

# 基于智能充电策略的220V直流蓄电池高效充放电控制研究

尤庭勇

大唐蒲城第二发电有限责任公司 陕西渭南 715501

**摘要:** 本研究为220V直流蓄电池电源系统,并尝试利用集成创新智能控制方法解决上述系统在充放电效率、安全性及使用寿命方面的矛盾关系等问题。针对传统恒流恒压充电方法带来的过极化、电池老化差异性以及系统功率脉动的问题,本文提出了基于动态调压充放电及均衡管理的复合型管控方案,并以在电池状态监测数据支撑下进行充电曲线设计以及放电策略优化为关键点,配合高可靠性的硬件架构实现组串级电池能量动态分配,为实现直流蓄电池系统可靠长久运行提供了坚实的理论基础及实践方法指导。

**关键词:** 智能充电策略;直流蓄电池;充放电控制

## 引言

随着清洁能源的广泛并网、分散式储能设备的推广应用以及电动车快速充电需求的激增,直流电池储能装置作为关键的能量缓冲与供应模块,其战略价值愈发突出。相比传统交流架构,直流架构在太阳能储能、信息中心、制造设备及电动车充电设施等场景中,凭借其能量转换效能优异、动态调节迅速等特点,获得了规模化部署。特别是220V直流电压规格,由于与主流工业用电及快速充电标准高度契合,已然发展为储能与动力领域的关键技术节点。

本研究致力于开发面向220V直流电池储能装置的智能化充放电管理平台。研究将全面剖析其理论框架、物理结构及核心运算逻辑,通过融合自调节控制机制、不确定性推理与可拓学原理等智能技术,最终形成一套能够显著提高充电效率、确保设备可靠性、优化电池耐久性并保持系统能量平衡的整体性技术方案。

## 一、高效充放电控制的理论基础

### (一) 蓄电池特性与状态参数估计

特别是现在主流使用的锂离子电池工作具有高度不确定性的特点,所以它的特性及性能表现出高度的非线性化,在充放电过程中其端电压、内阻、容量等参数不是固定的,而是随着负载变化、环境温度的变化、老化时间长短等因素的不同而变化。所以对以上关键运行状

态信息做及时准确的预报是智能监控管理的关键一步。

主要状态变量是电池充放电容量和健康度。电池容量反映了当前蓄电池剩余电量大小,相当于传统燃油汽车的“油量表”。健康度反映了电池当前最大可用能量与初始容量相比下降程度,是反映电池老化程度的重要指标之一。但由于无法在线测量到这样的信息,就需要借助于可以测量得到的电压、电流、温度等参数来估算。比如基于电池电化学模型的卡尔曼滤波以及衍生的技术就可以在有噪声的情况下精确在线估计出上述数值,这就为后续决策提供可靠的数据支持。

其次,极化对于大倍率充放电以及电池寿命的影响很大,在充电过程中,由于锂离子的嵌入脱出,电极内会产生浓度差和电化学极化,使得电池的实际端电压异常升高,若忽视该极化现象而继续用较大的充电电流,则会带来“虚”的充电容量,而与此同时,也可能导致析锂等一系列问题,对电池安全造成极大的危害,因此需要将电池的极化特性纳入到智能控制策略中去。

### (二) 高效充放电的基本原理与控制目标

如何获得最佳的充放电性能就是寻找最优的能量转移路径和转移过程,即多目标约束下的最优解。这种策略已不再满足简单的“充放电”,而是在关注自身健康状态的同时也兼顾整个系统效益的最大化。

主要思路是在充放电的过程中,在不出现毒性副作用如析锂或是破膜的情况下尽可能快地补充能量。这意味着,充放电过程中的充放电曲线不是静态的,而应该根据电池当前状态进行动态变化。例如当电池剩余电量低的时候,用比较大的电流来恒流充电,可以使其储电

**作者简介:** 尤庭勇,1981.1,男,汉,陕西户县人,本科,工程师,研究方向:电气工程。

量更快地上升；但当电池已接近高能量状态时，就应该开始慢慢降低电流或者进入恒压阶段，从而更好地将电池的最后一口储油罐填满，并且降低了极化作用。对于放电过程而言，则需考虑设备需求、电池安全域和系统性能。智能放电控制的目标是跟踪负载变化并必要时根据电池状态及其温度来约束最大放电功率，以防止电池过度放电或因过热而损坏。

## 二、智能充放电控制系统架构设计

### （一）系统硬件拓扑与功率电路设计

系统的核心是硬件架构，其基本功能是将220V的直流电有效地可控转换成适合为电池充放电所需求的电压、电流，或者是反过来由电池中获取能量再转换成满足设备应用或回馈电网所需的能量形式；而为了兼容220V的直流母线以及高控制性需求，使用双向DC变换器。该变换器既能够降压向蓄电池充电，又能够升压将蓄电池的能量回馈到母线中，进而完成能量的双向可控传递。

为了提高系统可靠性及性能，在硬件架构设计上采用复用或串联方式。例如设置两组Buck和Buck-Boost电路组成冗余方案，这样当某一部分因出现问题或过热失效时，另一部分会立即替代其工作，这样就可以保证系统的持续工作，降低了单个部分长时间运行产生热量累积的可能性；另一方面，在功率器件的选择上，比如具有低通态电阻值且开关速度快的MOSFET管往往被用于H桥之类的开关阵列中来实现对充/放电电流脉宽的精确控制。

此外，它还应配备高精度传感器和采集装置，在线监测电池组总电压、总电流以及单体电池电压和关键部位的温度，并以此为基础进行后续的所有智能决策。为实现电池间的能量再均衡，硬件还集成有主动均衡模块，该模块通常包括电容、电感或变压器等储能元件并形成独立于主充放电回路的能量交换通道，能够根据指令将电能从高节电池传递到低节电池上。

### （二）控制系统软件模块与算法集成

硬件是系统的躯体，而软件是系统的大脑，控制系统软件采用模块式的设计，各司其责又相互配合。

其中采集模块负责采集传感器的数据并进行预处理，保证输入数据干净有效；充放电控制模块是核心控制单元，在上层策略命令下，发出指令，继而控制电源开关器件动作，从而达到调节输送电能以及电能量的目的。

电池管理系统负责电池状态及平衡控制。利用采集到的工作电流进行时间积分处理并结合基于模型的电压

修正实现在线的单体电池容量估算。同时持续监测各单体间的压差，在超限后，将启动平衡策略并执行平衡回路。人机交互模块为用户提供图形界面以显示电池组状态、设置控制参数、接收告警信息等操作，提高了系统可用性及维护性。

各部件并不是单独运行，而是由一套严密的推理机控制模块进行统一指挥。本节相当于“大脑”，对电池状态以及外界指令（充放电需求、负载水平）和约束条件（如温度约束、出力上限）进行综合判断，并选取相应的调节方式，与此同时，一旦出现故障就会及时采取保护机制，确保整体系统始终处于稳定安全高效的运行状态。

## 三、智能充电策略的220V直流蓄电池高效充放电控制策略

### （一）基于多状态反馈的自适应充电策略

自适应充电策略的目的是摒弃单一封闭的固定充电方案，为电池制定动态定制化充电方案来适配当下电池的状态及需求。“自适应充电”的核心在于建立一种可以针对不同状况进行响应的多阶段回溯机制。

该方法需不断采集电池各方面状态的信息，例如电池的真实荷电状态、当前健康状态以及当前时刻的实际温度变化趋势和电压变化趋势，再以这些信息为输入变量，借助于内置人工智能算法求得下一步最合适的充电电流或者充电电压数值。例如采用模糊控制理论：将“荷电状态变化率”和“端电压变化率”这类精确量转化为“大”、“中”、“小”等模糊概念，并依据从专家经验得到的模糊规则库进行推理，最终得出一个平缓的充电机流调整指令即可实现充电机流平稳、快速、无超调的要求。

从深层次上讲，策略还将考虑老化效应。对于状态较差的老化电池将自动降低最大允许充电电流，并提前进入恒流转恒压模式以避免对内部分解造成过载。在一组以上电池组组成的独立系统中，该自平衡方案还可根据各单体电池不同充满程度以及老化状态智能分配总充电功率，例如可将更多电量补给充满程度低的单体，或者为即将充满电而需尽快启动降流程序的单体创造条件平滑进入源切换点，维持全部充填装置的整体出力水平不变的情况下提升单体利用率。

### （二）面向负载需求与电池保护的协同放电策略

主要工作是智能放电控制，在满足对外供电需求的情况下尽可能保证电池健康安全的状态，需要设计一种机制让电池放电既“积极对外”，也“审慎对内”。

协同充电策略是根据对负载用电量的检测以及预测结果制定而成。当发生负载用电量突变时,管理系统应对变化做出快速响应,并控制放出电量的多少。这种情况下可以采用可扩展性的智能控制系统进行管理,它可以根据双向变换器放出的功率的变化以及电池的电压变化而自动改变控制器的设置,使其在任意工况下都有良好的调节性能,并缩短系统响应时间,提高跟踪负荷变动能力。

不仅要及时响应一切状况,而且策略中内置的安全保护机制也要时刻处于工作状态。温敏电阻实时监控电池和电源系统的温度,在检测到超限时会以预设的形式降低输出功率。过放保护基于精确的剩余电量估计进行。可以附加一个额外的限制条件,让的电压不会过快地降到无法工作的电压以下。这种根据健康状况进行的管理能够有效地延缓电池组的失衡情况发生,延长整个系统寿命。

### (三) 基于容量与电压平衡的电池组均衡管理策略

由于单体间的离散性影响了串联电池组整体的性能及寿命,因此,如何解决该瓶颈成为研究的关键所在。主动均衡管理技术就是针对此瓶颈提出的解决方案,在充放电期间对各单体进行干预处理以实现各单体间的均衡。

主要包含两个重要指标,即均衡管理的对象是电压以及容量。而最为简单直接的就是电压平衡法,也就是对各个单元的电压进行不断的检测,并将这些能量从高往低传输,从而保证所有单元的电压都处于相同的状态下。但是由于受到内部电阻以及极化电压的影响,所以一瞬间的电压同步并不代表着容量同步。因此,更先进一点的方法是使用容量平衡法,即根据预计算得到的所有单元的充电状态来调整均衡的标准,并以所有单元的充电状态都相同为最终目标,才能真正满足能量均匀分配的要求。

在电池健康状态相同但初始充电电量不同的情况下,采用基于容量的均衡策略比基于电压的均衡策略能显著缩短充放电时间以实现均衡目的;而在电池健康状态不同即相对复杂的条件下,采用基于容量的均衡策略优于基于电压的均衡策略,有利于提升电池组的整体寿命及恒定放电性能。具体实现平衡的方法主要是采用高效的

平衡装置,如基于双向 Buck-Boost 变换器拓扑结构设计,在任意两个电池单体之间建立能量传输路径,并由 BMS 控制根据预先设定的容量平衡策略或电压平衡策略,精确地转移特定的能量值,最大限度地利用电池组的能力。

### 结语

综上所述,本文主要研究分析了如何高效地给 220V 直流蓄电池组进行充放电管理,在此基础上从理论基础到系统设计再到策略方法做了详细的工作。并提出了基于智能控制的方法能够弥补传统方法存在的低效性、不安全性以及短寿命等问题。

通过对蓄电池非线性特征进行分析,将蓄电池剩余电量状态及健康状态估计作为控制前提。在此基础上建立高效的双向拓扑结构、精密传感装置和可扩展柔性软件平台的硬件体系。并提出关键智能算法方案,也就是三种手段整合一体的策略:基于多态反馈的自适应充电算法使得充电过程更加个性化并最优。基于负载及电池防护需求的协同放电策略确保了系统响应速度与安全性之间的统一。基于容性和压差均衡的控制技术能够有效解决电池组的离散度问题,所以提升了整体系统的效果。

### 参考文献

- [1] 张州生, 许铀, 姚锦祥, 等. 基于多重防护的电单车电池系统智能充电柜[J]. 科技风, 2025, (34): 4-6+55.
- [2] 胡真, 汪盼. 基于单片机的智能充电系统的设计[J]. 现代信息科技, 2022, 6(10): 42-45.
- [3] 罗智燃, 李永忠, 喻光林. 一种基于大数据分析的蓄电池智能管理系统[J]. 电力大数据, 2022, 25(02): 64-72.
- [4] 吴桂才, 黄鹭. 基于单片机的锂电池智能充电监控设计[J]. 机电工程技术, 2022, 51(01): 151-153+233.
- [5] 孙启林. 基于智能控制技术的铅酸蓄电池充电系统的研究[D]. 桂林电子科技大学, 2020.
- [6] 刘志明, 张向文. 四段式智能充电管理系统的设计与实现[J]. 电源技术, 2020, 44(04): 553-556+561.