(3) 中性电池。中性电池以盐溶液为介质，如锌锰干电池、海水电池等。

(4) 有机电解液电池。有机电解液电池主要是以有机溶液为介质，如锂离子电池等。

2. 按工作性质和储存方式来分

(1) 一次电池。一次电池又称原电池，即不可以充电再次使用的电池，如锌锰电池、锂原电池等。

(2) 二次电池。二次电池即可充电电池，如铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池等。

(3) 燃料电池。燃料电池中，活性材料在电池工作时才连续不断地从外部加入电池，如氢氧燃料电池、金属燃料电池等。

(4) 储备电池。储备电池储存时电极板不直接接触电解液。直到电池使用时，才加入电解液，如镁-氯化银电池(海水激活电池)。

3. 按所用正负极材料来分

(1) 锌系列电池，如锌锰电池、锌银电池等。

(2) 镍系列电池，如镍镉电池、镍氢电池等。

(3) 铅系列电池，如铅酸电池。

(4) 锂系列电池，如锂离子电池、锂聚合物电池和锂硫电池等。

(5) 二氧化锰系列电池，如锌锰电池、碱锰电池等。

(6) 空气(氧气)系列电池，如锌空气电池、铅空气电池等。

2.2 电池基本参数

2.2.1 电压


电池参数-电压

1. 电动势

电动势是电池在理论上输出能量大小的度量之一。如果其他条件相同，那么电动势越高，理论上能输出的能量就越大。电池的电动势是热力学的两极平衡电极电位之差：

$$E=\psi_{+}-\psi_{-} \tag{2-4}$$

式中，E 为电池电动势；ψ_{+} 为正极平衡电位；ψ_{-} 为负极平衡电位。

实际上，电池中两个电极并非处于热力学的可逆状态，因此，电池在开路状态下的端电压理论上并不等于电池的电动势，但由于正极活性物质一般氧的过电位大，因此稳定电位接近正极活性物质的平衡电位。同理，负极材料氢的过电位大，因此稳定电位接近负极活性物质的平衡电位。结果在表征上电池的开路电压在数值上接近电池的电动势，所以在工程应用上，常常认为电池在开路条件下，正负极间的平衡电势之差即为电池电动势。

对于某些气体电极，电池的开路电压数值受催化剂的影响很大，与电动势在数值上不一定很接近。如燃料电池，其开路电压常常偏离电动势较大，而且随使用催化剂的品种和数量不同而变化。

2. 开路电压

电池的开路电压等于电池在开路状态(即没有电流通过两极)时电池的正极电势与负极电势之差,一般用$U_{开}$表示。电池的开路电压只取决于电池正负极材料的活性、电解质和温度条件,而与电池的几何尺寸无关。如磷酸铁锂电池单体无论尺寸大小如何其开路电压都是一致的。电池的开路电压一般均小于它的电动势。

3. 额定电压

额定电压也称公称电压或标称电压,指的是在规定条件下电池工作的标准电压。采用额定电压可以区分电池的化学体系,表2-1所示为常用不同电化学体系的单体额定电压值。

表2-1 常用不同电化学体系的单体额定电压值

电池类型	单体额定电压/V
铅酸电池(VRLA)	2
镍镉电池(Ni-Cd)	1.2
镍氢电池(Ni-MH)	1.2
锌空气电池(Zn-Air)	1.2
铝空气电池(Al-Air)	1.4
钠硫电池(Na-S)	2.0
锰酸锂电池($LiMn_2O_4$)	3.7
磷酸铁锂电池($LiFePO_4$)	3.2

4. 工作电压

工作电压是指电池接通负载后在放电过程中显示的电压,又称负荷(载)电压或放电电压。在电池放电初始时刻的(开始有工作电流)电压称为初始电压。

电池在接通负载后,由于欧姆内阻和极化内阻的存在,电池的工作电压低于开路电压,当然也必然低于电动势。有

$$V = E - IR_{内} = E - I(R_{\Omega} + R_f) \tag{2-5}$$

式中,I为电池的工作电流;E为电池的电动势;R_f为极化内阻;R_{Ω}为欧姆内阻。

5. 放电终止电压

对于所有二次电池,放电终止电压都是必须严格规定的重要指标。放电终止电压也被称为放电截止电压,是指电池放电时,电压下降到不宜再继续放电的最低工作电压值。根据电池的不同类型及不同的放电条件,对电池的容量和寿命的要求不同,由此所规定的放电终止电压也不同。一般而言,在低温或大电流放电时,终止电压规定得低些;小电流长时间或间歇放电时,终止电压值规定得高些。

2.2.2 内阻

电流通过电池内部时受到阻力，使电池的工作电压降低，该阻力称为电池内阻，可通过蓄电池内阻测试仪（见图 2-4）测得其数值大小。由于电池内阻的作用，电池放电时端电压低于电动势和开路电压。充电时充电的端电压高于电动势和开路电压。电池内阻是化学电源的一个极为重要的参数。它直接影响电池的工作电压、工作电流、输出能力与功率等，对于一个实用的化学电源，其内阻越小越好。小内阻电池工作时内部的压降小，将输出较高的工作电压和较大的电流。



图 2-4 蓄电池内阻测试仪

电池内阻不是常数，它在放电过程中根据活性物质的组成、电解液浓度和电池温度以及放电时间而变化。电池内阻包括欧姆内阻（R_Ω）和电极在电化学反应时所表现出的极化内阻（R_f），两者之和称为电池的全内阻（R_w）：

$$R_w = R_f + R_\Omega \tag{2-6}$$

欧姆内阻主要由电极材料、电解液、隔膜的内阻及各部分零件的接触电阻组成。它与电池的尺寸、结构、电极的成形方式（如铅酸蓄电池的涂膏式与管式电极，碱性电池的有极盒式电极和烧结式电极）以及装配的松紧度有关。欧姆内阻遵守欧姆定律。

极化内阻是指化学电源的正极和负极在电化学反应进行时由于极化所引起的内阻。它是电化学极化和浓度差极化所引起的电阻之和。极化内阻与活性物质的本性、电极的结构、电池的制造工艺有关，尤其是与电池的工作条件密切相关，放电电流和温度对其影响很大。在大电流密度放电时，电化学极化和浓度差极化均增加，甚至可能引起负极的极化的钝化，极化内阻增加。低温对电化学极化、离子的扩散均有不利影响，故在低温条件下电池的极化内阻也增加。因此，极化内阻并不是一个常数，而随着放电率、温度等条件的改变而改变。

日常用的电池内阻较小，其阻值常常忽略不计，但电动汽车用动力电池常常处于大电流、深放电工作状态，电池内阻引起的压降较大，此时电池内阻对整个电路的影响不能忽略。

对应于电池内阻构成，造成极化现象的原因有以下三个方面：

（1）欧姆极化。充放电过程中，为了克服欧姆内阻，就必须额外施加一定的电压，以克服阻力，推动离子迁移。该电压以热的方式转化给环境，出现所谓的欧姆极化现象。随着充电电流的急剧增大，欧姆极化将造成蓄电池在充电过程中温度升高。

（2）浓度极化。电流流过蓄电池时，为了维持正常的反应，最理想的情况是电极表面的反应物能及时得到补充，生成物能及时离去，实际上，生成物和反应物的扩散速度远远比不

上化学反应速度,从而造成极板附近电解质浓度发生变化。也就是说,从电极表面到中部溶液,电解液浓度分布不均。这种现象称为浓度极化。

(3) 电化学极化。这种极化是由于电极进行的电化学反应的速度落后于电极上电子运动的速度造成的。


电池参数-容量

2.2.3 容量

电池在一定的放电条件下所能放出的电量称为电池容量,以符号 C 表示。单位常用 A·h 或 mA·h 表示。

1. 理论容量

假定活性物质全部参加电流的成流反应所能提供的电量叫理论容量。理论容量可以根据电池反应中电极活性物质的用量,按照法拉第定律计算的活性物质的电化学当量精确求出。

2. 额定容量

按照相关规定的标准,保证电池在一定的放电条件(如温度、放电率、终止电压)下应该放出的最低限度的容量叫作额定容量。

3. 实际容量

实际容量指在实际应用工作情况下放电,电池实际放出的电量,它等于放电电流与放电时间的积分。实际放电容量受到放电率的影响较大,所以常在字母 C 的右下方以阿拉伯数字表明放电率,如 $C_{20}=50$A·h,表明 20h 放电率下的容量为 50A·h。实际容量的计算方法如下:

恒电流放电时,

$$C=IT \tag{2-7}$$

变电流放电时,

$$C=\int_0^T I(t)\mathrm{d}t \tag{2-8}$$

式中,I 为放电电流,是放电时间的函数;T 为放电至终止电压的时间。

由于存在内阻及其他各种原因,活性物质不可能完全被利用,即活性物质的利用率总是小于 1,因此化学电源的实际容量、额定容量总是低于理论容量。活性物质的利用率定义为

$$\eta=\frac{m_1}{m}\times 100\% \quad 或 \quad \eta=\frac{C}{C_0}\times 100\% \tag{2-9}$$

式中,m 为活性物质的质量;m_1 则是放出实际容量时所消耗的活性物质的质量。

电池的实际容量与放电电流密切相关,大电流放电时,电极的极化增强,内阻增大,放电电压下降很快,电池的能量效率降低,因此,实际放出的容量较低。相应地,在低倍率放电条件下,放电电压下降缓慢,电池实际放出的容量常常高于额定容量。

4. 剩余容量

剩余容量是指在一定放电倍率放电后,电池剩余的可用容量。剩余容量的估计和计算

受到电池前期应用的放电率、放电时间等因素以及电池老化程度、应用环境等多种因素影响，所以其准确估算存在一定的困难。

2.2.4 能量与能量密度

电池的能量是指电池在一定放电制度下所能释放出的能量，通常用 W·h 或 kW·h 表示。电池的能量分为理论能量和实际能量。


电池参数-能量密度

1. 理论能量

假设电池在放电过程中始终处于平衡状态，其放电电压保持电动势(E)的数值，而且活性物质的利用率为 100%，即放电容量为理论容量，则在此条件下电池所输出的能量为理论能量 W_0，即

$$W_0 = C_0 E \tag{2-10}$$

2. 实际能量

实际能量是指电池放电时实际输出的能量。它在数值上等于电池实际放电电压、放电电流与放电时间的积分，即

$$W = \int V(t) I(t) \mathrm{d}t \tag{2-11}$$

在实际工程应用中，作为实际能量的估算，也常采用电池组额定容量与电池放电平均电压乘积进行电池实际能量的计算：

$$W = CV_{平} \tag{2-12}$$

由于活性物质不可能完全被利用，电池的工作电压总是小于电动势，所以电池的实际能量总是小于理论能量。

电池的能量密度是指单位质量或单位体积的电池所能输出的能量，相应地称为质量能量密度(W·h/kg)或体积能量密度(W·h/L)，也称质量比能量或体积比能量。在电动汽车应用方面，蓄电池质量能量密度影响电动汽车的整车质量和续航里程，而体积能量密度影响蓄电池的布置空间。因而能量密度是评价动力电池能否满足电动汽车应用需要的重要指标。同时，能量密度也是比较不同种类和类型电池性能的一项重要指标。能量密度也分为理论能量密度(W_0')和实际能量密度(W')。单位质量或单位体积电池容量称为容量密度(也称作比容量)，由于对于特定电池其额定电压确定，因此容量密度和能量密度在此情况下等价。

3. 理论能量密度

理论能量密度对应于理论能量，是指单位质量或单位体积电池反应物质完全放电时理论上所输出的能量。

4. 实际能量密度

实际能量密度对应于实际能量，是单位质量或单位体积电池反应物质所能输出的实际能量，由电池实际输出能量与电池质量(或体积)之比来表征：