

梯次磷酸铁锂电池在铁塔基站直流供电系统中的实际应用

作者: 武亚波

廊坊联通电信综合楼网络维护与网优中心电源主管, 工程师, 《UPS应用》杂志编委。

随着能源短缺和环境污染问题日益突出, 电动汽车以其节能、环保等优点, 受到广泛关注。当电动汽车使用的动力电池容量下降到不满足电动汽车续航里程要求时, 就需要对动力电池进行退役处理。随着电动汽车市场的日趋繁荣, 退役的动力电池的“出路”问题日渐凸显。电动汽车动力电池容量衰减至80%, 因续航能力不足而退役, 但经过梯次利用处理, 仍可用于基站备电。车用动力电池包以通信用48V后备电源为基本模块, 电动汽车动力电池经由多组48V模块进行串并集联后, 组成车用动力电池模组供电动汽车使用, 在动力电池服役期满后可直接应用于通信领域(见图1)。

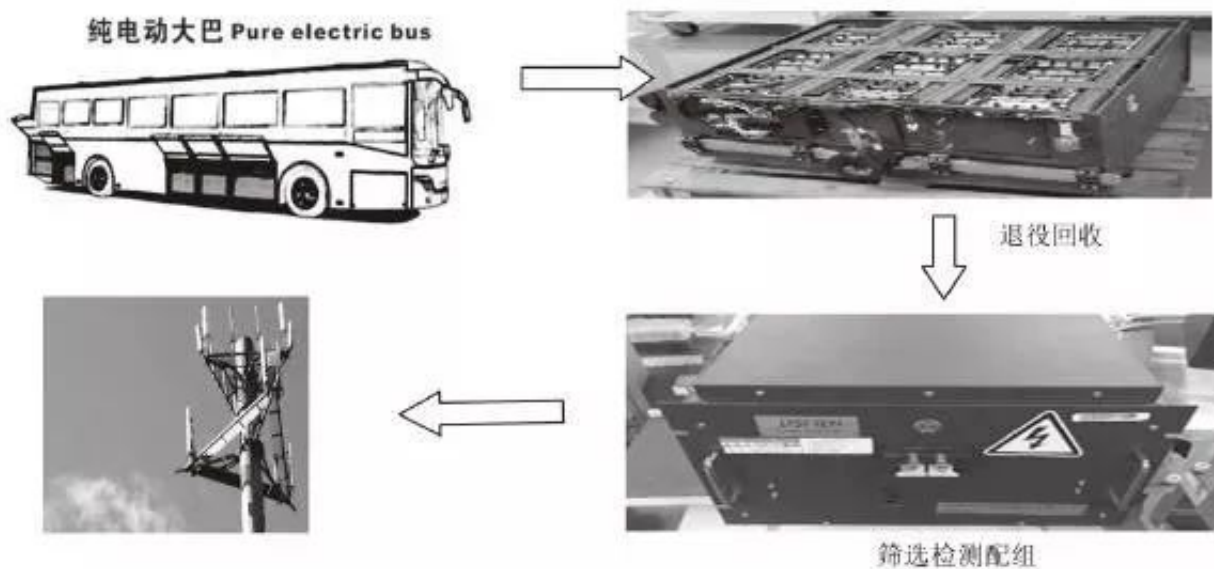


图1 在动力电池服役期满后,可直接应用于通信领域

UPS应用

梯次磷酸铁锂电池基本特性

1 电池容量的倍率特性

随着放电电流的增加, 电池的放电容量将会有所下降, 当放电倍率小于0.33C10时, 锂离子电池的放电容量受到放电倍率的影响很小, 放电容量差别不大, 基本可以认定电池的容量都可以100%放出。图2为在20℃时, 倍率与恒流放电电压和容量的关系曲线。

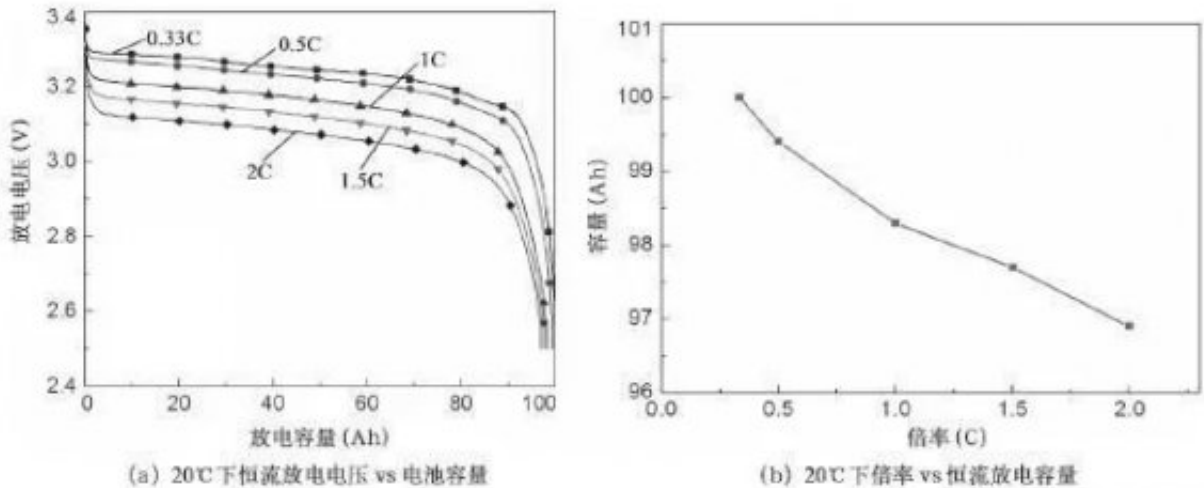


图2 倍率与恒流放电电压和容量的关系曲线

UPS应用

2 电池容量的温度特性

环境温度在0℃以上时，电池容量的衰减速度较慢，而环境温度在0℃以下时，电池容量的衰减速度较快，随着温度的降低电池的内阻急剧增加(见图3)。

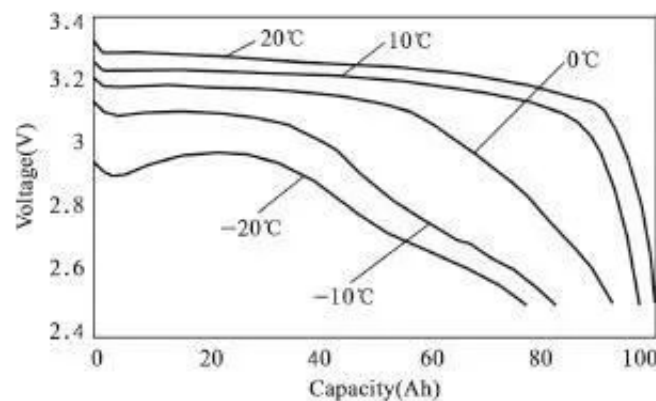


图3 不同温度下放电电压曲线

UPS应用

3 梯次磷酸铁锂电池与传统铅酸的对比的优势

1耐高温：铅酸电池稳定工作的温度范围25~28℃，温度升高会损坏电池，降低电池使用寿命；

2高能量密度：磷酸铁锂电池产品重量比能量可超过130Wh/kg(0.2C, 25℃)，体积比能量为210Wh/L；铅酸电池产品重量比能量为32~37Wh/kg(0.2C, 25℃)，体积比能量为70Wh/L；

3大电流充放电性能：磷酸铁锂电池可大电流2C快速充放电，起动电流可达5C以上，铅酸电池现在无此性能。所以磷酸铁锂电池充电时间短；

4绿色环保：磷酸铁锂电池不含任何重金属与稀有金属(镍氢电池需稀有金属)，无毒(SGS认证通过)；铅酸电池中却存在着大量的铅，在其废弃后若处理不当，仍将对环境造成二次污染。

铅酸电池与梯次磷酸铁锂电池的对比见表1；

表1 铅酸电池与梯次磷酸铁锂电池的对比

电池性能指标	铅酸电池	梯次锂电池
循环寿命(次)	200	1200~2000
质量比能量(Wh/kg)	30~45	60~110
体积比能量(Wh/L)	70	125~250
质量比功率(W/kg)	200~300	约4000
体积比功率(W/L)		约10000
自放电率	高	低
工作温度范围(℃)	25~28	-20~+55
工作电压范围(V)	1.75~2.35	2.5~3.65
单体标称电压(V)	2	3.2
记忆效应	有	无

5梯级利用动力电池使用寿命长、循环次数多，梯级利用后理论上仍能够剩余6年的实际寿命和400~2000次的实际循环次数，较传统铅酸电池的3~6年使用寿命、200次的实际循环次数有大幅的提高；

6耐高温能力强，锂电池满足45℃以下极限工况的使用，目前通信基站常用的铅酸电池温度上限仅为35℃；

7放电特性好，大电流放电时容量利用率高；

8充放电转换效率高，梯级电池的能量转换效率较铅酸电池高10%~15%；

9占地小、重量轻、运输成本低，梯级电池重量和体积为同容量铅酸电池的1/2或2/3。

梯次磷酸铁锂电池应用的技术方案(表2)

表2 梯次磷酸铁锂电池应用的技术方案

技术方案	具体内容	货源方	加工方	加工成本
电芯级重组方案	将梯级电池拆解成电芯级,分选、重组、加工成电池成品	以电池企业为主	电池企业为主	高
模组级重组方案	将梯级电池拆解成模组级,分选、重组、加工成电池成品	电池企业和汽车企业	代维企业为主	中
PACK应用方案	将退役下来的整个电池PACK包检测分容后应用到基站	以汽车企业为主	代维企业为主	低

1将退役动力电池进行集中拆解，电芯集中筛选，重新组装成标准模块，有利于退役电芯的集中筛选与维护保证质量；退役电芯来源不局限于特定的电动车项目保证数量；最终的电池模块能实现标准化保证兼容(见图4)。

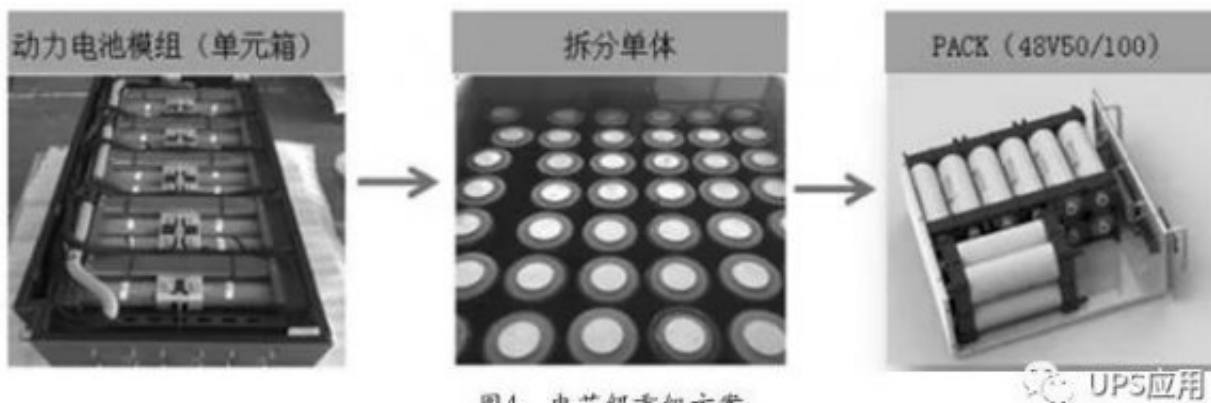


图4 电芯级重组方案

2在退役动力电池基础上直接改造，有利于电池组梯次利用的简单模块化，容量上占优势，生产方式上简单易行，人工成本低廉，但占地要求较高(见图5)。

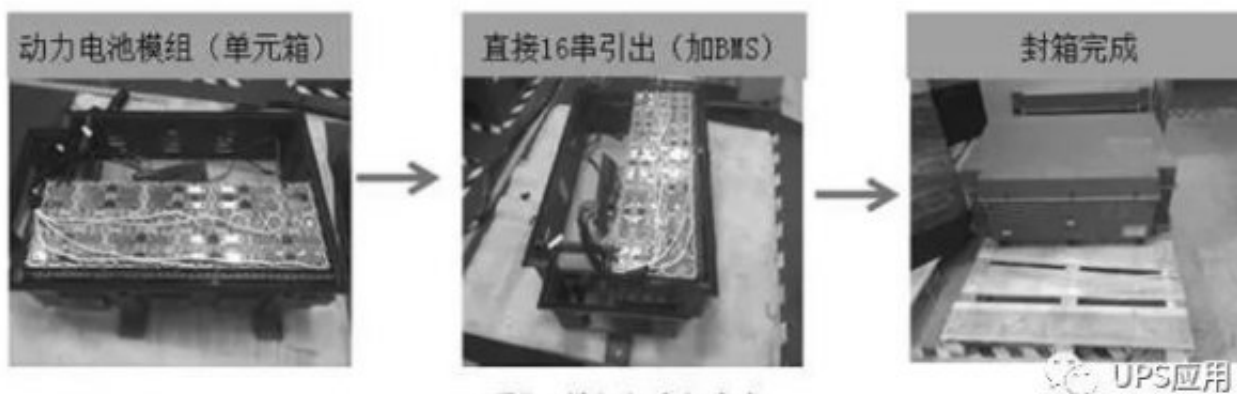


图5 模组级重组方案

3梯次电池工艺流程：筛选电池电芯、测试电压、电芯配组、内部连接线、BMS、机箱或机架(见图6)。

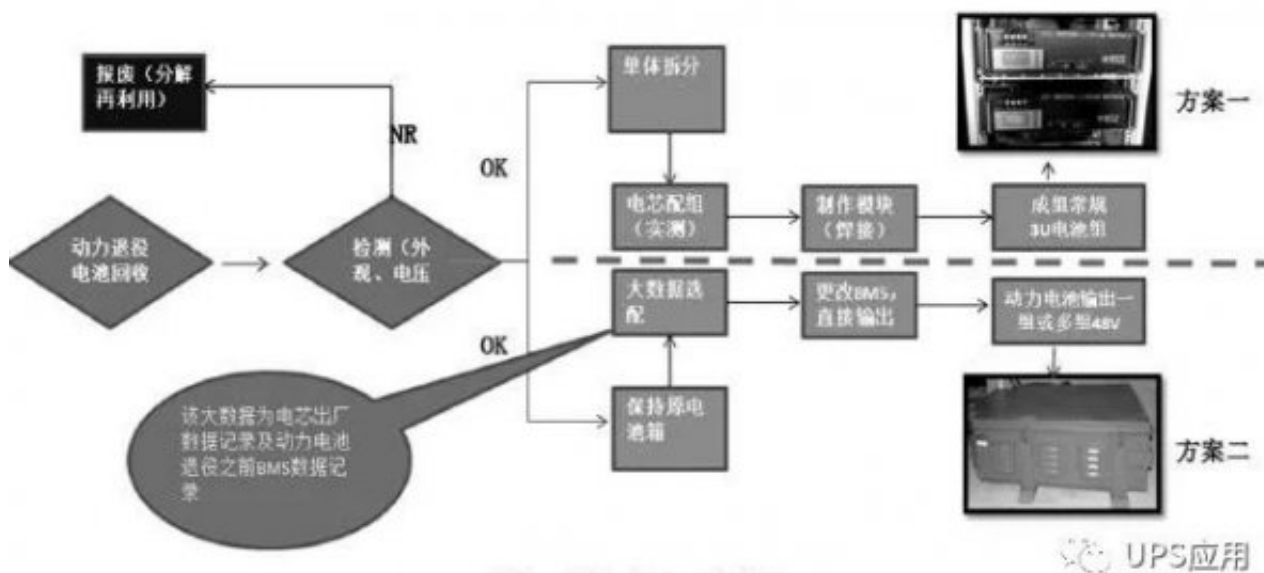
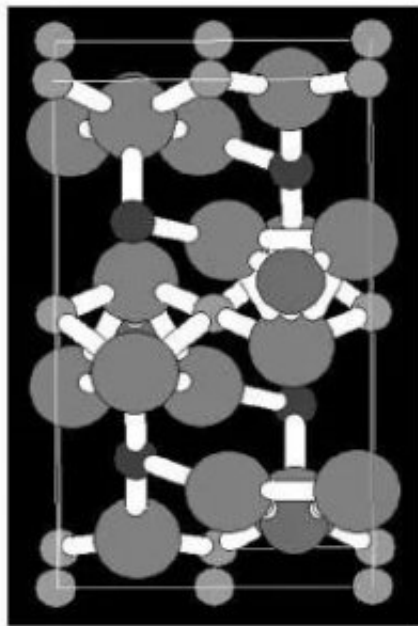


图6 梯次电池工艺流程

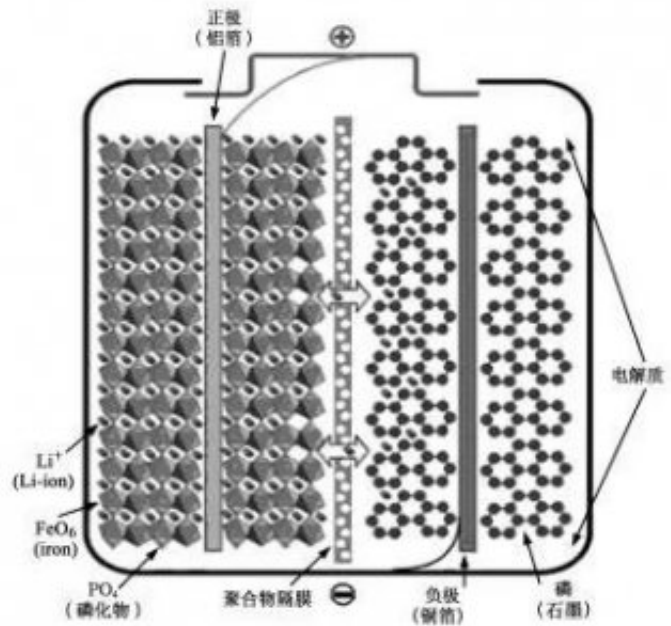
梯次磷酸铁锂电池的基本结构

磷酸铁锂电池由正、负极板(正极活性物质为磷酸铁锂，负极活性物质为石墨)、隔膜、电解质、极耳和铝塑膜外壳组成。正负极板是电化学反应的区域，隔膜、电解质提供Li⁺的传输通道，通过化成等工艺处理后电池极板表面会形

成一层致密的SEI膜(也叫固体电解质界面膜)，极耳起到引导电流的作用。正极活性物质是磷酸铁锂，为橄榄石结构，其空间和内部结构如图7所示。



LiFePO₄ 结构示意图



LiFePO₄ 电池内部结构图

图7 LiFePO₄的空间和内部结构图

UPS应用

磷酸铁锂与导电剂、粘结剂以一定的比例混合，涂覆在铝箔上构成正极，负极活性物质通常是石墨类材料，通过粘结剂附着在铜箔上。正负极之间用聚乙烯隔膜(或者是聚丙烯和聚乙烯复合隔膜)隔开，防止电池短路。隔膜是一种多孔结构的薄膜，充放电过程中Li⁺可以通过其孔隙，而电子e⁻不能通过。电池的电解液是六氟磷酸锂有机溶剂。

梯次磷酸铁锂电池的工作原理

电池充电时，Li⁺从磷酸铁锂材料中迁移到晶体表面，从正极板材料中脱出，在电场力的作用下，进入电解液，穿过隔膜，再经电解液迁移到负极石墨晶体的表面，然后嵌入负极层状石墨材料中。与此同时，电子流通过正极的铝箔，经极耳、电池极柱、负载、负极极柱、负极耳流向负极的铜箔电极，再经导电体流到石墨负极，使电荷达至平衡。

电池放电时，Li⁺从层状石墨晶体中脱嵌，进入电解液，穿过隔膜，再经电解质迁移到磷酸铁锂晶体的表面，然后重新嵌入到磷酸铁锂的材料中。与此同时，电子经导电体流向负极的铜箔电极，经极耳、电池负极柱、负载、正极极柱、正极极耳流向电池正极的铝箔电极，再经导电体流到磷酸铁锂正极，使电荷达至平衡。

梯次磷酸铁锂电池的管理系统

电池管理系统主要用于对蓄电池充电过程和放电过程进行管理，提高蓄电池使用寿命，并为用户提供相关信息的电路系统总称。

电池管理系统BMS，由监测、保护电路、电气、通讯接口、热管理装置等组成，是电池保护和管理的核心组成部分，不仅要保证电池安全可靠的使用，而且要充分发挥电池的性能和延长使用寿命，作为通信的后备能源，管理系统在开关电源和电池之间起到一个重要桥梁作用。对电池管理系统的要求必须符合通信电源供电系统的要求，所以电池管理系统的管理模式对电池的安全性至关重要。电池管理系统主要包括数据采集单元、计算以及控制单元、均衡单元、控制执行单元和通讯单元等。电池管理系统示意图如图8所示。BMS在基站间歇式的供电曲线图如图9所示。

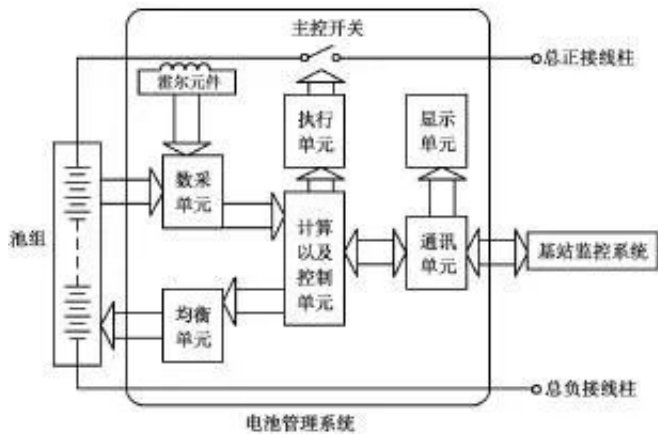


图8 电池管理系统示意图

UPS应用

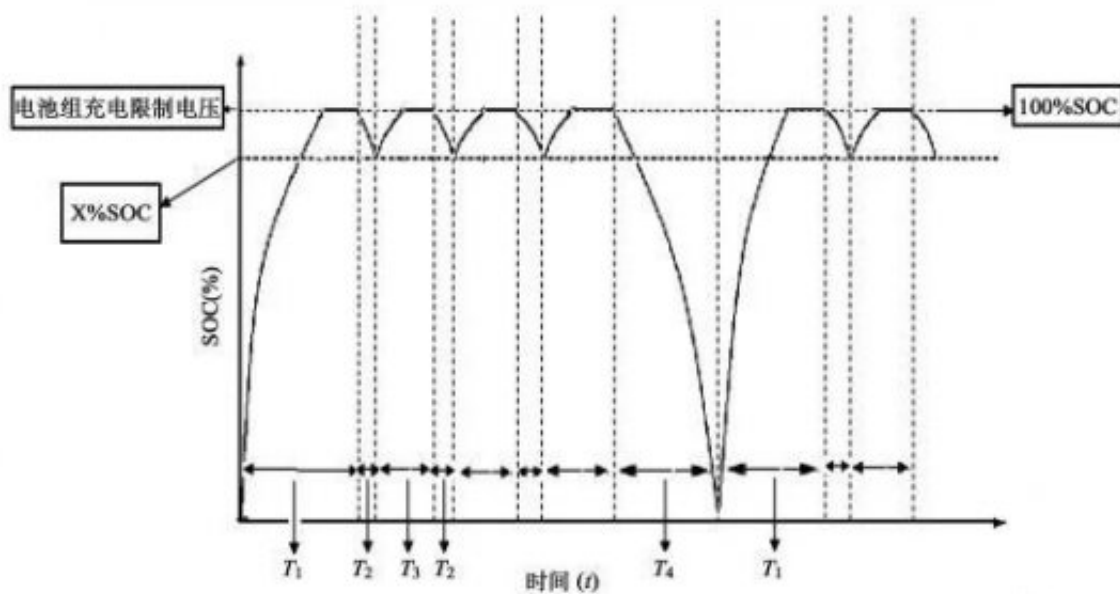


图9 BMS在基站间歇式的供电曲线图

UPS应用

恒流-恒压充电阶段：充电限制电压控制(电池单体3.7V，电池组59.2V)；

间歇式补充充电阶段：开路静置，容量减少X%SOC(其中X取值在75~95之间)时，重新进入补充充电状态，补充充电方式也遵循恒流-恒压充电方式；

在开路静置状态时，若交流电停电，BMS应能控制电池组无延迟进入放电状态。

即T1和T3为充电过程，T1为恒流-恒压充电阶段，T3为间歇式补充充电阶段；T2为电池组开路静置阶段；T4为电池组放电过程。

磷酸铁锂电池组在铁塔基站的实际应用

针对锂电池组的特性，在基站直流开关电源应用设置时，只须把浮充电压和均充电压调整到锂电池组所需要的充电电压即可，(同时必须在通信设备直流供电电压范围内)因为锂电池组即便是长期处于充电状态下，由于自身的BMS保护功能，电池性能是不会发生改变的。

例如：某基站后备电池组，采用48V-300Ah梯次磷酸铁锂电池组，每组电池由16个3.2V/100Ah的单体电池串联组成，其中300Ah的电池是由3组100Ah的电池组并联组成的，每个电池组有一个BMS控制系统，如图10所示。

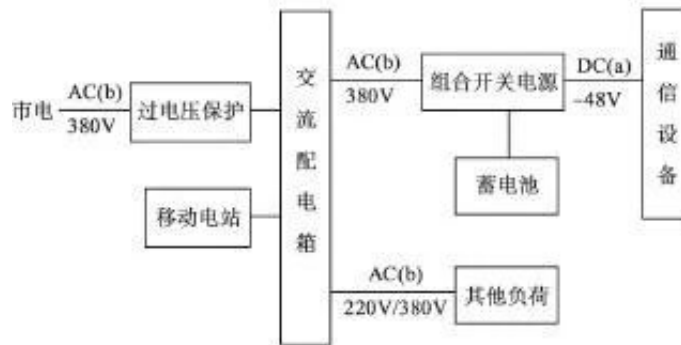


图10 移动基站供电系统示意图  UPS应用

在安装电池组对电池组进行了补充充电后，将电池组分别进行了0.33C10在线测试放电情况。测试场景如图11所示。一组300Ah电池组容量测试曲线如图12所示。



图11 一组300Ah电池组在线测试场景  UPS应用

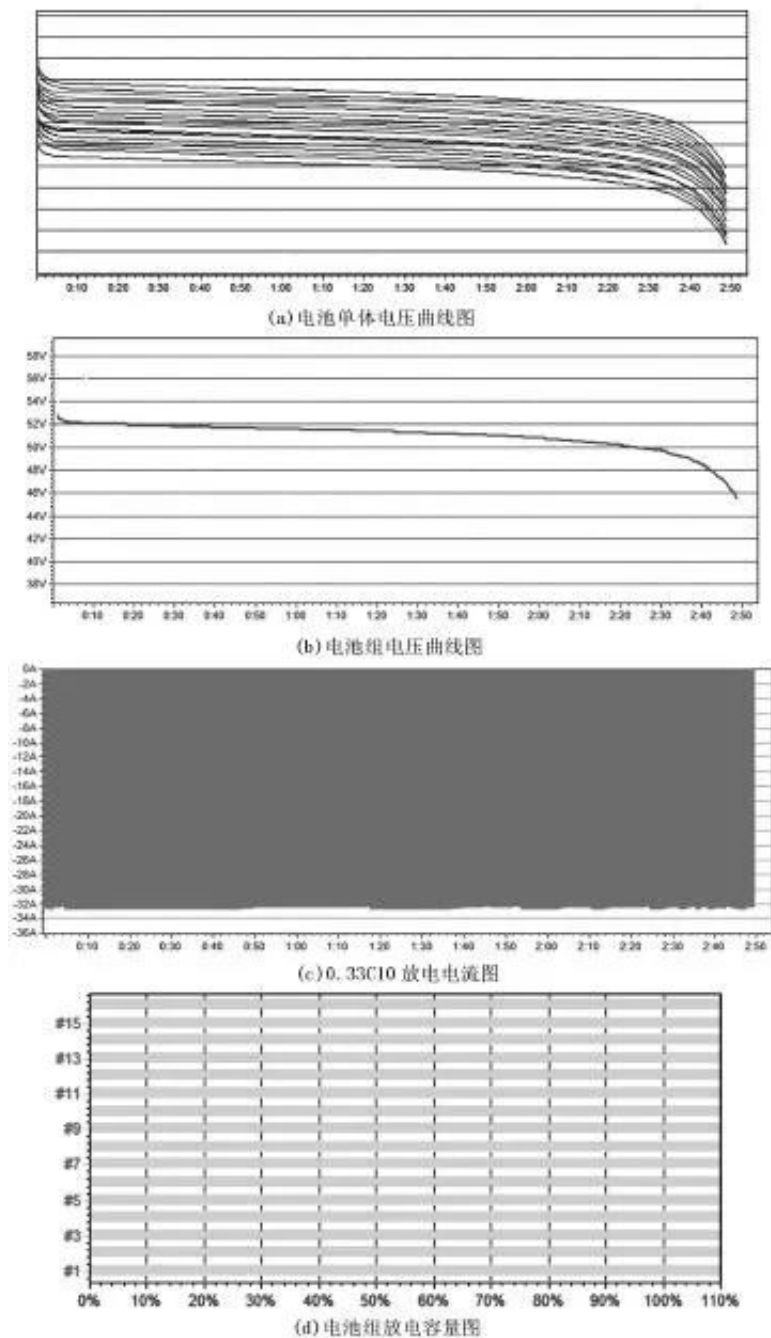


图12 300Ah电池组容量测试曲线

UPS应用

用智能电池组放电仪测试后，在线并入直流供电系统中。此时开关电源充电电压设置为56.8V，充电电流限制为每组30A。

梯次磷酸铁锂电池配置要求

1梯级电池模组按照标称容量可分为15、25、30、50、100、130、150、200Ah等容量系列。标称容量应为退役锂电池成组后容量；

2梯级电池规格系列按照安装方式可分为嵌入式、落地架式和落地箱式三种，容量在50Ah及以下的梯级电池，以嵌入式为主；

3容量要求：梯级电池在不同工作温度条件下应满足表3所示的容量要求；

表3 在不同工作温度下,梯次电池的容量要求

环境温度	放电电流	电池容量要求
-10℃	1.0I ₃	实测容量应不低于标称容量的70%
0℃	1.0I ₃	实测容量应不低于标称容量的80%
25℃	1.0I ₃	实测容量应在标称容量的100%~110%之间
40℃	1.0I ₃	实测容量应不低于标称容量的98%
55℃	1.0I ₃	实测容量应不低于标称容量的97%

4梯级电池电芯要求：梯级电池所使用的单体电芯容量需达到电芯初始标称容量的70%；

5输出电压范围：梯级电池应采用16串方式，电池组额定电压为51.2V，工作电压范围41.6V~60.0V；

6环境要求：梯级电池组应在无腐蚀性、爆炸性和破坏绝缘的气体及导电尘埃环境下正常工作。工作温度范围：-5~45；注：-5以下应采取加热、保温措施。相对湿度范围：≤95%(45±2)，大气压力范围：70kPa~106kPa；

7使用寿命：在环境温度为25±2条件下，电池组80%DOD0.33C3循环寿命应不少于表4所列工况下的次数要求。

在环境温度25±2的条件下，磷酸铁锂电池组在备电工况下的寿命应不小于6年。

表4 不同工况下的标称循环寿命

适用场景	备电工况	新能源工况	削峰填谷工况
标称循环寿命(次)	400	1500	3000

梯次磷酸铁锂电池的功能要求

休眠功能

梯级电池应具有休眠功能，在运输、贮存或离线状态下，电池组BMS应处于彻底断开状态；当电池组由在线状态(即电池组输出端正负极、通信接口与外界连通的状态)转入离线状态(即电池组输出端正负极、通信接口与外界断开的状态)时，BMS应具有甄别功能，根据电力及电池组状况自动进入休眠。当电池组由离线状态(即电池组输出端正负极、通信接口与外界断开的状态)转入在线状态(即电池组输出端正负极、通信接口与外界连通的状态)时，BMS应能判别并自动激活，且根据电力及电池组状况调整工作状态。

电加热功能

当梯级电池用于-5及以下的场景时，应配置直流电加热装置(需根据实际情况进行控制调整温度)，电池组应有专门的散热设计，以保证加热均匀使得设备正常工作。

充电限流管理功能

梯级电池应具有自主限流充电功能，保证工作范围内的电压输入时，电池组能够正常充电。充电限流值应设定在0.1C3(A)~0.2C3(A)之间，默认值为0.2C3(A)。

充电总电压过高保护

梯级电池应具有充电总电压过高保护功能，当充电到总电压告警点时告警，到保护点时保护，作用于切断，当总电压下降到恢复点时恢复充电。

放电总电压过低保护

梯级电池应具有放电总电压过低保护功能。当放电到总电压低告警点时应切断放电电路并告警，一段时间后电池组应进入休眠模式。

放电单体电压过低保护

梯级电池应具有放电时单体电池电压过低保护功能，放电到单体电压告警点时告警，到保护点时保护，作用于切断，一段时间后电池应进入休眠模式。

放电过流管理

梯级电池应具有根据用户的需要设置的输出过流保护功能，保护期间应切断电路并告警。

电池高温保护功能

梯级电池自身应具有电池高温保护功能，当电池温度达到告警点时告警；到保护点时保护，作用于切断；温度回到一定值后自动恢复。

电池低温保护功能

梯级电池自身应具有电池低温保护功能，当电池温度达到告警点时告警；到保护点时保护，作用于切断；温度回升到一定值后自动恢复。

电池组荷电状态(SOC)计算

梯级电池应具备动态荷电量计算功能，计算值与电池实际电量的误差应不大于5%。

输出短路保护

梯级电池输出端正负极发生直接短路时，应在瞬间自动切断电路并告警，BMS和电芯应不损坏(包括不打火、变形、漏液、冒烟、起火或爆炸)；故障排除后，应能手动或自动恢复工作。

梯级电池监控技术要求

遥测量

可进行电池组/电池电压、荷电状态(SOC)、电池组充电/放电电流、循环次数(放电超过标称容量80%为1次循环)、环境温度/电池组温度、电池组内阻(可选)的遥测监控以及历史数据查询、故障日志查询等功能。

遥信量

可采集梯级电池的充电/放电状态、电池组过充/过流告警、电池组放电欠压/过流告警、单体充电过压告警(可选)、单体放电欠压告警(可选)、电池组极性反接告警、环境/电池组/PCBA板高温告警(可选)、环境低温告警、电池组容量过低告警、电池组温度/电压/电流传感器失效告警、单体失效告警(可选)、电池组失效告警(可选)等遥信量指标。

遥控量

可进行告警声音开/关、智能间歇充电方式、限流充电方式、充电开启/关闭、放电开始/停止等遥控操作。

遥调量

梯级电池的BMS各种检测项目的功能状态及参数设置范围应包括表5所示的内容。

表5 BMS告警、保护功能状态、设置范围表

序号	检测项目		设置范围	默认值
1	正常充电电压		3.40~3.60V	3.55V
2	充电总电压高保护	告警值	56.4~57.60V	56.8V
		保护值	56.4~57.60V	57.6V
		恢复值	52.00~57V	56.4V
3	充电单体电压高保护	告警值	3.50~4.50V	3.6V
		保护值	3.50~4.50V	3.75V
		恢复值	3.00~3.90V	3.50V
4	放电总电压低保护	告警值	36.00~50.00V	43.20V
5	放电单体电压低保护	告警值	2.00~2.90V	2.65V
		保护值	2.00~2.90V	2.50V
		恢复值	2.00~3.60V	2.8V
6	电池高温保护	告警值	35~70℃	50℃
		保护值	35~70℃	65℃
		恢复值	45~55℃	50℃
7	电池低温保护	告警值	-40~0℃	0℃
		保护值	-40~0℃	-10℃
		恢复值	0~10℃	0℃

梯次磷酸铁锂电池安装和维护要求

1电池组表面应清洁，无明显变形，无机械损伤，接口触点无锈蚀；电池组表面应有必需的产品标识，且标识清楚；电池组的正、负极端子及极性应有明显标记，接线方式应为前出线方式，便于连接；电池组的电源接口、通讯(或告警)接口应有明确标识；

2梯级锂电池组的19英寸标准机械电气单元的容器外壳、安装架或箱应为金属材质，且结构上便于搬运；

3安装梯级电池为了便于调测以及后期维护，需将铁锂电池面板朝外，将梯级电池可靠固定到电池架上或一体化机柜内；

4梯级电池布放梯级电池连接线，将电池线分别连接至电源柜内保险铜排上口端子或蓄电池管理空开上，做好线缆的标签标识；

5布放电池监控线，将铁锂电池组连接至FSU-RS485通信端；

6铁锂电池梯级电池接入系统，各类线缆连接完成之后，用万用表对蓄电池的输出电压，进行检测将检测的数据做好记录，调整开关电源输出电压至梯次电池当前电压值；

7调整开关电源参数，各类线缆连接完成之后，用万用表对蓄电池的输出电压进行检测，将检测的数据做好记录；

8梯次磷酸铁锂电池运行环境的要求：根据电池的环境要求，室温温度不宜超过55℃，避免阳光对电池直射，朝阳窗户应作遮阳处理，确保电池组之间预留足够的维护空间；

9梯次磷酸铁锂电池使用注意事项通过动环集中监控系统与BMS实时的对电池组的总电压、电流、单体电压SOC、SOH、温度进行监测。同时，通过电池监测装置了解电池充放电曲线及性能，定期进行测量，发现故障及时处理；

10梯次磷酸铁锂电池经常检查的项目：应经常检查梯次磷酸铁锂电池模块的极柱连接线(条)是否松动、是否有损伤

、变形或腐蚀等现象；连接处有无松动、电池模组有无损伤、渗漏和变形、电池及连接处温升是否异常；BMS数据线接触情况；并对电池组的输出保险温度检查和信号保险进行告警实验。根据厂家提供的技术参数和现场环境条件，通过BMS系统检查电池组总电压及单体电压是否满足要求，检测电池组间歇充电时的充电电流是否在要求的范围内。检测开关电源、电池组的充电电压和限流值的设置是否正确。检测电池组的低压告警、高压告警、高温告警等设置是否正确。

梯次磷酸铁锂电池组技术和经济论证

目前与应用的铅酸电池相比，电动汽车退役电池能量密度高、功率密度高、(体积小、重量轻)、温度特性好、循环寿命长、自放电率低，这些优异特性使其更适合于做铁塔基站的备用电源，目前的梯次电池，其循环寿命可达800次以上，实力强的制造商，其电池循环寿命更长；随着电动汽车的发展，到十三五末期和2020年以后，退役电池的循环寿命将普遍优于1000次，质量好的有望达到2000次。

目前根据当前市场情况，将循环寿命较低(只要400次以上即可，目前均能达到)的电池用于一、二、三、四类市电工况和高温工况，循环寿命较高的电池用于新能源(800次以上)和削峰填谷(1200次以上)工况。

退役电池经过再制造后应用于基站后备电源的电池组，其成本构成中包含了电芯采购、运输、测试、筛选、重组等再制造过程。按照十三五规划的指标，预计未来退役电池数量会大幅度增加，回收与再制造体系形成规模效应，成本有望进一步降低。

在报废动力电池的处理方面，由于基站所采用的主要是商用车退役的磷酸铁锂电池，其主要材料价值不高，因此报废磷酸铁锂电池残值很低。但已经有一些报废电池处理厂家开始开展这项业务，并有望免费回收报废电池。

总之，梯次电池应用应遵循小模块、低电压、高冗余、小电流、非移动的原则使用，因此通信基站相比于其他场景更适合梯次电池应用。梯次电池相比铅酸电池在循环寿命、能量密度、高温性能等方面具备一定优势，各项性能指标优于铅酸电池。梯次电池在技术上完全满足现网各种工况备电需求，不同循环寿命梯次电池适用于不同应用场景，经济上也具备一定优势。梯次电池应用是节能环保、新能源等国家战略新兴产业发展的重大创新，对于推动低碳经济、绿色经济、循环经济的发展具有非常重要的现实意义，既利国又利民。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/139832.html>