

# “疆电入川”工程对四川电网的影响研究

蒋乐<sup>1,2,3</sup> 魏震波<sup>1,2</sup> 刘俊勇<sup>1,2</sup> 胡国强<sup>3</sup> 陈虎<sup>3</sup> 刘洋<sup>1</sup>

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川省智能电网重点实验室, 四川 成都 610065; 3. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** “疆电外送”工程的实现, 四川电网结构枢纽的确立, 及四川电网丰枯时节电力电量的落差, 蕴育了“疆电入川”工程的实施。该工程在实现“西电东输”大格局优化与解决四川电力电量平衡问题的同时, 势必对四川电网造成影响。在分析了疆电外送工程与四川电网现状基础上, 对疆电入川的电力电量平衡问题、短路电流水平问题进行了深入研究。研究表明: 该工程能有效解决四川电力“丰余枯缺”结构性矛盾, 且实现“外送接力”作用; 参考当前四川电网(特别是成都电网)短路水平, 该工程对四川电网短路电流水平影响不大, 但仍需要采取相关限流措施; 研究成果可为“疆电入川”工程的实施提供了理论支撑。

**关键词:** 疆电外送; 四川电网; 疆电入川; 电力电量平衡; 短路电流水平

**Abstract:** The implementation of "power transmission project from Xinjiang to Sichuan" is created by the realization of "electricity delivery project from Xinjiang", the constructional characteristics of Sichuan power grid and the drops during high and low water flow period. This project will optimize the pattern of "power delivery from the west to the east" and make the balance of Sichuan electricity, but it will also have influence on Sichuan power grid. The power balance and short-circuit current level are studied on the basis of the existing analyses of electricity delivery project from Xinjiang and the development of Sichuan power grid. The results show that: the implementation of the project can effectively solve the constructional problem, surplus in the high water flow period and destitute in the low water flow period of Sichuan power grid, and although it has been-ly impacts on the short-circuit current level of Sichuan power grid considering the current situation, it still needs to adopt the relevant measures to limit the flow. The research achievements would be a reference for the implementation of "power transmission project from Xinjiang to Sichuan".

**Key words:** electricity delivery from Xinjiang; Sichuan power grid; power transmission from Xinjiang to Sichuan; power balance; short-circuit current level

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)05-0005-04

## 0 引言

“疆电外送”<sup>[1,2]</sup>作为既已实现,且未来发展潜力巨大的能源优化配置工作已视为国家战略发展规划。而与之相邻的四川电网作为国家枢纽电网<sup>[3]</sup>,“西电东输”工程的大量投运保证了其有能力成为中转站,实现电力资源的“接力外送”;加之以水电为主的四川电网,丰枯期电量存在较大落差,部分时段有一定电量缺额,“丰余枯缺”结构性矛盾凸出。“疆电入川”孕育而生。

然而,伴随“疆电入川”特高压直流项目投运,势必将会对四川电网造成较大影响,特别是成都电网。主要问题包括有:①电力电量平衡问题<sup>[4]</sup>,如电力建设规划、电量的消纳与结算;②电磁环网问题<sup>[5-8]</sup>,如已处较高短路电流水平的电网现状,原有开关设备的遮断容量能否满足系统的要求;③电网经济与安全问题,如电网运管费用的增加,故障影响与损失加重,通信线路的电磁感应危害加大,及铁塔接触电压、跨步电压增大带来的安全问题等。因此,解析“疆电入川”特高压直流输电工程<sup>[9]</sup>对四川电网的影响,特别是电力电量平衡问题与短路电流水平分析<sup>[10]</sup>显得尤为重要。

基金项目: 863 计划项目(2014AA051901); 国家自然科学基金项目——国(地区)合作与交流项目(51261130472); 国家自然科学基金项目——面上项目(51377111)

# 1 “疆电外送”工程与四川电网现状分析

## 1.1 “疆电外送”工程

随着 750 kV 新疆与西北联网工程的成功投运,新疆电网正式并入全国电网,实现了“煤从空中走、电送全中国”的大跨越。当前,哈密—河南 ± 800 kV 和淮东—重庆 ± 1 100 kV 两条特高压直流工程的投建,预计每年可向外送电 17 500 MW,进而缓解内地用电紧张局面。其中,淮东—重庆 ± 1 100 kV 直流工程还将成为全球电压等级最高、输送容量最大、输电距离最长的直流输电工程。“疆电外送”意义重大。首先,近年来火电连年亏损使电力企业失去投资火电的动力和能力。火电投资下降过快可能导致今后几年火电装机不足,造成“硬缺电”。作为发电主力军的火电增速下降,无疑将对整体供电形势造成影响。而中国电力消费主要集中在东、中部地区,中、东部地区占全国用电比重达近 70%,未来这一特点也不会根本改变。因此,特高压“疆电外送”无疑是保障国家能源安全的重要手段;其次,对于新疆自身的发展而言,建设能源大通道,集约开发新疆各类能源,就地转化为电力,有利于新疆资源优势转化,事关国家能源安全、产业布局和新疆跨越式发展。

## 1.2 四川电网现状分析

近年来,四川电源与电网建设初具规模,跨区联网交换能力大幅提升。然而,“丰余枯缺”结构性问题仍然明显,以 2010 年四川电网实际情况为例,外送电量 20 050 GWh(含二滩送重庆电网 3 730 GWh),外购电量 3 580 GWh。造成上述“既卖电又买电”现象的问题在于以下 3 点。

(1) 电力供需受季节与气候影响较大,对电网吞吐能力和联网要求较高。

受到电源结构和水火电源空间分布的影响,丰水期都有大量的电力自西向东送往负荷中心并向区外送,枯水期则更多是依靠煤电和外来电源,以水电为主的电力供需形势受季节与气候影响较大,对电网吞吐能力和与外区联网要求较高。近年来枯水期供电能力不足,电煤和外购电成为影响冬季电力电量平衡的关键因素。

(2) 四川 500 kV、220 kV 电网已具规模,但电网高低两端网架发展有所滞后。

一方面与外区大量电力交换能力受到限制,电网稳定水平较低,丰水期水电存在弃水调峰、经济性差,更高等级电网(交直流特高压电网)亟待早日建成投产;另一方面 110 kV 以下配电网建设有所滞后,配电网网架和供电能力有待进一步加强。

(3) 电源和电网的发展有待于进一步加强协调配合、共同有序推进。

随着电源特别是水电开发建设速度加快,四川电网建设相对滞后,部分送电通道出现瓶颈。随着厂网分开的电力体制改革已基本完成,电源项目主体多元化的格局已经形成。新形势下,根据市场和电网条件,正确引导电源项目合理布局、规范有序发展,确保电力系统安全可靠,以及系统整体最优的难度较大。

综合分析,四川电网受季节与气候的变化,输送电通道瓶颈及部分城市负荷中心峰谷差异大等问题影响,决定了未来四川电网需要进一步加强省际电网的互联发展。

# 2 “疆电入川”工程对四川电网的影响

## 2.1 电力电量平衡分析

根据四川省“十二五”能源发展规划,四川省全社会用电量年均增长 12.6%,全省最大负荷年均增长 14.4%。参照 2011 年四川电网电力电量实际情况,现对 2012 年全网电力电量平衡进行预测,相关计算公式如下。

$$\Delta P_D = 1.03P_{DC} - (P_R + \Delta P_S) \quad (1)$$

其中,  $\Delta P_D$  为电力余缺;  $P_{NC}$  为需要装机容量;  $P_R$  为综合可调容量;  $\Delta P_S$  为受阻电力。

$$P_R = P_{Inst} - P_M - \Delta P_S - \Delta P_{Sur} \quad (2)$$

其中,  $P_{Inst}$  为期初统调装机容量;  $P_M$  为检修容量;  $P_{Sur}$  为空闲容量。

$$\Delta P_{Sur} = P_{Im} - P_{Ex} \quad (3)$$

其中,  $P_{Im}$  为输入电力;  $P_{Ex}$  为输出电力。

$$\Delta Q_S = Q_C - Q_G \quad (4)$$

其中,  $\Delta Q_S$  为电量自然盈亏;  $Q_C$  为全社会用电量;  $Q_G$  为全网发电量。

电力电量预测结果如表 1 所示。

对表 1 中的电力预测部分进行分析,见图 1 所示。

从图 1 中可以看出,全网 2012 年全年大部分月份(除 4、10、11 月)都存在一定电力缺额,主要集中在

表 1 2012 年四川电网电力电量平衡预测表(单位: MW、GWh)

分项内容	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
本年装机容量	38 984	39 256	39 410	40 684	41 154	41 192	41 868	42 000	42 000	42 680	43 450	44 250	44 250
新增统调装机容量	272	154	1 274	470	38	676	132	0	680	770	800	2 025	7 291
综合可调容量	25 164	25 190	22 861	23 196	22 948	24 128	26 188	26 555	25 752	23 873	27 802	27 582	27 802
最大需求负荷	261 470	246 590	246 020	240 900	230 780	264 320	250 190	289 430	264 500	224 250	264 500	287 500	289 430
电力余缺	-17 670	-2 090	-24 790	-16 170	-8 230	-30 970	4 180	-32 570	-14 910	7 750	5 590	-20 300	-32 570
分月用电量	13 070	12 290	13 790	12 660	12 570	12 360	13 400	14 490	12 600	13 060	13 650	14 860	158 800
水电电量	5 650	5 480	5 600	5 520	8 400	13 000	15 370	14 760	13 500	12 000	8 800	7 130	115 200
电煤约束火电量	5 080	4 750	5 080	4 910	3 390	2 810	3 390	3 390	1 870	1 930	3 740	6 290	46 620
自然盈亏	-2 340	-2 060	-3 120	-2 230	-790	3 440	5 360	365	2 77	870	-1 100	-1 440	3 030
丰期净富余						3 440	5 360	3 650	2 770	870			16 090
枯期净缺电	-2 340	-2 060	-3 120	-2 230	-790						-1 100	-1 440	-13 070

表 2 2015 年四川电网电力电量平衡预测表(单位: MW、GWh)

	电量	最大需求负荷	备用率	备用量	需要装机容量	外送电	总装机容量
合计	272 000	51 250	0.3	15 432	527 932	234 000	88 200

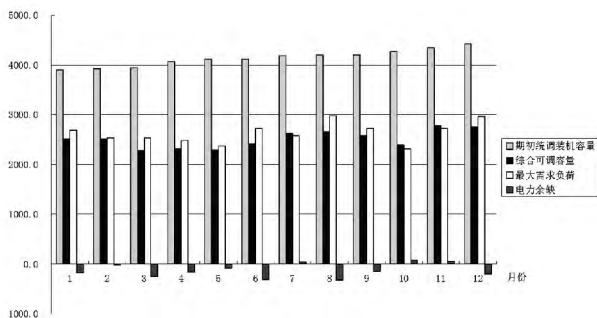


图 1 2012 年电力平衡图

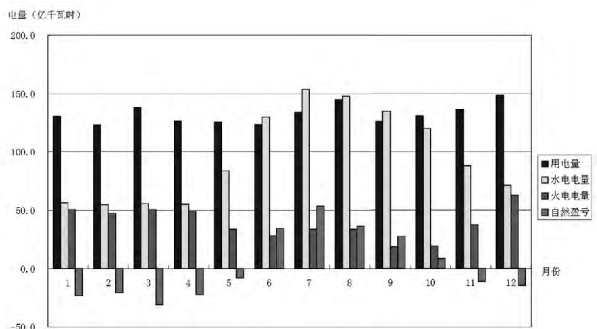


图 2 2012 年电量平衡图

在枯水期与负荷高峰期,最大缺额为 -3 257MW。

对表 1 中的电量预测部分进行分析,见图 2 所示。

全网电量自然盈亏 3 030 GWh,丰期净富余 16 090 GWh,枯期净缺电 13 070 GWh,净缺电月份 11 月至 5 月。

上述结果表明:除负荷日益增长,造成负荷高峰期电力不足外,四川电力“丰余枯缺”结构性矛盾日益凸显,加强区域电网互联强度势在必行。

根据规划,对 2015 年电力电量情况进行预测。

按规划,到 2015 年,四川电网全网电力平衡问题已能得到基本解决,且有一定余力。但考虑到四川电网丰、枯水电变化的影响,“丰余枯缺”问题仍然存在的可能,及全国能源结构优化——“西电东输”的需要,“疆电入川”项目的实施不仅能有效解决四川电力结构性问题,更有利于国家能源大格局的优化。按照“疆电入川”规划,拟建通道将向成都地区输送功率约 11 000 MW,即能实现“消纳疆电,自身平衡,外送接力”的目的。

## 2.2 短路电流水平分析

随着雅安—重庆—皖南交流特高压的投运,以及四川西部水电资源的大力开发和四川中东部电网 500 kV 变电站的增加,使得各站点间的电气距离进一步缩短,导致了已处较高水平的四川电网各站点短路电流水平进一步升高,甚至部分站点水平超过了对应母线开关的最大遮断容量。现利用 BPA 程序对 2015 年四川电网 500 kV 以上变电站(如图 3 所示)短路电流水平进行模拟计算。计算结果如下。

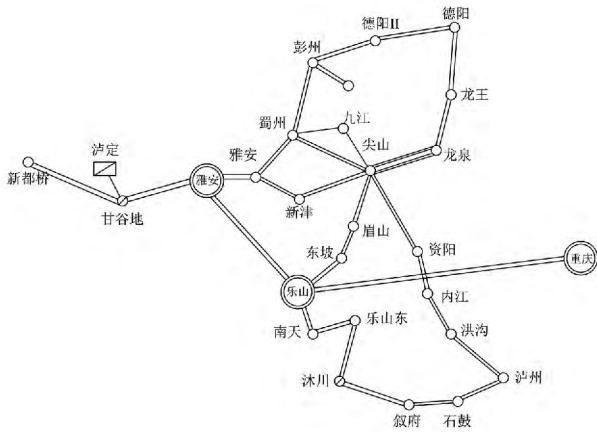


图 3 四川电网 500 kV 站示意图

(1) 2015 年四川电网,在没有采取任何限制短路电流措施的情况下,四川电网两个交流特高压变电站 1 000 kV 母线最大短路电流仅约 26.497 kA,远小于 50 kA 的遮断容量。

(2) 500 kV 侧电网短路电流水平中,东坡变电站的 500 kV 母线三相短路电流超过了遮断容量 63 kA,其余交流特高压变电站 500 kV 母线和 500 kV 变电站高压侧母线的短路电流均小于 63 kA。其中乐山特高压中压侧 500 kV 母线的三相短路电流为 61.383 kA,已接近开关遮断容量,裕度较小。

(3) 220 kV 侧电网短路电流水平中,东坡变电站的 220 kV 母线三相、单相短路电流均超过遮断容量 50 kA,乐山变电站的 220 kV 母线三相短路电流超过了遮断容量,其余 500 kV 变电站 220 kV 母线侧的短路电流均小于 50 kA。

(4) 四川电网各个换流站大多因为直接连接于大型水电站,所以母线短路电流较大,最大为 54.922 kA,最小为 36.720 kA,各个换流站均是单相短路电流高于三相短路电流。

(5) 2015 年四川电网短路电流计算结果中,共有 11 个变电站或换流站的母线短路电流水平高于

50 kA,具体如表 3 中第 2、3 列所示。

考虑“疆电入川”项目主供方向为成都电网,计算 2015 年四川电网 500 kV 以上站点短路电流水平,且对比工程实施前其中已处较高水平站点,如表 3 中第 4、5 列所示。

表 3 短路电流高于 50 kA 的 500 kV 以上站点(单位:kA)

站名	直流投运前		直流投运后	
	三相短路	单相短路	三相短路	单相短路
乐山特高压	61.383	56.545	61.566	56.709
洪沟	52.747	39.881	52.862	39.965
龙泉	53.920	46.071	54.195	46.266
蜀州	51.294	43.131	51.548	43.271
尖山	58.397	51.558	58.707	51.800
东坡	63.575	57.639	63.781	58.407
乐山	50.362	54.268	50.427	54.536
雅安	50.161	48.292	50.260	48.456
雅安	51.936	40.449	52.066	40.506
西昌	53.899	53.603	53.916	53.617
锦屏换流站	48.033	54.922	48.045	54.934
复龙换流站	42.887	51.881	42.895	51.889

结果表明:在不改变四川水电、火电机组容量的情况下,“疆电入川”项目工程投运对 2015 年四川电网 500 kV 以上各站点短路电流水平的影响很小,无明显“助长”作用。相比较于交流输电方式,采用直流输电方式将新疆的富裕电力输送到四川电网,并不会增大四川电网的短路电流水平。由于直流输电线路的电流是按给定值控制的,因此被互联的两端交流系统的短路容量不致由于互联而增大。但是如果用交流线路将两个交流系统互联,则将出现因短路容量增大,导致断路器的遮断容量不足而需要更换,或者增设限流装置,以限制短路电流等。

### 3 结 语

在分析了“疆电外送”与四川电网现状基础上,就“疆电入川”工程对四川电网可能存在影响进行了研究,主要结论如下。

(1) “疆电入川”项目的实施能有效提升“西电东输”大格局资源优化配置,且解决了四川电网枯期存在一定电力缺额的问题;

(下转第 71 页)

由 70.27% 提高到 91.15%。

表 3 2014 年 1 月至 3 月 AVC 成功率情况

设备	AVC 遥控次数	遥控失败次数	成功率 /%	解决方法
福祿变电站 2 号电容器	275	24	91.27	主站接收硬信号
云龙变电站 1 号主变压器	254	27	89.37	采用数据网络通道
梁平变电站 2 号电容器	316	9	91.15	采用数据网络通道

在对 AVC 系统遥控成功率进行探讨时,分析报文是一个很好的手段,通过报文分析,基本上可以判断出问题的原因。

由于 AVC 系统遥控成功率的提高,使得调控中心人工遥控的次数大大减少,减轻工作量,提高了工作效率,也提高了电网电压合格率,保证电网安全运行。

参考文献

[1] 张勇军,林建熙,杨银国. 电力系统无功电压调控配合研究综述[J]. 电网技术 2012, 36(3): 101-106.

[2] 黄益庄. 变电站自动化技术的发展方向[J]. 继电器,

(上接第 8 页)

(2) “疆电入川”项目工程投运后,在不改变四川水电、火电机容量的情况下,对 2015 年四川电网 500 kV 以上各站点短路电流水平的影响很小。采用直流输电方式将新疆的富裕电力输送到四川电网,并不会增大四川电网的短路电流水平;

(3) 当前,随着交流特高压工程的逐步建设,新增大电源的不断接入,各地区电网存在 500 kV、220 kV 环网问题,将导致四川电网各站点短路电流水平将不断增大,甚至某些站点的短路电流已经或者可能超过对应母线开关的最大遮断容量,需要对四川电网 500 kV 各站点采取有效限制短路电流的措施。

参考文献

[1] 本刊编辑部. “疆电外送”特高压直流前期正式启动[J]. 华北电力技术 2011(8): 4.

[2] 新疆电力公司. “疆电外送”工程打造能源输出空中大通道[OL]. 国家电网公司, <http://www.sgcc.com.cn/xwzx/gsyw/yxfc/07/277399.shtml> [2012-07-30].

[3] 陈虎,张英敏,贺洋,等. 特高压交流对四川电网多送出直流输电系统影响评估[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 136-141.

[4] 张粒子,王睿,金允剑,等. 基于跨省发电权交易的“疆

2008, 36(6): 1-3.

[3] 张士勇,陈春,贾大昌,等. 应用 101(104) 规约的“电网调度自动化系统”在现场调试维护中的关键技术分析[J]. 电力系统保护与控制 2011, 39(5): 148-152.

[4] 中华人民共和国国家能源局. DL/T 634. 5104-2009 远动设备及系统 第 5-104 部分 传输规约采用标准传输协议集的 IEC 60870-5-101 网络访问[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[5] 王奕. 无功自动调节系统遥控成功率较低的原因分析和改进[J]. 电力设备 2007, 8(7): 61-63.

[6] 周鹤鹤,刘康军. 电网 AVC 系统存在的问题及改进措施[J]. 电工技术 2010(10): 29-30.

作者简介:

王小波(1986), 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统调度自动化;

张长春(1982) 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统调度自动化;

刘钢(1986) 硕士研究生, 助工, 研究方向为电力系统调度自动化。

(收稿日期: 2013-04-08)

电外送”交易模式研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 69-74.

[5] 刘楠,唐晓俊,张文朝,等. 特高压接入河南电网后电磁环网解环方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 131-136.

[6] 白宏坤,李干生. 关于电磁环网若开环方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制 2010, 38(2): 60-63.

[7] 王强,李建. 四川西部电网解环分区运行研究[J]. 华中电力 2008, 21(4): 12-14.

[8] 杨冬,刘玉田,牛新生. 电网结构对短路电流水平及受电能力的影响分析[J]. 电力系统保护与控制 2009, 37(22): 62-67.

[9] 郑晓冬,邵能灵,杨光亮,等. 特高压直流输电系统的建模与仿真[J]. 电力自动化设备 2012, 32(7): 10-14.

[10] 刘天琪. 现代电力系统分析理论与方法[M]. 北京: 中国电力出版社 2007.

作者简介:

蒋乐(1975), 博士研究生, 高级工程师, 从事特超高压输电技术与电力系统分析工作与研究;

魏震波(1978), 博士, 讲师, 从事电力系统安全稳定分析与控制、电力市场、智能电网及相关计算机应用等研究;

刘俊勇(1963), 教授, 博导, 研究方向为电力系统分析及电力市场研究。

(收稿日期: 2014-07-28)