

中华人民共和国国家标准

GB/T 25121—2010

轨道交通 机车车辆设备 电力电子电容器

Railway applications—Rolling stock equipment—
Capacitors for power electronics

(IEC 61881:1999, MOD)

2010-09-02 发布

2011-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 使用条件	5
4.1 正常使用条件	5
4.2 非正常使用条件	6
5 质量要求和试验	6
5.1 试验要求	6
5.2 试验类别	6
5.3 电容值与 $\tan\delta$ 的测量	7
5.4 电容器损耗角正切 ($\tan\delta$) 的测量	8
5.5 端子间的电压试验	8
5.6 端子与外壳间的交流电压试验	8
5.7 内部放电器件的试验	9
5.8 密封性试验	9
5.9 浪涌放电试验	9
5.10 热稳定试验	9
5.11 自愈性试验	10
5.12 谐振频率的测量	10
5.13 环境试验	10
5.14 机械试验	11
5.15 耐久性试验	11
5.16 破坏性试验	13
5.17 熔丝的断开试验	16
5.18 局部放电测量	17
6 最高允许电压	17
7 安全要求	18
7.1 放电装置	18
7.2 外壳连接	18
7.3 环境保护	18
7.4 其他安全要求	18
8 单元的标志	18
8.1 铭牌	18
8.2 警告牌	19
8.3 数据表	19
9 安装及应用导则	19
9.1 概述	19

9.2	额定电压的选择	19
9.3	工作温度	19
9.4	特殊使用条件	20
9.5	过电压	20
9.6	过电流	20
9.7	投切和保护装置	20
9.8	爬电距离和电气间隙的选择	20
9.9	连接件	20
9.10	电容器的并联	21
9.11	电容器的串联	21
9.12	磁损耗和涡流	21
9.13	熔丝和隔离器保护导则	21
附录 A (资料性附录)	本标准章条与 IEC 61881:1999 章条对照	22
附录 B (资料性附录)	波形	23
附录 C (规范性附录)	在作为频率函数的正弦电压和最高温度(θ_{\max})下电容器的运行限值	25
附录 D (规范性附录)	谐振频率的测量方法 示例	27
参考文献		29

前 言

本标准采用重新起草法修改采用 IEC 61881:1999《轨道交通 机车车辆设备 电力电子电容器》(英文版)。附录 A 给出本标准章节与 IEC 61881 的章节对应关系。

本标准与 IEC 61881:1999 存在技术性差异,这些差异涉及的条款的页边空白处用垂直单线(|)进行标示。本标准与 IEC 61881:1999 的技术性差异及其原因如下:

- 由于 IEC 60080 和 IEC 60166 已经废止,故删除;
- 规范性引用文件中引用了采用对应于国际标准的我国标准;并增加 GB/T 16935.1;
- 由于在 GB/T 21413.1—2008 中,正常工作海拔为 1 400 m,故本标准也作相应更改;
- 在 9.3 原文基础上增加 9.3.1 概述,后继子章节递增;
- 9.8 原文为“正在考虑中”,本标准对此具体化,改为“套管、对地绝缘子、台架间绝缘子等均应符合 GB/T 16935.1,要确保所有有关气候条件,尤其是湿度急剧变化等必要条件,需经制造厂和购买方共同确定。”。

为便于使用,本标准还做了下列编辑性修改:

——修改了在 IEC 61881:1999 存在的错误:

- a) 2.15.4 和 2.15.5 中所引用的条款错误,分别应为“2.15.2”和“2.15.2 和 2.15.4”,在本标准中改为“5.15.2”和“5.15.2 和 5.15.4”;
- b) 2.16.2 中引用条款“2.17.5”应为“2.17.4”,在本标准中改为“5.17.4”;
- c) 试验 Nb 无转换时间,应该是试验 Na;
- d) IEC 61881 表 6 注 3 中 $U_i = U_r = (1.25 \div 1.35)U_N$,在本标准中改为“ $U_i = U_r = (1.25$ 或 $1.35)U_N$ ”。

——5.2 增加表 2《试验项目一览表》,原表 2 及后表序号顺序递增。

本标准是在 TB/T 3075—2003《铁路应用 机车车辆设备 电力电子电容器》的基础上制定。

本标准的附录 C、附录 D 是规范性附录,附录 A、附录 B 是资料性附录。

本标准由中华人民共和国铁道部提出。

本标准由全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278)归口。

本标准主要起草单位:宁波市江北九方和荣电气有限公司。

本标准参加起草单位:株洲南车时代电气股份有限公司、西南交通大学。

本标准主要起草人:于智强。

本标准参加起草人:冯晓云、王秋华。

轨道交通 机车车辆设备

电力电子电容器

1 范围

本标准适用于轨道交通机车车辆中使用的电力电子电容器。

本标准所涉及的电容器的额定电压最高到 10 000 V。

采用此类电容器系统的工作频率通常低于 2 500 Hz,而脉冲频率可高达几千赫,在某些情况下可能超过 10 000 Hz。

电容器分为交流电容器和直流电容器两种。

电容器作为部件安装在壳体中。

注:本标准适用的电容器技术范围很广,包括过电压保护、直流和交流滤波器、开关电路、直流储能、辅助变流器等许多应用中使用的电容器。

本标准不适用于以下电容器:

- 频率在 40 Hz~24 000 Hz 之间的感应加热装置用电容器(见 GB/T 3984.1 和 GB/T 3984.2);
- 交流电动机使用的以及类似的电容器(见 GB/T 3667.1);
- 用于电力供电网中抑制一种或多种谐波的电路中使用的电容器;
- 用于荧光灯和放电灯用的小型交流电容器(见 GB 18489 或 GB/T 18504);
- 抑制电磁干扰用的电容器(见 GB/T 14472);
- 额定电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器(见 GB/T 11024.1、GB/T 11024.2);
- 额定电压 1 000 V 及以下的交流电力系统用自愈式并联电力电容器(见 GB/T 12747.1、GB/T 12747.2);
- 额定电压 1 000 V 及以下的交流电力系统用非自愈式并联电力电容器(见 GB/T 17886.1、GB/T 17886.2 和 GB/T 17886.3);
- 用于非主电路的电子电容器;
- 电力系统用串联电容器(见 GB/T 6115.1、GB/T 6115.2 和 GB/T 6115.3);
- 耦合电容器及电容分压器(见 GB/T 19749);
- 用于要求储存能量/大电流放电,如影印机和激光机中的电容器;
- 微波炉用电容器。

示例在第 9 章中给出。

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 2423.3 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Cab: 恒定湿热试验 (GB/T 2423.3—2006, IEC 60068-2-78; 2001, Environmental testing—Part 2-78; Tests—Test Cab: Damp heat, steady state, IDT)

GB/T 2423.22—2002 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 N: 温度变化

(IEC 60068-2-14:1984, Basic environmental testing procedures—Part 2: Tests—Test N: Change of temperature, IDT)

GB/T 2423.28 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验T:锡焊(GB/T 2423.28—2005, IEC 60068-2-20:1979, Basic environmental testing procedures—Part 2: Test—Test T: Soldering, IDT)

GB/T 4798.5 电工电子产品应用环境条件 第5部分:地面车辆使用(GB/T 4798.5—2007, IEC 60721-3-5:1997, Classification of environmental conditions—Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities—Section 5: Ground vehicle installations, MOD)

GB 13539.1 低压熔断器 第1部分:基本要求(GB 13539.1—2008, IEC 60269-1:2006, IDT)

GB/T 16935.1 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验(GB/T 16935.1—2008, IEC 60664-1:2007, IDT)

GB/T 21563 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验(GB/T 21563—2008, IEC 61373:1999, IDT)

IEC 60068-2-21:1992 电子电工产品基本环境试验规程 第2部分:试验方法 试验U:引出端及整体安装件强度

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

电容器元件(或元件) capacitor element (or element)

电容器不可再分的部件,它由被电介质隔开的两个电极构成。

3.2

电容器单元(或单元) capacitor unit (or unit)

由一个或多个电容器元件组装于同一外壳中并有引出端子的组装体。

3.3

电容器组 capacitor bank

电气上连接在一起的两个或多个电容器单元的组装体。

3.4

电容器 capacitor

在不需表明其是元件、单元或电容器组时所用的一般术语。

3.5

电容器设备 capacitor equipment

电容器单元和用来连接到网络上的附件的组合体。

3.6

电力电子电容器 capacitor for power electronics

用于电力电子设备中,并能在正弦及非正弦电流和电压下连续运行的电力电容器。

3.7

金属箔电容器(非自愈式) metal-foil capacitor (non self-healing)

电极通常由电介质隔开的金属箔构成的电容器。如果电介质被击穿,电容器不能够自行恢复。

3.8

自愈式金属化电介质电容器 self-healing metallized dielectric capacitor

采用金属化层(通常需蒸镀)作为电极的电容器。如果电介质被击穿,电容器能够自行恢复。

3.9

交流电容器 a. c. capacitor

设计用于在交流电压下工作的电容器。

注：只有在得到电容器制造商的认可后，交流电容器方可用于其额定电压及以下的直流电压场合。

3.10

直流电容器 d. c. capacitor

设计用于在直流电压下工作的电容器。

注：只有在得到制造商的认可后，直流电容器才可用于交流电压场合。

3.11

模型电容器 model capacitor

电气试验中，在电气、热力和机械状况的严酷度均不降低的条件下，模拟完整单元或元件的较小单元。

注：应考虑综合应力，例如，温度、机械条件与电气强度的综合。

3.12

内部(元件)熔丝 internal (element) fuse

装在电容器内部的，当发生击穿时断开一个或一组元件的器件。

3.13 过压力装置

3.13.1

过压力隔离器 overpressure disconnecter

在电容器内，设计用于在电容器失效时切断电流通路的隔离装置。

3.13.2

过压力检测器 overpressure detector

通过电气开关/信号检测内部压力异常增加并间接切断电流通道的装置。

3.14

内部放电器件 internal discharge device

装在电容器内部，接在单元的两端，在电容器与电源断开后能迅速有效地将电容器上的剩余电压降到零的器件。

3.15

交流额定电压(U_N) rated a. c. voltage

设计电容器时所采用的、波形可正负变换的、在任一极性下的最高工作峰值周期电压。

注1：波形可能有多种形状，附录B给出了示例。

注2：波形的平均值可能是正值或负值。

注3：要注意交流额定电压不是方均根值。

注4：本标准所用的定义不同于GB/T 21413.1。

3.16

直流额定电压(U_{NDC}) rated d. c. voltage

设计电容器时，考虑连续运行状态所采用的、但不能变换方向的任一极性的最高工作峰值电压。

用于门极关断晶闸管(GTO)的阻尼电容器可以看作纹波电压等于额定直流电压($U_{NDC} = U_r$)的直流电容器。

在反向电压情况下，使用时应该经用户与制造商商定。

注：如果反向电压较小(小于额定电压的10%)，电压波形可认为没有反向。基于实验目的， U_{NDC} 和 U_r 应该增加反向电压 U 。

3.17

纹波电压(U_r) ripple voltage

单向电压的峰到峰的交流分量。

3.18

不重复浪涌电压(U_s) non-recurrent surge voltage

由于通断或系统其他干扰所导致的峰值电压,此电压只允许持续比基本周期短的时间和出现有限的次数。

3.19

绝缘电压(U_i) insulation voltage

电容器端子对外壳或对地的绝缘正弦波电压的方均根值。如果不作规定,绝缘电压的方均根值就等于额定电压除以 $\sqrt{2}$ 。

3.20

最大峰值电流(\hat{I}) maximum peak current

在连续工作期间可能发生的最大峰值电流。

3.21

最大电流(I_{max}) maximum current

连续运行时的最大方均根电流。

3.22

最大浪涌电流(\hat{I}_s) maximum surge current

由于通断或系统其他干扰所导致的允许峰值电流,此电流只允许出现有限的次数。

3.23

脉冲频率(f_p) pulse frequency

周期性电流脉冲的重复频率。

3.24

电流脉冲宽度(τ) current pulse width

电容器从一个电压值充电或放电到另一个电压值的过程中电流流过的时间。

注:脉冲电流波形的示例参见附录 B。

3.25

谐振频率(f_r) resonance frequency

电容器阻抗为最小值时的最低频率。

3.26 工作周期

3.26.1

持续工作周期 continuous duty

在大多数时间里电容器处于热平衡状态的工作时间。

3.26.2

间断工作周期 intermittent duty

不连续工作或变动负荷工作,它们应以“通/断”或“高/低”周期与持续时间来标识。

3.27

工作温度 operating temperature

在热平衡状态时电容器外壳最热点的温度。

3.28

最低工作温度(θ_{min}) lowest operating temperature

电容器可以赋能的最低温度。

3.29

外壳温升($\Delta\theta_{\max}$) **container temperature rise**

外壳最热点的温度与冷却空气温度的差值。

3.30

冷却空气温度(θ_{\max}) **cooling-air temperature**

在稳态条件下,两单元之间中间点测得的电容器最热位置的冷却空气的温度。

如果所涉及的仅为一个单元,此温度则指在大约离电容器外壳 0.1 m 和距其基底 2/3 高处所测得的空气温度。

3.31

最高工作温度(θ_{\max}) **maximum operating temperature**

电容器可以工作的最高外壳温度。

3.32

稳态 **steady-state conditions**

在恒定输出和恒定冷却空气温度下电容器达到的热平衡。

3.33

电容器损耗 **capacitor losses**

电容器所消耗的有功功率。

注:除非另有说明,电容器的损耗应理解为包括作为电容器组成部分的熔丝和放电电阻的损耗。

在高频时,电容器的损耗主要为连接件、接触点和电极引起的损耗。

3.34

电容器损耗角正切($\tan\delta$) **tangent of the loss angle of a capacitor**

在规定的正弦交流电压和频率下,电容器等效串联电阻与容抗的比值。

3.35

电容器的等效串联电阻 **equivalent series resistance of a capacitor**

一个有效电阻,当它和所考核的电容器有相等电容值的理想电容器相串联时,在规定的运行条件下,该电阻中的损耗功率将等于该电容器中耗散的有功功率。

3.36

最大损耗功率(P_{\max}) **maximum power losses**

在最高外壳温度条件下,电容器可承载的最大损耗功率。

3.37

最大损耗功率和最大电流时的最高频率(f_2) **maximum frequency for maximum power loss and maximum current**

指电容器在最大电流(I_{\max})时产生最大损耗功率(P_{\max})时的频率。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

4.1.1 海拔

不超过 1 400 m。

注:如果海拔超过 1 400 m,应考虑海拔对于对流冷却和外部绝缘的影响。

4.1.2 温度

气候环境温度由 GB/T 4798.5 的 5K2 类中得出,其范围从 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

环境温度超出这个范围,应由用户和制造商商定。

电容器可以工作的外壳温度上限值 θ_{\max} 应在 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 值中选择。

4.1.3 强迫冷却下的运行温度

如果用流动介质对电容器进行强迫冷却,则应遵守 4.1.2 中规定的工作温度条件。

应优先采用表 1 所提供的冷却液体的温度;

表 1 无时间限制时冷却介质的最高温度

入口温度/℃	出口温度/℃
35	40
45	50
55	60

冷却液的最低入口温度可以是一25℃。

有两种方法规定冷却介质的温度上限,既可使用入口温度也可使用出口温度。

除非另有协议,方法的选择一般应由电容器制造商决定。

对于使用入口温度的方法,应规定冷却介质的流量。

4.2 非正常使用条件

除非制造商与买方另有协议,本标准不适用于那些使用条件通常不符合本标准要求的电容器。

非正常使用条件要求增加测试,以保证即使在这些非正常使用条件下也能遵循本标准的条件。

5 质量要求和试验

5.1 试验要求

5.1.1 概述

本条给出电容器单元的试验要求。

5.1.2 试验条件

除非对于特殊的试验或测量另作规定,电容器电介质的温度应在+5℃~+35℃范围内。

如需校正,除非制造商与买方之间另有协议,基准温度应为+20℃。

注:如果电容器在恒定的环境温度下为了达到热平衡状态保持不赋能状态一段适当的时间,则可以认为电介质温度与环境温度相同。

除非另有规定,交流试验和测量应在 50 Hz 或 60 Hz 正弦电压下进行。

5.2 试验类别

5.2.1 概述

表 2 列出了电容器应进行的试验项目和试验类别。

表 2 试验一览表

试验类型	型式试验	例行试验	条款
电容值和 $\tan\delta$ 的测量		√	5.3
电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量	√		5.4
端子间的电压试验	√	√	5.5
端子与外壳间的交流电压试验	√	√	5.6
内部放电器件的试验	√	√	5.7
密封性试验		√	5.8
浪涌放电试验	√		5.9
热稳定试验	√		5.10
自愈性试验	√		5.11

表 2 (续)

试验类型	型式试验	例行试验	条 款
谐振频率的测量	√		5.12
环境试验	√		5.13
机械试验	√		5.14
目检		√	5.14.2
耐久性试验	√		5.15
破坏性试验	√		5.16
熔丝的断开试验	√		5.17
局部放电测量 ^a	√		5.18
^a 该试验为可选型式试验。			

5.2.2 例行试验

在交货之前,制造商应对每一个电容器做例行试验。

如有要求,制造商应提供详细说明该类试验结果的证明书。

试验顺序如上所示。

5.2.3 型式试验

除非另有规定,每一个用于型式试验的电容器样品应首先满足所有例行试验的要求。

型式试验是用来验证电容器设计的完善性及电容器在按本标准所详述的条件下运行的适应性。

型式试验应由制造商进行,在有要求时应向买方提供详列这些试验结果的证明书。

这些试验应在与合同具有相同设计要求的—个电容器上进行,或者在试验中给出的相同或更严格的试验条件所设计的—个电容器上进行。

不要求全部型式试验都在同一个电容器样品上进行。

5.2.4 验收试验

按照与买方的协议,制造商可能要进行的例行试验或型式试验或其中的某些试验。

作这些重复试验的试品数量、验收准则以及是否允许发送这些单元中的任何—件,均应由制造商与买方商定并应在合同中加以说明。

5.3 电容值与 $\tan\delta$ 的测量

5.3.1 测量程序

电容值和 $\tan\delta$ 的测量应在制造商选择的电压和频率下进行。

采用的测量方法应足以排除由于谐波或被测电容器外部附件(例如测量电路中的电抗器和隔直电路)所引起的误差。

测量方法的准确度应予以规定,对于电容值的测量,准确度应优于 0.2%,对 $\tan\delta$ 的测量准确度应优于 10%,但当测试频率在 50 Hz~60 Hz 时,准确度不必优于 1×10^{-4} 。

电容值测量应在端子间的电压试验(见 5.5)之后进行。

对于有内部熔丝的电容器,在电压试验之前也应进行电容值测量。

5.3.2 电容的允许偏差

若无其他规定,所测得的电容值与额定电容值之差(T_d)应在 $-10\%\sim+10\%$ 的范围之内。

5.3.3 损耗要求

有关电容器损耗的要求可由制造商与买方双方商定。

注:制造商可根据协议规定提供在温度范围内,在额定输出的稳态条件下,电容器损耗与环境温度的函数曲线或表格。

5.4 电容器损耗角正切(tanδ)的测量

5.4.1 测量

5.4.1.1 交流电容器

电容器损耗角正切(tanδ)的测量应在热稳定试验(见 5.10)结束时进行。测量电压应为热稳定试验的电压,频率应在 50 Hz~120 Hz 的范围内。

5.4.1.2 直流电容器

该测量应在 50 Hz~60 Hz 的频率范围内,在 $\frac{1}{2\sqrt{2}}U_r$ (U_r 为纹波电压)下进行。

注:电极、连接件、引线和端子中的损耗皆为频率的函数,并且能够计算。

5.4.2 损耗要求

按 5.4.1 所测得的 tanδ 不应超过制造商所声明的值或制造商和买方双方商定的值。

5.5 端子间的电压试验

5.5.1 概述

试验应按表 3 进行。

表 3 端子间的试验电压

	交流电容器		直流电容器	
	非自愈式	自愈式	非自愈式	自愈式
交流试验电压方均根值	1.5U _n	1.25U _n		
直流试验电压	2.15U _n	1.75U _n	2U _n	1.5U _n

如果电容器用于间断工作周期(见 3.26)或短时制,则表 3 中标明的试验电压值可以降低,新的电压值可由用户和制造商商定。对于直接接至电网的电容器,端子间的试验电压可根据制造商和用户达成的协议增加。

注 1:假如电压增加 10%,持续时间可以减少到 2 s。

注 2:交流试验电压频率可为 50 Hz 或 60 Hz。

5.5.2 例行试验

每个电容器在环境温度下应承受 5.5.1 中任一项试验,持续时间为 10 s,由制造商选择。在试验过程中,不允许出现击穿和闪络。

允许自愈性击穿。

对于所有元件并联的单元来说,如果电容值的允许偏差仍满足要求,那么内部元件熔丝的熔断是允许的。

注:如果必要,该试验仅可重复进行一次。

5.5.3 型式试验

电容器在最高外壳温度时,应承受 5.5.1 中任一项电压试验,持续 1 min。

由制造厂选择来做。

在端子间进行电压试验后,对电容值和 tanδ 进行测量。

5.6 端子与外壳间的交流电压试验

5.6.1 例行试验

所有端子均与外壳绝缘的单元应能承受施加在连接在一起的端子与外壳间的电压,持续 10 s。

试验电压值如下:

$$U_{i,case} = (2U_i + 1\ 000\ V) \text{ 或 } 2\ 000\ V, \text{ 取两者中较大值。}$$

式中:

U_i ——绝缘电压。

电容器的绝缘电压值应由用户规定。除非另有规定,绝缘电压等于电容器额定电压的 $1/\sqrt{2}$ 。

在试验过程中,不应出现击穿和闪络。即使某个端子拟在使用中连接外壳,也要进行此项试验。对于一个端子固定连接外壳的单元,则不应进行该试验。

注1: 如果电容器(带金属外壳)装有外部过压力检测器,则检测器的端子应短接后再与外壳相连。

注2: 过压力检测器与外壳之间的电压试验宜由制造商与买方商定。

注3: 如果必要,该试验仅可重复进行一次。

5.6.2 型式试验

所有端子均与外壳绝缘的单元均应用与5.6.1中相同的电压值进行试验,但持续时间为1 min。对于直接与电网相连的电容器,试验电压可根据用户与制造商达成的协议增加。

对外壳绝缘的电容器在试验期间应有一层金属箔紧紧包裹在四周。

5.7 内部放电器件的试验

内部放电器件(如有)的电阻,应以测量电阻值或以测量自放电速率来检验。

该试验应在5.5中规定的电压试验之后进行。

5.8 密封性试验

无能量的电容器单元应均匀地加热到至少比最高运行温度高5℃,并应在此温度下至少保持三倍的热常数时间,但不应少于2 h。

不应发生渗漏。建议使用合适的指示器。

电容器的渗漏源可目测。

电容器单元的试验位置按照制造商和用户之间的协议进行,同时考虑装置的使用位置。

注: 如果电容器不含有液态物质,则由制造商来选择试验方法,并可抽样进行试验。

5.9 浪涌放电试验

应以直流源对单元充电,然后通过尽量靠近电容器的放电器进行放电。单元应在10 min内承受5次这样的放电。

试验电压应等于 $1.1U_N$ 。

在此试验以后的5 min内,对单元作端子间的电压试验见5.5。

在放电试验之前和电压试验之后均应对电容器进行测量。测量值的变化量应低于相当于一个元件击穿或一个内部熔丝熔断的变化量。

对于自愈式电容器,电容值的变化量应小于±1%。

采用公式(1)进行核算:

$$\tan\delta = 1.2\tan\delta_0 + 1 \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$\tan\delta$ ——试验后的值;

$\tan\delta_0$ ——试验前的值。

然而如果规定了最大浪涌电流,那么应通过改变充电电压和放电回路阻抗,将放电电流调整到公式(2)中的值:

$$\hat{I}_{\text{test}} = 1.4\hat{I}, \quad \dots\dots\dots(2)$$

5.10 热稳定试验

5.10.1 概述

本试验在交流电容器和直流电容器上进行,本试验旨在提供有关被测电容器的下列信息:

- a) 确定电容器在过载条件下的热稳定性;
- b) 电容器能进行再现性损耗测量的条件。

5.10.2 测量程序

应将电容器单元放置在一个密闭箱中,其冷却温度应为:

- a) 对于自然冷却,为制造商给出的温度值(θ_{amb})加 5 °C;
- b) 对于强迫冷却,为规定的出口冷却温度加 5 °C。

在电容器的各个部位均达到冷却介质的温度后,电容器应能承受基本上为正弦波形的交流电压至少 48 h。

在整个试验过程中,电压值和频率值保持不变。

电流值应为 $1.1I_{max}$ 。

电源条件按附录 C 所示,其功率 = $1.21P_{max}$ 。

在 6 h 内,外壳靠近顶部的温度至少应测量 4 次。在此 6 h 期间,温升增量不应超过 1 °C。

如果观察到温度变化较大,试验应继续进行,直至每 6 h 内的 4 次连续测量结果满足上述要求。

试验前后应在 5.1.2 规定的温度范围内测量电容值,并且应将两次测量值校正到同一电介质温度。

两测量值的差值应小于相当于一个元件击穿或内部熔丝熔断情况下的变化值。该试验结束时,测量 $\tan\delta$ (见 5.4.1)。

注 1: 当检验电容器损耗或温度条件是否满足要求时,试验过程中电压的波动、频率和冷却介质温度变化都应以考虑。为此,可将这些参数和外壳温度绘制成时间的函数关系曲线。

注 2: 如果电流值和功率损耗值分别保持为 $1.1I_{max}$ 和 $1.2P_{max}$,则试验可以按照制造商和购买方达成的协议用非正弦电压进行。

5.11 自愈性试验

若被试元件与单元使用的元件相同,并且其工作条件与单元的工作条件相似,则该试验可以在一个完整的单元上或者一个分离的元件上或者单元中的一组元件上进行,由制造商自行选择。

电容器单元或元件应承受 10 s 的直流电压,该直流电压取 1.1 倍不重复浪涌电压(U_s)或例行试验电压(交流电容器为 $1.75U_N$ 、直流电容器为 $1.5U_N$)两者中的较大者。

如果在此期间,击穿发生的次数不足 5 次,则应缓慢地增加电压直至从试验开始算起发生 5 次击穿为止,或者直至电压达到 $3.5U_N$ 为止。

如果当电压已达到 $3.5U_N$ 时,击穿发生的次数还不足 5 次,则可通过增高电压、提高温度、增加样品继续进行试验,直至发生 5 次击穿;也可以中断试验并在另一个相同的单元上重新进行。采用哪一种方法由制造商自行选择。

试验前后,应对电容值和 $\tan\delta$ 进行测量。电容值的变化不得大于或等于 0.5%。

对于 $\tan\delta$ 采用公式(3)进行核算:

$$\tan\delta = 1.1\tan\delta_0 + 1 \times 10^{-4} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$\tan\delta$ ——试验后的值;

$\tan\delta_0$ ——试验前的值。

5.12 谐振频率的测量

谐振频率应在 5.1.2 中规定的温度范围进行测量,应采用由连接线和附件所导致的误差最小的方法。

恰当的测量方法可从附录 D 所给出的两个示例中选择。

并非所有的应用需要进行此项测量。

注:自感可通过谐振频率计算,其值不宜超过制造商和用户之间的商定值。

5.13 环境试验

5.13.1 温度变化

买方和制造商商定电容器的上限和下限温度后,温度变化试验应按 GB/T 2423.22—2002 中的试验 Na 或 Nb 进行。

试验 Na 应在大约 1 h 的转换时间(1 °C/min)下进行。

5.13.2 恒定湿热

恒定湿热试验(见表4)应按照 GB/T 2423.3, 用与电容器的工作位置类别一致的严酷等级进行。

在长时试验开始之前, 应进行室温下的电容值测量。在恒定试验完成之后, 电容器按照 5.5.1 进行端子之间的电压试验和按照 5.6 进行端子与外壳的介电强度试验。

最后依照 5.3.1 中的规定, 在恒定的室温下测量电容值。

试验样品不得发生击穿和闪络, 但允许自愈式击穿, 电容值的变化不应超过 2%。

表 4 湿热试验

电容器应用类别	试验	试验环境	持续时间
	Ca	40 ℃/93%	56 d
	Ca	40 ℃/93%	21 d

5.14 机械试验

5.14.1 端子的机械试验

端子的强度应依照表 5 和表 6 进行试验。

表 5 端子的强度试验

序号	试验或测量	性能	试验要求
1	连接电缆与焊接连接件的拉伸强度	IEC 60068-2-21 U_{11}	单个电容器重量(=10 N)
2	连接线的柔韧度	U_{b1}	弯曲圈数: 2
3	焊接与扁插连接片连接的柔韧度	U_{b2}	对于导线与焊接连接片连接弯曲圈数也为: 2
4	同轴连接的扭转阻力	U_c	严酷等级 2
5	螺母与螺栓连接的扭断阻力	U_d	严酷等级 2
6	焊接连接件的可靠性与热阻	GB/T 2423.28	烙铁在 350 ℃, 尺寸 A

表 6 螺杆接线端子和螺栓通过电流的能力示例

最大持续电流有效值/A	螺栓的螺纹	螺栓材料	扭矩/N·m	
			最大值	最小值
10	M3.5	黄铜	0.8	0.4
16	M4		1.2	0.6
25	M5		2.0	1.0
63	M6		3.0	1.5
100	M8		6.0	3.0
160	M10		10.0	5.0
250	M12		15.5	7.5
315	M16		30.0	15.0
400	M20		52.0	26.0

5.14.2 目检

应对电容器表面状态和标志进行目测检查。

5.14.3 冲击和振动

见 GB/T 21563。

5.15 耐久性试验

耐久性试验的目的是检验电容器在实际运行条件下的性能。

耐久性试验至少应在两个完整的电容器单元或模型电容器上进行。

5.15.1 试验前单元的预处理

被试单元置于温度不低于+10℃的静止空气中、承受 $1.1U_N$ 的电压保持16h~24h。

注：此项程序由制造商自行选择。

5.15.2 初始电容值和损耗角正切测量

经预处理的被试单元放置在 $30\text{℃}\pm 2\text{℃}$ 的通风箱体内部处于通电状态至少12h。

在相同的环境温度下，施加电压5min后，按5.3进行测量。

5.15.3 耐久性试验

试验箱应加热至接近试验温度。

被试单元应放置在加热了的试验箱内，并在表7所述的相适应的条件下通电。交流电容器和直流电容器应进行制造商所确定的适宜的试验。当被试单元已达到试验温度时，应调整冷却/加热条件，以使该试验温度能保持稳定。在初始稳定之后，不容许冷却/加热温度变化。

表7 耐久性试验

电容器类别	U_i	试验步骤	温 度	放电时间或次数
直 流	$1.4U_{NDC}$	$1.4U_{NDC}$	试验温度	250 h
		$2\hat{I}$	室温	1 000 次
		$1.4U_{NDC}$	试验温度	250 h
	$1.3U_{NDC}$	$1.3U_{NDC}$	试验温度	500 h
		$2\hat{I}$	室温	1 000 次
		$1.3U_{NDC}$	试验温度	500 h
交 流	$1.35U_N$ (见注1)	$1.35U_N$	试验温度	250 h
		$2\hat{I}$	室温	1 000 次
		$1.35U_N$	试验温度	250 h
	$1.25U_N$ (见注1)	$1.4U_N$	试验温度	500 h
		$2\hat{I}$	室温	1 000 次
		$1.25U_N$	试验温度	500 h

注1：在试验中的条件可以不同于使用条件，例如所有的交流电容器采用50 Hz或60 Hz的频率。
 注2：如果外壳的温度超过 θ_{max} ，可采用强迫通风液体槽冷却。
 注3：通过用户与制造商之间的协议，用于门极可关断晶闸管(GTO)的吸收电容器可以象交流电容器一样采用纹波电压(单方向的) $U_i=U_r=(1.25\text{或}1.35)U_N$ 进行试验。

在最大持续工况下(即不包括短时和异常工况)，试验温度为最高工作温度(θ_{max} ，见3.31)。

应施加试验电压 U_i (峰值电压等于 U_N 乘以加速因子的纯直流或交流正弦电压)。可根据表7来选择不同的加速因子/试验持续温度。

耐久性试验进行到一半时，电容器应停止通电，并在环境温度下的静止空气中冷却，然后按5.9的规定放电1000次，但其峰值电流为 $2\hat{I}$ ，这里 \hat{I} 为最大峰值电流(见3.20)。这些由制造商进行选择。

放电频率应由制造商自行决定。

在尽可能短的时间里，重新给电容器通电以便完成该项试验。

5.15.4 最终电容值和tanδ的测量

测量应按5.15.2中所示的，在耐久性试验结束后的2d内进行。

5.15.5 验收标准

在 5.15.2 和 5.15.4 中所测得的两次电容值之差不应大于初始值的 3%。对于用作滤波电容器直接连接到电网的电容器,用户与制造商可商定更严格的允差。

损耗应予报告。

如果一个电容器发生了失效,试验需要重新进行,并且不允许再次发生失效。

5.16 破坏性试验

5.16.1 概述

进行本试验是为了评定电容器在使用寿命结束时的性能。

本试验适用于所有的自愈式电容器以及无内部熔丝的非自愈式电容器,但应考虑下列注释:

注 1: 用内部熔丝保护的自愈式电容器宜遵守 5.17 中的规定。对于该种电容器,其内部熔丝可以等效考虑。

注 2: 无隔离装置、拟装过压力检测器的电容器宜承受该试验,并且应标上“仅装有过压力检测器才能安全工作”。

注 3: 具有内部熔丝的非自愈式电容器宜进行该试验,而不应进行 5.17 中的试验。

注 4: 由于使用时的实际条件可能大不相同,所以使用寿命结束时的电容器性能也可能不同,在应用中应考虑储存能量、预期短路电流、故障电流持续时间等。

5.16.2 交流电容器的试验程序

试验应在一个电容器单元上进行。

如制造商要求,可采用一个已通过耐久性试验的电容器。

试验原理是为了通过具有高内阻抗的直流电源来加速元件失效,然后施加交流电压以检查电容器的性能。无内部熔丝的非自愈式电容器的失效可以根据 5.17.4 中的程序来加速,但由制造商自行选择。电容器应装在有循环空气的烘箱内,烘箱温度为电容器温度类别中的最高环境空气温度。

当电容器所有的部件均已达到烘箱温度时,则用图 1 所示电路按下列试验顺序进行。如果电容器由过压力检测器保护,则用过压力检测器控制的断路器来代替图 1 中的熔丝。

- a) 选择开关 H 和 K 分别置于“1”和“a”的位置,交流电压源 N 调到 $1.3U_N$,并记录电容器电流;
- b) 按制造商的规定设定直流电源 T 的电压和短路电流值,然后将开关 H 置于位置 2;
- c) 开关 H 置于位置 3,开关 K 置于位置“b”,以便给电容器施加直流试验电压,并保持一段由制造商规定的时间;
- d) 然后开关 K 再置回位置“a”,以便给电容器施加交流试验电压 5 min,并再次记录电流值。

可能有以下几种情况:

——电流表 I 和电压表 U 均指示为零,则应检查熔丝或过压力检测器的状态。如果熔丝已熔断,应进行更换。然后给电容器施加电压“N”,如果熔断器再次熔断,或者过压力检测器动作,则中断该试验程序。

如果熔丝未熔断或过压力检测器未动作,则仅使用开关 K 继续进行如 c) 和 d) 所述给电容器施加“T”和“N”电压的试验程序;

——如果电流表 I 指示为零,并且电压表 U 指示 $1.3U_N$,则中断该试验程序;

——如果电流表 I 指示值大于零,则按照 b)、c) 和 d) 项继续本试验程序。

如果该程序重复数次后,剩余电容值仍大于 0%,可以采用另一个样品,和/或可以增加试验电压和试验时间,或者该单元承受外部过压力,直至断路器或过压力检测器动作。此压力值应由制造商给出。

当中断本试验程序后,电容器冷却到环境温度,并且按 5.5 和 5.6 中进行端子之间的、端子与外壳之间的电压试验。如果过压力检测器动作,就不应进行端子之间的电压试验。在冷却降至环境温度之后,应报告检测器的状态。

在电容器接线端子上电压源 N 的短路电流宜大于 $5I_{max}$ 。

熔断器的额定电流 I 不应小于 $2I_{max}$ 。

应使用符合 GB 13539.1 的熔丝。

注 1: 如果电容器单元与其他单元并联使用, 则宜在给电压源 N 并联上相应的电容后进行试验。

注 2: 如果电容器单元太大或太小以致不能满足试验参数的要求, 则宜按照制造商和买方之间的协议进行试验。

注 3: 对于无保护的电容, 爆炸的风险性与短路电流的持续时间有关。

当制造商声明 I^2t 时, 用户可以给出一个理论信息以适当地帮助设计者估计爆炸的风险性。

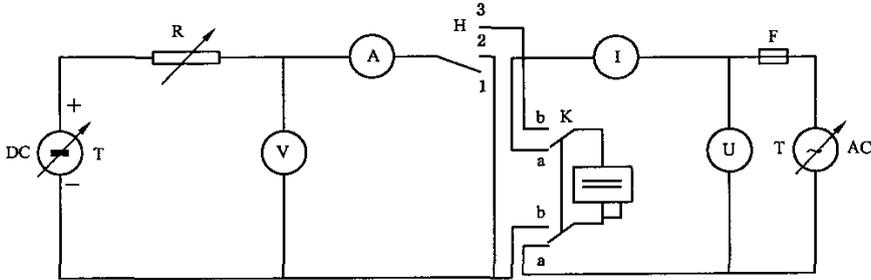


图 1 破坏性试验电路图

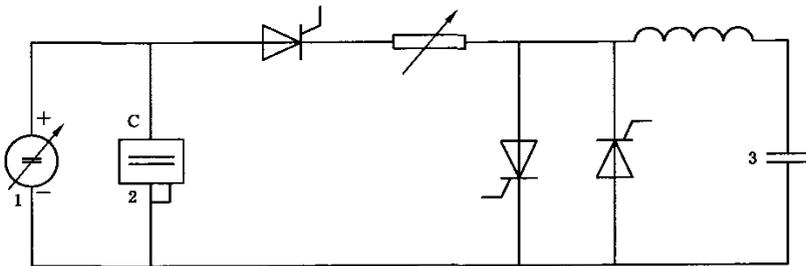
5.16.3 直流电容器的试验程序

试验应在电容器单元上进行。如制造商要求, 可采用一个已通过耐久性试验的电容器。试验的原则是通过内部高阻抗的直流电源来加速元件中的失效, 然后施加叠加有交流分量的直流高电压或具有低内部阻抗的直流低电压, 以检测电容器的性能。

无内部熔丝的非自愈式电容器失效可根据 5.17.4 中的程序来加速, 但由制造商自行选择。

电容器应装在有循环空气的烘箱内, 烘箱温度为电容器温度类别中的最高环境温度。当电容器的所有部位均已达到烘箱温度时, 应采用图 1 所示电路按下列试验顺序进行, 图中电源 N 为叠加有纹波电压(交流分量)的直流发生器。

发生器 N 示例见图 2。



图中:

1——高电压、大电流直流发生器;

2——被试样品;

3——逆变装置。

图 2 直流 + 交流电源 N

熔丝的额定电流不应小于 $2I_{max}$ 。应使用符合 GB 13539.1 的熔丝。如果电容器由过压力检测器进行保护, 则采用过压力检测器控制的断路器来代替图 2 中的熔断器。

a) 选择开关 H 和 K 置于位置“1”和“a”, 电压源 N 设定到 $1.3U_N$ 和 $1.1I_N$;

b) 直流电压源 T 设定在制造商规定的值, 然后开关 H 置于位置 2;

c) 开关 H 置于位置 3, 且开关 K 置于位置 b , 以便给电容器施加直流试验电压“ T ”, 并保持一段由制造商规定的时间;

d) 然后开关 K 重新置于位置“a”，以便给电容器施加叠加的试验电压“N”持续 5 min，并记录电流值。

可能有以下几种情况：

——电流表 I 和电压表 U 指示为零。

在此情况下，如果熔丝已熔断，应进行更换。然后给电容器施加电压“N”，如果熔断器再次熔断，或者过压力检测器动作，则中断该试验程序。如果熔丝未熔断或过压力检测器未动作，则仅使用开关 K 继续进行如 c) 和 d) 所述给电容器施加“T”和“N”电压的试验程序。

——如果电流表 I 指示为零，且电压表 U 指示为 $1.3U_N$ 。

在此情况下，中断该程序并检查电容值。

如果电容值大于零，按 b)、c) 和 d) 继续这项程序。

——如果电流表 I 的指示大于零。

在此情况下，则按 b)、c) 和 d) 继续进行该程序。

如果在重复该程序数次后，剩余电容值仍大于 0%，可以采用另一个样品。和/或可以增加试验电压和试验时间，或该单元承受外部过压力，直至隔离器或过压力检测器动作。该压力值应由制造商给出。

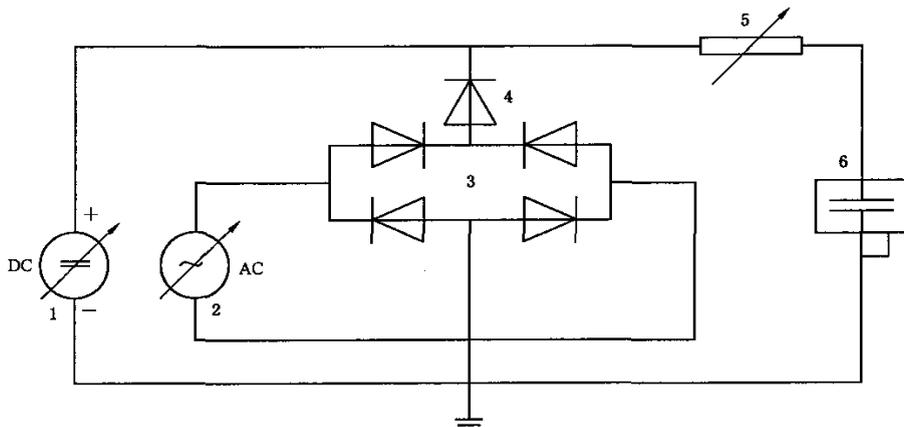
当中断该程序时，电容器冷却到环境温度，并且按 5.5 和 5.6 进行端子之间的、端子和外壳之间的电压试验。

如果过压力检测器发生动作，就不应进行端子之间的电压试验。

如果图 2 中的装置不可用，可以采用图 3 中的电源 N。在此情况下，由二极管整流桥产生一个直流大电流。直流和交流发生器应是可调的。

此时 5.16.3a) 应修改为：选择开关 H 和 K 分别置于位置 1 和位置“a”，电压源 N 应设定到 $1.3U_N$ 。

在电容器端子上电压源 N 的短路电流宜大于 $5I_{max}$ 。



图中：

- 1——高电压、小电流(300 mA)直流发生器；
- 2——低电压、大电流交流发生器；
- 3——低压整流桥；
- 4——阻断高电压整流器；
- 5——短路电流调节；
- 6——试品。

图 3 直流电源 N

注 1：如果电容器单元与其他单元并联使用，则应在给电源 N 并联上相应的电容后进行试验。

注 2：图 2 中交流电压应按照系统短路电流值大小选择。

5.17 熔丝的断开试验

5.17.1 概述

本试验适用于装有内部电流熔丝的非自愈型电容器。

熔丝与元件串联,如果元件出现故障,可用该熔丝来隔离。熔丝的电流和电压范围取决于电容器的设计,在某些情况下也取决于所连接的电容器组的设计。

内部熔丝的熔断通常由如下的一个或两个因素决定:

- 与故障元件或单元并联的元件或单元的放电能量;
- 通过熔丝的故障电流。

注:如果单元由外部熔断器保护,则试验采用电容器制造商建议的外部熔断器来进行。

5.17.2 断开要求

当元件在电压范围内出现电击穿时,熔丝应能断开故障的元件。在故障瞬间,单元接线端子之间的最低电压值为 u_1 ,最高电压值为 u_2 。

u_1 和 u_2 的推荐值如下:

$$u_1 = 0.8U_N, u_2 \text{ 见表 3。}$$

注:上述 u_1 和 u_2 的值是根据在元件电击穿瞬间可能出现在电容器单元端子之间的电压确定的。如果 u_1 和 u_2 的值不同于上述值,买方宜予以规定。

5.17.3 耐受电压要求

熔丝动作之后,熔丝装置应能承受全部元件电压加上由于熔丝动作所产生的任何不平衡电压,以及在电容器使用寿命期内的任何正常经受的短时瞬态过电压。

在电容器使用寿命期里,内部熔丝应能:

- 承受连续通过的 $1.1I_{max}$ 电流;
- 承受单元浪涌电流(I_s);
- 承受通过由于元件击穿引起的放电电流;
- 承受放电试验。

注:熔丝和隔离器保护导则在 9.13 中给出。

5.17.4 试验程序

熔丝熔断试验程序按如下进行:施加最高直流电压 u_2 (见 5.17.2)直到至少有一根熔丝熔断,然后立即将电压减小到 $0.8U_N$ 直到下一根熔丝熔断。

应检测单元两端的电压。单元两端的电压应通过试验进行测量。如果熔丝熔断前一刻的电压与熔丝熔断后一刻的电压相差大于 10%,应重复该试验,在试验中,用外接电容与被试单元并联。该重复试验可以在制造商自己选定的新的单元上进行。

如果内部仅有一根熔丝,则熔丝试验可在一个完整的电容器单元上进行,也可在两个单元上进行。

试验程序可选用下列 a)、b)、c)和 d)中的一种,或另一个可选的方法。这由制造商自行选择。

最好选用能在标准单元上进行的试验方法。

a) 元件的机械刺破

元件的机械刺穿就是将一个钉子通过预先在外壳上钻好的孔强行打入元件。

注 1:不需保证只刺破一个元件。

注 2:为了限制沿着钉子或通过钉子打穿的洞对外壳放电的可能性,可使用由绝缘材料制造的“钉子”和/或在
与外壳固定连接的或在试验时与外壳连接的元件上进行刺穿。

b) 元件的电击穿(第一种方法)

例如在试验单元内的一些元件的电介质层间插入插片,每一个插片连接到各自的端子上。

为使装有插片的元件击穿,在改装的元件的任一极板与插片之间施加一个足够高的冲击电压。

在试验过程中,应记录电容器的电流和/或电压。

c) 元件的电击穿(第二种方法)

在试验单元内的某些元件的电介质层间插入一个与两个附加插片连接的短熔丝线,每一个插片连接到各自的绝缘端子上。

为使装有熔丝线的元件击穿,用一台充有足够能量的单独电容器对熔丝线放电,以使元件击穿。

在试验过程中,应记录电容器的电流和/或电压。

d) 元件的电击穿(第三种方法)

在制造时将单元内一个元件(或几个元件)电介质的一小部分除去并换成较差的电介质。例如:除去膜-纸-膜电介质 $10\text{ cm}^2 \sim 20\text{ cm}^2$,换成两层薄纸。

在电压上限点,允许连接到完好元件的一根附加熔丝(或直接并联的熔断元件的十分之一)被熔断。

击穿后试验电压应保持至少 10 s,以保证熔丝确已起到断开作用,而无需断开电源。

对于特殊情况,可能需要延长试验直至电容器元件发生了两次或更多次的击穿。在此情况下,每个电压限值上的击穿次数应遵守制造商和买方之间的协议。如果超过了击穿次数,5.17.7中所述的电压可能需要增加。

注 1: 当进行该试验时,应当采取预防措施,以防止电容器单元可能的爆炸。

注 2: 如果电容器所有的内部元件串联,每次试验之后,建议对所有的串联元件组放电。

5.17.5 电容测量

试验之后,应测量电容以确认熔丝已熔断。

应采用具有足够灵敏的测量方法,以便检测出由于一根熔丝熔断而引起的电容变化。

5.17.6 目检

断开试验之后,外壳不应出现明显的变形。

5.17.7 电压试验

被试单元应承受 10 s 的试验电压而没有熔丝再熔断。除非制造商与买方之间依照 5.17.4d) 中的规定达成了另外的协议,该耐受的试验电压一般应等于表 3 中所规定的试验电压。

5.18 局部放电测量

经用户和制造商同意,可进行该项试验以确定局部放电不影响电容器的寿命特性。

6 最高允许电压

电容器单元应适合于在表 8 所示的电压等级下工作,并且使用寿命不会有任何明显的缩短。

表 8 最高允许电压

过电压	在 1 d 内的最大持续时间	说 明
$1.1U_N$	有载持续时间的 30%	系统调整
$1.15U_N$	30 min	系统调整
$1.2U_N$	5 min	系统调整
$1.3U_N$	1 min	系统调整

注: 在电容器的寿命周期内,持续 30 ms 的 $1.5U_N$ 过电压允许出现 1 000 次。

可以耐受而不显著降低电容器寿命的过电压的幅值取决于它们的持续时间、施加次数和电容器的温度。

并且,这些值的确定还假定有些过电压可能是在电容器内部温度低于 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 但仍在温度类别之内时发生的。

7 安全要求

7.1 放电装置

对于某些电力电子电容器,采用放电电阻并不适合。当买方要求时,每个电容器单元或电容器组应装有一种装置,使得每个单元在 3 min 内能从初始直流电压 U_N 或 U_{NDC} 放电到 60 V 或更低。

对于 U_N 或 $U_{NDC}=1\ 000\text{ V}$ 的电容器,放电时间不应大于 10 min。

注:无放电电阻而具有大于 100 J 能量的电容器,在交货前应将端子间、端子与外壳间短接。

在电容器单元与该放电装置之间,不应接入开关、熔断器或任何其他隔离装置。

在装卸搬运前,放电装置不能用作电容器端子之间和电容器对地的短路设备。

只要电路特性是确保电容器在上述规定的时间内放电,当其可与提供放电通路的其他电器设备直接连接时,应认为此电容器是能适当放电的。

放电电路应有足够的载流能力,能以最高过电压的峰值给电容器放电。

7.2 外壳连接

为了固定电容器金属外壳的电位,使在电容器发生对外壳击穿时能承受住故障电流,外壳上应备有一个能承受故障电流的连接件,或者留有一块适用于用装设接线夹的未着漆、抗腐蚀的金属区域。

7.3 环境保护

当电容器浸渍在不允许扩散到环境中的物质中时,应采取预防措施。在某些国家,存在这方面的法律要求。

买方应规定适于安装地区对电容器标牌的任何特殊的要求(见 8.2)。

7.4 其他安全要求

当电容器安装在国家有关安全规程规定的任何特殊场合时,买方应详细说明特殊要求。

8 单元的标志

8.1 铭牌

在每个电容器单元的铭牌上应给出下列信息:

- 制造商;
- 编号和制造日期;
- 制造日期可以是编号的一部分或者以符号形式标出;
- 实测电容值 C (μF);
- 电容偏差 T_{cl} (%);
- 额定电压 U_N 或 U_{NDC} (V);
- 绝缘电压 U_i (V a. c.)(如有规定,见 3.19);
- 最大损耗功率 P_{max} (W)(可选);
- 最高频率 f_2 (Hz)(可选);
- 最大电流 I_{max} (A)(可选);
- 最大浪涌电流 \hat{I} , (A)(如有);
- 最低工作温度 θ_{min} ($^{\circ}\text{C}$);
- 最高工作温度 θ_{max} ($^{\circ}\text{C}$);
- 最大的安装扭矩 ($\text{N}\cdot\text{m}$)(见注 2);
- 冷却介质的类型和温度(仅对于强迫冷却而言,见第 4 章)。
- 本标准的编号。

如有应用,应加上下列符号:

——内部放电器件: 

——内部熔丝或隔离器：

——自愈式电容器:SH 或 

注1:电容器单元铭牌的位置宜由用户和制造商商定。

注2:对于较小的单元,在铭牌中不可能给上述所有的信息,有些信息可以在说明书中说明。

注3:另外的一些数据可由用户和制造商协商商定后,加至铭牌上。

8.2 警告牌

如果电容器单元含有可能污染环境或可能有其他危险性的材料,则应根据用户所属国家的相关法律(用户应告诉制造商这些法律)规定装有标牌。

8.3 数据表

为了估计电容器中的损耗,在数据表中应给出作为频率 f_1 、 f_2 和 P_{\max} 的函数的 $\tan\delta$ 值。

9 安装及应用导则

9.1 概述

超负载和过热都会缩短电容器的使用寿命,因此宜严格控制其工作(即温度、电压和冷却)条件。

由于电容器的类型不同和涉及的因素很多,不可能用简单的规则概括所有可能情况下的安装和运行。

在下列的信息中给出有关应该考虑到的较重要的方面,此外,应遵循制造商的说明和供电部门的规定。

电容器主要有七项应用:

- 内部过电压保护:缓冲电容器上作用的是两部分正弦波电压,两者均可与一定量的含有叠加成分的直流电压交替作用;
- 直流谐波滤波:在电容器上施加的电压通常为叠加有非正弦交流电压的直流电压;
- 切换电路:换向电容器上的电压通常为梯形电压;
- 外部交流过电压保护;
- 外部直流过电压保护;
- 内部交流谐波滤波;
- 直流储能:在辅助电容器上通常施加直流电压,并以较大的峰值电流进行周期性充放电。

9.2 额定电压的选择

电容器的额定电压应等于周期性电压峰值,这不是因为内在应力,而是因为电力电子系统中较高的 dV/dt 会引起局部放电和损耗,从而影响电容器的使用寿命。

电力电子系统中的大多数应用情况都是变化的负载,因此制造商和用户双方有必要详细探讨额定电压和真实的电应力。

仅在紧急情况下,电容器才能同时在最高允许电压和最高工作温度下工作,但仅持续一个较短的时间(见表7)。

注:制造商可以给出使用电压作为频率和环境温度(θ_{amb})函数的曲线图。

9.3 工作温度

9.3.1 概述

因为电容器工作温度对其寿命有很大的影响,所以对它应予以注意。

超过 θ_{\max} 的温度将加速电介质的电化学性能衰减。

低于 θ_{\min} 的温度或温度从热至冷的快速变化,有可能导致电介质的局部放电性能降低。

9.3.2 安装

电容器的安装位置应能使电容器损耗产生的热量能通过传导和辐射方式充分散发。

工作场所的通风和电容器单元的布置,应给每个单元周围提供良好的空气循环。这对于单元成行叠层安装是尤为重要的。

受到来自太阳或任何高温面的辐射,电容器的温度将增高。

安装之后,应检验在最高使用条件(电压、电流和冷却温度)下,电容器外壳温度是否低于 θ_{\max} 。

根据冷却空气温度、冷却效率以及辐射的强度和持续时间,可能需要采取如下措施之一:

- 防止电容器受到辐射;
- 选择为用于高的环境空气温度工作而设计的电容器或采用额定电压高于第4章中规定值的电容器;
- 安装在较高海拔(大于1 400 m)的电容器的散热条件将降低,在确定单元的功率时,应予以考虑。

9.3.3 非正常冷却条件

在异常情况下,入口温度(见表1)可以超过最高值55℃,且应使用特殊设计的电容器或具有较高额定电压的电容器。

9.4 特殊使用条件

除了高的环境温度外,还应考虑热带地区容易遇到其他不利的使用条件。当买方了解这些情况时,在订购电容器时应告知制造商。

此信息也应告知为电容器安装用的所有配套设备的供货商。

9.5 过电压

表7规定了过电压倍数。

如果制造商同意,当过电压的估算值较低时或当温度条件没有那么苛刻时,可以增大过电压倍数。

易于遭受的雷击过电压的电容器应采取充分的保护。如果使用避雷器,应设置得尽量靠近电容器。

在非正常使用条件因为瞬时过电压,可能需要选择更高额定电压的电容器。

当过电压高于表8(例如直接连接到电网的电容器)中的允许值时,经制造商和用户商定,可能要求进行更高的电压试验。

9.6 过电流

电容器绝对不应在电流超过3.20、3.21和3.22中定义的最大电流的情况下运行。

当电容器投入到电路或设备投切时,可能出现较高幅值和频率的瞬时过电流,有必要将该瞬时过电流减小到电容器和设备可被接受的数值。

如果电容器装有内部熔丝或外部熔断器,由于投切操作所引起的过电流峰值应限制在 I_1 值内。

9.7 投切和保护装置

投切和保护装置及其连接件均应能承受发生在接通或切断时,有高幅值和频率的瞬时过电流所引起的电动应力和热应力。

如果考虑电动应力和热应力会导致电容器体积过大时,为了防止过电流的影响,应采取一些特殊的预防措施。

注:特别是应选择有足够的热容量的熔丝。

9.8 爬电距离和电气间隙的选择

套管、对地绝缘子、台架间绝缘子等均应符合GB/T 16935.1,要确保所有有关气候条件,尤其是湿度急剧变化等必要条件,需经制造厂和购买方共同确定。

9.9 连接件

连接到电容器的电流引线能够散发从电容器传来的热量,反过来,它们也可能把外部连接件中产生的热量传到电容器中,因此需要保持连接到电容器的连接件的温度总是低于电容器本身的温度。

电容器电路中的任何不良接触都可能引起电弧,造成高频振荡,这可能使电容器过热和过电压。

因此建议定期对所有电容器设备的接触点和电容器连接件进行检查。

9.10 电容器的并联

当设计具有并联电容器的电路时,需格外小心,因为存在两种可能的危险:

- a) 电流支路中电阻和电感的少许不同都会影响到电流的分配,而致使其中一个电容器可能容易过载。
- b) 由于在电力电子系统中常遇到的是较高的频率,内部连接通常应设计为低电感和低电阻。因此,当一个电容器出现短路故障时,电容器组的全部能量将通过击穿点迅速泄放。通常不可能通过一个限流熔断器来断开单元。在此情况下应采取特别的预防措施。

9.11 电容器的串联

由于单元中绝缘电阻变化,应通过电阻分压器来确保单元之间电压的均衡分配。

交流电压和间断式直流应用具有较长断开时间不需要专用分压器,因为内部放电装置将泄放掉所有剩余电荷。

单元的绝缘电压应适合于串联布置。

9.12 磁损耗和涡流

在电力电子系统中导体的强磁场可以使磁性外壳引起反复磁化,并在任何金属部件中感应出涡流,因而产生热量。

因此首先应将电容器放置在离开大电流导体一个安全距离的地方,其次应尽可能避免使用磁性材料。

9.13 熔丝和隔离器保护导则

熔丝与元件串联,如果元件出了故障,利用熔丝起隔离作用。

在元件击穿后,与其连接的熔丝将熔断,因而将其与电容器的其余部分隔离,并允许单元继续运行。当采用串联方式时,一根或多根熔丝熔断,将在电容器组内部引起电压变化。

完好单元两端的电压不应超出 5.17 给出的值。

一根或多根熔丝熔断也可能在单元内部引起电压变化,这取决于单元的内部连接。

串联组中的其余元件的工作电压将会增加,如有要求,制造商应给出由于熔丝熔断所引起电压升高的详细数据。

由于电容器的自愈特性,击穿并不危险,并且电流也不会明显增加,而一旦压力增大(例如由热不稳定引起的,这可能发生在电容器使用寿命结束的时候,或者在某些情况下,由于极度过载大大超过自愈式击穿的次数),自愈式电力电容器应由过压隔离器或过压力检测器加以保护。

过压隔离器或过压力检测器的性能取决于单元的并联个数。如有要求,制造商应给出并联的最大单元个数。

附录 A
(资料性附录)

本标准章条与 IEC 61881:1999 章条对照

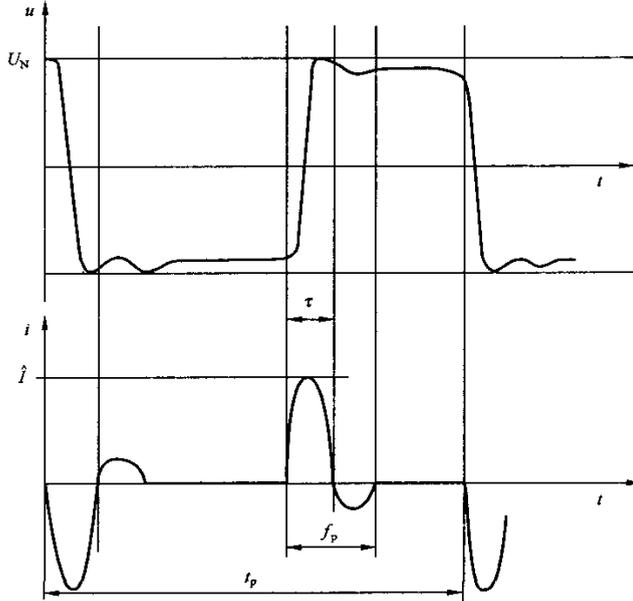
A.1 表 A.1 给出了本标准章条与 IEC 61881:1999 章条对照的一览表。

表 A.1 本标准章条与 IEC 61881:1999 章条对照

本标准章条	IEC 61881:1999 章条
1 范围	1.1 范围
2 规范性引用文件	1.2 规范性引用文件
3 术语和定义	1.3 术语和定义
4	1.4
5	2
6	3
7	4
8	5
9	6
附录 A	无
附录 B	附录 A
附录 C	附录 B
附录 D	附录 C
参考文献	

附录 B
(资料性附录)
波形

B.1 通过梯形电压波的实例来解释电力电子电容器波形的定义,见图 B.1。

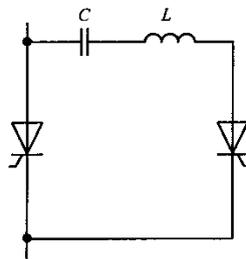


a) 换流波形

$$f_p = \frac{1}{t_p} \quad \tau = \pi \times \sqrt{L \times C}$$

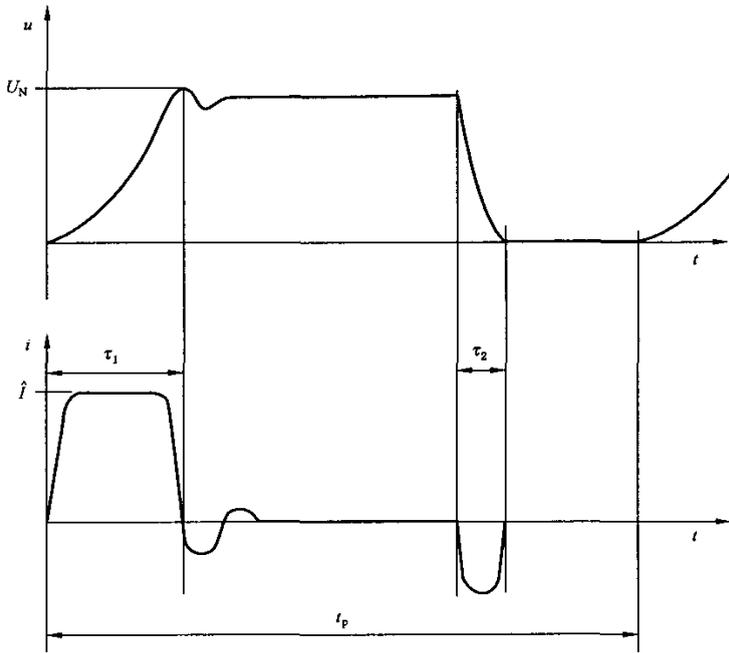
图中:

- τ ——电容器电流脉冲宽度;
- t_p ——系统脉冲持续时间;
- f_p ——系统脉冲频率;
- U_N ——重复峰值电压;
- \hat{I} ——峰值电流;
- L ——电容器等效串联电感值;
- C ——电容器电容值。

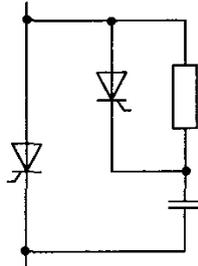


b) 换流电路示例

图 B.1 电流脉宽示例



c) 用于门极可关断晶闸管的吸收电容器的波形



d) 吸收电路示例
图 B.1 (续)

附录 C
(规范性附录)

在作为频率函数的正弦电压和最高温度(θ_{\max})下电容器的运行限值

C.1 供电条件见图 C.1。

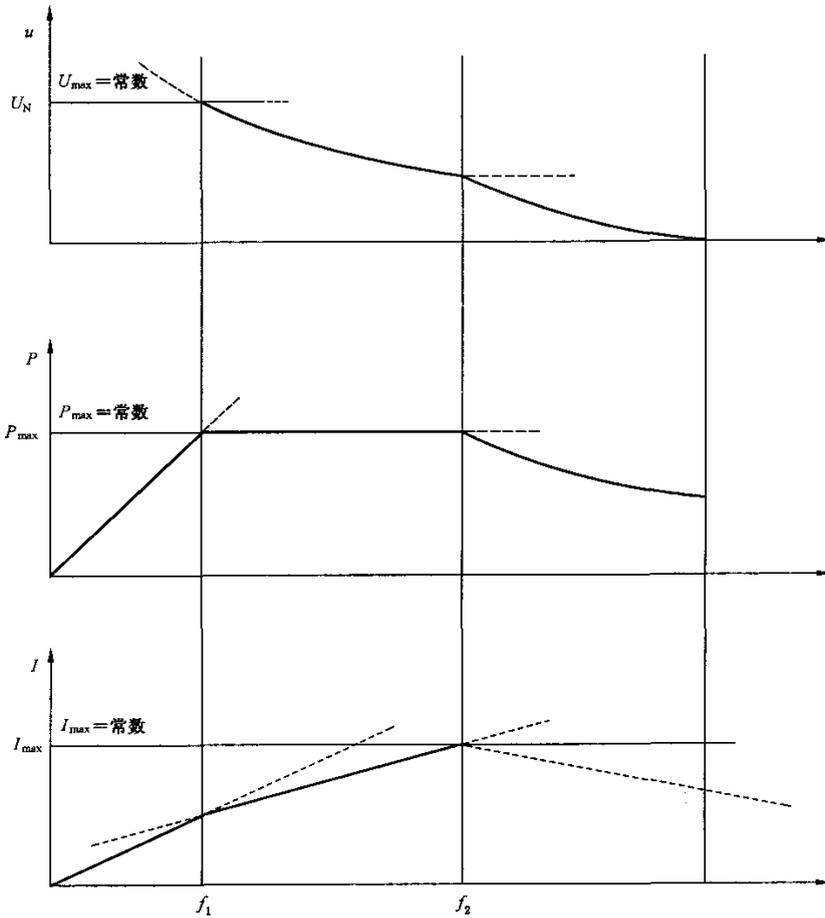


图 C.1 供电条件

最高电压通常是电介质的厚度(a)、内部电场强度(E_D)和温度(θ)的函数:

$$U_{\max} = f(E_D, a, \theta).$$

在频率 $f = f_1$ 范围内,有:

$$U_{\max} = U_N;$$

f_1 ——电容器功率损耗最大时的频率, $P_{\max} = \frac{U_N^2}{2} \omega \times C \tan \delta_1$, $\omega = 2\pi f_1$;

f_2 ——最大电流(I_{\max}) 在电容器中产生最大功率损耗(P_{\max})时的频率。

对于 f_1 到 f_2 的频率范围:

$$P_{\max} = \text{常数};$$

f_2 ——有效电流达到其最大值时的频率: $I = I_{\max}$;

超过最高频率时,由于集肤效应,最大电流将降低。

电容器的特性值如下:

U_{\max} ——最高电压;

P_{\max} ——最大功率损耗;

$\tan\delta_1$ ——频率为 f_1 时的电容器损耗角正切;

$\tan\delta_2$ ——频率为 f_2 时的电容器损耗角正切;

f_2 ——对于满功率损耗和最大电流下的最高频率;

I_{\max} ——最大电流(方均根)值。

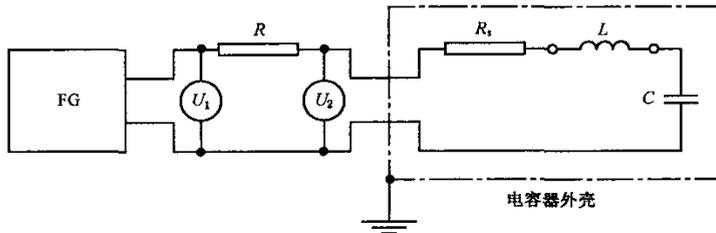
注:建议热稳定试验条件为:

$$1.21P_{\max} = \frac{U^2}{2} \times \omega_2 \times C \times \tan\delta_2 = 1.21 \times \frac{I_{\max}^2}{\omega_2 \times C} \times \tan\delta_2 \quad \omega_2 = 2\pi f_2$$

附录 D
(规范性附录)
谐振频率的测量方法 示例

下面给出了谐振频率测量方法的两个示例。

D.1 方法 I



图中：

FG——可变频率发生器；

R ——负载电阻(非感性的,直接连接到被试电容器的接线端子)；

R_s ——电容器等效串联电阻；

L ——电容器等效串联电感；

C ——电容器电容值；

U_1 、 U_2 ——电子电压表。

图 D.1 测量电路

通过改变频率和保持 U_1 恒定,可以绘制出表示电容器两端电压与供电频率之间关系的图形,见图 D.2。

$U_{2\min}$ 对应于谐振频率(f_r)。

连接线应尽可能短。

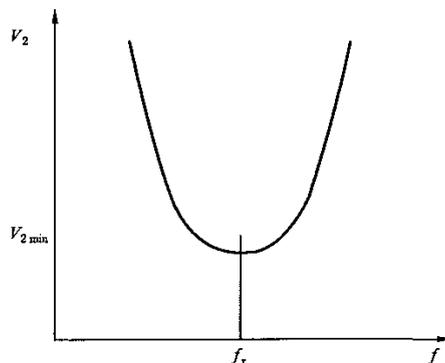


图 D.2 电容器两端的电压与电源频率之间的关系

D.2 方法 II

单元应通过直流充电,然后通过直接位于电容器端子处的间隙放电。

通过示波器记录放电电流波形。

谐振频率 f_r 可通过计算与时间轴的交点数来进行估算。
放电波形的形状为等效串联电阻和杂散电感的函数。

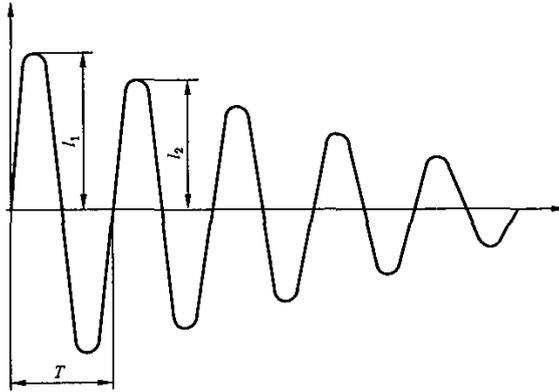


图 D.3 放电电流波形

注：用第二种方法可测量放电频率。如果阻尼系数较低，并且外部连接电感与内部连接电感相比较可以忽略，那么放电频率就等于自激振荡频率。
在任何情况下，可考虑用阻尼系数来计算自感。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3667.1 交流电动机电容器 第1部分:总规则——性能、试验和定额——安全要求——安装和运行导则(GB/T 3667.1—2005,IEC 60252-1:2001,IDT).
- [2] GB/T 3859.1 半导体变流器 基本要求的规定(GB/T 3859.1—1993,eqv IEC 60146-1-1:1991).
- [3] GB/T 3984.1 感应加热装置用电力电容器 第1部分:总则(GB/T 3984.1—2004,IEC 60110-1:1998,IDT).
- [4] GB/T 3984.2 感应加热装置用电力电容器 第2部分:老化试验、破坏试验和内部熔丝隔离要求(GB/T 3984.2—2004,IEC TS 60110-2:2000,IDT).
- [5] GB/T 6115.1 电力系统用串联电容器 第1部分:总则(GB/T 6115.1—2008,IEC 60143-1:2004,MOD).
- [6] GB/T 6115.2 电力系统用串联电容器 第2部分:串联电容器组用保护装置(GB/T 6115.2—2002,IEC 60143-2:1994,IDT).
- [7] GB/T 6115.3 电力系统用串联电容器 第3部分:内部熔丝(GB/T 6115.3—2002,IEC 60143-3:1998,IDT).
- [8] GB/T 11024.1 标称电压1 kV以上交流电力系统用并联电容器 第1部分:总则 性能、试验和定额安全要求 安装和运行导则(GB/T 11024.1—2001,eqv IEC 60871-1:1997).
- [9] GB/T 11024.2 标称电压1 kV以上交流电力系统用并联电容器 第2部分:耐久性试验(GB/T 11024.2—2001,idt IEC/TS 60871-2:1999).
- [10] GB/T 12747.1 标称电压1 kV及以下交流电力系统用自愈式并联电容器 第1部分:总则——性能、试验和定额——安全要求——安装和运行导则(GB/T 12747.1—2004,IEC 60831-1:1996,IDT).
- [11] GB/T 12747.2 标称电压1 kV及以下交流电力系统用自愈式并联电容器 第2部分:老化试验、自愈性试验和破坏试验(GB/T 12747.2—2004,IEC 60831-2:1995,IDT).
- [12] GB/T 14472 电子设备用固定电容器 第14部分:分规范 抑制电源电磁干扰用固定电容器(GB/T 14472—1998,idt IEC 60384-14:1993).
- [13] GB/T 17702.1 电力电子电容器 第1部分:总则(GB/T 17702.1—1999,idt IEC 61071-1:1991).
- [14] GB/T 17702.2 电力电子电容器 第2部分:熔丝的隔离试验、破坏试验、自愈性试验及耐久性试验的要求(GB/T 17702.2—1999,idt IEC 61071-2:1994).
- [15] GB/T 17886.1 标称电压1 kV及以下交流电力系统用非自愈式并联电容器 第1部分:总则——性能、试验和定额——安全要求——安装和运行导则(GB/T 17886.1—1999,idt IEC 60931-1:1996).
- [16] GB/T 17886.2 标称电压1 kV及以下交流电力系统用非自愈式并联电容器 第2部分:老化试验和破坏试验(GB/T 17886.2—1999,idt IEC 60931-2:1995).
- [17] GB/T 17886.3 标称电压1 kV及以下交流电力系统用非自愈式并联电容器 第3部分:内部熔丝(GB/T 17886.3—1999,idt IEC 60931-2:1996).
- [18] GB 18489 管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器 一般要求和安全要求(GB 18489—2008,IEC 61048:2006,IDT).
- [19] GB/T 18504 管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器性能要求(GB/T 18504—2001,eqv IEC 61049:1991).

GB/T 25121—2010

- [20] GB/T 19749 耦合电容器及电容分压器(GB/T 19749—2005,IEC 60358:1990,MOD).
- [21] GB/T 21413.1 铁路应用 机车车辆电气设备 第1部分:一般使用条件和通用规则(GB/T 21413.1—2008,IEC 60077-1:1999,IDT).
- [22] GB/T 21413.2 铁路应用 机车车辆电气设备 第2部分:电工器件 通用规则(GB/T 21413.2—2008,IEC 60077-2:1999,IDT).
- [23] GB/T 21413.3 铁路应用 机车车辆电气设备 第3部分:电工器件 直流断路器规则(GB/T 21413.3—2008,IEC 60077-3:2001,IDT).
- [24] GB/T 21413.4 铁路应用 机车车辆电气设备 第4部分:电工器件 交流断路器规则(GB/T 21413.4—2008,IEC 60077-4:2003,IDT).
- [25] GB/T 21413.5 铁路应用 机车车辆电气设备 第5部分:电工器件 高压熔断器规则(GB/T 21413.5—2008,IEC 60077-5:2003,IDT).
- [26] GB/T 25122.1—2010 轨道交通 机车车辆用电力变流器 第1部分:特性和试验方法(GB/T 25112.1—2010,IEC 61287-1:2005,MOD).
-