

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.05.005

110 kV 插拔式 GIS 电缆终端轴向传热分析

许鹏飞¹, 杨帆², 刘刚¹, 朱宁西¹, 王振华³, 张敏²

(1. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640; 2. 南方电网中低压电气设备质量检验测试重点实验室(广东电网有限责任公司广州供电局电力试验研究院), 广东 广州 510410; 3. 广东电网有限责任公司广州供电局白云供电局, 广东 广州 510410)

摘要: 气体绝缘开关设备(GIS)电缆终端的轴向传热特性对电缆资产的可靠性与利用率均有重要意义。文中建立 GIS 电缆终端等效热路模型, 理论分析其传热特性与载流热点, 通过搭建 110 kV GIS 电缆终端大电流实验平台, 激励 800~1 200 A 稳态负荷电流, 量化分析其轴向传热特性与影响范围。结果显示, GIS 电缆终端轴向传热程度与载流大小正相关, 当载流为 1 200 A 时, 至高点温度为 93.0 ℃, 最大轴向温差可达 15.4 ℃, 已超过电缆线路的额定载流量。分析表明, GIS 电缆终端轴向传热明显, 其影响范围为尾管后 1 m 左右, 顶推弹簧截面处的导体为温度至高点, 环境温度对 GIS 电缆终端与电缆本体影响权重等同并呈线性规律。研究结果可为电力调度及运行维护部门评估电缆线路载流量提供参考。

关键词: 气体绝缘开关设备(GIS)电缆终端; 载流量; 热路; 高压电缆; 轴向传热

中图分类号: TM726.3; TM732

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2020)05-0030-06

0 引言

随着我国城市电网最高负荷日益增长, 电力电缆资产的可靠性与利用率受到电力相关部门高度重视^[1-2]。气体绝缘开关设备(gas insulated switchgear, GIS)电缆终端作为典型电缆线路载流量瓶颈点之一^[3-6], 准确评估其内部轴向热动态特性, 可为电缆线路载流量评估^[7]、动态增容^[8]、实时载流量计算^[9-10]、电缆线芯温度预测^[11]等技术提供必要依据与参数。

电缆本体载流量研究工作已持续进行一百多年, 且形成稳态(IEC 60287)与暂态(IEC 60853)国际标准, 为弥补该标准的缺陷并满足区域化需求, 近二十年来, 国内外科研人员采用热路^[12]、热网络^[13]、边界元^[14]、有限元^[15-16]、有限差分^[17]与实验分析^[18-19]等方法开展专项研究, 形成了以电缆本体为对象的载流量成熟计算策略。

但实际上, 电缆线路载流量的瓶颈点极大机率存在于电缆附件中。因此, 近五年国内外研究人员将研究聚焦到电缆附件之中。如文献[16]将多种电接触模型与多耦合场有限元仿真相结合, 提出了评估中间接头接触电阻的计算策略; 文献[20]建立三芯电缆接头及本体的三维有限元模型, 分析了电

缆接头两端预留本体长度对电缆接头温度分布的影响。然而, 目前已有研究均未对 GIS 电缆终端载流量进行有效评估与分析。一方面 GIS 电缆终端内部存在空气腔体且结构复杂, 传热过程复杂; 另一方面, GIS 电缆终端内导体与气体绝缘金属封闭输电线路(gas-insulated transmission line, GIL)存在电气接点, 两者通过触指(表带触指或梅花触指)连接(插拔或压接)产生的接触电阻作为热源, 影响邻近绝缘温度, 极大增加了评估 GIS 电缆终端载流量的难度。

文中以 110 kV 插拔式 GIS 电缆终端为例, 运用热平衡原理建立其热路模型, 分析其内部传热特性, 搭建 110 kV GIS 电缆终端载流量实验平台, 在终端及相邻电缆本体关键位置布置温度传感器, 通过对比不同负荷条件下 GIS 电缆终端与邻近本体轴向温度分布梯度, 研究其轴向传热特性。

1 GIS 电缆终端热特性分析

为改善内部线芯断面处的电场并加强绝缘, GIS 电缆终端在结构尺寸、导体连接方式以及传热特性上均与电缆接头和本体存在较大差异。以 110 kV 插拔式 GIS 电缆终端为例, 其拆分后的结构如图 1 所示。

由图 1 可知, GIS 电缆终端主要由电缆本体、尾管、弹簧顶推、应力锥和环氧套管 5 个部件组成。其中, 应力锥由半导体与增强绝缘组成, 半导体作为电缆本体内屏蔽层的过渡带, 起均匀电场的作

收稿日期: 2020-03-12; 修回日期: 2020-04-15

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目“大型城市配电网灾害立体防御基础理论、关键技术及工程应用研究”(GZHKJXM20180060)

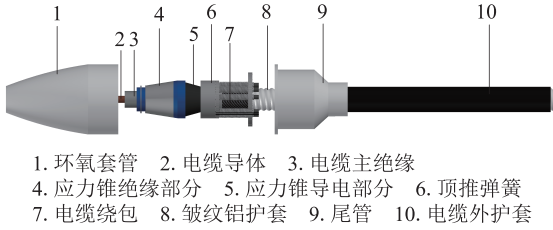


图1 110 kV 插拔式 GIS 电缆终端结构拆分图

Fig.1 Split diagram of 110 kV plug-in GIS terminal

用,增强绝缘与环氧套管共同作为 GIS 电缆终端的主绝缘。整体上,为使应力锥与环氧套管分界面紧密接触,钟罩法兰内多根弹簧经喇叭形筒持续施加压力于应力锥横截面,以保持界面应力恒定。尾管为黄铜材料,其尾部与皱纹铝护套相接,侧面端子与地线相接,共同构成线路短路电流与护套环流的出口。

110 kV 插拔式 GIS 电缆终端通过表带触指压接方式与出线杆电气相接。如图 2 所示,左侧红框位置为表带触指压接处,右侧为实际表带触指,触指压接处形成的接触电阻在通流后将产生大量热量,并持续向邻近电缆导体扩散。

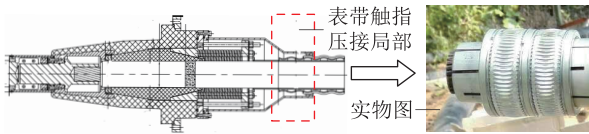


图2 表带触指

Fig.2 Touch the refers to the strap

设热扩散影响范围为 L , 将其划分为 n 等份, 忽略终端内部不连续界面的接触热阻、终端外壳表面的涡流损耗与绝缘介质损耗, 仅考虑大电流对终端温度场的决定性作用, 由此建立图 3 所示热路模型。其中, T_r 为环境温度; T_0 为压接处导体温度; T_i 为各节点温度, $i=1, 2, \dots, n$; T_∞ 为无穷远处的电缆线芯温度; R_0 为相邻节点之间的电缆线芯轴向热阻; R_{ci} 为 GIS 电缆终端或电缆本体各分段的径向热阻, $i=1, 2, \dots, n$; Q_1 为表带触指接触电阻产生的热流量; Q_0 为等分电缆导体损耗产生的热流量。表带触指接触电阻产生的热流量可等效于电缆端部恒流源 Q_1 , 各等分电缆导体损耗产生的热流量可视为恒流源 Q_0 。

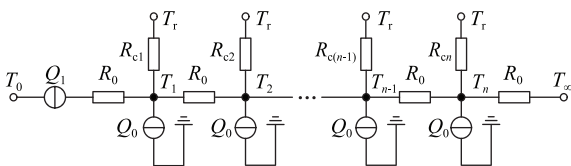


图3 110 kV 插拔式 GIS 电缆终端热路模型

Fig.3 Heat circuit model of 110 kV plug-in GIS terminal

根据图 3 所示热路可建立:

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{T_1 - T_r}{R_{c1}} + \frac{T_1 - T_2}{R_0} + Q_0 \\ \frac{T_1 - T_2}{R_0} = \frac{T_2 - T_r}{R_{c2}} + \frac{T_2 - T_3}{R_0} + Q_0 \\ \vdots \\ \frac{T_{n-1} - T_n}{R_0} = \frac{T_n - T_r}{R_{cn}} + \frac{T_n - T_\infty}{R_0} + Q_0 \end{cases} \quad (1)$$

将式(1)表示为线性热平衡矩阵方程, 即:

$$AT+BU=0 \quad (2)$$

式中: T 为温度向量; A, B 为系数矩阵; U 为损耗向量。该方程可通过四阶龙格库塔法求解, 或借助计算机辅助工具 (Simulink) 进行求解。

依径向分析, 径向热阻 R_{ci} 用以描述 GIS 电缆终端与电缆本体的径向导热能力, 其值越小, 径向温度梯度越小, 散热能力越强, 对应的 T_i 越低。若取其径向截面进行分析, 可将 GIS 电缆终端与电缆本体视为多层圆筒壁结构, 其中, 单层筒壁的径向热阻 R_r 可依下式进行计算:

$$R_r = \lambda \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi l} \quad (3)$$

式中: λ 为圆筒壁材料热阻率; r_i, r_o 分别为圆筒壁内外半径; l 为圆筒壁长度。GIS 电缆本体与电缆终端各层材料的传热系数分别如表 1 和表 2 所示。

表1 110 kV GIS 电缆本体各层材料传热系数

Table 1 Heat transfer coefficient of each layer of 110 kV GIS cable body

材料名称	传热系数/[W·(m ² ·°C) ⁻¹]
导体	401
绝缘	0.42
绕包	0.092
空气	0.024
铝护套	237
外护套	0.41

表2 110 kV GIS 电缆终端各层材料传热系数

Table 2 Heat transfer coefficient of each layer of 110 kV GIS cable terminal

材料名称	传热系数/[W·(m ² ·°C) ⁻¹]
尾管	109
顶推弹簧	107
增强绝缘	0.36
环氧套管	0.20
半导电	0.60
空气	0.024
触指	401

以 GIS 电缆终端应力锥中点与顶推弹簧中点作

径向切面,利用式(3)对其径向热阻进行计算,结果依次为 $1.56\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, $28.72\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$,均大于电缆本体的径向热阻 $0.79\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ 。因此,GIS 电缆终端整体散热条件低于电缆本体,弹簧顶推截面处滞留大量空气,散热极其困难。若在相同负荷和敷设环境下,GIS 电缆终端导体温度应明显高于电缆本体导体温度。

依轴向分析, R_0 为单位长度电缆导体交流电阻,可依据式(4)进行计算。

$$\begin{cases} R_0 = R'(1 + Y_s + Y_p) \\ R' = R_0[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)] \\ Y_s = x_s^4 / (192 + 0.8x_s^4) \\ x_s^2 = (8\pi f / R') \times 10^{-7} k_s \end{cases} \quad (4)$$

式中: R' 为在工作温度下单位长度电缆导体的直流电阻; R_0 为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时单位长度电缆导体的直流电阻; α_{20} 为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时导体材料温度系数; θ 为电缆导体的工作温度; Y_s 为集肤效应因数; Y_p 为邻近效应因数; k_s 为集肤效应系数; f 为工频。

轴向共存在 2 类热源:表带触指处接触电阻产生的热流量 Q_1 和电缆本体的交流损耗 Q_0 。随着 GIS 电缆终端长时间运行,表带触指压接处将产生蠕变、应力松弛、腐蚀退化及微动磨损等变化, Q_1 将远大于 Q_0 。因此, Q_1 处将局部升温,由热力学第二定律可知,热量将沿导体轴向传递,GIS 电缆终端至电缆本体导体的轴向将存在由高至低的温度梯度。

2 大电流温升实验

2.1 实验系统

实验系统如图 4 所示,该系统由 2 部分组成。一为室内控制部分,通过调压器、大电流升流线圈、补偿电容器、互感器等设备激励不同类型与大小的负荷电流;二为室外负载部分,包括 GIS 电缆终端与 40 m 长 YJLW03 64/110 500 mm 电缆本体,其中, GIS 电缆终端应力锥密封于套管,与现场运行工况一致。实验以康铜热电偶为测温传感器,数据采集装置为无纸记录仪。

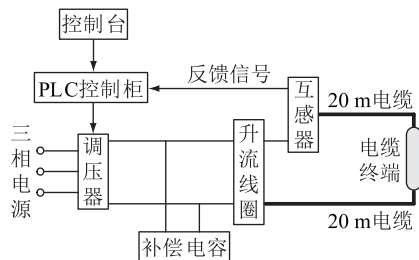


图 4 大电流实验系统

Fig.4 Experimental system of high current

2.2 测温方案

为获取 GIS 电缆终端与相邻电缆导体温度分布规律,实验以 GIS 电缆终端应力锥中点为起点,沿导体轴向共布置 8 个测温点,具体情况见图 5。考虑到表带触指接触电阻与空气(导热系数极低)对 GIS 电缆终端轴向传热影响,在其应力锥、顶推弹簧与尾管内部中心处分别布置 1 个测温点。尾管右侧电缆本体测温点间隔距离为 40 cm, 2 m 范围内布置 5 个测温点(图 5 中仅展示 3 个)。

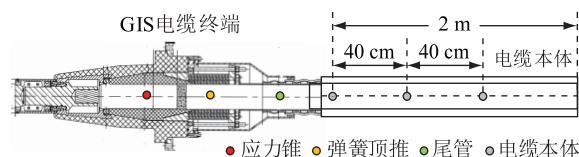


图 5 测温点布置

Fig.5 Temperature points arrangement

2.3 实验方案

依据高压电缆载流量相关实验要求,设计 GIS 电缆终端稳态电流实验。为确定实验负载热时间常数,先进行 800 A 稳态电流预实验,结果显示,加载电流 7 h 后,GIS 终端及电缆本体温度变化小于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (受敷设环境影响),实验对象已达到稳态。为获取稳定有效的实验结果,在正式实验中,连续加载 800 A, 900 A, 1 000 A, 1 100 A, 1 200 A 阶跃电流,每段电流持续 11 h,期间连续监测电缆各布置点的温度,自动测温仪装置每隔 10 s 记录一次数据。

3 实验结果与分析

800 A 阶跃电流温升曲线见图 6,电缆本体各测温曲线根据图 5 标注从左至右依次命名。进入稳态后,GIS 电缆终端温度依次为 $57.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $58.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $58.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,电缆本体温度依次为 $54.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $52.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $52.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $51.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $51.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,最大温差为 $7.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,与理论分析结果相符。

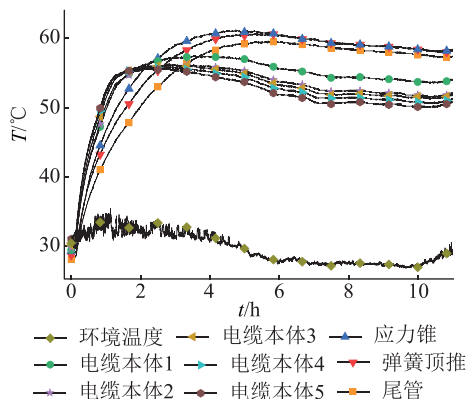


图 6 800 A 负荷实测温度曲线

Fig.6 Measured temperature curve of 800 A load

为分析 GIS 电缆终端轴向传热特性,对不同时间 800 A,900 A,1 000 A,1 100 A,1 200 A 阶跃电流稳态结果进行分析,结果如图 7 所示,横坐标测温位置标号 1—8 分别对应沿导体轴向的 8 个测温点。

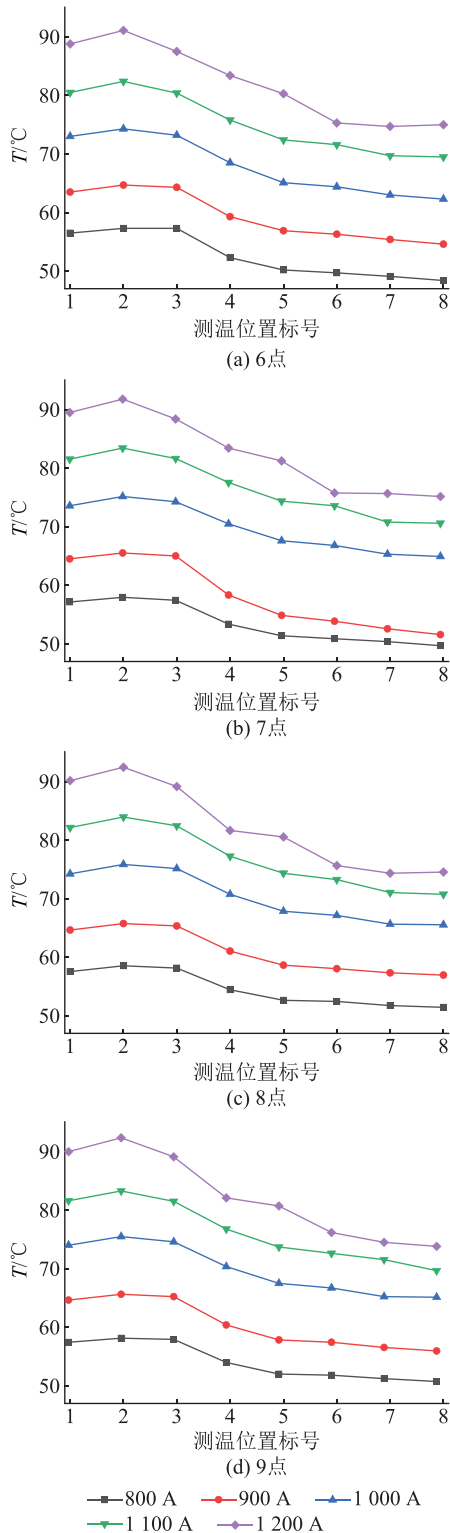


图7 不同时刻下的稳态温度结果

Fig.7 Steady-state temperature results at different times

从整体上看,GIS 电缆终端内导体及电缆本体导体温度呈相同趋势,即 GIS 电缆终端内温度较高,

尾管右侧电缆本体温度线性下降,轴向传热明显。以图 7(a)为例,负荷为 1 200 A 时,各测温点处的温度依次为 89.2°C , 91.1°C , 87.5°C , 83.4°C , 80.3°C , 75.3°C , 74.7°C 和 74.9°C , GIS 电缆终端内导体温度均高于电缆本体内导体温度,最大温差可达 16.4°C 。因此,若电缆线路长时间满载运行,GIS 电缆终端易局部过热、绝缘老化,甚至引起过热故障。

图 7 结果表明:GIS 电缆终端内 3 个测温点中,顶推弹簧截面(标号 2)温度最高,其次为应力锥截面(标号 1),尾管截面(标号 3)温度最低,该结果与径向传热理论分析结果一致。以图 7(b)为例,负荷为 1 200 A 时,各测温点温度依次为 89.6°C , 91.9°C 和 88.5°C 。应力锥截面处,相邻表带触指受接触电阻热流量影响较为显著,但径向热阻仅为 $1.56\text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$,其径向散热状况良好,因此温度较弹簧顶推截面要低。弹簧顶推截面为 GIS 电缆终端内温度最高点,其轴向仍受接触电阻热流量的影响,而径向因存在大量空气,热阻为 $28.72\text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$,散热条件极其恶劣,因此温度最高。尾管截面处仅存在少量空气,其散热状况远优于弹簧顶推截面,同时其位置远离表带触指,受接触电阻产生的热流量影响较小,因此温度最低。

电缆本体左侧 2 个测温点(标号 4 和 5)受 GIS 电缆终端轴向传热影响,存在较大温度梯度;而后右侧 3 个测温点(标号 6—8)的温度变化则趋于平缓。以图 7(c)为例,负荷为 1 200 A 时,标号 3—8 的温度依次为 89.2°C , 81.7°C , 80.6°C , 75.7°C , 74.4°C 和 74.6°C 。其中,标号 4—6 的最大温差为 6.0°C ,标号 6—8 的最大温差仅为 1.1°C 。因此,在尾管 1 m 范围外可视为不受 GIS 电缆终端轴向传热影响。

随着负荷增加,GIS 电缆终端与电缆本体温差增大。若取环境温度 29°C ,当负荷为 800 A 时,温差为 6.5°C ;当负荷为 1 200 A 时,温差增加至 15.4°C 。GIS 电缆终端内导体最高温度与轴向电缆本体温度温差关系如表 3 所示。

表 3 不同负荷下轴向温差(环境温度 29°C)

Table 3 Axial temperature difference under different loads(ambient temperature 29°C)

负荷/A	GIS 电缆终端最高温度/ $^\circ\text{C}$	去掉最高值的电缆本体平均温度/ $^\circ\text{C}$	温差/ $^\circ\text{C}$
800	58.6	52.1	6.5
900	65.7	57.1	8.6
1 000	75.5	65.6	9.9
1 100	83.4	71.4	12.0
1 200	93.0	77.6	15.4

当负荷电流为 1 200 A 时, GIS 电缆终端内部最高温度为 93.0 ℃, 已超过电缆额定载流量(90 ℃), 此时电缆本体平均温度为 77.6 ℃。若电缆本体接近 90 ℃ 运行时, GIS 电缆终端内将发生局部过热, 危害电力系统安全稳定运行。

环境温度为 27 ℃ 时, 轴向温差为 12.2 ℃; 环境温度为 30.5 ℃ 时, 轴向温差为 12.3 ℃; 当环境温度由 27 ℃ 升至 30.5 ℃ 时, 轴向温差未发生明显变化, 其结果如表 4 所示。因此, 环境温度对 GIS 电缆终端与电缆本体的载流量影响权重等同。

表 4 不同环境温度下轴向温差(负荷 1 100 A)
Table 4 Axial temperature difference at different ambient temperatures(load 1 100 A) ℃

环境温度	GIS 电缆终端 最高点温度	去掉最高值的电缆 线芯平均温度	温差
27	81.5	69.3	12.2
28	82.4	70.3	12.1
29	83.4	71.4	12.0
30	84.8	72.3	12.5
30.5	85.1	72.8	12.3

由表 4 易知, 环境温度为 27 ℃ 时, GIS 电缆终端最高点温度为 81.5 ℃, 差值为 54.5 ℃; 当环境温度为 30.5 ℃ 时, GIS 电缆终端最高点温度为 85.1 ℃, 差值为 54.6 ℃, 因此, 环境温度对 GIS 电缆终端导体与电缆本体导体温度影响呈线性。

4 结论

文中通过理论与实验分析, 得出以下结论:

(1) GIS 电缆终端轴向传热明显, 且传热程度与负荷大小正相关。当负荷为 800 A 时, GIS 电缆终端的温度至高点与去掉最高值的电缆本体平均温度的温差为 6.5 ℃, 当负荷为 1 200 A 时, 该温差增至 15.4 ℃。

(2) GIS 电缆终端轴向传热影响范围为尾管后 1 m 左右距离。

(3) 环境温度对 GIS 电缆终端与电缆本体影响呈线性, 且对载流量影响权重等同。

(4) GIS 电缆终端内顶推弹簧截面处的导体温度最高, 其次为应力锥截面处的导体, 而尾管截面处导体的温度最低。当负荷为 1 200 A 时, 顶推弹簧内部中心导体温度为 93.0 ℃, 已超过电缆线路的额定载流量。

参考文献:

[1] 梁永春, 闫彩红, 赵静, 等. 排管敷设电缆群暂态温度场和短时载流量数值计算[J]. 高电压技术, 2011, 37(4): 1002-1007.

LIANG Yongchun, YAN Caihong, ZHAO Jing, et al. Numerical calculation of transient temperature field and short-term ampacity of group of cables in ducts [J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(4): 1002-1007.

[2] 曹京荣, 徐超, 陈杰, 等. 防火带材对高压电缆载流量和温度监测影响研究[J]. 电力工程技术, 2019, 38(1): 19-23.
CAO Jingying, XU Chao, CHEN Jie, et al. Influence of fireproof belt on ampacity and temperature measuring of high voltage cable [J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(1): 19-23.

[3] 朱立位, 潘宏承, 应展烽, 等. 计及轴向传热的中低压单芯电缆导体升温状态空间模型[J]. 电力工程技术, 2019, 38(1): 30-36.
ZHU Liwei, PAN Hongcheng, YING Zhanfeng, et al. The state space model of conductor temperature estimation considering axial heat conduction for middle and low voltage single core power cable [J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(1): 30-36.

[4] 金向朝, 黄松波, 谢志杨, 等. 考虑粗糙表面接触的气体绝缘开关设备接头接触电阻数值计算与影响因素分析[J]. 电网技术, 2015, 39(6): 1725-1730.
JIN Xiangchao, HUANG Songbo, XIE Zhiyang, et al. Numerical calculation and influence factors analysis of gas insulated switchgear connector contact resistance considering rough surface contact [J]. Power System Technology, 2015, 39(6): 1725-1730.

[5] LI H T, SHU N Q, WU X W, et al. Scale modeling on the over-heat failure of bus contacts in gas-insulated switchgears [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2014, 50(2): 305-308.

[6] GUAN X Y, SHU N Q, KANG B, et al. Multiphysics analysis of plug-in connector under steady and short circuit conditions [J]. IEEE Transactions on Components Packaging & Manufacturing Technology, 2015, 5(3): 320-327.

[7] 刘刚, 王鹏宇, 毛健琨, 等. 高压电缆接头温度场分布的仿真计算[J]. 高电压技术, 2018, 44(11): 3688-3698.
LIU Gang, WANG Pengyu, MAO Jiankun, et al. Simulation calculation of temperature field distribution in high voltage cable joints [J]. High Voltage Engineering, 2018, 44(11): 3688-3698.

[8] MEMG X K, WANG Z Q, LI G F. Dynamic analysis of core temperature of low-voltage power cable based on thermal conductivity [J]. Canadian Journal of Electrical & Computer Engineering, 2016, 39(1): 59-65.

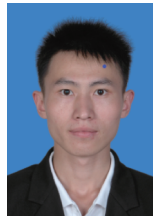
[9] RUAN J J, LIU C, HUANG D C, et al. Hot spot temperature inversion for the single-core power cable joint [J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 104: 146-152.

[10] 徐涛, 叶晓君, 徐研, 等. 基于实时测量数据的电缆稳态载流量计算[J]. 广东电力, 2017, 30(7): 65-69.
XU Tao, YE Xiaojun, XU Yan, et al. Calculation on steady-state ampacity of cable based on real-time measured data [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(7): 65-69.

[11] 樊浩, 宁博扬, 何森. 基于 SVM 改进 PSO 算法的电缆接头温度预测分析[J]. 电子测量技术, 2019, 42(21): 53-56.

- FAN Hao, NING Boyang, HE Seng. Rediction and analysis of cable joint temperature based on SVM improved PSO algorithm [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2019, 42 (21): 53-56.
- [12] SEDAGHAT A L, DE LEON F. Thermal analysis of power cables in free air; evaluation and improvement of the IEC standard ampacity calculations [J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2014, 29(5): 2306-2314.
- [13] SAADAT S, BORBUEV A, DE L F. Thermal analysis of power cables installed in solid bottom trays using an equivalent circuit [J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2016, 32 (4): 2130-2139.
- [14] DEGHAN M, ABBASZADEH M. Analysis of the element free galerkin (EFG) method for solving fractional cable equation with dirichlet boundary condition [J]. *Applied Numerical Mathematics*, 2016, 109: 208-234.
- [15] HUANG Z, PILGRIM J, LEWIN P, et al. Thermal-electric rating method for mass-impregnated paper-insulated HVDC cable circuits [J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2015, 30(1): 437-444.
- [16] YANG F, ZHU N X, LIU G, et al. A new method for determining the connection resistance of the compression connector in cable joint [J]. *Energies*, 2018, 11(7): 1667.
- [17] 刘昌盛, 冉为, 杨帆. 基于坡印亭矢量的电缆无功功率计算及电缆沟环境对其影响规律的研究 [J]. *中国电机工程学报*, 2015, 35(5): 1281-1288.
- LIU Changshen, RAN Wei, YANG Fan. Reactive power calculation of power cable based on poynting vector and influence caused by cable duct environment [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2015, 35(5): 1281-1288.
- [18] 阮羚, 赵艾萱, 邓丹, 等. 三芯电缆不平衡电流对温度分布的影响 [J]. *高电压技术*, 2018, 44(8): 2704-2709.
- RUAN Ling, ZHAO Aixuan, DENG Dan, et al. Influence of unbalanced current in 3-core power cable on temperature distribution [J]. *High Voltage Engineering*, 2018, 44 (8): 2704-2709.
- [19] 杨帆. 110 kV 电缆线路载流量关键技术研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- YANG Fan. Research on the key technologies of ampacity in 110 kV cable line [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [20] 唐科, 阮江军, 唐烈峥, 等. 三芯电缆接头温度场计算 [J]. *高电压技术*, 2019, 45(11): 3571-3578.
- TANG Ke, RUAN Jiangjun, TANG Liezheng, et al. Temperature field calculation of three core cable joint [J]. *High Voltage Engineering*, 2019, 45(11): 3571-3578.

作者简介:



许鹏飞

许鹏飞(1990),男,硕士在读,研究方向为高电压与绝缘技术(E-mail: 214824181@qq.com);

杨帆(1993),男,硕士,工程师,从事智能配电网与综合能源工作;

刘刚(1969),男,博士,教授,从事电网设备故障与分析工作。

Assessment on axial heat transfer of 110 kV plug-in GIS cable terminal

XU Pengfei¹, YANG Fan², LIU Gang¹, ZHU Ningxi¹, WANG Zhenhua³, ZHANG Min²

(1. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. China Southern Power Grid Co., Ltd. of Key Laboratory of Middle-low Voltage Electric Equipment Inspection and Testing (Power Test Research Institute of Guangzhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd.), Guangzhou 510410, China; 3. Baiyun Power Supply Bureau of Guangzhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510410, China)

Abstract: Axial heat-transfer characteristics of gas insulated switchgear (GIS) cable terminals are important to the reliability and utilization of cable assets. The equivalent thermal circuit model is established, and its axial and radial heat-transfer characteristics are analyzed. A 110 kV GIS cable terminal high-current experimental platform is built, and a steady-state temperature rise experiment of 800 A to 1 200 A is performed to further analyze its characteristics. The results show that the axial heat transfer degree of GIS cable terminal is positively correlated with the load size. When the load is 1 200 A, the temperature to the high point is 93.0 °C, and the maximum axial temperature difference is 15.4 °C, exceeding the rated load capacity of the cable line. The analysis shows that the axial heat transfer of the GIS cable terminal is obvious, and the influence range is about 1 m behind the liner, and the conductor at the push spring section is the temperature to the high point. The influence weight of the ambient temperature on the GIS cable terminal and the cable body is the same and shows a linear rule. The research results can be used as a reference for power dispatching and operation and maintenance departments to evaluate the ampacity of cable lines.

Keywords: gas insulated switchgear (GIS) cable terminal; ampacity; thermal circuit; cable; axial heat conduction

(编辑 钱悦)