



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13542.2—2021

代替 GB/T 13542.2—2009

## 电气绝缘用薄膜 第2部分：试验方法

Plastic films for electrical purposes—Part 2: Methods of test

(IEC 60674-2:2019, Specification for plastic films for electrical purposes—  
Part 2: Methods of test, MOD)

2021-10-11 发布

2022-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
电气绝缘用薄膜 第 2 部分:试验方法  
GB/T 13542.2—2021

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)  
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2021 年 10 月第一版

\*

书号: 155066 · 1-68633

版权专有 侵权必究

## 目 次

前言 .....	IX
引言 .....	XII
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 试验一般说明 .....	2
4.1 取样 .....	2
4.2 预处理条件 .....	2
4.3 试验条件 .....	2
5 厚度 .....	2
5.1 概述 .....	2
5.2 机械法 .....	3
5.2.1 概述 .....	3
5.2.2 单层法 .....	3
5.2.2.1 原理 .....	3
5.2.2.2 测量仪器 .....	3
5.2.2.3 测量 .....	3
5.2.2.4 结果 .....	3
5.2.3 叠层法 .....	3
5.2.3.1 测量仪器 .....	3
5.2.3.2 测量 .....	3
5.2.3.3 结果 .....	3
5.3 重量法(质量密度法) .....	4
5.3.1 用重量法测定试样的平均厚度 .....	4
5.3.1.1 原理 .....	4
5.3.1.2 测量仪器 .....	4
5.3.1.3 测量 .....	4
5.3.1.4 结果 .....	4
5.3.2 用重量法测定卷的平均厚度 .....	4
5.4 横向厚度分布和纵向厚度变化 .....	4
6 密度 .....	4
7 宽度 .....	4
8 卷绕性(偏移/弧形或凹陷) .....	5

8.1	原理	5
8.2	概述	6
8.3	方法 A	6
8.3.1	原理	6
8.3.2	偏移/弧形的测量	6
8.3.2.1	设备	6
8.3.2.2	试样	7
8.3.2.3	程序	7
8.3.2.4	结果	7
8.3.3	凹陷的测量	7
8.3.3.1	设备	7
8.3.3.2	试样	7
8.3.3.3	程序	7
8.3.3.4	结果	8
8.4	方法 B	8
8.4.1	原理	8
8.4.2	设备	8
8.4.3	试样	8
8.4.4	程序	8
8.4.5	结果	9
9	表面粗糙度	9
9.1	概述	9
9.2	测量原理	9
9.3	试验仪器和用品	9
9.4	试样	9
9.5	程序	9
9.6	结果	9
10	空隙率	9
10.1	试验仪器	9
10.2	试样	9
10.3	程序	10
10.4	结果	10
11	摩擦系数	10
12	湿润张力(聚烯烃薄膜)	10
12.1	原理	10
12.2	设备	10
12.3	试剂	10

12.4	试样	11
12.5	条件处理	11
12.6	程序	12
12.7	评定	12
12.8	结果	12
13	拉伸强度和断裂伸长率	12
13.1	概述	12
13.2	试样	12
13.3	试验速度	12
13.4	程序	12
13.5	试验结果	13
14	边缘撕裂性	13
14.1	概述	13
14.2	试样	13
14.3	程序	13
14.4	试验结果	14
15	内撕裂性	14
16	挺度	14
17	表面电阻率	14
18	体积电阻率	14
18.1	方法 1 电极法	14
18.2	方法 2 模型电容器法(适用于卷绕电容器介质用薄膜或对方法 1 来说更薄的薄膜)	15
18.2.1	原理	15
18.2.2	试样	15
18.2.3	设备或器具	16
18.2.4	程序	16
18.2.5	结果	16
19	介质损耗因数和电容率	16
19.1	概述	16
19.2	方法 1 接触电极法	16
19.2.1	概述	16
19.2.2	样品和试样操作处理	16
19.2.3	测量前样品条件处理	16
19.2.4	接触式电极测量	17
19.2.4.1	概述	17
19.2.4.2	电极材料	18
19.2.4.2.1	蒸发或真空喷镀金属	18

19.2.4.2.2	导电银漆	18
19.2.4.2.3	金属箔	18
19.3	方法 2 非接触式电极测量	18
19.3.1	概述	18
19.3.2	空气替代法	18
19.3.2.1	变间距法	18
19.3.2.1.1	原理	18
19.3.2.1.2	电极结构	19
19.3.2.1.3	测量电桥	19
19.3.2.1.4	试样	19
19.3.2.1.5	程序	19
19.3.2.1.6	结果	20
19.3.2.2	变电容法	20
19.3.2.2.1	原理	20
19.3.2.2.2	电极结构	20
19.3.2.2.3	测量电桥	20
19.3.2.2.4	试样	20
19.3.2.2.5	程序	20
19.3.2.2.6	结果	21
19.3.3	流体排出法	21
19.4	方法 3 模型电容器法	21
19.4.1	概述	21
19.4.2	设备	21
19.4.3	试样	22
19.4.4	程序	22
19.4.5	试验结果	22
20	浸渍状态下介质损耗因数	23
21	电气强度	23
21.1	交流和直流试验(片状薄膜夹在金属电极间)	23
21.2	直流试验(模型电容器元件)	23
21.2.1	试验装置	23
21.2.2	试样及其制备	23
21.2.3	程序	23
21.2.4	试验结果	23
21.3	薄膜厚度小于或等于 6 μm 的直流试验	23
22	电弱点	24
22.1	概述	24

22.2	方法 A——窄条试验法	24
22.2.1	试验装置	24
22.2.2	试样	25
22.2.3	程序	25
22.2.4	结果	25
22.3	方法 B——平板法	25
22.3.1	概述	25
22.3.2	试验装置	26
22.3.3	程序	26
22.3.4	结果	26
22.4	方法 C——宽条成卷试验法	27
22.4.1	概述	27
22.4.2	放卷系统	27
22.4.2.1	概述	27
22.4.2.2	方法 C1	27
22.4.2.3	方法 C2	27
22.4.2.4	方法 C3	28
22.4.3	弱点计数器	29
22.4.4	程序	29
22.4.5	结果	29
23	耐表面放电击穿性	29
24	电解腐蚀	30
25	熔点	30
25.1	方法 A——DSC 法	30
25.2	方法 B——弯液面法	30
25.2.1	概述	30
25.2.2	试验仪器和材料	30
25.2.3	试样	30
25.2.4	程序	30
25.2.5	结果	31
26	收缩率	31
26.1	试样	31
26.2	程序	31
26.3	结果	32
27	拉力下尺寸稳定性	32
27.1	设备	32
27.2	试样	32

27.3	程序	32
27.4	结果	33
28	压力下尺寸稳定性	33
28.1	设备	33
28.2	试样	33
28.3	程序	33
28.4	结果	34
29	耐高温穿透性	34
29.1	概述	34
29.2	原理	34
29.3	设备	34
29.4	试样	35
29.5	程序	35
29.6	结果	35
30	挥发物含量(热失重)	35
30.1	设备	35
30.2	试样	35
30.3	程序	36
30.4	结果	36
31	长期耐热性	36
32	燃烧性	36
32.1	方法 A	36
32.1.1	原理	36
32.1.2	设备	36
32.1.3	试样	37
32.1.4	条件处理	37
32.1.5	程序	37
32.1.6	结果说明	37
32.2	方法 B	38
33	潮湿空气中的吸湿性	38
33.1	设备或器具	38
33.2	试样	38
33.3	程序	38
33.3.1	收货状态材料的吸湿性	38
33.3.2	干燥材料的吸湿性	38
33.3.3	结果	39
34	吸液性	39



34.1	原理	39
34.2	设备	39
34.3	试样	39
34.4	程序	39
34.5	结果	40
35	离子杂质萃取	40
36	绝缘漆/液态可聚合树脂复合物的影响	40
36.1	设备	40
36.2	试样	40
36.3	程序	40
36.3.1	绝缘漆	40
36.3.2	液态可聚合树脂复合物	41
36.4	结果	41
	参考文献	42
图 1	卷绕性测定示意图(方法 A 偏移/弧形的测量)	5
图 2	卷绕性测定示意图(方法 A 偏移/弧形的测量及方法 B 偏移/弧形、凹陷的测量)	5
图 3	卷绕性测定示意图(凹陷的测量)	6
图 4	边缘撕裂性试验示意图	14
图 5	测量体积电阻率用模型电容器试样结构示意图	15
图 6	低频(最大 50 kHz)测量的三电极系统	17
图 7	高频(50 kHz 以上)测量的两电极系统	17
图 8	不接触电极结构原理图	19
图 9	测量介质损耗因数和电容率试样结构示意图	22
图 10	厚度小于或等于 6 $\mu\text{m}$ 薄膜击穿测量系统原理图	24
图 11	电弱点试验示意图(方法 A)	25
图 12	电弱点试验示意图(方法 B)	26
图 13	电弱点试验示意图(方法 C1)	27
图 14	电弱点试验示意图(方法 C2)	28
图 15	电弱点试验示意图	28
图 16	弯液面法熔点测定示意图	31
图 17	拉力下尺寸稳定性试验示意图	33
图 18	压力下尺寸稳定性试验示意图	34
图 19	耐高温穿透测试仪示意图	35
表 1	测量聚乙烯和聚丙烯薄膜湿润张力时所用的乙二醇单乙醚、甲酰胺混合液的浓度	11
表 2	材料自熄性分级	38



## 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 13542《电气绝缘用薄膜》的第 2 部分。GB/T 13542 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：定义和一般要求；
- 第 2 部分：试验方法；
- 第 3 部分：电容器用双轴定向聚丙烯薄膜；
- 第 4 部分：聚酯薄膜；
- 第 6 部分：电气绝缘用聚酰亚胺薄膜。

本文件代替 GB/T 13542.2—2009《电气绝缘用薄膜 第 2 部分：试验方法》，与 GB/T 13542.2—2009 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 将 5.2.2 厚度测量中单层法的测量值由 27 次修改为 9 次(见 5.2.2.3, 2009 年版的 4.1.1.3)；
- b) 在 5.4 “横向厚度分布和纵向厚度变化”中增加了“通常用红外或激光不接触测量方法测量厚度。若是成膜和收卷厚度变化有要求时，制造商在生产线上安装这种测量装置。测量最小分辨率、准确度和测量表面积(宽度和长度)在产品标准中规定”的具体内容(见 5.4, 2009 年版的 4.4)；
- c) 第 8 章“卷绕性(偏移/弧形和凹陷)”，增加了方法 A 和方法 B 原理的内容(见 8.3.1 和 8.4.1, 2009 年版的 7.2 和 7.3)；
- d) 第 11 章“摩擦系数”，增加了“原理”(见第 11 章, 2009 年版的第 9 章)；
- e) 第 13 章“拉伸强度和断裂伸长率”修改为按 GB/T 1040.3—2006 的方法(见第 13 章, 2009 年版的第 11 章)；第 14 章“边缘撕裂性”修改为按 GB/T 1310.2—2009 中第 10 章的方法(见第 14 章, 2009 年版的第 12 章)；第 15 章“内撕裂性”增加了 GB/T 16578.1 的测量方法(见第 15 章, 2009 年版的第 13 章)；
- f) 第 17 章“表面电阻率”修改为按 GB/T 31838.3 的方法(见第 17 章, 2009 年版的第 15 章)；第 18 章“体积电阻率”方法 1 电极法修改为按 GB/T 31838.2 的方法, 另高压电极的直径由 27 mm 修改为至少为 40 mm(见 18.1, 2009 年版的 16.1)；
- g) 增加了第 20 章“浸渍状态下介质损耗因数”(见第 20 章)；
- h) 第 21 章“电气强度”，增加了直流试验法按 GB/T 1408.2 的方法(见 21.1, 2009 年版的 18.2)及小于或等于 6  $\mu\text{m}$  的薄膜直流试验条款(见 21.3)；
- i) 第 22 章“电弱点”，将方法 C 修改为方法 C1、方法 C2 或方法 C3(见 22.4, 2009 年版的 19.3)；
- j) 第 23 章“耐表面放电击穿性”，修改为按 GB/T 22689(见第 23 章, 2009 年版的第 20 章)；第 25 章“熔点”DSC 法, 由按 IEC 61074:1991 方法修改为按 GB/T 19466.3 方法(见 25.1, 2009 年版的 22.1)；第 29 章“耐高温穿透性”，修改为按 GB/T 20631.2—2006 中第 10 章(见第 29 章, 2009 年版的第 26 章)；
- k) 第 32 章“燃烧性”，增加了方法 B, 按 GB/T 20631.2—2006 中第 20 章的试验方法(见 32.2)。

本文件使用重新起草法修改采用 IEC 60674-2:2019《电气用塑料薄膜 第 2 部分：试验方法》。

本文件与 IEC 60674-2:2019 相比，在结构上将第 35 章和第 36 章合并为一章。

本文件与 IEC 60674-2:2019 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线( )进行了标示。

本文件与 IEC 60674-2:2019 的技术性差异及其原因如下：

- a) 关于规范性引用文件,本文件做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:
  - 1) 用等同采用国际标准的 GB/T 451.3 代替了 ISO 534;
  - 2) 用等同采用国际标准的 GB/T 1033.1 代替了 ISO 1183;
  - 3) 用等同采用国际标准的 GB/T 1408.2 代替了 IEC 60243-2;
  - 4) 用修改采用国际标准的 GB/T 1409—2006 代替了 IEC 60250:1969;
  - 5) 用等同采用国际标准的 GB/T 6672 代替了 ISO 4593;
  - 6) 用等同采用国际标准的 GB/T 6673 代替了 ISO 4592;
  - 7) 用等同采用国际标准的 GB/T 7196 代替了 IEC 60589;
  - 8) 用等同采用国际标准的 GB/T 10006 代替了 ISO 8295;
  - 9) 用等同采用国际标准的 GB/T 10582 代替了 IEC 60426;
  - 10) 用等同采用国际标准的 GB/T 11026(所有部分)代替了 IEC 60216(所有部分);
  - 11) 用修改采用国际标准的 GB/T 13542.3、GB/T 13542.4、GB/T 13542.6 代替了 IEC 60674-3(所有部分);
  - 12) 用等同采用国际标准的 GB/T 16578.1 代替了 ISO 6383-1;
  - 13) 用等同采用国际标准的 GB/T 16578.2 代替了 ISO 6383-2;
  - 14) 用等同采用国际标准的 GB/T 19466.3 代替了 ISO 11357-3:2011;
  - 15) 用等同采用国际标准的 GB/T 20631.2—2006 代替了 IEC 60454-2:2007;
  - 16) 用等同采用国际标准的 GB/T 22689 代替了 IEC 60343;
  - 17) 用等同采用国际标准的 GB/T 31838.2 代替了 IEC 62631-3-1;
  - 18) 用等同采用国际标准的 GB/T 31838.3 代替了 IEC 62631-3-2;
  - 19) 增加了规范性引用文件 GB/T 25915.1—2010。
- b) 增加了“术语和定义”一章(见第 3 章)。
- c) 为方便使用,在 4.3 中增加了试验条件(见 4.3)。
- d) 为方便使用,在第 5 章“厚度”中,增加了对测量仪器的规定、测量程序和“质量密度法”计算公式(见 5.2.2.2、5.2.3.1、5.3.1.2~5.3.1.4)。
- e) 考虑到我国实际需要,在第 8 章“卷绕性”中,将“设备”条款中的“辊的直径为 100 mm ± 10 mm”修改为“辊的直径为 100 mm ± 1 mm”(见第 8 章)。
- f) 考虑到我国实际需要,在第 9 章“表面粗糙度”增加了具体测量方法(见第 9 章)。
- g) 考虑到我国实际需要,在第 10 章“空隙率”增加了试验仪器、试样和程序(见 10.1、10.2、10.3)。
- h) 考虑到我国实际需要,在第 13 章“拉伸强度和断裂伸长率”中,增加了试验程序和结果计算(见 13.4 和 13.5)。
- i) 考虑到我国实际需要,在第 14 章“边缘撕裂性”中,增加了试样、试验程序、试验结果和示意图(见 14.2、14.3、14.4)。
- j) 考虑到我国实际需要,在第 18 章“体积电阻率”中,增加了图 4 和设备或器具(见 18.2.2 和 18.2.3)。
- k) 考虑到我国实际需要,在第 19 章“介质损耗因数和电容率”中,保留了 IEC 60674-2(2001 年第 1 次修订)中“非接触式电极测量”方法(变电容法、变间距法),并细化了计算公式;并对“模型电容器法”进行了细化,增加了计算公式(见 19.3.2.1 和 19.3.2.2);在“流体排出法”中增加了设备、试样和试验结果(见 19.4)。
- l) 为方便使用,在第 21 章“电气强度”中,在“直流试验”中增加了试验装置、试样及其制备、程序和试验结果(见 21.2.1~21.2.4)。

- m) 考虑到我国实际需要,将第 22 章“电弱点”试验中铝箔电极的厚度由  $6\ \mu\text{m}$  改为  $7\ \mu\text{m}$ ,另外将施加直流电压由  $100\ \text{V}/\mu\text{m}$  改为产品标准规定的电压值  $200\ \text{V}/\mu\text{m}$ (见 22.2.1 和 22.3.2)。
- n) 考虑到我国实际需要,在第 25 章“熔点”中增加了“方法 B——弯液面法”(见 25.2)。
- o) 为方便使用,在第 26 章“收缩率”中,增加了结果的计算公式(见 26.3)。
- p) 为方便使用,在第 27 章“拉力下尺寸稳定性”、第 28 章“压力下尺寸稳定性”中,增加了设备及试验示意图(见 27.1、28.1 和图 18)。
- q) 为方便使用,在第 29 章“耐高温穿透性”中,增加了设备、程序及试验示意图(见 29.3 和 29.5)。
- r) 为方便使用,在第 30 章“挥发物含量”中,增加了设备(见 30.1)。
- s) 考虑到我国实际需要,在第 32 章“燃烧性”中,将“试样距燃烧器顶端  $9.5\ \text{mm}$ ”修改为“试样距燃烧器顶端  $10\ \text{mm}$ ”(见 32.1.5);增加了试验方法 B(见 32.2)。
- t) 为方便使用,在第 33 章“潮湿空气中的吸湿性”中,增加了结果的计算公式(见 33.3.3)。

本文件做了下列编辑性修改:

——为与现有标准协调,将标准名称修改为《电气绝缘薄膜 第 2 部分:试验方法》。

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。

本文件由全国绝缘材料标准化技术委员会(SAC/TC 51)归口。

本文件起草单位:桂林赛盟检测技术有限公司、全球能源互联网研究院有限公司、四川东材科技集团股份有限公司、泉州嘉德利电子材料有限公司、浙江南洋科技有限公司、江苏裕兴薄膜科技股份有限公司、安徽铜峰电子股份有限公司、桂林电器科学研究院有限公司、桂林电力电容器有限责任公司、中车永济电机有限公司、泰州钰明新材料有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、广西南宝特电气制造有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、厦门法拉电子股份有限公司、广东义胜检测有限公司、陕西润正检测科技有限公司、义乌源泰智能科技有限公司、西安凯金哲检测有限公司、广东全庆检测有限公司、广东永汇科技有限公司。

本文件主要起草人:王先锋、宋玉侠、赵婕、邢照亮、李杰霞、罗传勇、孙宇、计玉萍、周雨力、文裕、黄泽忠、丁邦建、蒙钊、储松潮、陈松、史开华、侯晓军、朱永明、何明鹏、唐仕平、邓军、黄顺达、向小云、邓代从、陈双杰、张直焕、彭宜俊、陈英。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

- 1992 年首次发布为 GB/T 13541—1992;
- 2009 年第一次修订为 GB/T 13542.2—2009;
- 本次为第二次修订。



## 引 言

电气用绝缘薄膜标准广泛应用于该系列产品的研发、生产、质检、销售、验收及技术交流等,修订 GB/T 13542.2—2009 主要解决了标准因其标龄过长,许多内容需要依据当前该产品试验方法新的变化实际需要而急需修订完善的问题,IEC 也根据技术发展推出了 IEC 60674-2:2019(第 2.1 版),因此需要紧贴国际标准变化对原国家标准进行修订。修订后的标准可保证其时效性、科学性,对电气用绝缘薄膜试验方法标准进行了重新规定,可指导行业更加有效地开展对电气用绝缘薄膜的检测和评定,可提高电气用绝缘薄膜产品的质量及应用可靠性。

电气用绝缘薄膜涉及产品种类较多,对应的 IEC 60674(电气用塑料薄膜规范)标准分为不同的部分(或篇)编写的,为保持与对应的 IEC 标准编写方法基本一致,加之对不同种类薄膜产品的技术性能要求也不相同,在编制本产品标准时需单列不同部分进行编制。

GB/T 13542 规定了电气用绝缘薄膜的定义和一般要求、试验方法、各单项材料产品标准,由下列部分构成:

- 第 1 部分:定义和一般要求。目的是确定电气用绝缘薄膜的术语和定义、一般要求。
- 第 2 部分:试验方法。目的是确定电气用绝缘薄膜的试验方法。
- 第 3 部分:电容器用双轴定向聚丙烯薄膜。目的是确定电容器用双轴定向聚丙烯薄膜的分类与命名、尺寸、性能要求和膜卷特性。
- 第 4 部分:聚酯薄膜。目的是确定电气绝缘用聚酯薄膜的分类、尺寸、性能要求和膜卷特性。
- 第 6 部分:电气绝缘用聚酰亚胺薄膜。目的是确定电气绝缘用聚酰亚胺薄膜的分类与命名、尺寸、性能要求和膜卷特性。

## 电气绝缘用薄膜 第2部分:试验方法

### 1 范围

本文件描述了电气绝缘用薄膜的试验方法。

本文件适用于电气绝缘用薄膜。

### 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 451.3 纸和纸板厚度的测量(GB/T 451.3—2002, idt ISO 534:1988)

GB/T 1033.1 塑料 非泡沫塑料密度的测定 第1部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法(GB/T 1033.1—2008, ISO 1183-1:2004, IDT)

GB/T 1040.3—2006 塑料 拉伸性能的测定 第3部分:薄膜和薄片的试验条件(ISO 527-3:1995, IDT)

GB/T 1310.2—2009 电气用浸渍织物 第2部分:试验方法(IEC 60394-2:1972, IDT)

GB/T 1408.1—2016 绝缘材料 电气强度试验方法 第1部分:工频下试验(IEC 60243-1:2013, IDT)

GB/T 1408.2 绝缘材料 电气强度试验方法 第2部分:对应用直流电压试验的附加要求(GB/T 1408.2—2016, IEC 60243-2:2013, IDT)

GB/T 1409—2006 测定电气绝缘材料在工频、音频、高频(包括米波波长在内)下电容率和介质损耗因数的推荐方法(IEC 60250:1969, MOD)

GB/T 6672 塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法(GB/T 6672—2001, idt ISO 4593:1993)

GB/T 6673 塑料薄膜和薄片长度和宽度的测定(GB/T 6673—2001, idt ISO 4592:1992)

GB/T 7196 用液体萃取测定电气绝缘材料离子杂质的试验方法(GB/T 7196—2012, IEC 60589:1997, IDT)

GB/T 10006 塑料 薄膜和薄片 摩擦系数测定方法(GB/T 10006—2021, ISO 8295:1995, IDT)

GB/T 10580—2015 固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件(IEC 60212:2010, IDT)

GB/T 10582 电气绝缘材料 测定因绝缘材料引起的电解腐蚀的试验方法(GB/T 10582—2008, IEC 60426:2007, IDT)

GB/T 11026(所有部分) 电气绝缘材料 耐热性[IEC 60216(所有部分)]

GB/T 13542.3 电气绝缘用薄膜 第3部分:电容器用双轴定向聚丙烯薄膜(GB/T 13542.3—2006, IEC 60674-3-1:1998, MOD)

GB/T 13542.4 电气绝缘用薄膜 第4部分:聚酯薄膜(GB/T 13542.4—2009, IEC 60674-3-2:1992, MOD)

GB/T 13542.6 电气绝缘用薄膜 第6部分:电气绝缘用聚酰亚胺薄膜(GB/T 13542.6—2006, IEC 60674-3-4/6:1993, MOD)

## GB/T 13542.2—2021

GB/T 16578.1 塑料 薄膜和薄片 耐撕裂性能的测定 第1部分:裤形撕裂法(GB/T 16578—2008,ISO 6383-1:1983,IDT)

GB/T 16578.2 塑料 薄膜和薄片 耐撕裂性能的测定 第2部分:埃莱门多夫(Elmendor)法(GB/T 16578.2—2009,ISO 6383-2:1983,IDT)

GB/T 19466.3 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第3部分:熔融和结晶温度及热焓的测定(GB/T 19466.3—2004,ISO 11357-3:1999,IDT)

GB/T 20220—2006 塑料薄膜和薄片 样品平均厚度、卷平均厚度及单位质量面积的测定 称量法(称量厚度)(ISO 4591:1992,IDT)

GB/T 20631.2—2006 电气用压敏胶粘带 第2部分:试验方法(IEC 60454-2:1994,IDT)

GB/T 22689 测定固体绝缘材料相对耐表面放电击穿能力的推荐试验方法(GB/T 22689—2008,IEC 60343:1991,IDT)

GB/T 25915.1—2010 洁净室及相关受控环境 第1部分:空气洁净度等级(ISO 14644-1:1999,IDT)

GB/T 31838.2 固体绝缘材料 介电和电阻特性 第2部分:电阻特性(DC方法) 体积电阻和体积电阻率(GB/T 31838.2—2019,IEC 62631-3-1:2016,IDT)

GB/T 31838.3 固体绝缘材料 介电和电阻特性 第3部分:电阻特性(DC方法) 表面电阻和表面电阻率(GB/T 31838.3—2019,IEC 62631-3-2:2015,IDT)

### 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

### 4 试验一般说明

#### 4.1 取样

从薄膜卷上取样时,应至少先剥去最外3层薄膜,并按有关性能的要求制样。

#### 4.2 预处理条件

除非产品标准或本文件中个别试验另有规定外,制样前,样品薄膜卷应在 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $50\%\pm 5\%$ 的条件下至少放置24 h。取好的试样应在该条件下处理1 h。

#### 4.3 试验条件

除非产品标准或本文件中个别试验另有规定外,试验应在温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $50\%\pm 5\%$ 、环境洁净度 $\leq 10\ 000$ 级(按GB/T 25915.1—2010中ISO 7级要求,关注 $0.5\ \mu\text{m}$ 粒径)的条件下进行。

### 5 厚度

#### 5.1 概述

厚度应按GB/T 13542.3、GB/T 13542.4、GB/T 13542.6以及其他有关产品标准的要求采用下列规定中的一种或几种方法进行测定。



## 5.2 机械法

### 5.2.1 概述

给出两种方法,一种用单层法,另一种用叠层法。

### 5.2.2 单层法

#### 5.2.2.1 原理

根据 GB/T 6672,用立式光学计或其他合适的测厚仪测量单张试样的厚度。

#### 5.2.2.2 测量仪器

薄膜厚度小于 100  $\mu\text{m}$  时,用立式光学计或其他合适的测厚仪测量。采用直径为 2 mm 的平面测帽或曲率半径为 25 mm~50 mm 的球面测帽。测量压力为 0.5 N~1 N。薄膜厚度 $\geq$ 100  $\mu\text{m}$  时,可用千分尺测量。

所需仪器精度如下:

- 薄膜厚度 $<$ 15  $\mu\text{m}$  时,精度不低于 0.2  $\mu\text{m}$ ;
- 薄膜厚度 $\geq$ 15  $\mu\text{m}$  但 $<$ 100  $\mu\text{m}$  时,精度不低于 1  $\mu\text{m}$ ;
- 薄膜厚度 $\geq$ 100  $\mu\text{m}$  时,精度不低于 2  $\mu\text{m}$ 。

#### 5.2.2.3 测量

沿样品宽度方向切取三条约 100 mm 宽的薄膜(当膜卷宽度小于 400 mm 时,可适当多取几条),试样不应有皱折或其他缺陷。

按 GB/T 6672 的规定,用合适的平面或球面测帽的测厚仪,测量试样的厚度。

在试样上等距离共测量 9 点,试样宽不小于 300 mm,沿试样长方向两测量点间不少于 50 mm。对未切边的卷,测量点应离薄膜边缘 50 mm;对已切边的卷,测量点应离薄膜边缘 2 mm。

#### 5.2.2.4 结果

取测量值的中值作为试验结果,并报告最大值和最小值。

### 5.2.3 叠层法

#### 5.2.3.1 测量仪器

千分尺:精度为 1  $\mu\text{m}$ ,直径为 6 mm 的平面测帽,测量压力为 6 N~10 N。

#### 5.2.3.2 测量

按 GB/T 451.3 对叠层厚度进行测量,与多片测量结果不同。薄膜叠层试样数量为四个,每个叠层试样由 12 层薄膜组成。其制备方法如下:从离膜卷的外表面约 0.5 mm 厚处切取,并沿薄膜样条的长度方向缠绕于洁净的样板(尺寸宜为:250 mm $\times$ 200 mm,其中 200 mm 为板的长度方向尺寸)。在测量之前去掉叠层的最外层和最内层(实际测量 10 层),再进行测量。

#### 5.2.3.3 结果

叠层试样测量厚度除以 10,得到单层薄膜厚度,取其平均值作为试验结果,并报告最大值和最小值。

### 5.3 重量法(质量密度法)

#### 5.3.1 用重量法测定试样的平均厚度

##### 5.3.1.1 原理

按 GB/T 20220—2006 中的第 3 章,根据测定的质量、面积和密度计算样品的厚度。

##### 5.3.1.2 测量仪器

采用下列仪器及器具:

——分析天平:感量 0.1 mg;

——钢板尺:分度值 0.5 mm。

##### 5.3.1.3 测量

在薄膜卷上取三片长方形试样,每片质量约 300 mg。用钢板尺测量试样的尺寸并计算面积,用分析天平测量试样质量。按第 6 章规定测量试样的密度。

##### 5.3.1.4 结果

每个测量值的结果按式(1)计算:

$$h = \frac{10\,000\,m}{d \cdot s} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$h$  ——试样厚度的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$m$  ——试样质量的数值,单位为克(g);

$s$  ——试样面积的数值,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );

$d$  ——试样实测密度的数值,单位为克每立方厘米( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

取三个计算值的中值作为试验结果,结果取三位有效数字。

#### 5.3.2 用重量法测定卷的平均厚度

原理:按 GB/T 20220—2006 中的第 4 章,根据卷的长度、平均宽度和净重以及薄膜的密度计算平均厚度。

### 5.4 横向厚度分布和纵向厚度变化

通常用红外或激光不接触测量方法测量厚度。若是成膜和收卷厚度变化有要求时,制造商在生产线上安装这种测量装置。测量最小分辨率、准确度和测量表面积(宽度和长度)在产品标准中规定。

## 6 密度

按 GB/T 1033.1 的规定测定,具体方法由产品标准规定。

## 7 宽度

按 GB/T 6673 的规定进行测定,沿样品纵向取 5 m,使薄膜处于放松状态 1 h 后,沿纵向等距离测定宽度五次。

记录每一宽度测定值,取中值作为该卷的宽度。

## 8 卷绕性(偏移/弧形或凹陷)

### 8.1 原理

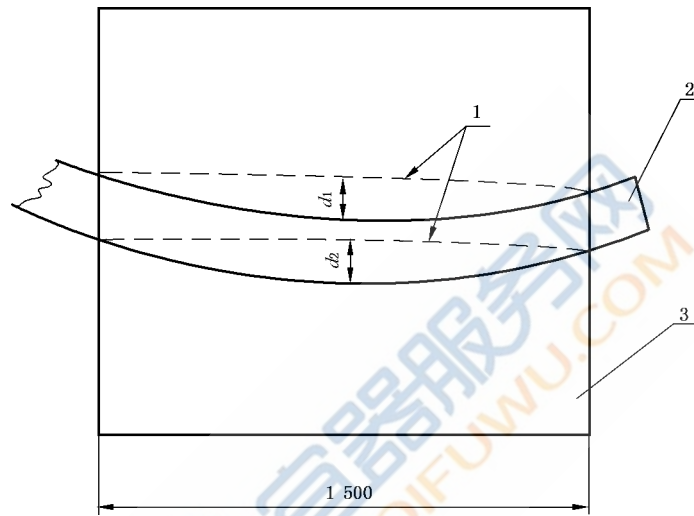
评定成卷供货的薄膜的变形情况。

薄膜的变形可能有两种形式,它们会影响以后使用时的绕包性。这两种变形如下:

——偏移/弧形:薄膜平整地展开时,其边缘不呈直线(见图 1);

——凹陷:薄膜的局部面积因受拉伸,从而会出现低于总平面的凹陷部分(见图 2 和图 3)。

单位为毫米



标引序号说明:

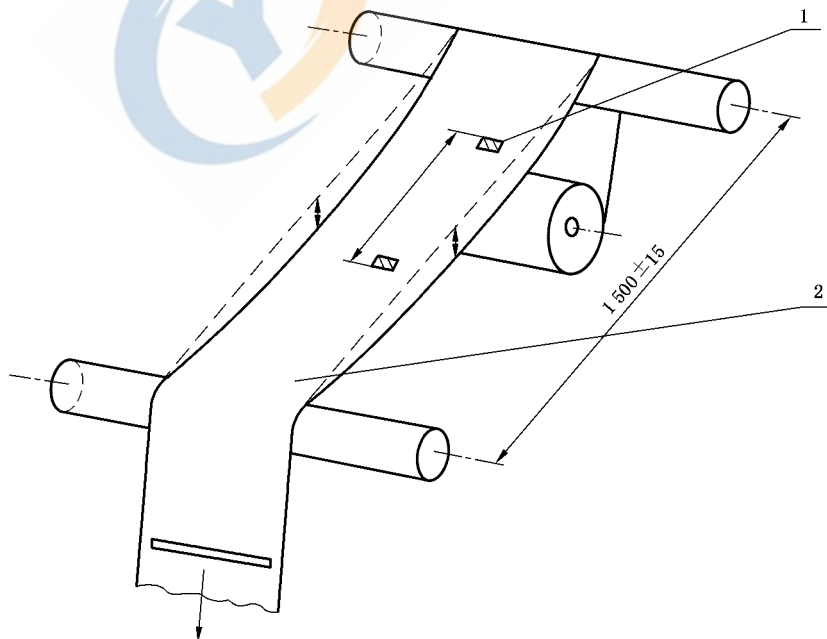
1——标记线;

2——试样;

3——试验平台。

图 1 卷绕性测定示意图(方法 A 偏移/弧形的测量)

单位为毫米

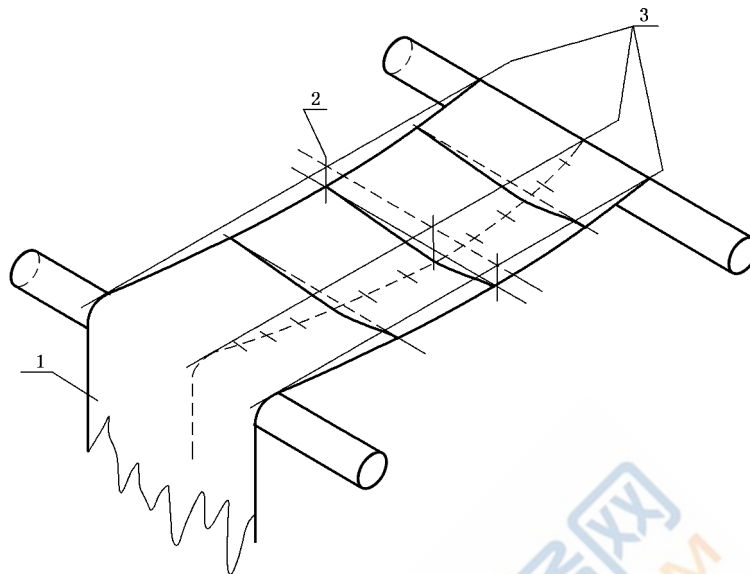


标引序号说明:

1——标记线;

2——试样。

图 2 卷绕性测定示意图(方法 A 偏移/弧形的测量及方法 B 偏移/弧形、凹陷的测量)



标引序号说明：

- 1——伸长范围；
- 2——测量尺位置；
- 3——直边位置。

图3 卷绕性测定示意图(凹陷的测量)

## 8.2 概述

规定两种方法测量变形。

方法 A 适用于窄的薄膜(小于 150 mm),其变形主要表现为偏移/弧形。

对于很厚的薄膜,其变形主要表现为凹陷,采用方法 A 测量。若采用方法 B 时,因为薄膜的厚度很厚,使其延伸所需的张力过大而难以实现。

方法 B 适用于较宽的薄膜(大于或等于 150 mm),其变形主要表现为凹陷。

## 8.3 方法 A

### 8.3.1 原理

评定偏移/弧形的测量时,从卷上放出一段薄膜,铺在平面上测量每一边与直线的偏离值(见图 1)。

评定凹陷的测量时,从卷上放出一段薄膜,在规定的条件下,垂直放置于二平行辊上,测量与标准垂直直线之间的偏离值(见图 2)。

### 8.3.2 偏移/弧形的测量

#### 8.3.2.1 设备

采用下列设备及器具：

- 用合适材料做成的平整水平台,其台面光洁(不抛光),其宽度大于被试薄膜宽度,长度为  $1\ 500\text{ mm} \pm 15\text{ mm}$ ,两端不平行度不超过  $0.1^\circ$ (或  $1.8\text{ mm}$  每  $1\text{ m}$  桌宽)；

- 软刷子,用以把薄膜在桌上刷平;
- 钢直尺,长度大于 1 525 mm;
- 钢板尺,分度值为 1 mm,长度为 150 mm。

### 8.3.2.2 试样

剥去膜卷最外三层薄膜。取一段约 2 m 长的薄膜作为一个试样,共取三个试样。取样时应缓慢放卷其速度约 300 mm/s。

### 8.3.2.3 程序

将薄膜试样按图 1 所示放置于桌面上。用软刷子从一端起轻压试样,使之与桌面紧密接触,并排除里面的空气。然后,将钢直尺压在薄膜的一边相距 1 500 mm±15 mm 的两个点上,用钢板尺测量薄膜该边缘与钢直尺之间的最大距离  $d_1$ 。再将钢直尺压在薄膜的另一边相距 1 500 mm±15 mm 的两个点上,用钢板尺测量薄膜该边缘与钢直尺之间的最大距离  $d_2$ 。

用另两个试样重复上述过程。

### 8.3.2.4 结果

试样的偏移/弧形为  $d_1$  与  $d_2$  之和,单位为毫米(mm)。

取三次测定的中值作为试验结果,并报告另两个值,结果取两位有效数字。

## 8.3.3 凹陷的测量

### 8.3.3.1 设备

在一个刚性机架上,装有两个平行的、能自由转动的金属辊,每个辊的直径为 100 mm±1 mm,其长度应大于被试薄膜的最大宽度。两辊的轴线应位于同一水平面,且相互间的不平行度不大于 0.1°(即 1.8 mm 每 1 m 辊长),两辊相距 1 500 mm±15 mm。辊面圆柱度为 0.1 mm,表面为无光光洁度(不抛光)(见图 2)。机架上设有一个装置,能将薄膜卷固定在其中一个金属辊的正下方,使薄膜卷的轴线与上方的金属辊平行(不平行度为 1°以内),且薄膜的横向位置可随意调节,放卷时张力可调。在机架的另一端从第二辊子自由悬挂下来的薄膜上装一重物或弹簧夹,其重量或弹簧力及在薄膜上的位置可调,使薄膜横向承受产品标准中规定均匀的张力。

为了测量沿两辊中间的一条直线薄膜低于两辊平面的距离(见图 3),需要一把长的钢直尺(长度在 1 525 mm 以上)和刻度为 1 mm 的钢板尺。也可采用其他装置,自动或半自动记录薄膜的位置。

### 8.3.3.2 试样

剥去膜卷最外 3 层薄膜。取一段约 2 m 长的薄膜作为一个试样,共取三个试样。取样时应缓慢放卷,其速度约 300 mm/s。

### 8.3.3.3 程序

将薄膜试样放在设备的两辊子上,把薄膜的自由端夹于张力装置中,调节张力至产品标准中规定值。当薄膜经过第二辊子时要调节薄膜的横向位置,使薄膜在两辊中间近似为水平。

将长钢直尺放在两平行辊上,用钢板尺测量长钢直尺与薄膜最大距离,准确至 1 mm(见图 3),作为该次试验的凹陷值,或用其他合适的装置进行测量。

另用两个试样重复上述过程。

#### 8.3.3.4 结果

取三次测定的中值作为试验结果,并报告另两个值,结果取两位有效数字,单位为毫米(mm)。

### 8.4 方法 B

#### 8.4.1 原理

用一次测量来评定凹陷和偏移/弧形的总值。放出一段薄膜,在规定条件下放置在两个平行辊上,使薄膜的纵向与辊轴垂直,张紧薄膜直至无可见的凹陷和偏移/弧形,测定这种状态下薄膜的伸长。有时,直接用收卷机上的辊筒进行此项测量更方便,但有争议时,其尺寸距离应按下面的规定。

#### 8.4.2 设备

在一个刚性机架上,装有两个平行的、能自由转动的金属辊,每个辊的直径为  $100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,其长度应大于被试薄膜的最大宽度。两辊的轴线应位于同一水平面,且相互间的不平行度不大于  $0.1^\circ$ (即  $1.8\text{ mm}$  每  $1\text{ m}$  辊长),两辊相距  $1\ 500\text{ mm} \pm 15\text{ mm}$ 。辊面圆柱度为  $0.1\text{ mm}$ ,表面为无光光洁度(不抛光)(见图 2)。机架上设有一个装置,能将试薄膜卷固定在其中一个金属辊的正下方,该装置应为:

- 使薄膜卷的轴线与上方的辊子平行( $2^\circ$ 以内);
- 薄膜的横向位置可随意调节;
- 薄膜从卷中拉出时,放卷张力可调。

在机架的另一端从第二辊子自由悬挂下来的薄膜上装一重物或弹簧夹,其重量或弹簧力及在薄膜上的位置可调,使薄膜横向承受产品标准中规定均匀的张力。

- 一根钢直尺(长度为  $1\ 525\text{ mm}$  以上)。
- 一把  $2\text{ m}$  或  $2\text{ m}$  以上的钢卷尺(刻度为  $1\text{ mm}$ )。
- 一个合适的自粘性标签。

#### 8.4.3 试样

剥去膜卷最外三层薄膜。取一段约  $2\text{ m}$  长的薄膜作为一个试样,共取三个试样。取样时应缓慢放卷其速度约  $300\text{ mm/s}$ 。

#### 8.4.4 程序

将薄膜试样放置在设备的两辊子上,用手轻拉薄膜,移动薄膜的自由端,使在辊子之间的薄膜尽可能地平,然后把自由端夹在张紧装置中,调节张力至  $1.0\text{ MPa} \pm 0.2\text{ MPa}$ (以薄膜的标称厚度和宽度计算)。

在薄膜出现最小凹陷且平行于薄膜边缘的一条直线上用自粘性标签做两个标记(相距  $1\ 000\text{ mm} \sim 1\ 100\text{ mm}$  之间),用钢卷尺测量两标记之间的距离,准确到  $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

增加作用于薄膜上的张力直至:

- 薄膜基本上是平整的;
- 以钢直尺为基准,薄膜每一边都是直的(偏差在  $0.5\text{ mm}$  以内);
- 以钢直尺为基准,任一点的凹陷不超过  $7.5\text{ mm}$ 。

用钢卷尺测定在此张力下两个参考标记之间的距离,以薄膜的伸长占两个标记间起始距离的百分数表示。

另用两个试样重复上述过程。



#### 8.4.5 结果

凹陷和偏移/弧形的总值以三次测量的中值表示,并报告另两个值。

### 9 表面粗糙度

#### 9.1 概述

用接触和不接触检测方法测量表面粗糙度,宜采用一维或二维表面影像仪评估表面粗糙度。粗糙度的最小分辨率、准确度和映象点间测量表面面积和距离由供需双方协商规定。表面粗糙度按以下规定进行。

#### 9.2 测量原理

薄膜经粗化后,形成微小的凹凸不平的表面,利用仪器的触针(或探头)在薄膜表面上移动,从而测出薄膜的表面粗糙度  $R_a$ 。

#### 9.3 试验仪器和用品

采用下列仪器和用品:

- 能满足薄膜试样的平均粗糙度测试范围及精度要求的表面粗糙度测试仪器的均可使用,仪器误差不大于 $\pm 10\%$ ;
- 丙酮少许及端部包有脱脂棉花的棉签。

#### 9.4 试样

从样品上纵、横向各取三块试样,其尺寸以能完全覆盖与仪器配套的测试小平面为准。试样表面应洁净,无损伤、皱折。

#### 9.5 程序

用棉签蘸上丙酮清洗仪器的测试平面。将试样放在仪器的测试平面上,试样要完全贴紧平面,无气泡存在。试样的被测面朝向测试触针,测试并记录三块试样纵、横向六个  $R_a$  的数值。

#### 9.6 结果

薄膜的表面粗糙度以三个试样六个  $R_a$  的算术平均值表示,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

### 10 空隙率

#### 10.1 试验仪器

采用下列仪器和器具:

- 分析天平:称量 200 g,感量 0.1 mg;
- 杠杆千分尺:量程 25 mm,分度值 0.001 mm;
- 取样板:300 mm $\times$ 100 mm $\times$ (1.5~3.0) mm 的不锈钢板。

#### 10.2 试样

取 10 层薄膜,在平行且离薄膜边缘 20 mm 以上的位置,用取样板取 300 mm(纵向) $\times$ 100 mm(横

向)的试样三个,若薄膜宽度小于 100 mm 时,薄膜的宽度即为试样的宽度。

### 10.3 程序

按 5.2.3 叠层法测定试样的厚度。

按 5.3 质量密度法测定试样的厚度。

### 10.4 结果

按式(2)计算结果:

$$SF = \frac{t_b - t_g}{t_g} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

SF ——空隙率的数值, %;

$t_b$  ——试样叠层法厚度的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$t_g$  ——试样质量密度法厚度的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

取三个试样计算值的中值作为试验结果,同时报告最大值和最小值。

## 11 摩擦系数

按 GB/T 10006 的规定测定。

原理:本方法包括对在规定条件下塑料薄膜或薄片在其本身或其他物质上滑动时的起始摩擦和滑动摩擦的测定。该方法允许用滑块静止而平板移动或滑块运动而平板静止。两种方法都能得到规定试样的表面摩擦系数。

## 12 湿润张力(聚烯烃薄膜)

### 12.1 原理

表面张力逐渐增加的一系列有机混合液滴,当它们达到一定浓度时,具有对薄膜表面湿润的能力。由于在空气存在下,薄膜与相应的混合液滴相接触的湿润张力是空气—薄膜和薄膜—液体两者界面的表面能的函数,从而在液体试剂或薄膜表面有任何的微量活性杂质会影响测定结果。因此,不应触摸或擦拭被试薄膜表面,所用设备必需干净,试剂应为分析纯。

### 12.2 设备

采用下列器具:

——长约 150 mm 的棉签一根;

——50 mL 量杯两个;

——贴有标签的 100 mL 带盖瓶一个。

### 12.3 试剂

用分析纯甲酰胺( $\text{HCONH}_2$ )和分析纯乙二醇单乙醚( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_2\text{-OH}$ )按表 1 中的配比制备混合液。

如有要求,可在表 1 中所列的每种混合液中加入极少量的高着色性染料。

宜对混合液的表面张力每周校核一次,实验室常用的表面张力测定方法均可采用。虽然所列出的混合液相对比较稳定,但还应避免放置在温度高于 30 °C,相对湿度大于 70% 的场所。

注:所用染料的颜色能使液滴在聚烯烃薄膜表面清晰可见。而且,染料的化学组分对测量混合液的湿润张力绝无



影响。

乙二醇单乙醚和甲酰胺均有毒,操作时应适当注意。因甲酰胺直接接触眼睛特别危险,在配制混合液时,应戴上防护眼镜,应遵守相关安全法。

表 1 测量聚乙烯和聚丙烯薄膜湿润张力时所用的乙二醇单乙醚、甲酰胺混合液的浓度

甲酰胺体积百分数 %	乙二醇单乙醚体积分 %	湿润张力 mN/m
0	100.0	30
2.5	97.5	31
10.5	89.5	32
19.0	81.0	33
26.5	73.5	34
35.0	65.0	35
42.5	57.5	36
48.5	51.5	37
54.0	46.0	38
59.0	41.0	39
63.5	36.5	40
67.5	32.5	41
71.5	28.5	42
74.7	25.3	43
78.0	22.0	44
80.3	19.7	45
83.0	17.0	46
87.0	13.0	48
90.7	9.3	50
93.7	6.3	52
96.3	3.7	54
99.0	1.0	56

#### 12.4 试样

剥去薄膜卷最外三层薄膜,沿薄膜整个宽度取样。应在试样的 1/4、1/2、3/4 宽度位置上进行试验。如果三个测量值之差大于 2.0 mN/m,则表明为不均匀的聚烯烃薄膜,应沿卷长方向按上述要求三点位置再试验(共计九次测量)。

取样时应不要触摸薄膜试样被试部分的表面。

#### 12.5 条件处理

试验时按 GB/T 10580—2015 中的标准大气(B)(23 °C ± 2 °C /相对湿度 50% ± 5%)。

## 12.6 程序

用混合液中的一种沾湿棉签的顶部。液量尽可能少,因试剂过多会影响结果。

把液体轻轻洒在试样所选定的部位上约  $6.5\text{ cm}^2$  (直径约  $25\text{ mm}$ ),不要试图去覆盖再大的面积,以免在有效面积液体不足,记下在薄膜上形成连续液面到分裂成液滴所需的时间。如果保持连续液面在  $2\text{ s}$  以上,则换用表面张力更高的混合液进行试验。如果保持连续液面不到  $2\text{ s}$  就分裂成液滴,则用表面张力更低一些的混合液进行试验。为防止溶液污染,每次均应换用一根干净的棉签。

按上述方式连续重复规定的步骤,直到能按 12.7 的规定选出正确的混合液为止。

经验表明,用表面张力一级级降低的混合液进行试验时,偶尔会得到错误的结果,因此推荐试验人员再用表面张力一级级升高的混合液进行校核。

## 12.7 评定

当混合液在试样上保持连续液面为  $2\text{ s}$  时,则认为这种混合液湿润了试样。连续液面边缘发生收缩并不说明没有湿润,只有当液面在  $2\text{ s}$  内破裂成液滴才说明没有湿润,若放在薄膜表面的混合液过多会引起液面边缘严重收缩。能保持连续液面  $2\text{ s}$  所用混合液的表面张力称为该聚烯烃薄膜试样的湿润张力,以毫牛每米( $\text{mN/m}$ )表示。

## 12.8 结果

如果试验一个试样,三个测量值之间差值小于  $2.0\text{ mN/m}$ ,取三个测量值的中值作为试验结果。

对处理不均匀的聚烯烃薄膜,则要测定九次,用九个测量值的中值作为试验结果,并报告个别值。

## 13 拉伸强度和断裂伸长率

### 13.1 概述

按 GB/T 1040.3—2006 测定。通常规定的拉伸性能是拉伸强度和断裂伸长率,但有时还规定  $1\%$  割线模量。

### 13.2 试样

试样应按 GB/T 1040.3—2006 中 6.1.1 的规定,即  $10\text{ mm}\sim 25\text{ mm}$  宽,长度不小于  $150\text{ mm}$  的条状试样,两标线距离至少  $50\text{ mm}$ 。按 5.2.2 所述方法,在每条试样的标线间测量三点厚度,取其中值作为试样厚度。

按产品标准中的规定,每个方向各五个试样。

### 13.3 试验速度

试验速度是指试验中试验机夹具的分离速率,其大小应按产品标准中的规定。

### 13.4 程序

测量试样标线间的长度,精确到  $1\text{ mm}$ 。调节夹具间距离到产品标准规定的值。将试样平直地夹于两夹具间,使其拉伸时不在夹具内打滑,且不受夹具的机械损伤。安装伸长仪,使得伸长仪的两夹口与试样上的两标线重合。伸长仪夹口不应在试样上产生损伤或畸变。以产品标准规定的拉伸速度施加负荷直至试样断裂。记录最大负荷和试样断裂时两标线间的伸长。如试样在夹口处断裂(不包括在标记线外断裂),该试验数据无效,应重新另取一个试样进行试验。

也可采用测量夹口间距离的增加来计算试样的断裂伸长率。但有争议时仍以标线间试样伸长计算

所得的断裂伸长率为准。

### 13.5 试验结果

结果按式(3)和式(4)分别计算:

$$\sigma = \frac{p}{b \cdot h} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$\sigma$  —— 拉伸强度的数值,单位为兆帕(MPa);

$p$  —— 最大负荷的数值,单位为牛(N);

$h$  —— 试样厚度的数值,单位为毫米(mm);

$b$  —— 试样宽度的数值,单位为毫米(mm)。

$$e = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$e$  —— 断裂伸长率的数值,%;

$L_1$  —— 未拉伸时试样两标线间距离的数值,单位为毫米(mm);

$L_2$  —— 试样断裂时两标线间的距离的数值,单位为毫米(mm)。

分别取纵向和横向的五个测量值的中值作为试验结果,并报告每个方向的最大值和最小值。结果取三位有效数字;断裂伸长率结果取两位有效数字或保留整数。

## 14 边缘撕裂性

### 14.1 概述

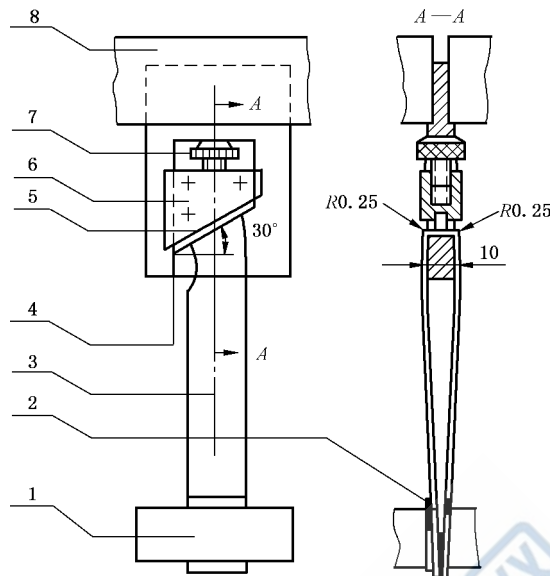
按 GB/T 1310.2—2009 中第 10 章的规定测定。

### 14.2 试样

沿薄膜纵、横向分别取长约 300 mm、宽度为 15 mm 的试样各五个。

### 14.3 程序

把试样插入固定在试验机上夹头的试验夹具的斜槽中,试样两端夹在试验机下夹头中(见图 4)。调节螺丝使橡胶垫轻轻压住试样以防在斜槽中滑动。从开始加拉伸负荷到试样撕裂的时间应在  $20 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$  内。读取试样边缘开始撕裂的力。



标引序号说明:

- 1——下夹头;
- 2——衬垫;
- 3——试样;
- 4——斜槽;
- 5——橡胶垫条;
- 6——滑块;
- 7——螺丝;
- 8——上夹头。

图 4 边缘撕裂性试验示意图

#### 14.4 试验结果

分别取纵、横向五个测量值的中值作为纵、横向边缘撕裂性的试验结果。结果取三位有效数字。

#### 15 内撕裂性

按 GB/T 16578.1 和 GB/T 16578.2 的规定。所用方法将在产品标准中规定。

#### 16 挺度

利用定角柔软性测定仪,当试样因自重而弯曲来测定其柔软性。把一长条试样放置于水平台上并垂直于平台的一边,试条伸出平台一定长度,记录其伸出部分下垂到水平面以下  $41^{\circ}30'$  时的时间。

#### 17 表面电阻率

按 GB/T 31838.3 的规定。

#### 18 体积电阻率

##### 18.1 方法 1 电极法

按 GB/T 31838.2 的规定,测量电极的直径为 25 mm,高压电极的直径至少为 40 mm 的两电极系统。

按产品标准根据下列所规定的条件进行测定:

- GB/T 10580—2015 中的标准干燥条件(18℃~28℃/相对湿度小于1.5%)；
- GB/T 10580—2015 中表2的标准大气(B)(23℃±2℃/相对湿度50%±5%)；
- 按GB/T 10580—2015 中表2选定的干热条件。

## 18.2 方法2 模型电容器法(适用于卷绕电容器介质用薄膜或对方法1来说更薄的薄膜)

### 18.2.1 原理

本方法利用的原理是电容器介质的体积电阻率可以用时间常数( $t=CR$ )来计算,其关系式为式(5):

$$\rho_v = \frac{C \cdot R}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$\rho_v$ ——试样体积电阻率的数值,单位为欧姆米( $\Omega \cdot m$ );

$C$ ——工频(或音频)下试样的电容值的数值,单位为法(F);

$R$ ——试样电阻测量值的数值,单位为欧姆( $\Omega$ );

$\epsilon_r$ ——被试薄膜的相对电容率;

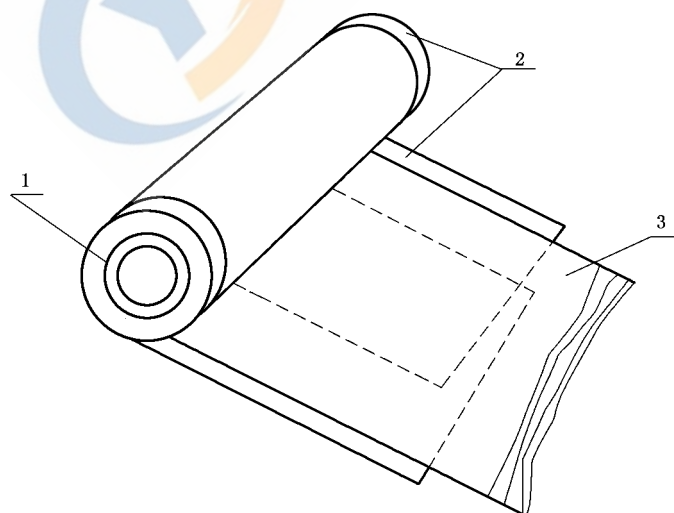
$\epsilon_0$ ——为  $8.85 \times 10^{-12}$  F/m。

### 18.2.2 试样

每个试样为一个卷在硬绝缘芯上的电容器,采用金属箔外伸型结构,带电电极宽40mm~70mm,边缘留3mm,介质为单层被试薄膜。电容量为  $0.5 \mu F \pm 0.1 \mu F$  (1kHz下测)。如果需预先加热或真空处理,则在产品标准中规定。

模型电容器元件如图5所示。

在被试薄膜卷上分切60mm~80mm宽的薄膜卷两卷。将厚度约为7 $\mu m$ 的退火铝箔分切成40mm~70mm宽的铝箔卷两卷。然后将它们安装在卷制机上,并调好它们之间的相对位置。在绝缘硬管芯上卷绕元件(绝缘硬管芯的外径约为20mm,内径以与卷制机收卷轴配合适宜为准,绝缘硬管芯的绝缘电阻应大于1013 $\Omega$ )。



标引序号说明:

- 1——绝缘管芯;
- 2——铝箔电极;
- 3——薄膜。

图5 测量体积电阻率用模型电容器试样结构示意图

### 18.2.3 设备或器具

采用下列设备或器具：

- 高阻计：可测试样电容不大于  $0.5 \mu\text{F}$ ，试样电阻  $10^{13} \Omega$  及以上；
- 合适的电容测试仪；
- 卷制机：能卷绕模型电容器，对薄膜的卷绕张力为  $2.5 \text{ N} \pm 0.5 \text{ N}$ 。

### 18.2.4 程序

按上述要求卷绕三个试样，并作必要的处理，再在材料干燥条件（ $18 \text{ }^\circ\text{C} \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$ /相对湿度小于 1.5%）下处理 6 h 后，测定 2 min 的电阻（ $100 \text{ V} \pm 10 \text{ V}$ ，对厚度为  $4 \mu\text{m}$  及以下的薄膜用  $25 \text{ V}/\mu\text{m} \pm 4 \text{ V}/\mu\text{m}$ ，然后在不超过 1.6 kHz 的频率下测电容）。

相对电容率按第 19 章所述测定，或者用理论值也能够足够准确。

按式(5)计算体积电阻率。

### 18.2.5 结果

体积电阻率为三次测定的中值，取两位有效数字。报告中应说明测量温度和相对电容率是测量值还是理论值。

为使因电容器充电电流引起的误差减小到允许范围，试样电容  $C$  和电流测量装置的输入电阻  $R$  的时间常数比施加电压时间和表观泄漏电流的衰减时间常数都要小。加压时间为 2 min，对大多数薄膜  $C \times R$  值应小于 2 s，试样电容  $0.5 \mu\text{F}$ ， $R$  值应小于  $4 \text{ M}\Omega$ 。

有些直读式兆欧计用于测体积电阻率可能达不到要求。

## 19 介质损耗因数和电容率

### 19.1 概述

覆盖频率范围为 50 Hz~100 MHz，并有三种试验方法。

### 19.2 方法 1 接触电极法

#### 19.2.1 概述

试验应按 GB/T 1409—2006 的规定，除非产品标准中另有规定，试验频率由供需双方商定，试验温度为  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

在低频和对厚的薄膜，通常在由一层薄膜组成的试样上进行测量。在频率高于 1 MHz，对非常薄的薄膜，用多层的薄膜测量更合适、更准确。应通过压力排除迭层中空气，试样平均厚度测量见 5.2.3。

#### 19.2.2 样品和试样操作处理

取样应按产品标准进行，应不改变材料状态和条件。

应小心处置样品和试样以避免其受到污染、刮伤和落上指纹。

除产品标准中另有规定外，应至少试验三个试样。

#### 19.2.3 测量前样品条件处理

测量前的任何条件处理应按产品标准或按供需双方商定的其他条件处理。

注 1：湿度对薄膜材料的性能影响显著。GB/T 10580—2015 给出了固体电气绝缘材料试验前和试验时采用标准条件。IEC 60260 给出了与多种盐溶液有关的相对湿度。



注 2: 热、机械应力、核辐射、X-射线等对薄膜材料性能影响也显著,可用所述方法评估这些影响大小。

注 3: 推荐试样在“收货”状态并经干燥大气条件处理后测量。

对带有涂漆、蒸发或喷镀电极的样品,在使用了这些电极之后,要一起经过条件处理,因为涂漆和真空处理将大大影响材料含水量。这些类型的电极或多或少会渗透水分,如果应用这样电极,要查看在相关产品标准规定的时间内试样是否真正已经在处理环境下达到稳定。

注 4: 这可通过不同周期条件处理后一系列对比试验来实现。

## 19.2.4 接触式电极测量

### 19.2.4.1 概述

对于频率最高约 50 kHz 的薄膜测量,应采用三电极系统,典型示例见图 6。

对于更高频率下的测量,应采用两电极系统,典型示例见图 7。

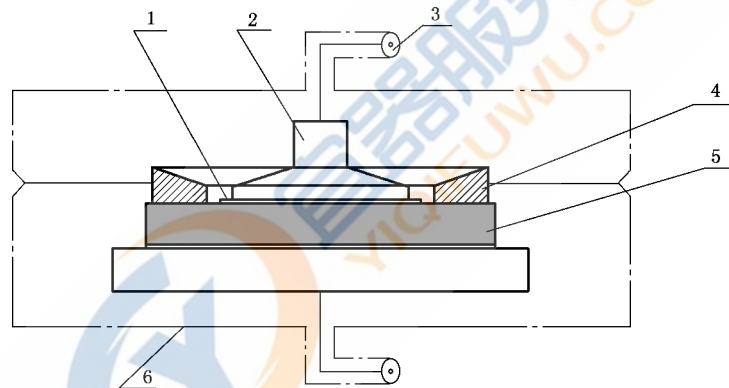
内电极应由能与试样表面良好接触并且不会导致因电极电阻或试样污染而引起明显误差的材料组成。

注: 应用非接触电极方法进行高频下的损耗因数测量可能更准确,这是因为由内电极产生的介质损失随频率而增加的缘故。

在试验条件下,电极材料应能耐腐蚀。这些电极应与背托电极一起使用。

如果测量非常薄的薄膜(2 μm 或更薄),为了避免在背托电极定位时破坏试样,背托电极可衬有一层铝箔。

最好要确定电极是否影响测试结果,这可通过应用两种不同类型电极,然后对其结果进行比较而实现。

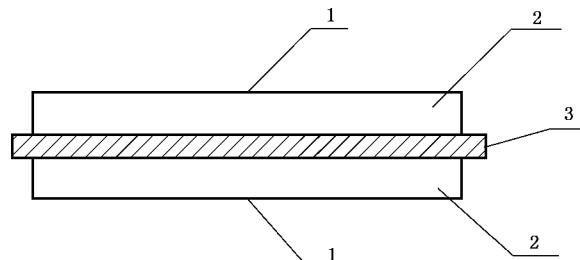


标引序号说明:

- |                 |            |
|-----------------|------------|
| 1——内电极(贴切电极);   | 4——保护电极;   |
| 2——背托电极;        | 5——试样;     |
| 3——接到测量系统的屏蔽连接; | 6——屏蔽箱(罩)。 |

注: 为了有助于对准电极,推荐小的那个内电极直径稍大于与其对应的背托电极直径。

图 6 低频(最大 50 kHz)测量的三电极系统



标引序号说明:

- |                   |
|-------------------|
| 1——接到测量系统的短的硬直连接; |
| 2——圆形和等直径同轴电极;    |
| 3——薄膜材料。          |

图 7 高频(50 kHz 以上)测量的两电极系统

#### 19.2.4.2 电极材料

##### 19.2.4.2.1 蒸发或真空喷镀金属

只要样品材料不受真空处理或离子辐射较大影响,大多数推荐的电极类型是由蒸发或真空喷镀金属制成的。铝、银或黄金也可用作电极材料。厚度约 150 nm 的金属膜,在电气性能方面展现出最好结果,并且在金属沉积过程中对样品材料产生最低的应力。应用遮框制造电极具有非常精确的边缘,且遮框可重复使用。

蒸发之前,箱内真空应为 0.05  $\mu$ bar 或更低。在蒸发过程中,成膜速率大约为 1 nm/s。

通过产生电极的材料蒸发,借助电容器在其上放电而形成的电极沉积,通常是一种不受控制的短暂过程。

喷镀电极在喷镀过程中施加于样品上的应力、质量和性能取决于气体选择、反应箱内的气体压力、施加电压和样品在反应箱内的位置。按所选择喷镀设备选定条件的最佳参数。

金属化试样不能在金属化后立即测量。例如,由于需要暴露于大气条件处理一段时间,应注意把电极腐蚀的影响降低到最小程度。在这种情况下,推荐使用蒸发的金电极。这对低损耗因数的材料,如聚丙烯特别重要。

##### 19.2.4.2.2 导电银漆

可以使用商品高导电银漆作为电极,但最好确认漆中溶剂不会影响样品的性能。应用遮框制造电极。

##### 19.2.4.2.3 金属箔

薄金属箔电极可由铅、锡、铝、银或黄金制造。可以通过少量石油润滑脂或硅脂把这些电极附着于样品表面上。

硅脂不宜作为测量低损耗因数材料时用,因为这些硅脂在某些频率和温度下,呈现出很高的损耗因数。高温下的石油润滑脂黏度很低,它们主要是应用于高温测量。较高分子量、低损耗的烯烃类脂更适合于高温测量。

使用金属箔电极应加上平稳压力以消除空气和皱折。可以用薄绢纸把多余的脂擦净。薄膜上的脂,应尽可能的薄,它的厚度相对试样厚度来说应是很小的。

### 19.3 方法 2 非接触式电极测量

#### 19.3.1 概述

为了在接近环境温度下进行测量,采用固定的或测微计受控的非接触电极测量,对非常薄或损耗很小或需要在高频下测量的试样是更加准确的。

#### 19.3.2 空气替代法

##### 19.3.2.1 变间距法

###### 19.3.2.1.1 原理

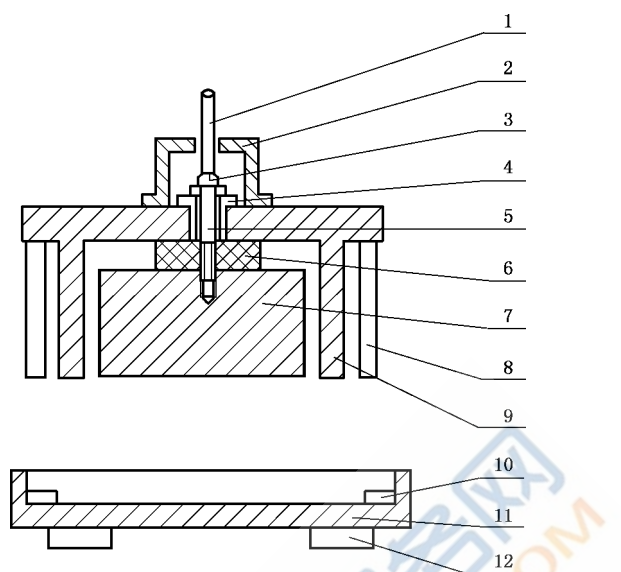
将试样插入被保护电极系统内,该系统中电极间距是可调的,试样与电极之间留有小的空气间隙以确保试样不受机械应力作用。测量该组合的电容与介质损耗因数。

除去试样,调整电极间距至给出的电容读数与有试样时测得的电容相同。测量电极间距及新的介质损耗因数值。



## 19.3.2.1.2 电极结构

如图 8 所示。



标引序号说明：

- |           |            |          |            |
|-----------|------------|----------|------------|
| 1——测量极引线； | 4——PTEE 套； | 7——测量极；  | 10——塞规垫；   |
| 2——屏蔽帽；   | 5——紧固螺钉；   | 8——绝缘支柱； | 11——不保护电极； |
| 3——接线端螺帽； | 6——石英垫片；   | 9——保护极；  | 12——绝缘垫块。  |

图 8 不接触电极结构原理图

## 19.3.2.1.3 测量电桥

用非接触电极测量薄膜材料所用的电桥应具有很高的精度和灵敏度,损耗因数测量精度不小于 $1 \times 10^{-6}$ ,测量电压优选 250 V,测试频率为工频或音频。

## 19.3.2.1.4 试样

试样为平整的单层或多层薄膜,试样的大小应能覆盖整个测量电极表面。共取三个试样。

## 19.3.2.1.5 程序

对测试试样进行酒精漂洗以除去试样表面的污物、灰尘、静电等。漂洗完之后将试样取出,晾干并压平。

在试验之前,应先清洁电极测量表面,用酒精或丙酮擦洗表面,然后用干净的绸布擦干。电极间杂质可用干燥氮气吹,如果电极长久不用,还应先用金相砂纸将电极表面的污物磨去,然后再用酒精或丙酮擦洗干净。电极清洁处理完毕之后,将电极间距大概调至测试时的位置。此时测量空电极的损耗因数应基本为零,否则要继续清洗电极,直至损耗因数基本为零。

将平整干净的试样放入上、下电极之间,试样应覆盖整个测量电极表面。然后将电极调到合适的间距,上下电极之间的间距应以试样占间距的 80%左右为宜。轻轻抽动试样,应保证试样能自由抽出而不致移动上下电极间的相对位置。

接好测量引线,平衡电桥,测量并记录此时的损耗角正切值和电极间距。

轻轻抽出试样,调整电极间距至给出的电容读数与有试样时测得的电容相同,测量并记录此时的介

质损耗因数值和电极间距。

按 5.2 测量试样叠层厚度。

### 19.3.2.1.6 结果

采用非接触电极法测  $\epsilon_r$  和  $\tan\delta$ , 改变电极间的间距, 而不改变电桥电容的测量方式时, 其计算见式 (6) 和式 (7):

$$\epsilon_r = \frac{t_g}{t_g - \Delta t} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\epsilon_r$  ——材料的相对电容率的数值;

$t_g$  ——试样叠层的厚度的数值, 单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\Delta t$  ——有无试样时测微计测得的两个电极间间距值之差的数值, 单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

$$\tan\delta = \Delta \tan\delta \frac{t_2}{t_g - \Delta t} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$\tan\delta$  ——材料介质损耗因数的数值;

$\Delta \tan\delta$  ——有无试样时测得的两个介质损耗因数值之差的数值;

$t_2$  ——无试样时由测微计测得的电极间的间距的数值, 单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$t_g$  ——试样叠层厚度的数值, 单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\Delta t$  ——有无试样时由测微计测得的两个电极间间距值之差的数值, 单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

### 19.3.2.2 变电容法

#### 19.3.2.2.1 原理

将试样插入被保护电极系统内, 试样与电极之间留有小的空气间隙以确保试样不受机械应力作用。测量该组合的电容与介质损耗因数。

除去试样, 电极间距不改变, 调节电容使电桥平衡读数。测量新的介质损耗因数值。

#### 19.3.2.2.2 电极结构

如图 8 所示。

#### 19.3.2.2.3 测量电桥

用非接触电极测量薄膜材料所用的电桥应具有很高的精度和灵敏度, 损耗因数测量精度不小于  $1 \times 10^{-6}$ , 测量电压优选 250 V, 测试频率为工频或音频。

#### 19.3.2.2.4 试样

试样为平整的单层或多层薄膜, 试样的大小应能覆盖整个测量电极表面。共取三个试样。

#### 19.3.2.2.5 程序

对测试试样进行酒精漂洗以除去试样表面的污物、灰尘、静电等。漂洗完之后将试样取出, 晾干并压平。

在试验之前, 应先清洁电极测量表面, 用酒精或丙酮擦洗表面, 然后用干净的绸布擦干。电极间杂质可用干燥氮气吹, 如果电极长久不用, 还应先用金相砂纸将电极表面的污物磨去, 然后再用酒精或丙酮擦洗干净。电极清洁处理完毕之后, 将电极间距大概调至测试时的位置。此时测量空电极的损耗因

数应基本为零,否则要继续清洗电极,直至损耗因数基本为零。

将平整干净的试样放入上、下电极之间,试样应覆盖整个测量电极表面。然后将电极调到合适的间距,上下电极之间的间距应以试样占间距的 80%~90% 时为宜。轻轻抽动试样,应保证试样能自由抽出而不致移动上下电极间的相对位置。

接好测量引线,平衡电桥,测量并记录此时的电容  $C_1$  和损耗角正切值  $\tan\delta_1$  以及电极间距  $t_0$ 。

轻轻抽出试样,保证上下电极间的相对位置不变。平衡电桥测量并记录空电极的电容  $C_2$ 、介质损耗因数  $\tan\delta_2$ 。

按 5.2 测量试样叠层厚度  $t_g$ 。

#### 19.3.2.2.6 结果

采用非接触电极法测量  $\epsilon_r$  和  $\tan\delta$ , 改变电桥电容, 而不改变电极间的间距的测量方式时, 见式(8)和式(9):

$$\epsilon_r = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right) \times \frac{t_0}{t_g}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$\epsilon_r$  ——材料的相对电容率;

$C_1$  ——有试样时测得的电容值的数值,单位为微法( $\mu\text{F}$ );

$C_2$  ——无试样时测得的电容值的数值,单位为微法( $\mu\text{F}$ );

$t_0$  ——电极之间的间距的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$t_g$  ——试样叠层厚度的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

$$\tan\delta = \tan\delta_1 + \epsilon_r \times \Delta \tan\delta \times \left(\frac{t_0}{t_g} - 1\right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$\tan\delta$  ——材料的介质损耗因数的数值;

$\tan\delta_1$  ——有试样时测得的介质损耗因数的数值;

$\Delta \tan\delta$  ——有无试样时测得的两个介质损耗因数值之差( $\tan\delta_1 - \tan\delta_2$ )的数值;

$\epsilon_r$  ——材料的相对电容率的数值;

$t_0$  ——电极之间的间距的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$t_g$  ——试样叠层厚度的数值,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

### 19.3.3 流体排出法

按 GB/T 1409—2006 的 4.1.2.2.2 进行室温下电容率的测量。

## 19.4 方法 3 模型电容器法

### 19.4.1 概述

适用于卷绕电容器介质用薄膜或对方法 1 来说太薄的薄膜。

### 19.4.2 设备

采用下列设备或器具;

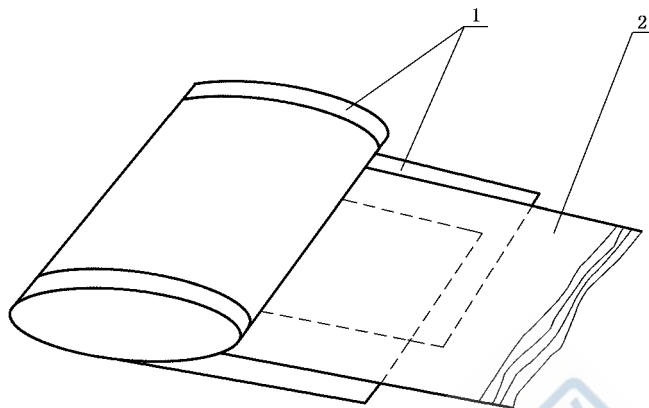
——音频大电容电桥:介质损耗因数测量精度  $5 \times 10^{-5}$ ;

——卷制机:能卷绕模型电容器,对薄膜的卷绕张力为  $2.5 \text{ N} \pm 0.5 \text{ N}$ ;

——压紧装置:能提供均匀的不小于  $3\,000 \text{ N}$  的压力,压紧面积  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。

### 19.4.3 试样

试样为压扁的模型电容器元件,采用铝箔突出型结构,极间介质为单层或双层被试薄膜,元件的容量视电桥量程而定,应不小于 0.5  $\mu\text{F}$ 。模型电容器元件如图 9 所示。



标引序号说明:

1——铝箔;

2——薄膜。

图 9 测量介质损耗因数和电容率试样结构示意图

在被试薄膜卷上分切 60 mm~80 mm 宽的两卷试样。将厚度约为 7  $\mu\text{m}$  的退火铝箔分切为 40 mm~70 mm 宽的铝箔卷两卷。然后将它们安装在卷制机上,并调好它们之间的相对位置。在直径 45 mm 的芯轴上卷元件。卷好之后,取下并压扁。再将压扁的元件放在压紧装置内。试样与压紧装置之间用平整洁净的聚四氟乙烯绝缘板隔开,绝缘板之间垫进柔软的橡胶片。加上压力,使试样上所受的压强不小于 0.3 MPa。试样数量三个。

### 19.4.4 程序

元件卷好压紧之后,连同压紧装置在 50  $^{\circ}\text{C}$  左右的条件下处理 1 h~2 h,冷却到室温后再进一步压紧。将压紧装置接地。为了获得更加准确的结果,可通过真空处理 3 h~4 h 除去卷绕电容器中截留的空气。测量时将元件的两边铝箔伸出端分别接到电桥的测量极和高压极。测试元件的介质损耗因数和电容值  $C$ ,测试完毕后,将元件摊开,测量并计算电极的有效面积  $S$ ,并按 5.2.2 的方法测量极间薄膜的厚度  $h$ 。

### 19.4.5 试验结果

结果按式(10)计算:

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot h}{\epsilon_0 S} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$\epsilon_r$ ——试样的相对电容率;

$C$ ——测得的试样电容值的数值,单位为法(F);

$h$ ——电极间薄膜厚度的数值,单位为米(m);

$\epsilon_0$ ——真空电容率的数值,为  $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ;

$S$ ——电极有效面积的数值,单位为平方米( $\text{m}^2$ )。

取三个试样测量值的中值作为结果。取二位有效数字。

## 20 浸渍状态下介质损耗因数

本文件不作规定,试验方法可在合同中约定。

## 21 电气强度

### 21.1 交流和直流试验(片状薄膜夹在金属电极间)

按 GB/T 1408.1—2016 和 GB/T 1408.2,试验在空气中或变压器油中进行。施加电压按 GB/T 1408.1—2016 中 10.1 快速升压方式。

可采用上电极直径为 25 mm 和下电极直径为 75 mm、直径为 20 mm 球体和直径为 25 mm 金属板或上下电极直径为 6 mm 的电极系统,也可采用其他合适的下电极,具体由产品标准规定。交流试验和直流试验可采用相同的电极。变压器油的电气强度不小于 12 MV/m。试样个数按产品标准规定。

### 21.2 直流试验(模型电容器元件)

#### 21.2.1 试验装置

直流击穿试验仪:输出电压在 0~15 kV 范围内均匀可调。在大于 50% 击穿电压的电压范围内,纹波系数不大于 2%,试验电压中也不应有超过 1% 施加电压的暂态或其他波动,每个电容器经受充电电流为  $100 \mu\text{A} \pm 20 \mu\text{A}$  的直流升压试验。

卷制机:能卷绕模型电容器元件,对薄膜的卷绕张力为  $2.5 \text{ N} \pm 0.5 \text{ N}$ 。

#### 21.2.2 试样及其制备

试样为无绝缘管芯的模型电容器元件,采用铝箔突出型结构,介质为单层被试薄膜,元件的电容量为  $0.5 \mu\text{F} \pm 0.1 \mu\text{F}$ 。模型电容器元件如图 5 所示。

在被试薄膜卷上分切宽度为 60 mm~80 mm 的薄膜卷两卷,将厚度约为  $7 \mu\text{m}$  的退火铝箔分切成 40 mm~70 mm 宽的铝箔卷两卷。将它们装在卷制机上,并调好它们之间的相对位置,按预期击穿电压每千伏的边缘留量为 1 mm。在直径约为 20 mm 的芯轴上卷绕元件。卷好后从芯轴上取下但不压扁作为一个试样。

试样数量:21 个。

#### 21.2.3 程序

将元件的两边铝箔电极分别接到击穿试验仪的高压电极和接地电极。使用连续升压法自零开始升高电压,升压速度为 200 V/s。试样击穿后,记录击穿电压值。并按 5.2.2 测量极间薄膜厚度。

#### 21.2.4 试验结果

按产品标准规定报告电气强度或击穿电压。击穿电压的单位为 kV。电气强度为击穿电压除以厚度,单位为  $\text{V}/\mu\text{m}$  或  $\text{MV}/\text{m}$ 。

取 21 个试样的测量值的中值作为试验结果。取三位有效数字。

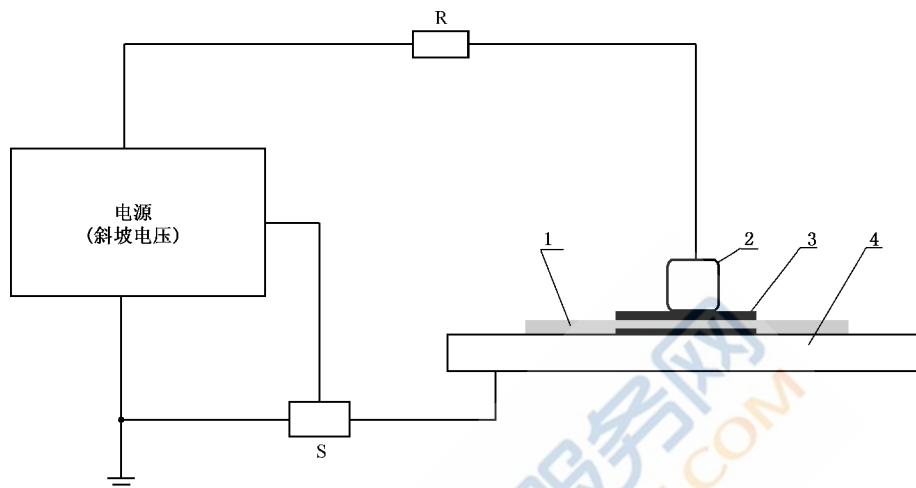
### 21.3 薄膜厚度小于或等于 $6 \mu\text{m}$ 的直流试验

薄膜试样(图 10 中的 1)夹在铝箔(图 10 中的 3)之间,并放置在导电平板上(图 10 中的 4)。薄膜试样的尺寸为  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 。铝箔的哑光面应与薄膜接触。铝箔的尺寸为  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ ,厚度为  $12 \mu\text{m}$ 。在铝箔上放置一个带圆边的高压(HV)电极(图 10 中的 2,由黄铜制成)。高压电极的重量为 0.2 kg。



高压电极与铝箔的接触面积为  $7 \text{ cm}^2$ 。平板电极应抛光,以免在平板上划伤而导致薄膜击穿。插入电阻器(R)以限制故障电流。铝箔用作电极,上部铝箔用于对高压电极的薄膜保护。在每次薄膜的击穿试验后,应更换新的铝箔。

在测量击穿电压时,向高压电极施加斜坡电压。斜坡速率在  $100 \text{ V/s} \sim 400 \text{ V/s}$  之间。薄膜的击穿电压定义为在施加斜坡电压的过程中首次检测到击穿电流时的电压。电流敏感中断装置(图 10 中的 S)用于立即切断直接施加的电压。



标引序号说明:

1——薄膜试样(10 cm×10 cm);

4——平板电极;

2——高压电极;

R——电阻器,用于在击穿时保护板电极表面;

3——铝箔(5 cm×5 cm,厚度  $12 \mu\text{m}$ );

S——用于检测击穿电流的装置。

注:在某些情况下,电阻器(R)和检测装置(S)配备在电源中。

图 10 厚度小于或等于  $6 \mu\text{m}$  薄膜击穿测量系统原理图

## 22 电弱点

### 22.1 概述

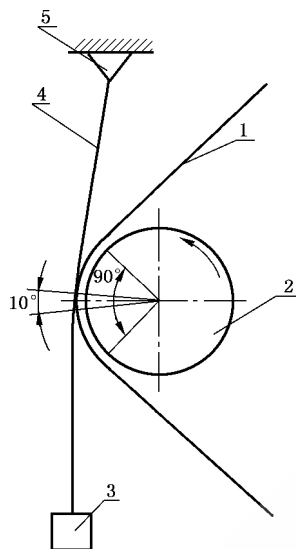
所规定的方法是对电弱点计数,在利用弱点数解释结果时,掌握所涉及的统计学十分重要。经验表明,弱点数服从泊松分布定律。在产品标准选用极限指标值时,注意试验所要求的不同统计处理方法,因为这些试验用电弱点数作为结果,而不是用测得的数值作为结果。

### 22.2 方法 A——窄条试验法

#### 22.2.1 试验装置

试样和电极的配置,如图 11 所示。该设备能将薄膜试条以近似  $90^\circ$  的圆周角绕辊子以  $5 \text{ m/min}$  的恒速移动。低压电极为用不锈钢制成并抛光的直径为  $15 \text{ mm}$  的圆柱体,作为低压电极的圆柱体应接地可靠并能灵活转动。高压电极为  $10 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$  宽、厚度约为  $7 \mu\text{m}$  的退火铝箔,铝箔以尽可能小的角度(约  $10^\circ$ )弯绕辊子,重锤用来使铝箔与试样接触良好,每  $10 \text{ mm}$  宽铝箔加荷约  $40 \text{ g}$ 。铝箔应比被试薄膜条窄,而且放置铝箔时,薄膜条的每边至少超出铝箔  $2.5 \text{ mm}$ 。施加在铝箔和辊子之间的直流电压为  $200 \text{ V}/\mu\text{m}$  被试薄膜厚。试验电压应能够在薄膜移动中时时调整(如果在薄膜静止时设置试验电压,当薄膜移动时,由于薄膜条带走了电荷,会使设置的电压下降)。

高压直流发生装置能产生 0~5 kV 的直流高压,电压波动不大于±1%。该装置应能在试样弱点击穿后约 0.1 s 内使电压回升到原来设定的电压。能灵敏地记录试样弱点的击穿点数的计数器。



标引序号说明:

- 1——试样;
- 2——辊子;
- 3——重锤;
- 4——铝箔;
- 5——挂钩。

图 11 电弱点试验示意图(方法 A)

### 22.2.2 试样

试样为薄膜卷,宽度大于铝箔的宽度至少 5 mm(每边至少超出铝箔 2.5 mm),薄膜被试面积按产品标准规定。

### 22.2.3 程序

按图 11 安装好试样,调节试样移动速度为 5 m/min,在试样移动的条件下,在辊子和铝箔间施加产品标准规定的电压。预置计数器为零。调节完毕后,重新启动试验装置,记录被试有效面积上的电弱点数。

### 22.2.4 结果

试验结果为测得的电弱点数除以被试面积,以个/m<sup>2</sup>(方法 A)表示。

同时应说明下列细节:

- 铝箔宽, mm;
- 被试薄膜条的长度, m。

## 22.3 方法 B——平板法

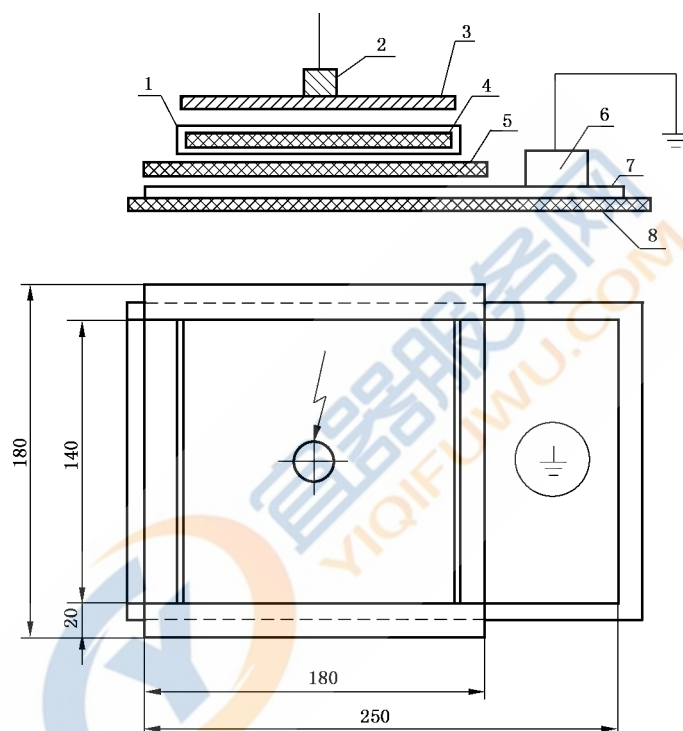
### 22.3.1 概述

**注意:** 在该试样中贮存的能量可能约有 1 J。

## 22.3.2 试验装置

试验设备示意图如图 12 所示。在约 270 mm×160 mm 的电绝缘底板上,放置一张 250 mm×140 mm 的金属化塑料箔,金属化层朝上,从被试薄膜上取一块 180 mm×180 mm 的试样,将其放置在金属化层上面,试样应在金属化塑料箔长 140 mm 的这两边上各伸出 20 mm,试样的另一边与箔宽 250 mm 中一边对齐。将另一张宽 140 mm 的金属化塑料箔放置在试样上,金属化层朝下,在箔上面放置一块 140 mm×140 mm,厚度为 4 mm 的软橡皮,然后折叠上面一块金属箔把橡皮块包住,其上再压一块 140 mm×140 mm 重约 650 g 的金属板并作为高压电极,对金属板施加试验电压,放置于下面的一块金属化塑料箔的自由端接地。试验电压(直流或交流峰值)为 200 V/ $\mu\text{m}$  试样厚。

单位为毫米



标引序号说明:

- |           |            |           |
|-----------|------------|-----------|
| 1——金属化铝箔; | 4——软橡皮;    | 7——金属化铝箔; |
| 2——高压引线端; | 5——试样;     | 8——绝缘材料。  |
| 3——金属平板;  | 6——压块(金属); |           |

图 12 电弱点试验示意图(方法 B)

## 22.3.3 程序

按图 12 装好试样和电极。以 500 V/s 的速度自零升高电压到产品标准规定的电压值。然后将此电压保持 1 min。降下电压至零。拿出试样,用肉眼辨别并计数离电极边缘 20 mm 内的击穿点数。每个试样的被试面积以 100 cm<sup>2</sup> 计。

沿薄膜卷整个宽度均匀取 10 个试样进行试验。

## 22.3.4 结果

试验结果为 10 个试样上测得的电弱点数除以被试面积,以个/m<sup>2</sup>(方法 B)表示,还应说明试验电压的类型。



## 22.4 方法 C——宽条成卷试验法

### 22.4.1 概述

多种类型的成卷薄膜设备用于制造商和客户来评估电弱点。评估各设备所得的结果,以满足供应商和购买者之间商定的标准。本文件中,介绍了三种典型示例用于测量成卷薄膜的设备。

方法 C1:待测的非金属化的薄膜在清洁的铝箔电极之间移动的设备。铝箔电极的一端接地,另一端接高压。

方法 C2:单面金属化的薄膜用作被测薄膜的接触电极的设备,金属化的薄膜接地。将待测的薄膜的一侧与金属化薄膜接触,另一侧与高压辊子接触。

方法 C3:接地辊子与薄膜表面接触的设备,高压电极不与薄膜表面接触。

应注意的是,这些测试方法不应进行比较,因为即使使用相同等级的薄膜,其结果也不相同。

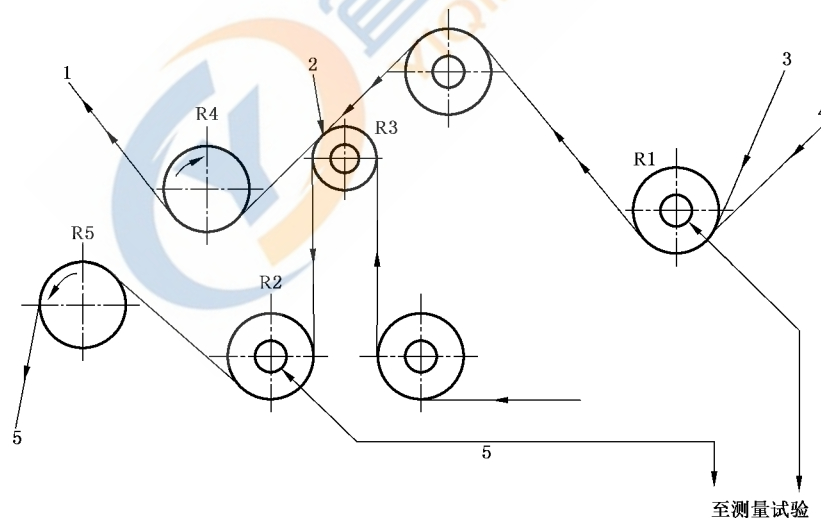
### 22.4.2 放卷系统

#### 22.4.2.1 概述

整个放卷系统是在装在合适的机房内以防尘,机房门上装有一开关,门一打开就切断试验电压。

#### 22.4.2.2 方法 C1

该设备的示意图如图 13 所示。被试薄膜通过橡皮包辊 R4 和 R5 收卷,其速度和两铝箔电极的速度一致。这两电极的厚度为  $5\ \mu\text{m}\sim 6\ \mu\text{m}$ ,电极 1 比电极 2 窄 20 mm,分别通过金属辊 R1 和 R2 电气连接到弱点测量系统,弱点在石英辊 R3 上得到检测,R3 的直径为 24 mm,铝箔电极 1 和此辊筒相切,而电极 2 则以  $180^\circ$  绕过石英辊,以便试验时薄膜只在接触线上承受试验电压。



标引序号说明:

- 1——薄膜+铝箔电极 1;
- 2——接触区域;
- 3——铝箔电极 1;
- 4——被测薄膜;

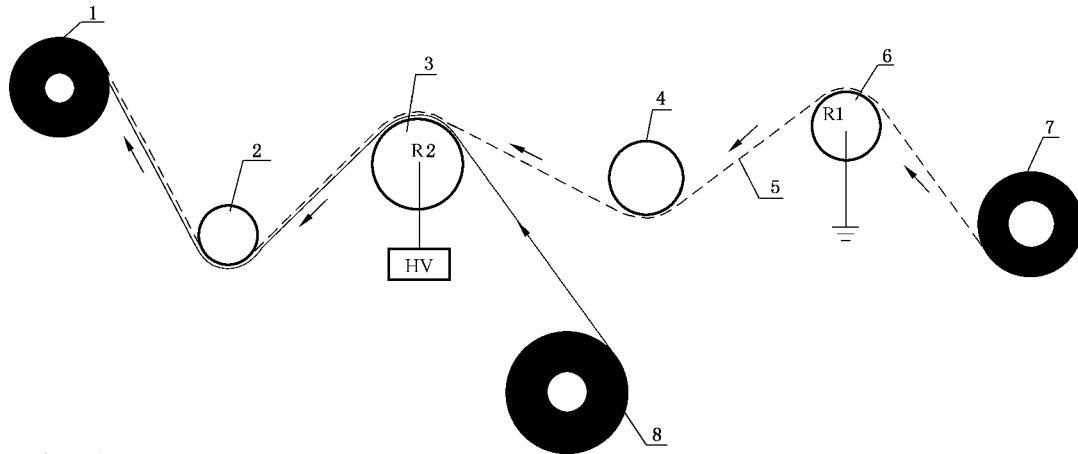
- 5——铝箔电极 2;
- R1、R2——接触辊(金属);
- R3——测量辊(石英);
- R4、R5——驱动辊(橡胶)。

图 13 电弱点试验示意图(方法 C1)

#### 22.4.2.3 方法 C2

设备的示意图如图 14 所示。被测薄膜的卷绕速度与金属化薄膜一致。金属化薄膜的厚度为  $2\ \mu\text{m}$ ,且比被测薄膜窄约 20 mm。薄膜的金属化表面通过与接地辊子(R1)轻触实现接地。金属辊子

R2 接高压端。



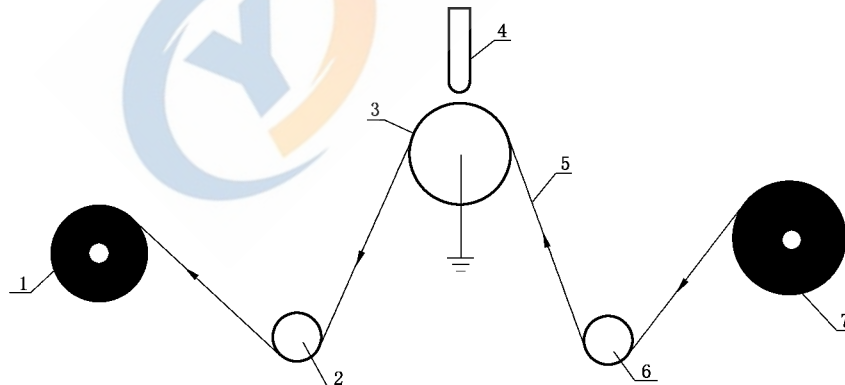
标引序号说明：

- |                        |              |
|------------------------|--------------|
| 1——卷绕；                 | 5——蒸发金属侧；    |
| 2——导向辊；                | 6——接地金属辊 R1； |
| 3——金属辊 R2, 连接至 HV 高压端； | 7——金属化薄膜辊；   |
| 4——导向辊；                | 8——试验前的薄膜辊。  |

图 14 电弱点试验示意图(方法 C2)

#### 22.4.2.4 方法 C3

设备的示意图如图 15 a) 所示。被测薄膜穿过高压电极和接地的金属辊之间的空隙。如图 15 b) 所示, 高压电极边缘与接地金属辊子之间的间隙为  $0.10\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。一种典型的高压电极形状是 4 mm 厚的金属板, 将其边缘倒圆成半径为 2 mm 的圆弧, 除非产品标准中另有规定。由薄膜接触点和分离点之间的圆弧形成的圆心角( $\alpha$ )大于  $120^\circ$ 。

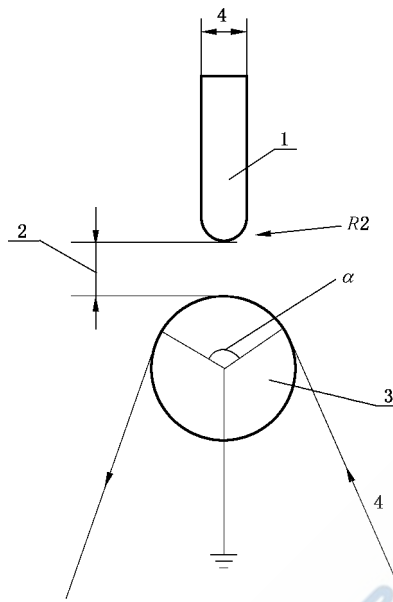


标引序号说明：

- |               |              |
|---------------|--------------|
| 1 —— 试验后的薄膜辊； | 4—— HV 高压电极； |
| 2、6—— 导向辊；    | 5—— 试验的薄膜；   |
| 3 —— 接地辊；     | 7—— 试验前的薄膜辊。 |

a) 方法 C3 的电弱点示意图

图 15 电弱点试验示意图



标引序号说明:

1——HV 高压电极;

2——空气间隙( $0.1 \pm 0.05$ ) mm;

3——接地辊( $\phi 100$ );

4——试验的薄膜;

$\alpha \geq 120^\circ$ 。

b) 方法 C3 的电弱点局部放大示意图

图 15 电弱点试验示意图 (续)

### 22.4.3 弱点计数器

计数系统包括:

- 供可调电压的直流发电机,击穿电流受  $10 \text{ k}\Omega$  电阻器限制,与试验电压无关。击穿时,电压应在  $0.5 \text{ s}$  内恢复至起始值;
- 一台合适的脉冲计数器,每秒至少能记 3 个脉冲;
- 还可装一时间开关,一旦薄膜的规定长度试验结束就能使设备停止运行。

### 22.4.4 程序

试验前确定放卷速度,施加在薄膜上的电场强度与测试面积(长度和宽度)。这些参数在产品标准中规定。

### 22.4.5 结果

弱点数除以单位面积,即为方法 C1、方法 C2 或方法 C3 的每平方米弱点数。

另外,还应说明:

- 放卷速度;
- 电场强度,  $\text{kV}/\text{mm}$  或  $\text{V}/\mu\text{m}$ ;
- 被试薄膜的宽度和长度。

## 23 耐表面放电击穿性

按 GB/T 22689 的规定。

## 24 电解腐蚀

按 GB/T 10582 的规定。具体选用何种方法由产品标准规定。

## 25 熔点

### 25.1 方法 A——DSC 法

按 GB/T 19466.3 的规定。

### 25.2 方法 B——弯液面法

#### 25.2.1 概述

将被试薄膜放在滴有少量硅油的热台上。盖上玻璃圆片,使它在试样支撑下与硅油形成弯液面。用肉眼观察,当试样不再支撑玻璃圆片而使弯液面向前移动时的温度即为被试薄膜的熔点。

#### 25.2.2 试验仪器和材料

采用下列设备或器具。

- 铋:分析纯,熔点为 271.3 °C。
- 锡:分析纯,熔点为 231.9 °C。(或其他已知熔点的标准物)
- 硅油:沸点高于被测物体的熔点。
- 弯液面法熔点测定仪:由铝块和加热器组成的加热台,并附有测温元件孔。测温元件紧贴在加热台的规定位置。温控系统分高、低两档进行调温,低档升温速率约为 2 °C/min。
- 3×5 放大镜。
- 精密测温元件:范围在 20 °C~300 °C,分度值为 0.5 °C。
- 制备试样的工具:如刀片、镊子等。

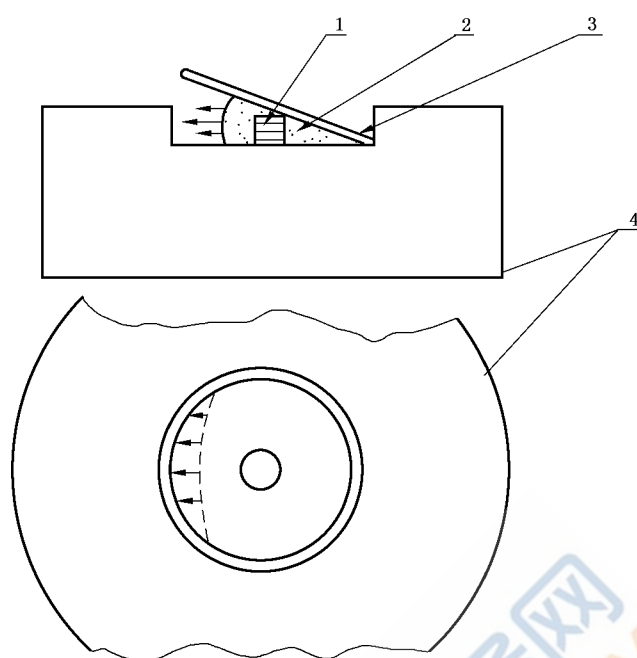
#### 25.2.3 试样

薄膜可切成约 2 mm×2 mm 或直径为 2 mm 的小片 30 片,将总厚度约为 0.1 mm 的薄膜小片重叠在一起作为一个试样。共取三个试样。

#### 25.2.4 程序

如果第一次使用仪器或者更换测温元件,应使用铋、锡或已知熔点的标准物校准仪器。

插入测温元件,保证测温元件与热台有良好的接触,在热台上滴入适量的硅油。然后,尽量整齐地将已制好的试样放在加热台上,并使每片薄膜之间都浸润硅油。盖上玻璃圆片,接通仪器电源,使热台温度迅速上升,当温度达到预期熔点以下约 20 °C 时,将温控调节到升温速率约为 2 °C/min。由于温度上升,试样被熔化,玻璃圆片不再被试样支撑,硅油弯液面开始移动。用放大镜观察弯液面开始移动时的温度,读数准确到 0.5 °C(见图 16)。这个温度即为该试样的熔点。在仪器校准时,如发现测定的标准物熔点与理论熔点相差 1 °C 以上时,则试样的熔点也应作相应的修正。



标引序号说明：

- 1——试样；
- 2——硅油；
- 3——玻璃圆片；
- 4——加热平台。

图 16 弯液面法熔点测定示意图

### 25.2.5 结果

如果三个试样的测量值相差  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上时，应重新进行试验。  
取三个试样测量值的中值作为试验结果。

## 26 收缩率

### 26.1 试样

采用方形或条形两种类型试样，方形试样尺寸约  $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ ；条形试样典型尺寸为  $20\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ ，也可采用其他尺寸。

若采用方形试样，从薄膜上切取两块试样，每块试样上作好纵横向标记。对窄于  $100\text{ mm}$  的材料，取原宽及长  $100\text{ mm}$ 。

若采用条形试样，从薄膜上切取十块试样，其中五个作为纵向，另五个作为横向。在条形试样表面中间部位画两条相距  $100\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$  的标记线。

### 26.2 程序

分别测量方形试样的纵向、横向尺寸  $L_0$ ，精确到  $0.1\text{ mm}$ 。条形试样标记线距离测量精确到  $0.1\text{ mm}$ 。

然后把试样悬挂在自然循环空气的烘箱内。按产品标准规定的温度和时间处理。

从烘箱中取出试样，冷却  $4\text{ h}$  至室温后，在原先的测量处重新测量试样纵向、横向尺寸  $L_1$ 。对于条

形试样,在同样的点测量标记线距离,两种类型测量精确到 0.1 mm。

### 26.3 结果

结果按式(11)计算:

$$X_1 = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$X_1$ ——收缩率的数值, %;

$L_0$ ——表示热处理前试样的纵向、横向尺寸(标记线距离)的数值,单位为毫米(mm);

$L_1$ ——表示热处理后试样的纵向、横向尺寸(标记线距离)的数值,单位为毫米(mm)。

方形试样,分别取两个试样的纵向、横向收缩率的平均值作为该方向的试验结果。

条形试样,分别取五个试样的纵横向标记线距离收缩率的平均值作为该方向的试验结果。

## 27 拉力下尺寸稳定性

### 27.1 设备

采用下列设备或器具:

- 恒速升温试验箱:自然空气循环,温度范围:室温~300℃,升温速率:(50℃±1℃)/h;
- 夹具;
- 砝码:1 g~200 g 若干个;
- 测温元件:精确到 1℃。

### 27.2 试样

从薄膜纵向切取 15 mm 宽的试样,若有需要,再从薄膜卷的横向切取试样(切取时应仔细,使切割面符合要求),对窄条薄膜,试样取原宽,试样的长度视试验箱体尺寸而定。约在试样整个长度的中间部位,沿试样的整个宽度上作两条相距 20 mm 的标线。

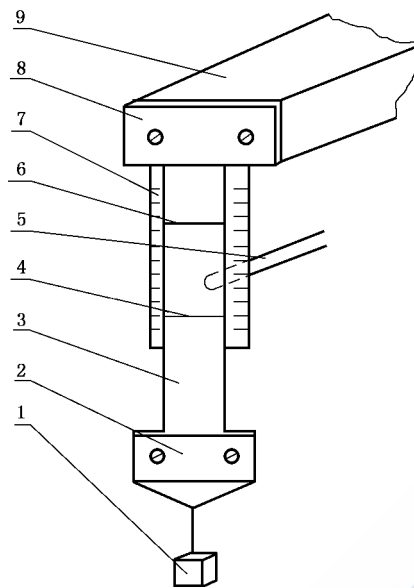
### 27.3 程序

把试样安装在恒速升温试验箱中的试验夹具中。根据试样尺寸选择负荷,使试样所受的拉应力为 2.5 MPa(试样厚度测量同 13.2)。安装试样及施加负荷过程中应使试样平直,夹具不应使试样产生损伤。在试样标长的背面放一把尺(对不透明薄膜放于侧面),直尺需能以准确度 1 mm 测出标长的变化。

在试样的标长区固定一测温元件(见图 17),以(50℃±1℃)/h 的速率恒速升温,烘箱的起始温度不应大于 30℃,在负荷下,记录试样标线距离增大 40%或者试样断裂时刻的温度。如试样在夹口处断裂,则应重新取样测试。

试验三个纵向试样,若有要求,再试验三个横向试样。





标引序号说明:

1——负荷;  
2——下夹具;  
3——试样;  
4——下标记线;  
5——测温元件;

6——上标记线;  
7——钢板尺;  
8——上夹具;  
9——支架。

图 17 拉力下尺寸稳定性试验示意图

## 27.4 结果

取三个试样测量值的中值(°C)作为试验结果。

最好作出标长变化与温度的关系图,如果在伸长率达 40%之前试样撕断,则应与温度同时说明。

## 28 压力下尺寸稳定性

### 28.1 设备

将试样放在两根直径 1 mm 的十字相交 90°的镍线之间,上加 30 N 静负荷。若这两根导线发生电接触,则说明试样已穿透(见图 18)。

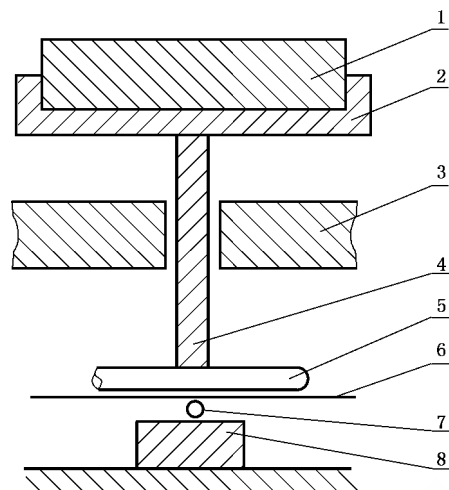
### 28.2 试样

从薄膜上取三片约 30 mm×30 mm 的试样。

### 28.3 程序

将试验装置放入无振动的空气循环烘箱中,每一试样分别固定在两垂直相交的镍线中间,检测穿透的报警装置的连线分别与上下镍线相连,然后平稳地施加 30 N 静负荷,在两穿透线之间经过信号装置施加约 40 V 直流电压。

从 30 °C 起,以(50±3) °C/h 的速率恒速升温直至信号装置指示试样发生破坏。测量紧贴试样处的温度,当信号装置指示试样发生破坏,立即记录每个试样穿透时刻的温度。



标引序号说明:

1——负荷;  
2——托盘;  
3——试验架;  
4——压杆;

5——上镍线;  
6——试样;  
7——下镍线;  
8——绝缘衬垫。

图 18 压力下尺寸稳定性试验示意图

## 28.4 结果

取三个试样测量值的中值(°C)作为试验结果。

## 29 耐高温穿透性

### 29.1 概述

按 GB/T 20631.2—2006 中第 10 章的规定。

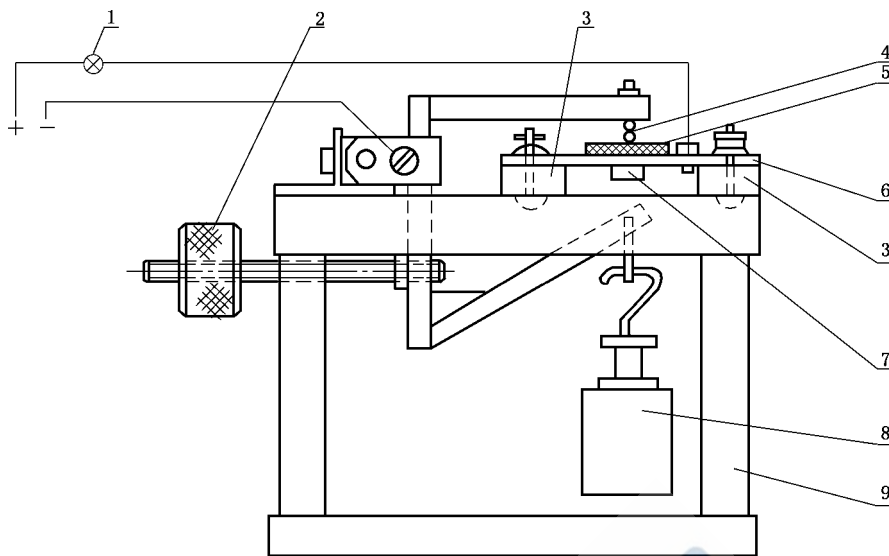
### 29.2 原理

该方法测定直径 1.5 mm 的钢珠穿透薄膜从而引起电接触时的温度。

### 29.3 设备

采用下列设备或器具。

- 耐高温穿透测试仪:其原理图如图 19 所示。图中 6 为长 300 mm、宽 30 mm、厚 3 mm 耐腐蚀钢板。条形试样放在钢板上;图中 4 为磁化钢杆,其一端凹进用以嵌住直径为 1.5 mm 的钢珠,该装置通过钢珠对试样施加压力,磁化钢杆装在一个附有平衡装置的 C 形夹上并能稍作转动。当 C 形夹具的下脚没有负荷时,可调节平衡装置上的游码使钢杆对钢珠不产生压力。测试时,给 C 形的下脚加上负荷,使钢珠对水平位置的钢板产生 10 N 垂直向下的压力。
- 烘箱:能以  $(30 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C/h}$  的速度升温,温度测量点应尽量靠近试样受压处。



标引序号说明:

- 1——指示灯;  
2——游码;  
3——绝缘垫块;  
4——钢珠和磁化钢杆;  
5——试样;

- 6——耐腐蚀钢板;  
7——测温点;  
8——砝码;  
9——基架。

图 19 耐高温穿透测试仪示意图

#### 29.4 试样

从薄膜卷上间隔 300 mm 取 5 条长 25 mm 的薄膜作为试样。

#### 29.5 程序

调节平衡装置使钢珠不受压力,在室温下将试样平放在钢珠下,小心地加上负载,使钢珠以 10 N 的压力压在试样上,然后以  $(30 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}/\text{h}$  的均匀速度升温直至试样穿透。

#### 29.6 结果

报告五个试样穿透温度的中值及最高值和最低值。

### 30 挥发物含量(热失重)

#### 30.1 设备

采用下列设备或器具:

- 天平:感量 0.1 mg;
- 烘箱:自然循环空气,温度范围:室温~300  $^\circ\text{C}$ ,控温精度  $\pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- 干燥器。

#### 30.2 试样

测量三个试样。每个试样由若干片 50 mm×50 mm 的薄膜组成,其质量不少于 300 mg。若薄膜

宽度小于 50 mm,则可取条形试样,但其质量不得少于 300 mg。

### 30.3 程序

按产品标准规定的温度和时间对试样进行预处理。预处理过程中应保证试样所有表面都与空气接触。

预处理后取出试样放入干燥器中冷却至室温。称量预处理后每个试样的质量  $m_1$ 。

再按产品标准规定的加热温度、时间,对预处理后的试样进行加热,加热过程同样应保证试样的所有表面与空气接触。加热后取出试样放入干燥器中冷却至室温,称量加热后每个试样的质量  $m_2$ 。

### 30.4 结果

每个试样的挥发物含量见式(12):

$$X_2 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$X_2$ ——表示挥发物含量的数值,%;

$m_1$ ——表示干燥后试样的质量的数值,单位为克(g);

$m_2$ ——表示加热后试样的质量的数值,单位为克(g)。

取三个试样测量值的中值作为试验结果,并报告另两个值。

## 31 长期耐热性

耐热性,温度指数(TI)或相对温度指数(RTI)按 GB/T 11026(所有部分)进行。  
具体试验方法和终点判断按产品标准规定。

## 32 燃烧性

### 32.1 方法 A

#### 32.1.1 原理

这是一种试样处于垂直位置的燃烧性试验,其目的在于根据所得的结果,把材料划分成不同等级。  
本试验适用于薄的材料(厚度为 0.25 mm 及以下),包括在火焰相对端发生收缩和变形的材料。

#### 32.1.2 设备

采用下列设备、器具或试剂:

- 试验箱:密闭或无抽风的实验室通风柜;
- 本生灯或 Tyrrel 燃烧器:喷管长为 100 mm,内直径为 9 mm;
- 带夹具的圆形支架或其他能垂直固定试样的装置;
- 甲烷(工业用),也可以使用热值不小于 9 000 kcal/m<sup>3</sup>的其他可燃性气体,带有能产生均匀流速的调节阀和压力表;
- 秒表或类似适用装置;
- 医用脱脂棉;
- 无水氯化钙干燥剂;
- 处理室或处理箱,23 °C ± 2 °C /相对湿度 50% ± 5%;
- 鼓风烘箱,70 °C ± 1 °C;
- 直径 9.5 mm ± 0.5 mm 芯轴。

### 32.1.3 试样

应试验 10 个试样。

试样应从被试薄膜上切取,其尺寸应为 200 mm 长,50 mm 宽。

用本方法试验的试样局限于最大厚度为 0.25 mm。

在离样品一端 125 mm 处沿试样宽度划一标记线。

将每个试样沿宽度方向卷在直径  $9.5\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$  的芯轴上,标线朝外,用 75 mm 宽粘带沿标记线固定试样一端,取出芯轴,形成长 200 mm 的圆筒形试样。

### 32.1.4 条件处理

试样应按下列条件分批处理:

——试验前,每批 5 个试样放于  $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ /相对湿度  $50\% \pm 5\%$  下至少处理 48 h。

——试验前,每批 5 个试样放于  $70\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  的鼓风烘箱内处理 168 h,然后冷却 4 h 至环境温度。

### 32.1.5 程序

试验应在密闭试验箱或不抽风的实验室通风柜内进行。

宜采用密闭的实验室通风柜,通风柜上装有耐热玻璃窗以及能在试验后排除燃烧产物的抽风机。由于燃烧时产生有害物质,试验后应及时排风。

把试样夹在圆形支架上,试样上端应离支架 6.0 mm,试样的纵轴垂直,试样距标记线 125 mm 的一端为下端,试样下端离本生灯或燃烧器顶部 10 mm,离 300 mm 处水平放置  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  厚 6.0 mm 干燥医用脱脂棉。按上述要求放置的圆柱形试样上端开口。

然后将本生灯远离试样,点燃并调节成  $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  高的蓝色火焰。火焰的调节方法是先调节燃气和空气进入量得到 20 mm 高的顶部黄色的火焰,然后增加空气量直至顶部黄色消失,再测量火焰高度,如有必要,还需作调整。

将火焰对准试样下端中心保持 3 s,然后立即把火焰移开至少距试样 150 mm,同时记录试样有焰燃烧时间。

燃烧停止后立即再次将火焰移到试样下面保持 3 s,燃后再移开火焰。记录试样有焰燃烧和无焰燃烧时间。

若燃烧过程中,试样熔融滴落,应将本生灯倾斜  $45^\circ$ ,以防滴落物落入灯管内。此时应保证试样底部与灯口中央相距 10 mm 左右。

若在试验中,因试样卷曲或烧掉而使试样与灯口距离增大时,应调节灯口与试样的距离始终保持 10 mm。熔融物及燃烧产生不能作为试样底部。

观察和记录下列情况:

- 第一次施加火焰后试样有焰燃烧时间;
- 第二次施加火焰后试样有焰燃烧时间;
- 是否有点燃医用脱脂棉的燃烧滴落物落下;
- 第二次施加火焰后试样无焰燃烧时间;
- 试样是否燃到 125 mm 标记线。

### 32.1.6 结果说明

按上述试验所得的结果,根据表 2 的规定,材料被划分成 VTF0、VTF1 和 VTF2。

如果在试验中:

- 5 个试样中有一个达不到标准 A、C、D 或 E;或

——超过总的燃烧时间(标准 B)在 5 s 或 5 s 以内,则允许新取一批 5 个试样再做试验。

进行第二次试验的试样应全部满足它们所处等级的要求。如果第二次中仍有一个试样达不到表 2 中相应的要求,则以两次中数字最大的级别作为该材料级别。如试验结果超出 VTF2 相应要求,则不能用本方法评定。

表 2 材料自熄性分级

标准		VTF0	VTF1	VTF2
A	每个试样每次施加火焰移开后有焰燃烧时间	≤10 s	≤30 s	≤30 s
B	5 个试样施加 10 火焰移开后的有焰燃烧时间总和	≤50 s	≤250 s	≤250 s
C	有焰或无焰燃烧蔓延至 125 mm 标记的试样数	0	0	0
D	滴落物引燃试样下方 300 mm 处的医用脱脂棉的试样数	0	0	<sup>a</sup>
E	每个试样第二次施加火焰移开后无焰燃烧时间	≤30 s	≤60 s	≤60 s
<sup>a</sup> 一些燃烧时间很短的少数着火颗粒可能会点燃医用脱脂棉。				

### 32.2 方法 B

按 GB/T 20631.2—2006 中第 20 章进行。

样品裁取 3 条宽约 900 mm×20 mm 的条样,以半搭接方式包缠于芯轴上,每次包缠的前进方向与前一次相反,总计进行 3 次包缠,这样包缠好的芯轴上任意一点均为 6 层薄膜。

## 33 潮湿空气中的吸湿性

### 33.1 设备或器具

采用下列设备或器具:

- 天平:感量为 0.1 mg;
- 称量瓶;
- 烘箱:控温精度为 ±2 °C;
- 干燥器;
- 恒湿箱:能保持相对湿度 93%±2%。

### 33.2 试样

试验三个试样,每个试样由若干片 50 mm×50 mm 的薄膜组成,其质量不少于 300 mg。若薄膜宽度小于 50 mm,则可取条形试样,但其质量不得少于 300 mg。

### 33.3 程序

#### 33.3.1 收货状态材料的吸湿性

首先测定收货状态每个试样的质量  $m_1$ 。然后将试样放入相对湿度为 93%±2% 的恒湿箱内,处理时间按产品标准规定。达到时间后立即取出并分别放入密闭称量瓶中,再次称量每个试样的质量  $m_2$ 。

#### 33.3.2 干燥材料的吸湿性

把三个试样按产品标准规定的温度干燥 24 h 后,放入装有五氧化二磷的干燥器中冷却至室温。然



后将试样分别放入密称量瓶中,并称出每个试样的质量  $m_3$ 。

将试样放入相对湿度为  $93\% \pm 2\%$  的恒湿箱中,处理时间按产品标准规定。达到处理时间后立即取出放入密闭称量瓶中,称量每个试样的质量  $m_4$ 。

### 33.3.3 结果

结果分别按式(13)和式(14)计算:

$$X_3 = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$X_4 = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100 \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$X_3$ ——收货状态材料的吸湿性的数值, %;

$m_1$ ——收货状态试样的质量的数值,单位为克(g);

$m_2$ ——湿度处理后试样(收货状态)的质量的数值,单位为克(g);

$X_4$ ——干燥材料的吸湿性的数值, %;

$m_3$ ——干燥处理后或收货状态试样的质量的数值,单位为克(g);

$m_4$ ——湿度处理后试样(干燥材料)的质量的数值,单位为克(g)。

取三个试样计算结果的中值作为试验结果。

## 34 吸液性

### 34.1 原理

这里所述的方法是一种间接法,根据被试薄膜吸收的液体重量,用薄膜和液体的密度来计算因吸液而增加的体积。

### 34.2 设备

采用下列设备或器具:

- 能把薄膜切割成约  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的极锋利的冲模或带有一把锋利刀的样规或刀片;
- 天平:感量为  $0.1 \text{ mg}$ ;
- 烘箱:控温精度  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 温度范围:室温  $\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 直径  $100 \text{ mm}$  带盖的玻璃器皿;
- 厚度为  $0.1 \text{ mm} \sim 0.15 \text{ mm}$  的无光吸水纸,适用于迅速擦去试样表面的液体称量;
- 称量瓶;
- 密度瓶或比重瓶;
- 浸渍液由产品标准规定。

### 34.3 试样

试验三个试样,每个试样由若干片  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的薄膜组成,其质量不少于  $300 \text{ mg}$ 。若薄膜宽度小于  $50 \text{ mm}$ ,则可取条形试样,但其质量不得少于  $300 \text{ mg}$ 。

### 34.4 程序

将盛有一定深度( $10 \text{ mm}$  以上)浸渍液的玻璃器皿放到烘箱中,加热到产品标准所规定的温度。

在 23 °C ±1 °C 下测量每个试样的质量  $m_1$ , 精确到 0.1 mg。

当浸渍液达到试验温度后, 把每组试样分别浸入浸渍液中。浸渍时应保证每片试样都互不接触。浸渍时间按产品标准的规定。达到浸渍时间后, 从浸渍液中取出试样, 分别用滤纸吸去每片试样表面的液体, 然后再用新的滤纸擦干。在 23 °C ±1 °C 下称量每个试样的质量  $m_2$ 。

擦干和称量应在试样从烘箱内取出后的 15 min 之内完成。

注: 因有些浸渍液在室温下可挥发, 因此不要超过此时间。

按第 5 章所述方法测定薄膜密度  $d_1$ 。

用密度瓶在 23 °C ±1 °C 下测量浸渍液的密度  $d_2$ 。

### 34.5 结果

结果按式(15)计算:

$$X_5 = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \times 100 \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$X_5$ ——吸液性的数值, %;

$m_2$ ——浸渍后每个试样的质量的数值, 单位为克(g);

$m_1$ ——浸渍前每个试样的质量的数值, 单位为克(g);

$d_1$ ——薄膜密度的数值, 单位为克每立方厘米( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$d_2$ ——浸渍液密度的数值, 单位为克每立方厘米( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

取三个试样吸液性计算值的中值作为试验结果。

### 35 离子杂质萃取

按 GB/T 7196 的规定。

原理: 通过液体萃取物体积电阻率的增加确定所存在的在有机或无机离子可溶性物质。

### 36 绝缘漆/液态可聚合树脂复合物的影响

#### 36.1 设备

采用下列设备或器具。

——试验机: 合适量程的材料试验机, 装有一对夹具用以夹住试样。在施加拉伸负荷时, 夹具能以产品标准规定的速度彼此分离。试验机的拉伸负荷和伸长率的示值的相对误差不大于 1%。

——烘箱: 自然循环空气, 温度范围: 室温~300 °C, 控温精度 ±2 °C。

——测厚仪: 同 5.2.2.2。

——玻璃容器。

#### 36.2 试样

取 5 片 50 mm × 50 mm 的试样用来测量厚度。

按 13.2 取 10 条纵向试样用来测量浸漆前后薄膜的拉伸强度和断裂伸长率。

#### 36.3 程序

##### 36.3.1 绝缘漆

在 5 片测量厚度的试样中心处, 用 5.2.2.2 所述仪器分别测量其厚度(每片试样上均匀地测量 5 点,

取其中值作为该片试样的厚度)。从 10 条纵向试样中取出 5 条,按 13.3 测量未浸绝缘漆时的拉伸强度和断裂伸长率,并检查未浸漆时试样的平整度、透明度和颜色。

将绝缘漆倒入玻璃容器中,加热到产品标准规定的温度。然后将 5 片测量厚度的试样以及另处 5 条纵向试样完全浸没在绝缘漆中。而且试样之间,试样和容器间互不接触。浸 4 h±15 min 后,取出试样,放入绝缘漆溶剂中漂洗几秒钟,再用滤纸擦干。漂洗和擦干应在试样取出后的 1 min 内完成。

测量浸漆后试样的厚度、拉伸强度和断裂伸长率。这些试验应尽可能在试样从绝缘漆中取出后的 3 min 内完成,检查浸漆后试样的平整度、透明度和颜色。

### 36.3.2 液态可聚合树脂复合物

试验步骤同 36.3.1。具体试验温度及浸渍时间视可聚合树脂的性质而定,一般浸渍时间不超过 4 h。达到浸渍时间后(应小于可聚合树脂的胶化时间)取出试样,放在甲苯中漂洗几秒钟。

### 36.4 结果

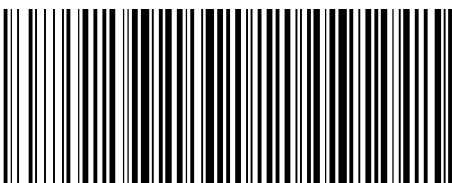
比较浸渍后的试验结果,确定有什么变化发生。用这些变化并列出的绝缘漆作为试验结果。这些变化是:

- 报告所用的绝缘漆及试样在浸漆前后的平整度、透明度和颜色是否发生变化;
- 浸漆前后厚度的变化百分数;
- 浸漆前后拉伸强度的变化百分数;
- 浸漆前后试样断裂伸长率的变化百分数。



参 考 文 献

- [1] IEC 60260 Test enclosures of non-injection type constant relative humidity
- 



GB/T 13542.2-2021

版权专有 侵权必究

\*

书号:155066·1-68633