

毕节新能源送出电网故障分析及 送电能力提高措施分析

明杰¹, 王国松², 梅涛¹

(1. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021;
2. 贵州电网有限责任公司电力调度控制中心, 贵州 贵阳 55000)

摘要: 电网稳控系统作为整个电力系统的重要保护手段, 可以避免电网故障进而引发大范围停电的情况发生, 是保证电网安全稳定运行的重要防线。首先, 分析了毕节新能源建设工程情况; 其次, 根据该区域电网2023年网架情况, 对该区域内电网交流系统进行了详细的稳定计算, 分析系统存在的稳定问题和薄弱环节; 最后, 针对不同的交流线路故障, 提出提高毕节新能源送出的措施建议, 为该区域大电网安全运行提供保障。

关键词: 电网稳控系统; 稳定计算; 变电站; 稳控策略

中图分类号: TM 732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2023)04-0081-04

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20230415

Fault Analysis of Bijie New Energy Transmission Grid and Measures for Improving Transmission Capacity

MING Jie¹, WANG Guosong², MEI Tao¹

(1. Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, Sichuan, China; 2. Power Dispatching Control Center of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002, Guizhou, China)

Abstract: The power grid stability control system, as an important protection measure for the entire power system, can avoid power grid failures resulting in large-scale power outages, and is an important defense line to ensure the safe and stable operation of power grid. Firstly, the situation of new energy construction project in Bijie is analyzed. Secondly, based on the grid structure of its regional power grid in 2023, a detailed stability calculation is carried out for AC system of power grid in this region, and the stability problems and weak links of the system are analyzed. Finally, measures and suggestions are proposed to improve the transmission ability of new energy in Bijie for different AC line faults, which provides guarantees for the safe operation of regional power grid.

Key words: power grid stability control system; stability calculation; substation; stability control strategy

0 引言

随着大规模电网互联、远距离输电的不断发展、分布式发电的大量运用以及电力电子等设备越来越多, 电网的内部结构和运行特点变得复杂, 电网安全稳定问题日益突出, 同时电网局部产生的故障也可能导致大电网的崩溃, 造成不可估量的损失^[1-4]。因此, 及时发现故障、分析故障原因并采取相应稳定

控制措施, 可以保证大区域电网的供电可靠性, 防止电网故障后果的进一步加重。

稳控系统作为电力系统的重要防线, 保护着系统各设备在正常范围内工作。在电网发生故障失稳后, 稳控系统通过切发电机组、切负荷来减少出力和负荷, 调整功率(上升或下降), 以此来实现故障区域或更大范围电网的安全稳定控制^[5]。稳控系统有助于维持功角、电压稳定以及电网的可持续稳定供电^[6-10]。

下面分析毕节新能源送出电网安全问题。针对该区域电网网架不断变化以及发电、负荷逐步增加的情况,研究毕节区域电网出现的交流故障以及故障发生后稳定控制系统采取的措施,对有效抑制故障的进一步扩大、保障电网安全运行具有重要意义。

1 毕节新能源概况

毕节新能源以光伏发电为主,集中在乌撒区域。光伏发电集中汇集到 220 kV 光伏汇集站 1 和 220 kV 光伏汇集站 2。当地的水电汇集到 220 kV 水电汇集站。220 kV 光伏汇集站 1 和 220 kV 水电汇集站分别经 220 kV 联络线接入 500 kV 汇集站,再经 1 回 500 kV 联络线路长距离接入主网的 500 kV 变电站 3 实现与主网连接。毕节新能源送出电网如图 1 所示。

光伏群总装机容量为 460 MW,各光伏站装机容量见图 1。

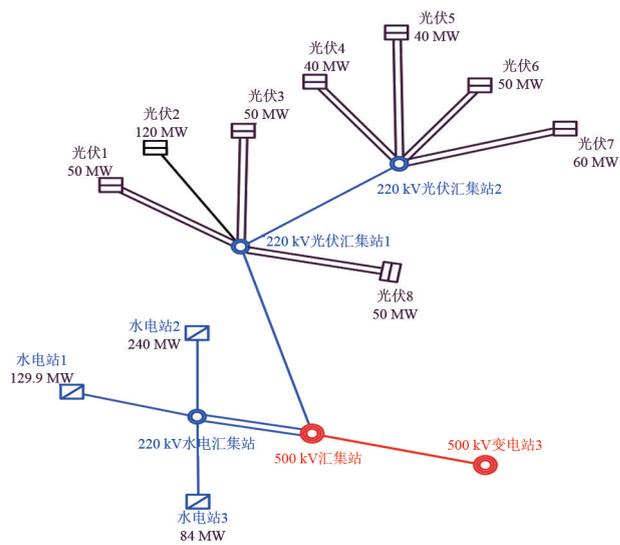


图 1 毕节新能源送出电网

2 研究方法及原则

2.1 计算原则

2.1.1 计算模型及稳定判据

1) 发电机模型:采用“ E_q ”和“ E_d ”电势变化的计算模型。

2) 负荷模型:采用 50% 感应电动机+50% 恒阻抗的综合负荷模型,并计入频率因子。

3) 直流模型:采用能模拟直流电压和电流测量环节、电流调节器、VDCOL 限制环节以及触发控制

环节的直流控制系统模型。

根据《电力系统安全稳定导则》和《南方电网安全稳定计算分析导则》,系统稳定应同时满足:

1) 暂态稳定。遭受扰动后,同步系统内各机组之间功角相对摇摆,经过第一、第二振荡周期不失步,作同步衰减振荡,系统中枢点电压逐渐恢复。

2) 动态稳定。电网在遭受大小干扰后,仍能通过自控设备维持自身长时间稳定运行,一般指在干扰后,不出现发散性或持续性的振荡。

3) 电压稳定。电网电压受到干扰后在一定条件下仍能维持或恢复到安全范围内,不出现电压崩溃的现象,电压稳定包括电压静态和暂态稳定。

4) 频率稳定。电网遭受剧烈干扰后,在电源与负载的巨大不平衡条件下,电网频率仍可维持在可接受范围内而不出现频率崩溃。

5) 热稳定。电网中的电力装置能经受住短路电流所引起的热效应,而不会造成装置的损害。

2.1.2 故障类型与计算时序

电网故障主要包括单相瞬时性故障、线路三相永久性故障、主变压器故障、平行线路单回三相永久性跳双回及电厂送出线路 $N-1.5$ 故障以及稳控远方切机、切负荷时间故障等。计算时序如表 1 所示。

表 1 计算时序

故障类型	计算时序
单相瞬时性故障	故障后两侧 0.1 s 故障相跳开,故障后 1.1 s 故障相重合闸成功
线路三相永久性故障	故障后两侧 0.1 s 跳开
线路单回故障跳双回故障	故障后两回线路两侧 0.1 s 跳开
主变压器故障	故障后 0.1 s 主变压器各侧跳开
双回线路 $N-1.5$ 故障	一回线路三相永久性故障后 0.1 s 线路两侧跳开;另外一回线单相瞬时性故障,故障后 0.1 s 故障相两侧断开
稳控远方切机、切负荷时间	交流故障后 0.3 s

2.2 计算方式

“ $N-1$ ”原则,又称为单一故障安全检验法则,是一种基于电网稳定运行的技术需求,具体指电网中任一电力器件在正常运行下或由于故障被切断,电网能维持稳定的工作状态且其他部件不负载运行,电压、频率都保持在安全范围内。所选取的基础计算方式突破“ $N-1$ ”原则,即在夏季考虑毕节区域水电、火电、新能源等电力均尽量满发,只要正常运行时无元件过载即可, $N-1$ 故障后出现的稳定问题则依靠安全稳定控制措施解决。

同样以“保证正常运行时无元件过载, $N-1$ 故障后出现的稳定问题依靠安全稳定控制措施解决”为原则,在 2023 年夏小多发方式下做 500 kV 及 220 kV 线路检修,具体检修方式主要包括 500 kV 汇集站升压变压器检修、500 kV 变电站 3 主变压器检修、500 kV 双回线一回线路检修、220 kV 双回线一回线路检修等。

3 交流系统故障及提高送电能力措施分析

以在 2023 年夏小多发方式下,500 kV 线路单相瞬时性故障为例,测算 500 kV 联络线和 220 kV 水电联络线两侧的相角差、测定电压及余弦电压,如图 2、图 3 所示。

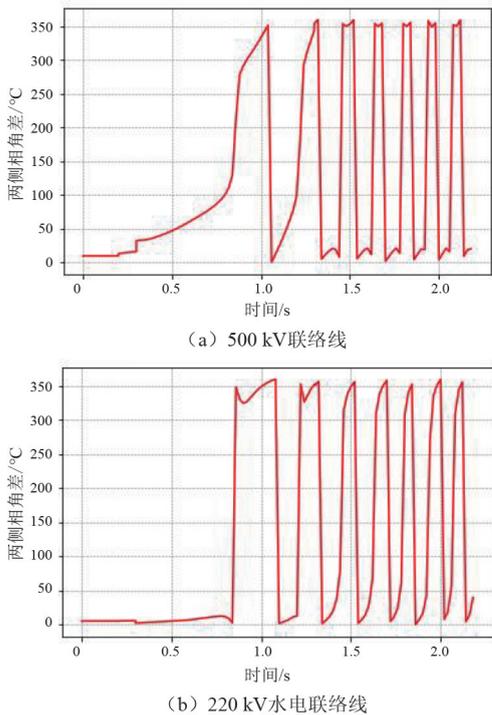


图 2 联络线两侧相角差

根据图 2 和图 3 中两侧相角差及测定电压可判断,电网内交流线路故障后出现功角失稳问题及振荡中心落在 500 kV 联络线或者 220 kV 水电联络线上。

光伏和水电打捆后送出能力受不同能源出力比例的影响,为避免功角失稳问题,列举两种方式的不同能源出力比例进行仿真,计算结果如表 2 所示。

方式 1:减小光伏出力 80 MW 以使 500 kV 联络线潮流为 820 MW,500 kV 联络线单相瞬时故障无暂稳问题。

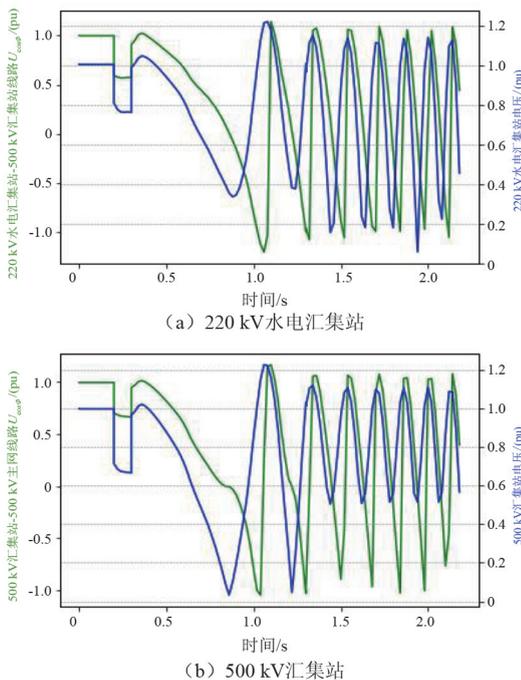


图 3 测定电压及余弦电压 $U_{\cos\phi}$

表 2 500 kV 汇集站至 500 kV 变电站 3 线路预控方式

方式	500 kV 联络线潮流/MW	水电出力/MW	光伏出力/MW
方式 1	820	454	380
方式 2	779	332	460

注:表中未示出网损。

方式 2:减小水电出力 120 MW 以使 500 kV 联络线潮流为 779 MW,预控,500 kV 联络线单相瞬时故障无暂稳问题。

为提高 500 kV 联络线送电能力,通过提高光伏电站电压稳定能力来实现,考虑采用静止无功发生器(static var generator,SVG)增容、加装调相机以及新建串联补偿装置等方式。

1) SVG 增容

表 3 为以 220 kV 光伏汇集站 1、220 kV 光伏汇集站 2 作为节点,新增不同容量的 SVG 后的送电能力分析。

表 3 SVG 增容提高送电能力分析

序号	新增 SVG 容量/Mvar	撒奢线有功功率/MW	负载率/%
1	110	879.6	43.12
2	220	908.4	44.53
3	330	927.4	45.46
4	440	936.9	45.93
5	550	946.2	46.38

SVG 容量从 110 Mvar 至 550 Mvar,对应的有功功率也随之增加。通过安装和调节这些 SVG 设备,可以有效控制系统的无功功率流动,提高电力系统

的稳定性和可靠性。

2) 新建串联补偿装置,补偿度为 30%,乌撒电源可满出力。

3) 新建调相机 100 Mvar,毕节新能源可满出力。

4 结 论

上面对毕节新能源 500 kV 送出系统进行了电网稳定研究,分析了毕节新能源和水电送出 500 kV 联络线存在的稳定问题,提出了提高送电能力的措施。

参考文献

- [1] 李明节.大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J].电网技术,2016,40(4):985-991.
- [2] 杨欢欢,付超,李诗旸,等.南方电网稳定控制系统高保真传动试验方案设计与结果分析[J].南方电网技术,2022,16(5):1-8.
- [3] 许涛,励刚,于钊,等.多直流馈入受端电网频率紧急协调控制系统设计与应用[J].电力系统自动化,2017,41(8):98-104.
- [4] 朱锐,黎劲松,杨宝起,等.高比例新能源接入区域电网稳定控制技术探讨[J].电工技术,2021(12):46-49.

(上接第 68 页)

- [13] 秦川,姜燕.基于经济等效时间考虑电压暂降的供电可靠性评估方法研究[J].电力电容器与无功补偿,2022,43(1):144-150.
- [14] 林志超,罗步升,宋志坚.一种基于过程免疫时间的电压暂降后果分级指标[J].云南电力技术,2020,48(6):20-24.
- [15] 肖先勇,秦铄,汪颖,等.考虑敏感设备中断概率的电网线路改造优质供电运营模式研究[J].电网技术,2023,47(2):584-594.
- [16] 汪颖,李成鑫,李国栋,等.基于响应事件工艺参数免疫时间的设备电压暂降敏感特征识别[J].四川大学学报(工程科学版),2016,48(4):181-187.
- [17] 刘旭娜,张文涛,魏俊,等.基于配电网过电流保护的电压暂降缓解方法[J].电气应用,2017,36(22):69-74.
- [18] HUANG Anjunguo, XIAO Xianyong, WANG Ying. Evaluation scheme of voltage sag immunity in sensitive industrial process[J]. IEEE Access, 2021, 9:66398-66407.
- [19] 罗珊珊,陈兵,汪颖,等.基于过程免疫力和优化 K 近邻估计的配网电压暂降频次估计[J].电工电能新技术,2022,41(7):25-37.
- [20] 徐琳,刘畅,杨华.敏感工业过程电压暂降免疫时间评估[J].电力电容器与无功补偿,2021,42(2):110-116.
- [21] 钟庆,何淇彰,陈伟坤,等.基于甘特图的过程免疫时间计算方法[J].电力系统自动化,2019,43(7):174-181.

- [5] 肖友强,李玲芳,陈义宣.云南电网稳控系统的优化配置研究[J].云南电力技术,2017,45(1):118-119.
- [6] 郝雨辰,江叶峰,仇晨光,等.基于多代理系统的直流微电网分区域式稳定控制方法研究[J].电力工程技术,2017,36(5):15-20.
- [7] 郭剑,朱炳铨,徐泰山,等.基于历史数据聚类分析的暂态功角稳定故障筛选[J].电力工程技术,2020,39(2):75-80.
- [8] SHU Y B, TANG Y. Analysis and recommendations for the adaptability of China's power system security and stability relevant standards[J]. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2017, 3(4):334-339.
- [9] YU W J, XUE Y S, LUO J B, et al. An UHV grid security and stability defense system: considering the risk of power system communication[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 7(1):491-500.
- [10] 郭琦,朱益华,常东旭,等.电网安全稳定控制系统远程试验方法及工程应用[J].电力系统自动化,2020,44(1):152-159.

作者简介:

明杰(1992),男,硕士,工程师,研究方向为电力系统稳定与控制。

(收稿日期:2023-01-19)

- [22] 肖先勇,谭秀美,汪颖,等.基于电气特性-物理属性-感知损失的电压暂降经济损失评估[J].中国电机工程学报,2018,38(S1):105-110.
- [23] 李天楚,伍智鹏,方铭,等.基于 Larsen 推理的电压暂降下工业过程负荷损失率评估方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(4):145-153.
- [24] 胡兵,徐友才,朱瑞.现代科学与工程计算基础[M].成都:四川大学出版社,2018.
- [25] IEEE recommended practice for monitoring electric power quality:IEEE Std 1159:2009[S/OL].[2022-10-05].
<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=8796484>.

作者简介:

马骏(1984),男,工程师,从事电气管理工作;
景源(1981),男,助理工程师,从事电气技术管理工作;
易见(1983),男,高级工程师,从事天然气离心式压缩机组管理工作;

周之松(1988),男,高级工程师,从事水电、压缩机管理工作;

徐方维(1978),女,博士,教授,研究方向为电能质量与电磁兼容;

龙晨瑞(1998),男,硕士研究生,研究方向为电压暂降治理技术。

(收稿日期:2022-12-05)