



中华人民共和国国家标准

标准搜搜网 www.bzsoso.com

GB/T 4074.8—2009

绕组线试验方法 第 8 部分：测定漆包绕组线温度指数 的试验方法 快速法

Winding wires—Test methods—Part 8: Test procedure for the determination of
the temperature index of enamelled winding wires—Quick-Test method

2009-03-19 发布

2009-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布



目 次

标准搜搜网 www.bzsoso.com

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 试验方法提要	2
4 恒温寿命试验	2
5 动态热重试验	4
6 试验数据处理	4
7 试验报告	5
附录 A (资料性附录) 数据处理程序(以聚酰亚胺为例)	7

前 言

GB/T 4074《绕组线试验方法》分为八个部分：

- 第1部分：一般规定；
- 第2部分：尺寸测量；
- 第3部分：机械性能；
- 第4部分：化学性能；
- 第5部分：电性能；
- 第6部分：热性能；
- 第7部分：测定漆包绕组线温度指数的试验方法；
- 第8部分：测定漆包绕组线温度指数的试验方法 快速法。

本部分为 GB/T 4074 的第 8 部分。

本部分的附录 A 为资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电线电缆标准化技术委员会(SAC/TC 213)归口。

本部分起草单位：上海电缆研究所、浙江宏磊铜业股份有限公司、浙江洪波线缆股份有限公司、宁波金田电工材料有限公司、上海裕生特种线材有限公司、浙江长城电子科技集团有限公司、长沙鑫雄仪器科技有限公司、铜陵精达特种电磁线股份有限公司、上海申茂电磁线厂、广东蓉胜超微线材股份有限公司、福州大通机电有限公司、佛山市威奇电工材料有限公司、露笑科技股份有限公司、无锡市锡洲电磁线厂。

本部分主要起草人：张李晶、魏浙强、曹恒泰、董千里、张家化、姚桂华、任京湘、陈惠民、李福、潘建忠、郑守国、刘明福、刘贵忠、刘冰、林志雅、鲁小均、徐进法。

本部分为首次制定。

绕组线试验方法

第 8 部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法 快速法

1 范围

GB/T 4074 的本部分规定了通过恒温寿命和动态热重试验测定漆包圆线在常压空气中的热寿命和温度指数的方法,以电气强度的变化作为失效判据,试验结果可作为评定电气设备绝缘结构时选择漆包圆线的依据。

适用范围:

- 测定漆包圆线(包括自粘性漆包圆线和复合漆包圆线)的热寿命和温度指数,研究两种及以上复合漆包线的相容性;
- 测定不同金属导体及导体表面经不同处理的漆包圆线寿命和温度指数。

当对本部分测得的结果提出合理异议时,应按 GB/T 4074.7—2009 进行常规试验,以常规法为准。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 4074 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

- GB/T 4074.7—2009 绕组线试验方法 第 7 部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法(IEC 60172:1987,IDT)
- GB/T 6109.1—2008 漆包圆绕组线 第 1 部分:一般规定(IEC 60317-0-1:2005,IDT)
- GB/T 6109.2—2008 漆包圆绕组线 第 2 部分:155 级聚酯漆包铜圆线(IEC 60317-3:2004,IDT)
- GB/T 6109.3—2008 漆包圆绕组线 第 3 部分:120 级缩醛漆包铜圆线(IEC 60317-12:1990,IDT)
- GB/T 6109.4—2008 漆包圆绕组线 第 4 部分:130 级直焊聚氨酯漆包铜圆线(IEC 60317-4:2000,IDT)
- GB/T 6109.5—2008 漆包圆绕组线 第 5 部分:180 级聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-8:1997,IDT)
- GB/T 6109.6—2008 漆包圆绕组线 第 6 部分:220 级聚酰亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-7:1997,IDT)
- GB/T 6109.7—2008 漆包圆绕组线 第 7 部分:130L 级聚酯漆包铜圆线(IEC 60317-34:1997,IDT)
- GB/T 6109.9—2008 漆包圆绕组线 第 9 部分:130 级聚酰胺复合直焊聚氨酯漆包铜圆线(IEC 60317-19:2000,IDT)
- GB/T 6109.10—2008 漆包圆绕组线 第 10 部分:155 级直焊聚氨酯漆包铜圆线(IEC 60317-20:2000,IDT)
- GB/T 6109.11—2008 漆包圆绕组线 第 11 部分:155 级聚酰胺复合直焊聚氨酯漆包铜圆线

GB/T 4074.8—2009

(IEC 60317-21:2000, IDT)

GB/T 6109.12—2008 漆包圆绕组线 第12部分:180级聚酰胺复合聚酯或聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-22:2004, IDT)

GB/T 6109.13—2008 漆包圆绕组线 第13部分:180级直焊聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-23:2000, IDT)

GB/T 6109.14—2008 漆包圆绕组线 第14部分:200级聚酰胺酰亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-26:1990, IDT)

GB/T 6109.15—2008 漆包圆绕组线 第15部分:130级自粘性直焊聚氨酯漆包铜圆线(IEC 60317-2:2000, IDT)

GB/T 6109.16—2008 漆包圆绕组线 第16部分:155级自粘性直焊聚氨酯漆包铜圆线(IEC 60317-35:2000, IDT)

GB/T 6109.17—2008 漆包圆绕组线 第17部分:180级自粘性直焊聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-36:2000, IDT)

GB/T 6109.18—2008 漆包圆绕组线 第18部分:180级自粘性聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-37:2000, IDT)

GB/T 6109.19—2008 漆包圆绕组线 第19部分:200级自粘性聚酰胺酰亚胺复合聚酯或聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-38:2000, IDT)

GB/T 6109.20—2008 漆包圆绕组线 第20部分:200级聚酰胺酰亚胺复合聚酯或聚酯亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-43:1997, IDT)

GB/T 6109.21—2008 漆包圆绕组线 第21部分:200级聚酯-酰胺-亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-42:1997, IDT)

GB/T 6109.22—2008 漆包圆绕组线 第22部分:240级芳族聚酰胺亚胺漆包铜圆线(IEC 60317-46:1997, IDT)

GB/T 6109.23—2008 漆包圆绕组线 第23部分:180级直焊聚氨酯漆包铜圆线(IEC 60317-51:2001, IDT)

3 试验方法提要

本试验所用试样包括:

——用符合 GB/T 6109.1~6109.23—2008 规定的漆包线制备 20 个以上的扭绞对,制备方法见 4.2;

——以适当的方法在与扭绞对相同的漆包线上取下的漆膜,制备方法见 5.2。

使符合 4.2 规定的扭绞对试样经受一个试验周期的试验。这个试验周期包括老化期和其后的室温耐电压试验。重复这样的试验周期直到足够数量的试样失效为止。计算失效时间,称重并记录每个试样的初始质量、失效后的质量和失效试样裸导体总质量。

将符合 5.2 规定的漆膜分为三份,每份约 15 mg,装入铂坩埚。以小于 6 °C/min 的三个不同升温速度分别在空气气氛内进行热重试验。

然后按第 6 章的规定计算活化能,推算寿命为 20 000 h 的温度(以摄氏度表示)即代表被试绕组线的温度指数。

4 恒温寿命试验

4.1 试验设备

应使用下列试验设备:

——老化试验烘箱:应能连续补充新鲜空气。放样处时间和空间的温度波动应在 ±2 °C (老化温度

≤200 ℃)或±3 ℃(老化温度>200 ℃)范围内;

—分析天平:精度≤0.1 mg;

—耐电压试验仪:应能输出交流 50 Hz 近似正弦波形的试验电压。电压峰值系数在 $\sqrt{2}(1\pm 5\%)$ (即 1.34~1.48)范围内,从零到 3 600 V,电压应能连续可调。施压 1 s 后应能自动切断电源。当高压试验回路电流大于 5 mA 时,输出电压不应小于开路时端电压的 90%,并应立即切断高压并发出信号,指示试样失效。

4.2 试样制备

试样导体标称直径应为 0.800 mm~1.500 mm。用导体标称直径 1.000 mm 厚漆膜漆包圆线做试样最为合适。按下列步骤制备 20 个以上扭绞对试样:

—将一段长约 400 mm 的漆包圆线对折后扭绞成 125 mm 的线对。扭绞时施加在线对上的力(重量)和扭绞数见表 1。扭绞时应缓慢、匀速,以便得到节距均匀的扭绞线对;

表 1 试样的扭绞数和受力

导体标称直径 mm		施加于线对的力 N	125 mm 距离内扭绞数
大于	小于或等于		
0.750	1.050	13.50	8
1.050	1.500	27.00	6

—应在两处(不应在一处)切断试样扭绞端的端环,以防损伤试样的扭绞部分;

—以三倍于表 2 规定的电压值对试样做 1 s 耐电压试验,以保证老化前试样性能均匀;

表 2 试验电压及持续时间

漆膜厚度(双层) mm		电压(有效值) V	持续时间 s
大于	小于或等于		
0.035	0.050	500	1
0.050	0.070	700	1
0.070	0.090	1 000	1
0.090	0.130	1 200	1

—为每个试样标上标记;

—试样在 125 ℃±5 ℃电热鼓风干燥箱内预烘 2 h 后存放在干燥器内,冷却至室温。

4.3 试验步骤

在分析天平上称量预烘后的试样,记录每个试样的初始质量 W_0 。(以毫克计,下同),然后使试样按表 3 规定的老化温度和周期时间经受老化。

表 3 老化温度和周期时间

预估温度指数	老化温度 ℃	周期时间 h
105	175~185	24
120	185~195	24
130	195~205	24
155	225~235	24
180	245~255	24
200	265~275	24
220	280~295	24
240 及以上	305 及以上	24

选择的老化温度应使试样的平均老化周期数在 8 个~20 个范围内。小于 100 h 就失效的试样不应用于计算平均寿命。

每个老化周期后,从烘箱中取出试样,按表 2 规定进行室温耐电压试验,检查试样是否失效。

记录失效试样的老化周期数 m ,在分析天平上称重并记录每个失效试样质量 W_n ,将未失效的试样放入烘箱继续下一周期的老化。

除去失效试样的漆膜,在分析天平上称重并记录失效试样裸导体总质量 ΣW_c 。

5 动态热重试验

5.1 试验仪器

在热天平上进行热重试验。天平精度 ≤ 0.1 mg;质量量程 ≤ 25 mg;质量定值误差在 ± 0.15 mg 范围内,质量基线漂移在 ± 15 mg 范围内;电炉最高工作温度 800 °C 以上;温度定值误差在 ± 2 °C 范围内;升温速度恒定并等级可调,升温速度偏差 $\leq 5\%$ 。

5.2 试样制备

以适当的方法在与做恒温寿命试验相同的漆包线上取下漆膜,制成细度为 40 目的碎片。制备时应防止掺入任何杂质,确保试样纯度。

每次试验前,把试样装在浅盘内平铺开,在 $125 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ 的热循环干燥箱内预烘 2 h 后存放在干燥器内。

5.3 试验步骤

试验前,按 5.1 的规定检查并调试热天平。

在分析天平上称取三份试样,每份约 15 mg。试样装入铂坩埚,放入热天平,以小于 6 °C/min 的三个不同升温速度,在空气气氛内进行热重试验。

6 试验数据处理

6.1 恒温寿命试验的数据处理

6.1.1 试样平均寿命

取试样到失效时的老化总小时数和失效前一周期老化总小时数的中间点作为某个试样的失效时间。这是假设试样大概在最后一个老化周期进行到一半时失效。因此,某个试样的失效时间即为试样失效时的老化总小时数减去最后一个老化周期小时数的二分之一(12 h)。然后将各试样失效时间对数之和除以试样总数 n ,该平均值的反对数则等于试样的平均寿命。

对应于老化温度 T_h ,试样平均寿命 L_h 按公式(1)计算:

$$L_h = \lg^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n \lg L_i}{n} \right] \dots\dots\dots (1)$$

式中:

L_h ——试样平均寿命,单位为小时(h);

L_i ——第 i 个试样失效时的老化总小时数减去 12 h,单位为小时(h);

n ——试样个数;

\lg^{-1} ——反常用对数。

6.1.2 试样失重百分数 C_f 的计算

试样失重百分数 C_f 按公式(2)计算:

$$C_f = \frac{\Sigma W_0 - \Sigma W_n}{\Sigma W_0 - \Sigma W_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- C_i ——试样失重百分数;
- ΣW_0 ——试样初始质量之和,单位为毫克(mg);
- ΣW_n ——失效试样质量之和,单位为毫克(mg);
- ΣW_c ——试样裸导体质量之和,单位为毫克(mg)。

6.2 动态热重试验的数据处理

对三个不同升温速度的热重曲线,选择失重百分比为 $0.5C_i$ (以失重量 5% 为进位单位) 时,按公式

(3) 计算活化能 E_i :

$$E_i = -4.348 \frac{d(\lg\beta)}{d\left(\frac{1}{\theta}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- E_i ——活化能,单位为卡每摩尔(cal/mol);
- β ——升温速度,单位为摄氏度每小时($^{\circ}\text{C}/\text{h}$);
- θ ——动态温度,单位为开尔文(K)。

根据公式(3)通过最小二乘法求取活化能的过程参见附录 A。

6.3 温度指数的计算方法

已经公认,许多绝缘以一种符合公式(4)的方法老化:

$$L = Ae^{B/T} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- L ——绝缘寿命,单位为小时(h);
- T ——绝对温度,单位为开尔文(K);
- A, B ——每种绝缘所固有的常数;
- e ——自然对数之底。

通过取对数,使公式(4)表示成一线性方程:

$$\lg L = \lg A + (\lg e) \cdot \frac{B}{T} \dots\dots\dots(5)$$

设:

$$B = E_i/2$$

将恒温寿命试验的老化温度(T_h)、平均老化时间(L_h)代入公式(5),再将 20 000 h 代入公式(5)。两式相减就可以得出 20 000 h 所对应的温度(T)。

20 000 h 对应的温度($^{\circ}\text{C}$):

$$t_{20\,000} = \frac{0.218E_i}{\lg 20\,000 - \lg L_h + \frac{0.218E_i}{T_h}} - 273 \dots\dots\dots(6)$$

将恒温寿命试验的老化温度(T_h)、平均老化时间(L_h)代入公式(5),再将 5 000 h 代入公式(5)。两式相减就可以得出 5 000 h 所对应的温度(T)。

5 000 h 对应的温度($^{\circ}\text{C}$):

$$t_{5\,000} = \frac{0.218E_i}{\lg 5\,000 - \lg L_h + \frac{0.218E_i}{T_h}} - 273 \dots\dots\dots(7)$$

7 试验报告

试验报告应包括如下内容:

- 漆包线名称、型号、规格、漆膜厚度、来源和生产日期；
- 本部分标准编号 GB/T 4074.8—2009；
- 老化温度(T_h)、平均老化周期数(\bar{m})、平均寿命(L_h)、试样最小寿命值及相关系数 r ；
- 寿命为 20 000 h 和 5 000 h 对应的温度；
- 试验单位、试验者及试验日期。

附录 A

(资料性附录)

数据处理程序(以聚酰亚胺为例)

本附录旨在介绍一种通过动态热重试验数据(三个不同升温速率下)计算漆膜活化能,并结合单个温度点的恒温寿命试验数据推算漆包线试样温度指数的方法。如果需要更确切的温度指数,建议按 GB/T 4074.7—2009 进行详细分析。

根据公式(3)、公式(4)和公式(5)通过最小二乘法求取活化能 E_i 、20 000 h 和 5 000 h 对应的温度时,建议采用下述过程(以聚酰亚胺为例):

0.5 C_t = 15% (C_t = 34%, 以失重量 5% 为进位单位)、老化温度 T_h = 320 °C、平均老化时间 L_h = 357.3 h

对公式(3)进行积分:

$$\lg\beta = -\frac{E_i}{4.348} \times \frac{1}{\theta} + a \quad \dots\dots\dots(A.1)$$

设: $Y = \lg\beta$

a = 常数

$$X = \frac{1}{\theta}$$

$$b = -\frac{E_i}{4.348}$$

表 A.1 活化能 E_i 计算举例

β °C/h	0.5 C_t 对应的 θ		$X = \frac{1}{\theta}$	$X^2 = \frac{1}{\theta^2}$	$Y = \lg\beta$	XY	Y^2	$\lg L_h$
	°C	K						
60	481	754	1.326×10^{-3}	$1.758\ 276 \times 10^{-6}$	1.778	$2.357\ 629 \times 10^{-3}$	3.161 284	
120	505	778	1.285×10^{-3}	$1.651\ 225 \times 10^{-6}$	2.079	$2.671\ 515 \times 10^{-3}$	4.322 241	
300	536	809	1.236×10^{-3}	$1.527\ 696 \times 10^{-6}$	2.477	$3.061\ 572 \times 10^{-3}$	6.135 529	
Σ			3.847×10^{-3}	$4.937\ 197 \times 10^{-6}$	6.334	$8.090\ 715 \times 10^{-3}$	13.619 054	2.553 165

$N=3$
 $b = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{3 \times 8.090\ 715 \times 10^{-3} - 3.847 \times 10^{-3} \times 6.334}{3 \times 4.937\ 197 \times 10^{-6} - (3.847 \times 10^{-3})^2} = -7\ 778.1$
 $E_i = -4.348b = 33\ 819(\text{cal/mol})$

相关系数 r 是变量间线性相关程度的量度。

当 $|r|=1$ 时,变量间存在完全线性相关关系。当 $r=0$ 时,变量间线性不相关,按下式计算的相关系数推荐为 $|r| \geq 0.95$ 。

相关系数的计算按下式:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$= \frac{3 \times 8.090\ 715 \times 10^{-3} - 3.847 \times 10^{-3} \times 6.334}{\sqrt{[3 \times 4.937\ 197 \times 10^{-6} - (3.847 \times 10^{-3})^2][3 \times 13.619\ 054 - (6.334)^2]}} = -0.999\ 5$$

20 000 h 所对应的温度(°C):

$$t_{20\ 000} = \frac{0.218E_i}{\lg 20\ 000 - \lg L_h + \frac{0.218E_i}{T_h}} - 273 = \frac{7\ 372.6}{\lg 20\ 000 + 9.879\ 650} - 273 = 247\ ^\circ\text{C}$$

5 000 h 所对应的温度(°C):

$$t_{5\,000} = \frac{0.218E_f}{\lg 5\,000 - \lg L_h + \frac{0.218E_f}{T_h}} - 273 = \frac{7\,372.6}{\lg 5\,000 + 9.879\,650} - 273 = 270\text{ °C}$$

温度指数为 247。

温度 (°C)	时间 (h)	等效时间 (h)	等效温度 (°C)	等效时间 (h)	等效温度 (°C)	等效时间 (h)	等效温度 (°C)
270	5000	247	270	5000	247	270	5000
275	1000	247	275	1000	247	275	1000
280	500	247	280	500	247	280	500
285	250	247	285	250	247	285	250

标准搜搜网 www.bzsoso.com

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
绕 组 线 试 验 方 法
第 8 部 分：测 定 漆 包 绕 组 线 温 度 指 数
的 试 验 方 法 快 速 法
GB/T 4074.8—2009

*
中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行
北 京 复 兴 门 外 三 里 河 北 街 16 号
邮 政 编 码：100045

网 址 www.spc.net.cn
电 话：68523946 68517548
中 国 标 准 出 版 社 秦 皇 岛 印 刷 厂 印 刷
各 地 新 华 书 店 经 销

*
开 本 880×1230 1/16 印 张 1 字 数 19 千 字
2009 年 6 月 第 一 版 2009 年 6 月 第 一 次 印 刷

*
书 号：155066·1-37276 定 价 18.00 元

如 有 印 装 差 错 由 本 社 发 行 中 心 调 换
版 权 专 有 侵 权 必 究
举 报 电 话：(010)68533533



GB/T 4074.8—2009