

# 电涌保护器（SPD）和保护断路装置的配合应用

## Surge Protective Device (SPD) with the Application and Protection of Circuit Breaker Device

孙丹峰<sup>1</sup>，季幼章<sup>1,2</sup>

Sun Danfeng<sup>1</sup>, Ji Youzhang<sup>1,2</sup>

1. 苏州市电通电力电子有限公司（苏州，215011）

2. 中国科学院等离子体物理研究所（合肥，230031）

1. Suzhou Eleston Power Electronics Co., Ltd (Suzhou, 215011)

2. Institute of Plasma Physics Chinese Academy of Sciences (Hefei, 230031)

**摘要：**文章综述了低压配电系统选用电涌保护器（SPD）的后备保护的基本要求、后备保护元件的作用；介绍了保护断路装置、熔断器和断路器的特性以及分类配合试验验证的要求。

**关键词：**电涌保护器（SPD） 保护断路装置 熔断器 断路器 配合应用

**Abstract:** This article reviews the low-voltage distribution system selection of surge protection device (SPD), the basic requirements of backup protection elements; introduces the characteristics of protection circuit breaker, fuse and circuit breaker with the test requirements and classification.

**Keywords:** Surge protection device (SPD), Protection circuit breaker, Fuse, Circuit breaker, With the application

[中图分类号] TM86 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2015) 05-0038-04

## 1 引言

在电涌保护器（SPD）外部的前端，装设过电流保护断路装置（如熔断器，断路器），当 SPD 不能切断工频短路电流时，可使 SPD 避免过热和损坏。

本文综述了低压配电系统选用电涌保护器（SPD）的后备保护的基本要求、后备保护元件的作用；介绍了保护断路装置熔断器和断路器的特性以及分类配合试验验证的要求。

## 2 SPD 后备保护基本要求

正确、合理地选用后备保护元件，直接关系到低压配电系统及电涌保护器（SPD）的安全性和可靠性。

### （1）后备过电流保护

作为电气装置一部分的过电流装置（如熔断器或断路器）位于 SPD 外部的前端，当发生工频短路时，其电流值可使后备过电流保护元件动作。

在 SPD 失效时，它的暂时状态是无法确定的（开路或短路）。若 SPD 的失效模式是开路，则保证了在 SPD 失效时供电的连续性，然而在系统后备保护动作前，必须注意 SPD 的断开能力；若 SPD 失效模式是短路，则引起后备保护跳闸。如电压开关型 SPD 产生放电，电力供应服务的质量可能会降低，通常续流会引起过流保护器动作，除非电压开关型 SPD 是自熄型，否则需要和上一级的 SPD 过流保护器配合。

（2）SPD 和 RCD（S）或过电流保护设备（如熔断器或断路器）间的电涌配合

当 SPD 和过电流保护设备或 RCD（S）配合时，在标准放电电流（冲击电流）下，过电流保护设备或 RCD（S）不动作，然而当电流比标称放电电流（冲击电流）大时，过流保护设备如果动作，也是正常的。对于可复位过流保护器，例如断路器，不应被这种电涌损坏。

在这种情况下，由于这种过流保护器的时间响应特性，即使过流保护器动作，全部电涌将流过 SPD，因此，SPD 必须有足够的能量耐受能力，由于这种现象引起的 RCD 或过流保护器的动作被认为不是 SPD 失效。

### (3) SPD 本身或与其自身内部脱离器（如后备过电流保护器）一起使用

这种情况下能够耐受预期的短路耐受电流，且不能对环境造成破坏，必须确保 SPD 使用场所的预期短路电流不能高于其短路耐受电流，同时必须确保有适当的后备保护配合并能正常工作。

电涌保护器（SPD）和与之相连的过电流保护器（设置在 SPD 内部或外部），一起耐受的短路电流（当电涌保护器（SPD）失效时产生）应等于或大于安装处预期产生的最大的短路电流。

在 TT 系统或 TN 系统中，接于中性线或 PE 线之间的电涌保护器动作（如电压开关型火花间隙放电）后，流过工频续流，电涌保护器额定阻断续流值应大于或等于 100A。

防止电涌保护器（SPD）短路的过电流保护器，应按推荐过电流保护器的最大额定值选择。

## 3 后备保护元件的作用

根据 SPD 产品自身保护分析，脱离器失效后 SPD 有可能出现两类故障状态：一类是热击穿造成 L-N/PE 线间接地短路，其电流值可使后备过电流保护元件动作；另一类是由于接地故障电流小，过冲保护元件不动作，元件（MOV）因发热起火，因此必须在位于电涌保护器（SPD）外部的前端，装设后备保护元件。其作用是，当电涌保护器（SPD）不能切断工频短路电流时，过电流保护器动作，把电涌保护器（SPD）从并联线路中断开，使电涌保护器（SPD）不会引起过热而导致火灾、爆炸等事故，同时可保证电源的持续供电。

图 1 分析了多数 SPD 产品在 MOV 失效后，MOV 通过故障电流与 SPD 脱离器、熔断器、微型断路器配合关系。

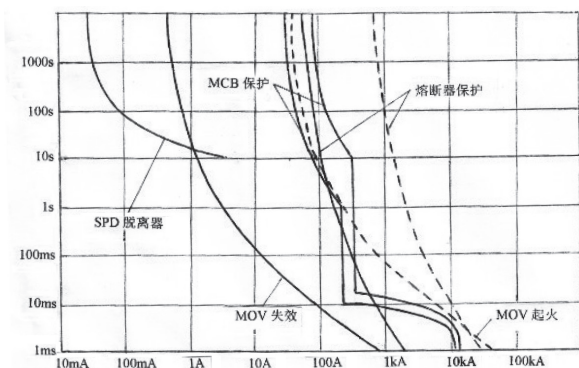


图 1 SPD 与熔断器、微型断路器保护配合

从图中可以看到，多数 SPD 脱离器与熔断器、微型断路

器等过流保护元件间存在一定盲区。对于此类故障，标准要求 SPD 产品的外壳材料通过相应的耐非正常热和耐热试验，如一定对此类故障进行保护，其后备保护元件应是具有接地故障保护元件（如漏电断路器）。

## 4 后备保护元件的特性

SPD 后备保护措施有熔断器、断路器（漏电断路器）。

### 4.1 熔断器的特性

熔断器熔丝的保护特性亦可称熔化特性，熔化特性表征通过熔体的电流与熔体熔化时间的关系，是反时限的。熔断器的保护特性中有熔断电流和不熔断电流的分界线，与此相应的电流就是最小熔化电流  $I_R$ 。其电流值是指，当通过熔体的电流等于它时，熔体在额定电流下绝对不应熔断，故  $I_R > I_e$ 。

### 4.2 断路器的特性

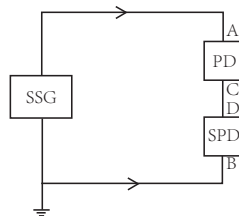
断路器的作用是切断和接通负荷的电路、以及切断故障电路，防止事故扩大，保证安全运行。断路器包含以下部件：主触头，辅助触头，分励脱扣器，欠压脱扣器等。断路器的主触头是靠手动操作或电动合闸的。主触头闭合后，自由脱扣机构将主触头锁在合闸位置上。分励（过电流）脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。

当电路发生短路或严重过载时，分励脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触头断开主电路。当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电压下降到 35% 至 70% 的范围时，电路欠压，欠电压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。

分励脱扣器则作为远距离控制用，在正常工作时，其线圈是断电的。在需要距离控制时，按下起动按钮，使线圈通电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触头断开。

## 5 试验验证的要求

通过配对试验，了解 SPD 后备保护（熔断器、断路器）的保护性能，对配电系统的保护水平  $U_p$  的影响，经分析给出后备保护器件的选用原则。图 2 示出配对试验示意图。



注：SSG - 电涌信号发生器，PD - 电涌保护器的过流保护装置，SPD - 电涌保护器

图 2 配对试验

按预选定的常规用 SPD 进行通流容量配对试验，确定后

备保护器额定电流值。根据相关标准, IEC61643-1(GB18802.1)《低压配电系统的电涌保护器(SPD)第1部分:性能要求和试验方法》中相关条款进行配合试验验证。对I级分类试验之SPD的后备保护器定为 $I_{imp}$ 时不动作,  $1.1I_{imp}$ 时动作;对II级分类试验之SPD的后备保护器定为 $I_{max}$ 时不动作,  $1.1I_{max}$ 时动作。上述试验对熔断器及断路器分别进行。

I级分类试验用SSGA180-200冲击发生器测试, II级分类试验用CJ0101-100冲击发生器进行测试。配对测试结果见表1、表2。

表1列出I级分类试验SPD后备保护配合试验结果汇总(检测设备:SSGA180-200 10/350 $\mu$ s), 表2列出II级分类试验SPD后备保护配合试验结果汇总(检测设备:CJ0101/100 8/20 $\mu$ s)。

表1 I级分类试验SPD后备保护配合试验汇总

| SPD 通流容量 (kA) | 熔断器额定电流 (A)         | 断路器额定电流 (A)          | $U_{AB}$ (kV) | 动作情况 |
|---------------|---------------------|----------------------|---------------|------|
| 15            | NT <sub>1</sub> 160 |                      | 2.596         | 未动作  |
| 15            |                     | CDM <sub>1</sub> 80  | 2.849         | 未动作  |
| 16.5          | NT <sub>1</sub> 160 |                      | 2.667         | 动作   |
| 16.5          |                     | CDM <sub>1</sub> 80  | 3.122         | 动作   |
| 25            | NT <sub>1</sub> 250 |                      | 1.961         | 未动作  |
| 25            |                     | CDM <sub>1</sub> 250 | 2.425         | 未动作  |
| 27.5          | NT <sub>1</sub> 250 |                      | 1.894         | 动作   |
| 27.5          |                     | CDM <sub>1</sub> 250 | 2.224         | 动作   |

表2 II级分类试验SPD后备保护配合试验汇总

| SPD 通流容量 (kA) | 熔断器额定电流 (A) | 断路器额定电流 (A) | $U_{AB}$ (kV) | 动作情况 |
|---------------|-------------|-------------|---------------|------|
| 20            | RT14 50     |             | 1.28          | 未动作  |
| 20            |             | DZ47 C16    | 1.56          | 未动作  |
| 22            | RT14 50     |             | 1.32          | 动作   |
| 22            |             | DZ47 C16    | 1.64          | 动作   |
| 30            | RT14 80     |             | 1.56          | 未动作  |
| 30            |             | CDB7 C25    | 1.68          | 未动作  |
| 33            | RT14 80     |             | 1.60          | 动作   |
| 33            |             | CDB7 C25    | 1.92          | 动作   |
| 50            | RT00 125    |             | 1.84          | 未动作  |
| 55            | RT00 125    |             | 3.40          | 动作   |
| 70            | RT00 160    |             | 2.40          | 未动作  |
| 77            | RT00 160    |             | 2.92          | 动作   |

从上述分析和实验表明:用断路器作后备保护器的试验中,因断路器中电磁脱扣结构电感 $L$ 的作用,在相同冲击放电电流情况下,比熔断器作后备保护器的试验对电压保护水平 $U_p$ 偏高(1.1~1.25)倍。

## 6 采用熔断器、断路器作后备保护的优缺点

### 6.1 采用熔断器作后备保护的优缺点

#### 6.1.1 熔断器的主要优点

(1) 具有残压低、选择性好。上下级熔断器的熔断体额定电流只要符合国标和IEC标准规定的过电流选择比为1.6:1

的要求,即上级熔断体额定电流不小于下级熔断体该值的1.6倍,就视为上下级能有选择性切断故障电流。

(2) 限流特性好、分流能力高。熔断体为易熔金属,呈电阻性,电阻为 $R$ 。电感量很小,可以忽略。当雷电流(8/20 $\mu$ s)冲击时,在线路两端的限制电压为:

$$U_{\text{限}} = R_i + L \left( \frac{di}{dt} \right) \quad (1)$$

$L$ 为连接导线电感,限制电压主要由 $L \left( \frac{di}{dt} \right)$ 决定, $R$ 上压降较小。

(3) 相对尺寸较小。

(4) 价格较便宜。

#### 6.1.2 熔断器的主要缺点

(1) 故障熔断后不具备可恢复性,必须更换熔断体。

(2) 保护功能单一,只有一段过电流反时限特性,过载、短路和接地故障都用此保护。

(3) 发生一相熔断时,对三相电动机将导致两相运转不良后果,当然可用带报警信号的熔断器,予以弥补一相熔断可断开三相。

(4) 单独使用不易实现远程报警,需要与其他开关电器件组合才有可能。但在国外,多数防雷系统使用防雷专用熔断器而非微型熔断器(同时,防雷专用熔断器都具备远程报警系统)。

## 6.2 采用断路器作后备保护的优缺点

#### 6.2.1 断路器的主要优点

(1) 微型断路器最大的优点是故障断开后,可通过人工实现手动操作复位,不必更换元件,除非切断大短路电流后损坏需要维修,即重复性使用性比较好。

(2) 有反时限特性的长延时脱扣器和瞬时电流脱扣器两段保护功能,分别作为过载和短路防护用,各司其职。

(3) 带电操作机构可实现遥控。

#### 6.2.2 断路器的主要缺点

(1) 采用断路器作为后备保护元件具有残压高。上下级非选择型断路器间难以实现选择性切断,故障电流较大时,很容易导致上下级断路器均瞬时断开。因断路器线路中有双金属热敏元件和串联的电磁脱扣器,当感性阻抗,电感为 $L_{AB}$ 。当雷电流(8/20 $\mu$ s)冲击时在线路两端电压为:

$$U_{\text{断}} = L \left( \frac{di}{dt} \right) + L_B \left( \frac{di}{dt} \right) \quad (2)$$

其中: $L$ 为连接导线电感, $L_B$ 为断路器电感。 $U_{\text{断}} < U_{\text{断}}$ 是因为 $Ri < L_B(di/dt)$ 所致。

(2) 相对价格略高。

(3) 部分断路器分断能力较小,如额定电流较小的断路器装设在靠近大容量变压器位置时,会使分断能力不够。大于40kA则不建议使用微型断路器。现在有高分辨能力的产品可以满足,但价格较高。另外,微型断路器在40kA雷电流时

自身的残余电压较高,微型断路器残余电压与电涌保护器残余电压之和构成了整个负载保护系统的残余电压,对于被保护负载构成了一定的威胁。

## 7 结语

综合考虑断路器及熔断器的特性,认为在低压配电系统 SPD 后备保护应用时,前级保护采用断路器,后级保护采用熔断器为宜。

### 参考文献

[1] 吴正华,蔡振新. 低压配电系统用 SPD 后备保护的选择与应用. 电气工程应用, 2007 年第 2 期, 35 ~ 37

- [2] 钟世洪. 电涌保护器的选择: 后备保护和配合要求探讨. 低压电器, 2009 年增刊 190 ~ 194
- [3] 胡宏宇, 杨文广, 刘新宇. 浅析限压型 SPD 产品热脱离技术及后备保护. 中国防雷, 总第 20 期
- [4] 李敏. SPD 中后备保护器件选用问题的研究. 科技创新导报, 2010. No. 2, 14 ~ 16
- [5] 张小石, 罗佳俊, 曾祥标. 微型断路器在防雷中的应用. 广东气象, Vol. 32 No. 1, Feb. 2010
- [6] 全宇辰, 侯越. 电涌保护器 (SPD) 后备保护电器选用的讨论. 电气工程应用, 2008 年 3 月, 43 ~ 47
- [7] GB18802.1《低压配电系统的电涌保护器 (SPD) 第 1 部分: 性能要求和试验方法》

(上接第 37 页)

易兼容新的电池,并预测新电池的 SOC。神经网络可以对不确定的系统进行任意逼近,该方法很适合电池剩余容量的预测。

## 5 结论

VRLAB 的剩余容量与其本身的很多参数有关,例如电池内阻、充放电电流、温度、终止电压,剩余容量和这些参数是非线性关系,而且有些参数本身就受客观条件约束。因此,对于 VRLAB 剩余容量的预测是十分困难的。传统方法是通过对 VRLAB 的放电电流、电压、内阻、温度等基本特性参数进行测量,预测 VRLAB 的剩余容量,比如内阻法、安时法、开路电压法等。这类方法设计简单,计算容易,实现起来很方便。数学模型法是采用智能处理技术,比如神经网络、遗传算法、模糊算法、小波分析等,建立自适应的电池剩余容量估计模型,例如 4 阶动力学模型、Martin 模型、Shepard 模型。这类方法的设计难度大,计算和实现复杂。优点是精度很高,在一定程度上有效地预测了 VRLAB 的剩余容量。缺点是适用范围较小、对于不同类型的电池需要花费大量时间建立不同的模型,并且模型参数取自静态,无法反映动态过程。

### 参考文献

[1] 朱松然. 铅酸蓄电池技术 [M]. 北京机械工业出版社.

2002: 33 ~ 34.

- [2] 徐晓丹, 白志峰. 关于密封铅酸蓄电池充放电电路的研究 [J]. 通信电源技术, 2010, 27 (1): 63 ~ 64.
- [3] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. 阀控式铅酸蓄电池实用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 9-10.
- [4] 王斯成等. 蓄电池剩余容量 (SOC) 数学模型探讨和在线测试仪的开发 [A]. 太阳能学报, 2005, 26 (1): 6-10.
- [5] 薛振框, 郑荣良. 电动汽车蓄电池剩余电量计量技术的研究 [J]. 江苏理工大学学报, 2001, 22 (2).
- [6] 朱元等. 电动汽车动力电池 SOC 预测技术研究 [J]. 电源技术, 2000, 24 (3).
- [7] 李家正. VRLA 蓄电池的寿命与在线容量断定 [J]. 邮电设计技术, 2001 (2).
- [8] 桂长清. 关于阀控密封电池容量与电导的相关性 [J]. 通信电源技术. 2005 年第 22 卷第 2 期
- [9] 王秀菊, 李莉. 电力电源中蓄电池失效模式及在线监测 [J]. 电源技术, 2004, (12). 790 ~ 792.

### 作者简介

刘溪 (1987-), 男, 河北衡水人, 重庆通信学院在读硕士研究生, 专业及方向: 电力电子与电力传动。

## 中国光伏电力投融资联盟成立

中国光伏电力投融资联盟日前在京成立,联盟在中国循环经济协会可再生能源专业委员会号召及能源基金会的支持下,由中民新能、保利协鑫、阿特斯、天合光能、民生银行、华能天成租赁、中国电力科学研究院、鉴衡认证等十几家机构共同发起成立。联盟旨在按照“公正平等、客观诚信、协同创新、互惠共赢”的原则,通过有效的联盟机制,搭建专业、高效、公正的投资机构与融资项目及企业间的投融资服务平台。