



中华人民共和国国家标准

GB/T 4074.3—2024/IEC 60851-3:2023

代替 GB/T4074.3—2008

绕组线试验方法 第3部分:机械性能

Test methods of winding wires—Part 3: Mechanical properties

(IEC 60851-3:2023, Winding wires—Test methods—
Part 3: Mechanical properties, IDT)

2024-04-25发布

2024-11-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验方法 6:伸长率 1

 4.1 断裂伸长率 1

 4.2 抗张强度 1

5 试验方法 7:回弹性 2

 5.1 概述 2

 5.2 导体标称直径大于或等于 0.080 mm 且小于或等于 1.600 mm 的圆线 2

 5.3 导体标称直径大于 1.600 mm 的圆线和扁线 4

6 试验方法 8:柔韧性和附着性 5

 6.1 概述 5

 6.2 圆棒卷绕试验 5

 6.3 拉伸试验(适用于导体标称直径大于 1.600 mm 的漆包圆线) 7

 6.4 急拉断试验(适用于导体标称直径小于或等于 1.000 mm 的漆包圆线) 7

 6.5 剥离试验(适用于导体标称直径大于 1.000 mm 的漆包圆线) 7

 6.6 附着性试验 9

7 试验方法 11:耐刮(适用于漆包圆线) 9

 7.1 概述 9

 7.2 试验原理 10

 7.3 试验设备 10

 7.4 试验程序 10

8 试验方法 18:热黏合(适用于导体标称直径大于 0.050 mm 且小于或等于 2.000 mm 的漆包圆线和漆包扁线) 11

 8.1 概述 11

 8.2 垂直螺旋线圈黏结力 11

 8.3 扭绞线圈黏结强度 14

 8.4 漆包扁线热黏合 17

附录 A (资料性) 热黏合漆包线的黏结强度 19

 A.1 扭绞线圈试样的温度计算 19

 A.2 加热时间的确定 19

附录 B (资料性) 摩擦试验方法 24

 B.1 概述 24

 B.2 试验方法 A:静摩擦系数试验方法 24

 B.3 试验方法 B:第 1 种动摩擦系数试验方法 24

 B.4 试验方法 C:第 2 种动摩擦系数试验方法(适用于导体标称直径大于或等于 0.050 mm 且
 小于或等于 1.600 mm 的漆包圆线) 25

 B.5 试验方法 D:扭绞线对法测摩擦力 26

参考文献 32



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 4074《绕组线试验方法》的第3部分。GB/T 4074已经发布了以下部分：

- 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；
- 第21部分：耐高频脉冲电压性能。

本文件代替 GB/T 4074.3—2008《绕组线试验方法 第3部分：机械性能》，与 GB/T 4074.3—2008相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了附着性试验方法(见 6.6, 2008年版的 5.5)；
- 更改了热黏合试验的适用范围(见第8章, 2008年版的第7章)；
- 更改了漆包扁线热黏合试验的范围(见第8章, 2008年版的第7章)；

本文件等同采用 IEC 60851-3:2023《绕组线 试验方法 第3部分：机械性能》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《绕组线试验方法 第3部分：机械性能》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国电线电缆标准化技术委员会(SAC/TC213)归口。

本文件起草单位：上海电缆研究所有限公司、铜陵精达特种电磁线股份有限公司、河南华洋电工科技集团有限公司、金杯电工电磁线有限公司、沈阳宏远电磁线股份有限公司、露笑科技股份有限公司、山东赛特电工股份有限公司、浙江洪波科技股份有限公司、上海国缆检测股份有限公司。

本文件主要起草人：张兆、苏保信、杜明新、匡美周、柴娜、鲁永、陈磊、严勤华、诸冉冉、潘国梁、李福。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1983年首次发布为 GB/T 4074.3—1983；
- 1999年第一次修订，并纳入了 GB/T 4074.3~4074.10—1983、GB/T 4074.14—1983、GB/T 4074.27—1983、GB/T 1343.3~GB/T 1343.7—1984的内容；
- 2008年第二次修订；
- 本次为第三次修订。

引 言

绕组线作为电力、电机、电器、家电、电子、通信、交通、电网、航空等领域主要配套原材料之一,使用范围广,涉及领域多,已成为重要的机械工业产品。

GB/T 4074《绕组线试验方法》作为国内测量绕组线产品的唯一试验方法标准,对产品检测、规范市场、产品提升均具有重要作用。

GB/T 4074 旨在确立绕组线不同种类产品性能的试验方法标准,拟由以下 9 个部分构成。

- 第 1 部分:一般规定。 目的在于确立绕组线试验方法的术语、定义和试验通则。
- 第 2 部分:尺寸测量。 目的在于确立绕组线不同产品尺寸测量的试验方法。
- 第 3 部分:机械性能。 目的在于确立绕组线不同种类产品机械性能的试验方法。
- 第 4 部分:化学性能。 目的在于确立绕组线不同种类产品化学性能的试验方法。
- 第 5 部分:电性能。 目的在于确立绕组线不同种类产品电性能的试验方法。
- 第 6 部分:热性能。 目的在于确立绕组线不同种类产品热性能的试验方法。
- 第 7 部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法。 目的在于确立测定漆包绕组线温度指数的试验规程。
- 第 8 部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法——快速法。 目的在于确立测定漆包绕组线温度指数的快速试验规程。
- 第 21 部分:耐高频脉冲电压性能。 目的在于确立绕组线的耐高频脉冲电压性能试验方法。

绕组线试验方法

第 3 部分:机械性能

1 范围

本文件描述了绕组线下列试验方法:

- 试验方法 6:伸长率;
- 试验方法 7:回弹性;
- 试验方法 8:柔韧性和附着性;
- 试验方法 11:耐刮;
- 试验方法 18:热黏合。

术语、定义、试验方法通则和绕组线试验方法目录请参照 IEC 60851-1。本文件在附录 B 中提供了推荐的摩擦试验方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4074.2—2024 绕组线试验方法 第 2 部分:尺寸测量(IEC 60851-2:2019,IDT)

注:GB/T 4074.2—2024被引用的内容与 IEC 60851-2:1996被引用的内容没有技术上的差异。

ISO 178:2019 塑料 曲挠性能测试方法(Plastics—Determination of flexural properties)

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 试验方法 6:伸长率

4.1 断裂伸长率

伸长率是长度增加值与原长度之比,用百分比表示。

在伸长仪或拉力试验机上,以 (5 ± 1) mm/s 的速率将一根自由测试长度为 200 mm~250 mm 的校直试样拉伸至导体断裂点,计算断裂时长度线性增量与自由测试长度之比,用百分比表示。

测试三个试样,记录三个测试值,取其平均值作为断裂伸长率。

4.2 抗张强度

抗张强度是导体断裂时拉断力与其原始截面积之比。

在拉力试验机上,以 (5 ± 1) mm/s 的速率将一根自由测试长度为 200 mm~250 mm 的校直试样拉伸至导体断裂点,记录断裂时拉断力。

测试三个试样,记录原始截面积与三个拉断力测试值,取拉断力与原始截面积之比的平均值作为抗

张强度。

5 试验方法 7: 回弹性

5.1 概述

回弹性是卷绕成螺旋线圈或弯曲成一个角度的试样回弹后所测得的角度。

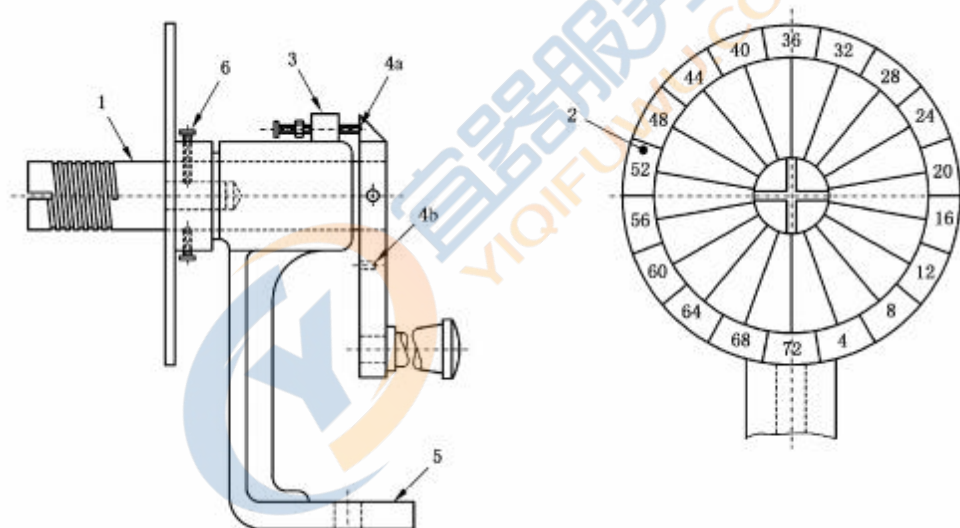
5.2 导体标称直径大于或等于 0.080 mm 且小于或等于 1.600 mm 的圆线

5.2.1 试验原理

将一根校直试样在圆棒上卷绕五圈，圆棒直径和卷绕时张力应符合有关产品标准的规定。回弹性测量即是第五圈试样末端回弹的角度读数。

5.2.2 试验设备

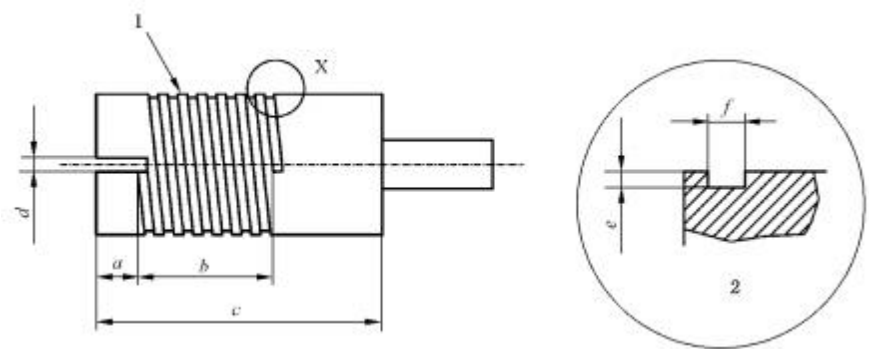
试验设备示例如图 1 所示，圆棒的结构和尺寸见图 2 和表 1。采用图 2 中的螺旋槽便于卷绕，但是否使用不作强制性规定。刻度盘上标有 72 等分刻度，这样卷绕五圈，读数即是试样每一圈回弹的度数。



标引序号说明：

- 1—圆棒；
- 2—刻度盘；
- 3—锁紧装置；
- 4—锁紧装置；
- 5—底座；
- 6—圆棒固定螺丝。

图 1 回弹试验仪



标引序号说明：
1—7个螺纹槽；
2—X部分放大。

图 2 圆棒结构和尺寸(见表 1)

表 1 回弹性试验用圆棒

圆棒直径 ^a mm	尺寸 ^b mm					
	a	b	c	d	e	f
5	6.0	7.5	32	0.30	0.05	0.13
7	6.0	9.0	34	0.40	0.07	0.18
10	6.0	9.0	34	0.60	0.10	0.25
12.5	6.0	9.0	40	0.80	0.14	0.35
19	10.0	11.0	45	1.20	0.20	0.50
25	12.5	12.5	45	2.00	0.28	0.70
37.5	12.5	14.5	47	2.40	0.40	1.00
50	12.5	17.5	50	3.00	0.80	2.00
^a 如是螺旋槽,即为槽底直径。 ^b 见图 2。						

5.2.3 试验程序

在试验设备上将规定尺寸的圆棒装好并锁定在与其轴线成水平的位置上,固定试样的槽或孔应对准刻度盘的零位。圆棒上应抹些滑石粉,以免粘住漆包线。

在长约 1 m 的校直试样的一端,挂上规定的负荷。松开旋转圆棒的手柄,将试样的另一端插入圆棒的固定槽或固定孔中,使足够长度的试样伸出圆棒的另一侧,这样试样就紧贴在圆棒上。慢慢放下负荷,使试样垂直悬挂在圆棒下面。刻度零位和固定槽或固定孔也垂直向下。

固定试样自由端,逆时针旋转圆棒五整圈及以上(看刻度盘)直到刻度盘零位垂直向上,然后锁住手柄。保持试样在圆棒上的位置,除去负荷。在第五圈端部以外约 25 mm 处剪断试样。应将该端部弯成垂直位置以与刻度盘零位重合,作为指针。

在试样该端部的左边放一铅笔或类似的工具,以防止试样突然回弹,然后让线圈无跳动地缓慢松开。

注:如果试样突然回弹,可能得到错误的结果。

松开圆棒和刻度盘的锁紧装置,顺时针旋转,使指针垂直向上。指针指示的刻度盘读数即为回弹

角。若漆包线弹性很大,指针可能回弹一整圈以上。在这种情况下,每回弹一整圈,刻度盘读数应加 72。

测试三个试样,记录三个读数,取其平均值作为回弹角。

5.3 导体标称直径大于 1.600 mm 的圆线和扁线

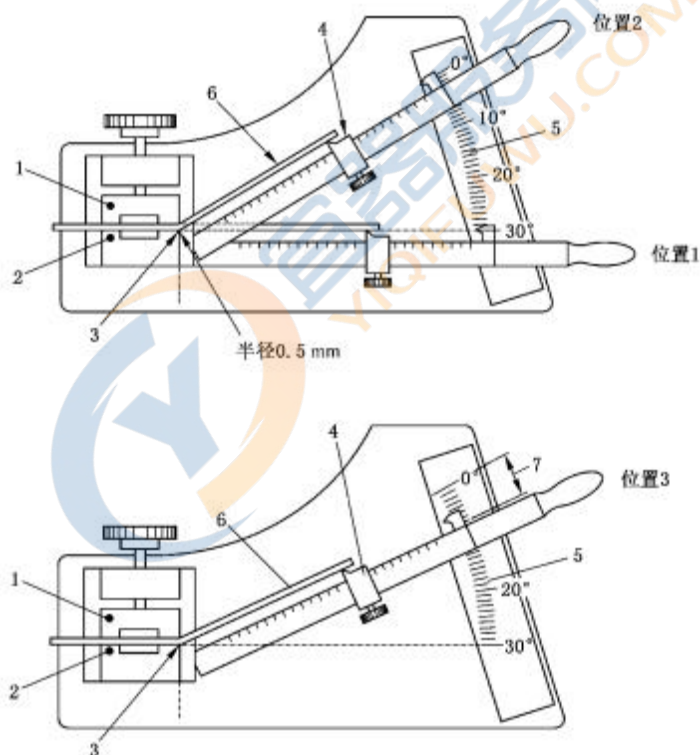
5.3.1 试验原理

将一根校直试样弯成 30° ,除去力后线回弹的角度读数即是回弹角。

5.3.2 试验设备

试验设备示例如图 3,其基本组件包括:一个固定夹钳(2),一个活动夹钳(1)和一个扇形刻度盘(5),单位为度($^\circ$)。刻度盘在 $0^\circ \sim 10^\circ$ 范围内其刻度以 0.5° 为增量。扇形刻度盘为圆弧形,置于与夹钳面成 90° 的平面上,其中心(3)在固定夹钳的外侧边缘。手柄可以在垂直平面上的扇形刻度盘上移动,其支点位于刻度盘圆弧的中心。

手柄应有指针或标记,能正确读出回弹角的读数。手柄约 305 mm 长,具有毫米刻度,起点在弧形刻度盘中心,手柄上有一个带刀口的滑块(4)。



标引序号说明:

- 1—活动夹钳;
- 2—固定夹钳;
- 3—刻度盘中心;
- 4—滑块;
- 5—扇形刻度盘;
- 6—试样;
- 7—回弹角。

图 3 回弹试验仪

5.3.3 试样制备

从线盘上取下至少 1 200 mm 长的试样,并尽可能避免弯曲,然后用手校直试样并切成 400 mm 长的三根试样。不应采用工具拉伸,应避免不必要的弯曲以免引起试样变硬。

5.3.4 试验程序

滑块在手柄上的位置应是导体直径或导体窄边尺寸的 40 倍。拉紧两夹钳之间的试样至刚好防止滑动。试样的拉紧方向应与其在线盘上的卷绕方向相同。试样的自由端应伸出滑块刀口 (12 ± 2) mm。

从起始点(30°刻度,位置 1)开始用手柄弯曲试样 30°(0°刻度,位置 2),弯曲时间应控制在 2 s~5 s。试样在位置 2 的时间最多保持 2 s,然后将手柄以相同角速度反方向退回直到滑块刀口滑离试样。再次移动手柄直到滑块刀口刚好接触试样而不弯曲试样。手柄指针(位置 3)在扇形刻度盘上的读数即为回弹角。

测试三个试样,记录三个读数,取其平均值作为回弹角。

6 试验方法 8:柔韧性和附着性

6.1 概述

柔韧性和附着性反映了绕组线经受拉伸、卷绕、弯曲或扭绞等外作用力时,其绝缘不发生开裂或失去附着性的能力。

6.2 圆棒卷绕试验

6.2.1 圆线

6.2.1.1 概述

将一根校直试样在抛光圆棒上连续紧密卷绕 10 圈,圆棒直径在有关产品标准中规定,应以 1 r/s~3 r/s 的速度卷绕,卷绕时线承受的张力刚好使线与圆棒接触。应避免线受到拉伸和扭绞。应使用符合上述要求的设备。

6.2.1.2 导体标称直径小于或等于 1.600 mm 的漆包圆线

若产品标准规定卷绕之前需预先拉伸,试样应按第 4 章的要求拉伸至规定的百分比。卷绕后,用倍数如表 2 规定的放大镜检查是否开裂。

测试三个试样。发现的任何开裂均应记录在报告中。

表 2 检查开裂的放大镜倍数

导体标称直径 mm		放大镜倍数 ^a
大于	小于或等于	
—	0.040	10 倍 ~ 15 倍
0.040	0.500	6 倍 ~ 10 倍
0.500	1.600	1 倍 ~ 6 倍
^a 1 倍表示用正常视力。		

6.2.1.3 纤维包覆圆线

卷绕后,用正常视力或 6 倍以下放大镜检查试样是否露出裸导体。
测试三个试样。露出裸导体应记录在报告中。

6.2.1.4 纤维包覆漆包圆线

卷绕后,用正常视力或 6 倍以下放大镜检查试样是否露出裸导体或底漆层。
测试三个试样。露出裸导体或底漆层均应记录在报告中。

6.2.1.5 薄膜绕包圆线

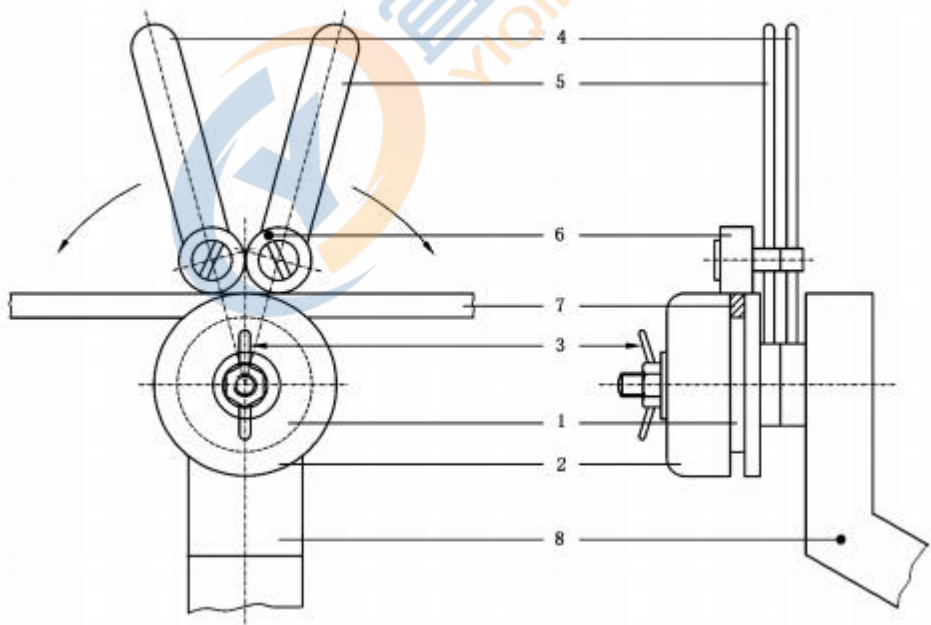
卷绕后,用正常视力或 6 倍以下放大镜检查试样是否露出裸导体或分层。
测试三个试样。露出裸导体或分层均应记录在报告中。

6.2.2 扁线

将一根长约 400 mm 的校直试样在抛光圆棒上沿两个方向各弯曲 180°,形成一个伸长的 S 形,圆棒直径在有关标准中规定。U 形弯头之间的直线部分至少应为 150 mm。注意确保试样不翘曲,弯头平整。合适的试验设备如图 4 所示。

弯曲后,用 6 倍 ~ 10 倍放大镜检查:对于漆包线,应检查是否开裂;对于纤维包覆线,应检查是否露出裸导体或底漆层;对于薄膜绕包线,应检查是否露出裸导体或分层。

弯曲六个试样,分别是三个宽边弯曲(用窄边尺寸)和三个窄边弯曲(用宽边尺寸)。如果试样有开裂、分层、露出导体或底漆层,则应记录在报告中。



标引序号说明：

- 1—圆棒；
- 2—圆棒夹板；
- 3—翼形夹紧螺母；
- 4—手柄；

- 5—手柄；
- 6—滚珠轴承；
- 7—试样；
- 8—支架。

图 4 圆棒弯曲试验装置

6.2.3 包覆束线

将一根校直试样在抛光圆棒上连续卷绕 10 圈,圆棒直径在有关产品标准中规定,张力按 GB/T 4074.2—2024 中 4.2.5.3 的规定。注意每次卷绕时不可扭绞试样。

卷绕后,用正常视力检查试样的包覆层是否开口。

测试一个试样,如果包覆层紧密度未达到要求,则应记录在报告中。

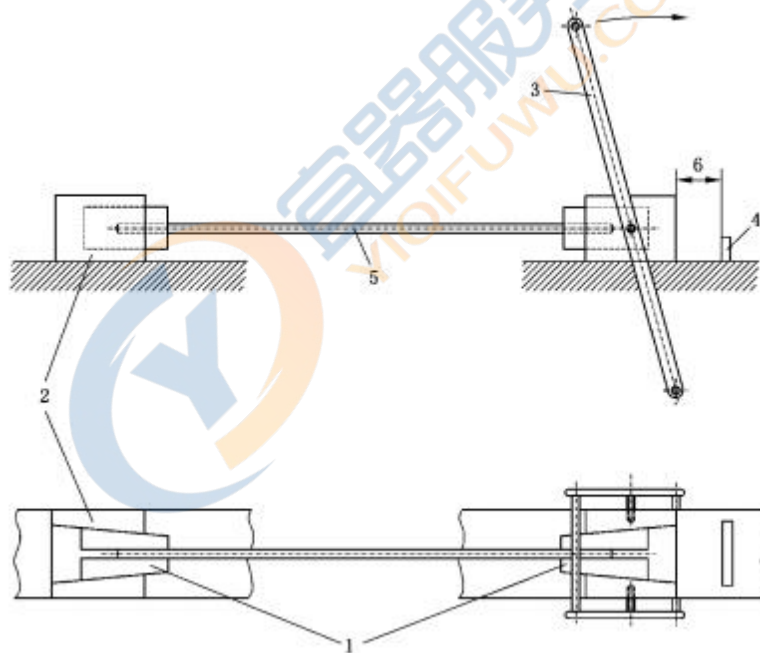
6.3 拉伸试验(适用于导体标称直径大于 1.600 mm 的漆包圆线)

按第 4 章的规定将一根校直试样拉伸至有关产品标准规定的百分比。拉伸后,用正常视力或 6 倍以下放大镜检查试样是否开裂或失去附着性。

测试三个试样,如果试样开裂和(或)失去附着性,应记录在报告中。

6.4 急拉断试验(适用于导体标称直径小于或等于 1.000 mm 的漆包圆线)

将一根校直试样急速拉伸至断裂点或有关产品标准规定的伸长率,试验设备如图 5 所示,其自由测试长度为 200 mm~250 mm。拉伸后,应用倍数如表 2 规定的放大镜检查试样是否开裂或失去附着性。断头 2 mm 内不做考核。



标引序号说明：

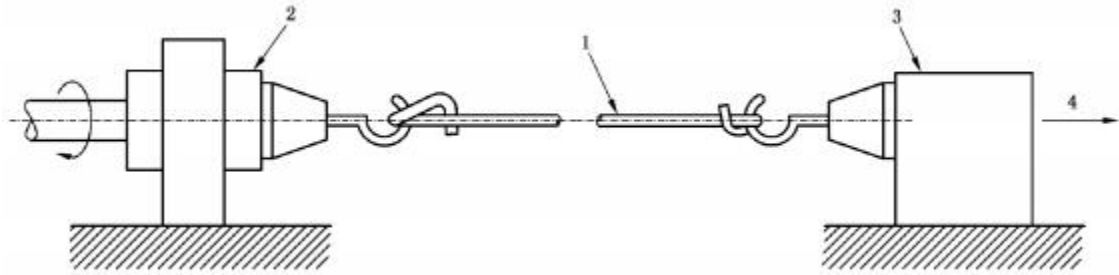
- 1—楔形夹头；
- 2—固定夹具；
- 3—手柄；
- 4—可调挡板；
- 5—试样；
- 6—规定伸长。

图 5 急拉断试验仪

6.5 剥离试验(适用于导体标称直径大于 1.000 mm 的漆包圆线)

将一根校直试样置于如图 6 所示的试验设备上,两个夹具位于同一轴线上并相距 500 mm,其中一

个能旋转,另一个则不能,但可以轴向移动并加挂负荷施加张力来扭绞试样,负荷按表 3 规定。



标引序号说明：

- 1—试样；
- 2—旋转夹头；
- 3—固定夹具；
- 4—负荷。

图 6 剥离试验仪

表 3 剥离试验用负荷

导体标称直径 mm		负荷 N
大于	小于或等于	
1.000	1.400	25
1.400	1.800	40
1.800	2.240	60
2.240	2.800	100
2.800	3.550	160
3.550	4.500	250
4.500	5.000	400

使用如图 7 所示的刮刀轴向刮去试样两侧的漆膜直至露出导体,如图 8 所示。刮刀的压力应足以刮去漆膜并在漆膜和导体界面留下清洁光滑的表面,但不可刮去太多的导体材料。从距离夹具 10 mm 的两处剥离漆膜。旋转设备的起动速度应为 60 r/min~ 100 r/min,直至达到有关产品标准规定的转数 R。

剥离和扭绞后,应检查试样是否失去附着性。如果能毫无困难地将漆膜从试样上剥去(例如用指甲),即使不能完全分离,也应认为失去附着性。

测试一个试样,如果失去附着性,则应记录在报告中。

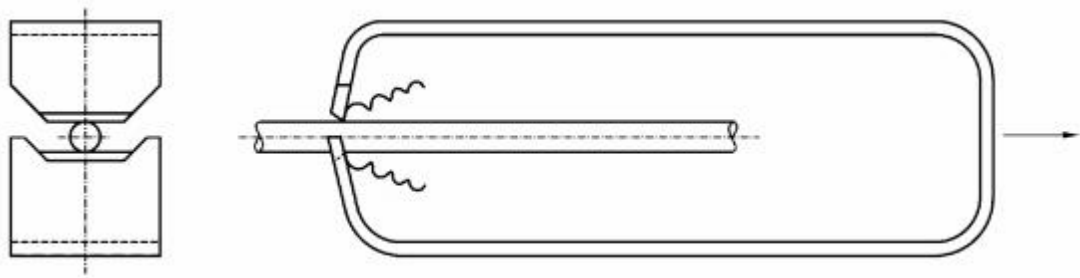


图 7 刮刀

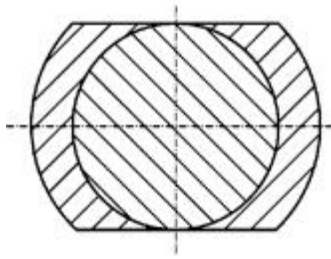


图 8 刮去漆膜后漆包线截面

6.6 附着性试验

6.6.1 概述

按第 4 章的规定将一根约 300 mm 长的校直试样拉伸至有关产品标准规定的百分比。

6.6.2 漆包扁线

拉伸前,应在测量长度中间切割试样一圈直至导体。拉伸后,应检查试样是否失去附着性。

测试一个试样。如果检查出试样失去附着性,则应记录在报告中,并从切口处纵向测量单向失去附着性的距离。在 6 倍 ~ 10 倍的放大倍数下,测量试样每侧的失去附着性距离,记录最大值。

6.6.3 浸渍纤维包覆圆线和扁线

拉伸前,应在测量长度中间相距 100 mm 的两处切割试样一圈直至导体。拉伸后,应在 6 倍 ~ 10 倍的放大镜下检查试样是否失去附着性。

测试一个试样。如果检查出试样失去附着性,则应记录在报告中,并从切口处纵向测量单向失去附着性的距离。在 6 倍 ~ 10 倍的放大倍数下,测量试样每侧的失去附着性距离,记录最大值。

6.6.4 纤维包覆漆包圆线和扁线

拉伸前,应在测量长度中间相距 100 mm 的两处切割试样一圈直至导体。拉伸后,应在 6 倍 ~ 10 倍的放大镜下检查试样是否失去附着性。

测试一个试样。如果检查出试样失去附着性,则应记录在报告中,并从切口处纵向测量单向失去附着性的距离。在 6 倍 ~ 10 倍的放大倍数下,测量试样每侧的失去附着性距离,记录最大值。

6.6.5 薄膜绕包圆线和扁线(仅适用于黏结性薄膜)

拉伸前,应在测量长度中间切割试样一圈直至导体。拉伸后,在 6 倍 ~ 10 倍的放大倍数下检查试样是否失去附着性。

测试一个试样。如果检查出试样失去附着性,则应记录在报告中,并从切口处纵向测量单向失去附着性的距离。在 6 倍 ~ 10 倍的放大倍数下,测量试样每侧的失去附着性距离,记录最大值。

7 试验方法 11:耐刮(适用于漆包圆线)

7.1 概述

耐刮是用不断增加压力的刮针刮漆包线所能承受的最大刮破力表示。

7.2 试验原理

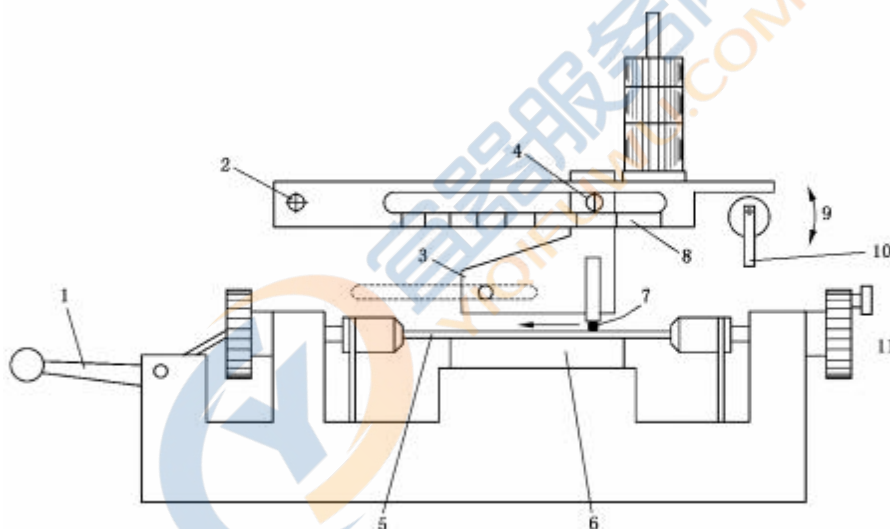
一根校直试样经受单向刮漆试验,用针刮漆包线表面,并在针上不断增加负荷。使针和导体电气接通的力即为刮破力。

7.3 试验设备

应使用如图 9 所示的试验设备,其机械装置应能产生速率为 (400 ± 40) mm/min 的单向刮力。刮漆装置应包括一个抛光的琴钢丝或直径为 (0.23 ± 0.01) mm 的针,置于两夹头之间。夹头可牢固地夹住琴钢丝或针,使其不下垂或弯曲并与刮漆方向成直角。刮漆方向即为漆包线的轴线方向。为放置试样,试验设备的支承台上应有两个夹头,当试样插入夹头之间并校直时支承台可下降。

试验设备应能产生 (6.5 ± 0.5) V 的直流电压,施加在导体和琴钢丝或刮针之间。应将短路电流限制在 20 mA 以内,可使用串联电阻或继电器实现。该电路应能检测短路电流,并当刮针刮到导体约 3 mm 时停止刮漆。

试验设备的杠杆下部边缘上应有一刻度标尺,所指示出的系数乘以施加在琴钢丝或针上的起始负荷即为刮破力。



标引序号说明：

- 1 — 校直试样手柄；
- 2 — 固定支点；
- 3 — 荷重刮漆装置；
- 4 — 指针；
- 5 — 试样；
- 6 — 按不同试样的直径可调高度的支撑台；
- 7 — 琴钢丝；
- 8 — 指示系数的刻度尺；
- 9 — 复位/刮漆；
- 10 — 复位杆；
- 11 — 120°分度指示手轮。

图 9 单向刮漆试验仪

7.4 试验程序

将一根用最大 1% 的伸长校直的试样擦拭干净后置于试验设备中,然后用夹头固定试样,调整支承

台使之接触试样。施加在刮漆设备上的起始作用力应不大于有关产品标准规定的最小刮破力的90%,并应使刮针和导体之间短路,短路点距离固定支点 150 mm~200 mm。荷重的刮漆装置应慢慢下降至漆包线表面,然后开始刮漆。

刮针停止刮漆时,从杠杆下部边缘的刻度尺上读出此时的系数。记录该系数和起始作用力的乘积。

试验应在同一试样上再重复进行两次,一次距离原位置 120°,一次距离原位置 240°。记录试验结果。

测试一个试样。记录三个试验值。取其平均值作为平均刮破力。

8 试验方法 18:热黏合(适用于导体标称直径大于 0.050 mm 且小于或等于 2.000 mm 的漆包圆线和漆包扁线)

8.1 概述

热黏合反映了线圈绕组在热作用下黏合在一起的能力。

8.2 垂直螺旋线圈黏结力

8.2.1 概述

垂直螺旋线圈黏结力反映了在黏合线圈下端加挂负荷时保持黏合的能力。

8.2.2 导体标称直径小于或等于 0.050 mm

试验方法由供需双方协商决定。

8.2.3 导体标称直径大于 0.050 mm 且小于或等于 2.000 mm

8.2.3.1 试验原理

在圆棒上卷绕成螺旋线圈,然后加负荷压紧,并在热作用下黏合。黏合后,从圆棒上取下线圈试样并垂直悬挂,在其下端挂上负荷来测定试样是否能承受规定的负荷。在高温下重复试验。

8.2.3.2 试样制备

将一根校直试样卷绕在直径如表 4 规定的抛光圆棒上。线圈最小长度应为 20 mm。卷绕时的张力应不超过表 4 规定值,卷绕速率应控制在 1 r/s~3 r/s 之间。为方便线圈自由松开,试样末端不应固定。对于直径较大的试样,经验证使用钢棒可满足要求。对于直径较小的试样,经验证使用铜棒可满足要求,通过拉伸铜棒减小直径方便从圆棒上取下线圈。

圆棒上的线圈应如图 10a)所示垂直放置,并按表 4 的规定施加负荷。重物应不黏着圆棒,其间应有间隙。然后将此装置放入强迫通风的烘箱中,烘箱温度按有关产品标准的规定,放置时间:

—导体标称直径小于或等于 0.710 mm 的漆包线,为 30 min;

—除非供需双方另有协议,导体标称直径大于 0.710 mm 且小于或等于 2.000 mm 的漆包线,为 1 h。

冷却至室温后,从圆棒上取下线圈。

8.2.3.3 室温下的试验程序

如图 10b)所示将线圈试样的一端悬挂起来,另一端施加有关产品标准规定的负荷。负荷的施加方式应能避免任何附加的冲击。

测试三个试样。如果线圈分离(第一圈和最后一圈除外),则应记录在报告中。黏合线圈的温度也

应记录。

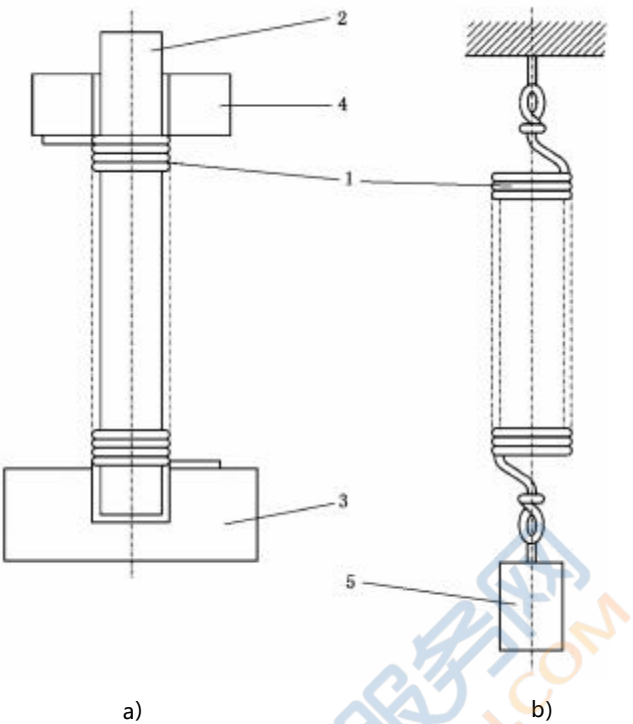
8.2.3.4 高温下的试验程序

如图 10b)所示将线圈试样的一端悬挂起来,另一端施加如表 5 规定的负荷。负荷的施加方式应能避免任何附加的冲击。将带负荷的试样放入强迫通风的烘箱内 15 min,烘箱温度按有关产品标准的规定。

测试三个试样。如果线圈分离(第一圈和最后一圈除外),则应记录在报告中。黏合线圈的温度也应记录。

表 4 螺旋线圈的制备

导体标称直径 mm		圆棒直径 mm	卷绕时最大张力 N	黏合时加在线圈上的负荷 N
大于	小于或等于			
0.050	0.071	1	0.05	0.05
0.071	0.100	1	0.05	0.05
0.100	0.160	1	0.12	0.15
0.160	0.200	1	0.30	0.25
0.200	0.315	2	0.80	0.35
0.315	0.400	3	0.80	0.50
0.400	0.500	4	2.00	0.75
0.500	0.630	5	2.00	1.25
0.630	0.710	6	5.00	1.75
0.710	0.800	7	5.00	2.00
0.800	0.900	8	5.00	2.50
0.900	1.000	9	5.00	3.25
1.000	1.120	10	12.00	4.00
1.120	1.250	11	12.00	4.50
1.250	1.400	12	12.00	5.50
1.400	1.600	14	12.00	6.50
1.600	1.800	16	30.00	8.00
1.800	2.000	18	30.00	10.00



标引序号说明：

- 1—线圈；
- 2—圆棒；
- 3—圆棒底座；
- 4—压紧负荷；
- 5—分离负荷。

图 10 螺旋线圈黏结力试验设备

表 5 高温下的黏结力

导体标称直径 mm		负荷 N	导体标称直径 mm		负荷 N
大于	小于或等于		大于	小于或等于	
0.050	0.071	0.04	0.800	0.900	2.60
0.071	0.100	0.06	0.900	1.000	3.20
0.100	0.160	0.09	1.000	1.120	3.80
0.160	0.200	0.19	1.120	1.250	4.40
0.200	0.315	0.25	1.250	1.400	4.90
0.315	0.400	0.55	1.400	1.600	6.40
0.400	0.500	0.80	1.600	1.800	7.90
0.500	0.630	1.20	1.800	2.000	7.90
0.630	0.710	1.70			
0.710	0.800	2.10			

8.3 扭绞线圈黏结强度

8.3.1 概述

黏结强度是破坏扭绞线圈所需的最大作用力。

8.3.2 试验原理

随机卷绕的漆包线线圈形成椭圆形,扭绞后通直流电流使之黏结并制成棒状试样。将棒状试样水平放置在拉力试验机上,测量破坏该棒状试样所需的最大压弯力。在高温下重复该试验。

注:本试验方法类似于 IEC 61033:2006 中 2.1 的方法 A “扭绞线圈试验”,其原理相同,但在扭绞和黏结试样及漆包线规格上有所不同。本试验适用于不同规格的漆包线,而 IEC 61033 中方法 A 只适用于导体标称直径为 0.315 mm 的漆包线。

8.3.3 试验设备

本试验应使用下列设备:

- 如图 11a)和图 11b)所示的线圈卷绕机;
- 如图 13所示的线圈扭绞机;
- 符合 ISO 178的拉力试验机,所用支架如图 13所示;
- 能产生恒定电流的直流电源,最小容量为 50V 和 15A。
- 与拉力试验机配套的强迫通风的烘箱,该烘箱应确保试验温度偏差为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,并应能在 5 min~10 min之内同时加热至少五个试样至试验温度。

8.3.4 试样制备

使用如图 11a)和图 11b)所示的卷绕机将漆包线试样随机卷绕成一个线圈。卷绕圈数应按下式计算:

$$N = \frac{100 \times 0.315^2}{d^2}$$

式中:

d—漆包线试样导体标称直径。

注 1:对于导体标称直径 $d=0.315\text{ mm}$, N 为 100圈;对于其他直径 d ,可通过上述公式得到 N 值,而其导体总截面积与 $N=100$ 和 $d=0.315\text{ mm}$ 时的导体总截面积相同。

为防止线圈从卷绕机上取下时松开,应将漆包线每一端(或用短段漆包线)在线圈相对两处绕 2 圈~3 圈,因此卷绕机上应有合适的槽口[见图 11b)]。

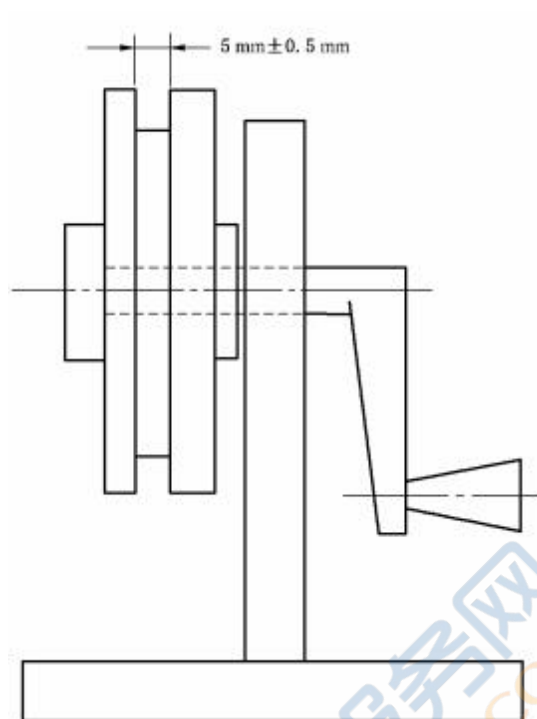
卷绕线圈采用如下尺寸:

- 卷绕直径: $(57 \pm 0.1)\text{ mm}$;
- 槽宽: $(5 \pm 0.5)\text{ mm}$ 。

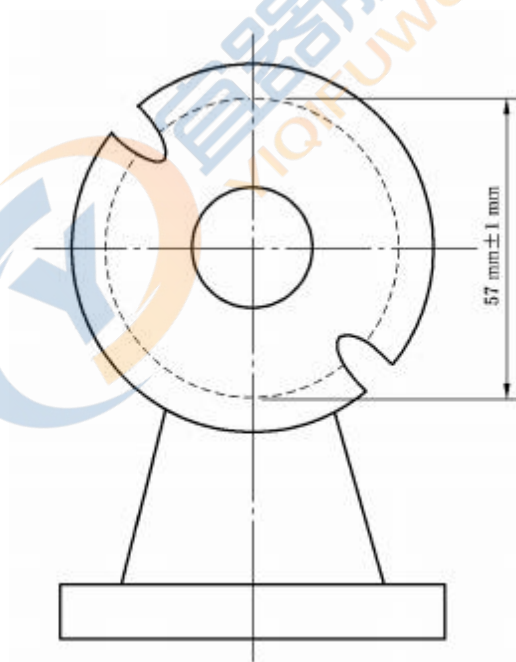
从卷绕机上取下线圈,形成椭圆形(见图 12),然后如图 13所示在扭绞机上沿其纵轴扭绞。该扭绞机应能在扭绞及黏结试样的同时对试样施加机械负荷,负荷应为 100 N。线圈应先扭绞 2.5 圈,然后在相反方向回扭半圈。在扭绞机上保持机械负荷的同时,应在漆包线试样上通以恒定的直流电流使之黏结,电流的大小应能使线圈试样在 30 s~60 s 的时间内黏合。

注 2:因为使用直流电流可方便测量加热结束后线圈试样的平均温度(见附录 A)。

试样为直径约 7 mm,长度 85 mm~90 mm 的圆棒。



a) 线圈卷绕装置

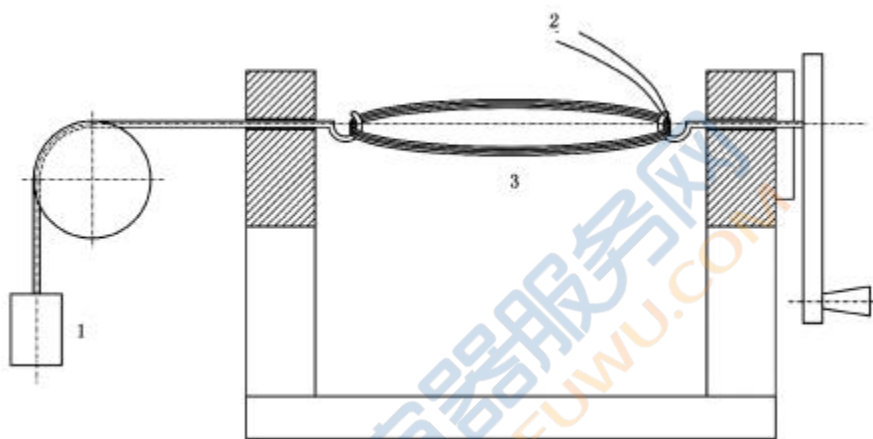


b) 线圈卷绕装置, 正视图

图 11 线圈卷绕机



图 12 椭圆形线圈



标引序号说明：

- 1—负荷 100 N；
- 2—直流电流；
- 3—扭绞线圈。

图 13 对扭绞线圈试样施加负荷的扭绞装置

8.3.5 试验程序

如图 14所示将试样正确放在支架上,调节十字头的速度使之在 1 min 内达到最大弯力,测量试样的黏结强度。

对于高温下的试验,应先将试样放入预热到规定温度的烘箱中。在试样达到烘箱温度但放入烘箱时间不超过 15 min之内测量试样的黏结强度。

8.3.6 试验结果

在每一温度应测五个试样。记录对应于每个温度的五个数值。取其平均值作为黏结强度。试样的导体标称直径、线圈的圈数和黏结条件也应记录。

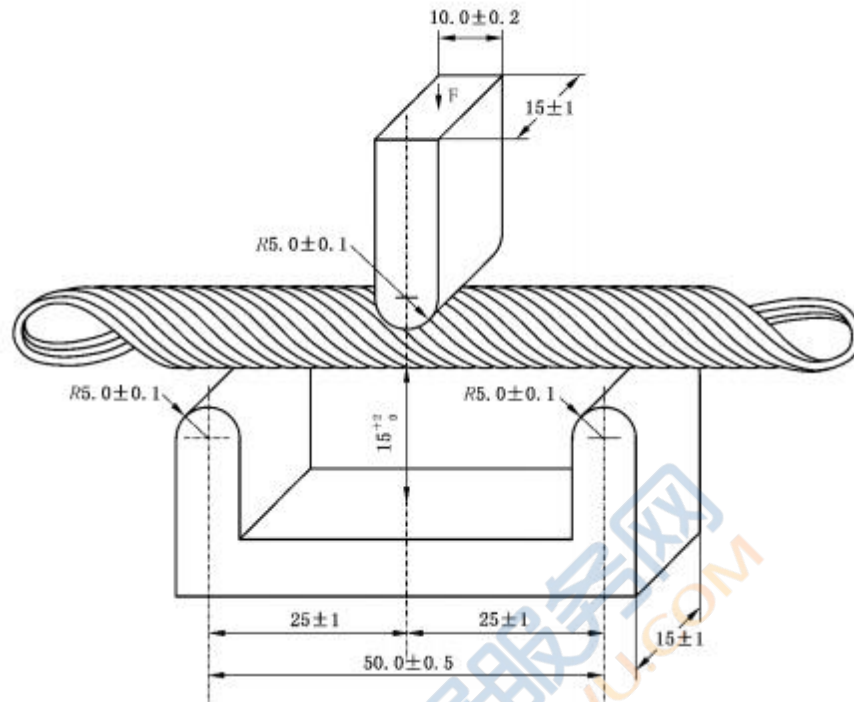


图 14 支架的安放尺寸

8.4 漆包扁线热黏合

如图 15 所示,制备 5 个试样,每个试样由两根长度约为 100 mm 的直线组成,置于重叠长度(L)为 (25 ± 5) mm 的夹具中,压力为 1.00 MPa。除此之外的重叠长度和夹具压力可由供需双方协商决定。

每个试样夹头之间部分的长度约为 125 mm。

施加压力的负荷(P)计算公式为:

$$P = 1.00 \times 25 \times (h - 2R)$$

式中:

R — 导线的圆角半径,单位为毫米(mm);

h — 导线的宽边尺寸,单位为毫米(mm)。

将试样放在 (120 ± 2) °C 的烘箱中固化 24h ~ 24.5 h,或者由供需双方协商决定试验条件。

试样冷却至室温后,应进行搭接剪切试验,即对试样施加逐步增加的负荷直至两根线分离。施加负荷时,应避免试样受到任何外加的冲击。

剪切应力 T(MPa)由供需双方协商决定,计算公式为:

$$T = \frac{F}{(h - 2 \times R) \times L}$$

式中:

F — 最大测量力,单位为牛(N);

h — 导线的宽度,单位为毫米(mm);

L — 导线之间的重叠长度,单位为毫米(mm);

R — 导线的圆角半径,单位为毫米(mm);

T — 剪切应力,单位为兆帕(MPa)。

导线之间的重叠长度和黏合试样的温度应记录在报告中。

单位为毫米

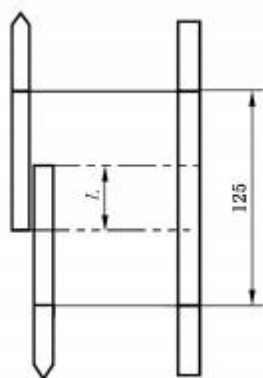


图 15 热黏合试样

附 录 A
(资料性)
热黏合漆包线的黏结强度

A.1 扭绞线圈试样的温度计算

A.1.1 方法

用直流电流加热扭绞线圈时,试样的平均温度可用其直流电阻推算。直流电阻为电压和施加的恒定电流之比,可在加热期间的开始和结束时测量,并计算在加热结束时的温度。

A.1.2 温度系数

为方便以下计算,取铜的温度系数为 $\alpha=0.004\text{K}^{-1}$ 。

A.1.3 计算

按此温度系数,加热结束时试样的电阻可按下式计算:

$$R_{T_t} = R_{T_0} + \alpha R_{T_0} \times (T_t - T_0)$$

式中:

R_{T_0} — 开始时(在室温下)的电阻,单位为牛(N);

T_t — 加热结束时的温度;

T_0 — 加热开始时的温度(T_0 通常为室温,即 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

下标 t 代表加热结束时的值。

如果电流是恒定的,下列公式适用:

$$\frac{R_{T_t}}{R_{T_0}} = \frac{U_t}{U_0}$$

式中:

U_t — 加热结束时的电压;

U_0 — 加热开始时的电压。

加热结束时温度为:

$$T_t = T_0 + \left[250 \times \left(\frac{U_t}{U_0} - 1 \right) \right] (^{\circ}\text{C})$$

A.2 加热时间的确定

A.2.1 电压-时间曲线

用恒定电流加热扭绞线圈时,电阻随着温度的上升而增加。为保持电流恒定,恒定电流变压器的输出电压也相应增加,这样就可以画出直流输出电压对时间的曲线,并提供关于加热期间的时间 t 的资料。可在同一张图上画出不同电流的不同曲线图。

A.2.2 最高温度时的电压

在特定情况下可能需要在某一温度下(但不超过这个温度)黏结试样。如果确定了这个最高温度,可使用 A.1 中的最后一个公式计算用一个特殊加热电流来达到该温度所需的电压:

$$U_t = U_0 + 0.004 \times (T_t - T_0) U_0$$

电压-时间曲线与 Y 轴的交点即为 U_0 值。有了这个读数,可使用最后一个公式计算达到试样加热结束时的温度所需的电压。该电压值与 X 轴的交点即为达到温度 T_t 的加热时间。

如果对每根电压-时间曲线在同一个温度 T_t 下作相同的计算,可得到一条与电压-时间曲线相交的等温线。如果在不同温度下重复此计算,可在最终的曲线图中很方便地选择加热电流(A)和加热时间(s)来加热试样至选择的温度 T_t 。

图 A.1~图 A.4 分别是规格为 0.300 mm,0.315 mm,0.355 mm 和 0.500 mm 的漆包线的完整的曲线图示例。

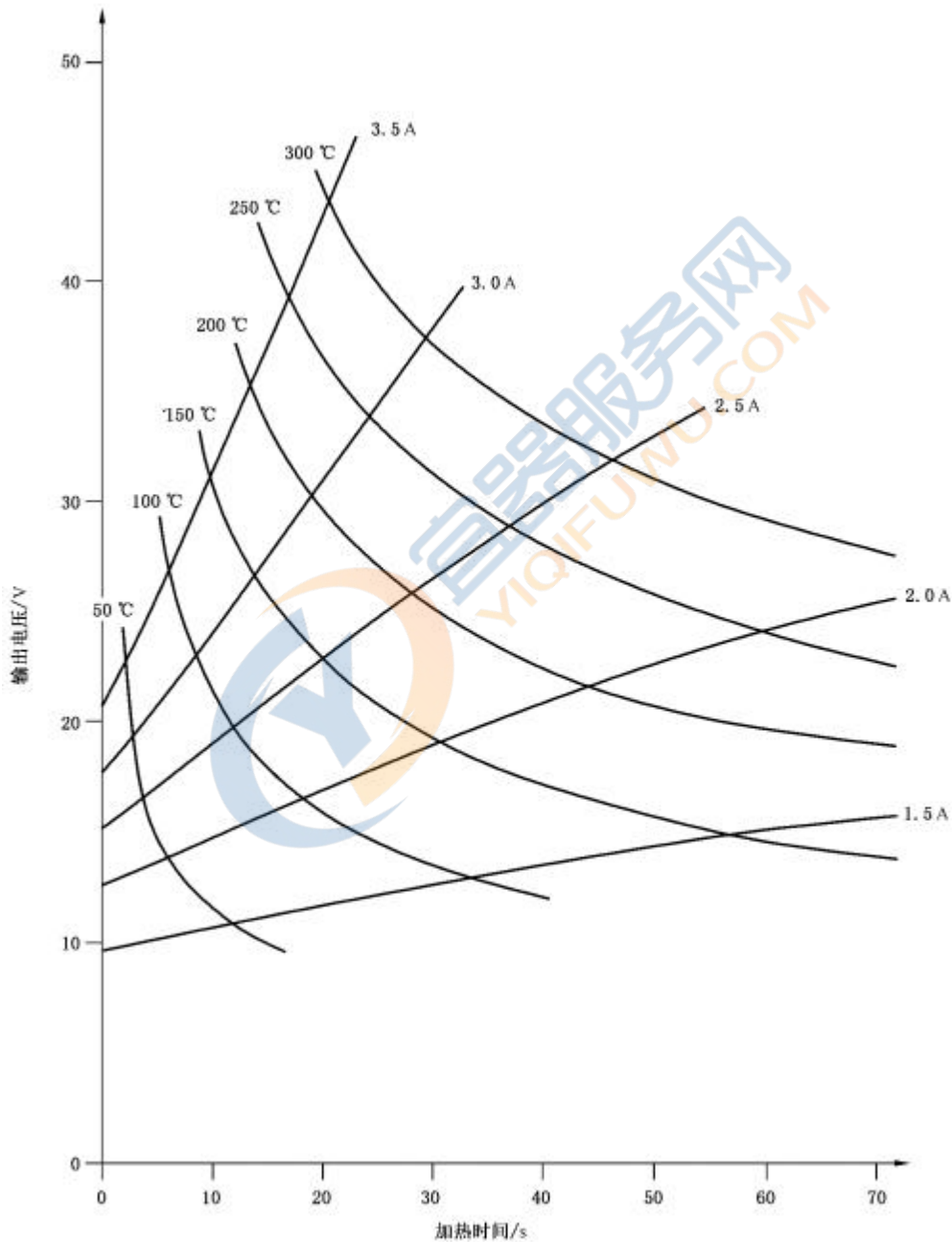


图 A.1 导体标称直径 0.300 mm 扭绞线圈试样的电压-时间曲线实例

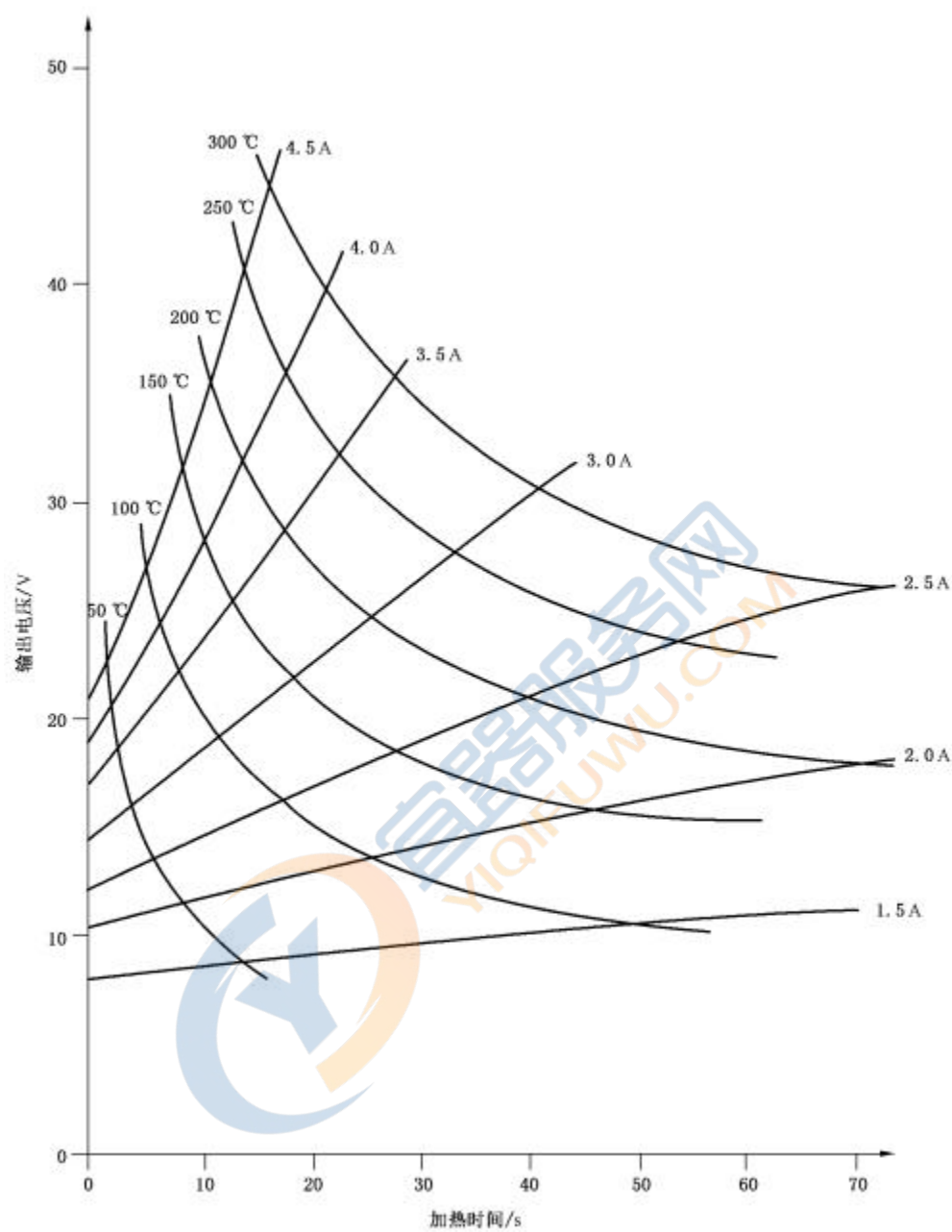


图 A.2 导体标称直径 0.315 mm 扭绞线圈试样的电压-时间曲线实例

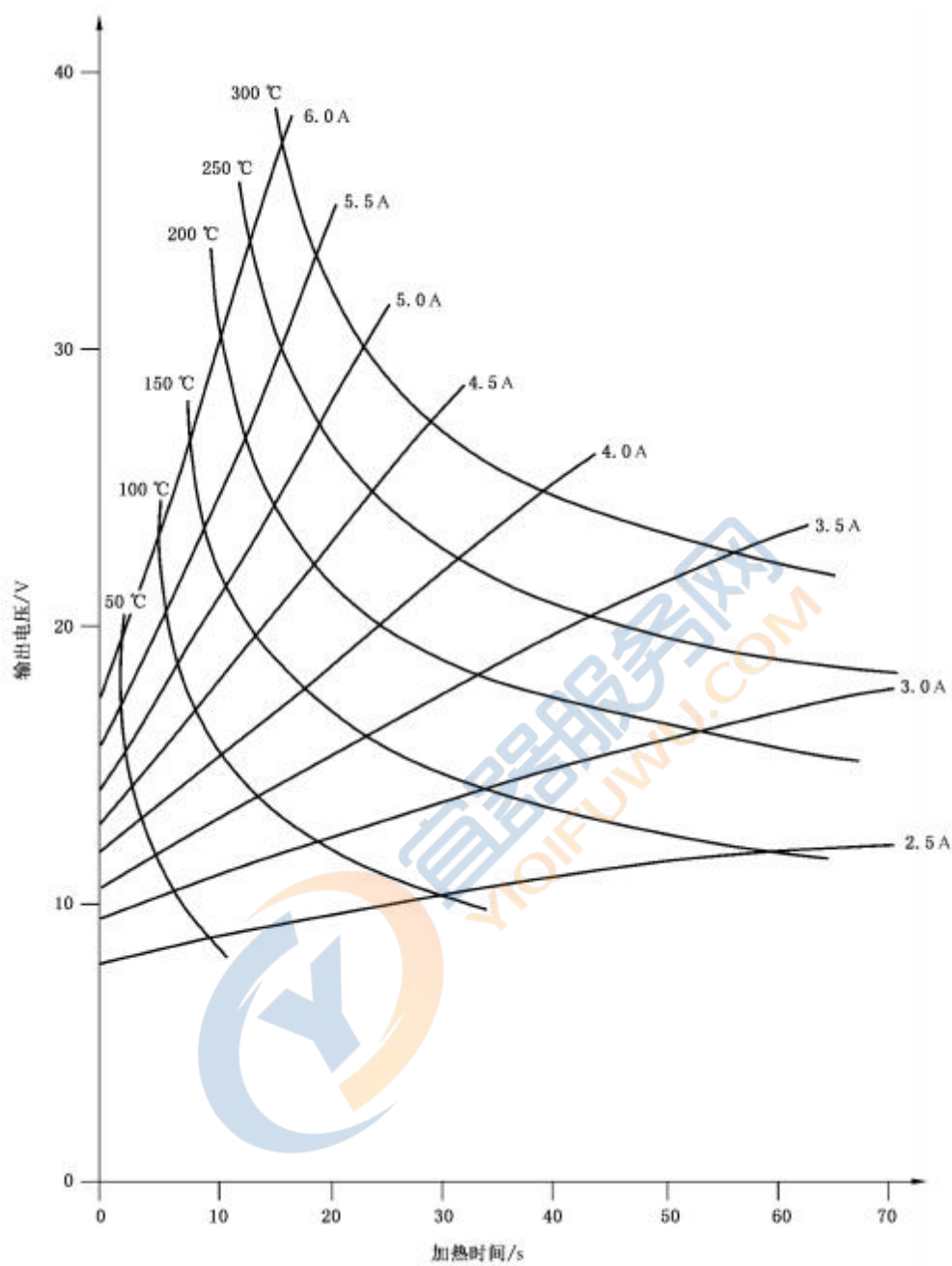


图 A.3 导体标称直径 0.355 mm 扭绞线圈试样的电压-时间曲线实例

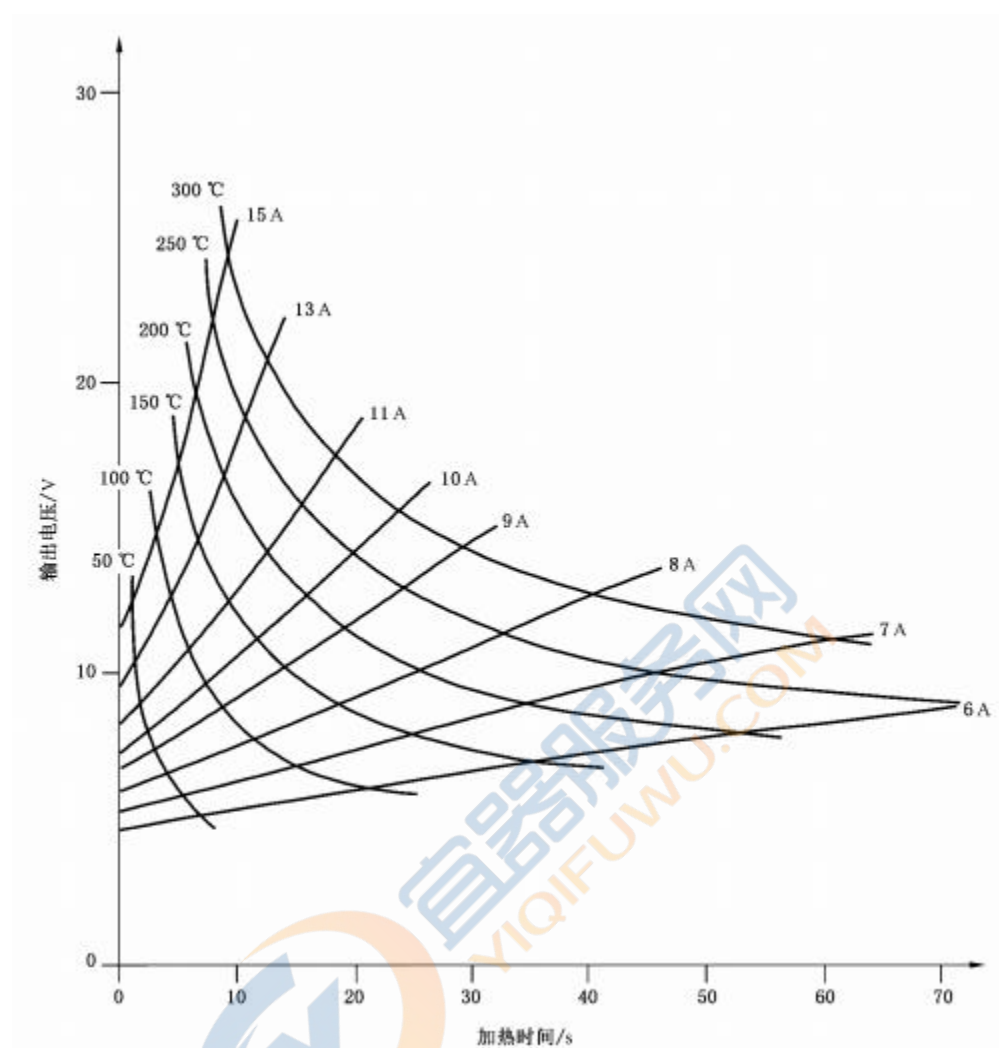


图 A.4 导体标称直径 0.500 mm 扭绞线圈试样的电压-时间曲线实例

附 录 B (资料性) 摩擦试验方法

B.1 概述

本附录为推荐的绕组线供需双方可采用的绕组线摩擦试验方法。附加的方法由供需双方协商决定是否使用。

B.2 试验方法 A:静摩擦系数试验方法

B.2.1 试验方法(适用于导体标称直径大于或等于 0.050 mm 且小于或等于 1.600 mm 的漆包圆线)

静摩擦系数(μ_s)为一块滑块从漆包线试样做成的轨道上开始滑下的瞬间所测得的滑板的倾斜角(α)。从交货盘上放线取下漆包线试样。如果漆包线表面被灰尘或脏物污染,则应在试验前除去此盘的最外层漆包线。校直一部分漆包线试样,用两个线柱和两个夹头固定在滑板上组成滑轨。然后用类似的方法将其他漆包线试样固定在滑块上。

将带有试样的滑块放在滑板的轨道上,使滑块上的漆包线和滑板上的漆包线在接触点上成直角交叉。

然后慢慢倾斜滑板[约 $1(^{\circ})/s$]直到滑块从滑轨上开始滑下。此时刻度尺上的读数即为倾斜角(α)。按下式计算静摩擦系数:

$$\mu_s = \tan \alpha$$

B.2.2 试验设备

通常的试验设备安装图见图 B.1。

试验设备包括一个滑板(1),该滑板可绕轴心(8)旋转倾斜成一个角度(α)。支架(9)上连着标有倾斜角(α)或摩擦系数(μ_s)的刻度尺(7)。

该滑板可固定漆包线试样(3),比如用两个线柱(5)和两个夹头(6),漆包线试样的平行部分应间隔 110 mm,并在刻度尺一端和滑板轴心之间组成滑轨。

滑块(2)上的夹头和接线柱可用来固定第二个漆包线试样(4)。试样平行部分应间隔 60 mm。特别注意滑块的尺寸使其夹头和接线柱不接触滑板(1)以避免附加的摩擦力。滑块质量应:

- 对于导体标称直径小于或等于 0.150 mm 的漆包线,约为 50 g;
- 对于导体标称直径大于 0.150 mm 的漆包线,约为 500 g。

不严格要求滑块的质量,因为它会随着第二个漆包线试样质量的改变而改变。

可用电动装置慢慢改变滑块和滑板的倾斜角。

B.3 试验方法 B:第 1 种动摩擦系数试验方法

B.3.1 试验原理

摩擦系数 μ_d 可通过测量漆包线在已知重量的压块 E 的压力下移动时产生的摩擦力 C 获得:

$$\mu_d = \frac{C}{9.81 \times E}$$

B.3.2 试验方法

通常的试验设备安装图见图 B.2。

漆包线经导轮和制动器(D)通过金属板(B)。经另一个导轮,漆包线被牵引至金属板(B)下,然后与第一道线平行,再次在金属板上反向通过(见图 B.2)。用牵引轮(A)控制漆包线牵引速度为 0.25 m/s。将压块(E)放在金属板(B)的漆包线上,并与测力表(C)连接。

测力表与线性记录仪(测量范围为 1 mV~250 mV)连接。该线性记录仪可指示漆包线长距离上的光滑度的分布和水平。

B.4 试验方法 C:第 2 种动摩擦系数试验方法(适用于导体标称直径大于或等于 0.050 mm 且小于或等于 1.600 mm 的漆包圆线)

B.4.1 试验设备

基本的试验设备示例如图 B.3 所示。人造蓝宝石的详细图纸如图 B.4 所示,负荷压块的照片如图 B.5 所示。测量仪如图 B.6 所示,配有牵引装置和收线装置,并以 15 mm/min 的速度牵引导线穿过试验台。试验压块平行于试验台对齐,试验砝码垂直于导线试样。

当把导线拉到试验压块(人造蓝宝石)下时,由于导线表面与蓝宝石表面之间的摩擦而产生纵向力,由两组线性滚珠轴承支撑的轴与测量系统接触,将力传递给测量系统。测量系统所测的力除以试验台上负荷的力,即得到动态摩擦系数。

如图 B.3 所示,动摩擦系数测量仪有用于测量力的测压元件。线性可变差动变压器(linear variable-differential transformer, LVDT)也可用来代替测压元件来测量力。力测量装置的电流输入计算机或微处理器,从而收集测量数据(通常为 1 000 个点)。通过对数据集进行统计,以对试验结果进行合理分析。

注 1: 动摩擦系数的数值大小,可表现润滑的类型和漆包线表面的特征。动摩擦系数的数值通常与导线尺寸无关。

注 2: 矿物油润滑导线的平均动摩擦系数范围通常为 0.16~0.19。石蜡润滑导线的平均动摩擦系数范围通常为 0.03~0.06,根据标准偏差较低,在数值上更加一致。平均值、最大值和标准偏差值,可用于评价润滑剂在导线上的应用和导线表面的光滑度。

该试验程序旨在提供一种测量润滑性和漆膜表面光滑度的方法。试验假定除了与测量仪和包装的相关接触外,在将导线从其包装中取出时仅有最小的表面接触。

若怀疑有灰尘或污垢可能影响摩擦系数,应从包装上取下 1 层~2 层导线,并重新试验。

在每一次试验开始时,与导线接触的表面应保持洁净且干燥。用溶剂清洁负荷压块的表面,应除去所用的各类润滑剂,进行干燥并且无残留漆膜。

B.4.2 试验样品

应检查导线表面是否有损坏、缠绕以及过多的灰尘或污垢。如果出现上述任何一种情况,应在试验前除去此盘的最外层漆包线。应从交货盘、线桶或线轴上放线取下漆包线试样。

B.4.3 试样制备

在试验台上,在试验负荷下牵引漆包线试样。在漆包线表面和负荷之间产生摩擦力(F_d),并传送到适用的测量仪,动摩擦系数(μ_d)为测力仪读数(单位为 N)与负荷(单位为 N)之比。

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

采用电动收线装置使电机以 15 m/min 的速度牵引漆包线试样穿过试验台上的光滑表面。

宜具备可变负荷能产生 0.98 N~9.81 N 的力。

试验压块应由两颗已装好的人造蓝宝石组成,其表面粗糙度不大于 2.4 μm 。蓝宝石的尺寸如图 B.4 所示,放置方式如图 B.5 所示。

若必要,应能牵引漆包线并保持轻微张力。

电子测力装置或传感器用于测量摩擦力。力传感器的范围为 0 N~0.49 N,应安装数据存储装置、微处理器或计算机以对数据集进行统计分析。

由一根阻尼棒和充满油的容器组成机械阻尼系统。来自测压元件或 LVDT 电信号亦可被电子阻尼。

在试验之间,应使用可溶解试验润滑剂的适当清洁溶剂,以清洗蓝宝石和金属表面。

B.4.4 试验步骤

摩擦系数测量仪应保持水平,使压力传感器只测量垂直于所施加负荷的力,而重力未成为影响因素。

在没有任何负荷的情况下调零以校准压力传感器,并通过悬挂 100g 或 200g 砝码来设置跨度。卸下砝码,显示屏读数应变为零。

将试验参数输入微处理器或计算机。

从包装中取下导线,将导线拉过交货盘,依次通过张力轮、导轮、收线轴。

调整导轮,使导线与试验台平行。使用合适的溶剂清洁试验台、导轮和蓝宝石的表面。

从表 B.1 中选取合适的砝码放在负荷压块上。

表 B.1 动摩擦系数试验用负荷压块砝码

导体直径 mm	砝码 g
0.050~0.071	100
0.071~0.125	200
0.125~0.450	600
0.450~1.600	1 000

调整试验台,使试验负荷与试验面平行。在调整稳定并对齐后,打开收线装置,开始收集数据,直到收集的数据点数量达到需求。

分析试验数据的最小读数、最大读数、平均值和标准偏差。动摩擦系数 μ_d 的计算方法如下:

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

式中:

F_d — 力,单位为牛顿(N);

L — 试验负荷,单位为牛顿(N)。

B.5 试验方法 D:扭绞线对法测摩擦力

B.5.1 导体标称直径大于或等于 0.100 mm 且小于或等于 1.500 mm 的漆包圆线

按 GB/T 4074.5—2024 中 4.4 试验方法 13(击穿电压)中使用的方法将漆包线试样制备成一个扭绞线对。将第一根绞合漆包线的一端固定在夹头上,在第二根绞合漆包线的另一端施加拉力。牵拉(比如使用测力仪)第二根漆包线使之自由滑动但不旋转。分离两根绞合漆包线的力即为滑动力。

B.5.2 试验方法

将长约 400 mm 的试样对折后在扭绞机上扭绞成 125 mm 的扭绞线对,如图 B.7 所示。扭绞时施加在线对上的力(重量)和扭绞数见表 B.2 的规定。

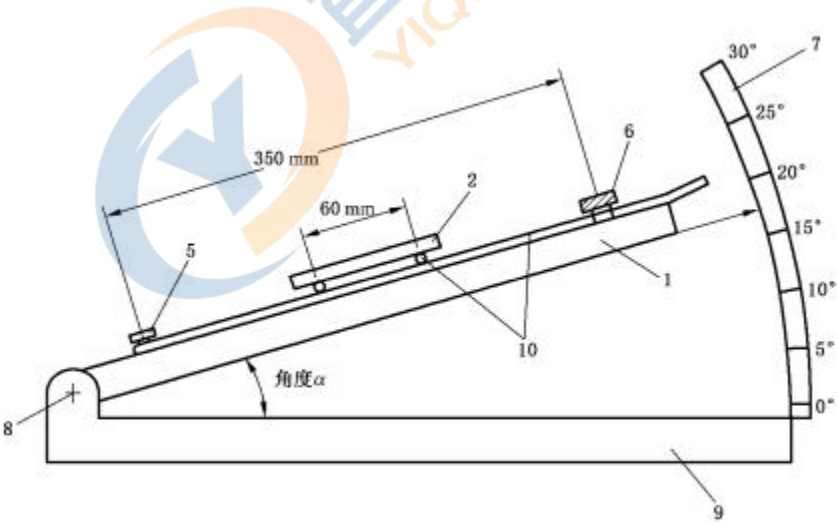
剪断环形端部,使剪开的两端间距尽可能大。

在剪断端或其他未扭绞端的任何弯曲都应保证漆包线之间的间距足够大,但应避免突然弯曲或损伤绝缘。

应将扭绞线对中的一根漆包线的一端紧固在一个夹头上,而在另一根漆包线的另一端施加拉力(重量)使漆包线滑动但不旋转。测试三个试样。

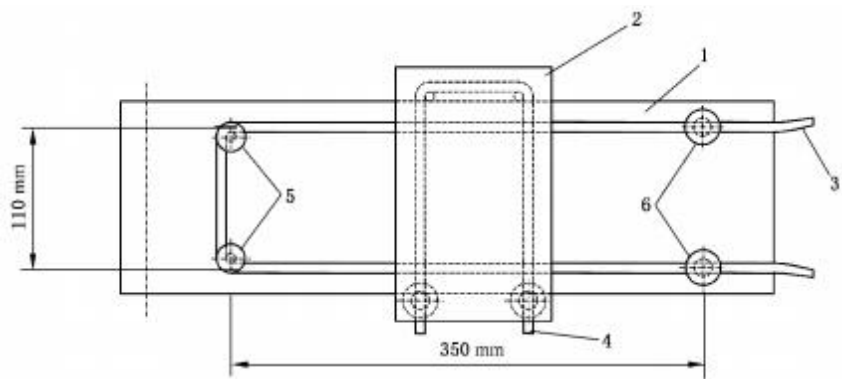
表 B.2 扭绞线

导体标称直径 mm		施加在扭绞线对上的力 N	每 125 mm 的扭绞数
大于	小于或等于		
0.100	0.250	0.85	17
0.250	0.315	1.40	15
0.315	0.400	2.40	13
0.400	0.500	3.40	12
0.500	0.710	6.00	11
0.710	0.800	8.50	10
0.800	0.900	10.00	9
0.900	1.000	12.50	8
1.000	1.120	15.00	7
1.120	1.250	20.00	6
1.250	1.500	27.00	5



a) 侧视图

图 B.1 静摩擦系数测试仪



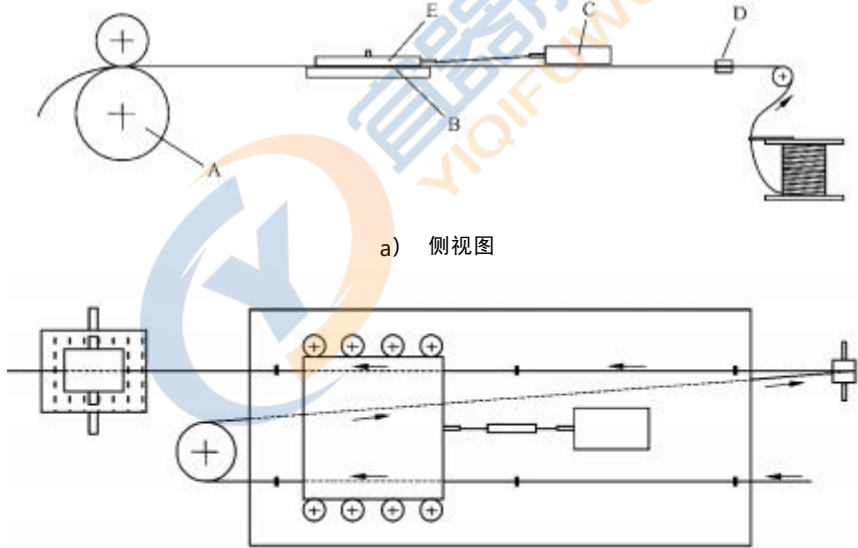
b) 俯视图

标引序号说明：

- 1 — 滑板；
- 2 — 滑块；
- 3 — 试样；
- 4 — 试样；
- 5 — 接线柱；

- 6 — 夹头；
- 7 — 刻度尺；
- 8 — 轴心；
- 9 — 支架。
- 10 — 绕组线试样。

图 B.1 静摩擦系数试验仪 (续)



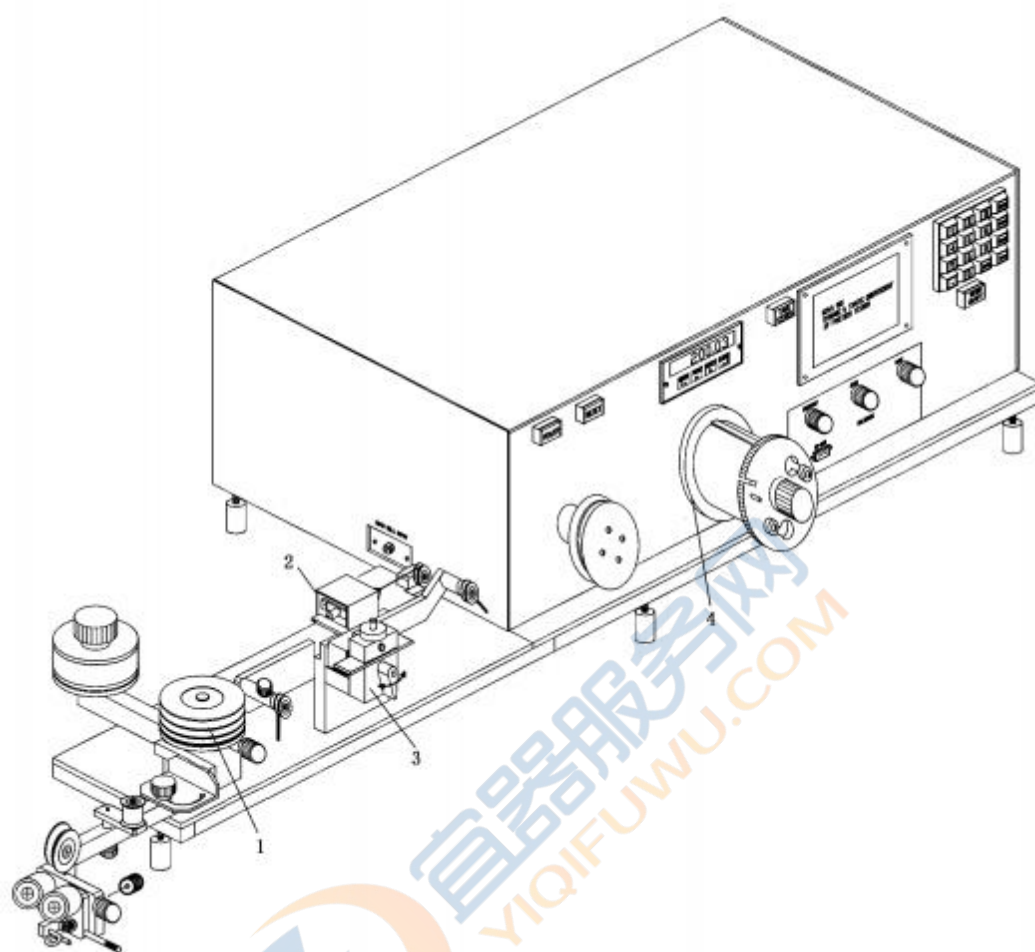
a) 侧视图

b) 俯视图

标引序号说明：

- A — 牵引轮；
- B — 金属板；
- C — 测力计；
- D — 制动器；
- E — 压块。

图 B.2 动摩擦系数试验仪



标引序号说明：

- 1—张力轮；
- 2—测压元件；
- 3—蓝宝石试验头与支撑压块装置；
- 4—收线装置。

图 B.3 动摩擦系数试验仪

单位为毫米

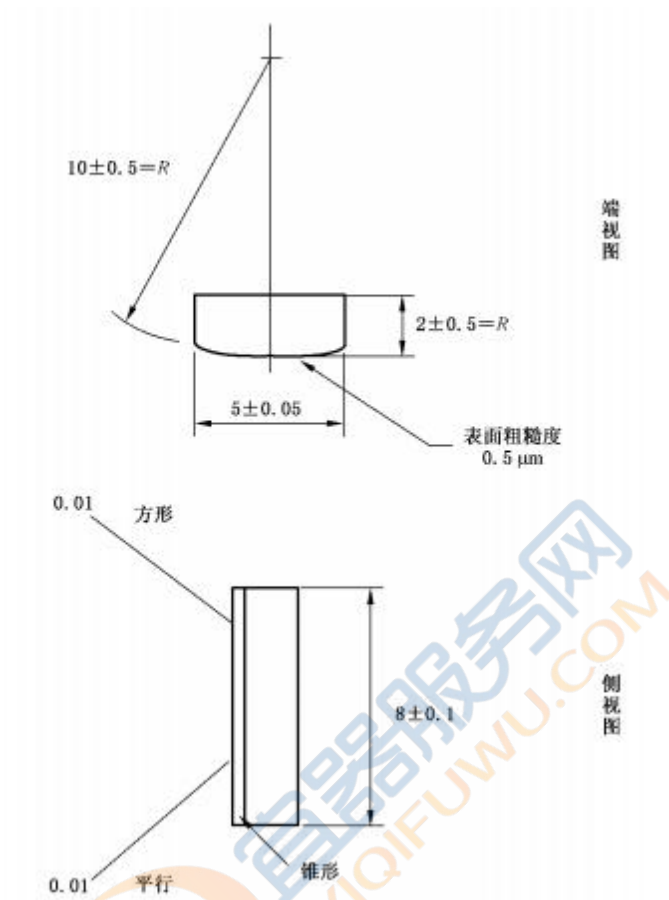


图 B.4 材料-人造蓝宝石

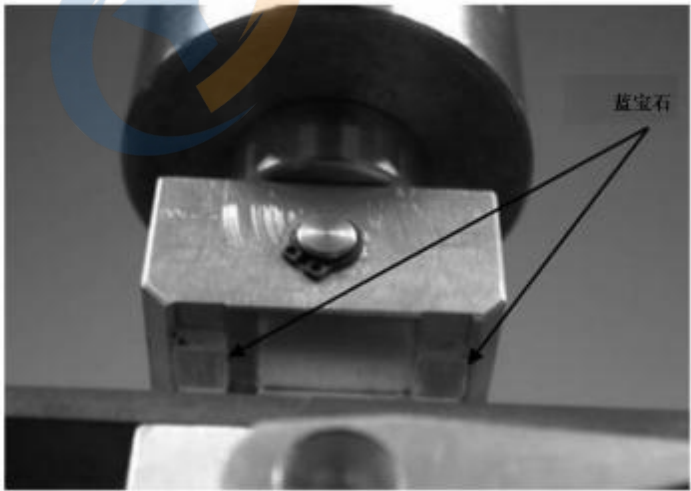


图 B.5 装在负荷压块上的人造蓝宝石

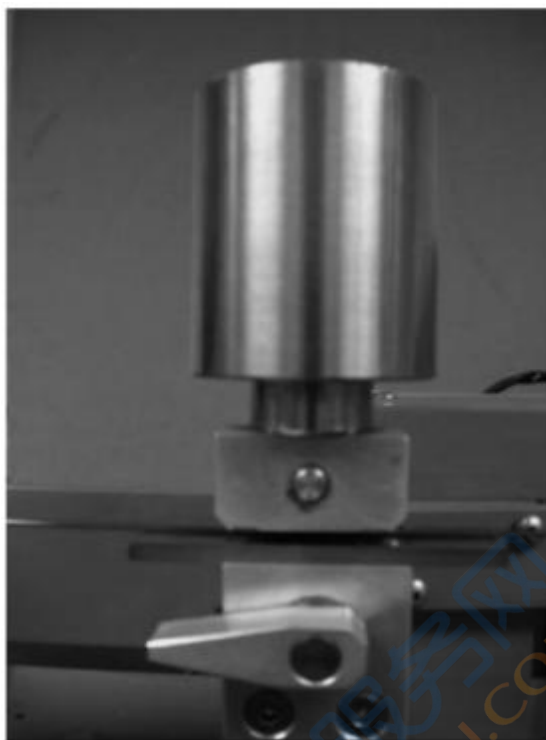


图 B.6 施加的负荷垂直于导线

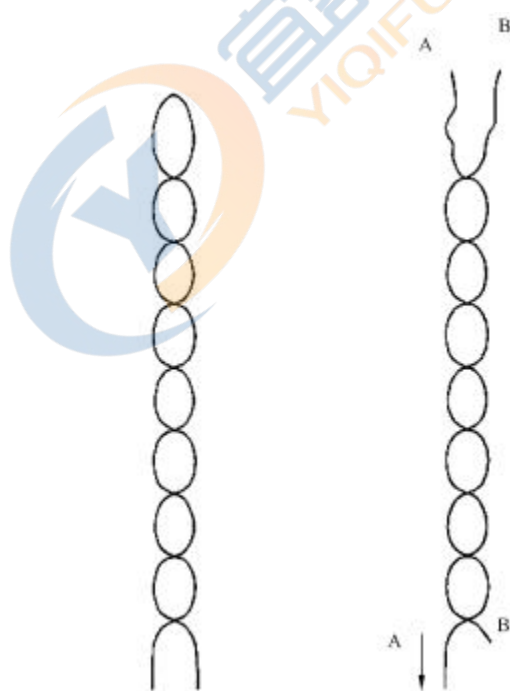


图 B.7 扭绞试样

参 考 文 献

- [1] GB/T 4074.5—2024 绕组线试验方法 第5部分:电性能
 - [2] IEC 60264(allparts) Packaging ofwinding wires
 - [3] IEC 60317 (allparts) Specifications for particular types ofwinding wires
 - [4] IEC 60851-1 Winding wires—Test methods—Part1:General
 - [5] IEC 61033:2006 Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents to an enamelled wire substrate
-

