

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.024

滇西北至广东特高压直流送端换流站 融冰方案技术经济分析

吴子怡, 周唯

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 成都 610021)

摘要: 覆冰闪络是造成重覆冰区输电线路跳闸故障的重要原因。在我国云南、贵州等海拔比较高的山区, 尤其是在水系流域发达、地形复杂的地区, 安装融冰装置能降低冰闪事故率, 提高输电网冬季运行的安全性。通过对滇西北至广东特高压直流输电工程的换流站融冰方案进行选型分析, 从技术方案, 建设管理、运行维护、工程投资等方面展开比较, 提出了技术经济性上具有明显优势的直流融冰配置方案, 并为后续工程提供参考。

关键词: 特高压; 直流输电工程; 融冰; 技术经济

中图分类号: TM721

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)03-0131-05

Selection Analysis of Northwest Yunnan to Guangdong EHV DC Converter Station's Ice Melting Scheme

WU Ziyi, ZHOU Wei

(Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, China)

Abstract: Icing flashover is an important cause of icing transmission lines' trip fault. In China's Yunnan, Guizhou and other relatively high elevation of the mountain, especially the developed, in river basin areas of complex topography, the installation of the ice melting device can reduce the icing flashover accident rate and improve the safety of winter operation of transmission network. In this paper, through the analysis of the sending station selection of ice melting scheme in the Northwest Yunnan Province to Guangdong EHV DC transmission project, from the technical scheme, the thesis compares the construction management, operation and maintenance, project investment etc, put forward the technical economy has obvious advantages on DC ice melting scheme, and provide reference for the follow-up project.

Key words: extra-high voltage (EHV); DC transmission project; ice melting; technical economy

滇西北至广东特高压直流输电通道的建设主要为落实国家大气污染防治行动计划, 将滇西北水电送至珠三角地区, 每年可至少减少珠三角地区煤炭消耗 5.2×10^6 t、减少二氧化碳排放量 1.9×10^7 t、减少二氧化硫排放量 9 400 t, 节能减排效益明显。可有效缓解珠三角地区环境压力, 满足珠三角地区用电需要, 促进地区经济持续健康发展, 提高云南及滇西北水电外送能力, 促进南方电网区域内资源

优化配置。随着水电开发外送, 滇西北输电走廊资源日趋紧张, 输电方式选择应注重走廊资源的高效利用, 从走廊资源利用及输电经济性考虑, 采用先进的 ± 800 kV/5 GW 特高压直流输电方式。由于线路经过云南省重覆冰山区, 为提高工程在冬季安全运行的可靠性, 文章对滇西北至广东特高压直流输电工程送端换流站融冰方案进行技术经济对比分析, 提出了技术方案和投资上具有明显优势的直流融冰配置方案, 并为后续工程提供参考^[1-3]。

收稿日期: 2017-01-08

作者简介: 吴子怡(1981), 女, 重庆市人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电网工程咨询、造价工作(e-mail)26807232@qq.com。

1 送端换流站直流融冰配置方案

滇西北至广东特高压直流输电工程需要考虑云

南境内交流侧导地线融冰, 直流输电线路覆冰 20 mm 以上冰区直流地线融冰。为此, 设计院提出了两个直流融冰的配置方案:

1) 方案一, 独立融冰配置方案——新松换流站内装设一套融冰装置, 满足直流输电线路直流侧地线融冰要求; 黄坪变电站内装设一套融冰装置, 满足本工程相关交流配套交流线路导地线融冰要求。

2) 方案二, 兼顾融冰配置方案——新松换流站内装设一套直流融冰装置, 兼顾送端换流站交流侧导地线及直流侧地线融冰要求。

2 直流融冰装置容量的确定

2.1 直流融冰装置容量的计算

直流融冰装置的主要技术参数包括输出直流电压、电流, 换流变容量、换流变交直流侧电压等。一般情况下在确定了直流融冰电压与电流之后, 即可按照直流输电基本原理得出其他参数。

对于交流导线直流融冰而言, 由于不涉及融冰导线的串并联, 因此只要确定了导线的型号及长度, 就可以通过计算导线的最小融冰电流及电阻来确定融冰装置的直流输出电压及直流输出电流。但是对于地线融冰, 由于地线所采用的串并联方案不同, 融冰电流及地线电阻均有所不同。因此, 地线融冰装置需在融冰方案具体确定后, 方可确定其融冰装置的输出电压与输出电流。

在确定融冰装置的输出电压电流后, 即可进行直流融冰装置主回路参数的计算, 其计算方法与常规直流输电工程相似^[4-5]。

2.2 直流融冰装置容量的确定

考虑一定裕度后, 融冰装置的输出额定电压、输出额定电流及直流输出额定容量如表 1 所示。

表 1 融冰装置参数要求
Tab. 1 Ice melting parameter

融冰方案	输出电压/kV	输出电流/A	装置容量/MW
直流地线融冰	35	1 400	50
接地极导线融冰	18	1 800	33
交流导线融冰	20	5 000	100
交流地线融冰	35	1 200	42

根据不同融冰范围下的电压电流, 结合评审意见及云南电网公司对交流导、地线融冰的要求, 并以直流融冰装置输出额定电压取其融冰线路所需的最高额

定电压, 直流融冰装置输出额定电流取其融冰线路所需最高额定电流为原则, 确定直流融冰装置容量^[6-8], 考虑两个融冰方案, 比较结果如表 2 所示。

表 2 融冰方案比较

Tab. 2 Ice melting scheme comparison

融冰方案	输出电压/kV	输出电流/A	装置容量/MW
方案一 新松站: 一套融冰装置 (直流地线、 接地极导线融冰) 黄坪变: 一套融冰装置 (交流导线、 交流地线融冰)	35	1 800	63
方案二 新松站: 一套融冰装置 (直流地线、接地极线路、 交流导、地线融冰)	35	5 000	175

3 直流融冰装置技术经济分析

依据上表可以较明确的得出两个方案所需融冰装置的不同融冰参数, 但由于不同方案融冰范围不同, 其对应的设备数量、布置尺寸、布置方案以及对站内系统的影响及运行维护方式均有差别, 因此, 尚需从技术可行和经济合理性方面进行详细比较才能最终确定推荐方案^[9-10]。

3.1 场地布置的适应性分析

1) 方案一: 新松站。

仅考虑直流地线融冰和接地极导线融冰, 融冰装置容量 63 MW, 可采用 1 台容量 72 MVA 的三相三绕组变压器作为融冰整流变, 其布置占地较小, 可在预留场地布置, 不需新增用地, 如图 1 所示。

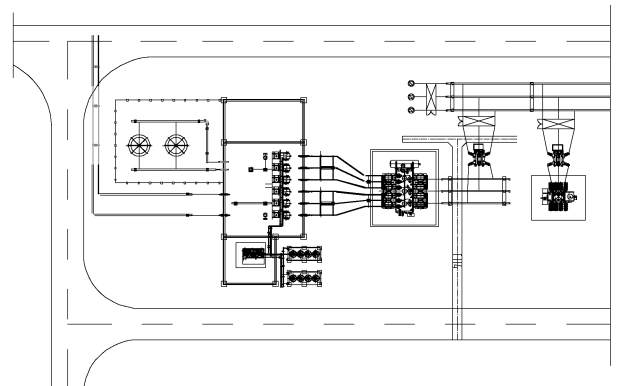


图 1 方案一布置图(新松站)

Fig. 1 Layout plan (Xinsong station) of project No. 1

2) 方案一: 黄坪变。

在新建工程的围墙内扩建, 不需新征地, 但是

需协调黄坪变2号主变扩建工程建设工期和规模调整,如图2所示。如果本能站内协调建设工期和规模调整,则需考虑征地。

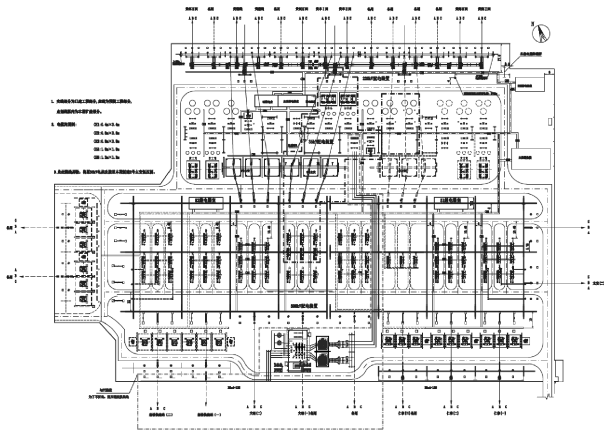


图2 方案一布置图(黄坪站)

Fig. 2 Layout plan (Huangping station) of project No. 1

3)方案二:新松站兼顾交流侧导、地线融冰需求,则融冰装置容量增大至175 MW,融冰整流变容量增大至222 MVA。经调研设备厂家,若还按照1台三相三绕组换流变设计,则设备存在漏抗大、抗短路能力差、稳定性差等问题,故融冰换流变需要按2台三相双绕组变压器设计,则场地布置较紧张,尚能在预留场地布置,如图3。但由于外冷设备占地较大,使得其不得不分开布置,其管道布置较复杂,同时外冷风机也挡住了水冷设备间出口,使得检修较为不便,如图3所示。

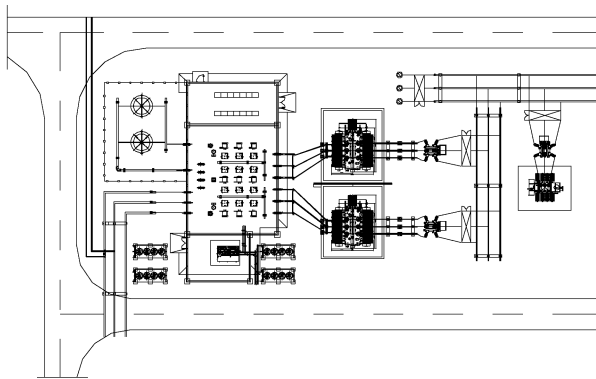


图3 方案二布置图(新松站)

Fig. 3 Layout plan (Xinsong station) of project No. 2

3.2 直流融冰谐波对换流站内系统影响分析

在谐波对二次系统的影响虽方面,然两方案35 kV侧谐波均超过了3%,超出了国标《电能质量公用电网谐波》(GB/T 14549—2008)对35 kV公用电

网电压畸变率3%的限值。但是因3%为公用电网长期运行要求,而直流融冰运行属于应急工程,并且35 kV无出线,谐波折算至500 kV侧后,电压畸变率不超过1%,故不影响新松站和黄坪变的电能质量,可以忽略谐波对二次系统的影响。

在谐波对交流滤波器定值影响方面,方案一和方案二在直流地线和接地极线路融冰时,换流站直流线路是停运的,不考虑对交流滤波器的影响;在交流导、地线融冰时,各设备的电压、电流应力均超出了滇西北交流滤波器的设计定值。根据《高压直流输电系统用并联电容器及交流滤波器电容器》(GB 20994—2007)中规定:电容器每24 h中30 min允许运行电压为1.15倍,每24 h中8 h允许运行电压为1.1倍。而融冰工作时长为大于30 min,小于8 h。故方案一满足国标中规定的允许运行电压;方案二电容器已超出国标中规定的允许运行电压,电容器电压与电容器场强直接相关,其裕度非常小,若采用方案二难以保证电容器设备安全运行。对于电抗器,考虑到融冰的低温环境,各设备的通流能力有一定增加。对于电阻器,其工作时设备的温升为190 K,环境温度对其通流能力的影响较小。故方案一中电抗器和电阻器的电流增加均低于5%,判定在设备通流能力范围内。而方案二中电抗器电流增大为16.2%,电阻器电流增大为17.3%,难以保证设备安全运行。

3.3 直流融冰无功需求对交流电源影响分析

从无功对交流电源的影响角度分析,各方案均未超过站用变容量,因此方案可行。

3.4 兼顾交、直流导地线融冰的操作时间分析

1)方案一。

新松站:结合新松换流站直流地线融冰段长度(1 010.3 km)及融冰方案,完成整个直流地线融冰工作 $\leq (3+8 \times 6.5+3) \text{ h} = 58 \text{ h}$,完成接地极导线融冰时间: $(3+3+3) \text{ h} = 9 \text{ h}$ 。

黄坪变:单回交流导线融冰: $\leq 22 \text{ h}$ 考虑到融冰操作技术的发展,地线融冰时间可能会相应减少。

因此,方案一两站可同时进行融冰工作,独立性强。

2)方案二。

在调研过程中发现有覆冰反复发生的情况,特别是本工程线路经过中、重冰区。若考虑同区域内

的线路反复结冰,则直流地线融冰时间会大大延长。在这种情况下,需协调融冰工况的先后顺序,并且等待融冰的线路还需长时间承受覆冰。故新松站内的直流融冰装置无法兼顾交流线路的融冰。

3.5 运维方式分析

1)方案一。

新松站:直流地线和接地极导线融冰由超高公司负责运维。

黄坪变:交流导地线融冰由云南电网公司负责运维。

分别装设融冰装置,责任主体清晰,运行维护方便。

2)方案二。

交流导地线融冰由云南电网公司负责运维,直流地线融冰由南网超高公司负责运维。但融冰装置布置于换流站内,存在直流地线融冰与交流导线融冰需要协调进行的问题。在此情况下,运行维护复杂、责任主体错位。

3.6 孤岛方式分析

新松换流站在设计阶段充分考了换流站孤岛运行的适应性,并进行了相关专题研究,确保孤岛运行方式下的设备安全和系统稳定。在新松~黄坪一回线路正常检修期间,新松~黄坪另一回线路同样可能发生故障,从而被动进入孤岛运行的方式。因此,融冰方案一虽然增加了进入孤岛的概率,但通过合理安排融冰期间运行方式,可以减少设备损坏的可能性。

为应对可能进入孤岛的融冰方式,建议安排融冰期间水电站增开机组,以增加换流站短路电流水平和系统旋转备用容量。这样即便进入孤岛运行,也可以确保孤岛系统稳定运行。

3.7 经济性比较分析

在融冰装置技术分析的基础上,从投资造价方面对比分析两个方案。融冰装置工程本体投资由四部分构成:建筑工程费、设备购置费、安装工程费、其他费用。如果涉及扩建工程围墙外征地,还需考虑建设场地征地费用。

本融冰工程造价按下列规程规范及有关文件进行编制:

1)国家能源局2013年发布的《电网工程建设预算编制与计算规定》(2013年版)。

2)电力工程造价与定额管理总站发布的《电力

工程造价与定额管理总站关于发布电力工程造价依据营业税改征增值税估价表的通知》(定额[2016]45号)。

3)电力工程造价与定额管理总站发布的《关于发布2013版电力建设工程概预算定额2016年度价格水平调整的通知》(定额[2016]50号)。

4)电力工程造价与定额总站编《2013版电力建设工程定额估价表—建筑工程》。

5)电力工程造价与定额总站编《2013版电力建设工程定额估价表—电气设备安装工程》。

6)电力工程造价与定额总站编《2013版电力建设工程定额估价表—调试工程》。

通过计算两个方案投资如表3所示。

表3 方案投资一览表

Tab. 3 Project investment schedule		万元			
费用名称	方案一 (独立融冰)		方案二 (兼顾融冰)		方案 投资差异
	新松站: 1× 63 MW	黄坪变: 1× 175 MW	新松站: 1× 175 MW	新松站 对比	
	A	B	C	A-C	A+B-C
建筑工程费	346	380	380	-34	346
设备购置费	2 500	4 725	4 725	-222.5	2 500
安装工程费	32	38	38	-6	32
其他费用	200	356	356	-156	200
合计(不征地)	3 078	5 499	5 499	-242.1	3 078
建场征用费	0	130	0	0	130
合计(征地)	3 078	5 629	5 499	-242.1	3 208

从表3可以看出,方案一在新松站加装1套容量63 MW融冰装置,其场地征用和换流站一起征用,不单独考虑征地费,其投资为3 078万元;在黄坪变加装1套容量175 MW融冰装置,在各部门能协调扩建工程建设规模及进度的前提下,可在预留场地扩建融冰装置,不需考虑新征用地,无征地费用发生,其投资为5 499万元,反之则需考虑征地其征地费用为130万元。方案二在新松站加装1套容量175 MW融冰装置,无征地费用发生,其投资为5 499万元。在针对新松换流站工程投资上,方案一的新松站融冰装置较方案二少2 421万元;在独立融冰与兼顾融冰方案投资上,方案一两套融冰装置投资共8 577万元,较方案二投资高3 078万元,如方案一考虑征地则比方案二高3 208万元。基于上述技术分析可得,方案一更可靠;投资分析

中虽然方案一投资高于方案二,但从技术经济上来看方案的造价是合理可行的。

4 结论

文章根据新松换流站可研评审意见及线路融冰需求,针对站内直流融冰装置融冰覆盖范围,提出了两种融冰方案,并首次将技术分析与投资造价结合起来,从场地布置的适应性分析、直流融冰谐波对换流站内系统影响分析、直流融冰无功需求对交流电源影响分析、兼顾交流导线地线融冰的操作时间分析、运维方式分析、孤岛方式分析、经济性分析七个方面对融冰方案做了全面完整的技术经济分析。最后得出:虽然方案一(独立融冰配置方案)在换流站和变电站各装一台融冰装置的投资比方案二(兼顾融冰配置方案)的投资高,但是若新松站内直流融冰装置同时兼顾交流导线、地线的融冰,会带来设备技术参数、场地布置、融冰时序、运维等一系列的问题,且以往换流站均未采用此方式。故推荐方案一,即新松站装设一套融冰装置负责直流地线,和接地极导线融冰,同时在黄坪变装设一套融冰装置负责交流导线、交流地线融冰。

参考文献:

- [1] 陈琛. 架空线路中 OPGW 融冰技术的研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 82-87.
CHEN C. Research on overhead line OPGW ice-melting technology [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 82-87.
- [2] 王兴刚, 陈义宣, 钱迎春, 等. 云南电网直流背靠背工程方案比较 [J]. 南方电网技术, 2012, 6(3): 17-21.
WANG X G, CHEN Y X, QIAN Y C, et al. Comparison of HVDC back-to-back project schemes in yunnan power grid [J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(3): 17-21.
- [3] 饶宏, 李立涅, 黎小林, 等. 南方电网直流融冰技术研究 [J]. 南方电网技术, 2008, 2(2): 7-12.
RAO H, LI L C, LI X L, et al. Study of DC based de-icing

- technology in china southern power grid [J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(2): 7-12.
- [4] 张帆, 徐桂芝, 荆平, 等. 直流融冰系统保护配置与操作策略 [J]. 电网技术, 2010, 34(2): 169-173.
ZHANG F, XU G Z, JING P, et al. Protection configuration for DC ice-melting system and Its operation strategies [J]. Power System Technology, 2010, 34(2): 169-173.
- [5] 贾雷亮. 输电线路融冰闪络分析与防范 [J]. 电力设备, 2007, 8(5): 49-51.
JIA L L. Analysis and countermeasures for melt ice and flash-over on transmission line [J]. Electrical Equipment, 2007, 8(5): 49-50.
- [6] 向往, 谭艳军, 陆佳政, 等. 交直流输电线路热力融冰技术分析 [J]. 电力建设, 2014, 35(8): 101-107.
XIANG W, TAN Y J, LU J Z, et al. Thermodynamic ice-melting technology for AC/DC transmission lines [J]. Electric Power Construction, 2014, 35(8): 101-107.
- [7] 常浩, 石岩, 殷威扬, 等. 交直流线路融冰技术研究 [J]. 电网技术, 2008, 32(5): 1-6.
CHANG H, SHI Y, YIN W Y, et al. Ice-melting technologies for HVAC and HVDC transmission line [J]. Power System Technology, 2008, 32(5): 1-6.
- [8] 陈亦平, 刘文涛, 和识之, 等. 直流融冰装置在南方电网的应用分析 [J]. 南方电网技术, 2011, 5(4): 74-77.
CHEN Y P, LIU W T, HE S Z, et al. Analysis on the application of DC De-icer in China Southern Power Grid [J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(4): 74-77.
- [9] 傅闯, 许树楷, 饶宏, 等. 交流输电系统直流融冰装置设计及其应用 [J]. 高电压技术, 2013, 39(3): 706-711.
FU C, XU S K, RAO H, et al. Design and application of DC deicer for AC transmission system [J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(3): 706-711.
- [10] 谢惠藩, 朱坚, 唐金昆, 等. 直流融冰装置理论与应用的若干问题探讨 [J]. 南方电网技术, 2013, 7(3): 13-20.
XIE H F, ZHU J, TANG J K, et al. Investigation on several issues of theory and application of DC de-icers [J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(3): 13-20.

(责任编辑 高春萌)

榆横—潍坊 1 000 kV 特高压交流输变电工程正式投入运行

2017年8月14日,中国能建广东院参建的榆横—潍坊1 000 kV特高压交流输变电工程顺利完成72小时试运行,正式投入运行。榆横—潍坊1 000 kV特高压交流输变电工程西部连接陕西、山西煤电基地,东部连接扎鲁特—青州特高压直流工程和锡盟—山东特高压交流工程,是华北特高压网架的重要组成部分。作为迄今为止建设规模最大、输电距离最长的特高压交流工程,它的投运标志着列入国家大气污染防治行动计划重点输电通道的国家电网“四交”特高压工程建设任务全部完成。

(中国能建广东院)