

一种适合低温环境地区 极简5G基站的电池

A Battery for Base Station in Low Temperature Environment

张燕琴¹,王一帆²,刘郑海¹,刘宝庆²,陈聪慧³(1. 中国联通研究院,北京 100048;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;3. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033)

Zhang Yanqin¹,Wang Yifan²,Liu Zhenghai¹,Liu Baoqing²,Chen Conghui³(1. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China;3. China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China)

摘要:

随着5G网络的快速发展,室外型基站数量越来越多,5G垂直行业应用需求也将在1~2年内崛起。基站电池是保障基站供电可靠性的重要设备,直接影响客户应用体验,而通信局站广泛采用的铅酸电池和磷酸铁锂电池耐低温性差,不适合低温环境下直接使用。通过分析基站现状、我国的气温情况及传统电池在低温环境下应用所存在的问题,对钛酸锂电池的原理、低温特性及在室外型基站的应用进行了研究,提出低温环境地区室外型基站电池备电解决方案。

关键词:

室外型基站;低温;磷酸铁锂电池;钛酸锂电池
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.10.005
文章编号:1007-3043(2022)10-0023-05
中图分类号:E968
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the rapid development of 5G network, the scale of outdoor base stations is becoming larger and larger, and the application demand of 5G vertical industry will also rise in 1~2 years. Base station battery is an important equipment to ensure the power supply reliability of base stations, which has a direct impact on customer application experience. However, the lead-acid battery and lithium iron phosphate battery widely used in Communication Bureau stations have poor low temperature resistance and are not suitable for using in low temperature environment directly. By analyzing the current situation of base stations, the air temperature in China and the problems existing in the application of traditional batteries in low-temperature environment, the principle, low-temperature characteristics and application of lithium titanate battery in outdoor base stations are studied, and the battery backup solution for outdoor base stations in low-temperature environment is put forward.

Keywords:

Outdoor base station; Low temperature; Lithium iron battery; Lithium titanate battery

引用格式:张燕琴,王一帆,刘郑海,等.一种适合低温环境地区极简5G基站的电池[J].邮电设计技术,2022(10):23-27.

0 前言

目前5G网络建设已进入商用阶段。与传统基站相比,5G基站站址更密集,建设环境更复杂,站点功耗密度大幅提高,为应对新的建设、运营需求,各运营商都在寻求快速部署、免维护的室外建站方案,这不仅能够提高建设效率、节省建设投资,而且能够节省空调、场租等费用。

蓄电池是保障基站供电可靠性的重要设备。冬季传统铅酸电池或磷酸铁锂电池在我国南方地区室外应用没有问题,而中国北方冬季气温普遍在0℃以下,东北、西北地区冬季温度可达到-30℃以下,铅酸蓄电池或磷酸铁锂电池如果不采取任何保温措施直接在室外使用,将出现电解液活性、极化等问题,电池充电和放电性能差,甚至于损坏。本文将分析基站建设现状、北方寒冷地区气温特点、电池特性,提出低温环境地区室外型基站电池解决方案,以提高通信网络的供电可靠性,降本增效。

收稿日期:2022-08-08

1 基站现状及低温下电池备电问题

1.1 基站建设现状

随着基站无线设备不断演进, BBU 趋向于集中化设置, RRU/AAU 采用拉远方式部署。建造成本高、建设周期长、运营成本高、维护难度大的机房式基站越来越少, 拉远 RRU/AAU 基站规模越来越大。截至 2020 年底, 全国 5G 基站已达到 70 万个, 而部分地区室外型基站的比例达到 60%~70%, 未来随着 5G 基站的大规模部署, 室外型基站的比例还将增加。

目前大部分拉远的 RRU/AAU 基站安装方式如图 1 所示, AAU/RRU 由 -48 V 一体化电源供电, 一体化电源采用抱杆或挂墙安装。对于拉远的 RRU/AAU 基站, 目前大部分基站还未配置电池, 但随着 5G 业务需求的逐渐提升, 将对基站的供电可靠性提出更高的要求, 以保证通信业务的持续不间断运行, 拉远的 RRU/AAU 基站也需要考虑电池备电的问题。

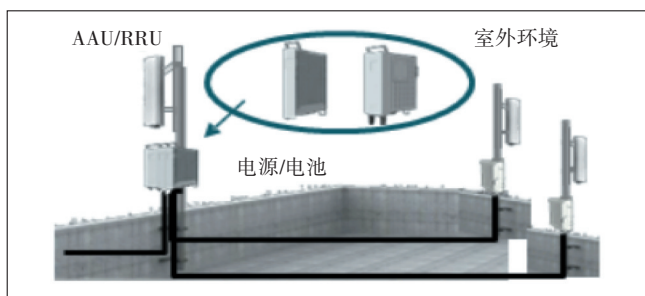


图1 室外型基站安装方式

1.2 低温下室外型基站电池备电存在的问题

拉远 RRU/AAU 基站采用纯室外化安装方式, 具有建造成本低、建设速度快、运营成本低等特点, 但其安装环境也更恶劣, 温度差异大, 特别是我国北方地区, 冬季气温低, 例如: 黑龙江地区气温可达到 -30 °C。而电池对环境温度比较敏感, 目前普遍采用的铅酸电池和磷酸铁锂电池耐低温性能差, 特别是 -10 °C 以下的低温, 影响电池的正常使用, 甚至出现安全问题。

1.2.1 铅酸电池

铅酸电池工作温度降至 0 °C 以下时, 在充电初始负极板会发生严重的浓差极化, 使电池充电能力受限, 电池充、放电容量随着温度的降低会明显下降; 当环境温度降至 0 °C 以下时, 温度每降低 10 °C, 内阻增加约 15%, 且由于硫酸溶液粘度变大, 增大了硫酸溶液的电阻, 加重了电极极化的影响。如果环境温度进一步下降, 甚至会出现电池电解液固化, 电池被冻炸的

情况, 存在极大的安全隐患。

1.2.2 磷酸铁锂电池

磷酸铁锂电池正极材料是 LiFePO_4 , 负极材料是石墨, 中间是聚合物的隔膜, 电解液是 LiPF_6 。《通信用磷酸铁锂电池组第 1 部分集成式电池组磷酸铁锂电池》(YD/T 2344.1-2011) 标准规定: 磷酸铁锂电池的工作温度范围为 -10 °C~55 °C。

磷酸铁锂电池在低温环境下使用会受到限制, 除了放电容量严重衰退外, 低温 (-5 °C) 下也不能对锂电池进行充电。在低温充电时, 电池石墨电极上的锂离子的嵌入和镀锂反应是同时存在且相互竞争的; 低温条件下锂离子在石墨中的扩散被抑制, 电解液的导电率下降, 从而导致嵌入速率降低, 在石墨表面上会使镀锂反应更容易产生, 导致锂电池内部阻抗增加与锂离子析出, 使容量衰减, 降低电池的使用寿命, 严重时还会形成锂枝晶引发内部短路, 导致电池失效甚至起火。

1.2.3 我国气温情况

在我国北京以北地区和西南地区, 冬季气温普遍在 0 °C 以下。以哈尔滨地区为例, 全年有 5 个月以上日均最低气温在 0 °C 以下, 3 个月以上日均最低气温在 -20 °C 以下, 如图 2 所示。

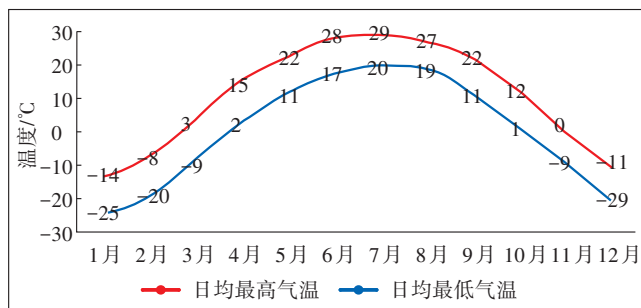


图2 哈尔滨全年平均气温图

传统铅酸蓄电池或磷酸铁锂电池在 0 °C 以下使用时会遇到各种各样的问题, 因此迫切需要研究新型耐低温电池, 解决严寒地区室外型基站电池备电问题。

2 钛酸锂电池研究分析

2.1 钛酸锂电池原理

钛酸锂电池和磷酸铁锂电池同属于锂离子电池, 由正、负极板(正极活性物质为三元锂、锰酸锂等, 负极为钛酸锂)、隔膜、电解质、极耳、不锈钢(铝合金)外壳等组成, 钛酸锂电池的工作原理如图 3 所示。正负极板是电化学反应的区域, 隔膜、电解质提供 Li^+ 的传

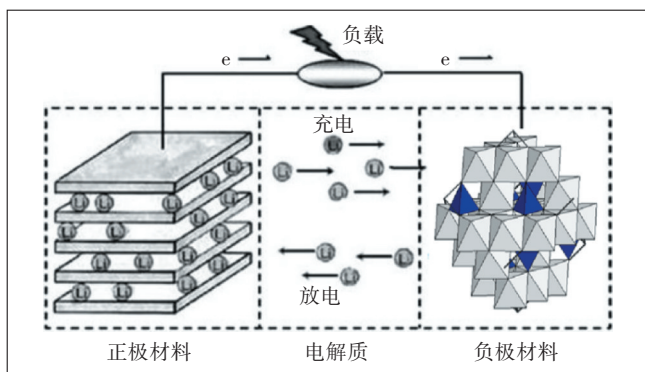


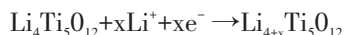
图3 钛酸锂电池的工作原理图

输通道,进而起到引导电流的作用。以正极材料为锰酸锂材料为例,其化学反应方程式如下。

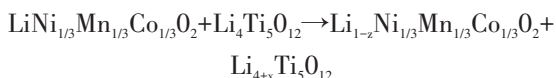
正极反应:



负极反应:



总化学反应方程 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 式:



2.2 钛酸锂电池优缺点

钛酸锂电池和以碳做负极的铁锂电池的主要指标对比如表1所示。

表1 钛酸锂电池和磷酸铁锂电池主要指标对比

项目	钛酸锂电池(LTO)	磷酸铁锂电池(LFP)
正极材料	锰酸锂、三元锂等	磷酸铁锂
负极材料	钛酸锂	石墨
单体标称电压/V	2.4~2.45	3.2
-48 V 电池组	21~22串	15~16串
能量密度/(Wh/kg)	90~120	150~175
安全性	非常好	好
可使用温度范围/°C	-30~45	-10~45

钛酸锂材料能量密度低、价格高是制约其推广应用的主要因素,但相比以碳做负极的铁锂电池,钛酸锂电池具有以下显著优势。

a) 低温性能好。低温下锂的嵌入及脱出能力都会下降,尤其是嵌入能力,钛酸锂负极在脱、嵌锂过程中单位晶胞体积形变仅为0.3%,在-30°C下电池充电也不会出现导致短路或使负极恶化的锂枝晶。

b) 循环性能更好。由于钛酸锂是“零应变”材料,不会在充放电过程中发生结构的变化,具有非常优越的循环性能。

c) 安全性更高。由于作为负极材料的钛酸锂平

衡电位高,不会在负极形成锂枝晶,具有更好的安全性。

相比传统的磷酸铁锂电池,钛酸锂电池最显著的优势在于其低温特性,该特性为解决低温环境地区室外型基站电池备电问题提供了可能。

2.3 钛酸锂电池性能测试

温度是制约电池在低温环境使用的主要因素,因此在实验室重点验证了标称容量为-48 V/30 Ah的钛酸锂电池的充、放电容量试验和-30°C循环试验。

2.3.1 容量测试

25°C和-30°C的容量测试均是以0.2 C电流恒流充电,充电至-57 V转恒压充电至完全充满电(充电电流小于或等于0.02 CA),以1 C电流放电,电池组放电至终止电压-40 V或单体电池电压低于1.5 V时,放电结束。表2是钛酸锂电池分别在25°C和-30°C的充、放电容量。

表2 钛酸锂电池充放电容量

环境温度/°C	运行状态	容量/Ah	容量/额定
25	0.2 C 充电	31.78	100.67%
	1 C 放电	31.57	100.00%
-30	0.2 C 充电	24.18	76.09%
	1 C 放电	23.71	75.10%

电池在25°C常温下,电池放电容量为31.6 Ah,在-30°C环境温度下,电池放电容量23.71 Ah,约为常温容量的75%,电池运行正常。

图4是试验电池分别在25°C和-30°C下,以0.2 C电流进行充电的曲线。从2条曲线可以看出,随着环境温度的下降,充电电压平台被抬高;随着温度的下降,钛酸锂电池活性下降,电池充电容量下降,充电容量约为25°C下容量的75%,温度仍然是钛酸锂电池充电容量的主要制约因素,但远好于业内其他电池。

图5是试验电池分别在25°C和-30°C下,以1 C电流进行放电的曲线,其中-30°C下为2条放电曲线,两者的电池充电温度分别为25°C和-30°C,放电均是在-30°C下进行。从3条曲线可以看出,随着环境温度的下降,放电电压平台被拉低,电池放电容量下降;从2条-30°C放电曲线可以看出,在不同的环境温度下对电池充电,在同一低温环境下对电池放电,表现出来的放电容量存在较大的差异,低温下充电时电池放电容量更低。由此可见,电池在低温环境下放电问题不大,之所以低温下电池放电容量低主要是由低温下电池充电容量下降导致的。

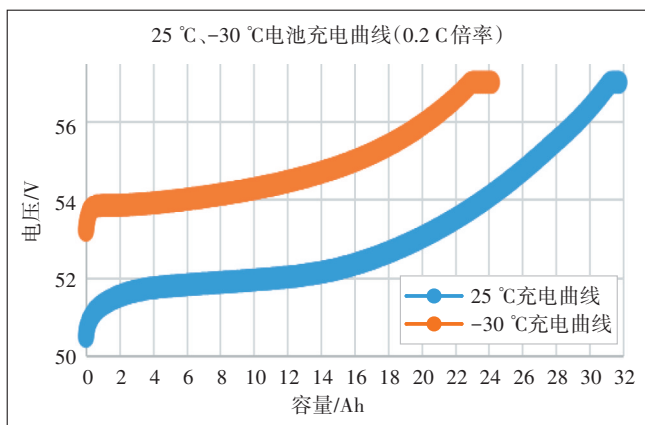


图4 钛酸锂电池充电曲线

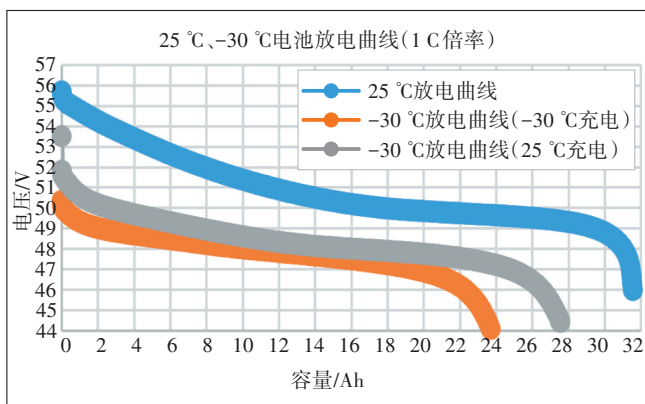


图5 钛酸锂电池放电曲线

通信设备的工作电压一般为 $-40\text{ V}\sim-60\text{ V}$ 。随着温度的降低,电池的放电电压平台被拉低, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的电池放电截止电压低于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的电池截止电压,但都在通信设备的工作电压范围内。在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,电池组电压降

至 -47 V ,电池放电容量比达到 99.65% ,电池基本已无可用容量。 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,电池组截止电压为 44.07 V ,电池放电容量达到充电容量的 98% ,电池实际放电容量基本达到 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的可用容量。

2.3.2 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 循环测试

在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行了10次以上的充、放电循环试验,除第1次循环讨论为常温充电低温放电外,其他循环讨论均是在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行的充、放电测试。经过10次以上的低温循环试验,电池充、放电容量稳定,并未随着循环次数的增加出现电池容量衰减的现象,在 1 C 大倍率放电电流下,电池容量稳定地维持在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下容量的 75% 左右,且电池运行正常,钛酸锂电池具有显著的低温特性。 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 钛酸锂电池循环充、放电统计如图6所示。

2.4 钛酸锂电池现网试验情况

在哈尔滨地区选取了2个基站的2个扇区作为试点,2个基站均为室外型楼顶抱杆站,分别为每个扇区配置1套一体化电源($-48\text{ V}/2\text{ kW}$)和1组钛酸锂电池($-48\text{ V}/30\text{ Ah}$),电源和电池均未额外增加保温措施,测试周期为2020年9月至2021年4月,跨越哈尔滨地区整个冬季。

在测试周期内,分别对每组电池进行了8~9次核对性容量试验,每次电池放电容量达到 50% 以上,测试期间监测到的最低环境温度为 $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$,并在该温度下对2组电池进行了充、放电试验。钛酸锂电池现网测试情况如表3所示。

试验电池在网运行5个月,试验电池运行正常,现

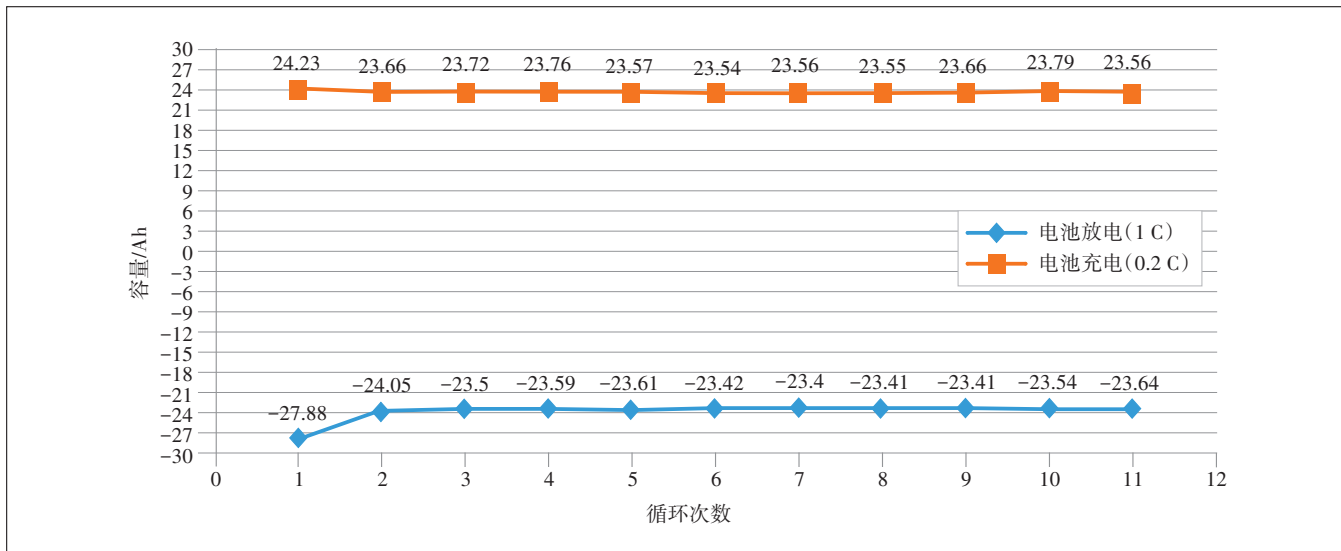


图6 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 钛酸锂电池循环充、放电统计图

表3 钛酸锂电池现网测试情况

系统	环境温度 /°C	初始容量 (2020年9月)		返厂测试情况 (2021年4月)		返厂容量/初始容量	
		容量/Ah	能量/Wh	容量/Ah	能量/Wh	容量比/%	能量比/%
系统1	25	-32.06	-1 632.12	-31.38	-1 584.82	97.9	97.1
系统2		-29.70	-1 500.30	-29.23	-1 489.99	98.4	99.3

网试验后对电池进行了返厂测试,电池容量保持率分别为97.9%和98.5%,电池容量无明显衰减。

单个5G RRU的典型功率在900 W左右,5G基站的备电时长一般要求1 h,考虑到-30 °C下,电池放电容量只能达到常温容量的75%,因此本次测试采用的电池容量为30 Ah。本次测试电池重量约为25 kg,分别在2个基站采用了挂抱杆和挂墙的安装方式,施工快捷、方便,在实际工程设计中也可采用此方案配置。

2.5 电池特性总结及应用建议

通过对钛酸锂电池原理、电池实验室测试和现网测试的研究,钛酸锂电池性能及使用建议总结如下。

a) 钛酸锂电池适合在低温环境地区使用。电池在-30 °C地区容量保持率高,在长达半年的低温环境中实际应用,电池容量基本无衰减,且电池运行正常,未出现安全问题,钛酸锂电池在低温下的可用容量是目前行业内其他类型的电池达不到的。

b) 电池在低温环境下放电容量下降,主要由于低温环境下电池充电能力下降所致。在低温环境下,相比常温环境,电池充电电压平台被抬高,电池电压放电平台被拉低,低温下电池的电压平台更宽,但受限于通信设备的工作电压要求,电池充电电压建议设置到57 V,电池放电截止电压可适当抬高到44 V。

c) 和铅酸电池不同,钛酸锂电池不需均浮充电压,若钛酸锂电池转为浮充电压54 V,将出现电池放电的情况,然后进入稳定状态,因此建议在实际使用中,可根据钛酸锂电池的类型和串联只数,在电池充满电后转为离线状态或提高电源模块输出电压,避免电池在有市电的情况下出现放电的情况。

d) 钛酸锂电池可作为室外型基站的电池备电,在无额外保温措施的情况下,实现纯低温环境下的充、放电,且运行稳定,具有较高的可用容量;电池体积和重量能够比较好的满足便捷安装、维护简单的建设要求;无需额外保温措施,降低了基站耗能。钛酸锂电池对解决北方寒冷地区建设成本低、周期短、能耗低的室外型基站备电具有很高的应用价值。

3 展望

无围护结构的室外型基站是未来基站建设的发展趋势,在北方寒冷地区,钛酸锂电池表现出良好的低温适应性,且具备大倍率电流充、放电的能力,符合当前极简5G基站的应用要求。在我国严寒地区,若采用钛酸锂电池作为备电,可直接在室外采用挂墙或挂抱杆等极简式安装,无需额外对电池增加空调等保温设备,且钛酸锂电池体积较小,安装方便,成本低廉、能耗低,降本增效,适合作为低温环境地区的室外型极简5G基站的电池备电解决方案。无论在实验室测试还是现网测试,钛酸锂电池在放电末期还存在一致性差的问题,在后期实际应用中应做好电池配组,同时在后续产品优化方面加大对电池一致性的技术改进。

参考文献:

- [1] 肖席,吴洁,王建立,等. 锂离子电池低温性能及其影响因素实验研究[J]. 电子制作,2020(14):76-78.
- [2] 张伟,卿鑫慧,王一军,等. 磷酸铁锂电池低温性能及放电容量预测研究[J]. 电源技术,2019,43(3):430-433.
- [3] 孙庆,杨秀金,代云飞,等. 温度对磷酸铁锂电池性能的影响[J]. 电动自行车,2011(9):22-27.
- [4] 霍毅,彭绍发,刘宇,等. 通信行业锂离子电池技术及应用场景研究[J]. 广东通信技术,2020,40(7):63-67,71.
- [5] 赵丰刚. 锂离子电池负极材料钛酸锂的研究分析[J]. 电子技术与软件工程,2020(12):212-213.
- [6] 唐堃,金虹,潘广宏,等. 钛酸锂电池技术及其产业发展现状[J]. 新材料产业,2015(9):12-17.
- [7] 罗军,田刚领,张柳丽,等. 钛酸锂体系锂离子电池综述[J]. 电源技术,2019,43(4):693-695.
- [8] 刘建文,常赞. 钛酸锂材料蓄电低温性能[J]. 电源技术,2013,37(9):1524-1526,1529.
- [9] 宋宏明,刘秀庆,邢恩福,等. 钛酸锂电池的低温特性研究[J]. 电源技术,2018,42(6):818-820.

作者简介:

张燕琴,毕业于浙江大学,高级工程师,学士,主要从事通信电源及节能技术研究及新技术跟踪研究工作;王一帆,毕业于郑州大学,助理工程师,硕士,主要从事通信电源及节能技术研究及新技术跟踪研究工作;刘郑海,毕业于西安交通大学,高级工程师,硕士,主要从事通信电源及节能技术研究及新技术跟踪研究工作;刘宝庆,毕业于华南工学院,长期从事电力电子变压器、5G智能电源等通信电源新技术的研究和行业标准的编制工作;陈聪慧,毕业于华北电力大学,工程师,硕士,主要从事中国联通通信局站基础设施运行维护管理工作。