



中华人民共和国国家标准

GB/T 20993—2007

高压直流输电系统用直流滤波电容器

DC filter capacitors for HVDC transmission systems

2007-06-21 发布

2008-02-01 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

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
高压直流输电系统用直流滤波电容器
GB/T 20993—2007

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

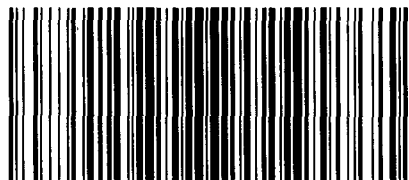
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字
2007年11月第一版 2007年11月第一次印刷

*

书号: 155066 · 1-30057 定价 20.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 20993—2007

前 言

本标准的附录 A 和附录 B 均为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电力电容器标准化技术委员会(SAC/TC 45)归口。

本标准负责起草单位:西安电力电容器研究所、机械工业北京电工技术经济研究所。

本标准参加起草单位:西安西电电力电容器有限责任公司、北京网联直流输电工程公司、西安 ABB 电力电容器有限公司、中国电力科学研究院、西安高压电器研究所。

本标准主要起草人:贾华、郭天兴、房金兰、刘菁、王琨、任强、李怀玉、郑劲、于坤山、张万荣、祝霆、周登洪。

本标准为首次发布。

引 言

高压直流输电在我国电网建设中,对于长距离送电和大区联网有着非常广阔的发展前景,是目前作为解决高电压、大容量、长距离送电和异步联网的重要手段。根据我国直流输电工程实际需要和高压直流输电技术发展趋势开展的项目在引进技术的消化吸收、国内直流输电工程建设经验和设备自主研制的基础上,研究制定高压直流输电设备国家标准体系。内容包括基础标准、主设备标准和控制保护设备标准。项目已完成或正在进行制定共 19 项国家标准:

- (1) 《高压直流系统的性能 第一部分 稳态性能》
- (2) 《高压直流系统的性能 第二部分 故障与操作》
- (3) 《高压直流系统的性能 第三部分 动态性能》
- (4) 《高压直流换流站绝缘配合程序》
- (5) 《高压直流换流站损耗的确定》
- (6) 《变流变压器 第二部分 高压直流输电用换流变压器》
- (7) 《高压直流输电用油浸式换流变压器技术参数和要求》
- (8) 《高压直流输电用油浸式平波电抗器》
- (9) 《高压直流输电用油浸式平波电抗器技术参数和要求》
- (10) 《高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则》
- (11) 《高压直流输电系统用并联电容器及交流滤波电容器》
- (12) 《高压直流输电系统用直流滤波电容器》
- (13) 《高压直流输电用普通晶闸管的一般要求》
- (14) 《输配电系统的电力电子技术静止无功补偿装置用晶闸管阀的试验》
- (15) 《高压直流输电系统控制与保护设备》
- (16) 《高压直流换流站噪音》
- (17) 《高压直流套管技术性能和试验方法》
- (18) 《高压直流输电用光控晶闸管的一般要求》
- (19) 《直流系统研究和设备成套导则》

目 次

前言	I
引言	II
1 总则	1
2 质量要求和试验	5
3 设计和结构要求	12
4 绝缘水平	13
5 过负荷	13
6 安全要求	13
7 标志	14
8 电容器组的标志	14
9 安装和运行导则	15
附录 A (资料性附录) 高压直流输电线路常用直流滤波器接线图示例	17
附录 B (资料性附录) 电容器放电时间的计算公式	18

高压直流输电系统用直流滤波电容器

1 总则

1.1 范围和目的

本标准适用于安装在高压直流输电换流站直流侧,用于直流滤波器的电容器单元和电容器组。

本标准的目的是:

- a) 阐述关于性能、试验和定额的统一规则;
- b) 阐述特殊的安全规则;
- c) 提供安装和运行导则。

1.2 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 311.1 高压输变电设备的绝缘配合 (GB 311.1—1997, neq IEC 60071-1:1993)

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)

GB/T 11024.4 标称电压 1 kV 以上交流电力系统用并联电容器 第 4 部分:内部熔丝 (GB/T 11024.4—2001, idt IEC 60871-4:1996)

GB/T 13540 高压开关设备抗地震性能试验

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求 (GB/T 16927.1—1997, eqv IEC 60060-1:1989)

GB/T 20994—2007 高压直流输电系统用并联电容器及交流滤波电容器

1.3 术语和定义

本标准采用下列术语和定义。

1.3.1

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

由电介质和被它隔开的电极所构成的部件。

1.3.2

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单个外壳中并有引出端子的组装体。

1.3.3

串联段 series section

所有并联连接在一起的电容器单元。

1.3.4

电容器台架 capacitor rack

由支撑构架及安装于其上的一个或多个串联段、绝缘子、电容器连接线所构成的组装体。

1.3.5

电容器组 capacitor bank

由支撑绝缘子或悬式绝缘子及安装在一个或多个电容器台架、台架间的绝缘子、连接线等构

成的塔式或悬挂式组装体。

1.3.6

电容器 capacitor

本标准中,“电容器”一词是当不需要特别强调“电容器单元”或“电容器组”的不同含义时的用语。

1.3.7

额定谐振频率 rated resonance frequency

设计滤波器时所规定的呈现某一给定阻抗的频率。

1.3.8

直流滤波器 DC filter

为降低流入直流极线和接地极引线中的谐波电流而设计的滤波器。

1.3.9

单调谐滤波器 single-tuned harmonic filter

一种在其谐振频率下呈现低阻抗的滤波器。

1.3.10

双调谐滤波器 double-tuned harmonic filter

一种在两个谐振频率下呈现低阻抗的滤波器。

1.3.11

电容器组的最大持续直流电压 maximum continuous DC voltage of a bank

U_{DC}

设计电容器时规定的电容器组能够持续运行的最高直流电压。

1.3.12

电容器组的额定电压 rated voltage of a bank

U_{bN}

高压电容器组按下式给出:

$$U_{bN} = kU_{DC} + \sqrt{2} \sum_{n=1}^{50} U_n$$

式中:

U_{DC} ——电容器组的最大持续直流电压;

U_n ——第 n 次谐波电压(方均根值);

k ——系数,一般取 1.3。

直流滤波器用低压电容器组额定电压的选择同交流滤波器用低压电容器组(见 GB/T 20994—2007)。

1.3.13

电容器组的额定电流 rated current of a bank

I_{bN}

由下式给出:

$$I_{bN} = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} I_n^2}$$

式中:

I_n ——第 n 次谐波电流(方均根值)。

1.3.14

电容器组的额定容量 rated output of a bank

Q_{bN}

由下式给出：

$$Q_{bN} = \sum_1^{50} Q_n$$

式中：

Q_n —— n 次谐波产生的容量。

1.3.15

电容器单元的最大持续直流电压 maximum continuous DC voltage of a unit

U_d

由下式给出：

$$U_d = \frac{U_{DC}}{S}$$

式中：

U_{DC} ——电容器组的最大持续直流电压；

S ——电容器组中电容器单元的串联段数。

1.3.16

电容器单元的额定电压 rated voltage of a unit

U_N

由下式给出：

$$U_N = \frac{U_{bN}}{S}$$

式中：

U_{bN} ——电容器组的额定电压；

S ——电容器组中电容器单元的串联段数。

1.3.17

电容器单元的额定电流 rated current of a unit

I_N

由下式给出：

$$I_N = \frac{I_{bN}}{P}$$

式中：

I_{bN} ——电容器组的额定电流；

P ——电容器组中电容器单元的并联数。

1.3.18

电容器单元的均压电阻 grading resistor of a capacitor unit

一种装于电容器内部的、用于改善电容器单元内部直流电压分布的电阻。同时，它还可以用作放电电阻降低电容器单元的剩余电压。

1.3.19

电容器单元的内部熔丝 internal fuse of a capacitor unit

在电容器单元内部和元件相串联的熔丝。

1.3.20

线路端子 line terminal

用来连接到输电线或母线上的端子。

1.3.21

电容器的额定电容 rated capacitance of a capacitor

C_N

设计电容器时所规定的电容值。

1.3.22

电容器损耗 capacitor losses

电容器内消耗的有功功率。

注：应包括所有部件产生的损耗。例如：

——对于单元，由电介质、内部熔丝、内部均压电阻、连接件等产生的损耗。

——对于电容器组，由单元、连接线等产生的损耗。

1.3.23

电容器的损耗角正切 tangent of the loss angle of a capacitor

$\tan\delta$

在规定的工频电压下，电容器消耗的有功功率与无功功率之比。

1.3.24

环境空气温度 ambient air temperature

准备安装电容器处的空气温度。

1.3.25

冷却空气温度 cooling air temperature

在稳定状态下，在电容器组的最热区域中两台电容器间外壳最热点连线中点的空气温度。

1.3.26

稳定状态 steady-state condition

在恒定输出和恒定环境空气温度下电容器所达到的热平衡状态。

1.3.27

剩余电压 residual voltage

开断一段时间之后电容器端子间尚残存的电压。

1.4 使用条件

1.4.1 正常使用条件

本标准给出的要求适用于在下列条件下使用的电容器。

1.4.1.1 通电时的剩余电压

不超过额定电压的10%。

1.4.1.2 海拔

不超过1 000 m。

1.4.1.3 环境空气温度类别

电容器按温度类别分类，每一类别用一个数字后跟一个字母来表示。数字表示电容器可以运行的最低环境空气温度。字母代表温度变化范围的上限，在表1中规定了最高值。温度类别覆盖的温度范围为： $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

电容器可以投入运行的最低环境空气温度应从 $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 这5个优先值中选取。

注：经制造方同意，电容器可以在低于上述下限的温度下使用，但投运必须在等于或高于该极限的温度下进行。

表 1 温度范围上限用字母代号

环境温度/℃			
代 号	最 高	24 h 平均最高	年平均最高
A	40	35	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

注：这些温度值可在安装地区的气象温度表中查得。

表 1 是以电容器不影响环境空气温度的使用条件(例如户外装置)为前提确定的。

如果电容器影响空气温度,则应加强通风和(或)另选电容器,以保证表 1 中的极限值。在这样的装置中冷却空气温度应不超过表 1 的温度极限值加 5℃。

任何最低和最高值的组合均可选作电容器的标准温度类别,例如:—40/A 或—5/C。优先的标准温度类别为:—40/A,—25/A,—25/B,—5/A 和—5/C。

1.4.1.4 风速

安装运行地区的风速应不超过 150 km/h。

1.4.1.5 污秽等级

不高于Ⅲ级。

1.4.1.6 地震

安装运行地区的地震烈度应不超过 8 度。

1.4.2 非正常使用条件

非正常使用条件由制造方和购买方商定。

2 质量要求和试验

2.1 试验要求

2.1.1 概述

本章给出了对电容器单元的试验要求。

2.1.2 试验条件

除对特殊的试验或测量另有规定外,电容器介质的温度应在+5℃~+35℃范围内。

当必须进行校正时,使用的参考温度为+20℃,但制造方和购买方之间另有协议时除外。

如果电容器在不通电状态下在恒定环境温度中放置了适当长的时间,则可认为电容器的介质温度与环境温度相同。

如果没有其他规定,交流试验和测量均可在 50 Hz 或 60 Hz 的频率下进行。

2.1.3 试验总则

耐压试验中任何一个元件损坏,都将视为整台电容器未通过试验;在其他试验中,如果任何一项参数不满足设计要求,都将视为整台电容器未通过该试验。

对于低压电容器,按照交流滤波电容器的试验要求(见 GB/T 20994—2007)进行。

2.2 试验分类

试验分为:例行试验、型式试验、验收试验和特殊试验。

2.2.1 例行试验

- a) 外观检查(见第 2.3);
- b) 电容测量(见第 2.4);

- c) 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(见第 2.5);
- d) 端子间电压试验(见第 2.6);
- e) 端子与外壳间交流电压试验(见第 2.7);
- f) 内部均压电阻测量(见第 2.8);
- g) 密封性试验(见第 2.9);
- h) 短路放电试验(见第 2.10)。

例行试验应由制造方在交货前对每一台电容器进行。如果购买方有要求,则制造方应提供详列这些试验结果的证明书。

上述试验顺序不是强制性的。

2.2.2 型式试验

- a) 热稳定性试验(见第 2.11);
- b) 端子与外壳间交流电压试验(见第 2.12);
- c) 端子与外壳间雷电冲击电压试验(见第 2.13);
- d) 短路放电试验(见第 2.14);
- e) 电容随频率和温度的变化曲线测量(见第 2.15);
- f) 极性反转试验(见第 2.16);
- g) 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(见 2.17);
- h) 局部放电试验(见第 2.18);
- i) 内部熔丝的隔离试验(见第 2.19);
- j) 套管及导电杆受力试验(见第 2.20)。

进行型式试验是为了确定电容器在设计、尺寸、材料和制造方面是否满足本标准中所规定的性能和运行要求。

除非另有规定,每一拟用来作型式试验的电容器应为经例行试验合格的电容器。

型式试验应对与所供电容器有相同设计的电容器进行,或对在设计和工艺上与所供电容器在可能影响型式试验所要检验的性能方面没有差异的电容器进行。

没有必要在同一电容器单元上进行全部型式试验,可以在具有相同特性的不同单元上进行。

型式试验应由制造方进行,在有要求时,应向购买方提供这些试验结果的证明书。

2.2.3 验收试验

验收试验主要是购买方在安装前所需进行的试验,此项试验的目的是检验电容器在运输中有否受到损伤,以确保要安装的电容器是良好的。在有条件时,推荐进行下列项目的试验:

- a) 外观检查(见第 2.21);
- b) 绝缘电阻测量(见第 2.22);
- c) 电容测量(见第 2.23);
- d) 耐压试验(见第 2.24);
- e) 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(见第 2.25);
- f) 耐压后复测电容值(见第 2.26)。

2.2.4 特殊试验

- a) 最高内部热点温度试验(见第 2.27);
- b) 抗震试验(见第 2.28)。

2.3 外观检查(例行试验)

检查电容器是否存在渗漏油、外壳变形,用量具检验相关的尺寸。

检查套管有无损伤,金属件外表面及防腐层是否有损伤和腐蚀。

检查爬电比距和电气净距是否满足设计要求。

2.4 电容测量(例行试验)

2.4.1 测量程序

电容应在 $(0.9 \sim 1.1)U_N/2$ 的电压下用能排除由谐波引起的误差的方法进行测量。

如果制造方和购买方商定了适当的校正因数,也可以在其他电压下测量。

最终的电容测量应在电压试验(见第 2.6 和第 2.7)之后进行。

为了揭示是否有诸如一个元件击穿或一根内部熔丝动作所导致的电容变化,应在其他电气例行试验之前进行电容初测,初测应在不高于 $0.15 U_N$ 的电压下进行。

测量方法的准确度应能满足 2.4.2 的电容偏差。经过协商,可以要求较高的准确度,在这种情况下,制造方应说明测量方法的准确度。

测量方法的再现性应能检测出一个元件击穿或一根内部熔丝动作。

2.4.2 电容偏差

电容和额定电容的相差应不超过:

对电容器单元, $-3\% \sim +8\%$;

对电容器组, $-1\% \sim +1\%$;

电容器组各串联段的最大电容与最小电容值之比应不超过 1.05。

2.5 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(例行试验)

2.5.1 测量程序

电容器损耗角正切($\tan\delta$)应在 $(0.9 \sim 1.1)U_N/2$ 的电压下用能排除由谐波引起的误差的方法进行测量。测量方法的准确度以及与在规定电压和频率下测量值的关系应予以给出。

注:某些类型电介质的 $\tan\delta$ 值是测量前通电时间的函数。

2.5.2 损耗要求

电容器损耗的要求应由制造方和购买方协商确定。

电容器损耗是在 2.5.1 条件下的测量值。

注:制造方应按照协议提供表明在额定容量的稳态条件下,电容器损耗(或 $\tan\delta$)与在温度类别范围内环境温度关系的曲线或表格。

2.6 端子间电压试验(例行试验)

每一电容器均应承受 2.6 倍额定电压的直流试验电压(U_t),历时 10 s。试验期间,应既不发生击穿也不发生闪络。

注:如果电容器在例行试验后再次进行试验,则第二次试验推荐采用 $75\%U_t$ 的电压。

2.7 端子与外壳间交流电压试验(例行试验)

所有端子均与外壳绝缘的电容器单元,试验电压应施加在连接在一起的端子与外壳之间,历时 1 min。

电容器单元的试验电压根据下面的步骤进行计算:

a) 首先计算电容器单元的额定雷电冲击耐受电压:

$$U_t = U_{LIWL} \cdot \frac{n}{S}$$

式中:

U_{LIWL} ——电容器组的雷电冲击耐受水平(峰值),其值由系统设计给定;

S ——电容器组中电容器单元的串联段数;

n ——同一台架上相对于外壳连接电位的最大串联单元数。

b) 在表 2 中选择与 U_t 值最为接近但不低于 U_t 值的雷电冲击耐受电压。

c) 该雷电冲击耐受电压所对应的额定短时工频耐受电压即为电容器单元端子与外壳间交流电压试验的试验电压值。

试验期间,应既不发生击穿也不发生闪络。

有一个端子固定连接到外壳上的单元,不做此项试验。

表 2 绝缘水平

单位为千伏

系统标称 电压 (方均根值)	设备最高电压 U_m (方均根值)	额定雷电冲击 耐受电压 (峰值)	额定操作冲击 耐受电压 (峰值)	额定短时工频耐受电压 (干试与湿试) (方均根值)
3	3.5	40	—	18/25
6	6.9	60	—	23/30
10	11.5	75	—	30/42
15	17.5	105	—	40/55
20	23.0	125	—	50/65
35	40.5	185	—	80/95

注:对同一设备最高电压给出两个绝缘水平者,在选用时应考虑到电网结构及过电压水平、过电压保护装置的配置及其性能、可接受的绝缘故障率等。
斜线下的数据为外绝缘的干耐受电压。

2.8 内部均压电阻测量(例行试验)

内部均压电阻的检验方法由制造方选择。

本试验应在 2.6 的电压试验之后进行。

均压电阻测量值与设计值的相差应不超过 $-10\% \sim +10\%$, 电容器组各串联段均压电阻的最大值与最小值之比应不超过 1.05。

注:均压电阻可同时用来当作放电电阻使用,其要求可参见 6.1。

2.9 密封性试验(例行试验)

单元(在无涂层状态下)应受到能有效地检测出其外壳和套管上任何渗漏的试验,试验程序由制造方规定。

如果制造方没有规定试验程序,则试验应按下述程序进行:

将未通电的电容器单元通体加热,使各个部位均达到不低于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度,并在此温度下保持至少 2 h,不应发生渗漏。建议使用适当的指示器。

2.10 短路放电试验(例行试验)

单元应以直流充电,然后通过尽可能靠近电容器放置的间隙放电 1 次。

试验电压应为 $1.2U_N$ 。

在放电试验前和电压试验后均应测量电容。两次测得值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内部熔丝动作之量。

2.11 热稳定性试验(型式试验)

2.11.1 概述

本试验是用来:

- 确定电容器在过负荷条件下的热稳定性;
- 确定电容器获得损耗测量再现性的条件。

2.11.2 测量程序

将被试电容器单元放置于另外两台具有相同额定值并施加与被试电容器相同电压的单元(陪试单元)之间。也可采用两台装有电阻器的模型电容器作为陪试单元,应调节电阻器的损耗使得模型电容器的内侧面靠近顶部的外壳温度等于或高于被试电容器相应处的温度。单元之间的间距应等于或小于正

常间距。此试验组应放置于静止空气的加热封闭箱中,其相对位置及放置方式应符合制造方对现场安装的规定。环境空气温度应保持或高于表 3 所示的相应温度。此温度应以具有热时间常数约 1 h 的温度计来检验。应对此温度计加以屏蔽,使其受到 3 个通电试品热辐射的可能性最小。

被试电容器应进行交流试验和直流试验。

如果交流试验和直流试验在同一台被试电容器进行,则先进行交流试验。对被试电容器应施加实际正弦波的工频交流电压,历时 24 h。在试验期间内应调整电压大小,使得电容器实际产生的损耗为实际运行条件下最大损耗的 1.44 倍。在最后 6 h 内,应测量外壳接近顶部处的温度至少 4 次。在整个 6 h 内温升的增加应不大于 1 K。如果观察到较大的变化,则试验应继续进行直到在 6 h 内的连续 4 次测量满足上述要求为止。

表 3 热稳定性试验时的环境空气温度

代 号	环境空气温度/℃
A	40
B	45
C	50
D	55

在交流试验结束后的 15 min 内对被试电容器施加 1.3 倍的最大直流持续电压(U_d),历时 24 h。在最后 6 h 内,应测量外壳接近顶部处的温度至少 4 次。在整个 6 h 内温升的增加应不大于 1 K。如果观察到较大的变化,则试验应继续进行直到在 6 h 内的连续 4 次测量满足上述要求为止。

如果选择两台被试电容器分别进行交流试验和直流试验,每项试验的试验方法与上述的相同,但持续时间最少为 48 h。试验可不分先后顺序。

试验前后应在 2.1.2 的温度范围内测量电容(见 2.4.1),并将两次测得值校正到同一介质温度。两次测得值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内部熔丝动作之量。

在解释测量结果时,应考虑以下两个因素:

- 测量的复现性;
- 在没有任何电容器元件击穿或内部熔丝熔断的情况下,介质的内部变化可能引起电容的微小变化。

注:当检验温度条件是否符合要求时,应考虑在试验期间内电压、频率和环境空气温度的波动,为此建议绘出这些参数和外壳温升对时间的函数曲线。

2.12 端子与外壳间交流电压试验(型式试验)

所有端子均与外壳绝缘的电容器单元,试验电压应施加在连接在一起的端子与外壳之间,历时 1 min。

电容器单元的试验电压可根据 2.7 中项 a)~项 c)的步骤进行计算:

本试验应在淋雨条件下(见 GB/T 16927.1)进行且套管的位置应与运行时的位置相当。

试验期间,应既不发生击穿也不发生闪络。

有一个端子固定连接到外壳上的单元,不做此项试验。

2.13 端子与外壳间雷电冲击电压试验(型式试验)

所有端子均与外壳绝缘的单元应承受下列试验。

在连接在一起的端子与外壳之间施加 15 次正极性冲击之后,接着再施加 15 次负极性冲击。

改变极性后,在施加试验冲击前允许先施加几次较低幅值的冲击。

如果满足下列要求,则认为电容器通过了试验:

- 未发生击穿;
- 在每一极性下未发生多于两次的外部闪络;

——波形未显示不规则性,或与在降低了的试验电压下记录的波形无显著差异。

另一种方法是单元承受3次正极性冲击,除不允许发生闪络外,以上的验收准则均适用。

雷电冲击电压试验应按 GB/T 16927.1 进行,但其波形为(1.2~5)/50 μ s,试验电压为:

$$U_1 = 1.1 \cdot U_{LIWL} \cdot \frac{n}{S}$$

式中:

U_{LIWL} ——电容器组的雷电冲击耐受水平;

S ——电容器组中电容器单元的串联段数;

n ——同一台架上相对于外壳连接电位的最大串联单元数。

试验时根据仪表的指示、放电声音、观察或复测电容等方法来检验电容器是否损坏。

有一个端子固定连接到外壳上的单元,不作此项试验。

2.14 短路放电试验(型式试验)

单元应以直流充电,然后通过尽可能靠近电容器放置的间隙放电。电容器应在10 min内承受5次这样的放电。

试验电压应为 $2.5 U_N / \sqrt{2}$ 。

在试验后的5 min内,应对单元进行一次端子间电压试验(2.6)。

在放电试验前和电压试验后均应测量电容。两次测得值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内部熔丝动作之量。

注:放电试验的目的是为了揭示内部连接中的缺陷。

2.15 电容随频率和温度的变化曲线测量(型式试验)

电容器单元应分别在工频(50 Hz或60 Hz)和额定谐振频率下进行测量。

测量时试品温度应至少包括在环境温度下限施加排除谐波后的电容器最低运行电压时的值,以及在环境温度上限施加最大负荷运行时的值,但不仅限于这两点。

测量应在电容器单元的温升稳定后进行。

应尽可能的选择足够多的点,以便建立电容随温度的变化曲线,并由此获得运行中可能出现的最大、最小电容值。

2.16 极性反转试验(型式试验)

电容器单元应能承受1.1倍的最大直流持续电压(U_d)并保持2 h,然后在2 min内改变电压极性并保持相同的幅值,同样再保持2 h,之后再进行一次电压极性反转并保持2 h。

电容器应能承受3次电压极性反转。

在试验前后均应测量电容。两次测得值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内部熔丝动作之量。

2.17 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(型式试验)

电容器单元应在工频(50 Hz或60 Hz)下进行测量。

测量应至少包括环境温度下限和最高内部热点温度的值,但不仅限于这两点。

应尽可能的选择足够多的点,以便建立损耗角正切随温度的变化曲线。

2.18 局部放电试验(型式试验)

试验电压为直流。

给电容器单元施加 $2U_N$ 的电压1 s,然后降至 $1.5U_N$ 的电压保持60 min。在后30 min内不应观察到局部放电量的增加。

在试验前后均应测量电容。两次测得值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内部熔丝动作之量。

2.19 内部熔丝的隔离试验(型式试验)

试验方法参见 GB/T 11024.4。

试验电压为直流,下限电压为 $0.7 \frac{U_{DC}}{S}$,上限电压为 $\frac{U_{SIPL}}{S}$ 。

式中:

U_{DC} ——电容器组的最大持续直流电压;

S ——电容器组中电容器单元的串联段数;

U_{SIPL} ——电容器组的操作冲击保护电压。

在击穿的元件与其熔断了的熔丝间隙之间施加 $1.8U_{Ne}$ (U_{Ne} 为元件电压)的直流试验电压,历时 10 s。

2.20 套管及导电杆受力试验(型式试验)

在瓷套顶部加与瓷套垂直的静止拉力 1 min,重复 5 次;在瓷套顶部导电杆加扭矩。

引出端子的套管及导电杆的机械强度:

——电容器套管应能承受 500 N 的水平拉力;

——电容器的导电杆能承受的扭矩应符合表 4 数据。

表 4 电容器的导电杆能承受的扭矩

接线头螺纹	螺母扳手的扭矩/N·m	
	最大值	最小值
M10	10	5
M12	15	7.5
M16	30	15
M20	52	26

2.21 外观检查(验收试验)

同 2.3。

2.22 绝缘电阻测量(验收试验)

用 2 500 V 绝缘电阻表测量。两出线端子短接后接绝缘电阻表的一端,另一端接电容器外壳。测量值应大于 5 000 MΩ。有一个端子固定连接到外壳上的单元,不作此项试验。

2.23 电容测量(验收试验)

用电容表或电桥进行测量,测试电压为工频 $0.1U_N$ 以下。

2.24 耐压试验(验收试验)

端子间电压试验电压为 2.6 试验电压值的 75%,历时 10 s;

端子与外壳间交流电压试验为 2.7 试验电压值的 75%,历时 1 min。

2.25 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(验收试验)

同 2.5。

2.26 耐压后复测电容值(验收试验)

见 2.24。

2.27 最高内部热点温度试验(特殊试验)

该试验用以确定最高内部热点温度上升至高于环境温度时与外壳温度间的关系。电容器的放置同 2.11.2。施加电压使电容器最高内部热点温度达到制造方规定的数值,并达到稳定状态。试验前后应测量电容,两次测得值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内部熔丝动作之量。

2.28 抗震试验(特殊试验)

本项试验按 GB/T 13540 进行。

水平加速度:0.3 g;

垂直加速度:0.15 g。

3 设计和结构要求

3.1 电容器组

在电容器组的设计中,应至少考虑以下因素:

- 在安装、运行和维护期间的机械负荷;
- 内部或外部故障对电容器组的电动力;
- 风力;
- 积雪覆冰载荷;
- 抗震要求;
- 由于温度和负荷变化引起的膨胀和伸缩的影响。

3.2 电容器台架

制造方应提供电容器台架及全部附属设备,包括支撑构架、电容器单元、绝缘子和连接件等。电容器台架应便于安装到电容器组上。

在设计中应考虑减少噪声的措施。

每一电容器台架都应明确标明:

- 该台架在装配完毕后的总重量;
- 该台架所属的电容器组;
- 该组作为备用电容器单元的最大和最小电容值;
- 适当的警告牌。

所有结构部件在电气上应相互连接以确保检修时能有效接地。台架上应带有适当的检修用接地端子。台架部件不允许通过负荷电流。

3.3 电容器单元

电容器单元优先采用内部熔丝保护。

设计中应考虑在电容器单元的寿命期内因预期的环境温度变化和负荷条件,包括短期和暂态负荷条件的变化所引起的膨胀和收缩。制造方应提供用来判断电容器单元箱体的正常膨胀和由电容器损坏造成的膨胀的判据。

电容器单元应当用螺丝和螺母紧固在电容器台架上。每一电容器单元的安装应便于从台架上拆卸和更换而不需拆卸其他电容器单元。当电容器单元较重时,应提供专门的搬运工具。

电容器单元套管的接线端子与电容器单元间的连接线应采用相同的材料,并应在额定电流下长期稳定工作。

电容器单元中的液体材料对环境应是安全可靠并可生物降解的。其尽可能无毒和无腐蚀性。不能采用含有多氯联苯(PCB)类的液体材料。在液体电介质浸渍前,电容器元件应在外壳内进行真空干燥处理,浸渍后,电容器单元应在浸渍剂容器移走后立即将电容器单元密封。

3.4 保护

由于直流滤波器的电容器组通常是由串联单元和并联单元组合成的,而单元通常是由串联元件和并联元件组合成的,所以可采用多种保护方法,例如:

- 采用内部熔丝保护,熔丝的设计应保证任一电容器元件都能在故障时安全地断开,而不影响相邻熔丝的正常运行;
- 电容器组内的不平衡保护;
- 通过在线或离线测量,监测滤波器调谐状态,以确定故障位置;
- 故障单元或对地电压值的直接或遥测、显示;