

天山西段750 kV环网加强工程建设时序研究

新疆电网在“十三五”初期将建成环天山西段的750 kV单环网结构，2020年前将针对单环网结构进行逐段加强，主要包含伊犁—乌北二回工程、吐鲁番—巴州—库车二回工程和凤凰—亚中—达坂城二回工程共三个阶段。基于西北电网规划数据，通过电网潮流分布均衡性、安全稳定水平、短路电流水平、小干扰稳定性和输电能力等方面的仿真计算，综合比对了三个加强工程对新疆电网的影响，优化了加强工程的建设时序。

吕盼¹ 李晓璐² 张志强² 车勇¹ 常喜强³/1.国网新疆电力公司经济技术研究院 2.中国电力科学研究院 3.国网新疆电力公司

0 引言

2016年，750 kV伊犁—库车输变电工程建成投运后，初步形成围绕天山脉西段的750 kV单环网，西起伊犁变电站，途经乌苏、凤凰、乌北（亚中）、达坂城、吐鲁番、巴州、库车和伊犁共八座750 kV变电站，环网线路长度合计约1 800 km。环网投运初期，由于网架结构及自然条件等因素导致正常运行及检修方式下存在较大风险。按照新疆电力公司的电网规划，“十三五”期间，将陆续建设天山西段环网的二回线加强工程，为能源基地大规模电源开发和风火打捆外送提供坚强的网架支撑。二回线加强工程包括：伊犁—乌苏—凤凰—乌北二回750 kV输变电工程（简称伊犁—乌北）、吐鲁番—巴州—库车二回750 kV输变电工程（简称吐巴库）、凤凰—亚中—达坂城二回750 kV输变电工程（简称凤亚达）。三个加强工程不同的建设时序将对新疆电网稳定特性产生不同的影响^[1-4]。

本文通过研究环天山西段大环网投

运后二回750 kV输变电工程不同建设时序对新疆电网电力流、安全稳定水平、短路电流水平、小干扰稳定性和重要断面输电能力的影响，提出二回750 kV加强工程建设时序建议，对充分发挥750 kV主干网络的送受电能力，保障新疆电网稳定、高效运行有着非常重要的意义。

1 对新疆电网潮流分布的影响

根据新疆的地理特点、绿洲经济带特点和能源资源分布特点，新疆750 kV电网形成以乌鲁木齐、昌吉750 kV环网为核心，乌鲁木齐—吐鲁番—哈密750 kV电网为主干，东西展开、南北延伸，覆盖全疆绿洲经济带的“工”字形750 kV电网结构。为进一步增大北疆电网向南疆电网的送电能力，优化潮流分布，避免大功率迂回，建设伊犁至库车翻越天山的750 kV输电线，打通伊犁电源基地直送南疆的送电通道，形成伊犁—乌苏—凤凰—乌北（亚中）—达坂城—吐鲁番—巴州—库车—伊犁，围绕天山山脉西段的750 kV大环网。“十三五”期间，新疆750 kV电网得到进一步加强，各断面陆续建成750 kV双回线，为能源基地大规模电源开发和风火打捆外送提供了坚强的网架支撑。

二回750 kV加强工程不同建设时序下新疆电网750 kV网架结构图如图1所示。二回线建设时序变化对新疆电网750 kV潮流分布的影响如下。

1) 优先建成吐巴库二回方式，伊犁往博州方向的北部750 kV线路潮流功率约减少46~128 MW；伊犁往库车方向的



吕盼/高级工程师

关键词/Keywords

建设时序 ·
安全稳定 ·
短路电流 ·
小干扰稳定性 ·
输电能力 ·

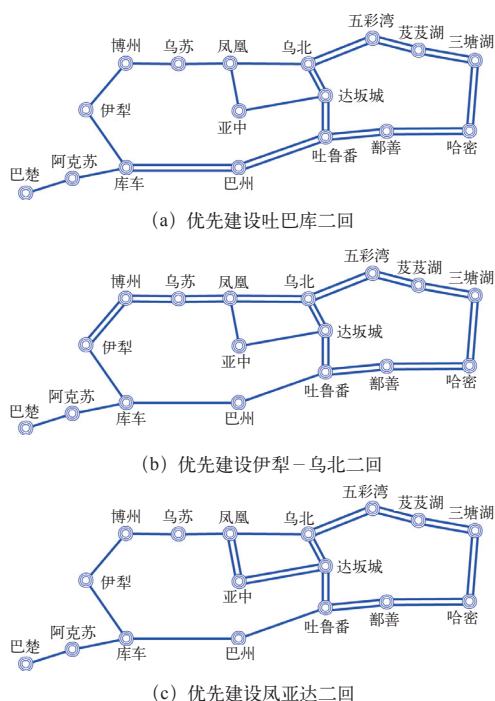


图1 三个二回750 kV加强工程方式下新疆750 kV网架结构图

南疆外送750 kV线路功率增加约128~168 MW；喀什至库车的线路功率影响较小。主要原因是吐巴库二回建成后，加强了库车与新疆主网的电气联系，缩小了联系阻抗，引导伊犁送出功率向南疆转移。

2) 优先建成伊犁—乌北二回方式，伊犁往博州方向的北部750 kV线路潮流增加约133~320 MW，凤凰—亚中略减少；伊犁往库车方向的南疆外送750 kV线路功率减少约113~132 MW；而喀什至库车的线路功率影响较小。主要原因是伊犁—乌北二回建成后，加强了伊犁至新疆主网北部通道的电气联系，缩小了联系阻抗，引导伊犁送出功率经西北部送出。

3) 优先建成凤亚达二回方式，伊犁往博州方向的北部750 kV线路潮流功率略有增加，凤凰—亚中增加约330 MW，凤凰—乌北减少约274 MW；伊犁往库车方向的南疆外送750 kV线路功率和喀什至库车的线路功率影响较小。

从潮流均衡性来看，优先建设吐巴库二回方式，南疆增加潮流和北部减轻潮流相对更均衡；优先建设伊犁—乌北二回方式次之，最后是优先建设凤亚达二回方式。

2 对新疆电网安全性和短路电流的影响

2.1 二回750 kV加强工程前后稳定特性

750 kV伊库线投运后形成环天山西段单环网，提升了伊犁和库车地区的稳定水平。但南疆地区750 kV喀什—巴楚—阿克苏—库车段均为单线、单变长链式供电结构，网架结构较为薄弱，动态稳定性问题一直存在^[5-6]。

不同750 kV工程建设时序方式下，新疆电网暂态稳定性均较好，由于主网架的加强，南疆地区的动态稳定水平也得以提升，仅在疆南地区发生750 kV $N-1$ 故障时会出现部分机组动态不稳定情况。单环方式以及三个二回750 kV加强工程方式下750 kV巴楚—阿克苏发生 $N-1$ 故障后，南疆机组相对新疆主网功角变化曲线如图2所示。由图2可以看出，单环结构下，巴阿线 $N-1$ 跳闸后，南疆机组相对新疆主网动态失稳；750 kV主干网架加强后，南疆地区的动态稳定水平得以提升。

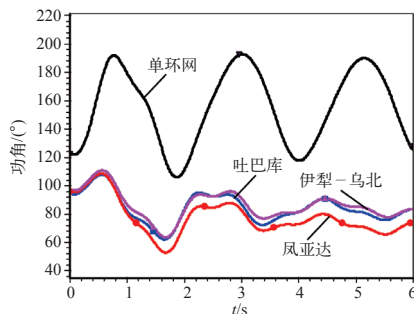


图2 单环方式以及三个加强工程方式下巴阿线 $N-1$ 故障后南疆机组对新疆主网功角变化曲线

2.2 二回750 kV加强工程前后短路电流水平

从系统阻抗角度来看，优先建设吐巴库二回线缩小了南疆地区到主网的电气距离，对于750 kV库车、巴州母线的三相短路电流水平增加有积极作用，巴州变电站增加约4.1 kA，库车变电站增加约2.0 kA，吐鲁番变电站增加约1.6 kA；对于乌昌地区的短路电流增加有限。

优先建设伊犁—乌北二回线缩小了新疆西北部地区到主网的电气距离，对于750 kV乌北、凤

鳳和乌苏母线的三相短路电流水平增加有积极作用，乌北变电站增加约1.8 kA，鳳凰变电站增加约5.4 kA，乌苏变电站增加约5.2 kA。

优先建设凤亚达二回线后，对于750 kV鳳凰、亚中和达坂城母线的三相短路电流水平增加有积极作用，达坂城站增加约1.5 kA，鳳凰变电站增加约2.4 kA，亚中变电站增加约5.1 kA。

各方式下虽然750 kV母线的三相短路电流增加量最大不超过5.4 kA，但仍可维持短路电流水平在开关容量范围内。单环方式以及三个二回750 kV加强工程方式下，750 kV母线三相短路电流对比情况如表1所示。对于220 kV母线的三相短路电流水平，优先建设凤亚达二回后，将使得亚中变电站220 kV母线短路电流超过50 kA。因此，从避免增加短路电流问题的角度出发，建议凤亚达二回建设时序略滞后为宜^[7-9]。

表2 二回线加强工程前后新疆电网主要振荡模式表

	特征值	振荡频率/Hz	阻尼比	振荡模式
单环	$-0.253 + j1.514$	0.241	0.165	新疆机组—西北主网机组
	$-0.448 + j3.403$	0.542	0.130	南疆机组—新疆主网机组
吐巴库	$-0.257 + j1.527$	0.243	0.166	新疆机组—西北主网机组
伊犁—乌北	$-0.257 + j1.522$	0.242	0.167	新疆机组—西北主网机组
凤亚达	$-0.255 + j1.520$	0.242	0.166	新疆机组—西北主网机组

由表2可知，单环方式下，新疆电网有两个区域振荡模式，不存在弱阻尼振荡模式，也不存在局部振荡模式。

三个二回750 kV输变电工程加强了新疆电网的网架结构，提高了新疆电网的动态稳定性，尤其是南疆相对新疆主网的动态稳定性水平。二回线加强工程方式下南疆相对新疆主网的区域振荡模式不存在，新疆相对西北主网的区域振荡模式的阻尼比有所提高。三个加强工程的小干扰稳定特性区别不明显。图3为伊库线投运前后南疆机组—北疆机组区域振荡模式的模态图。

4 重要断面输电能力研究

建设二回750 kV输变电工程加强了环天山西段环网，对提升环网中的送电断面输电能力大有裨益，为实现西北电网水火互补运行和更大范围

表1 单环方式以及三个加强工程方式下

750 kV母线三相短路电流对比表

(单位: kA)

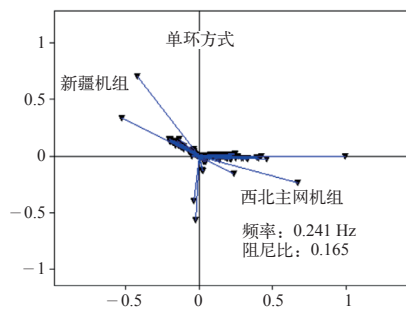
母线名	单环	吐巴库	伊犁—乌北	凤亚达
乌北	36.5	36.9	38.3	36.7
达坂城	28.1	28.8	28.5	29.6
鳳凰	20.3	20.4	25.8	22.7
亚中	18.9	19.0	19.4	24.0
库车	12.8	14.8	13.1	12.8
巴州	10.6	14.7	10.6	10.6
乌苏	11.8	11.8	17.1	12.1

3 对新疆电网小干扰稳定性的影响

采用频域分析方法研究单环方式以及三个二回750 kV加强工程方式下新疆电网小干扰稳定性的变化情况。表2为加强工程前后新疆电网机组参与且阻尼比小于0.2的振荡模式。

的电力资源优化配置发挥重要作用^[10-12]。单环方式、吐巴库二回和伊犁—乌北二回方式下部分断面输电能力比对情况如表3所示。

伊犁外送断面。单环方式下，伊犁外送断面送电极限为1 270 MW，受限于750 kV伊犁—乌苏单回线N-1开断后，巴州750 kV母线电压降达30 kV；优先建成吐巴库二回，加强了库车与新疆主网的电气联系，伊犁向南疆送电功率增大，伴



(a) 单环方式下新疆—西北主网模态图

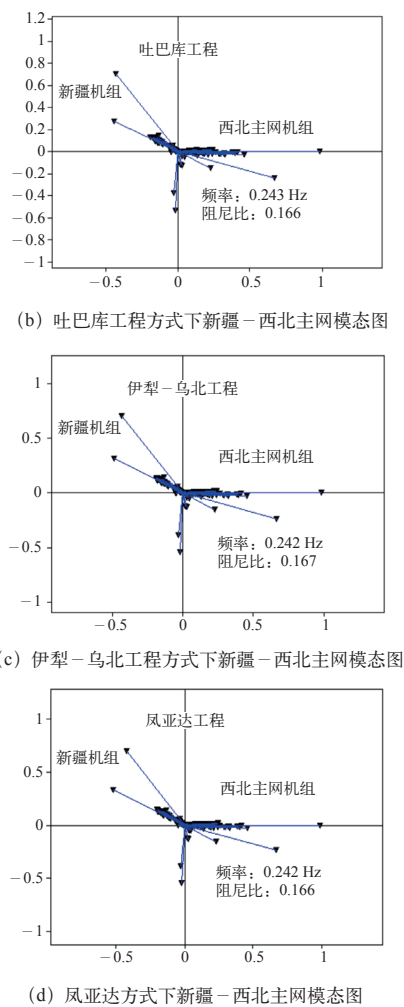


图3 单环以及三个二回750 kV加强工程方式下新疆-西北主网模态图

随南疆网架的加强，受限故障由单环方式下的巴州低电压问题转换成伊库线跳闸后北疆乌苏的低电压问题；优先建成伊犁-乌北二回，加强了伊犁至新疆主网北部通道的电气联系，伊犁向博州方向的送电功率大幅增加，受限故障转换成750 kV伊犁-库车单回线N-1开断后，博州750 kV

母线电压降达30 kV。

库车外送断面。单环方式下，库车外送断面送电极限为2 132 MW，受限于750 kV库车-巴州单回线N-1开断后电磁环网中220 kV台远-大墩子双回线有功功率超过其热稳极限；优先建成吐巴库二回，南疆大部分功率通过750 kV库车-巴州双回线送出，受限故障由单环方式下的220 kV线路过载问题转换成巴州的低电压问题。

巴州-吐鲁番断面。单环方式下，吐巴送电通道外送极限为1 826 MW，受限于750 kV巴州-吐鲁番单回线N-1开断后电磁环网中220 kV金沙-库米双回线有功功率超过其热稳极限；优先建成吐巴库二回，由于750 kV巴州低电压的限制，吐巴断面的输电能力提升不明显。

乌苏-凤凰断面。单环方式下，凤苏送电断面外送极限为1 593 MW，受限于750 kV凤苏线N-1开断后，220 kV奎屯-崇光双回线有功功率超过其热稳极限；优先建成伊犁-乌北二回，伊犁至新疆主网北部通道的电气联系大大增强，该断面的外送极限提高1 400 MW。

由前面的计算分析可以看出，建设二回750 kV输变电工程加强了环网结构，均可提高断面输电能力。优先建设吐巴库二回，可以提高伊犁外送断面和库车外送断面输电能力近1 000 MW；但对吐巴断面外送能力提升作用不明显，这是由于限制因素从220 kV线路热稳定性转变为750 kV巴州低电压问题。优先建设伊犁-乌北二回，可大幅提高伊犁外送断面输电能力约1 700 MW，也可提高凤苏断面输电能力1 400 MW。

通过潮流分布、安全稳定性、短路电流、输

表3 单环方式、吐巴库二回和伊犁-乌北二回方式下重要断面输电能力对比表

方式		伊犁外送	南疆		乌苏-凤凰
			库车外送	巴州-吐鲁番	
单环	输电能力/MW	1 270	2 132	1 826	1 593
	受限故障	巴州低电压	220 kV线路过载	220 kV线路过载	220 kV线路过载
吐巴库二回	输电能力/MW	2 213	3 020	2 070	—
	受限故障	乌苏低电压	巴州低电压	巴州低电压	—
伊犁-乌北二回	输电能力/MW	2 936	—	—	2 983
	受限故障	博州低电压	—	—	220 kV线路过载

电能力和小干扰稳定性研究,分析了吐巴库二回工程、伊犁—乌北二回工程和凤亚达二回工程的建设时序优化问题,分析结果如表4所示。鉴于优先建设吐巴库二回方式,750 kV巴州低电压问题是限制外送能力的重要影响因素,提升吐巴断

面输电能力不明显,建议伊犁—乌北二回可优先建设。优先建设伊犁—乌北二回加强新疆西北部网架结构,提高伊犁外送断面和凤苏断面输电能力,且750 kV短路电流增加不明显,为凤苏断面电磁环网解环创造条件。

表4 不同二回750 kV加强工程方式下多种影响因素对比表

因素	优先吐巴库二回	优先伊犁—乌北二回	优先凤亚达
潮流分布	均衡性较优	均衡性次之	均衡性较差
安全稳定性	稳定性较好	稳定性较好	稳定性较好
短路电流	750 kV母线短路电流增加不明显	750 kV母线短路电流增加不明显,可为凤苏断面解环创造条件	增大短路电流至亚中220 kV超标
输电能力	能力提升次之	能力提升较高	—
小干扰稳定性	无弱阻尼模式	无弱阻尼模式	无弱阻尼模式

5 结束语

1) 不同750 kV环网加强工程建设时序下,新疆电网暂态稳定性均较好,由于主网架的加强,南疆地区的动态稳定水平也得以提升,且750 kV母线的短路电流增加不明显,环网各断面的送电能力均有所增强,推进了“西电东送,南北互供”的实施。

2) 优先建设凤亚达二回,亚中220 kV母线短路电流超标。从避免增加短路电流问题的角度出发,建议凤亚达二回建设时序略滞后为宜。优先建设吐巴库二回,提高伊犁外送断面和库车外送断面输电能力近1 000 MW,但由于750 kV巴州低电压问题的限制,对吐巴断面能力提升不明显。优先建设伊犁—乌北二回,大幅提高伊犁外送断面输电能力约1 700 MW,也可提高凤苏断面送电能力1 400 MW,为凤苏750/220 kV电磁环网解环创造条件,建议优先建设伊犁—乌北二回。

参考文献

- [1] 李刚,刘晓瑞,张廷营,等.西北—新疆联网稳定特性分析[J].电力系统保护与控制,2010,38(17):64-69.
- [2] 王佳明,刘文颖,牛栓保.新疆—西北联网前后阻尼特性研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(16):92-98.
- [3] 李亚.新疆750 kV超高压电网建设时序研究[D].北

京:华北电力大学,2012.

- [4] 黄耀德.新疆750 kV超高压电网规划与若干问题研究[D].北京:华北电力大学,2015.
- [5] 古丽扎提·海拉提,加玛力汗·库马什,常喜强.新疆地区电网频率特性仿真分析[J].中国电力,2010,43(8):45-48.
- [6] 朱方,赵红光,刘增煌,等.大区电网互联对电力系统动态稳定性的影响[J].中国电机工程学报,2007,27(1):1-7.
- [7] 韩戈,韩柳,吴琳.各种限制电网短路电流措施的应用与发展[J].电力系统保护与控制,2010,38(1):141-144.
- [8] 袁娟,刘文颖,董明齐,等.西北电网短路电流的限制措施[J].电网技术,2007,31(10):42-45.
- [9] 李勇,姚文峰,杨柳,等.南方电网主网架热稳定和短路电流超标问题分析[J].南方电网技术,2013,7(2):21-25.
- [10] 艾芊,杨曦,贺兴.提高电网输电能力技术概述与展望[J].中国电机工程学报,2013,33(28):34-40.
- [11] 周霞,崔晓丹,李威,等.提高断面输电能力的紧急控制措施风险量化评估方法[J].电力系统自动化,2014,38(10):30-35.
- [12] 周孝信,郭剑波,胡学浩,等.提高交流500 kV线路输电能力的实用化技术和措施[J].电网技术,2001,25(3):1-6.

(收稿日期:2016-03-24) EA