

基于有限元法的高压海缆绝缘状态实时预测研究

白志强^{1,2}, 秦飞¹, 朱振鹏¹, 张亚豪¹, 田丰^{1,2}

(1. 河南工学院 电缆工程学院, 新乡 453003; 2. 河南省线缆结构与材料重点实验室, 河南 新乡 453003)

摘要: 海底复杂的运行环境使得海缆绝缘层性能容易因受潮和侵蚀等因素而下降, 进而降低其负载能力甚至引发绝缘故障。以 220 kV 三芯交联聚乙烯高压海缆为对象, 基于 COMSOL 有限元软件搭建了其在海底土壤直埋敷设情况下的温度场仿真模型, 研究了不同绝缘状态下光纤温升随载流量和环境温度的变化规律, 获取了介质损耗角正切与海缆光纤相对温升、载流量之间的函数关系, 并提出了基于光纤相对温升的海缆绝缘状态预测方法。研究结果为构建海缆绝缘状态实时预测系统提供了依据, 也为探究海缆运行状态下绝缘性能的演变提供了新方法。

关键词: 温度场; 载流量; 光纤温升; 绝缘性能; 实时预测

中图分类号: TN818

文献标志码: A

文章编号: 2096-7772-(2025)02-0001-05

0 引言

海缆在海洋资源开发及洲际电力传输中角色举足轻重^[1-4], 其一旦发生故障, 轻则将在一定程度上限制海上石油的开采效率及风电输送功率, 重则将致使相关生产作业直接中断, 进而导致重大经济损失。同时, 由于敷设和运行环境的特殊性, 海缆的修复成本极高^[5-7]。然而在海缆运行期间, 其绝缘性能不可避免地会持续衰减, 故对其绝缘状态的有效监测十分必要^[8,9]。研究发现, 电缆绝缘状态与介质损耗角正切 ($\tan \delta$) 之间存在着密切的关联性。日本住友公司提出了一种基于介质损耗角正切的 XLPE 电缆绝缘诊断判据^[10,11]。该判据通过测量 $\tan \delta$ 评估电缆绝缘状态。目前, 常用离线耐压试验测量介质损耗角, 这种方法不仅无法实现 $\tan \delta$ 的在线监测, 而且, 频繁地耐压试验也将极大损伤电缆绝缘, 从而影响电缆的服役寿命^[12-13]。

电缆运行中, 其工作温度在导体的欧姆损耗与介质损耗共同作用下上升, 考虑环境温度的影响, 定义温升作为衡量电缆工作状态的指标参数。根据电缆损

耗原理, 在一定工作电压下, 电缆温升与电流 I 及介质 $\tan \delta$ 或许存在某种函数关系。因此, 研究基于电缆工作温度的在线监测方法, 构建电缆绝缘工作状态评估与故障预测体系, 不仅能够实现电缆绝缘状态在线监测, 还可有效降低电缆运行环境中的电磁干扰。

近年来, 基于有限元法建模求解海缆温度场分布的研究已经广泛开展^[15-21]。张安安等人采用有限元软件, 以 35 kV 光电复合型三芯海缆为对象, 研究了环境温度、埋设深度以及载流量对温度场的影响, 通过建立相应条件下缆芯温度与埋设深度的关系函数实现了对海缆埋设深度的实时预测^[15,16]。吴冰洁等人利用有限元软件对 220 kV 海缆的低频载流能力及温度场分布进行了仿真研究^[17]。张皓等人则采用有限元法对 500 kV 高压交流 XLPE 海缆在典型敷设环境下温度场和载流量进行了仿真计算^[18]。然而, 目前针对海缆温度场的仿真研究仍主要集中于海缆绝缘状态正常时, 有关绝缘性能下降时的研究却很少。因此, 研究海缆绝缘状态下对海缆温度场的影响十分必要。

本文以 220 kV 三芯 XLPE 高压海缆为研究对象, 首先搭建海缆海底土壤直埋敷设状态下的温度场仿真

收稿日期: 2024-12-06

基金项目: 河南工学院教育教学改革研究与实践项目 (DLGC-2021003); 河南工学院教师教学 3+1 教学创新项目 (ex20241-0077); 河南省教育厅科技研究项目 (25B480008)

第一作者简介: 白志强 (1986—), 男, 河南焦作人, 副教授, 博士, 主要从事电缆多物理仿真及结构设计研究。

模型,其中绝缘层损耗通过 IEC 标准计算,并以热生成率体现。在此基础上,研究了海缆绝缘状态正常时载流量和环境温度变化对光纤温升的影响、海缆绝缘状态下降即随着 $\tan\delta$ 增大光纤相对温升的变化规律,并对原有的基于介质损耗角正切的 XLPE 电缆绝缘诊断判据进行了修正。最后,利用最小二乘法拟合得到海缆光纤相对温升和载流量与 $\tan\delta$ 的关系,并对其进一步简化,以构建高压海缆绝缘状态的快速测评体系。

1 海缆的结构参数

与单芯海缆相比,三芯海缆的三根铜导体以特定的形式紧密缠绕在一起,每根铜导体的横截面积相较于单芯海缆明显更小。在三芯海缆的工程敷设作业时,会将其护套两端予以接地处理,如此一来,三芯海缆在正常运行状态下,护套中近乎不存在感应电压与感应电流,从而确保了其运行的安全性与稳定性。

本文选取方天公司 HYJQF41-127/220 3×1600 三芯交流 XLPE 高压海缆为研究对象,基于 COMSOL 进行温度场建模及有限元仿真计算,其结构示意图如图 1 所示。同时,表 1 列出了该海缆各层结构性能参数。

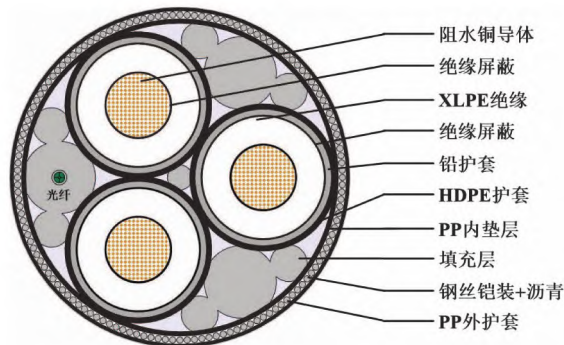


图 1 HYJQF41-127/220 3×1600 三芯 XLPE 高压海缆结构示意图

表 1 HYJQF41-127/220 3×1600 三芯 XLPE 高压海缆各层结构性能参数

结构	厚度/mm	外径/mm	传热系数/(W·(m·K) ⁻¹)	密度/(kg·m ⁻³)	比热容/(J·(kg·K) ⁻¹)
阻水铜导体	—	48.8	400	9000	385
导体屏蔽层	1.2	51.2	0.17	930	2405
绝缘层	21	93.2	0.29	930	2300
绝缘屏蔽层	1	95.2	0.17	930	2405
铅护套	4.5	104.2	35.3	11370	127
HDPE 护套	3	110.2	0.29	930	2300
填充层	—	235.5	0.35	1100	1900
PP 内垫层	2.8	241.1	0.22	1900	1900
钢丝铠装	6	253.1	50	7850	475
PP 外护套	3	259.1	0.22	1900	1900

2 模型的搭建与验证

考虑到海缆所用材料均匀,且结构呈旋转对称分布,其热扩散各向同性,故而可将海床敷设环境中的海缆热稳态研究简化为二维温度场仿真计算。同时,现有的研究表明,海缆作为热源,其对周边环境的热影响是有限的,距离海缆 2 m 以外的区域几乎不受海缆发热影响^[20],而海水流速小于 2 m/s 时,海水对海缆本体的传热亦无大的影响^[21]。本文所建海缆海底直埋温度场仿真模型如图 2 所示。求解域的边界尺寸设为 10 m×16 m,海缆埋设于 1.5 m 深的海底土壤中。模型依据海缆真实运行环境设定边界以贴近工程实际。海底深层土壤部分为恒温层,符合第一类边界条件;模型下边界设为恒温,其值取海底土壤平均温度。海缆距离左右两侧边界均为 8 m,海缆产生的热量对其影响微乎其微,可近似看作绝热,符合第二类边界条件。

因此,模型左右两侧边界法向热流密度设为零。上边界土壤与海水相接,存在热对流,符合第三类边界条件,对流换热系数设定为 600 W/(m²·K)^[15]。由于海底土壤含水量高,其导热系数设定为 1.9 W/(m·K)^[23]。同时,认为海底深层土壤温度与海水温度近似。

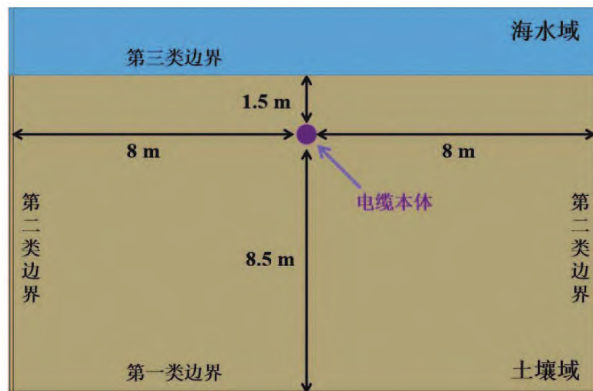


图 2 直埋状态下海缆敷设环境模型

另外,在海缆运行时,其线芯铜导体、绝缘层、铅护套及铠装层会产生损耗。其中,将线芯导体设置为热电耦合单元;铅护套损耗和铠装层损耗均通过电磁感应计算。而绝缘层损耗则以热生成率的形式添加,其由下式计算:

$$W_{\text{ins}}=\omega C U_0^2 \tan \delta \quad (1)$$

式中: ω 为输电角频率, C 为单位长度海缆的电容, U_0 为相电压。通常, $\tan \delta$ 小于 0.002 时绝缘层处于正常状态。本文绝缘层处于正常状态时, $\tan \delta$ 取值为 0.001。

取 7、8 月份期间的海水温度为 28℃, 通过 IEC 标准计算得到海缆额定载流量 $I_0=1110 \text{ A}$, 并将其载流量应用于所建模型中, 之后仿真得到海缆温度场分布如图 3 所示。由图可知, 三芯海缆线芯温度为 89.6℃, 与铜导体长期运行最高允许工作温度仅相差 0.4℃, 从而证实了本文所建模型的可靠性。

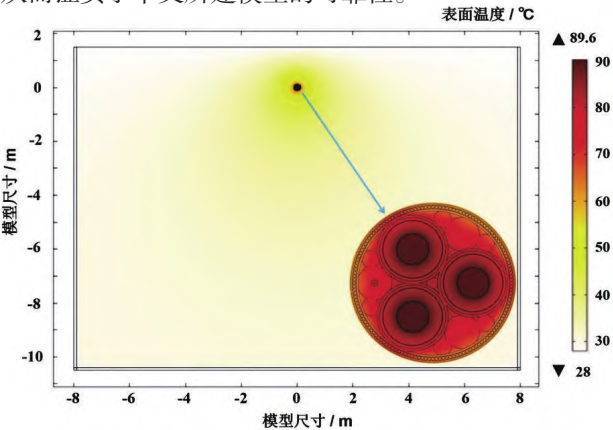


图 3 直埋状态下海缆稳态运行时的温度场分布

3 不同绝缘状态下光纤温升变化分析

3.1 绝缘状态正常时的光纤温升

通常, 海缆故障将影响其本体温度场分布, 而外

部环境也同样影响其温度场分布, 进而影响海缆故障的准确诊断。本节基于 2.2 节所建的有限元仿真模型, 研究了海缆正常运行情况下载流量和外部环境对其温度场分布的影响, 从而为海缆的在线检测提供基础的参考数据。表 2 列出了海缆绝缘状态正常时载流量分别为 10% I_0 、20% I_0 、30% I_0 、40% I_0 、50% I_0 、60% I_0 、70% I_0 、80% I_0 、90% I_0 、100% I_0 , 且土壤及海水温度从冬季的 8℃以 4℃/次逐渐递增至夏季的 28℃的光纤温度 T_{fb} 。光纤温升即光纤温度相对于环境温度的升高, 由 $\Delta T_{\text{fb}}=T_{\text{fb}}-T_{\text{env}}$ 计算。图 4 展示了环境温度和载流量变化对光纤温升 ΔT_{fb} 的影响。

由图 4(a) 可知, 环境温度变化对海缆光纤温升 ΔT_{fb} 影响很小, 可以忽略。而由图 4(b) 可知, 环境温度一定时, 随海缆载流量增加光纤温升 ΔT_{fb} 近似呈平方规律增加。这是由于缆芯导体的发热功率随载流量的增加呈平方增加所致。

3.2 绝缘性能下降时的光纤温升

通常, 由日本住友电气公司提供的基于损耗角正切的 XLPE 电缆绝缘诊断判据可以有效判定电缆 XLPE 的绝缘老化状况。然而, 随着电缆电压等级不断提升, 由绝缘层损耗而引发电缆温升变化速率随 $\tan \delta$ 的增大而显著加快。以本文所选 220 kV XLPE 三芯高压海缆为例, 通过仿真计算, 我们发现, 当 $\tan \delta$ 仅为 0.013 时, 其绝缘层温度就已达 XLPE 的上限耐受温度 105℃, 故障随时可能发生。然而如果按原判据评估, 此时海缆绝缘状态为严重警告, 尚未损坏。这说明对于高压尤其是特高压海缆, 原判据存在一定的局限性。因此, 我们对其进行了适当的修正, 如表 3 所示。

表 2 绝缘正常即 $\tan \delta=0.001$ 时不同载流量 I 和环境温度 T_{env} 下的海缆光纤温度 T_{fb} (单位: °C)

$T_{\text{env}} / ^\circ\text{C}$	10% I_0	20% I_0	30% I_0	40% I_0	50% I_0	60% I_0	70% I_0	80% I_0	90% I_0	100% I_0
28	29.687	31.007	33.213	36.309	40.309	45.229	51.033	57.803	65.540	74.273
24	25.687	27.006	29.209	32.303	36.299	41.215	47.012	53.775	61.503	70.226
20	21.687	23.005	25.206	28.297	32.289	37.201	42.991	49.747	57.467	66.178
16	17.687	19.004	21.203	24.290	28.279	33.187	38.97	45.719	53.43	62.132
12	13.688	15.003	17.199	20.284	24.269	29.172	34.948	41.690	49.393	58.085
8	9.6879	11.002	13.195	16.277	20.258	25.158	30.926	37.662	45.356	54.039

表 3 HYJQF41-127/220 3×1600 三芯 XLPE 海缆绝缘诊断判据

$\tan \delta$	Evaluation	Suggestion
≤ 0.002	正常	继续使用
0.002-0.005	提醒	留意但继续使用
0.005-0.013	警告	戒备下使用
≥ 0.013	严重警告	及时更换海缆

根据表 3, 取 220 kV 三芯 XLPE 海缆不同绝缘状态下所对应的 $\tan \delta$ 值, 通过式 (1) 计算得到绝缘层不同绝缘状态时的热损耗。将其以热生产率形式代入 2.2 节所建模型, 仿真计算得到环境温度 T_{env} 为 28℃、载流量为 I_0 、 $\tan \delta$ 在 0.001—0.013 内变化时相应的海缆相对光纤温升 $\Delta T_{\text{fb-rel}}$, 如图 5 所示。

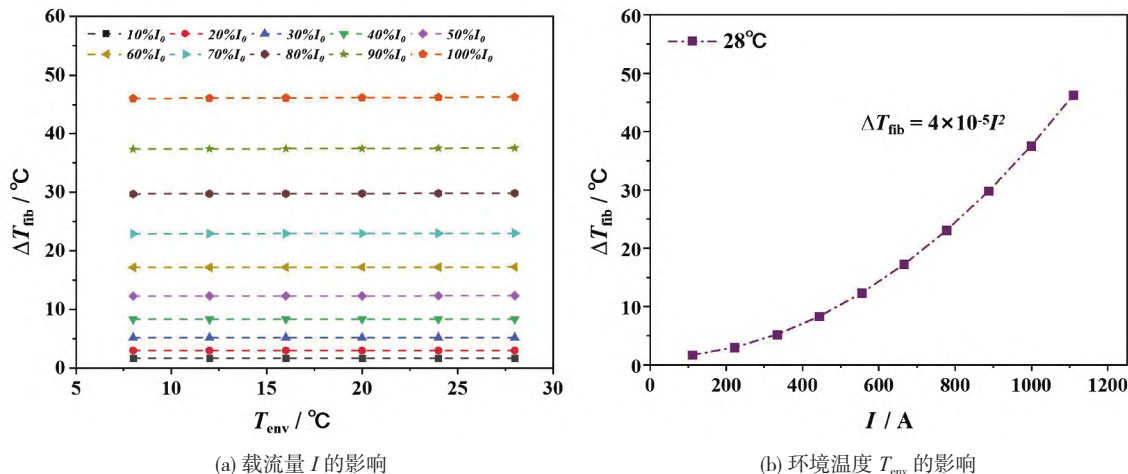


图 4 绝缘正常即 $\tan\delta=0.001$ 时载流量 I 和环境温度 T_{env} 变化对海缆光纤温升 ΔT_{fib} 的影响

由图 5 可知, 海缆光纤相对温升随其绝缘层 $\tan\delta$ 增大近似呈线性增长。这是由于海缆在正常运行时, 由 $\tan\delta$ 增大所致的海缆本体温度升高对线芯导体交流电阻的影响很小, 线芯导体热损耗几乎保持不变。此时, 光纤温度的变化主要由 $\tan\delta$ 增大引发的绝缘层热损耗增加所致。结合表 3, 仿真计算环境温度 T_{env} 为 8—28 °C、载流量为 $10\%I_0$ — $100\%I_0$ 时, $\tan\delta$ 分别取值 0.002、0.005、0.013 时的光纤温度, 并计算不同载流量 I 及环境温度 T_{env} 下, 由 $\tan\delta$ 变化引发的海缆光纤相对温升 $\Delta T_{\text{fib-rel}}$, 如表 4 所示。

由表 4 可知, 海缆光纤的相对温升均随其绝缘层 $\tan\delta$ 增大近似呈线性增长, 这与图 5 函数趋势一致; 线芯导体载流量的变化对海缆光纤的相对温升略有影响; 而环境温度 T_{env} 的变化对海缆光纤的相对温升近

乎没有影响。因此, 影响海缆光纤温升的主要因素是绝缘层的介质损耗角正切和线芯导体的载流量。

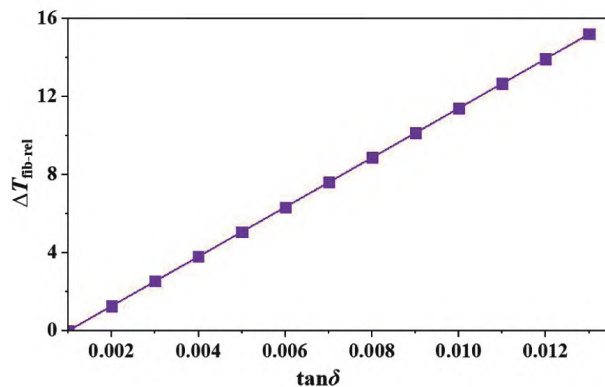


图 5 环境温度为 28 °C、载流量为 I_0 时海缆绝缘层 $\tan\delta$ 变化对光纤相对温升 $\Delta T_{\text{fib-rel}}$ 的影响

表 4 不同载流量 I 、环境温度 T_{env} 时, $\tan\delta$ 变化引发的海缆光纤相对温升 $\Delta T_{\text{fib-rel}}$ (单位: °C)

$\tan\delta$	$T_{\text{env}}/^\circ\text{C}$	$10\%I_0$	$20\%I_0$	$30\%I_0$	$40\%I_0$	$50\%I_0$	$60\%I_0$	$70\%I_0$	$80\%I_0$	$90\%I_0$	$100\%I_0$
0.002	28	1.247	1.248	1.248	1.249	1.249	1.248	1.248	1.260	1.264	1.268
	24	1.247	1.248	1.249	1.250	1.250	1.249	1.249	1.260	1.264	1.268
	20	1.248	1.249	1.249	1.250	1.250	1.250	1.250	1.261	1.264	1.269
	16	1.249	1.249	1.250	1.251	1.251	1.250	1.250	1.261	1.265	1.268
	12	1.249	1.250	1.251	1.251	1.251	1.251	1.251	1.262	1.266	1.269
	8	1.250	1.250	1.252	1.252	1.252	1.251	1.251	1.262	1.266	1.269
0.005	28	4.985	4.987	4.990	4.993	4.995	4.993	4.993	5.037	5.052	5.070
	24	4.988	4.990	4.993	4.996	4.997	4.995	4.995	5.039	5.054	5.070
	20	4.990	4.993	4.995	4.998	5.000	4.997	4.997	5.041	5.055	5.072
	16	4.993	4.950	4.998	5.001	5.002	4.999	4.999	5.043	5.057	5.073
	12	4.995	4.998	5.001	5.003	5.004	4.995	4.995	5.046	5.060	5.075
	8	4.998	5.000	5.004	5.006	5.007	4.995	4.995	5.048	5.062	5.076
0.013	28	14.938	14.945	14.953	14.964	14.988	14.999	14.999	15.098	15.146	15.201
	24	14.946	14.952	14.962	14.971	14.995	15.005	15.005	15.103	15.150	15.203
	20	14.953	14.960	14.969	14.978	15.002	15.011	15.011	15.109	15.154	15.207
	16	14.961	14.968	14.976	14.986	15.009	15.017	15.017	15.115	15.160	15.210
	12	14.969	14.975	14.985	14.994	15.016	15.024	15.024	15.122	15.165	15.215
	8	14.977	14.983	14.993	15.002	15.024	15.030	15.030	15.128	15.172	15.219

4 绝缘状态预测函数的拟合

根据表4数据,利用最小二乘法拟合得到关于海缆光纤相对温升 $\Delta T_{\text{fib-rel}}$ 和载流量 I 的 $\tan\delta$ 计算关系式:

$$\tan\delta=(\Delta T_{\text{fib-rel}}+2.31\times 10^{-5}I+1.24)/(1.24\times 10^3+2.10\times 10^{-2}I) \quad (2)$$

当获取海缆的光纤相对温升及载流量数据之后,即可通过式(2)计算得到海缆绝缘层的 $\tan\delta$ 值,然后再依据表3即可评估海缆当前的绝缘状态。然而,式(2)计算较为复杂,观察表4容易发现,光纤相对温升 $\Delta T_{\text{fib-rel}}$ 随绝缘层 $\tan\delta$ 呈分段增长,而受环境温度 T_{env} 和缆芯导体载流量 I 影响很小。此时,对于HYJQF41-127/220 3×1600三芯XLPE海缆,可以采用如下方式更为简易地判定绝缘状态,即:当实测得到的光纤相对温升低于1.3℃时, $\tan\delta$ 小于0.002,海缆绝缘处于正常状态;当光纤相对温升高于1.3℃而低于5℃时, $\tan\delta$ 在0.002—0.005之间,海缆绝缘性能略有下降但仍可正常使用;当光纤相对温升高于5℃而低于15℃时, $\tan\delta$ 在0.005—0.013之间,海缆须在戒备状态下使用;而当光纤相对温升高于15℃时, $\tan\delta$ 大于0.013,海缆绝缘恶化,需及时更换。

5 结论

本文基于COMSOL有限元软件搭建了220 kV三芯XLPE高压海缆海底土壤直埋敷设的温度场计算模型,研究了绝缘层绝缘性能正常及下降情况下环境温度和载流量变化对海缆光纤温升的影响。结果表明:当绝缘状态正常时,载流量变化对光纤温升的影响要远高于外部土壤及海水等环境温度变化对光纤温升的影响。当绝缘性能下降时,相较于载流量和环境温度,绝缘介质损耗角正切对光纤相对温升的影响最大,且呈线性关系。最后,利用最小二乘法拟合得到基于海缆光纤相对温升和载流量的介质损耗角正切计算关系式。基于该式,只需测得海缆当前的运行载流量及光纤相对温升,就能计算得到绝缘层的介质损耗角正切,再依据基于介质损耗角正切的绝缘诊断判据评估海缆的绝缘状态。研究为高压海缆绝缘状态的实时预测提供了新方法,进而为绝缘性能劣变过程的研究提供了有效支撑。

参考文献:

- [1] MECOZZI A. Sensing with submarine optical cables[J]. APL Photonics, 2024, 9(7): 070902.
- [2] CHAKRABORTY S, BOTELE D H, SHI X L, et al. Modeling geomagnetic induction in submarine cables[J]. Frontiers in Physics, 2022, 10(10): 1–14.
- [3] 许新鑫,徐兵,彭潜.基于时空域联合分析的海缆温度异常监测[J].船舶工程,2023,45(S1):67–70.
- [4] 张旭苹,陈晓红,梁蕾,等.长距离海缆在线监测改进型C-OTDR系统[J].光学学报,2021,41(13):9–20.
- [5] 罗魁,郭剑波,马士聪,等.海上风电并网可靠性分析及提升关键技术综述[J].电网技术,2022,46(10):3691–3703..
- [6] 徐晓春,陈玉林,李奔,等.一种适用于海缆混合线路的新型故障定位系统[J].电气工程学报,2022,17(4):250–256.
- [7] 刘耀,赵小令,吴佳玮,等.高压直流海缆工程应用现状及展望[J].高压电器,2022,58(2):1–8.
- [8] NASKAR A K, BHATTACHARYA N K, SAHA S, et al. Thermal analysis of underground power cables using two dimensional finite element method [C]//2013 International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems, IEEE, 2014, 2: 94–99.
- [9] LI W, WU L L, ZHANG X, et al. Research progress in aging and evaluation of XLPE cable [J]. Insulating Materials, 2016, 49(11): 36–44.
- [10] SOMA K, AIHARA M, KATAOKA Y. Diagnostic method for power cable insulation [J]. IEEE Transactions on Electrical Insulation, 1986, 21(6): 1027–1032
- [11] ZHANG H L. 110–220 kV XLPE cable insulation on-line monitoring technique [D]. Wuhan: Wuhan University, 2009.
- [12] 曹宁,赵岩,向超.海底电缆交流耐压试验工程实践与应用[J].船舶工程,2023,45(S1):120–123.
- [13] 雷阳,李浩,何信林,等.混联谐振耐压关键参数研究与实证性分析[J].电网与清洁能源,2021,37(11):39–46.
- [14] 刘智谦,戴锡泽,郝建,等.交流500 kV XLPE海缆绝缘材料在电-热联合应力下的工频击穿特性与寿命模型[J].绝缘材料,2021,54(2):92–100.
- [15] 张安安,何明光,于璐,等.基于有限元法的海底电缆埋设深度实时预测研究[J].电子测量与仪器学报,2023,37(12):18–28.
- [16] 林钰,胡意茹,李茜,张安安.复杂环境中海底电缆温度场及载流量模型研究[J].电子测量与仪器学报,2021,35(11):39–46.
- [17] 吴冰洁,丁苒苒,陈晨,等.220 kV交联海缆的低频载流能力及温度场分布仿真研究[J].绝缘材料,2023,56(12):34–42.
- [18] 张皓,李鹏飞,马国庆,等.典型敷设环境下超高压交流XLPE海底电缆载流量分析[J].电力工程技术,2022,41(6):154–162.
- [19] 范昌泓,娄敏,朱家星.电-热-流多物理场耦合作用下脐带缆温度场及载流量计算研究[J].绝缘材料,2024,57(9):114–124.
- [20] 郝艳捧,陈云,阳林,等.高压直流海底电缆电-热-流多物理场耦合仿真[J].高电压技术,2017,43(11):3534–3542.
- [21] 段佳冰,尹成群,吕安强,等.基于IEC 60287和有限元法的高压海底电缆温度场分析方法[J].高压电器,2014,50(1):1–6.
- [22] 吕安强,寇欣,尹成群,等.三芯海底电缆中复合光纤与导体温度关系建模[J].电工技术学报,2016,31(18):59–65.
- [23] 黄烜城,封建宝,吴木木,等.高压直流挤包绝缘海陆复合电缆温度场及空间电荷分析[J].绝缘材料,2022,55(2):118–127.

(下转第17页)

used to test the friction and wear of the coating prepared before and after formula replacement. The wear morphology of the coating was analyzed by LeicaDM750M inverted metallographic microscope. Besides, in order to find out the whole wear trend and random fluctuation rule of coating samples, GM (1,1) and GM-Markov model are applied to wear prediction of coating samples. The results show that the formula coating after replacement has better antifriction performance without harmful components; with the increase of external load, the friction coefficient of different formula coating decreases first and then increases, and the friction coefficient is the smallest when the load is 25 N; the wear mechanism is mainly abrasive wear and adhesive wear, and the wear resistance of the formula coating after replacement is better; The average prediction accuracy of Grey-Markov model is 0.87% higher than that of GM (1,1). The prediction method of Grey-Markov model is more suitable for the prediction of wear change.

Key words: solid lubrication; MoS₂ coating; friction and wear; Grey-Markov model

(责任编辑 吕春红)

(上接第 5 页)

Real-time Prediction of Submarine Cable Insulation States Based on Finite Element Method

BAI Zhiqiang^{1,2}, QIN Fei¹, ZHU Zhenpeng¹, ZHANG Yahao¹, TIAN Feng^{1,2}

(1. School of Cable Engineering, Henan Institute of Technology, Xinxiang 453000, China;

2. Henan Key Laboratory of Cable Structure and Materials, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The complex operating environment of undersea cables makes it easy for the insulation layer of the cable to lose its insulation properties due to some factors such as moisture and corrosion, thereby reducing its load capacity and even causing insulation faults. Taking 220 kV three-core cross-linked polyethylene (XLPE) submarine cable as the research object, the temperature field simulation models of the cable in direct burial under seabed soil conditions are firstly constructed by employing the COMSOL finite element simulation software. Then, the law of the optical fiber temperature rise in the cable under different insulation states with changing load current and ambient temperature are studied. Later, the relationship function between the dielectric loss factor and the relative temperature rise and load current of the optical fiber is established. Finally, a method for predicting the insulation state of the cable based on the relative temperature rise of the optical fiber is proposed. The research results provide a basis for constructing a real-time prediction system for the insulation status of submarine cables, and also provide a new method for exploring the evolution of the insulation performance of submarine cables in operation.

Key words: temperature field; load current; fiber temperature rise; insulation property; real-time prediction

(责任编辑 王磊)