

DOI:10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2026.01.004

电容器组寄生电容致初始电流失衡机理与抑制技术

赵彦军, 魏文文, 杨银合, 邱晓峰

(无锡赛晶电力电容器有限公司, 江苏 无锡 214100)

摘要: 本文针对某高压滤波电容器组桥式差电流保护验收试验异常展开研究。分析表明, 台架奇数串电容器布置导致固定电位点两侧寄生电容不对称, 引发耦合电流偏差使不平衡电流超标。提出调整主电容与寄生电容调平两种方案, 后者因施工周期短、成本低更具优势。通过量化分析不同层位固定电位点调整对不平衡电流的影响, 筛选优化方案并现场验证, 调整电容器层间固定电位点布置可均衡寄生电容分布, 使不平衡电流达标。研究创新提出寄生电容调平技术, 经理论与实践验证, 为高压直流输电工程用电容器组不平衡保护调试提供可复制技术方案, 兼具显著工程效益与应用价值。

关键词: 电容器组; 寄生电容; 电容耦合电流; 桥式差电流保护

Mechanism and Suppression Techniques for Initial Current Imbalance Caused by Parasitic Capacitance in Capacitor Bank

ZHAO Yanjun, WEI Wenwen, YANG Yinhe, QIU Xiaofeng

(Wuxi Sunking Power Capacitor Co., Ltd., Jiangsu Wuxi 214100, China)

Abstract: In this paper the abnormality encountered during the acceptance test of bridge-type differential current protection for a high-voltage filter capacitor bank is studied. The analysis shows that the odd-numbered string arrangement of capacitors on the rack causes asymmetric parasitic capacitance on both sides of fixed potential points, triggering coupling current deviation and leading to excessive unbalanced current. Such two solutions as main capacitance adjustment and parasitic capacitance balancing are proposed, with the latter favored for its shorter construction period and lower cost. An optimized scheme is screened and validated on-site through quantitative analysis of the impact of adjusting fixed potential points at different levels on the unbalanced current. The adjustment of interlayer fixed potential point arrangements can balance parasitic capacitance distribution and ensure the unbalanced current to meet standards. This study innovatively proposes a parasitic capacitance balancing technique which, through theoretical and empirical combination, provides a replicable technical solution for unbalanced protection debugging in HVDC capacitor banks and offers both significant engineering benefits and application value.

Keywords: capacitor bank; parasitic capacitance; capacitive coupling current; bridge-type differential current protection

0 引言

在高压直流输电工程^[1-3]中, 滤波器是关键设备^[4-6]。高压直流输电时, 换流器基于电力电子器件开关进行交直流转换, 致使电流电压波形畸变, 产生大量谐波, 像 12 脉动换流器理论上会产生 12n 次谐波, 实际还有其他次谐波, 注入交流系统会引

发系列问题^[7-10]。同时, 换流器消耗大量无功功率, 若全由交流系统提供, 会加重其负担, 导致电压下降、功率因数降低。

滤波器能抑制谐波、提供无功补偿, 对保障超高压直流输电系统安全稳定高效运行意义重大, 而高压电容器组是滤波器的核心组件^[11-13]。电容器组内部故障保护是保障设备安全运行的关键防线, 国

收稿日期: 2025-05-21; 修回日期: 2025-05-21

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFB2401504)。

Project Supported by National Key R & D Program of China(2021YFB2401504)。

内已有相关文献针对电容不平衡对桥式差电流保护的影响展开研究^[14-16],然而,过往研究大多聚焦于主电容或整个电容器桥臂的分布电容,通常采用调整电容器单元或整个电容器桥臂分布电容的方式来实现电容平衡,不过这两种方法均存在施工周期长、施工费用高的弊端。

本文通过定量计算不同层位固定电位点位置调整对不平衡电流的影响,期望在换流站现场仅通过调换1层固定电位点,即可达成调平桥臂电容的目标,消除寄生电容导致初始不平衡电流超标的隐患。

1 电容器组的内部故障保护

电容器组均应设置不平衡保护^[17-18],保护方式根据电容器组额定容量与额定电压选择。 $\pm 800\text{ kV}$ 换流站中的500 kV滤波电容器组采用桥式差电流保护,接线原理见图1。

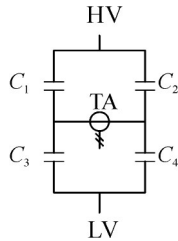


图1 电容器组的电气原理图
Fig. 1 Electrical principle diagram of capacitor bank

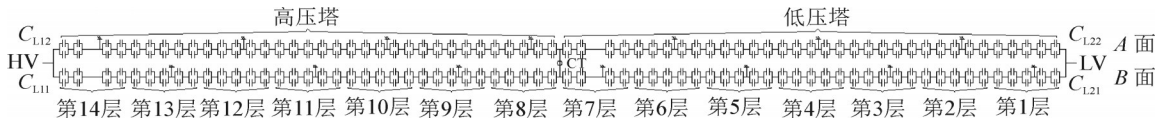


图2 电容器组的电气接线图
Fig. 2 Electrical wiring diagram of capacitor bank

表1 电容器组的电气参数
Table 1 Electrical parameters of capacitor bank

支路	额定电容	总串并数	每层的串并数	总层数	电位固定的方式
HP12/24-C1	2.87 μF	68串4并	5串4并(第7和第14层4串)	14层	每隔5串A、B面交替固定电位

参考《电磁场》^[20],两根导线单位长度电容计算公式见式(1),两平行板电容计算公式见式(2)。

$$C_1' = \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0}{\ln \frac{2h}{a}} \quad (1)$$

$$C_2' = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (2)$$

$$i = C' \frac{du}{dt} \quad (3)$$

式中： C_1' 为两根导线单位长度电容，F/m； C_2' 为两平行板电容，F； ϵ_0 为真空介电常数， $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ； ϵ_r 为相对介电常数，空气 $\epsilon_r = 1.0006$ ； $2h$ 是两导线

500 kV滤波电容器组桥路含2支路4臂(C_1-C_4)，电流互感器跨接于两支路中点。根据电桥原理，当 $C_1C_4=C_2C_3$ 时电桥平衡，互感器无电流通过。出厂配平要求严格控制电容比值，通常要求 $[(C_1C_4)/(C_2C_3)] < 1.0005$ 。验收阶段通过不平衡电流试验控制质量，要求初始不平衡电流与报警阈值比值 $\leq 25\%$ ^[19]。该方法量化电容配平精度及电流响应，确保额定工况运行稳定性，是换流站滤波器验收试验的核心检测项。

2 初始不平衡电流超标的原因分析

2.1 验收试验碰到的难题

某 $\pm 800\text{ kV}$ 换流站500 kV滤波电容器组在桥式差电流保护验收试验中，多相初始不平衡电流与报警阈值比 $>25\%$ 。

2.2 超标原因的分析

该电容器组为双塔布置，电气接线见图2，参数见表1。

经逐项检查：1)电容器组接线与设计图一致；2)验收试验方法及接线正确；3)电容器单元电容及配平表均符合设计，且试验数据重复性良好，均未发现异常。

排除试验方法及主电容配平因素后，重点转向电气接线分析，研究寄生电容对桥差保护的影响。

轴线之间的距离，m； a 为导线截面半径，m； d 为两平行板间距，m； i 为电容耦合电流，A； u 是电容两端的电压，V。

由式(1)与式(2)可知，只要存在导线或金属板，电容就必然存在。在电容器组中，导线、电容器框架及箱壳等金属会不可避免地产生分布电容^[21-23]。这些并非设计中特意添加，而是因电路内导体与介质存在而自然形成的电容，被称作寄生电容。为防止寄生电容引发悬浮电位，威胁产品运行安全，需固定每层电容器台架电位。此外，电容器组周边导电体与电容器组间也存在寄生电容，不过该部分不在本文探讨范畴。

本文案例电容器组固定电位方案见图 3-4,每层布置 5 串(第 7、14 层仅 4 串),自第 1 层 B 面第 2 串起每间隔 5 串 A、B 面交替固定电位。每层 5 串布置致固定电位点结构不对称(2 串+3 串),奇数层寄生电容分布如图 4 所示, C_z 是主电容, C_j 是寄生电容,2 串与 3 串寄生电容不等,A、B 面与框架产生的电容耦合电流通过固定电位点汇入主回路,从奇数层的 B 面开始依次穿越 A、B 面。在 500 kV 滤波电容器组中该电流达 mA 级,而其桥式差电流保护报警值同为 mA 级,故寄生电容耦合电流可能引发初始不平衡电流超标。本项目中第 7、14 层未调,破坏该电容耦合电流在 A、B 面的平衡,致初始不平衡电流超标。

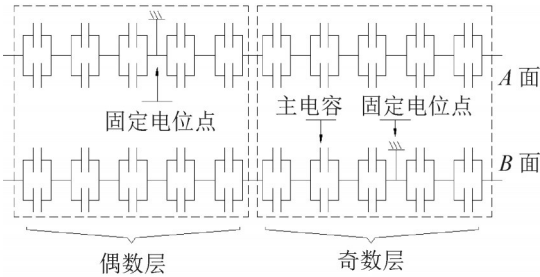


图3 固定电位示意图
Fig. 3 Schematic diagram of fixed potential

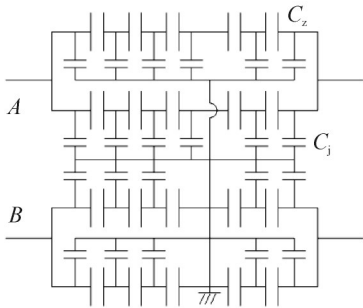


图4 奇数层寄生电容分布等效电路
Fig. 4 Equivalanet circuit of odd-layer parasitic capacitance distribution

3 应对策略、仿真计算和试验验证

3.1 应对策略

初始不平衡电流超标时,换流站可调整主电容或变更固定电位位置处理。调主电容通常对调图 1 中 C_3 与 C_4 的电容器单元^[24],原理简单,但塔高逾 10 m、电容器单元超 100 kg,所以耗时久、成本高,且需反复试验验证;变更固定电位位置可对称调整,耗时短、成本低,然寄生电容计算困难,奇数层电容器台架示意图见图 5。

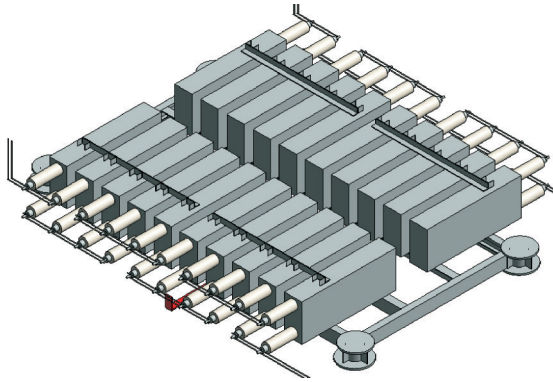


图5 奇数层电容器台架示意图
Fig. 5 Schematic ddiagram of capacitor bracket on the odd-layers

3.2 仿真计算

为缩短工期、降低成本,本文案例采用变更固定电位位置的方法,期望获得仅需调换 1 层的方法。寄生电容计算复杂,文献[25-28]提供了一些计算方法。通过获取的寄生电容,结合图 2 主电容的电气接线图,开展仿真计算,图 6 为电容器组仿真封装模型,仿真模型由单相理想交流电源、电流表和电容器组组成,电容器组根据表 1 和图 2-4 建立。在主电容完全配平前提下,初始不平衡电流仿真结果如表 2 所示,部分初始不平衡波形图见图 7。



图6 封装式仿真电路模型
Fig. 6 Packaged simulation circuit model

表2 仿真计算结果
Table 2 Simulation calculation results

调换方案	初始不平衡 电流/mA	(初始不平衡电流/ 报警值)/%
原位置	30.8	23.2
调换第1层	34.8	26.2
调换第2层	16.8	12.7
调换第3层	54.9	41.2
调换第4层	3.4	2.5
调换第5层	75.3	56.6
调换第6层	24.1	18.1
调换第7层	30.8	23.2
调换第8层	34.8	26.2
调换第9层	85.8	64.5
调换第10层	13.6	10.3
调换第11层	65.0	48.9
调换第12层	6.8	5.1
调换第13层	44.8	33.7
调换第14层	30.8	23.2
调换第1层和 第4层	0.6	0.5

注:该电容器组的报警值是 133 mA。

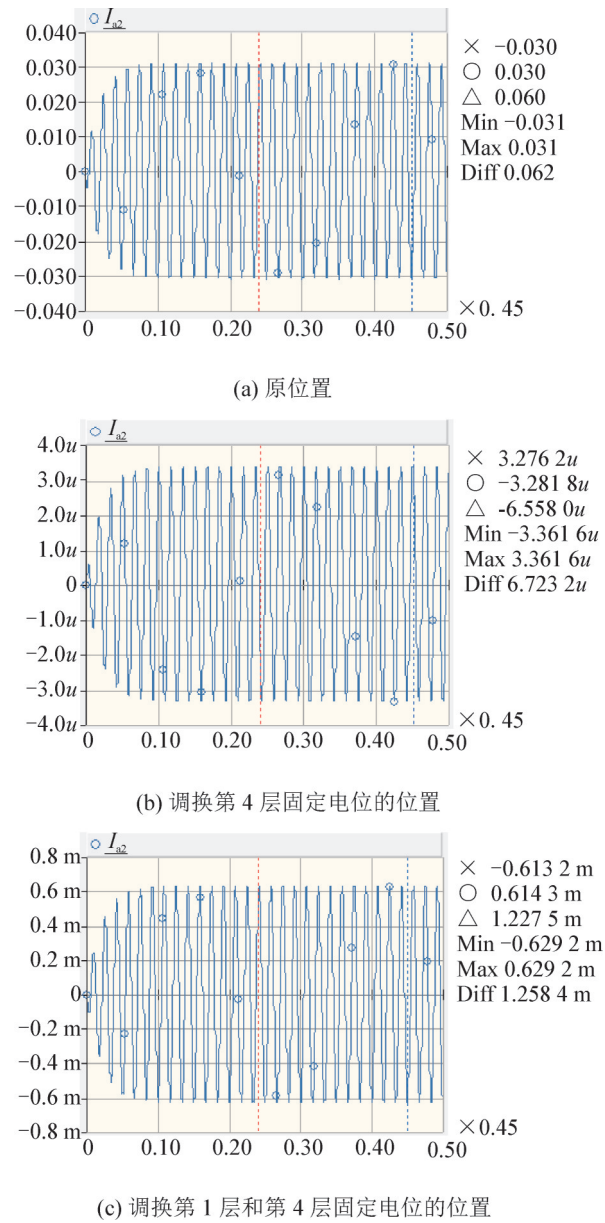


图7 初始不平衡电流的波形图
Fig.7 Waveform diagram of initial unbalanced current

通过分析表2数据可知:

- 1)调换第1、4层固定电位线,能将初始不平衡电流降至报警值的0.5%,此为可实现的最小值;
- 2)仅调换第4层固定电位线,初始不平衡电流仅为报警值的2.5%,且因只需调换一层,本项目决定采用此方案;
- 3)调换第7层或第14层固定电位线,初始不平衡电流无变化,这是由于这两层仅安装4串电容器,固定电位左右寄生电容对称,故固定电位位置不影响不平衡电流。

3.3 试验验证

计划仅将第4层固定电位线由电容器台架A面调至B面。为验证仿真计算正确性,在换流站开

展不平衡电流试验。试验施加1 kV电压,折算至滤波电容器组正常运行的 $525/\sqrt{3}$ kV电压下,换流站现场不平衡电流试验验证见图8,初始不平衡电流实测值见表3和图9。因属现场实测,主电容并非完全平衡。



图8 换流站现场不平衡电流试验验证
Fig.8 On-site unbalanced current test verification for converter station

表3 试验结果表
Table 3 Test results

电容器组 编号	调换前初始不 平衡电流/mA	调换后初始不 平衡电流/mA	(调换后初始 不平衡电流/ 报警阈值)/%
第1组C相	24.76	5.67	4.3
第1组B相	32.57	0.70	0.5
第1组A相	30.33	12.10	9.1
第2组C相	23.26	3.43	2.6
第2组B相	31.25	6.88	5.2
第2组A相	26.61	6.82	5.1
第3组C相	30.59	8.16	6.1
第3组B相	33.46	9.80	7.4
第3组A相	24.69	0.66	0.5
第4组C相	19.24	13.84	10.4
第4组B相	26.01	11.15	8.4
第4组A相	23.69	18.91	14.2
第5组C相	39.41	6.30	4.7
第5组B相	22.29	7.66	5.8
第5组A相	26.68	11.83	8.9
第6组C相	37.00	3.41	2.6
第6组B相	29.03	6.19	4.7
第6组A相	36.24	2.56	1.9
均值	28.73	7.56	5.7

调换第4层固定电位线后,分析表3和图9中数据可知:

- 1)初始不平衡电流与报警阈值比值均 $\leq 25\%$,最大值是第4组A相的14.2%,试验均合格;

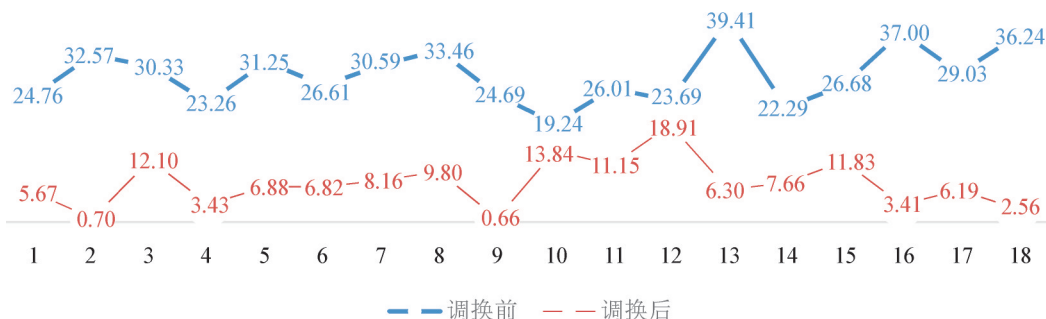


图9 试验结果
Fig. 9 Test results

- 2) 初始不平衡电流降至调换前的约 28% 以下；
- 3) 试验测得初始不平衡电流与报警阈值比值均值 5.7%，高于理论值 2.5%，表明主电容未完全配平；
- 4) 第 4 组调换后初始不平衡电流降幅较小，异常原因待进一步核实。

4 结语

1) 除主电容外，寄生电容也会引发初始不平衡电流超标。电容器组出厂前，不仅要完成主电容配平，还需重视寄生电容平衡。

2) 电容器台架每层布置奇数串时，固定电位点左右寄生电容不对称，A、B 面间会产生电容耦合电流，这可能导致初始不平衡电流超标。这时，如存在部分层没有装满，将破坏电容器组寄生电容的平衡，最终导致初始不平衡电流超标。

3) 若寄生电容致使初始不平衡电流超标，最佳策略是调平寄生电容，从而避免因调整主电容产生的长周期与高成本问题。

4) 为规避整座电容器塔调换固定电位线的长施工周期和费用，本项目量化计算不同层位固定电位点调整对不平衡电流的影响，筛选优化方案。经计算，每相电容器组仅需调 1 层固定电位点，初始不平衡电流值降超 70%，且各相更换方法一致，大幅缩减施工周期与费用。

5) 台架安装偶数串电容器时，固定电位点安装在 A 面或 B 面，对桥式差电流保护无影响。

6) 本次研究聚焦 500 kV 电容器组，鉴于 750 kV 及以上与 110 kV 及以下电压等级电容组存在显著电气结构差异，其寄生电容影响机制有待深入探究。

参考文献

[1] 舒印彪, 张文亮. 特高压输电若干关键技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(31): 1-6.
SHU Yinbiao, ZHANG Wenliang. Research of key technologies for UHV transmission[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(31): 1-6.

[2] 赵广鑫. 特高压输电技术发展研究[J]. 电子技术与软件工程, 2017(4): 233-234.

ZHAO Guangxin. Research on UHVDC power transmission technology[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2017(4): 233-234.

[3] REEVE J. Multi-terminal HVDC power systems[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1980, 99(2): 729-737.

[4] QIAN Hang, ZHANG Dewei, LIU Qing, et al. Size-reduced highly selective bandpass filters based on dual-mode slow-wave patch resonators[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II-Express Briefs, 2024, 71(3): 1121-1125.

[5] MUTHUSAMY A. Selection of dynamic performance control parameters for classic HVDC in PSS/E[D]. New Zealand: Chalmers University of Technology, 2010.

[6] 左强林, 雷乔舒. 柔性直流输电用直流支撑电容器的关键技术研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(1): 108-115.

ZUO Qianglin, LEI Qiaoshu. Study on key technology of DC-link capacitor for flexible HVDC transmission[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(1): 108-115.

[7] 王顺亮, 谢洋, 赵远, 等. 基于谐波状态空间理论的 12 脉动换流站阻抗建模[J]. 南方电网技术, 2024, 18(6): 1-9.

WANG Shunliang, XIE Yang, ZHAO Yuan, et al. Impedance modeling of 12-pulse converter station based on harmonic state space theory[J]. Southern Power System Technology, 2024, 18(6): 1-9.

[8] 雷乔舒, 何强, 赵寿生, 等. HVDC 用交流电容器典型滤波支路谐波电流对电容器噪声的影响分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(3): 50-56.

LEI Qiaoshu, HE Qiang, ZHAO Shousheng, et al. Analysis on the influence of harmonic current on capacitor noise in typical filtering branch of AC capacitor for HVDC application[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(3): 50-56.

[9] KWONJB, WANG X, BLAABJERG, et al. Harmonic interaction analysis in a grid-connected converter using har-

- monic state-space (HSS) modeling[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2017, 32(9): 6823-6835.
- [10] 张宗扬, 康超, 王致远, 等. 接地故障下特高压直流换流站过电压特性及影响因素研究[J]. 高压电器, 2025, 61(3): 144-151.
- ZHANG Zongyang, KANG Chao, WANG Zhiyuan, et al. Study on overvoltage characteristics and influencing factors of UHVDC converter station in grounding fault condition[J]. High Voltage Apparatus, 2025, 61(3): 144-151.
- [11] 左强林, 赵彦军, 孙振瑜. HVDC用直流滤波电容器组均压技术研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(4): 1-5.
- ZUO Qianglin, ZHAO Yanjun, SUN Zhenyu. Study on grading technology of DC-filter capacitor bank for HVDC[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(4): 1-5.
- [12] 赵彦军. HVDC用电容器组对地绝缘子50%闪络问题研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2023, 44(5): 1-7.
- ZHAO Yanjun. Study on 50% flashover voltage of ground insulator of capacitor bank for HVDC[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2023, 44(5): 1-7.
- [13] 曹洋, 任军辉, 张万荣, 等. 多端直流输电工程交流滤波器设计与无功补偿研究[J]. 南方电网技术, 2024, 45(4): 0006-0011.
- CAO Yang, REN Junhui, ZHANG Wanrong, et al. Study on design and reactive power compensation of AC filter for multi-terminal DC transmission project[J]. Southern Power System Technology, 2024, 45(4): 0006-0011.
- [14] 黄银龙, 罗光辉, 董超群, 等. 电容器组不平衡电流调平方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(5): 29-34.
- HUANG Yinlong, LUO Guanghui, DONG Chaoqun, et al. Unbalanced current adjustment method for capacitor bank[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(5): 29-34.
- [15] 张杰, 刘相枪, 张耀山, 等. 桥差保护电容器组初始不平衡电流调整方法研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2014, 35(5): 40-43.
- ZHANG Jie, LIU Xiangqiang, ZHANG Yaoshan, et al. Research on adjustment method of initial unbalanced current of H-type protection power capacitor bank[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2014, 35(5): 40-43.
- [16] 牛志雷, 宋红涛, 徐玉洁, 等. 基于LMS自适应滤波算法的电容器初始不平衡电流校正[J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(5): 6-11.
- NIU Zhilei, SONG Hongtao, XU Yujie, et al. Initial imbalanced current correction of capacitor based on LMS adaptive filtering algorithm[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2015, 36(5): 6-11.
- [17] 倪学锋. 并联电容器装置技术及应用[M]. 北京: 电力工业出版社, 2011.
- [18] 高压并联电容器装置的通用技术要求: GB/T 30841—2014 [S]. 2014.
- General requirements for high-voltage shunt capacitor installations: GB/T 30841—2014 [S]. 2014.
- [19] 特高压换流站分系统调试规范 第5部分: 交流滤波器场分系统调试: Q/GDW 11750. 5—2017 [S]. 2017.
- Sub-system test standard in UHV converter station—Part 5: Sub-system test for AC filter field: Q/GDW 11750. 5—2017 [S]. 2017.
- [20] 冯慈璋. 电磁场[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [21] 赵峰, 杨和, 李玲. 关合电容器组高频涌流对真空灭弧室绝缘特性的影响研究[J]. 高压电器, 2023, 59(4): 169-176.
- ZHAO Feng, YANG He, LI Ling. Research on impact of high frequency inrush current when making capacitor bank on insulation characteristic of vacuum interrupter[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(4): 169-176.
- [22] 刘天宇, 车传强, 赵磊, 等. 35 kV真空断路器开断并联电容器过电压分析[J]. 东北电力技术, 2024, 45(5): 34-36.
- LIU Tianyu, CHE Chuanqiang, ZHAO Lei, et al. Analysis of overvoltage of 35 kV vacuum circuit breaker breaking parallel capacitors[J]. Northeast Electric Power Technology, 2024, 45(5): 34-36.
- [23] 李梓玮, 许丽娟. 基于概率神经网络的直流滤波器电容器开路故障定位方法[J]. 电测与仪表, 2024, 60(1): 48-56.
- LI Ziwei, XU Lijuan. Open-circuit fault location method of DC filter capacitor based on probabilistic neural network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2024, 60(1): 48-56.
- [24] 柴斌, 史磊, 韦鹏, 等. 油浸电容器元件损耗频率特性计算参数的修正[J]. 高压电器, 2023, 59(11): 211-216.
- CHAI Bin, SHI Lei, WEI Peng, et al. Correction on power loss characteristic calculation parameters of oil immersed capacitor elements[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(11): 211-216.
- [25] 杭京伟, 张建成. 基于并行计算的矩形导体寄生电容求解[J]. 电脑与信息技术, 2019, 27(4): 14-17.
- HANG Jingwei, ZHANG Jiancheng. Solution of parasitic capacitance of rectangular conductor based on parallel computing[J]. Computer and Information Technology, 2019, 27(4): 14-17.
- [26] 陈维友, 刘式墉. 电极、互联线寄生电容数值分析新模型[J]. 半导体学报, 1991, 12(4): 248-252.
- CHEN Weiyu, LIU Shiyong. A new model for numerical analysis of parasitic capacitance of electrodes and interconnection wires[J]. Chinese Journal of Semiconductors, 1991, 12(4): 248-252.
- [27] 孙世磊, 薛金涛, 王高峰, 等. 基于场的寄生电容并行提

取方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(2): 103-106.

SUN Shilei, XUE Jintao, WANG Gaofeng, et al. Parallel method for field-based IC parasitic capacitance extraction[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2008, 41(2): 103-106.

[28] 屠腾, 张方华, 张钊荣, 等. 基于矩阵磁结构的平面电感寄生电容优化设计[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(7): 2825-2832.

TU Teng, ZHANG Fanghua, ZHANG Zhaorong, et al. Optimal design of parasitic capacitance based on matrix mag-

netics for planar inductor[J]. Proceedings of the CSEE, 2024, 44(7): 2825-2832.

作者简介:

赵彦军(1981—), 男, 高级工程师, 长期从事电力电容器装置的技术工作。E-mail: 93434614@qq.com。

魏文文(1991—), 男, 中级工程师, 长期从事电力电容器装置的技术工作。

杨银合(1984—), 男, 服务工程师, 长期从事电力电容器装置的技术服务工作。

邱晓峰(2000—), 男, 助理工程师, 主要从事电力电容器装置技术研究与工程实践。

《电力电容器与无功补偿》2026 年 1 期广告单位

1 山东哈大电气有限公司	封面	9 山东海源泰和电气有限公司	前插 5
2 上海思源电力电容器有限公司	封二	10 西安金叶电力科技有限公司	前插 6
3 西安西电电力电容器有限责任公司	封三	11 日新电机(无锡)有限公司	前插 7
4 西安高压电器研究院股份有限公司	封底	12 深圳市三和电力科技有限公司	前插 8
5 东莞市东和电子制程有限公司	前插 1	13 桂林明富金属股份有限公司	前插 9
6 温州市凯泰特种电器有限公司	前插 2	14 陕西凯瑞宏星电器有限公司	前插 10
7 宁国市裕华电器有限公司	前插 3	15 杭州精诚电力设备有限公司	前插 11
8 新程(辽宁)电力电容器科技有限公司	前插 4	16 北京华瑞赛晶电子科技有限公司	前插 12