

# 储能电池循环寿命与充放电深度关系的实验研究

张振华

义乌万里扬能源服务有限公司 浙江 金华 322000

**【摘要】**：储能电池的循环寿命是评估电池性能的关键指标之一，充放电深度作为影响电池寿命的重要因素，决定了电池的实际使用效率。通过一系列实验，本研究探讨了不同充放电深度对储能电池循环寿命的具体影响。结果表明，适当的充放电深度可以有效延长电池的使用寿命，而过深或过浅的充放电深度则会加速电池性能的衰退。研究还发现，充放电深度的优化对于提高储能系统的整体效能具有显著作用。实验数据为电池管理系统的设计提供了理论依据，能够帮助优化电池的充放电策略，延长电池的服务周期，减少维护成本。

**【关键词】**：储能电池；循环寿命；充放电深度；实验研究；电池优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.088

## 引言

在能源存储领域，储能电池作为核心组成部分，其性能直接影响到储能系统的稳定性和经济性。特别是充放电深度，作为电池性能衰退的重要因素之一，一直是研究的热点问题。储能电池的循环寿命是衡量电池使用效率和长期可靠性的关键参数，深受充放电行为的影响。不同深度的充放电过程中，电池内部化学反应与电池材料的老化过程呈现不同的规律性，这直接关系到电池的长期稳定性。针对这一问题，开展深入的实验研究，揭示充放电深度与电池循环寿命之间的关系，不仅有助于理解电池性能退化的机制，也为优化电池管理系统提供了必要的技术支持。通过系统性的实验，可以为未来储能电池的高效使用和长寿命设计提供重要依据。

## 1 充放电深度对储能电池循环寿命的影响规律

### 1.1 充放电深度与电池化学反应关系

充放电深度直接影响电池内部的化学反应过程。在较浅的充放电深度下，电池的电化学反应主要集中在电池的表层，这使得电池的内部结构维持较为稳定，电池的循环性能得以较长时间保持。较深的充放电深度则会导致电池内部更多的活性物质参与反应，增加了电池内部电解质和电极材料的消耗。深度过大时，化学反应速度加快，产生更多的副产物，可能会导致电池内部的析氢、析氧等不稳定现象，从而加速电池的老化。电池的化学稳定性与充放电深度呈非线性关系，过度的充放电深度会显著增加电池的衰退速度。

### 1.2 深度对电池容量衰减的影响

深度对电池容量衰减具有显著作用。充放电深度越大，每次充放电过程中电池的活跃物质反应区就越广，导致电池的容量逐步衰减。具体而言，较深的充电深度会使得电池在每个循环中经历更多的充电和放电过程，电池内部的离子迁移路径也变得更加复杂，这使得电池的容量衰减速度增加<sup>[1]</sup>。特别是在较深的放电状态下，电池的电位波动较大，极易引起电极材料的脱落和电解液的分解，进一步加剧容量的下降。较浅的充电

深度相对较轻地影响容量衰减，但过度的深度会导致电池容量的不可逆下降。

### 1.3 充放电深度对电池老化过程的影响

充放电深度对电池老化过程产生了深远影响。电池在长时间的使用过程中，随着每次深度充放电，电池的电极材料会逐渐发生结构变化，导致电池内部电化学反应的效率逐渐降低。当充放电深度较大时，电池内部的热量积累加速，热效应对电池材料造成了额外的应力，这加速了电池的老化过程。特别是在深度放电后，电池的电极材料表面容易形成氧化物，这会增加电池的内阻，使得电池的充电效率降低。深度充电时电池的膨胀与收缩现象更为显著，长期的循环过程可能导致电池内部的微裂纹与接触不良，进一步导致电池的老化加速。

## 2 实验设计与数据分析方法

### 2.1 实验设计原则

实验设计遵循严格的科学原则，以确保得到可靠且具代表性的数据。充放电深度的选择是基于电池的实际工作条件，不同的深度被设计为多组实验，以便能够全面分析深度对电池性能的影响。实验中电池的充放电周期设定为不同深度的标准化过程，每个深度对应特定的充电电压与放电电压范围，确保测试过程中电池所处的状态符合实际应用的要求。为了控制变量的影响，环境温度、充电电流、放电速率等因素均被保持在稳定范围内，避免其他因素的干扰。实验周期的设定则考虑到电池的寿命周期，选取了合适的时间区间，以观察电池在长时间使用下的性能变化，并为数据的可比性提供保障。

### 2.2 数据采集与处理方法

数据采集采用精确的电池测试仪器，实时监测电池的电压、电流、温度及容量等关键参数。每次充放电过程都记录详细的电池状态信息，确保数据的完整性与准确性。通过高频采样和精准计量设备，可以捕捉到充电过程中微小的电压变化和电流波动，为深入分析电池性能衰退提供了重要依据<sup>[2]</sup>。在数据处理方面，采用了去噪算法和平滑处理方法，以减少实验中

由于外界干扰引起的误差。使用统计分析工具对实验数据进行归一化处理,确保不同实验条件下的数据具有较好的可比性。所有数据均以周期性循环的方式进行记录,为后续的分析提供了足够的样本量。

### 2.3 实验结果的统计与分析

对实验结果进行统计分析,采用了回归分析和方差分析等方法,以识别不同充放电深度对电池循环寿命的影响规律。通过绘制容量衰减曲线和效率衰减曲线,分析充放电深度对电池性能衰退的具体趋势。使用多元回归模型,评估充放电深度、电流密度、温度等因素对电池寿命的综合影响。还引入了生命周期分析(LCA)方法,对不同充放电策略下的电池性能进行全生命周期成本评估。统计结果揭示了充放电深度与电池寿命之间的显著关系,表明深度较浅的充放电条件能有效延长电池的使用时间,而过深的充放电深度则加速了电池的性能衰退。通过详细的结果分析,提出了在实际应用中优化充放电深度的策略,从而提升储能系统的整体效能。

## 3 充放电策略的优化与寿命延长

### 3.1 最优充放电深度的确定

最优充放电深度的确定基于电池性能的综合考量,包括其最大循环寿命、容量衰减速度及能量效率。在实验数据的基础上,通过多次模拟充放电测试,识别出不同充放电深度对电池生命周期的影响,进一步建立数学模型以量化深度与电池衰退之间的关系。分析表明,在较浅的充放电深度下,电池的容量衰减速度较慢,且电池性能维持较长时间,但其有效能量利用率较低。适度的充放电深度则可在延长电池寿命的同时,保持较高的能量输出效率。通过综合考虑深度、循环次数以及温度等因素,确定了一条平衡点,既能延长电池寿命,又能保持较为稳定的充放电性能。

### 3.2 优化充放电策略对电池寿命的影响

通过合理优化充放电策略,可以显著延长电池的循环寿命。优化策略主要包括限定放电深度范围、降低充电电压上限以及控制放电电流等方式。限定充放电深度能够避免电池在每次循环中进入过度深度充放电的状态,减少电池内阻增加和电极材料的衰退。降低充电电压上限可避免电池在充电时产生过多的热量,有效减缓电池内部化学反应的速度<sup>[3]</sup>。合理控制充放电电流,可以减少电池的瞬时负载,减少电池的热应力。通过这些优化策略,电池的总循环寿命得到了显著延长,并且在整个寿命周期内,电池的容量保持稳定,性能衰退速度也得到了控制。

### 3.3 优化策略对储能系统整体性能的贡献

优化充放电策略不仅对电池寿命产生深远影响,还能够提升储能系统的整体性能。在储能系统中,电池不仅需要维持较长的使用寿命,还需保障其在不同工作环境下的高效能量输

出。通过实施优化的充放电策略,能够有效延缓电池容量衰退,提升电池的能量转换效率。在储能系统中,电池的高效运行将直接提升整个系统的经济性和稳定性。优化策略还可以减少电池在高负载工作时的过热问题,延长系统的运行周期。优化充放电策略能显著提升储能系统的可靠性,确保系统在长时间内持续高效运行,且降低了长期维护成本。

## 4 实验结果与理论模型对比分析

### 4.1 实验数据与理论模型的吻合度

实验数据与理论模型的吻合度是验证理论模型准确性的重要标准。在本研究中,实验结果与理论预测之间存在一定的偏差,但整体趋势吻合良好。实验过程中,电池在不同充放电深度下的循环寿命、容量衰减及效率变化均按照理论模型预期的模式进行。实验中一些不可控因素,如温度波动、电池的实际制造差异等,导致了理论与实验结果之间的微小偏差。通过对比分析,可以发现,现有的理论模型对较浅深度下的电池性能预测较为准确,而在深度充放电时,由于电池内部化学反应的复杂性,模型的预测误差略大。这些差异表明,理论模型需要进一步调整,以适应电池在不同工作环境下的复杂行为。

### 4.2 影响因素的多维度分析

多维度分析考虑了充放电深度、电流密度、温度、放电速率等多个因素对电池性能的影响。通过对实验数据进行回归分析和敏感性分析,发现温度对电池寿命的影响显著,特别是在高负荷的充放电状态下,温度的升高加剧了电池的衰退。充电电流的密度对电池的容量衰减也起到了加速作用,较高的电流密度导致了电池内部的电极材料更易发生劣化,影响了电池的循环稳定性<sup>[4]</sup>。放电速率与充电深度的结合情况也是影响电池性能的关键因素。通过综合考虑这些变量,能够更精确地识别出影响电池性能的主要因素,为后续的优化模型提供依据。

### 4.3 模型改进建议与结果讨论

针对理论模型与实验数据之间的偏差,提出了若干改进建议。可以引入温度依赖性因素,将电池的温度变化作为模型中的一个变量,以更准确地描述温度对电池性能的影响。在充放电过程中,考虑电池内阻的动态变化,使得模型能够适应更高的充放电速率和不同电流密度下的性能衰退。模型中的电解质消耗与电极材料的老化反应需要进一步细化,以考虑不同材料在长时间使用下的退化特性。通过对现有模型的修正与完善,能够更全面地预测电池在实际应用中的性能,进而为储能系统的优化提供更加科学的理论支持。

## 5 综合分析 with 未来研究方向

### 5.1 综合分析实验结果与理论模型

通过对实验结果与理论模型的综合分析,能够更深入地了解充放电深度对储能电池性能的影响规律。实验数据表明,在

不同充放电深度下,电池的循环寿命和容量衰减呈现非线性变化,与理论模型中的预测趋势一致。尽管在某些情况下,由于电池内部材料的变化与外部环境因素的影响,实验结果与理论预测存在一定差异,但总体上,两者之间的关系仍表现出较好的契合性。特别是在较浅的充放电深度下,电池的容量保持较好,而在深度充放电时,电池衰退明显加速。模型在描述电池化学反应、内阻增长及温度效应等方面具有较强的解释力,但仍需进一步调整,以适应电池在复杂操作条件下的表现。

### 5.2 电池性能提升的实际应用

提升电池性能的实际应用主要体现在储能系统的优化管理和延长电池使用寿命方面。根据实验结果与理论分析,优化充放电深度可以显著提高电池的循环寿命,同时保持较高的能量输出效率。在电动汽车、可再生能源储存等领域,通过合理控制电池的充放电深度,可以有效延长电池的有效使用期,减少因电池衰退导致的系统维护和更换成本<sup>[5]</sup>。电池管理系统(BMS)结合优化充放电策略,可以实时监控电池状态,并根据电池的运行条件动态调整充放电策略,从而提高系统的可靠性和经济性。进一步的技术进展将在提高电池效率、减少能量损失方面发挥重要作用,使电池在实际应用中的性能更加稳定。

### 参考文献:

- [1] 付天立,代吉祥,雷阳,戴玉堂,胡文彬,杨明红,程乘.基于FBG的储能电池模组单个电池级充放电状态温度应变实时检测研究[J].传感技术学报,2025,38(12):2223-2229.
- [2] 张珠让,赵海森,安博,张秉丞.新能源汽车动力电池循环寿命与性能提升研究[J].汽车测试报告,2025(17):43-45.
- [3] 王晓慧,崔世界,杨超,王悦.考虑储能电池寿命影响的源网荷储协同调度策略[J].电力电容器与无功补偿,2025,46(2):37-43+72.
- [4] 程广玉,刘新伟,刘硕,顾海涛,王可.调控电解液溶剂组分实现LCO/C低温18650电池循环寿命显著提升[J].储能科学与技术,2024,13(7):2171-2180.
- [5] 商立群,张建涛.计及储能电池寿命衰减的居民小区光储优化配置[J].电气技术,2024,25(2):1-11+20.

### 5.3 未来研究的技术挑战与方向

尽管当前的实验研究为优化储能电池性能提供了丰富的数据支持,但在未来的研究中仍面临着若干技术挑战。如何在不同工作环境下对电池的性能变化进行更加精确的预测,是未来研究的重要方向。电池的衰退机制复杂,涉及到电极材料的老化、离子迁移、热效应等多方面因素,这些因素在不同的工作条件下表现各异,如何综合这些影响因素,提高模型的预测精度,是技术难题之一。未来需要开发更加高效、稳定的电池材料,以应对深度充放电所带来的高压环境,提高电池的耐久性与安全性。随着储能系统的规模化应用,对电池管理系统的智能化要求越来越高,如何实现电池运行状态的实时监控与优化调控,将是未来技术发展的关键。

### 6 结语

充放电深度对储能电池的循环寿命和性能有着深远的影响。实验结果与理论模型的对比分析揭示了深度与电池衰退之间的非线性关系,优化充放电策略能够有效延长电池寿命并提高储能系统的整体性能。未来,电池材料的创新与电池管理系统的智能化将是提升储能系统效率的重要方向。深入的实验研究和理论模型的改进将进一步促进储能技术的发展,推动其在各类应用中的广泛应用。