

特高压直流滤波器电容器组电场计算分析

蒋利军¹, 秦华忠¹, 熊勇¹, 马维勇², 黄有祥¹

(1. 桂林电力电容器有限责任公司, 广西 桂林 541004; 2. 桂林电子科技大学, 广西 桂林 541004)

摘要: 随着高压直流输电技术的不断发展,特高压直流滤波器电容器组的运行可靠性逐渐成为关注的重点,其电场分布作为主要影响因素之一,需对表面电场强度进行研究验证。本文利用大型有限元分析软件 ANSYS,建立某 ± 800 kV 换流站特高压直流滤波器电容器组的仿真模型,进行表面电场强度的仿真计算分析。通过电晕起始场强值与仿真计算值的比较,来判定电容器组是否会产生电晕放电。仿真计算显示电容器组各金属部件最大电场强度均小于起始场强值,电容器组不会产生电晕放电。结果表明各金属部件的最大电场强度均位于转角处,故可以通过调整转角处的曲率半径,优化各金属部件的电场强度。

关键词: 特高压直流输电; ± 800 kV; 直流滤波器; 电容器组; 电晕放电; 有限元

Electric Field Calculation and Analysis of UHV DC Filter Capacitor Bank

JIANG Lijun¹, QIN Huazhong¹, XIONG Yong¹, MA Weiyong², HUANG Youxiang¹

(1. Guilin Power Capacitor Co., Ltd., Guangxi Guilin 541004, China;

2. Guilin University of Electronic Technology, Guangxi Guilin 541004, China)

Abstract: With the continuous development of HVDC transmission technology, the operation reliability of UHVDC filter capacitor banks has gradually become the focus of attention. Its electric field distribution is one of the main influencing factors, the surface electric field intensity needs to be studied and verified. In this paper, the large finite element analysis software ANSYS is used to set up the simulation model of the UHV DC filter capacitor bank of ± 800 kV converter station and perform the simulation calculation and analysis of the surface electric field intensity. The corona inception field intensity is compared with the simulation value to judge whether the capacitor bank can produce corona discharge. The simulation results show that the maximum electric field intensity of each metal part of the capacitor bank is less than the initial field intensity, and the capacitor bank will not produce corona discharge. The simulation results also show that the maximum electric field intensity of each metal part is located at the corner, so the electric field intensity of each metal part can be optimized by adjusting the curvature radius of the corner.

Keywords: UHVDC; ± 800 kV; DC filter; capacitor bank; corona discharge; finite element

0 引言

特高压直流输电在保障能源安全、促进区域经济发展等方面发挥了重要作用,其主要特点是电压高、输送容量大、输电距离远^[1-2]。由于特高压直流输电存在整流和逆变的过程,必然会产生大量的谐波,需要装设大量的滤波器。其中高压直流滤波器电容器组(以下简称电容器组)具有额定电压高、单组容量大、单元数量多、塔架高度高、绝缘水平要求高等特点^[3-6]。不同工程运行工况不同,电容器组的

主要谐波参数就不相同,其额定电压也不相同^[7-14]。主要谐波电压算术和越大,电容器组的额定电压就越高,其表面电晕问题就越突出。本文针对某 ± 800 kV 换流站,利用大型有限元分析软件 ANSYS,建立仿真模型,对电容器组的表面电场强度进行仿真计算分析,确保电容器组不会产生电晕放电^[15-25]。

1 电容器组概述及有限元分析模型

1.1 电容器组有限元分析模型结构概述

本文所使用的电容器组有限元模型为双塔架

结构,总层数为 28 层,底座采用 750 kV 支柱绝缘子,层间采用 72.5 kV 支柱绝缘子,自下而上安装电容器台架和层间绝缘子。自上而下在电容器组第 28、27、26、25、24、22、20、18、16、13、10、7 层电容器台架框上装有均压环,顶层采用高压管母进线,高压管母安装在 72.5 kV 支柱绝缘子上,在最底层采用低压管母出线,低压管母采用 35 kV 支柱绝缘子支撑。每层 8 台电容器单元双排平卧布置在电容器台架框上,每排为 1 并,每并 4 台电容器单元串联连接,并在第 2 串与第 3 串之间接电容器框为等电位。电容器组整体有限元模型见图 1。

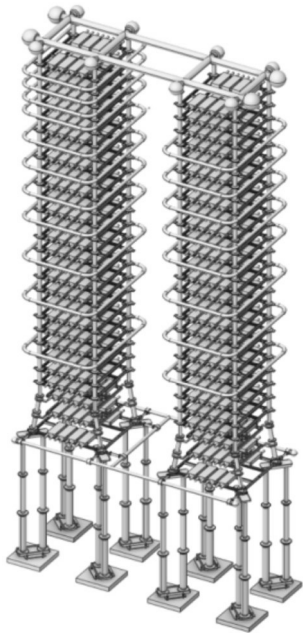


图1 电容器组有限元仿真模型
Fig. 1 Finite element simulation model of capacitor bank

1.2 电容器组基本技术参数

电容器组的基本技术参数有额定电压、主要谐波电压、串并联数等,具体见表 1。

表 1 电容器组的基本技术参数 Table 1 Basic technical parameters of capacitor bank	
参数	数值
电容器组额定电压/kV	1 588.29
电容器组最大持续运行电压/kV	1 574.00
	2/315.94
	6/28.84
主要谐波/(n/kV)	12/24.14
	3/1.84
	1/1.17
	24/1.06
高压端对地(LIWL/ SIWL)/kV	1 950/1 600
高压端对低压端(LIWL/ SIWL)/kV	3 290/2 857
低压端对地(LIWL/ SIWL)/kV	1 396/1 188
电容器单元额定电压/kV	14.19
电容器组串并联数	128串4并

1.3 电容器组材料参数

电容器组在仿真过程中主要使用的各部件材料参数见表 2。

表 2 材料参数 Table 2 Material parameters			
名称	材料	相对介电常数	电导率/(s/m)
均压环及管母	铝合金	1.000 0	38 000 000
电容器外壳	不锈钢	1.000 0	1 100 000
电容器框架	铁	1.000 0	10 300 000
空气域	空气	1.000 6	0

2 计算用电容器组两端间电压选取

电容器组的额定电压为最大连续直流电压加上从 1 到 50 次谐波电压峰值的算术和。由于电容器套管受污染不同、单个电容器单元温升的差异以及任何其他原因引起的电压不均匀分布,所以在电容器组选取额定电压时直流电压乘了 1.3 的分布不均匀系数^[5]。故实际选取仿真计算用电容器组两端间电压时,只需按表 1 中的电容器组额定电压 1 588.29 kV 选取即可^[8]。

3 仿真验算工具的选择

为快速有效地分析电容器组电场分布,选择大型有限元仿真计算软件 ANSYS Maxwell 3D, ANSYS 电子桌面(ANSYS electronics desktop, AEDT)是一个集成了 HFSS、Maxwell、RMxpert、EMIT、Q3DExtractor、Icepak、TwinBuilder、Circuit 等一系列仿真器的综合平台,选用 AEDT 平台中的 Maxwell 3D 软件建立结构数值模型,并选择合理的单元类型模拟设备,使所建立的数值模型尽量接近真实运行工况^[22-28]。

仿真计算所使用的物理场为静电场。Maxwell 方程组是描述电磁场理论的重要方程组,其中之一是静电场的 Maxwell 方程,描述了电荷在静止情况下产生的电场。静电场的特点是没有磁场,电荷不随时间变化,因此可以利用 Maxwell 方程的静态形式来描述该场景^[15-18]。

4 电场计算的边值问题及计算原理

考虑到电容器组的出线端串接有电压相位角方向相反的电感,实际上电容器组的管母进线侧的对地电压低于电容器组的两端电压^[19-21]。但是为了简化计算模型,将进线侧的对地电压按电容器组两端间电压的最严酷的情况进行计算。如所计算的电容器组表面场强满足要求,电容器组就不会产生电晕。有限元计算所涉及的边界条件主要指带电体的对地电位以及零电位。计算用两端间电压

1 588.29 kV 为电容器组高压端管母的对地电位值。综合考虑电容器组的接线方式、电容器单元的额定电压、同层的均压环和电容器框架被钳制在同一电位(电位值为该层电容器单元第2串与第3串间电位相等),可以计算出各层均压环、电容器框架、电容器外壳和低压管母的实际对地电位值,则边界条件公式为^[9]

$$\frac{1}{r} \nabla^2 \varphi = 0 \quad (1)$$

$$\varphi_H = 1\,588.29 \text{ kV} \quad (2)$$

$$\varphi_M = \varphi_H - (4n - 2) dU \quad (3)$$

$$\varphi_G = 0 \quad (4)$$

式中: ∇^2 为拉普拉斯算子; φ 为空间任意一点电位,满足静电场的麦克斯韦方程, kV; φ_H 为电容器组高压端对地电位, kV; φ_M 为电容器组同一层电容器框架和均压环的钳制电位, kV; n 为自上而下的层数; dU 为每一台电容器两端承受的电压, kV; φ_G 为地电位, 0。

根据公式(1)~(4),可以分别计算得出各层均压环、电容器框架、电容器外壳和低压管母的实际对地电位值,据此对模型施加电压激励。

5 电晕起始场强

电晕起始场强 E_c 可以根据比克(F.W.Peek)提出的不同电极结构的 E_c 经验公式来计算^[7-8]。

1) 球形导体

球形电极的电晕起始场强 E_c (峰值)公式为

$$E_c = 27.7\delta \left(1 + \frac{0.337}{\sqrt{r\delta}} \right) \text{ kV/cm} \quad (5)$$

式中: δ 为空气的相对密度, 0 海拔下近似取为 1; r 为球形电极半径, cm。

2) 柱形导体

根据柱形导体电极表面电晕起始场强 E_c (峰值)公式为^[7-8]

$$E_c = 30.3m\delta \left(1 + \frac{0.298}{\sqrt{r\delta}} \right) \text{ kV/cm} \quad (6)$$

式中: m 为表面粗糙系数, 对于全面电晕 $m = 0.82$, 对于局部电晕 $m = 0.72$, 光滑表面 $m = 1$; δ 为空气的相对密度, 0 海拔下近似取为 1; r 为柱形电极半径, cm。

6 高海拔地区起晕电场强度矫正

由上述 Peek 公式可以看出, 当海拔上升, 空气的相对密度 δ 将发生改变, 而这就造成了导体的起晕电场强度发生改变, 因此, 需要对不同海拔地区下的起晕电场强度进行矫正。

1) 公式法

在对流层内, 对流的空气近似经历绝热过程, 其绝热方程为^[10]

$$\frac{P}{\rho^\gamma} = \frac{P_0}{\rho_0^\gamma} = K \quad (7)$$

式中: 下标“0”表示海平面; P 为压力, Pa; ρ 为密度, kg/m³; γ 为空气比热比; K 为常数。

取高度 z 处(指位势高度)厚度为 Δz 的一薄层空气, 其平衡方程为

$$p(z) - p(z + \Delta z) = \rho g \Delta z \quad (8)$$

式中: g 为重力地球加速度, m/s²。

令 $\Delta z \rightarrow 0$ 并取极限, 得空气的平衡微分方程为

$$-\frac{dp}{dz} = \rho g \quad (9)$$

对式(7)取对数, 然后微分, 得

$$\frac{dp}{p} = \gamma \frac{d\rho}{\rho} \quad (10)$$

将式(7)、(10)代入式(9), 得

$$-\frac{\gamma}{\gamma - 1} K (\rho^{\gamma-1} - \rho_0^{\gamma-1}) = gz \quad (11)$$

整理之后, 得

$$\rho = \rho_0 H(z) = \rho_0 \left[1 - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \frac{\rho_0 g}{P_0} z \right]^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (12)$$

应用式(12)便可得到不同海拔地区下的相对大气密度, 再结合式(5)、(6)便可对相应的起晕电场强度进行矫正。其中

$$H(z) = \left[1 - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \frac{\rho_0 g}{P_0} z \right]^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (13)$$

$H(z)$ 为密度函数, 在弹道学中还采用以下近似的位势函数^[11]:

$$H(y) = (1 - 2.1905 \times 10^{-5} y)^{4.4}, \quad y \leq 9\,300 \quad (14)$$

$$H(y) = e^{-1.059 \times 10^{-4} y}, \quad y \leq 10\,000 \quad (15)$$

$$H(y) = \frac{2\,000 - y}{2\,000 + y}, \quad y \leq 10\,000 \quad (16)$$

式中: y 是几何高度。更大高度范围内的大气模型可以参考文献^[12]。

2) 查表法

通过查阅中华人民共和国国家标准 GB1920—80^[13-14]可知不同海拔下的大气参数, 如表3所示。

本文采用查表法, 结合表3的数据, 通过对电容器组各部件的电极形状进行近似处理后, 由式(5)、(6)计算得到不同海拔下(1 000 m、2 000 m、3 000 m、4 000 m)电容器组中高压管母、低压管母、均压环、电容器外壳、电容器框架的理论起晕电场强度, 具体数据见表4。

表3 不同海拔下的大气参数
Table 3 Atmospheric parameters at different altitudes

海拔/m	温度		压力		密度	
	T/K	T/℃	P/kPa	P/P ₀	ρ/(kg/m ³)	ρ/ρ ₀
0	288.150	15.000	101.325	1.000 0	1.225 0	1.000 0
1 000	281.651	8.501	89.876	0.887 0	1.111 7	0.907 5
2 000	275.154	2.004	79.501	0.784 6	1.006 6	0.821 7
3 000	268.659	-4.491	70.121	0.692 0	0.909 3	0.742 3
4 000	262.166	-10.984	61.660	0.608 5	0.819 4	0.668 9

表4 各部件理论起晕电场强度
Table 4 Theoretical corona inception electric field intensity of various parts

海拔/m	高压管母		低压管母		均压环	电容器外壳	电容器框架
	柱形导体	球形导体	柱形导体	球形导体	柱形导体	柱形导体	柱形导体
0	32.631 4	29.404 3	33.597 1	30.110 3	33.597 1	23.301 6	24.723 4
1 000	29.718 2	26.761 3	30.638 1	27.433 8	30.638 1	21.213 3	22.567 7
2 000	27.010 9	24.306 0	27.886 2	24.945 9	27.886 2	19.272 9	20.561 7
3 000	24.500 3	22.030 1	25.332 3	22.638 3	25.332 3	17.474 0	18.699 0

7 仿真计算结果

7.1 整体电场强度仿真结果

电容器组整体结构的最大电场强度位于最顶层均压环的外侧圆弧转角上,值为 17 187.089 8 V/cm,即 17.187 kV/cm。电场强度仿真结果见图 2。

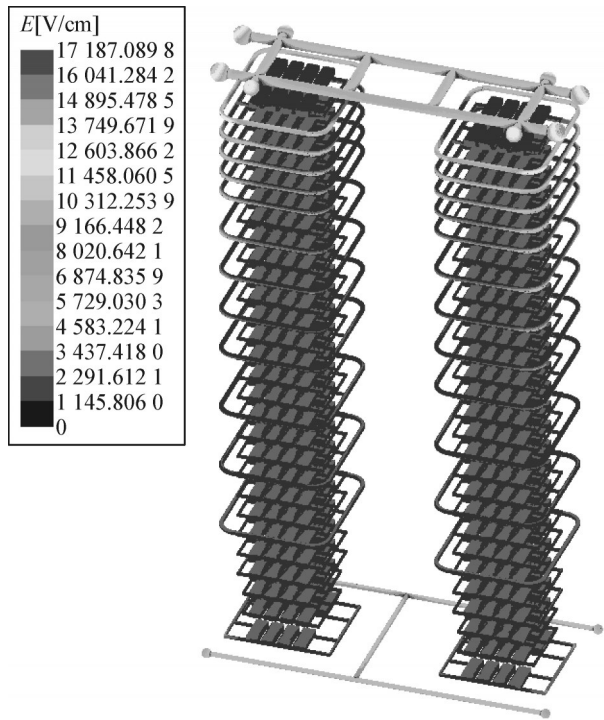


图2 整体电场强度仿真结果
Fig. 2 Simulation results of overall electric field intensity

7.2 高压管母电场强度仿真结果

高压管母的最大电场强度位于两端的终端球上,值为 16 533.138 7 V/cm,即 16.533 kV/cm。高压

管母电场强度仿真结果见图 3。

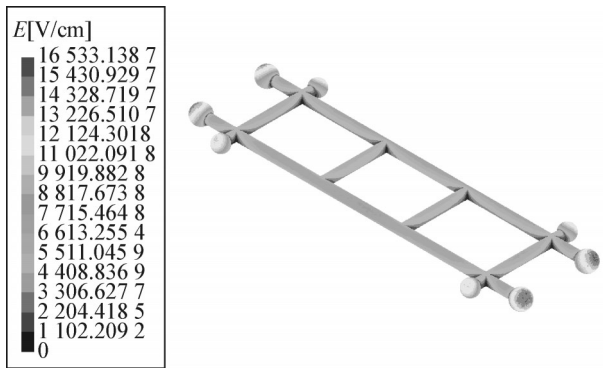


图3 高压管母电场强度仿真结果
Fig. 3 Simulation result of electric field intensity of high-voltage tubular busbar

7.3 低压管母电场强度仿真结果

低压管母的最大电场强度位于两端的终端球上,值为 9 195.089 8 V/cm,即 9.195 kV/cm。低压管母电场强度仿真结果见图 4。

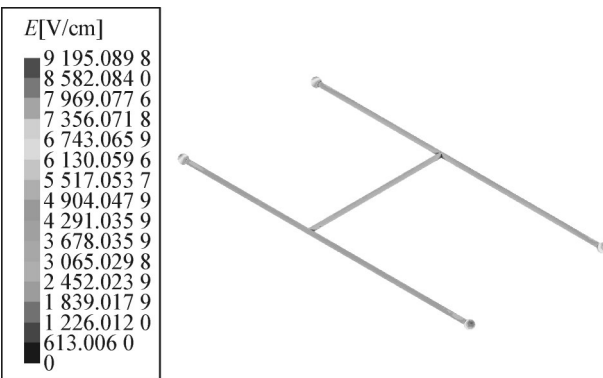


图4 低压管母电场强度仿真结果
Fig. 4 Simulation result of electric field intensity of low-voltage tubular busbar

7.4 均压环电场强度仿真结果

均压环的最大电场强度位于最顶层的均压环外侧圆弧转角上,值为 17 187.089 8 V/cm,即 17.187 kV/cm。均压环电场强度仿真结果见图 5。

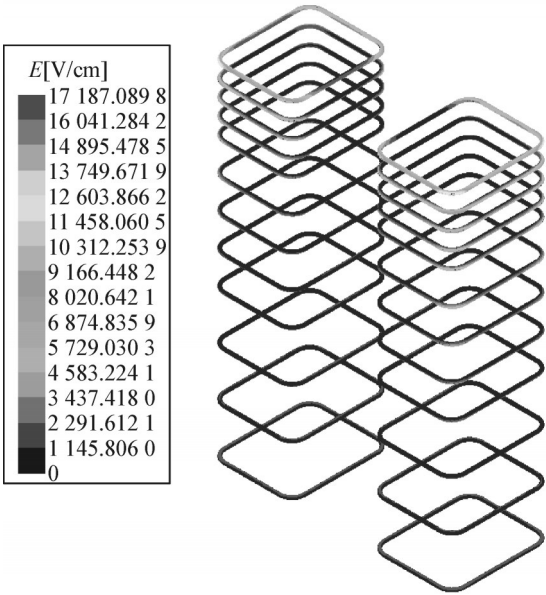


图5 均压环电场强度仿真结果
Fig. 5 Simulation results of electric field intensity of grading ring

7.5 电容器外壳电场强度仿真结果

电容器外壳的最大电场强度位于最顶层的电容器外壳顶端转角处,值为 2 331.296 9 V/cm,即 2.331 kV/cm。具体仿真结果见图 6。

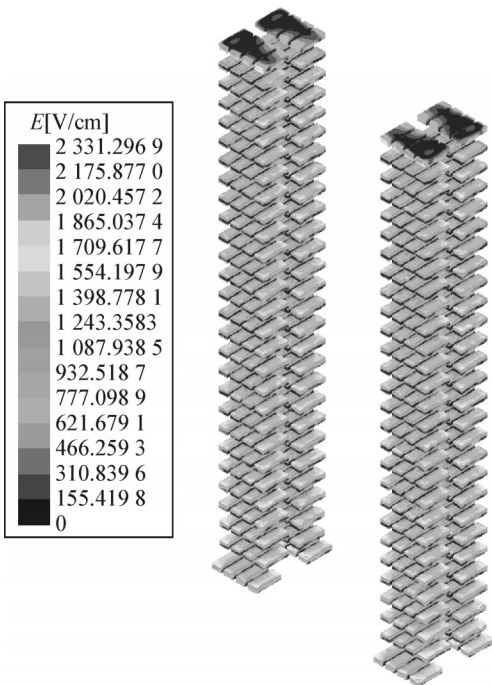


图6 电容器外壳电场强度仿真结果
Fig. 6 Simulation result of electric field intensity of capacitor case

7.6 电容器框架电场强度仿真结果

电容器框架的最大电场强度位于第 1 层塔架的转角处,值为 2 844.687 5 V/cm,即 2.845 kV/cm。具体仿真结果见图 7。

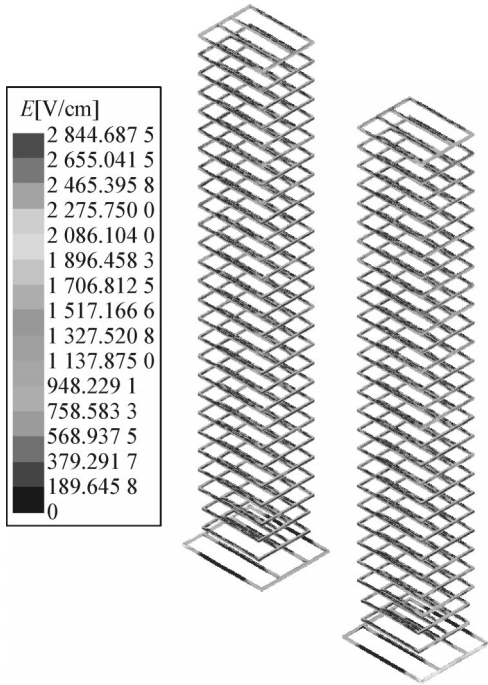


图7 电容器框架电场强度仿真结果
Fig. 7 Simulation result of electric field intensity of capacitor frame

8 结果分析

综上所述,将电容器组的高压管母、低压管母、均压环、电容器外壳、电容器框架的电场强度仿真计算结果与其 4 000 m 海拔下的起晕电场强度的理论计算值进行对比分析,所有结果见表 5。

表5 各部件计算结果
Table 5 Calculation results of various parts

结构名称	起晕电场强度/(kV/cm)	仿真计算值/(kV/cm)	是否符合要求
高压管母	19.922 4	16.533	符合
均压环	22.964 2	17.187	符合
低压管母	20.499 8	9.195	符合
电容器外壳	15.807 8	2.331	符合
电容器框架	16.970 6	2.845	符合

9 结语

本文采用三维电磁场仿真计算软件 ANSYS Maxwell 3D,建立仿真模型,计算出电容器组中高压管母、低压管母、均压环、电容器外壳、电容器框架的电场强度。并通过高电压绝缘技术的 Peek 公式

计算得到各部件的理论起晕电场强度。由仿真计算分析可得:

1)所有部件的仿真计算值均小于理论的起晕电场强度,则该电容器组不会产生电晕放电;

2)电容器组整体的最大电场强度位于最顶层的均压环外侧圆弧转角上,值为 17.187 kV/cm;

3)各仿真计算金属部件的最大电场强度均位于转角处,可以通过调整转角处的曲率半径,优化电容器组各金属部件的表面电场强度。

参考文献

- [1] 舒印彪. 中国直流输电的现状 & 展望[J]. 高电压技术, 2004, 30(11): 1-2.
SHU Yinbiao. Present status and prospect of HVDC transmission in China[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(11): 1-2.
- [2] 张文亮, 于永清, 李光范, 等. 特高压直流技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 1-7.
ZHANG Wenliang, YU Yongqing, LI Guangfan, et al. Researches on UHVDC technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(22): 1-7.
- [3] 绝缘配合 第1部分: 定义、原则和规则: GB 311.1—2012 [S]. 2012.
Insulation coordination—Part 1: Definitions, principles and rules: GB 311.1—2012[S]. 2012.
- [4] 电力金具试验方法 第2部分: 电晕和无线电干扰: GB/T 2317.2—2008[S]. 2008.
Test method for electric power fittings—Part 2: Corona and RIV tests for electric power fittings: GB/T 2317.2—2008[S]. 2008.
- [5] 高压直流输电系统用直流滤波电容器及中性母线冲击电容器: GB/T 20993—2012[S]. 2012.
DC filter capacitors and neutral bus surge capacitors for HVDC transmission system: GB/T 20993—2012[S]. 2012.
- [6] 3~110 kV 高压配电装置设计规范: GB 50060—2008[S]. 2008.
Code for design of high voltage electrical installation (3~110 kV): GB 50060—2008[S].
- [7] 文远芳. 高电压技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [8] 严璋, 朱德恒. 高电压绝缘技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] 蒋利军, 秦华忠, 梁琮, 等. ± 110 kV 特高压直流滤波电容器组电场设计研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2019, 40(1): 49-52.
JIANG Lijun, QIN Huazhong, LIANG Cong, et al. Study on electric field design of ± 110 kV UHVDC filter capacitor bank[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2019, 40(1): 49-52.
- [10] ANDERSON J. EBOOK: Fundamentals of Aerodynamics (SI units)[M]. McGraw Hill, 2011.
- [11] ATMOSPHERE U S S. US standard atmosphere[M]. National Oceanic and Atmospheric Administration, 1976.
- [12] 杨炳尉. 标准大气参数的公式表示[J]. 宇航学报, 1983 (1): 83-86.
YANG Bingwei. Formula representation of standard atmospheric parameters[J]. Journal of Astronautics, 1983 (1): 83-86.
- [13] 标准大气(30公里以下部分): GB 1920—1980 [S]. 1980.
Standard atmosphere (below 30 kilometers): GB 1920—1980 [S]. 1980.
- [14] 孟刚. 高海拔地区 500 kV 变电站空气间隙冲击耐受特性和海拔修正研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [15] ZIENKIEWICZ O C, TAYLOR R L. The finite element method: solid mechanics[M]. Butterworth Heinemann, 2000.
- [16] HUGHES T J R. The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis[M]. Courier Corporation, 2012.
- [17] COOK R D. Concepts and applications of finite element analysis[M]. John Wiley & Sons, 2007.
- [18] BATHE K J. Finite element procedures[M]. Klaus-Jurgen Bathe, 2006.
- [19] 标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器 第1部分: 总则: GB/T 11024.1—2010 [S]. 2010.
Shunt capacitors for a. c. power systems having a rated voltage above 1 000 V—Part 1: General: GB/T 11024.1—2010 [S]. 2010.
- [20] 高压并联电容器使用技术条件: DL/T 840—2016[S]. 2016.
Technical conditions for use of high-voltage shunt capacitors: DL/T 840—2016[S]. 2016.
- [21] 高压直流换流站设计技术规定: DL/T 5223—2005[S]. 2005.
Technical rule for designing HVDC converter station: DL/T 5223—2005[S]. 2005.
- [22] 张福轩, 陈东, 余军, 等. ± 110 kV 户内直流场全域均压电极设计、仿真及优化研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(20): 5873-5880.
ZHANG Fuxuan, CHEN Dong, YU Jun, et al. 3D simulation and optimization design of the electrode system of ± 110 kV indoor DC yard[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(20): 5873-5880.
- [23] 齐磊, 王星星, 李超, 等. ± 110 kV 特高压直流换流阀绝缘型式试验下的电场仿真及优化[J]. 高电压技术, 2015, 41(4): 1262-1271.
QI Lei, WANG Xingxing, LI Chao, et al. Electric field simulation and optimization of ± 110 kV HVDC converter valve in insulation type test[J]. High Voltage Engineering,

- 2015, 41(4): 1262-1271.
- [24] 王星星, 罗潇, 齐磊, 等. 高压直流换流阀用绝缘子表面电场计算及均压环设计[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 289-296.
- WANG Xingxing, LUO Xiao, QI Lei, et al. Calculation of electric field distribution along composite insulator and design of grading ring of HVDC converter valve[J]. Power System Technology, 2014, 38(2): 289-296.
- [25] 贾伟, 牛万宇, 王帮田, 等. ± 110 kV 直流阀厅金具电场仿真设计[J]. 电气技术, 2016(7): 13-19.
- JIA Wei, NIU Wanyu, WANG Bangtian, et al. Electric field simulation for ± 110 kV DC valve hall fittings[J]. Electrical Engineering, 2016(7): 13-19.
- [26] 武家辉, 王维庆, 王海云, 等. 哈郑特高压直流送端电网静态电压薄弱点研究与无功补偿[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(3): 134-139.
- WU Jiahui, WANG Weiqing, WANG Haiyun, et al. Study on the weak point of static voltage of transmission end in Hazheng UHVDC transmission system and reactive power compensation[J]. Power Capacitors & Reactive Power Compensation, 2018, 39(3): 134-139.
- [27] 黎斌, 刘琳, 梁作栋, 等. 特高压直流 GIL 绝缘设计与研究[J]. 高压电器, 2024, 60(2): 1-25.
- LI Bin, LIU Lin, LIANG Zuodong, et al. Insulation structure design and research of UHVDC GIL[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(2): 1-25.
- [28] 杨建明, 张庆武, 王杨正, 等. 特高压直流输电线路电压突变量保护优化[J]. 电力工程技术, 2022, 41(3): 102-109.
- YANG Jianming, ZHANG Qingwu, WANG Yangzheng, et al. Optimization of voltage differential protection for UHVDC transmission line[J]. Electric Power Engineering Technology, 2022, 41(3): 102-109.
- 作者简介:
- 蒋利军(1984—), 男, 高级工程师, 从事电力电容器及其装置技术研究工作。E-mail: 343088634@qq.com。
- 秦华忠(1973—), 男, 正高级工程师, 从事电力电容器及其装置技术研究工作。
- 熊勇(1987—), 男, 工程师, 从事电力电容器技术管理、项目应用及推广工作。
- 马维勇(1971—), 男, 高级工程师, 从事电气自动化技术及无功补偿成套装置研究工作。
- 黄有祥(1964—), 男, 高级工程师, 从事电力电容器及其装置技术研究工作。

《电力电容器与无功补偿》2025 年 3 期广告单位

- | | | | |
|-----------------------|------|--------------------------|-------|
| 1 宁国市裕华电器有限公司 | 封面 | 12 西安金叶电力科技有限公司 | 前插 8 |
| 2 上海思源电力电容器有限公司 | 封二 | 13 新程(辽宁)电力电容器科技有限公司 | 前插 9 |
| 3 山东哈大电气有限公司 | 封三 | 14 桂林明富金属股份有限公司 | 前插 10 |
| 4 西安高压电器研究院股份有限公司(业务) | 封底 | 15 山东海源泰和电气有限公司 | 前插 11 |
| 5 深圳市紫宸激光设备有限公司 | 前插 1 | 16 深圳市三和电力科技有限公司 | 前插 12 |
| 6 赛晶科技集团有限公司 | 前插 2 | 17 日新电机(无锡)有限公司 | 前插 13 |
| 7 东莞市东和电子制程有限公司 | 前插 3 | 18 节约能源 绿色生活 | 前插 14 |
| 8 陕西凯瑞宏星电器有限公司 | 前插 4 | 19 西安高压电器研究院股份有限公司(认证中心) | 前插 15 |
| 9 杭州精诚电力设备有限公司 | 前插 5 | 20 西安唯实输配电技术有限公司 | 前插 16 |
| 10 陕西泰普瑞电工技术有限公司 | 前插 6 | | |
| 11 温州市凯泰特种电器有限公司 | 前插 7 | | |