

大容量锂电池移动电源的开发与挑战

胡晓昊

镇海石化建安工程股份有限公司 浙江 宁波 315200

摘要：本文探讨了大容量锂电池移动电源的开发流程、关键技术及其在检维修或安装工程中的应用挑战。该移动电源设计覆盖220V及380V两个电压等级，容量约10kW左右，旨在满足现场作业的高能量需求。文章详细分析了从需求分析到产品设计的开发流程，探讨了电池选型、电路设计、能量管理系统等关键技术，并讨论了开发过程中面临的挑战及未来发展方向。

关键词：大容量锂电池；移动电源；开发；挑战

引言

随着电动工具和便携式设备在检维修及安装工程中的广泛应用，对移动电源的需求日益增加。大容量锂电池移动电源以其高能量密度、长寿命、无记忆效应等优点，成为解决现场供电问题的理想选择。本文聚焦于开发一款适用于高功率设备的锂电池移动电源，并探讨其关键技术及面临的挑战。

1 大容量锂电池移动电源的开发流程

1.1 需求分析

在开发大容量锂电池移动电源之初，需进行深入的需求分析。明确移动电源的主要应用场景，如检维修或安装工程，并识别目标用户群体，如专业电工或工程团队。进一步确定移动电源需覆盖的电压等级，即220V及380V，以满足不同设备的电力需求。同时，明确容量要求约为10kW，以确保足够的电力供应。除此之外，还需综合考虑用户对便携性的要求，如设备的重量、体积和携带方式。安全性也是关键考量因素，包括电池的安全性能、过温保护和短路防护等。

1.2 电池与组件选型

1.2.1 电池选型

(1) 磷酸铁锂电池：磷酸铁锂电池以其高安全性、长寿命和良好的热稳定性成为移动电源的重要选择之一。这类电池在高温或短路等极端条件下仍能保持较好的性能，大大降低了安全事故的风险。此外，磷酸铁锂电池的循环寿命长，能够经受多次充放电循环而不显著损失容量，这对于需要频繁使用的移动电源尤为重要^[1]。

(2) 三元锂电池：三元锂电池则以其高能量密度和出色的低温性能而著称。相比磷酸铁锂电池，三元锂电池能够提供更高的能量输出，满足高功率设备的需求。同时，在低温环境下，三元锂电池的性能表现更为优异，确保了移动电源在各种气候条件下的稳定性。

1.2.2 DC-AC逆变器选型

在选择逆变器时，需要关注以下几个方面：(1) 转换效率：高转换效率意味着更少的能量损失和更高的输出能力。选择具有高效转换能力的逆变器可以确保移动电源在使用过程中保持较高的能量利用率。(2) 稳定性：逆变器应具备良好的稳定性，能够在各种工况下稳定运行，不出现电压波动或电流突变等异常情况。(3) 可靠质量：逆变器的质量直接关系到移动电源的整体可靠性和寿命。选择来自可靠供应商、经过严格测试和质量控制的逆变器产品可以降低故障率和维修成本。

1.3 电路设计

在电路设计的核心环节——DC-AC逆变器电路的设计中，为了实现直流电到交流电的高效转换，可以采用PWM（脉冲宽度调制）技术。PWM技术通过精准地控制开关元件（如MOSFET或IGBT）的通断时间比，即调整脉冲的宽度，来优化输出电压和电流的波形，使其更接近理想的正弦波，从而提高转换效率。为确保转换效率达到90%以上，需要对逆变器电路进行详细而精确的设计和优化。以下是关键参数的计算过程与结果：

1.3.1 开关频率的计算与选择

开关频率的选择基于逆变器的输出功率、功率器件的开关损耗以及输出电压的稳定性需求。较高的开关频率可以提高输出电压的波形质量，但也会增加功率器件的开关损耗，因此需要找到一个平衡点。计算公式为：

$$f = P / (L \times (1 + r / (\text{允许的最大电压波动})))$$

其中， f 为开关频率（Hz）， P 为目标输出功率（W）， L 为功率器件的开关损耗（J/次）， r 为期望的电压纹波系数（%），允许的最大电压波动需根据实际情况设定。

假设 $P = 10000\text{W}$ （10kW）， $L = 0.1\text{J/次}$ （估算值）， $r = 1\%$ （目标电压纹波系数），允许的最大电压波

动设为额定电压的1%（此处以220V和380V的平均值估算为250V的1%即2.5V），则：

$$f \approx 10000 / (0.1 \times (1 + 0.01/0.025)) \approx 100\text{kHz}$$

因此，选择开关频率为100kHz。

1.3.2 滤波电容的计算

滤波电容用于滤除输出电压中的高频谐波，使波形更加平滑。其值取决于输出电压等级、负载特性以及所需的纹波电压。计算公式为：

$$C = I_{out} / (2\pi f_{ripple} \times V_{ripple})$$

其中， I_{out} 是输出电流的有效值（此处以估算的峰值电流为例，实际计算中应使用有效值）， f_{ripple} 是纹波频率（通常等于开关频率）， V_{ripple} 是允许的最大纹波电压。

假设 $I_{out} = 45\text{A}$ （估算的峰值电流）， $f_{ripple} = 100000\text{Hz}$ （100kHz）， $V_{ripple} = 1\text{V}$ （允许的最大纹波电压），则：

$$C \approx 45 / (2\pi \times 100000 \times 1) \approx 7.16\mu\text{F}$$

考虑实际应用中的安全性和稳定性，选择稍大一些的电容值，如10 μF 。

1.3.3 电感值的计算

电感在逆变器中起到储能和滤波的作用，其值的选择影响输出波形的响应速度和稳定性。计算公式为：

$$L = V_{dc} \times (V_{dc} \sqrt{2} \times V_{ac}) / (2 \times f \times I_{out})$$

其中， V_{dc} 是直流母线电压， V_{ac} 是交流输出电压的有效值， f 是开关频率， I_{out} 是输出电流的有效值。

假设 $V_{dc} = 400\text{V}$ （直流母线电压）， $V_{ac} = 220\text{V}$ （交流输出电压有效值）， $f = 100000\text{Hz}$ （100kHz）， $I_{out} = 40\text{A}$ （有效值），则：

$$L \approx 400 \times (400 \sqrt{2} \times 220) / (2 \times 100000 \times 40) \approx 1.2\text{mH}$$

考虑到实际应用中的电感偏差和温度系数，最终选择的电感值可能需要稍作调整。

1.4 能量管理系统设计

在开发大容量锂电池移动电源时，能量管理系统（BMS）的设计至关重要。BMS负责全面监控电池组的电压、电流和温度等关键参数，以确保电池组在各种工况下都能安全稳定运行（图1）。

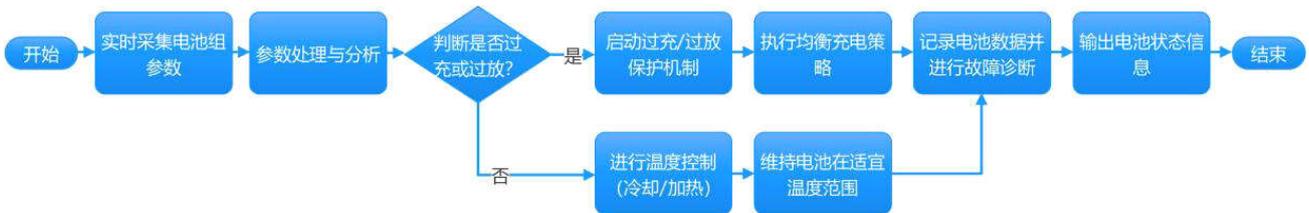


图1 能量管理系统运行流程图

首先过充保护和过放保护是能量管理的核心功能之一。通过实时监测电池组的电压和电流，系统能够准确判断电池是否处于过充或过放状态。一旦检测到异常情况，系统会立即启动保护机制，切断充电或放电电路，防止电池因过充或过放而损坏，从而有效延长电池的使用寿命。其次，温度控制也是能量管理的重要职责。电池在工作过程中会产生热量，如果温度过高，不仅会影响电池的性能，还可能引发安全问题。因此，能量管理系统通过实时监测电池组的温度，并在必要时采取冷却或加热措施，确保电池在适宜温度范围内运行，保持其最佳性能，对于锂电池而言，其适宜的工作温度范围通常在0°C至45°C之间，具体温度范围可能因电池类型、制造商以及使用环境的不同而有所差异。此外，均衡充电功能也是能量管理的一大亮点。由于电池组中各个单体电池的性能和状态可能存在差异，如果直接进行充电，可能会导致某些电池过充或某些电池充电不足。为了解决这个问题，能量管理系统通过精确控制充电电流和电压，实现电池组中各个单体电池的均衡充电，提高整体电池组的性能和寿命。除了以上几个关键功能外，

能量管理系统还具备数据记录和故障诊断等附加功能。

1.5 安全性能设计与测试

在移动电源的设计中，安全性能的考虑至关重要。为了确保在各种工况下的安全性和稳定性，需要在移动电源中集成短路保护和过温保护装置。短路保护装置能够在电路发生短路时迅速切断电源，防止电池和电路损坏。过温保护装置则负责监测电池和电路的温度，一旦温度过高，就会启动保护机制，防止发生火灾等安全事故^[2]。

1.5.1 理论计算方面

在移动电源的安全性能设计中，理论计算是确定保护装置参数和性能要求的关键步骤。以下是具体的计算方法：

(1) 短路保护参数计算。①电流阈值计算：根据电池组的最大允许电流和电路的承载能力，确定短路保护装置的触发电流阈值。例如，使用公式 $I_{trip} = k \times I_{max}$ ，其中 I_{trip} 是触发电流， I_{max} 是电池组的最大电流， k 是安全系数（通常小于1）。②响应时间计算：考虑保护装置的响应速度，通常基于其内部电路结构和元件特性。虽然直接公式可能复杂且依赖于具体设计，但可以通过

查阅装置的技术手册或进行初步模拟仿真来估算。

(2) 过温保护参数计算。①温度阈值设定：基于电池和电路材料的热特性，确定过温保护装置的触发温度。这通常依据材料的热稳定性数据和安全标准，如 $T_{trip} = T_{max} - \Delta T$ ，其中 T_{trip} 是触发温度， T_{max} 是材料的最高允许温度， ΔT 是安全裕量。②热传导与散热分析：利用热传导方程（如傅里叶定律）和散热模型（如热阻网络）计算电池组在不同工况下的温度分布。这有助于评估过温保护装置的合理性和有效性。

1.5.2 实验测试

为了确保移动电源在各种工况下的安全性和稳定

性，可以通过实验测试验证保护装置的可靠性。以下是具体的实验方法：

(1) 短路保护测试：使用精密的短路模拟设备，在移动电源的输出端口人为制造短路条件，观察并记录短路保护装置的反应时间、切断电流、电池及电路的温度变化等参数^[3]。

(2) 过温保护测试：将移动电源置于可控温的环境中，逐步升高环境温度，直至触发过温保护装置。在此过程中，监测并记录电池温度、电路温度、保护装置的响应时间等关键参数。

(3) 实验结果示例

表1 短路保护测试数据表（示例）

短路位置	触发电流A	切断时间ms	电池最高温度°C	电路状态
输出端口A	405	3.8	42	立即切断，无损坏
输出端口B	402	4.0	41	立即切断，无损坏

表2 过温保护测试数据表（示例）

初始温度°C	加热速率°C/min	触发温度°C	响应时间s	电池状态	电路状态
25	2	64.8	2.5	温度稳定下降	电路切断，无异常
30	2	65.2	2.7	温度稳定下降	电路切断，无异常

注：以上表格数据仅为示例，用以说明实验的作用，具体实验数据因实验条件、样本情况而存在差异。

以上数据表展示了短路保护和过温保护两项测试的结果，显示在不同测试条件下，移动电源的安全保护装置的反应情况及其有效性。通过这些实验测试，可以验证移动电源在各种极端工况下的安全性能。

2 面临的挑战

2.1 测试技术挑战。大容量锂电池的移动电源性能测试是一个复杂且关键的过程。这包括额定能量测试，即测量电池在特定条件下的存储能量；能量转换效率测试，评估逆变器将直流电转换为交流电的效率；以及安全性测试，确保电池在各种极端条件下的稳定运行。测试过程中，需要采用高精度的测试设备，以准确测量电压、电流和功率等参数。同时，为了降低测试成本和提高测试效率，正在研发更高效的测试算法和自动化测试系统，以实现快速、准确的性能测试。

2.2 安全性能保障。在高功率输出下，确保电池组和逆变器的安全稳定运行至关重要。这涉及到一系列的安全措施，如短路保护，它可以在电池组发生短路时迅速切断电流，防止电池损坏或起火。过温保护也是关键，当电池或逆变器温度过高时，系统会自动关闭或降低功率，以防止热失控。为了确保这些安全措施的有效性，需要进行严格的测试和验证，包括模拟各种工况下的短路和过温情况，以确保移动电源在各种极端条件下的安全性。

2.3 成本控制。大容量锂电池移动电源的开发成本是

一个重要的考虑因素。电池、逆变器、能量管理系统等组件的成本都相对较高，且随着技术的进步和市场的竞争，降低成本的需求日益迫切。为了实现成本控制，正在探索更经济的材料和技术，如采用更高效的电池化学配方、优化逆变器的设计以降低损耗、以及开发更简洁高效的能量管理系统。同时，通过提高生产效率和降低制造成本，也可以进一步降低移动电源的整体成本，提高其市场竞争力。

结语

大容量锂电池移动电源在检维修或安装工程中具有广阔的应用前景。通过科学合理的开发流程、关键技术的突破以及面对挑战的解决方案，可以开发出满足现场作业需求的高性能移动电源。未来，随着新兴技术的发展，如固态电池、快速充电技术等，大容量锂电池移动电源的性能将进一步提升。同时，智能化和互联化将成为重要趋势，推动大容量锂电池移动电源行业的持续健康发展。

参考文献

- [1]陈秋林.锂电池大容量负极的设计、制备及储锂性能研究[D].厦门大学,2021.
- [2]印利民,18650大容量三元动力锂电池研发及应用.湖南省,湖南星际动力新能源有限公司,2020-10-29.
- [3]唐爱坤,娄刘生,单春贤,等.大容量锂电池液冷冷却结构设计及仿真分析[J].电源技术,2019,43(05):775-777+791.