

## 从手机到汽车 锂电池简单/复杂应用详解（上）

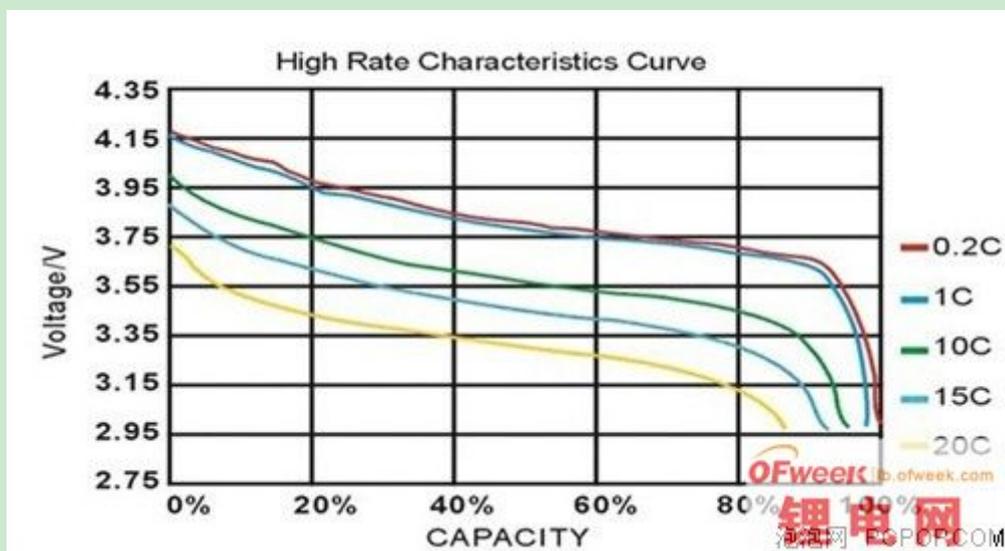
锂电池在生活中的应用突然扩大了，主要源于智能手机、穿戴设备、电动自行车和新能源汽车的广泛使用，这些年来关于如何使用电池的小贴士，锂电池爆炸等新闻不断，但其中经常包含很多误导性信息。这篇文章中我们从锂电池的简单应用到复杂应用一一说起。



衡量电池性能好坏，有以下几个重要指标：

### 一、充放电倍率

最高越好。“C”是形容电池充放电电流大小的专用符号。1C 放电就代表 1 小时内把电池从满电放到空的电流大小。iPhone 6 电池容量为 1810mAh，那么这颗电池的 1C 放电电流就是 1.81 安培；比亚迪 e6 电动汽车中使用的每颗电池容量是 200AH，则这个电池 1C 放电电流就是 200 安培。一个电池如果用高倍率放电，通常放出的能量比低倍率少。



### 不同放电倍率下放出的电量

从上图测试结果可知这颗动力电池使用 10C 放电放出的能量只有 1C 放电下的 85%，使用 20C 放电放出的能量只有 1C 放电下的 70%。

## 二、充放电循环次数

最多越好。500 次是锂电池的常见值，根据不同材料制作的锂电池充放电次数从 300-3000 次不等。这个值的具体含义每个工厂可能略有不同，大致可以理解为：按厂商规定的充放电倍率（比如 1C 放电，0.3C

充电；每次从 0%充放到 100%，照此循环）下，500 次循环后，电池容量还剩最初的 80%。充放电次数和使用习惯的关系太大了，我们举几个例子。

### 1、充放电强度对循环次数的影响

工厂标注：每次从 0%充放到 100%，1C 放，0.3C 充，500 次后容量衰减到 80%，这是最严苛的测试循环，也可以不这么严格，看下面

如果每次电量的循环都在 25%-75%，1C 放，0.3C 充，2000 次后容量衰减到 80%

如果每次电量的循环都在 50%-100%，1C 放，0.3 充，1800 次后容量衰减到 80%

### 2、浅充浅放对寿命的影响

工厂标注：每次从 0%充放到 100%，1C 放，0.3C 充，500 次后容量衰减到 80%，是最严苛的测试循环，也可以不这么严格，看下面

每次电量的循环都在 25%-75%，1C 放，0.3C 充，2000 次后容量衰减到 80%

每次电量的循环都在 50%-100%，1C 放，0.3 充，1800 次后容量衰减到 80%

以上两个例子可看出充放电的倍率越小、越有利于寿命提升；浅充浅放也有利于寿命提升。

### 三、内阻

越小越好，这个参数随负载轻重、温度等因素随时变化，随着电池寿命减少，内阻也在逐渐增大。内阻越小的电池越可以高倍率充放电，18650 的普通电池内阻在 50m $\Omega$  左右，动力型的 18650 电池在 15m $\Omega$  左右。想知道内阻多大需要用专用的设备测量，普通万用表不行。

### 测量电池内阻的工具

### 四、电池一致性

采用相同材料、相同工艺生产的电池在容量、内阻、充放电曲线上的 consistency 越高越好。电池能否大规模组成电池组这一点非常关键，电池组规模越大对 consistency 要求越高。

下面几页我们将按应用的难易程度：

#### 1、手机、平板、穿戴设备中的锂电池

2、笔记本电脑和移动电源中的锂电池

3、电动自行车中的锂电池

4、电动汽车中的锂电池

分别介绍一些知识，这样分页是按电池规模从小到大排序的。

手机、平板、穿戴设备中的锂电池

为什么说这个领域是最简单的呢？因为这些设备里只有一块锂电池，而且基本都是三元锂电池。三元的意思是三种元素：镍、钴、锰、这种锂电池的正极材料  $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ ，不是完全一样的，会根据使用要求对三种元素的配比做调整。

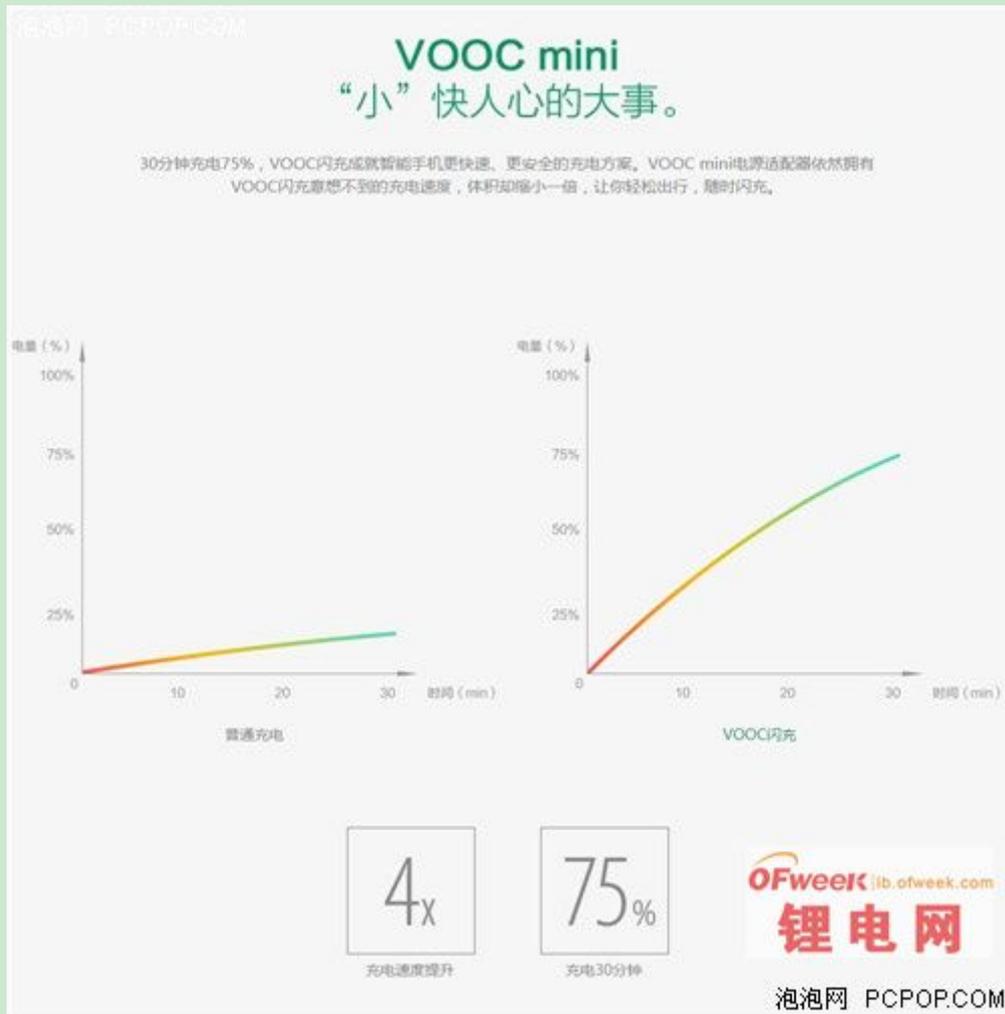


## 一、充放电倍率

在数码设备中使用的电池通常对此项要求很低。你很难一个小时内把满电的手机用到自动关机吧？也没人会设计一个续航只有1小时的数码设备。至少都可以续航3小时，所以电池的放电倍率达到0.3C左右就能满足需求，充电要求往往也很低，通常3-4小时充满的数码设备大家都能接受，所以充电上对电池提出的要求也是0.3C左右。



不论国产还是松下、三星之类的进口锂电池，1C 放电是最起码的规格，数码设备对电池放电的要求都远低于电池行业的普遍标准。充电倍率上和电池行业目前能做到的基础指标大致相当，如果没有极特殊设计一般也不用担心。



OPPO 的电池闪充特性，对充电提出了较高要求

最近手机行业出现了特例，以 OPPO 为代表提出了快充的特性，实际上对电池厂商提出了特殊需求。以 OPPO 最新的 N3 来说，VOOC 闪充承诺 30 分钟充满 75% 的电量，这算下来就是 3C 的充电电流，是普通手机电池充电倍率的 10 倍，N3 卖 3999 元也贵的有道理，起码这个电池就会比一般电池贵一、二倍。

## 二、充放电循环次数



其他数码设备，比如平板电脑，电池充放周期就更久了，但有时也会发现不到 2 年续航就明显下降了，这个原因也是有解释的，看完整篇文章你就会知道。

### 三、电池内阻

没有特别解释的。

### 四、电池一致性

没有特别解释的。

### 笔记本电脑和移动电源中的锂电池

笔记本电池规格常见的 4 芯、6 芯，8 芯什么意思？这指的是 18650 电芯数量，以 8 芯为例，有 2 种组合方式，一种是 2 串 4 并，一种是 4 串 2 并，具体采用哪一种要根据笔记本厂商电压变换电路的设计，和电池仓形状。



#### 4 芯笔记本电池

这种说法也可以形容移动电源，市售正经品牌的移动电源 10400mAh 容量的产品就是由 4 节 2600mAh 的 18650 电芯并联而成。由于三星 SDK 为了抢占中国市场，对大订单采取低价，甚至赔本卖 1 美元/颗，所以很多大牌子移动电源厂商很喜欢用这种既便宜质量又好的电芯，也因为单颗容量为 2600，所以移动电源的容量经常是 2600mAh 的倍数：5200mAh，7800mAh，10400mAh。

#### 一、充放电倍率

新的笔记本电池少有 1 小时就放光电的情况，所以放电倍率 1C 对他们来说已经足够，充电的要求也不高，比如笔记本电池在 3-4 小时内

充满大家都可以接受。而对移动电源来说对电池充放电倍率的要求就更低了，几乎是所有数码设备中最低的。



小米 10400 移动电源内部结构

以目前市场中 10400mAh (3.7V) 的移动电源来说，最大输出电流为 2A (5V)，也就是用最大电流也需要 3.7 个小时才能放光电，放电倍率只要满足 0.3C 都够用。充电方面，通常的规格是 10400mAh 配备一个 1.0A 的输入口。这样充电的倍率只有 0.13C。这就是为什么移动电源劣质产品特别多的原因：哪怕是正规厂商也可以购买电池市场中性能最低档（注意，性能低和质量差并不完全等同，但还是高度相关的）的产品用在移动电源中，而且还可以满足使用规格的需求。

## 二、充放电循环次数

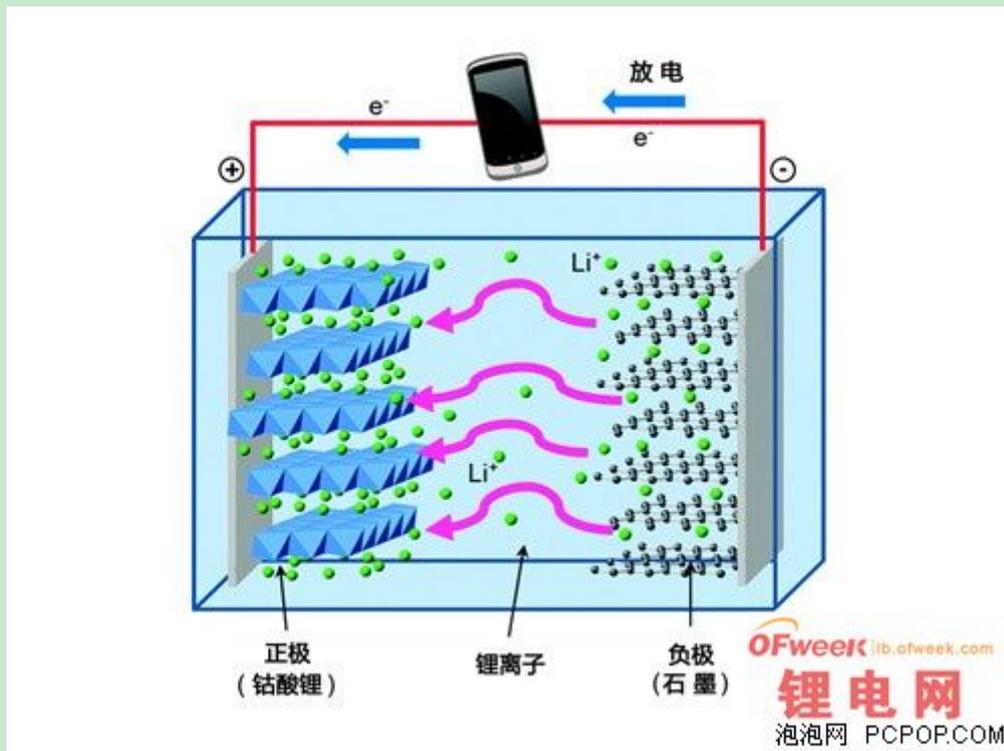
笔记本和移动电源使用频率相较于手机大幅降低，手机最多三天充一次，但是移动电源和笔记本平均下来往往一周都不一定能完成一次充放电，这样算下来，只要保证 50 次充放电寿命就能撑一年。对于成熟的锂电池来说最差最差也能提供 300 次的循环寿命，这个次数对使用笔记本和移动电源的人来说都够正常使用 6 年的了。

而我们往往用不到这么久就更新换代了，所以尤其是移动电源这个行业，实际使用中的轻负载和低频率的充放电次数，让我们很难察觉到产品质量的好坏。一些无良的厂商就会用最差的电芯，甚至把拆机电芯用在移动电源上。拆机电芯可能从前用在其他设备中，已经循环了 400 次，按寿命看还有 100 次就要淘汰了，而 100 次也足够让移动电源撑上两年时间，所以废物利用买来装移动电源里面，根本不会有人发现。

相对移动电源来说，笔记本中的原配的电池电芯都来自国际大厂。但我们也经常发现周围有人的笔记本买来不到 2 年电池续航就大幅下降了，这是什么原因呢？

还记得上一页说到平板电脑使用周期不频繁，但有的也会出现 1-2 年，电池续航就大幅下降吧？其实他们都是由同一个原因引起的：电池保存不当。

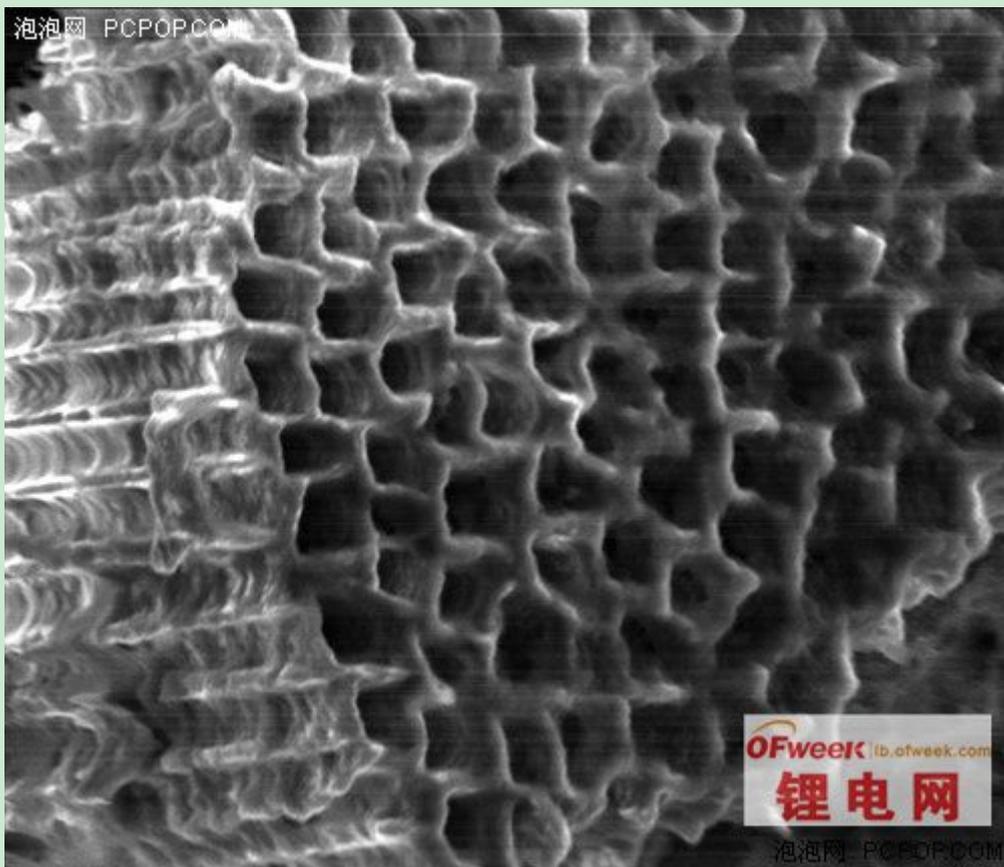
如果你经常没事就把电池充满，或者充电线一直插在设备上，那就随时维持最高电量，电池容量就会快速减少。这个原因涉及到锂电池的结构。



锂电池内部简图

锂电池的正极是由含有锂离子的金属氧化物组成，负极一般是石墨构成的晶格，充电时锂离子向石墨一端移动，最终钻入由石墨构成的稳定的晶格中，蓄势待发。可以容纳锂离子的晶格越多，可以移动的锂离子越多，电池容量越大。长期满电存放主要影响的是可以移动的锂离子数量，因为满电后电池达到 4.2V 电压，维持的高电压让电解液和电池的正负极均发生一些反应，而这些反应在 3.0V-3.7V 的状态下虽然也在

发生，但是非常微弱。这种反应在电极上生成了钝化膜，电压越高膜越厚，膜越厚可以移动的到负极钻入石墨晶格的锂离子数量越少。于是宏观上的表现就是电池容量衰减。



负极石墨组成的“小房子”，供锂离子钻入钻出

什么算“长期”呢？在我看来7天就已经足够造成恶劣影响了。有多恶劣？这里有个例子，玩儿航模的人有2块规格一样的全新三元材料锂电池A和B，6月份买来同时存放，A剩余电量30%存放，B充满100%存放，3个月后测试电池容量，A容量为最初的98%，B容量为最初的60%。

没错，影响就是如此恶劣，所以你的笔记本电池经常长期维持高电压，一年后续航大幅下降也就不要稀奇了。手机是最不容易遇到长期满电存放的设备，因为即便充满了，也一直在使用，不到几个小时电压就降下来了。但手机偶尔也会遇到这个问题，比如充满电后关机了，这时没有任何耗电，电池就一直维持高压，也许一周后你打开盒子一看，电池已经鼓包了。

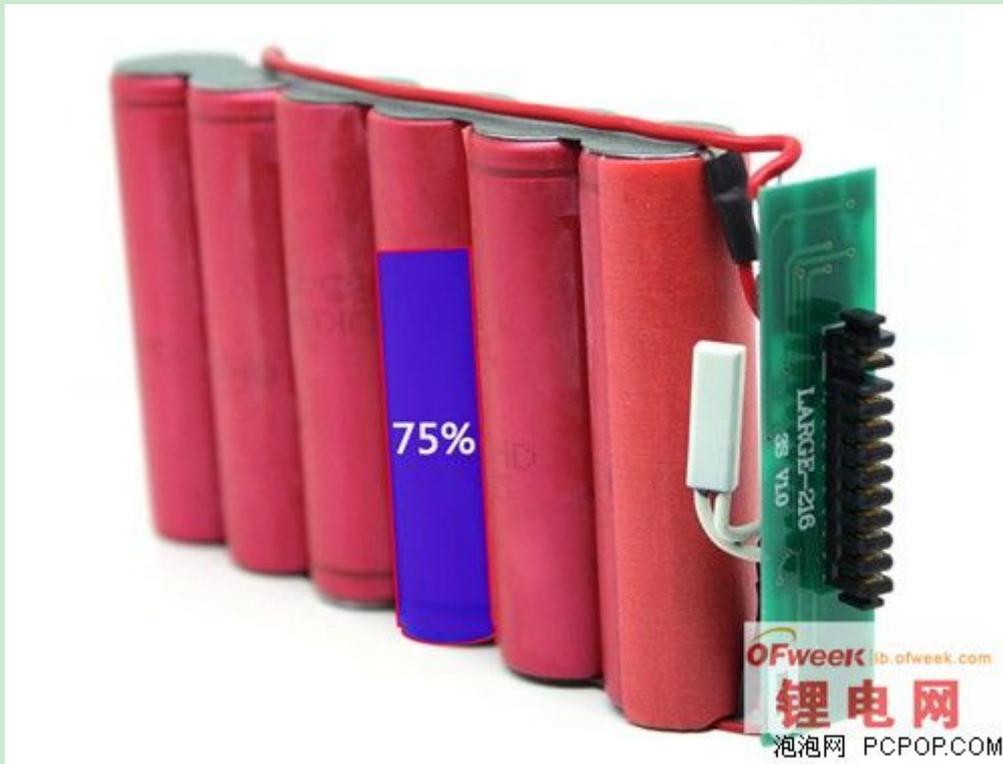
正确的做法是充 30%-40% 的电量，然后长期保存。

### 三、电池内阻

没有特别解释的。

### 四、电池一致性

木桶效应说的是一个木桶能盛多少水取决于围城木头中最短的那个木片的高度，放在锂电池组上来形容一致性再好不过了。电池一致性表现不好对并联组数比较多的电池影响更大。



笔记本的 6 芯电池示意图

假设图中 6 芯电池中第三颗 18650 因为某种原因容量下降的较快，很快容量就只剩下 75%了，他们 6 个是并联在一起的，那么放电过程中第三颗电池会最早达到放电终止电压，于是不论另外 5 颗电池还有没有电量，电池组放电都会停止。充电时也是一样。结果另外 5 颗电池没有任何问题，也都跟着有问题的 18650 同步充放电，这组电池从外部看就是严重容量衰减的。实际上里面只有一颗有问题。这就是电池一致性的重要性的体现。



## 电动自行车中的锂电池

绿源、新日等品牌从 2010 年开始进入每个家庭，但那时绝大多数电动车用的都是铅酸电池。从 2012 年后开始出现了采用锂电池的电动自行车，常见的规格是电压 36V-48V，容量 8Ah-12Ah。带脚蹬子的那种电动自行车如果使用 48V12Ah 的锂电池，纯电续航达 50 公里。

### 一、充放电倍率

驱动自行车对充电方面没有特别要求，常见的充电倍率是 0.1C-0.3C 之间，电池厂轻松达标，但放电倍率上稍高，至少要满足 1C，这对电池厂来说压力也不大。但是目前还有一种电动摩托车，采用踏板摩托车外形，时速甚至可以超过 100km/h，这种车对电池的要求一下提

高到 2C-3C，所以如果你是自己组装这种高性能电动车，选购电池时要计算好。



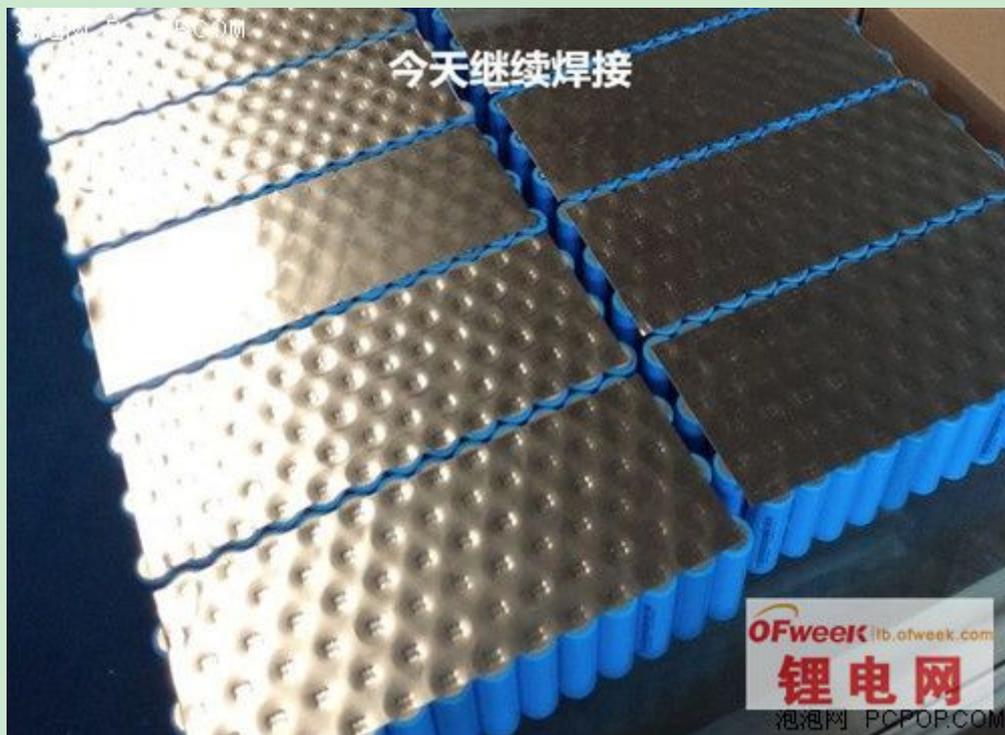
锂电池在箭头处

厂商配的电池往往不用操心，自己配的电池一般有 3 种类型：磷酸铁锂电池，三元锂电池，动力三元电池。他们最高的放电倍率分别是：2C，1.5C，10C。你也可以通过增大电池组的容量来提升 1C 放电对应的电流。

## 二、充放电循环次数

磷酸铁锂电池寿命约 2000 次，三元锂电池约 800 次，动力三元锂电约 800 次。但是由于电动自行车中往往不是单体电池，木桶效应导致成组后第一次出现容量上的故障，时间上会提前，大约是单体寿命周期的 1/4 到 1/2。

当然，这也和使用习惯相关。刚刚说过的一切规律在这里都适用，因为我们这里涉及到另一种正极材料：磷酸铁锂了，所以要单说一下。



改装电摩中使用的磷酸铁锂电池组

磷酸铁锂的能量密度比三元锂电低 40%，同样能量的电池磷酸铁锂体积大，分量沉，优势在于循环次数多，好保养。比如还是刚刚所说的条件，三元锂电满电存放 3 个月，电池容量衰减到初始的 60%，但磷酸

铁锂面对这样严酷的存放条件还可以保持 90%，虽然也损失了，但远没有三元锂电那么严重。

这个原因和磷酸铁锂绝大部分能量（85%以上）都集中在 3.2V 电压上有关，虽然这种电池充电的截止电压有 3.6V，但从 3.6V 到 3.2V 的区间内存储能量还不到总能量的 1%，即便充满后，放置几分钟电压也会回落到 3.2V。所以磷酸铁锂自动维持低的电压应力。不容易形成钝化膜。

### 三、电池内阻

没有特别解释的。

### 四、电池一致性

一致性问题更加重要，目前电动自行车采用的单体电池大致有 2 类：

1、小单体电池，也就是 18650 电池，容量 2.2Ah-2.6Ah，每组电池单体数量 200 个-500 个。

采用小单体组成电池组，要组 120V100Ah 电池组

2、大单体电池，容量一般为 20Ah-40Ah 之间，每组电池单体数量 15 个-30 个。

我们以 72V40Ah 的电池组为例，如果采用小单体电池，就需要 20 串 19 并的方式，共 380 颗 18650 电池。每 20 颗首尾相接为一条，19 条电池组在任何时候充放电都要求电压差在 0.02V 以内，听上去要求很高，但实际上却不像想象中的难，因为 18650 电池的工艺已经非常成熟，同批次电池的一致性相当的好。



### 大单体磷酸铁锂电池，各种规格

如果采用 20Ah 大单体电池，就需要 20 串 2 并的方式，共 40 颗大单体电池，只要这 40 颗工作起来同步就没问题了，总得来说大单体电池成组后在一致性上出现问题的几率更小。不利因素也有，如果是磷酸铁锂的大单体电池，一致性会比三元锂电差很多，所以电池组都需要再

添加一个自动均衡的电路，在每次充电的末尾判断哪一颗电池需要单独多充一会儿电，来解决磷酸铁锂一致性不佳的弱点。

一致性问题在这里已经上升到很重要的地位，但还没有到极致。



### 电动汽车中的锂电池

电动汽车中的锂电池是最复杂的应用，因为电池面临大功率充放、大容量存放、高频率使用、长时间行驶等需求，所用的电池均是正规大厂高规格产品，电动汽车里淘汰出来的废旧电芯往往给电动自行车装上，都仍有用武之地（当然，这属于奸商行为），通常的做法是淘汰给储能电站用来储存风能、太阳能。

#### 一、充放电倍率

根据不同车，差别很大，大家熟知的比亚迪秦用了 152 颗单体容量为 26Ah 的磷酸铁锂电池，放电电压曲线积分得到总能量 10.5KWh，秦的电动机最大功率是 110KW，秦的电池就要求 10C 的放电倍率。比亚迪的另一个纯电动车 e6 的电池拥有目前乘用车最大的电池容量：63KWh，所以要实现较大功率并不需要电池放电倍率很高，e6 电池的放电倍率是 1.5C。纯电动汽车电池容量最大的公交车，比如比亚迪的 13.8 米长的电动大巴车 K9，电池容量 324KWh，由于电池容量巨大，对于 180KW 的功率来说电池放电倍率只需要 0.5C 即可。



比亚迪 K9 电动大巴卖到以色列

还有一些非插电式混动汽车，电池容量仅有 1.5KWh，但电动机的最高功率达到 30KW，则这些汽车中用到的电池放电倍率可能有 20C，这相比移动电源的应用场景 0.2C 来说大了 100 多倍。



凯美瑞混动版，就需要用动力电池，放电倍率较高

纯电动汽车大都设置了快充和慢充两种充电方式，快充最慢 2 小时充满，这样充电倍率就是 0.5C。还有更夸张的，比如特斯拉的老板马斯克就希望下一代特斯拉充电时间可以缩减到 10 分钟，这样的话充电倍率至少要 6C 了。

## 二、充放电循环次数

新能源汽车的设计时，电池寿命要长于整车寿命。所以电池寿命至少保证车辆正常行驶 30 万公里，这一点绝大部分已经发布的纯电、混动车都没有问题。以比亚迪 e6 来说，纯电续航 300 公里，电池容量 63KWh，按 2000 次循环寿命算，就是 60 万公里（实际是略少于 60 万公里的，想想为什么？）这远远超过一般车主对总里程的需求。



比亚迪 e6 出租车司机



### 总里程超过 50 万公里的 e6

实际测试中比亚迪从 2010 开始在深圳运营 850 辆 e6 出租车，到现在为止已经有几十辆车的总里程超过 50 万公里，我 7 月份曾经去深圳专门探查 e6 纯电动出租车的情况，看他们是不是一组电池从出厂一直用到现在的，有幸遇到了一位总里程 50 万公里的司机，他以名誉保证，不但没换过电池，续航也没有明显下降，巧合的是汽车之家曾经测试过这位司机车的续航，市区+高速+全程空调的情况下跑到没电共 260 公里续航。

比亚迪纯电动汽车 e6

目前出现的新能源车，尤其是纯电动汽车，除了比亚迪领先全行业 5-7 年外，其他自有品牌车企发布的产品都是 4 年前接到中央发展新能源的通知进而研发出的，均是燃油车架子扔掉发动机和油箱，塞进电动机和电池改装而来。特点是工况下续航在 150-180 公里（一定会到 150 公里的，因为达到 150 公里国家和地方补助都上一个台阶哦！），而这些车实际续航夏天往往在 120-150 公里，冬天 100-120 公里。对于这些血统不纯的纯电动车来说电池循环次数是否够呢？



### 磷酸铁锂电池

这要分具体情况，如果是采用磷酸铁锂电池，那么 120 公里乘以 2000 次，也有 24 万公里续航，此外由于使用中你并不是每次都油门到底，并且每次都是从 100% 放电到 0% 再充满，所以循环次数超 2000 也是很正常，这也保证了这些车的电池至少可以比整车寿命长。

但另一类采用了三元锂电池的纯电动汽车就有点悬了，由于中国目前新能源车虽然有用三元锂电做电池的，但是没有人购买，长时间使用后的统计就更无从谈起。但国外是有先例的，而且是个很著名的例子，日产 LEAF（聆风）是世界上销量最大的纯电动车，从 2011 年上市到现在已经卖出 13 万辆，销量大并不意味着质量好，主要是因为便宜，欧美上市以来一直是纯电动汽车中价格最低的，美元售价合人民币 18 万。



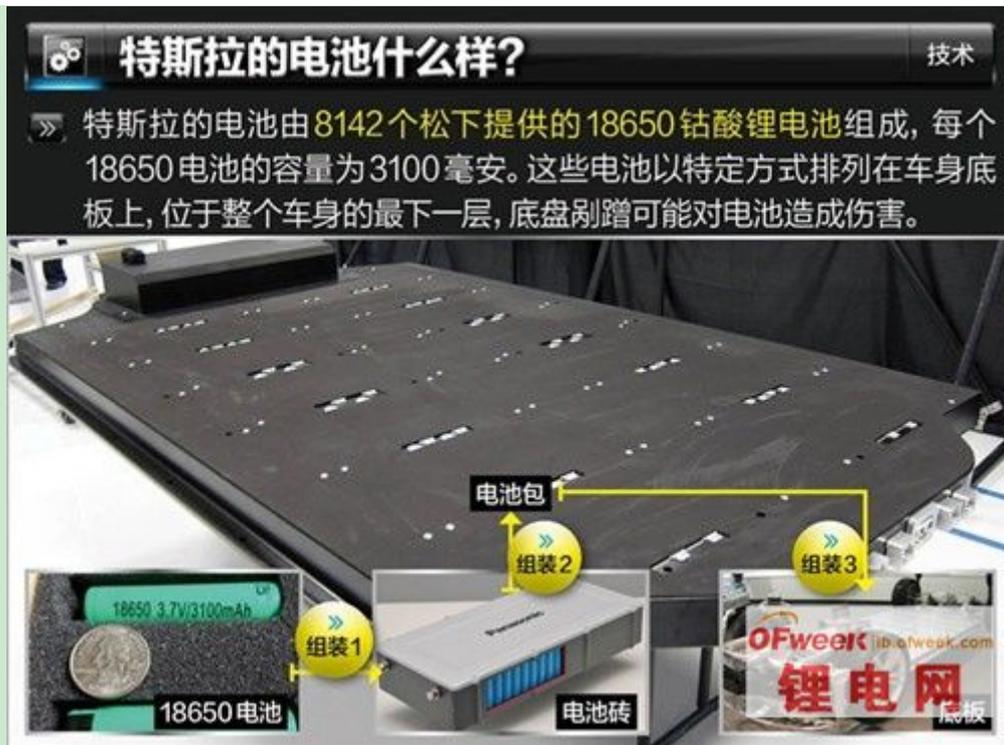
NEC 改性锰酸锂 三元材料 35Ah 电池，晨风汽车用

而这款车经历了 3 年的使用期后电池续航里程下降明显的问题集中爆发。这款车采用了 NEC 的改性锰酸锂电池（也属于三元锂电池这一大类，只是正极材料配比和掺杂略作调整），软包单体 35Ah。虽然日产不一定承认这个问题，但淘宝店销售的拆机锂电池可以说明问题，在电动

车联盟的电池商家列表中，不论商家在深圳、广州、武汉、长沙、北京、大连，他们全都有同一种拆机电芯：NEC 改性锰酸锂 35Ah 软包大三元。其中一些单体成色很新，极耳都没有剪切焊接的痕迹。他们实际都来自日产聆风电动汽车，本身出问题的车数量多，工厂售后再把控不严，于是拆机电芯大量流出，被商家屯出来卖给 DIY 电摩的人用。

聆风出现这样的问题根源就在于它采用的电池循环次数比磷酸铁锂少很多，应该在 800 次左右，如果你感兴趣可以百度中搜一搜“聆风电池老化过快”，或者在 google 上搜索“hissan leaf battery capacity loss”，都会看到这个问题。日产还为此建立调查组，后续提供了更换电池的服务，整套电池组更换的价格为 5500 美元。

不幸的是这款车只换了一个名字就来到中国变成了东风的纯电动汽车“启辰-晨风”了，借新名字每辆车拿到了国家和地方补助九万五千块，这款车目前国内售价 26.78 万-28.18 万。



日产聆风（LEAF）或 东风 晨风

包含晨风在内，所有工况测试续航 200 公里以下的纯电动汽车都不值得购买，他们诞生之初的使命原本是向上级交差，借此拿到后续扩产燃油车的资格。2010 年时一汽、北汽等车企没有想到新能源在 2014 年已经成为不可逆转的汽车战略发展方向，不是对付出几个拼改的纯电动车送去申报新能源车国家目录就万事大吉的。他们就算有计划重新研发一款专门为电动车设计的车型也要等四年后才会上市，而他们真的有这个研发实力么？我个人更倾向于几年后这些车企依然靠引进合资品牌的型号来销售别人研发的纯电动汽车，操作手法可以参考聆风变晨风。



## 比亚迪 秦

所有车企中只有比亚迪例外，比亚迪从 2003 年收购秦川汽车前就憋足了劲要做电动汽车，不但电机、电控、电池的研发生产自己动手，而且连正负极材料的源头：矿山，都去争夺控制权，世界第二大锂辉石矿 49%的股份持有者是比亚迪董事长王传福的表弟。除此之外还有多家矿山的股份。不夸张讲，不论是纯电动汽车还是插电式混动汽车，比亚迪产品的水准至少领先国内其他车企 5-7 年，就算拿到世界范围，如果仅讨论新能源车，那电机、电控、电池这三个最重要的部件比亚迪也是数一数二的水准。

对比亚迪来说新能源汽车是关乎企业存亡的产品，对其他车企来说新能源汽车是关乎补贴多少的问题。。

### 三、电池内阻

没有特别解释的。

### 四、电池一致性

由于很多车企采用了磷酸铁锂电池，这种电池的单体容量可以达到200Ah，所以别看汽车电池容量巨大，单体数目还不算太多。但也有例外，那就是特斯拉，Model S 另辟蹊径，采用松下 18650NCA 电池，一共7623 节，单节容量 3.1Ah，2011 年特斯拉总共买了 2 亿颗这样的电池，也就是仅够生产 Model S 高配版两万六千辆。

如果因为某一节电池导致剩下 7622 节正常的电池无法顺利利用全部的 3.1Ah 容量，那这辆车的动力系统就太失败了，这里我们看到了锂电池在一致性上的最极致的应用。为了保证一致性，除了向松下提出非常严格的要求外，特斯拉还为电池做了一套价格不菲的电池管理系统，这套系统不但可以监控每节电池的电压和电流，实现合理的充放电，还可以保证他们的温度一致。电池充放电曲线是否一致和电池温度有很大关系，特斯拉底盘铺满了电池，不同位置的电池温度差异很大，所以为了保证充放电曲线一致，首先要保证 7623 节电池的温度一致，这靠一套双向流动的液冷系统实现，液体为 50%的水和 50%的乙二醇。

据行业专业人士分析，特斯拉的电池管理系统即便全部在中国生产，成本也在 6000-8000 美元，这相比电动自行车电池组上 100-200 块

钱带自动均衡功能的充放电保护板要复杂多了，毕竟要控制的电芯数量从四百上升到七千。