

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.201911

渝鄂柔性直流工程接入对500 kV交流线路差动保护影响分析

李勇¹, 时伯年², 谢俊¹, 孙刚², 王英英¹, 金明亮¹

(1. 国家电网公司华中分部, 湖北 武汉 430008; 2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 渝鄂背靠背柔性直流工程投运后可提高相邻区域电网的稳定性, 但引入的电力电子设备也将改变系统的故障特征, 因此有必要对原有交流保护进行重新校验。在不同的直流输送容量、功率传输方向以及 STATCOM 无功支撑等运行方式下, 分析了柔性直流侧注入交流短路点的故障电气量特性: 正负序故障电流幅值受直流控制策略影响较大, 正序故障电流幅值随电压跌落程度的加深而降低、负序故障电流被完全抑制, 但零序故障电流未受影响。分析发现, 交流故障穿越期间的有功电流限幅环节是影响柔性直流侧故障电流幅值大小的主要原因。随后, 针对该故障特性可能会影响交流线路差动保护启动判据、降低保护动作速度甚至造成保护拒动的缺陷, 提出了交流强故障侧指挥柔性直流弱故障侧并辅以电压减量判据的启动元件优化策略。最后, 基于实际柔性直流工程的控制策略及参数, 利用 PASCAD/EMTDC 软件搭建仿真模型验证了所提优化策略的有效性。

关键词: 柔性直流输电; 交流故障穿越; 线路差动; 启动元件; 保护优化

Influence study of Chongqing-Hubei VSC-HVDC interconnection on 500 kV AC line differential protection

LI Yong¹, SHI Bonian², XIE Jun¹, SUN Gang², WANG Yingying¹, JIN Mingliang¹

(1. Central China Power Grid Co., Ltd., Wuhan 430008, China; 2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: VSC-HVDC can improve the stability of AC grid, but the electronic equipment also changes the AC fault characteristics, so it is necessary to re-verify the AC line protection connected with DC system. Based on the different operation modes of VSC-HVDC, the fault characteristics on DC side are analyzed. The magnitude of positive and negative sequence fault current is greatly influenced by DC control strategy and the negative sequence fault current is completely suppressed, but the zero sequence fault current characteristics are not affected. The analysis of the AC fault traversal strategy of the project shows that the active current limiting link during the fault crossing is the main reason that affects the magnitude of the soft-side fault current. Aiming at the fault characteristics, an optimization strategy of starting elements is proposed, which is based on AC strong fault side commanding VSC-HVDC weak fault side and voltage reduction criterion. Finally, a simulation model is built in PASCAD/EMTDC software and the effectiveness of the proposed optimization strategy is verified.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Central China Division (No. SGHZ0000DKJS1800142).

Key words: VSC-HVDC; AC fault ride-through; differential protection; starting element; protection optimization

0 引言

世界上电压等级最高、输送容量最大的渝鄂直流背靠背联网工程, 实现了川渝电网与华中电网的异步互联, 将在优化电网格局、促进清洁能源外送、

能源可持续发展等方面起到积极作用。工程投运后, 能够从根本上解决 500 kV 跨区长链式电网存在的稳定问题, 有效降低特高压电网“强直弱交”带来的结构性风险, 简化电网安全稳定控制策略, 提高电网运行灵活性和可靠性^[1-3]。但柔性直流电网的电源特性、运行方式、供电可靠性、控制保护策略^[4-6]等多个方面与传统交流电网存在较大差异, 高度非线性 and 快速暂态特性将对交流系统的短路故障特性

基金项目: 国网华中分部科技项目资助 (SGHZ0000DKJS1800142)

产生较大影响^[7-10]。

交直流混联电网形成后,当交流电网发生故障时,柔性直流可以充分发挥其快速灵活的控制优势,保证直流系统持续不脱网运行,并提供必要的功率支撑以提高混联系统的稳定性,即具备交流故障穿越能力^[11-13]。原理是根据交流电网故障类型、电压跌落深度等判据,采取增发无功、限制有功功率输出等应对措施使换流器输出电流降低,减少换流器馈入交流系统的短路电流,能够阻断一侧交流系统故障向联接的另一侧交流系统蔓延。受该策略的影响,与柔性直流连接的高压交流输电线路的直流侧短路故障特性将发生变化,现有交流线路保护配置能否适应柔性直流电网的接入,需要深入研究。

目前,专家学者多侧重于研究柔性直流系统交流故障穿越策略的改进及参数的优化^[14-19]以及新型保护原理的设计改进等^[20-24],而针对柔性直流入对交流线路保护造成影响的研究较少。本文依托渝鄂柔性直流工程北通道的实际直流控制策略及参数,从交流侧视角研究柔性直流接入后对与其连接的高压交流线路差动保护的影响。针对直流控制策略对交流故障可能造成的影响,提出了交流强故障侧指挥柔性直流弱故障侧启动并辅以零序电流判据的差动元件优化启动策略,仿真验证了所提优化策略的有效性。

1 渝鄂柔性直流工程及其故障穿越策略

渝鄂直流背靠背联网工程利用现有的两个 500 kV 交流输电断面,分别在南北通道各建一座换流站。每个通道包含两个柔性直流单元,每个换流单元额定容量 1 250 MW,直流电压±420 kV,直流电流 1 488 A。主回路上采用伪双极拓扑形式,直流线路的正负极之间不设置接地极。三绕组联接变压器阀侧 Y 绕组经大电阻接地,网侧 Y 绕组直接接地。工程主接线拓扑如图 1 所示。

在正常运行时渝侧换流站采用定直流电压控制,鄂侧换流站采用有功功率控制,工程直流控制系统逻辑如图 2 所示。渝鄂工程中交流故障穿越策略,根据交流正序电压跌落幅度对控制系统的电流内环正序电流进行等比例限制。同时,针对不对称故障设计了负序电流的抑制策略,将负序电流控制到近似为零。

交流故障穿越逻辑的判据是根据检测到的换流站交流母线电压跌落幅值等比限制电流内环有功电流的给定值;检测到交流母线电压恢复后,将有功电流参考值恢复至故障前水平。具体故障穿越流程如图 3 所示。

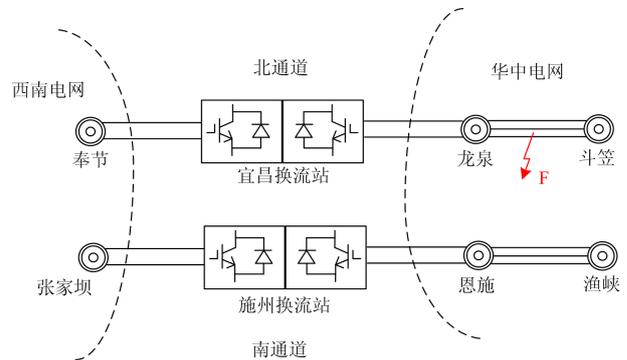


图 1 渝鄂背靠背直流工程拓扑图

Fig. 1 Diagram of Chongqing-Hubei VSC-HVDC

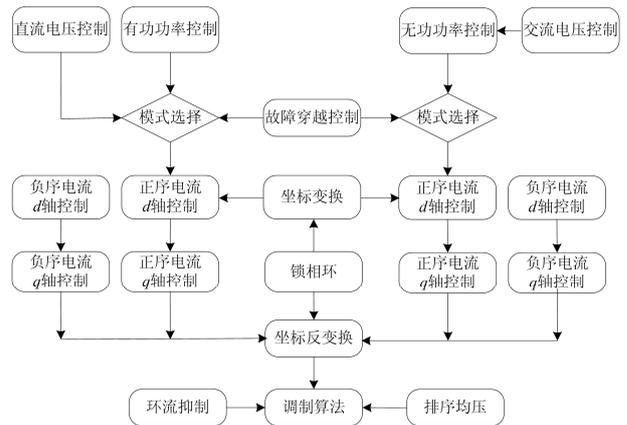


图 2 渝鄂直流控制逻辑

Fig. 2 Control system of Chongqing-Hubei VSC-HVDC

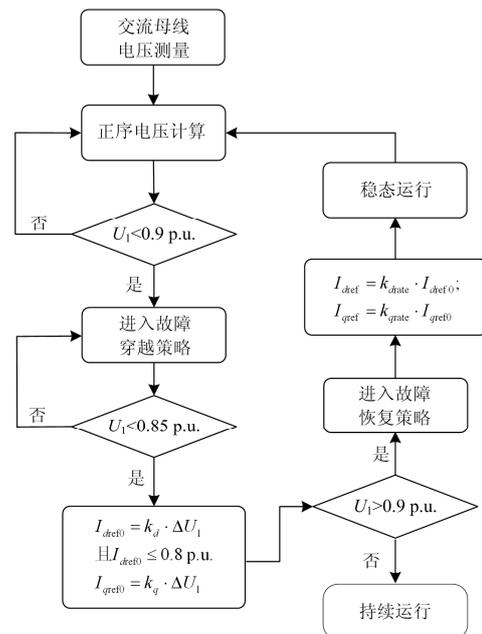


图 3 渝鄂直流交流故障穿越流程

Fig. 3 AC fault ride through control system of Chongqing-Hubei VSC-HVDC

图3中, I_{dref} 与 I_{qref} 表示故障前的有功无功电流参考值; I_{dref} 与 I_{qref0} 表示故障穿越期间的有功无功电流参考值; k_d 与 k_q 表示有功无功电流限制比例系数, 通常取为 $k_d = 1.5$ 、 $k_q = 0$; k_{drate} 与 k_{qrate} 表示有功无功电流恢复速率, 通常均取为 1.0 p.u./100 ms 。

若故障导致桥臂电流大于保护阈值, 则进入暂时性闭锁和分桥臂闭锁逻辑, 避免换流阀的永久性闭锁。在保障设备不出现过电流的基础上仍然能够维持一定的有功功率传输能力。

2 柔性直流侧故障注入特性

本文以渝鄂柔性直流工程北通道鄂侧换流站近端交流故障为例, 分析柔性直流的故障注入特性及其对交流线路差动保护的影响。若鄂侧发生图 1 所示 F 点位置的交流线路短路故障, 则柔性直流系统进入故障穿越策略。

柔性直流侧的交流故障特征与其交流故障穿越等暂态控制逻辑直接相关。鄂侧换流站注入短路点的电流特征主要体现在以下方面。

故障期间有功电流输出被限幅且随正序电压跌落的加深而减小。本工程不考虑故障时对电网的无功支撑, 故障期间无功电流参考值置为零。因此, 可将鄂侧换流站等效为幅值小于额定值的正序电流源, 正序故障等值网络如图 4(a)所示。

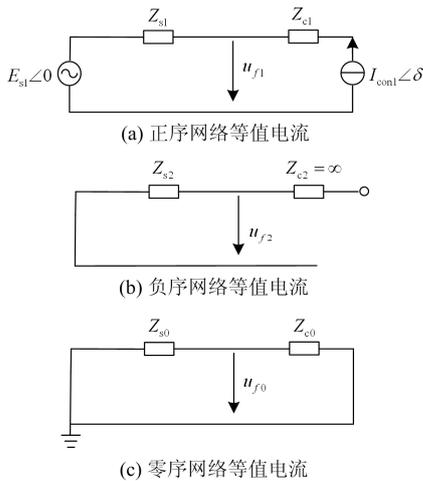


图 4 渝鄂交直流混联电网网等值电路

Fig. 4 Sequence equivalent circuit of Chongqing-Hubei VSC-HVDC project

图4中, Z_{s1} 、 Z_{s2} 为故障点到交流侧的等值正负序阻抗; Z_{c1} 、 Z_{c2} 为鄂侧换流站到故障点的等值负序阻抗; E_{s1} 为交流系统的正序电源; I_{con1} 为鄂侧换流站故障期间的等效正序电流源。

当发生交流不对称故障时, 换流站中将产生负序电压及电流分量。然而换流站的负序电流内环控制环节能够有效跟踪负序电流参考值 I_{qref} , 从而将负序电流控制为零, 负序抑制策略如图5所示。换流站的负序等值网络应为阻值无穷大的开路系统, 故障负序等值电路如图4(b)所示。

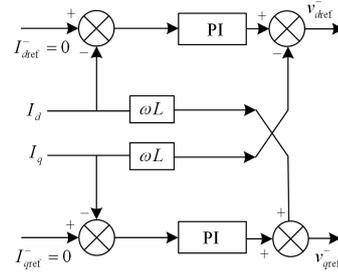


图 5 负序电流分量抑制策略

Fig. 5 Diagram of negative sequence current suppression strategy

由于渝鄂工程为伪双极接地方式, 换流站接入对交流接地类故障无影响, 对应的零序故障等值网络如图 4(c)所示。

综上所述, 柔性直流侧电流故障特征总结为: 正序故障电流与直流输送功率大小及交流故障穿越控制策略相关, 其幅值被控制环节限制且与故障严重程度成反比; 负序故障电流被直流控制环节完全抑制; 故障零序电流与控制策略无关, 与交直流混合拓扑结构直接相关。各序故障电流与直流运行方式无关, 柔性直流接入对交流故障特征的影响范围延伸至有交流电流注入的变电站母线为止。

3 交流 500 kV 线路差动保护策略优化

光纤差动保护被广泛用作 220 kV 及以上电压等级交流输电线路的主保护, 且只有两侧保护元件都启动时差动保护才能动作。由柔性直流侧故障注入特性可知, 直流侧保护元件可能达不到启动判据而导致差动保护动作延时甚至拒动。因此, 提出交流 500 kV 线路差动保护柔直侧启动元件的优化原则:

- 1) 工频电流突变量启动元件应同时包含增量和减量判据;
- 2) 保护元件启动判据不能采用基于负序电流的相关判据;
- 3) 增加相电压减量辅助启动判据;
- 4) 接受交流电网端启动元件发出的启动信号后, 开放本侧启动继电器。

交流输电线路差动保护启动元件采用工频电流突变量启动、稳态电流增量启动及零序电流增量三

种常规判据。交流电网侧保护装置满足启动条件后，开放本侧启动继电器，同时通过光纤通道向柔性直流侧发送保护启动允许信号。直流侧在满足本侧常规启动判据、辅助电压判据或对端允许信号中的任一条件后，开放本侧启动继电器。针对渝鄂柔性直流工程交流输电线路差动保护启动元件的优化流程，如图 6 所示。

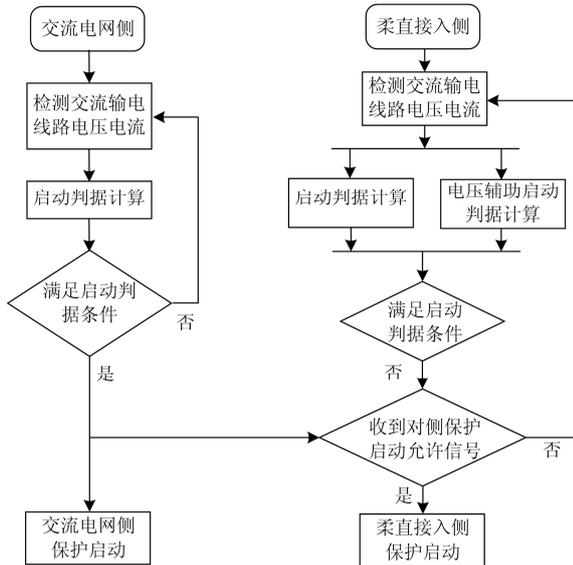


图 6 交流线路差动保护启动策略优化流程图

Fig. 6 Flow chart of optimization of startup strategy for AC transmission line differential protection

4 仿真验证

设定交流 500 kV 线路故障位置距直流站约 50 km，距交流等效电源侧约 140 km，设定直流功率从渝侧传向鄂侧为正方向，并定义输电线路两端中靠近换流站的一端为柔直接入侧、远离换流站靠近交流电网的一端为交流电网侧。利用 PSCAD/EMTDC 软件仿真研究柔性直流不同运行方式下交流系统的故障特性。

4.1 单相接地故障

在正向全功率传输、反向半功率传输以及鄂侧 STATCOM 三种运行模式下，仿真分析交流 500 kV 线路发生 A 相金属性接地故障的工况。线路交流侧与直流侧保护安装处故障波形及保护元件动作信号，分别如图 7 和图 8 所示。

对比仿真波形可见，三种运行模式下，直流侧正序故障电流都受到故障穿越策略限幅环节的影响而降低并且均小于正常负荷电流，交流侧正序电流稳态幅值维持在约 4.5 kA 且不受运行方式影响；直流侧负序电流因内环负序抑制策略的影响几乎降至零，交流侧负序电流稳态幅值维持在约 5 kA 且同样

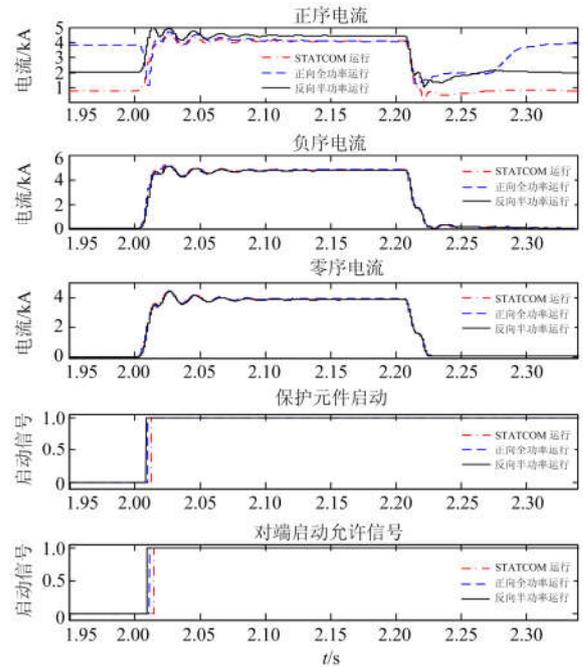


图 7 不同运行模式下，交流电网侧单相故障仿真对比波形
Fig. 7 AC grid side simulation waveforms of A-phase fault under different operation modes

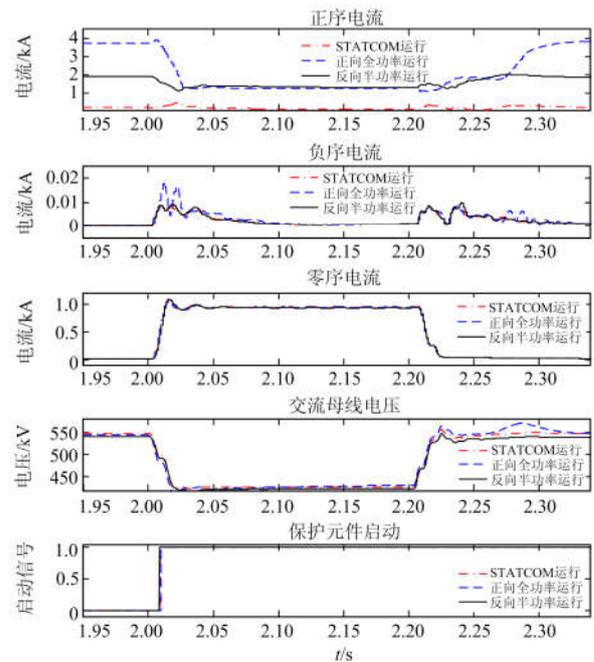


图 8 不同运行模式下，直流接入侧单相故障仿真对比波形
Fig. 8 DC near side simulation waveforms of A-phase fault under different operation modes

不受运行方式影响；两侧零序电流幅值均较大，直流侧约 1 kA、交流侧约 4.0 kA。两侧零序电流增量元件顺利启动，且具有足够的灵敏度启动保护。

综上分析, 单相故障时, 交流电网侧注入短路点的故障特性不受直流控制策略的影响。柔性直流侧受直流控制策略的影响较大, 削减了正序故障电流幅值, 完全抑制了负序故障电流向交流线路的传播, 但对零序电流没有影响。除正序故障电流幅值受直流功率大小的影响外, 其他故障特征不受直流运行方式的影响。

4.2 三相短路故障

同样在上述三种运行模式下, 仿真研究交流 500 kV 线路发生三相短路故障。线路交流侧与直流侧保护安装处故障波形及保护元件动作信号, 分别如图 9 和图 10 所示。

对比图 9 和图 10 仿真波形可见, 柔性直流侧正序故障电流由于故障穿越策略限幅环节的作用而大幅降低至较小的续流功率, 而交流侧正序故障电流幅值则高达约 20 kA; 受故障类型的影响两侧负序和零序电流几乎为零。若保护启动策略不做优化, 交流电网侧正序电流幅值较大, 电流突变量元件满足判据本侧保护启动。但是, 柔性直流侧故障特征较弱、启动元件灵敏度较低, 本侧保护可能无法启动。

启动策略优化后, 柔性直流接入侧由相电压减量元件启动本侧保护并接受对侧的保护启动允许信号。交流电网侧不受直流控制的影响, 工频电流增量故障特征明显, 保护顺利启动。

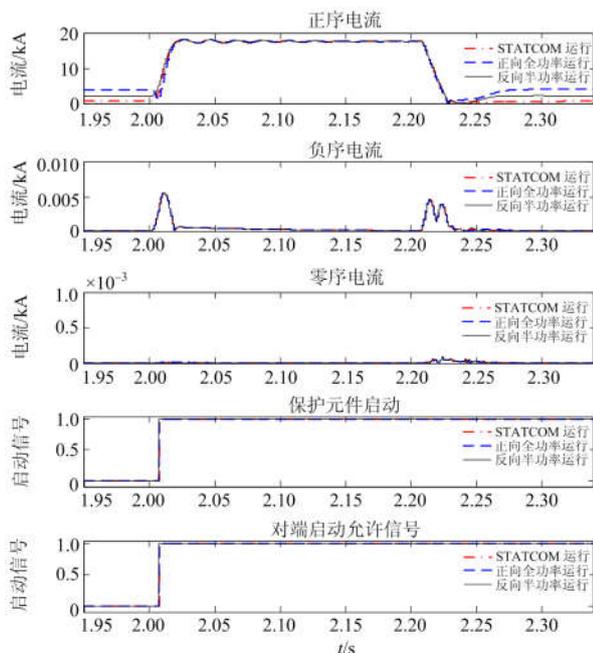


图 9 不同运行模式下, 交流电网侧三相故障仿真对比波形
Fig. 9 AC side simulation waveforms of three-phase fault under different operation modes

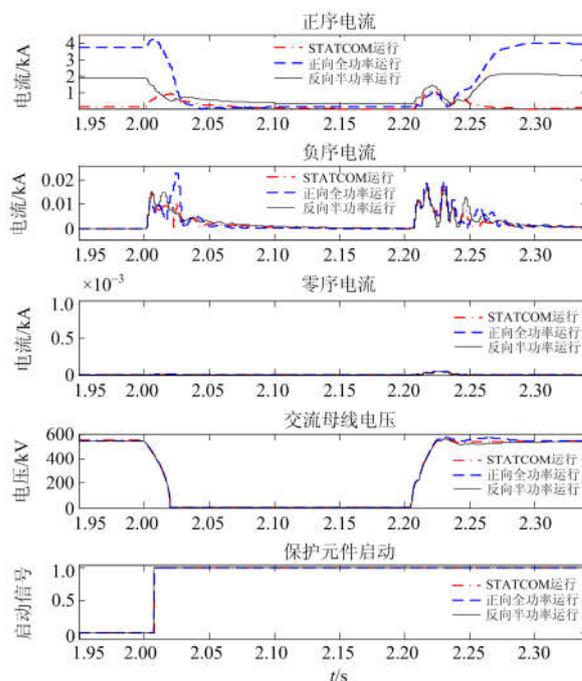


图 10 不同运行模式下, 直流入侧三相故障仿真对比波形
Fig. 10 DC near side simulation waveforms of three-phase fault under different operation modes

综上分析, 不对称接地故障时, 两端保护装置的零序电流元件顺利启动。相间故障时, 柔性直流接入侧故障电流特性不明显, 需辅助相电压降低判据, 或对端的保护启动允许信号以增强启动灵敏度。由该故障穿越特性容易推断, 直流侧对交流差动保护启动元件的影响范围延伸至有新电源注入的母线处截止。

5 结论

本文分析了渝鄂背靠背柔性直流工程接入交流电网后, 对 500 kV 交流线路差动保护可能造成的影响。发现直流控制系统削弱了故障正序电流的幅值, 抑制了负序电流的传播, 该故障特性可能会影响交流线路差动保护元件的启动判据、降低保护的启动速度甚至造成保护拒动。因此提出了交流强故障侧指挥柔性直流弱故障侧启动并辅以电压减量判据的优化启动策略, 消除了保护启动灵敏度低的风险, 并仿真验证了所提优化策略的有效性。

参考文献

- [1] 张群, 赵倩, 郝俊芳, 等. 渝鄂直流背靠背联网工程最后断路器跳闸功能配置[J]. 中国电力, 2017, 50(9): 72-77.
ZHANG Qun, ZHAO Qian, HAO Junfang, et al. Configuration of last breaker trip function for Chongqing-

- Hubei back-to-back HVDC project[J]. *Electric Power*, 2017, 50(9): 72-77.
- [2] 潘晓杰, 张顺, 文汀, 等. 渝鄂异步互联对华中电网运行特性的影响[J]. *电力系统保护与控制*, 2016, 44(19): 157-162.
PAN Xiaojie, ZHANG Shun, WEN Ting, et al. Operation characteristic analysis of central china power grid in unsynchronized interconnection of Chongqing and Hubei Power Grid[J]. *Power System Protection and Control*, 2016, 44(19): 157-162.
- [3] 郑超, 刘柏私, 摆世彬, 等. 直异步互联后送端区域电网动态特性变化及稳定控制[J]. *全球能源互联网*, 2018, 1(2): 129-136.
ZHENG Chao, LIU Bosi, BAI Shibin, et al. Study on the dynamic characteristic and stability control measures for asynchronous interconnection regional power grid with VSC-HVDC[J]. *Journal of Global Energy Interconnection*, 2018, 1(2): 129-136.
- [4] 徐政, 张哲任, 刘高任. 柔性直流输电网的电压控制原理研究[J]. *电力工程技术*, 2017, 36(1): 54-59.
XU Zheng, ZHANG Zheren, LIU Gaoren. Research on voltage control principle of flexible DC transmission power grid[J]. *Electric Power Engineering Technology*, 2017, 36(1): 54-59.
- [5] 周保坤, 邓旗, 张英敏, 等. 基于电力调度模式的VSC-MTDC系统V-I协调下垂控制策略[J]. *智慧电力*, 2019, 47(7): 43-50.
ZHOU Baokun, DENG Qi, ZHANG Yingmin, et al. V-I coordinated droop control strategy for VSC-MTDC transmission systems based on power dispatching models[J]. *Smart Power*, 2019, 47(7): 43-50.
- [6] 刘志江, 夏成军, 杜兆斌. 多端柔性直流输电系统直流电压模糊控制策略[J]. *电力工程技术*, 2017, 36(2): 21-26, 87.
LIU Zhijiang, XIA Chengjun, DU Zhaobin. Research on DC voltage fuzzy control strategy of VSC-MTDC system[J]. *Electric Power Engineering Technology*, 2017, 36(2): 21-26, 87.
- [7] 吴云亮, 陈德扬, 肖峥, 等. 直流送端弱联网方式下交流滤波器控制策略[J]. *广东电力*, 2018, 31(9): 39-45.
WU Yunliang, CHEN Deyang, XIAO Zheng, et al. AC Filter control strategy for HVDC sending-end system in weak interconnection mode[J]. *Guangdong Electric Power*, 2018, 31(9): 39-45.
- [8] 易杨, 沈豫, 林章岁. 柔性直流输电系统贡献交流短路电流的特性分析及计算方法[J]. *高电压技术*, 2018, 44(7): 2150-2159.
YI Yang, SHEN Yu, LIN Zhangsui. Characteristics and analysis methods of AC short-circuit current contributed by VSC-HVDC[J]. *High Voltage Engineering*, 2018, 44(7): 2150-2159.
- [9] 叶玲. 含逆变型分布式电源电网短路电流计算方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
YE Ling. Research on short-circuit calculation method for inverter interfaced distributed generator integrated into power system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [10] 王铁柱, 万磊, 张彦涛, 等. 交流侧单相短路时直流系统提供短路电流的特性分析[J]. *电网技术*, 2016, 40(7): 1970-1977.
WANG Tiezhu, WAN Lei, ZHANG Yantao, et al. A study of characteristic of short-circuit current contributed by DC systems with single-phase short-circuit fault on AC side[J]. *Power System Technology*, 2016, 40(7): 1970-1977.
- [11] 邵冰冰, 韩民晓, 郭抒颖, 等. 多端柔性直流输电系统交流侧故障穿越功率协调控制[J]. *电力建设*, 2017, 38(8): 109-117.
SHAO Bingbing, HAN Minxiao, GUO Shuying, et al. Power coordinated control strategy for AC-side failure ride-through of VSC-MTDC system[J]. *Electric Power Construction*, 2017, 38(8): 109-117.
- [12] PINARES G, BONGIORNO M. Modeling and analysis of VSC based HVDC systems for DC network stability studies[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2015, 31(2): 848-856.
- [13] 于春光, 陈青, 高湛军. 计及直流接入的交流系统故障计算模型研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2013, 41(3): 1-7.
YU Chunguang, CHEN Qing, GAO Zhanjun. A fault analysis model for AC system interconnected by HVDC system[J]. *Power System Protection and Control*, 2013, 41(3): 1-7.
- [14] 周念成, 叶玲, 王强钢, 等. 含负序电流注入的逆变型分布式电源电网不对称短路计算[J]. *中国电机工程学报*, 2013, 33(36): 41-49.
ZHOU Niancheng, YE Ling, WANG Qianggang, et al. Asymmetric short-circuit current calculation for inverter interfaced distributed generators with negative sequence current injection integrated in power systems[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2013, 33(36): 41-49.
- [15] 韩子娇, 高凯, 王朝斌, 等. 无换流变 MMC-HVDC的零序电流影响机理分析与抑制[J]. *电力系统保护与控制*, 2017, 45(12): 67-73.
HAN Zijiao, GAO Kai, WANG Chaobin, et al. Zero sequence current effect mechanism analysis and suppression for the transformerless MMC-HVDC system[J]. *Power*

- System Protection and Control, 2017, 45(12): 67-73.
- [16] GNANARATHNA U M, GOLE A M, JAYASINGHE R P. Efficient modeling of modular multilevel HVDC converters (MMC) on electromagnetic transient simulation programs[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 26(1): 316-324.
- [17] 沈添福. 基于 PSCAD/EMTDC 的 MMC-HVDC 故障特性及保护策略研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
SHEN Tianfu. Research on fault features and corresponding protection strategy of MMC-HVDC based on PSCAD/EMTDC[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [18] 卜广全, 李英彪, 王姗姗, 等. MMC 对交流系统三相短路故障短路电流影响的机理研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(21): 6303-6312.
BU Guangquan, LI Yingbiao, WANG Shanshan, et al. Analysis of the short-circuit current of MMC-HVDC[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(21): 6303-6312.
- [19] 张浩, 王先为, 马焕, 等. 基于 MMC 的直流电网短路电流分析及保护策略[J]. 智慧电力, 2019, 47(2): 93-100.
ZHANG Hao, WANG Xianwei, MA Huan, et al. Short circuit current analysis in DC grid and its protection strategy based on modular multilevel converter[J]. Smart Power, 2019, 47(2): 93-100.
- [20] 吴庆范, 付艳, 张克辉, 等. 柔性直流输电系统交流母线差动保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(3): 100-104.
WU Qingfan, FU Yan, ZHANG Kehui, et al. Research on AC bus differential protection of flexible DC transmission system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(3): 100-104.
- [21] 谈竹奎, 徐玉韬, 吕黔苏, 等. 利用电容主动放电脉冲的直流配电网故障选线方法[J]. 广东电力, 2018, 31(6): 139-146.
TAN Zhukui, XU Yutao, LÜ Qiansu, et al. Fault line selection method for DC distribution network using capacitive active discharge pulse[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(6): 139-146.
- [22] 郭雅蓉, 柳焕章, 王兴国. 零序电流差动保护选相元件[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(2): 155-159.
GUO Yarong, LIU Huanzhang, WANG Xingguo. Phase selection elements for zero sequence current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(2): 155-159.
- [23] 吉兴全, 孙灏, 陈尔奎, 等. 基于电流差动的直流配电网保护方案[J]. 电测与仪表, 2018, 55(5): 50-56.
JI Xingquan, SUN Hao, CHEN Erkui, et al. Protection scheme of DC distribution network based on differential current[J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2018, 55(5): 50-56.
- [24] KOU L, ZHU L, LI F. Electromechanical modelling of modular multilevel converter based HVDC system and its application[C] // 2017 IEEE Energy Internet and Energy System Integration (EI2), November 26-28, 2017, Beijing, China.

收稿日期: 2019-03-16

作者简介:

李勇(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电网调控运行管理与控制; E-mail: 500ly@163.com

时伯年(1976—), 男, 博士, 教授级高工, 研究方向为柔性直流输配电控制保护及电力系统稳定; E-mail: shibonian@sf-auto.com

谢俊(1980—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为继电保护原理及整定计算。E-mail: xjvhj@163.com

(编辑 许威)