

特高压直流输电系统对电网谐波污染的仿真分析

徐宏雷¹, 郑伟¹, 周喜超¹, 孙楷淇², 刘巍¹, 姚天亮³

(1. 甘肃电力科学研究院, 甘肃 兰州 730050; 2. 阜阳供电公司, 安徽 阜阳 236017; 3. 甘肃电力设计院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 在基于甘肃省河西地区电网规划的基础上, 利用电力系统分析综合程序对桥湾特高压换流站在各种实际运行情况下产生的谐波污染进行了谐波潮流计算。特高压直流输电系统采用12脉波换流站接线方式, 通过其运行中产生的谐波在电力系统运行大方式和小方式及检修情况下对河西电网谐波污染情况的计算结果分析, 提出了网架结构与谐波污染范围之间的关系。网架强壮程度越高, 谐波污染源对电网的影响就越小, 网架强壮程度越低, 谐波污染源对电网的影响越大。

关键词: 特高压直流输电; 换流站; 谐波污染; 电网规划

Simulation analysis of grid harmonic pollution affected by ultra high voltage direct current power transmission system

XU Hong-lei¹, ZHENG Wei¹, ZHOU Xi-chao¹, SUN Kai-qi², LIU Wei¹, YAO Tian-liang³

(1. Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730050, China;

2. Fuyang Electric Power Corporation, Fuyang 236017, China; 3. Gansu Electric Power Design Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Harmonic load flow is calculated in kinds of actual situation through power system analysis software package based on grid planning of Hexi district to analyze harmonic pollution produced by Qiaowan UHVDC inverter station. The UHVDC power transmission system adopts 12 pulse converter connection mode in this paper. The relationship between grid construction and range of harmonic pollution is provided through analysis of calculate result of Hexi grid harmonic pollution by UHVDC converter station in the grid of maximum operation mode and minimal operation and examine mode. It is concluded that the stronger the grid construction is, the smaller the effect of harmonic pollution source on the grid will be, and vice versa.

Key words: UHVDC transmission; inverter station; harmonic pollution; grid planning

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)23-0192-04

0 引言

随着我国发电量和用电量的不断增长和电网网络架构的不断加强, 大区电网互联线路不断增加。以往用于大区电网间互联的线路往往采用交流线路, 随着直流输电技术的进步与发展, 特高压直流输电在我国得到了越来越广泛的应用。目前我国正在进行建设的主要是±800 kV的特高压直流输电, ±1 000 kV直流输电系统正在进行研究论证, 并且将很快开始建设^[1]。

特高压直流输电是一项新的输电技术, 与交流输电相比, 特高压直流输电有很多自身特有的优点。如无需考虑输电线两端系统的低频振荡问题, 一条线路故障仍能保持一定的输送容量, 能够实现不同电力系统间的非同步联网, 输送距离长等优点。特高压直流输电在存在众多优点的同时, 也存在一些

缺点。很多学者对特高压直流输电运行过程中出现的一些问题进行了研究^[2-8]。由于特高压直流系统多采用12脉波换流站接线方案, 在换流站工作过程中, 会产生一些特征谐波和非特征谐波^[9-17], 这些谐波的产生给电网的生产运行带来了一些问题。本文在基于甘肃省河西电网网架“十二五”规划的基础上^[18], 利用电力系统综合稳定程序对桥湾±800 kV特高压换流站在不同运行方式下产生的谐波污染情况, 进行了谐波潮流计算。根据计算结果就特高压换流站产生谐波对河西电网的影响进行了分析。

1 桥湾±800 kV换流站谐波污染计算分析

1.1 概述

瓜州位于甘肃省河西地区, 风力资源丰富。近几年, 各大发电集团都加强了在瓜州地区的风力发电建设, 使其得到了“风电之都”美称。根据甘肃

省电网规划,“十二五”期间,甘肃境内将有大量风力发电厂并网投运,发电容量超千万千瓦。届时,瓜州、桥湾和安西地区的上网风电将与酒泉地区的火电打捆,通过特高压直流输电线路送出,最终到达东南沿海的负荷中心,实现国网公司西电东送的能源战略。

1.2 河西电网“十二五”网络架构(图1)

按照甘肃省“十二五”电网规划,河西地区将建成以750 kV交流线为主网架的交直流互联混合电力系统。届时,河西电网将承担起西北电网输电大通道的重要使命。

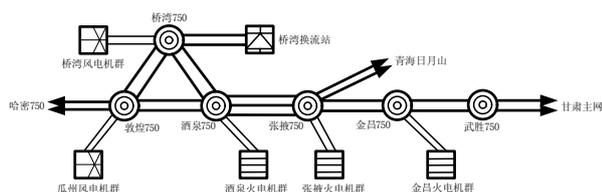


图1 河西电网“十二五”规划简图

Fig.1 The simplified chart of grid planning of Hexi district

直流换流站的主要部分是两组三相桥串联组成的十二相脉动单元电路。一次部分由换流变压器、换流阀、直流输电线路、直流滤波器、交流滤波器、平波电抗器构成。换流站的十二相电源是由两组星角和星星连接的变压器提供的。由换流站运行特性可知,理想运行时换流站直流侧会产生 $12n$ 次谐波,换流站的交流侧则会产生 $12n+1$ 次谐波。换流站工作接线图如图2所示。

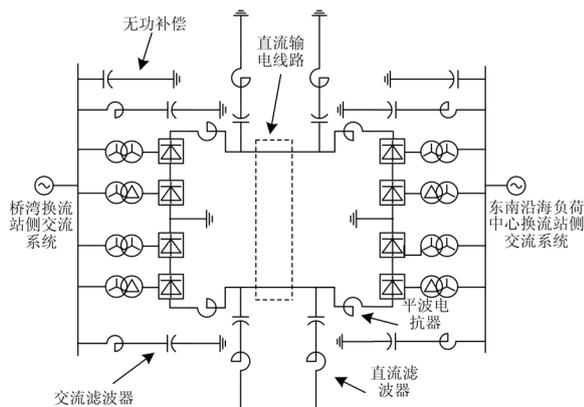


图2 换流站工作接线图

Fig.2 Elementary diagram of inverter station

1.3 直流换流站谐波源模型

对特高压直流系统来说,有3种基本的运行接线方式:双极运行接线方式、单极大地回路运行接线方式和单极金属回路运行接线方式。其中,双极运

行方式为每站每极2组12脉动换流器串联投入;单极大地回路运行方式为一极停运,由2组12脉动换流器串联运行的另一极经由大地返回;单极金属回路运行方式为一极停运,由2组12脉动换流器串联运行的另一极经由金属回路返回。

对于单极大地回路运行接线方式和单极金属回路运行接线方式,文献[19]对 ± 800 kV换流站产生谐波次数及幅值进行了计算,单极大地回路运行接线方式和单极金属回路运行接线方式产生谐波数值大小差别很小。本文将单极大地回路运行接线方式和单极金属回路运行接线方式统一为一种运行方式,即单极运行方式。考虑运行成本及设备维护的原因,单极大地运行方式的运行可能性大于单极金属回路运行的可能性,本文谐波潮流计算单级运行方式下的谐波含有率采用单极大地运行方式的计算结果,如表1所示。

表1 换流站不同运行方式下的谐波含有率

Tab.1 The inverter station harmonic ratio in different operation

运行方式	各次谐波含有率 / %							
	11	13	23	25	35	37	47	49
双极	3.59	2.35	0.94	0.81	0.27	0.26	0.09	0.08
单极	3.56	2.34	0.95	0.81	0.28	0.27	0.08	0.07

1.4 谐波潮流算例分析

为研究换流站产生的谐波对电网的影响,笔者利用电力系统分析综合程序以河西地区“十二五”电网规划为基础,搭建仿真模型,进行谐波潮流计算。

由于输送线路容量及换流阀容量的限制,对于特高压换流站来说,单极运行方式下的输送容量比双极运行方式下的输送容量要小。本文考虑河西地区风机出力特性及不同方式下地区负荷特点以及电网运行稳定性需要,设定大方式运行下换流站为单极运行,小方式运行下换流站为双极运行。以河西电网线路在不同运行方式下为例,对换流站产生的谐波在电网中的分布进行了谐波潮流计算。

结合电力生产运行实际情况,选取两种运行工况来研究网架的改变对谐波污染范围的影响。一种运行工况为正常情况下所有输电线路全部投入运行方式,另一种运行工况为酒泉-张掖750线路一回检修方式。在两种工况的基础上,就换流站单极运行和双极运行两种方式分别进行计算。计算结果如表2和表3所示。

表2 换流站不同运行方式下线路的谐波电流畸变率

Tab.2 The inverter station harmonic current abnormality ratio in different operation modes

线路名称	%			
	换流站单极运行		换流站双极运行	
	线路 全投	张酒 750 检修	线路 全投	张酒 750 检修
酒泉 750-桥湾 750	4.063 6	4.807 23	4.094 01	4.845 53
桥湾 750-安西 750	9.680 65	14.305 78	9.754 59	14.420 83
酒泉 750-安西 750	0.615 98	0.807 23	0.621 02	0.813 92
安西 750-哈密 750	1.037 1	1.497 95	1.044 37	1.509 51
张掖 750-酒泉 750	0.050 83	0.050 79	0.050 9	0.051 2
张掖 750-日月山	0.004 86	0.006 91	0.005 57	0.006 97
金昌 750-张掖 750	0.012 23	0.016 73	0.012 59	0.016 87
武胜 750-金昌 750	0.001 98	0.002 73	0.002 04	0.002 75

由表2中线路全投工况下与张酒750一回线检修工况下的谐波电流畸变率对比可以看出,在张酒750一回线检修工况下,桥湾换流站产生的谐波对其周边节点的谐波污染效应较重,谐波电压畸变率较线路全部投运时高。其原因是直流换流站相当于一个谐波恒电流源,当节点间联系越紧密时,网络中支路数较多,由谐波源节点向外看去,其外部等值阻抗值较小,网络中各支路电流较小,节点间压降较小;节点间联系较弱时,网络中支路数较少,由谐波源节点向外看去,其外部等值阻抗值较大,网络中各支路电流较大,节点间压降较大。当因张酒750一回线路检修而造成系统等值阻抗变大和用以分流的线路数目变少时,将造成节点谐波电压增高

表3 换流站不同运行方式各节点的谐波电压畸变率

Tab.3 The inverter station harmonic voltage abnormality ratio in different operation modes

站点名称	%			
	换流站单极运行		换流站双极运行	
	线路 全投	张酒 750 检修	线路 全投	张酒 750 检修
桥湾 750	4.425 13	5.259 92	4.456 1	5.300 36
安西 750	1.044 19	1.304 51	1.052 52	1.315 23
酒泉 750	0.090 75	0.128 96	0.091 37	0.129 99
哈密 750	1.255 96	1.557 78	1.265 73	1.570 43
张掖 750	0.019 49	0.025 72	0.018 93	0.025 94
日月山	0.017 43	0.023 5	0.017 62	0.023 69
金昌 750	0.002 8	0.003 86	0.002 88	0.003 89
武胜 750	0.000 29	0.000 36	0.000 3	0.000 36

和节点间联络线谐波电流含量增高,谐波畸变率增大。由此可知电网网架的强壮性与谐波污染范围之间的关系,网架中节点间联系越强,网架的健壮性越好,各次谐波幅值衰减越快,污染范围越小。

2 结论

通过桥湾特高压直流换流站产生谐波在河西地区“十二五”网架规划基础上进行的谐波潮流计算结果的分析可知,谐波的污染程度和范围与谐波源所在网架的强壮程度有关。节点间联系越强,联络线越多,谐波源外部等值阻抗就越小,谐波污染源对电网的影响就越小;反之,节点间联系越弱,联络线越少,谐波源外部等值阻抗就越大,谐波污染源对电网的影响就越大。在网架结构改变的同时,谐波污染范围及程度也将随之改变。

在含有较多上网风机的电网中,风电集中上网节点产生的谐波对电网的影响与直流换流站产生的谐波对电网的污染效应类似,只是网络中节点电压和线路电流中所含有的谐波次数及含量有所区别。建议在电力系统远景规划初期,在上网投运前,对于风电、电铁及大规模非线性负荷等产生谐波污染的节点,应在规划网架中对其造成的影响进行谐波潮流计算,掌握其谐波污染程度,制定谐波污染治理措施。

参考文献

- [1] 张文亮,周孝信,郭剑波,等. ± 1000 kV 特高压直流在我国电网应用的可行性研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27 (28): 1-5.
ZHANG Wen-liang, ZHOU Xiao-xin, GUO Jian-bo, et al. Feasibility of ± 1000 kV ultra HVDC in the power grid of China[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27 (28): 1-5.
- [2] 周浩,余宇红. 我国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29 (12): 4-12.
ZHOU Hao, YU Yu-hong. Discussion on several important problems of developing UHVAC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29 (12): 4-12.
- [3] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2005, 29 (14): 4-6.
YUAN Qing-yun. Present state and application prospect of ultra HVDC in China[J]. Power System Technology, 2005, 29 (14): 4-6.
- [4] 张海凤,朱韬析. 整流侧交流系统故障对高压直流输电系统的影响[J]. 继电器, 2007, 35 (15): 24-27.
ZHANG Hai-feng, ZHU Tao-xi. Influence of rectifier AC fault on HVDC transmission system[J]. Relay, 2007, 35 (15): 24-27.
- [5] 胡伟,查晓明,孙建军. 多谐波源网络谐波源建模与

- 谐波叠加仿真[J]. 中国电力, 2006, 29 (3): 61-65.
HU Wei, ZHA Xiao-ming, SUN Jian-jun. Harmonic sources modeling and harmonic superposition simulation of power system with multi-harmonic sources[J]. Electric Power, 2006, 29 (3): 61-65.
- [6] 罗隆福, 尚荣艳, 许加柱, 等. 基于新型换流变压器的直流输电系统改善换相的机理[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (9): 50-56.
LUO Long-fu, SHANG Rong-yan, XU Jia-zhu, et al. Commutation-improving mechanism of DC transmission system based on a novel converter transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (9): 50-56.
- [7] 罗隆福, 尚荣艳, 李勇, 等. 交流系统等值电抗对新型直流输电系统运行参数的影响[J]. 电工技术学报, 2008, 23 (6): 96-102.
LUO Long-fu, SHANG Rong-yan, LI Yong, et al. Impacts of the AC system equivalent reactance on operation parameters of a novel DC transmission system[J]. Transactions of China Electro technical Society, 2008, 23 (6): 96-102.
- [8] 马玉龙, 肖湘宁, 姜旭. 交流系统接地故障对 HVDC 的影响分析[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (11): 144-149.
MA Yu-long, XIAO Xiang-ning, JIANG Xu. Analysis of the impact of AC system single-phase earth fault on HVDC[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (11): 144-149.
- [9] 郝巍, 李兴源, 金小明, 等. 直流输电引起的谐波不稳定及其相关问题[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (19): 94-99.
HAO Wei, LI Xing-yuan, JIN Xiao-ming, et al. A survey of harmonic instability and related problem caused by HVDC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (19): 94-99.
- [10] 穆子龙, 李兴源, 金小明, 等. 云广特高压直流送端谐波不稳定问题研究[J]. 电网技术, 2008, 32 (20): 8-14.
MU Zi-long, LI Xing-yuan, JIN Xiao-ming, et al. Research on harmonic in stability problem at sending end of UHVDC power transmission project from Yunnan to Guangdong[J]. Power System Technology, 2008, 32 (20): 8-14.
- [11] 穆子龙, 李兴源. 交、直流输电系统相互影响引起的谐波不稳定问题[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (2): 96-100.
MU Zi-long, LI Xing-yuan. Harmonic instability caused by interactions between AC and DC transmission systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (2): 96-100.
- [12] 赵文忠, 刘永科, 闫国平. 基于多频带小波变换的直流输电系统谐波分析[J]. 高电压技术, 2006, 32 (5): 73-76.
ZHAO Wen-zhong, LIU Yong-ke, YAN Guo-ping. Harmonics analysis of the direct current power system based on multi frequency range of wavelet[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32 (5): 73-76.
- [13] 曾艳, 任震, 余涛. 基于调制迭代谐波分析法的交直流混联输电系统多谐波源研究[J]. 电网技术, 2006, 30 (11): 26-29.
ZENG Yan, REN Zhen, YU Tao. Study on multi-harmonic sources in AC/DC hybrid transmission system based on modulation and iterative harmonic analysis method[J]. Power System Technology, 2006, 30 (11): 26-29.
- [14] 李建华, 王渊, 蒋国顺, 等. 高压直流输电系统谐波计算软件包开发与应用[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (4): 96-99.
LI Jian-hua, WANG Yuan, JIANG Guo-shun, et al. Development and application of harmonic calculation software for HVDC system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (4): 96-99.
- [15] 李勇, 罗隆福, 贺达江, 等. 新型直流输电系统典型谐波分布特性分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (10): 59-63.
LI Yong, LUO Long-fu, HE Da-jiang, et al. Analysis of harmonic distribution characteristics of a new DC transmission system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (10): 59-63.
- [16] 赵东元, 于敖杰, 陈建业, 等. 高压直流输电系统直流侧滤波装置的多目标规划设计[J]. 电网技术, 2004, 28 (4): 34-37.
ZHAO Dong-yuan, YU Ao-jie, CHEN Jian-ye, et al. Multi-objective programming design of filtering equipments at DC side in HVDC transmission system[J]. Power System Technology, 2004, 28 (4): 34-37.
- [17] 杨志栋, 李亚男, 殷威扬, 等. ± 800 kV 向家坝—上海特高压直流输电工程谐波阻抗等值研究[J]. 电网技术, 2007, 31 (18): 1-4.
YANG Zhi-dong, LI Ya-nan, YIN Wei-yang, et al. Study on harmonic impedance equivalents used for AC filter design of ± 800 kV UHVDC transmission project from Xiangjiaba to Shanghai[J]. Power System Technology, 2007, 31 (18): 1-4.
- [18] 西北电力设计院. 甘肃“十二五”电网规划设计[S]. 2009.
- [19] 李战鹰, 李建华, 夏道止. ± 800 kV 特高压直流输电系统特征谐波分析[J]. 电网技术, 2006, 30 (24): 6-9.
LI Zhan-ying, LI Jian-hua, XIA Dao-zhi. Analysis of characteristic harmonics in ± 800 kV ultra high voltage direct current power transmission system[J]. Power System Technology, 2006, 30 (24): 6-9.

收稿日期: 2009-11-18; 修回日期: 2009-12-01

作者简介:

徐宏雷 (1979-), 男, 硕士, 初级专工, 主要从事电力系统规划方面的研究; E-mail: angle_xhl@126.com

郑伟 (1973-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统稳定计算, 电力系统继电保护方面的研究;

周喜超 (1982-) 男, 硕士, 初级专工, 主要从事电能质量检测与分析方面的研究。