

团 体 标 准

T/CAAMTB XXXX—XXXX

新能源车用电源磁件安全规范与测试方法

Safety requirements and tests for magnetic components in power application of new
energy vehicles

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

前言..... 2

1 范围..... 3

2 规范性引用文件..... 3

3 术语和定义..... 3

4 车载应用的环境条件..... 6

5 安全规范要求..... 7

附 录 A （资料性） 试验电压施加点的例子..... 33

附 录 B （规范性） 用作多层绝缘线的绝缘绕组线..... 35

附 录 C （规范性） 爬电距离和电气间隙的测量..... 37

附 录 D （规范性） 电痕化试验..... 40

参考文献..... 41

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。

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。

本文件由中国汽车工业协会电机电器电子委员会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位:上海科世达-华阳汽车电器有限公司、联合汽车电子有限公司、横店集团东磁股份有限公司、惠州可立克电子有限公司、浙江大学、南京航空航天大学。

本文件主要起草人:沈建于、刘为、吴睿、徐金良、邵华、袁文琦、顾小建、刘谷平、王正仕、张之梁。

本文件为首次发布。

新能源车用电源磁件安全规范与测试方法

1 范围

本文件规定了电磁干扰抑制器件、磁性储能器件和电力电子变压器及其组合的安全方面的要求，如电气、温度和机械等方面的安全要求。

本文件适用于共模电感、差模电感、电抗器和变压器。

本文件不适用于预定要与共模电感、差模电感、电抗器、变压器的输入和输出端子连接的电路及其元器件。

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 16935.1 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和实验

GB/T 16935.3 低压系统内设备的绝缘配合 第3部分：利用涂层、灌封和模压进行防污保护

GB/T 16935.4 低压系统内设备的绝缘配合 第4部分：高频电压应力考虑事项

GB/T 16935.5 低压系统内设备的绝缘配合 第5部分：不超过2mm的电气间隙和爬电距离的确定方法

GB/Z 16935.2 低压系统内设备的绝缘配合 第2-1部分：应用指南 GB/T 16935系列应用解释，尺寸示例及介电试验

IEC 61558-1 Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof – Part 1: General requirements and tests

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变压器

具有两个或多个绕组的静止设备，为了传输电能，在同一频率下，通过电磁感应将一个系统的交流电压和电流转换为另一系统的电压和电流，通常这些电压和电流的值是不同的。

3.2

I类变压器

其电击防护不仅依靠基本绝缘，而且还包括有像提供保护接地端子那样的一些附加安全措施的变压器。这些附加安全措施能使可触及的导电零部件与设施中固定布线的保护接地导线相连，以便一旦基本绝缘失效，可触及的导电零部件不会带电。

注：I类变压器可以有带双重绝缘和加强绝缘的零部件。

3.3

II 类变压器

其电击防护不仅依靠基本绝缘，而且还采用诸如双重绝缘或加强绝缘的附加安全措施的变压器。这种变压器没有保护接地措施或依靠安装条件的措施。

3.4

电抗器

含有一个或多个绕组，其阻抗与频率有关的电气装置。它是按自感原理，利用励磁电流产生的磁场通过导磁磁心或空气来工作的。

3.5

电源

装有变压器和电子电路，能将电功率转换成单个或多个功率输出的电子装置。

3.6

绝缘配合

电力系统中用以确定输电线路和电工设备绝缘水平的原则、方法和规定。

3.7

电气间隙

在两个导电零部件之间的空气中的最短距离。

3.8

爬电距离

在两个导电零部件之间沿绝缘材料表面（通过空气）的最短距离。

3.9

固体绝缘

用以隔绝不同电位导电体的固体。

3.10

工作电压

在额定电源电压和空载或正常工作条件下，不计及瞬态值时，可能出现（局部地出现）在绝缘上的最高的交流方均根值电压或直流电压值。

3.11

耐受电压

长期交变电压作用下电器的绝缘强度。

3.12

过压类别

连接至具有限制瞬态过电压至相当低水平措施的电路的设备(例如, 具有过电压保护的电子电路)上所承受的过电压。

3.13

污染

能造成绝缘的介电强度或表面电阻率降低的任何附加的固体, 液体, 气体或外来物质。

3.14

污染等级

为确定电气间隙和爬电距离而规定的微环境污染等级。

3.15

污染等级 1 (P1)

不存在污染或仅有干燥的非导电性污染的污染等级。这种污染没有影响。

3.16

污染等级 2 (P2)

仅存在非导电性污染的污染等级, 但要预计到偶然出线的因凝露引起的暂时导电性污染。

注: 具有适当封闭外壳的变压器被认为是达到了污染等级2 (P2), 不需要采取气密密封。

3.17

污染等级 3 (P3)

出现导电性污染或存在干燥的非导电性污染因可预计到的凝露而变为导电性污染的污染等级。

3.18

功能绝缘

导体之间功能性方面的绝缘。

3.19

基本绝缘

为防电击提供基本保护而对危险的带电零部件所施加的绝缘。

3.20

加强绝缘

对危险的带电零部件所施加的单一的绝缘结构, 其提供电击防护的程度相当于双重绝缘。

3.21

附加绝缘

为了在基本绝缘一旦失效时仍提供电击防护而在基本绝缘之外另外施加的单独绝缘。

3.22

双重绝缘

由基本绝缘和附加绝缘构成的绝缘。

3.23

带电零部件

在正常工作时预定要带电的导体或导电零部件，其中包括中性导体在内，但通常不包括PEN导体，PEM导线或PEL导线。

3.24

危险的带电零部件

在某些条件下能造成电击危险的带电零部件。

3.25

接触电流

当人体或动物体接触装置或设备的一个或多个可触及的零部件时，通过人体或通过动物体的电流。

3.26

保护接地导体电流

在保护导体中流动的电流。

注：该电流对接在同一电路中的RCD(剩余电流保护装置)的动作可能会有影响。

4 车载应用的环境条件

车载应用的环境条件包括以下几方面：

a) 对于交流供电的车辆供电回路的绝缘应根据电路最大工作电压和GB/T 16935.1规定的过电压类别II进行设计。若车辆供电回路包括限制瞬时过电压至相当低水平的措施，则部分车辆供电回路可以根据电路最大工作电压和GB/T 16935.1规定的过电压类别I进行设计；

b) 过电压类别I的设备是连接至具有限制瞬时过电压至相当低水平措施的电路的设备，对于中国电网，其额定冲击电压为1500V；

c) 过电压类别II的设备是由固定式配电装置供电的耗能设备，对于中国电网，其额定冲击电压为2500V；

d) 过电压类别III的设备是固定式配电装置中的设备，以及设备的可靠性和适用性必需符合特殊要求者；对于中国电网，其额定冲击电压为4000V；

e) 过电压类别IV的设备是使用在配电装置电源端的设备，对于中国电网，其额定冲击电压为6000V；

f) 车辆供电回路的绝缘需考虑海拔以及相应大气压强对电气击穿的影响。对于海拔高度大于2000米的应用,绝缘设计的电气间隙需乘以表7-A规定的海拔因子。

5 安全规范要求

5.1 电击防护

变压器应封装并对防止触及危险的带电零部件提供足够的防护,且应没有因电容器储存电荷而引起的电击危险。

通过检查和 5.1.1.1、5.1.1.2 和 5.1.2 的试验来检验是否合格。

5.1.1 防止触及危险的带电零部件的防护

5.1.1.1 危险的带电零部件的确定

如果带电零部件用双重绝缘或加强绝缘与电源隔离,且其在变压器接到额定电源电压时能满足 5.1.1.1.1 或 5.1.1.1.2 的要求,则该带电零部件不是危险的带电零部件。

5.1.1.1.1 电压不应大于交流 35V(峰值)或无纹波直流 60V,在任意两个导电零部件之间通过测量来检验是否合格。

5.1.1.1.2 如果电压大于交流 35V(峰值)或无纹波直流 60V,则接触电流不应超过:

——对交流: 0.7mA(峰值);

——对直流: 2.0mA。

另外,当电容器与带电零部件相连时:

a) 对储存电压在 60V~15kV 时,放电量不应大于 45μC;

b) 对储存电压大于 15kV 时,放电能量不应大于 350mJ。

通过用一个 2000 Ω 的负载进行测量来检验是否符合 5.1.1.1.2.1 和 5.1.1.1.2.2 的要求。

5.1.1.2 危险的带电零部件的触及

变压器的结构应对防止触及危险的带电零部件提供足够的防护。

I 类和 II 类变压器的结构和封装应对防止意外接触危险的带电零部件具有足够的防护。

对 I 类变压器,可触及的零部件至少应用基本绝缘与危险的带电零部件隔离。

II 类变压器的结构和封装应对防止触及基本绝缘以及对防止接触仅用基本绝缘与危险的带电零部件隔离的导电零部件具有足够的防护。只有用双重绝缘或加强绝缘与危险的带电零部件隔离的零部件才是可以触及的。

在拆除可拆卸零部件后,危险的带电零部件不应是可触及的,但下列零部件除外:

——具有灯头大于 B9 和 E10 的灯泡;

——D 型熔断器座。

5.1.1.3 非危险的带电零部件的触及

用双重绝缘或加强绝缘与输入电路隔离的输出电路中的非危险的带电零部件,在下列条件下是可以触及的:

——对空载输出电压不超过交流 35V(峰值)或无纹波直流 60V,两个极可以触及;

——对空载输出电压超过交流 35V(峰值)或无纹波直流 60V, 以及不超过交流 250V, 仅一个极可以触及。

5.1.2 危险性放电的防护

对带一次电源插头的变压器, 在插头拔出后 1s 进行测量, 插头的插销不应是危险的带电体。

对不带一次电源插头的变压器, 在断开电源后 5s 进行测量, 供变压器与电源连接用的端子不应是危险的带电体。

注: 就本条而言, 插头连接器和器具输入插座被认为是电源插头。

通过下列试验来检验是否合格:

如果插销间的标称电容不超过 $0.1 \mu\text{F}$, 则不需进行本试验。

变压器的一次电源开关(如果有)要处于断路位置, 除非处于接通位置时是更加不利的情况。

本试验应进行 10 次, 或者要用一种能在电源电压处于最不利的电角度下将电源切断的装置来进行试验。

在切断电源后 1s 或 5s 时, 测量输入端子间或电源引线间或连接电源用的电源插头插销间的电压。

如果电压超过无纹波直流 60V, 在保持相同的条件下测得的放电量不应超过 $45 \mu\text{C}$ 。

5.2 防止灰尘、固体异物和潮湿有害进入的防护

5.2.1 用外壳提供的防护等级(IP 代码)

试验前检查下列事项:

- a) 变压器的外壳应具有与变压器的分类和标在变压器上的 IP 代码相一致的防止灰尘、固体异物和潮湿进入的防护等级, 但 IP1X 除外, 它应按 IP00 进行标志和试验。
- b) 通过 5.2.1.1 规定的相应试验, 以及对其他 IP 额定值, 通过 GB 4208 规定的相应试验来检验是否合格。
- c) 除了 IPX8 外, 在进行第二位特征数字的试验前, 变压器应在额定输出条件下接通电源, 并在额定电压下使变压器达到稳定的工作温度。
- d) 试验用水的温度应为 $15^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。
- e) 变压器应按正常使用状态安装好并接好线, 如果适用, 在输出电路上插上适用的插头。
- f) 未配备外部软电缆或软线的变压器要装上外部导线, 该导线应是最不利的型号和截面积。
- g) 如无其他规定, 则对预定要用其壳体与某一表面呈面接触安装的固定式变压器, 应将其放置在一块外形尺寸等于变压器投影面的板上来进行试验。
- h) 对外壳具有供排水用的排水孔的变压器, 安装时应使其最低处的排水孔敞露。但制造方安装说明书另有规定时除外。试验期间通风孔要打开。
- i) 按正常使用接好线的移动式变压器应以其正常使用时的最不利的位置来放置。
- j) 对密封盖(如果有), 应用其在进行 5.7.5 规定的试验时所施加的力矩值的三分之二力矩来拧紧。试验完成后, 变压器应承受 5.3.3 规定的介电强度试验, 且经下列检查表明:
- k) 在防尘变压器的外壳内没有滑石粉的沉积, 如果滑石粉是导电的, 就可能会导致绝缘不能满足本部分的要求;
- l) 在尘密式变压器的外壳内没有滑石粉的沉积;
- m) 在除电压低于交流 15V 或直流 25V 的 SELV 零部件外的带电零部件上, 或在可能会对使用人员或周围环境造成危险的绝缘上没有水迹;
- n) 在防滴水、防淋水、防溅水和防喷水变压器的外壳内不出现会导致损害安全的水的积聚;
- o) 在水密式变压器的外壳内没有水或水进入的痕迹;
- p) 对防固体异物进入的变压器, 相关的试具不能进入变压器外壳内。

5.2.1.1 具有外壳的变压器的试验

5.2.1.1.1 防固体异物进入的变压器(IP 代码第一位特征数字为 2)应用 GB 4208 规定的标准试验。

5.2.1.1.2 防固体异物进入的变压器(IP 代码第一位特征数字为 3 和 4)应用符合 GB/T 16842 试具 C 或试具 D, 在每一个可能的部位(密封盖除外)施加下表 1 规定的力来进行试验:

表1 防固体异物进入的变压器试验

	符合GB/T 16842的试具	试具金属线直径 mm	施加的力
IP代码第一位数字为3	C	$2.5^{+0.05}_{-0}$	3N±10%
IP代码第一位数字为4	D	$1.0^{+0.05}_{-0}$	1N±10%

试具的金属线末端的切割面应与金属线长度方向成 90° 夹角且无毛刺。

5.2.1.1.3 防尘变压器(IP 代码第一位特征数字为 5)在类似于 GB 4208 图 2 所示的防尘箱中进行试验, 用气流使防尘试验箱内的滑石粉保持悬浮状态, 试验期间, 图中所示的真空泵不连接。试验箱内每立方米容积中的滑石粉含量应为 2kg。所用的滑石粉应经过方孔筛过筛, 方孔筛金属丝的标称直径为 50 μm, 方孔筛金属丝之间标称自由距离为 75 μm, 滑石粉颗粒的尺寸范围应降至 1 μm, 同时至少有 50%重量的滑石粉颗粒小于 5 μm。滑石粉的使用不应超过 20 次试验。

试验应按下列规定进行:

- a) 将变压器悬吊在防尘试验箱外, 使变压器在额定输出条件下工作, 直至达到工作温度;
- b) 将一直在工作中的变压器放入防尘试验箱内, 并使其受到的干扰最小;
- c) 将防尘试验箱的箱门关好;
- d) 将风扇/鼓风机通电, 使滑石粉处于悬浮状态;
- e) 经过 1min 后, 在滑石粉仍保持悬浮状态时, 将变压器断电并使其冷却 3h。

注 1: 从风扇/鼓风机通电到变压器断电的间隔时间规定为 1min, 是为了确保变压器在开始冷却时, 在其周围的滑石粉处于正常悬浮状态, 这一点对较小的变压器最为重要。变压器一开始按 a) 项的规定工作是为了确保试验箱不致于过热。

注 2: 本试验条件的处理与 GB 4208 的第一种类型相对应。

5.2.1.1.4 尘密式变压器(IP 代码第一位特征数字为 6)按 C 的规定进行试验。

5.2.1.1.5 滴水变压器(IP 代码第二位特征数字为 1)承受滴水量为 3mm/min 的人工降雨 10min, 进行人工降雨要使用 GB 4208 图 3 所示的装置, 雨水要从变压器顶部上方 200mm 的高度垂直降落。

5.2.1.1.6 防滴水变压器(IP 代码第二位特征数字为 2)以倾角达 15° 的任何角度倾斜放置, 承受滴水量为 3mm/min 的人工降雨 10min, 进行人工降雨要使用 GB 4208 图 3 所示的装置, 水要从变压器顶部上方 200mm 的高度垂直降落。

5.2.1.1.7 防淋水变压器(IP 代码第二位特征数字为 3)使用 GB 4208 图 4 所示的淋水装置淋水 10min。该装置中的半圆形摆管的半径应尽可能小, 并能与变压器的尺寸和位置相协调。摆管上打出的孔眼应保证使淋出的水流指向圆心, 淋水装置进水口的水压应约为 80kPa。摆管摆动角度应为 120°, 即在其垂直面两侧各摆动 60° 角, 一次完整的摆动(2×120°)所需时间约为 4s。变压器应安置在摆管转动轴中心线的上方, 使变压器的各端面均受到水喷流的充分覆盖。应使变压器按 GB 4208 的规定, 绕其自身的垂直轴线旋转。在淋水 10min 后, 应切断变压器的电源, 以便其自行冷却, 但淋水不中断, 继续淋水 10min。

5.2.1.1.8 防溅水变压器(IP 代码第二位特征数字为 4)使用 GB 4208 图 4 所示的淋水装置并按 F 的规定, 从每个方向溅水 10min。变压器应安置在摆管转动轴中心线的下方, 使变压器的各端面受到水喷流的充分覆盖。摆管摆动角度应几乎达到 360°, 即在其垂直面两侧各摆动 180° 角, 一次完整的摆动(2×360°)所需时间约为 12s。应使变压器按 GB 4208 的规定, 围绕其自身的垂直轴线旋转。被试设备的支撑件应

做成网状体，以避免起挡水的作用。在溅水 10min 后，应切断变压器的电源，以便其自行冷却，但溅水不中断，继续溅水 10min。

5.2.1.1.9 防喷水变压器在其断电后立即承受喷水 15min，进行喷水要使用带喷嘴的软管从各个方向喷射，喷嘴的形状和尺寸如 GB 4208 图 6 所示，其中尺寸 D' 为 6.3mm。喷嘴离样品距离应为 3m。水流量率应为 12.5l/min。

5.2.1.1.10 防强喷水变压器在其断电后立即承受喷水 3min，喷水要使用带喷嘴的软管从各个方向喷射，喷嘴的形状和尺寸如 GB 4208 图 6 所示，其中尺寸 D' 为 12mm。喷嘴离样品距离应为 3m。水流量率应为 100l/min。

5.2.1.1.11 水密式变压器(IP 代码第二位特征数字为 7)在其断电后立即浸入水中 30min，使水高于变压器顶部至少 150mm，且变压器的最低部分至少承受 1m 水柱高的压力。应采用变压器正常的固定方法将变压器固定在位。

注：对预定在水下工作的变压器，这种处置是不够严格的。

5.2.1.1.12 压力水密式变压器(IP 代码第二位特征数字为 8)通过其工作或通过其他适用的方法加热，使变压器外壳的温度超过试验箱内的水温 5℃~10℃。然后应切断变压器电源，并承受与额定最大浸水深度相对应的压力 1.3 倍的水压，试验 30min。

5.2.2 受潮处理

变压器应能承受其在正常使用时可能出现的潮湿条件。

先经过本条规定的受潮处理，然后再立即进行试验来检验是否合格。

对预定要与电源作固定连接的变压器，要在安装好电缆但电缆进线口敞开的情况下进行试验。如果提供有若干个敲落孔，且其位于外壳的不同部位，则将其中产生最不利条件的敲落孔敲开。对预定要与外部软电缆或软线配套使用的变压器，在正确安装好该软线和软线进线口的情况下进行试验。不用工具就能拆除的电气元器件、盖子和其他零部件要拆除，如有必要，要和主体部分一起进行受潮理。进行受潮处理要在潮湿箱内进行，箱内空气相对湿度保持在 91%~95%。箱内凡能放置样品的所有位置处的空气温度保持在 20℃~30℃之间任何一个方便的温度值 t ，其误差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。样品在放入潮湿箱之前，先使样品温度达到 t 与 $(t+4)^\circ\text{C}$ 之间的某一温度。

样品在箱内保持时间如下：

——对防护等级为 IP20 或防护等级更低的变压器，2d(48h)；

——对其他防护等级的变压器，7d(168h)。

在大多数情况下，可以先将样品保持在规定的温度下至少 4h，使样品达到该规定的温度，然后进行受潮处理。

注：在潮湿箱内放置硫酸钠(Na_2SO_4)或硝酸钾(KNO_3)饱和水溶液就能获得 91%~95%的相对湿度，但要求该溶液与潮湿箱内的空气之间的接触表面足够大。为了使潮湿箱内部达到规定的条件，一般需要确保空气不断的循环和使用绝热的试验箱。

在进行受潮处理和相关的试验后，变压器不应出现本部分意义范围内的损坏。

5.3 绝缘电阻、介电强度和漏电流

5.3.1 概述

变压器的绝缘电阻、介电强度和漏电流应符合要求。

在进行 5.2.2 的试验后，在潮湿箱内或在使样品处在上述规定温度的户内，重新装好可能已被拆除的那些零部件后，立即进行 5.3.2~5.3.5 的试验来检验是否合格。

5.3.2 绝缘电阻

绝缘电阻不应小于表 2 的规定值。

绝缘电阻的测量要在施加约 500V 的直流电压下并在施加电压 1min 后进行测量。

表2 绝缘电阻值

被试绝缘部位	绝缘电阻 MΩ
危险的带电零部件与壳体之间：	
——对基本绝缘	2
——对加强绝缘	7
输入电路与输出电路之间（基本绝缘）	2
输入电路与输出电路之间（双重绝缘或加强绝缘）	5
每一个输入电路与连接在一起的所有其他输入电路之间	2
每一个输出电路与连接在一起的所有其他输入电路之间	2
II类变压器的危险的带电零部件与仅用基本绝缘与该危险的带电零部件隔离的导电零部件之间	2
II类变压器仅用基本绝缘与危险的带电零部件隔离的导电零部件与壳体之间	5
分别于II类变压器绝缘材料外壳的内表面和外表面接触的两个金属箔之间	7

5.3.3 介电强度试验

在进行 5.3.2 的试验后，立即使绝缘承受 50Hz/60Hz、基本上是正弦波形的介电强度试验电压 1min。介电强度试验电压值及其施加电压的部位见表 3。

在进行试验前，将电阻器、电容器和其他元器件断开。

试验期间，绝缘材料和(或)系统不应出现闪络或击穿，电晕效应和类似现象不予考虑。试验电压施加部位的图例见附录 A。

表3 介电强度试验电压值表

介电强度试验电压的施加部位 ^a	工作电压 V ^b				
	<50	150	300	600	1000
1) 输入电路的带电零部件和输出电路的带电零部件之间（基本绝缘）	250	1400	2100	2500	2750
2) 输入电路的带电零部件和输出电路的带电零部件之间（双重绝缘或加强绝缘）	500	2800	4200	5000	5500
3) 下列零部件之间的基本绝缘或附加绝缘：	250	1400	2100	2500	2750
a) 不同机型的带电零部件：					
——在同一绕组内：无需试验（仅功能绝缘）					
——出绕组外：试验适用					
b) 带电零部件与壳体，如果壳体预定要与保护接连；					
c) 可触及的导电零部件与插入进线护套、软线护套、固定装置和类似装置内的，其直径和软电缆或软线的直径相同的金属棒（或缠绕在软线上的金属箔）；					
d) 带电零部件与中间导电零部件；					
e) 中间导电零部件与壳体；					
f) 每一个输入电路与连接在一起的所有其他输入电路					

4) 壳体与带电零部件之间的加强绝缘	500	2800	4200	5000	5500
a 对符合5.4.12.3和5.8.2.4试验B的结构, 试验电压要乘以系数1.25。对符合5.8.2.4的试验C结构, 试验电压要乘以系数1.35。					
b 当工作电压处于中间值时, 要在两个相应表列值之间用内插法求出介电强度试验电压值。					

所使用的试验方法的细节见 GB/T 17627.1 和 GB/T 17627.2。

试验所用的高压变压器在输出端子短路时, 应能提供至少 200mA 的电流。

应注意, 施加在输入与输出电路之间的介电强度试验电压不要使其他绝缘承受过高的电压。如果制造方说明了在输入与输出电路之间具有双重绝缘系统(例如从输入电路到磁心和从磁心到输出电路), 则每一个绝缘要按上表 3 第 3 项规定的介电强度试验电压分别进行试验。该要求同样适用于输入与壳体之间的双重绝缘。

对同时包含有加强绝缘和双重绝缘的 II 类变压器的情况, 应注意施加在加强绝缘上的介电强度试验电压不要使基本绝缘或附加绝缘承受过高的电压。

5.3.4 绕组之间和绕组内部的绝缘

在进行 5.3.3 的试验后, 将某一个输入电路接到电压为 2 倍额定电源电压值、频率为 2 倍额定电源频率的试验电压持续 5min, 变压器不接负载。在试验时, 多线绕组(如果有)要将其串联连接。本试验仅适用于额定电源频率小于 500Hz 的变压器。

可以使用比 2 倍额定电源频率更高的试验频率, 此时施加试验电压的持续时间(以 min 为单位)等于 10 倍额定电源频率除以试验频率, 但不少于 2min。

在试验期间, 绕组匝间、输入电路与输出电路之间、相邻的输入电路或输出电路之间或者绕组与任何导电磁心之间的绝缘均不应出现击穿。

5.3.5 接触电流和保护接地导体电流

接触电流和保护接地导体电流要按下列 5.3.5.1 和 5.3.5.2 的规定进行测量。

对调压器或具有分接头的变压器应选择最不利的调节值。对具有多个输入或输出绕组的变压器, 应选择最不利的绕组组合。

本条所规定的测量方法是假定变压器用于星接法 TN 或 TT 系统, 即变压器接在线(L)和中性线(N)之间。对其他系统, 见 GB/T 12113 的有关内容。

对多相连接的情况, 使用相同的程序, 但此时要一相一相地进行测量。对每一相采用相同的限值。

5.3.6 接触电流

对用绝缘材料制成的外壳, 将尺寸为 10cm×20cm 的金属箔贴在外壳的可触及表面上, 并在该金属箔处进行测量。对 I 类变压器上的 II 类绝缘的零部件, 应同时两个零部件上测量接触电流。

测量时, 所使用的试验电路: 试验电路应包括一个隔离变压器, 而且出于安全上的原因, 与测量网络连接的“中性”导线应可靠地接地。对 II 类变压器, 保护接地导线可以忽略。

5.3.7 保护接地导体电流

保护接地导体电流不应超过表 4 的规定值:

表4 电流限值

漏电流类型	额定电流	最大限制 (均方根值)
接触电流: 装有符合GB 1002插头的所有I类和II 类变压器	—	0.5 mA

保护导体电流：	$\leq 4\text{ A}$	2 mA
——装有额定电流小于或等于32A的单相或多相插头的Ⅰ类变压器	$>4\text{ A} \sim \leq 10\text{ A}$	0.5 mA/A
	$>10\text{ A}$	5 mA
	$\leq 7\text{ A}$	3.5 mA
——预定要作永久性连接的Ⅰ类变压器	$>7\text{ A} \sim \leq 20\text{ A}$	0.5 mA/A
	$>20\text{ A}$	10 mA

测量时所观察的是电流的峰值。用性能良好的示波器就能将峰值转换为真实的方均根值。

5.4 结构

5.4.1 输入和输出电路

应按 GB/T 19212 其他相关部分的规定，在电气上彼此隔离。其结构应使这些电路之间不可能存在任何直接的或间接通过其他导电零部件的连接，但有意采取时除外。

5.4.2 变压器结构

变压器中不应使用已知是高度可燃的材料，例如赛璐珞。

棉布、丝绸、纸和类似的纤维材料不应作为绝缘材料使用，但经过浸渍处理的除外。

不应使用蜡和类似的材料作为浸渍剂，但其流动性受到适当限制时除外。通过检查，当对是否是剧烈燃烧的材料有疑问时，还要通过 550℃ 的灼热丝试验来检验是否合格。

注：如果绝缘材料纤维之间的空隙充分地填满了合适的绝缘覆盖层(即环氧树脂、漆等)，则认为该绝缘材料经过浸渍处理。

木材，即使经过浸渍处理，也不应作为附加绝缘或加强绝缘来使用。

5.4.3 移动式变压器

应是耐短路变压器或无危害式变压器。通过检查来检验是否合格。

5.4.4 Ⅱ类变压器

应采取措施来防止可触及金属零部件与电源线的导管或金属护套相接触。通过检查来检验是否合格。

5.4.5 Ⅱ类变压器中作为附加绝缘或加强绝缘用的零部件

如果在变压器检修后重新装配时可能会被遗漏，则应满足下列要求：

——其固定方式应使得不将其严重破坏就不能取出，或者

——在设计上应使它们不能被更换在不正确的位置上，而且如果它们被遗忘，应使变压器无法工作或能明显地看出变压器装配不完整。

通过检查以及通过手动试验来检验是否合格。

注 1：但是，如果用可靠的方法将护套固定在位，则护套可以用来作为内部连线的附加绝缘。

注 2：如果只能用破坏或割开的方法才能将护套取出，或者在两端将护套夹紧，则认为护套是用可靠的方法进行固定的。

注 3：检修包括开关、保护装置和电源软线(当其连接类型允许更换电源软线时)的更换。

注 4：当用漆涂层或用不能承受 5.4.10 试验的涂层材料作金属外壳内衬时，则认为不满足这些要求。

5.4.6 Ⅰ类和Ⅱ类变压器的结构

应做到，如果在正常使用中，任何导线、螺钉、垫圈、弹簧或类似零部件出现松动或从其位置上脱落时，它们不会使附加绝缘或加强绝缘的爬电距离或电气间隙，或者输入与输出端子之间的距离减小到

小于第 5.8 章规定值的 50%。

通过检查、测量以及手动试验来检验是否合格。

注：就本要求而言：

- 预计两个独立的固定装置不会同时出现松动；
- 对使用配有锁紧垫圈的螺钉或螺母来紧固的零部件，如果在更换电源软电缆或软线时，或在进行其他检修时不用拆卸这些螺钉或螺母，则认为这类零部件是不易出现松动的；
- 对用锡焊连接的导线不认为是符合要求的固定，除非在靠近端接处采用不依靠焊锡的方法，例如，用钩住的方法将导线固定在位；
- 对符合 GB13140.3 的无螺纹端子被认为是对导线提供了符合要求的固定，而不需要再有任何附加措施；
- 与端子连接的导线不认为是符合要求的固定，除非在靠近端子处还采取了适当类型的附加固定；在绞合导线的情况下，这种附加固定要夹住绞合导线的绝缘，而不是仅夹住其导线；
- 如果在端子螺钉松动时，短硬导线仍能保持在位，则认为该短硬导线是不易从端子上脱开的。

5.4.7 用电阻器或电容器与可触及的导电零部件连接的导电零部件

应用双重绝缘或加强绝缘与危险的带电零部件隔离。

通过对双重绝缘或加强绝缘的所有相关要求和试验来检验是否合格。

5.4.8 用双重绝缘或加强绝缘隔离的导电零部件

例如带电零部件与壳体，或初级与次级电路，可以桥接(导电桥接)有电阻器或 Y2 类电容器，只要它们至少由两个单独的元件组成，且其阻抗在变压器的寿命期内不可能发生明显地变化。

如果使用电阻器，则它们应符合 GB 8898 的 14.1 的试验要求。如果使用电容器，则它们应符合 GB/T 14472 的相关要求。

如果将两个电容器串联使用，则应以跨在这两个电容器上的总工作电压来规定每个电容器的工作电压，而且每个电容器的标称电容量值应相同。如果其中的任何一个元件发生短路或开路，则电击防护章节规定的限值不应超过。

另外，如果工作电压不大于 250V，用双重绝缘或加强绝缘隔离的导电零部件(例如带电零部件与壳体，或初级与次级电路)可以桥接有符合 GB/T 14472 相关要求的单个 Y1 类电容器。

注：Y1 类电容器被认为具有加强绝缘。

通过检查及测量来检验是否合格。

5.4.9 输入与输出绕组隔离的绝缘材料

输入与输出绕组隔离的绝缘材料以及用来作为 II 类变压器附加绝缘的天然或合成橡胶零部件应是能耐老化的，或者在结构上或尺寸上应做成是，如果出现任何裂纹，均不会使爬电距离减小到小于 5.8 章的规定值。

通过检查、测量，以及当对橡胶的老化性能有疑问时，要通过下列试验来检验是否合格。

橡胶零部件要在加压的氧气环境中进行老化。样品要自由悬挂在氧气罐内，氧气罐的有效容积至少为样品体积的 10 倍，氧气罐充入纯度不低于 97% 的商用氧气，使压力达到 $2.1_0^{+0.07}$ MPa。

样品在 70_0^{+1} °C 温度的氧气罐内停留 4d(96h)。然后，立即从氧气罐中取出样品，并在环境温度下放置至少 16h，避免直接光照。

试验后，对样品进行检查，用正常视力或无放大作用的矫正视力进行观察，应无可见的裂纹。

注：使用氧气罐时会存在某些危险，因此须小心对待。要采取各种措施，避免因突然氧化引起爆炸危险。

5.4.10 绝缘涂层

用绝缘涂层来确保防止意外接触危险的带电零部件时，该绝缘涂层应能承受下列试验：

a) 老化试验

带涂层的零部件承受 IEC60068-2-2 试验 Ba 规定的条件，在温度为 $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下停留 7d(168h)。在进行该处理后，使零部件冷却到环境温度，检查涂层未出现脱离基材的疏松或皱缩。

b) 冲击试验

然后将该零部件置于 $-10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的温度下处理 4h。当样品仍处在该温度时，用符合 GB/T 2423.55 规定的能量为 $0.5\text{J} \pm 0.05\text{J}$ 的弹簧锤，对涂层可能是薄弱处施加一次撞击。在进行该试验后，涂层不应出现损坏。特别是用正常视力或无放大作用的矫正视力进行观察，无可见的裂纹。

c) 划痕试验

最后，对在正常工作条件下达到最高温度的部位处进行划痕试验。划痕要用淬硬的钢针来进行，钢针的端部呈锥形，顶角为 40° ，其尖端倒圆，倒圆半径为 $0.25\text{mm} \pm 0.02\text{mm}$ 。进行划痕时要如图 4 所示，沿样品表面以约 20mm/s 的速度驱动钢针。对钢针的荷重要使沿钢针轴向施加的作用力为 $10\text{N} \pm 0.5\text{N}$ 。各条划痕之间至少相隔 5mm，而且划痕离样品的边缘至少有 5mm 的距离。

5.4.11 手柄、操作杆、旋钮和类似零部件的轴或紧固件

在绝缘一旦发生击穿时可能会变成带电体，则这些零部件应用绝缘材料制成，或用附加绝缘将这些零部件充分覆盖，或者用附加绝缘将这些零部件与其轴和紧固件隔离。

通过检查，以及如有必要，用对附加绝缘所规定的要求来检验是否合格。

5.4.12 绕组结构

5.4.12.1 所有类型的变压器中应采取措施

所有类型的变压器中应采取措施以防止：

- 输入或输出绕组或它们的线匝发生过分的位移；
- 内部连线或外部连接导线发生过分的位移；
- 万一导线断裂或连接点松动，以致绕组的一部分或内部连线发生过分的位移。

通过检查检验是否合格。

对每个绕组的最后一匝，应防止其发生位移。

注 1：防止位移的措施可以是：

- 采用强制性方法，例如，采用胶带、合适的胶粘剂或机械固定方法将导线固紧；
- 或者采用工艺处理技术。

注 2：对于保护屏蔽层，为了防止因出现短路匝而引起的涡流损耗，如有必要，在结构布置上要使两个端边不能彼此接触，也不能同时都接触到磁心。

5.4.12.2 有齿边的绝缘带作绝缘

如果使用有齿边的绝缘带作绝缘则认为各层绝缘带的齿边是重合的。对贯通绝缘距离，如果采用外加一层有齿边的绝缘带和外加一层放置在齿边部位的无齿边绝缘带，则可以使用表 8 中的 P1 对应的减小值。

5.4.12.3 在绝缘系统中提供基本绝缘或加强绝缘的绝缘绕组线

在绝缘系统中提供基本绝缘或加强绝缘的绝缘绕组线应满足下列要求。

- a) 如果绕组线上的绝缘在绕制部件中用来提供基本绝缘，而不再另外衬垫绝缘，则：

——绝缘线(例如聚酰亚胺绝缘线或与之相当的绝缘线)应符合附录 B;

——一根绝缘绕组线的绝缘应至少由两层绝缘组成;

b) 如果绕组线上的绝缘在绕制部件中用来提供加强绝缘, 则:

——绝缘线(例如聚酰亚胺绝缘线或与之相当的绝缘线)应符合附录 B;

——一根绝缘绕组线的绝缘应至少由三层绝缘组成;

——绝缘承受 5.3.3 的相关的介电强度试验, 该试验要在乘以 1.25 倍的规定电压下进行。

如果绝缘绕组线是绕在:

——金属磁心或铁氧体磁心上, 或

——漆包线的上面, 或

——漆包线的下面。

则在绝缘线与磁心之间, 或在绝缘线与漆包线之间, 应提供附加的绝缘, 其贯通绝缘距离要符合表 9 中对附加绝缘规定的贯通绝缘距离。

注: 本要求是考虑到施加在绝缘绕组线上的机械应力。

变压器制造方应提供证明, 绕组线已承受 100%的例行介电强度试验。

爬电距离和电气间隙的要求不适用于绝缘绕组线。

对提供加强绝缘的绕组, 不需要表 7、表 8 中的数值。

通过检查零部件以及绝缘线制造方的声明来检验是否合格。

5.4.13 手柄、操作杆和类似零部件

手柄、操作杆和类似零部件应用可靠的方法固定, 使它们不会由于在正常使用时可能出现的热、振动等而出现松动。

5.4.14 提供电击防护的盖板

提供电击防护的盖板应紧固。其固定至少应用两种独立的方法来实现, 其中之一至少是需要使用工具的方法。

通过检查以及通过手动试验来检验是否合格。

注 1: 盖板可以伴有诸如凹槽或凸缘的固定方法, 成为所要求的固定方法之一。

注 2: 可以使用螺钉作为需要使用工具的方法, 但是对滚花螺母或螺钉, 即使它们有封固措施也不宜使用。

5.4.15 装有插销以插入固定式插座内的变压器

对装有插销以插入固定式插座内的变压器, 不应使这些固定式插座承受到过大的应力。

通过将变压器按正常使用的情况插入符合 GB1002 的固定式插座来检验是否合格, 插座要能围绕穿过插套中心线、位于插座插合面后 8mm 的水平轴线旋转。

为使插合面保持在垂直面内而必须加到插座上的附加力矩不应超过 0.25N·m。

5.4.16 额定输出不超过 200VA 的移动式变压器

应具有 IP20 或更高的防护等级。对具有 IPX0 防护等级的变压器, 应在使用说明书中说明, 这种变压器仅供户内使用。

额定输出超过 200VA, 但对单相变压器不超过 2.5kVA, 或对多相变压器不超过 6.3kVA 的移动式变压器, 应具有 IPX4 或更高的防护等级。

对单相变压器, 额定输出超过 2.5kVA, 或对多相变压器, 额定输出超过 6.3kVA 的移动式变压器, 应具有 IP21 或更高的防护等级。

5.4.17 防护等级从 IPX1 到 IPX6 的变压器

防护等级从 IPX1 到 IPX6 的变压器应具有有效的排水孔,排水孔直径至少为 5mm,或面积为 20mm² 且其宽度至少为 3mm。

如果变压器,包括其绕组、磁心和所有无绝缘的带电零部件全部被合适的密封材料所包住,则不需要排水孔。

5.4.18 防护等级高于 IPX1 的变压器

对防护等级高于 IPX1 的变压器,如有插头,应装有模压式插头。

5.4.19 设计成用软电缆或软线连接的Ⅰ类移动式变压器

应装有不可拆卸的带保护接地导线的软电缆或软线,以及带保护接地插销的插头。

如果Ⅰ类驻立式变压器装有不可拆卸的软电缆或软线,则该软电缆或软线应具有保护接地导线,而插头应具有保护接地插销。

通过检查、测量以及 5.2.1 的试验来检验是否符合 5.4.16~5.4.19 的要求。

5.4.20 SELV(安全特低压)和 PELV(保护特低压)电路的带电零部件彼此之间以及与其他电路

SELV 和 PELV 电路的带电零部件彼此之间以及与其他电路之间 应在电气上隔离。在考虑相关工作电压后,应满足下列要求:

——SELV 输出电路与所有非 SELV 和 PELV 电路在电气上应用双重绝缘或加强绝缘隔离;

——SELV 输出电路与其他 SELV 和 PELV 电路在电气上应用基本绝缘隔离。

注 1: 该要求不排除 PELV 电路与保护接地相连。

对 SELV 电路要通过 5.4.20.1 的检查,以及对 PELV 电路要通过 5.4.20.2 的检查来检验是否合格。

5.4.20.1 SELV 电路的带电零部件

SELV 电路的带电零部件不应与保护接地、带电零部件或构成其他电路部分的保护接地导线相连。SELV 电路的外露导电零部件不应与下列零部件相连:

——保护接地;或

——保护接地导线或另一个电路的外露导电零部件。

如果标称电压超过交流 25V 或无纹波直流 60V, 则其绝缘应能承受表 3 规定的双重绝缘或加强绝缘的试验电压, 以提供防止直接接触的保护。

如果标称电压不超过交流 25V 或无纹波直流 60V, 则防止直接接触的保护一般不需要。但是, 在某些外部影响(见 GB/T 19212 其他部分)情况下, 这种保护可能还是需要的。

5.4.20.2 PELV 电路

PELV 电路应满足下列要求。

对确保防止直接接触的保护, 其绝缘应能承受表 3 规定的双重绝缘或加强绝缘的试验电压。

注: 本要求意味着, 即使电压低于交流 25V 或无纹波直流 60V, PELV 电路仍必须进行绝缘。但直接与保护接地相连的带电零部件除外。

5.4.21 FELV 电路

对 FELV 应满足下列要求, 以确保对防止直接接触和间接接触的保护。

注: 例如, 当电路中的设备(例如变压器、继电器、遥控开关、接触器)相对于较高电压电路来说, 其绝缘不够充分时, 可能就要确保这种保护条件。

为提供防止间接接触的保护，应使其绝缘能承受初级电路所要求的最小试验电压。

5.4.22 II类变压器

II类变压器不应装有保护接地装置。

但是，预定构成环形回路用的II类变压器，可以装有使不在变压器内部端接的保护接地导线保持电气连续性的内部端子，只要该端子采用II类绝缘与可触及的导电零部件进行绝缘即可。

通过检查来检验是否合格。

5.4.23 III类变压器

III类变压器不应装有保护接地装置。

通过检查来检验是否合格。

5.5 元器件

元器件，例如开关、插头、熔断器、灯座、电容器以及软电缆和软线，应尽可能符合相关国家标准或IEC标准。

装在变压器内的或随同变压器一起提供的元器件，应作为变压器的一个组成部分承受本部分的所有试验。

符合相关元器件的国家标准或IEC标准不一定能确保符合本部分的要求。

这些元器件一般按相关的标准，按下列规定单独进行试验：

- 对标有具体额定值的元器件，要检查确定这些元器件是否能适用于变压器内可能出现的，包括浪涌电流在内的条件。然后再对该元器件按其标志的额定值来进行试验，样品数按相关标准的要求来确定。
- 对未标有具体额定值的元器件，要在变压器内可能出现的，包括浪涌电流在内的条件下进行试验，样品数通常按相关标准的要求来确定。
- 如果没有相关元器件的国家标准或IEC标准，或者如果该元器件未标有额定值，或者如果该元器件未按其标出的额定值来使用，则该元器件要在变压器内出现的条件下进行试验，样品数通常按类似规范的要求来确定。

5.5.1 IPX0 变压器

其电网电源器具耦合器应符合GB 17465，而对其他变压器，应符合GB 17465.3和GB/T 11918。

5.5.2 自动控制器

应符合GB 14536系列标准和GB/T 19212其他部分的要求，除非自动控制器是与变压器一起进行试验。

5.5.3 热熔断体

热熔断体应尽可能符合GB 9816.1。

5.5.4 插头、插座

输出电路的插座与预定要直接插入就安装规程、电压和频率而言可以用于输入电路的插座的插头之间应无不安全的兼容性。

对SELV系统用的插头和插座应符合IEC 60906-3和IEC 60884-2-4的要求。但是，对额定电流不大于3A和最高电压为交流24V或直流60V，以及功率不超过72W的SELV系统用的插头和插座允许

仅符合下列要求：

- 插头应不可能插入其他标准电压系统的插座；
- 插座应不可能使其他标准电压系统的插头插入；
- 插座不应装有保护接地触头。

注：由于 IEC60906-3 仅包括 6V、12V、24V 和 48V 电源电压，因此对中间电源电压的变压器，要能承受最接近的较高的电压。仅对配套用变压器，使用其他插头和插座系统是允许的。

对 PELV 系统用的插头和插座应符合下列要求：

- 插头应不可能插入其他标准电压系统的插座；
- 插座应不可能使其他标准电压系统的插头插入；
- 插座不应装有保护接地触头。

本要求不排除使用装有功能接地触头的插座。

对 FELV 系统用的插头和插座应符合下列要求：

- 插头应不可能插入其他标准电压系统的插座；以及
- 插座应不可能使其他标准电压系统的插头插入。

通过检查以及手动试验来检验是否合格。

5.6 内部布线

5.6.1 内部布线和变压器

内部布线和变压器的不同零部件之间的电气接线应进行充分地保护或封闭。布线通道应平滑，且应无尖角、毛刺、焊渣等，以免导线的绝缘受损

5.6.2 内部布线和金属板

金属板上穿过绝缘导线的开孔，其孔缘应倒圆，倒圆半径不小于 1.5mm，或者应在开孔上装上绝缘材料护套。

5.6.3 无绝缘导线的固定

无绝缘导线的固定应使其彼此之间以及与外壳之间保持足够的距离。

通过检查来检验是否符合 5.6.1~5.6.3 的要求。

5.6.4 外部导线与输入或输出端子

外部导线与输入或输出端子连接时，不应使内部布线松动。

5.6.5 绝缘导体的耐温

对在正常使用时承受的温度超过限值的绝缘导体，应采用耐热的和非吸湿性的绝缘材料。

通过检查，且如有必要，通过附加的试验测定其温度来检验是否合格。

5.7 螺钉和连接

5.7.1 连接用的螺纹连接件

电气连接用或其他连接用的螺纹连接件，应能承受住在正常使用中出现的机械应力。

传递接触压力的螺钉以及可能要由用户拧紧的、且标称直径小于 2.8mm 的螺钉应拧入金属件内。螺钉不应用易于蠕变的软金属，例如锌或铝来制成。

绝缘材料制成的螺钉不应用于任何电气连接。

如果原螺钉用金属螺钉来替换会损伤输入和输出电路之间的基本绝缘、附加绝缘或加强绝缘,则该螺钉不应应用绝缘材料制成;如果在更换电源软线时,可拆除的原螺钉用金属螺钉来替换会损伤基本绝缘,则该螺钉也不应用绝缘材料制成。

通过检查,以及对传递接触压力或可能要由用户拧紧的螺钉和螺母,通过下列试验来检验是否合格:将螺钉或螺母拧紧和拧松,其次数为:

——对与绝缘螺纹啮合的螺钉, 10 次;

——对螺母和其他螺钉, 5 次。

与绝缘材料螺纹啮合的螺钉, 每次应完全退出和拧入。

在对接线端子螺钉和螺母进行试验时,要在该端子上装入一根最大截面的软电缆或软线,并且在每次拧紧前,该软电缆或软线要重新放置到位。

用合适的试验改锥、扳手或键施加如表 5 中相应栏所规定的力矩来进行试验,相应栏应适用于:

a) 无头金属螺钉, 如果拧紧后的螺钉不露出孔外…………… I

b) 其他金属螺钉和螺母…………… II

c) 绝缘材料制成的下列螺钉:

——具有六角头,其横截面尺寸超过螺纹外径,或

——带有圆柱头和键座,其键座的横截面尺寸不小于螺纹外径的 0.83 倍,或

——带有一字槽或十字槽的螺钉头,槽的长度超过螺纹外径的 1.5 倍…………… II

d) 绝缘材料制成的其他钉…………… III

表 5 施加在螺钉和连接件上的力矩

螺钉标称直径 mm	力矩 N•m		
	I	II	III
≤2.8	0.2	0.4	0.4
<2.8~≤3.0	0.25	0.5	0.5
<3.0~≤3.2	0.3	0.6	0.6
<3.2~≤3.6	0.4	0.8	0.6
<3.6~≤4.1	0.7	1.2	0.6
<4.1~≤4.7	0.8	1.8	0.9
<4.7~≤5.3	0.8	2.0	1.0
<5.3~≤6.0	—	2.5	1.25

每次拧松螺钉或螺母时要松动一下导线。

试验中,不应出现会妨碍螺纹连接件随后使用的损伤。

注 1: 可能要由用户来拧紧的螺钉或螺母包括了在更换用 X 型连接的电源软线时预定要操作的螺钉。

注 2: 试验改锥的锥头形状要与受试的螺钉头相适应,不要猛然用力拧紧螺钉和螺母。

5.7.2 与绝缘材料螺纹啮合的螺钉

对与绝缘材料螺纹啮合的螺钉，其啮合长度应至少是 3mm 加上螺钉标称直径的三分之一，或是 8mm，取其较小者。

应确保螺钉正确进入螺孔或螺母内。

通过检查，以及通过 5.7.1 的试验，但施加的力矩应用增加到规定值的 1.2 倍来检验是否合格。

注：如果能防止螺钉歪斜进入(例如，利用被固定的零部件、利用内螺纹上的凹口或使用去掉引导螺纹的螺钉使螺钉进入)，则满足了正确进入的要求

5.7.3 螺纹成型螺钉(薄金属板螺钉)

螺纹切削(自攻)螺钉不应用于连接载流零部件，除非它们能产生完整形状的标准机械螺纹。但是，如果它们可能要由用户或安装人员来操作，则这种螺钉也不应使用，除非螺纹已成型在事先通过锻造操作获得的一段长度的材料上。

对螺纹切削螺钉和螺纹成型螺钉，当被用来提供接地连续性时，应确保在正常使用中不需要干预其连接，而且还应确保每一个连接处至少使用两个螺钉。

通过检查来检验是否符合 5.7.4 的要求。

5.7.4 机械连接的螺钉

对变压器的不同零部件进行机械连接的螺钉，如果其连接点承载电流，或者构成保护接地电路的一部分，则应将其锁紧以防松动。

对用于载流连接的铆钉，如果其连接点在正常使用中承受扭力，则应将其锁紧以防松动。

通过检查和手动试验来检验是否合格。

注 1：弹簧垫圈和类似的零件可以提供满意的锁紧。

注 2：对铆钉，采用非圆形的钉体或采用适当的棘齿就可以满足要求。

注 3：仅对正常使用时不承受扭力的螺纹连接件采用受热软化的密封胶就能提供满意的锁紧。

5.7.5 螺纹密封盖

螺纹密封盖应符合下列试验：

在螺纹密封盖上应装上一根圆柱形的金属棒，其直径比封装处内径小，但要等于最接近该内径的毫米整数值。然后应用一个适当的扳手将密封盖拧紧，下表规定的力应施加在扳手上距密封盖轴线 250mm 处，持续 1min。

表 6 密封盖的力矩试验

试验棒的直径 mm	力	
	金属密封盖 N	模压材料密封盖 N
≤14	25	15
<14~≤20	30	20
<20	40	30

试验后，变压器和密封盖不应出现损伤。

5.8 爬电距离、电气间隙和贯通绝缘距离

5.8.1 对组别Ⅲa 的绝缘材料要求

爬电距离、电气间隙和贯通绝缘距离，对组别Ⅲ的绝缘材料(见 IEC 61558-1)不应小于表 7、表 8 和表 9 的规定值。

T/CAAMTB ××××—××××

按 5.8.2 和 5.8.3 的规定，通过测量来检验是否合格。

注 1：对组别 I 和组别 II 的材料，同样见表 7、表 8 和表 9。

注 2：表 7、表 8 和表 9 仅适用于频率不大于 30kHz。

测量爬电距离和电气间隙时，使用与固定布线连接的电源电缆或软线以及 X 型连接的电源电缆或软线，其导线规格为与接线端子额定连接容量相对应的最大规格和最小规格。对带特殊软线的 X 型连接、Y 型或 Z 型连接，使用所供给的电源电缆和软线。

如果使用多层有齿边的绝缘带，就要像多层齿边彼此是重合的那样来确定爬电距离和电气间隙值。

注 3：为确定材料组别所需试验的细节见附录 D。

如果印制线路板的失效可能会引起本部分意义上的危险，则印制线路板的爬电距离和电气间隙的数值应与表 7、表 8 和表 9 中对带电零部件所规定的未减小值相同，但如果印制线路板符合 GB/T 16935.3 的要求时除外。

如果污染产生持续的高导电性，例如由导电尘埃、雨或雪引起的导电性，则相对于污染等级 3 所规定的爬电距离和电气间隙，应将电气间隙至少再增加 1.6mm，将附录 C 的 X 值增加 4.0mm。

5.8.2 爬电距离(cr)和电气间隙(cl)

爬电距离和电气间隙的数值见表 7 和表 8。

5.8.2.1 用粘胶带包扎的绕组

对用粘胶带包扎的绕组，其胶带粘附在线圈骨架的挡板上，爬电路径长度值要沿胶带粘附表面来考虑。如果符合下列要求，减小值是指污染等级 1(P1)的规定值：

- 所有绝缘材料均按 GB/T 11021 和 GB/T 11026 的规定分级；
 - 满足 GB/T 16935.1 中 6.1.2.2.1 的冲击电压绝缘试验；以及
 - 满足 5.8.2.3 的试验 A。
- 不要求电气间隙的数值。

5.8.2.2 不胶合的绝缘零部件

当使用由不胶合的卡入式分隔壁组成的绝缘隔板，爬电距离和电气间隙的测量要穿过接缝来进行。如果用符合 GB/T 20631.1 和 GB/T 20631.2 的胶带覆盖接缝，为了在生产过程中减少胶带折叠的危险，需要在分割壁的两侧各覆盖一层胶带。

所使用的材料应按 GB/T 11021 和 GB/T 11026 的规定分级。

对污染等级 1(P1)的规定值不适用。

5.8.2.3 胶合的绝缘零部件

对具有胶合的零部件或粘接在一起的零部件的变压器，不要求穿过接缝的最小爬电距离和电气间隙。仅贯通绝缘距离值适用。在这种情况下，也应满足 GB/T 16935.1 中 6.1.2.2.1 的冲击电压绝缘试验。

所使用的材料应按 GB/T 11021 和 GB/T 11026 的规定分级。

为了检验零部件的胶合或粘接是否良好，要进行下列相应试验：

试验 A

需要三个特殊制备的样品，其绕组线用无绝缘的导线来代替，不进行任何浸渍或封装。绕组的结构应确保输入与输出绕组之间的任何部位不可能发生闪络，但被试胶合接缝处除外。

样品应承受下列顺序的温度循环 10 次：

在正常使用时测得的最高绕组温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 再加 10K，但至少 85°C 下，68h；

在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下，1h；

T/CAAMTB ××××—××××

在 $0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 2h;

在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 1h。

然后, 应对三个样品中的两个进行受潮处理(处理 48h)和 5.3.3 的相关介电强度试验, 但介电强度试验电压值要乘以 1.35。

三个样品中的一个应在热循环中最后一次循环下的最高温度期间终了后, 立即进行 5.3.3 的相关介电强度试验, 但介电强度试验电压值要乘以 1.35。

注: 施加到胶合零部件的样品上的试验电压要高于正常试验电压, 其目的是要确认是否因表面没有胶合好而导致击穿发生。

5.8.2.4 密封的零部件

对具有防灰尘和潮气进入的封闭型或密封型零部件, 且满足下列试验的变压器, 所要求的最小爬电距离可以是污染等级 1(P1)所规定的减小值。在这种情况下, 也应满足 GB/T 16935.1 中 6.1.2.2.1 的冲击电压绝缘试验。

不要求电气间隙的数值。

所使用的材料应按 GB/T 11021 和 GB/T 11026 的规定分级。

为了检验零部件封装或浸渍是否良好, 要进行下列相应试验:

试验 B

为了对封装和浸渍进行试验, 应按下列规定使用三个制备好的样品。对使用封装或浸渍的元件, 通过对样品进行介电强度试验来检验接缝的可靠性, 试验仅直接施加在接缝上。

样品应承受下列顺序的温度循环 10 次:

在正常使用时测得的最高绕组温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 再加 10K, 但至少 85°C 下, 68h;

在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 1h;

在 $0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 2h;

在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 1h。

在每一次热循环试验期间, 在绕组之间采用减小值的样品上, 施加 50Hz 或 60Hz、两倍工作电压值的电压。

然后, 应对三个样品中的两个进行 5.2.2 的受潮处理(处理 48h)和 5.3.3 的相关介电强度试验, 但介电强度试验电压值要乘以 1.25。

三个样品中的一个应在热循环试验中最后一次循环下的最高温度期间终了后, 立即进行 5.3.3 的相关介电强度试验, 但介电强度试验电压值要乘以 1.25。

对具有防灰尘和潮气进入的封闭型或密封型的零部件, 且满足下列试验的变压器, 不要求最小爬电距离和电气间隙。只需用贯通绝缘距离(dti)的数值。在这种情况下, 也应满足 GB/T 16935.1 中 6.1.2.2.1 的冲击电压绝缘试验。

为了检验零部件封装或浸渍是否良好, 要进行下列相应试验:

试验 C

为了对封装和浸渍进行试验, 应使用三个样品。对在导电零部件之间的绝缘化合物形成固体绝缘的元件, 应对该成品元件进行试验。在绝缘化合物中不应有裂缝或空洞。

样品应承受下列顺序的温度循环 10 次:

在正常使用时测得的最高绕组温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 再加 10K, 但至少 85°C 下, 68h;

在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 1h;

在 $0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 2h;

在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下, 1h。

在每一次热循环试验期间, 在绕组之间采用减小值的样品上, 施加 50Hz 或 60Hz、二倍工作电压

值的电压。

然后,应对三个样品中的二个进行受潮处理(处理 48h)和 5.3.3 的相关介电强度试验,但介电强度试验电压值要乘以 1.35。

三个样品中的一个应在热循环试验中最后一次循环下的最高温度期间终了后,立即进行 5.3.3 的相关介电强度试验,但介电强度试验电压值要乘以 1.35。

5.8.3 贯通绝缘距离(dti)

对附加绝缘、双重绝缘或加强绝缘所要求的贯通绝缘距离仅在表 9 中作出规定。

绝缘应满足 GB/T 11021 和 GB/T 11026 规定的材料分级。

关于贯通绝缘距离的要求不意味着所规定的距离只应是贯通固体绝缘或薄层绝缘的距离,它可以由固体绝缘或薄层绝缘的厚度加上规定的电气间隙距离构成。

5.8.3.1 固体绝缘

如果是固体绝缘,采用表 9 中的固体绝缘要求值。如果满足未说明绝缘系统等级的加速老化的试验要求,则对符合 GB/T 11021 和 GB/T 11026 规定的分级材料,可以使用 0.4 倍的贯通绝缘距离规定值,但对工作电压大于 25V 的加强绝缘至少为 0.2mm,附加绝缘至少为 0.1mm。

5.8.3.2 由多层薄层绝缘材料构成的绝缘

如果是由多层薄层绝缘材料构成的绝缘,则该绝缘每一处至少应有下列要求的层数和 dti 值:

——如果各层绝缘是不可分开的(粘结在一起):

要求三层;

层叠后的绝缘整体应满足 5.8.3.3 的卷轴试验(拉力为 150N);

表 9 中要求的 dti 值是多层薄层的数值。

——如果各层绝缘是可分开的:

要求 2 层;对分开的有齿边的多层绝缘,需要附加一层绝缘(有齿边的绝缘带)再加上被固定住的(例如胶粘的)无齿边的一层绝缘;

每一层的绝缘应满足 5.8.3.3 的卷轴试验(拉力为 50N);

表 9 中要求的 dti 值是多层薄层的数值。

——如果各层绝缘是可分开的(另一种供选择的要求):

要求至少三层;对分开的有齿边的多层绝缘,需要附加一层绝缘(有齿边的绝缘带)再加上被固定住的(例如胶粘的)无齿边的一层绝缘;

绝缘层数的三分之二应满足 5.8.3.3 的卷轴试验(拉力为 100N);

表 9 中要求的 dti 值是多层薄层的数值。

注:由于认为不同绝缘层的齿边可能会彼此重合,因此使用有齿边的多层绝缘就需要有附加的绝缘层。

5.8.3.3 卷轴试验

制造方应提供三个独立的薄层绝缘试验样品,样品宽度为 70 mm。

薄层绝缘样品固定在钢制镀镍或黄铜制成的且表面平滑光洁的卷轴上进行试验。

0.035 mm±0.005 mm 厚的金属箔(铝箔或铜箔)应紧贴在样品表面上并承受 1 N 的拉力。金属箔的固定位置应使得金属箔的边缘离样品的边缘为 20 mm,且当卷轴处在其最终的位置时,金属箔应能覆盖样品伸展的侧面至少 10 mm。

在样品的自由端用适当的夹紧装置将样品固定在位,样品要承受下列规定的拉力:

——对由几层不可分开的绝缘层构成的样品，拉力为 150 N；

——对由分开的绝缘层(有齿边或无齿边)中三分之二层数构成的样品，拉力为 100 N；

——对由单层绝缘层(有齿边或无齿边)构成的样品，拉力为 50 N。

卷轴应缓慢地向前和向后旋转 230°，旋转三次，旋转时不能猛然用力转动。如果旋转过程中样品在夹紧装置处出现破裂，则应重新进行试验。如果有一个或多个样品在任何其他地方出现破裂，则试验不合格。当卷轴处在其最终位置时，应在到达该最终位置后 1 min 内，在卷轴和金属箔之间按 5.3.3 的规定施加介电强度试验电压 1 min，试验电压值按下列规定：

——对由几层不可分开的绝缘层(至少三层)构成的样品，试验电压至少 5 kV，或按 5.3.3 中适用的

试验电压值乘以 1.35，取其较大者；

——对由至少三层分开的绝缘层中三分之二层数构成的样品，试验电压至少 5 kV，或按 5.3.3 中适用的试验电压值乘以 1.25，取其较大者；

——对由两层分开的绝缘层中的一层构成的样品，试验电压至少 5 kV，或按 5.3.3 中适用的试验电压值乘以 1.25，取其较大者；

试验期间不应出现闪络或击穿；电晕效应和类似的现象可忽略不计。

表 7 电气间隙标准表

过压类别	绝缘类别	污染等级	工作电压[V]					
			≥25 ≤50	100	150	300	600	1000
过电压类别 I	基本绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.2	0.2	0.5	1.5	3.0
		P3	0.8	0.8	0.8	0.8	1.5	3.0
	附加绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.2	0.2	0.5	1.5	3.0
		P3	0.8	0.8	0.8	0.8	1.5	3.0
	双重绝缘或加强绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.2	0.5	1.5	3.0	5.5
		P3	0.8	0.8	0.8	1.5	3.0	5.5
过电压类别 II	基本绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.2	0.5	1.5	3.0	5.5
		P3	0.8	0.8	0.8	1.5	3.0	5.5
	附加绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.2	0.5	1.5	3.0	5.5
		P3	0.8	0.8	0.8	1.5	3.0	5.5
	双重绝缘或	P1	-		-	-	-	-

	加强绝缘	P2	0.2	0.5	1.5	3.0	5.5	8.0
		P3	0.8	0.8	1.5	3.0	5.5	8.0
过电压类别 III	基本绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.5	1.5	3.0	5.5	8.0
		P3	0.8	0.8	1.5	3.0	5.5	8.0
	附加绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.2	0.5	1.5	3.0	5.5	8.0
		P3	0.8	0.8	1.5	3.0	5.5	8.0
	双重绝缘或 加强绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.5	1.5	3.0	5.5	8.0	14
		P3	0.8	1.5	3.0	5.5	8.0	14
过电压类别 IV	基本绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.5	1.5	3.0	5.5	8.0	14
		P3	0.8	1.5	3.0	5.5	8.0	14
	附加绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	0.5	1.5	3.0	5.5	8.0	14
		P3	0.8	1.5	3.0	5.5	8.0	14
	双重绝缘或 加强绝缘	P1	-		-	-	-	-
		P2	1.5	3.0	5.5	8.0	14	25
		P3	1.5	3.0	5.5	8.0	14	25

注 1：此表内数值不能用于插值

注 2：此表对于海拔 2000 米以下有效，对于更高海拔请参考表 7-A

表 7-A 海拔修正系数

海拔 m	正常气压 kPa	电气间隙的倍增系数
2000	80.0	1.00
3000	70.0	1.14
4000	62.0	1.29
5000	54.0	1.48
6000	47.0	1.70
7000	41.0	1.95

8000	35.5	2.25
9000	30.5	2.62
10000	26.5	3.02
15000	12.0	6.67
20000	5.5	14.5

表 7-B 非均匀电场下的最小电气间隙(频率>30kHz)

工作电压 U _{peak} (kV)	基本绝缘或附加绝缘的电气间隙 (mm)	双重绝缘或加强绝缘的电气间隙 (mm)
至 0.6	0.06	0.12
0.8	0.18	0.36
1.0	0.5	1.0
1.2	1.4	2.8
1.4	2.35	4.7
1.6	4.0	8.0
1.8	6.7	13.4
2.0	11	22.0

材料 CTI 值	绝缘类别	污染 等级	工作电压[V]					
			≥25 ≤50	100	150	300	600	1000
CTI≥600	基本 绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	0.6	0.7	0.8	1.5	3.0	5.5
		P3	1.5	1.8	2.0	3.9	7.7	12.5
	附加 绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	0.6	0.7	0.8	1.5	3.0	5.5
		P3	1.5	1.8	2.0	3.9	7.7	12.5
	双重绝缘或加强 绝缘	P1	0.25	0.4	0.7	1.7	4.0	7.5
		P2	0.7	1.0	1.6	3.0	6.0	10.0

		P3	1.8	2.5	4.2	7.7	16.0	25.0
400≤CTI<600	基本绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	0.9	1.0	1.1	2.1	4.3	7.1
		P3	1.7	2.0	2.2	4.2	8.6	14.0
	附加绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	0.9	1.0	1.1	2.1	4.3	7.1
		P3	1.7	2.0	2.2	4.2	8.6	14.0
	双重绝缘或加强绝缘	P1	0.25	0.4	0.7	1.7	4.0	7.5
		P2	1.0	1.4	2.0	4.3	8.6	14.0
		P3	2.0	2.8	4.2	8.6	17.2	28.0
175≤CTI<400	基本绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	1.2	1.4	1.6	3.0	6.0	10.0
		P3	1.9	2.2	2.5	4.7	9.5	16
	附加绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	1.2	1.4	1.6	3.0	6.0	10.0
		P3	1.9	2.2	2.5	4.7	9.5	16
	双重绝缘或加强绝缘	P1	0.25	0.4	0.7	1.7	4.0	7.5
		P2	1.4	2.0	3.0	6.0	12.0	20.0
		P3	2.2	3.0	4.7	9.5	19.2	32.0
100≤CTI<175	基本绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	1.2	1.4	1.6	3.0	6.0	10.0
		P3	1.9	2.2	2.5	4.7	9.5	16.0
	附加绝缘	P1	0.18	0.25	0.3	0.7	1.7	3.2
		P2	1.2	1.4	1.6	3.0	6.0	10.0
		P3	1.9	2.2	2.5	4.7	9.5	16.0
	双重绝缘或加强绝缘	P1	0.36	0.5	0.7	1.7	4.0	7.5
		P2	2.4	2.8	3.2	6.0	12.0	20.0
		P3	3.8	4.4	5.0	9.5	19.2	32.0

表 8 爬电距离标准表

注 1：此表内数值可以用于插值

表 9 贯通绝缘距离标准表

	工作电压[V]
--	---------

绝缘类别		≥ 25 ≤ 50	100	150	300	600	1000
基本绝缘	固体绝缘	-	-	-	-	-	-
	多层薄层	-	-	-	-	-	-
附加绝缘	固体绝缘	0.1	0.15	0.25	0.5	0.75	1.0
	多层薄层	0.05	0.05	0.08	0.15	0.2	0.25
双重绝缘或加强绝缘	固体绝缘	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0
	多层薄层	0.1	0.1	0.15	0.3	0.4	0.5

注1：此表内数值可以用于插值

5.9 耐热、耐燃和耐电痕化

对事先按相关国家标准或 IEC 标准的规定已通过试验的元器件，如果这些标准的要求和试验与本部分的要求和试验具有相同的严酷度水平，则下列试验可以省略。

5.9.1 耐热

用绝缘材料制成的所有变压器零部件应耐热。

下列试验不适用于天然橡胶或合成橡胶制成的零部件，这些零部件应按 5.4.9 的规定进行试验。此外，下列试验也不适用于陶瓷材料制成的零部件。

用如图 1 所示的装置，按适用的情况，对绝缘材料制成的零部件进行 5.9.1.1 和 5.9.1.2 规定的球压试验来检验是否合格。

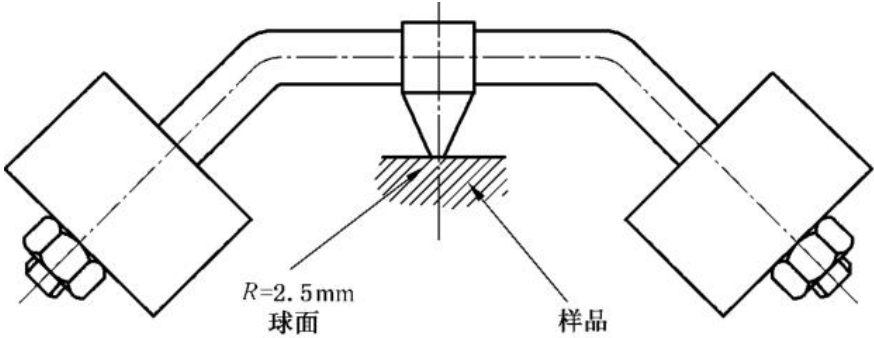


图 1 球压装置

对电缆以及额定电流不大于 3A、额定电压不大于交流 24V 或不大于直流 60V 和功率不超过 72W 的小型连接器不进行本试验。

试验应在加热箱内，在下列规定的温度下进行。

注：球压试验程序的细节见 GB/T 5169.21。

被试零部件的表面应处于水平位置，用一个直径为 5mm 的钢球以 20N 的力压向该被试零部件的表面。

经过 1h 后，将样品上的钢球取下，然后将样品浸入冷水中，使其在 10s 内冷却到接近环境温度。测量由钢球造成的压痕的直径，该压痕的直径不应超过 2mm。

5.9.1.1 外部可触及的零部件

用绝缘材料制成的外部可触及的零部件应耐热。

通过下列试验来检验是否合格。

试验在 $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下或在 $T+15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下，取其较高的温度值进行。

相关零部件的温度应在最热点处测量，通常出现在外壳的内侧。

注：常数 15°C 是安全裕度。

5.9.1.2 内部零部件

固定载流零部件位置应采用耐热绝缘材料制成的内部零部件。

通过下列试验来检验是否合格。

试验在 $125^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下或在 $T+15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 下，取其较高的温度值进行，

注 1：常数 15°C 是安全裕度。

注 2：对陶瓷材料零部件、骨架或玻璃不进行试验。

5.9.2 耐故障条件下产生的异常热

对于防护等级为 IP20 或更高的变压器，在故障条件下，不应成为一个引燃源，绕组间的绝缘不应被击穿，并且，危险的带电零部件不应被触及。

通过 5.9.2.1 和 5.9.2.2 的试验来检验是否合格。

为了进行本试验，需要一个或两个附加的特殊制备的样品。绕组的短路或是应事先将制作中的绕组内部进行短路，或是可以用制造方提供的与绕组连接好的引线进行短路。

如果变压器在输入电路装有热保护装置，则应在输出绕组内进行短路，反之亦然。

如果变压器在输入和输出电路均装有热保护装置，则应用两个独立的样品分别在一个绕组内进行短路。短路要在绕组的中部处进行。如果具有两个以上的绕组，则从热的方面看，短路应在离热控制器最远的绕组内进行。

被短路匝数的百分数应近似等于以额定电源电压百分数表示的短路电压。然后对带短路的样品进行如下的检查。在环境温度下，应对不带负载的变压器施加 1.1 倍额定输入电压，所测得的输入功率(W)应等于额定输出值，偏差为 $\pm 20\%$ 。测量时不应进行调节。

5.9.2.1 对移动式变压器，应将其放置在涂有无光黑漆的胶合板支撑件上。

对非内装式的驻立式变压器，应按正常使用的条件，以最不利的位置固定在涂有无光黑漆的胶合板支撑件上。当最不利的使用位置是垂直安装位置或顶板安装位置时，该驻立式变压器及其支撑件要安置在一块白松木板上方 $200\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 处，白松木板的厚度约 10mm，上面覆盖一层薄纸。

为了进行本试验，输入电路应用熔断器或断路器来进行保护，其额定电流为变压器额定电流的 10 倍，但至少为 16A。

变压器(当适用时，装上其保护装置)应按上述规定试验 15d，但不带负载。试验结果是电路中应出现确定的断开。如果在这段时间之后没有发生确定的断开，则要切断电源。

对带有自复位保护装置的变压器，要将所有的保护装置短路。

如果是由非自复位或可更换保护装置(如果有)断开电路，则应先切断电源并使变压器冷却 2h。然后将保护装置复位或更换，并接通电源，直到保护装置断开电路或变压器发生断开。如果变压器未发生断开，则对装有可复位保护装置的情况，应进行 30 次循环，或者对装有可更换保护装置的情况，进行 10 次循环。每一次循环包括给变压器供电，直到保护装置断开电路，然后切断电源保持 2h。

试验期间不应出现火焰，而且变压器不应成为周围的点火源。支撑件的温度不应超过 125°C 。如果驻立式变压器是垂直安装位置或顶板安装位置，则燃烧滴落物(如果有)，不应点燃薄纸或烧焦松木板。

5.9.2.2 在进行 5.9.2.1 的试验后，且当样品冷却到环境温度后，按下列规定进行试验。

- a) 如果输入电路出现确定的断开,则变压器应承受介电强度试验,试验电压为表 3 规定值的 35%。
- b) 在循环试验后,未出现确定的断开,则变压器应承受表 3 规定的试验电压。

对防护等级为 IP20 和更高的变压器,在不施加明显作用力的情况下,标准试验指不应触及危险的带电零部件。如有疑问时,则要用电压不小于 40V 的电接触指示器来指示是否触及危险的带电零部件。如果有一个样品未通过本试验,则判定整个试验不合格。

5.9.3 耐燃

用绝缘材料制成的变压器的所有零部件应能耐点燃和阻止火焰蔓延。

本要求不适用于装饰件、旋钮和不可能被点燃的或不可能使变压器内部引发的火焰蔓延的其他零部件。

通过对绝缘材料制成的零部件进行 GB/T 5169.10 试验来检验是否合格。

试验应在完整的变压器上进行。如果这样做不可能,则应使用被试部分的合适的样品。

如有必要,可以取下外壳件或割取适当的样品来进行试验。但是,应注意确保其形状、通风、热应力和可能的火焰影响、掉落在样品邻近处的燃烧滴落物或灼热颗粒等方面的标准试验条件与正常使用时出现的那些条件无重大差异。

样品的任何火焰或灼热应在移开灼热丝后的 30s 内熄灭。燃烧或熔化滴落物(如果有)不应点燃位于样品下方 200mm±5mm 处水平铺开的、符合 ISO4046-4: 2002 中 4.187 规定的单层薄纸。

只用一个样品进行试验。如果对试验结果有疑问时,则试验要在两个附加样品上重复进行,且这两个样品均应通过试验。

5.9.3.1 外部可触及的零部件

用绝缘材料制成的外部零部件应能耐点燃和阻止火焰蔓延。

通过对外壳和其他外部可触及的零部件进行灼热丝试验来检验是否合格。灼热丝的温度按下列规定:

- 对外壳,为 650℃;
- 对固定载流零部件在位(保持在位),以及固定外部导线端子用的零部件,当在正常工作时载流零部件和接线端子中的电流不超过 0.2A 时,为 650℃;
- 对固定载流零部件在位(保持在位),以及固定采用固定连接(例如,焊接)的外部导线端子用的零部件,当正常工作时载流零部件和接线端子中的电流超过 0.2A 时,为 750℃;
- 对固定载流零部件在位(保持在位),以及固定不采用固定连接的外部导线端子用的零部件,当正常工作时载流零部件和接线端子中的电流超过 0.2A 时,为 850℃。

对厚度不大于 0.2mm 的薄层材料不要求进行灼热丝试验。

5.9.3.2 内部零部件

固定载流零部件位置用的由绝缘材料制成的零部件应能耐点燃和阻止火焰蔓延。

通过对绝缘材料零部件进行灼热丝试验来检验是否合格。灼热丝的温度按下列规定:

- 对不固定载流零部件位置用的内部绝缘材料,为 550℃;
- 对线圈骨架,为 650℃;
- 对固定载流零部件在位(保持在位),以及固定外部导线端子用的零部件,当正常工作时载流零部件和接线端子中的电流不大于 0.2A 时,为 650℃;
- 对固定载流零部件在位(保持在位),以及固定采用固定连接(例如,焊接)的外部导线端子用的零部件,当正常工作时载流零部件和接线端子中的电流大于 0.2A 时,为 750℃;
- 对固定载流零部件在位(保持在位),以及固定不采用固定连接的外部导线端子用的零部件,当正常工作时载流零部件和接线端子中的电流大于 0.2A 时,为 850℃。

对厚度不大于 0.2mm 的薄层材料不要求进行灼热丝试验。

5.9.4 耐电痕化

对 IP 等级不是 IPX0 的变压器,如果固定载流零部件位置的绝缘零部件暴露在污染等级 3 的环境中,则这些绝缘零部件的耐电痕化应至少等于材料组别 IIIa。

对不是陶瓷类的绝缘材料,通过附录 D 的试验来检验是否合格。

在总共 50 滴滴液滴完之前,电极之间不应出现闪络或击穿。

5.10 防锈

对铁制零部件,如果其锈蚀可能会使变压器变得不安全,则应对锈蚀采取足够的防护。

注 1: 本要求适用于磁心的外表面,在这种情况下,采用漆涂层的防护被认为是满足要求的。

通过检查,如有疑问时,通过下列试验来检验是否合格。

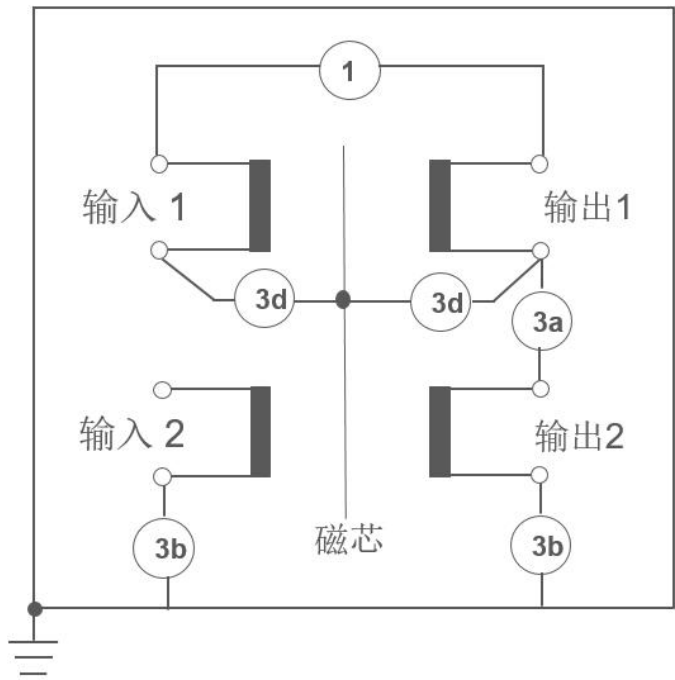
将被试零部件浸入三氯乙烷 10min,清除被试零部件上的全部油脂,然后将被试零部件浸入温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、10%的氯化铵水溶液 10min。该被试零部件无需擦干,但要在甩掉任何液滴后,将其放入温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、空气湿度达到饱和的试验箱内 10min。

所有零部件在温度为 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的高温箱内干燥 10min 后,其表面不应出现锈痕。

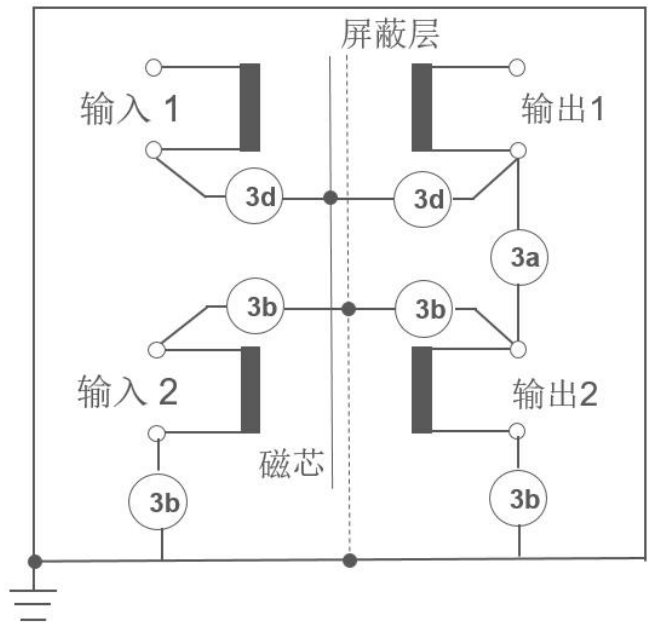
注 2: 尖锐边缘上的锈迹以及通过擦拭可以去除的任何黄色锈膜可忽略不计。

附录 A
(资料性)
试验电压施加点的例子

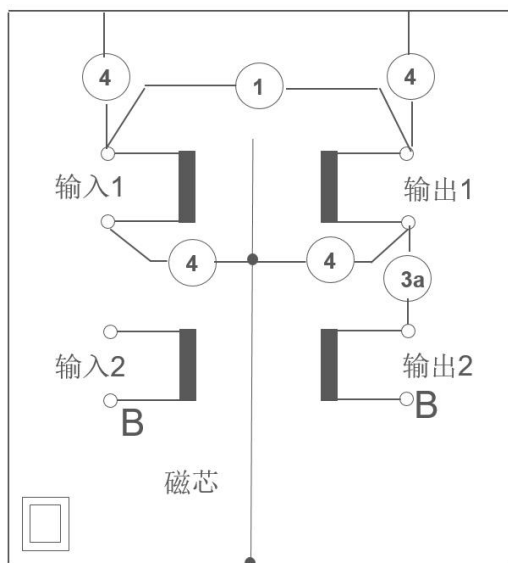
注：圆圈内的数字是指表3中的某些项目的序号。其他结构或配置方法也可以使用。
例1：I 类结构变压器



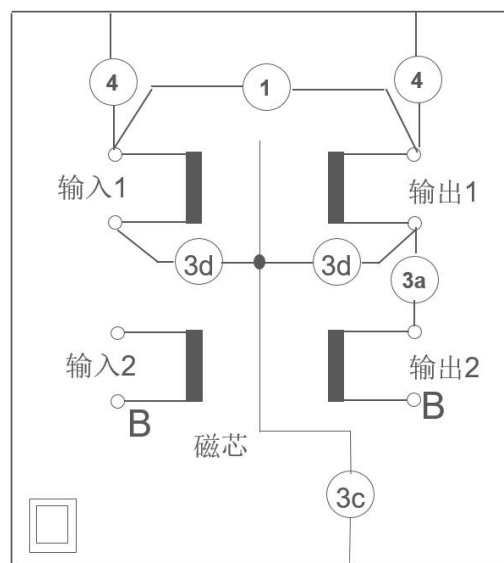
例2：具有接地金属屏蔽层的 I 类结构变压器



例3：具有金属外壳的Ⅱ类结构变压器

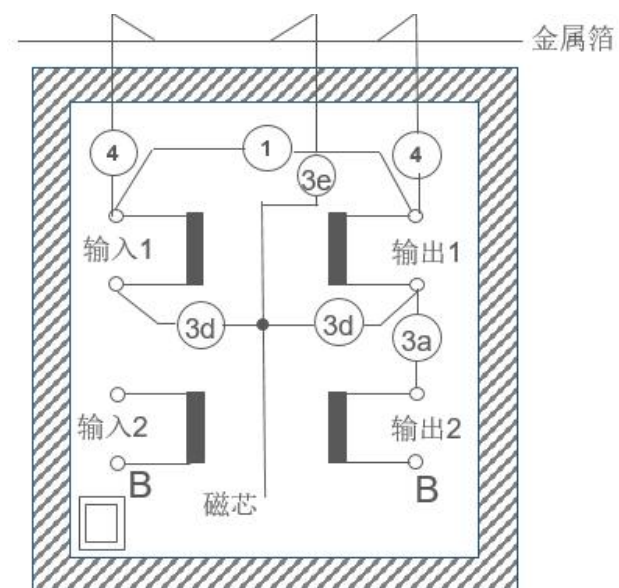


a) 磁心与壳体相连



b) 磁心不与壳体相连

例4：具有绝缘材料外壳的Ⅱ类结构变压器



附 录 B
(规范性)
用作多层绝缘线的绝缘绕组线

本附录规定了聚酰亚胺膜绝缘或用与其性能相当的绝缘材料绝缘的绕组线。它无需附加的衬垫绝缘就可以在绕组绕制件中提供基本绝缘、附加绝缘或加强绝缘。

注：下面给出了聚酰亚胺某些特性的典型值，以供参考。所附的这些数值不是本部分的组成部分。

——介电强度	180 kV / mm
——介电常数	3.5
——介质损耗因数	0.003 (在 1 kHz 下)
——绝缘电阻	$10^5 \text{ M}\Omega$
——表面电阻率	$10^{16} \text{ }\Omega$ (相对湿度为 50%)
——弯折耐久性	10^4 次循环

B.1 绕组线结构

绕组线应用两层或多层绝缘层进行绝缘。如果是用绝缘带呈螺旋缠绕成多层，则应使用抗旋转的绝缘层。搭接宽度应足够，以便在制作绕组绕制件时能确保连续搭接。

应对绝缘带的这些缠绕层予以密封，以消除层与层之间的爬电路径。

B.2 性能试验

绕组线应能通过下列 B.2.1~B.2.5 的五种型式试验。

B.2.1 介电强度

GB / T4074.5 — 2008 的试验13，施加时间与本部分5.3.3规定的持续时间相同，试验电压不小于本部分表 8a 的相应电压值，或者有两层时为 3 kV 、有三层时为 5.5 kV ，每种情况下均取较大者。

B.2.2 附着性和柔韧性

在额定环境温度下进行 GB/T4074.3 的试验8，随后进行 B.2.1 的介电强度试验。

B.2.3 热冲击

GB / T4074.6 的 3.1 或 3.2 的试验9，随后进行 B.2.1 的介电强度试验。

B.2.4 弯曲 后介电强度的保持

GB / T4074.5 的 4.1~4.5 的试验13，随后进行 B.2.1 的介电强度试验。

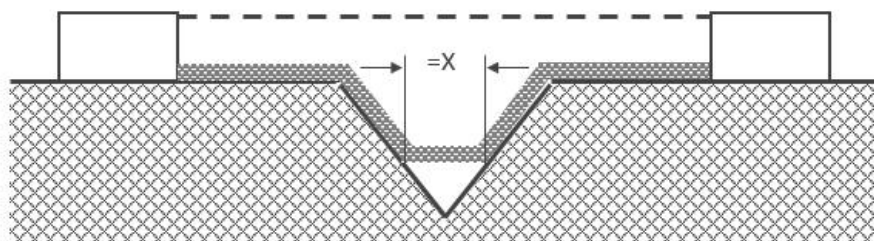
B.2.5 耐刮

GB / T4074.3 的试验 11 适用。

B.3 例行试验(生产试验)

T/CAAMTB ××××—××××

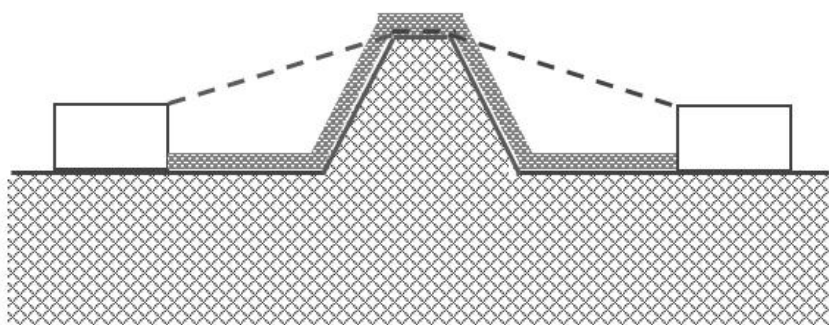
绝缘绕组线的制造方应按 GB / T4074.3 的规定，对绝缘绕组线进行 100 % 的介电 强度试验，试验电压不小于本部分表 8a 的相应电压值，或者有两层时为 3 kV 、有三层时为 5.5 kV ， 每种情况下均取较大者。



条件：所考虑的路径包含有一条内角小于 80° 、宽度大于 $X\text{mm}$ 的V形沟槽。

规则：电气间隙就是“视线”距离。爬电距离的路径就是沿沟槽轮廓线伸展的路径，但沟槽底部用长度为 $X\text{mm}$ 的绝缘连接物“短接”。

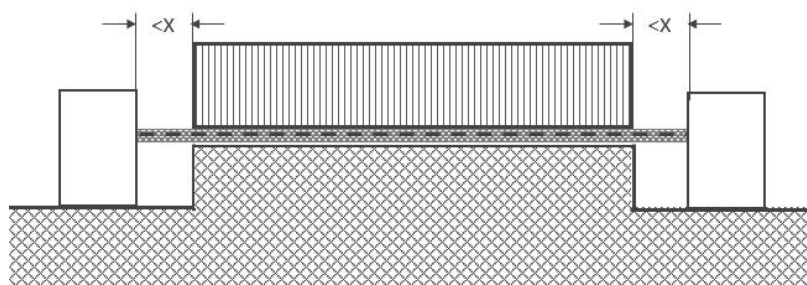
例4



条件：所考虑的路径包含有一根肋。

规则：电气间隙就是越过肋条顶部的最短直达的空间路径。爬电距离的路径就是沿肋条轮廓线伸展的路径。

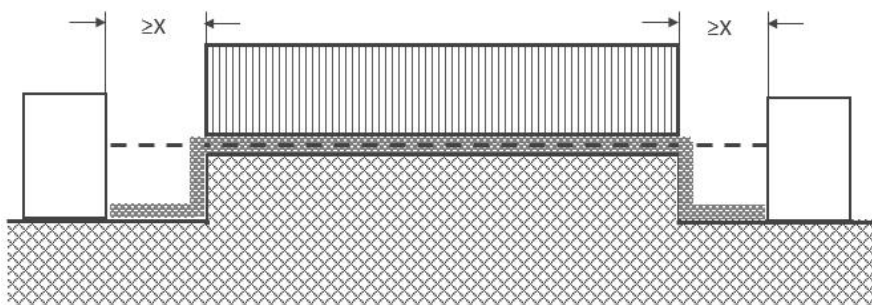
例5



条件：所考虑的路径包含有一条不粘合的接缝，而在该接缝的两头各有一条宽度小于 $X\text{mm}$ 的沟槽。

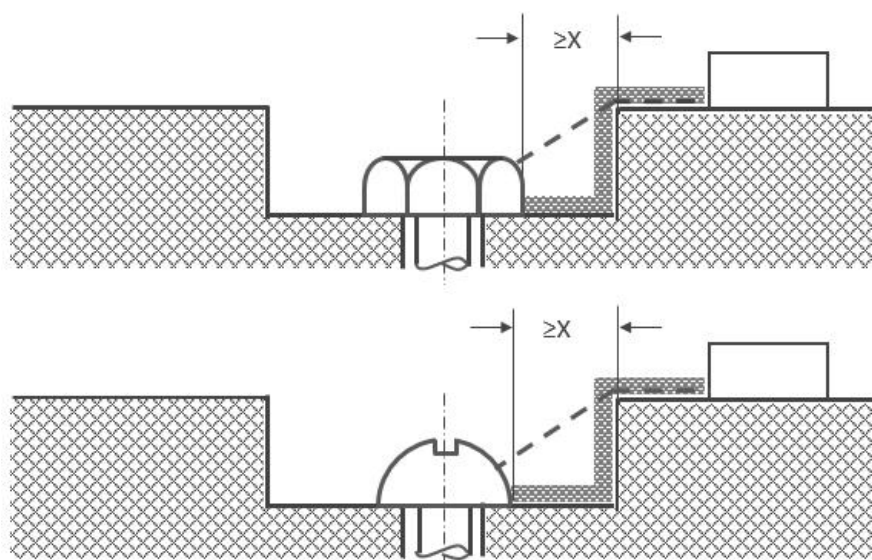
规则：爬电距离和电气间隙的路径就是如图所示的“视线”距离。

例6



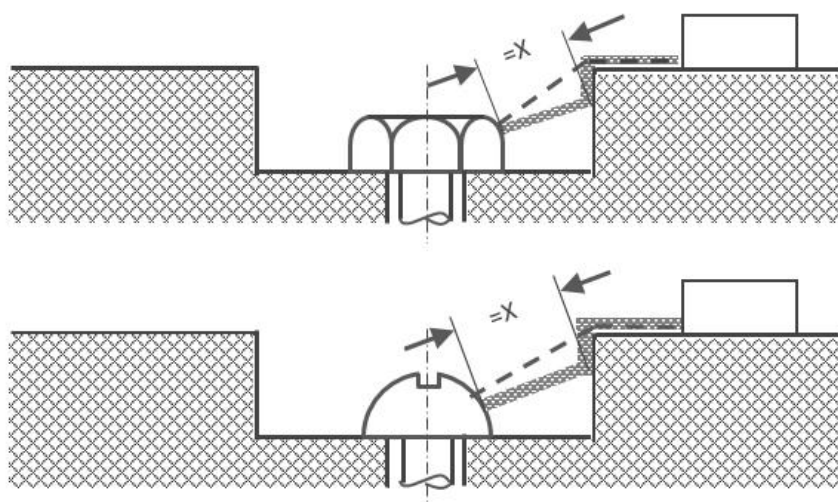
条件：所考虑的路径有一条不粘合的接缝，而在该接缝两头各有一条宽度等于或大于Xmm的沟槽。
规则：电气间隙的路径就是“视线”距离。爬电距离就是沿沟槽轮廓线伸展的路径。

例7



由于螺钉头与凹槽槽壁之间的空隙足够宽，所以必须考虑该空隙。

例8



由于螺钉头与凹槽槽壁之间的空隙太窄，所以不必考虑该空隙。

附录 D
(规范性)
电痕化试验

D.1 概述

变压器的电痕化试验应按 GB/T 4207 的规定,按下列说明来进行。

为了本部分的目的,将所使用材料按其相比电痕化指数(CTI)值划分为下列三组:

材料组别 I $600 \leq \text{CTI}$;

材料组别 II $400 \leq \text{CTI} < 600$;

材料组别 IIIa $175 \leq \text{CTI} < 400$ 。

材料组别的划分是通过按 GB/T 4207 规定进行的相比电痕化指数试验所得到的相比电痕化指数值来确定的。

本试验在三个独立的样品上或从相关元器件上割取的三片样品上进行,要注意每次试验开始前,电极要干净,其形状及摆放位置正确。如有疑问,在必要时要在新的样品上重复进行试验。

为了本部分的目的,引用 GB/T 4207 的有关章条时,下列内容适用。

D.2 试样

GB/T 4207 第 5 章“试样”的要求适用,但第一段的最后一句不适用。

D.3 试验设备

GB/T 4207 第 7 章“试验设备”的要求适用,但下列内容除外:

——7.1 的注不适用;

——7.3 的注不适用;

——使用 7.3 规定的试验溶液 A。

D.4 试验程序

GB/T 4207 第 8 章“基本试验程序”的要求适用,但下列内容除外:

——对 8.2 的 CTI 试验,第 5 章的注 2 和注 3 也适用;

——8.3 不适用。

参 考 文 献

- [1] ISO 17409 Electrically propelled road vehicles—Conductive power transfer—Safety requirements
- [2] IEC 61558-2-16 Safety of transformers, reactors, power supply units and similar products for supply voltages up to 1 100 V - Part 2-16: Particular requirements and tests for switch mode power supply units and transformers for switch mode power supply units
-