

UFCL 快速限流器在中压配电系统的应用

西安英诺威电气有限公司（西安 710049）袁鹏
合肥英诺威电气有限公司（合肥 230061）张海

摘要：随着全球对能源需求的增长、要求更大功率的电源和新加装变压器和发电机，增加各个独立电网之间的互联，为了减少中压配电系统设备的数量，系统设计时的配电电压一般采用发电机的电压，这些导致了短路电流超过了设备的允许值（额定峰值耐受电流和开断容量），从而使部分设备动、热损坏。UFCL 快速限流器可安装于配电系统用以将短路电流限制到开关设备的额定值之内。

关键词：变电站，短路电流，快速限流器

0 引言

近年随着全球能源需求的增长，电力系统短路电流水平激增，针对短路电流异常高，行业通常的解决办法是提升电压等级、增加母线分段、增加系统阻抗，使得系统的短路水平在开关设备和母线等设备的额定值之内，这就意味用户系统变得越来越复杂，有的用户不得不采用升压变将发电机的电压升到 35kV，为了给负荷供电然后再通过降压变降压。这些升压再降压的变压器以及所需的开关保护设备极大的增加了所需安装土建结构空间和设备投资。

由于采用的都是常规的设备，所以陆地上的工程项目目前常常还采用这种设计思路。另外，随着全国许多行业产能过剩，越来越多的行业转变经营思路，从新建生产线转为节能降耗，优化资产配置，提高设备效率上来，不再新建改为扩建和优化系统。

例如：大型钢铁冶金、化工、水泥、大型火力发电企业，为了节能减排、充分利用生产中的剩余的煤气、余热，降低排放，减少环境污染，所新建的自发电机组，要求并网；还有些化工企业母线分段运行，为了优化网络负荷、降低网络阻抗，使中压母线并列运行，这些必然是系统的短路电流水平升高，短路电流往往超过开关设备、母线的额定值，如果将原有系统的开关、母线等设备升级改造，往往是不经济的有的时候也是不可行的，此情形下唯一的选择就是采用限流设备限制预期可能发生短路电流。

目前很多国内的工程设计采取的思路还是采用限流电抗器，但是限流电抗器除了影响电能质量的不利影响以外还会产生

非常大的损耗，极不经济，在有的扩建工程中由于其庞大的体积导致很难找到安装的结构空间。

现在有可以限制前半波峰值并开断短路电流的 UFCL 快速限流器，这种设备的运行机理以及如何应用在本文中一一详述，可供参考。

本文中，中压系指 3.6kV 到 40.5kV 的电压等级，高压系指超过 40.5kV 的电压。

1 工业工程中的配电系统

影响配电系统类型有诸多因素，其中最主要的因素就是所需总功率的大小。其它的诸如原有的电源供应这个因素也同等重要，但是其并不是直接导致最大的短路电流发生的主要因素。本文主旨在于，为了方便讨论、更容易理解，我们以石油化工工程的典型系统来推演限流装置是如何限制短路电流以增加系统冗余的。

1) 小型工程的配电系统

对于安装的功率小于约 40MW 的电源，如图 1 其发电输出电压可以直接供应负荷，典型的电压为 6kV，这是中压电动机最为常用的电压。系统所需唯一的变压器是给负荷提供低压的配电变压器，这种优化设计最大的优点是，其所需变压器和配电系统断路器数量最少。

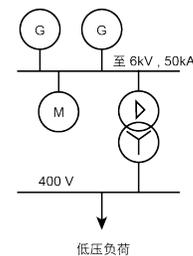


图 1

2) 中型工程的配电系统

当增加电源时，很有必要提升电压等级，发电机和大型的电动机可以在 10.5kV 的电压等级上运行，如图 2 所示，电压的利用效率最高的典型的一个系统，10.5kV 也是供应各变电所的系统电压。

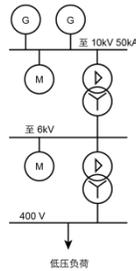


图 2

3) 大型工程的配电系统

对于大型的工程，电力配电设备的安装布置空间往往没有多大约束，图 3 就是一个典型的设计，为了能将电源输送到不同的子变电站，电压被提升到了 35kV，在子变电站，电压再被降压到 6kV，供电给中压电动机和低压用的配电变压器。

与小型工程的配电系统相比较，大型工程更复杂，需要更多的变压器，还需配备相应的开关，增加了设备投资和系统损耗，还需要更多的空间来安装这些设备，当然这种设计的优点是设备都是标准常规，其便于采购和维护。另一个优点是通过独立变压器可以向大型的电动机负荷直接供电，采用高电压可以消除大型电动机负荷启动的问题，全压启动，而不需要额外的设备。

4) 当安装空间狭小有限的时候

对于大型的工程，当空间成为难题时，可优先考虑如上图 2 所示的解决方案，该方案的优点是去除了所有的升压变、占地面积大大减小，其缺点是额定电流比较大和短路电流水平比较高。对于这样的配电系统，非常有必要加装用以限制预期短路电流的限流设备。

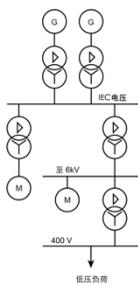


图 3

2 限制短路电流的办法

在中压或高压系统，短路电流是系统电压和感抗的函数，电压等级不变，要想限制异常高的短路电流，那么唯一的办法就是在故障点增加感抗，在实践中可以通过增加系统的阻抗或者切除故障点得以实现，前者采用加装限流电抗器，而后者是加装 UFCL 快速限流器。下面介绍的案例，我们将采用实际的案例介绍，以便读者有更多切身的体会并增加理解。

1) 采用限流电抗器

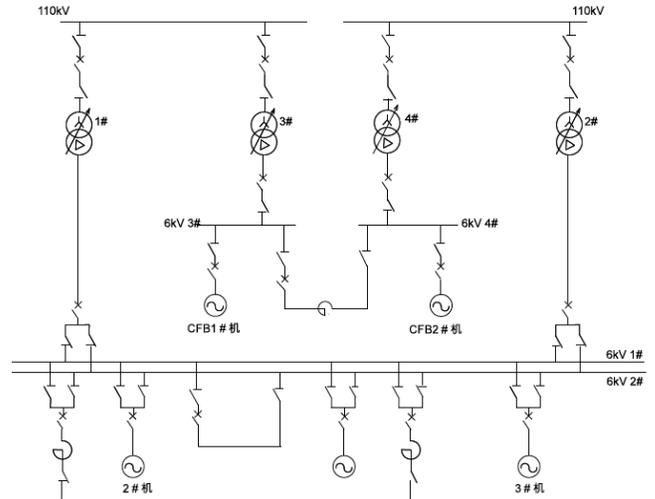


图 4

限流电抗器可以安装在配电电路中的任何位置，用以限制故障电流，由于其本质上是一个线性的感抗，所以在故障发生时其能线性的增加系统的阻抗从而限制短路电流，在正常运行的情况下负载的功率因数接近 0.9，这个没有问题，但是当大型电机启动时，由于启动电流比较大，有可能会造成严重的电压降落，影响电能质量。

所以通常我们不在有启动电流较大的大型负荷的馈线上安装限流电抗器，其典型安装如图 4 所示，限流电抗器通过增加母联位置的阻抗有效地限制另一段母线上发电机提供并流过该位置的短路电流，由于正常工作条件下只有一小部分的电动机启动电流的流过母联，所以该限流电抗器将不会像它被安装在发电机馈线那样严重干扰电动机的启动。

2) 采用限流装置

如下面章节所述，UFCL 快速限流器是一种具有以下两种状态的非线性装置：

- 导电（可以看做是虚拟的零阻抗）
- 限流（高阻抗）

正常运行时 UFCL 快速限流器就是一个导体，也就是说其运行在任何情形下都不影响配电系统；当限制短路电流时，其能有效的在电路中增加阻抗限制短路电流。

3 UFCL 快速限流器的工作原理

UFCL 快速限流器由并联的两条电流通路组成。主电路可通过较高的运行电流（到 6300A）。正常运行时限流熔断器相当于被短接，大部分的电流从主导体快速开断器流过，这就是 UFCL 快速限流器在正常运行是对系统没有任何不良影响的原因。

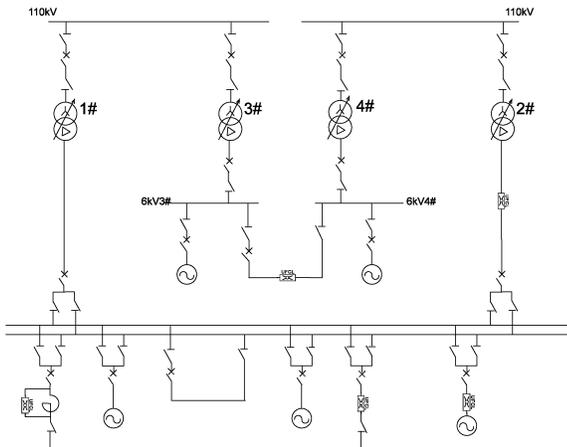


图 5

当短路故障发生，在主电路快速断开，短路电流被迫流入并联的限流熔断器，在短路电流上升的初始阶段即将短路电流加以限制（少于 1 毫秒）。这就需要主跳闸装置识别故障和动作的速度非常快。

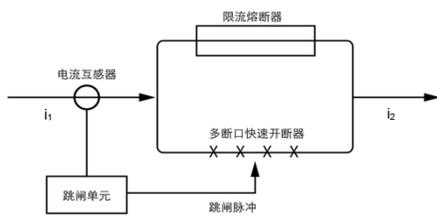


图 6

图 6 显示了主导体即基于爆破切割原理的快速开断器的内部结构，当电流达到整定值时快速开断器在相应点将主导体铜排迅速爆破切割断开，故障电流将流向限流熔断器直达电流过零，此时 UFCL 快速限流器彻底将电路断开，其时序如图 7 所示。

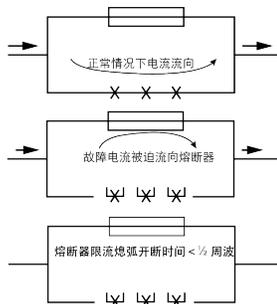


图 7

如图 5 所示，假定两段母线分段运行时其分别最大的短路电流为 50kA，在断路器的遮断容量 50kA 以内，当并列运行时，如 Bus A 上某馈线侧发生短路，其第一个大半波的波形曲线如下面的示波图所示。两段母线四台发电机均向短路点提供电流，达到 100kA，这是开关设备所能承受的两倍，如果不加装限流器，那么峰值短路电流将会超过开关柜、开关、电流互

感器、电缆等的额定值，他们将被短路电流的电动力所破坏。经过短路试验证实，在母联位置加装 UFCL 快速限流器，当发生短路时通过 UFCL 快速限流器后的电流 $[i_2]$ 特性曲线如图 8 所示：

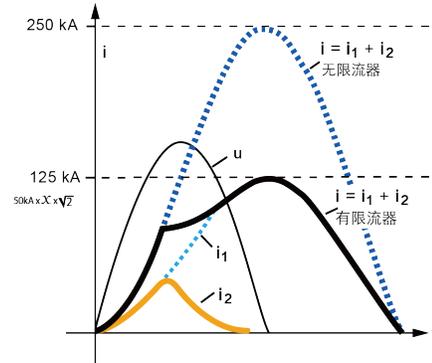


图 8

可以看出：通过 UFCL 快速限流器，电流 $[i_2]$ 被很快加以限制，以至于流向短路点的短路电流 $i_1 + i_2 \leq 50kA$ ，因此任何一处的开关设备都不会承受高出其许可值得短路电流，这样系统开关设备就能安全断开故障点的短路电流。

4 UFCL 快速限流器的组成

如图 9 所示 UFCL 快速限流器是一个三相设备，每相由以下部件组成：

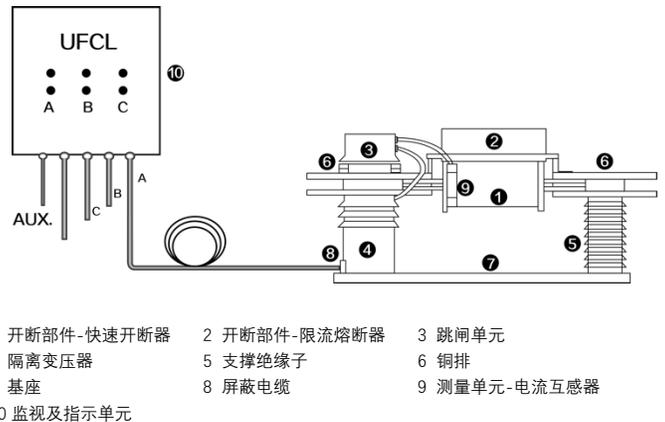


图 9

- 正常情况下负荷电流流过的铜排，简称快速开断器
当爆破时，其将铜导体切割断开成多段，阻止其产生闪络，电流被迫流向限流熔断器。
- 与主导体铜排并联的限流熔断器
当设备动作后电流将流过其中，短路电流将被限制并开断。
- 主跳闸装置以及特殊的电流互感器
用以实时监视流经 UFCL 快速限流器的电流，当电流达到设备所设定的设定值时，设备相应相出发点火脉冲信号，爆破切割开断。
- 支撑绝缘子用以支撑上述的部件
其中的一个绝缘子内部有电压互感器，其功能为主跳闸装置高压电子控制器提供电源。
- 监视及指示单元

该部件显示限流器的工作状态，同时在开断时向与其串联的断路器发出干接点输出联跳信号，由于 UFCL 快速限流器每相有一个跳闸装置，它们都是独立工作的，所以联跳断路器是必要的，有时是单相开断，所以有必要联跳断路器以防止三相不平衡。UFCL 快速限流器可以以任意方向安装，其经常被垂直地安装在金属封闭空气绝缘的开关柜中，同时也可以直接安装在户内和户外，而无需金属铠装柜体。

当 UFCL 快速限流器动作后，相应相的主导体以及限流熔断器开断，内部已经破坏，需要更换相应的新的可更换主件以便重新投入运行。

只有开断的相需要更换可更换主件（快速开断器和限流熔断器），未开断的相则无需更换，可继续使用。

对于开断了的 UFCL 快速限流器，在更换可更换主件时，除了需要将与之串联的断路器分闸，如图 5 所示还需要分闸另一端的隔离开关（包括隔离手车）。

5 开关柜内安装

如图 5 所示母联位置采用 UFCL 快速限流器是一个理想的方案，其可以使分断运行的母线并列运行，如图 10 所示，UFCL 快速限流器安装于金属封闭空气绝缘的开关柜中，形成快速限流装置，当故障电流发生，限流器动作后，母联开关完成三相遮断，另外一段的母线提升柜的手车拉出时，即可更换限流器需要更换的主件（快速开断器和限流熔断器）。



图 10 为快速限流装置的实际应用照片

装载 UFCL 快速限流器的柜体可根据与之拼柜的母联柜的柜型以及进出线位置进行设计，如常见的 KYN28 等，监视及指示单元安装于柜体的低压室内，以便显示工作状态和操作，其工作状态可通过标准接口输出到后台，并可通过后台控制设备是否投运。

6 系统设计

UFCL 快速限流器除了安装于母联位置以外，还可安装于发电机出口、旁路限流电抗器、大容量变压器低压侧等位置，其选型及安装位置有以下几个方面需要提前考虑：

- 综合考虑系统情况以及被保护的设备，选择最佳的安装位置。
- 电动机的启动电流必须远远小于预期的短路电流，这样将有充分的空间便于设定 UFCL 快速限流器的跳闸响应值充分高于电动机启动电流，以避免 UFCL 快速限流器误动。
- UFCL 快速限流器动作之后，更换其可更换主件，不能影响生产，这就意味着如图 5 这样的系统也可以分断运行，并列运行时负荷共享两段母线，母联断开时两段母线分别供电给该母线上各自的负荷，保证生产的连续性。
- 开关柜的继电保护的整定值必须低于 UFCL 快速限流器的整定值，这样断路器就可以开断接地或者电缆等小的故障电流。

7 结论

纵观国内外，通过多年的实践运行以及限制开断的成功案例证明，UFCL 快速限流器是解决配电系统短路电流异常高问题的一个很好的解决方案，在有的情况下，甚至是唯一的解决方案，该方案不仅可以为用户降低设备投资而且可以优化客户电气系统，提升设备资产的利用效率。

UFCL 快速限流器不仅可以安装于国内常见柜型的开关柜中，而且可以安装于如 Unigear ZS1、MCSset 等柜型中，应用广泛。

8 参考文献

- [1] 英诺威电气 UFCL 快速限流器产品样本 MU16113001Zh
- [2] IEC 60909 – 《短路电流计算》
- [3] 武守远，荆平，戴朝波，金雪芬 《故障电流限制技术及其新进展》北京：中国电力科学研究院，2008
- [4] BERR "Application of fault current limiters" UK 2007
- [5] Benoit de METZ-NOBLAT, Frederic DUMAS, Christophe POULAIN "Calculation of short-circuit current" Scheider Electric 2005