结构	(116)
3.1.3	锂离子电池的充放电特性	(117)
3.1.4	锂离子电池的安全措施	(119)
3.1.5	锂离子电池的主要优点和缺点	(120)
3.2	锂离子电池充电控制器	(122)
3.2.1	锂离子电池充电控制器 LM3420	(122)
3.2.2	带微控制器接口的充电控制器 MC33346	(124)
3.2.3	锂离子电池快速充电控制器 bq2054	(125)

3.3	锂离子电池充电器	(127)
3.3.1	线性恒流/恒压锂离子电池充电器	(127)
3.3.2	开关型恒流/恒压充电器	(129)
3.3.3	脉冲恒流快速充电器	(130)
3.3.4	其它快速充电器	(132)
第四章	微处理器控制的多功能智能充电器	(133)
4.1	MPU 与 LTC1325 组成的智能充电器	(133)
4.1.1	充电控制器 LTC1325	(133)
4.1.2	电路分析	(139)
4.1.3	温度检测	(143)
4.1.4	硬件设计	(145)
4.1.5	软件设计	(150)
4.2	微处理器 Z86B07 控制的智能充电器	(152)
4.2.1	Z86B07 八位微处理器简介	(152)
4.2.2	采用 Z86B07 微处理器的电池充电器	(162)
4.2.3	低成本充电器实际电路	(165)
4.3	由 PIC16C71 组成的快速充电器	(167)
4.3.1	PIC16C71 单片机简介	(167)
4.3.2	由 PIC 单片机控制的智能充电器	(175)
4.4	DL5689 组成的多功能快速充电器	(177)
4.4.1	双组电池快速充电控制器 DL5689	(177)
4.4.2	实际应用电路	(180)
第五章	国产智能充电器简介	(182)
5.1	华羽牌子母式万能快速充电器	(182)
5.2	CG-101/201 开关型智能高速充电器	(184)
5.3	GC 2001/2002 智能型镍镉/镍氢电池充电器	(185)
5.4	LT-100/200 智能超快速充电器	(188)
5.5	MKC 系列脉冲快速充电器	(190)
5.6	三合一智能快速充电器	(192)
5.7	六分钟可充足电的大哥大充电器	(193)

第一章 镍镉/镍氢电池智能快速充电器

1.1 镍镉/镍氢电池的原理及充电方法

1.1.1 镍镉/镍氢电池的发展

1899年, Waldmar Jungner 在开口型镍镉蓄电池中, 首先使用了镍极板, 几乎与此同时, Thomas Edison 发明了用于电动车的镍铁电池。遗憾的是, 由于当时这些碱性蓄电池的极板材料比其它蓄电池的材料贵得多, 因此实际应用受到了极大的限制。

后来, Jungner 的镍镉电池经过几次重要改进, 性能明显改善。其中最重要的改进是在 1932 年, 科学家在镍电池中开始使用了活性物质。他们将活性物质放入多孔的镍极板中, 然后再将镍极板装入金属壳内。镍镉电池发展史上另一个重要的里程碑是 1947 年密封型镍镉电池研制成功。在这种电池中, 化学反应产生的各种气体不用排出, 可以在电池内部化合。密封镍镉电池的研制成功, 使镍镉电池的应用范围大大增加。

密封镍镉电池效率高、循环寿命长、能量密度大、体积小、重量轻、结构紧凑, 并且不需要维护, 因此在工业和消费产品中得到了广泛应用。

随着空间技术的发展, 人们对电源的要求越来越高。70 年代中期, 美国研制成功了功率大、重量轻、寿命长、成本低的镍氢电池, 并且于 1978 年成功地将这种电池应用在导航卫星上。镍氢电池与同体积镍镉电池相比, 容量可提高一倍, 而且没有重金属镉带来的污染问题。它的工作电压与镍镉电池完全相同, 工作寿命也大体相当, 但它具有良好的过充电和过放电性能。近年来, 镍氢电池受到世界各国的重视, 各种新技术层出不穷。镍氢电池刚问世时, 要使用高压容器储存氢气, 后来人们采用金属氢化物来储存氢气, 从而制成了低压甚至常压镍氢电池。1992 年, 日本三洋公司每月可生产 200 万只镍氢电池。目前国内已有 20 多个单位研制生产镍氢电池, 国产镍氢电池的综合性能已经达到国际先进水平。可以预言, 不久的将来, 镍氢电池将取代目前应用非常广泛的镍镉电池。

1.1.2 蓄电池参数

蓄电池的五个主要参数为: 电池的容量、标称电压、内阻、放电终止电压和充电终止电压。电池的容量通常用 Ah (安时) 表示, 1Ah 就是能在 1A 的电流下放电 1h。单元电池内活性物质的数量决定单元电池含有的电荷量, 而活性物质的含量则由电池使用的材料和体积决定, 因此, 通常电池体积越大, 容量越高。与电池容量相关的一个参数是蓄电池的充电电流。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。

电池刚出厂时, 正负极之间的电势差称为电池的标称电压。标称电压由极板材料的

电极电位和内部电解液的浓度决定。当环境温度、使用时间和工作状态变化时，单元电池的输出电压略有变化，此外，电池的输出电压与电池的剩余电量也有一定关系。单元镍镉电池的标称电压约为 1.3V（但一般认为是 1.25V），单元镍氢电池的标称电压为 1.25V。

电池的内阻决定于极板的电阻和离子流的阻抗。在充放电过程中，极板的电阻是不变的，但是，离子流的阻抗将随电解液浓度的变化和带电离子的增减而变化。

蓄电池充足电时，极板上的活性物质已达到饱和状态，再继续充电，蓄电池的电压也不会上升，此时的电压称为充电终止电压。镍镉电池的充电终止电压为 1.75~1.8V，镍氢电池的充电终止电压为 1.5V。

放电终止电压是指蓄电池放电时允许的最低电压。如果电压低于放电终止电压后蓄电池继续放电，电池两端电压会迅速下降，形成深度放电，这样，极板上形成的生成物在正常充电时就不易再恢复，从而影响电池的寿命。放电终止电压和放电率有关。镍镉电池的放电终止电压和放电速率的关系如表 1-1 所列，镍氢电池的放电终止电压一般规定为 1V。

表 1-1 镍镉电池不同放电率时的放电终止电压

放电率	放电终止电压 (V)
8 小时率	1.10
5 小时率	1.00
3 小时率	0.8
1 小时率	0.5

1.1.3 镍镉蓄电池的工作原理

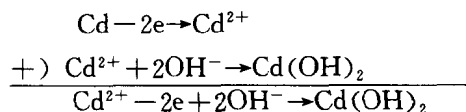
镍镉蓄电池的正极材料为氢氧化亚镍和石墨粉的混合物，负极材料为海绵状镉粉和氧化镉粉，电解液通常为氢氧化钠或氢氧化钾溶液。当环境温度较高时，使用密度为 1.17~1.19（15°C 时）的氢氧化钠溶液。当环境温度较低时，使用密度为 1.19~1.21（15°C 时）的氢氧化钾溶液。在 -15°C 以下时，使用密度为 1.25~1.27（15°C 时）的氢氧化钾溶液。为兼顾低温性能和荷电保持能力，密封镍镉蓄电池采用密度为 1.40（15°C 时）的氢氧化钾溶液。为了增加蓄电池的容量和循环寿命，通常在电解液中加入少量的氢氧化锂（大约每升电解液加 15~20g）。

镍镉蓄电池充电后，正极板上的活性物质变为氢氧化镍 [NiOOH]，负极板上的活性物质变为金属镉；镍镉电池放电后，正极板上的活性物质变为氢氧化亚镍，负极板上的活性物质变为氢氧化镉。

1. 放电过程中的电化学反应

(1) 负极反应

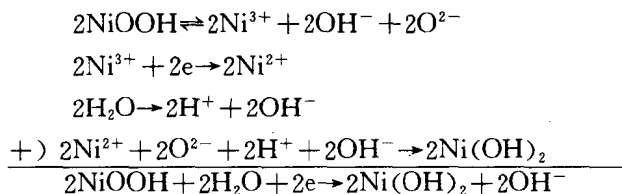
负极上的镉失去两个电子后变成二价镉离子 Cd^{2+} ，然后立即与溶液中的两个氢氧根离子 OH^- 结合生成氢氧化镉 $Cd(OH)_2$ ，沉积到负极板上。



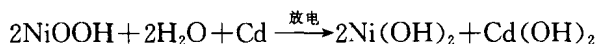
(2) 正极反应

正极板上的活性物质是氢氧化镍 (NiOOH) 晶体。镍为正三价离子 (Ni^{3+})，晶格中

每两个镍离子可从外电路获得负极转移出的两个电子，生成两个二价离子 2Ni^{2+} 。与此同时，溶液中每两个水分子电离出的两个氢离子进入正极板，与晶格上的两个氧负离子结合，生成两个氢氧根离子，然后与晶格上原有的两个氢氧根离子一起，与两个二价镍离子生成两个氢氧化亚镍晶体。



将以上两式相加，即得镍镉蓄电池放电时的总反应式：

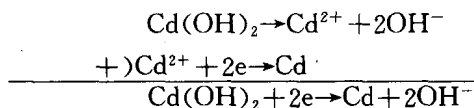


2. 充电过程中的化学反应

充电时，将蓄电池的正、负极分别与充电机的正极和负极相连，电池内部发生与放电时完全相反的电化学反应，即负极发生还原反应，正极发生氧化反应。

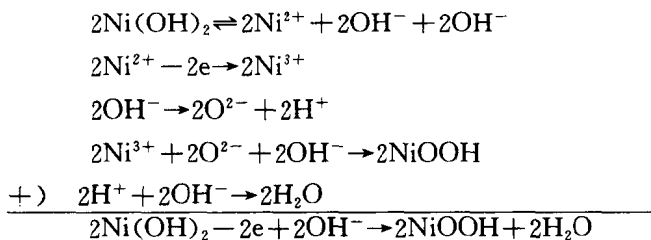
(1) 负极反应

充电时负极板上的氢氧化镉，先电离成镉离子和氢氧根离子，然后镉离子从外电路获得电子，生成镉原子附着在极板上，而氢氧根离子进入溶液参与正极反应：

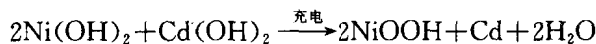


(2) 正极反应

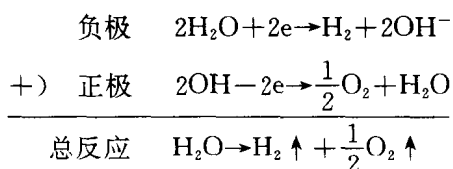
在外电源的作用下，正极板上的氢氧化亚镍晶格中，两个二价镍离子各失去一个电子生成三价镍离子，同时，晶格中两个氢氧根离子各释放出一个氢离子，将氧负离子留在晶格上，释出的氢离子与溶液中的氢氧根离子结合生成水分子。然后，两个三价镍离子与两个氧负离子和剩下的两个氢氧根离子结合，生成两个氢氧化镍晶体：



将以上两式相加，即得镍镉蓄电池充电时的电化学反应：



蓄电池充电终了时，充电电流将使电池内发生分解水的反应，在正、负极板上将分别有大量氧气和氢气析出，其电化学反应如下：



从上述电极反应可以看出，氢氧化钠或氢氧化钾并不直接参与反应，只起导电作用。从电池反应来看，充电过程中生成水分子，放电过程中消耗水分子，因此充、放电过程中电解液浓度变化很小，不能用密度计检测充放电程度。

3. 端电压

充足电后，立即断开充电电路，镍镉蓄电池的电动势可达 1.5V 左右，但很快就下降到 1.31~1.36V。

镍镉蓄电池的端电压随充放电过程而变化，可用下式表示：

$$U_{\text{充}} = E_{\text{充}} + I_{\text{充}} R_{\text{内}}$$

$$U_{\text{放}} = E_{\text{放}} - I_{\text{放}} R_{\text{内}}$$

从上式可以看出，充电时，电池的端电压比放电时高，而且充电电流越大，端电压越高；放电电流越大，端电压越低。

当镍镉蓄电池以标准放电电流放电时，平均工作电压为 1.2V。采用 8h 率放电时，蓄电池的端电压下降到 1.1V 后，电池即放完电。

4. 容量和影响容量的主要因素

蓄电池充足电后，在一定放电条件下，放至规定的终止电压时，电池放出的总容量称为电池的额定容量，容量 Q 用放电电流与放电时间的乘积来表示，表示式如下：

$$Q = I \cdot t \text{ (Ah)}$$

镍镉蓄电池容量与下列因素有关：

- ① 活性物质的数量；
- ② 放电率；
- ③ 电解液。

放电电流直接影响放电终止电压。在规定的放电终止电压下，放电电流越大，蓄电池的容量越小。

使用不同成分的电解液，对蓄电池的容量和寿命有一定的影响。通常，在高温环境下，为了提高电池容量，常在电解液中添加少量氢氧化锂，组成混合溶液。实验证明：每升电解液中加入 15~20g 含水氢氧化锂，在常温下，容量可提高 4%~5%，在 40°C 时，容量可提高 20%。然而，电解液中锂离子的含量过多，不仅使电解液的电阻增大，还会使残留在正极板上的锂离子 (Li⁺) 慢慢渗入晶格内部，对正极的化学变化产生有害影响。

电解液的温度对蓄电池的容量影响较大。这是因为随着电解液温度升高，极板活性物质的化学反应也逐步改善。

电解液中的有害杂质越多，蓄电池的容量越小。主要的有害杂质是碳酸盐和硫酸盐。它们能使电解液的电阻增大，并且低温时容易结晶，堵塞极板微孔，使蓄电池容量显著下降。此外，碳酸根离子还能与负极板作用，生成碳酸镉附着在负极板表面上，从而引

起导电不良，使蓄电池内阻增大，容量下降。

5. 内阻

镍镉蓄电池的内阻与电解液的导电率、极板结构及其面积有关，而电解液的导电率又与密度和温度有关。电池的内阻主要由电解液的电阻决定。氢氧化钾和氢氧化钠溶液的电阻系数随密度而变。18°C 时氢氧化钾溶液和氢氧化钠溶液的电阻系数最小。通常镍镉蓄电池的内阻可用下式计算：

$$R_{\text{内}} = \frac{E - U_{\text{放}}}{I_{\text{放}}} (\Omega)$$

6. 效率与寿命

在正常使用的条件下，镍镉电池的容量效率 η_{Ah} 为 67%~75%，电能效率 η_{Wh} 为 55%~65%，循环寿命约为 2000 次。容量效率 η_{Ah} 和电能效率 η_{Wh} 计算公式如下：

$$\eta_{\text{Ah}} = \frac{I_{\text{放}} \cdot t_{\text{放}}}{I_{\text{充}} \cdot t_{\text{充}}} \times 100\%$$
$$\eta_{\text{Wh}} = \frac{U_{\text{放}} \cdot I_{\text{放}} \cdot t_{\text{放}}}{U_{\text{充}} \cdot I_{\text{充}} \cdot t_{\text{充}}} \times 100\%$$

($U_{\text{充}}$ 和 $U_{\text{放}}$ 应取平均电压)

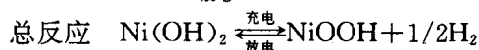
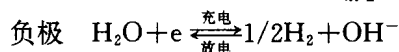
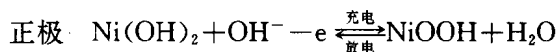
7. 记忆效应

镍镉电池使用过程中，如果电量没有全部放完就开始充电，下次再放电时，就不能放出全部电量。比如，镍镉电池只放出 80% 的电量后就开始充电，充足电后，该电池也只能放出 80% 的电量，这种现象称为记忆效应。

电池全部放完电后，极板上的结晶体很小。电池部分放电后，氢氧化亚镍没有完全变为氢氧化镍，剩余的氢氧化亚镍将结合在一起，形成较大的结晶体。结晶体变大是镍镉电池产生记忆效应的主要原因。

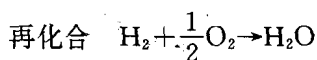
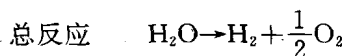
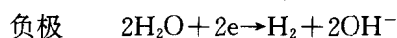
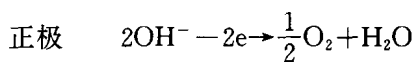
1.1.4 镍氢电池的工作原理

镍氢电池和同体积的镍镉电池相比，容量增加一倍，充放电循环寿命也较长，并且无记忆效应。镍氢电池正极的活性物质为 NiOOH (放电时) 和 Ni(OH)_2 (充电时)，负极板的活性物质为 H_2 (放电时) 和 H_2O (充电时)，电解液采用 30% 的氢氧化钾溶液，充放电时的电化学反应如下：



从方程式看出：充电时，负极析出氢气，贮存在容器中，正极由氢氧化亚镍变成氢氧化镍 (NiOOH) 和 H_2O ；放电时氢气在负极上被消耗掉，正极由氢氧化镍变成氢氧化亚镍。

过量充电时的电化学反应：



从方程式看出，蓄电池过量充电时，正极板析出氧气，负极板析出氢气。由于有催化剂的氢电极面积大，而且氧气能够随时扩散到氢电极表面，因此，氢气和氧气能够很容易在蓄电池内部再化合生成水，使容器内的气体压力保持不变，这种再化合的速率很快，可以使蓄电池内部氧气的浓度，不超过千分之几。

从以上各反应式可以看出，镍氢电池的反应与镍镉电池相似，只是负极充放电过程中生成物不同，从后两个反应式可以看出，镍氢电池也可以做成密封型结构。镍氢电池的电解液多采用 KOH 水溶液，并加入少量的 LiOH。隔膜采用多孔维尼纶无纺布或尼龙无纺布等。为了防止充电过程后期电池内压过高，电池中装有防爆装置。

1.1.5 电池充电特性

镍镉电池充电特性曲线如图 1-1 所示。当恒定电流刚充入放完电的电池时，由于电池内阻产生压降，所以电池电压很快上升 (A 点)。此后，电池开始接受电荷，电池电压以较低的速率持续上升。在这个范围内 (AB 之间)，电化学反应以一定的速率产生氧气，同时氧气也以同样的速率与氢气化合，因此，电池内部的温度和气体压力都很低。

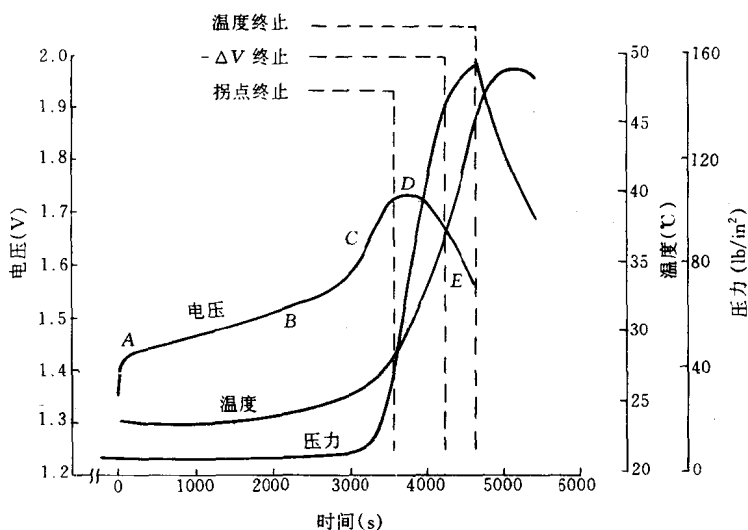


图 1-1 镍镉电池充电特性曲线

电池充电过程中，产生的氧气高于复合的氧气时，电池内压力升高。电池内的正常压力* 大约为 1 磅力/英寸²。过充电时，根据充电速率，电池内部压力将很快上升到 100

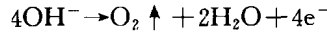
* 此处所用的压力单位磅力每平方英寸 (1bf/in²) 为非许用单位，1bf/in²=47.8803Pa，1ft=12in。

磅力/英寸²或者更高。

研究蓄电池的各种充电方法时，镍镉电池内产生的气体是一个重要问题。气泡聚集在极板表面，将减小极板表面参与化学反应的面积并且增加电池的内阻。过充电时，电池内产生的大量气体，如果不能很快复合，电池内部的压力就会显著增加，这样将损伤电池。此外，压力过大时，密封电池将打开放气孔，从而使电解液逸散。若电解液反复通过放气孔逸散，电解液的粘稠性增大，极板间离子的传输变得困难，因此电池的内阻增加，容量下降。

经过一定时间后（C点），电解液中开始产生气泡，这些气泡聚集在极板表面，使极板的有效面积减小，所以电池的内阻抗增加，电池电压开始较快上升。这是接近充足电的信号。

充足电后，充入电池的电流不是转换为电池的贮能，而是在正极板上产生氧气超电位。氧气是由于电解液电解而产生的，不是由于氢氧化镉还原为镉而产生的。在氢氧化钾和水组成的电解液中，氢氧离子变成氧、水和自由电子，反应式为



虽然电解液产生的氧气能很快在负极板表面的电解液中复合，但是电池的温度仍显著升高。此外由于充电电流用来产生氧气，所以电池内的压力也升高。

由于从大量的氢氧离子中比从很少的氢氧化镉中更容易分解出氧气，所以电池内的温度急剧上升，这样就使电池电压下降。因此电池电压曲线出现峰值（D点）。

电解液中，氧气的产生和复合是放热反应。电池过充电时（E点），不停地产生氧气，从而使电池内的温度和压力升高。如果强制排出气体，将引起电解液减少、电池容量下降并损伤电池。若气体不能很快排出，电池将会爆炸。

采用低速率恒流充电时，电池内将产生枝晶。这些枝晶能够通过隔板在极板之间扩散。在扩散较严重的情况下，这些枝晶会造成电池部分或全部短路。

镍氢电池的充电特性与镍镉电池类似，充电过程中二者的电压、温度曲线如图 1-2 和图 1-3 所示。可以看出，充电终止时，镍镉电池电压下降比镍氢电池要大得多。当电池容

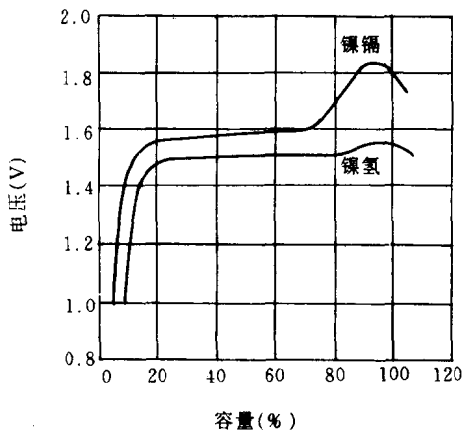


图 1-2 镍镉/镍氢电池充电电压曲线

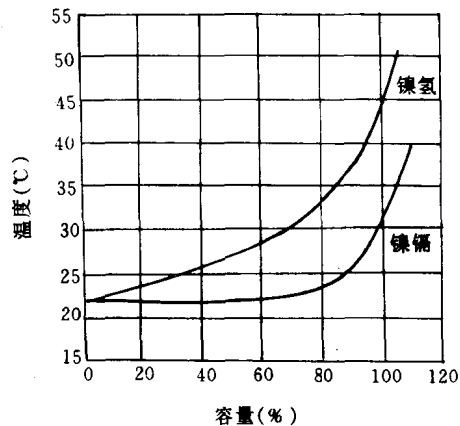


图 1-3 镍镉/镍氢电池充电温度曲线