

攀西电网电力外送通道核心架构优化研究

秦浩庭¹, 张 苏¹, 胡 浩¹, 彭 友², 钟 帆²

(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. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 611756)

摘要: 首先梳理了攀西地区的电源电网规划情况, 通过仿真分析了“十四五”期间攀西电网的潜在问题; 针对潜在安全风险对攀西电网电力外送通道核心架构进行优化研究, 提出两类优化方案, 并分别从暂态稳定、断面送电能力、短路电流等方面进行全面比较得出推荐方案: 采用新建月城 II 500 kV 开关站, 优化调整攀西地区网架结构, 将攀西电网调整为南北两个通道隔离、换流站分组接入的方案, 从而保障系统安全稳定运行。

关键词: 攀西电网; 500 kV 变电站; 暂态稳定; 送电能力; 短路电流; 优化方案

Research on optimizing the core architecture of power transmission channels in Panxi power grid

QIN Haoting¹, ZHANG Su¹, HU Hao¹, PENG You², ZHONG Fan²

(1. Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, China; 2. School of Electrical Engineering, South West Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: This study begins by providing an overview of the power generation and grid planning situation in the Panxi region. Through simulation analysis, it assesses the potential issues within the Panxi power grid during the “14th Five-Year Plan” period. To address the identified security risks, an optimization study of the core architecture of the power export channels within the Panxi power grid is conducted. Two categories of optimization solutions are proposed, and a comprehensive comparison is made based on transient stability, cross-sectional power transmission capacity, short-circuit currents, among other factors, leading to the recommendation of the following solution: the construction of a new Yuecheng II 500 kV substation, coupled with an optimized adjustment of the Panxi region’s grid structure. This adjustment involves transforming the Panxi power grid into a configuration with two separate north-south channels, each with grouped converter station access, thereby ensuring the secure and stable operation of the system.

key words: Panxi power, grid; 500 kV substation; transient stability; transmission capacity; short circuit current; optimization scheme

0 引言

化石能源的过度使用导致资源逐渐短缺,

同时也对全国环境造成了严重污染。因此, 大力发展光伏、水电、风电等清洁能源成为了各地区

电网的共识^[1-2]。四川水资源丰富,截至2020年全省水电装机7 892万kW, 占全省电源总装机的78.1%, 位居全国首位。同时, 光伏装机容量和风电装机容量也在逐年上升。截至目前, 四川电网已形成了以500 kV为骨干的主网架和“四直八交”外送通道, 发展成为省级大电网和西部大枢纽。攀西电网作为西藏和西南主网的重要枢纽及电力输送通道, 是四川电网的重要组成部分^[3-4]。然而, 清洁能源的大量接入会带来一系列问题, 给电力系统的安全可靠运行带来巨大挑战^[5-8]。

文献[9]对柔性直流输电装置接入电力系统后的短路情况进行了分析, 发现短路电流水平接近甚至超过断路器限值; 文献[10]针对多直流接入系统的稳定性进行了研究, 梳理了功角稳定、谐波谐振和变流器导致的稳定问题。随着雅湖直流、建苏直流、金塘直流及其配套电源陆续投运, 攀西电网以月城站为中心, 共计支撑4回特高压外送直流, 其系统性风险不断累积。同时随着白鹤滩水电站、金上巴塘电站陆续投运, 由于外送直流建设略微滞后, 2022年攀西断面丰枯期水电送出需求1 180万~1 780万kW, 已超过现有攀西断面的运行限额850万kW; 随着新能源并网的规模逐步提升, 外送直流均投产的情况下, 2023—2025年攀西地区丰枯期最大送出需求800万~1 100万kW; 预计到2030年攀西地区丰枯期最大送出需求2 000万~2 200万kW。因此, 攀西地区亟需加强外送通道以满足富余电力送出需求。不少文献针对攀西电网类似的问题提出了改善方案, 如文献[11]将直流功率之和作为分档标准, 通过分档控制提高了电力外送能力, 文献[12]针对广东电网给出了分区方案, 有效抑制了短路电流超标的问题, 对解决攀西电网问题提供了参考。但以上文献均没有对稳定、短路、送电能力进行综合考虑。

因此, 为了缓解攀西地区电网的外送通道的压力, 降低攀西电网运行的系统风险, 本文通过仿真分析了“十四五”期间攀西电网潜在的运行风险; 针对系统运行风险及送出需求, 对攀西电

网电力外送通道核心架构进行优化, 通过方案综合比选确定最优接入方案, 将攀西电网调整为南北两个通道隔离、换流站分组接入的方案, 从而保障系统安全稳定运行。

1 “十四五”期间攀西电网面临的问题

1.1 攀西电网现状

攀西地区位于四川省西南部, 截至2020年底, 攀西地区统调最大负荷402万kW; 攀西地区水电资源丰富, 地区装机总量2 691万kW, 水电装机2 198万kW, 占比82%。风电装机335万kW, 太阳能装机113万kW。

攀西电网由巴塘—芒康2回500 kV线路与西藏电网相连, 网内形成的水洛—木里、橄榄—普提等电源汇集与转移通道, 再经普提—洪沟3回、月城—沐溪2回、锦东—南天2回、普提—南天1回线路与四川主网相连。攀西电网地理接线示意图如图1所示。

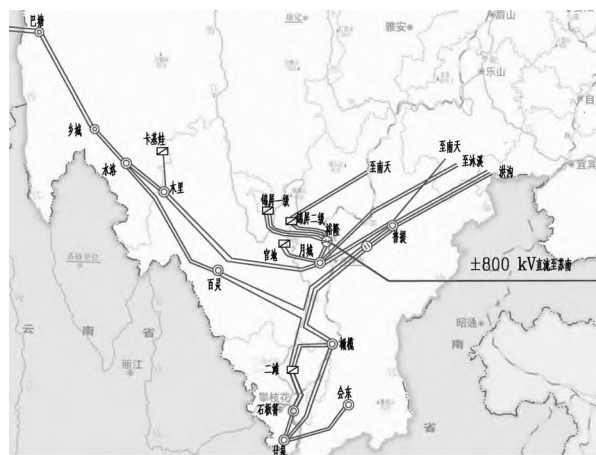


图1 2020年攀西电网地理接线示意图

Fig. 1 Schematic diagram of geographic wiring of Panxi Power Grid in 2020

1.2 攀西电网近期拟实施工程

根据相关输变电工程评审意见, 2021—2023年攀西地区500 kV及以上电网按以下时序逐步演化。

(1) 第一阶段

2021年, 雅中换流站投产初期双 π 接入木里—

月城2回线路，并新建雅中换流站—百灵3回500 kV线路。杨房沟水电站投产接入雅中换流站。开断月城—普提2回线路，白鹤滩左岸电站接入月城侧、右岸电站接入普提侧，如图2所示。

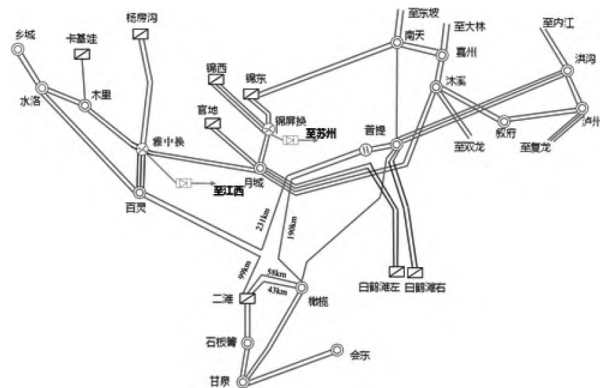


图 2 第一阶段攀西 500 kV 及以上电网地理接线图

Fig. 2 Geographic wiring map of 500 kV and above power grid in Panxi in the first stage

(2) 第二阶段

2022年,白鹤滩—江苏直流(建苏直流)投产,在第一阶段的基础上,将橄榄—普提1线开断后改接形成橄榄—布拖换一期单回线路,随着白鹤滩左岸电站进一步投产,建成白鹤滩左岸电站—布拖换流站一期4回线路,白鹤滩—江苏直流形成最终方案,如图3所示。

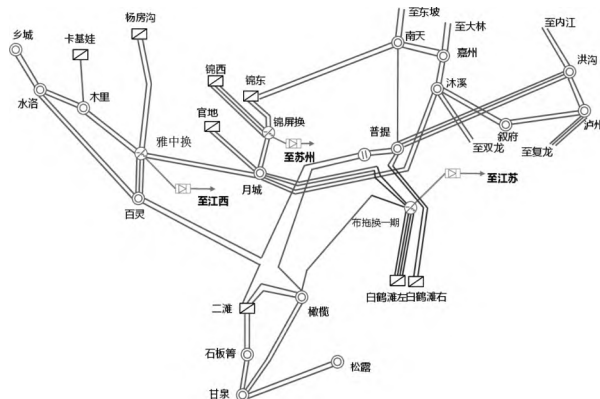


图3 第二阶段攀西500 kV及以上电网地理接线图

Fig. 3 Geographic wiring map of 500 kV and above power grid in Panxi in the second stage

(3) 第三阶段

2023年，白鹤滩—浙江直流（金塘直流）投产，形成普提—布拖换二期3回500 kV线路，白

鹤滩右岸4回500 kV线路接入布拖换二期，如图4所示。

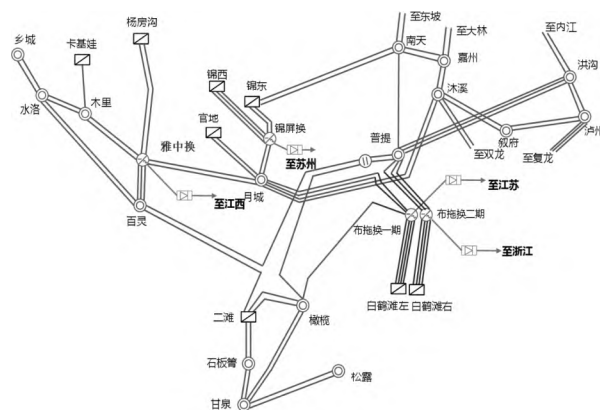


图 4 第三阶段攀西 500 kV 及以上电网地理接线图

Fig. 4 Geographic wiring map of 500 kV and above power grid in Panxi in the third stage

1.3 “十四五”期间攀西电网存在的问题

随着雅湖直流、建苏直流、金塘直流及其配套电源陆续投运，攀西电网系统性风险逐渐积累。

(1) 大型水电群及直流陆续投运，月城变电站短路电流超标

月城500 kV变电站是攀西电网的枢纽变电站，随水电站及直流的逐步投运，月城变电站短路电流激增，“十四五”期间各阶段月城变电站计算结果见表1。

表 1 各阶段月城变电站 500 kV 侧短路电流

Tab. 1 Short-circuit current on the 500 kV side of the Yuecheng substation at all stages

		(单位: kA)		
项目		第一阶段	第二阶段	第三阶段
月城	单相	60.8	64.2	64.6
	三相	61.9	65.9	66.1

由表1可知：2021年雅湖直流、白鹤滩电站投产以后（第一阶段），月城侧三相短路电流达到61.9 kA；到2022年，白鹤滩左岸水电站全部投产、建苏直流投运（第二阶段），月城变电站三相短路增加至65.9 kA，超过月城变电站500 kV侧断路器遮断能力（63 kA）；2023年白

鹤滩右岸电站全部投运、金塘直流投运（第三阶段），月城变电站三相短路电流达到66.1 kA。

由此可见，随白鹤滩水电站及配套外送直流投产后，在不采取措施的情况下，月城变电站三相短路电流将超过其断路器的遮断能力，需采取措施以解决月城变电站短路超标的问题。

（2）多回直流集中接入月城变电站近区，系统安全稳定风险激增

2023年白鹤滩两回直流投产以后，月城变电站与雅湖直流、建苏直流和锦苏直流的送端换流站直接相连。经过机电暂态仿真分析，当月城变电站发生全站失电压等严重故障以后，将直接影响与之相连的3个换流站安全稳定运行，并导致四川主网失稳。此时白鹤滩、官地等水电站机组功率失稳，主网电压大幅波动，无法采取有效措施恢复电网稳定。

月城变电站全站失电压以后，近区发电机功角曲线、直流功率曲线和500 kV变电站母线电压曲线如图5~图7所示。

由图5~图7可知，在月城变电站全站失电压后，系统处于失稳状态。通过仿真分析，导致电力系统失稳的主要原因如下。

1) 攀西电网内潮流转移及外送断面被极大减弱。月城变电站全站失电压后，雅中换一月城2回、月城—布拖换一期2回、月城—沐溪2回，

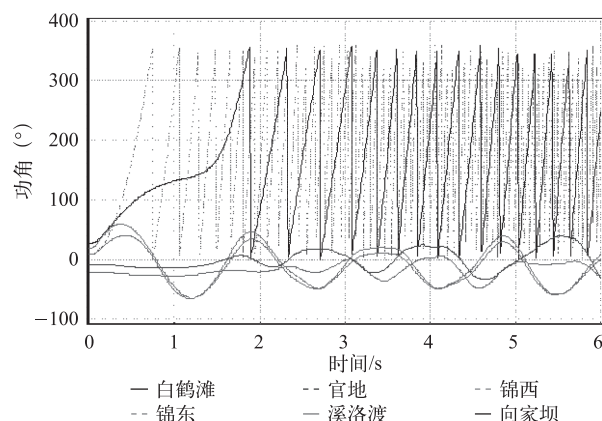


图5 月城全站失电压后发电机组功角曲线

Fig. 5 Power angle curve of genset after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

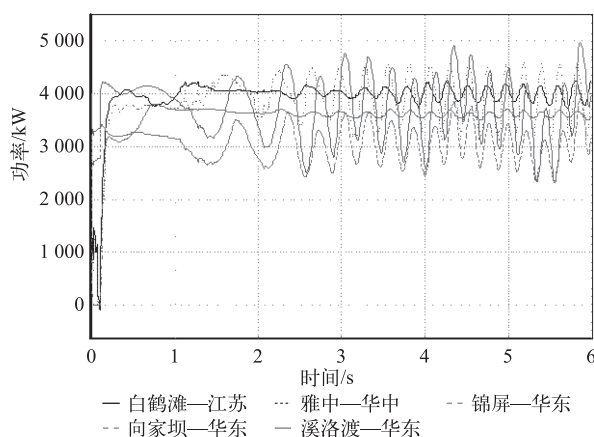


图6 月城全站失电压后直流功率曲线

Fig. 6 DC power curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

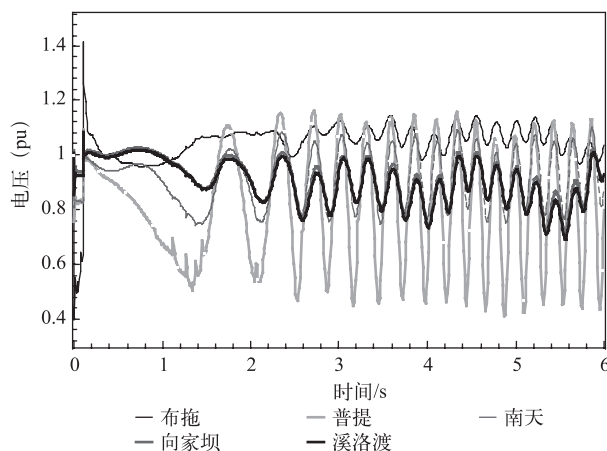


图7 月城全站失电压后变电站电压曲线

Fig. 7 Substation voltage curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

共计6回500 kV线路全部因故停运。此时，雅中送出断面由4回500 kV线路变为仅剩百灵—普提线路、橄榄—普提2回500 kV线路（二滩—百灵线路为二滩电站送出线路）。攀西向四川主网送电断面由8回500 kV线路减少至6回，使攀西电网内潮流转移及外送断面被极大减弱。月城变电站全站失电压后攀西电网结构如图8所示。

2) 事故后潮流无序转移，使断面剩余输电线路严重过载。从潮流转移情况来看，月城变电站全站失电压后，百灵—普提、橄榄—普提线路潮流合计达到680万kW，已严重超过线路允许输送潮流380万kW。

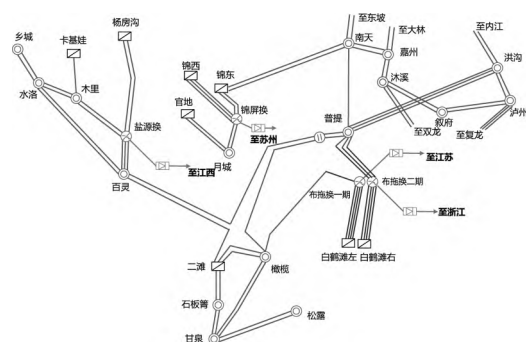


图8 月城站全站失电压后电网结构

Fig. 8 Grid structure after loss of voltage at all stations at Yuecheng substation

当攀西断面输送功率达到稳定极限时,此时月城全停故障后,除锦官组水电外,攀西地区其余水电富余电力均需通过普提—南天、普提—洪沟共4回500 kV线路外送,输送功率由故障前的490万kW增加到960万kW,过载严重。月城站全站失电压后各输电线路的潮流曲线如图9~图10所示。

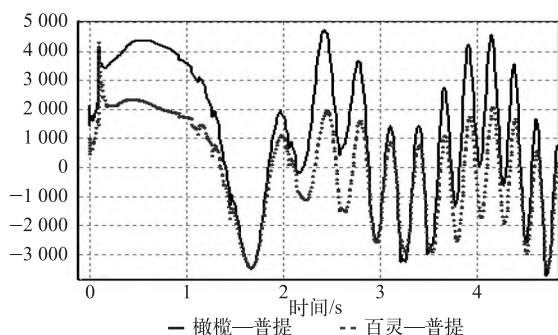


图9 月城站失电压后百普、橄普线路潮流曲线

Fig. 9 Tidal curve of Bapu and Ganpu line after loss of pressure at Yuecheng substation

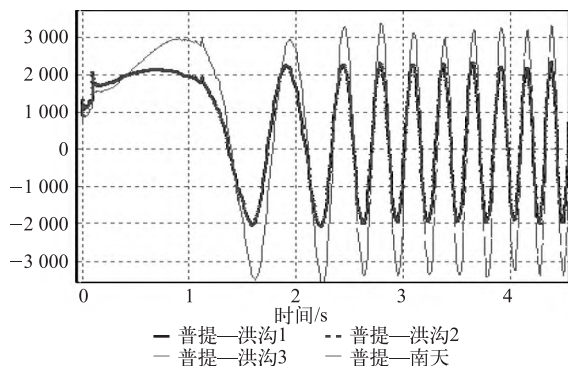


图10 月城站失电压普洪、普天线路潮流曲线

Fig. 10 Tidal curve of Puhong and Putian line after loss of pressure at Yuecheng substation

2 月城II开关站接入系统方案拟定

结合月城变电站全站失电压后导致电力系统失稳的主要原因,为将电网失稳风险降到最低,经机电暂态仿真分析,提出两类攀西电网电力外送通道核心架构优化方案,尽可能解决攀西电网存在的问题。

(1) 方案一

为弱化月城变电站在系统中的枢纽地位,避免月城变电站故障以后安全风险进一步扩大,在原电网规划方案的基础上,在月城变电站附近新建月城II开关站,将月城—布拖换流站一期2回线路月城侧改接入月城II开关站,新建布拖换流站一期—叙府2回线路,将雅中换流站—月城2回线路月城侧改接入月城II开关站,形成雅中换流站—月城II开关站2回线路。方案一如图11所示。

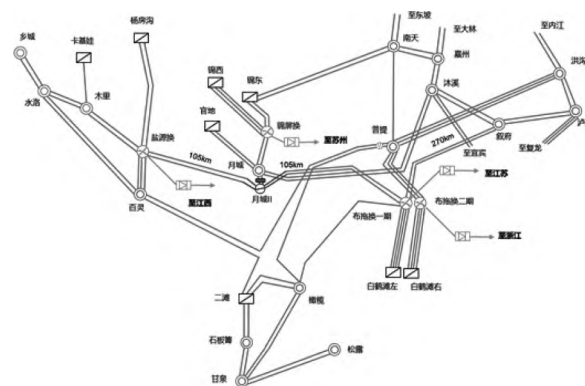


图11 接入系统方案一示意图

Fig. 11 Schematic diagram of access system option 1

(2) 方案二

新建月城II 500 kV开关站,并对攀西电网进行改造,将攀西电网调整为南北两个通道隔离、换流站分组接入的网架结构。其中,雅中—江西、白鹤滩—江苏直流为一组,锦屏—江苏、白鹤滩—浙江直流为一组。

新建布拖换一期—叙府2回500 kV线路;月城—沐溪2回500 kV线路开断接入月城II开关站,形成月城—月城II开关站、月城II开关站—沐溪各2回500 kV线路;雅中换—月城2回500 kV线路、月城—月城II开关站2回500 kV线路在月城站外搭

接,形成雅中换一月城II开关站2回500 kV线路;改接橄榄—普提II线500 kV线路,形成橄榄—月城II开关站单回500 kV线路;改接百灵—普提500 kV线路,形成百灵—布拖换流站一期单回500 kV线路;开断月城—布拖换流站一期2回500 kV线路,形成布拖换流站一期一月城II开关站2回500 kV线路和月城—普提2回500 kV线路;改接普提—南天500 kV线路,形成南天—月城II开关站单回500 kV线路;改接普提—洪沟I线,形成洪沟—月城II开关站单回500 kV线路。方案二如图12所示。

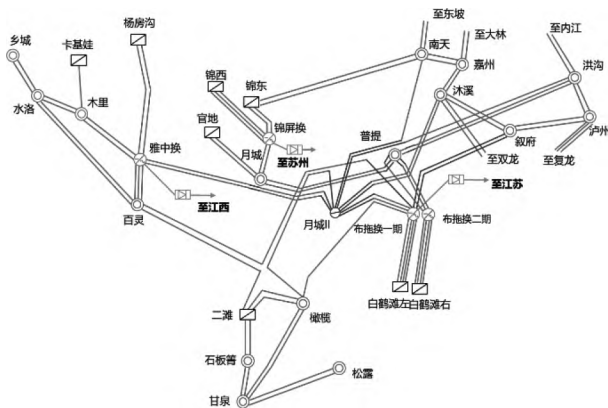


图 12 接入系统方案二示意图

Fig. 12 Schematic diagram of access system option 2

3 接入系统方案比选

为进一步分析两类优化方案的优劣,本节对两类优化方案从暂态稳定、断面送电能力和短路电流等方面进行比选分析,最终确定攀西电网核心架构的优化方案。

3.1 暂态稳定计算分析

月城全站失电压以后，在特定的开机方式下，攀西电网可能存在系统性失稳问题。因此，针对月城全站失电压情况，对拟定两类优化方案进一步校核。

(1) 方案一

方案一月城全站失电压后发电机功角曲线、直流功率曲线和主变压器电压曲线如图13~图15所示。

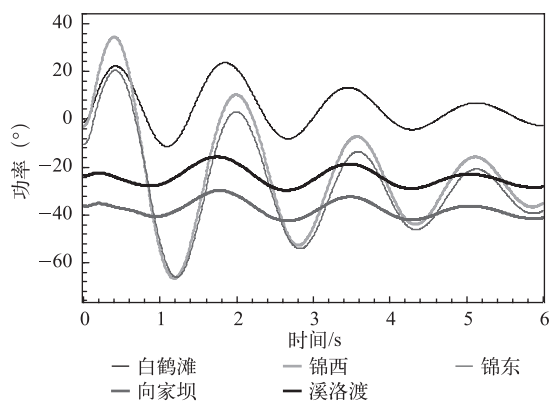


图 13 月城全站失电压后发电机组功角曲线

Fig.13 Power angle curve of genset after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

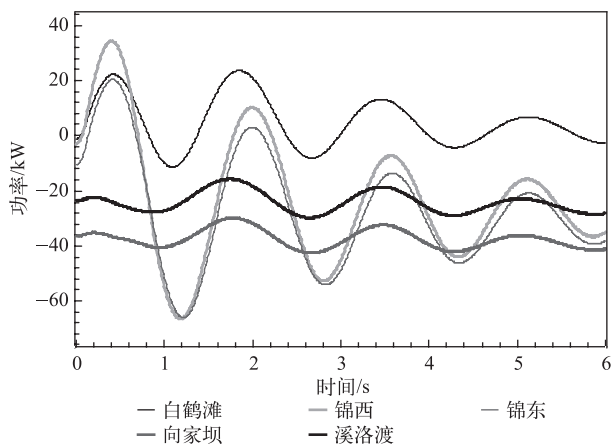


图 14 月城全站失电压后直流功率曲线

**Fig. 14 DC power curve after loss of voltage at the whole station
in Yuecheng substation**

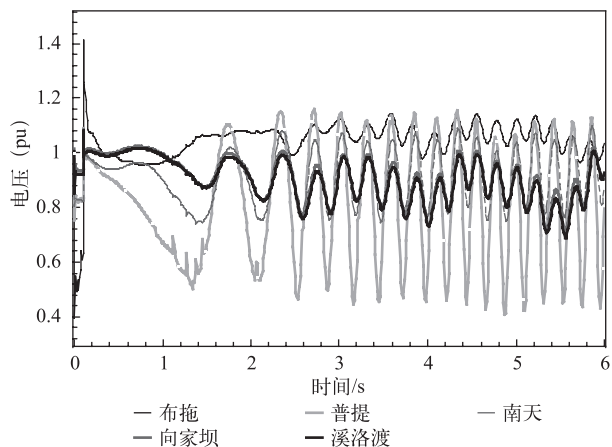


图 15 月城全站失电压后变电站电压曲线

Fig. 15 Substation voltage curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

方案一中雅中换流站与布拖换流站一期接入月城II开关站，月城变接入线路减少为8回，接入换流站由3个减少为1个，月城变电站在系统中的地位被弱化，月城或月城II开关站失电压系统可采取措施保持稳定，满足系统安全稳定运行要求。

(2) 方案二

方案二中攀西地区4个换流站分别两两一组，在南、北环分片运行，其中锦苏直流与金塘直流在北环运行，雅湖直流与建苏直流在南环运行，北环与南环间形成弱电气联系，可以避免月城集中接入多回换流站运行问题。此外，接入月城变电站的500 kV线路减少至6回，直接接入的换流站减少至1个，弱化了月城变电站在系统中的地位，使月城变全站失电压也可保持系统稳定。月城全站失电压以后发电机功角曲线、直流功率曲线和主变压器电压曲线如图16~图18所示。

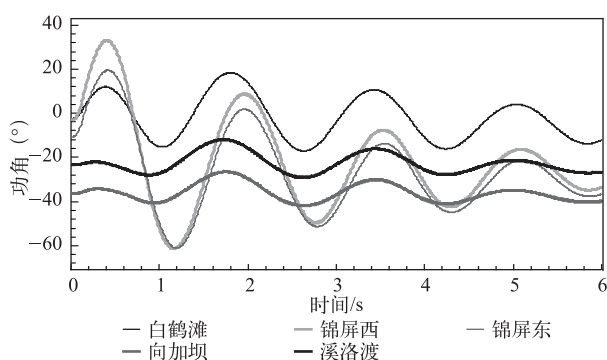


图 16 月城全站失电压后发电机组功角曲线

Fig. 16 Genset power angle curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

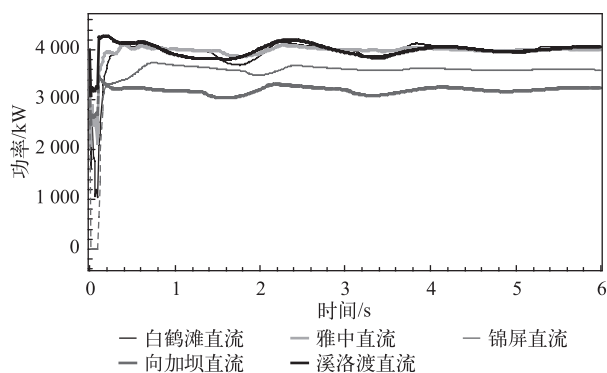


图 17 月城全站失电压后直流功率曲线

Fig. 17 DC power curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

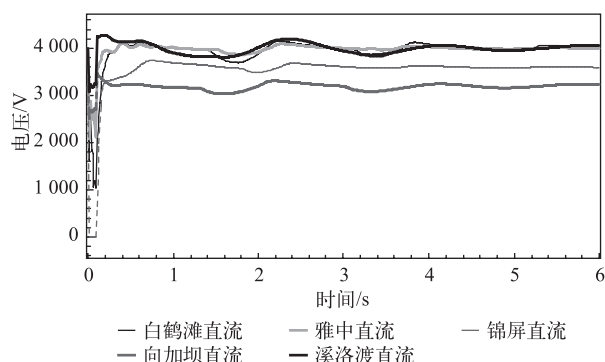


图 18 月城全站失电压后变电站电压曲线

Fig. 18 Substation voltage curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

3.2 断面送电能力分析

(1) 方案一

受普提—洪沟线路N-1热稳的影响，2023—2024年，方案一送电能力约1 150万kW，可满足攀西富余电力送出需求。2025年帮果—甘孜特线路建成后，方案一送电能力可以提高到1 350万kW以上，控制故障仍为普洪线N-1热稳。

(2) 方案二

方案二中，2023—2024年攀西断面送电能力约1 100万kW，可满足攀西富余电力送出需求。2025年帮果—甘孜特线路建成后，断面送电能力可以提高至1 300万kW以上，控制故障仍为普洪线N-1热稳。

通过上述分析可知，两类优化方案均可满足“十四五”期间攀西断面富余电力的送电需求，由于方案一中攀西电网各变电站电气联系更为紧密，故方案一中攀西电网断面送电略强。两个方案下攀西电网的断面送电能力计算结果见表2。

表 2 攀西断面送电能力计算结果

Tab.2 Calculation results of power transmission capacity of Panxi section

		(单位: 万 kW)			
控制故障	运行方式	2023 年	2024 年	2025 年	2030 年
攀西富余电力	枯大	567	617	442	1 043
	丰大	652	667	561	1 000
N-1 控制故障	方案一	1 150 (普洪线热稳)		1 350 (普洪线热稳)	
	方案二	1 100 (普洪线热稳)		1 300 (普洪线热稳)	

3.3 短路电流分析

攀西电网改造前月城等站点短路电流水平较高，当白鹤滩水电站及换流站接入后，将进一步提高站点短路电流水平。短路电流是否满足要求直接决定了方案是否可行，因此首先对各方案的短路电流水平进行计算分析，计算结果见表3。

表 3 2023 年短路电流计算结果

Tab. 3 Results of short circuit current for 2023			
(单位: kA)			
变电站 / 换流站		方案一	方案二
普提	单相	44.1	34.1
	三相	51.1	39.9
月城	单相	57.4	38.1
	三相	59.1	47.1
布拖换一期	单相	51.0	50.8
	三相	47.3	52.0
布拖换二期	单相	46.4	38.6
	三相	43.1	39.3
月城 II 开关站	单相	35.1	38.1
	三相	47.2	46.9

由表3可知，2023年白鹤滩左右岸电站及其白鹤滩两回直流工程建成投产后，方案一在月城变一月城II开关站之间加装14 Ω串抗，月城变电站短路电流约59.1 kA，有一定裕度；方案二不加装串抗的条件下，月城变电站短路电流不超过50 kA。此外，方案一普提变电站短路电流均超过51 kA，高于现有设备50 kA的遮断能力，对比发现方案二月城变电站短路电流更低。

3.4 综合比选

综上所述，方案二在故障情况下满足富余电力送出需求，同时，将攀西电网分为南北两个环网，南环、北环各带两个换流站运行，南北环网之间保持弱联系，故障情况下潮流转移通道明晰，网架结构清晰，且方案二月城变电站短路电流更低，攀西电网整体送电能力可满足“十四五”期间攀西地区富余电力送出需求。因此，方案二较方案一更适合作为月城II期开关站的接入方案。

4 结束语

本文详细分析了“十四五”期间攀西电网各阶段演化情况及潜在运行的风险；通过机电暂态仿真分析，总结了影响“十四五”期间攀西电网安全稳定运行的核心因素；并针对核心因素提出了两类攀西电网构架优化方案，经方案综合比选提出了推荐方案。

1) “十四五”期间攀西电网面临三类问题：①攀西地区大型水电站集中投运及新能源的大规模开发，“十四五”期间攀西断面的送出能力已无法满足可再生能源的送出需求，存在电力送出受限的问题；②大型水电群及直流陆续投运，月城变电站短路电流超标，不满足系统安全稳定运行的要求；③月城变电站全站失电压，将导致攀西乃至四川电网失稳，严重威胁电力系统的安全稳定运行。

2) 根据机电暂态仿真分析可知，由于月城变电站为攀西电网的枢纽变电站，故月城变电站全站失电压后，攀西电网内潮流转移及外送断面将被极大减弱；其次事故后潮流无序转移将导致断面剩余输电线路严重过载。因此需优化网架结构，弱化月城变电站在系统中的作用，避免月城全站失电压导致的系统性风险，同时分散电源接入，降低月城变电站短路电流。

3) 为降低月城变电站的短路电流，弱化月城变电站在系统中的作用，提升攀西电网的外送能力，本文提出了两类电网优化方案：方案一将月城一布拖换流站一期等线路改接入新建月城II开关站；方案二通过新建月城II 500 kV开关站对攀西电网进行改造，调整为南北两个通道隔离、换流站分组接入的网架结构。

4) 经过方案电气计算可知，两类方案均能满足攀西电网富余电力送出的需求，保障电网的安全稳定运行。方案二中网架结构更为清晰，月城变电站近区短路电流水平较低，可有效保障系统安全稳定运行，远期适应性较好，故将方案二作为攀西电网核心构架优化方案更加合理。

参考文献

- [1] 江泽民. 对中国能源问题的思考[J]. 上海交通大学学报, 2008 (3): 345-359.
- [2] 邹才能, 赵群, 张国生, 等. 能源革命: 从化石能源到新能源[J]. 天然气工业, 2016, 36(1): 1-10.
- [3] 四川省发展和改革委员会. 四川省“十四五”电力发展规划[R]. 2022.
- [4] 陈刚, 丁理杰, 韩晓言, 等. 抽水蓄能在四川电网的应用前景展望[J]. 四川电力技术, 2022, 45(2): 1-6, 37.
- [5] 徐政. 含多个直流换流站的电力系统中交直流相互作用特性综述[J]. 电网技术, 1998(2): 18-21.
- [6] 王宇坤, 林其友. 智能电网规划指标体系构建的量化分析[J]. 电气应用, 2019, 38(5): 73-80.
- [7] 严欢, 王雷, 李再华, 等. 提升新能源高占比送端电网接入能力的特高压直流落点方案及措施研究[J]. 电气应用, 2023, 42(7): 1-8.
- [8] 楼伯良, 华文, 王国腾, 等. 白鹤滩直流逆变站技术路线对浙江省多直流换相失败的影响分析[J]. 浙江电力, 2019, 38(8): 47-53.
- [9] 董红, 陈丽萍, 高艳娜, 等. 柔性直流接入对交流系统短路电流影响机理研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(4): 49-51, 54.
- [10] 刘洪波, 阎禹同, 王曦, 等. 多馈入交直流混联系统小干扰稳定研究综述[J]. 发电技术, 2023, 44(4): 565-575.
- [11] 边宏宇, 郭崇军. 交直流电力外送通道的协调控制分析[J]. 现代电力, 2015, 32(6): 36-39.
- [12] 徐蔚, 程斌杰, 林勇, 等. 多直流馈入系统不同电网分区方式比较[J]. 南方电网技术, 2015, 9(11): 18-24, 51.
- [13] 郭知非, 郑秀波, 姚文峰. 多直流馈入受端电网交直流相互影响分析框架[J]. 南方能源建设, 2020, 7(1): 101-106.

作者简介

秦浩庭 (1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统规划与设计。

张苏 (1995—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划与设计。

胡浩 (1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统规划与设计。

彭友 (1996—), 男, 在读博士研究生, 研究方向为电能质量。

钟帆 (1998—), 男, 在读博士研究生, 研究方向为电能质量。

(收稿日期: 2023-09-20)

攀西电网电力外送通道核心架构优化研究 P23

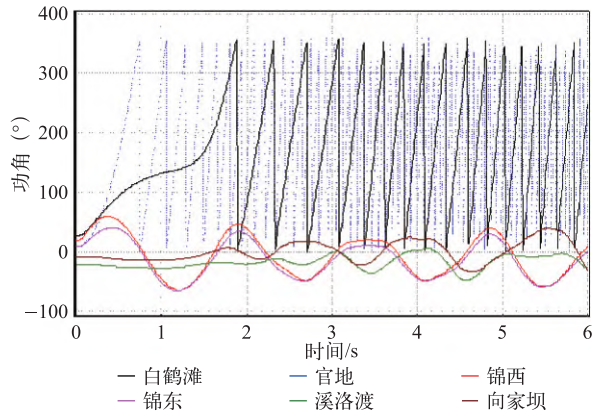


图 5 月城全站失电压后发电机组功角曲线

Fig. 5 Power angle curve of genset after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

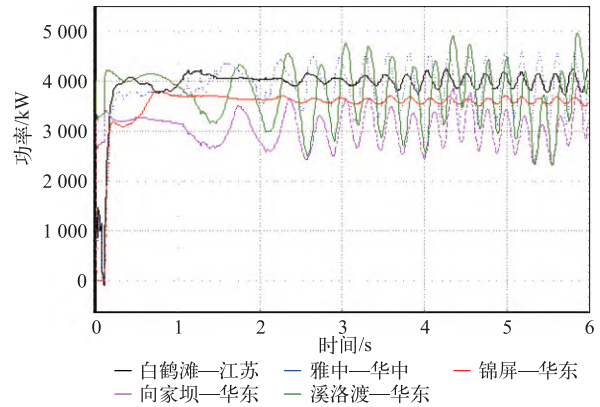


图 6 月城全站失电压后直流功率曲线

Fig. 6 DC power curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

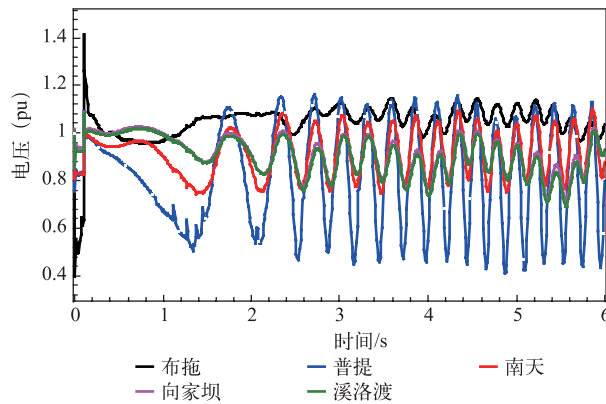


图 7 月城全站失电压后变电站电压曲线

Fig. 7 Substation voltage curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

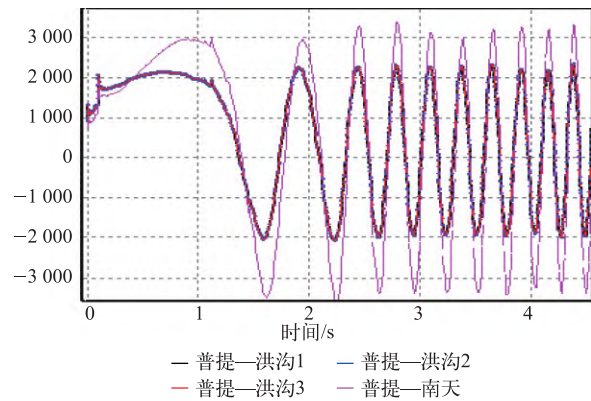


图 10 月城站失电压普洪、普天线路潮流曲线

Fig. 10 Tidal curve of Puhong and Putian line after loss of pressure at Yuecheng substation

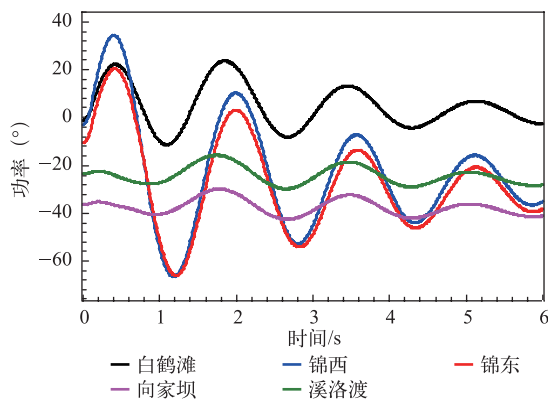


图 13 月城全站失电压后发电机组功角曲线

Fig.13 Power angle curve of genset after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

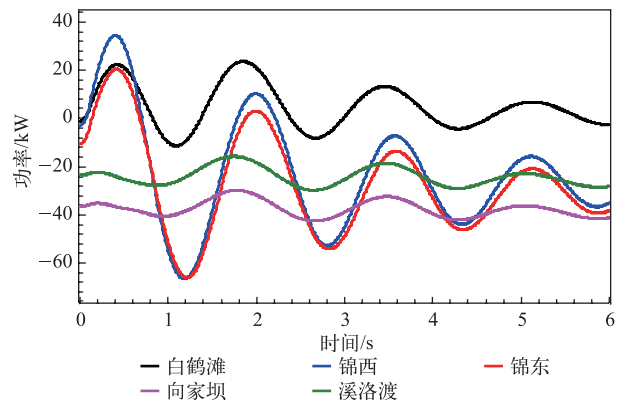


图 14 月城全站失电压后直流功率曲线

Fig. 14 DC power curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

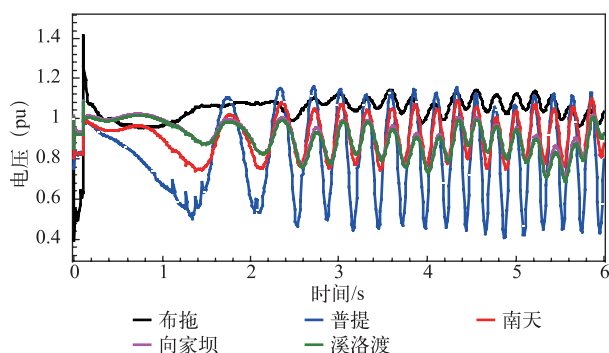


图 15 月城全站失电压后变电站电压曲线

Fig. 15 Substation voltage curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

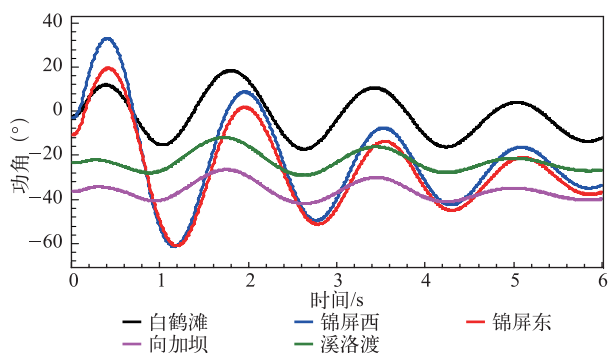


图 16 月城全站失电压后发电机组功角曲线

Fig. 16 Genset power angle curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

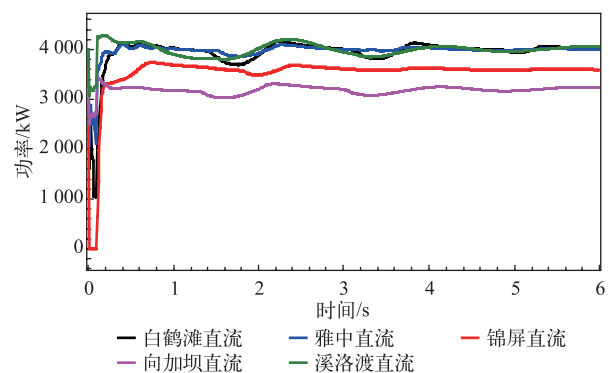


图 17 月城全站失电压后直流功率曲线

Fig. 17 DC power curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

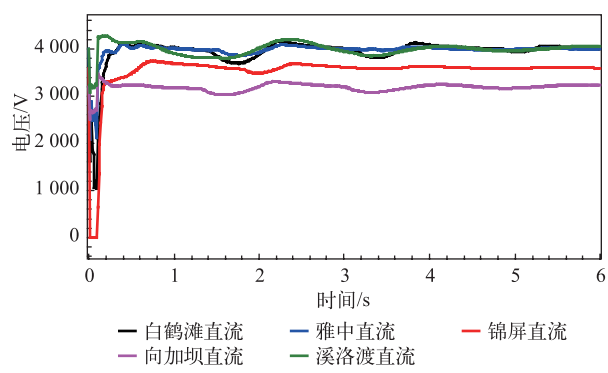


图 18 月城全站失电压后变电站电压曲线

Fig. 18 Substation voltage curve after loss of voltage at the whole station in Yuecheng substation

含聚合CSP和深度调峰火发电机组的电力系统分布鲁棒机会约束优化调度方法 P39

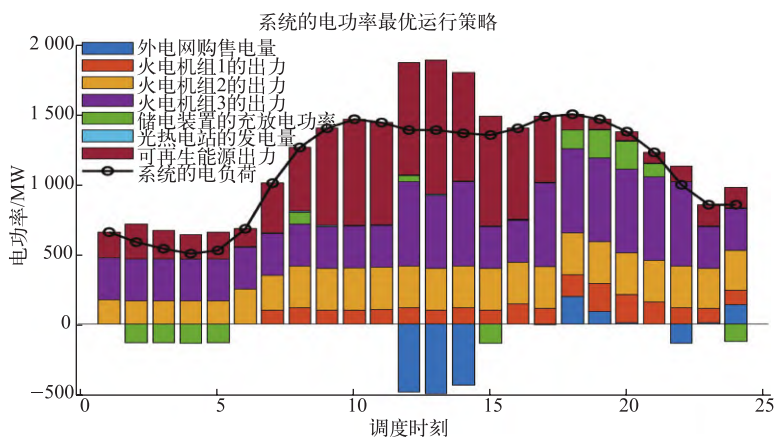


图 6 系统电功率平衡

Fig. 6 System electrical power balance