



高电压并联电容器

High voltage shunt capacitors

本标准等效采用国际标准 IEC 871-1(1987)《额定电压 660 V 以上交流电力系统用并联电容器 第一部分:总则、性能、试验和标志—安全要求—安装和运行指南》。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了高电压并联电容器的术语、性能与结构要求、试验方法、检验规则及其标志等。

本标准适用于并联连接于频率 50Hz 或 60Hz、额定电压高于 1 000V 的交流电力系统中、用来改善功率因数的电容器。

本标准不适用于下列电容器:

- a. 自愈式电容器;
- b. 交流滤波电容器。

2 引用标准

- GB 311.1~311.6 高压输变电设备的绝缘配合 高电压试验技术
- GB 6915 高原电力电容器
- GB 11025 并联电容器用内部熔丝和内部过压力隔离器
- GB 11024 高电压并联电容器耐久性试验
- ZB K48 003 并联电容器电气试验规范
- JB 3840 并联电容器单台保护用高压熔断器

3 术语

3.1 电容器元件(或元件)

由电介质和被它隔开的电极所构成的部件。

3.2 电容器单元(或单元)

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。

3.3 电容器组

电气上连接在一起的一组电容器单元。

3.4 电容器

在本标准中,当不必特别强调“电容器单元”或“电容器组”时,则用术语“电容器”。

3.5 线路端子

用来连接到电力线路上的端子。

注:在多相电容器中,拟连接到中性线上的端子不算作线路端子。

3.6 放电器件

中华人民共和国机械电子工业部 1989-03-21 批准

1990-01-01 实施

跨接在单元的线路端子上或母线之间以及装在单元内部的一种器件。当电容器从电源脱开后它能在规定的时间内把电容器上的剩余电压实际上降低到零。

### 3.7 内部熔丝

在电容器单元内部,与一元件或元件组相串联的熔丝。

### 3.8 额定频率 $f_n$

设计电容器时所采用的频率。

### 3.9 额定电压 $U_n$

设计电容器时所采用的电压(方均根值)。

### 3.10 额定电容 $C_n$

设计电容器时所采用的电容值。

### 3.11 额定电流 $I_n$

设计电容器时所采用的电流(方均根值)。

### 3.12 额定容量 $Q_n$

由额定频率、额定电压(或额定电流)和额定电容计算得出的无功功率。

### 3.13 损耗

电容器所消耗的有功功率。

注:电容器的损耗应包括所有部件产生的损耗。例如:对于单元应包括由电介质、内部熔丝、内部放电器件、连接件等产生的损耗;对于电容器组则包括由单元、外部熔断器、母线、放电电阻和阻尼电抗器等所产生的损耗。

### 3.14 损耗角正切值 $\tan\delta$

电容器在规定的正弦交流电压和频率下的损耗与无功功率之比。

### 3.15 电容器的最高允许电压

在规定条件下,电容器能够承受一规定时间的最高交流电压(方均根值)。

### 3.16 电容器的最大允许电流

在规定条件下,电容器能够承受一规定时间的最大交流电流(方均根值)。

### 3.17 剩余电压

在电容器脱开电源一定时间后其端子间残留的电压。

### 3.18 稳定状态

在恒定的容量和恒定的周围空气温度下,电容器所达到的热平衡状态。

### 3.19 环境空气温度

准备安装电容器的地点的空气温度。

### 3.20 冷却空气温度

在稳定状态条件下,在电容器组的最热区域中两单元之间的中间测得的空气温度。如仅为一单元,则指在距离电容器外壳 0.1m、距离底部三分之二高处测得的温度。

## 4 产品分类

### 4.1 环境空气温度类别

安装运行地区环境空气温度范围为 $-50\sim+55^{\circ}\text{C}$ 。在此温度范围内按电容器所能适应的环境空气温度范围分为若干温度类别,每一温度类别均以一斜线隔开的下限温度值和上限温度的字母代号来表示。

下限温度为电容器可以投入运行的最低环境空气温度;其值由 $+5^{\circ}\text{C}$ 、 $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-25^{\circ}\text{C}$ 、 $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $-50^{\circ}\text{C}$ 这5个数值中选取。

上限温度为电容器可以连续运行的最高环境空气温度。字母代号与环境空气温度上限的关系如表1所示。

任何下限温度和上限温度的组合均可选为电容器的标准温度类别。优先选用的标准温度类别是-40/A、-25/B、-5/A及-5/C。

电容器运行时的冷却空气温度应不超过相应温度类别的最高环境空气温度加5℃。

表 1

上限温度 代 号	环境空气温度,℃		
	最高	24h 平均最高	年平均最高
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

注：表 1 的温度值可由气象资料查得。

#### 4.2 额定电压

电容器单元额定电压的优先值如下：

1.05, 3.15, 6.6/ $\sqrt{3}$ , 6.3, 10.5, 11/ $\sqrt{3}$ , 11, 12/ $\sqrt{3}$ , 12, 19kV。

注：允许制造可以用串联连接得到本条件规定电压的电容器单元。

#### 4.3 额定容量

单相单元额定容量的优先值如下：

30, 50, 100, 200, 334 kvar。

三相单元额定容量的优先值如下：

100, 200kvar。

注：根据用户需要可以制造其他额定值的单元。

### 5 技术要求

#### 5.1 使用要求

##### 5.1.1 海拔

安装运行地区的海拔不超过 1 000 m。

注：用于海拔高于 1 000 m 的地区的电容器，按 GB 6915 的分级由购买方与制造厂协商提供适当的产品。

##### 5.1.2 环境空气温度

应符合与电容器相应的温度类别。

##### 5.1.3 化学条件

安装场所应无有害气体及蒸汽；应无导电性或爆炸性尘埃。

##### 5.1.4 机械条件

安装场所应无剧烈的机械振动。

##### 5.1.5 投入时的剩余电压

当电容器投入运行时，其端子上的剩余电压应不超过额定电压的 10%。

##### 5.1.6 过载荷

###### 5.1.6.1 稳态过电压

电容器的连接运行电压为  $1.00 U_n$ ，且能在如表 2 所规定的稳态过电压下运行相应的时间。

能为电容器所耐受而不受到显著损伤的过电压值取决于持续时间、总的次数和电容器的温度。

表 2 中高于  $1.15 U_n$  的过电压是以在电容器的寿命期间发生总共不超过 200 次为前提确定的。

表 2

工频过电压	最大持续时间	说 明
$1.10 U_n$	长期	指长期过电压的最高值应不超过 $1.10 U_n$
$1.15 U_n$	每 24 h 中 30 min	系统电压的调整与波动
$1.20 U_n$	5min	轻载时电压升高
$1.30 U_n$	1min	

### 5.1.6.2 操作过电压和过电流

用不重击穿开关投切电容器时可能发生第一个峰值不大于  $2\sqrt{2}$  倍施加电压(方均根值),持续时间不大于  $1/2$  周波的过渡过电压。相应的过渡过电流的峰值可能达到  $100 I_n$ 。在这种情况下,允许每年操作 1 000 次。当需对电容器作更为频繁的操作时,稳态过电压的量值和持续时间以及过渡过电流均应限制到一个较低的水平。其限值由制造厂和购买方协商确定。

### 5.1.6.3 稳态过电流

电容器单元应适于在方均根值不超过 1.30 倍于该单元在额定频率、额定正弦电压和无过渡状态时产生的电流的稳态过电流下连续运行。由于实际电容可能为  $1.10 C_n$ ,这个过电流可能达到约  $1.43 I_n$ 。

这个过电流是由谐波和高至  $1.10 U_n$  的过电压共同作用的结果。

### 5.1.6.4 最大允许容量

在计入稳态过电压、稳态过电流和电容正偏差各因素的作用下,电容器总的容量应不超过  $1.35 Q_n$ 。

### 5.1.6.5 工频加谐波过电压

电容器运行中工频加谐波的过电压应不使过电流超过 5.1.6.3 条的规定值。

如果电容器在不高于  $1.10 U_n$  下长期运行,则包括所有谐波分量在内的电压峰值应不超过  $1.2\sqrt{2} U_n$ 。

注:当需将电容器安装在不符合本条规定的环境中使用,购买方应与制造厂协商。

## 5.2 性能与结构要求

### 5.2.1 放电器件

如果单元内部装有放电器件,则该放电器件应能使单元上的剩余电压在 10 min 内自  $\sqrt{2} U_n$  降至 75V 以下。

注:根据购买方需要,可以装置在更短时间内减至更低电压的放电器件。

### 5.2.2 内部熔丝

如果单元装有内部熔丝,在单元的整个寿命期间,熔丝应能承受等于或稍大于单元电流最大允许值除以并联熔丝通路数的电流,开关操作引起的涌流以及内部其他元件损坏和外部短路时的放电电流。当配有熔丝的元件在电压  $u_1$  和  $u_2$  的范围内发生击穿时,熔丝应能将损坏的元件或元件组隔离开来,其中  $u_1$  和  $u_2$  分别为故障瞬间单元端子间电压的最低和最高瞬时值。 $u_1$  和  $u_2$  的推荐值分别为  $0.9\sqrt{2} U_n$  和  $2.0\sqrt{2} U_n$ 。

熔断后的熔断间隙必须能承受它所隔离的元件或元件组上可能出现的稳态电压和正常的短时过渡过电压。

### 5.2.3 外观及防腐蚀层

电容器单元的外观应符合产品图样的要求。其外露的金属件应有良好的防腐蚀层。

### 5.2.4 接地端子

电容器单元应有将外壳接地或固定电位的端子。

### 5.2.5 密封性能

电容器单元的密封性能,应足以保证在其各个部分均达到电介质允许最高运行温度后至少经历 2h 而不出现渗漏。

### 5.2.6 电容偏差

按 6.4 条测得的电容器电容与其额定值之偏差应不超过下列限值:

单元及每相一单元的电容器组:  $-5\% \sim +10\%$ ;

其他电容器组:  $0 \sim 10\%$ 。

三相单元中在任何两个线路端子之间测得的最大电容与最小电容之比应不超过 1.06。

### 5.2.7 损耗角正切值 $\tan\delta$

不带内部熔丝的电容器单元的损耗角正切值:

对于膜纸复合的单元应不大于 0.001 2;

对于全膜的单元应不大于 0.000 5。

带内部熔丝的电容器单元的损耗角正切值由购买方与制造厂协商确定。

注:膜纸复合的单元,对于不同的电介质组合的损耗角正切值在不大于 0.001 2 的条件下,由制造厂具体规定。

电容器单元在其电介质允许最高运行温度下的损耗角正切值应不超过在 20℃ 时之值。

### 5.2.8 电介质的电气强度

电容器单元端子间的电介质必须能承受下列两种试验电压之一,历时 10 s,采用电压的种类由制造厂选择。

a. 工频交流电压:  $2.15 U_n$ ;

b. 直流电压:  $4.3 U_n$ 。

注:① 如果欲对已发送的电容器重作耐压试验;推荐用上述规定值的 75%。

② 对于多相电容器单元,应调整试验电压,使每一相上均能受到规定的电压。

③ 有内部熔丝的单元,有一根或多根熔丝熔断,尽管电容仍在允许偏差之内,仅在与购买方取得协议时方可发货。

④ 当单元或有接地中性点的电容器组的阻抗太高而不能有效地缓和系统的过电压,且电容器组又未受到防雷电和操作过电压的保护,则工频试验电压应取端子对外壳的耐受电压之值。如果单元在电容器组中成串联连接,则试验电压按比例确定。

### 5.2.9 绝缘水平

5.2.9.1 电容器单元上和外壳绝缘的全部端子与外壳间的绝缘应能承受如表 3 所列的耐受电压。

短时工频耐受电压施加的时间为 1 min。户外用的产品在型式试验时,应在淋雨状态下进行。

5.2.9.2 电容器额定电压的相应绝缘等级如表 4 所示。

### 5.2.10 耐受短路放电能力

电容器单元必须能承受在允许的运行电压下由于外部故障引起的短路放电。

### 5.2.11 局部放电性能

电容器单元的局部放电性能应能达到 6.12 条的试验要求。

注:对用于寒冷地区的电容器单元,应提供该电容器单元或元件在下限温度下的局部放电性能。

表 3

kV

电容器的绝缘等级	绝缘水平	
	短时工频耐受电压 方均根值	雷电冲击耐受电压 (1.2~5)/50 $\mu$ s 峰值
1	5	25
2	10	35
3	18	40
6	25	60
10	35	75
15	45	100
20	55	120
35	85	180

表 4

kV

电容器的 额定电压	1.05	3.15	6.6/ $\sqrt{3}$ 6.3	10.5, 11/ $\sqrt{3}$ , 11, 12/ $\sqrt{3}$ , 12	19
绝缘等级	1	3	6	10	20

## 6 试验方法

### 6.1 概述

电容器单元的试验及测量除应按下述规定进行外,还应符合 ZB K48 003 的要求。

### 6.2 试验条件

电容器单元的一切试验及测量,除另有规定者外,均应在下列条件下进行:

a. 环境空气温度为+5~+35℃,如需校正以+20℃时之值为准。电容器单元的温度应与环境空气温度无显著差别。在不通电状况下在恒定的环境空气温度中放置适当长的时间后,即认为电容器单元的电介质的温度与环境温度相同。

b. 试验和测量所用的交流电压的波形应为实际的正弦波形(见 GB 311.2)。无论电容器单元的额定频率如何,交流试验和测量均可在 50 Hz 或 60 Hz 下进行。

### 6.3 密封性试验

电容器单元的密封性试验按 5.2.5 条的要求用加热的方法进行,也可以采用经过验证证明为有效的等效方法进行。

### 6.4 电容的测量

电容的测量应以足以排除谐波和除被测电容器单元以外的回路中的附件引起的误差的方法进行。

为了揭示是否有一只元件击穿或一根内部熔丝熔断所导致的电容变化,应在其他电气试验之前用不高于 0.15  $U_n$  的电压进行电容的初测;在耐压试验(6.5 条)之后用 (0.8~1.2)  $f_n$  和 (0.9~1.1)  $U_n$  的电压进行电容的复测。

如果制造厂和购买方商定了适当的修正因数,电容的测量可以在其他电压下进行。

测量的再现性应足以检出一只元件击穿或一根熔丝熔断。

注：① 对于多相电容器单元应调整测量电压，使每一元件上均能受到 $(0.9\sim 1.1)$ 倍元件额定电压。

② 在取得协议时，制造厂应提供表明下述关系的曲线或数表：

- a. 在额定容量的稳态条件下，电容对环境温度（在温度类别范围内）的函数关系；
- b. 电容对电介质温度（在室温至 $100^{\circ}\text{C}$ 或温度类别下限温度至 $100^{\circ}\text{C}$ 范围内）的函数关系。

## 6.5 耐压试验

6.5.1 电容器单元的耐压试验一般按 GB 311.2~311.6 中的有关规定和下面的补充说明进行（6.5.2~6.5.5 条）。

6.5.2 当用直流电压试验时，试验后应通过限制电流不超过 $10I_n$ 的电阻放电。

6.5.3 在作工频耐压试验时，应使电压从电容器单元的额定电压的一半或更低些开始，在 $2\sim 10\text{s}$ 内均匀地升高到试验值，并在试验电压下保持所要求的时间。

6.5.4 在作端子对外壳的耐压试验中，应将电容器单元上与外壳绝缘的端子都连接在一起，电压加于公共接头与外壳之间。

一个端子固定接外壳的单元在出厂试验时不作此项试验。在型式试验时，应对只有套管和外壳而没有元件的模型单元进行试验。如果制造厂能提供表明该产品已作过这一试验的型式试验报告，则在型式试验时也可不作此项试验。

各相不连接的多相单元，其相间绝缘应受到和端子与外壳之间相同的电压试验。

此项试验对于户内使用的单元，只作干试；对于户外使用的单元，出厂试验时作干试，型式试验时应作湿试。如果制造厂能提供表明该套管能承受 $1\text{min}$ 工频湿试验电压的型式试验报告，则户外式单元在型式试验时也可以只做干试。

6.5.5 冲击试验在连接在一起的线路端子与外壳之间进行，冲击试验电压及波形由表 3 中选取。每一极性施加 15 次，如果在连续的 15 次冲击中未发生多于两次的闪络且未发生击穿，则认为通过了该项试验。

在转换极性后允许先施加几次幅值较低的冲击，随后再施加规定的冲击试验电压。

6.5.6 试验时按照仪表的指示、放电声音、观察或复测电容等方法来检验电容器是否损坏。

## 6.6 放电器件的检验

电容器单元内装放电器件的放电效能，可以用实际放电法测量。测量后的计算见附录 B5 章。如果放电器件为电阻型的，也可以用测量电阻的办法进行。

本检验应在耐压试验后进行。

## 6.7 损耗角正切值的测量

电容器单元的损耗角正切值的测量应在 $(0.8\sim 1.2)f_n$ 、 $(0.9\sim 1.1)U_n$ 的电压下进行。

## 6.8 热稳定性试验

6.8.1 本试验在于提供如下资料：

- a. 单元在过载荷条件下的热稳定性；
- b. 单元损耗测量再现性的条件。

6.8.2 试验时，将被试单元置于另外两台相同的单元（陪试单元）之间，它们的间距应等于或小于制造厂希望购买方采用的最小值。试验时施加相同的电压。陪试单元也可采用相同外壳内装电阻器的模拟单元。电阻器消耗的功率应调节到使模拟单元外壳宽面上靠近顶部处的温度等于或稍高于被试单元相应处的温度。

被试组应放置于静止空气的封闭恒温箱中，箱中空气温度应符合表 5 规定，并保持恒定。此温度应以热时间常数约为 $1\text{h}$ 的温度计检测。应对温度计加以遮蔽，使受到三个通电单元的热辐射量为最少。当单元的各个部分都达到表 5 规定的相应温度后，对单元施加实际正弦波的交流电压，历时 $48\text{h}$ 。在整个试验过程中，应使单元的容量等于 $1.58Q_n$ ，并且保持恒定。

在试验过程的最后 6h 内,外壳接近顶部处的温度至少应测 4 次。在此 6h 内温度的增量不得超过 1℃。如果超过,则应延续试验直到 6h 内的连续 4 次测量达到上述要求为止。

户外式产品试验时,其周围空气温度按表 5 中相应值加 5℃。

表 5

代号	试品周围空气温度	温度偏差
A	40	±2
B	45	
C	50	
D	55	

在热稳定性试验前后,应在标准的试验温度范围(6.2 条)内测量电容并校正到同一电介质温度,两值之差应小于一个元件击穿或一根内部熔丝熔断之量。

在解释测量结果时,应该注意以下两个因素:

- a. 测量的再现性;
- b. 在没有元件击穿或熔丝熔断时,电介质的内在变化可能导致电容微小的变化。

注:用于 60Hz 的电容器可以在 50Hz 下试验,反之亦可,但其试验容量都必须等于  $1.58Q_n$ 。

6.8.3 在试验中应考虑电压、频率及试品周围空气温度等的波动。为此,建议作出这些参数以及单元损耗角正切值或外壳温度对时间的函数曲线。

6.8.4 建议作出单元损耗角正切值对外壳或电介质温度的函数曲线。

### 6.9 高温损耗角正切值的测量

在型式试验中,此测量应在热稳定性试验结束时进行。测量电压应符合 6.7 条规定。测量值应满足 5.2.7 条的要求。

在出厂试验中,此项测量在电介质允许最高运行温度下进行,其余要求按 6.7 条。

### 6.10 放电试验

以直流电将单元充电到  $2.5U_n$ ,然后通过尽可能靠近单元的间隙放电。这样的试验应在 10 min 内作完 5 次。接着在 5min 内按 5.2.8 条进行一次极间耐压试验。在放电试验之前和耐压试验之后测量电容,两次测量值之差应小于一只元件击穿或一根内部熔丝熔断之量。

### 6.11 内部熔丝试验

内部熔丝试验按 GB 11025 进行。

### 6.12 局部放电试验

试验电压应为实际正弦波,应对试验电路适当阻尼,以降低由于过渡过程引起的过电压。

先加上额定电压使单元达到热平衡后,再加  $2.15U_n$  的电压 1s 将电压降到  $1.2U_n$  并保持 10 min,然后再将电压升到  $1.5U_n$  保持 10 min,在后 10 min 内不应观察到局部放电量的增加。

试验前后按 6.4 条测量电容,两次测量值之差应小于一只元件击穿或一根内部熔丝熔断之量。

## 7 检验规则

### 7.1 试验的分类

电容器单元的试验分为出厂试验、型式试验和验收试验。

注:推荐对 100kvar 以上的单元取典型的样品作耐久性试验以考核其设计,试验方法按 GB 11024 进行。

### 7.2 出厂试验

出厂试验由制造厂对制出的每一单元进行。试验的项目见表 6。在出厂试验中,可抽取部分单元作

电介质允许最高运行温度下的损耗角正切值的测量。

有条件时,在出厂试验中,可以抽取部分产品,在板间工频耐压试验之后,把电压降到  $1.2U_n$  保持 10 min 测量局部放电,在此 10 min 内不应观察到局部放电量的明显增长。

### 7.3 型式试验

型式试验在于考核单元的设计、尺寸、材料和制造等方面是否满足本标准所规定的性能和运行要求。型式试验在新产品制出时进行。在生产中当单元的结构、材料或工艺有改变,且其改变有可能影响单元的性能时应进行部分或全部型式试验。在没有上述改变时,型式试验亦应每五年进行一次。

型式试验由制造厂进行。除非另有规定,作型式试验的单元应为经出厂试验合格的。各项型式试验不一定都要在同一单元上进行,局部放电试验可对元件或与之可比的模型单元进行。

除热稳定性试验可只取一单元的数据之外,其余的型式试验项目至少应有两单元的试验数据。

在购买方有要求时,应提供载有试验结果的证明书。

型式试验的项目见表 6。

表 6

项号	试验类别	试验项目	技术要求条号	试验方法条号
1	出厂试验	外观检验	5.2.3 及 5.2.4	—
2		密封性试验	5.2.5	6.3
3		电容测量	5.2.6	6.4
4		极间耐压试验	5.2.8	6.5
5		极对壳工频耐压试验(干试)	5.2.9	6.5.4
6		复测电容	5.2.6	6.4
7		放电器件检验	5.2.1	6.6
8		损耗角正切值测量	5.2.7	6.7
9	型式试验	热稳定性试验	5.1.2 及 5.1.6	6.8
10		高温损耗角正切值的测量	5.2.7	6.9
11		极对壳工频耐压试验(湿试)	5.2.9	6.5.4
12		雷电冲击耐压试验	5.2.9	6.5.5
13		放电试验	5.2.10	6.10
14		内部熔丝试验	5.2.2	6.11
15		局部放电试验	5.2.11	6.12

注:表 6 的顺序为推荐顺序,制造厂可以按照自己的特点选择最佳顺序。

### 7.4 验收试验

验收试验主要是用户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. 测量电容;
- b. 耐压试验,试验电压应为出厂试验值的 75% 或更低;

c. 测量损耗角正切值。

## 8 标志

### 8.1 电容器单元的标志应注明下列内容：

- a. 电容器单元的名称；
- b. 电容器单元的型号；
- c. 额定频率,Hz；
- d. 额定电压,kV；
- e. 额定容量,kvar；
- f. 实测电容, $\mu\text{F}$ ；
- g. 重量,kg(仅对 30kg 以上的单元)；
- h. 接法或相数,接法可用字母或符号(8.2 条)表示,单相电容器单元不表示接法和相数；
- i. 温度类别(例如-40/A)；
- j. 内部放电器件(如果装有时),以符号“”表示；
- k. 内部熔丝(如果装有时),以符号“”表示；
- l. 绝缘水平,kV(仅所有端子均与外壳绝缘者采用)；

绝缘水平以一斜线隔开的两个数字表示,第一个数字表示额定工频短时耐受电压,方均根值,kV,第二个数字表示额定雷电冲击耐受电压,峰值,kV；

- m. 电容器单元的编号；
- n. 制造年份；
- o. 本标准的代号；
- p. 制造厂名称及/或商标。

标志中的部分内容可在说明书中表明。

### 8.2 连接符号

用以表示连接的字母或符号如下：

D 或  —— 三角形；

Y 或  —— 星形；

YN 或  —— 星形,中性点引出；

III 或  —— 内部未连接的三个独立节段；

 —— 接地。

### 8.3 警告牌

如果电容器单元中含有可能污染环境或在别的方面有危害性的浸渍剂,应在电容器单元上作出标记。

## 9 安全要求

### 9.1 放电器件

电容器应备有放电器件。

放电器件与电容器之间不得有开关、熔断器或任何别的隔离器件。虽然已有放电器件,在人接触电

容器之前仍须把电容器的端子短路并且接地。

注：① 直接接在别的可提供放电通路的电气设备上的电容器，如果该通路能满足放电要求，即认为有适当的放电手段。

② 放电器件及其放电电路必须能承受电容器在  $1.30U_n$  峰值时（按 5.1.6 条）对其放电的电流。

③ 用熔断器切断单元内部的电气故障或跨越电容器组的局部闪络，可能在电容器组内部产生局部剩余电荷，这种电荷是不能在规定的时间内用连接在电容器组的端子上的放电器件消除的。

④ 计算放电电阻的公式列于附录 B（参考件）中。

## 9.2 外壳连接

为了固定单元金属外壳的电位并能承受对外壳击穿时的故障电流，外壳必须备有供连接用的螺栓：对于 100 kvar 以下单元不小于 M8；对于 100kvar 以上的单元，不小于 M10。

## 9.3 环境保护

当单元中的浸渍剂不允许散逸于环境中时，必须采取措施。

## 9.4 其他安全要求

当被问到安装电容器的国家有关安全规程的特殊要求时，购买方应予以说明。

## 附录 A

### 安装运行说明

(补充件)

#### A1 概述

并联电容器与大多数别的电器不同。当其接于电力系统中使用时,总是在满载荷下运行,仅在电压或频率波动时,载荷才稍有变动。

电容器是以电介质为工作介质的一种电器,它的设计一般是按规定的使用条件,在可靠的基础上力求经济合理,故在额定电压下电介质中的电场强度是高的。如果在运行中电压、电流和温度超过了规定限度,就会缩短电容器的寿命。因此,应严格控制电容器的运行条件。

系统中装置了电容器时,系统的电压会升高,系统中的谐波会受到放大,可能引起操作过电压,发生电机自激,给音频遥控设备的工作带来困难。

下面扼要说明并联电容器在选型、安装和运行中的保护和应注意的主要之点。详细的导则和说明可参看有关规程和制造厂的说明书。

#### A2 运行温度

##### A2.1 高温影响

对电容器的上限温度应加以注意,因为温度过高会影响电容器的使用寿命。

对于 5.1.2 条关于温度的规定需要全面考虑。例如,在考虑温度的上限时,不仅要考虑 1h 的平均值,并且要注意 24h 的平均值和年平均值。同时还应注意运行中电容器之间冷却空气的温度。这样,电容器才不至于因受到过热而降低使用寿命。环境温度固然重要,但起决定作用的是冷却空气温度。

在设计电容器组时,应使电容器的冷却空气温度不超过相应温度类别的最高环境空气温度加 5℃。

电容器的安装应便于以对流和辐射来散发由电容器损耗所产生的热量。电容器室的通风和电容器的布置应使空气能在每一电容器的周围良好地流通。这一点对于成行迭层安装的电容器尤其重要。

为了通风良好,应在电容器之间留出适当的间隔。

受到太阳和别的高温面的辐射的电容器的温度将增高,所以应注意避免电容器受到高温面的热辐射。用于户外的电容器的安装设计应注意尽量使电容器的较小的面朝向太阳照射时间较长的方向。

在特殊情况下,如果环境温度不能满足要求,可以用人工方法来降低冷却空气温度,维持电容器的短期运行。

当不能满足这个条件时,则应采取较高一级温度类别的产品,亦可选用额定电压较高的产品。

代号 C 类的电容器适用于在大多数热带地区。在有些地区(例如沙漠地区)可能需要使用 D 类的电容器。

在特殊情况下,环境温度最高可能高于 55℃ 或日平均高于 45℃,同时又无法改善冷却条件,则须使用特别设计的或较高额定电压的电容器。

##### A2.2 低温影响

电容器的电介质的温度降低到温度类别的下限以下时,电介质中有发生局部放电的危险。在寒冷地区使用,不仅在断开电源一段时间以后电容器的电介质的温度可能降低到温度类别的下限温度以下,  $\text{tg}\delta$  小的电容器,在低于下限温度下运行时,电介质的温度也有可能在下限温度以下,此时应中止运行,并且,当电容器的温度低于下限温度时,应避免进行电容器的投入操作。否则,应选择能适应这一温度的电容器。在特殊情况下,可征询制造厂的意见进行适当处理。

### A3 特殊运行条件

温度类别中的上、下两个极限温度极其重要。但下列条件也是极重要的。购买方应在订货时告知制造厂。

#### A3.1 高的相对湿度

应选用湿热带使用的电容器,并要防止外部熔断器由于凝积在其表面上的潮气而短路。

#### A3.2 霉菌

对于某些材料,在潮湿处,尤其在有灰尘等沉积处,霉菌可能会生长、发展。虽然采用杀菌剂能抑制霉菌的生长、发展,但是杀菌剂的毒性是不能持久地保持住的。因此,在这种情况下,可采用诸如金属、陶瓷制品和某些不利霉菌生长的油漆、清漆等材料。

#### A3.3 腐蚀性大气

在工业集中的地区及沿海地区都会遇到腐蚀性的大气,应该注意,在较高温度的气候条件下,这些腐蚀性大气的作用更加严重。

即使在室内的场合也可能存在高腐蚀性的大气。

#### A3.4 污秽

当电容器安装在高度污秽的地区时,应采取特殊的预防措施。

#### A3.5 海拔高度超过 1 000m

应选用高原型电容器。

### A4 额定电压的选择

电容器的额定电压应不低于该电容器所要接入的网络的最高运行电压,并且还要考虑接入电容器后所引起的电压升高。在有些情况下,网络的实际电压和额定值相差较大,则应选用额定电压较高的电容器。这一点是十分重要的,因为电介质上的电压不适当地升高,对电容器的特性和寿命有损伤性影响。

为降低谐波及其他影响而接入串联电抗器时,电容器端子上的电压将高于网络运行电压,此时有必要选用额定电压较高的电容器。在安装电容器前后最好实际测量网络的电压。

电容器端子上的电压在轻载荷时升高较多,在这种情况下应切出部分或全部电容器。

电容器的允许最高工频电压和相应的持续时间见 5.1.6.1 条。

当确定电容器端子上的预期电压时,下面的情况应予以考虑:

a. 并联电容器能使其安装处的网络电压升高〔见附录 B(参考件)〕。此一电压升高,可能因谐波之存在而增加更多。故电容器易于在比接上电容器之前高得多的电压下进行。

b. 电容器端子上的电压,在轻载荷下特别高〔见附录 B(参考件)〕。此时,应将部分或全部电容器切出,以免电容器过载和网络电压异常升高。

仅在紧急情况下,才允许电容器在最高允许电压和最高环境温度同时出现的条件下运行,但只能是短时的。

注:① 在选取额定电压时应避免安全裕度取得过大,因为它将导致容量降低。

② 关于最高电压见 5.1.6.1 条。

③ 串联或星形连接时电容器电容的允许偏差对电容器的运行电压有影响。熔丝的熔断,也将增高其余并联电容器的运行电压,应留有裕度。

### A5 过电压

工频过电压与相应的允许持续时间,在 5.1.6.1 条中说明。

当制造厂同意时,如果估计过电压的出现率较低,或者温度条件较轻,某些过电压值可以提高。这些工频过电压不允许有过渡过电压叠加其上,并且电压的峰值应不超过所给定电压(方均根值)的 1.41

倍。

#### A5.1 开关的重击穿

当用允许重击穿的开关来分断电容器时,可能遇到高的过渡过电压,应注意选择操作时不引起过高的过电压的开关装置或采用限制过电压的保护措施。

如果不能防止重击穿,就有必要采取措施限制过电压或采用具有较高绝缘水平和较高额定电压的电容器。

#### A5.2 雷电

易于受到高的雷电过电压的电容器,应受到适当的保护。如果采用避雷器,则应尽量靠近电容器放置,并且可能需要用特殊的避雷器使能承担电容器的、尤其是大电容器组的放电电流。

如果连接电容器组的输电线带有架空地线,且其长度大于  $5U_m$  ( $U_m$  以 kV 计,乘积以 m 计) 或 200 m,则中性点接地的电容器组即认为可以防雷。

#### A5.3 电动机自激励

当电容器固定连接在电动机上,当电动机从电源切出而尚未停止旋转时,因自激而起发电机的作用,这将出现超过系统电压甚多的电压,这一点通常可以用使电容器电流小于电动机空载电流(建议取 90%)的办法来防止。

在电动机停止旋转以前,不得接触固定接有电容器的电动机的带电部分。

注:① 在电动机已切出后由于自激励而保持电压,在这种感应发电状态及拟用在失压制动系统的电动机(例如提升电动机)是特别危险的。

② 在切出电源后能立即停止旋转的电动机,其补偿度可以超过 90%。

#### A5.4 星三角起动

当电容器连接到用星三角起动器启动的电动机上时,这套装置在启动时应不产生过电压,但购买方与制造厂有协议时除外。

#### A5.5 电容器单元的选择

当用随机选择的单元来组成电容器组时,应注意避免由于串联单元或单元群之间的电容差异所造成的过电压。

在极端情况下,这个差异可高达 15%(见 5.2.6 条)。

如果电容器单元或单元群成串联连接,应适当调整或选取电容一致的单元,使它们的电容差异尽可能小,从而使单元的电压差异降到最低,避免单元或单元群过电压。也可计入一定量的电压增高而选用适当额定电压的单元。

在中性点绝缘的星形连接电容器组中,相间电容差异将导致电容最小的相中的电容器上的电压增高。

### A6 过电流

#### A6.1 持续过电流

除轻载荷下不长于 5 min 的电压升高(见表 2)外,决不应使电容器在超过 5.1.6.3 条所允许的过电流下运行。

过电流可能是由基波过电压或由谐波或此两者所引起。主要的谐波源是整流器和饱和的变压器铁心。

如果在轻载荷时电压的升高为电容器所增强,就可考虑有变压器铁心显著饱和的情况,在这种情况下,将有异常量的谐波产生,其中某一次谐波还可能被变压器与电容器之间的谐振所放大。这是推荐在轻载荷下将电容器切出的理由之一。

安装电容器前后,应测定电压的波形和网络的特性。当有谐波源(例如大型整流器)时应予以特别注意。

如果电容器电流超过了 5.1.6.3 条的规定,而电压仍在 5.1.6.1 条允许限度之内,则应测出主要的谐波以便采取最佳的对策。

下面的处理办法可能对降低电流有作用:

将一些或所有的电容器移装到系统别的部位。

在电容器的电源电路中串联接入电抗器,将电路的谐振频率降低到低于主要的干扰谐波频率之下,增加连接在整流器近旁的电容器的电容值。

注:① 如所用电抗器为铁心结构,须当心铁心被谐波所饱和和过热。

② 电容器电路中的任何接触或连接不良,都可能发生电弧引起高频振荡,使电容器过热和过电压。因此,建议定期检查电容器设备的所有的接触点和连接点。

③ 计算振荡频率的公式列于附录 B(参考件)。

## A6.2 过渡过电流

当投入电容器特别是投入而与通电的其他电容器相并联运行时〔见附录 B(参考件)〕有可能产生高频率和高幅值的过渡过电流,后一情况更为严重。

为了将这些过渡过电流降低到电容器和有关设备所能承受的程度,可通过电阻器接入电容器(电阻切合)或用在电容器组的电源电路中串入电抗器。

开关操作的过电流峰值应限制到最大为  $100I_n$  ( $I_n$  为方均根值)。

## A7 切合和保护器件

### A7.1 耐受要求

开关和保护器件以及连接件的设计应能连续承受 5.1.6.3 条规定的稳态过电流。对于单元或小容量的电容器组,实际电容最大可达  $1.10C_n$ 。这时,电流可能达到  $1.3 \times 1.10 = 1.43I_n$ 。

如果电流中含有谐波分量,由于趋肤效应,谐波分量有可能产生比基波更大的热效应。

开关和保护器件以及连接件应能承受投入电容器时可能产生由于高频率高幅值的过渡过电流造成的电动力和热应力。当考虑此电动力和热应力会导致过分的设计要求时,可采取 A6.2 条所述防止过电流的措施。

注:① 应选取具有足够热容量的熔断器。

② 在某些情况下,例如自动投切电容器时,有可能在相当短的时间间隔内发生反复的切合操作。这时必须选取足以承受这些条件的开关和熔断器。

③ 连接在同一汇流排上的开关可能受到有如投入短路情况下的特殊应力。

④ 用以投切并联电容器组的开关应能承受将一电容器组接到已接有一或更多电容器组的汇流排上所产生的涌入电流。

### A7.2 不重击穿的开关

应采用适于切合电容器的开关。该开关在作分断操作时应不会发生重击穿。重击穿可能造成过高的过电压(见 A5.1 条)。

### A7.3 继电器整定

推荐用适当的过电流继电器来作电容器的过电流保护。它应调整到当电流超过 5.1.6.3 条所规定的允许极限时操动开关。熔断器通常不具备一般过电流的保护功能。

注:① 电容器的过电流保护系统本身不能起足够的过电压保护作用。一般来说,也不能对电容器单元内部故障起保护作用。

当电容器组是由多单元组成时,有必要对电容器组的内部故障采取保护。

② 不同结构的电容器,其电容或多或少地随温度变化。应注意到电容器冷态投入时,电容可能急剧变化且变化率不一致,在负温度下更为显著,这就可能引起保护装置的误动作。

③ 当电容器组的单元以外熔断器保护时,尽管熔断器熔断的数目已导致电容器上的电压超过 5.1.6.1 条所给定之值,用户可能要求电容器组仍继续运行。则制造厂和购买方应协商决定选取较高额定电压的单元或

者限制过电压的时间。

## A8 绝缘水平的选择

A8.1 电容器的绝缘水平应按能适应电容器所拟接入的系统来选取(参看 5.2.9 条),且应具有等于或高于系统的绝缘水平。

A8.2 耐受电压值(5.2.9 条)是按小电容对象承受过渡过电压尚有足够的裕度选取的。因而,在单元或电容器组中,这一绝缘水平只适用于具有低电容值的装置。例如,全绝缘单元的对地绝缘,或绝缘的中性点与地之间的绝缘。

具有接地中性点的并联电容器的相电容通常能够充分地降低雷电或操作冲击电压,即使该冲击波起源于相当靠近电容器之处。

## A9 电容器接到有音频遥控的系统

电容器在音频下的阻抗是很低的,当将电容器接到有音频遥控的系统中时,可能使遥控装置过载甚至不能正常工作。最好的解决方法应由有关方面协商确定。

## 附录 B

### 电容器的计算公式

(参考件)

#### B1 从三个单相测量电容来计算三相电容器的容量

无论是三角形连接或者是星形连接的三相电容器,在任意两个线路端子测得的电容用  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  来表示。

如果能满足 5.2.6 条所规定的对称性要求,则电容器的容量  $Q$  可由式(B1)算出:

$$Q = \frac{2}{3}(C_1 + C_2 + C_3)\omega U_n^2 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中:  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  均以  $\mu\text{F}$  计;  $U_n$  以  $\text{kV}$  计;  $Q$  以  $\text{Mvar}$  计。

#### B2 谐振频率

在下列方程中  $n$  为整数时,电容器将在  $n$  次谐波下谐振:

$$n = \sqrt{S/Q} \quad \dots\dots\dots (B2)$$

式中:  $S$ ——电容器安装处的短路容量,  $\text{MVA}$ ;

$Q$ ——电容器的容量,  $\text{Mvar}$ ;

$n$ ——谐波次数,即谐振频率( $\text{Hz}$ )与网络频率( $\text{Hz}$ )之比。

#### B3 电压升高

并联接上电容器后将引起如下的稳态电压升高。

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S} \quad \dots\dots\dots (B3)$$

式中:  $\Delta U$ ——电压升高,  $\text{kV}$ ;

$U$ ——在连接电容器以前的电压,  $\text{kV}$ ;

$Q, S$ ——见 B2。

**B4 涌入电流****B4.1** 投入电容器单元(或组)时:

$$I_s = I_n \sqrt{\frac{2S}{Q}} \quad \dots\dots\dots (B4)$$

式中:  $I_s$ ——电容器单元(或组)投入的涌入电流, A; $I_n$ ——电容器单元(或组)的额定电流(方均根值), A; $S, Q$ ——见 B2。**B4.2** 将一电容器单元(或组)投入而与近旁已运行的电容器单元(或组)并联时:

$$I_s = \frac{\sqrt{2}U}{\sqrt{X_c X_L}} \quad \dots\dots\dots (B5)$$

式中:  $I_s$ ——见 B4.1; $U$ ——相电压, V; $X_c$ ——拟投入和已运行电容器单元(或组)每相串联容抗,  $\Omega$ ;

$$X_c = 3U^2 \left( \frac{1}{Q_1} + \frac{2}{Q_2} \right) \times 10^{-3}$$

 $X_L$ ——拟投入和已运行电容器单元(或组)及其间回路的每相串联感抗,  $\Omega$ ; $Q_1$ ——接入的电容器组的容量, kvar; $Q_2$ ——已在运行的电容器组的总容量, kvar。**B5 单相单元中的放电电阻**

$$R \leq \frac{t}{C I_n \sqrt{2} U_n / U_R} \quad \dots\dots\dots (B6)$$

式中:  $R$ ——放电电阻,  $M\Omega$ ; $t$ ——从  $\sqrt{2}U_n$  放电到  $U_R$  的时间, s; $C$ ——电容,  $\mu F$ ; $U_n$ ——单元的额定电压, kV; $U_R$ ——容许剩余电压, kV。**附录 C****对外部熔断器的要求与应用指南**

(参考件)

**C1 范围**

本附录适用于高电压并联电容器用外部熔断器。

**C2 目的**

本附录旨在提供外部熔断器的应用指南。

**C3 定义****C3.1 外部熔断器**

连接在电容器单元外部并且在电气上和一单元或一并联单元群相串联的熔断器。

## C4 性能要求

a. 在电容器寿命期间,熔断器应能承受开关操作引起的涌入电流,涌入电流之峰值应不超过 $100I_n$ (见 A6.2 条)。

注:如果使用条件允许,“在电容器寿命期间”可以用“直到下次定期维护检查为止”来取代。

b. 连接在未损坏单元上的熔断器,应能承受由于别的单元击穿时的放电电流和由于单元外部短路时的故障电流。

## C5 熔断器保护配合指南

### C5.1 概述

每一熔断器是和拟用来隔离的一故障单元或单元群相串联连接的。

注:① 外部熔断器和电容器组的安排和单元内部的连接有关,通过损坏单元的电流,连同与损坏单元并联连接的单元的放电电流可能不够使熔断器动作,一直到故障单元的几串联连接的元件损坏为止。为保证熔断器能够动作并且隔离出一整个损坏的单元,熔断器应按当其仅仅受到流过短路单元的工频过电流就能动作来确定其额定值。

② 一或更多熔断器动作将导致电容器组内部电压分布的变动。完好单元上的电压值和最大持续时间应不超过 5.1.6.1 条的规定,除非能安排按此要求来分断电容器组,该组中的一切单元应按由于熔断器动作断开电源出现的更为严酷的工况选取适当的额定值(见 A7.3 条注 3)。

③ 对有串联连接元件的单元,元件击穿将导致在熔断器动作之前,电容器组内部和单元内部电压分布的改变。对电容器组的电气保护应考虑这些电压的改变。

### C5.2 保护顺序

电容器组的各种保护器件应按规定顺序动作。

通常第一级是单元(单元群)熔断器动作;第二级是电容器组的继电器保护(例如过电流或不平衡保护)动作;第三级是网络或设备的保护动作。

注:① 视电容器组的容量而定,继电器保护等设计不是一切电容器组都要用到三级。

② 在大的电容器组中,可以加一级报警。

③ 除非熔断器总是能在  $0.9\sqrt{2}U_n$  到  $2\sqrt{2}U_n$  的电压范围内靠放电能量动作,制造厂应提供熔断器的时间/电流特性和允许偏差。

④ 在某些情况下,不平衡保护比熔断器更为灵敏,这就意味着熔断器仅在套管闪络或单元的电介质完全击穿时方始动作。在这种情况下,不平衡保护是第一级保护;而熔断器作为后备保护。

## C6 熔断器的选择

### C6.1 概述

在选取熔断器时,应考虑采用最佳数据和指标使电容器单元失效时的外壳爆裂概率降到最低限度。所用的数据和指标应由购买方与制造厂商定。这一要求指工频过电流以及与失效单元并联的单元的贮存能量。

如果在 6.8 和 6.10 条的试验中熔断器接在电路中,在选取熔断器时应考虑加于其上电气和热的条件。

### C6.2 非限流熔断器

这些熔断器通常是喷逐型,熔断体是可以更换的。

这些熔断器对工频电流或并联连接的单元的放电电流只有小的或没有限流作用。

与失效电容器相并联的电容器的总贮存能量,应小于熔断器能承受而不爆炸的能量并且小于失效电容器爆裂所需能量(C6.1 条)。

这种型式的熔断器可以用到供给故障单元的工频过电流相当低的地方。

### C6.3 限流熔断器

这种型式的熔断器能限制工频过电流小于预期之值,并且在正常工频电流至零之前把电流降低到零。

设计适当的限流熔断器能仅使贮存能量的一部分释放到失效的电容器中。这种限流熔断器对损坏的电容器可能受到的并联贮存能量的上限不作要求。

熔断器的让通量应小于使损坏的电容器爆裂所需之量(见 C6.1 条)。

这些熔断器用于工频过电流或与可能损坏的单元相并联的最大贮存能量高到足够引起喷逐式熔断器爆炸或损坏的电容器爆裂之处。

### C7 熔断器用户所需资料

熔断器的正确选取和使用,还可参看 JB 3840 和熔断器的使用说明书。

## 附录 D

### 防止多氯联苯(PCB)污染环境的措施

(参考件)

D1 废弃 PCB 而不采取必要的预防措施可能污染环境。对用于浸渍电容器的 PCB 的特性和使其破坏所用的方法用户如无自己的规定,建议采取下列措施:

a. 在电容器组中设置收集器件,以防万一 PCB 从电容器的外壳中漏出散落于地面,例如采用适当的铺覆。

b. 失效的电容器可施行热裂解或埋葬于能有效地把电容器及其组件与地下水隔离开的适当地点。

#### 附加说明:

本标准由全国电力电容器标准化技术委员会提出。

本标准由西安电力电容器研究所归口并负责起草。

本标准主要起草人王治生、申秀珠。