

# 应对特高压直流大扰动的稳定措施分析

孙华东<sup>1</sup> 刘家豪<sup>2</sup>

(1. 国网西藏电力有限公司超高压分公司 西藏拉萨 850000; 2. 国网上海市电力公司特高压换流站分公司 上海 200000)

摘要: 特高压直流输电技术(HVDC)在电力系统中起到了重要的作用,它能够高效地传输远距离的电能,跨越大范围的地理区域,解决了长距离交流输电的技术限制,然而特高压直流输电系统也存在一些挑战,其中之一就是大扰动对系统稳定性的影响,本文将深入探讨应对特高压直流大扰动的稳定措施。

关键词: 特高压直流; 大扰动; 稳定措施

特高压直流输电系统中的大扰动可能来自于多种因素,如电力负荷变化、设备故障、外部环境变化等,这些扰动对系统的稳定性产生负面影响,可能导致电网不稳定、电压波动和频率偏差,为了应对特高压直流系统中的大扰动,需要采取一系列的稳定措施来保证系统的可靠运行。

## 一、特高压直流输电的概述

特高压直流输电是一种先进的电力输送技术,其通过使用高压直流电来传输电力,以解决长距离电力输送中的电压损耗和电流损耗问题,与传统的交流输电技术相比,特高压直流输电具有更高的输电能力和更远的输电距离。

特高压直流输电系统由几个主要部分组成:换流器站、输电线路和变电站。换流器站通过将交流电转换为直流电,并将直流电转换为交流电,实现了电能的传输和分配。输电线路用于将直流电从一个地点传输到另一个地点,变电站用于将直流电转换为交流电,并将其连接到当地的输电系统<sup>[1]</sup>。

## 二、特高压直流大扰动的成因分析

### 1. 传输线路短路故障

当特高压直流输电线路发生短路故障时,会导致电流突然增大,短时间内造成电压和功率的急剧变化,进而引起系统的不稳定。短路故障会导致电流迅速增大,由于短路点的存在,电流会通过这个低阻抗路径流动,而不再经过正常的输电线路,因此电流会迅速上升,可能达到数千甚至数万安培的水平,这种大电流会导致线路的电阻产生大量的热量,从而引发火灾或损坏线路设备。短路故障会导致电压的急剧下降,由于电流的迅速增大,线路上的电压也会随之下降。这是因为电压是电流与电阻之间的比值,当电流增大时,电压就会减小,在特高压直流输电系统中,电压的下降可能会导致系统无法正常工作,甚至导致设备的损坏。

短路故障还会引发功率的急剧变化,功率是电压和电流的乘积,当电压下降时,功率也会相应地减小,在

特高压直流输电系统中,功率的变化可能会对电网的稳定性产生严重影响,如果功率突然减小,可能会导致电网的频率波动,进而影响其他设备的正常运行<sup>[2]</sup>。

### 2. 换流变流量不平衡

在特高压直流输电系统中,换流变流量不平衡是一个相当重要的问题。这种不平衡主要是由于换流站电流的正、负半周之间存在差异导致的,可能是由于换流变阻抗不均匀或者某些换流阀的工作状态异常引起的。当换流变压器带电运行时,如果遇到某些故障,比如阀D导联屏蔽管末端未设置绝缘,或者换流变压器的中性点流入直流电流,都可能导致电流的不平衡,如果换流器触发角不平衡,也可能导致换流变流量不平衡。换流变流量不平衡会引起电压和功率的波动,使系统处于动态不稳定状态,这可能导致系统频率波动,进而影响其他设备的正常运行,由于电流的增大,还可能会导致线路的电阻产生大量的热量,从而引发火灾或损坏线路设备。

### 3. 控制系统失效

在特高压直流输电系统中,控制系统失效可能包括监测、保护和控制装置等方面。当监测装置或保护装置失效时,可能无法及时检测到故障,或者误判故障类型,从而导致系统失稳,而控制装置失效可能会导致控制信号的错误或丢失,无法实现系统的稳定调节。换流器主接线方案对于整个直流主设备研制和工程实施的难度、可靠性水平、换流器故障所造成的交流系统功率损失等都具有重大影响,是工程系统研究的核心问题,特高压直流输电无功调节情况也会影响系统的稳定。正常工况下,特高压直流换流站与系统没有无功交换,在直流输送额定功率运行时,消耗的无功储备可能会影响系统的稳定。

## 三、特高压直流大扰动的稳定措施

### 1. 防范电网频率突然变化

当电网频率突然变化时,特高压直流逆变器需要根据实时监测到的电网频率信号进行响应,如果电网频率

超出了安全工作范围,特高压直流逆变器会自动检测并启动防范措施。具体来说,特高压直流逆变器会立即停止输出高功率,而是将其功率逐渐降低到一个安全范围内,在此期间,逆变器会减少电网负荷,同时使逆变器内部电容器的电压平稳下降。如果在此期间电网频率仍未恢复正常,特高压直流逆变器将继续减少电网负荷,以确保实现能量稳定平衡,一旦电网频率稳定,特高压直流逆变器将重新开始恢复工作,输出电力以满足电网需求。需要注意的是,在特高压直流逆变器接收到电网频率突然变化的信号后,应在尽可能短的时间内采取措施,以最大程度地减少对电网稳定性的负面影响<sup>[3]</sup>。

### 2. 加强电网控制

为了加强电网控制,首先需要对电网状况进行全面监测和控制,包括实时监测电网负荷情况、变电站、配电站和变压器等设备的运行状态,监测电网电压、频率等参数以及线路的损耗情况,通过监测,及时发现异常情况并采取措施进行处理。除了监测,还需要加强对异常情况的控制,一旦发现低电压、高电压等异常情况,应立即启动应急预案,采取相应措施以保证电网的稳定运行。针对过载情况,可以通过减负、分流等方式缓解负荷,以避免设备损坏和电网事故的发生。同时,要及时处理线路故障,确保电力供应的连续性和可靠性<sup>[4]</sup>。

### 3. 采用快速控制技术

括负荷的大小和变化,并监测变电站、配电站、变压器等设备的运行状态,监测电网的电压、频率等参数,及时发现异常情况并进行报警处理,还需要监测电网线路的损耗情况,以便及时发现并修复线路故障。在监测的基础上,加强对异常情况的控制。当发现低电压、高电压等异常情况时,需要立即启动应急预案,并采取相应的措施来保证电网的稳定运行。为了缓解过载情况,可以采取减负、分流等方式,以避免设备损坏和电网事故的发生,及时修复线路故障也是非常重要的,以保证电力供应的连续性和可靠性。

### 4. 进行可控硅开关保护

可控硅开关保护是特高压直流输电系统中的一项重要技术,用于保护直流线路、变压器或直流电机等电器元件在发生故障时的安全运行。具体过程包括故障检测、信号传输、控制单元判断、可控硅开关切断电路以及故障清除等步骤,当系统检测到故障信号后,保护装置将判断故障是否需要保护动作,并通过控制单元将信号传输至可控硅开关,切断直流电路并防止重新接通。待故障排除后,需清除保护装置的動作信号并复位可控硅开关,以确保输电系统的正常运行。通过可控硅开关保护,特高压直流输电系统能够快速切断电路、停止输电,并

保护系统电器元件,提高运行可靠性和设备寿命<sup>[5]</sup>。

### 5. 控制直流电极电压

在特高压直流输电系统中,控制直流电极电压是一种重要的调节手段,通过调节直流电源在特高压直流输电系统中,控制直流电极电压是一种重要的调节手段,通过调节直流电源电压来对直流电极电压进行控制和调节,以有效提高系统的稳定性。具体的过程包括监测电极电压、设定目标值、比较与调整、控制策略以及系统稳定性分析。首先需要实时监测直流电极电压,通过传感器或测量装置获取电压的实际数值,然后根据系统运行要求和稳定性要求,设定一个目标电极电压。接下来,将实际测得的电极电压值与设定的目标值进行比较,如果存在偏差,就需要对电源进行调整,使得电极电压逐渐接近目标值。在调整过程中,可以根据系统的需求和控制策略,采用比例、积分、微分等不同的控制方法进行调整,以保持电极电压在合理的范围内波动。最后通过对控制后的电极电压进行系统稳定性分析,调整控制策略和参数,以确保系统的稳定运行。通过控制直流电极电压的变化范围,可以加强对直流侧的调节和控制,有效提高特高压直流输电系统的稳定性,这种调节和控制手段在应对负荷变化、电网故障等情况下,能够有效地维持系统的稳定运行。

结论:

综上所述,应对特高压直流大扰动的稳定措施包括控制直流电极电压、控制交流/直流变换器的功率、采用灵敏的故障保护系统和利用电抗器过渡等,这些措施可以保持输电系统的稳定运行,避免损失扩大,维护输电系统的安全可靠。

### 参考文献:

- [1]邱威,贺静波,樊小伟等.应对特高压直流大扰动的稳定措施综述[J].电网技术,2022,46(08):3049-3067.
- [2]杨丹,党杰,邱威等.祁韶特高压直流投运后湖南电网电压稳定问题[J].电力科学与技术学报,2020,35(06):163-170.
- [3]拜润卿,郝如海,史玉杰等.特高压直流送端近区风机暂态过电压实测与分析[J].电气自动化,2019,41(04):14-15+60.
- [4]杨硕,郭春义,王庆等.分层接入特高压直流输电系统协调控制策略研究[J].中国电机工程学报,2019,39(15):4356-4363.
- [5]郑超,李惠玲,张鑫等.特高压直流分层馈入系统大扰动层间耦合特性及稳定控制[J].中国电机工程学报,2019,39(09):2670-2681.