

特高压直流输电技术特点与应用研究

韦家毅

(广西送变电建设有限责任公司, 广西 南宁 530031)

摘要:为解决传统高压输电存在的问题,目前我国很多地区正大力引入特高压直流输电,在介绍特高压直流输电具有的各项特点基础上,对其应用进行了深入分析,提出特高压直流输电馈入存在的系统风险及其防范对策,以及仿真技术支持和未来发展前景,以期相关人员提供参考,使特高压直流输电技术的应用达到理想效果。

关键词:特高压直流;电磁暂态仿真;柔性直流输电

中图分类号:TM721.1

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2023)16-0076-03

0 引言

对于远距离和大容量送电,特高压直流输电有重要意义与作用,但也给复杂电网安全和可靠运行带来了新的问题。我国在应对这方面问题中取得了相关经验,使电网实现长期安全运行,发挥出特高压直流输电具有的功能,为将来直流输电技术进一步发展提供参考依据。

1 特高压直流输电技术特点

对于特高压直流输电(图1),其电压等级的概念和交流输电完全不同,在交流输电领域,通常将不超过220kV的电压称作高压,将330kV及以上到750kV的电压称作超高压,而达到1000kV及以上的电压则被称作特高压。在直流输电领域,将不小于 $\pm 100\text{kV}$ 的电压称作高压,将 $\pm 500\text{kV}$ 与 $\pm 600\text{kV}$ 的电压也称作高压,通常不称作超高压,但达到 $\pm 600\text{kV}$ 以上的电压则被称作特高压。在单项直流输电项目中,一般以送电距离与送电容量为依据,通过技术经济对比完成个性化设计,进而确定直流电压等级。在研究与论证电压等级的过程中,基于我国现有研发水平及研制能力,必须确定电压水平,同时将 $\pm 800\text{kV}$ 作为标称电压。采用这样的方式有利于实现系列化、标准化与规范化,能为相关工程的规划设计与实施管理创造良好条件。

特高压直流输电既保留了高压直流输电全部特点,还充分发挥出了特高压技术自身优势,具体包括以下10个方面。①输送容量较大,目前世界范围内已经建成了很多高压直流输电项目。②送电距离较远。③输送功率支持调节与控制。④不影响短路电流容量,同时也不会受到系统自身稳定性的影响与限制。⑤能最大



图1 特高压直流输电

限度利用现有的线路资源,且线路走廊宽度只有交流输电的1/2左右,由于送电容量较大,所以单位走廊宽度具有的送电功率可以达到交流输电的4倍左右,以 $\pm 500\text{kV}$ 的直流线路为例,其走廊宽度在30m左右,可送电约3GW,而相同电压等级的交流线路,不仅走廊宽度可以达到55m,而且送电容量也只有1GW左右。⑥直流线路基本不会受到电容电流的影响,也不会产生磁感应及介质损耗,只存在一定程度的芯线电阻损耗。⑦当直流输电工程产生故障时,保持正常的极依然可以正常运行,并有一定过负荷能力,使输送功率保持不变,减少由于故障造成的损失。⑧直流系统自身可实现调制,能以系统要求为依据快速做出反应,从而使电力系统自身暂态稳定水平得以大幅提升。⑨在交流展进行无功功率控制可实现交流电压调节。⑩大电网之间采用直流输电的方式实现互联,不同电网之间基本不存在干扰与影响,并且在必要的情况还能快速完成功率交换¹⁾。

2 特高压直流输电技术应用

2.1 系统风险

随着多回直流不断馈入电网,使交流和直流系统之间的相互影响问题越来越突出,虽然电网自身抵御简单事故发生及影响的能力得到增强,但在大容量直流不断馈入的情况下,系统风险正进一步加大。就目前来看,系统主要面临着下列风险:①当特高压直流按照额定功率进行运行时,由于双极闭锁会使系统进入暂态失稳状态,要想使系统保持在稳定状态,必须采取一系列安稳措施,如切机切负荷等。但稳控措施往往涉及很多站点,其中任何一个控制站拒动,都会使主网稳定性遭到破坏,此时即便所有失步解列装置都能可靠解列,但受端电网仍会有大量低频与低压减载装置发生动作,最终引起特大安全事故。要想使大电网始终处在安全运行状态,必须得到二次控制系统的支持,对一系列防线都提出了很高要求,这些防线都要有足够的可靠性^[2]。②从多回线路上交叉跨越导致故障发生,容量较大的直流输电线路发生交叉跨越会在交叉点产生故障,使多回直流同时发生闭锁,或使交流线路发生跳闸,使电网出现安全风险。在特高压直流正式投产后,会增加很多交叉跨越点。③受端负荷中心一旦发生交流系统故障,则保护或开关一旦发生拒动将导致换相失败。多回容量较大的直流在受端电网大量落点,使交流系统发生故障,将导致换相失败,此时保护或开关一旦拒动,会使交流故障无法及时清除,严重时将引起直流闭锁。另外,直流换相一旦失败,会使交流与直流之间的相互影响加重,在功率不断恢复的过程中,对动态无功提出了很高要求,此时随着受端电网负荷不断增加,大部分负荷中心将逐渐失去电源支撑,最终使电网电压发生波动,造成大面积停电事故^[3]。

2.2 风险对策

为有效防范以上各类系统风险,可以在实际工作中采取以下对策。

(1)对直流落点进行优化,确定适宜的单回直流规模。考虑到输电落点比较分散,故将单回规模最大值确定为500万kW,其主要目的在于减小闭锁后,由于潮流转移至交流通道导致潮流或电压发生波动,以此对多直流线路有效短路比进行合理的控制。以某电网为例,其多直流短路比的最小值为2.6,伴随直流数量不断增加,短路比的最小值从2.6减小至1.8左右。如果单回直流规模继续增加,则会使短路比进一步降低。

(2)对电网结构进行优化,伴随背靠背直流项目不

断建成,使外送电力逐渐向直流输电方向靠拢。通过采用异步联网的方式,能从根本上解决大容量直流在发生闭锁后主要潮流涌入交流通道的实际问题,使主网自身暂态稳定水平实现大幅提升,最终实现对电网自身安全性与稳定性的有效改善^[4]。

(3)增强受端电网自身无功补偿能力,实现动态补偿。当受端电网有多回直流线路集中馈入时,尤其是重负荷站点及落点较为密集的区域,必须增加无功电压支撑,这对保证电压稳定性极其重要。除此之外,通过对电源开机的合理安排,以及对高压侧控制的全面优化,增强电网自身无功补偿能力,进一步提高电压稳定性。为了使直流换相失败以后实现自我恢复,可在与逆变站距离较近的负荷中心设置无功补偿系统。

(4)采取合理可行的优化保护配套措施,避免交流系统发生故障导致直流保护产生动作使直流闭锁,并将跳闸段的延时从700ms增加到3s。在今后工作中还要对关键线路及开关设备日常巡查维护引起高度重视,查找导致直流系统发生故障的具体原因,并据此设置第三道甚至第四道防线,以此从根本上降低系统运行风险^[5]。

2.3 仿真技术支持

过去常用的仿真程序因直流模型有很大局限性,所以已经无法满足系统风险分析需要,而对于电磁暂态仿真,由于能对直流系统换相进行高精度模拟,因此能很好满足系统风险分析及处理对策制定需要。基于此,可以确定技术路线,即实时数字仿真,创建一个镜像仿真平台。这一平台与控制保护装置之间闭环连接,除了能对整个换相过程和控制保护予以真实且动态的反映,还能对机群自身功角稳定性进行准确反映,从根本上满足系统运行状况分析各项需要。此外,近几年为了满足故障分析与处理方面的要求,还开发出了机电与电磁现结合的仿真平台。伴随电网规模的逐步增大,交流与直流系统之间的相互影响必然加大,这样一来,虽然电网自身抵御各类故障发生的能力得到增强,但由局部连锁或发生多重故障造成的影响与危害也将明显扩大,当发生单一严重故障时,可能会使系统发生失稳。对此,有必要借助仿真平台针对电网可能发生的各类严重故障实施定量分析,以此制定防范措施,同时进行有效性验证,形成以仿真技术为核心的防范机制,进而为后续直流输电系统设计运行及反映事故提供可靠的后盾。在直流输电系统建设中,借助仿真平台还能实现功能试验及动态性能试验检测。在项目正式建成并投入运行后,包含软件升级与修改在内的过程均需通

过仿真验证。例如,对直流保护定值进行优化,或对换相失败后的保护逻辑进行优化等,可作为后续系统运行管理工作及事故判别的重要参考依据^[6]。

2.4 技术应用展望

对于过去的高压直流输电技术,需依靠交流电网完成换相,要想使运行过程保持稳定,对交流系统自身短路容量提出了很高要求,如果近区交流系统发生故障将导致换相失败,同时要想使故障得到恢复,电网必须得到足够动态无功,以上是目前直流集中馈入后电网自身出现电压失稳问题的核心原因。柔性直流输电是将电压源换流器作为基础形成的一种全新输电技术形式,由于采用了电压源换流器,所以不需要电网电压换相,可以对换流站交流侧进行功率独立控制,从而具有良好的灵活性与可控性。在将来的电网建设过程中,可将这项技术用于距离较远的输电过程,也可用于背靠背联网,这样能大幅提升交流系统发生故障后低电压的过渡能力,为近区电网提供可靠的无功支持,从而减小复杂综合电网运行面临的风险^[7]。此外,考虑经济性方面的因素,可在将来容量较大的直流输电系统当中引入柔性直流技术,也可对现有的容量较大的直流逆变侧进行改造,形成柔性直流换流站,实现传统和柔性相结合的直流系统。伴随大功率电力电气器件参数不断优化,加之一系列新型换流站自身拓扑结构大量提出,以大容量和高电压为主要特点的柔性直流输电必定实现突破,这样一来,能使这项技术更加适用于多端直流,采用该技术建成直流电网后,能实现对电网整个结构的全面优化,提高电网自身可控性。目前我国很多地区的电网都引入了柔性直流输电,建成背靠背模式的换流站,已经正常投运多年,对柔性直流技术向多直流馈入方面的应用进行分析和研究,以期进一步提高电网自身抵御各类风险的能力,使多直流能够顺利且安全地馈入受端电网当中。

3 结语

(1)对于特高压直流输电,不仅技术成熟度高,而且系统运行状态稳定,能发挥出显著综合效益,为我国西电东送战略的达成提供了有力支撑。在未来加快速度发展这种技术与应用实践的基础上,要注意防范由此引起的各类系统风险,根据电网自身特性制定针对性防范措施,包括对网架结构进行优化、对直流落点进行分散、对直流规模进行优化和为受端电网提供可靠无功电压支持。

(2)由于特高压直流采用双12脉动阀组串联,加

之触发角不同,所以容易使串联部位出现谐波电压,这对高低压阀组采用分层接入形式或分送不同交流系统的项目而言,必须引起高度重视。

(3)通过对实时仿真平台的规模建设,能对特高压直流系统发生的故障过程进行详细且准确的反映,确定故障类型与位置,并能及时发现定值错误等潜在问题,据此针对控制保护系统制定优化措施,从而保证系统运行的可靠性与稳定性。此外,针对不同类型的故障开展针对性分析,特别是对严重故障进行仿真分析,验证防线系统是否完整,最终为系统的风险防御和控制提供根本保障。

(4)由于受到电网自身与地下各类金属设施造成的影响,在实际运行过程中无法使用直流单极大地运行方式,将接地极主要用作故障发生后短时电流通路,以此降低相应的设计标准,同时要对入地电流与其持续时间进行合理控制。

(5)相关研究与实践都表明,采用柔性直流技术能从根本上解决以往直流集中馈入后使电网失稳的问题,使交流电网具有更高的可控性,这是将来很长一段时间电网发展的主要方向及战略选择。通过加强这项技术的研究与实践,能起到提高电网运行安全性与可靠性的作用。

参考文献

- [1] 胡永昌,李泰,曹森,等.基于PSCAD/EMTDC的特高压直流输电系统并行仿真研究与应用[J].电力系统保护与控制,2021,49(17):178-186.
- [2] 谷琛,范建斌,李鹏,等.特高压直流输电国际标准化研究进展[J].中国标准化,2020(增刊1):291-296.
- [3] 王永进,樊艳芳.基于反行波与信号处理的特高压直流输电线路纵联保护方法[J].电力自动化设备,2020,40(3):114-121.
- [4] 王永平,卢东斌,王振曦,等.适用于分层接入的特高压直流输电控制策略[J].电力系统自动化,2016,40(21):59-65.
- [5] 卢东斌,王永平,王振曦,等.分层接入方式的特高压直流输电逆变侧最大触发延迟角控制[J].中国电机工程学报,2016,36(7):1808-1816.
- [6] 张彦涛,张志强,张玉红,等.应用特高压直流输电技术实现亚欧洲际输电方案的设想[J].电网技术,2015,39(8):2069-2075.
- [7] 陈仕龙,曹蕊蕊,毕贵红,等.利用多分辨奇异谱熵和支持向量机的特高压直流输电线路区内外故障识别方法[J].电网技术,2015,39(4):989-994.

作者简介:韦家毅(1980—),男,壮族,广西宜州人,本科,主要从事变电站施工安装技术与建设工程管理工作。