

# 关于 10kV 电压等级设备短路电流水平问题的研究

黄亮

杭州汉邦电力工程设计有限公司, 浙江 杭州 310000

**[摘要]** 随着社会经济发展, 10kV 电压等级设备短路电流水平问题日益凸显。本篇文章深入研究, 明确短路电流计算方法, 全面分析影响短路电流水平因素, 清晰呈现短路电流危害与挑战, 并提出切实可行应对策略。具体包括采用高阻抗变压器、调整电网运行方式等技术手段降低短路电流, 以及合理选择开关设备等措施。为保障电网安全稳定运行提供有力支持。

**[关键词]** 变压器; 短路电流; 危害; 应对策略

DOI: 10.33142/hst.v7i11.14296

中图分类号: TM406

文献标识码: A

## Research on the Short Circuit Current Level of 10kV Voltage Level Equipment

HUANG Liang

Hangzhou Hanbang Electric Project Design Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

**Abstract:** With the development of social economy, the problem of short-circuit current level of 10kV voltage level equipment is becoming increasingly prominent. This article conducts in-depth research, clarifies the calculation method of short-circuit current, comprehensively analyzes the factors that affect the level of short-circuit current, presents the hazards and challenges of short-circuit current clearly, and proposes practical and feasible response strategies. Specifically, this includes using high impedance transformers, adjusting the operation mode of the power grid, and other technical measures to reduce short-circuit current, as well as selecting switch equipment reasonably, so as to provide strong support for ensuring the safe and stable operation of the power grid.

**Keywords:** transformer; short circuit current; hazards; countermeasures

### 引言

在当今社会经济蓬勃发展背景下, 电力作为支撑各行各业运行的关键能源, 其供应可靠性和安全性至关重要。10kV 电压等级作为配电网重要组成部分, 广泛应用于城市和农村供电网络。然而, 随着电力系统规模持续扩大、负荷不断增长以及分布式电源大量接入, 10kV 电压等级设备所面临短路电流水平问题日益突出。因此, 深入研究 10kV 电压等级设备短路电流水平问题, 对于保障电力系统安全稳定运行具有重要现实意义。

### 1 理论基础

#### 1.1 短路电流计算方法

在 10kV 电压等级短路电流计算中, 通常选取基准容量  $S_j$  为 100MVA, 基准电压  $U_j$  对于 10kV 配电系统宜选用 10.5kV。短路电流计算采用标么值法, 系统电抗标么值可根据系统容量与基准容量关系确定, 例如当系统容量大于 100MVA 时, 电抗减小; 当系统容量小于 100MVA 时, 电抗增大。对于 10kV 变压器, 用 4.5 除以容量就约等于它电抗。架空线路和电缆电抗计算则与电压等级、线路长度有关, 电压 10kV 架空线路, 其电抗约等于线路公里数  $1/3$ 。

表 1 短路电流计算值

短路点	10kV 母线 (3 台主变分裂运行)
三相短路有效值	24.82kA
两相短路有效值	21.49kA

#### 1.2 影响短路电流水平因素

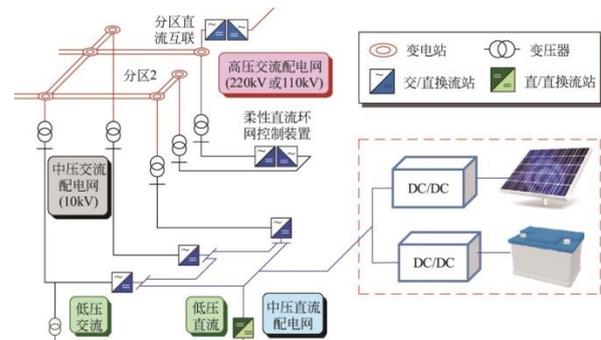


图 1 分布式电源接入 10kV 电网原理图

##### 1.2.1 电源容量

电源容量越大, 短路时提供短路电流就越大。从电源等效电路来看, 大容量电源相当于一个低内阻电压源, 在短路故障发生时, 能够输出更大电流。根据短路电流计算公式, 当电源电动势不变时, 电源内阻越小, 短路电流越大。

##### 1.2.2 网架结构

网架结构复杂性和连接方式对短路电流有重要影响。在环形网络中, 故障点短路电流会因电流分流和环流效应而与放射状网络有所不同。当网架结构中存在较多并联支路时, 短路点等效阻抗会减小, 导致短路电流增大。

##### 1.2.3 负载特性

负载性质和大小会影响短路电流。感性负载在短路瞬

间会产生反电动势,阻碍电流变化,而容性负载则在短路瞬间产生过电流。负载大小决定正常运行时电网电压和电流分布,当负载变化时,短路电流水平也会相应改变。

#### 1.2.4 分布式电源接入

分布式电源接入使 10kV 电网电源分布更加复杂。分布式电源类型(如光伏、风电等)、容量和接入位置都会影响短路电流水平。分布式电源接入位置靠近短路点且容量较大,会显著增大短路电流。

### 1.3 实际案例

在实际电网运行中,这些因素影响随处可见。在关于 500kV 变电站 220kV 母线短路水平问题研究中发现<sup>[1]</sup>,当区域内新大型电源接入电网后,220kV 母线短路电流水平明显上升。通过对网架结构分析,发现部分变电站之间联络线路增加,使得短路电流在电网中分布发生变化,导致某些母线短路电流超过安全限值。在一些城市 10kV 配电网中,随着商业和居民用电负荷增加(负载特性变化),特别是在夏季用电高峰时期,短路电流水平也有所波动。此外,分布式电源大量接入也给 10kV 电网带来新挑战。在某些分布式光伏电站接入较多区域,当 10kV 线路发生故障时,短路电流大小和方向都出现与传统电网不同情况,给故障检测和保护装置动作带来困难。

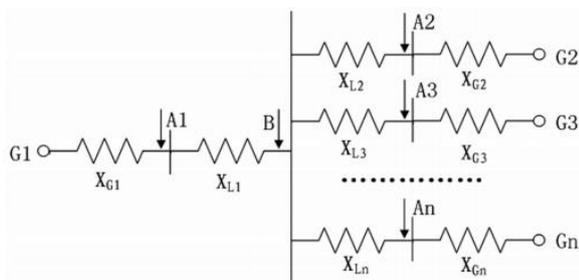


图 2 多电源分区示意图

## 2 短路电流水平危害与挑战

### 2.1 短路电流危害分析

#### 2.1.1 热效应导致设备损坏

短路电流在极短时间内会产生巨大热量,这是由于电流通过设备电阻产生焦耳热。对于导体部分,如电缆、母线等,过高热量导致导体温度急剧上升,超过其允许最高温度,从而使导体材料物理性能发生变化,如金属软化、熔化。以铜母线为例,当短路电流持续时间较长时,母线温度迅速升高,使其强度降低,甚至出现局部熔化现象,导致母线短路或断路。对于电气设备中绕组,如变压器、电动机等,短路电流产生热量破坏绕组绝缘材料,使绝缘性能下降,引发匝间短路或相间短路等故障。

#### 2.1.2 电动力引起机械损伤

短路电流产生强大电动力也是造成设备损坏的重要原因。根据安培定律,两根平行载流导体之间会产生相互作用力。在短路情况下,由于电流很大,这种电动力达到

非常大数值。对于开关设备,如断路器、隔离开关等,电动力使触头受到强烈冲击,导致触头磨损、变形甚至脱落。在变压器中,短路电流产生电动力使绕组发生位移、变形,破坏绕组原有结构,进而影响变压器正常运行。此外,电动力还对电气设备支撑结构、固定部件等造成损坏,影响设备机械稳定性。

#### 2.1.3 电弧引发爆炸和火灾

短路故障常常伴随着电弧产生。电弧是一种高温、高能量放电现象,其温度可高达数千摄氏度。在开关设备开断短路电流时,如果灭弧能力不足,电弧持续燃烧,产生大量热量和强光。这种高温电弧会使设备周围绝缘材料、空气等迅速分解和电离,产生可燃气体和爆炸混合物。一旦遇到合适条件,如足够能量激发,就引发爆炸和火灾,对设备和周围环境造成严重破坏。

#### 2.1.4 电压骤降与电压崩溃

短路故障发生时,短路电流会在电网中引起电压骤降<sup>[2]</sup>。由于短路点阻抗很小,大量电流从电源流向短路点,导致电网中其他部分电压降低。如果短路故障不能及时清除,电压降低会蔓延到整个电网,引发电压崩溃。在电压崩溃过程中,电网中负荷因电压过低无法正常运行,电网运行状态进一步恶化。

#### 2.1.5 电网解列与大面积停电

短路电流引起保护装置动作导致电网解列。当保护装置检测到短路故障时,为保护设备和防止故障扩大,会自动将故障线路或设备从电网中切除。如果短路电流水平过高,会导致保护装置误动作或多级保护同时动作,使电网正常运行结构被破坏。在严重情况下,会引起大面积停电,影响众多用户正常用电,对社会经济和人民生活造成巨大损失。

## 2.2 10kV 设备面临挑战

### 2.2.1 主变压器

主变压器作为 10kV 电网中核心设备之一,在短路故障时承受着巨大冲击。从热效应方面来看,短路电流产生热量会使变压器绕组温度迅速升高。由于变压器绕组通常采用铜或铝等金属材料,高温导致绕组绝缘老化加速,降低绝缘性能。根据实际统计数据,多次短路故障后主变压器绕组绝缘电阻明显下降,绝缘纸老化程度加剧。

### 2.2.2 开关设备

短路电流大小直接决定开关设备所需开断能力。对于 10kV 开关设备,如断路器,必须能够在短路故障发生时迅速切断短路电流,以保护电网和设备安全。随着短路电流水平提高,开关设备需要具备更高开断容量。例如,当短路电流有效值从 10kA 增加到 20kA 时,对断路器灭弧室设计、触头材料和开断速度等方面都提出更高要求。如果开关设备开断能力不足,无法成功切断短路电流,导致电弧持续燃烧,进一步损坏设备和扩大故障范围。开关设

备在切断短路电流过程中,自身需要耐受短路电流产生热效应和电动力效应。在热效应方面,开关设备触头、导电部分等在短时间内会通过大量电流,产生热量。如果不能有效散热,这些部件温度超过允许值,导致材料性能下降。从电动力角度看,短路电流产生电动力使开关设备机械结构发生变形,影响其正常操作。因此,开关设备设计和选型必须考虑其在短路电流冲击下热稳定性和动稳定性。

### 3 应对策略与措施

#### 3.1 技术手段降低短路电流

##### 3.1.1 高阻抗变压器

高阻抗变压器通过增加自身短路阻抗来限制短路电流<sup>[3]</sup>。其原理在于,当变压器短路阻抗增大时,在短路故障发生时,变压器对短路电流限制作用增强。从变压器等效电路来看,短路阻抗相当于串联在电路中一个阻抗元件,根据欧姆定律,在电源电压一定情况下,增大这个阻抗减小短路电流。在实际应用中,高阻抗变压器取得显著效果。同时,高阻抗变压器在抑制短路电流过程中,对电网正常运行影响较小,不会引起明显电压波动和电能质量问题。

表 2 典型高阻抗变压器主要技术参数

项目	参数
型号	SFSZ-240000/220
额定电压/kV	(220±8×1.25%)/115/10.5
额定容量/kVA	240000/240000/120000
联接组别	YNyn0d11
冷却方式	ONAF
额定电流/A	629.8/1204.9/3809.5
频率/Hz	50
短路阻抗/%	高一中: 14.0 高一低: 35.0 中一低: 20.0

##### 3.1.2 电网运行方式

合理调整电网运行方式是降低短路电流的有效方法。例如,采用分列运行方式有效减少短路电流。在分列运行时,通过断开部分变电站之间联络开关,将电网分成若干个相对独立部分。这样,在某一区域发生短路故障时,短路电流不会通过联络线路在整个电网中传播,从而限制短路电流大小。然而,分列运行会对电网供电可靠性产生一定影响,需要在降低短路电流和保证供电可靠性之间进行权衡。例如,通过优化联络开关配置和运行策略,在正常情况下保持一定联络,以提高供电可靠性,在故障时实现快速分列运行,降低短路电流。

##### 3.1.3 分布式电源接入

对于分布式电源接入引起短路电流问题,采用合理控制策略。例如,在分布式光伏电站中,通过在逆变器中设置合适控制算法,当检测到电网故障时,限制逆变器向故障点注入电流。此外,还通过分布式电源布局优化,避免

大量分布式电源集中接入某一区域 10kV 电网,从而减少对短路电流水平影响。

#### 3.2 合理选择开关设备

##### 3.2.1 变电站母线开关

在 10kV 变电站母线位置,由于短路电流较大且故障影响范围广,通常选择具有高额定开断电流断路器。例如,对于短路电流水平较高母线,可选用额定开断电流为 31.5kA 或更高真空断路器。这种断路器具有良好灭弧性能和高可靠性,能够在短时间内切断大电流,保护母线和连接设备。此外,还需要考虑断路器动稳定电流和热稳定电流,以确保其在短路电流冲击下稳定性。

##### 3.2.2 馈线开关

对于 10kV 馈线开关,可根据馈线负载情况和短路电流水平选择合适开关设备<sup>[4]</sup>。在一些短路电流较小馈线,采用负荷开关加熔断器组合。负荷开关用于正常负荷操作,熔断器则在短路故障时迅速切断短路电流。这种组合具有成本低、操作简单优点。而对于短路电流较大馈线,则需要选择额定开断电流满足要求断路器,以确保在故障时能够可靠地切断短路电流,保护馈线和下游设备。

##### 3.2.3 分支线路开关

在 10kV 分支线路上,开关设备选型需要综合考虑分支线路负载特性和出现短路电流大小。如果分支线路主要为小型居民用户或商业用户供电,且短路电流预计较小,选择具有一定短路保护功能的负荷开关。但如果分支线路上有重要工业负荷或短路电流较大,则应选择合适断路器,以保障供电可靠性和安全性。

表 3 开关设备选择

开关类型	应用场景	设备特点
变电站母线开关	短路电流大、故障影响范围广	良好灭弧性能、高可靠性,能短时间切断大电流,保障母线及连接设备安全
馈线开关	根据短路电流水平和负载情况	组合成本低、操作简单;断路器可在故障时可靠切断短路电流,保护馈线和下游设备
分支线路开关	综合考虑负载特性和短路电流大小	保障供电可靠性和安全性,适应不同负载和短路电流情况

##### 3.2.4 考虑未来发展的保险策略

为了应对负荷增长带来的短路电流增大的问题,需要采取一些保险措施。首先,在开关设备的选型过程中,应充分考虑未来负荷增长的可能性,预留一定的裕量<sup>[5]</sup>。其次,加强对电网的监测和规划。通过实时监测电网的负荷情况和短路电流水平,及时调整开关设备的运行参数和保护定值,确保其不同负荷情况下都能正常工作。同时,根据负荷增长的趋势,提前规划电网的升级改造,适时增加限流设备或更换更高容量的开关设备。此外,还可以建立完善的应急预案。当发生短路故障时,能够迅速启动应急预案,及时隔离故障点,恢复非故障区域的供电,最大限度地减少停电损失。

## 4 未来研究方向展望

### 4.1 智能监测与控制技术

开发更加先进的短路电流监测系统,能够实时、准确地测量短路电流的大小、变化趋势以及分布情况。利用大数据分析和人工智能算法,对监测数据进行深度挖掘,提前预测可能发生的短路故障,为采取预防措施提供依据。研究智能控制技术,实现对电网运行状态的自动调整和优化。例如,当检测到短路电流增大时,自动调整变压器的运行参数、改变电网运行方式或投入限流设备,以降低短路电流对系统的影响。

### 4.2 新型限流设备的研发

探索新型材料和技术在限流设备中的应用,如超导限流器、固态限流器等。这些新型限流设备具有响应速度快、限流效果好、占地面积小等优点,有望在未来的电力系统中发挥重要作用。开展限流设备与其他电力设备的协同优化研究。例如,研究限流设备与变压器、断路器等设备的配合使用,提高整个电力系统的可靠性和稳定性。

### 4.3 电网规划与优化

结合未来的负荷增长趋势和能源发展方向,进行更加科学合理的电网规划。在规划过程中,充分考虑短路电流水平的限制因素,优化网架结构和电源布局,降低短路电流的风险。研究电网的动态优化技术,根据实时的负荷变化和运行状态,动态调整电网的结构和运行方式,以适应不同的运行条件,提高电网的灵活性和适应性。

## 5 结论

本研究围绕 10kV 电压等级设备短路电流水平展开全

面深入探讨,取得一系列具有重要意义的研究成果。通过全面系统地研究短路电流问题,为电网规划、设计、运行和维护人员提供全面理论和实践指导。有助于在电网建设和改造过程中,提前预防短路电流带来危害,合理选择设备和制定运行策略,提高电网安全性和可靠性,减少因短路故障导致停电事故和经济损失。

### [参考文献]

- [1] 雷铮,王魁,李媛媛,等.提高 500kV 变电站 220kV 母线短路水平问题的研究[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2021,26(3):9-15.
- [2] 吴行健,石晶,陈红坤,等.基于短路电流小半波特征的短路故障快速检测方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(16):86-94.
- [3] 刘健,王浦任,张志华.用于限流控制的瞬时值与变化率结合的故障电流快速识别改进算法[J].电力系统保护与控制,2020,48(19):57-64.
- [4] 张志丰,张凯,董轩,等.基于电流有效值实时算法的限流器快速故障辨识方法[J].电气技术,2022,23(7):81-88.
- [5] 唐溢,李保宏,曾蕊,等.柔性直流对交流系统短路电流影响因素分析[J].电力工程技术,2022,41(1):40-47.

作者简介:黄亮(1989.12—),男,籍贯:浙江省衢州市龙游县,职称:中级工程师,职务:主任工程师,毕业时间:2014年06月30日,毕业院校:浙江工业大学,学历:本科,学位专业:电气工程及其自动化,研究方向:变配电设计。