



胡诚成, 洪宁宁. 基于热分析技术的电缆用乙丙类绝缘材料服役寿命评估[J]. 电线电缆, 2025, 68(11): 18-23.

HU C C, HONG N N. Service life evaluation of ethylene propylene insulation materials for cables based on thermal analysis technology[J]. Wire & Cable, 2025, 68(11): 18-23.

DOI: [10.16105/j.dxdl.1672-6901.20250068](https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.20250068)

基于热分析技术的电缆用乙丙类绝缘材料服役寿命评估

胡诚成, 洪宁宁

(上海电缆研究所有限公司 高效能特种电缆技术全国重点实验室, 上海 200093)

摘 要: 参照 GB/T 33047.2—2021 和 GB/T 11026.2—2012, 采用热分析技术研究电缆用两种典型三元乙丙橡胶(ethylene propylene diene monomer, EPDM)绝缘材料的热降解过程, 并计算失重率为 5% 时的热降解活化能。然后, 参照 GB/T 11026.3—2017、GB/T 11026.9—2016、GB/T 11026.10—2019, 并结合常规热老化试验中高温点寿命终点的选取及阿伦尼乌斯(Arrhenius)经验公式, 建立两种材料的热老化寿命方程, 计算极限使用温度 90 ℃ 下的服役寿命。最后, 对电缆热氧老化寿命验证方法中快速法的不足之处进行探讨, 并指明未来的发展方向。

关键词: 热分析; 三元乙丙橡胶; 降解活化能; 热老化寿命

中图分类号: TM247

文献标志码: A

文章编号: 1672-6901(2025)11-0018-06

0 引 言

三元乙丙橡胶(ethylene propylene diene monomer, EPDM)材料因其优异的耐候性被广泛应用于制备核电电缆、船用电缆、矿用电缆等^[1]。大多数 EPDM 绝缘电缆的工作环境极为复杂, 长期受到高温、高湿、重盐雾的影响, 还可能会遇到振动和短期超负荷运行的情况, 这些因素均会加速其绝缘层的老化, 导致电缆的绝缘性能快速劣化^[2]。

在影响绝缘层老化的众多因素中, 温度占主导地位, 是验证电缆服役寿命的基础和主要影响因素^[3]。通过经验和综合转化来看, 失效的过程绝大部分直接或间接是由热因子引起的。因此, 基于以下几个方面的考虑, 通常选用热因子为寿命评估的主要因子。

1) 热因子影响具有普遍性。当材料暴露在不同的环境中时, 会受到热、辐射、紫外光、湿度、化学环境等多因素影响。材料性能会随着时间而退化, 这其中只有热因子是在各行各业电缆运行中普遍存在的影响作用, 其他因素只有在特定情形或环境中, 且在特殊场合下运行才会起影响作用, 因此不具备通用性。

2) 温度是制备过程的关键因素。绝大部分电缆都是通过挤出工艺生产的, 在整个生产过程

中材料成型始终离不开温度的影响。在大部分情况下, 绝缘材料在电缆加工过程中经历玻璃态、高弹态、黏流态之间的相互转变, 可以说绝缘材料的成型主要靠温度变化的控制来完成。温度对绝缘材料成型后的性能起着主要作用, 因此以温度评估电缆寿命最为合适。

3) 热寿命评估具有可行性。材料的热老化只需要对材料施加一个均匀的热环境即可, 一般常规的热老化箱就能够满足要求。然而, 对于其他因素的评估, 有些外部条件制约(如机械应力、紫外线照射、化学腐蚀等不具备长期连续试验的可能性), 有些不具备完全模拟的实际环境(如辐射是多种射线的综合, 而试验模拟只能是单一波长的辐射且很难在辐射情况下同时满足热老化), 故热评估无论从成本优势还是可行性来说都是最优选。

目前, 关于电缆热氧老化寿命验证的方法主要有常规法和快速法。

1) 常规法。参照 GB/T 11026.3—2017《电气绝缘材料 耐热性 第3部分: 计算耐热特征参数的规程》, 基于阿伦尼乌斯(Arrhenius)加速模型, 即高分子材料热老化寿命的对数与老化环境热力学温度的倒数呈线性关系。通过对电缆开展至少 3 组不同高温下的加速老化试验, 测量各个

温度下老化试样的断裂伸长率等参数, 基于 Arrhenius 经验公式即可外推出在指定工作温度下的寿命。该方法准确性相对较高, 接受度较为广泛, 但试验周期长。

2) 快速法。参照 GB/T 11026.10—2019《电气绝缘材料 耐热性 第 10 部分: 利用分析试验方法加速确定相对耐热指数(RTE_A)基于活化能计算的导则》, 利用分析仪器加速确定相对耐热指数。该方法是基于热分析方法获得的热降解反应的活化能和常规热老化试验获得的耐热图中的一个高温寿命点, 使用 Arrhenius 经验公式即可推算在指定工作温度下的寿命。该方法最大的优点是试验周期短、重复性好、对样品需求量相对较少。

本文选取两种 EPDM, 通过快速法研究电缆用典型 EPDM 材料的热寿命。

1 试验部分

1.1 材料和仪器

试验材料为自制的两种 EPDM, 记为典型样 1、典型样 2。试验设备清单见表 1。

表 1 试验设备清单
Tab.1 List of test device

设备名称	厂家/型号	量程/精度
电子拉力机	江都市精艺试验机械有限公司/JSL-500N	5000 N/0.01 N
老化烘箱	江苏安特稳科技有限公司/CHX-40	500 ℃/0.2 ℃
热重分析仪	梅特勒-托利多/TGA2	1000 ℃/0.1 ℃

1.2 试验内容

试验分为两个试验组, 分别为活化能测试组和高温点寿命终点试验组。

1.2.1 活化能测试

活化能测试参照 GB/T 33047.2—2021《塑料 聚合物热重法(TG) 第 2 部分: 活化能的测定》, 开展 3 组不同升温速率下的 TG 试验, 升温速率分别为 1, 5, 10 K·min⁻¹。

由 TG 试验分析可得试验样件基于同一转化率下不同升温速率降解曲线所对应的温度。一般取一定转化率时的温度计算热降解活化能, 具体转化率结合伊耳科夫分子断裂理论, 并依据 GB/T 11026.2—2012《电气绝缘材料 耐热性 第 2 部分: 试验判断标准的选择》的一般原则确定为 5%。

1.2.2 高温点寿命终点试验

高温点寿命终点试验即估算高温点加速条件下电缆的工作寿命终点。根据 GB/T 11026.2—2012, 优先推荐绝缘材料断裂伸长率(elongation at break, EAB)保留率为 50% 时为寿命终点。设置热老化试验温度, 采用等间隔预处理的老化方式, 选取至少 5 个时间节点(不含基点, 即老化前 EAB)作为测试点, 即热处理时间为 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_{n-1}, \tau_n$, 其中 τ_n 为 EAB 保留率达到 50% 以下时的热处理时间。根据 GB/T 11026.9—2016《电气绝缘材料 耐热性 第 9 部分: 利用简化程序计算耐热性导则》的要求, 最高暴露温度应使测得的寿命终点控制在 100~500 h 范围。依据材料类型及行业经验, 选取热老化试验温度 165 ℃ 作为高温点老化温度, 使高温点寿命终点试验周期可控。若老化时间超出 100~500 h 范围, 则调整热老化试验温度。

1.3 试验计算

快速法计算内容包括活化能计算、高温点寿命终点估算及指定工作温度寿命验证 3 个部分。

1.3.1 活化能计算

根据 GB/T 33047.2—2021, 对活化能测试组所得试验数据进行样件活化能计算。首先确定升温结束时试样残留值为恒定值, 确保反应完全发生。对于特定的转化率, 根据不同升温速率下的热重曲线, 确定对应的绝对温度(T)。活化能计算公式为

$$\lg \beta + 0.4567(E_a/RT) = \text{常数} \quad (1)$$

式中: β 为升温速率, K·min⁻¹; E_a 为活化能, J·mol⁻¹; R 为气体常数, 8.314 J·K⁻¹·mol⁻¹; T 为绝对温度, K。

基于特定的转化率, 依据活化能测试组所得试验数据及公式(1), 可得

$$\begin{aligned} \lg \beta_1 + 0.4567(E_a/RT_1) &= \lg \beta_2 + 0.4567(E_a/RT_2) \\ &= \lg \beta_3 + 0.4567(E_a/RT_3) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 为不同的升温速率, K·min⁻¹; T_1, T_2, T_3 分别为 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 在同一转化率下对应的绝对温度, K。

将升温速率的对数($\lg \beta$)和绝对温度的倒数(T^{-1})进行线性拟合, 得到直线斜率为 $-0.4567E_a/R$, 进而可计算得到活化能。

1.3.2 高温点寿命终点估算

根据 GB/T 11026.9—2016, 对高温点寿命终点试验组所得试验数据进行样件高温点寿命终点估算。在所选高温点老化温度下, 确定 EAB 保

留率达到 50% 时的老化时间, 从而得到高温点老化温度下的寿命终点。

高温点寿命终点试验组得到热老化试验高温点老化温度加速老化下不同 EAB 保留率时的热处理时间 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_{n-1}, \tau_n$ 。通常认为在有限的区间内, EAB 保留率和热处理时间存在线性关系。选取 50%EAB 保留率对应的有限区间, 将热处理时间 (τ_{n-1}, τ_n) 与对应的 EAB 保留率进行线性拟合, 估算得出 EAB 保留率为 50% 时对应的寿命时间 (τ_0)。

1.3.3 指定工作温度寿命验证

将上述得到的活化能及高温点老化温度 (T_0) 加速老化下的寿命 (τ_0) 代入公式 (3), 即可得到指定温度 (T_i) 下的寿命 (τ_i)。

$$\ln \tau_i - \ln \tau_0 = \frac{E_a}{R(1/T_i - 1/T_0)} \quad (3)$$

2 结果和讨论

2.1 活化能测试结果

2.1.1 热失重试验结果

EPDM 典型样 1 和典型样 2 在空气中以不同升温速率加热得到的失重率为 5% 时的热重结果见表 2。

表 2 EPDM 典型样在空气中以不同升温速率加热得到的失重率为 5% 时的热重结果

Tab.2 Thermogravimetric results of EPDM typical samples with a weight loss of 5% obtained by heating at different heating rates in air

EPDM	$\beta/(\text{K} \cdot \text{min}^{-1})$	T/K	$1000/T/\text{K}^{-1}$	$\lg \beta/(\text{K} \cdot \text{min}^{-1})$
典型样 1	10	649.73	1.5391	1.0000
	5	632.36	1.5814	0.6990
	1	589.09	1.6975	0
典型样 2	10	611.03	1.6366	1.0000
	5	598.61	1.6705	0.6990
	1	560.53	1.7840	0

2.1.2 活化能计算结果

选取表 2 中数据, 以 $\lg \beta$ 为 y 轴、 $1000/T$ 为 x 轴, 作线性拟合曲线, 见图 1。

根据拟合曲线斜率 $-0.4567(E_a/R) \times 10^{-3}$, 计算活化能。各样品活化能及相关系数 (R^2) 见表 3。

2.2 高温点寿命终点试验结果

2.2.1 高温点热老化 EAB 保留率结果

典型样 1 和典型样 2 在高温点 165 °C (即 438.15 K) 老化过程的 EAB 保留率变化曲线见图 2。

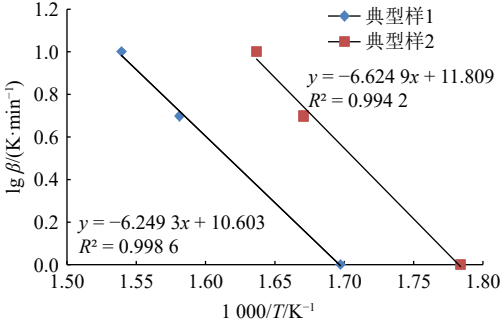


图 1 EPDM 典型样中 $\lg \beta$ 对 $1000/T$ 的线性拟合曲线
Fig.1 Linear fitting curves of $\lg \beta$ to $1000/T$ in EPDM typical samples

表 3 EPDM 典型样的活化能计算结果
Tab.3 Calculation results of activation energy for EPDM typical samples

EPDM	条件	$E_a/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	R^2
典型样 1	失重率为 5%、空气氛围	113.77	0.998 6
典型样 2	失重率为 5%、空气氛围	120.60	0.994 2

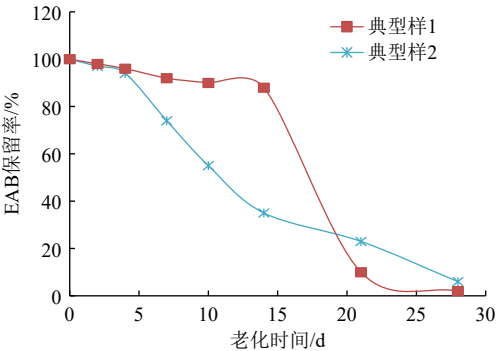


图 2 EPDM 典型样在高温点 165 °C 老化过程中的 EAB 保留率曲线
Fig.2 Elongation at break retention curves of EPDM typical samples during aging at a high temperature of 165 °C

由图 2 可知, 典型样 1 在 165 °C 下老化 336 h 时的 EAB 保留率为 88%, 老化 504 h 时的 EAB 保留率为 10%; 典型样 2 在 165 °C 下老化 240 h 时的 EAB 保留率为 55%, 老化 336 h 时的 EAB 保留率为 35%。EPDM 典型样 1 和典型样 2 的线性拟合方程分别为公式 (4) 和公式 (5)。

$$y = -0.004 6x + 2.44 \quad (4)$$

$$y = -0.002 1x + 1.05 \quad (5)$$

根据以上线性关系方程, 得到 165 °C 时典型样 1 和典型样 2 在 EAB 保留率为 50% 时的老化时间分别为 421.74 h 和 261.90 h。试验过程中,

高温点的选择和相应的老化时间均合理, 整体试验周期可控。

2.2.2 指定工作温度寿命验证结果

将试验计算得到的 E_a 、 τ_0 、 T_0 代入公式 (6), 即可得到 τ_i 。

$$\ln \tau_i - \ln \tau_0 = \frac{E_a}{R(1\,000/T_i - 1\,000/T_0)} \quad (6)$$

将典型样 1 的 $E_a=113.77\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、 $T_0=438.15\text{ K}$ 、 $\tau_0=421.74\text{ h}$ 代入公式 (6), 得到典型样 1 的最终热老化寿命方程为

$$\ln \tau_i = 13\,684.15/T_i - 25.19 \quad (7)$$

将典型样 2 的 $E_a=120.60\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、 $T_0=438.15\text{ K}$ 、 $\tau_0=261.90\text{ h}$ 代入公式 (6), 得到典型样 2 的最终热老化寿命方程为

$$\ln \tau_i = 14\,505.65/T_i - 27.54 \quad (8)$$

由上述得到的热老化寿命方程可计算出 EPDM 典型样在指定温度 $90\text{ }^\circ\text{C}$ (363.15 K) 下的热老化寿命, 具体见表 4。

表 4 EPDM 典型样在指定温度 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 下的热老化寿命
Tab.4 Thermal aging life of EPDM typical samples at a specified temperature of $90\text{ }^\circ\text{C}$

EPDM	T_i/K	τ_i/a
典型样 1	363.15	30.38
典型样 2	363.15	27.83

2.3 试验总结

参照 GB/T 33047.2—2021 及 GB/T 11026.2—2012, 本文采用热分析技术研究了电缆用两种典型 EPDM 绝缘材料的热降解过程, 并计算了失重率为 5% 时的热降解活化能, 结果分别为 113.77 、 $120.60\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; 然后, 参照 GB/T 11026.3—2017、GB/T 11026.9—2016、GB/T 11026.10—2019, 并结合常规老化法中高温点热寿命及 Arrhenius 经验公式, 建立了两种材料的热老化寿命方程分别为 $\ln \tau_i = 13\,684.15/T_i - 25.19$ 和 $\ln \tau_i = 14\,505.65/T_i - 27.54$; 最后, 依托热寿命方程, 计算了两种典型 EPDM 绝缘材料在极限使用温度 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 下的服役寿命分别为 30.38 、 27.83 a 。根据实际 EPDM 绝缘电缆运行老化经验, 该快速法评估 EPDM 电缆绝缘热寿命具备高可靠性, 且相对于常规法来说, 试验周期大大缩短。

2.4 快速法的不足探讨

电缆在各行各业的应用极为广泛, 运行环境、绝缘材料类型及配方等不尽相同, 仅电缆用

EPDM 绝缘材料的厂家、型号、牌号及应用场景就已经纷繁复杂。但是, 目前电缆用绝缘材料的寿命评估还未形成一个公认的评价模型, 且无法建立一个通用的方法标准。大数据的缺失与方法论无法达成共识是各环节的通病; 针对老化机理的研究、可靠老化寿命模型的建立等也提出了不同的挑战。该快速法的不足之处主要有以下几点。

1) 电、热、机械等整体老化转为单一热老化的复杂性及实际老化现象复现的困难性。虽然通过经验及综合转化来看, 失效过程绝大部分直接或间接是由热因子引起的, 但电缆绝缘层老化常以树枝结构发生的形式呈现^[4-6]。科学研究表明, 老化后的绝缘材料在经受耐压试验时, 可以观察到类似树枝或树根一样的闪络痕迹。在高电压工程学上, 这种树枝状通路的发生、发展现象叫做“树枝形成”。这种树枝是由电场的作用导致击穿通路所致^[7]。树枝产生的原因主要有自重本征破坏说、离子碰撞说。树枝一旦形成就会逐渐成扩张繁衍之势, 最终引起绝缘层内部放电击穿而导致电缆失效。单一热老化模拟且简单通过时温等效的快速转化方式很难复现该老化现象^[8-10], 且无法准确模拟及还原电/热或机械/热的综合老化现象, 更无法定量准确进行电/热或机械/热的累计老化效果的转化。

2) 绝缘材料老化诊断及终点转化率选取缺乏特定性和针对性。对于选择绝缘材料老化诊断及终点, GB/T 11026.2—2012 的表 1 提供了必要的信息, 且在其附录 A 中也给出了进一步的建议。由于考虑到耐热性寿命试验的周期较久且价格昂贵, 常常选择单一诊断方式和终点来给出代表一个材料的耐热性能结果。但是, 这个数据很可能不是对所有材料、所有使用场景都是适当的。因为不同材料和使用场景对应的热老化主影响因素及失效终点评判都不是统一的, 故在绝缘材料老化诊断及终点的选择方面存在探索性及合理偏差。

3) 热寿命方程与热老化机理相关性存疑。热老化主要是由于电缆运行过程中超负荷或短路事故而产生的电阻热效应或由于外界热源产生的热传导。上述两种情况使得热效应在电缆绝缘层累积而使绝缘材料发生氧化、降解等化学变化和变脆、变硬、龟裂、开裂等物理变化, 材料的分子结构产生过交联或断裂, 绝缘性能下降甚至丧失。热老化通常分为热裂解和热氧降

解两种类型^[11]。热氧降解基本不存在阈值效应(累积到一定值产生畸变),符合热寿命方程线性拟合的条件。但是,热裂解存在阈值效应,在加速老化时热氧降解和热裂解往往协同发生,无法有效分离解析。因此,热老化速率越快,热氧降解和热裂解协同发生的现象就越严重,热寿命方程的有效性就越低。

4)热寿命方程偏差合理性存疑。热寿命方程基于 Arrhenius 模型的点斜法外推而来^[12]。点斜法外推本身就存在合理性偏差,因此对外推的合理性区间很难进行准确把控:必须通过大数据的积累,建立不同 Arrhenius 方程的修正参数,从而建立符合不同材料和不同运行工况的各类电缆用绝缘材料的寿命经验方程;结果精确性需要随着大数据的累积进行长期纠偏,从而逐步完善可靠性。

3 结 论

未来针对电缆用绝缘材料的热寿命评估既要实现老化诊断方法设备的创新应用及老化过程监测的智能化和自动化,又要对特定绝缘材料的评估进行标准化和规范化。寿命评估模型的建立既要解决共性问题,又要考虑差异化,实现渐进性完善和修正。大致可以从以下几个方向进行可行性探索。

1)多物理场耦合模拟的精细化突破。设计可同步施加交/直流电场、温度循环及动态机械载荷的多功能老化箱,实现真实工况模拟。

2)智能化寿命监测的技术路径。建立嵌入式原位传感系统,采用耐高温光纤光栅传感器,实时监测电缆绝缘层应变与温度分布,并植入微型电化学阻抗谱芯片,通过介电常数变化反演氧化物累积量。

3)人工智能(artificial intelligence, AI)学习驱动寿命预测。提取老化过程中的关键指标作为输入向量,结合工况参数构建高维特征空间。针对小样本数据,采用迁移学习,复用其他电缆材料的加速老化数据库预训练长短期记忆网络(long short-term memory, LSTM)。同时,引入物理约束损失函数,强制网络遵守阿伦尼乌斯方程边界条件,提升外推可靠性。

4)标准化体系进阶建设。建立分场景寿命评估导则框架,包括应用场景、核心参数集、加速试验规范和失效阈值标准;针对不同工况、不同材料,建立包含多因素耦合修正参数的寿命经

验公式;通过试验数据累积,构建基于区块链的电缆老化数据库;采用智能合约实现数据可信度加权,动态更新修正系数;设立验证和迭代机制,设立行业联合工作组,结合动态修正参数,利用统计学工具完善置信区间和公差范围,实现每5年1次标准的更新与迭代。

参考文献 References

- [1] 王倩,刘波.三元乙丙橡胶应用市场分析及改性技术研究进展[J]. *化工管理*, 2020(10): 91-92.
WANG Q, LIU B. Advances in market analysis and modification technology of EPDM rubber[J]. *Chemical Engineering Management*, 2020(10): 91-92.
- [2] 陶玲,刘国钧,程璐,等.三元乙丙橡胶的热氧老化及寿命预测[J]. *特种橡胶制品*, 2022, 43(6): 60-65.
TAO L, LIU G J, CHENG L, et al. Thermal oxygen aging and life prediction of EPDM[J]. *Special Purpose Rubber Products*, 2022, 43(6): 60-65.
- [3] 胡诚成,倪勇.热失重法快速评估交联聚乙烯材料热老化寿命的可靠性研究[J]. *电线电缆*, 2021(3): 16-18.
HU C C, NI Y. Reliable study on rapid evaluation of thermal aging life of cross-linking polyethylene by thermogravimetry[J]. *Wire & Cable*, 2021(3): 16-18.
- [4] 朱少波.车载乙丙橡胶电缆热老化及局部缺陷试验研究[D].成都:西南交通大学, 2018.
ZHU S B. Experimental study on thermal aging and partial defects of vehicle ethylene propylene rubber cable[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [5] 陈昕. XLPE 电缆绝缘材料振动-热老化特性与寿命评估[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2018.
CHEN X. XLPE cable material vibration-thermal ageing characteristic and lifetime assessment[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2018.
- [6] 张宇涵.交联聚乙烯电缆与乙丙橡胶电缆剩余寿命预测的理论与研究[D].上海:东华大学, 2018.
ZHANG Y H. Theory and research of remaining life prediction of XLPE and EPR cables[D]. Shanghai: Donghua University, 2018.
- [7] 周利军,王媚,周韞捷,等.介电谱用于 XLPE 电缆绝缘劣化状态的研究[J]. *绝缘材料*, 2019, 52(1): 52-56.
ZHOU L J, WANG M, ZHOU Y J, et al. Deterioration condition evaluation of XLPE cable insulation by dielectric spectroscopy[J]. *Insulating Materials*, 2019, 52(1): 52-56.
- [8] 蒋萍.电线电缆绝缘老化机理及其表现形式研究[J]. *山东工业技术*, 2013(10): 231-232.
JIANG P. Research on the mechanism and manifestation of insulation aging of wires and cables[J]. *Shandong Industrial Technology*, 2013(10): 231-232.

- [9] 王雷, 詹英杰, 云浩, 等. 基于变化活化能的核级电缆老化寿命评估 [J]. *绝缘材料*, 2021, 54(3): 68-72.
WANG L, ZHAN Y J, YUN H, et al. Ageing life evaluation on nuclear cables basing on varying activation energy[J]. *Insulating Materials*, 2021, 54(3): 68-72.
- [10] 张圣博, 游洲, 李勇军, 等. 核电厂 1E 级电缆老化监测研究 [J]. *机械*, 2017, 44(5): 23-25.
ZHANG S B, YOU Z, LI Y J, et al. Research on Class 1 cable aging monitoring in nuclear power plant[J]. *Machinery*, 2017, 44(5): 23-25.
- [11] 徐亮, 伍卫军, 丁严艳. 典型热塑性聚合物热解行为研究 [J]. *火灾科学*, 2010, 19(3): 143-149.
XU L, WU W J, DING Y Y. Investigation on thermal degradation behavior of typical thermoplastics polymer[J]. *Fire Safety Science*, 2010, 19(3): 143-149.
- [12] 韩晔, 张盈锁, 翟晓军. 热重点斜法 (TPS) 概述 [J]. *绝缘材料*, 2003, 36(6): 51-54.
HAN Y, ZHANG Y S, ZHAI X J. A generality of thermogravimetric point slope (TPS) method[J]. *Insulating Materials*, 2003, 36(6): 51-54.

收稿日期: 2025-04-01

修回日期: 2025-05-06

作者简介: 胡诚成 HU Chengcheng
1987—, 男, 工程师
主要从事电线电缆用非金属材料全性能
分析评估
E-mail: huchengcheng@secr.com

Service Life Evaluation of Ethylene Propylene Insulation Materials for Cables Based on Thermal Analysis Technology

HU Chengcheng, HONG Ningning

(State Key Laboratory of High-Efficiency Special Cable Technology, Shanghai Electric Cable Research Institute
Co., Ltd., Shanghai 200093, China)

Abstract: Based on GB/T 33047.2—2021 and GB/T 11026.2—2012, thermal degradation process of two typical ethylene propylene diene monomer (EPDM) insulation materials used in cables was studied by thermal analysis technology, and thermal degradation activation energy was calculated at weight loss of 5%. Then, based on GB/T 11026.3—2017, GB/T 11026.9—2016, and GB/T 11026.10—2019, combined with the selection of high temperature points in conventional aging methods and Arrhenius empirical formulas, thermal aging life equations of the two materials were established, and the service life was calculated at an extreme service temperature of 90 °C. Finally, shortcomings of rapid analysis in the verification of cable thermal-oxidative aging life were discussed and future development direction was also pointed out.

Key words: thermal analysis; ethylene propylene diene monomer (EPDM); degradation activation energy; thermal aging life