

# 特高压直流故障对交流系统稳定性的影响分析

哈丽曼·合孜尔 樊艳芳

(新疆大学电气工程学院 新疆 乌鲁木齐 830047)

**摘要:** 基于2016年新疆特高压交直流混联送端电网不同的运行方式,仿真分析 $\pm 800$  kV特高压直流输电系统发生不同类型的故障时对哈密地区与近区交流系统电压的影响;并且针对不同的故障形式采取不同的控制策略,分析不同控制策略对于交直流混联系统运行电压的影响。研究结果表明,在直流系统发生故障时,从故障类型来看,直流单极闭锁故障时,富裕功率小,对系统稳定运行影响小;双极闭锁故障时,富裕功率大,从而引起沿线交流母线电压的降低,严重时则引起电压失稳,对系统稳定运行影响大;发生换相失败对系统暂态电压稳定性影响较大。随着直流外送功率的不断增大,无论是直流双极闭锁故障还是换相失败故障均会出现暂态电压升更加严重的局面。

**关键词:** 特高压直流; 直流闭锁; 换相失败; 稳控方案; 电压影响

**Abstract:** Based on the different operation modes of Xinjiang UHV AC/DC hybrid sending grid in 2016, the influence of different failures occurring in  $\pm 800$  kV UHVDC transmission system on the voltage of AC system near the Kumul Prefecture is analyzed through simulation. Different control strategies are adopted according to different failure forms, and the influence of different control strategies on the operating voltage of AC/DC hybrid transmission system is analyzed. The research results are as follow: when DC system failure occurs, in view of different types of failures, DC monopole blocking results in low power surplus and a less influence on system operating stability; Bipolar blocking results in high power surplus which leads to the decrease of AC bus voltage along the line, even the voltage instability and a big influence on AC/DC hybrid transmission system. Commutation failure has a large effect on system transient voltage stability. With the constantly increase of DC power delivered to the outside, no matter DC bipolar blocking failure or the commutation failure, they all will lead to more serious transient voltage rise.

**Key words:** UHVDC; DC blocking; commutation failure; stability control scheme; voltage influence

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)02-0011-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.003

## 0 引言

新疆电网随着750 kV交流外送第二通道和 $\pm 800$  kV哈密—郑州特高压直流工程的投运正式进入特高压“交、直流混联”大电网时代,其具有大功率外送、交流电网薄弱和交、直流混联等特点。由于系统特性比较弱,本身无法抵御“大电网”背景下特高压交、直混联系统的常见故障,故对新疆电网的安全稳定运行要求进一步提高。结合新疆电网自身的特点,深入分析并对新疆电网现有的相关送端电网切机的稳控措施进行全面优化,提高新疆外送能力,与此同时,保证新疆电网不同故障形式下送端电网的安全稳定运行<sup>[1-5]</sup>。

目前,国内针对交直流混联系统常见故障对电网稳定性的影响和所采取的稳控方案有了初步的研

究。文献[6]中当新疆特高压直流输电系统发生双极闭锁故障时,提出协调优化切机不平衡量的稳控方案,几个方案相互之间做了比较。文献[7-9]分别分析了 $\pm 500$  kV林枫直流发生双极闭锁故障时对交流系统产生的冲击和 $\pm 1100$  kV特高压直流对四川电网稳定性的影响,提出用稳控装置切机切负荷的稳控措施,从而减少直流闭锁故障对交流系统产生的冲击。文献[10-12]对于大规模“风火打捆”直流外送系统直流故障,提出了改变直流传输功率与调节风机的有功出力的方案来减少系统的不平衡功率。文献[13-15]提出了当特高压直流发生闭锁故障时,为了减少直流闭锁故障对交流冲击性影响,展开研究稳控方案,提出综合考虑直流送端系统火电、新能源的切机方案,提高系统的稳定性。

结合2016年新疆电网与西北主网不同的运行方式,仿真分析 $\pm 800$  kV特高压直流输电系统发生

不同故障时对哈密地区与近区交流系统电压的影响,提出切除直流配套电源及配合切除配套交流滤波器的稳控策略,对提高特高压交、直流混联系统的稳定运行具有一定的参考价值。

## 1 电网规模与运行方式

### 1.1 系统概况

根据新疆750 kV网架规划,东部环网建成,吐哈双线改接至天山换流站,新疆中部电网将通过750 kV吐天双线+哈塘双线共计4回线路同主网联络,新疆通过两条750 kV交流通道与西北电网联网,一条±800 kV天中直流与华中河南电网联网。特高压交、直流混联电网送端网架结构如图1所示。

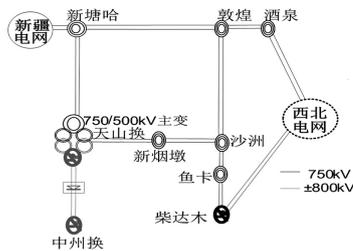


图1 特高压交、直流混联电网送端网架结构

### 1.2 运行方式安排

根据新疆电网2016年运行方式,综合考虑±800 kV天中直流外送功率、直流配套电源的投运状况以及750 kV交流线路外送功率的实际情况,新疆交、直流送端电网有3种典型的运行方式,如表1所示。

表1 新疆交直流送端电网运行方式

运行方式	直流送出功率/MW	直流配套电源/MW	交流线路外送功率/MW
方式1	6 000	配套火电6台 400	250
方式2	7 000	配套火电8台 500	250
方式3	8 000	配套火电10台 600	250

## 2 电网安全稳定运行条件

根据中国《电力系统安全稳定导则》定义,结合新疆电网实际的输电特性和负荷特性,当系统满足:系统内中枢点电压不低于80%  $U_n$ ,并且电压为减幅振荡,振荡逐步衰减消失;频率稳定即系统最低频率不应低至低频率减负荷装置最低频率轮频率值(47.5 Hz);系统高频时,高频不应高于电网中

发电机组高频率保护最低频率整定值(一般应不高于50.5~51 Hz);直流故障后750 kV联络线功率振荡呈衰减趋势,并最终趋于稳定。满足这些条件,认为系统稳定,否则认为系统不稳定。

电压要求:

- 1) ±800 kV天中直流500 kV母线电压故障后稳态电压不超过550 kV;
- 2) 750 kV稳态电压不超过840 kV;暂态电压不超过1.3 p. u.;
- 3) 220 kV稳态电压不超过252 kV;暂态电压不超过1.3 p. u.。

## 3 特高压直流故障对送端交流系统的影响分析

### 3.1 直流单极闭锁故障

在3种方式下,天中直流发生单极闭锁故障时,系统的稳定计算结果如表2所示。由表2可知,直流发生单极闭锁故障时,方式3电压失稳,其他方式系统均能保持稳定。在不采取任何稳控措施的情况下,由于故障后直流输送功率下降,功率瞬间转移到送端交流电网,从而引起送端近区交流系统母线的暂态稳定电压上升,严重的甚至导致电压失稳。

表2 直流单极闭锁故障计算结果

运行方式	稳定情况	暂态最大压升/kV
方式1	稳定	23
方式2	稳定	16
方式3	失稳	电压失稳

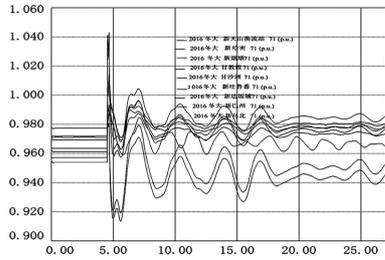
直流单极闭锁故障后对系统不同运行方式采取不同的稳控措施。运行方式1采取切除3组230 Mvar滤波器及1组270 Mvar滤波器;运行方式2采取切除3组230 Mvar滤波器及1组270 Mvar滤波器;运行方式3采取切除直流配套电源2 400 MW,1组270 Mvar滤波器及5组230 Mvar滤波器。采取稳控措施后直流单极闭锁故障计算结果如表3所示。由表3可以看出,对不同运行方式采取相应稳控措施后,系统的暂态最大压升大幅减小,并且都在系统承受范围之内。

在运行方式3下单极闭锁后采取相应稳控措施,系统电压及频率如图2所示。由图2可知,直流单极闭锁故障后母线电压升高,当稳控装置动作切

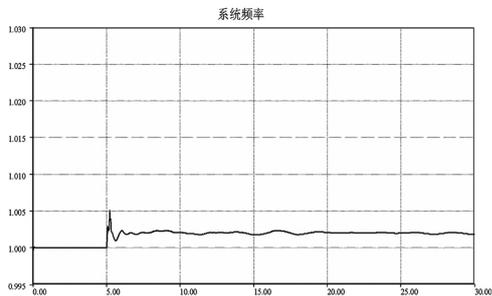
表3 采取稳控措施后直流单极闭锁故障计算结果

运行方式	稳定情况	暂态最大压升/kV
方式1	稳定	8
方式2	稳定	4
方式3	稳定	3

除直流配套电源及配合切除交流滤波器后,750 kV 母线电压维持在0.95~1.01 p.u.,频率在合理范围之内。



(a) 电压特性



(b) 系统频率

图2 方式3下单极闭锁后系统电压及频率变化

### 3.2 直流双极闭锁故障

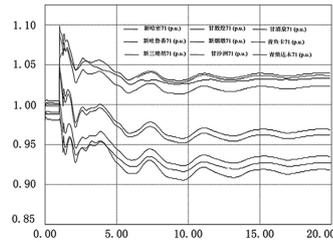
直流发生双极闭锁故障时,直流功率无法外送,此时送端电网将产生相当于故障前直流外送功率的电力盈余,大量的过剩功率将通过交流断面向东传送,造成输电通道上的输送功率急剧增加,从而引起沿线交流母线电压的降低,严重时则引起电压失稳。

在3种方式下,天中直流发生双极闭锁故障时,系统的计算结果如表4所示。由表4可以看出,直流发生双极闭锁故障时,在系统的3种运行下电压全失稳,进而引起系统运行失稳。

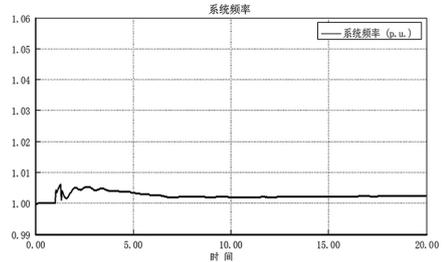
表4 直流双极闭锁故障稳定计算结果

运行方式	稳定情况	表现形式
方式1	失稳	电压失稳
方式2	失稳	电压失稳
方式3	失稳	电压失稳

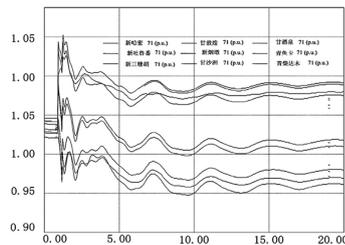
直流双极闭锁故障后对系统不同运行方式采取不同的稳控措施。运行方式1采取切除配套电源,运行方式2采取切除直流配套电



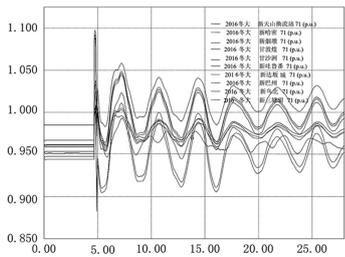
(a) 方式1电压特性



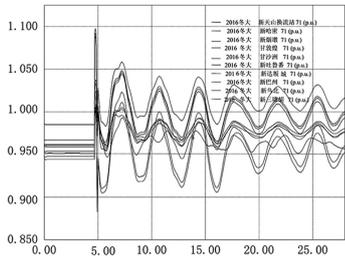
(b) 方式1系统频率



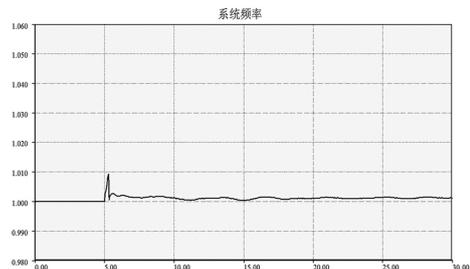
(c) 方式2电压特性



(d) 方式2系统频率



(e) 方式3电压特性



(f) 方式3系统频率

图3 直流双极闭锁后系统电压及频率变化



## 4 结 论

随着新疆电网特高压直流输电功率的增加,由直流闭锁等故障产生的富余功率也随之增加,这影响了新疆电网安全稳定运行,具体表现在:

1) 在直流系统发生故障时,从故障类型来看,直流单极闭锁时,富余功率小,对系统稳定运行影响小。由于直流输送功率下降而引起近区交流系统母线的暂态稳定电压上升,双极闭锁时,富余功率大,故障后会导致系统失稳。采取相应的稳控策略(切除直流场滤波器及配套机组)后,可以使系统稳定。

2) 随着直流外送功率的不断增长,直流闭锁故障均会出现暂态电压升更加严重的局面,750 kV 层面暂态电压升达到 80 kV 以上。应采取相应措施减少系统失稳概率。

3) 直流系统发生换相失败对系统暂态电压稳定性影响较大,影响最大在方式 3 情况下,750 kV 暂态电压升高、降低较大的变电站是天山换流站,达到了 66.8 kV;220 kV 暂态电压较大的变电站是烟墩变电站,达到了 15.7 kV。虽说直流系统发生换相失败对系统暂态电压影响大,但是故障以后 750 kV、220 kV 暂态电压和稳态电压都没超出电压要求范围,系统仍然稳定运行。

### 参考文献

[1] 齐旭,曾德文,史大军,等. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 1-6.

[2] 廖民传,蔡广林,张勇军. 交直流混合系统受端电网暂态电压稳定分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 1-4.

[3] 杨雄平,罗向东,李扬絮,等. 南方电网直流闭锁故障时受端系统电压稳定问题分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(22): 40-43.

[4] 董俊,束洪春,司大军,等. 特高压远距离大容量云电送粤中的稳定问题研究[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 10-15.

[5] 郑超,汤涌,马世英,等. 网源稳态调压对暂态无功支撑能力的影响研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 115-122.

[6] 钟显,樊艳芳,王一波,等. 含高密度风电、交直流送端电网直流闭锁故障稳控方案研究[J]. 电力系统保

护与控制, 2015, 43(13): 130-138.

[7] 李国栋,皮俊波,郑力,等.  $\pm 500$  kV 林枫直流双极闭锁故障案例仿真分析[J]. 电网技术, 2014, 38(4): 877-881.

[8] 叶圣永,王云玲,唐权,等.  $\pm 1100$  kV “疆电入川”特高压直流输电对四川电网安全稳定影响[J]. 电网技术, 2013, 37(10): 2726-2731.

[9] 卫鹏,汪成根,周前,等. 基于 ADPSS 的锦苏特高压直流对江苏电网运行特性影响研究[J]. 高压电器, 2013, 49(11): 69-75.

[10] 郭小江,马世英,申洪,等. 大规模风电直流外送方案与系统稳定控制策略[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(15): 107-115.

[11] 李生福,张爱玲,李少华,等. “风火打捆”交直流外送系统的暂态稳定控制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 108-114.

[12] 张爱玲,李少华,张崇见,等. “风火打捆”孤岛特高压直流送端电压和频率控制[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(3): 29-35.

[13] 郑传材,管霖. 云广特高压直流故障特性及其强迫停运对受端系统影响评估[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 32-38.

[14] 陈虎,张英敏,贺洋,等. 特高压交流对四川电网多送出直流输电系统影响评估[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 136-141.

[15] 陈树勇,逢博,陈得治,等. 新疆电网多送出直流输电系统运行特性分析[J]. 中国电力, 2014, 47(4): 102-107.

[16] 曾宪刚,王志滨,吕伟权. 交直流混合系统中交流故障对直流的影响分析[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 29-32.

[17] Rong Z, Zhanqing Y, Jinliang H, et al. Study on Restraining DC Neutral Current of Transformer During HVDC Monopolar Operation [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(4): 2785-2791.

[18] 刘之尧,唐卓尧,张文峰,等. 直流换相失败引起继电保护误动分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 104-107.

作者简介:

哈丽曼·合孜尔(1989),硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制;

樊艳芳(1971),硕士生导师、副教授,研究方向为电力系统稳定与控制、微电网控制技术研究。

(收稿日期:2016-12-18)