

# 链式供电结构下受端电网的稳控切负荷策略的优化研究

王 衡<sup>1</sup>, 姚秀萍<sup>1,2</sup>, 常喜强<sup>1</sup>, 周 专<sup>2</sup>, 张 锋<sup>1</sup>

(1. 国网新疆电力调度控制中心, 新疆 乌鲁木齐 830002;

2. 国网新疆电力公司经济技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830013)

**摘要:** 随着国家经济水平的不断提高, 电网的用电负荷不断增加, 同时由于某些电网网架结构薄弱, 采用链式结构供电, 导致电网中各重要断面功率接近极限运行。当电网发生故障情况下, 将导致断面超极限以及地区电网电压稳定性和频率稳定性等问题, 严重影响电网安全稳定运行。尤其是链式供电方式下受端电网发生机组跳闸, 将导致电网中多个断面超极限运行, 系统稳定性遭到破坏, 稳控装置动作。稳控装置动作可以保证电网安全稳定运行, 但是随着受端电网网架结构的不断建设, 受端电网装机容量以及单台机组容量不断增加, 造成稳控切负荷策略复杂甚至可能导致过切。通过对链式供电方式下, 受端电网机组发生跳闸进行分析, 找出了机组跳闸后的共性, 结合这一共性提出了一种新的稳控切负荷方案。运用 PSASP 程序对某电网进行仿真分析, 验证了该切负荷方案策略简单且不会导致过切, 具有重要的实用价值。

**关键词:** 稳控系统; 链式供电; 机组跳闸; 断面; 低电压; 切负荷

**Abstract:** With the constant improvement of the national economic level, the customers' load in power grid is increasing, and the chained structure of power supply is adopted due to the weak structure of power grid, which leads to the power at each important cross-section in the grid closes to the limit. When there are faults occurring in power grid, it will lead to the cross-section go beyond the limit and result in the problems such as the voltage stability and frequency stability in regional power grid, which seriously affects the safe and stable operation of power grid. Especially under the chained power supply, the tripping of the units in receiving-end power grid will lead to multiple cross-sections in power grid go beyond the limit, thus the system stability is destroyed and the stability control devices are in action. Stability control devices can ensure the safe and stable operation of power grid, but with the constant construction of framework structure of receiving-end power grid, the installed capacity of receiving-end power grid as well as the single unit capacity is increasing, resulting in a complex load shedding strategy for stability control, even possible over-shedding. Through the analysis of unit tripping in receiving-end power grid under the chained power supply, the general character after the unit tripping is found out. And in combination with the general character, a new load shedding strategy for stability control is proposed. The simulation analysis with PSASP in one power grid verifies the proposed load shedding strategy is simple and does not lead to a over-shedding, which has an important practical value.

**Key words:** stability control system; chained power supply; unit tripping; cross-section; low voltage; load shedding

中图分类号: TM734 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)03-0019-05

## 0 引言

随着国家经济水平的不断提高, 电网的用电负荷不断增加, 同时由于某些电网网架结构薄弱, 采用链式结构供电, 导致电网中各重要断面功率接近极限运行。当电网发生故障情况下, 将导致断面超极限以及地区电网电压稳定性和频率稳定性等问题,

严重影响电网安全稳定运行<sup>[1-3]</sup>。尤其是链式供电方式下受端电网发生机组跳闸, 将导致电网中多个断面超极限运行, 系统稳定性遭到破坏, 稳控装置动作。稳控装置动作可以保证电网安全稳定运行, 但是随着受端电网网架结构的不断建设, 受端电网装机容量以及单台机组容量不断增加, 同时由于受端电网机组故障跳闸的稳控切负荷策略需要结合受端电网各个断面故障前的传输功率情况, 因此将造成

稳控切负荷策略复杂。同时由于用户对用电的安全性和可靠性提出了更高的要求以及 599 号令<sup>[4]</sup>的颁布对用户损失负荷及保障供电的要求,都将对稳控系统带来了巨大挑战。

某些受端电网由于其自身负荷较重且电源分布较为匮乏,需要从另一区域大量供电,同时由于其受端电网内部供电范围较大,采取长链式结构供电,电网网架较为薄弱,系统短路容量较低。若受端电网发生大容量机组跳闸,容易致使某些断面超极限运行,同时导致某些电压支撑较弱的地区发生电压失稳,最终导致系统出现功角失稳。因此,需要结合受端电网机组跳闸这一故障,制定相应的安全稳定控制策略,切除受端电网部分负荷,使断面功率降低,电压恢复合理水平,保证系统安全稳定运行。

随着受端电网负荷的不断增长以及电源单机容量的不断增加,受端电网电源特别是大容量机组发生故障跳闸后对电网的安全性影响日益加重,为了在故障下准确切除一定量的负荷,不发生越切或欠切,稳控措施需准确结合机组跳闸前受端电网各供电断面的功率传输情况,这些都将导致稳控切负荷策略以及稳控系统的联络通信方案变得复杂<sup>[5-10]</sup>,这也将直接影响到稳控系统自身的可靠性。

因此需要重新对具有长链式结构特点的受端电网故障跳机的稳控切负荷方案进行研究,调整、优化切负荷方案。下面通过对链式供电方式下,受端电网机组发生跳闸进行机理分析,找出了机组跳闸后的共性,结合这一共性提出了一种新的稳控切负荷方案。运用 PSASP 程序对某电网进行仿真分析,验证了该切负荷方案策略相对于之前的稳控切负荷方案明显得到简化,并且不会导致过切或欠切,稳控动作的可靠性得到提高,具有重要的实用价值。

## 1 安全稳定控制系统

根据《电力系统安全稳定控制技术导则》规定,电力系统稳定控制体系分为三道防线。第一道防线:快速切除故障元件,防止故障扩大;第二道防线:采取稳定控制措施,防止系统失去稳定;第三道防线:系统失去稳定后,防止大面积停电。第一道防线靠继电保护装置快速、准确的切除故障元件。第二、三道防线是由电力系统安全稳定控制装置来承担,主要包括低频低压减载、失步解列、功率振荡解列和

高频切机等。

安全稳定控制系统主要针对较严重的扰动,作用于电力系统中的第二、三道防线,防止事故扩大及系统失稳,保证电网安全稳定运行。在电网发生大的扰动后,安全稳定控制装置及时正确动作,可有效避免系统发生功角、电压、频率稳定问题及过载问题。同时安全稳定控制系统的投入,可有效提高系统的输电极限,增强系统稳定能力。而安全稳定控制系统的切机和切负荷操作在电力系统运行中出现概率最大。由于 599 号令颁布以及用户对供电要求越来越高,应尽量减少切负荷量,同时由于电网中负荷重和电网网架的问题,因此要对安全稳定控制装置的切负荷操作进行研究。

## 2 链式供电网络

部分地区由于自身电源无法满足当地负荷的需求,需要从另一区域供电,形成受端电网特点。当某一受端电网自身电源相对匮乏时,将从另一区域大量供电,导致区域间联络线供电压力较大,同时由于受端电网自身供电范围较广,自身的电网网架及电源建设相对负荷增长相对滞后,网架建设还处在发展阶段,电网网架结构单一,与主网联系比较薄弱,一般都是长链式供电,各区域之间只通过一条或两条交流线互联,而各区域的负荷不断增加,造成各断面接近极限运行。

随着受端电网中电源不断的接入,可以降低断面的传输功率,提高系统的稳定裕度,但是随着单台机组容量的不断增加,机组跳闸对电网安全稳定运行的影响越来越大。受端电网中机组跳闸可能导致断面超极限运行,进一步破坏系统电压稳定、功角稳定等。图 1 为新疆南部地区电网结构图。

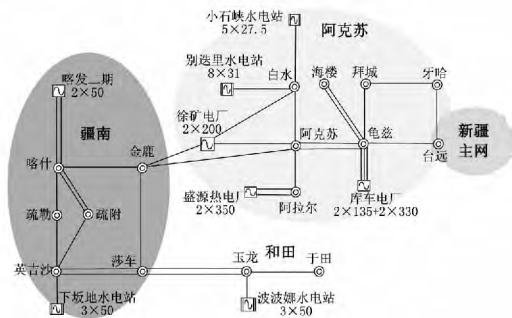


图 1 新疆南部地区电网结构图

如图 1 所示,新疆南部地区与主网仅通一回 750 kV 和两回 220 kV 交流线路形成电磁环互联,联系较为薄弱,联络线供电压力较大。同时南部各区域间及各区域内部也只通过两回 220 kV 交流线联络,供电距离长达约 2 000 km,供电距离较长,联系薄弱,同时沿线电源分布较少,形成典型的长链式供电结构。但是新疆南部三地区负荷比较重,表 1 为三地区负荷情况。

表 1 新疆南部地区负荷情况(2013 年)/MW

地区名称	9 月	10 月	11 月	12 月
疆南	920	860	1 100	990
阿克苏	1 000	1 050	1 250	1 250
和田	230	218	229	221

由表 1 可以看出,新疆南部三地区负荷比较重,但是三地区装机容量比较低且装机主要分布在阿克苏地区。新疆南部地区整体为受端网络,需要从主网大量吸收功率,潮流方向为:主网→阿克苏→疆南→和田,几个重要断面(台牙+台兹断面、兹拜+台兹断面、兹苏双线断面、徐鹿+苏鹿断面、鹿喀+鹿莎断面等)均接近功率极限运行。

若该受端系统中出现大容量机组跳闸,如库车 330 MW 机组、徐矿 200 MW 机组、盛源 350 MW 机组或喀发三期 350 MW 机组发生机组跳闸,均将导致各断面传输功率增加,同时导致受端电网特别是电压支撑较弱的地区如台远、牙哈、金鹿等地区的电压出现大幅度跌落,最终出现功角失稳,严重影响电网的安全稳定运行。

表 2 为机组跳闸后断面功率变化量,图 2 为机组跳闸后受端电网中电压曲线。

表 2 机组跳闸后断面功率变化量/MW

机组	台牙线+台兹线	兹苏双线	徐鹿线+苏鹿线
库车 1 号(135)	144.20	0	0
库车 3 号(330)	343.80	0	0
徐矿 1 号(200)	258.45	262.13	0
喀什 1 号(50)	68.00	70.10	63.50
波波娜 1 号(50)	69.90	71.50	65.43

从表 2 可以看出,机组跳闸后相应的断面功率急剧增加。尤其是受端电网中大机组跳闸后断面功率突增量特别大,断面严重超极限运行,严重影响电网安全稳定运行。

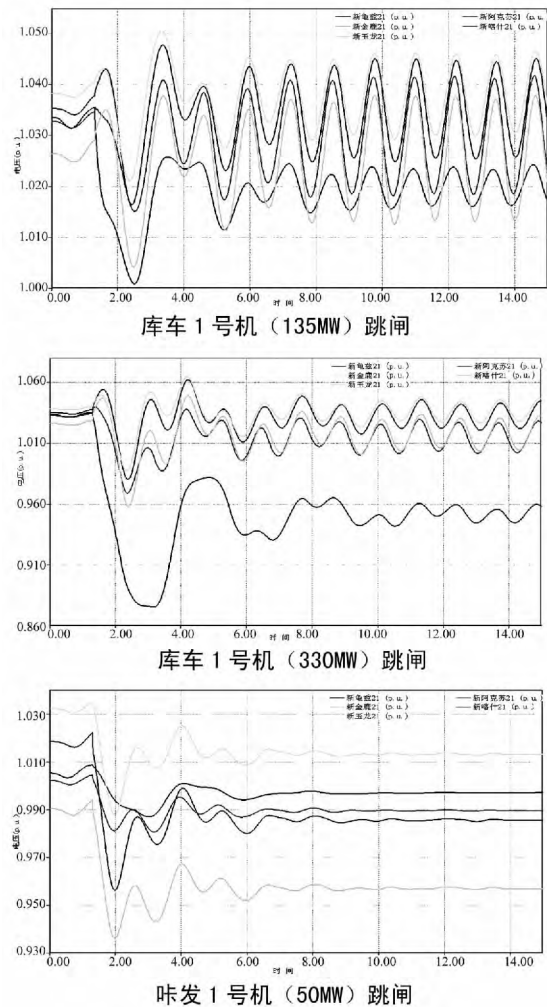


图 2 受端电网中机组跳闸后各变电站电压曲线

由图 2 可以看出,受端电网机组跳闸情况下,导致各断面传输功率增加,致使受端电网中电压降低,机组跳闸后电网稳定性遭到破坏,需要稳控装置动作,切除受端电网部分负荷,降低断面传输功率,使系统电压恢复到合理范围内,保证电网安全稳定运行。但是由于电网存在很多断面,机组出现跳闸故障后,稳控系统无法有针对性的简单判断出究竟是哪一个断面超极限运行,或哪一个地区的电压跌落最大超过允许值。因此存在当机组故障跳闸后,稳控系统可能只会“盲目”的切除与跳闸机组容量相匹配的负荷,但对于最佳切负荷点或最小切负荷量这两个方面来说,稳控系统无法满足这两点要求,因此可能造成的结果为稳控存在过切或欠切,稳控切负荷动作后,系统电压恢复偏高或偏低,严重时将出现功角失稳局面。

为了解决上述问题,在发生机组跳闸故障时,稳控系统可通过采集故障前所有断面的功率传输情况及故障后的各点电压跌落情况,将其发送至跳闸机

组的稳控装置,再由跳闸机组的稳控装置发令切除部分负荷。该方案可准确找出机组跳闸故障下最终导致系统出现功角失稳的关键断面及关键电压薄弱点,第一时间准确锁定需要切除负荷的区域以及所需切除负荷的大小,从而准确动作以最小的切负荷量来有效降低断面传输功率,同时快速恢复电压至合理范围内。该方案虽然解决了“盲目”切负荷的问题,但稳控措施及策略较为复杂,只一条策略就需要采集大量的数据和信息,通信通道占用容量较大,且通信交互、配置复杂,稳控系统的正确动作性对通信系统及所采集数据的准确性依赖较高。通信系统的可靠性较低,调试工作量大,且出现稳控动作出错的概率较高,不利于稳控系统的现场实际应用。因此,需要针对该问题进行稳控方案的优化,重新梳理稳控策略的相关思路,一方面有效、有针对性地解决问题,另一方面最大限度地简化稳控策略及方案。

### 3 切负荷策略研究

通过深入分析发现,当受端电网发生大容量机组跳闸的主要表现为:断面功率超极限运行以及部分地区电压跌落至允许值以下,而这也正是导致系统最终出现功角失稳的决定性和根本性的因素。因此解决问题的关键就在于如何以最简单、有效的方式降低断面功率至极限以下,以及恢复系统电压至允许值以上。

根据电网故障后电网运行表现出来的这一系列特点,如果可以准确捕获在机组跳闸前、后各断面的功率变化情况以及各点的电压跌落变化情况,即可准确找到影响电网安全稳定运行的关键断面和关键点,从而准确锁定切负荷区域及所需切负荷的大小。

但各个断面及各点信息在稳控系统采集后,在哪汇总、判断、分析和处理又成为一大问题,如果将其汇总至跳闸机组的稳控装置,势必又将造成稳控系统的复杂和可靠性低。如果将各断面、各点信息就地判断、分析,则有利于大大简化稳控系统的复杂性,但稳控系统如何将如何就地判断和动作,同时当机组跳闸后,可能出现多个断面同时出现超极限运行和电压低的情况,各断面的稳控策略将如何配合等将成为主要需要解决的问题。

最终,为了满足上述多个要求,对新疆电网南部地区的稳控策略进行如下优化:对南部电网多个关键断面制定功率突增策略,当南部机组出现跳闸后,如果功率突增量满足一定值,且功率突增后断面功率大于该断面功率极限值,或本站电压低于某一值

时,延时切除本地负荷。

这样就保证了稳控切负荷的有针对性和准确性。当电网发生故障跳机时,该策略可准确找到电气量变化最大、功率及电压裕度最低的断面,有效针对对电网影响最大的关键断面及关键电压薄弱点切除负荷,快速恢复电网稳定性。

同时为了简化稳控策略及通信的复杂性,将各断面信息量实现就地采集和就地判断、分析,不进行不同稳控装置间的交互通信,只要就地满足稳控动作要求即自动下发稳控切负荷命令,这样就实现了稳控切负荷策略与机组跳闸故障之间的解耦,简化稳控策略和通信,大大提高稳控动作的可靠性。

对于当机组跳闸后,可能出现多个断面同时出现超极限运行和电压低的情况,如果此时各断面稳控同时切除同一匹配量的负荷,则很有可能导致最终过切负荷。对此,在稳控策略中主要通过对不同断面设定不同的延时时间来进行配合,避免同时重复切除负荷。当某一断面稳控先切除一定量负荷后,将造成其余断面功率也随之降低,若该断面功率降低至功率极限以下,同时电压恢复至允许范围以内时,则该稳控策略将会返回,不再多切负荷。这就将不同断面间的稳控切负荷的策略进行了有机的配合,简单、有效的建立了南部整体地区链式网架对于大容量机组故障跳闸后的二道防御系统。

对比原来的切负荷策略,提出的切负荷策略,减少了安全稳定控制装置的信息交互,降低了稳控策略的复杂程度,解决了因网架结构问题导致的参数整定困难以及切负荷的配合问题,将单一机组跳闸的稳控切负荷策略分解为各个断面的功率突增切负荷策略,实现稳控策略的解耦和简化,同时防止安全稳定控制装置误切,减少了切负荷量,保证了系统安全稳定运行。

### 4 仿真分析

为了验证所提出的安全稳定控制装置的切负荷方案的正确性,取新疆南部实际电网,运用 PSASP 来进行计算分析。电网网架结构图如图 1 所示:

电网正常运行情况下,潮流方向为主网→阿克苏→疆南→和田。电网中电源情况:库车电厂(2×135 MW+2×330 MW)、徐矿电厂(2×200 MW)、喀什电厂(2×50 MW)、下坂地水电(3×50 MW)和波波娜水电(3×50 MW)等。正常运行情况下,台牙线+台兹线、兹拜线+台兹线、兹苏双线、徐鹿线+苏鹿线和鹿喀线+鹿莎线断面的传输功率较重,在

负荷高峰时段接近稳定极限运行。若受端电网中机组(库车电厂、徐矿电厂、喀什电厂等)发生跳闸,将导致各断面功率突增,造成断面超极限运行,受端电网低电压,系统稳定性将遭到破坏。

为了防止受端电网中机组(库车电厂、徐矿电厂、喀什电厂等)发生跳闸,导致地区电压过低,出现电压稳定问题及断面超极限运行,根据所提出的切负荷策略,制定切负荷策略如下。

当徐鹿线 + 苏鹿线断面功率( $P_{x1} + P_{s1}$ )突增量  $\Delta P_{dm}$ (方向指向金鹿)大于  $P_{set}$ ,且本站电压小于  $V_{set}$ ,时间  $T$  大于  $T_{set}$ ,切除本地区负荷:  $K_{set} \Delta P_{dm}$ 。通过仿真计算分析各参数整定值为

$$P_{set} = 50 \text{ MW}; V_{set} = 99\% \\ T_{set} = 2 \text{ s}; K_{set} = 0.2$$

结合上述切负荷策略,运用 PSASP 进行仿真分析,当喀什电厂机组跳闸之后,稳控切负荷量为 13.6 MW。切除金鹿地区负荷后,受端电网电压恢复到合理范围,徐鹿线 + 苏鹿线断面功率控制在极限以内。安全稳定控制装置切负荷动作后各变电站电压曲线如图 3 所示。

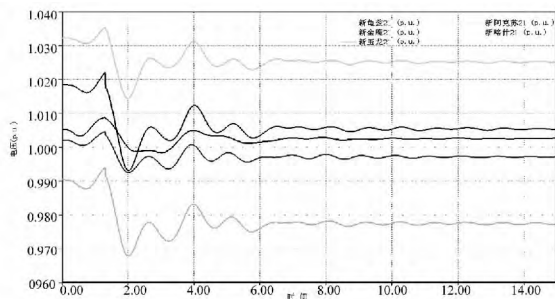


图 3 切负荷动作后受端系统各变电站电压

从图 3 可以得出,当喀什电厂机组跳闸后,受端系统中各变电站电压降低,徐鹿线 + 苏鹿线断面功率突增,安全稳定控制装置动作,切除金鹿地区部分负荷可以使受端系统电压恢复到合理范围内,保证电网安全稳定运行。同时通过图 3 可以证明,前面所提出的切负荷策略的有效性,可以保证安全稳定控制装置正确动作,保证电网安全稳定运行,也反应出该切负荷策略简单且各参数容易整定。

## 5 结 论

通过对链式供电方式下受端电网机组发生跳闸进行分析,得出当受端电网机组发生跳闸将导致电网中某些断面功率突增且超过功率极限运行,同时伴随有系统电压跌落较大等特点,针对这一特性,提

出了一种新的切负荷策略。通过对新疆南部实际电网仿真分析,证明了所提出的切负荷策略具有重要的实用价值,能准确找到大容量机组故障跳闸后对电网稳定产生重要影响的关键断面及关键点,确保安全稳定控制装置的正确、可靠动作,同时可有效防止由于稳控策略复杂或通信机制复杂等造成的稳控误切或过切负荷的现象出现,对于稳控策略各参数定值也较容易整定,只需要注意不同断面间稳控参数定值的整定配合即可。

### 参考文献

- [1] DL 755 - 2001, 电力系统安全稳定导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 李琳, 罗剑波, 周霞, 等. 基于风险管理的过载切负荷策略制定[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 821 - 826.
- [3] 刘昇, 徐政, 侯俊贤, 等. 一种基于 WAMS 的低压切负荷控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(15): 82 - 87.
- [4] 中华人民共和国国务院. 电力安全事故应急处置和调查处理条例[EB/OL]. [http://www.gov.cn/zw/gk/2011-07/15/content\\_1906887.htm](http://www.gov.cn/zw/gk/2011-07/15/content_1906887.htm), [2011 - 07 - 15].
- [5] 颜伟, 文一宇, 余娟, 等. 基于戴维南等值的静态电压稳定广域切负荷控制策略[J]. 电网技术, 2011, 35(8): 88 - 92.
- [6] 余文杰, 方勇杰. 一种基于 SMARTDevice 的低压切负荷算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(21): 57 - 60.
- [7] 傅旭, 王锡凡. 一种新的节点静态电压稳定指标及切负荷算法[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 8 - 12.
- [8] 丁涛, 董柏峰, 顾伟, 等. 基于 PMU 的电压稳定动态线性化指标优化切负荷算法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9): 27 - 33.
- [9] 邓继宇, 刘俊勇, 魏震波, 等. 基于 WAMS 预测的电力系统优化切负荷研究[J]. 华东电力, 2011, 40(1): 66 - 71.
- [10] 王菲, 余贻鑫, 刘艳丽. 基于安全域的电网最小切负荷计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(13): 28 - 33.

### 作者简介:

王 衡(1984), 工程师, 研究方向为电力系统分析与控制;

姚秀萍(1961), 硕士生导师、高级工程师, 研究方向为电力系统稳定与控制、调度自动化;

周 专(1987), 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制;

常喜强(1976), 高级工程师, 研究方向为电力系统分析与控制。

(收稿日期: 2014 - 02 - 28)