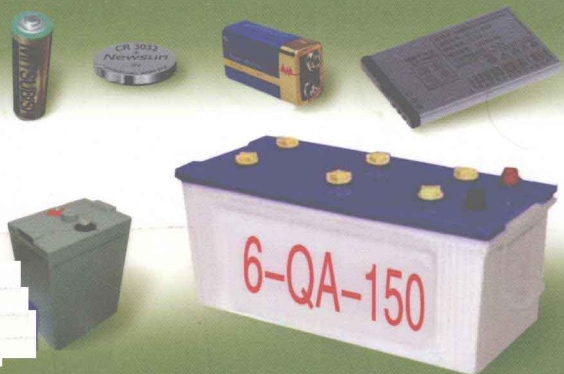


电池

使用维修指南

龚华生 邓迎春 李小运 丁浩◎编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电池使用维修指南

龚华生 邓迎春 李小运 丁 浩 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分14章,第1~11章全面介绍了锌锰干电池、锂锰干电池、铅蓄电池、铁镍电池、镉镍电池、镍氢电池、锌银电池、锌空电池、锌汞电池、普通锂离子电池、聚合物锂离子电池、磷酸铁锂动力电池、光电池等的结构、原理、特性、使用、维护知识以及故障检修技术;第12~14章介绍了蓄电池充电、放电、维修常用的设备及其使用方法,详细讲述了各种充电器的制作技术,还选编了部分中外充电器的经典电路资料。从而使得本书成为一本全面学习电池使用知识和维修技术的实用书籍。

本书内容丰富、技术实用、层次清晰、语言通俗、讲解细致,非常适合使用电池的人群阅读,特别适合电池维修厂、汽车修配厂、摩托车维修部、家电维修部、机电维修部、电池回收站等涉及电池维修处理的工作人员阅读,还可作各类院校相关专业师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电池使用维修指南/龚华生等编著. —北京:国防工业出版社,2011.6

ISBN 978-7-118-07329-4

I. ①电... II. ①龚... III. ①电池—使用—指南②电池—维修—指南 IV. ①TM911-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 116874 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100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 18¼ 字数 353 千字

2011年6月第1版第1次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 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

前 言

电池作为一种携带电源,常用于手机、收音机、遥控器、电子钟表、仪器仪表、照相机、摄录像机、计算器、笔记本电脑、手提灯、矿井灯、捕鱼机、电子玩具等电器。

电池也作为储备电源、动力电源和能源转换器件,还广泛用于航标灯、采茶机、医疗器械、电动工具、电动自行车、摩托车、拖拉机、汽车、铁路客车、轮船以及电信通信、国防军事、航空航海、人造卫星、太阳能与风力发电等各个领域。

电池的应用,大大方便了人们的日常生活和科学研究,但电池的容量有限,且易损易耗。因此,如何正确选用和合理维护电池,就成为人们普遍关心和期待掌握的一种技术。特别是手机、照相机、摄录像机、笔记本电脑、轿车、飞机上使用的高档电池,其价格较高,如果使用不当,会导致损坏,将造成较大经济损失。为此,我们特别编写了《电池使用维修指南》一书,希望能够满足广大人民群众学习电池知识和掌握维护技术的需求,以达降低电池使用成本的目的。

电池的种类繁多,使用场合各不相同。因此,本书分 14 章,对各种电池的使用与维修进行了全面而详细的讲解。第 1~11 章,系统地讲解了锌锰干电池、锂锰干电池、铅蓄电池、铁镍电池、镉镍电池、镍氢电池、锌银电池、锌空电池、锌汞电池、普通锂离子电池、聚合物锂离子电池、磷酸铁锂动力电池、光电池等的结构、原理、特性、使用、维护知识及故障检修技术;第 12 章介绍了蓄电池充电、放电、维修常用的设备及其使用方法;第 13 章介绍了各种充电器的制作技术;第 14 章介绍了部分中外充电器的经典电路参考资料。本书在内容编写上具有以下特色。

对电池的结构与原理,书中具体介绍了各种电池的组成部件及其作用,详细分析了各种电池内部的物质结构及其化学特性,细致说明了内部“化学能—电能”的相互转化过程。

对电池的使用与维护,本书全面介绍了各种电池正常选用、变通使用及长期保存的方法。对电池使用的环境温度、充放电技术、电解液检查和配制方法及如何延长电池使用寿命都做了详尽的讲解。

对电池的故障与检修,系统讲了各种故障的判别方法、检测技术及维修技巧。对电池软性故障、硬性故障、电解液故障、极板故障、缺水故障、容量减小故障的检修操作,进行了分类讲述。

IV

书中还着重介绍了电池故障的维修设备及其工作原理,全面讲述了各种充电器的制作技术和使用方法。最后选编了部分中外充电器的电路图,为读者选用和制作充电器提供了实用的参考资料。

本书具有内容全面、知识丰富、技术实用、讲解细致、层次清晰、通俗易懂,注重基础与专业紧接、理论与技能紧接、操作与实用紧接的特点。

本书非常适合广大使用电池的人群阅读,特别适合电池维修厂、汽车修配厂、摩托车维修部、家电维修部、机电维修部、电池回收站等涉及电池维修处理的工作人员阅读,也适合各类院校相关专业的师生参考阅读。

参加本书编写工作的人员有龚华生、邓迎春、李小运、丁浩、余涛、龚杨政、龚博、李婷、丁婷、龚杨梅、龚叶、邓务敏、龚桃生、王建华、陈石。

本书由武汉市教育科学研究院职业与成人教育研究室副主任、《武汉职教》杂志社主编黄正轴同志审定大纲,由邓迎春同志负责统筹和联络工作,由龚华生同志作统稿和修改工作。在编写过程中还得到了有关领导的关怀与支持,在此一并表示真诚的感谢,同时也感谢袁成启、董楚宏两位导师及武汉黄陂高级教师冯丽以及杨晓琼、张蓉等同志在各方面给予的鼓励和帮助。

由于编者水平有限,书中难免存在不足与错漏,恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 常用电池概况

1.1	化学电池基础知识	1
1.1.1	电池的图形与符号	1
1.1.2	化学电池的种类及功能	3
1.2	化学电池的特性参数	4
1.2.1	电池的主要参数项	4
1.2.2	各种电池的特性	6
1.3	化学电池的应用特点	9
1.3.1	一次电池和二次电池的应用特点	9
1.3.2	电池的串、并联特点	9

第 2 章 锌锰干电池

2.1	锌锰电池基础	11
2.1.1	普通锌锰电池	11
2.1.2	锌锰电池的分类与型号命名	12
2.2	几代锌锰电池	14
2.2.1	碱性锌锰电池	14
2.2.2	铵型与锌型锌锰电池	16
2.2.3	锌锰电池的原材料与几代产品比较	16
2.3	锌锰电池的特点与参数	17
2.3.1	几种锌锰电池的特点	17
2.3.2	常用锌锰电池的性能资料	18
2.4	锌锰电池的应用	19
2.4.1	正确选用锌锰电池	19
2.4.2	锌锰电池充分和合理使用经验	21
2.4.3	锌锰电池的充电使用	22
2.5	锌锰电池的检测与维修	24
2.5.1	检测锌锰电池质量的方法	24

2.5.2 锌锰电池故障维修方法	25
------------------------	----

第3章 锂锰干电池

3.1 锂锰电池及其结构原理	27
3.1.1 锂锰电池的图形与分类	27
3.1.2 锂锰电池的结构与原理	27
3.2 锂锰电池的特性	29
3.2.1 锂锰电池的特点	29
3.2.2 锂锰电池的性能	29
3.3 锂锰电池的应用技术	31
3.3.1 圆柱形锂锰电池不允许非专业人员充电的原因	31
3.3.2 扣式锂锰电池的充电与使用	32
3.4 其他系列锂电池	34
3.4.1 三种系列锂电池的组成结构	34
3.4.2 一次锂电池的归类及安全使用	34

第4章 扣式电池

4.1 常用扣式电池	36
4.1.1 锌银扣式电池	36
4.1.2 锌空扣式电池	37
4.1.3 锌汞扣式电池	38
4.1.4 其他扣式电池	38
4.1.5 扣式电池的分类与型号	39
4.2 扣式电池的特性	39
4.2.1 扣式电池的特点	39
4.2.2 扣式电池的性能参数	40
4.3 扣式电池的应用	43
4.3.1 扣式电池的选用	43
4.3.2 扣式电池的使用技巧	44
4.4 扣式电池的延寿与充电	45
4.4.1 扣式电池的延寿方法	45
4.4.2 扣式电池的充电方法	45

第5章 层叠电池

5.1 层叠电池的结构与性能	47
5.1.1 层叠电池的结构	47

5.1.2	层叠电池的型号与特性	48
5.2	层叠电池的使用	51
5.2.1	层叠电池的应急使用	51
5.2.2	层叠电池的变通使用	51

第6章 铅硫酸蓄电池

6.1	各种铅蓄电池	53
6.1.1	铅蓄电池基础与分类	53
6.1.2	大型敞开式蓄电池(组)的特点	54
6.1.3	小型密封式蓄电池(组)的特点	57
6.1.4	方形单体铅蓄电池的特点	58
6.1.5	圆柱形单体铅蓄电池的特点	59
6.1.6	胶体铅蓄电池的特点	60
6.2	铅蓄电池的参数与型号	61
6.2.1	铅蓄电池的主要参数及其意义	61
6.2.2	各种铅蓄电池的性能参数	66
6.2.3	铅蓄电池的型号命名	70
6.3	铅蓄电池的电解液配制技术	72
6.3.1	电解液的性质与要求	72
6.3.2	配制电解液的步骤与注意事项	73
6.4	铅蓄电池的充、放电技术	75
6.4.1	铅蓄电池常用充电方法	75
6.4.2	铅蓄电池初次充电技术	76
6.4.3	铅蓄电池常规充电技术	78
6.4.4	铅蓄电池浮充电技术	80
6.4.5	铅蓄电池均衡充电技术	81
6.4.6	铅蓄电池快速充电技术	82
6.4.7	铅蓄电池补充电技术	82
6.4.8	铅蓄电池正常放电技术	83
6.4.9	过充电、过放电对蓄电池的危害	83
6.4.10	部分铅蓄电池充电的技术数据	84
6.5	铅蓄电池的检测与使用	85
6.5.1	铅蓄电池的参量检测方法	85
6.5.2	铅蓄电池的应用	86
6.6	铅蓄电池极板硫化、软化的维修	88
6.6.1	铅蓄电池极板硫化的危害与特征	88

6.6.2	铅蓄电池极板硫化的原因与判断	89
6.6.3	铅蓄电池极板硫化的修复方法与预防措施	90
6.6.4	铅蓄电池极板软化的维修	93
6.7	大型敞开式铅蓄电池的故障维修	94
6.7.1	铅蓄电池封口与外壳破裂的维修	94
6.7.2	铅蓄电池短路故障的维修	96
6.7.3	铅蓄电池断路故障的维修	97
6.7.4	铅蓄电池缺水故障的维修	98
6.7.5	铅蓄电池其他故障的维修	99
6.8	小型密封式铅蓄电池的故障维修	100
6.8.1	密封铅蓄电池的维护	100
6.8.2	密封铅蓄电池极板硫化故障的维修	101
6.8.3	密封铅蓄电池缺水故障的维修	104
6.8.4	密封铅蓄电池失效故障的维修	106
6.8.5	密封铅蓄电池其他故障的维修	107

第7章 镉镍电池与铁镍电池

7.1	镉镍电池基础	109
7.1.1	镉镍电池组的结构与原理	109
7.1.2	单体镉镍电池的结构与原理	111
7.1.3	镉镍电池的分类与型号命名	113
7.2	镉镍电池的性能	114
7.2.1	镉镍电池的特性	114
7.2.2	镉镍电池的参数项目	114
7.2.3	镉镍电池的性能参数	116
7.3	镉镍电池的三大技术	118
7.3.1	镉镍电池的充电技术	118
7.3.2	镉镍电池的放电技术	121
7.3.3	镉镍电池的电解液配制技术	122
7.4	镉镍电池的使用与维护	126
7.4.1	镉镍电池的使用检测	126
7.4.2	镉镍电池的日常维护	127
7.5	镉镍电池的故障维修	128
7.5.1	镉镍电池的软性故障维修	128
7.5.2	镉镍电池的硬性故障维修	132
7.5.3	镉镍电池其他故障的排除方法	134

7.6	铁镍电池的结构与特性	135
7.6.1	铁镍电池的结构与原理	135
7.6.2	铁镍电池的特性	136

第8章 镍氢电池

8.1	镍氢电池及其结构原理	138
8.1.1	镍氢电池的概况	138
8.1.2	镍氢电池的结构与原理	139
8.2	镍氢电池的特性与应用	140
8.2.1	镍氢电池的特点与应用	140
8.2.2	镍氢电池的充、放电特性	141
8.2.3	镍氢电池的温度特性与自放电特性	142
8.3	镍氢电池的检测与维修	143
8.3.1	真假镍氢、镉镍电池的辨别方法	143
8.3.2	品牌电池的识别	144
8.3.3	镍氢电池的修理方法	144

第9章 锌银电池

9.1	锌银电池的原理与特性	146
9.1.1	锌银电池的发展与分类	146
9.1.2	锌银电池的构造与原理	146
9.1.3	锌银电池的基本特性	147
9.2	锌银电池的技术	148
9.2.1	锌银电池的充放电技术	148
9.2.2	锌银电池的技术性能	149
9.3	锌银电池的应用与维修	149
9.3.1	新锌银电池的使用方法	149
9.3.2	锌银扣式电池的特点与使用	150
9.3.3	锌银电池的使用与维护	151

第10章 锂离子电池

10.1	普通型锂离子电池种类与特点	153
10.1.1	锂离子电池的图形与分类	153
10.1.2	锂离子电池的特点	154
10.2	普通型锂离子电池的结构与原理	155
10.2.1	锂离子电池的结构	155

10.2.2	锂离子电池的原理	156
10.3	普通型锂离子电池的技术性能	158
10.3.1	锂离子电池的充电特性	158
10.3.2	锂离子电池的放电特性	160
10.3.3	锂离子电池的特性参数	161
10.4	普通型锂离子电池的应用与维修	162
10.4.1	锂离子电池的使用	162
10.4.2	锂离子电池的应用技能	166
10.4.3	锂离子电池的维修	167
10.5	其他类型锂离子电池	168
10.5.1	聚合物锂离子电池	168
10.5.2	磷酸铁锂电池	170
10.5.3	锂离子电池的综述资料	171

第11章 光 电 池

11.1	光电池基础常识	173
11.1.1	光电池的种类	173
11.1.2	光电池的应用概况	173
11.2	硅光电池	174
11.2.1	硅光电池的特性	174
11.2.2	硅光电池的应用与维修	177
11.3	太阳电池	179
11.3.1	太阳电池的特性	179
11.3.2	太阳电池的应用与维修	181
11.4	太阳电池发电系统	183
11.4.1	太阳电池充电设备	183
11.4.2	太阳电池与风力发电机组成的发电系统	186

第12章 蓄电池充电维护设备

12.1	蓄电池充电专业技术设备	190
12.1.1	用发电机给蓄电池充电	190
12.1.2	用充电器给蓄电池充电	193
12.2	蓄电池安全使用的保护设备	197
12.2.1	蓄电池安全充电设备	197
12.2.2	蓄电池安全充、放电设备	204
12.2.3	蓄电池安全放电设备	209

12.3	蓄电池维护、维修设备	211
12.3.1	蓄电池维护设备	211
12.3.2	蓄电池修复设备	214

第 13 章 实用充电器制作技术

13.1	制作铅蓄电池充电器	219
13.1.1	制作铅蓄电池自动充电器	219
13.1.2	制作蓄电池快速充电器	219
13.1.3	制作充电电压可设置的恒流充电器	222
13.2	制作镉镍电池充电器	223
13.2.1	制作镉镍电池充电、放电器	223
13.2.2	制作镉镍、镍氢电池充电器	237
13.3	制作锂离子电池充电器	240
13.3.1	制作恒流、恒压充电器	240
13.3.2	制作其他功能充电器	244

第 14 章 国内外充电器电路精选

14.1	铅蓄电池充电器	246
14.1.1	FM-36 型铅蓄电池充电器	246
14.1.2	FM-48 型铅蓄电池充电器	249
14.1.3	通用铅蓄电池充电器	255
14.2	镉镍电池充电器	258
14.2.1	恒流型充电器	258
14.2.2	快速型充电器	264
14.2.3	自动型充电器	269
14.3	锂离子电池充电器	272
14.3.1	恒流恒压型充电器	272
14.3.2	专用控制电路型充电器	276
14.3.3	其他类型充电器	278

第1章 常用电池概况

电池从总体上分为化学电池和物理电池两大类。

化学电池是一种能源储存与转换器件，它能将储存的化学能转换成电能，供电气设备使用，因此又将化学电池称为化学电源。例如锌锰电池、氧化银电池、铅蓄电池、镉镍电池、锂电池等均属化学电池。

物理电池则是一种能源转换器件，它需要从外界获得能量才可转变为电能。例如硅光电池、太阳能电池、温差电池、原子电池等均属物理电池。

电池在手机、手电筒、遥控器、电子钟表、仪器仪表、电子玩具、小型电动工具、捕鱼机、采茶机、矿井灯、航标灯、收音机、照相机、摄录像机、计算器、笔记本电脑、计算机、助动车、电瓶车、电动车、摩托车、拖拉机、汽车、轿车、医疗仪器、电信通信、铁路客车、内燃机车、轮船、国防、军事通信、航空、航天、航海、人造卫星、太阳能与风力发电站及工农业生产等电器或领域广泛使用。

电池既得到普遍使用，同时也是一种损耗件。特别是电动车、汽车上应用的电池，以及手机、照相机、笔记本电脑、轿车上应用的高档电池，其价格高，如果损坏，往往造成经济损失。因此，合理使用、正确维护电池以及降低使用成本就成为人人关心的问题。

本书在讲解各种电池的结构、特性、原理、使用、维护及修理等技术知识之前，先对研究、生产、使用最早、最普遍的化学电池的概况予以介绍。

1.1 化学电池基础知识

人们习惯将化学电池简称为电池，它是通过化学物质的化学反应，将化学能转变为电能的一种装置。

任何一种化学电池，都是由正极材料、负极材料、隔膜及电解液构成，用于制作电池的材料不同，决定了各种电池的性能存在一定区别。本节先了解化学电池的基础知识。

1.1.1 电池的图形与符号

各种常见电池的图形如图 1-1 所示。



图 1-1 各种电池的图形

1. 常用电池的图形

如图 1-1 (a)、(b)、(c)、(d) 所示是几种常用电池的图形，它们都有一定的体形样式、外表尺寸、正电极 (+) 和负电极 (-)，正、负电极之间具有一定的电压。

在常见电池中，有些是单元结构，有些是组合结构。

如图 1-1 (a)、(b)、(c) 所示的电池，都是单元结构。这种电池在使用中是一个不可分割的整体，也称为单体电池或单节电池。例如，有些 1.5V 收音机是使用一节如图 1-1 (a) 所示的 1 号干电池；耳塞机多是用一节如图 1-1 (a) 所示的 5 号干电池；电子手表常用一个如图 1-1 (b) 所示的扣式电池；遥控器上多采用两节如图

1-1 (a) 所示的 7 号干电池串联使用。

如图 1-1 (d) 所示的电池, 则是组合结构。它是将多个单格电池制作成一个不可分割的整体, 常称之为电池组。摩托车、汽车、火车、轮船上使用的电池, 均为电池组。

在此指出: 人们常说的单节电池、单体电池、单元电池、单格电池、单个电池, 本书在下面统称为单电池。

2. 电池的图形符号

为了便于描述电池, 常用如图 1-2 所示的符号来表示电池, 在电器电路图中经常看到或用到。

单电池都有一个正极和一个负极。在图形符号上是用一条细长线段表示正极, 并标记“+”号, 而用一条粗短线段表示负极, 并标记“-”号。单电池都用如图 1-2 (a) 所示的符号表示。

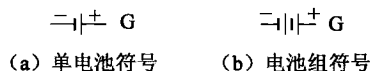


图 1-2 电池图形符号

电池组一般是由多个单电池按异极性串联组成, 其图形符号规定用如图 1-2 (b) 所示的符号表示。电池组对外只有一个正极和一个负极, 其图形符号上正、负极的表示方法与单电池相同。

1.1.2 化学电池的种类及功能

1. 电池的分类方法

日常使用的多为化学电池, 常按其能否充电, 分为一次电池和二次电池两大类。一次电池是不可再充电使用的电池, 也称为干电池或原电池; 二次电池是可以反复充电使用的电池, 又称为可充电电池或蓄电池。

一次电池之所以称为干电池, 是因为它采用的电解液是一种不能流动的化学糊状溶液, 而二次电池使用的电解液则是液态的化学溶液, 相对而言, 就称二次电池为蓄电池, 这是用于区分一次电池和二次电池的传统叫法。

1) 一次电池的分类

按制造物质, 可分为普通锌锰干电池、氯化铵锌锰干电池、氯化锌锌锰干电池、碱性锌锰干电池、锂锰干电池等。

按外形样式, 可分为圆柱形干电池、方形干电池、扣式干电池。

按单电池的电压, 可分为 1.4V 锌空电池、1.5V 锌锰电池、3V 锂锰电池等多种电压规格的电池。

2) 二次电池的分类

按电解液性质, 可分为酸性蓄电池和碱性蓄电池。

按极板材料, 可分为铅蓄电池、铁镍蓄电池、镉镍蓄电池、镍氢蓄电池、银锌蓄电池、锂离子蓄电池等。

按外表封装形式, 可分为敞开式蓄电池, 密封式蓄电池。

按单电池的电压,可分为 1.2V 镉镍电池、1.35V 锌汞电池、1.55V 锌银电池、2V 铅蓄电池、3.6V 锂离子电池等。

按外形样式,可分为圆柱形蓄电池、方形蓄电池、扣式蓄电池。

2. 电池的基本功能

电池是各类化学电源的总称。若按如图 1-3 (a) 所示用导线把灯泡 H、开关 S 与电池 G 的正、负极串联起来,当开关连通使电路构成闭合回路时,灯泡上就有电流通过而发光。电流的方向始终是从电池正极流出,经过开关和灯泡后流回到电池负极,如图 1-3 (b) 所示。常称电路中的电池 G 为直流电源,称灯泡 H 为电源的用电负载。

如果把开关断开,电路就不为闭合回路,也不产生回路电流,灯泡便因无电流通过而不发光,如图 1-3 (c) 所示。这时的电路称开路状态。

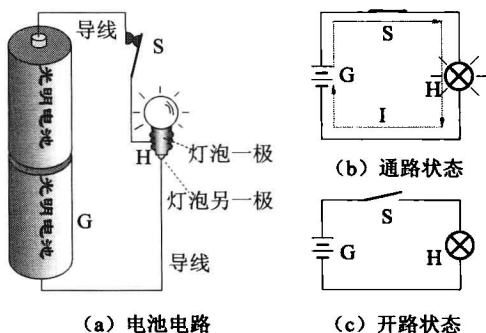


图 1-3 电池的功能原理图

1.2 化学电池的特性参数

1.2.1 电池的主要参数项

1. 电源的电动势

电池作为化学能电源,其内部物质时时刻刻都在进行着化学反应。化学反应的结果是使正极聚积大量正电荷,负极聚积大量负电荷,从而使得电池正极电势比负极电势高,必然产生正极高于负极的电势差,对外表现为电压。

电池两端具有电压,也就具备了向外输出电能的功能。这种功能就称为电源的电动势。由此可以说,电源电动势就是电池两极开路时的电压。

维持电池两端电压的是电源电动势,而电源电动势则是以物质化学反应为动力源产生的。因此还可以说,电动势是维持电池两极电压的保障。如果电池内部的化学反应减弱或消失,电动势也将减弱或消失,则电池两极的电压也会随之降低或消失。

电源电动势用字母 E 表示,基本单位是 V。

2. 电池的额定电压

电池的额定电压,是指新电池接上额定负载时两极呈现的电压值。额定电压常用 U 表示,单位是 V。

额定电压通常标注在电池的表面上,也称为标称电压。

各类单电池额定电压的标准一般不同。如锌锰电池为 1.5V,锂锰电池为 3V,

铅蓄电池为 2V，镉镍电池为 1.2V，锂离子电池为 3.6V。如果是电池组，其额定电压为单电池额定电压的整数倍。

3. 电池的内阻

1) 局部电路欧姆定律

如果把电池、电阻按如图 1-4 用导线连接成闭合电路，那么在电池电压的作用下，就有电流流过电阻。

根据欧姆定律，电压、电流、电阻三者存在以下关系

$$I = \frac{U}{R}$$

式中： U 为电源电压 (V)； R 为电路中的电阻 (Ω)；

I 为电路中的电流 (A)。

上述公式适用于电池外部的局部电路计算，所以又称为局部电路欧姆定律。电路中的 R 也称电池的外部电阻。

2) 全电路欧姆定律

在闭合电路中，不仅经常研究电源外部电路的特性，有时也要连同电源内部一起研究，这就构成了全电路。

电源内部也存在着电阻，称为电源的内电阻，简称内阻，用 r 表示。这样，在图 1-4 所示的闭合电路中，内电阻 r 便与外电阻 R 串联，所以全电路的总电阻值为 $r+R$ 。

在全电路中，电动势、电流、电阻三者也有一定的关系，用公式表示为

$$I = \frac{E}{R+r}$$

式中： E 为电源电动势 (V)； R 为电源外电路中的电阻 (Ω)； r 为电源内部的电阻 (Ω)；

I 为电路中的电流 (A)。通常忽略电路中导线的电阻值，于是上式又可演变为

$$E = IR + Ir = U + Ir \quad \text{或} \quad U = E - Ir$$

这又表明：在全电路的闭合回路中，电源电动势 E 在数值上等于电源对外电压 U 与内部电阻上的电压降 Ir 之和。或者说，电源两端的电压 U 等于电源电动势 E 减去电源内阻上的电压降 Ir 。这一规律称为全电路欧姆定律。

当电路处于开路状态时，电路中无电流，电源内阻的电压降 Ir 为零，这时的电源电动势 E 与其对外电压 U 相等，这时的电压称为额定电压。通常说一节电池的电压为 1.5V，就是指锌锰电池的额定电压。

3) 电源的内电阻

在通常情况下，由于电源内阻 r 比外电路的电阻 R 小得多，所以常忽略 r 而不讨论电源的内电阻。但当电源的负载 R 短路后，其外电路电阻 $R=0$ ，这时全电路的

电流为 $I = \frac{E}{r+0}$ ，由于 r 很小，故形成的电流 I 很大，大电流在通过电源内电阻 r 时，

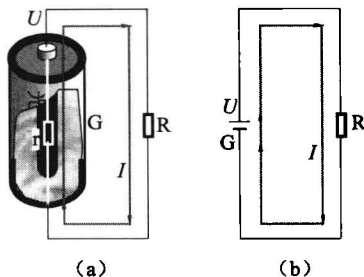


图 1-4 电源的电压与电阻