

## 内 容 提 要

全书包括汽车用动力电池综述、锂离子电池、汽车电池管理系统、汽车充电技术、汽车动力电池系统、汽车动力电池系统开发六部分内容，作者结合多年教学经验和相关课题研究，采用图文并茂、通俗易懂的形式，对各模块的研究与应用现状、构造、工作原理、检测、仿真、编程等予以详细介绍。本书可作为相关专业的高职、本科、研究生以及工程技术人员等的学习和参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

新能源汽车动力电池技术 / 吴会波, 王瑛, 乔俊叁  
著. —北京: 航空工业出版社, 2023.2  
ISBN 978-7-5165-3286-7

I . ①新… II . ①吴… ②王… ③乔… III . ①新能源  
—汽车—蓄电池—教材 IV . ①U469.720.3

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 030249 号

## 新能源汽车动力电池技术

Xinnengyuan Qiche Dongli Dianchi Jishu

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 100028)

发行部电话: 010-85672663 010-85672683

北京荣玉印刷有限公司印刷

2023 年 2 月第 1 版

开本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印张: 18

全国各地新华书店经售

2023 年 2 月第 1 次印刷

字数: 448 千字

定价: 62.00 元

# 前言

## FOREWORD



石油由恐龙时期的大型动物尸体在漫长期的地质变化中所形成，属于不可再生资源，石油危机在临近。汽车作为一种便捷的交通工具越来越普及，但是传统燃油车的燃料为石油，且燃油车排放尾气对环境的危害也是不可小觑的。因此科学家提出新能源汽车的方案，尝试解决石油问题。今天的汽车市场中，新能源汽车的发展与壮大已经成为一种可预见的趋势。

在汽车动力电池应用上，锂离子动力电池最为成熟和普及，磷酸铁锂和三元锂电池已成为主流。安全、零污染的氢燃料电池和低成本的锂硫电池也在竞相研发。网联化、智能化是汽车行业的新一轮科技革命，电动汽车的电控底盘是汽车网联化、智能化的基础和先决条件。未来，在“电动化、网联化、智能化”的促进下，我国汽车行业将成为推动全球汽车行业转型升级的领跑者。

目前我国新能源汽车发展领跑全球。搭载组合辅助驾驶系统的乘用车新车市场占比越来越大。同时，创新成果亮点纷呈、可持续发展能力进一步增强，智能网联汽车车载基础计算平台实现装车应用，人工智能芯片算力达到国际先进水平。销量方面，新能源汽车销量及新能源汽车出口量逐年大幅增长。随着动力电池的技术发展和成熟，续航里程、充电便利性和驾驶安全性等重要需求日益得到驾驶员认可，新能源汽车正被越来越多消费者接受，并加速进入私人消费市场，推动着产销规模进一步增长。

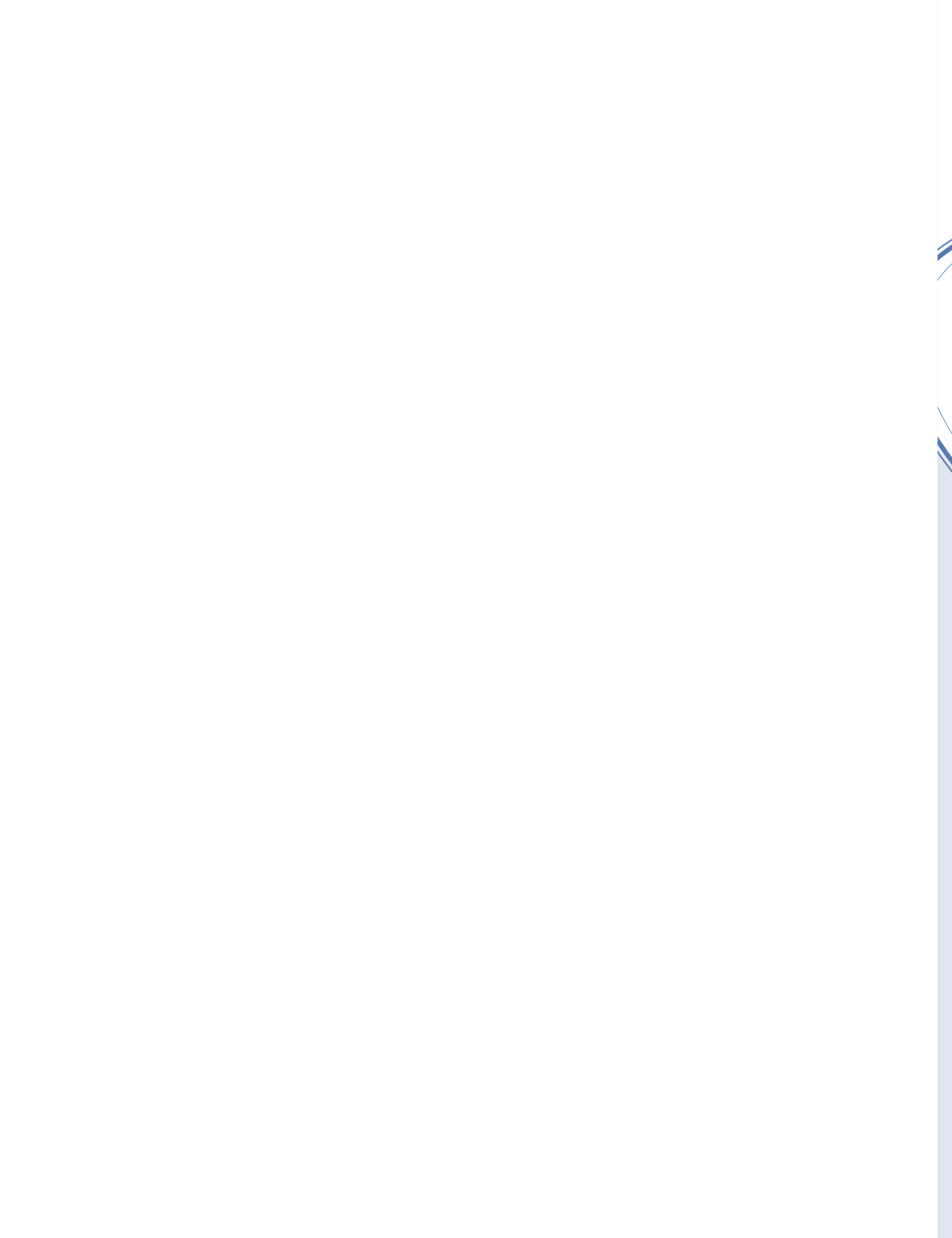
本书依据《职业院校教材管理办法》和《普通高等学校教材管理办法》中的指导思想及党的二十大相关精神，融入课程思政、岗课赛证、校企合作理念，结合行业应用和企业工作岗位需求，介绍了新能源汽车动力电池的最新研究技术和企业生产的相关操作工艺。

本书主要介绍了汽车常用动力电池的种类、工作原理、汽车动力电池的应用和管理、汽车充放电技术和汽车动力电池系统的开发技术，其中重点介绍了锂离子电池、充放电、汽车动力电池包和电池管理系统的原理与应用。作者在综述各模块的最新应用的同时，也结合课题组的研究和教学工作，在对应专业领域给出了大量的最新技术研究 and 应用成果。因此，针对汽车行业的高等学校师生和科研院所研发工程师，本书是一本很有参考价值的专业资料。

此外，本书作者还为广大一线教师提供了服务于本书的教学资源库，有需要者可致电 13810412048 或发邮件至 2393867076@qq.com。

编者

2022.09.26



# 目录 CONTENTS

## 第 1 章

## 汽车用动力电池综述

1.1 动力电池性能指标与定义	003
1.1.1 电压	003
1.1.2 容量	004
1.1.3 内阻	005
1.1.4 能量	006
1.1.5 功率	007
1.1.6 输出效率	007
1.1.7 自放电率和储存性能	008
1.1.8 放电倍率	009
1.1.9 放电平台	009
1.1.10 充电效率和放电效率	010
1.1.11 使用寿命	010
1.1.12 价格	010
1.2 铅酸蓄电池	011
1.2.1 铅酸蓄电池的研究与应用	011
1.2.2 铅酸蓄电池的工作原理	013
1.2.3 铅酸蓄电池的分类、结构、型号与特点	014
1.2.4 铅酸蓄电池的充放电特性	016
1.2.5 蓄电池的充电方法	018
1.3 镍氢电池	021
1.3.1 镍氢电池的工作原理	021
1.3.2 镍氢电池的分类与结构	021
1.3.3 镍氢电池的充放电特性	022
1.3.4 镍氢电池的国外发展动态	023
1.4 燃料电池	025
1.4.1 燃料电池的分类	025
1.4.2 燃料电池的结构与工作原理	028
1.4.3 燃料电池的优缺点	034
1.4.4 燃料电池电堆的生产工艺	035
1.4.5 燃料电池的发展与应用	046
1.5 钠离子电池	049
1.5.1 钠离子电池的结构、工作原理与特点	049
1.5.2 钠离子电池的研究与应用进展	054

# 目录

## CONTENTS

1.6 锂空气电池	057
1.6.1 锂空气电池的结构与工作原理	057
1.6.2 锂空气电池的分类	058
1.6.3 锂空气电池的应用分析	058
1.7 锂硫电池	060
1.7.1 锂硫电池的结构与工作原理	060
1.7.2 研究与应用分析	061
1.8 太阳能电池	065
1.8.1 太阳能电池的发电原理	065
1.8.2 太阳能电池的分类	066
1.8.3 太阳能电池的特点	066
1.9 超级电容器	068
1.10 飞轮电池	071

## 第 2 章

### 锂离子电池

2.1 锂离子电池的工作原理	077
2.2 锂离子电池的结构	080
2.2.1 正极	080
2.2.2 隔膜	086
2.2.3 负极	087
2.2.4 集流体	089
2.2.5 电解液	092
2.2.6 安全装置	099
2.2.7 电池外壳	099
2.3 锂离子电池的分类与特点	100
2.3.1 锂离子电池的分类	100
2.3.2 锂离子电池的优点与应用	106
2.4 锂离子电池的充放电	110
2.4.1 充放电特性	110
2.4.2 充放电策略	115
2.5 锂离子电池的工艺与设计	118
2.5.1 极片制作	118
2.5.2 电芯装配	123
2.5.3 分容配组	126
2.5.4 制造工艺对电池特性的影响	128
2.5.5 软包电池的工艺	129



2.5.6 锂离子电池设计要点	135
2.6 锂离子电池的新技术研究与应用	137
2.6.1 锂金属电池	137
2.6.2 锂离子电池	138
2.6.3 新技术的研究应用	138

## 第 3 章 汽车电池管理系统

3.1 电池管理系统组成与原理	149
3.1.1 BCU 模块组成	150
3.1.2 BMC 模块组成	151
3.2 汽车电池管理系统功能	153
3.2.1 能量管理	153
3.2.2 安全保护	155
3.2.3 信息管理	160
3.3 继电器控制	162
3.3.1 整车上电控制	162
3.3.2 充电控制	163
3.4 动力电池剩余电量和健康估算	165
3.4.1 剩余电量 (SOC) 估算	165
3.4.2 动力电池健康 (SOH) 评估	169
3.5 动力电池包工艺	171
3.5.1 电池包装配	171
3.5.2 动力电池测试	172
3.5.3 电池包扣盖密封、与车身分离操作流程	177

## 第 4 章 汽车充电技术

4.1 连接方式、充电模式和充电接口分类	185
4.1.1 连接方式	185
4.1.2 充电模式	186
4.1.3 充电接口	187
4.2 直流充电结构与工作原理	189



# 目录 CONTENTS

4.3	交流充电结构与工作原理	196
4.4	几种车型的充电技术应用案例	204
4.4.1	比亚迪 E5 充电枪	204
4.4.2	北汽 EV200 车系充电系统	205
4.4.3	吉利帝豪 GSe 电动汽车充电系统	206
4.5	汽车充电技术的发展与研究	208
4.5.1	一种新型直流充电接口	208
4.5.2	电动汽车无线充电技术	210

## 第 5 章 汽车动力电池系统

5.1	汽车动力电池系统模组结构	221
5.1.1	电池系统的层次结构	221
5.1.2	汽车电池系统案例介绍	222
5.2	汽车动力电池系统特性及要求	226
5.3	汽车动力电池系统的研究与最新应用	230
5.3.1	电池的配组检验、分档入库	230
5.3.2	电池系统的结构设计研究与应用	231
5.3.3	无模组结构	232

## 第 6 章 汽车动力电池系统开发

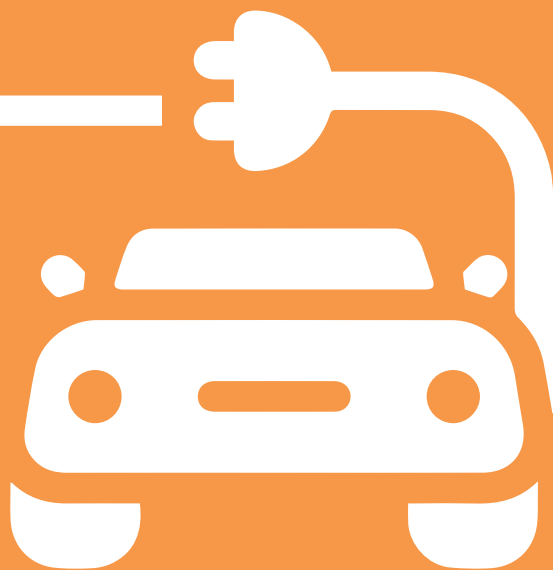
6.1	基于 MATLAB 的动力电池管理系统开发	237
6.1.1	信号去抖模块控制开发	237
6.1.2	动力电池预充控制模块开发	252
6.1.3	动力电池剩余电量估算设计开发	258
6.2	动力电池系统电磁抗干扰开发	261

参考文献	279
------	-----



# 1

## 第 章



# 汽车用动力电池综述

## 学习目标

### 知识目标

1. 了解动力电池的性能指标与定义。
2. 掌握铅酸蓄电池、镍氢电池、燃料电池、钠离子电池、锂空气电池、锂硫电池、太阳能电池、超级电容器和飞轮电池的结构与工作原理。
3. 掌握铅酸蓄电池、镍氢电池的充放电特性。

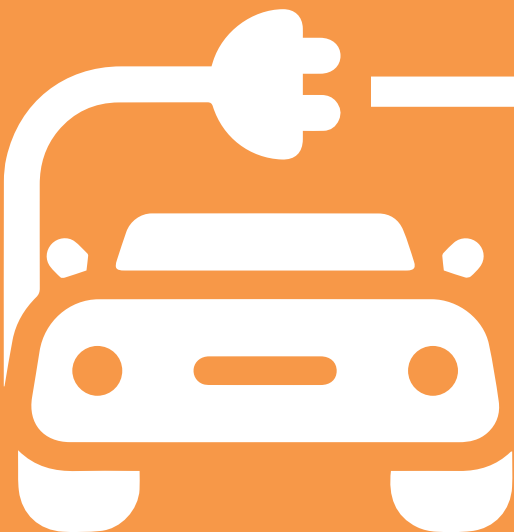
### 能力目标

1. 能够采用常用动力电池的指标分析其特性。
2. 能够分析汽车车载铅酸蓄电池、镍氢电池的充放电特性。

### 素质目标

1. 培养严谨的工匠精神和技术创新能力。
2. 激发爱国情怀，为我国新能源汽车动力电池的发展与应用努力工作。





## 知识框图

### 汽车用动力 电池综述

动力电池  
性能指标与  
定义

铅酸蓄电池

镍氢电池

燃料电池

钠离子电池

锂空气电池

锂硫电池

太阳能电池

超级电容器

飞轮电池



## 1.1

# 动力电池性能指标与定义

新能源汽车是指采用非汽油等常规车用燃料作为动力来驱动的汽车。电动化是目前新能源汽车发展最基础、最成熟的方向。电机、电控技术涉及产业链和技术较广，国际上的发展也基本成熟。目前，制约电动汽车发展的关键技术是动力电池，动力电池的性能直接影响汽车的动力性、续航里程和使用安全。因此，动力电池的技术研发是目前汽车行业的热点研究方向。包括我国在内，全球的汽车动力电池的研究基本上都处于起步阶段，因此我国制定了迅速发展新能源汽车的“弯道超车”战略。

电池是一种把化学反应所释放的能量直接转变成直流电能的装置。电池应用的过程是电能输入转变为化学能存储，再以电能形式输出的能量转换过程。

二次电池是能够重复充放电使用的电池。在放电的时候，发生还原反应的叫作正极（得电子），发生氧化反应的叫作负极（失电子）。

动力电池即为工具提供动力来源的电源，多指为电动汽车、电动列车、电动自行车、电动高尔夫球车提供动力的蓄电池。

各种动力电池的基本概念、评价参数和电化学原理等有许多相同之处。在对不同电池特性的比较中，也需要根据这些基本概念采用各种性能参数指标进行比较和研究，得出应用效果。评定动力电池的实际效用，主要是看动力电池的性能指标。

动力电池的性能指标主要有电压、容量、内阻、能量、功率、输出效率、自放电率、使用寿命等，电池种类不同，其性能指标也有差异。

## 1.1.1 电压

电压分为端电压、开路电压、额定电压、放电电压、充电终止电压和放电终止电压等。

### 1. 端电压

电池的端电压是指电池正极与负极之间的电位差。

### 2. 开路电压

电池在开路状态下的端电压称为开路电压，即电池在没有负载情况下的端电压。



### 3. 额定电压

额定电压是指电池在标准规定条件下工作时应达到的电压，又称标称电压或平台电压，它是选用电池时的参考。它只与电极活性物质的种类有关，而与活性物质的数量无关。

### 4. 放电电压

电池的放电电压是指电池接通负载后在放电过程中显示的电压，又称工作电压。在电池放电初始的工作电压称为初始电压。电池接上负载后实际的放电电压随不同使用条件有所区分，一般是指一个电压范围。

### 5. 截止电压

截止电压又叫终止电压，包括充电终止电压和放电终止电压。

充电终止电压：蓄电池充满电时，极板上的活性物质已达到饱和状态，若继续充电，电池的电压也不会上升，此时的电压称为充电终止电压。

放电终止电压：电池在一定标准所规定的放电条件下放电时，电池的电压将逐渐降低，当电池不宜再继续放电时，电池的最低工作电压称为终止电压。如果电压低于放电终止电压后电池继续放电，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，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，电池的容量越小。

截止电压视负载和使用要求不同而异，是人为规定的值。充电和放电时的电压值均不能超过这两个值，否则电池会因为过充过放而损坏。

## 1.1.2 容量

电池在一定的放电条件下所能放出的电量称为电池的容量。常用单位为 Ah，它等于放电电流与放电时间的乘积。电池的容量可以分为理论容量、实际容量、标称容量、额定容量等。

电池容量  $Q$  的计算方法：电池电流对通电（充电或者放电）时间进行积分。一般采用以下公式近似表达：

$$Q = \sum_{i=0}^n I_i t_i$$

式中： $n$ ——将电池通电过程分为  $n$  个时间段；

$I_i$ ——在第  $i$  个时间段下，电池的通电电流平均值或者瞬时值。

### 1. 理论容量

理论容量是把活性物质的重量按法拉第电磁感应定律计算而得到的最高理论值，即单位体积或单位重量电池所能给出的理论电量，单位为 Ah/L，或 Ah/kg、mAh/g。

理论容量的计算（单位：mAh/g）： $C_{\text{理论}} = nF/3.6M$ ，其中  $C_{\text{理论}}$  为理论比容量， $n$  为嵌入锂的摩尔数， $F$  为法拉第常数（法拉第常数值为 96500 C/mol，即 1mol 正极材料  $\text{Li}^+$  完全脱嵌时转移的电

量为 96500C),  $M$  为物质的分子量。

由单位知, mAh/g 指每克电极材料理论上放出的电量:

$$1\text{mAh} = 1 \times 10^{-3}\text{A} \times 3600\text{s} = 3.6\text{C}$$

以磷酸锂铁电池  $\text{LiFePO}_4$  为例:

$\text{LiFePO}_4$  的分子量是 157.751g/mol, 所以它的理论电容量是  $96500 \div 157.756 \div 3.6 \approx 170 \text{mAh/g}$ 。

## 2. 实际容量

实际容量是指电池在一定条件下所能输出的电量, 它等于放电电流与放电时间的乘积, 单位为 Ah, 其值小于理论容量。

实际容量反映了电池实际存储电量的大小, 电池容量越大, 电动汽车的续航里程就越远。在使用过程中, 电池的实际容量会逐步衰减。国家标准规定: 新出厂的电池实际容量大于额定容量值为合格电池。

## 3. 标称容量

标称容量是电池以 0.2C 放电时的放电容量。

## 4. 额定容量

额定容量也称保证容量, 是按国家或有关部门颁布的标准, 保证电流在一定的放电条件下应该放出的最低限度的容量。GB/T18287—2000 规定, 锂离子电池在常温、恒流 (1C)、恒压 (4.2V) 控制的充电条件下, 充电 3h, 再以 0.2C 放电至 2.75V 时, 所放出的电量为其额定容量。

容量单位: mAh、Ah (1Ah=1000mAh)。

## 5. 荷电状态

荷电状态 (SOC): 电池在一定放电倍率下, 剩余电量与相同条件下额定容量的比值, 反映电池容量的变化。SOC=1 即表示电池充满状态。随着电池的放电, 电池的电荷数逐渐减少, 此时可以用 SOC 的百分数的相对量来表示电池中电荷的变化状态。一般电池放电高效率区为 (50%~80%) SOC。

放电深度 (DOD): 表示蓄电池放电状态的参数, 等于实际放电容量与额定容量的百分比。放电深度的高低和电池的充电寿命有很大的关系, 电池的放电深度越深, 其充电寿命就越短, 会导致电池的使用寿命变短, 因此应尽量避免深度放电。例如, 容量为 100Ah 的电池, 若放电后容量变为 30Ah, 则称为 70%DOD。

### 1.1.3 内阻

电池的内阻是指电流流过电池内部时所受到的阻力。电池内阻越大, 电池自身消耗的能量越多, 电池的使用效率越低。由于内阻的存在, 电池的工作电压总是小于电池的电动势或开路电压。电池的内阻不是常数, 在充放电过程中随时间不断变化, 这是因为活性物质的组成、电解液的浓度和温度都在不断改变, 随着电池使用次数的增多, 电池的内阻会有不同程度的升高。

对锂离子电池而言, 内阻分为欧姆内阻和极化内阻。

欧姆内阻主要由电极材料、电解液、隔膜电阻及集流体、极耳的衔接等各部分零件的触摸电阻组成，与电池的尺寸、结构、衔接方法等有关。

极化内阻是加载电流的瞬间才出现的电阻，是电池内部各种阻止带电离子抵达目的地的趋势总和。极化电阻可以分为电化学极化和浓差极化两部分。

锂离子电池内阻大小的精确计算相当复杂，而且在电池使用过程中会不断变化。依据相关经验声明，锂离子电池的体积越大，内阻越小；反之亦然。

目前表现比较出色的 18650 锂离子电池的内阻约为  $12\text{m}\Omega$ ，一般为  $13\text{m}\Omega\sim 15\text{m}\Omega$ ；由于阻抗会影响电池的性能，一般而言  $50\text{m}\Omega$  是正常的， $50\text{m}\Omega\sim 100\text{m}\Omega$  依然能够使用，但性能开始衰减，到  $100\text{m}\Omega$  以上要并联使用，大于  $200\text{m}\Omega$  基本不能使用。

### 1.1.4 能量

电池的能量是指在一定放电条件下，电池所能输出的电能，单位是  $\text{W}\cdot\text{h}$ 。能量  $W$  的计算方法如下：

$$W = \sum_{i=0}^n I_i U_i t_i$$

式中： $n$ ——将电池通电过程分为  $n$  个时间段；

$I_i$ ——在第  $i$  个时间段内，电池的通电电流平均值或者瞬时值；

$U_i$ ——第  $i$  个时间段内的电池两端电压平均值或瞬时值；

$t_i$ ——第  $i$  个时间段内的通电时间。

#### 1. 理论能量

理论能量是电池的理论容量与额定电压的乘积，指一定标准所规定的放电条件下，电池所输出的能量。

#### 2. 实际能量

实际能量是电池实际容量与平均工作电压的乘积，表示在一定条件下电池所能输出的能量。如图 1-1-1 是高压锂电池和低压镍氢电池的电池能量比较。



▲ 图 1-1-1 高压锂电池和低压镍氢电池的电池能量比较

### 3. 比能量

比能量也称质量比能量，是指电池单位质量所能输出的电能，单位是  $W \cdot h/kg$ 。常用比能量来比较不同的电池系统。表 1-1-1 是不同能量源的标准比能量值。

表 1-1-1 不同能量源的标准比能量值

能量源	标准比能量 / ( $W \cdot h/kg$ )	能量源	标准比能量 / ( $W \cdot h/kg$ )
汽油	12500	煤	8200
柴油	12000	铅酸电池	35
天然气	9350	镍氢电池	80
乙醇	8300	锂聚合物电池	200

### 4. 能量密度

能量密度也称体积比能量，是指电池单位体积所能输出的电能，单位是  $W \cdot h/L$ 。

#### 1.1.5 功率

电池的功率是指电池在一定放电条件下，单位时间内所输出能量的大小，单位为  $W$  或  $kW$ 。电池的功率决定了电动汽车的加速性能和爬坡能力。

##### 1. 比功率

单位质量电池所能输出的功率称为比功率，也称质量比功率，单位为  $W/kg$  或  $kW/kg$ 。

##### 2. 功率密度

单位体积电池所能输出的功率称为功率密度，也称体积比功率，单位为  $W/L$  或  $kW/L$ 。

#### 1.1.6 输出效率

动力电池作为能量存储器，充电时把电能转化为化学能储存起来，放电时把电能释放出来。在这个可逆的电化学转换过程中有一定的能量损耗。通常用电池的容量效率和能量效率来表示。

##### 1. 容量效率

容量效率是指电池放电时输出的容量与充电时输入的容量之比，即

$$\eta_c = \frac{C_{\text{放}}}{C_{\text{充}}} \times 100\%$$

式中： $\eta_c$  为电池的容量效率；

$C_{\text{放}}$  为电池放电时输出的容量；

$C_{\text{充}}$  为电池充电时输入的容量。

影响电池容量效率的主要因素是副反应。当电池充电时，有一部分电量消耗在水的分解上。此外，自放电、电极活性物质的脱落、结块、孔率收缩等也会降低容量输出。

## 2. 能量效率

能量效率也称电能效率，是指电池放电时输出的能量与充电时输入的能量之比，即

$$\eta_w = \frac{W_{\text{放}}}{W_{\text{充}}} \times 100\%$$

式中： $\eta_w$ 为电池的能量效率；

$W_{\text{放}}$ 为电池放电时输出的能量；

$W_{\text{充}}$ 为电池充电时输入的能量。

影响能量效率的因素是电池内阻，它使电池充电电压增大，放电电压下降。内阻的能量损耗常见于电池发热的形式。

### 1.1.7 自放电率和储存性能

自放电是在开路时自动放电的现象。自放电率是指电池在存放期间容量的下降率，即电池无负荷时自身放电使容量损失的速度。自放电率用单位时间容量降低的百分数表示，其表达式为

$$\text{自放电率} = \frac{C_a - C_b}{C_a \times T} \times 100\%$$

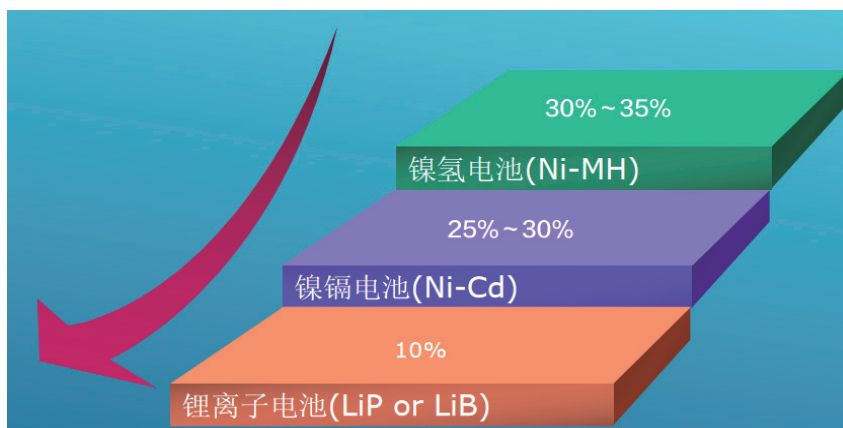
式中： $C_a$ 为电池存储前的容量（Ah）；

$C_b$ 为电池存储后的容量（Ah）；

$T$ 为电池存储的时间，常用日、月计算。行业标准锂离子电池月自放电率小于12%。

电池自放电率与电池的放置性能有关，其大小和电池内阻结构和材料性能有关。因为制作电池的原材料不可能是百分之百的纯度，总会有杂质混在中间，所以不可避免地存在自放电现象。

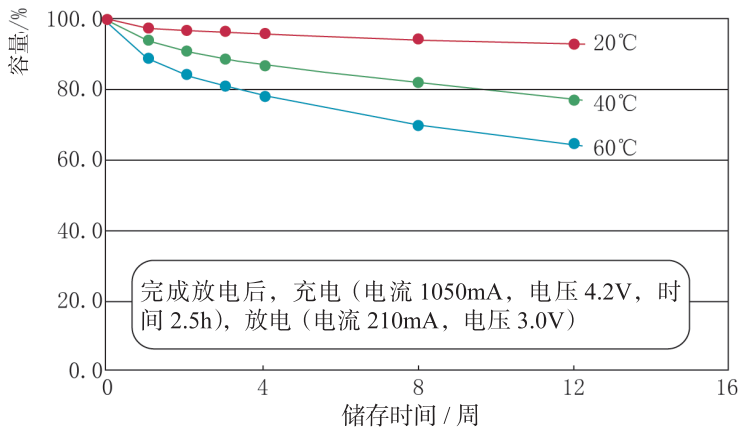
防止电池自放电可采取提高材料纯度，采取低温、低湿、防止外短路、不加电解液等措施。图1-1-2是室温下充满电的各电池储存1个月后的自放电率。



▲ 图1-1-2 室温下各电池储存1个月后的自放电率

锂离子电池在高温下存储容量会有所衰减，这些衰减可以通过小电流充放电恢复。高温充放电会影响电池的循环性能，且会使电池有微量膨胀。

电池一般推荐在 0~40℃ 范围内工作。图 1-1-3 是电池在不同温度储存下的容量衰减。



▲ 图 1-1-3 不同温度储存下的容量衰减

### 1.1.8 放电倍率

电池放电电流的大小常用“放电倍率”表示，即电池的放电倍率用放电时间表示，或者以一定的放电电流放完额定容量所需的小时数来表示，由此可见，放电时间越短，即放电倍率越高，则放电电流越大。

放电倍率等于额定容量与放电电流之比。根据放电倍率的大小，放电倍率可分为低倍率 (<0.5C)、中倍率 (0.5~3.5C)、高倍率 (3.5~7.0C) 和超高倍率 (>7.0C)。

例如，某电池的额定容量为 20Ah，若用 4A 电流放电，则放完 20Ah 的额定容量需用 5h，也就是说以 5 倍率放电，用符号 C/5 或 0.2C 表示，为低倍率。

### 1.1.9 放电平台

锂离子电池完全充电后，放电至 3.6V 时的容量记为  $C_1$ ，放电至 3.0V 时的容量记为  $C_0$ ， $\frac{C_1}{C_0}$  称为该电池之放电平台。

行业标准 1C 放电平台为 70% 以上。放电平台对手机电池使用效果影响最大，关系到手机通话的声音清晰度。

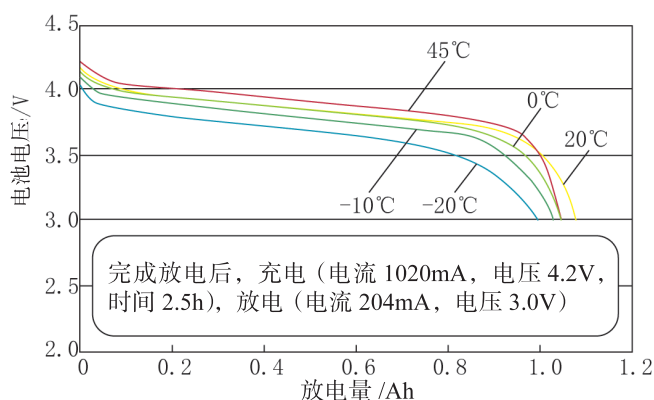
放电平台时间是指在电池满电情况下放电至某电压的放电时间。例如，某三元电池测量其 3.6V 的放电平台时间，以恒压充电到电压为 4.2V，并且充电电流小于 0.02C 时停止充电即充满电后，搁置 10 分钟，在任何倍率的放电电流下放电至 3.6V 时的放电时间即为该电流下的放电平台时间。

因某些使用锂离子电池的用电器的电压都有电压要求，如果低于要求值，则会出现无法工作的情况，所以放电平台是衡量电池性能好坏的重要指标之一。



温度低时，锂离子电池的放电平台有一定程度的降低。

特别一点：在低温时，锂聚合物电池中存在非导电的晶体相，而聚合物的导电特性直接依赖于载流子的数目和载流子的运动。因此，锂聚合物电池的放电平台降低得更多。图 1-1-4 是不同温度时锂离子电池的放电平台比较。



▲ 图 1-1-4 不同温度时锂离子电池的放电平台

### 1.1.10 充电效率和放电效率

充电效率是指电池在充电过程中所消耗的电能转化成电池所能储存的化学能的程度的量度。电池的充电效率主要受电池工艺、配方及电池的工作环境温度影响，一般环境温度越高，则充电效率越低。

放电效率是指在一定的放电条件下放电至终点电压所放出的实际电量与电池的额定容量之比，主要受放电倍率、环境温度、内阻等因素影响，一般情况下，放电倍率越高，则放电效率越低。温度越低，放电效率越低。

### 1.1.11 使用寿命

使用寿命是指电池在规定条件下的有效寿命期限。电池发生内部短路或损坏而不能使用，以及容量达不到规范要求时电池使用失效，这时电池的使用寿命终止。

电池的使用寿命包括使用期限和使用周期。使用期限是指电池可供使用的时间，包括电池的存放时间。使用周期是指电池可供重复使用的次数，也叫循环寿命。电池在完全充电后完全放电，循环进行，直到容量衰减为初始容量的 75%，此时循环次数即为该电池之循环寿命。

循环寿命与电池充放电条件有关。目前，锂离子电池室温下 1C 充放电循环寿命可达 300~500 次（行业标准），最高可达 800~1000 次。

### 1.1.12 价格

成本或价格也是一个衡量电池性能重要的指标。电动汽车发展的瓶颈之一就是电池价格高。