

# 环天山西段大环网投运初期对新疆电网运行风险分析

周 专<sup>1</sup>, 吕 盼<sup>1</sup>, 宋新甫<sup>1</sup>, 赵志强<sup>2</sup>, 王新刚<sup>2</sup>, 张 艳<sup>2</sup>, 左 雅<sup>2</sup>  
(1. 国网新疆电力公司经济技术研究院 新疆 乌鲁木齐 830002;  
2. 国网新疆电力公司发展策划部 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 随着 750 kV 伊犁—库车输变电工程建成投运, 届时将形成环天山西段大环网, 环网线路长度合计约 1 800 km。环天山西段大环网的建成, 打通了南北疆电力互供的通道, 形成南北疆互供格局, 提升伊犁地区、南疆五地州清洁能源消纳能力。但是由于环天山西段大环网中两变电站之间均通过单回 750 kV 线路联系, 环网中任一回 750 kV 线路故障将导致大规模、大范围潮流转移, 严重影响电网安全稳定运行。同时 750 kV 伊库线穿越高海拔地区, 气候条件恶劣, 运行环境复杂, 进一步恶化了电网可靠运行, 致使外界对构建环天山西段大环网的作用产生了疑惑。因此从供电可靠性、送电能力、安全性、清洁能源消纳能力等方面对环天山西段大环网投运初期进行分析, 详细对比分析环天山西段大环网投运后对新疆电网运行带来的好处以及投运后对新疆电网运行产生的风险, 消除外界对构建环天山西段大环网疑虑, 同时为指导环天山西段大环网安全稳定运行提供了重要技术支撑。

**关键词:** 环天山西段大环网; 750 kV 伊库线; 送电能力; 安全性

**Abstract:** With 750 kV Yili – Kuche power transmission and transformation project being put into operation, it will form a large ring network in Western Tianshan, and the total line length of ring network is about 1 800 km. The large ring network in Western Tianshan gets through the channel of power supply from southern to northern Xinjiang, realizes the inter-supply between southern and northern Xinjiang, and improves the accommodation capacity of clean energy in Yili region and the five southern states. But because the two substations in Tianshan western section of large ring network are connected with each other through a single 750 kV line, the fault of either 750 kV lines in the ring network will lead to a large scale and wide range flow transfer, which seriously affects the safe and stable operation of power grid. At the same time, 750 kV Yili – Kuche line passes through the areas with high altitude and harsh climatic conditions, the complex environment deteriorates even further the reliable operation of power grid, which makes the outside world doubt on the construction of Tianshan western section of large ring network. The reliability of power supply, power transmission capacity, safety and stability, accommodation capacity of clean energy and other aspects during initial operation stage of Tianshan western section of large ring network are analyzed, the benefits brought by the operation of Tianshan western section of large ring network are compared in detail as well as the risks after its operation, which can eliminate the doubts for the construction of a ring network and provide an important technical support for the safe and stable operation of Tianshan western section of large ring network.

**Key words:** Tianshan western section of large ring network; 750 kV Yili – Kuche transmission line; transmission capacity; safety and stability

中图分类号: TM72 文献标志码: A 文章编号: 1003 – 6954(2017)03 – 0011 – 04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.03.003

## 0 引言

2016年11月750 kV伊犁—库车输变电工程建成投运, 形成了环天山西段750 kV大环网。环天山西段大环网西起伊犁变电站, 途经乌苏、凤凰、乌北

科技项目: 国家电网公司科技项目(5230JY15002G)

(亚中)、达坂城、吐鲁番、巴州、库车、伊犁共8座750 kV变电站, 12条750 kV线路, 环网中750 kV线路长度合计约1 800 km, 环网中各750 kV变电站多为单主变压器, 且大部分变电站通过单回750 kV联系。

环天山西段大环网建成后, 打通了南北疆电力互供的通道, 形成南北疆互供格局, 提升伊犁地区、

新疆五地州清洁能源消纳能力。同时 750 kV 伊库线投运缩短了南疆地区与主网的电气距离,提高了南疆地区短路水平和南疆电网运行的稳定性。但是由于环天山西段大环网中两变电站之间均通过单回 750 kV 线路联系,环网中任一回 750 kV 线路故障将导致大规模、大范围潮流转移,电压波动幅度较大,严重影响电网安全稳定运行<sup>[1-4]</sup>。同时环网中任何一回 750 kV 线路检修,将打破环网运行结构,形成长链式串供格局,供电可靠性、供电能力将大幅下降。750 kV 伊库线穿越高海拔地区,气候条件恶劣,运行环境复杂,进一步恶化了电网可靠运行,致使外界对构建环天山西段大环网的作用产生了疑惑。

因此为消除外界对构建环天山西段大环网的怀疑,下面从供电可靠性、送电能力、安全稳定性、清洁能源消纳能力等方面对环天山西段大环网投运初期进行分析;详细对比分析环天山西段大环网投运后对新疆电网运行带来的好处以及投运后对新疆电网运行产生的风险,以消除外界对构建环天山西段大环网疑虑;同时为指导环天山西段大环网安全稳定运行提供了重要技术支撑。

## 1 伊犁—库车 750 kV 输变电工程概况

环天山西段大环网供电区域涵盖新疆 10 个地州,供电区域面积约占新疆总面积的 3/5。环天山西段大环网由 8 座 750 kV 变电站(变电容量 21 500 MVA),12 条 750 kV 线路(线路长度合计约 1 800 km)组成。环网中线路最长、环境最为恶劣的工程为伊犁—库车 750 kV 输变电工程,该工程需要穿越天山山脉,工程难度大,工程前期论证耗时约 5 年,前后编制几十本专题分析报告。

伊犁—库车 750 kV 输变电工程包括 3 个单项工程:伊犁 750 kV 变电站扩建工程、库车 750 kV 变电站伊犁 I 间隔扩建工程、伊犁—库车 750 kV 线路工程,线路全长 361 km,工程总投资 17.9 亿元。750 kV 伊库线建成后新疆电网 750 kV 网架结构如图 1 所示。

750 kV 伊库线起自尼勒克县苏布台乡西侧的 750 kV 伊犁变电站,止于库车县苏巴什古城遗址西南侧的 750 kV 库车变电站。线路途经伊犁地区伊宁县、尼勒克县、新源县、巩留县和巴音郭楞州和静

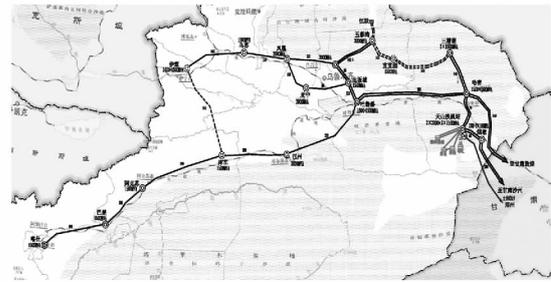


图 1 新疆电网 750 kV 网架结构

县以及阿克苏地区库车县。线路两次翻越天山山脉,海拔在 800 ~ 3 750 m 之间,地形以山地和高山大岭为主(山地占 37.4%,高山占 21.6%),是中国输电线路史上首次跨越冰川和高山冻土区的线路工程。线路大部分地区地势陡峭、高差大、地质条件复杂,交通条件恶劣,施工难度大,运行检修困难。

由于 750 kV 伊库线跨越天山山脉,所处自然条件恶劣,地形复杂;同时因气候条件恶劣,天山山脉每年只有 5 ~ 10 月份适宜安排巡线及相关检修工作,检修难度大;且 750 kV 伊库输电距离长,从而导致 750 kV 伊库线运行可靠性无法得到保障,影响环天山西段大环网运行可靠性;因此有必要分析环天山西段大环网建成投运初期对新疆电网运行的影响。

## 2 环天山西段大环网投运初期优点分析

环天山西段大环网投运后,打通了南北疆电力互供的大通道,缩短了南疆电网与主网的联系,见图 2 所示。环天山西段大环网投运后对电网的供电可靠性、送电能力、安全稳定性、清洁能源消纳能力等方面均起到一定的好处。主要表现在以下几个方面:

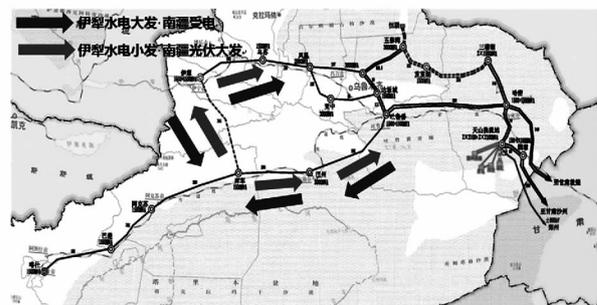


图 2 环天山西段大环网投运后  
南北疆电力互供示意图

### 1) 提升清洁能源消纳能力

环天山西段大环网投运后,实现了南北疆电力互供、水电与光伏互补的格局。伊犁水电大发、南疆受电情况下,伊犁水电和西北部新能源直送南疆五

地州,缩短送电距离 1 100 km。伊犁水电小发,南疆水电、光伏大发情况下,南疆盈余电力通过 750 kV 伊库线直送北疆各地区,缩短送电距离 1 100 km。750 kV 伊库线投运后增加了南部盈余电力外送以及北电南送的通道,可以实现南北疆地区多能源之间的互补,提高新疆电网的调峰容量,提升清洁能源的消纳能力。

### 2) 提升系统短路电流水平

环天山西段大环网后,南疆电网与主网仅通过一回 750 kV(巴吐二线)和 2 回 220 kV(什金一、二线)线路联系的局面得到改善,南北疆电网之间电气联系进一步加强<sup>[4-6]</sup>。750 kV 伊库线投运后,南疆地区 750 kV 电压等级短路水平均有一定的提升。750 kV 伊库线投运后,分别减小伊犁、库车的系统阻抗 30%、25%;提升 750 kV 伊犁变短路电流水平 2.9 kA,提升 750 kV 库车变短路电流水平 2.7 kA,详见表 1。

表 1 环天山西段大环网投运前后系统短路  
电流水平变化差异 单位: kA

变电站名	环网投运前	环网投运后	变化量
凤凰变电站	19.32	19.64	0.32
亚中变电站	17.85	17.90	0.05
乌苏变电站	10.95	11.89	0.94
库车变电站	8.05	10.78	2.73
伊犁变电站	6.87	9.79	2.92
巴州变电站	9.30	9.88	0.58
阿克苏变电站	7.14	7.73	0.59

### 3) 提高了供电可靠性

环天山西段大环网后,形成了环网运行格局,南疆长距离单线串供形势得到改善。伊犁—库车 750 kV 输变电工程未投运之前,伊犁电网仅通过单台

750 kV 主变压器、1 回 750 kV 线路与主网相联,伊犁地区存在孤网运行风险,750 kV 凤苏线、伊苏线跳闸存在频率稳定问题,其严重依赖伊犁地区机组的一次调频性能,同时严重依赖伊犁地区安全稳定控制装置,存在损失负荷风险。伊犁—库车 750 kV 输变工程投运后,伊犁地区孤网运行风险降低,供电可靠性得到提高。

### 4) 提升了南北疆送出能力

750 kV 伊库线投运后,增加了南北疆电力送出通道,缩短了末端电网与主网的电气距离,从而提高了电网安全稳定水平,各主要外送通道送电能力主要受制于断面中 220 kV 小截面导线限制<sup>[7-10]</sup>。通过计算分析 750 kV 伊库线投运后,伊犁送出断面、南疆送出断面均有较大幅度的提升。伊犁送出断面送出能力由原来的 900 MW 提高到 1 800 MW;南疆三地州送出断面送出能力由原来的 700 MW 提高到 1 500 MW;南疆五地州送出断面送出能力由原来的 800 MW 提高到 1 500 MW。

### 5) 改善了动态稳定特性

750 kV 伊库线投运后,加强了南疆与北疆之间的电气联系,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稳水平。伊库线投运前,新疆电网机组参与的阻尼比小于 0.11 的低频振荡模式中,有 4 个区域振荡模式,见表 2,不存在弱阻尼的振荡模式,也不存在局部振荡模式。伊库线投运后,新疆电网机组参与的阻尼比小于 0.11 的低频振荡模式中,有 3 个区域振荡模式,见表 3。各振荡模式下阻尼比相对于 750 kV 伊库线投运之前均有一定的提高,动稳定水平得到一定的提升。

表 2 环天山西段大环网投运前新疆电网主要振荡模式

序号	特征值	振荡频率/Hz	阻尼比	振荡模式
1	-0.167 + j 2.978	0.474	0.056	南疆机组—北疆机组
2	-0.335 + j 4.101	0.653	0.081	北疆机组—新疆主网机组
3	-0.310 + j 3.577	0.569	0.086	南疆机组—新疆主网机组
4	-0.211 + j 2.054	0.327	0.102	新疆机组—西北主网机组

表 3 环天山西段大环网投运后新疆电网主要振荡模式

序号	特征值	振荡频率/Hz	阻尼比	振荡模式
1	-0.240 + j 3.232	0.514	0.074	南疆机组—北疆机组
2	-0.376 + j 4.119	0.656	0.091	北疆机组—新疆主网机组
3	-0.213 + j 2.059	0.328	0.103	新疆机组—西北主网机组

### 3 环天山西段大环网投运初期风险分析

由于环天山西段大环网覆盖范围广,环网各线路多为单回750 kV线路,任何一回750 kV检修或跳闸将打破环网运行格局,同时750 kV伊库线运行环境恶劣,对电网正常运行及检修带来一定的风险,主要表现在以下几个方面:

1) 发生N-1故障后,潮流大范围转移造成巴州750 kV变电站低电压

750 kV伊库线投运后,形成环天山西段大环网,环网中任意一回线路跳闸,将导致潮流发生大范围转移。尤其是北部750 kV线路故障将导致北部盈余电力通过750 kV伊库线大范围转移至南疆电力送出通道(750 kV巴吐二线),与南疆地区能源挤占外送通道,从而造成750 kV巴州变低电压,见图3。凤苏、伊苏电磁解环方式下,750 kV凤苏、伊苏线故障跳闸,受功率转移造成的低电压,需根据伊犁外送功率,按1:1比例切除伊犁地区机组。

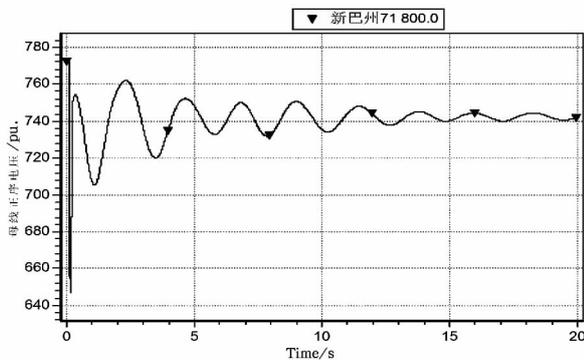


图3 750 kV巴州变电站750 kV电压变化曲线

2) 电磁环网运行方式下,220 kV层面承载能力不足,受220 kV小截面导线过载限制,制约送电能力

环天山西段大环网中下一电压等级(220 kV电压等级)存在较多的小截面导线,与750 kV线路构成一个送出通道。由于220 kV层面承载能力不足,在750/200 kV电磁环网运行方式下,若750 kV线路发生跳闸,潮流转移至220 kV层面,将导致220 kV小截面导线过载,见图4。

凤苏、伊苏线路电磁合环运行时,凤苏线或伊苏线发生故障,原750 kV线路上传输的功率将有50%转移至220 kV系统,有可能造成克野线、野石东线、玛石东线、奎崇一线、崇石西线、林尼线、伊尼线共计7条小截面导线传输功率超过热稳定极限。

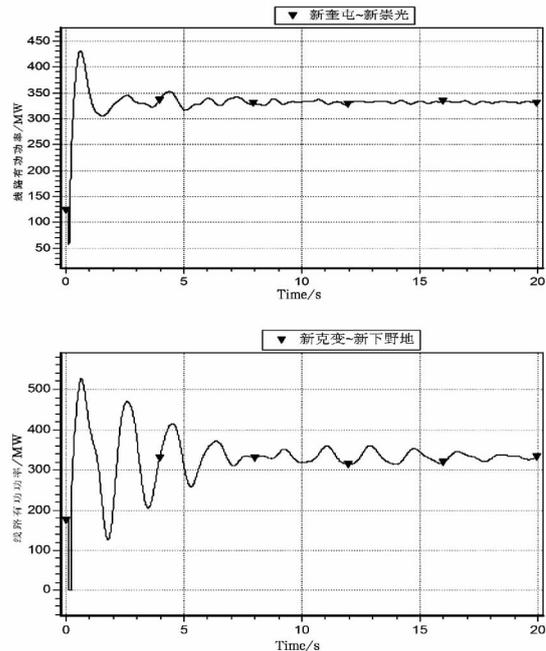


图4 750 kV线路故障后220 kV小截面导线功率变化曲线

3) 潮流转移,造成稳控策略复杂化

750 kV凤苏、伊苏、巴库、吐巴线路在750/220 kV电磁环网运行方式下,发生N-1故障,潮流将分别由220 kV系统和750 kV系统转供,且潮流转移量与北部及南疆开机方式密切相关,造成故障情况下稳控策略关联因素增多,策略制定复杂,无法实现精细化稳控策略制定<sup>[11-14]</sup>。

4) 检修方式难以安排,存在较大风险

由于环天山西段大环网中各750 kV线路多为单回线路,当环网中任何一回750 kV线路检修时,环网供电格局将被打破,相应的750 kV变电站将成为末端厂站,形成单回线路长距离串供格局,供电可靠性将降低,若再发生750 kV线路跳闸,将严重危及电网安全稳定运行。如750 kV凤乌线检修、750 kV亚达线跳闸,新疆电网对西北电网动态失稳,需切除西北部部分机组,同时可能造成乌昌城网损失负荷约150 MW;750 kV伊苏线检修,750 kV巴库线、巴吐二线跳闸,伊犁和南疆机组暂态失稳,需切除伊犁地区机组,按外送功率1:1比例切除伊犁地区机组;750 kV吐巴线检修,750 kV伊苏线、伊库线跳闸,在伊犁、南疆电力盈余情况下,将引起伊犁、库车地区机组暂态失稳,需切除伊犁地区机组、南疆光伏,按外送功率的60%切除机组;750 kV库车主变压器检修,750 kV库阿线阿侧偷跳,将引起库阿线

(下转第20页)

及关键技术[J]. 中国电力 2016 49(3): 18-23.

- [7] 张彦涛, 张志强, 张玉红, 等. 应用特高压直流输电技术实现亚欧洲际输电方案的设想[J]. 电网技术, 2015, 39(8): 2069-2075.
- [8] 张运洲, 韩丰, 赵彪, 等. 直流电压等级序列的经济比较[J]. 电网技术 2008, 32(9): 37-41.
- [9] 游沛羽, 王晓辉, 张艳. 亚欧超远距离特高压输电经济

性研究[J]. 电网技术 2015, 39(8): 2087-2093.

作者简介:

高 晗(1991), 硕士研究生, 研究方向为全球能源互联网;

刘继春(1975), 教授、博士, 研究方向为电力系统经济性分析、电力市场以能源互联网。

(收稿日期: 2017-02-20)

(上接第14页)

阿侧电压大幅度抬升(高达 83.7 kV, 达到 1.12 倍) 存在设备过耐压损坏风险。

## 4 结 论

通过对环天山西段大环网网架结构投运初期进行系统分析, 得出环天山西段大环网建成投运后, 实现了南北疆电力互供的大通道; 缩短了南疆电网与主网的联系; 改善了新疆电网运行特性; 提升了新疆电网安全稳定水平; 提高了伊犁地区、南疆地区送受电能力; 促进了南疆地区新能源消纳和开发。但是由于环天山西段大环网覆盖面积大、横跨面积广, 且 750 kV 伊库线两次穿越天山山脉, 自然条件恶劣, 给电网运行带来一定的风险。总体来说, 环天山西段大环网的建成给新疆电网运行稳定性、供电可靠性、供电能力等方面带来众多改善, 利大于弊。同时随着后续新疆南部 II 回、北部 II 回 750 kV 输变电工程的建成, 将彻底解决环天山西段大环网带来的风险。

### 参考文献

- [1] 康伟, 刘哲, 贾宏杰, 等. 基于风险分析的天津电网运行方式比较[J]. 电网技术, 2012, 36(4): 102-107.
- [2] 李碧君, 方勇杰, 徐泰山. 关于电网运行安全风险在线评估的评述[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 171-177.
- [3] 胡扬宇, 付红军, 张毅明, 等. 特高压南阳站建成后鄂豫断面电磁环网运行分析[J]. 电网技术, 2011, 35(6): 102-107.
- [4] 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.

[5] 张云晓, 郑春莹, 郭瑞鹏, 等. 宁波电网运行风险分析及决策支持系统[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(11): 90-94.

[6] 任嫻婷. 电网运行风险分析及其控制措施探讨[J]. 企业技术开发, 2015, 34(29): 90-91.

[7] 钟显, 樊艳芳, 王一波, 等. 含高密度风电、交直流送端电网直流闭锁故障稳控方案研究[J]. 电力系统保护与控制 2015, 43(13): 130-138.

[8] 周专, 姚秀萍, 王维庆, 等. 基于多电磁环网的功率转移研究与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(22): 134-140.

[9] 李杨楠, 刘文颖, 潘炜, 等. 西北 750 kV 电网动态稳定特性分析和控制策略[J]. 电网技术, 2007, 31(12): 63-68.

[10] 张伟, 常青, 张剑云. 特高压互联系统联网初期动态稳定特性及控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(22): 19-24.

[11] 邱丽萍, 赵兵, 张文朝, 等. 综合负荷模型对大区互联电网稳定特性的影响[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 82-87.

[12] 杨冬, 赵康, 刘玉田. 特高压电网电磁环网开环方案优化决策[J]. 高电压技术 2015 41(3): 778-786.

[13] 张明理, 徐建源, 李佳珏. 含高渗透率风电的送端系统电网暂态稳定研究[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 740-745.

[14] 徐式蕴, 吴萍, 赵兵, 等. 提升风火打捆哈郑特高压直流风电消纳能力的安全稳定控制措施研究[J]. 电工技术学报 2015, 30(13): 92-99.

作者简介:

周 专(1987), 硕士、工程师, 研究方向为电力系统规划与分析;

吕 盼(1983), 硕士、高级工程师, 研究方向为电力系统规划与分析;

赵志强(1977), 高级工程师, 研究方向为电力系统规划与分析。

(收稿日期: 2017-03-11)