

ICS 29.080.10
K 48

中华人民共和国国家标准

GB/T 22708—2008

绝缘子串元件的热机和机械性能试验

Thermal-mechanical performance test and mechanical
performance test on string insulator units

(IEC/TR 60575: 1977, MOD)

2008-12-30 发布
2009-10-01 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

- 1 范围
- 2 规范性引用文件
- 3 术语和定义
- 4 热机性能试验
 - 4.1 试品安装
 - 4.2 试验程序
 - 4.3 结果判定
- 5 机械性能试验
 - 5.1 试品安装
 - 5.2 试验程序
 - 5.3 结果判定
- 附录 A (资料性附录) IEC/TR 60575: 1977 附录 A 原文
 - A.1 背景
 - A.2 绝缘子力学
 - A.3 关于热机性能试验的注解
 - A.4 关于机械性能试验的注解
 - A.5 试验结果概述
 - A.6 试验结果判断标准
 - A.7 结论
- 附录 B (资料性附录) 本标准章条编号与 IEC/TR 60575: 1977 章条编号对照
- 附录 C (资料性附录) 本标准与 IEC/TR 60575: 1977 技术性差异及原因

前 言

本标准修改采用 IEC/TR 60575: 1977《绝缘子串元件的热机和机械性能试验》（第一版）。

本标准根据 IEC/TR 60575: 1977 重新起草。为了方便比较，在资料性附录 B 中列出了本标准条款与 IEC/TR 60575: 1977 条款的对照一览表。

考虑到我国国情，在采用 IEC/TR 60575: 1977 时，本标准做了一些修改。这些技术性差异用垂直单线标识在它们所涉及的条款页边空白处。在附录 C 中给出了这些技术差异及其原因的一览表以供参考。

为了便于使用，本标准还做了下列编辑性修改：

- a) “本报告”一词改为“本标准”；
- b) 删除 IEC/TR 60575: 1977 的前言及目的，将目的中的注并入范围；
- c) 增加了“规范性引用文件”和“术语和定义”两章。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 均为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国绝缘子标准化技术委员会（SAC/TC 80）归口。

本标准起草单位：国家绝缘子避雷器质量监督检验中心、西安电瓷研究所、陕西省电力公司、辽宁省电力公司。

本标准主要起草人：危鹏、姚君瑞、云涛、胡文岐、陈刚。

本标准首次发布。

绝缘子串元件的热机和机械性能试验

1 范围

本标准规定了标称电压高于 1000V 的交流和直流架空线路用的具有瓷或玻璃绝缘件的绝缘子串元件的热机和机械性能试验方法。

本标准也适用于变电站中具有类似结构的绝缘子。

注 1：本标准适用于盘形悬式绝缘子串元件以及长棒形绝缘子串元件。

注 2：热机性能试验建议作为主要试验。而机械性能试验作为次要的附加试验，并仅用于抽查试验，是否需要及试品数量由供需双方协商。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。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标准，然而，鼓励根据本标准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标准。

GB/T 1001.1—2003 标称电压高于 1000V 的架空线路绝缘子 第 1 部分：交流系统用瓷或玻璃绝缘子元件 定义、试验方法和判定准则（IEC 60383-1: 1993, MOD）

GB/T 2900.8 电工术语 绝缘子（GB/T 2900.8—1995, eqv IEC 60050-471: 1984）

3 术语和定义

GB/T 2900.8 确立的术语和定义适用于本标准。

4 热机性能试验

4.1 试品安装

试品应在经逐个试验合格后的产品中抽取。

试品在试验过程中应受拉伸负荷，试品可以串联或并联在试验机上，当并联时，每只试品应承受相等的拉伸负荷。

4.2 试验程序

4.2.1 循环试验

绝缘子元件应承受四个 24h 冷却和加热循环，并同时施加拉伸负荷，该负荷的大小保持在所规定的机电或机械破坏负荷的（60~65）%之间。每个 24h 循环中，首先应将其冷却到 $-30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ （或 $-40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ），然后将其加热到 $+40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。应控制冷却和加热循环的温度偏差，以保证记录的冷却和加热温度之间的最小温差为 70K（或 80K）。在温度循环中最高温度和最低温度至少均应连续保持 4h。

开始第一次冷热循环之前，应在室温下在绝缘子上施加拉伸负荷。在每次加热期终结时，完全卸除该拉伸负荷，并再重新施加，但最后一次热循环除外。在第四次 24h 循环之后，将其冷却到室温，除去拉伸负荷。该试验程序用图示法表示见图 1。

注：低温是否采用 $-40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 由供需双方协议，当低温采用 $-40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时，最小温差为 80K。

4.2.2 破坏试验

循环试验结束后，应在从绝缘子元件上卸除拉伸负荷的同一天，对绝缘子元件进行机电或机械破坏负荷试验，以确定绝缘子元件的性能。机电或机械破坏负荷试验应按 GB/T 1001.1—2003 所规定的方法进行。

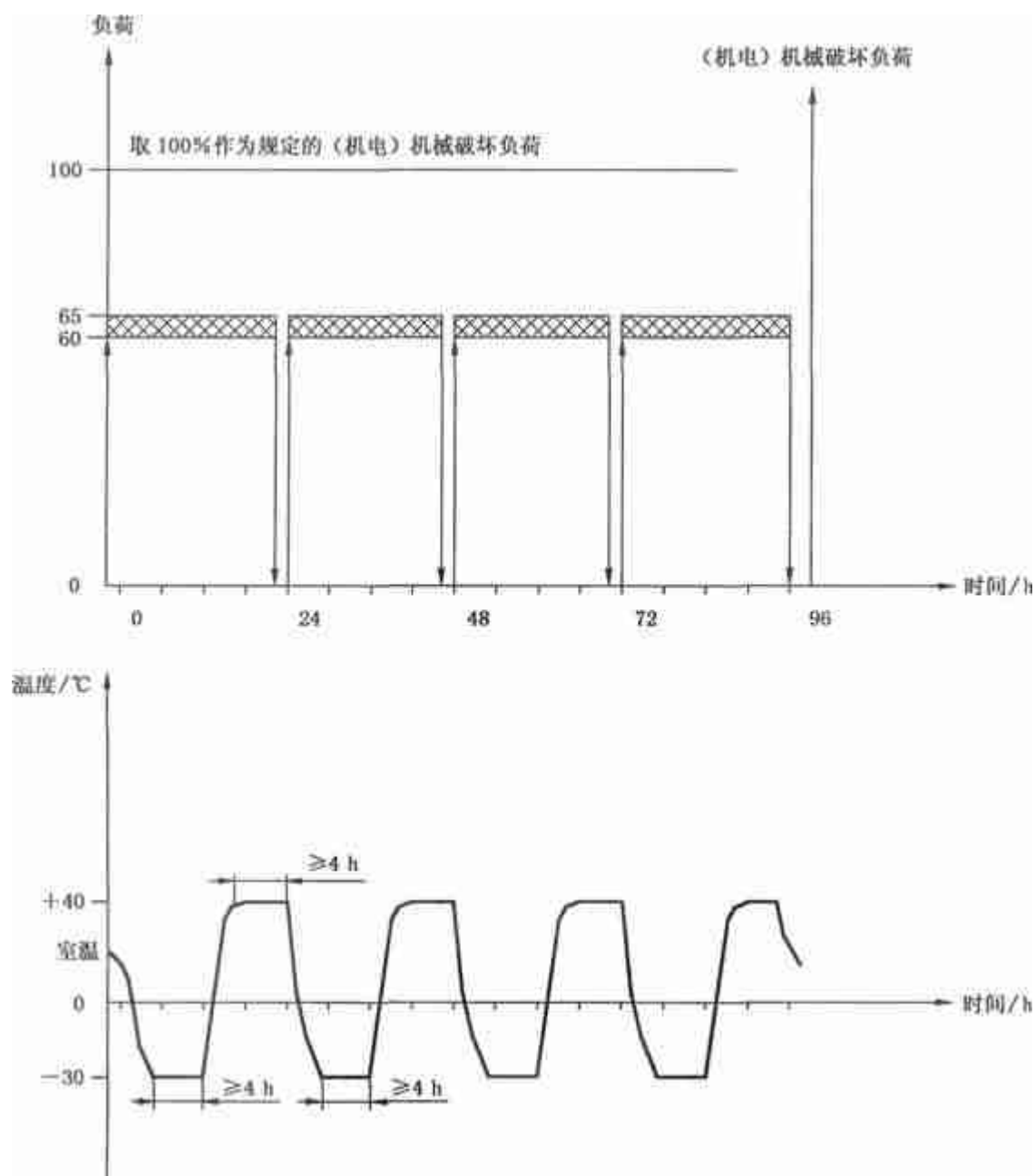


图 1 热机性能试验图示

4.3 结果判定

在循环期间中, 有任何一个绝缘子损坏, 则不符合本标准。

在本标准 4.2.2 中得到的破坏负荷值和破坏情况, 应符合 GB/T 1001.1—2003 的 20.4 中型式试验判定程序的规定。

把按 GB/T 1001.1—2003 进行机电或机械破坏负荷试验得到的破坏负荷值和破坏情况, 与按这里所规定的热机性能试验的最后阶段所进行的相同试验所得到的破坏负荷值和破坏情况相比较, 以提供绝缘子元件性能的更多信息。

注 1: 热机性能试验关系到与内部应力有关的绝缘子的基本结构。仅外形不同, 即绝缘件的伞盘或金属附件的连接端不同者, 可不再重复此试验。当内部结构或制造过程改变时, 必须重新试验。

注 2: 当破坏发生在金属附件, 如铁帽的窝或 U 形槽, 或绝缘子脚部位的时候, 本试验不能提供关于内部应力区域方面的情况。只有采用适当加强的金属附件, 使得破坏发生在绝

缘子内部应力区域时,才可能研究绝缘子的基本结构。必须防止由于金属附件的加强而影响基本应力的分布。

注 3: 可拆卸的连接件,例如长棒形绝缘子所用的,不属于此机械试验的范围,因为它们不是绝缘子内部结构的一部分(参见上述注 2)。

注 4: 如果希望不改变试验循环而且能随时发现绝缘件的机械破坏(击穿),可以在试验过程中对绝缘子元件(仅对 B 型元件)施加电压。

5 机械性能试验

5.1 试品安装

试品应在经逐个试验合格后的产品中抽取。

试品在试验过程中应受拉伸负荷,试品可以串联或并联在试验机上。当并联时,每只试品应承受相等的拉伸负荷。

5.2 试验程序

5.2.1 循环试验

对绝缘子元件施加拉伸负荷,该负荷的大小应在所规定的机电或机械破坏负荷的(60~65)%之间。该拉伸负荷达到规定值后应立即卸除,并连续 4 次此过程,也可以对施加负荷次数另做规定。

注: 拉伸负荷连续卸除多于 4 次,试验将更为有效。

5.2.2 破坏试验

在施加和卸除负荷循环试验结束的同一天,对绝缘子元件进行机电或机械破坏负荷试验,以确定绝缘子元件的性能。机电或机械破坏负荷试验应按 GB/T 1001.1—2003 所规定的方法进行。

5.3 结果判定

在循环期间中,有任何一个绝缘子损坏,则不符合本标准。

在本标准 5.2.2 中得到的破坏负荷值和破坏情况,应符合 GB/T 1001.1—2003 的 20.4 中型式试验判定程序的规定。

把按 GB/T 1001.1—2003 进行机电或机械破坏负荷试验得到的破坏负荷值和破坏情况,与按这里所规定的机械性能试验的最后阶段所进行的相同试验所得到的破坏负荷值和破坏情况相比较,以提供绝缘子元件性能的更多信息。

注 1: 当破坏发生在金属附件,如铁帽的窝或 U 形槽,或绝缘子脚部位的时候,本试验不能提供关于内部应力区域方面的情况。只有采用适当加强的金属附件,使得破坏发生在绝缘子内部应力区域时,才可能研究绝缘子的基本结构。必须防止由于金属附件的加强而影响基本应力的分布。

注 2: 如果希望不改变试验循环而且能随时发现绝缘件的机械破坏(击穿),可以在试验过程中对绝缘子元件(仅对 B 型元件)施加电压。

注 3: 这种机械性能试验只有在出现严重制造缺陷的情况下才比通常的机电或机械破坏负荷试验更有效。

附 录 A

(资料性附录)

IEC/TR 60575: 1977 附录 A 原文

A.1 背景

应该注意,从机械的观点来看,IEC 出版物 383 没有包含检验绝缘子在负荷变化和温度变化情况下的性能的任何试验。由于缺乏这种类型的试验,尽管绝缘子串元件可以满足 IEC 在该出版物中推荐的所有型式试验、抽查试验和逐个试验,但还是不能耐受住在运行中发生的负荷和温度变化。

上述情况,以及在运行中具有显著劣化率的不良绝缘子的性能就是各个国家进行种种试验的背景,并希望以一种标准形式来表示长时间试验或性能试验。现在由本报告提出的试验

条文可作为不同国家试验实践的一个折衷方案。但是正如由 A.2 条所看到的，这个方案本身还不够完善。

A.2 绝缘子力学

在考虑性能试验方法时，懂得绝缘子串的力学是重要的。因此，对这个题目要作一简短的论述。

A.2.1 盘形悬式绝缘子

图 A.1 示出盘形悬式绝缘子的主要结构。在这种绝缘子中有三种不同的材料，按金属—胶合剂—绝缘材料—胶合剂—金属的顺序组合在一起。

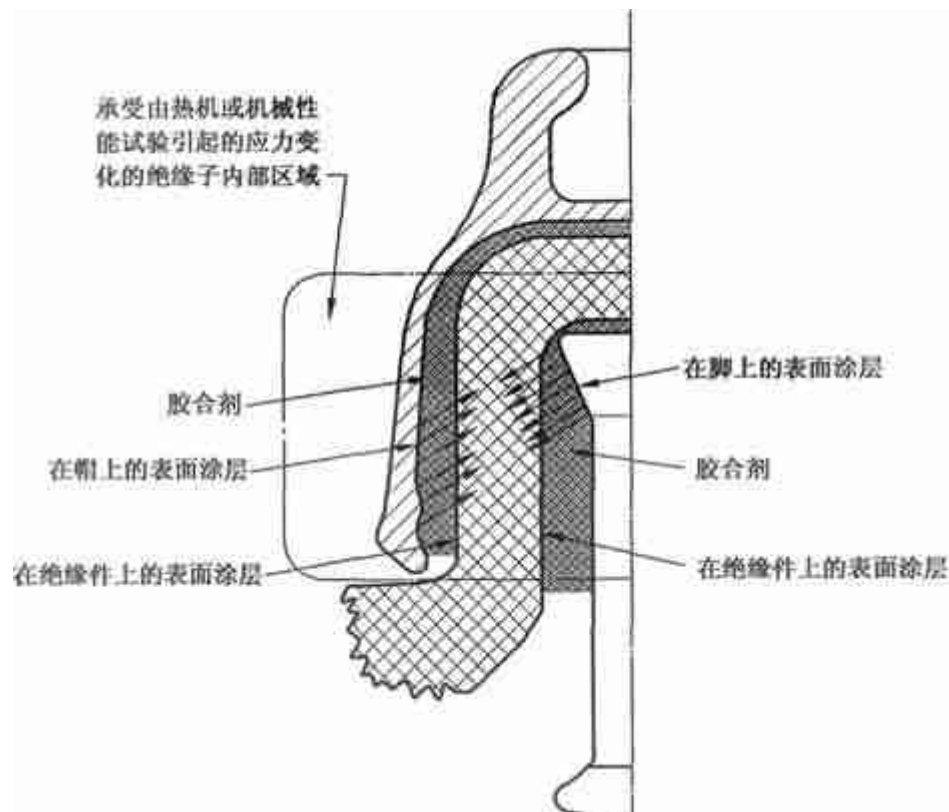


图 A.1 盘形悬式绝缘子的横剖面

金属材料比胶合剂及绝缘材料（如玻璃和瓷）具有较大的或大得多的热膨胀系数，为了避免大的热应力，金属附件和绝缘件彼此之间必须是可移动的。因此，在外部拉伸负荷下的帽应起些弹性缓冲作用，且应可以沿邻接胶合剂的倾斜表面上下移动。脚也应起到同样的作用。

在正常情况下，绝缘件的头部承受近于纯粹的压力。这种力是通过帽和脚的几何形状产生，并由胶合剂传递的。瓷和玻璃在压应力下是很坚固的材料。但是在拉应力或剪应力下它们就不那么坚固了。

一个极小的帽的角度 α （见图 A.2）可能造成帽的楔住变形，因此当负荷降低时，留下不希望有的残余应力。这个残余应力可随时间逐渐增加。另一方面，一个大的帽的角度 α 虽有利于复原的移动，但是可产生一个过大的剪切应力。类似的论点原则上也适用于脚。因此，帽的平面角和脚的反作用表面对绝缘子元件的持久能力来说是很重要的。

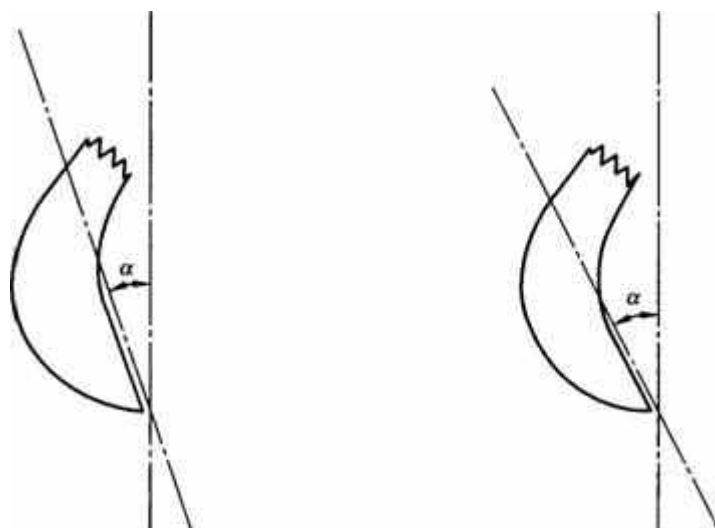


图 A.2 帽的角度

在帽发生楔住变形的情况下，温度下降可以在绝缘件的头部引起更大的压力，以产生附加的应力使得由于楔住而早已存在的那些不希望有的应力加大。当脚楔住的情况下，出现相反的关系，即当温度升高时脚膨胀而产生附加应力。

A.2.2 长棒形绝缘子

图 A.3 表示了长棒形绝缘子的主要内部结构。这种绝缘子只有一个材料顺序：绝缘材料—胶合剂—金属。

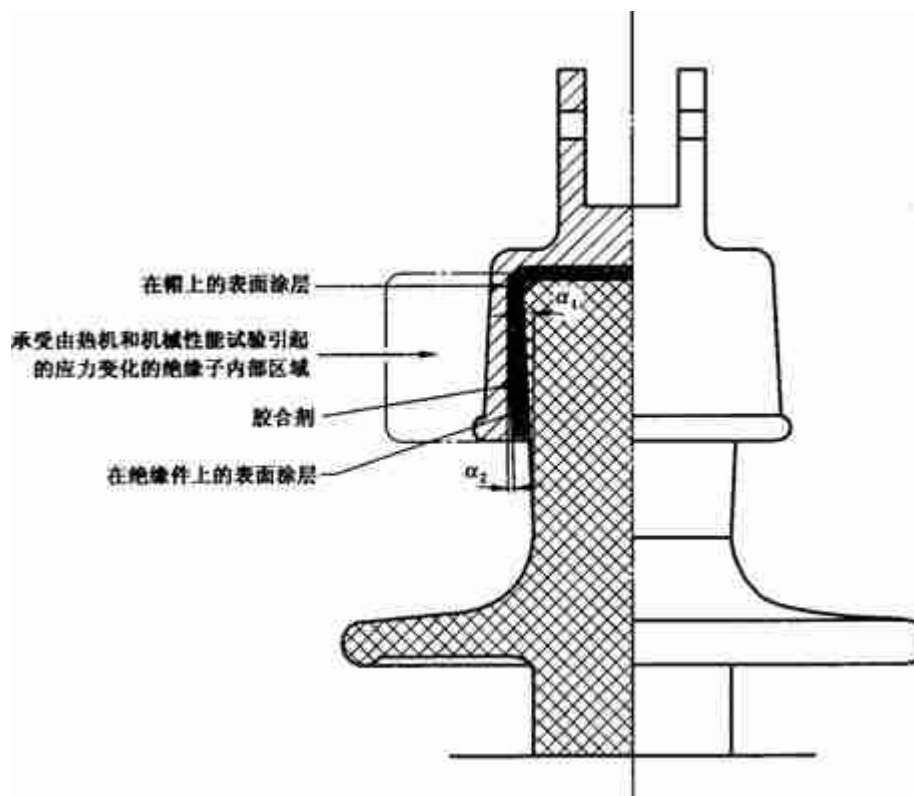


图 A.3 长棒形绝缘子横剖面

金属材料比所用的大部分胶合剂或绝缘材料（如瓷）具有较大的热膨胀系数。为了避免绝缘子在负荷作用下温度化时产生不希望有的应力，绝缘子结构上要考虑到这点。

帽的角度和绝缘件锥度（图 A.3 中的 α_1 和 α_2 ）的正确选择是很重要的，这些角度宜在 $4^\circ \sim 12^\circ$ 范围内，通常为 8° 。在这样的角度下，当逐个机械试验（通常为最小破坏负荷

的 80%) 后, 帽不能回到它原来的状态, 而在绝缘件的锥形端仍处于紧张状态。温度变化引起的热膨胀和运行中负荷的变化都不会引起绝缘件在帽中的进一步移动。在运行中, 帽中的应力维持在弹性范围之内。

过分小的角度能引起绝缘材料内过高的应力。温度下降将增加绝缘件锥形端的压力, 因而在逐个试验时由于最初的位移所产生的应力增加。在这些条件下, 帽的应力不超过弹性极限。

另一方面, 很大的角度可能引起绝缘件上的过大的剪力。

A.2.3 试验程序

在 A.2.1 和 A.2.2.2 两种情况下, 为了检验一个绝缘子在运行中发生负荷变化和温度变化的情况下是否具有满意的性能, 亦即为了发现绝缘和金属附件是否胶装和配合得良好, 这一性能型式试验应包括在温度变化的同时施加负荷和除去负荷。最后把绝缘子元件试验到破坏, 破坏试验的方法与 IEC 出版物 383 第 26 或 27 章规定的通常的机电或机械破坏负荷试验一样。

此时, 这种试验的最后阶段将证实绝缘子元件在破坏负荷方面将不受影响, 或是上述的在温度变化的同时施加负荷和除去负荷的作用已使破坏负荷与通常的破坏负荷试验结果相比有明显的降低。这将是判断性能试验结果的主要点。附加的判断准则可以是试验结果的分散性和破坏情况。总之, 这样的性能试验结果判断应与通常的机电或机械破坏负荷试验全面地进行比较 (参见 A.6)。

注: 参见 4.3 条注 2, 给出金属件破坏的有关信息还不可能发现绝缘子内部性能的变化。

A.3 关于热机性能试验的注解

为了不超过一些帽和脚材料在正常情况下, 即当绝缘子元件正常运行时的屈服点应力, 其在 4 个冷却和加热的 24h 循环期间施加的试验负荷被限定为规定机电或机械破坏负荷的 60%。

对于温度循环, 必须指出, 其在每个 24h 期间的冷却和加热循环是按实际情况选择的。如果实际情况需要的话, 冷却可以在白天人工地进行。

还应该注意, 其 4 个 24h 循环, 加上最后试验的第五天的限制同样是按实际情况规定的。因此整个试验将在一个正常的工作周内完成。从下述的试验结果可以看出没有必要延长试验时间。

A.4 关于机械性能试验的注解

除了规定作为一种型式试验的热机性能试验外, 要求一种较简单的试验作为抽查试验, 以代替几年前已删除的 24h 机械试验。为此, 加上机械性能试验以作为一种简化的性能试验, 它包括了与热机性能试验中同样的机械负荷程序, 但负荷不保持 24h 的时间且没有温度变化。

这样一种抽查试验可以认为比已删除的 24h 机械试验更有价值。但是很明显, 其机械性能试验比热机性能试验的判断能力差得多 (参见 A.5)。

A.5 试验结果概述

严格地按性能试验的条文, 对 21 种单独型式或派生型式的盘形悬式绝缘子串元件及 9 种单独型式或派生型式的长棒形绝缘子串元件进行了试验。所试验的绝缘子元件与 11 个国家中的 16 个或更多的制造厂有关系。这些国家是:

中国、捷克、丹麦、法国、德国、匈牙利、意大利、日本、瑞典、英国和美国。

试验是在捷克、法国、意大利、日本、瑞典和英国进行的。

表 A.1 和表 A.2 概括了有关被试绝缘子元件的制造年份、额定负荷等级 (规定的破坏负荷) 和其他细节。

关于所用的标志代号, 应该注意, 盘形悬式绝缘子元件以 “CP” 和从 1~21 的各种型式的编号来表示。同样, 长棒形绝缘子元件以 “LR” 和从 1~9 的各种型式的编号来表示。

表 A.1 被试盘形悬式绝缘子串元件的特点

绝缘子串 元件型式 (标志代号)	制造年限	额定机电或 机械破坏负荷 (相当于)	备 注
------------------------	------	--------------------------	-----

CP1	1938 1949 和 1950	7500kgf	由于串中元件有电气缺陷，1977 年从 220kV 输电线路上下取的元件
CP2	1940 和 1948	7500kgf	在仓库中保存直到 1971 年试验的元件
CP3	1946 1947 和 1950	6800kgf (1500lb)	在 70 kV 输电线路运行 17 年后为供第二工作组（WG2）试验而取下的元件
CP4	1950	12000kgf	1968 或 1969 年从输电线路取下的元件，没有收到进一步的资料
CP5	1950 和 1951	9000kgf	在 220 kV 输电线路运行 17 年后为第二工作组试验而取下的元件（CP5A），其余元件在仓库中从 1951 年保存到 1971 年试验（CPSB）
CP6	1960	10000kgf (100kN)	在 400 kV 输电线路运行 9 年后，为第二工作组试验而取下的元件
CP7	1962	7500kgf	在仓库中保存到 1971 年第二工作组试验的元件
CP8	1964 和 1965	19000kgf (42000lb)	在运行 5 年后为第二工作组试验而取下的元件
CP9	1965	19000kgf (42000lb)	在运行 5 年后为第二工作组试验而取下的元件
CP10	1966	6800kgf (15000lb)	由工厂或仓库提供第二工作组试验的元件
CP11	1970	8200kgf (18000lb)	由工厂或仓库提供第二工作组试验的元件
CP12	1970	11300kgf (25000lb)	由工厂或仓库提供第二工作组试验的元件
CP13	1970	11300kgf (25000lb)	从制造厂买来供第二工作组试验的元件
CP14	1970	21000kgf	从 1970 年交货的一批中随机抽取的元件
CP15	1971	7000kgf	由制造厂提供作型式试验的元件
CP16	1971	11300kgf (25000lb)	由制造厂提供第二工作组试验的元件
CP17	1971	6400kgf	由制造厂提供作型式试验的元件
CP18	1971	12000kgf	由制造厂提供第二工作组试验的元件
CP19	1971	12000kgf	由制造厂提供第二工作组试验的元件
CP20	1970	8000kgf	由制造厂提供第二工作组试验的元件
CP21	1952	8000kgf	运行 15 年后为第二工作组试验而取下的元件

表 A.2 被试的长棒形绝缘子串元件的特点

绝缘子串 元件型式 (标志代号)	制造年限	额定机械 破坏负荷 (kgf)	备 注
LR1	1970	10000	由制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 8000kgf
LR2	1970 和 1971	10000	由制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 8000kgf
LR3	1970	15000	由制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 12000kgf
LR4	1970	15000	由制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 12000kgf
LR5	1970	15000	由制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 12000kgf
LR6	1970 和 1971	15000	由制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 12000kgf
LR7	1971	13000	从制造厂买来供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 13000kgf
LR8	1971	10000	制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 4000kgf
LR9	1971	16500	制造厂提供第二工作组试验的元件，逐个试验负荷 6600kgf

每一试验，即热机性能试验、机械性能试验和通常的机电或机械破坏负荷试验，各自使用的样品数为 9~14 个元件。表 A.3 和表 A.4 摘要示出了所得到的破坏负荷值，并注明了破坏情况。在这些摘要中，破坏负荷是用对额定机电或机械破坏负荷的比例来表示的。使用的统计术语是算术平均值和表示试验结果的分散性的标准差：

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - (\sum_{i=1}^n R_i)^2 / n}{n-1}}$$

参考抽样规则和接收判据（IEC 报告，出版物 591），为了清晰地表示试验结果，表 A.3 至表 A.6 包含有标准差的图标资料和低于规定等级的值。

关于摘要中有关破坏情况的说明，应该注意到，“绝缘件的破坏”已经被用作盘形悬式绝缘子串元件的一般术语，它表示瓷绝缘件的击穿或根本破坏和钢化玻璃绝缘件的粉碎性破坏。

在本概述中所包括的盘形悬式绝缘子串元件中，型式 CP1~CP5 可归入比较旧的和近乎陈旧的这一类。它们是在二十世纪三十年代末期、四十年代和五十年代初期制造的。它们的运行性能不能令人满意。关于 CP1、CP2、CP3 和 CP4 型，从二十世纪四十年代末直至今，有关输电线路绝缘子的每年检查的统计资料是可利用的。这些统计资料示出各年劣化率的变化，每年 10000 个元件中最高损坏率 CP1 元件为 132 只，CP2 元件为 21 只，CP3 元件为 41 只，CP4 元件为 139 只。CP5 型绝缘子劣化率在每年 10000 个元件中为 2.2 只。从表 A.3 可见，这些劣化率的数字与这 5 种型式绝缘子元件的试验结果非常一致，这 5 种型式绝缘子经试验证明都不是安全可靠的。

对 CP6 型绝缘子元件，已表明其运行劣化率约低于每年每 10000 个元件中 1 只。这是否是偶然现象，因为它与试验时的破坏情况有所差别，12 只元件进行通常的机电破坏负荷试验时有 2 只击穿，而 12 只进行机械性能试验时有 5 只击穿，12 只进行热机性能试验时有 7 只击穿。

CP7 型绝缘子元件在输电线路使用仅 10 年左右，这种型式的元件至今为止根据绝缘子统计在运行中是完善的。

至于 CP8、CP11、CP12 和 CP14 型绝缘子元件其试验结果与最好的运行经验相关。例如在瑞典，在定期检测输电线路的情况下，自二十世纪五十年代使用这些型式的绝缘子元件以来，据记载完全没有劣化率。只有极偶然地发现少数元件是电气损坏的。还要指出，这样型式的绝缘子一般是以金属附件的破坏而不是以绝缘件的破坏作为其特征的。

对于 CP9 绝缘子元件已表明没有劣化率的数字。

CP10 和 CP13 是同一起来源的绝缘子元件而分别在法国和瑞典试验的。在两个国家都得到了不好的试验结果，CP13 元件是 1970 年在市场上正式出售的，CP10 元件也可以说成是近期产品，是 1966 年制造的。

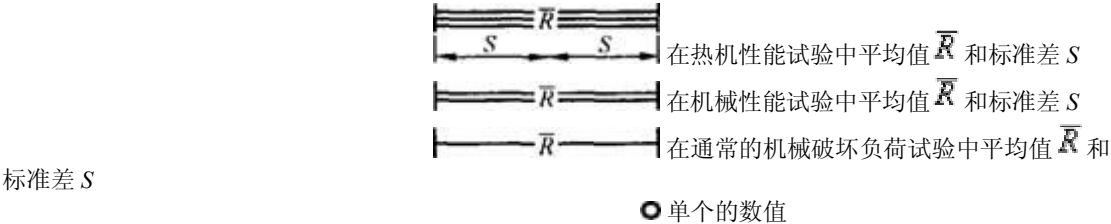
CP15、CP16、CP17、CP18、CP19 和 CP20 型绝缘子元件是在 1970~1972 年提供试验的。由表 A.5 可以看出，特别是 CP15 元件和 CP17 元件显示了不好的试验结果。

对于是 1952 年制造的 CP21 型缘子元件，运行中有少数绝缘子串由于帽拉脱而损坏的记载。观察到该绝缘子元件在性能试验时也出现了那样的破坏。

关于在本概述中所包含的长棒形绝缘子串元件，必须指出，试验结果仅涉及绝缘子元件，也就是说试验中没有包括和元件一起使用的可拆卸的连接件。略去可拆的连接件的理由在于这样在连接件不构成绝缘子整个内部结构的一部分。特别要提出注意的是，要从试验方法的观点来看有关 LR4 型元件的试验结果。在热机性能试验中，尽管预先施加过 12000kgf 的逐个试验负荷，在试验的开始阶段在 60% 的负荷，即 9000kgf 作用下，还有不少于 8 只帽破坏。在机械性能试验中，低于 15000kgf 额定负荷时，出现 5 只帽破坏。这些帽在低负荷下的破坏是由于被试批的帽材料的微观结构不良。

在表 A.7 和表 A.8 中很简单的概括了所有的试验结果，示出了在低于额定负荷值下出现破坏的数量。

表 A.3 盘形悬式绝缘子串元件 CP1~CP5 试验结果摘要



绝缘子串 元件型式 (标志代号)	机电或机械破坏负荷	破坏情况
CP1 (从线路上 取下的元件)	<p>在热机性能试验中的所有值, 有一个除外</p>	27 只绝缘件破坏, 其中有 12 只低于额定负荷值
CP2	<p>在热机性能试验中的所有值</p>	26 只绝缘件破坏, 其中有 11 只低于额定负荷值和 1 只金属附件破坏
CP3 (从线路上 取下的元件)	<p>在热机性能试验中的所有值</p>	39 只绝缘件破坏。其中有 23 只低于额定负荷值
CP4 (从线路上 取下的元件)	<p>在热机性能试验中的所有值</p>	28 只绝缘件破坏, 其中有 26 只低于额定负荷值, 1 只金属附件破坏, 1 只帽拉脱
CPSA (从线路上 取下的元件)	<p>在热机性能试验中的所有值</p>	31 只绝缘件破坏, 其中有 2 只低于额定负荷值, 5 只金属附件破坏

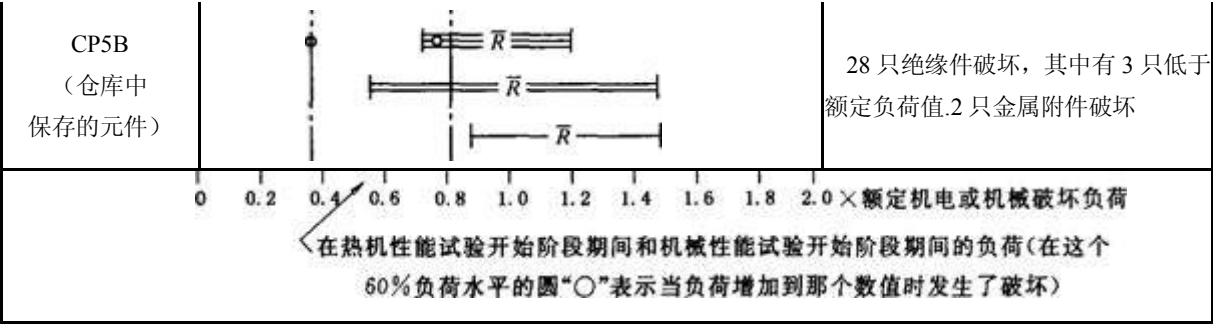
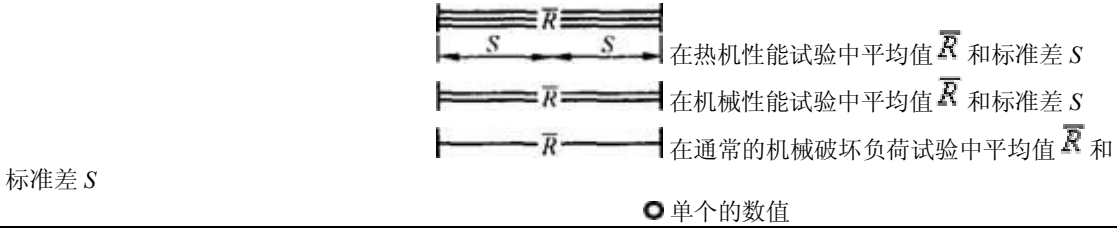


表 A.4 盘形悬式绝缘子串元件 CP6~CP13 试验结果摘要



绝缘子串 元件型式 (标志代号)	机电或机械破坏负荷	破坏情况
CP6 (从线路上 取下的元件)		14 只绝缘件破坏, 其中有 1 只低于 额定负荷值. 21 只金属附件破坏, 1 只 脚拉出
CP7		15 只绝缘件破坏, 9 只金属附件破坏
CP8 (从线路上 取下的元件)		2 只绝缘件破坏, 27 只金属附件破坏. 7 只帽拉脱
CP9 (从线路上 取下的元件)		13 只绝缘件破坏. 其中有 1 只低于 额定负荷值, 15 只金属附件破坏. 8 只帽拉脱 (被替换的元件未包括)
CP10		22 只绝缘件破坏, 其中有 2 只低于 额定负荷值
CP11		仅金属件破坏

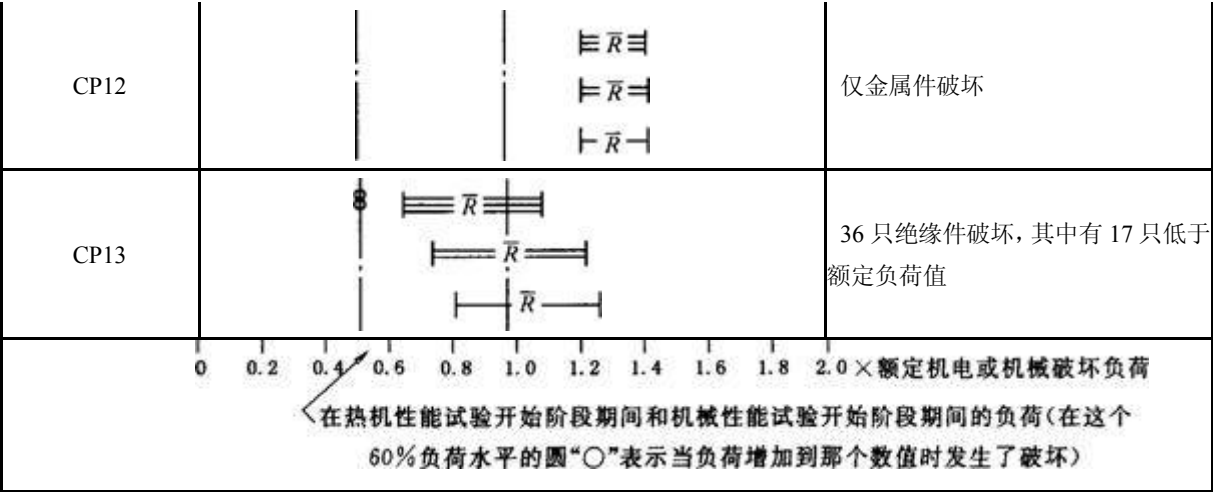
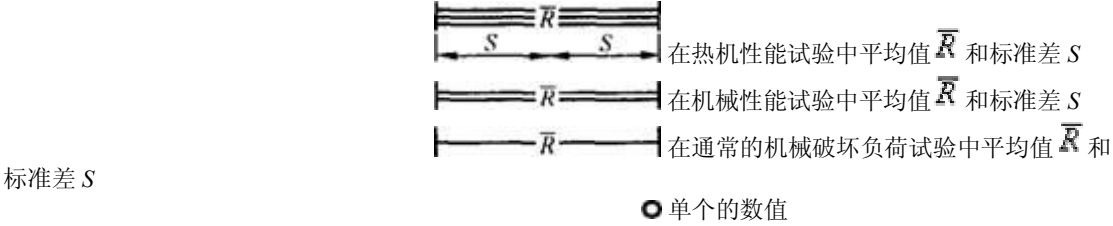
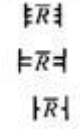
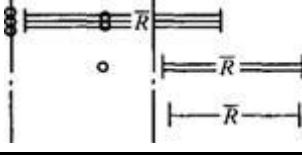
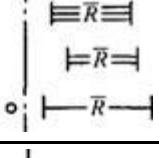
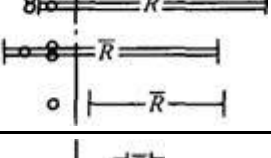
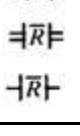


表 A.5 盘形悬式绝缘子串元件 CP14~CP21 试验结果摘要



绝缘子串 元件型式 (标志代号)	机电或机械破坏负荷	破坏情况
CP14		仅金属附件破坏
CP15		24 只绝缘件破坏。其中有 6 只低于额定负荷值, 6 只金属附件破坏
CP16		18 只绝缘件破坏, 其中有 1 只低于额定负荷值, 12 只金属附件破坏
CP17		29 只绝缘件破坏, 其中有 7 只低于额定负荷值, 1 只在低于额定负荷值时帽拉脱
CP18		1 只绝缘件破坏, 35 只金属附件破坏

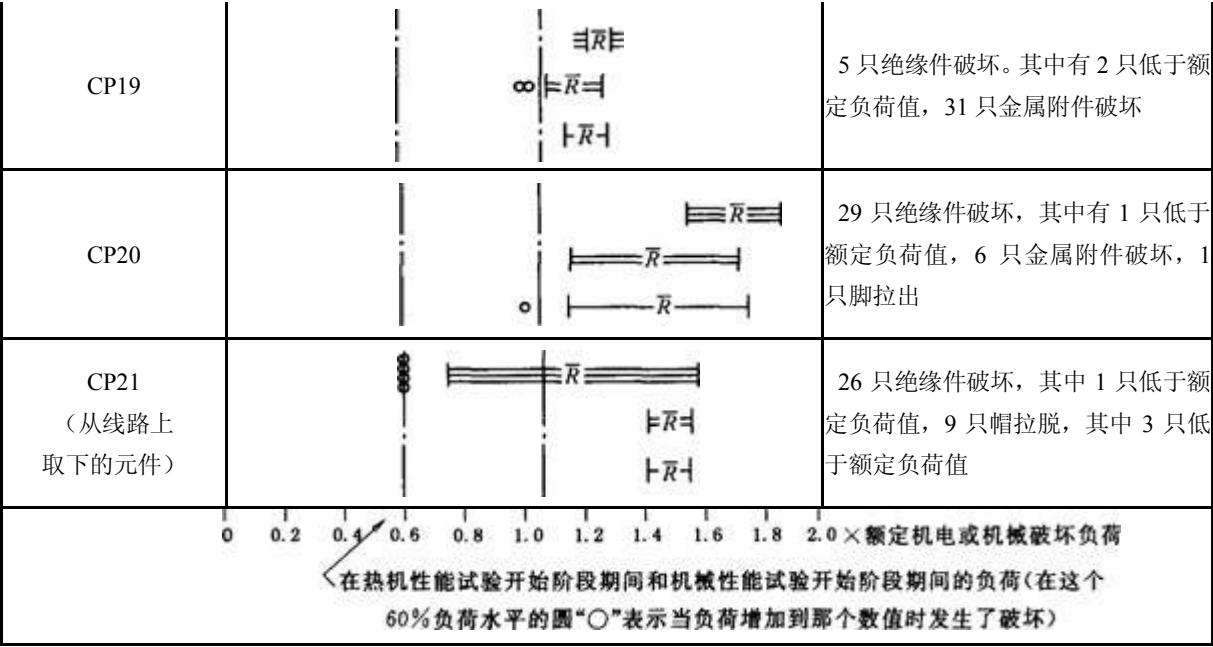


表 A.6 长棒形绝缘子串元件试验结果摘要



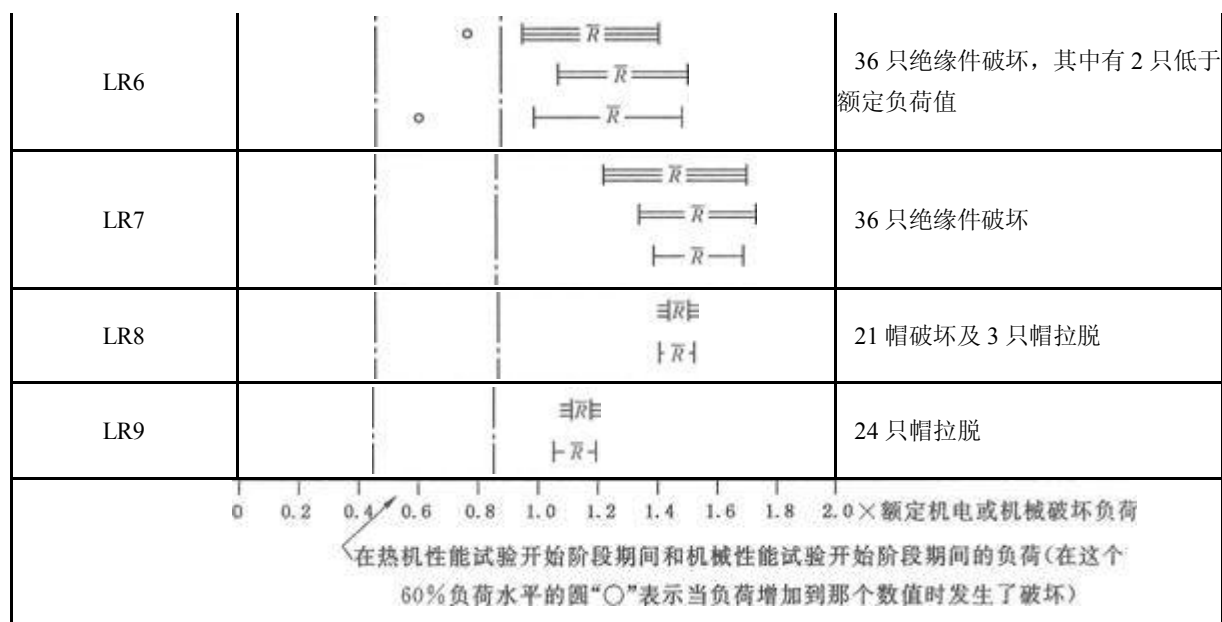


表 A.7 盘形悬式绝缘子串元件在低于额定负荷值下出现破坏的数量

绝缘子串元件型式 (标志代号)	热机性能试验	机械性能试验	通常的机电或机械破坏负荷试验
CP1 (从线路上取下的元件)	8	2	2
CP2	9	无	2
CP3 (从线路上取下的元件)	8	7	8
CP4 (从线路上取下的元件)	10	8	8
CP5 (从线路上取下的元件)	2	无	无
CP5 (1951~1971 年库存元件)	2	1	无
CP6 (从线路上取下的元件)	无	无	(1) ^a
CP7 (从线路下取下的元件)	无	—	无
CP8 (从线路下取下的元件)	无	无	无
CP9 (从线路下取下的元件)	(1) ^b	无	(1) ^a
CP10	2		无
CP11	无	无	无
CP12	无	无	无

CPI3	7	5	5
CPI4	无	无	无
CPI5	5	1	无
CPI6	无	无	1
CPI7	3	4	1
CPI8	无	无	无
CPI9	无	2	无
CP20	无	无	1
CP21 (从线路上取下的元件)	4	无	无
^a 恰好低于额定负荷值破坏的元件。 ^b 被另一元件替换下的元件。			

表 A.8 长棒形绝缘子串元件在低于额定负荷值下出现破坏的数量

绝缘子串元件型式 (标志代号)	热机性能试验	机械性能试验	通常的机电或机械破坏负荷试验
LR1	(1) ^a	无	无
LR2	无	无	无
LR3	无	1	无
LR4	8	5	(1) ^a
LR5	1	无	无
LR6	1	无	1
LR7	无	无	无
LR8	无	—	无
LR9	无	—	无
^a 恰好低于额定负荷值破坏的原件。			

A.6 试验结果判断标准

正如从结果概述中看到的,某些型式的绝缘子其性能试验结果与通常的机电或机械破坏负荷试验结果完全一致,而另一些则不一致。显然可以说,在热机性能试验中所包含的温度变化及施加负荷与除去负荷在某种情况下对绝缘子串元件的机械强度有影响,同样在机械性能试验中,仅仅施加负荷和除去负荷在某些情况下也会降低绝缘子的强度,但不太显著。就已讲到的运行经验来说,这些情况或多或少与现场中事故频率相关。相对的情况也是存在的,即在试验中良好的绝缘子性能与极好的运行记载相关。

当判断性能试验结果时,基本对点是性能试验的结果与通常的机电或机械破坏负荷试验结果相一致。因此对通常的机电或机械破坏负荷试验所规定的机电或机械破坏负荷在性能试验中也应达到。

考虑破坏情况可能是有帮助的。

试验结果连同运行经验是接收或拒收这样一个不可争辩的依据。此外,可加上达到最大负荷和最终破坏之前不允许发生击穿这样一种严格的判断。

在前面已提及的 IEC 报告 (出版物 591) 中与平均值和标准差的公式一起,推荐了一个计及平均值大小和标准差大小的指数 Q_s 。采用这个指数作为接收或拒收的一个基本依据是有效的。该指数由下式表示:

$$Q_s = \frac{\bar{R} - R_s}{S}$$

式中：

\bar{R} ——试验的平均值；

R_s ——规定的机电或机械破坏负荷（额定负荷值）；

S ——标准差。

因为设计准则和材料的不同， Q_s 的变化范围对不同的盘形悬式绝缘子的结构是不相同的，并且盘形悬式绝缘子的变化范围和长棒形绝缘子的变化范围也可能是不同的。

下面给出相应于不同试品数量的不同接收常数 K ：

试品数量	接收常数 K
5 个元件	1.40
10 个元件	1.58
15 个元件	1.65
20 个元件	1.69
25 个元件	1.72
30 个元件	1.73

如果 Q_s 等于或大于接收常数 K ，则认为满足了要求。这个要求的意思简单地说就是其 \bar{R} 对于 5 只被试元件的情况应至少等于 $Q_s + 1.40S$ ，而对于 10 只被试元件的情况应至少等于 $R_s + 1.58S$ ，等等。

已将表 A.3 至表 A.6 所给出的在性能试验中和通常的机电或机械破坏负荷试验中所得到的平均值和标准差值转化为 Q_s 值（见表 A.9 和表 A.10）。用括号标注的数字是低于接收常数的。

表 A.9 被试盘形悬式绝缘子串元件指数值 Q_s （参见表 A.3、表 A.4 和表 A.5）

绝缘子串元件型式 (标志代号)	相应于热机性能 试验结果的 Q_s 值 ^a	相应于机械性能 试验结果的 Q_s 值 ^a	相应于通常的机电或机械破坏 负荷试验结果的 Q_s 值 ^a
CP1 (从线路上取下的元件)	(-2.08)	(0.88)	(0.84)
CP2	(-) ^b	1.69	(0.51)
CP3 (从线路上取下的元件)	(-0.78)	(0.47)	(-0.46)
CP4 (从线路上取下的元件)	(-) ^b	(0.97)	(-1.02)
CP5 (从线路上取下的元件)	(0.75)	(1.16)	1.93
CP5 (1951~1971 年库存元件)	(0.54)	(0.41)	(1.18)
CP6 (从线路上取下的元件)	1.98	2.90	2.22
CP7 (从线路上取下的元件)	2.49	—	4.35
CP8 (从线路上取下的元件)	6.66	7.93	4.21
CP9 (从线路上取下的元件)	1.80 ^c (0.97)	2.37	2.74

CP10	(0.21)	—	(1.47)
CP11	7.06	4.92	15.04
CP12	5.50	3.88	4.00
CP13	(-0.37)	(0.07)	(0.23)
CP14	8.00	4.05	6.79
CP15	(-0.32)	(1.31)	(1.46)
CP16	2.10	2.53	(1.50)
CP17	(-0.65)	(0.28)	(1.38)
CP18	5.86	6.83	9.00
CP19	10.75	(1.50)	3.00
CP20	4.38	(1.53)	(1.41)
CP21 (从线路上取下的元件)	(0.27)	4.67	6.44
^a 括号内的数字是低于接收常数 K 的。 ^b 在试验的开始阶段期间施加 60% 的负荷后发现所有的绝缘子元件都已破坏。 ^c 考虑了被替换元件时的 Q_s 值。			

从表 A.9 可以看到，盘形悬式绝缘子串元件 CP6、CP7、CP8、CP9（被替换的元件不考虑）、CP11、CP12、CP14 和 CP18 在所有三项试验中均满足了接收常数 K 。同时还看到 Q_s 值从 1.8 到 15.04 差别很大。一般地说，大大超过接收常数 K 的 Q_s 值是由于试验结果中分散性极小所致，而分散性小是因为试验时试品数量很小引起的。也就是说这是个偶然性问题，而不能作为性能优越的标志。例如，CP11 元件在试验中得到的强度用平均值和标准偏差表示时几乎等于 (113.2 ± 4.7) kN、 (112.0 ± 6.5) kN 和 (120.6 ± 2.7) kN，而且仅是金属附件破坏。但是其相应的 Q_s 值很不一样，分别为 7.06、4.92 和 15.04。

表 A.10 被试长棒形绝缘子串元件的指数值 Q_s （参见表 A.6）

绝缘子串元件型式 (标志代号)	相应于热机性能 试验结果的 Q_s 值 ^a	相应于机械性能 试验结果的 Q_s 值 ^a	相应于通常的机电或机械破坏 负荷试验结果的 Q_s 值 ^a
LR1	3.04	4.79	3.45
LR2	1.91	1.98	1.72
LR3	(-0.04)	(1.58)	3.95
LR4	1.83	(0.63)	(1.17)
LR5	(1.42)	3.75	3.17
LR6	2.71	1.74	(1.50)
LR7	12.11	3.73	5.17
LR8	6.87	—	9.25
LR9	—	—	5.11
^a 括号内的数字是低于接收常数 K 的。			

盘形悬式绝缘子串元件 CP1、CP2、CP3、CP4、CP5、CP10、CP13、CP15 和 CP17（见表 A.9）不论在性能试验中或是在通常的破坏负荷试验中，除 CP2 元件的 Q_s 值 1.69 和 CP5 元件的 Q_s 值 1.93 外，其余的 Q_s 值都没有达到或等于接收常数 K 。但是，可以讲明，就 CP5、CP10、CP15 和 CP17 元件而言，相应于通常的破坏负荷试验结果的 Q_s 值或多或少地是取决

于偶然性的。在这些情况中， Q_s 值也可能等于或大于接收常数 K ，但是，在热机性能试验中所获得的结果非常清楚地说明这些元件按机械强度来分应属于坏的一类。

盘形悬式绝缘子串元件 CP21 仅在热机性能试验方面显示出不良的性状。

盘形悬式绝缘子串元件 CP16、CP19 和 CP20 在通常的破坏负荷试验和（或）机械性能试验中显示出低于接收常数 K 的 Q_s 值。因此，可以把它们当作近乎有疑问的型式（或批次）。

关于长棒形绝缘子串元件，显而易见，LR4 元件在帽在强度方面是不好的（见表 A.6）。

A.7 结论

正如运行经验表明，热机性能试验中所获得的结果能与运行记录很好地吻合。显然，实用的热机试验方法可以考虑作为一种有效的型式试验。

建议将机械性能试验作为一种抽查试验以代替旧的 24h 机械试验。这种试验似乎仅对有严重制造缺陷的情况有效果。但这种试验无论如何可以认为比 24h 试验更严格些。但是有必要指出，希望有一种更为有效的抽查试验。

附录 B (资料性附录)

本标准章条编号与 IEC/TR 60575：1977 章条编号对照

表 B.1 给出了本标准章条编号与 IEC/TR 60575：1977 章条编号对照一览表。

表 B.1 本标准章条编号与 IEC/TR 60575：1977 章条编号对照

本标准章条编号	IEC 60575：1977 章条编号
1	1
2	—
3	—
4	3
5	4
附录 A	附录 A
附录 B	—
附录 C	—

附录 C (资料性附录)

本标准与 IEC/TR 60575：1977 技术性差异及原因

表 C.1 给出了本标准与 IEC/TR 60575：1977 技术性差异及原因的一览表。

表 C.1 本标准与 IEC/TR 60575：1977 技术性差异及原因

本标准章条编号	技术差异	原因
4.2.1	对绝缘子串元件所施加的拉伸负荷大小由“规定的机电或机械破坏负荷的 60%”修改为“规定的机电或机械破坏负荷的 60%~65%”。 低温由原来的“ $-30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ”修改为“ $-30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ （或 $-40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）” 冷热循环试验中增加了最小温差 70K（或 80K）的要求。	GB/T 1001.1—2003 中采用此规定，在此本标准做相应修改，使本标准能满足 GB/T 1001.1—2003 的要求。 低温为“ -40°C ”是我们使用方提出的要求，并已得到广泛的采用。

5.2.1	对绝缘子串元件所施加的拉伸负荷大小由“规定的机电或机械破坏负荷的 60%”修改为“规定的机电或机械破坏负荷的 60%~65%”。	与本标准 4.2.1 统一。
4.3 5.3	增加判据“在循环期间中，有任何一个绝缘子损坏，则这些绝缘子不符合本标准。” 在破坏负荷试验中增加判据“得到的破坏负荷值和破坏情况，应符合 GB/T 1001.1 的 20.4 中型式试验判定程序的规定”。	IEC/TR 60575: 1977 中没有明确提出判据，使其执行存在一定困难。在此本标准增加判据，以保证本标准的完整性和可执行性。
