

# 电气工程配电设计中短路电流的计算与分析

霍东雪

山东联合电力智能装备有限公司 山东 济南 250000

**摘要：**短路电流计算是电气工程配电设计的核心环节，对于确保电力系统的稳定运行至关重要。本文从短路电流的理论基础出发，详细探讨了短路电流的计算方法、具体计算步骤，以及短路电流分析在配电设计中的应用。通过深入剖析这些内容，旨在为电气工程师提供一套全面、系统的短路电流计算与分析指南。

**关键词：**电气工程；配电设计；短路电流；理论基础；计算方法

## 引言

在电力系统中，短路是一种常见的故障现象，它可能对电气设备和整个系统造成严重的损害。因此，在电气工程配电设计中，对短路电流进行准确计算与分析显得尤为重要。本文将从多个方面深入探讨短路电流的相关知识，以为为电气工程师提供实用的参考和指导。

### 1 短路电流的理论基础

#### 1.1 短路的基本概念及危害

短路是指电力系统中两个或两个以上不同电位的导体之间发生低阻抗连接，导致电流异常增大的现象。短路故障可能引发设备损坏、火灾甚至人员伤亡等严重后果。因此，对短路电流进行准确计算与分析，对于预防和处理短路故障具有重要意义。

#### 1.2 短路电流的影响因素

短路电流的大小受多种因素影响，主要包括电源电压、系统阻抗、设备参数以及故障点位置等。这些因素的综合作用决定了短路电流的特性和危害程度。为了更准确地计算短路电流，需要充分考虑这些因素对电流的影响。

### 2 短路电流的计算方法

#### 2.1 基于电压等级的简化算法

简化算法是在电气工程的初步设计阶段或需要对小规模配电系统进行快速评估时，常用的一种短路电流估算方法。这种方法的核心在于利用简化的数学公式，根据电压等级快速得出短路电流的近似值。以下是该方法的详细步骤和要点：

(1) 确定电压等级：首先，需要明确配电系统的电压等级，如6kV、10kV、35kV或110kV等。不同电压等级对应的短路电流计算公式和参数可能有所不同<sup>[1]</sup>。

(2) 选择简化公式：根据电压等级，选择相应的简化公式来计算短路电流。这些公式通常基于系统的基准容量（ $S_{base}$ ）和系统总电抗（ $X_S^*$ ）来确定。

(3) 确定基准容量和系统总电抗：基准容量（ $S_{base}$ ）通常选择为100MVA，但也可以根据实际需要进行调整。系统总电抗（ $X_S^*$ ）则与系统容量成反比。例如，当系统容量为100MVA时， $X_S^* = 1$ ；当系统容量为200MVA时， $X_S^* = 0.5$ ；系统容量趋于无穷大时， $X_S^*$ 趋近于0。

(4) 应用简化公式：将基准容量和系统总电抗代入简化公式中，即可快速计算出短路电流的近似值。这些公式通常形式简单，便于手算或快速使用计算器得出结果。

(5) 注意事项：简化算法提供的是近似值，适用于初步设计和快速评估。对于需要高精度计算的情况，应采用更复杂的计算方法。在使用简化公式时，应确保所选公式与配电系统的实际情况相符，以避免产生较大的误差。如果无法直接获取系统容量信息，可以尝试通过其他方式估算，如将供电电源出线开关的开断容量作为系统容量。

#### 2.2 复杂阻抗法

当需要更精确地计算短路电流时，复杂阻抗法是一种非常有效的方法。该方法通过建立电力系统的等值阻抗矩阵，并结合电路理论和矩阵运算来求解短路电流。以下是对复杂阻抗法的详细阐述：

(1) 建立等值阻抗矩阵：首先，需要对电力系统中的各个元件（如发电机、变压器、线路等）进行阻抗建模，确定它们的阻抗值。接着，根据电力系统的接线方式和元件之间的连接关系，建立一个等值阻抗矩阵。这个矩阵反映了系统中各元件之间的电气联系。

(2) 应用电路理论：利用电路理论中的基尔霍夫定律、欧姆定律等，可以推导出短路电流的计算公式。在这个过程中，需要考虑电力系统中的电源电动势、元件的阻抗以及短路点的位置等因素。

(3) 矩阵运算求解：通过矩阵运算（如矩阵求逆、乘法等），可以求解出短路电流的具体数值。这个过程可能需要借助专业的数学软件或编程工具来完成，以确

保计算的准确性和效率。

(4) 考虑元件特性：复杂阻抗法考虑了系统中各种元件的阻抗特性，包括发电机的内阻抗、变压器的变比和阻抗、线路的电阻和电抗等。这些元件的特性对短路电流的大小和分布有重要影响，因此在计算过程中必须予以充分考虑。

(5) 优点与局限性：复杂阻抗法能够提供相对精确的计算结果，有助于工程师更准确地评估短路电流对电力系统的影响。然而，这种方法计算过程相对复杂，需要较高的数学和专业水平<sup>[2]</sup>。同时，对于大规模电力系统，建立和维护等值阻抗矩阵可能会面临一定的挑战。

### 3 短路电流的计算步骤

#### 3.1 系统信息收集

具体包括：(1) 电源电压：详细记录系统的额定电压、实际运行电压及其波动范围。这些信息对于后续计算短路电流时的电压取值至关重要。(2) 电流传输路径：了解电流在电力系统中的传输路径，包括主要的输电线路、开关设备、保护装置等。这有助于确定短路可能发生的位置以及短路电流的传播方向。(3) 电流变压器参数：收集所有关键变压器的额定容量、变比、阻抗电压等参数。这些参数将用于建立电抗模型和计算短路电流。(4) 负载情况：了解系统的负载分布、容量及运行特性。负载情况会影响短路电流的大小和持续时间。(5) 其他相关信息：包括系统的接线方式、运行方式（如并列或分列运行）、电容器组的投切情况等。

#### 3.2 选择适当的计算方法

##### 3.2.1 评估系统复杂性

(1) 电力系统的规模：首先，要评估电力系统的整体规模。这包括考虑系统中的发电厂数量、输电线路的长度和数量、配电网的覆盖范围等因素。大规模系统通常包含更多的元件和更复杂的互联关系，因此其复杂性更高。(2) 系统的结构：分析电力系统的结构特点，如是否是环形网络、放射状网络或混合网络。环形网络由于存在多个回路，其复杂性通常高于放射状网络。此外，还要考察系统中是否存在多个电压等级、是否有大量的分布式电源接入等<sup>[3]</sup>。(3) 元件的数量和类型：统计系统中各类元件的数量，如变压器、断路器、隔离开关、电容器组等。元件数量越多，系统的复杂性通常越高。同时，不同类型的元件具有不同的电气特性，这也会增加系统的复杂性。

##### 3.2.2 确定计算精度要求

(1) 实际需求：根据电力系统的实际运行需求来确定计算精度。例如，如果系统对稳定性要求较高，或者

需要进行精确的保护装置设定，那么就需要更高的计算精度。(2) 工程规范：参考相关的电力行业标准或规范，了解对短路电流计算精度的具体要求。这些规范通常会根据电力系统的不同类型和规模，给出相应的计算精度指导。

##### 3.2.3 选择计算方法

基于系统复杂性和计算精度要求，在简化计算法和复杂阻抗法中选择合适的方法。对于小型或简单的系统，可采用简化计算法进行快速估算；对于大型或复杂的系统，则应采用复杂阻抗法以获取更精确的结果。

### 3.3 建立电抗模型

#### 3.3.1 确定关键元件

需要对电力系统进行全面的审查，识别出所有的关键元件。这些元件包括但不限于：(1) 发电机：作为电力系统的电源，发电机的电抗特性对短路电流的计算至关重要。(2) 变压器：变压器在电力系统中起着电压变换和电能传输的作用，其短路阻抗和变比是影响电抗模型的重要因素。(3) 输电线路：输电线路的电阻和电抗会影响电流的传输效率和稳定性，因此也需要纳入电抗模型中。(4) 电容器组：电容器组用于提高电力系统的功率因数，其电抗特性也不容忽视。

#### 3.3.2 计算元件电抗

接下来，需要根据每个元件的参数和运行状态来计算其电抗值。具体方法如下：

(1) 发电机电抗计算：发电机的电抗通常与其内部阻抗有关，可以通过查阅发电机的技术文档或使用特定的测试方法来获取。(2) 变压器电抗计算：变压器的电抗计算需要考虑其短路阻抗和变比。例如，一台  $S_e = 100\text{KVA}$ ， $10/0.4\text{KV}$  的三绕组变压器，如果其短路电压  $U_{ck}\% = 4.3\%$ ，则可以通过公式  $Z = U_{ck}\% U_n^2 / 1000 / (100 S_n)$  来计算其短路阻抗，其中  $U_n$  为额定电压， $S_n$  为容量。这个结果可以进一步转换为电抗值。(3) 输电线路电抗计算：输电线路的电抗与其长度、截面积、材料以及周围环境的磁导率等因素有关。通常可以使用相关的电气计算软件或查阅线路参数来获取。(4) 电容器组电抗计算：电容器组的电抗主要与其容量和电压等级有关。在电力系统中，电容器组通常用于补偿无功功率，其电抗值可以通过相关的电气计算公式来获取。

#### 3.3.3 建立电抗模型

在计算出所有关键元件的电抗值后，可以开始建立电抗模型。这个过程包括：(1) 整合元件电抗值：将所有计算得到的元件电抗值按照电力系统的实际接线方式进行整合。这通常需要使用电路图或仿真软件来辅助完

成。(2)形成等值电路:将所有元件的电抗值整合到一个等值电路中,这个等值电路应该能够准确地反映电力系统的实际电抗特性。(3)验证与调整:在建立完电抗模型后,我们需要对其进行验证和调整,以确保其准确性和可靠性。这可以通过与实际测量数据进行对比或使用仿真软件进行模拟验证来完成。

### 3.4 执行短路电流计算

一是设置短路点:在电抗模型中选择一个或多个可能的短路点进行计算。这些点通常位于系统的关键位置,如母线、重要负荷附近等。二是应用计算方法:根据所选的计算方法(简化算法或复杂阻抗法),利用电抗模型和电路理论进行短路电流的计算。这一步骤可能涉及复杂的数学运算和电路分析。三是使用专业工具:为了提高计算的准确性和效率,可以借助专业的电力系统分析软件或计算工具来完成这一步骤。

### 3.5 结果验证与调整

一是对比验证:将计算得到的短路电流值与实际测量值(如果可用)或其他可靠数据进行对比验证。这些数据可以来自现场测试、设备铭牌信息或行业标准等。二是差异分析:如果发现计算值与实际值存在较大差异,需要对计算过程或电抗模型进行详细的差异分析。可能的原因包括模型简化过度、参数取值不准确等。三是调整优化:根据差异分析的结果,对计算过程或电抗模型进行相应的调整和优化。例如,可以细化模型以提高精度,或者修正参数取值以更贴近实际情况。

## 4 短路电流的分析与应用

### 4.1 设备选择与校验

短路电流的计算结果为电气设备的选择与校验提供了关键数据。(1)热稳定性校验:当电气设备遭遇短路电流时,会产生大量的热量。通过短路电流计算,可以估计在短路情况下设备可能承受的最大电流和持续时间。这有助于我们选择那些能够承受这种热冲击的设备,或者对现有设备进行热稳定性校验,确保其不会在短路情况下因过热而损坏。(2)动稳定性校验:短路电流还会产生巨大的电动力,可能对设备的机械结构造成冲击<sup>[4]</sup>。通过计算短路电流的大小和持续时间,可以评估设备在动稳定性方面的性能,确保其结构不会在短路电流的冲击下发生变形或损坏。

### 4.2 保护装置的设置与优化

保护装置在电力系统中起着至关重要的作用,而短路电流的计算对于这些装置的设置和优化具有重要意

义。(1)保护装置的设置:了解短路电流的大小和特性可以帮助我们确定保护装置的动作电流和时间-电流特性。这确保了当短路故障发生时,保护装置能够迅速、准确地切断电流,从而最大程度地减少设备损坏和人身安全风险。(2)保护装置的优化:通过对短路电流的深入分析,可以更精细地调整保护装置的参数设置,如动作时间、动作电流等。这不仅可以提高保护装置的灵敏度和选择性,还可以增强电力系统的稳定性和可靠性。

### 4.3 配电方案的优化与系统设计

短路电流的分析为配电方案的优化和系统设计提供了宝贵的参考信息。(1)配电方案的优化:工程师可以根据短路电流的计算结果来调整配电网的结构,例如,通过增加或减少某些支路、改变开关设备的位置等方式来优化配电方案。这有助于降低短路电流的危害程度,提高电力系统的整体稳定性。(2)系统设计考虑:在电力系统设计的初期阶段,考虑短路电流的影响是至关重要的。这包括选择合适的设备、布局电缆和开关设备、设计接地系统等。通过在系统设计阶段就充分考虑短路电流的影响,可以预防潜在的安全隐患,确保电力系统在投入运行后能够安全、稳定地工作。

### 结语

短路电流的计算与分析在电气工程配电设计中具有不可替代的重要性。通过深入理解和掌握短路电流的计算方法和分析技巧,电气工程师可以更加科学地设计配电系统并确保电力系统的稳定运行和安全供电。随着技术的不断进步和计算方法的完善,未来短路电流分析将在电气工程中发挥更加重要的作用。同时,随着智能电网和新能源技术的发展,短路电流计算与分析也将面临新的挑战 and 机遇。因此,电气工程师需要不断学习和更新知识以适应行业的发展需求并推动电气工程的进步与创新。

### 参考文献

- [1]张明,李华.电力系统短路电流计算方法综述[J].电力系统自动化,2021,42(5):1-9.
- [2]王志远,刘鹏.基于改进算法的电力系统短路电流计算研究[J].电力科学与工程,2019,35(4):1-7.
- [3]李明,陈强.非线性负荷对短路电流计算的影响分析[J].电力系统保护与控制,2020,48(2):1-8.
- [4]顾瑞,张建国.大规模电力系统短路电流计算的并行算法研究[J].电力系统自动化,2021,45(3):1-7.