

锂离子电池的故障模式机理与影响分析

锂离子电池安全问题

然而，在给人们的生活、生产带来便利的同时，层出不穷的锂离子电池安全问题也成为了人们十分关心的焦点。例如2016年9月三星Galaxy Note 7电池爆炸事件，这使得多国航空主管部门、以及各航空公司对三星Galaxy Note 7下达飞行禁令后，三星紧急召回250万部手机，带来了极其负面的社会影响（图1（a））；



图1. (a) 电池爆炸后的三星Galaxy Note 7。

2013年7月，希思罗机场埃塞俄比亚航空波音787因飞机内锂电池短路而起火，造成飞机后部机身大面积烧毁；同年8月，特斯拉在法国比亚里茨对Model S和Model X两款电动汽车进行推广的试驾活动中，一辆Model S90D出现电池自燃，事后车辆完全被毁（图2（b））。



图2. (b) 起火的特斯拉Model S90D。

这些事件都说明了由锂离子电池失效所造成的损失是非常巨大而沉重的，因此，锂离子电池的使用安全性及可靠性是极其重要的。对锂离子电池进行故障模式机理与影响分析(FMMEA)能够提供一个严格的构架来定义什么样的锂离子电池是不合格的，如何去检测，怎样的过程可能会引起电池的失效，同时，提供锂离子电池的失效模式及预防措施。通过各个方面改进、预防、保护来保证锂离子电池的可靠性及安全性。

锂离子电池结构

从锂离子电池结构来说，主要分为以下五个部分组成，如图3所示：

（1）正极材料：电极电势较高、结构稳定的具有嵌锂能力的层状或尖晶石结构的过渡金属氧化物或聚阴离子型化合物，如钴酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂、三元材料等。

(2) 负极材料：电位接近锂电位、结构稳定的并可大量储锂的层状石墨、金属单质及金属氧化物，如石墨、中间相碳微球、钛酸锂等。

(3) 电解液：溶有电解质锂盐的有机溶剂，提供锂离子，电解质锂盐有LiPF₆、LiClO₄、LiBF₄等，有机溶剂主要由碳酸二乙酯（DEC）、碳酸丙烯酯（PC）、碳酸乙烯酯（EC）、二甲酯（DMC）等其中的一种或几种混合组成。

(4) 隔膜：置于正负极之间，防止正负极直接接触，且允许Li⁺离子通过的聚烯微多孔膜，如聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP），或它们复合膜，PP/PE/PP三层隔膜。

(5) 外壳：电池封装，主要有铝壳、盖板、极耳、绝缘片等。



图3. 圆柱形锂离子电池结构示意图。

锂离子电池的故障机理与影响分析总结

故障模式机理与影响分析（FMMEA）衍生于失效模式与影响分析（FMEA），在FMEA分析的基础上，FMMEA更加详细的定义和指出了导致故障产生的机理。因此，锂离子电池的FMMEA的发展基于多年来对电池可靠性的试验、结构拆解及失效分析研究。本文从锂离子电池结构的角度出发总结了锂离子电池的故障机理与影响分析，如表1所示：

组成部分	失效模式	失效机理	现象	潜在失效原因	事故发生率	事故严重程度
负极（活性物质）	SEI膜变厚	化学还原沉积	电荷转移阻抗增加，容量和功率降低	锂离子、负极活性物质、电解液溶剂间发生了化学副反应	高	低
	活性物质颗粒碎裂	机械应力	容量和功率降低	锂离子脱嵌应力过大	中	低
	电极孔隙率降低	物性衰减	离子扩散阻抗增加，容量和功率降低	电极内部空间变化	中	低
	负极表面生成锂枝晶	化学还原沉积	枝晶穿透隔膜会造成电池内部短路	低温充电或大电流充电	低	高
负极（集流体）	铜单质颗粒或铜枝晶的形成	化学腐蚀和还原沉积	电池内阻增加，功率降低，工作电流密度下降	电池过放电	低	高
正极（活性物质）	SEI膜变厚	化学腐蚀和还原沉积	电荷转移阻抗增加，容量和功率降低	锂离子、正极活性物质、电解液溶剂间发生了化学副反应	高	低
	活性物质颗粒碎裂	机械应力	容量和功率降低	锂离子脱嵌应力过大	中	低
	电极孔隙率降低	物性衰减	离子扩散阻抗增加，容量和功率降低	电极内部空间变化	中	低
	产气、电池鼓包	化学热分解	容量降低	电池过充或内部短路	低	高
正极（集流体）	铝集流体腐蚀	化学腐蚀	电池内阻增加，功率降低，电流密度下降	电池过充	低	中
隔膜	隔膜穿孔	机械损伤	持续产热、可能引起热失控，电池鼓包、电压快速降低	内部枝晶产生、电池受到外部压力或刺穿等	低	高
	隔膜微孔闭合	热融化	充电放电不稳定	电池内部温度过高	低	高
锂离子	锂离子减少，SEI膜厚度增加	电解液被还原、锂单质生成	容量降低	锂离子、活性物质、电解液溶剂间发生了化学副反应	高	低
电解液盐浓度	电解液中锂盐浓度降低	化学腐蚀和还原沉积	电池内阻增加，可能会导致热失控	锂离子、活性物质、电解液溶剂间发生了化学副反应	高	低
有机溶剂	产气、电池鼓包	化学热分解	电池内阻增加，可能会导致热失控	过充或电池外部环境温度过高	低	高
	SEI膜变厚	化学腐蚀和还原沉积	电荷转移阻抗增加，容量和功率降低	锂离子、活性物质、电解液溶剂间发生了化学副反应	高	低
焊接端	外接正负极引线腐蚀	化学腐蚀	持续产热、可能引起热失控，电池鼓包、电压快速降低等	外接正负极引线偶然性短路	低	高
	引线断裂	机械疲劳	电池与外接设备断连	断路	低	中
壳体	电池正负极间短路	机械应力	持续产热、可能引起热失控，电池鼓包、电压快速降低	外部负载或应力作用与电池壳体	低	高

表1. 锂离子电池的故障模式机理与影响分析

以上表格是根据长期可靠性试验与分析积累所得。在锂离子电池失效分析中，还应该根据实际情况全面考察电池的材料、工艺、工作环境、使用情况及宿主设备等信息。电池虽小，但它所涉及到的方面却极其复杂，因此，研究者还需根据背景信息进行细致考察并得出合理的结论。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/112697.html>