

# 储能电池组均衡技术的研究与应用

赖远飞

深圳市理士锂能科技有限公司 广东 深圳 518100

**摘要:** 随着新能源技术的飞速发展, 储能电池作为关键组件, 在太阳能发电、风力发电等领域发挥着越来越重要的作用。然而, 在储能电池组使用过程中, 单体电池间的不一致性成为影响系统性能和寿命的关键因素。本文旨在深入探讨储能电池组均衡技术的研究进展及其具体应用, 以为相关领域提供理论支持和实践指导。

**关键词:** 储能电池; 电池管理系统; 均衡技术; 主动均衡; 被动均衡

## 引言

储能电池组通常由多个单体电池串联或并联而成, 以提高整体电压和容量。然而, 由于制造工艺、使用环境等因素的差异, 单体电池在容量、内阻、自放电率等方面存在不一致性, 电池配组后由于电池的不一致性会影响组内锂电池的性能发挥以及衰减老化, 严重的可能会影响电池组的安全, 从而引发事故。因此, 如何通过均衡技术减少或消除这种不一致性, 成为提升储能电池组性能和寿命的关键。

### 1 储能电池组均衡技术的原理

储能电池组均衡技术主要通过电池管理系统 (BMS) 实现, 其基本原理是监控电池组的充放电状态及各单体电池的电压、电流、温度等参数, 然后采用相应的控制策略, 对电池单体进行充放电过程中的调节, 以降低电池单体之间的不平衡特性。

### 2 储能电池组均衡技术研究

#### 2.1 被动均衡技术

##### 2.1.1 工作原理

被动均衡技术的工作原理相对简单直接。它主要依赖于在每个单体电池上并联一个电阻, 通过电阻放电的方式来实现均衡。当某个单体电池的电压高于其他电池或达到设定的上限保护电压值时, 均衡机制会启动, 通过并联的电阻对该电池进行放电, 从而降低其电压。

##### 2.1.2 实现方式

被动均衡的实现方式主要有两种: (1) 恒定分流电阻式: 在这种实现方式中, 每个单体电池上都并联了一个分流电阻。这个电阻的阻值是根据电池的特性和均衡需求精心选择的, 以确保能够有效地分流, 同时不会对电池造成过大的负担。这种方式的优势在于其高度的可靠性以及实现的简洁性<sup>[1]</sup>。由于电阻始终与电池并联, 因此无论何时, 只要电池存在电压差, 电阻就会起作用, 进行电量的分流, 从而达到均衡的效果。然而, 这

种方式也存在一定的缺点。由于分流电阻始终在工作, 无论电池是处于充电还是放电状态, 它都会消耗一定的功率。这不仅降低了电池组的整体效率, 还可能导致电阻发热, 进而对电池组的环境温度产生影响。因此, 这种方式更适用于那些能量充足且对可靠性要求极高的场合, 如关键的备用电源系统或不容许出现任何故障的高端设备。(2) 开关控制分流电阻式: 与恒定分流电阻式不同, 开关控制分流电阻式通过引入开关元件, 如 MOSFET 或继电器, 来控制分流电阻的工作状态。在充电过程中, 当某个单体电池的电压达到预设的终止电压时, 相应的开关会接通, 使分流电阻开始工作, 对该电池进行均衡放电。这种方式更为灵活, 可以根据电池的实时状态动态调整均衡策略。但这种方式也有其局限性。由于均衡操作主要在充电期间进行, 且仅在电池电压达到特定阈值时启动, 因此均衡时间相对有限。同时, 由于电阻在短时间内可能需要进行大量的热量耗散, 因此可能会引发散热问题。这要求在设计时需充分考虑散热措施, 以确保系统的稳定运行。此外, 开关控制电路的复杂性和成本也相对较高, 需要更为精细的电路设计和维护。

##### 2.1.3 优势与限制

被动均衡技术在对成本敏感的应用场景中具有一定的优势, 特别是在小容量、低串数的锂电池组中表现突出。由于其电路设计相对简单, 不需要复杂的控制算法和高精度的传感器, 因此实现成本较低, 然而, 这项技术也存在明显的限制。最主要的是, 被动均衡只能在充电过程中进行, 对于放电过程中的不平衡现象则无能为力。此外, 它通过电阻进行热耗散来实现均衡, 这不仅导致了大量的能量浪费, 降低了整体能量效率, 而且在长时间运行过程中, 热量的积累还可能对电池的寿命和安全性产生负面影响。因此, 虽然被动均衡技术在某些特定场景下具有其适用性, 但在追求高能量效率和长期

稳定运行的系统中，其应用则显得相对局限。

## 2.2 主动均衡技术

### 2.2.1 工作原理

主动均衡技术的工作原理是通过传感器监测电池组中每个单体电池的电压、电流等状态信息，并根据这些信息通过控制系统主动调节电池间的能量分布，以达到均衡的目的。与被动均衡不同，主动均衡能够将电量从电量较高的单体电池转移到电量较低的单体电池，从而提高能量利用率和电池组性能。

### 2.2.2 实现方式

主动均衡技术的实现方式主要包括以下几个步骤：

**状态监测：**主动均衡技术的第一步是精确地监测每个单体电池的状态。通过使用高精度的电压传感器、电流传感器以及温度传感器，系统能够实时获取每个电池的电压、电流和温度等关键状态信息。一旦收集到这些数据，它们会被立即传输到控制系统进行进一步的处理和分析。

**能量转移方式：**在确定了需要均衡的电池后，下一步是选择合适的能量转移方式。主动均衡技术提供了多种能量转移方法，以适应不同的应用场景和需求。电容式均衡利用电容器作为中间储能元件，暂时存储从电压较高的电池中转移出的能量，并在适当的时候将其释放到电压较低的电池中。电感式均衡则通过电感器实现电池单体之间的能量交换，这种方式可以实现能量的双向转移，更加灵活高效<sup>[2]</sup>。而变压器式均衡则适用于高电压、大容量的电池组，它采用多副边变压器，在充电时通过变压器副边将能量从高电压电池转移到外部储能装置，放电时再通过变压器原边将这部分能量回馈给低电压电池。

**控制策略：**控制策略是实现主动均衡技术的核心。控制系统根据传感器采集的数据，通过先进的算法判断哪些电池需要进行均衡操作，并确定均衡的启动和停止条件。为了确保能量的有效转移和电池组的安全运行，控制系统需要设计合理的控制算法，并精确控制开关矩阵以实现能量的定向转移。

**能量管理与热设计：**在进行主动均衡的过程中，能量管理和热设计也是不可忽视的环节。管理系统需要实时监测电池组的总能量和每个单体电池的能量状态，以确保在均衡过程中能量的有效管理和利用。同时，由于均衡操作可能会产生热量，因此合理的热设计至关重要。这包括选择适当的散热材料和结构，以确保电池组在工作过程中能够有效地散热，避免热失控等安全问题。

### 2.2.3 应用与优势

主动均衡技术在电动汽车、储能系统等多个领域得到了广泛应用，其显著优势为这些领域带来了重要的技术革新。首先，通过实时调节电池间的能量分布，主动均衡技术确保了电池组的一致性，从而有效提高了电池组的能量利用率。这意味着在相同的充电和放电过程中，能够更充分地利用每一块电池的能量，进而提高整车的续航能力和储能系统的效率。其次，该技术能够延长电池的使用寿命。通过避免某些电池过度充电或放电，减少了电池的损耗，从而延长了其整体使用寿命。此外，主动均衡技术特别适用于高串数、大容量锂电池组，能够满足高性能应用的需求。在电动汽车等需要大功率输出的场合，这种技术能够确保电池组的稳定性和安全性，为用户提供更加可靠和高效的能源解决方案。

## 3 均衡技术的具体应用与技术挑战

在光伏储能系统、风力发电储能系统以及电动汽车与智能电网等领域，均衡技术的应用至关重要。然而，实际应用中仍面临一些技术挑战：

### 3.1 高精度测量技术

均衡技术的具体应用与技术挑战中，高精度测量技术是至关重要的一环。首先，高精度的电压测量技术能够为我们提供电池单体电压的精确读数，这是判断电池状态的基础。在电池管理系统中，通常使用高精度的数字万用表或专用的电池测试仪器来进行电压测量。通过连续监测电池单体的电压变化，我们可以及时发现电池之间的不均衡情况，并采取相应的均衡措施。其次，高精度的电流测量技术对于评估电池的工作状态和性能也至关重要。在电池充放电过程中，准确的电流测量可以帮助我们了解电池的内部电阻、容量以及充放电效率等关键参数。为了实现高精度的电流测量，常用的方法包括采用霍尔效应电流传感器或分流器等设备。这些传感器能够实时监测电流的精确值，并将数据传输给电池管理系统进行分析和处理。然而，高精度测量技术也面临着一些挑战。首先，测量设备的精度和稳定性对于测量结果的准确性至关重要。因此，我们需要选择高品质的测量设备，并定期进行校准和维护，以确保其长期稳定的性能<sup>[3]</sup>。其次，电池在工作过程中可能会受到温度、湿度等环境因素的影响，这可能会对测量结果产生一定的干扰。为了减小这些干扰因素的影响，我们可以采取温度补偿、滤波等技术手段来提高测量的准确性。

### 3.2 快速响应的控制系统

在均衡技术中，快速响应的控制系统是至关重要的。由于电池状态的变化可能非常迅速，均衡操作必须在极短的时间内完成，通常要求在毫秒级的时间内作出

响应,以确保电池组的安全与稳定。这种快速响应的控制系统首先依赖于高性能的硬件支持,包括高速处理器、精确的传感器以及可靠的执行机构。处理器需要能够快速处理来自传感器的数据,并根据预设的算法迅速作出决策。传感器则需要具备快速响应和高精度特性,以便实时准确地监测电池状态。执行机构,如开关矩阵,也需要具备快速动作的能力,以确保均衡操作能够及时有效地进行。除了硬件支持外,控制系统的软件设计也至关重要。均衡算法需要优化以减少计算时间,同时保证决策的准确性和有效性。在实际应用中,这种快速响应的控制系统还需要与电池管理系统的其他部分紧密集成,如热管理系统、充电控制系统等。这样,当电池状态出现异常时,控制系统可以迅速与其他系统协同工作,采取必要的保护措施,如降低充电电流、启动散热装置等。

### 3.3 热管理

在电池均衡过程中,热管理是一个至关重要的环节。均衡操作往往伴随着能量的转移和转换,这可能会产生一定的热量。如果这些热量不能及时散发,积累在电池内部,就可能对电池造成损害,甚至引发安全问题。热管理的核心目标是确保电池在工作过程中能够维持在一个适宜的温度范围内。为了实现这一目标,首先需要精确监测电池的温度。通过温度传感器实时获取电池的温度数据,一旦温度超过预设的安全范围,就需要立即启动热管理措施,如冷却风扇开始转动。有效的散热设计是热管理的关键。这包括使用高效的散热材料,如导热率高的金属或复合材料,以及合理设计散热结构,如散热翅片、风扇等,来增强散热效果<sup>[4]</sup>。同时,还可以通过液体冷却或热管技术等先进手段,进一步提高散热效率。除了被动散热,主动热管理策略也十分重要。例如,当检测到电池温度升高时,可以通过调整均衡策略来减少热量的产生。这可能包括降低均衡电流、调整均衡频率或改变均衡方式等。

### 3.4 集成与模块化设计

在电池管理系统中,均衡系统的集成与模块化设计是提升系统整体性能和可靠性的关键。模块化设计不仅便于系统的维护和扩展,还能提高生产效率,降低制造成本。模块化设计的核心思想是将复杂的系统分解为若

干个功能独立、结构完整的模块。这种设计方式使得系统在出现故障时,能够快速定位并更换相应的模块,从而大大减少了维护时间和成本。同时,均衡系统的模块化设计还需要与整个电池管理系统紧密集成。这意味着各个模块之间需要实现高效的数据交互和协同工作。例如,状态监测模块需要实时将电池的电压、电流和温度等数据传输给控制模块,以便控制模块能够根据这些数据做出准确的均衡决策。而能量转移模块则需要根据控制模块的指令,精确地执行能量的转移操作。此外,模块化设计还为系统的扩展提供了便利。当需要增加电池组的容量或改变电池的配置时,只需增加或替换相应的模块即可,而无需对整个系统进行大规模的改动。

### 结语

储能电池组均衡技术是提升储能系统性能和寿命的关键技术之一。需要着重说明的是,行业内往往对电池管理系统的均衡功能存在一定的误解,均衡无法对电池的一致性进行修复,只能在一定程度上缓解电池的不一致导致的影响。均衡只能起到调理作用。纯粹的充电均衡或者放电均衡只能解决电压不一致性问题,且依赖于均衡能力,对电池自身容量差异毫无办法,只有同时具备充放电均衡才能改善容量不一致性。因此从上游提升电芯生产过程的稳定性,保证电池产品的一致性才是解决此类问题的根本办法。本文详细探讨了被动均衡和主动均衡两种主要技术的原理、优缺点及具体应用。随着新能源技术的不断发展,未来均衡技术将在提高能量利用率、降低成本、增强系统稳定性等方面发挥更加重要的作用。同时,随着新材料、新技术的不断涌现,储能电池组均衡技术也将迎来更多的创新和发展机遇。

### 参考文献

- [1]刘福临.串联锂离子电池组任意单体均衡技术研究[D].中南大学,2023.
- [2]李郑斐.锂离子电池组电压均衡技术的研究[D].江苏大学,2022.
- [3]张博.梯次利用锂电池组主动均衡系统关键技术研究[D].齐鲁工业大学,2022.
- [4]杨贺.基于电量估计的锂电池组均衡技术研究[D].大连交通大学,2023.