



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.37—2006/IEC 60068-2-68:1994  
代替 GB/T 2423.37—1989

## 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验L:沙尘试验

Environmental testing for electric and electronic products—  
Part 2: Test methods—Test L: Dust and sand

(IEC 60068-2-68:1994, Environmental testing—  
Part 2: Tests—Test L: Dust and sand, IDT)

2006-12-19 发布

2007-09-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 概述 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 试验 La:非磨蚀性细尘 .....	2
5 试验 Lb:自由降尘 .....	12
6 试验 Lc:吹沙尘 .....	17
附录 A (资料性附录) 通用指南 .....	31
A.1 试验用沙尘特性 .....	31
A.2 其他沙尘 .....	32
A.3 湿度对试验用沙尘的影响 .....	32
A.4 对电工产品的影响 .....	33
A.5 安全防护 .....	34
A.6 试验 L 和 IEC 60529 对比 .....	35
附录 B (资料性附录) 参考文献 .....	37

## 前 言

GB/T 2423《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法》包括若干部分。本部分为 GB/T 2423 标准的第 37 部分。本部分等同采用了 IEC 60068-2-68:1994《环境试验 第2部分：试验 试验 L：尘和沙》(英文版)。跟国际标准相比,本部分主要做了以下编辑性修改:

- 删除了国际标准的前言;
- 增加了国家标准前言;
- 用相应的国家标准代替了国际标准;
- 把 3.7 注的内容直接应用于标准编辑中。

本部分代替了 GB/T 2423.37—1989,与其相比不同之处主要有:

- 将试验 La 分为 La1 和 La2,试验条件有所变化;
- 增加了试验方法 Lc2;
- 在各试验方法之后增加了试验导则。

本部分的附录 A、附录 B 均为资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电工电子产品环境技术标准化委员会(SAC/TC 8)归口。

本部分起草单位:广州电器科学研究院。

本部分主要起草人:颜景莲。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:GB/T 2423.37—1989。

## 引 言

GB/T 2423 的本部分为相关规范评价以下影响提供了信息:

- 1) 尘侵入壳体;
- 2) 电气性能的改变,如接触故障、接触电阻改变、轨道电阻变化;
- 3) 运动的轴承、车轴等活动部件的卡死、障碍等;
- 4) 表面磨损(腐蚀);
- 5) 光学表面的污染、润滑剂的污染;
- 6) 通风孔、套管、导管、过滤器、孔等的堵塞。

考虑到电工产品整体结构的不同以及模拟不同的使用环境条件,本部分规定了不同的试验方法。各试验方法的不同之处主要是气流性质不同,携带物质的性质不同。

电工电子产品环境试验  
第2部分:试验方法 试验L:沙尘试验

1 概述

本部分描述了沙尘试验的基本结构。图1和表1描述了各种方法的特点和结构。IEC 60529 沙尘试验中也有跟La2方法等同的部分。参见附录A。

1.1 范围

本部分规定了确定空气中悬浮的沙尘对产品的影响的试验方法。

本试验方法不适用于检测空气过滤器。只有试验方法Lc2适用于模拟高速粒子(大于100 m/s)的腐蚀效应。

1.2 试验L的一般描述

沙尘试验结构上分成3组:

La: 非磨蚀性细尘。本试验主要用于检测样品的密封性能。试验样品暴露于滑石粉或其他相当的非常细小的尘中。可以再现由于温度交变导致样品内外气压不同造成的影响。

Lb: 自由降尘。本方法用于模拟有防护场所中沙尘的影响。样品暴露于低密度含尘大气中,其中有间歇性的少量尘注入,并由于重力作用会降落到样品上。

Lc: 吹沙尘。本方法主要用于模拟户外和车载环境条件下沙尘对样品的密封性能和磨蚀影响。样品暴露于夹带了一定量尘、沙或沙尘混合物的湍动或层流气流中。

表1 试验特征小结

方 法	沙/尘类型	粒子尺寸	沙/尘浓度	备 注
试验 La				
方法 La1	滑石粉或 FE粉	<75 μm	在基准面上尘降量为: 600 g/(m <sup>2</sup> ·h)	试验中试验箱气压交变
方法 La2	滑石粉或 FE粉	<75 μm	2 kg/m <sup>3</sup> (试验箱体积)	样品内的气压可以降低
试验 Lb	橄榄石或 石英或 长石	<75 μm	在基准面上尘降量为: 6 g/(m <sup>2</sup> ·d)	自由降尘
试验 Lc				
方法 Lc1	橄榄石或 石英或 长石	<75 μm 或 <150 μm 或 <850 μm	1 g/m <sup>3</sup> 或 3 g/m <sup>3</sup> 或 10 g/m <sup>3</sup>	能够循环吹沙尘试验箱
方法 Lc2	橄榄石或 石英或 长石	<75 μm 或 <150 μm 或 <850 μm	1 g/m <sup>3</sup> 或 3 g/m <sup>3</sup> 或 10 g/m <sup>3</sup>	自由吹落沙尘

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有

的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 4797.6—1995 电工电子产品自然环境条件 尘、沙、盐雾(neq IEC 60721-2-5:1991)

IEC 60529:2001 Degrees of protection provided by enclosures (IP code)

### 3 术语和定义

本部分使用的术语及定义如下。

#### 3.1

**尘 dust**

没有特定来源或者组成,尺寸为 $1\ \mu\text{m}\sim 150\ \mu\text{m}$ 的粒子。

#### 3.2

**尘浓度 dust concentration**

单位体积空气中的尘粒子总质量。

#### 3.3

**湿度 humidity**

相对湿度定义为在任意温度下的实际蒸汽压与该温度下的饱和蒸汽压的比值。

#### 3.4

**吸湿的 hygroscopic**

具有吸收水分的能力。

#### 3.5

**粒子尺寸 particle size**

假设粒子都是球形的,尘和沙粒子的综合尺寸;一般通过筛分、计算沉降速度或者测量显微图片面积进行测定。

#### 3.6

**沙 sand**

球形或带棱角的,尺寸在 $100\ \mu\text{m}\sim 2000\ \mu\text{m}$ 的粒子。对于环境试验,尺寸一般限制在 $150\ \mu\text{m}\sim 850\ \mu\text{m}$ 。

#### 3.7

**筛子(平面网状) sieve(square-meshed)**

符合标准规定的筛子,用于测定被筛分物质的粒子尺寸。

### 4 试验 La:非磨蚀性细尘

#### 4.1 方法 La1:交变气压

##### 4.1.1 目的

本试验目的主要是确定产品防止细尘侵入的防护程度。

##### 4.1.2 一般性描述

在 La1 试验中,样品暴露于含有尺寸小于 $75\ \mu\text{m}$ (见 4.3)的非磨蚀性细尘的含尘气流中。该方法并不模拟自然环境或诱发环境条件。

本试验中规定了向下的垂直气流。

对于特定类型的外壳,试验箱内的压力会循环变化,以促使尘侵入。

##### 4.1.3 试验设备描述

试验箱应使样品暴露于垂直的非层流且含有规定数量的尘的气流中。为此,应搅拌试验用尘并且吹入密封试验箱。试验箱内的气压应能够按照 4.1.4.6 的要求进行交变。

沉降在试验箱底部的尘应循环使用。

样品体积不应超过试验箱体积的 25%，样品底座不应超过试验箱工作空间水平面积的 50%。

如果样品尺寸不符合本部分，相关规范应规定使用下列何种方法：

- a) 单独测试样品的密封部分；
- b) 测试样品有代表性的部件，包括例如门、通气孔、支座、密封轴等元件，在试验过程中包含样品的精细部件例如端子，集电极圈等应安装就位；
- c) 测试跟原样品具有相同设计细节的小样品。

图 3 中给出了适用的试验设备的实例。

## 4.1.4 试验条件

### 4.1.4.1 试验用尘

试验用尘是干燥的非磨蚀性的细粉尘，能够通过筛孔为 75 μm，金属丝直径为 50 μm 的平面网状筛。

本试验中可以使用滑石粉，分析表明它可以满足要求(见 4.3.4.2)。

试验用尘使用次数不应超过 20 次。应注意维持干燥以保持粉尘细度。使用前应在 80℃ 下烘干 2 h。

### 4.1.4.2 尘浓度

试验用尘的数量应能够使箱底基准表面上的沉降量均匀维持在  $(600 \pm 200) \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

### 4.1.4.3 气流

试验箱内的气流应主要是自上而下的垂直气流，而非层流。

### 4.1.4.4 气流速度

气流速度应能够使尘在试验箱内均匀分布。

### 4.1.4.5 湿度

试验箱内的相对湿度应小于 25%，可以通过提高试验箱温度实现。(见 A.3)。

### 4.1.4.6 样品内气压

根据样品的运行条件，样品外壳可以分为两种类型：

类型 1：样品外壳内的气压可能会与外界大气压不同，例如由运行中的热力循环引起气压不同。

类型 2：样品外壳内气压跟外界气压相同。

相关规范应阐明样品外壳类型和压力降。

4.1.4.6.1 对于具有类型 1 外壳的样品，应放入试验箱，并按照正常使用位置安装。样品应承受图 2 中规定的压降周期。根据相关规范中规定，压力降应为 2 kPa(20 mbar)或 5 kPa(50 mbar)。

如图 2 所示，尘应在每个循环周期内注入。

4.1.4.6.2 对于具有类型 2 外壳的样品，应放入试验箱，并按照正常使用位置安装。此种情况下，不应使用真空泵。

### 4.1.4.7 严酷程度

试验严酷程度由试验箱内的气压和试验持续时间确定，取决于外壳的类型，并应在相关规范中进行规定。

类型 1：根据相关规范规定，压力降为 2 kPa(20 mbar)或 5 kPa(50 mbar)，持续时间 2 h。

类型 2：大气压，持续时间 4 h。

## 4.1.5 预处理

相关规范可以规定预处理。

## 4.1.6 初始测量

样品应按照相关规范进行目视检查、尺寸和功能检查。

## 4.1.7 试验

试验箱内空气温度应足够高,能够确保箱内的相对湿度达到 25%或更低。将处于室温下的样品在不包装,不通电,准备使用状态下,按照正常使用位置或者根据相关规定放入试验箱。如果包含多个样品,应注意样品之间不要接触,不要互相遮挡尘。

相关规范可以要求样品在试验期间通电或运行。

在试验箱中注入尘以在规定的注入时间内(类型 1)或者整个试验期间(类型 2)维持规定的尘浓度。条件试验结束后,样品仍然保留在试验箱内直至尘全部沉降。

## 4.1.8 中间检测

相关规范可以要求在试验过程中或者在试验结束前样品仍然在试验箱内时进行检测。如果要求此类检测,相关规范应规定检测内容和检测时间。

## 4.1.9 恢复

除非相关规范另有规定,样品应在标准大气条件下恢复 2h。

## 4.1.10 清洁

相关规范可以规定在进行最终检测之前清除样品外表面的尘。

## 4.1.11 最终检测

恢复完成以后,样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

## 4.1.12 相关规范中应给出的信息

当相关规范包含该试验时。在可能的情况下,应给出以下细节信息。相关规范应提供下面列出的信息,注意打\*的项目,总是要求的。

	条款
a) 如果样品尺寸不符合标准,所采取的方法	4.1.3
b) 外壳的类型和压力降*	4.1.4.6
c) 严酷程度*	4.1.4.7
试验箱内的气压*	
试验持续时间*	
d) 预处理	4.1.5
e) 最初检测*	4.1.6
f) 试验过程中的样品状态,电气负载或者是否运行*	4.1.7
g) 如果非正常使用位置安装,样品的安装位置	4.1.7
h) 中间检测	4.1.8
i) 恢复	4.1.9
j) 样品的清洁	4.1.10
k) 最终检测*	4.1.11

## 4.2 方法 La2:恒定气压

### 4.2.1 目的

本试验主要目的是确定样品防止细尘侵入的防护程度。

### 4.2.2 一般性描述

La2 试验是一个检验密封性试验,样品暴露于含有尺寸小于 75 $\mu$ m 的非磨蚀性细尘的高浓度含尘气流中。该方法并不模拟自然环境或诱发环境。

本试验中规定了向下的垂直气流。

对于特定等级的外壳,内部压力比外界气压要低,以促使尘的侵入。

尘的数量应保证尘的浓度较高且均一。没有规定监控尘浓度的方法。

## 4.2.3 试验设备描述

试验箱应使样品暴露于垂直而非层流且包含规定数量的尘的气流中。为此,应搅拌试验用尘并吹入密封试验箱。如相关规范有规定,样品应连接真空泵进行抽气,使含尘试验箱内的气体通过缝隙、套管或者其他类似部件进入样品。压力降应能够调节和监控,并应测量抽气速率。

沉降在试验箱底部的尘应循环使用。

样品体积不应超过试验箱体积的 25%,样品底座不应超过试验箱工作空间水平面积的 50%。

如果样品尺寸不符合本部分,相关规范应规定使用下列何种方法:

- a) 单独测试样品的密封部分;
- b) 测试样品有代表性的部件,包括例如门、通气门、支座、密封轴等元件,在试验过程中包含产品的精细部件例如端子,集电极圈等应保持原位;
- c) 测试跟原样品具有相同设计细节的小样品。

图 4 给出了适用设备的实例。

## 4.2.4 试验条件

### 4.2.4.1 试验用尘

试验用尘要求跟方法 La1 中的 4.1.4.1 完全相同。

### 4.2.4.2 尘浓度

试验用尘的数量至少为  $2 \text{ kg/m}^3$  (试验箱体积)。

### 4.2.4.3 气流

试验箱内的气流应主要是自上而下的垂直气流,而非层流。

### 4.2.4.4 气流速度

气流速度应能够使尘在试验箱内均匀分布。

### 4.2.4.5 湿度

试验箱内的相对湿度应小于 25%。可以通过提高试验箱温度获得(参见 A.3)。

### 4.2.4.6 样品内气压

根据样品的运行条件。样品外壳可以分为两种类型:

类型 1:样品外壳内的压力可能会与外界大气压不同,例如由于运行中的热力循环引起的气压不同。

类型 2:样品外壳内气压跟外界气压相同。

相关规范应阐明样品外壳类型和压力降。

4.2.4.6.1 对于具有类型 1 外壳的样品,放入试验箱,并按正常使用位置安装,连接真空泵使样品内部压力低于大气压。为此,外壳上应提供合适的孔,如果样品壁上已经具备排水孔,真空管应连接到该孔上,不需要重新打孔。如果排水孔多于一个,真空管应连接到其中一个孔上,其他孔在试验过程中应密封。

4.2.4.6.2 对于具有类型 2 外壳的样品,放入试验箱,并按正常使用位置安装。所有开放的孔保持开放。

### 4.2.4.7 严酷程度

试验严酷程度由试验箱内的气压和试验持续时间确定,取决于外壳的类型,并应在相关规范中进行规定。

类型 1:

气压

—— $2 \text{ kPa}$ ( $20 \text{ mbar}$ ),  $5 \text{ kPa}$ ( $50 \text{ mbar}$ )或  $10 \text{ kPa}$ ( $100 \text{ mbar}$ )。

试验持续时间

——使用相关规范中规定的最大压力降,如果抽气速度小于每小时 40 倍壳内体积,试验应持续直

至抽出 80 倍壳内体积,或者 8 h。

——如果抽气速度达到每小时 40~60 倍壳内体积,则持续时间为 2 h。

本试验的目的是从样品内抽出至少相当于 80 倍的样品壳内的自由空气的体积。但是,任何时刻的抽气速率不得超过每小时 60 倍壳内体积。

类型 2:

气压:标准大气压;

试验持续时间:8 h。

#### 4.2.5 预处理

相关规范可以要求预处理。

#### 4.2.6 初始测量

样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

#### 4.2.7 试验

试验箱的温度应足够高,以确保箱内的相对湿度为 25%或更低。将处于室温下的样品在不包装,不通电,准备使用状态下,按正常使用位置或者根据相关规定放入试验箱。如果包含多个样品,应注意样品之间不要接触,不要互相遮挡尘。

相关规范可以要求样品在试验期间通电或运行。

当样品放入试验箱时,如果使用真空泵(类型 1),就应连接和打开真空泵。

在试验箱中注入尘开始试验。

条件试验结束后,关闭真空泵(类型 1),样品仍然保留在试验箱内直至尘全部沉降。

#### 4.2.8 中间检测

相关规范可以要求在试验过程中或者在试验结束前样品仍然在试验箱内时进行检测。如果要求此类检测,相关规范应规定检测和检测时间。

#### 4.2.9 恢复

除非相关规范另有规定,样品应在标准大气条件下恢复 2h。

#### 4.2.10 清洁

相关规范可能规定在进行最后检测之前清除样品外表面的尘。

#### 4.2.11 最终检测

恢复完成以后,样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

#### 4.2.12 相关规范中应给出的信息

当相关规范包含该试验时,在可能的情况下,应给出以下细节信息。

相关规范应提供下面列出的信息,注意打\*的项目,总是要求的。

	条款
a) 样品内部形成的真空度	4.2.3
b) 如果样品尺寸不符合标准,所采取的方法	4.2.3
c) 外壳的类型和压力降*	4.2.4.6
d) 严酷程度*	4.2.4.7
试验箱内的气压*	
试验持续时间*	
e) 预处理	4.2.5
f) 最初检测*	4.2.6
g) 试验过程中的样品状态,电气负载或者是否运行	4.2.7
h) 如果非正常使用位置安装,样品的安装位置	4.2.7
i) 中间检测	4.2.8

- j) 恢复 4.2.9
- k) 样品的清洁 4.2.10
- l) 最终检测\* 4.2.11

#### 4.3 试验 La 导则

##### 4.3.1 检测电工产品防尘等级的方法

试验方法的两个主要参数是：

- a) 样品周围含高浓度非磨蚀性细尘空气；
- b) 模拟的周围环境或样品内部气压变化。

需要强调的是，本试验主要是为检验密封性能设计的，并没有也不适用于模拟任何自然沙尘环境。本部分描述了产生试验条件的方法和理论，并且讨论了可替代用尘。

另外，本部分还描述了严酷程度以及影响再现性的因素，并给出一些说明和安全防护措施。

4.3.3.3 描述的方法 La2 使用的设备，同 IEC 60529 中规定的测试防尘密封性能的试验设备完全一样。

##### 4.3.2 试验 La 的基础理论

###### 4.3.2.1 概述

根据试验 La 进行试验的主要目的是检验电工产品外壳的防尘性能，次之为了检测尘侵入对产品的影响，同时也可以检测尘侵入对安全和灾害的影响。

尘引起的安全和灾害影响包括由电导性尘引起的电击、可燃性尘引起的火灾或爆炸。

为了分析试验方法的要求和限制，在下列条款中对于尘的来源、作用以及影响等做了一些思考。

###### 4.3.2.2 尘的来源

产品周围出现的尘主要有几个来源。通过例如通风孔或者缝隙侵入的尘可能是例如石英、煤、用于解冻的盐以及化肥等尘。

尘也可能是小的棉或羊毛纤维，天然的或人造的，来源于在起居室或办公室正常使用的衣物或地毯。

尘的其他来源有农舍的种子，磨坊地面上的面粉等。

粒子的尺寸从  $1\ \mu\text{m}$  ~  $100\ \mu\text{m}$ 。

###### 4.3.2.3 尘的作用和影响

###### 4.3.2.3.1 侵入

可能发生尘侵入样品的情况有以下几种：

- 由强迫空气循环带入，如为了制冷；
- 由空气的热运动带入；
- 由温度变化引起的压差吸入；
- 风吹入。

###### 4.3.2.3.2 主要影响

尘自身可能会导致以下一种或几种有害影响：

- a) 活动部件卡死；
- b) 摩擦活动部件；
- c) 增加活动部件的质量引起不平衡；
- d) 危害电绝缘性；
- e) 危害电性能；
- f) 堵塞空气过滤器；
- g) 降低热传导性能；
- h) 干扰光学性能。

## 4.3.2.3.3 次要影响和组合影响

尘的存在并且联合其他环境因素可能会对产品造成有害影响,例如腐蚀、长霉。特别是湿热环境跟化学腐蚀性尘结合会引起腐蚀。此外,过滤器堵塞以及通风或制冷性能的降低可能会导致过热和火灾。

对于不导电的和腐蚀性尘如用于解冻的盐,可以通过使用试验用尘和实际腐蚀性物质的混合物进行沙尘试验,然后进行湿热试验研究其影响。

但是,为了保持再现性,应考虑用中性尘进行沙尘试验,然后进行标准腐蚀试验分别进行研究。

为了研究吸湿性尘的影响,可以在沙尘试验中混入短的棉纤维,然后进行腐蚀试验。

## 4.3.2.4 检测防尘致密性试验

### 4.3.2.4.1 空气进入样品的运动

由尘进入样品的机理(4.3.2.1)可以看出,沙尘试验方法需要有空气进出样品。

根据样品结构连续或间隔运转样品或者用风扇吹风可以实现空气运动,也可以利用空气压力系统使样品内部产生连续的和交变压差来实现空气运动。

由于主要目的是检测防尘致密性以及维持高的再现性,目前试验 La 选择了后一种方法,这也是一种较为简单的实现空气运动的方法。在某些情况下,会使试验结果的解释复杂化(4.3.8)。

### 4.3.2.4.2 试验箱尘浓度

试验的目的是检测防尘致密性,并不模拟样品实际的工作环境。

因此,对于试验箱含尘环境的要求仅仅是在样品周围建立一个高浓度含尘空气环境。为了获得足够的尘以便于研究,尘浓度跟自然的或人工的实际工作环境比较起来要大的多。

作为信息,本试验方法的尘沉积速率大约是试验 Lb 自由降尘沉降速率的  $10^4$  倍。

### 4.3.2.4.3 恒定/交变气压

试验 La 要求模拟样品内外气压差。

试验 La1 压差是交变的,通过改变试验箱内的气压实现。

试验 La2 的压差是恒定的,通过给样品连接真空泵实现。

试验 La1 的优点有:

- 如同在实际运行条件下一样,压差是交变的;
- 交变压差不会产生使用恒定压差时发生的尘堵塞缝隙现象;
- 交变压差是通过改变试验箱内的压力实现的,样品的完整性不受影响,且不用为连接真空泵选孔而产生疑问。

试验 La2 的优点有:

- 试验 La2 被很多实验室熟知,并且在其他 IEC 出版物中广泛使用。

### 4.3.2.4.4 尘粒子尺寸的选择

对于评估样品的防尘致密性,可以选用任何材料的尘进行试验。主要的要求是粒子尺寸分布,应含有实际工作场所能发现的粒子的最小尺寸。只能使用软材料测试防尘致密性,因为这样可以避免对样品的磨蚀影响。

### 4.3.2.5 条件试验中样品的工作状态

样品的运行状态会影响尘的侵入,这取决于样品的类型和特点。

通过试验箱压力系统模拟密封的发热样品的吸入效应,因此样品在条件试验时可以不通电。

活动部件的密封,如传动轴和操作按钮等可能会受其运动的影响,因此样品在试验过程中应处于工作状态。

由于尘浓度太高不能对试验结果给出合理解释,目前沙尘试验不适用于开放式的样品,如具有开放式强迫空气制冷的样品或者是具有开放式对流制冷通风孔的样品。

### 4.3.3 产生试验条件的方法

#### 4.3.3.1 一般要求

为了产生能够再现的试验条件,应满足下列参数的一般要求:

- a) 尘浓度;
- b) 尘分布均匀性;
- c) 温度;
- d) 相对湿度;
- e) 静电累积;
- f) 样品模拟气压;
- g) 尘特性。

参数 a)~f) 由设备设计决定。设备设计导则见 4.3.3.2 和 4.3.3.3。试验用尘选用导则见 4.3.4。

#### 4.3.3.2 试验 La1 试验设备(交变气压)

##### 4.3.3.2.1 试验箱

图 3 给出了一个适用的试验箱的实例。建议试验箱内壁采用导电性材料,并且接地避免静电积累。如果静电对尘侵入样品的影响也是测试的目的,样品相对于试验箱就要带电。

通过提高试验箱温度控制湿度最为方便。在试验箱内部建立等温条件的一种方法是:试验箱设计为一个铝制内箱,外面用绝热材料制成的外箱包裹;受控的热空气在内箱和外箱之间循环;为了使热气流分布均匀,其间布放一些导流板;原理同自由场温度试验箱分布相同。

交变气压对样品的影响是建立在试验箱气压变化基础上的。这就要求气密性构件要能够承受规定的气压。(见 4.3.3.2.3)。

##### 4.3.3.2.2 尘注入系统

尘注入系统应能够维持试验箱内有足够密度的均匀的悬浮尘。可以通过使用螺旋输送设备实现该功能,将尘从试验箱的底部输送到顶部。尘密度可以通过螺旋输送设备的速度进行控制。是否需要混合设备将尘导入螺旋输送设备的入口,取决于试验箱顶部的形状以及尘的漂浮特性。可以通过在螺旋输送设备的出口水平安装一台风扇控制悬浮尘的均匀性。

##### 4.3.3.2.3 交变气压系统

为了模拟自然气压变化,应给样品引入气压交变系统,因此也增加了尘侵入样品的可能性。

气压交变是通过试验箱气压周期性变化实现的。

一个试验气压循环包括了试验箱内的低气压阶段,然后是环境气压。

试验循环在压力变化阶段(如恢复至周围气压),给样品引入了外部空气到内部空气的交换。

通过改变试验箱内的气压而不是改变样品内部的压力来实现压差的优点主要是保持样品的完整性。

#### 4.3.3.3 试验 La2 试验设备(恒定气压)

试验 La2 恒定气压试验设备跟 IEC 60529 描述的设备完全一样。

把样品放置在一个密闭的试验箱,尘通过高速气流悬浮于试验箱中。样品内的气压保持恒定,比周围大气压要低。试验持续时间部分取决于样品的尺寸,部分取决于样品的泄漏量,它决定了交换空气的体积。

下面的条款描述了对试验设备的要求和主要特征。

##### 4.3.3.3.1 试验箱

图 4 给出了一个适用的试验箱实例。为了维持温度,相对湿度,电荷累积的重现性,对试验箱结构的建议见 4.3.3.2.1。

##### 4.3.3.3.2 尘注入系统

尘注入系统应能够维持试验箱内有足够浓度的均匀的悬浮尘。该功能通过使用空气循环系统包括一个风扇使尘循环实现。为了实现尘的均匀沉积,在试验箱顶部可能需要另外一台风扇。该功能也可

以通过螺旋输送设备和一台风扇来实现,见 4.3.3.2.2。

#### 4.3.3.3.3 恒定气压系统

样品内的恒定气压是通过连接真空泵实现的,由于在某些情况下要在样品外壳上钻孔,这会破坏样品的完整性。

#### 4.3.4 试验用尘

对于评估样品的防尘致密性,规定的标准用尘为滑石粉。但该试验可以选用任何类型的尘进行。

主要要求是粒子尺寸分布,应含有实际工作场所能发现的粒子的最小尺寸。在各种场所发现平均有 35%(质量百分比)的粒子尺寸小于  $1\ \mu\text{m}$ 。只能使用软材料测试防尘致密性,以避免对样品的磨蚀影响。

##### 4.3.4.1 尘的成分

当为试验选用不同等级的尘时,以下 5 个特性最为重要:

- a) 是否容易获得;
- b) 硬度;
- c) 吸湿性;
- d) 化学稳定性;
- e) 对健康的危害。

试验 La 比较容易获得的一种尘是滑石粉。滑石粉是一种镁的硅酸盐,莫氏硬度为 1,是最软的矿物之一。滑石粉具有较高的吸湿性,为了防止尘结块,在使用前应进行干燥。同样,沙尘试验应在较高温度下进行,以使试验箱内的相对湿度保持在 25% 以下。滑石粉具有化学稳定性。

可用于试验 La 的另外一种尘是消防用粉(Fe 粉)。

Fe 粉是由外面包敷了一层金属硬脂酸盐涂层的  $\text{NaHCO}_3$  或  $\text{KHCO}_3$  组成,其优点是由于粉尘的密封,吸湿性很小,因此粉尘流动性很好。缺点是有些 Fe 粉粒子具有化学腐蚀性,在沙尘试验之后暴露于高湿环境下会引起对样品的危害。因此,关于该问题建议咨询一下 Fe 粉制造商。Fe 粉的莫氏硬度大约为 3。

健康危害方面见 A.5。

##### 4.3.4.2 粒子尺寸分布

试验规范要求试验用尘能够通过筛孔为  $75\ \mu\text{m}$ ,金属丝直径为  $50\ \mu\text{m}$  的平面网状筛。

对于典型的滑石粉进行光学分析,粒子尺寸分布如下:

—— $<63\ \mu\text{m}$	100% 质量
—— $<40\ \mu\text{m}$	45% 质量
—— $<20\ \mu\text{m}$	9% 质量
—— $<10\ \mu\text{m}$	0.9% 质量
—— $<5\ \mu\text{m}$	少于 0.2% 质量

Fe 粉的粒子尺寸分布如下:

—— $<85\ \mu\text{m}$	100% 质量
—— $<40\ \mu\text{m}$	26% 质量
—— $<20\ \mu\text{m}$	5% 质量
—— $<10\ \mu\text{m}$	0.7% 质量
—— $<5\ \mu\text{m}$	少于 0.2% 质量

可以看出,两种尘中小粒子的含量非常低( $<5\ \mu\text{m}$  的粒子含量少于 0.2%),这就要求进一步研究,因为自然沙尘中 $<5\ \mu\text{m}$  的粒子含量比较高。

但滑石粉在循环过程中被磨小,因此当进行过几次沙尘试验之后,小粒子含量会有所增加。

测定尘粒子尺寸分布可以用几种方法。其中一些是以对沙尘进行光学分析为基础的。

## 4.3.5 试验严酷程度

### 4.3.5.1 方法 La1

方法 La1 的严酷程度跟条件试验的持续时间(压力循环次数)以及样品内外的气压差成正比。

严酷程度可以通过选择两个参数的数值进行改变,但实际最大压差会受到样品以及试验箱强度的限制。

### 4.3.5.2 方法 La2

方法 La2 的严酷程度跟条件试验的持续时间以及样品内外的气压差成正比。

严酷程度可以通过选择两个参数的数值进行改变,但实际最大压差会受到样品强度的限制。

## 4.3.6 试验的再现性

非磨蚀性细尘试验的再现性取决于以下参数:

- 相对湿度;
- 尘浓度;
- 尘均匀性;
- 尘特性;
- 模拟气压;
- 条件试验持续时间。

### 4.3.6.1 方法 La1 和 La2

为了避免尘结块,相对湿度一般通过提高温度保持在 25% 以下。在相对湿度较高的场所可能需要除湿系统。

尘浓度极高,因此对再现性的影响可以忽略。

尘均匀度对试验再现性影响较大,因此必须注意尘的均匀性。

尘特性对试验再现性影响较大。特别是,为了评估小尺寸粒子的含量,应检查粒子尺寸分布(见 4.3.4.2)。

试验持续时间或者压力循环数目具有较高的再现性。

### 4.3.6.2 方法 La1

如同在正常工作条件下,压差是交变的。

交变压力不会引起在恒定压力下发生的沙尘堵塞缝隙的现象。

与方法 La2 不同,交变压差是由改变试验箱内的压力实现的。样品的完整性不会受到连接真空泵时需要钻孔的影响,且不用为选择孔连接真空泵而产生疑问。

基于以上因素,方法 La1 的再现性较好。

### 4.3.6.3 方法 La2

试验 La2 被很多实验室熟知,并且在其他 IEC 出版物中广泛使用。

但是这并不能弥补跟方法 La1(见 4.3.6.2)比起来自身的缺陷。

另一方面,技术熟练的试验员,会注意上述缺陷,并能根据 La2 规定的方法进行可以再现的试验。

## 4.3.7 试验应用局限

强调一点,本试验主要是为检验样品密封性能而设计,不适用于模拟任何自然沙尘环境条件。

只能使用软材料测试防尘致密性,以避免对样品的磨蚀效应。

因此,不能使用本方法直接评估对样品的磨蚀影响。

## 4.3.8 结果解释

解释非磨蚀性细尘试验的结果可能比较困难,特别是说明尘侵入对样品的有害影响。在下列条款中,给出了某些情况下的试验结果解释的导则。

### 4.3.8.1 没有发现尘侵入

这种情况下,解释结果比较容易。

## 4.3.8.2 发现尘侵入

这种情况下,解释起来比较困难。测试员要评估尘侵入对样品的有害影响以及灾害性影响。

## 4.3.8.3 对样品的有害影响

尘可能会因起 4.3.2.3.2 和 4.3.2.3.3 中列出的一种或几种有害影响。

## 5 试验 Lb:自由降尘

### 5.1 目的

本试验的目的是确定自由降尘对电工产品的影响。本试验适用于模拟没有特殊的扬尘过程,空气运动可以忽略的防护体或者密封场所内(如起居室、办公室、实验室、轻工业工作室、仓储室等)的环境条件,这些场所长时间可能会积累尘。

### 5.2 方法 Lb

#### 5.2.1 一般描述

本试验间隔地向试验箱注入尘以提供规定的低浓度尘,并让其沉降在样品上。尘沉降速率在规定的限值内,气流速度维持在零左右以免对较细的尘粒子沉降造成影响。为了保持较低的相对湿度,试验箱的温度应比外界温度高。

#### 5.2.2 试验设备描述

试验箱特征如下:

- 试验箱的水平面积应足够大,能够维持尘在规定限值内均匀地沉降在样品上;
- 试验箱应足够高,在条件试验中能够维持样品周围的气流速度基本为零;
- 试验箱内表面应是电导性的,并接地,避免电荷积累;
- 试验箱内的相对湿度应低于 25%,可以通过提高试验箱内的温度实现(见 A.3 条)。

试验用尘应从试验箱上部通过水平气流注入,气流应足够大,能够吹散尘使之在样品上产生均匀沉降。注入尘时,气流不应使样品周围的气流速度超过 0.2 m/s。

尘沉降量以及均匀性应通过在样品旁边放置一个水平的盘子进行测定。在条件试验前后称取盘子的质量。试验区域的沙尘沉降量在 24 h 测定为  $(6 \pm 1) \text{g/m}^2$ 。

图 5 给出了适用设备的实例。

#### 5.2.3 试验用尘

试验用尘见 6.1.4.1 规定的沙尘 1, 细尘。

对于特定用途也可以考虑使用其他试验用尘,如复合试验用尘(例如包括棉纤维,土或者水泥)。但是应小心配制,附录 A 给出了导则。

尘不允许循环使用。

#### 5.2.4 严酷程度

试验的严酷程度由试验持续时间确定,应在相关规范中进行规定。

试验持续时间:

1 d; 3 d; 10 d; 30 d

#### 5.2.5 预处理

相关规范可以要求预处理。

#### 5.2.6 初始测量

样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。对样品所有可能影响试验结果的部分都要进行检查如盖子、密封件或者过滤器等,以确保符合相关规范的规定。

#### 5.2.7 试验

试验箱应处于室温。将样品在不包装、不通电、准备使用状态下或者根据相关规定放入试验箱。如果对安装位置有要求,应在相关规范中进行规定。试验箱温度应升至  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 温度变化速率不超过

0.1℃/min,或者使试验箱热力学稳定至少2 h。然后在1 min内将规定的尘注入试验箱,然后让尘自由沉降59 min。调整尘注入时间以产生规定的沉降速率。

条件试验之后,降低试验箱的温度直至达到标准大气条件。不超过5 min内的平均温度变化速率不应超过1℃/min。试验箱应保持关闭使尘有足够的时间沉降,以减少尘吸入。最长可能需要12 h。

## 5.2.8 中间检测

相关规范可以要求在试验过程中检测样品。要求将样品移出试验箱进行的中间检测是不允许的。

## 5.2.9 恢复

除非相关规范另有规定,样品应在标准大气条件下恢复2h。

## 5.2.10 最终检测

样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。应特别注意沉积在样品表面或内部的尘,可能会因起样品的损坏或者功能的丧失。

## 5.2.11 相关规范中应给出的信息

当相关规范包含该试验时。在可能的情况下,应给出以下细节信息。

相关规范应提供下面列出的信息,注意打\*的项目,总是要求的。

	条款
a) 如果沙尘不是标准的,所用的沙尘类型	5.2.3
b) 严酷程度*	5.2.4
试验持续时间	
c) 预处理	5.2.5
d) 最初检测*	5.2.6
e) 样品放入试验箱时的状态,	5.2.7
f) 如果非正常使用位置安装,样品的安装位置	5.2.7
g) 中间检测	5.2.8
h) 恢复	5.2.9
i) 最终检测*	5.2.10

## 5.3 试验 Lb 导则

### 5.3.1 模拟方法

本条款描述了测试自由降尘对设备和元件的影响的模拟方法。

由于在防护体或者密封场所,主要出现的是细尘,并且其沉降不受空气运动的影响,因此模拟的主要环境条件为细尘。

### 5.3.2 防护体或者密封场所内尘的特征及影响

#### 5.3.2.1 尘的来源

在密封场所或者防护体内的尘可能有几个来源。尘可能是如石英、用于解冻的盐或者化肥,通过例如通气管道或者窗户缝隙侵入到了密封场所或者防护体内。

尘也有可能是小的棉或羊毛纤维,天然的或人造的,来源于在起居室或办公室正常使用的衣物或地毯。

尘的其他来源有农舍的种子,磨坊地面上的面粉等。

尘的类型不同,材料和粒子尺寸分布有所不同,但粒子的最大尺寸相同(见5.3.3.2和5.3.4.3)。

#### 5.3.2.2 尘的作用和影响

在空气运动可以忽略的防护体或者密封场所内,发现尘有以下的作用和影响。

##### 5.3.2.2.1 沉积

样品上发生尘沉积主要基于以下4种机理:

- a) 停滞空气中的沉积;

- b) 在遮挡表面上的沉积;
- c) 静电的吸引;
- d) 狭窄空间的捕获。

空气运动会阻止或限制尘的沉降,因此在试验箱工作空间内应避免空气运动。  
狭窄空间对尘的捕获会发生于有强迫空气制冷设备样品的过滤器上。

#### 5.3.2.2.2 侵入

样品可能发生尘侵入的情况有以下几种:

- 由强迫空气循环带入,如为了制冷;
- 由空气的热运动带入;
- 由于热膨胀或者温度变化引起的气压变化而吸入。

#### 5.3.2.2.3 主要影响

尘自身可能会导致以下一种或几种有害影响:

- a) 活动部件卡死;
- b) 摩擦活动部件;
- c) 增加活动部件的质量引起不平衡;
- d) 危害电绝缘性;
- e) 危害电性能;
- f) 堵塞空气过滤器;
- g) 降低热传导性能;
- h) 干扰光学性能。

#### 5.3.2.2.4 次要影响和组合影响

尘的存在并且联合其他环境因素可能会对产品造成有害影响,例如腐蚀、长霉。特别是湿热环境跟化学腐蚀性尘结合会引起腐蚀。此外,过滤器堵塞以及通风或制冷性能的降低可能会导致过热和火灾。

#### 5.3.3 试验 Lb 的基础理论

全面考虑尘对样品可能造成的影响,就要考虑很多因素。

##### 5.3.3.1 场所

户外尘环境如沙漠场所中的沙尘暴,在布满尘的路面上行驶的车辆周围的环境,由于空气运动会对样品造成影响,跟在密封场所或者防护体内尘对样品的造成的影响有很大的不同。

##### 5.3.3.2 沙尘特性

各种场所的沙尘特性有显著的差别。

在防护体内或者密封场所,任何类型的沙尘材料都有可能,如石英、面粉、水泥、有机纤维等。

粒子尺寸、粒子尺寸分布也有很大不同,取决于考虑的是户外,运动车辆还是防护体内。由于防护体的过滤,户外场所的粒子的最大尺寸要比防护体内或密封场所的大。防护体内或者密封场所内的粒子最大尺寸在 100  $\mu\text{m}$  数量级上。

##### 5.3.3.3 在其他场所使用本方法

考虑到以上因素,本试验方法用于检测沙尘对放置在防护体内或者密封场所内的样品的影响。

但本试验方法也可以用于检测其他场所内沙尘对于样品的影响。例如,本试验方法可以用于检测放置于污染空气取样器入口的空气过滤器的质量。

##### 5.3.3.4 条件试验时样品的工作状态

样品的工作状态可能会影响尘的捕获和侵入,取决于样品的类型和特性。

狭窄空间对于尘的捕获会发生于有强迫制冷空气制冷设备的样品的过滤器上。在条件试验时,此类型设备的空气制冷系统应开启。

尘的侵入会发生在具有空气对流冷却通风孔的发热设备上。在条件试验时,此类行设备最好处于

运行状态。

密封的发热设备应间断地运行,以通过热力循环产生吸入效应。

#### 5.3.4 产生试验条件的方法

##### 5.3.4.1 一般要求

为了产生能够再现的试验条件,应满足下列参数的一般要求:

- a) 尘沉降浓度;
- b) 尘沉降均匀性;
- c) 样品周围气流速度;
- d) 温度;
- e) 相对湿度;
- f) 静电积累;
- g) 尘特性。

参数 a)~f) 由设备设计决定。设备设计导则见 5.3.4.2。试验用沙尘选用导则见 5.3.4.3。

##### 5.3.4.2 试验设备

以下斜体引自于 5.2。

试验设备包括两个主要部件:

- 试验箱;
- 尘注入系统。

##### 5.3.4.2.1 试验箱

试验箱的水平面积应足够大,能够维持尘在规定限值内均匀地沉降在样品上。

尘沉降均匀性受尘注入系统的控制。设计一个能够在整个试验箱水平面积上保持尘浓度在规定范围内的试验箱是很困难的。

经验表明,试验箱水平面积是样品面积的 2 倍比较合适。

试验箱应足够高,在条件试验中能够维持样品周围的气流速度基本为零;

接近于零随机取为 0.2 m/s。为了避免由于尘注入系统引起样品周围的空气运动,有必要选择高度是宽度 4~5 倍的试验箱。

试验箱内表面应是电导性的,并接地,避免电荷积累;

为了控制静电积累对试验条件的影响,试验箱本身应是导电的并且接地。如果试验目的是检测静电对尘在样品上沉积的影响,样品相对于试验箱应带电。

试验箱内的相对湿度应低于 25%。

通过提高试验箱温度控制湿度最为方便。在试验箱内部建立等温条件的一种方法是:试验箱设计为一个铝制内箱,外面用绝热材料制成的外箱包裹;受控的热空气在内箱和外箱之间循环;为了使热气流分布均匀,其间布放一些导流板;原则上同自由场温度试验箱分布相同。

试验箱相对湿度参见 A.3。

##### 5.3.4.2.2 尘注入系统

试验用尘应从试验箱上部通过水平气流注入,气流应足够大,能够吹散尘使之在样品上产生均匀沉降。

下面给出了一些尘注入系统设计导则:

为了达到规定的均匀度  $(6 \pm 1) \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,通过收集盘进行测定。在尘注入的 1 min 时间内,试验箱内的每立方体积空气循环量应达到  $0.01 \text{ m}^3$ 。

通过尘注入系统的合适的气流速度大约是 2 m/s。

对于体积为  $10 \text{ m}^3$  的试验箱,上述参数决定了尘注入管直径为 33 mm。

作为对尘均匀性的最后调节,推荐使用变速风扇,并且在注入系统出口处安装导流片。

GB/T 2423. 37—2006/IEC 60068-2-68: 1994

为了使风扇的磨损降到最低,应在风扇出口将尘装载到注入系统。

尘的注入量比较难测,经验证明下面的系统运行良好。

尘装载在圆柱形玻璃容器内,容器盖子上装有歧管,通过歧管将压缩空气通过小孔导入玻璃容器。

气流吹起沙尘,通过导流管进入注入系统。

通过下列参数控制尘的注入量:

- a) 单位时间的压缩空气体积(通过气压和所有小孔入口的面积计算);
- b) 小孔入口和尘顶部的距离(这个距离应比尘高度要长);
- c) 压缩空气的供给时间。

尘沉降量以及均匀性应通过在样品旁边放置一个水平的盘子进行测定。

试验箱内的尘注入量可以通过尘储罐的失重获得。由于注入的尘有一部分会黏附在试验箱内壁上,这种测量只是一种粗略的方法。这种影响相当于扩大了试验箱的水平面积,并取决于试验箱设计。

### 5.3.4.3 试验用尘

自由降尘试验用尘可以是来自于样品拟使用环境中的实际尘,也可以是标准试验用尘。为了试验有好的再现性,本方法选用了标准试验用尘,见 6.1.4.1 中定义 的沙尘 1, 细尘。

橄榄石( $Mg, Fe$ )<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, 是一种常见易得得翻砂工业中常用的一种打磨用矿物质。

长石是由硅、铝以及碱性氧化物等组成的。如果没有被火山喷发气体或液体降解,这些物质跟石英一样坚硬。

推荐使用 4.3.4.2 中得方法测量粒子尺寸分布。

### 5.3.5 试验严酷程度

相关规范应规定由条件试验的持续时间决定的严酷程度。

试验严酷程度仅仅由试验持续时间决定。沙尘沉积量为  $6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

试验严酷程度跟实际环境条件的关系很难确定。

实际环境条件变化比较大,本试验的目的是用可再现的方法检验样品的性能,并不一定要模拟实际环境条件。严酷程度可以根据样品功能的重要性进行选择。

因此,仅给出一些导则以理解严酷程度跟某些实际环境条件的关系。

#### 5.3.5.1 参考数值

下表 2 来源于 GB/T 4797.6。数值单位已经由  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  转变为  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

表 2 典型沙尘沉降速率

地 区	沙尘沉降速率/ $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$
乡村和郊区	0.01~0.36
城市	0.36~1.00
工业区	1.00~2.00

基于上述数据以及粗略的导则,可以得出表 3 的加速因子。

表 3 加速因子

地 区	加速因子
乡村和郊区	600~17
城市	17~6
工业区	6~3

### 5.3.6 试验的再现性

自由降尘试验的再现性取决于以下参数:

——温度;

- 相对湿度；
- 尘浓度；
- 尘均匀性；
- 尘组成；
- 条件试验持续时间。

温度很容易控制在规定的范围内。

试验温度设定在 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，从而将相对湿度控制在 25% 以下。在相对湿度较高的场所可能需要除湿系统。

尘浓度和均匀性要求则要求经验和来控制，测量参数(测量样品盘的增重)需要高的精度。

由于尘组成对于试样有影响，当使用其他尘、尘组成以及其他材料时，应进行规定。

试验持续时间具有较高的再现性。

### 5.3.7 试验应用限值

本试验应用的局限首先并且最为重要的是本试验使用的是自由降尘。

因此，本试验不能对样品进行磨蚀效应评估，例如冲击腐蚀，冲击开裂以及敲击等。

### 5.3.8 结果解释

对自由降尘试验结果的解释应考虑到尘沉降和尘侵入对样品造成的有害影响。下面给出了一些情况下的试验结果解释导则。

#### 5.3.8.1 对样品的有害影响

尘可能会引起 5.3.2.2.3 和 5.3.2.2.4 中列出的一种或几种有害影响。

#### 5.3.8.2 发现尘沉积和侵入

根据相关规范进行条件试验后，检查有害影响(见 5.3.2.2.3 a)、b)、c))。

通过假定尘具有导电性，潮湿以后离子导电，或者是具有化学腐蚀性，来评定影响 d) 和 e)。为了增加解释的可靠性，可以在沙尘试验之后进行湿度试验或者腐蚀试验。

试验之后，通过功能试验检查有害影响 f)、g)、h)，可能包括温升试验。

#### 5.3.8.3 发现沉积但没有发现尘侵入

通过功能试验，包括使用手柄和钥匙，检测尘沉积在样品外表面上对样品造成的影响。

在制冷外表面上沉积时，有必要检测样品的温升。

## 6 试验 Lc: 吹沙尘

### 6.1 试验 Lc1: 循环试验箱

#### 6.1.1 目的

本试验目的是确定气流携带的粒子对电工产品可能造成的有害影响。试验可用于模拟开放的由自然环境或者人为扰动例如车辆运动诱发的沙尘空气环境条件。

也可以替代试验 La 用于检测电工产品的防尘性能。

#### 6.1.2 试验一般描述

试验 Lc1 中，样品暴露于含有规定大小沙尘粒子的气流中。由于风的运动和物体在使用过程中的主要运动方向是水平的，试验中规定用水平气流。

要求连续监测和控制沙尘的浓度。

#### 6.1.3 试验设备描述

试验箱特征如下：

- 试验箱应能够提供恒定的含有规定浓度沙尘的水平层流气流；
- 试验箱应近似立方体结构，其在气流横截面内的边长至少是垂直气流方向样品截面的垂直或水平边长的最大值的 3 倍。试验箱应具备加热和制冷设备；

- 沙尘浓度通过传感器(如测定反射光)和流量阀来控制。试验用沙尘通过流量阀间歇性地被注入气流通道中;
- 应提供安装架以安装样品。安装架应能使样品旋转以使样品各侧面均能暴露于沙尘气流中;
- 应提供适当的设备使样品在试验过程中运转;
- 试验设备使用的材料应能够耐高温和沙尘,并且不影响试验用沙尘的特性。

如果样品尺寸不符合本标准,根据相关规范可以采取以下方法中的一种:

- a) 单独测试产品的密封部分;
- b) 测试产品有代表性的部件,包括例如门、通气门、支座、密封轴等元件,在试验过程中包含产品的精细部件例如端子,集电极圈等应保持原位;
- c) 测试跟原样品具有相同设计细节的小样品。

图6给出了一种适用设备的实例。

## 6.1.4 试验条件

### 6.1.4.1 试验用沙尘

沙尘应干净,不含含炭物质或其他杂质,应在干燥条件下使用。沙尘材料可以包括橄榄石、石英或未分解的长石。

粒子尺寸分布应在以下范围内:

沙尘1:细尘

——<75 μm	100%~96%质量
——<40 μm	87%~81%质量
——<20 μm	70%~64%质量
——<10 μm	52%~46%质量
——<5 μm	38%~32%质量
——<2 μm	20%~15%质量

沙尘2:粗尘

——<150 μm	100%~99%质量
——<105 μm	86%~76%质量
——<75 μm	70%~60%质量
——<40 μm	46%~35%质量
——<20 μm	30%~20%质量
——<10 μm	19%~11%质量
——<5 μm	11%~5%质量
——<2 μm	5%~1.5%质量

沙尘3:沙

——<850 μm	100%~94.5%质量
——<590 μm	98.3%~93.3%质量
——<420 μm	83.5%~74.5%质量
——<297 μm	46.5%~43.5%质量
——<210 μm	17.9%~15.9%质量
——<149 μm	5.2%~4.2%质量

对于特定用途也可以考虑使用其他试验用沙尘如复合试验用沙尘(例如包括棉纤维,土或者水泥)。但是应小心配制,附录A给出了导则。

### 6.1.4.2 沙尘浓度

根据相关规范,沙尘浓度从下面选取:

1 g/m<sup>3</sup> ± 0.3 g/m<sup>3</sup>

2 g/m<sup>3</sup> ± 0.5 g/m<sup>3</sup>

5 g/m<sup>3</sup> ± 1.5 g/m<sup>3</sup>

10g/m<sup>3</sup> ± 3 g/m<sup>3</sup>

6.1.4.3 气流

试验箱内的气流主要是水平的层流,即只有一点小的湍流。

6.1.4.4 气流速度

根据相关规范,气流速度应从下面选取:

v	v <sup>2</sup>
1.5 m/s ± 0.2 m/s	2.25
3.0 m/s ± 0.3 m/s	9
5.0 m/s ± 0.5 m/s	25
10 m/s ± 1 m/s	100
15 m/s ± 1.5 m/s	225
20 m/s ± 2 m/s	400
30 m/s ± 3 m/s	900

对于粗尘,不推荐5 m/s以下的速度。对于沙,只能使用20 m/s和30 m/s的速度。应注意,当使用较高的气流速度时,不应超过样品的最高运行温度。

6.1.4.5 样品内气压

根据相关运行条件,样品外壳可以分为两类:

类型1:样品内气压与环境气压不同(低)。

类型2:样品内气压与环境气压相同。

见6.3.4.2.3。

相关规范应指明外壳类型和压差(类型1)。

6.1.4.6 湿度

试验箱内的相对湿度应小于25%。可以通过提高试验箱温度实现(见A.3)。

6.1.4.7 试验持续时间

试验持续时间从开动试验设备算起。持续时间从下面选取:

2 h; 4 h; 8 h; 24 h;

或者根据相关规范的规定。

6.1.4.8 安装

除非相关规范另有规定,样品应按照正常使用位置安装在试验箱的安装架上。

6.1.4.9 严酷程度

严酷程度由下列参数决定:

——沙尘浓度(见6.1.4.2);

——气流速度(见6.1.4.4);

——暴露持续时间(见6.1.4.7);

——气压。

根据相关规范规定:

类型1:压力降为2 kPa(20 mbar)、5 kPa(50 mbar)或者相关规范的规定。

类型2:大气压。

6.1.5 预处理

相关规范可以要求预处理。



## 6.1.6 初始测量

样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

## 6.1.7 试验

试验箱的温度应足够高,确保箱内的相对湿度为 25%或更低。将处于室温下的样品在不包装,不通电,准备使用状态下,按照正常使用位置或者根据相关规定放入试验箱。如果包含多个样品,应注意样品之间不要接触,不要互相遮挡尘。

相关规范可以要求样品在试验期间通电或运行。注入沙尘时,开始试验。

条件试验结束后,样品仍然保留在试验箱内直至沙尘全部沉降。

## 6.1.8 中间检测

相关规范可以要求在试验过程中或者在试验结束前样品仍然在试验箱内时进行检测。如果要求此类检测,相关规范应规定检测内容和检测时间。

## 6.1.9 恢复

除非相关规范另有规定,样品应在标准大气条件下恢复 2h。

## 6.1.10 清洁

相关规范可以要求在进行最终检测之前清除样品外表面的沙尘。

## 6.1.11 最终检测

恢复完成以后,样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

## 6.1.12 在相关规范中应给出的信息

当相关规范包含该试验时。在可能的情况下,应给出以下细节信息。

相关规范应提供下面列出的信息,注意打\*的项目,总是要求的。

	条款
a) 沙尘类型	6.1.4.1
b) 外壳的类型	6.1.4.5
c) 严酷程度*	
沙尘浓度*	6.1.4.2
气流速度*	6.1.4.4
试验持续时间*	6.1.4.7
气压*	6.1.4.9
d) 预处理	6.1.5
e) 最初检测*	6.1.6
f) 试验过程中的样品状态,试验中是否运行	6.1.7
g) 如果非正常使用位置安装,样品的安装位置	6.1.4.8 和 6.1.7
h) 中间检测	6.1.8
i) 恢复	6.1.9
j) 样品的清洁	6.1.10
k) 最终检测*	6.1.11

## 6.2 试验 Lc2:自由吹沙尘

### 6.2.1 目的

本试验目的是确定气流携带的粒子对电工产品的可能造成的有害影响。试验可用于模拟开放的有沙尘的自然环境或者对由于尺寸无法进行 Lc1 试验的设备。由于气流速度较高,试验 Lc2 也可用于模拟沙尘的磨蚀影响。

### 6.2.2 试验一般描述

试验 Lc2 中,样品暴露于含有规定大小沙尘粒子的气流中。由于风的运动和物体在使用过程中的

主要运动方向是水平的,试验中规定用水平层流气流。

要求连续监测沙尘的浓度。

### 6.2.3 试验设备描述

试验设备的主要特点如下:

试验箱装有一个或几个鼓风机装置以产生均匀的水平层流气流。并且应具备排除环境因素如风和降水的影响的设施。

鼓风机装置应具有符合图7要求的沙尘注入设备。沙尘应均匀注入,沙尘浓度通过传感器控制,(例如通过测量反射光)。

对于小于10 m/s的气流速度,鼓风机装置可以采用风扇;对于较高的速度,压缩空气驱动的喷射设备更合用。

### 6.2.4 试验条件

#### 6.2.4.1 试验用沙尘

沙尘组成和尺寸分布符合6.1.4.1的规定。

#### 6.2.4.2 沙尘浓度

从6.1.4.2中选取。

#### 6.2.4.3 气流

试验箱(室)内的气流主要是水平的层流,即只有一点小的湍流。

#### 6.2.4.4 气流速度

气流速度应从6.1.4.4中选取,另外方法Lc2增加了2个速度:

$v$	$v^2$
50 m/s±5 m/s	2 500
100 m/s±10 m/s	10 000

#### 6.2.4.5 湿度

本试验对相对湿度并不敏感,但是为了避免发生堵塞或者沙尘结块,要确保沙尘在干燥状态下随气流进料。

#### 6.2.4.6 试验持续时间

试验持续时间从开动试验设备算起。持续时间从下面选取:

2 h;4 h;8 h;24 h;

或者根据相关规范的规定。

#### 6.2.4.7 安装

样品应安装在基座上,或者按照正常配制安装,或者按照相关规范的规定进行安装。

#### 6.2.4.8 严酷程度

根据相关规范的规定,严酷程度由下列参数决定:

- 沙尘浓度(见6.2.4.2);
- 气流速度(见6.2.4.4);
- 暴露持续时间(见6.2.4.6)。

### 6.2.5 预处理

相关规范可以要求预处理。

### 6.2.6 初始测量

样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

### 6.2.7 试验

样品处于实验室或者附近区域温度下。样品应在不包装,不通电,准备使用状态下按照正常使用位置或者根据相关规定安装。如果包含多个样品,应注意样品之间不要接触,不要互相遮挡尘。

相关规范可以要求样品在试验期间通电或运行。注入沙尘时,试验开始。

条件试验结束后,样品应仍保留在试验区直至沙尘全部沉降。

## 6.2.8 中间检测

相关规范可以要求在试验过程中或者在试验结束前样品仍然在试验箱内时进行检测。如果要求此类检测,相关规范应规定检测内容和检测时间。

## 6.2.9 恢复

除非相关规范另有规定,样品应在标准大气条件下恢复 2h。

## 6.2.10 清洁

相关规范可以要求在最终检测之前清除样品外表面的沙尘。

## 6.2.11 最终检测

恢复完成以后,样品应按照相关规范进行目视检查,尺寸和功能检查。

## 6.2.12 在相关规范中应给出的信息

当相关规范包含该试验时。在可能的情况下,应给出以下细节信息。

相关规范应提供下面列出的信息,注意打\*的项目,总是要求的。

	条款
a) 沙尘类型 *	6.2.4.1
b) 严酷程度 *	
沙尘浓度 *	6.2.4.2
气流速度 *	6.2.4.4
试验持续时间 *	6.2.4.6
c) 预处理	6.2.5
d) 最初检测 *	6.2.6
e) 试验过程中的样品状态,试验中是否运行	6.2.7
f) 如果非正常使用位置安装,样品的安装位置	6.2.4.7 和 6.2.7
g) 中间检测	6.2.8
h) 恢复	6.2.9
i) 样品的清洁	6.2.10
j) 最终检测 *	6.2.11

## 6.3 试验 Lc 导则

### 6.3.1 模拟方法

本条款描述了模拟吹沙尘对设备和元件的影响的方法。

本方法所模拟的环境条件的主要特征是风吹沙尘粒子,如出现在多沙尘地区的环境条件或者车辆诱发环境条件。

### 6.3.2 吹沙尘特性以及影响

#### 6.3.2.1 沙尘来源

沙尘可能有几个来源。最常见的是地面吹起的石英和尘土。

材料和粒子尺寸分布取决于沙尘的类型,相同点是粒子的最大尺寸(见 6.3.3.2 和 6.3.4.4)。

#### 6.3.2.2 沙尘的作用和影响

对于暴露于吹沙尘条件下的设备,发现沙尘有以下的作用和影响。

##### 6.3.2.2.1 侵入

可能发生沙尘侵入样品的情况有以下两种:

——风吹入;

——由强迫空气循环带入,如为了制冷。

### 6.3.2.2.2 主要影响

沙尘可能会引起以下一种或几种有害影响：

- a) 活动部件卡死；
- b) 摩擦活动部件；
- c) 增加活动部件的质量引起不平衡；
- d) 危害电绝缘性；
- e) 危害电性能；
- f) 堵塞空气过滤器；
- g) 降低热传导性能；
- h) 干扰光学性能。

### 6.3.2.2.3 次要影响和组合影响

沙尘的存在并且联合其他环境因素可能会对产品造成有害影响，例如腐蚀、长霉。特别是湿热环境跟化学腐蚀性沙尘结合会引起腐蚀。此外，堵塞过滤器以及通风或制冷性能的降低可能会导致过热和火灾。

### 6.3.3 试验 Lc 的基础理论

全面考虑沙尘对产品可能造成的影响，就要考虑很多因素。

#### 6.3.3.1 场所

户外沙尘环境和沙漠场所中的沙尘暴，在沙尘较大的区域行驶的车辆或者飞行器周围的环境，会由于空气运动而对产品造成影响。

#### 6.3.3.2 沙尘特性

各种场所的沙尘特性有很大的区别。

沙尘主要是石英或者长石，但是可能混有任何类型的沙尘材料，如水泥、石灰，粘土等。

#### 6.3.3.3 条件试验中样品的工作状态

样品的工作状态可能会影响沙尘的捕获和侵入，这取决于样品的类型和特性。

狭窄空间对于沙尘的捕获会发生于有强迫制冷空气制冷设备的样品的过滤器上。在条件试验时，此类型设备的空气制冷系统应开启。

沙尘的侵入会发生在具有空气对流冷却通风孔的发热设备上。在条件试验时，此类行设备最好处于运行状态。

密封的发热设备应间断地运行，以通过热力循环产生吸入效应。

### 6.3.4 产生试验条件的方法

#### 6.3.4.1 一般要求

为了产生能够再现的试验条件，应满足下列参数的一般要求。

- a) 沙尘浓度；
- b) 沙尘均匀度；
- c) 样品周围气流速度；
- d) 温度；
- e) 相对湿度
- f) 静电积累；
- g) 沙尘特性。

参数 a)~f) 由设备设计决定。设备设计导则见 6.3.4.2 和 6.3.4.3。沙尘选用导则见 6.3.4.4。

#### 6.3.4.2 方法 Lc1 试验设备

试验设备主要包括以下 3 个部件：

- 试验箱；

- 注入系统；
- 样品压力控制系统。

#### 6.3.4.2.1 试验箱

试验箱应近似立方体结构,其在气流横截面内的边长至少是垂直气流方向样品截面的垂直或水平边长的最大值的3倍。试验箱应具备加热和制冷设备。

试验箱应能够给样品提供恒定的含有规定浓度的沙尘的水平层流气流。

试验箱应有一个前处理箱,两个箱有相同的气流截面。在通向前箱的气流通道的入口处的后面安置了空气导流片,通过整体布置能够产生水平的层流气流。在试验箱后布置了产生气流的鼓风装置。从试验箱抽取空气通过气流通道到前处理箱。

在试验箱下面设置了集尘装置,降低了循环沙尘量,沙尘密度控制更为有效。

应提供安装架以安装样品。安装架应能使样品旋转以使样品各侧面均能暴露于沙尘气流中。

试验设备使用的材料应能够耐高温和沙尘,并且不影响试验用沙尘的性质。

#### 6.3.4.2.2 注入系统

试验用沙尘应通过一个流量阀间歇性的注入到气流通道中。

沙尘储罐应能够避免堵塞和沙尘结块。可以通过将热的干燥压缩空气流过沙尘储罐来实现。

沙尘浓度通过传感器和连续控制设备控制流量阀来控制。

下面给出了一种可用的传感器,该设备由光纤将光导入试验箱,另一光纤将由沙尘粒子反射的光线导入传感器内的光电池。

#### 6.3.4.2.3 样品内压力

根据相关运行条件,样品外壳可以分为两类:

类型1:样品内气压可能会低于环境气压,例如由于运行过程中的热力循环引起的。

具备类型1外壳的样品安装在试验箱内时,应连接一个真空泵,使样品内的压力低于外部大气压。因此,外壳上应提供合适的孔,如果样品壁上已经具备排水孔,真空管应连接到该孔上,不需要重新打孔。如果排水孔多于一个,真空管应连接到其中一个孔上,其他孔在试验过程中应密封。

相关规范应规定压差。

类型2:在该类型样品内部,不会发生气压低于环境气压的情况。该类型样品不用连接真空泵。

对于进行测试的任何电工产品,相关规范应注明样品外壳类型。

相关规范可以要求条件试验时,样品安装在能够旋转的安装架上,以使沙尘对样品各侧面的影响更为均匀。

#### 6.3.4.3 方法 Lc2 试验设备

试验设备主要包括以下两个部件:

- 气流发生装置(鼓风装置);
- 沙尘注入系统。

##### 6.3.4.3.1 鼓风装置

为了达到规定的气流速度,两个鼓风装置比较合适。

对于小于等于10 m/s的气流速度,可以用可调速风扇。

对于较高的气流速度,以压缩空气为动力的喷射鼓风装置更合适。

鼓风装置基于Coanda(柯恩达)效应。

为了避免自然风速的影响,如果在户外进行试验,鼓风装置和试验样品应进行适当的遮挡,同样可以避免降水对试验的影响。

##### 6.3.4.3.2 沙尘注入系统

试验用沙尘注入到气流中。

图7给出了一种注入系统的实例。

沙尘包含在受控的干燥大气中,避免堵塞和结块。沙尘通过一个小的链斗升降机运输至倾斜的台面上,台面由于装有振动器而不断振荡,把沙尘送入进料口。

沙尘注入系统的布置不应影响气流。

沙尘浓度通过传感器(如测定反射光)进行控制。

#### 6.3.4.4 试验用沙尘

规定了两种标准用尘和一种标准用沙。但是相关规范可以规定其他沙尘。6.1.4.1 给出了沙尘的细节内容。

对于测定沙尘粒子尺寸分布可以用几种方法。有一些是以对沙尘进行光学分析为基础的。

#### 6.3.5 试验严酷程度

试验持续时间应从试验设备运转开始,持续时间从下面选择:

2 h, 4 h, 8 h, 24 h

或者根据相关规范规定。

##### 6.3.5.1 方法 Lc1

试验严酷程度跟条件试验持续时间以及试验箱的气流速度成正比。

##### 6.3.5.2 方法 Lc2

试验严酷程度跟条件试验持续时间以及样品周围的气流速度成正比。

#### 6.3.6 试验的再现性

吹沙尘试验的再现性取决于以下参数:

- a) 温度;
- b) 相对湿度;
- c) 沙尘浓度;
- d) 沙尘均匀性;
- e) 沙尘特性;
- f) 条件试验持续时间。

对于试验方法 Lc1,温度很容易控制在规定的范围内。但是对于方法 Lc2,如果在户外进行试验,温度很难可能无法控制。

为了避免沙尘结块,相对湿度一般通过提高温度保持在 25% 以下。湿热地区可能需要除湿系统。

沙尘均匀度对试验再现性影响较大,因此必须注意沙尘的均匀性。

沙尘特性对试验再现性影响较大。特别是,为了评估小尺寸粒子的含量,应检查粒子尺寸分布。

试验持续时间具有较高的再现性。

#### 6.3.7 试验应用限制

本试验应用的局限首先并且最为重要的是本试验使用的是吹沙尘。

#### 6.3.8 结果解释

对吹沙尘试验结果的解释应考虑到沙尘沉降和沙尘侵入对样品造成的有害影响。下面对于一些情况下的试验结果解释给出了导则。

##### 6.3.8.1 对样品的有害影响

沙尘可能会引起下列一种或几种有害影响:

- a) 活动部件卡死;
- b) 摩擦活动部件;
- c) 危害电绝缘性;
- d) 劣化介电性能;
- e) 堵塞空气过滤器;
- f) 降低热传导性能,引起过热或火灾;

GB/T 2423.37—2006/IEC 60068-2-68:1994

- g) 干扰光学性能;
- h) 磨损/腐蚀表面。

根据相关规范进行条件试验后,检查有害影响(见 5.3.2.2.3 a)、b))。

通过假设沙尘具有导电性,潮湿以后离子导电,或者是具有化学腐蚀性,来评定影响 c)和 d)。为了增加解释的可靠性,可以在沙尘试验之后进行湿度试验或者腐蚀试验。

试验之后,通过功能试验检查有害影响 e)、f)、g),可能包括测量温升。

影响 h)可以通过目视检查评估。

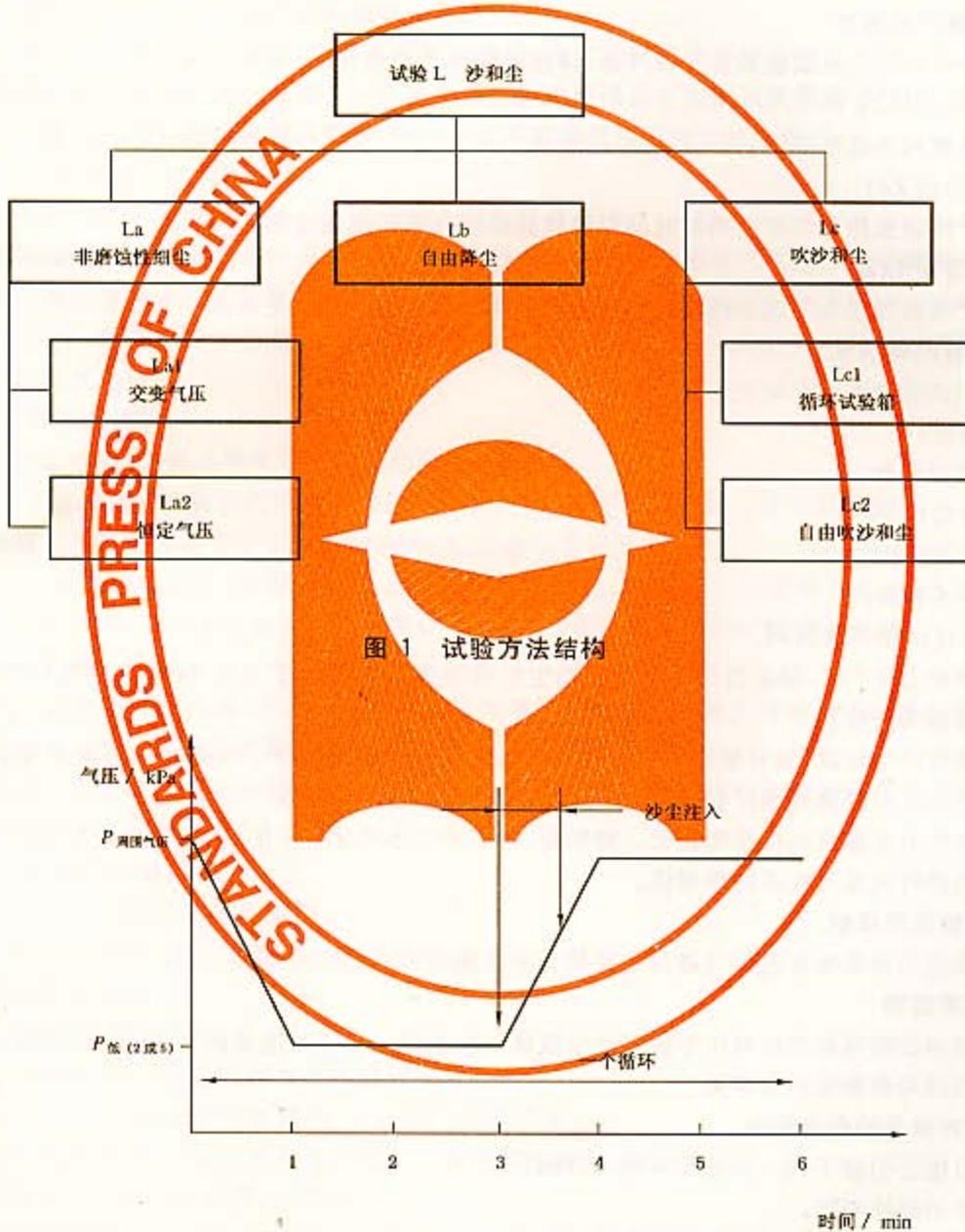


图 2 试验箱内的气压循环——类型 1

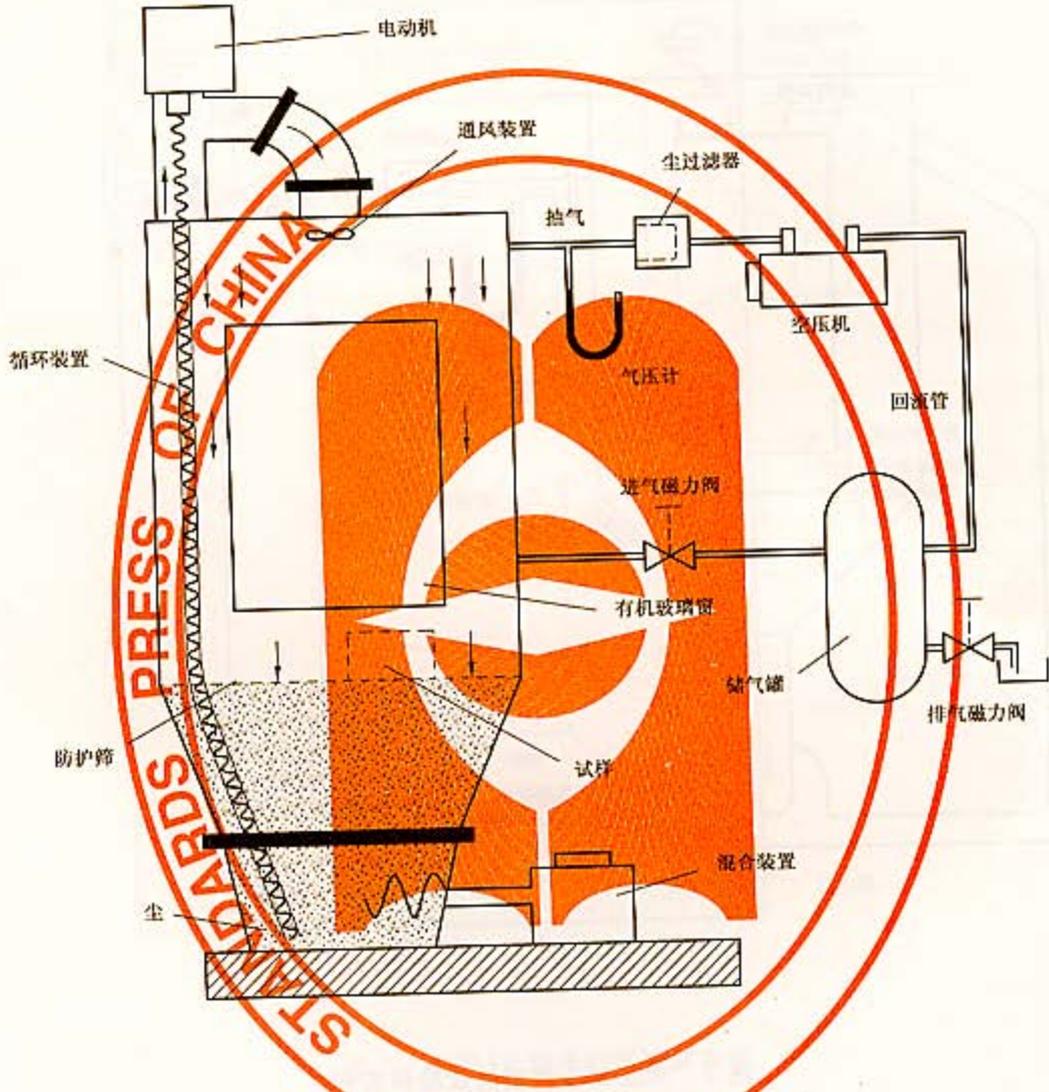


图3 方法 La1 适用的试验箱实例

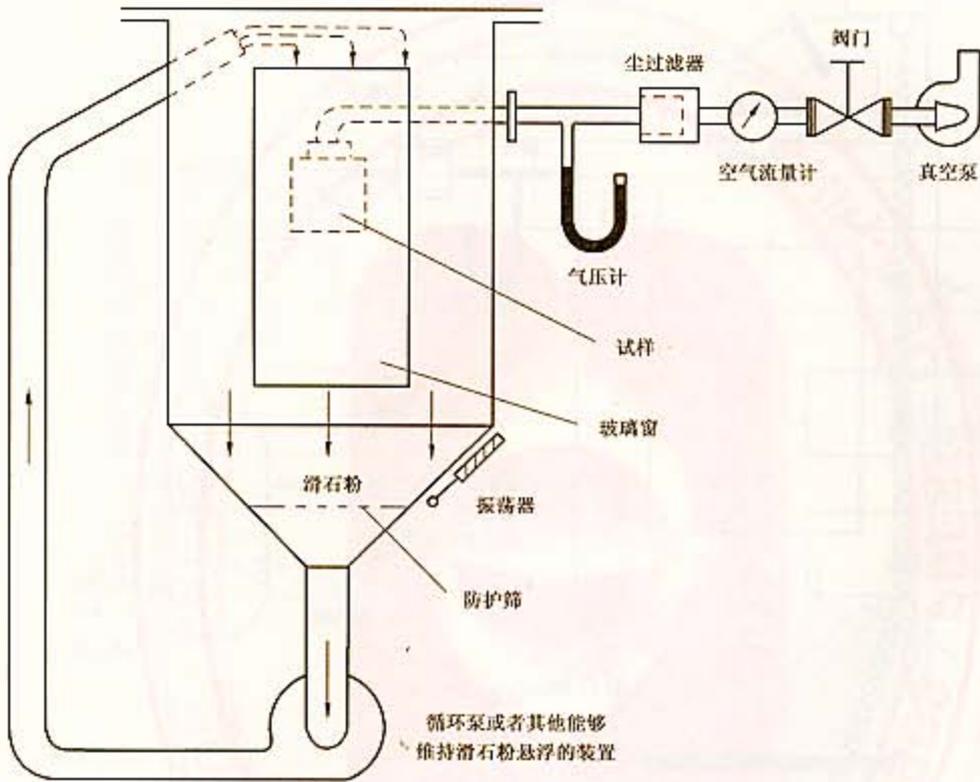


图 4 方法 La2 适用的试验箱实例

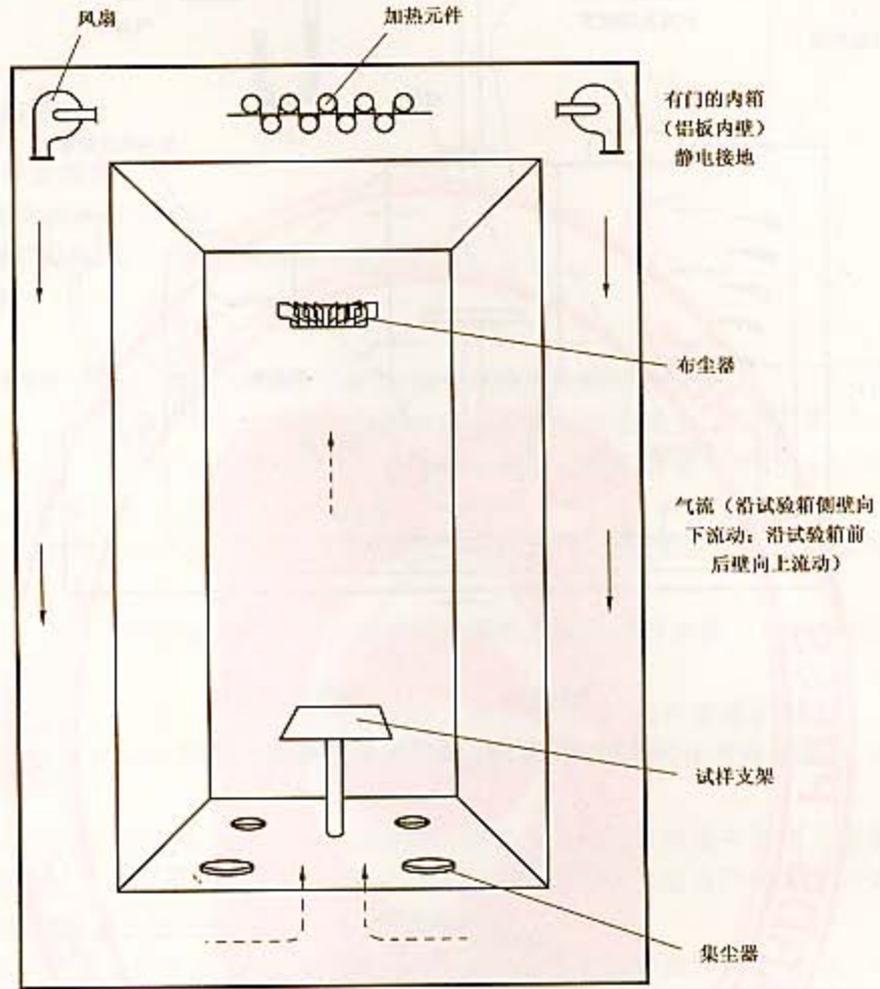


图 5 试验 Lb 适用的试验箱实例

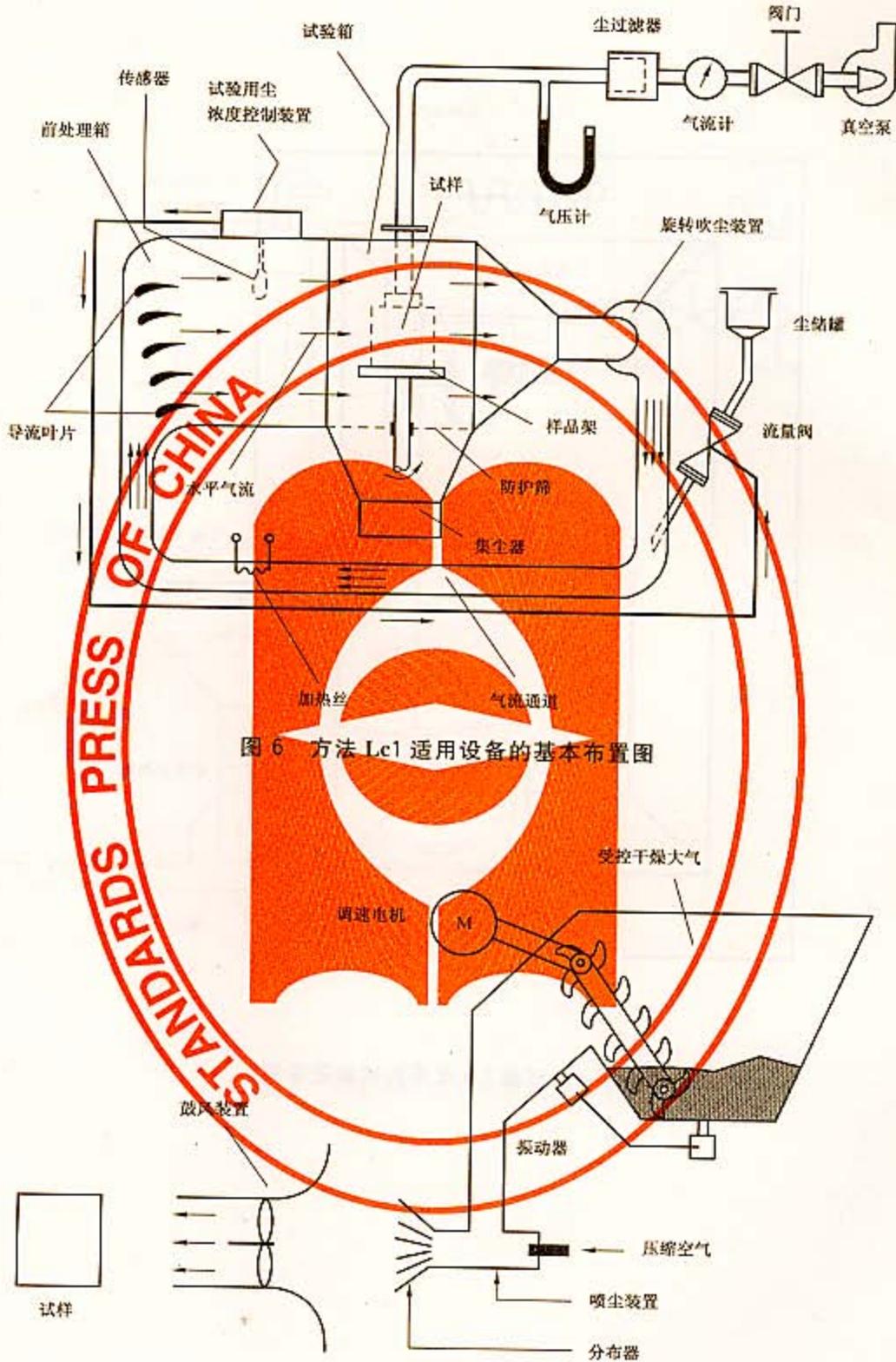


图 7 方法 Lc2 适用的喷尘系统实例

附录 A  
(资料性附录)  
通用指南

A.1 试验用沙尘特性

A.1.1 试验用沙尘类型

试验 L 中包含的基本类型有:

- a) 结晶型矿物质,如石英、橄榄石或者长石;
- b) 滑石粉;
- c) FE 粉。

为了避免其他负面影响,沙尘应没有污染物,特别是盐和生物材料。

经常规定用结晶性材料是因为他们是自然界中经常发现的沙尘成分。因此,重现了对沙漠地区或者其他沙尘环境中使用的产品的破坏性影响。这些材料的突出特点是硬度,可能会引起对产品特别是活动部件的磨损、摩擦和损坏。

沙尘其他重要特性包括不能吸收以及化学惰性。因此,不会像其他沙尘一样跟空气中的水分或者气体结合而产生对金属的腐蚀。

石英( $\text{SiO}_2$ )是通常使用的标准物质。也可用其他具有类似性质沙尘替代,例如未分解的长石和橄榄石。

橄榄石( $\text{Mg,Fe}_2\text{SiO}_4$ ),是一种常见易得的翻砂工业中常用的一种打磨用矿物质。

长石是由硅、铝以及碱性氧化物等组成的。如果没有被火山喷发气体或液体降解,这些物质跟石英一样坚硬。

试验 L 规定使用滑石粉(水合硅酸镁),该物质已经在 IEC 60529 标准中使用了很多年。这种尘的主要特点是非磨蚀性和吸湿性,能够为电工产品的外壳防尘性能提供适当严格程度的试验。但由于其吸湿性,为了避免堵塞外壳的任何缝隙必须保持干燥状态。

沙尘试验基本的要求是使用坚硬的材料如石英,而滑石粉是非磨蚀性粉尘,因此,就排除了它作为通用沙尘的可能性。

FE 粉末是一种灭火器用粉末,主要组成为钠和镁的碳酸盐,以及为了便于自由流动防止堵塞的黏附在粒子表面的少量的镁的硬脂酸盐。FE 粉末能够达到滑石粉的粒子尺寸,但是不具有吸湿性,同时硬度更大,莫氏硬度约为 2.0,滑石粉则约为 1.0。应注意不同的 FE 粉末硬度不同,硬度最大的可能会磨蚀软的表面。

A.1.2 粒子尺寸

本试验粒子尺寸范围如下:

a) 石英、长石、橄榄石	细尘	<75 $\mu\text{m}$
	粗尘	<150 $\mu\text{m}$
	沙	<850 $\mu\text{m}$
b) 滑石粉		<75 $\mu\text{m}$
c) FE 粉末		<75 $\mu\text{m}$

图 A.1 给出了 a) 组的粒子尺寸分布。

当考虑粒子尺寸的影响时,首先要考虑产品是否具有防护性外壳。有外壳时,可以选择已经确立的检测电工产品密封性能的沙尘即滑石粉或 FE 粉,或者选择具有合适粒子尺寸分布的石英以研究侵入

GB/T 2423.37—2006/IEC 60068-2-68:1994

粒子可能造成的危害。后者中,无论粗尘还是细尘都包含小尺寸粒子,但沙主要是大尺寸粒子。因此,当仅要求确定箱体或外壳的防护性能时,应选取能够代表拟使用环境的含有足够小的粒子的沙尘。

第二种情况是设备没有防护性外壳,直接暴露在沙尘环境中。粒子尺寸分布一般选取最能代表实际使用环境的尺寸分布范围。本试验中规定的沙尘粒子能够代表大多数单独的或者组合的实际环境条件。

### A.1.3 粒子硬度

单个粒子的硬度决定了其划伤与其接触的物体的能力。沙,主要由细小的石英晶体碎片或者其他矿物质组成,硬度比大多数熔融的硅酸盐玻璃要大。因此,沙子能够刮伤大多数光学设备的玻璃表面。对捕获的沙尘施加压力可能会导致破裂。表 A.1 给出了常见的物质的莫氏硬度。等级较高的可以刮伤任意等级低的物质。

表 A.1 硬度等级

莫氏硬度	标准物质	其 他
1	滑石粉	石墨、雪花石膏、硅藻土
2	石膏	高岭土、方铅矿、云母
3	方解石	重晶石、大理石、蛇纹石
4	氟石	
5	磷灰石	石棉、猫眼石、玻璃纤维
6	正长石	磁铁矿石、长石、玛瑙、黄铁矿石
7	石英	燧石、熔融石英、橄榄石、红柱石、电石
8	黄玉	金刚砂
9	刚玉	蓝宝石、碳化硅、碳化钨
10	钻石	

### A.2 其他沙尘

对于特定应用可以考虑使用其他沙尘包括复合沙尘(如包括棉纤维、土以及水泥)。但是,应根据下面给出的导则进行配置。

#### A.2.1 离子传导性材料

可以通过在沙尘中混合实际侵蚀性材料进行沙尘试验,之后进行湿热试验来研究离子传导性和腐蚀性沙尘(如消冰盐)的影响。

但是,为了维持再现性,最好分成使用中性粒子进行沙尘试验,然后进行标准腐蚀试验来进行研究。

#### A.2.2 吸湿性材料

为了研究吸湿性材料的影响,可以在试验用尘中混入棉纤维,沙尘试验之后进行腐蚀试验。

#### A.2.3 纤维材料

可以通过在通风口放置棉纤维来研究其堵塞影响。

### A.3 湿度对试验用沙尘的影响

#### A.3.1 为了避免试验用沙尘发生堵塞必须将试验箱的湿度维持在 25% 以下。

不要求试验设备能监控相对湿度。只要将试验箱内的空气加热就足够了,加热温度取决于实验室温度和相对湿度。在湿热气候条件下可能不行,因此不推荐试验温度超过 40℃。这种情况下,实验室要使用空调,或者需要除湿系统。图 A.2 给出了给定温度下能够通过将温度提高到 40℃ 而把相对湿度降低到 25% 以下的最大湿度。

## A.4 对电工产品的影响

### A.4.1 简介

沙尘可能成为促进材料或设备元件劣化的物理因素、化学成分或者两者都有,也可能成为设备活动部件的磨损材料,静止的表面甚至可能会被风吹沙尘破坏。这种影响取决于沙尘粒子的物理和化学性质以及接触表面的性质。因此,金属表面的覆盖层可能会加速腐蚀,而在绝缘表面的积尘可能会破坏其电气性能。

### A.4.2 腐蚀影响

在较大风速的影响下,沙尘可以成为静止表面的磨料。行驶车辆引起的含尘粒子会破坏防护性涂层或者破坏腐蚀产品的半保护膜,从而加速金属表面的腐蚀。

表面磨损的程度取决于侵入粒子相对于表面的速度。据报导,航空器在高度 60 m,风速为 290 m/s~320 m/s 的非洲北部沙漠试飞之后,挡风玻璃的光学性质出现明显劣化。

风携沙尘会使绝缘材料或绝缘子的表面粗糙,从而破坏表面的电气性能。相对湿度为 50%,据测量,表面粗糙的酚醛塑料的传导率大于有光滑表面的相同材料的 10 倍。

### A.4.3 金属腐蚀

#### A.4.3.1 概述

沙尘,跟其他环境因素如湿度结合,会导致金属腐蚀的引发和加速。沉积在金属表面的粒子层可能是包括惰性物质、化学活性物质、吸附/非吸附性粒子的混合物,因此引起的腐蚀过程也比较复杂。

#### A.4.3.2 化学惰性物质

相对湿度较低时,吸湿性的惰性粒子会吸收空气中的水分和其他腐蚀性气体。此时,惰性粒子就成为水性电解质的载体,并且发生大气腐蚀的电化学反应,加剧腐蚀。

非吸附惰性粒子对腐蚀过程影响比较小,除了有助于留住水分,在接触点对金属进行屏蔽,引起表面氧浓度不均。这些差异可能会导致局部腐蚀。

#### A.4.3.3 化学活性物质

来源于自然界和工业的粒子可能具备化学活性,溶解以后提供腐蚀性电解质。很多粘土、自然界户外沙尘的主要来源都是硅铝酸盐,此时会发生碱式反应;如果尘土粒子中包含的几种盐是硫酸盐,则会发生酸式反应。

在有硫酸铵粒子存在的情况下会加速铁的腐蚀,在城区会出现这种沙尘。

以海贝壳碎片形式存在碳酸钙是珊瑚岛上沙尘的主要成分,可以导致腐蚀。火山灰会加速铁的腐蚀。

### A.4.4 电工绝缘体表面的污染

沉积在绝缘体表面的沙尘在没有水的情况下都是不良导体。然而,在有水的情况下会溶解可溶性粒子形成电解液。不溶性粒子使电解质滞留在表面,并且增加了水膜的有效厚度。在干燥多尘和湿润阶段交替出现的环境条件下容易促使形成这种水膜。

由于这种表面膜具有导电性,流经被污染绝缘体表面的泄漏电流可能是流经洁净干燥绝缘体的百万倍。

如果绝缘体处于强电场中,如电线绝缘体,很容易吸引气溶胶粒子到电压梯度陡直的地方,促使水膜的形成。

### A.4.5 其他影响

#### A.4.5.1 促使长霉

黏附在材料表面的沙尘可能会含有机物质,这就给微生物提供了食物来源。一些无尘时不容易受微生物攻击的材料表面,如陶瓷、光学玻璃,可能会因此而长满霉菌或者藻类。

## A.4.5.2 电工触点和连接件

如前所述,沙和大多数尘干燥条件下都是不良导体,因此沉积在开关、继电器或任何触点的粒子由于增加了接触电阻而损害运行特性。

沙尘在电气连接件上的沉积会引起匹配和连接不上的问题。

## A.4.5.3 制冷系统

由于形成绝缘层导致热传导速率降低,从而降低制冷系统的效率。

## A.4.5.4 静电效应

沙暴中由于沙尘粒子的摩擦产生的静电会干扰设备的运行,有时候会危及人员安全。静电会引起绝缘体击穿、变压器及避雷针的破坏、以及汽车点火系统的失效等破坏。产生的静电压可能会很高,在沙暴中产生的 150 kV 的电压能够使电话电报通信无法工作。

## A.5 安全防护

### A.5.1 危害

所有对样品的危害也会造成对人员的危害。

如果沙尘试验是安全评估的一部分,对沙尘的沉积和侵入的检查应十分小心的进行,应使用 A.4 给出的导则并结合安全试验的实际经验,利用最坏的情况解释。

### A.5.2 安全危害

应采取防护措施避免吸入沙尘引起健康危害,包括:

- 试验箱充分密封;
- 在打开试验箱门之前,让沙尘沉降;
- 使用合适的防护面具和衣物;
- 对设备进行适当的清洁、维护,包括高效过滤器,例如真空吸尘器。

#### A.5.2.1 滑石粉

吸入过多的滑石粉会引起滑石粉肺尘症。长时间暴露后可能会因起咳嗽、多痰、憋闷等症状。

由于跟滑石粉结合的其他物质也有一定的含量,医学上除了纯净的滑石粉之外,其他都无法明确鉴别。

暴露极限

应控制滑石粉,暴露浓度不超过  $10 \text{ mg/m}^3$ ,可吸入空气滑石粉浓度不超过  $1 \text{ mg/m}^3$  (8 h 内的平均质量浓度)。

#### A.5.2.2 其他沙尘

石英粉尘会引起硅肺病,是一种严重的肺病,会恶化导致肺癌。

注:橄榄石自由  $\text{SiO}_2$  的含量  $\leq 1\%$ ,是一种低风险的矿物质。

对于有过敏反应的人来说,短的棉纤维引起呼吸系统问题敏感源。

由于上述原因,必须遵守健康危害条款。

下面给出了可能比较重要的两点:

- a) 无定形材料,如玻璃,比结晶型材料危险性小;
- b) 粒子尺寸在  $0.5 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$  的尘危害性最大。

橄榄石和长石都是结晶型材料。

如今还不能够找到一种无害的试验用尘。因此,试验人员必须使用防尘面具和护目镜等防护措施。

### A.5.3 爆炸危险

如果试验用尘是滑石粉就没有爆炸危险,但如果规定使用其他沙尘,应考虑以下事实:粉尘性可燃物质在空气中的浓度超过  $20 \text{ g/m}^3$  会发生爆炸。

## A.6 试验 L 和 IEC 60529 对比

IEC 60529 对防护等级给出了表征数字。表征防护等级的名称包含特征字母“IP”，后面跟两位数字。第一位数字表明了外壳对于沙尘以及其他固体物质的防护等级。第二位数字表征了外壳对于水侵入的防护等级。表 A.2 给出了第一位数字的分类和相关试验方法。

对于试验，试验 La2 可以认为是一个“相关规范”。

表 A.2 试验方法对比

试验 L	IEC 60529 第一位数字	描述	IEC 60529 试验方法条款
无	0	没有防护	无
无	1	对于 >50 mm 固体有防护	13.2
无	2	对于 >12.5 mm 固体有防护	13.2
无	3	对于 >2.5 mm 固体有防护	13.2
无	4	对于 >1.0 mm 固体有防护	13.2
La1 或 La2	5	防尘	13.4 和 13.5
La1 或 La2	6	防尘密封	13.4 和 13.6

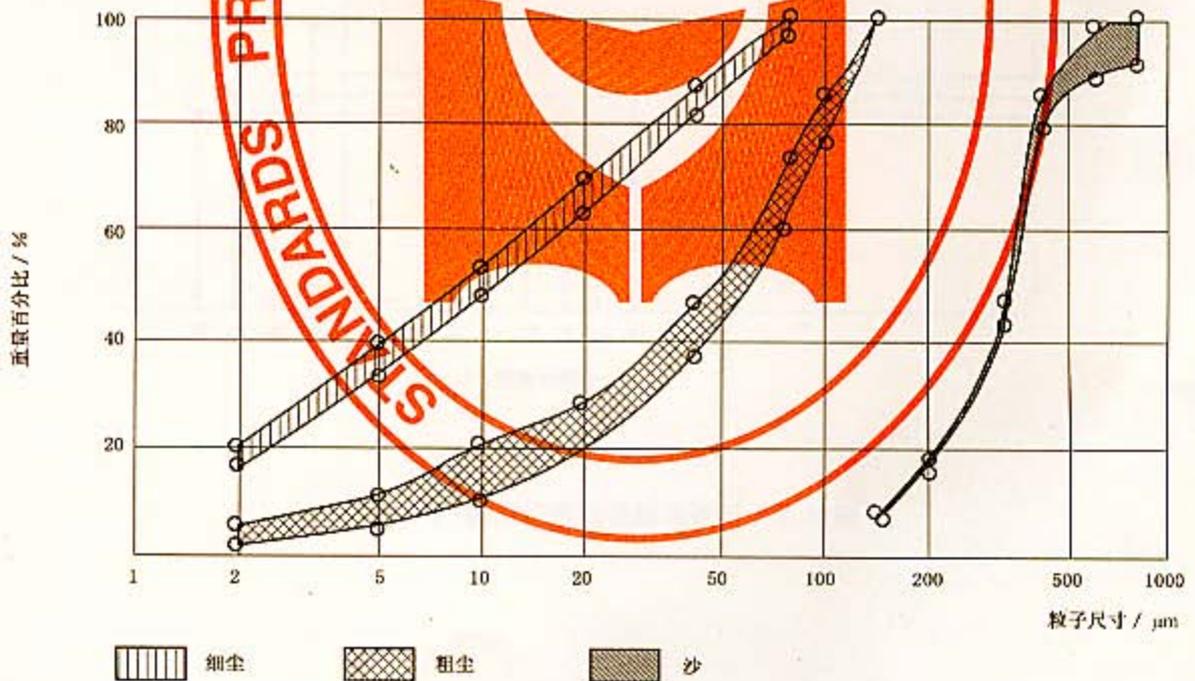


图 A.1 粒子尺寸分布

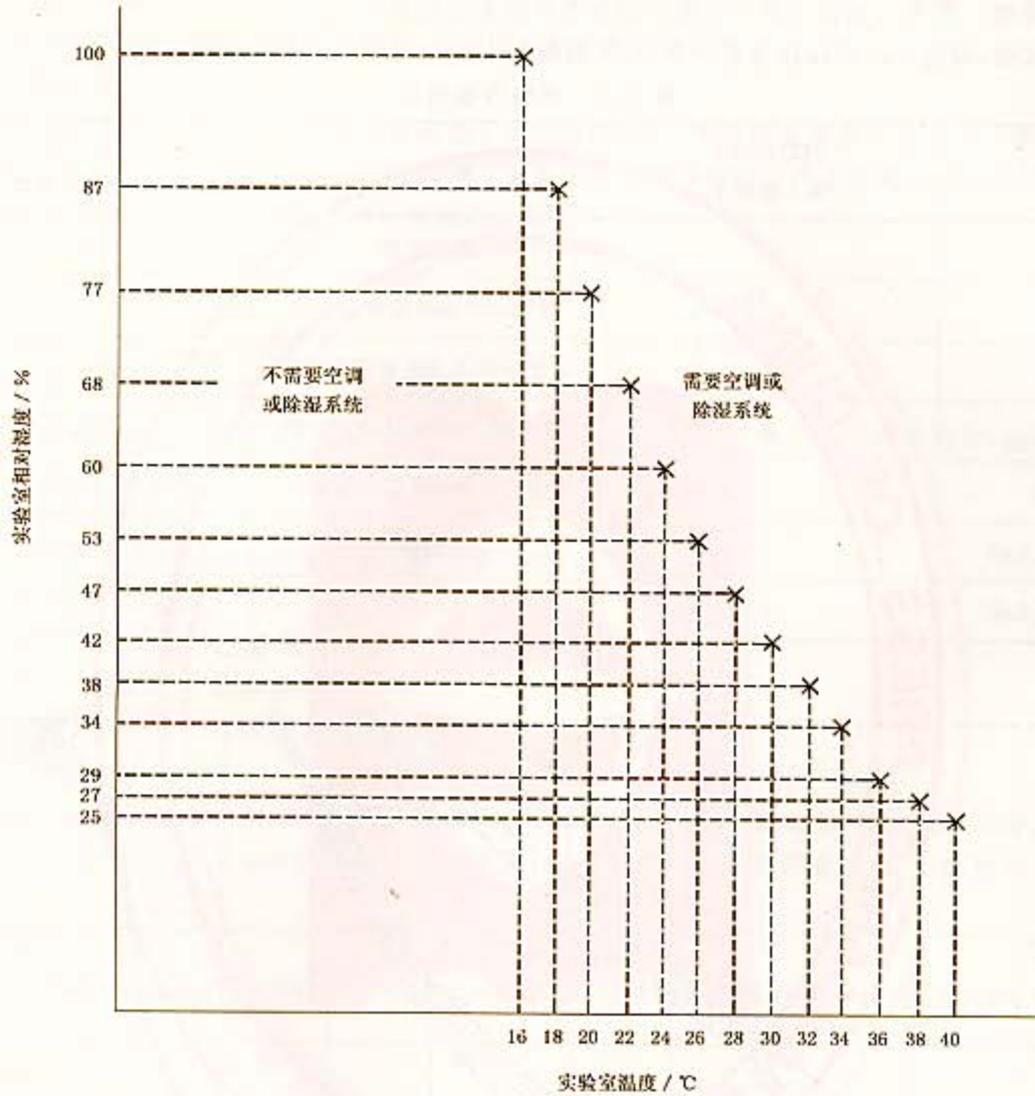


图 A. 2 与温度相关的相对湿度(示例)

附 录 B  
(资料性附录)  
参 考 文 献

下列文件中也给出了跟试验 La2 相似的方法:

IEC 60034-5:1991 旋转电力设备 第 5 部分:旋转电力设备外壳的防尘等级分类

IEC 60947-1:1988 低压开关和控制件 第 1 部分:通用原则