

# 西藏中部电网暂态电压稳定问题分析及 解决措施研究

郑勇<sup>1</sup>, 张立峰<sup>2</sup>, 晏小彬<sup>1</sup>, 何志强<sup>1</sup>

(1. 西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021; 2. 国网西藏电力有限公司, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:** 西藏中部电网“十三五”期电力负荷增长迅猛, 但电源建设滞后, 冬季受电比例较高, 暂态电压稳定问题较为突出。深入研究了西藏中部电网暂态电压稳定问题的机理和影响因素, 分析表明感应电动机、直流换流站在电网暂态恢复过程中的无功需求会恶化受端系统的稳定性。综合分析本地的优势资源以及电网侧可采取的的稳定措施, 其中新建光伏电站、调相机等措施均能有效地抑制中部电网电压失稳, 提高中部电网的受电能力。

**关键词:** 西藏中部电网; 暂态电压稳定; 感应电动机; 调相机

**Abstract:** Power load of central Tibet power grid will be growing rapidly in 13th Five - Year period, but the power construction lags, the proportion of receiving power in winter will be higher, and the transient voltage stability problem is much more outstanding. The mechanism and influencing factors of transient voltage stability problem in central Tibet power grid are deeply studied. The analysis shows that the reactive power demand of induction motor and DC converter station will worsen the stability of the receiving system in the process of transient recovery. The advantages of local resources and the stability measures on grid side are comprehensively analyzed, wherein newly - built solar - thermal power generation stations and synchronous condenser can effectively restrain the voltage instability of central power grid and increase the power receiving capability of central power grid.

**Key words:** central Tibet power grid; transient voltage stability; induction motor; synchronous condenser

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2017)02 - 0071 - 04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.016

## 0 引言

目前, 西藏电网由西藏中部电网、昌都电网和阿里电网共“一大两小”3个电网组成。其中西藏中部电网覆盖西藏中部拉萨、日喀则、山南、那曲和林芝等地区, 是西藏电网的主要负荷中心。目前西藏中部电网通过1回±400 kV直流线路与西北电网相连。2018年左右将建成西藏中部电网与昌都电网联网工程及拉林铁路配套供电工程, 实现西藏中部电网、昌都电网和四川电网的500 kV交流互联, 形成西藏—四川同步电网。

西藏中部电网冬季电源出力较小, 区外电力送入比例较大, 规划藏中电网四川电网2回550 kV交流联网线路长约1400 km, 通道缺乏电源支撑, 自身动态无功支撑能力较差; 加上主网架结构薄弱, “十三五”新增工业负荷占比又较大, 受端电网内部220 kV线路三相短路故障后暂态电压稳定问题较为突出。

下面对2018年西藏中部电网经昌都电网与四川电网的交流联网通道建成后的冬大方式进行电压稳定分析, 详细讨论西藏中部电网暂态电压失稳的影响因素, 分析提高其稳定的措施, 为电网规划、建设以及运行提供参考。

## 1 计算模型和工具

### 1) 负荷模型

负荷模型对电力系统的暂态稳定性具有复杂的影响<sup>[1-5]</sup>。目前西藏电网调度部门均采用综合动态负荷模型, 常规负荷感应电动机比例为30%, 工业负荷感应电动机比例为70%。“十三五”期中部电网工业负荷所占总负荷比例将从35%提高到50%, 主要有巨龙铜矿(220 MW)和华泰龙铜矿(110 MW)专用变压器接入墨竹工卡220 kV变电站, 雄村铜矿(86 MW)专用变压器间接接入多林220 kV变电站。为分析“十三五”期大型工业负荷对西藏中部电网的影

响,负荷类型选择两种比例的负荷: I 类全网采用 30% 的感应电动机负荷和 70% 的静态负荷模型; II 类大型工业负荷采用 70% 的感应电动机负荷 + 30% 的静态负荷, 剩余负荷构成为 30% 的感应电动机模型和 70% 的静态负荷模型。其中静态负荷模型按照 25% 恒阻抗 + 55% 恒电流 + 20% 恒功率分配。

### 2) 动态无功补偿

动态无功补偿对系统电压稳定影响较大<sup>[6]</sup>, 计算基础模型考虑已建或已批准的动态无功补偿设备, 包括拉萨 220 kV 环网和藏中交流联网通道的 SVC 装置。

### 3) 直流模型

直流暂态过程中的无功需求远大于稳态运行<sup>[7]</sup>, 直流模型采用青藏直流的实际控制参数, 包括低压限流环节和换向失败模型。

### 4) 计算工具和指标

分析计算工具采用中国电科院开发的电力系统分析软件(BPA)。扰动切除后电压低于 0.75 p. u., 持续超过 50 Hz 为电压失稳, 扰动切除后电压持续不可逆转地下降至 0.5 p. u. 以下为电压崩溃<sup>[8]</sup>。

## 2 暂态电压稳定主要影响因素

### 2.1 系统电压稳定分析

西藏中部电网 2018 年冬大方式分析结果表明 I 类负荷模型西藏中部电网单一故障不会引起电压稳定问题, II 类负荷模型墨竹至电源或换流站的线路单一故障会造成电网末端电压失稳或崩溃。表 1 中给出了藏中电网主要故障的分析结果。

表 1 系统故障稳定计算结果

故障	I 类负荷	II 类负荷
直流单极闭锁	稳定	稳定
沃卡—林芝—芒康三相短路	稳定	稳定
沃卡—山南三相短路	稳定	失稳
墨竹—沃卡三相短路	稳定	崩溃
墨竹—多布三相短路	稳定	崩溃
墨竹—朗塘三相短路	稳定	崩溃
墨竹—曲哥三相短路	稳定	崩溃
山南—羊湖三相短路	稳定	失稳
乃琼—羊湖三相短路	稳定	失稳

青藏直流单极闭锁后原青藏直流输送潮流转移至藏中—四川交流联网通道, 故障前交流联网通道

芒康—林芝段送电约 400 MW, 单极闭锁后联网通道承担转移功率 240 MW, 芒康、波密和雅中均配置了 120 Mvar 的 SVC, 系统无暂态电压跌落; 此时芒康—沃卡 500 kV 交流联网通道以及藏中 220 kV 环网配置的 SVC 无功出力能够满足潮流转移所需的动态无功需求, 两种负荷模型下系统均能保持稳定运行。

500 kV 交流联网发生三相短路故障时, 交流系统发生暂态电压跌落, 故障点离负荷中心和换流站均相对较远, 且林芝和山南 500 kV 下网点均有一定的电源支撑。故障切除后负荷中心和换流站电压迅速恢复至 0.75 p. u., 电网储备的动态无功能够满足此时感应电动机负荷以及直流暂态恢复的无功需求, 两种负荷模型下系统均能保持稳定运行。

区内 220 kV 电网发生三相短路故障, I 类负荷模型的暂态电压稳定性较好; II 类负荷模型系统末端的日喀则电网电压失稳或崩溃。电压崩溃故障控制点位于墨竹工卡附近。交流联网通道落点以及主要电源支撑主要位于山南和林芝, 负荷中心和换流站位于拉萨。墨竹工卡是山南和林芝至拉萨负荷中心 220 kV 送电通道的重要枢纽站, 220 kV 送电通道墨竹工卡侧三相短路造成最大范围的电压跌落。故障切除后系统电压约 0.5 ~ 0.6 p. u., SVC 最大出力下降约 70%, 负荷和换流站暂态无功需求增大, 系统电压恢复困难, 末端电压崩溃。墨竹—沃卡三相短路故障后系统主要节点电压如图 1 所示。

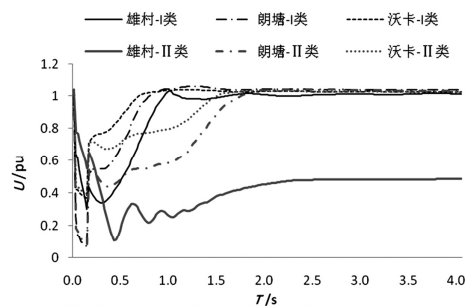


图 1 节点电压曲线

### 2.2 主要影响因素

#### 1) 感应电动机负荷

感应电动机负荷比例较高是中部电网电压失稳的主要原因, 暂态扰动后感应电动机将经历机械和电磁相互耦合、相互作用的复杂动态过程。中部电网负荷中心电压恢复困难, 末端的日喀则电网缺乏支撑。墨竹—沃卡三相短路后雄村和巨龙的无功负荷如图 2 所示, 位于日喀则电网的雄村铜矿负荷无

功需求增大至扰动前的3倍,感应电动机转速将快速降低直至“堵转”。

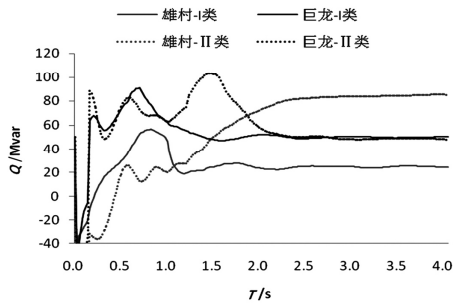


图2 节点无功负荷曲线

### 2) 直流换流站暂态后无功需求

在稳态阶段时,直流系统吸收的无功功率由换流站滤波器组提供,与交流系统基本不发生无功交换;但在故障后暂态过程中,直流系统所消耗的无功功率远大于稳态运行,而滤波器组发出的无功功率与母线电压平方成正比。如当电压跌至0.7 p. u.时,静态无功补偿将降至50%,直流系统将从交流系统吸入大量无功功率,恶化交流电网电压稳定特性。若交流系统强壮,可提供足够的动态无功支撑,则影响不大;但对藏中电网而言,系统规模较小,如图3所示,墨竹一沃卡三相短路后暂态恢复期间换流站从电网吸收的无功最高达到135 Mvar,青藏直流系统的无功电压特性对西藏中部电网暂态电压稳定性有重要影响。

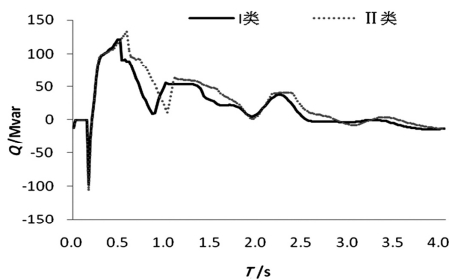


图3 换流站从电网吸收的无功功率

综上所述,网内220 kV电网三相短路故障系统暂态电压跌落,网内电源支撑较弱,SVC出力受限,感应电动机负荷诱发系统电压失稳;此外直流功率恢复需要吸收大量的无功,进一步恶化了系统电压稳定性。

## 3 解决措施研究

### 3.1 措施可实施性分析

采用II类负荷模型时西藏中部电网存在暂态电

压失稳,主要原因是感应电动机负荷所占比例较大、直流换流站暂态后无功需求增大、网内特别是电网末端电源支撑较弱缺乏足够的动态无功支撑。为提高电网枯期暂态电压稳定性,可选择的措施主要有3类:1)增加电源;2)增加调相机;3)装设SVC或SVG等动态无功补偿装置。

#### 1) 增加电源

西藏水能、地热、太阳能和风能等可再生资源十分丰富,化石能源缺乏。区内规划电源主要有水电、光伏、光热、风电以及燃气机组,其中水电、地热、光热和燃机可以有效增强枯期电源支撑。但是地热资源远离负荷中心,建设工期长,目前只能小规模开发;水电站建设工期长,建设难度相对较大,规划电源提前建成难度较大。故“十三五”期增加电源方案可用的解决措施如下:

##### ① 光热电站

光热电站类似于常规火电站具有出力平稳、可参与调峰、有效改善电源结构、建设周期相对较短等优点。根据《十三五西藏太阳能热发电规划》,西藏中部的日喀则、山南和拉萨等地区均具备建设大规模光热电站的条件。可在末端的日喀则电网建设200 MW光伏电站接入多林或羊湖220 kV变电站。

##### ② 燃气电站

规划“十三五”期建设格拉输气管道,届时在燃料供应充裕时可将拉萨1号燃油机组改为燃气机组,同时建设2号燃气机组。2台燃机均通过燃乃线接入乃琼220 kV变电站。

##### ③ 电源多开机

西藏中部电网电源以水电为主,电源多开机有2种方式:一是部分水电机组调相运行<sup>[9]</sup>,目前羊湖电厂具备调相机运行的条件;二是水电机组采用低负荷方式,西藏大部分水电机组避开振动区的稳定出力范围在额定出力的45%~100%<sup>[10]</sup>。在旁多和藏木等主力水电站能够适应调相机运行或者机组低负荷运行情况下,水电多开机组约250 MW。

#### 2) 调相机

同步调相机在1~2 s内无功出力可达到其额定容量的2倍以上,为系统提供无功电压支撑,提高电压稳定性。朗塘换流站站外具备扩建同步调相机的条件,考虑在换流站扩建2台100 Mvar调相机。

#### 3) SVC

除新建电源、调相机或电源多开机等方案外,可

采用 SVC 等快速响应的 FACTS 设备提高受端电网的动态无功支撑能力。朗塘换流站具备站外扩建 SVC 的条件,考虑在朗塘建设 200 Mvar 的 SVC。

### 3.2 措施效果比较

针对 II 类负荷模型分别采用上述措施后,西藏中部电网末端电压曲线如图 4 所示,结果表明上述措施均能有效提高西藏中部电网的暂态电压稳定性。

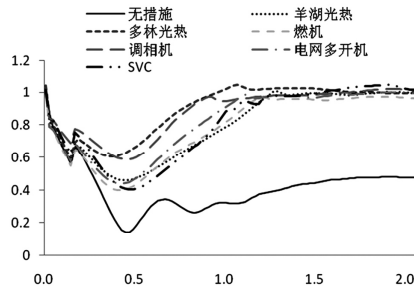


图4 电网末端电压曲线

对于增加电源类方案,电网末端建设光热电站接入多林 220 kV 变电站的系统暂态电压稳定性明显优于羊湖和乃琼 220 kV 变电站接入新增电源或电源多开机方案,西藏中部电网电源建设于电网末端更有利于提高系统暂态电压稳定性。

对于上述 3 类方案,由于调相机 1~2 s 内无功出力可达到其额定容量的 2 倍以上,SVC 或 SVG 无功出力和电压的平方成正比,受参数等多方面因素的限制发电机无功出力比调相机小。在 3 类方案接入点和规模基本相当时,调相机方案的系统暂态电压稳定性明显优于其余方案。

## 4 结论和建议

通过对西藏中部电网 2018 年冬大运行方式暂态电压稳定分析,结果表明:

1) 中部电网网内 220 kV 电网三相短路故障后,由于网内电源支撑较弱,感应电动机负荷比例较大以及直流功率恢复需要吸收大量的无功导致系统电压失稳。

2) 结合西藏资源条件,“十三五”期建设光热、燃机、调相机、SVC 以及电源多开机等措施均可增强西藏中部电网动态无功支撑,有效提高暂态电压稳定性。西藏中部电网电源建设于电网末端的日喀则电网更有利于提高系统暂态电压稳定性,同等规模

下调相机方案的电源支撑和电压稳定性优于增加电源方案和 SVC 方案。

3) 建议“十三五”期在换流站建设一定容量的调相机,应鼓励建设一定规模的光热电站,新建发电机组应具备低负荷运行能力;调度安排运行方式时应尽量降低单台机组出力,增大中部电网开机容量。新增工业负荷应尽可能降低感应电动机的使用比例。

### 参考文献

[1] 西藏地区大中型矿业负荷特性对联网通道稳定性的影响研究[R]. 北京:中国电力科学研究院,2015.

[2] 孙华东,周孝信,李若梅.感应电动机负荷参数对电力系统暂态电压稳定性的影响[J].电网技术,2005,29(23):1-6.

[3] 曹路,励刚,武寒.马达负荷模型对华东电网暂态稳定性的影响分析[J].电网技术,2007,31(5):6-10.

[4] 应林志,王建全.负荷模型对特高压接入浙江电网暂态稳定分析的影响[J].华东电力,2011,39(1):121-124.

[5] 赵贺,周孝信.受端系统负荷对高压直流输电的影响[J].中国电机工程学报,2007,27(16):1-6.

[6] 孙元章,王志芳,卢强.静止无功补偿器对电压稳定性的影响[J].中国电机工程学报,1997,17(6):373-376.

[7] 李兴源.高压直流输电系统[M].北京:科学出版社,2010.

[8] 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.

[9] 周德贵.发电机组作调相机运行的分析与实践[J].四川电力技术,2001,24(3):1-6.

[10] GB/T 15468-2006,水轮机基本技术条件[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2006.

作者简介:

郑勇(1975),硕士、高级工程师,从事电力系统规划设计工作;

张立峰(1978),硕士、高级工程师,研究方向为电网技术与控制;

晏小彬(1987),硕士、工程师,从事电力系统规划设计工作;

何志强(1979),硕士、高级工程师,从事电力系统规划设计工作。

(收稿日期:2016-10-18)