

# Research on polarity-related characteristics and application of DC miniature circuit breaker

Jianfeng Luo

China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

## Abstract

As the core protective component in DC distribution systems, the polarity design and connection methods of DC miniature circuit breakers directly determine the reliability of protection functions. This study examines the wiring of DC miniature circuit breakers in the emergency diesel generator control cabinet of a domestic factory. Focusing on the polarity characteristics of DC miniature circuit breakers, it systematically explains their functional principles, polarity implementation methods, and installation technical requirements, while conducting an in-depth analysis of how polarity connections affect equipment operation and system safety. The research demonstrates that proper polarity connections are essential for effective overcurrent protection, short-circuit protection, and arc extinction functions. Reversed polarity connections may lead to protection failure, equipment damage, or even safety incidents. The findings provide theoretical foundations and practical guidance for the design, installation, and maintenance of DC distribution systems.

## Keywords

DC miniature circuit breaker; polarity; protection principle; installation requirements;

## 直流微型断路器极性相关特性及应用研究

罗建峰

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518124

## 摘要

直流微型断路器作为直流配电系统中的核心保护元件, 其极性设计与连接方式直接影响保护功能的可靠性。本研究以国内某厂应急柴油发电机控制柜内直流微型断路器接线为例, 围绕直流微型断路器的极性特性, 系统阐述其功能原理、极性实现方式、安装技术要求, 并深入分析极性接反对设备运行及系统安全的影响。研究表明, 正确的极性连接是保障直流微型断路器过流保护、短路保护及电弧熄灭功能有效发挥的前提, 极性接反将导致保护失效、设备损坏甚至引发安全事故。本文研究成果可为直流配电系统的设计、安装及运维提供理论依据与实践指导。

## 关键词

直流微型断路器; 极性; 保护原理; 安装要求

## 1 引言

直流微型断路器作为直流系统中实现过载和短路保护的关键元件, 其性能直接关系到整个配电系统的安全稳定运行。某厂应急柴油发电机在检修中发现控制柜内使用的直流微型断路器正负极接线与断路器本体上接线极性标识相反, 经调查原因为控制柜接线图设计之时没有考虑到直流微型断路器极性的问题。体现出行业内对直流微型断路器极性的认识存在不足, 针对上述问题, 本文以该厂的直流微型断路器为例, 从直流微型断路器的功能原理出发, 深入剖析极性的实现机制, 明确安装过程中的技术要求, 并通过理论与案例说明, 阐述极性接反的危害, 为直流配电系统的安全

运行提供保障。

## 2 直流微型断路器的功能原理

### 2.1 组成结构

直流微型断路器的内部结构主要由操作机构、热脱扣器、磁脱扣器以及灭弧室四大部分组成, 如图1所示。

直流微型断路器核心功能是在直流电路中出现过载或短路故障时, 能够快速切断故障电路, 保护下游用电设备及线路安全。其工作原理主要基于双金属片热脱扣和电磁脱扣两种机制, 同时通过特殊的灭弧装置解决直流电弧难以熄灭的问题。

### 2.2 保护机制

- 过载保护: 通过热脱扣器实现, 依赖结构中双金属片的热变形特性。当电路中出现过载时, 电流通过双金属片产生热量, 双金属片因两种金属热膨胀系数不同而发生弯曲,

【作者简介】罗建峰(1992-), 男, 中国广西南宁人, 本科, 工程师, 从事测控技术与仪器研究。

推动脱扣机构动作，实现电路断开。

- 短路保护：通过磁脱扣器实现。当电路中发生短路时，瞬间增大的电流通过电磁线圈产生一个强磁场，吸引衔铁动作，带动脱扣机构快速断开电路。短路保护具有瞬时动作特性，动作时间通常在毫秒级，可快速切断电流回路，减少设备损坏。如图2所示

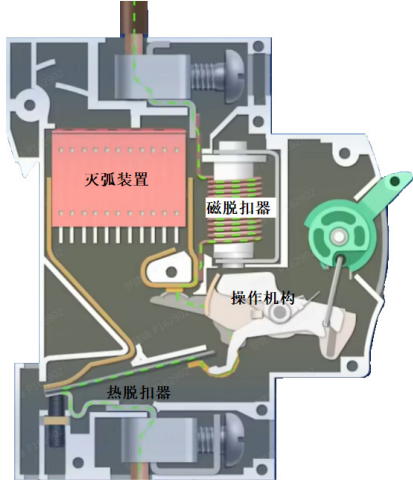


图1 断路器内部结构

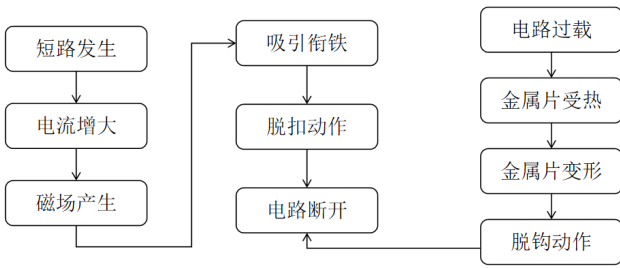


图2 保护机制

### 2.3 灭弧原理

直流电路的电流方向恒定，电弧没有自然过零点，熄灭难度远大于交流电弧。直流微型断路器的灭弧装置主要由灭弧室、灭弧栅片及产气材料组成。当电路断开时，动静触头之间产生电弧，在磁场的作用下驱使电弧进入灭弧栅，灭弧栅片将电弧分割成多个短弧，增加电弧电压；同时，产气材料在电弧高温作用下产生气体，形成气流吹弧，加速电弧冷却熄灭。而极性设计直接影响电弧在灭弧室中的运动方向，决定灭弧效率。

## 3 直流微型断路器极性的实现方式

直流微型断路器的极性主要通过内部结构设计实现，核心在于保证电弧能够按照预设路径进入灭弧室，确保灭弧功能可靠发挥。其极性实现方式主要体现在触头设计、灭弧室结构及接线端子标识三个方面。

### 3.1 触头极性设计

直流微型断路器的动静触头具有明确的极性区分，通

常将与电源正极连接的触头设计为“进线端”（L+），与电源负极连接的触头设计为“出线端”（L-）。从结构上看，进线端触头与灭弧室的入口位置对应，当电路断开时，电弧能够在电磁力的作用下直接进入灭弧室。这种设计基于“电磁力灭弧”原理，利用电弧电流与灭弧室磁场之间的相互作用力，推动电弧快速进入灭弧栅片，实现电弧熄灭。<sup>[1]</sup>

### 3.2 灭弧室极性适配

灭弧室的内部结构与极性高度匹配，其栅片排列方向、产气材料位置均根据预设的电弧运动方向设计。例如，部分直流微型断路器在灭弧室入口处设置了极性导向板，当电流从进线端流入时，电弧在导向板的作用下沿固定路径运动；若极性接反，电弧运动方向改变，无法有效进入灭弧栅片，导致灭弧困难。

### 3.3 接线端子标识

为便于安装人员识别极性，直流微型断路器的接线端子处通常会明确标注极性符号，如“+”“-”或“IN”“OUT”，同时在产品上也会有接线标识图形，如图3所示（SV：电源，L：负载）。部分产品还会通过颜色区分，如红色端子表示正极，黑色端子表示负极。这些标识是极性实现的外部体现，为正确安装提供了直观依据。

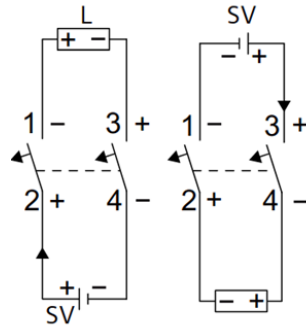


图3 接线示意图

## 4 直流微型断路器的安装要求

直流微型断路器的安装质量直接影响其功能发挥，尤其是极性连接需严格遵循技术规范。结合相关国家标准及行业实践，其安装要求主要包括以下几个方面。

### 4.1 极性核对要求

安装前需仔细核对直流微型断路器的极性标识与电路电源极性是否一致。具体步骤如下：

使用万用表测量电路电源的正负极，明确进线电源的极性；

对照产品说明书，确认断路器接线端子的极性标识，确保“+”端对应电源正极，“-”端对应电源负极；

对于多极直流微型断路器，需逐一核对每一路的极性，避免出现单极接反的情况。

### 4.2 接线工艺要求

接线前需清理导线表面的氧化层，确保导线与端子接

触良好，避免接触电阻过大导致发热；

导线截面积需与断路器的额定电流匹配，例如 16A 直流微型断路器应选用不小于 1.5mm<sup>2</sup> 的铜芯导线；

接线时需将导线牢固压紧，避免因振动导致接线松动，引发接触不良或电弧故障。

#### 4.3 环境安装要求

安装环境应保持干燥、清洁，避免灰尘、水汽及腐蚀性气体进入断路器内部，影响其性能；

安装位置应预留足够的散热空间，断路器与周围物体的距离不小于 5mm，防止因散热不良导致保护特性漂移；

安装过程中应避免剧烈冲击或振动，防止断路器内部结构损坏。

### 5 直流微型断路器极性接反的影响

直流微型断路器极性接反是安装过程中的常见错误，不仅会导致断路器保护功能失效，还可能引发设备损坏、火灾等安全事故。如图 4 所示



图 4 断路器烧毁参考图

具体影响主要体现在以下几个方面。<sup>[2]</sup>

#### 5.1 灭弧失效，引发电弧故障

极性接反后，电弧的运动方向与灭弧室设计方向相反，无法进入灭弧栅片被有效分割和冷却。此时，动静触头之间的电弧将持续燃烧，形成长时间的拉弧现象。一方面，高温电弧会烧毁触头表面，导致触头熔焊，使断路器无法正常断开；另一方面，电弧产生的高温可能引燃断路器内部的绝缘材料，引发火灾。某数据中心曾因直流微型断路器极性接反，在短路故障时出现电弧外泄，导致配电柜烧毁，造成直接经济损失超过 10 万元。<sup>[3]</sup>

#### 5.2 保护功能紊乱，失去保护作用

极性接反会影响电磁脱扣器和双金属片热脱扣的动作特性。对于电磁脱扣器，电流方向改变会导致线圈磁场方向反转，衔铁吸引力减弱，可能出现短路时脱扣器不动作的情况；对于双金属片热脱扣，虽然电流方向对热效应无影响，但电弧故障产生的额外热量会导致热脱扣器误动作或提前老化。某新能源储能系统中，因极性接反导致直流微型断路器在过载时未及时动作，使得下游电池模块过热损坏，造成电池组报废。

#### 5.3 设备寿命缩短，增加运维成本

极性接反后，断路器内部将长期处于异常工作状态。一方面，持续的电弧会加速触头和灭弧室的磨损，缩短断路器的使用寿命；另一方面，保护功能失效会导致下游设备频繁承受过载或短路冲击，增加设备故障率。据统计，极性接反的直流微型断路器平均使用寿命仅为正确安装的 50%，同时会使整个配电系统的运维成本增加 30% 以上。

#### 5.4 存在安全隐患，威胁人员安全

极性接反引发的电弧故障和设备损坏，可能导致配电柜外壳带电，存在触电风险。此外，电弧燃烧产生的有毒气体（如氯化氢、氟化氢等）会污染环境，对运维人员的身体健康造成危害。在某轨道交通车辆段的检修过程中，曾因极性接反的直流微型断路器在断开时产生电弧，导致检修人员面部灼伤。

### 6 结语

直流微型断路器的极性是保障其保护功能和灭弧性能的核心设计要素，正确的极性连接对直流配电系统的安全稳定运行至关重要。本文通过研究得出以下结论：

直流微型断路器的极性通过触头设计、灭弧室结构及接线标识实现，其核心目的是确保电弧能够按照预设路径进入灭弧室，实现可靠灭弧；<sup>[4]</sup>

极性接反会导致灭弧失效、保护功能紊乱、设备寿命缩短及安全隐患增加等问题，严重时可能引发火灾、设备报废及人员伤亡；

安装过程中需严格遵循极性核对、接线工艺及环境安装要求，确保极性连接正确。

基于以上结论，提出以下建议：

设计阶段：在直流配电系统设计时，应在图纸中明确标注直流微型断路器的极性要求，并选择具有清晰极性标识的产品；

安装阶段：加强安装人员的培训，使其掌握直流微型断路器的极性原理及安装规范，安装后需通过通电测试验证极性是否正确；

运维阶段：定期对直流微型断路器的极性连接情况进行检查，尤其是在设备检修或更换后，需重新核对极性，及时发现并纠正接反问题。

#### 参考文献

- [1] 姚颖, 胡宏宇. 电力工程中直流微型断路器应用分析[J]. 建筑电气, 2007, 26(4): 19-22.
- [2] 温惠, 郭晓雪, 曾馨艺. 基于磁流体动力学的无极性低压直流断路器电弧仿真及性能优化[J]. 电器与能效管理技术, 2024(02):6-12.
- [3] 吴祺, 嵯张认, 成涂然, 等. 直流故障电弧稳态传热特性仿真研究[J]. 电工技术学报, 2021, 36(13):2697-2709.
- [4] GB/T 10963.2-2020, 电气附件 家用及类似场所用过电流保护断路器 第2部分: 用于交流和直流的断路器.