



中华人民共和国国家标准

GB/T 11024.1—2019
代替 GB/T 11024.1—2010

标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用 并联电容器 第 1 部分：总则

Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V—
Part 1: General

(IEC 60871-1:2014, MOD)

2019-03-25 发布

2019-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 V

1 范围和目的 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 5

5 质量和试验要求 6

 5.1 概述 6

 5.2 试验条件 6

6 试验分类 6

 6.1 概述 6

 6.2 例行试验 6

 6.3 型式试验 6

 6.4 验收试验 7

 6.5 特殊试验 7

7 电容测量(例行试验) 7

 7.1 测量程序 7

 7.2 电容偏差 7

8 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(例行试验) 8

 8.1 测量程序 8

 8.2 损耗角正切要求 8

9 端子间电压试验(例行试验) 8

 9.1 概述 8

 9.2 交流试验 8

 9.3 直流试验 8

10 端子与外壳间交流电压试验(例行试验)..... 9

11 内部放电器件试验(例行试验)..... 9

12 密封性试验(例行试验)..... 9

13 热稳定性试验(型式试验)..... 9

 13.1 概述 9

 13.2 测量程序 9

14 高温下电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(型式试验) 10

 14.1 测量程序 10

14.2 要求 10

15 端子与外壳间电压试验(型式试验) 10

15.1 端子与外壳间交流电压试验 10

15.2 端子与外壳间雷电冲击电压试验 11

16 过电压试验(型式试验) 11

16.1 概述 11

16.2 试验前试验单元的处理 12

16.3 试验程序 12

16.4 验收准则 12

16.5 试验的有效性 12

17 短路放电试验(型式试验) 13

18 绝缘水平 14

18.1 标准绝缘值 14

18.2 一般要求 15

18.3 电容器单元端子与外壳之间的试验 15

18.4 单相系统中的电容器 16

19 过负载——最高允许电压 16

19.1 长时间电压 16

19.2 操作过电压 16

20 过负载——最大允许电流 16

21 放电器件的安全要求 17

22 外壳连接的安全要求 17

23 环境保护的安全要求 17

24 其他安全要求 17

25 电容器单元的标志 17

25.1 铭牌 17

25.2 标准化的连接符号 18

25.3 警告牌 18

26 电容器组的标志 18

26.1 说明书或铭牌 18

26.2 警告牌 19

27 安装和运行导则 19

27.1 概述 19

27.2 额定电压的选择 19

27.3 运行温度 20

27.4 特殊使用条件 20

27.5 过电压 21

27.6 过电流 21

27.7 开关和保护装置 22

27.8 绝缘水平的选择 23

27.9 爬电距离和空气间隙的选择	25
27.10 电容器连接到具有音频遥控的系统中	28
附录 A (规范性附录) 避免多氯联苯(PCB)污染环境的预防措施	29
附录 B (规范性附录) 交流滤波电容器的附加定义、要求和试验	30
附录 C (规范性附录) 外部熔断器和用外部熔断器保护的电容器单元的试验要求与应用导则	32
附录 D (资料性附录) 电容器及装置的计算公式	35
附录 E (资料性附录) 电容器组熔断保护及其单元的布置	38
附录 F (资料性附录) 元件和电容器外壳尺寸的定义	40
参考文献	41
图 1 过电压试验一个周期中时间和电压幅值的限制	13
图 2 对地绝缘的电容器组	24
图 3 对地绝缘的电容器组(外壳接地)	24
图 4 接地的电容器组	25
图 5 空气间隙与交流耐受电压的关系曲线	27
图 E.1 电容器单元之间的典型连接	39
图 E.2 电容器单元内元件之间的典型连接	39
图 F.1 压扁的元件	40
图 F.2 电容器外壳	40
表 1 温度范围上限用字母代号	5
表 2 热稳定试验的环境空气温度	10
表 3 标准绝缘水平	14
表 4 运行允许的电压水平	16
表 5 绝缘要求	23
表 6 具体的爬电比距	25
表 7 标准额定雷电冲击耐受电压和最小空气距离之间的关系 (引自 GB/T 311.1—2012 表 A.1) ...	26

前 言

GB/T 11024《标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器》分为四个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：老化试验；
- 第 3 部分：并联电容器和并联电容器组的保护；
- 第 4 部分：内部熔丝。

本部分为 GB/T 11024 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 11024.1—2010《标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器 第 1 部分：总则》，与 GB/T 11024.1—2010 相比，主要技术内容变化如下：

- 根据我国具体情况，电容器外部的放电器件通常采用放电线圈，故在术语和定义一章中增加了“放电线圈”的术语和定义（见第 3 章）；
- 因为在型式试验项目中增加了过电压试验，故在术语和定义一章中增加了“试验单元”“可比元件设计”和“元件间绝缘”等三个相关术语和定义（见第 3 章）；
- 根据我国具体情况，删去了型式试验项目中“电容器配用的外部熔断器的试验（在装置试验时进行）”（见 6.3，2010 年版的 6.2）；
- 为了明确型式试验的覆盖范围，在型式试验条款的最后增加了一句话“型式试验可以覆盖一定范围的电容器设计，覆盖规则按 DL/T 840—2016 中 6.4 的规定”（见 6.3）；
- 用“老化试验”代替“耐久性试验”一词，并重新作了诠释（见 6.5.1，2010 年版的 6.4）；
- 在特殊试验中增加一项“耐受爆破能量试验”，并作了诠释；相应删去了附录 C 中“C.4.2 电容器外壳的型式试验 在考虑之中”的相关内容（见 6.5.2 和 C.4.2，2010 年版的 6.4 和 C.4.2）；
- 在三相电容器单元中，任意两个线路端子间测得的电容的最大值与最小值之比规定在更小的范围之内（见 7.2，2010 年版的 7.2）；
- 将端子间交流试验电压和直流试验电压均按 IEC 作了修改（见第 9 章，2010 年版的第 9 章）；
- 修改了热稳定性试验的合格判定条件（见第 13 章，2010 年版的第 13 章）；
- 删去了端子与外壳间雷电冲击电压试验中电容器单元承 3 次正极性冲击的试验方法（见 15.2，2010 年版的第 16 章）；
- 将过电压试验作为型式试验项目列入本部分。与 GB/T 11024.2—2001 中关于过电压周期试验的方法相比，试验程序、过电压组合施加的每日次数和总计次数均作了修改，并增加了后续施加电压的试验项目（见第 16 章，GB/T 11024.2—2001 年版的 2.1.3.1）；
- 删去了短路放电试验中“在试验后的 5 min 内，应对单元进行一次端子间电压试验”的规定（见 2010 年版的第 17 章）；
- 按照 GB/T 311.1—2012 修改了标准绝缘水平，并补充了系统标称电压 750 kV 和 1 000 kV 的标准绝缘水平（见 18.1，2010 年版的 18.1）；
- 对于安装在海拔 1 000 m 以上的装置，提出了确定外绝缘性能的海拔修正因数（见 18.2.1，2010 年版的 27.8.1）；
- 考虑到电容器组有不同的中性点接地方式，当电容器发生故障从电源断开时，电容器上可能的过电压有所不同，故修改并增加了对放电电路应具有在相应不同的过电压峰值下放电的载流能力的要求（见第 21 章，2010 年版的第 21 章）；

- 为了提高安全保障,增加了“应避免在变压器空载状态下投入电容器组产生的谐振电流损坏电容器”(见 27.6.1);
- 因 27.7.2 主要阐述的内容是断路器的性能,故将原条标题“无重击穿的断路器”改为“断路器性能”,并将内容作相应修改(见 27.7.2,2010 年版的 27.7.2);
- 增加了具体的爬电比距选择的建议值(见 27.9.1);
- 修改了表 7“标准雷电冲击耐受电压和最小空气距离之间的关系”中的数据(见 27.9.2,2010 年版的 27.9.2);
- 为了提高安全保障,在 C.3 的最后增加“熔断器在开断时,不得出现重击穿”;在 C.5.1 的最后增加“由于熔断器的结构件易老化和腐蚀,需及时更换零件已锈蚀、尾线已松弛的熔断器,避免因其开断性能变差而造成重击穿,导致扩大性事故”(见 C.3 和 C.5.1);
- 原涌流计算公式中,未计及电源的影响,只适合于电容器组不串接串联电抗器的场合,故按照 GB 50227—2017 进行了修改(见 D.4,2010 年版的 D.4);
- 在附录 E.2 最后增加一段:“采用内部熔丝的电容器,不推荐同时采用外部熔断器”(见附录 E.2);
- 因为过电压试验作为型式试验项目列入本部分,故增加了一资料性附录“元件和电容器外壳尺寸的定义”(见附录 F)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60871-1:2014《标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器 第 1 部分:总则》。

本部分与 IEC 60871-1:2014 相比在结构上有少量调整,将国际标准的术语 3.9 调整为本部分的 3.12;3.10~3.12 调整为本部分的 3.9~3.11;3.22 调整为本部分的 3.26。

本部分与 IEC 60871-1:2014 的技术性差异及其原因如下:

- 关于规范性引用文件,本部分做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 11024.4—2019 代替了 IEC 60871-4:1996(见第 1 章、第 6 章、第 7 章和附录 E);
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 15166.4 代替了 IEC 60549(见附录 C 和附录 E);
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927.1—2011 代替了 IEC 60060-1(见 5.2 和第 15 章);
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 26218(所有部分)代替了 IEC/TS 60815(所有部分),两项标准各部分之间的一致性程度如下:
 - GB/T 26218.1 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分:定义、信息和一般原则(GB/T 26218.1—2010,IEC/TS 60815-1:2008,MOD);
 - GB/T 26218.2 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 2 部分:交流系统用瓷和玻璃绝缘子(GB/T 26218.2—2010,IEC/TS 60815-2:2008,MOD)(见 27.9.1);
 - GB/T 26218.3 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 3 部分:交流系统用复合绝缘子(GB/T 26218.3—2011,IEC/TS 60815-3:2008,MOD)(见 27.9.1);
 - 增加引用了 GB/T 1984 和 DL/T 840—2016;
- 根据需要,在第 3 章中增加了“放电线圈”“试验单元”“可比元件设计”“元件间绝缘”等四个相关术语和定义(见 3.22~3.25);
- 在 5.2“试验条件”中增加了“试验电压的波形和偏差应符合 GB/T 16927.1—2011 中 6.2.1 的要求”;
- 为了明确型式试验的覆盖范围,在 6.3“型式试验”条款的最后增加了“型式试验可以覆盖一定范围的电容器设计,覆盖规则按 DL/T 840—2016 中 6.4 的规定”;
- 根据我国的具体情况,在 6.5“特殊试验”中增加了一项“耐受爆破能量试验”的内容,相应删去

- 了附录 C 中“C.4.2 电容器外壳的型式试验 在考虑之中”的相关内容；
- 根据我国的具体情况,将第 7 章中电容器组的电容偏差允许值按照 3 Mvar 及以下、3 Mvar 以上分别进行了规定,以与 GB/T 30841—2014 相一致；
 - 根据我国的具体情况,对第 8 章中电容器损耗角正切($\tan\delta$)作了一定的限制,并将第 8 章中外部熔断器损耗的内容放入了附录 C 中；
 - 因 IEC 60871-1 中表 3、表 4 所表述的标准绝缘水平的内容不符合我国国情,故将其删除,而采用 GB/T 311.1—2012 中表 4 和表 5 的规定值编制了表 3“标准绝缘水平”；
 - 根据我国电容偏差允许值的规定,修改了第 20 章中电容器单元最大允许电流的限值；
 - 考虑到电容器组有不同的中性点接地方式,当电容器发生故障从电源断开时,电容器上可能的过电压有所不同,故修改并增加了对放电电路应具有在相应不同的过电压峰值下放电的载流能力的要求；
 - 根据我国具体情况,在第 25 章电容器单元的标志中增加了“b) 电容器单元的名称”、“c) 电容器单元的型号”和“h) 实测电容, μF ”；在第 26 章电容器组的标志中增加了“b) 电容器组的名称”和“c) 电容器组的型号”；
 - 为了提高安全保障,在 27.6.1“连续过电流”中增加了“应避免在变压器空载状态下投入电容器组产生的谐振电流损坏电容器”；
 - 根据我国电容偏差允许值的规定,修改了第 27 章中开关、保护装置及连接件能承载的电流最大值；
 - 因 27.7.2 主要阐述的内容是断路器的性能,故将原 IEC 中条标题“无重击穿的断路器”改为“断路器的性能”,并将内容作相应修改；
 - 按照 GB/T 311.1—2012 修改了第 27 章中空气间隙的内容；
 - 根据我国的具体情况,删去了 IEC 60871-1 中附录 A 的内容,以“我国已规定禁止生产和使用多氯联苯(PCB)绝缘电介质浸渍的电容器”代替；
 - 提高了附录 B 中交流滤波电容器端子间的试验电压,以与 GB/T 20994—2007 相一致；
 - 为了提高安全保障,在 C.3 的最后增加“熔断器在开断时,不得出现重击穿”；在 C.5.1 的最后增加“由于熔断器的结构件易老化和腐蚀,需及时更换零件已锈蚀、尾线已松弛的熔断器,避免因其开断性能变差而造成重击穿,导致扩大性事故”；
 - 对附录 D 中谐振频率的计算公式作了补充,增加了电容器接入串联电抗器情况下的计算公式；因原涌流计算公式中,未计及电源的影响,仅适用于电容器组未串接串联电抗器的场合,故按照 GB 50227—2017 进行了修改；
 - 在 E.2 最后增加一段:“采用内部熔丝的电容器,不宜同时采用外部熔断器”；
 - 因为过电压试验作为型式试验项目列入本部分,故增加了附录 F(资料性附录)“元件和电容器外壳尺寸的定义”。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电力电容器标准化技术委员会(SAC/TC 45)归口。

本部分起草单位:西安高压电器研究院有限责任公司、无锡赛晶电力电容器有限公司、桂林电力电容器有限责任公司、深圳市三和电力科技有限公司、西安 ABB 电力电容器有限公司、上海思源电力电容器有限公司、日新电机(无锡)有限公司、上海库柏电力电容器有限公司、新东北电气集团电力电容器有限公司、吴江市苏杭电气有限公司、安徽华威新能源有限公司、国网浙江省电力公司电力科学研究院、国网浙江省电力公司绍兴供电公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、全球能源互联网研究院有限公司、河南省豫电中原电力电容器有限公司、合容电气股份有限公司、上海永锦电气集团有限公司、西安西电电力电容器有限责任公司、绍兴市上虞电力电容器有限公司、厦门法拉电子股份有限公司、国网四川省电力公司电力科学研究院、安徽源光电器有限公司、无锡宸瑞新能源科技有限公司、指月集团有限公

司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、山东泰开电力电子有限公司。

本部分主要起草人：刘菁、杨一民、吕韬、元复兴、贾华、贺满潮、房金兰、李怀玉、颜红岳、沈小益、葛锦萍、杨昌兴、江钧祥、王崇桔、赵启承、郭庆文、陈晓宇、胡学斌、戴朝波、赵鑫、陶梅、冯秀琴、雷乔舒、王栋、王耀、黄顺达、董海健、张宗喜、陈柏富、周春红、付忠星、钱君毅、吕永生、王培波、刘兵、王明毫、马志钦、章新宇、万鹏、梁晓。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 3983.2—1989；

——GB/T 11024.1—2001、GB/T 11024.1—2010。

标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用 并联电容器 第 1 部分:总则

1 范围和目的

GB/T 11024 的本部分规定了标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器的性能、试验、定额、安全要求、安装和运行导则。

本部分适用于在标称电压 1 000 V 以上、频率 15 Hz~60 Hz 的交流电力系统中,专门用来提供无功功率、改善功率因数的电容器单元和电容器组。

本部分还适用于拟在电力滤波电路中使用的电容器。交流滤波电容器的附加定义、要求和试验在附录 B 中给出。

有内部熔丝保护的电容器的附加要求以及对内部熔丝的要求在 GB/T 11024.4—2019 中给出。

有外部熔断器保护的电容器的要求以及对外部熔断器的要求在附录 C 中给出。

本部分不适用于自愈式金属化电介质电容器。

本部分也不包括下列电容器:

- 感应加热装置用电力电容器[参见 GB/T 3984(所有部分)];
- 电力系统用串联电容器[参见 GB/T 6115(所有部分)];
- 电动机用电容器及其类似者[参见 GB/T 3667(所有部分)];
- 耦合电容器及电容分压器[参见 GB/T 19749(所有部分)];
- 标称电压 1 000 V 及以下交流电力系统用并联电容器[参见 GB/T 12747(所有部分)和 GB/T 17886(所有部分)];
- 荧光灯和放电灯用小型交流电容器(参见 GB/T 18489 和 GB/T 18504);
- 电力电子电容器(参见 GB/T 17702);
- 微波炉用电容器(参见 GB/T 18939.1);
- 抑制无线电干扰用电容器;
- 拟在叠加有交流电压的直流电压下使用的电容器。

各附件,诸如绝缘子、开关、互感器、外部熔断器等均符合相应的标准。

本部分的目的如下:

- a) 阐述关于电容器单元和电容器组的性能、定额及电容器单元试验的统一规则;
- b) 阐述特殊的安全规则;
- c) 提供安装和运行导则。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 311(所有部分) 绝缘配合 [IEC 60071-1(所有部分)]

GB/T 311.1—2012 绝缘配合 第 1 部分:定义、原则和规则(IEC 60071-1:2006,MOD)

GB/T 1984 高压交流断路器(GB/T 1984—2014,IEC 62271-100:2008,MOD)

GB/T 11024.4—2019 标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器 第 4 部分:内部熔丝

(IEC 60871-4:2014,MOD)

GB/T 15166.4 高压交流熔断器 第4部分:并联电容器外保护用熔断器(GB/T 15166.4—2008, IEC 60549:1976,MOD)

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第1部分:一般定义及试验要求(IEC 60060-1:2010, MOD)

GB/T 26218(所有部分) 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定[IEC/TS 60815(所有部分)]

DL/T 840—2016 高压并联电容器使用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电容器元件 capacitor element

元件 element

由电介质和被它隔开的两个电极所构成的部件。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 3.1.1。

3.2

电容器单元 capacitor unit

单元 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。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 2.2.1。

3.3

电容器组 capacitor bank

组 bank

连接在一起共同起作用的多个电容器单元。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 2.2.3。

3.4

电容器 capacitor

本质上由电容表征其特性的具有两个端子的设备。

注:“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。

3.5

电容器装置 capacitor installation

一个或多个电容器组及其附件。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 2.2.4。

3.6

电容器的放电器件 discharge device of a capacitor

可配备于电容器的、当电容器从电源断开后能在规定时间内将电容器端子间的电压降低到规定值及以下的一种器件。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 3.1.16。

3.7

电容器的内部熔丝 internal fuse of a capacitor

在电容器单元内部与元件相串联的熔丝。

注：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 3.1.4。

3.8

线路端子 line terminal

用来连接到电网导线上的端子。

注 1：在多相电容器中，拟与中性线连接的端子不作为线路端子。

注 2：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 3.1.8。

3.9

电容器的额定容量 rated output of a capacitor

Q_N

设计电容器时所规定的无功功率。

[GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.8]

3.10

电容器的额定电压 rated voltage of a capacitor

U_N

设计电容器时所规定的交流电压方均根值。

注 1：对于电容器含有一个或多个独立的电路的情况（例如拟用于多相连接的单相单元或具有独立电路的多相单元）， U_N 系指每一电路的额定电压。

对于相间在内部已有电气连接的多相电容器以及多相电容器组， U_N 系指线电压。

注 2：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.5。

3.11

电容器的额定频率 rated frequency of a capacitor

f_N

设计电容器时所规定的频率。

[GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.7]

3.12

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

C_N

由电容器的额定容量、额定电压和额定频率计算得出的电容。

注：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.3。

3.13

电容器的额定电流 rated current of a capacitor

I_N

设计电容器时所规定的交流电流方均根值。

注：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.6。

3.14

电容器损耗 capacitor losses

电容器消耗的有功功率。

注：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.22。

3.15

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

$\tan\delta$

在规定的正弦交流电压和频率下，电容器的等效串联电阻与容抗之比。

注：改写 GB/T 2900.16—1996，定义 2.3.23。

3.16

电容器的最高允许交流电压 maximum permissible a.c. voltage of a capacitor

在规定条件下,电容器在给定时间内能够承受的最高交流电压方均根值。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 6.2。

3.17

电容器的最大允许交流电流 maximum permissible a.c. current of a capacitor

在规定条件下,电容器在给定时间内能够承受的最大交流电流方均根值。

注:改写 GB/T 2900.16—1996,定义 6.5。

3.18

环境空气温度 ambient air temperature

准备安装电容器处的空气温度。

3.19

冷却空气温度 cooling air temperature

稳定状态下,在电容器组的最热区域中两台电容器单元之间外壳最热点连线中点测得的空气温度。

注:如果仅有一个单元,则指在距离电容器外壳大约 0.1 m 和距离底部三分之二高度处测得的温度。

3.20

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。

3.21

剩余电压 residual voltage

从电源断开一段时间之后电容器端子间尚残存的电压。

3.22

放电线圈 discharge coil

安装在电容器外部、当电容器从电源断开后能在规定时间内将电容器端子间的电压降低到规定值及以下的一种电感器件。

3.23

试验单元 test unit

试验单元可以是生产线上的单元之一,或是在过电压试验和老化试验所要检验的性能方面与生产单元相等效的特制单元。

注:对过电压试验中试验单元设计的限制条件详见 16.5.3;对老化试验中试验单元设计的限制条件详见 GB/T 11024.2—2019 的附录 A。

3.24

可比元件设计 comparable element design

可比元件设计是指在一定范围内的元件结构设计,在过电压试验和老化试验过程中这些元件在性能方面与生产单元中的元件是可比的。

注:对过电压试验中可比元件设计的限制条件详见 16.5.2;对老化试验中可比元件设计的限制条件详见 GB/T 11024.2—2019 的附录 A。

3.25

元件间绝缘 inter-element insulation

两串联连接的元件之间的绝缘,包括:

——包围在元件电极外面的数圈绝缘层;

——置于两元件之间的分隔绝缘层。

注:该分隔绝缘层可以超出压扁元件的长度和/或宽度尺寸(参见附录 F)。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

本部分给出的要求适用于在下列条件下使用的电容器：

- a) 通电时的剩余电压
不超过额定电压的 10%(见第 21 章, 19.2,可参见附录 D)。
- b) 海拔
不超过 1 000 m。
若海拔超过 1 000 m,所有的外部绝缘要求应用第 18 章规定的海拔修正因数进行校正。
- c) 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 ℃~+55 ℃。
电容器可以运行的最低环境空气温度宜从+5 ℃、-5 ℃、-25 ℃、-40 ℃、-50 ℃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,但宜在等于或高于该极限温度下接通电源(见 27.3.1)。

表 1 是以电容器不影响环境空气温度这一使用条件(例如户外装置)为前提确定的。

表 1 温度范围上限用字母代号

代号	环境温度 ℃		
	最高	24 h 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：这些温度值可在安装地区的气象温度表中查得。			

如果电容器影响空气温度,则应加强通风或另选电容器,以保持表 1 中的限值。在这样的装置中冷却空气温度不应超过表 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/B 或 -5/C。

4.2 非正常使用条件

本部分一般来说不适用于使用条件不符合本部分要求的电容器,但制造方和购买方之间另有协议时除外。

5 质量和试验要求

5.1 概述

第 5 章至第 17 章给出了电容器单元的质量和试验要求。

支柱绝缘子、开关、互感器、外部熔断器等应符合相应的标准。

试验报告应给出引用标准的发行年份(版本号)。

5.2 试验条件

除对特定的试验或测量另有规定外,电容器电介质的温度应在 $+5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。

当需要进行校正时,采用的参考温度为 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$,但制造方和购买方之间另有协议时除外。

如果电容器处于不通电状态,在恒定环境温度中放置了适当长的时间,则可认为电容器的电介质温度与环境温度相同。

如果没有其他规定,则无论电容器的额定频率如何,交流试验和测量均应在 50 Hz 或 60 Hz 的频率下进行。试验电压的波形和偏差应符合 GB/T 16927.1—2011 中 6.2.1 的要求。

6 试验分类

6.1 概述

试验分为例行试验、型式试验、验收试验和特殊试验。

6.2 例行试验

例行试验包括以下试验项目:

- a) 电容测量(见第 7 章);
- b) 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(见第 8 章);
- c) 端子间电压试验(见第 9 章);
- d) 端子与外壳间交流电压试验(见第 10 章);
- e) 内部放电器件试验(见第 11 章);
- f) 密封性试验(见第 12 章);
- g) 内部熔丝的放电试验(见 GB/T 11024.4—2019 中的 5.1.2)。

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。

6.3 型式试验

型式试验包括以下试验项目:

- a) 热稳定性试验(见第 13 章);
- b) 高温下电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(见第 14 章);
- c) 端子与外壳间交流电压试验(见 15.1);
- d) 端子与外壳间雷电冲击电压试验(见 15.2);
- e) 过电压试验(见第 16 章);

f) 短路放电试验(见第 17 章);

g) 内部熔丝的隔离试验(见 GB/T 11024.4—2019 中的 5.3)。

进行型式试验是为了确定电容器在设计、参数、材料和制造方面是否满足本部分中所规定的性能和运行要求。型式试验的主要目的是验证设计,并不是用来揭示批量生产中质量差异的手段。

除非另有规定,每一拟用来进行型式试验的试品应为经例行试验合格的电容器。

型式试验应在与供货产品有相同设计的电容器上进行,或在可能影响型式试验所要检验性能的设计和工艺方面与供货产品没有任何差异的电容器上进行。过电压试验也可采用试验单元,试验单元的有效性需符合 16.5 的规定。

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,应向购买方提供详列这些试验结果的证明书。

型式试验可以覆盖一定范围的电容器设计,覆盖规则按 DL/T 840—2016 中 6.4 的规定。

6.4 验收试验

例行试验和/或型式试验或其中的某些项目,可由制造方根据与购买方签订的相关合同重复进行。

进行这些重复试验的试品数量和验收准则应由制造方与购买方协商确定并应在合同中写明。

6.5 特殊试验

6.5.1 老化试验

老化试验是对电介质设计及其组合的试验。其用来验证在升高的温度下提高试验电压所造成的老化进程不至于引起电介质过早击穿。该试验可以覆盖一定范围的电容器设计(见 GB/T 11024.2—2019)。

6.5.2 耐受爆破能量试验

全膜电容器单元外壳所能耐受的爆破能量不应小于 $15 \text{ kW} \cdot \text{s}$ 。试验方法按 DL/T 840—2016 中的规定。

7 电容测量(例行试验)

7.1 测量程序

电容应在 $0.9 \sim 1.1$ 倍额定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 9 章和第 10 章)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初测电容,初测应在不高于 $0.15U_N$ 的电压下进行。

测量方法的准确度应能满足 7.2 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。

测量方法的重复性应能检测出一个元件击穿或一根内部熔丝动作。

注:对于多相电容器,可调整测量电压使每一相均能经受 $0.9 \sim 1.1$ 倍的额定电压。

7.2 电容偏差

电容与额定电容的偏差不应超过:

对于电容器单元, $-5\% \sim +5\%$;

对于总容量在 3 Mvar 及以下的电容器组, $-5\% \sim +5\%$;

对于总容量在 3 Mvar 以上的电容器组, $0 \sim +5\%$ 。

电容是在 7.1 条件下的测量值。

在三相电容器单元任意两线路端子之间测得的电容的最大值与最小值之比不应超过 1.05。

在三相电容器组中任意两线路端子之间测得的电容的最大值与最小值之比不应超过 1.02。

注 1: 由每两个线路端子间测得的三个电容计算三相电容器容量的公式列于附录 D 中。

注 2: 对于总额定容量超过 3 Mvar 的电容器组, 制造方和购买方可以协商更小的电容偏差和相电容之比。

8 电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(例行试验)

8.1 测量程序

电容器损耗角正切($\tan\delta$)应在 0.9~1.1 倍额定电压下用能排除由谐波引起的误差的方法进行测量。应给出测量系统的准确度。

注 1: 对于多相电容器, 可调整测量电压使每一相均能经受 0.9~1.1 倍的额定电压。

注 2: 浸渍的低损耗电介质在首次赋能的最初数小时内, 其损耗角正切值会减小, 这种减小与 $\tan\delta$ 随温度变化不相关。例行试验时, 在同时制造的完全相同的单元之间测得的 $\tan\delta$ 可能有较大差异。但是, 最后的“稳定”值通常是在一个狭小的范围之内, 正如在例行试验测量值与热稳定性试验或按制造方实际条件而选择的方法所得值之间记录到的差异所显示的那样。

注 3: 测量装置可按 JB/T 8957 或其他能提供相同或更高准确度的方法进行校准。

8.2 损耗角正切要求

电容器损耗角正切($\tan\delta$)对于全膜电介质电容器, 不大于 0.000 5。若要求小于此值, 应由制造方和购买方协商确定。

电容器损耗角正切是在 8.1 条件下的测量值。

9 端子间电压试验(例行试验)

9.1 概述

每一台电容器均应承受 9.2 或 9.3 的试验, 历时 10 s。在没有协议的情况下, 由制造方选择。试验期间, 应既不发生击穿也不发生闪络。

如果电容器再次进行试验, 则第二次试验推荐采用 $75\% U_N$ 的电压。

注: 对于多相电容器, 可调整试验电压使每一相均能经受规定的电压。

9.2 交流试验

试验电压应为:

$$U_1 = 2.0 U_N$$

9.3 直流试验

试验电压应为:

$$U_1 = 4.0 U_N$$

10 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,试验电压应施加在端子(连接在一起)与外壳之间,历时 10 s。

用在中性点绝缘的电容器组中且外壳接地的单元,应按 18.1 施加试验电压;用在所有以其他方式连接的电容器组中的单元,试验电压与额定电压成正比,其值按 18.3 进行计算。

如果不知道端子与外壳绝缘的单元是否用于外壳接地场合,则应按 18.1 施加试验电压。购买方应说明是否要求进行该试验。

有一个端子固定连接到外壳上的单元,不进行此项试验。

各相不相连的单元,相间应承受和端子对外壳试验相同值的试验电压。

试验期间,应既不发生击穿也不发生闪络。

11 内部放电器件试验(例行试验)

电容器单元中若有内部放电电阻,可采用测量电阻的方法(见第 21 章和参见附录 D)来检验。

检验方法由制造方选择。

本试验应在第 9 章的电压试验之后进行。

12 密封性试验(例行试验)

单元(在无涂层状态下)应经受能有效地检查出其外壳和套管上任何渗漏的试验,试验程序由制造方确定,制造方应说明所使用的试验方法。

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至少 2 h,使各个部位均达到不低于表 1 所列对应代号最高值加 20 ℃ 的温度,不应发生渗漏。宜使用适当的指示剂。

13 热稳定性试验(型式试验)

13.1 概述

本试验是用来:

- a) 确定电容器在过负载状态下的热稳定性;
- b) 确定使电容器能够获得损耗测量可再现的条件。

13.2 测量程序

被试电容器单元应放置在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之间。也可采用两台内装电阻器的模拟电容器作为陪试单元,应调节电阻器的损耗使得模拟电容器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。此试验组应放置于无强迫通风的加热封闭箱中,并应处于制造方现场安装说明书中规定的最不利的热位置。环境空气温度应保持在或高于表 2 所列代号的相应温度。此温度应采用具有热时间常数约 1 h 的温度计来检验。应对此温度计加以屏蔽,使其受到三个通电试品热辐射的可能性最小。

表 2 热稳定试验的环境空气温度

代号	环境空气温度 ℃
A	40
B	45
C	50
D	55

对被试电容器施加近似正弦波的交流电压,历时至少 48 h。在整个试验期间应调整电压值,使得根据实测电容(见 7.1)计算得到的容量至少为 1.44 倍额定容量。

在最后 6 h 内,应测量外壳接近顶部处的温度至少 4 次。在此整个 6 h 内温度的变化不应大于 1 K。如果观察到较大的变化,则试验应继续进行,直到在随后的 6 h 内连续 4 次测量满足上述要求为止。假如在 72 h 内未达到热稳定的条件,则应停止试验,并宣告电容器没有通过该试验。

试验前后应在 5.2 的温度范围内测量电容(见 7.1),并将两次测得值校正到同一电介质温度。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:

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

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,为此宜绘出这些参数和外壳温升对时间的函数曲线。

只要达到规定的试验容量,拟用于 60 Hz 装置的单元能在 50 Hz 下进行试验,拟用于 50 Hz 的单元也能在 60 Hz 下进行试验。对于额定频率低于 50 Hz 的单元,试验条件应由购买方和制造方协商确定。

14 高温下电容器损耗角正切($\tan\delta$)测量(型式试验)

14.1 测量程序

电容器损耗角正切($\tan\delta$)应在热稳定性试验(见第 13 章)结束时测量,测量电压应为热稳定性试验的电压。

14.2 要求

按 14.1 测得的 $\tan\delta$ 值应符合 8.2 的要求。

15 端子与外壳间电压试验(型式试验)

15.1 端子与外壳间交流电压试验

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

用在中性点绝缘的电容器组中且外壳接地的单元,应按 18.1 施加试验电压;用在所有以其他方式连接的电容器组中的单元,试验电压与额定电压成正比,其值按 18.3 进行计算。

如果不知道端子与外壳绝缘的单元是否用于外壳接地场合,则应按 18.1 施加试验电压。购买方应说明是否要求进行该试验。

有一个端子固定连接到外壳上的单元,应在端子之间施加试验电压,以检验对壳绝缘是否足够。试验电压与额定电压成正比,其值按 18.3 进行计算。当此试验电压超出电介质试验要求时,可改变试验单元的电介质结构,例如增加串联元件数来避免电介质损坏,但对壳绝缘不能改变。另外,也可使用一台对壳绝缘相同、带有两个分隔开的端子的模拟单元来进行此项试验。

各相不相连接的单元,相间应承受和端子对外壳试验相同值的试验电压。

本试验对户内使用的单元为干试,对户外使用的单元在淋雨条件(见 GB/T 16927.1—2011)下进行。

在淋雨条件下进行试验时,套管的位置应与运行时的位置相一致。

试验期间,应既不发生击穿也不发生闪络。

如果制造方能提供表明该套管能承受 1 min 湿试验电压的单独的型式试验报告,则拟安装在户外的单元也能够只进行干试。在这个单独的型式试验中,套管的位置应与运行时的位置相一致。

15.2 端子与外壳间雷电冲击电压试验

雷电冲击电压试验适用于拟与中性点绝缘且与架空线相连接的电容器组中的电容器单元。

所有端子均与外壳绝缘且外壳接地的单元应经受下列试验。

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。

雷电冲击电压试验应按 GB/T 16927.1—2011 进行,但其波形为 $1.2/50\ \mu\text{s}$ ~ $5/50\ \mu\text{s}$,峰值为 18.1 绝缘试验要求中的相应值。

如果不知道端子与外壳绝缘的单元是否用于外壳接地的场合,则应进行雷电冲击试验。购买方应说明是否要求进行该试验。

有一个端子固定连接到外壳上的单元,不应进行此项试验。

16 过电压试验(型式试验)

16.1 概述

过电压试验是对电容器单元电介质设计及其组合,以及将该电介质组装进电容器单元的制造工艺的一种检验。

试验单元应采用常规产品的生产材料和工艺流程来制造。试验单元应通过 6.2 中相应的例行试验,其额定容量不应小于 100 kvar。

对于第 1 章所指的用于改善功率因数的电容器,在本部分所述的正常工作电压下运行时,下面具体说明的试验条件是有效的。对与额定电压相关的过电压有更多的了解并加以控制的其他应用场合,购买方与制造方可另行商定试验电压。该试验条件适用于在设计计算时考虑额外的安全裕度,或考虑采用避雷器及同步投切装置等作为电介质的过电压保护措施。和 16.3b) 的规定一样,重复过电压不应低于 $1.9U_N$ 。

16.2 试验前试验单元的处理

试验单元应在不低于其额定电压下稳定化处理,处理时的环境温度应在 $+15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,时间不少于12 h。处理后,应在额定电压下测量试验单元的电容。

16.3 试验程序

试验程序如下:

- a) 将试验单元置于冷冻箱内,温度等于或低于电容器设计的温度类别最低值,时间不少于12 h。
注1: 试验温度对试验的严苛程度有显著的影响。低温环境既可由购买方指定,也可由购买方与制造方商定。
- b) 将试验单元移出,置于 $+15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度的无强迫通风的空气中。试验单元从冷冻箱中移出后5 min内应施加 $1.1U_N$ 的试验电压;施加该电压5 min内,在不间断电压的情况下施加 $2.25U_N$ 的过电压,持续15个周波;此后在不间断电压的情况下,将电压再次保持在 $1.1U_N$;在 $1.1U_N$ 下历时1.5 min~2 min后,再次施加 $2.25U_N$ 的过电压,且重复该过程直至一天内合计完成60次的过电压施加(更详细的有关试验电压的特征见16.5.4)。
- c) 重复上述步骤a)和b),历时4 d以上, $2.25U_N$ 的过电压组合施加数应总计达300次。
- d) 在完成上述步骤c) 1 h内,继续施加电压 $1.4U_N$,历时96 h,试验环境温度应在 $+15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。
- e) 应在额定电压下复测电容值。

注2: 对于更关注对试验单元延长连续的过电压操作时间,以验证其电介质耐受能力的购买方而言,购买方和制造方可以商定增加每天 $2.25U_N$ 过电压施加的次数,然后按照总共完成施加300次计算,相应减少试验天数。

16.4 验收准则

本试验的试验单元数目为一台。验收准则为不应发生击穿,根据电容测量值来判断。若有击穿发生,则再试验两台试验单元,均不应有击穿。

16.5 试验的有效性

16.5.1 概述

每一次对试验单元的过电压试验也覆盖了其他电容器的设计,这些电容器与试验单元的设计差异应在下列限制范围之内。

16.5.2 试验单元元件设计

如果满足下列必要条件,则认为试验单元元件的设计与生产单元中的元件是可比的。与生产单元的元件相比:

- a) 试验单元元件电介质中固体材料的基本型号、层数应相同,且应用同一种液体浸渍;
- b) 试验单元元件的额定电压和电场强度水平均应相同或较高一些;
- c) 铝箔(电极)边缘设计应相同;
- d) 元件连接方式应相同,例如焊接、压接等。

16.5.3 试验单元设计

如果满足下列条件,则认为试验单元与生产单元是可比的:

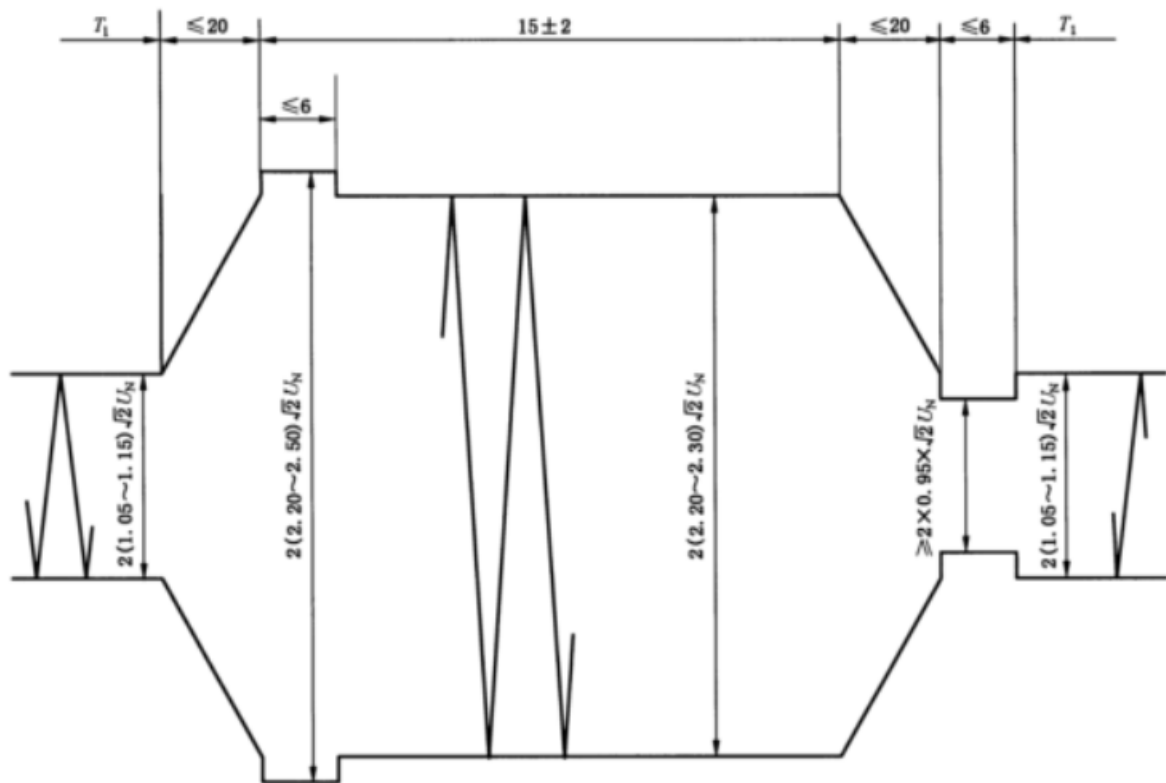
- a) 与生产单元相比,满足16.5.2要求的试验单元元件应按照相同的方式组装,元件间绝缘应相同或较薄,元件应在制造偏差内以同样的方式压紧;
- b) 连接的试验单元元件应不少于4个,并使试验单元在额定电压下的容量不小于100 kvar。所

- 有接入的元件应彼此相邻地放置,且应至少装设一个元件间绝缘(至少有两个元件串联段);
- c) 应采用制造方标准设计的外壳,其高度不应低于生产单元高度的 20%,宽度和长度不应小于生产单元宽度和长度的 50%;
 - d) 干燥和浸渍工艺应与正常生产工艺相同。

16.5.4 过电压波形

试验电压的频率应为 50 Hz 或 60 Hz,施加的过电压应与 $1.05U_N \sim 1.15U_N$ 范围内的稳定电压无任何间断。

图 1 给出了稳定电压和过电压的幅值限制。



注: 除 T_i 外,持续时间均用试验频率的周波数表示。
 T_i 是相邻的两个过电压时段之间 1.5 min~2 min 的间隔。

图 1 过电压试验一个周期中时间和电压幅值的限制

17 短路放电试验(型式试验)

单元应充以直流电,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 内经受 5 次这样的放电。

试验电压应为 $2.5U_N$ 。

在放电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断动作之量。

注 1: 短路放电试验的目的是为了揭示内部连接的设计弱点。

注 2: 用于在对过电压和/或瞬态电流有限制场合的电容器,根据制造方和购买方的协议,可采用低于 $2.5U_N$ 的试验电压。

18 绝缘水平

18.1 标准绝缘值

电容器装置的绝缘水平应从表 3 规定的标准值中选取。

表 3 标准绝缘水平 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* (湿试/干试) (方均根值)
3	3.6	40	—	18/25
6	7.2	60	—	23/30
10	12.0	75	—	30/42
15	18.0	105	—	40/55
20	24.0	125	—	50/65
35	40.5	185	—	80/95
66	72.5	325	—	140
		350	—	160
110	126	450	—	185/200
		550		
220	252	850	—	360
		950	—	395
		1 050		
330	363	1 050	850	460
		1 175	950	510
500	550	1 425	1 050	630
		1 550	1 175	680
		1 675	1 300	740
750	800	1 950	1 425	900
		2 100	1 550	960
1 000	1 100	2 250	—	1 100
		2 400	1 800	
注：对同一设备最高电压给出两个及以上绝缘水平者，在选用时宜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。				
* 该栏斜线上的数据为设备外绝缘在湿状态下的耐受电压(或称为湿耐受电压)，该栏斜线下的数据为外绝缘在干燥状态下的耐受电压(或称为干耐受电压)。				

18.2 一般要求

18.2.1 概述

下面给出的一般规则既适用于电容器单元的绝缘,也适用于电容器组的绝缘。

套管、绝缘子和其他绝缘设备应按以下要求选取额定绝缘值。如果绝缘由串联连接的绝缘部件构成,则每一部件均应在全绝缘中占一适当的比例。应尽可能采用此类设备的可用标准。全绝缘意指一种绝缘水平,其等于或高于系统的绝缘水平。

对于安装在海拔 1 000 m 以上的装置,如果在海拔不高于 1 000 m 的条件下试验时,所有绝缘要求均应乘以下列的海拔修正因数来确定外绝缘性能,例如交流湿试和雷电冲击试验电压,以保证高海拔下绝缘的耐受性能达到指标。

海拔修正因数:

$$K_a = e^{\frac{H-1\,000}{8\,150}}$$

式中:

H ——设备安装地点的海拔高度,单位为米(m)。

18.2.2 相邻的绝缘部件和设备

所有与电容器的一相或多相并列的相间和相对地绝缘部件或电气设备应按 18.1 的规定耐受全绝缘电压。

18.2.3 对地绝缘的电容器

对地绝缘的电容器(三角形连接或中性点绝缘的星形连接),其所有带电部分(端子、电极)与地之间的绝缘路径,应按 18.1 的规定耐受全绝缘电压。

具体地说,全绝缘应用于外壳接地电容器单元的套管和端子的对壳绝缘(所有端子均对壳绝缘)。

外壳不接地的电容器单元的套管和端子的对壳绝缘应耐受 2.5 倍额定电压的交流电压。

电气上相并联且紧邻电容器电介质的线路端子和中性点之间的内部构架绝缘,应耐受 2.15 倍额定相电压的交流电压。

18.2.4 中性点接地的电容器

套管和端子的对壳绝缘应耐受 2.5 倍额定电压的交流电压。

电气上相并联且紧邻电容器电介质的线路端子与地之间的内部构架绝缘,应耐受 2.15 倍额定相电压的交流电压。

18.3 电容器单元端子与外壳之间的试验

第 10 章和第 15 章要求的例行试验和型式试验是用来检验套管和端子对壳绝缘是否符合 18.2.3 和 18.2.4 条件的试验。

对于交流电压试验(见第 10 章和 15.1)根据额定电压来确定的情况,试验电压应按下式计算:

$$U_t = 2.5 \times U_N \times n$$

式中:

U_t ——工频试验电压,单位为千伏(kV);

U_N ——电容器单元的额定电压,单位为千伏(kV);

n ——相对于外壳连接电位的串联单元数。

18.4 单相系统中的电容器

连接在线路与地之间的电容器,应采用与中性点接地的三相系统相同的绝缘要求。
对地绝缘的电容器,应采用与对地绝缘的三相系统相同的绝缘要求。

19 过负载——最高允许电压

19.1 长时间电压

电容器单元应适合于在表 4 的电压水平下运行(见 27.2 和 27.5.1)。

表 4 运行允许的电压水平

形式	电压因数*	最大持续时间	说 明
工频	1.00	连续	电容器通电任何时段内的最高平均值。对于通电期间出现的小于 24 h 的例外情况采用如下的规定(见 27.2)
工频	1.10	每 24 h 中 12 h	系统电压调整和波动
工频	1.15	每 24 h 中 30 min	系统电压调整和波动
工频	1.20	5 min	轻负荷下电压升高(见 27.2)
工频	1.30	1 min	
工频加谐波	使电流不超过第 20 章中给出的值(且见 27.6 和 27.7.1)		
* 电压因数=过电压值/ U_N (方均根值)			

电容器可耐受而无明显损伤的过电压幅值取决于过电压的持续时间、施加的次数和电容器的温度(见 27.2)。表 4 中给出的、其值高于 $1.15U_N$ 的过电压是以在电容器寿命期之内发生不超过 200 次为前提确定的。

19.2 操作过电压

投入运行之前,电容器上的剩余电压不应超过额定电压的 10%[见 4.1a)]。用开关装置投入电容器组时,在无重击穿的情况下,通常会产生首个峰值不超过 $2\sqrt{2}$ 倍施加电压(方均根值)、持续时间不超过 1/2 周波的瞬态过电压。

在这些条件下,电容器每年可投切 1 000 次(相应的瞬态过电流峰值可达 $100I_N$,见 27.6.2)。

在电容器投切更为频繁的场所,过电压的幅值和持续时间以及瞬态过电流均应限制到较低的水平。其限值或降低值应协商确定并在合同中写明。

20 过负载——最大允许电流

除瞬态过程外,电容器单元应能在电流方均根值 1.3 倍该单元在额定正弦电压和额定频率下产生的电流下连续运行。由于实际电容最大可达 $1.05C_N$ (见 7.2),故最大电流能达 $1.37I_N$ 。

这些过电流因数是考虑到谐波和 19.1 中 $1.10U_N$ 及以下的过电压共同作用的结果(见 27.6.1)。

21 放电器件的安全要求

每一台电容器单元都应配备从 $\sqrt{2}U_N$ 的初始峰值电压放电到 75 V 或更低电压的放电器件。最长放电时间为 10 min。

在电容器单元或电容器组与上面定义的放电器件之间不得有开关、熔断器或任何其他隔离器件(内部熔丝或电容器单元保护用的外部熔断器除外)。

放电器件的装设不能代替在接触电容器之前将电容器端子短路并接地。

电容器直接与其他可提供放电通道的电气设备相连接,如果该电路特性能满足放电要求,则应认为是能适当地放电的。

对于由电容器单元串联连接的电容器组,由于每一单元剩余电压的累积效应,10 min 后电容器组端子上的电压会高于 75 V。这样的电容器组放电到 75 V 的时间应由制造方在说明书中或铭牌上予以说明。

注 1: 如果要求更短的放电时间和更低的剩余电压,这种情况购买方可告知制造方。

在中性点接地的星形连接电容器组中,放电电路应具有足以承受电容器在 $1.5U_N$ 过电压峰值下放电的载流能力。在中性点对地绝缘或中性点非有效接地的星形连接电容器组中,放电电路应具有足以承受电容器在 $1.9U_N$ 过电压峰值下放电的载流能力。

注 2: 用内部熔丝或外部熔断器保护的单元内部的电气故障或跨越电容器组局部的闪络,可能在电容器组内部产生局部剩余电荷,此电荷是不能用连接在电容器组端子间的放电器件在规定的时间内消除的。

注 3: 计算放电电阻的公式参见附录 D。

22 外壳连接的安全要求

为使电容器金属外壳的电位得以固定,并能承受对壳击穿时的故障电流,外壳应具备供连接用的螺纹尺寸至少为 M10 的螺栓或与之相当的等效连接件。

在电容器发生完全短路故障的情况下,短路电流可能超出电容器承受故障电流的能力。应始终重视对人员安全可能造成的影响,充分考虑如熔断器、限流器、围护装置等各种保护手段的局限性。对于户内或其他封闭的装置设计,应特别考虑着火及随后烟气爆炸的风险。

23 环境保护的安全要求

当电容器是用不允许扩散到环境中的材料浸渍时,应按照国家相关法律法规要求采取预防措施(见 25.3 和附录 A)。

24 其他安全要求



当国家在所应用的安全规则方面有特殊要求时,购买方应在询价时予以说明。

25 电容器单元的标志

25.1 铭牌

在每一台电容器单元的铭牌上应提供下列信息:

a) 制造方名称;


- b) 电容器单元的名称;
- c) 电容器单元的型号;
- d) 识别编号及制造年份。年份可以是识别编号的一部分或采用代码形式;
- e) 额定容量 Q_N , kvar。对于三相电容器单元应给出总容量(参见附录 D);
- f) 额定电压 U_N , kV;
- g) 额定频率 f_N , Hz;
- h) 实测电容, μF ;
- i) 温度类别(见 4.1);
- j) 放电器件,如果是内部的,应以文字或符号  表示,或者以额定欧姆值表示;
- k) 绝缘水平 U_i , kV(仅适用于所有端子均与外壳绝缘的单元);
绝缘水平应以一斜线隔开的两个数字表示:第一个数字给出工频试验电压的方均根值, kV;第二个数字给出雷电冲击试验电压的峰值, kV(例如 42/75)(见第 18 章)。对于不按第 15 章进行试验的单元,不标注绝缘水平;
- l) 连接符号。除仅有一个电容值的单相电容器以外,所有的电容器均应表示其连接方式。标准化的连接符号见 25.2;
- m) 内部熔丝,如装有时,应以文字或符号  表示;
- n) 浸渍剂的化学名称或商业名称(此标志应在警告牌上表明,见 25.3);
- o) 参照标准 GB/T 11024.1—2019。

注:如购买方有要求,实测电容可以绝对值、百分值或符号表示。

25.2 标准化的连接符号

连接方式应以下列字母或符号表示:

D 或  = 三角形;

Y 或  = 星形;

YN 或  = 星形,中性点引出;

III 或  = 三节段,内部未相互连接。

25.3 警告牌

如果电容器单元中含有可能污染环境(见第 23 章)或可能以其他方式产生危害(例如可燃性)的材料,则应按照国家的相关法规在单元上配置标签。购买方应将这类法规告知制造方。

关于以多氯联苯浸渍的电容器见附录 A。

26 电容器组的标志

26.1 说明书或铭牌

制造方应根据购买方的要求,在说明书或在铭牌上至少给出下列信息:

- a) 制造方名称;
- b) 电容器组的名称;
- c) 电容器组的型号;
- d) 额定容量 Q_N , Mvar, 给出总容量;

- e) 额定电压 U_N , kV;
- f) 绝缘水平 U_i , 绝缘水平应以一斜线隔开的两个数字表示: 第一个数字给出额定工频短时电压的方均根值(对于 $U_m < 300$ kV)或额定操作冲击电压的峰值(对于 $U_m \geq 300$ kV), 单位 kV; 第二个数字给出额定雷电冲击耐受电压的峰值, 单位 kV(例如 185/450);
- g) 连接符号。标准化的连接符号见 25.2。连接符号可以是表示例如不平衡保护、阻尼电抗器等简化连接图的一部分;
- h) 电容器组切除与再投入之间所需的最短时间[见 4.1a) 和附录 D];
- i) 放电到 75 V 的时间(在电容器组的额定电压高于 25 kV 的情况下)。

26.2 警告牌

25.3 对电容器组也有效。

27 安装和运行导则

27.1 概述

并联电容器与大多数电器不同, 在额定电压和额定频率下, 一旦投入就在满负荷下连续运行, 仅在电压和频率变化时, 其负荷才有所改变。

过电压和过热将缩短电容器的寿命, 因此应严格控制 and 规定运行条件(即: 温度、电压及电流)。

应注意, 在系统中某部位接入电容器, 可能产生不利的运行状态(例如谐波放大、电机自激、操作过电压、音频遥控装置不能正常工作等)。

由于电容器的类型不同且涉及的因素很多, 不可能用简单的规则来概括所有可能情况下的安装和运行, 提供的下列资料可看作是需予以考虑的要点。

此外, 应采纳制造方和供电部门的建议, 尤其是关于电网处于轻负荷时切除电容器的建议。

27.2 额定电压的选择

电容器的额定电压不应低于该电容器所接入的电网的最高运行电压, 并且还应考虑电容器本身带来的影响。

某些电网的运行电压与标称电压可能存在相当大的差异, 购买方应提供其详细情况, 以便制造方能为之留出适当的裕度。这对电容器十分重要, 因为电容器电介质上的电压过分增高, 电容器的性能与寿命将受到不利的影响。

在为降低谐波等的影响而接入与电容器相串联的电感元件的场合, 会因此而造成电容器端子上的电压升高到超过电网运行电压, 从而需要相应提高电容器的额定电压。

如果没有不同的资料可获得, 则宜认为运行电压等于电网的标称电压。

当确定电容器端子上的预期电压时, 应考虑下列情况:

- 并联连接的电容器会使其安装处的电网电压升高(参见附录 D), 该电压会由于谐波的存在而升得更高, 因此电容器往往会在比接入电容器之前测得的电压更高的电压下运行;
- 轻负荷时电容器端子上的电压可能特别高(参见附录 D)。

只有在紧急情况下, 才允许电容器同时在最高允许过电压和最高环境温度下运行, 并且只能是短时的。

注: 关于最高允许电压见第 19 章。

在串联或星形连接的电容器组中, 应设定单元的电容偏差对运行电压影响的允许值。电容器熔断器的动作也将使剩余并联连接单元上的运行电压升高。

27.3 运行温度

27.3.1 概述

对电容器运行温度上限宜予以注意,因为这对其寿命有很大影响。

当电容器电介质达到低于温度类别下限温度时,会有激发电介质中局部放电的危险,这种情况在投切操作时应予特别重视。

在计算电容器装置总损耗时应计及所有诸如外部熔断器和电抗器等附件产生的损耗。

按照协议,制造方应提供显示在额定容量的稳定状态下,电容及损耗角正切($\tan\delta$)随环境温度变化的曲线图或数据表。

27.3.2 安装

电容器的安放应便于通过对流和辐射充分地散发由电容器损耗所产生的热量。任何围护的通风和电容器单元的布置应为每一台单元周围提供良好的空气流通,这一点对于成排叠层安装的单元尤为重要。

受太阳或任何高温表面辐射的电容器,其温度将升高。根据冷却空气的温度、冷却强度及辐射的强度和持续时间,可能有必要采用下列一种或多种处理方法:

- 防止电容器受到辐射;
- 选择为用于较高环境空气温度而设计的电容器(例如以类别-5/B代替-5/A,或者其他适当设计的电容器);
- 采用额定电压比由 27.2 选择的额定电压更高的电容器;
- 采用强迫风冷。

安装在高海拔(超过 1 000 m)地区的电容器,其对流散热效果将会降低,这种情况在确定单元的容量时应予以考虑。然而,在这样的海拔下,环境温度通常较低。

27.3.3 高的环境空气温度

代号为 C 的电容器通常适合于在大多数热带环境下使用。然而在有些地区,其环境空气温度可能需要使用代号 D 的电容器。在电容器经常会遭受数小时太阳辐射的地方(例如沙漠地区),即使其环境温度不是过高,仍可能需要使用代号 D 的电容器。

在特殊场合,环境空气温度的最高值可能超过 55 ℃,或日平均温度高于 45 ℃,若该处无法改善冷却条件,则应使用特殊设计的或较高额定电压的电容器。

27.4 特殊使用条件

除在 27.3 所涉及的条件外,对下列任一特殊使用条件,购买方应告知制造方:

- 高的相对湿度:可能需要使用特殊设计的绝缘子,应注意外部熔断器有被其表面凝聚的潮气旁路的可能性;
- 快速的霉菌生长:金属、陶瓷材料及一些油漆与清漆都不会助长霉菌。当使用杀菌剂时,其毒性保持时间不会超过几个月。总之,装置中灰尘等落积处霉菌都可能滋长;
- 腐蚀性大气:在工业及沿海地区都会遭遇腐蚀性的空气。应注意在较高温度的气候下,腐蚀性大气的的作用要比在温和的气候下更为严重,甚至在户内也可能存在高腐蚀性的空气;
- 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(见 27.9.1);
- 海拔超过 1 000 m:在海拔超过 1 000 m 使用的电容器会遭遇特殊的环境。18.2 提供了对绝缘要求校正的准则;

——地震地区：有些地区地震的概率较高，这将影响安装在这些地区的电容器和/或电容器组的机械设计，购买方应规定加速度幅值和阻尼值。

27.5 过电压

27.5.1 概述

第 19 章规定了过电压因数。

如果估计过电压发生率较低或者温度条件不太恶劣，在制造方同意时，某些过电压因数可提高。如果在工频过电压上没有叠加瞬态过电压，则这些工频过电压的极限值均是有效的。电压的峰值不应超过给定方均根值的 1.41 倍。

27.5.2 开关重击穿

当开关装置开断电容器时发生重击穿，电容器可能遭受高的瞬态过电压，为避免重击穿过电压对电容器的损害，应注意选用操作时不引起过高过电压的开关装置，例如选用具有非常低的重击穿概率的 C2 级断路器并采取限制过电压的措施。

另外，如果无法避免重击穿，则需要采用具有较高绝缘水平和较高额定电压的电容器。

27.5.3 雷电

对易于遭受高的雷电过电压的电容器应加以适当的保护。如果采用避雷器，则应将它们尽可能靠近电容器放置。为能承载来自电容器的、尤其是来自大电容器组的放电电流，可能需要特殊的避雷器（见 GB/T 11032）。

27.5.4 电动机自激励

当电容器固定连接在电动机上时，在将电动机从电源切除后可能会出现自激励，仍在转动的电动机由于自激励可以起发电机的作用，并可能产生比系统电压高得多的电压。

然而，这种情况通常能够采用确保电容器电流小于电动机的空载电流的方法加以防止，该值宜约为 90%。作为预防，在固定接有电容器的电动机停止转动以前不得接触电动机的带电部分。

27.5.5 星-三角起动

当电容器连接到配备有“星-三角”起动器的电动机上时，除非购买方与制造方另有协议，其布置应使得在起动器工作期间不产生过电压。

27.5.6 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连接的单元或串联段之间的电容差异所造成的过电压。

在中性点绝缘的星形连接的电容器组中，相间电容差异将导致电容最小一相中的电容器上电压增高。

27.6 过电流

27.6.1 连续过电流

电容器不可在电流超过第 20 章规定的允许值下运行，表 4 中轻负荷下电压升高历时不超过 5 min 的情况除外。

过电流可能是由基波过电压或由谐波或者是由两者共同作用引起的。主要的谐波源是整流器、晶

闸管装置及饱和的变压器铁心等。

在轻负荷下电压升高被电容器所加剧时,可考虑是变压器铁心饱和造成的。在这种情况下将产生异常量值的谐波,其中某次谐波可能被变压器与电容器之间的谐振所放大。应避免在变压器空载状态下投入电容器组产生的谐振电流损坏电容器。

安装电容器前后宜测定电压波形及电网特性。如果有谐波源,例如有大型整流器时,应特别注意。

如果电容器电流超过第 20 章规定的最大值,而电压仍在 19.1 规定的允许限值之内,则应测出主要的谐波,以便找到最佳的处理方法。

下列一项或多项处理方法可能对降低电流有效:

- 可改变一部分或全部电容器在系统中的接入点位置;
- 接入与电容器串联的电抗器,将电路的谐振频率降低到干扰谐波频率以下(见 27.2);
- 增加连接在整流器近旁的电容器的电容值。

27.6.2 瞬态过电流

在将电容器投入电路时,尤其是在将一个电容器分组投入电路与正在运行的其他分组相并联时,会产生高幅值和高频率的瞬态过电流(参见附录 D)。

为将这些瞬态过电流降低到电容器与设备能承受的值,可能需要通过电阻器来投入电容器(电阻合闸),或在电容器组每一分组中串联接入电抗器(也见 27.7.1)。

由投切操作引起的过电流峰值应限制到最大为 $100 I_N$ (方均根值)(见 27.7.1、附录 C 和 GB/T 11024.4—2019)。

在发生完全短路故障的情况下,故障电流可能超出规定的瞬态过电流允许量。应始终仔细考虑对人员安全可能造成的影响(见第 22 章)。

27.7 开关和保护装置

27.7.1 耐受要求

开关、保护装置及连接件均应设计成能连续承载 1.3 倍该电容器组在额定频率和正弦电压方均根值等于额定电压下的电流值(见第 20 章)。由于实际电容值最大可等于额定容量相应电容值的 1.05 倍(见 7.2),故对于电容器单元或电容器组,电流最大值可达 $1.3 \times 1.05 = 1.37$ 倍额定电流。

此外,如果存在谐波分量,由于集肤效应,可产生比相应的基波分量更大的热效应。

开关、保护装置及连接件应能承受投入电容器时可能产生的高幅值及高频率的瞬态过电流所造成的电力及热应力。

当将一个电容器分组投入电路与正在运行的其他分组相并联时,预计会产生这样的瞬态效应。当考虑电力及热应力后导致设计要求过高时,应采取诸如 27.6.2 所述的防止过电流的特殊预防措施。

特别是,选取的熔断器或熔丝应具有足够的热容量(见附录 C 和 GB/T 11024.4—2019)。

在某些情况下,例如当电容器投切采用自动控制时,可能在较短的时间间隔内进行反复的投切操作。应选择能承受这些状况的开关装置、熔断器及熔丝。应遵守 4.1a) 要求,通电时的剩余电压不应超过额定电压 10% 的规定。

注:连接在同一母线上的断路器,在短路合闸的情况下能经受特殊应力。

用来投切并联的电容器组的开关设备应能够承受将一电容器组连接到已接有一组或多组其他电容器组的母线上时所产生的涌流(幅值和频率)。

27.7.2 断路器性能

应采用适合于投切电容器的断路器,其性能应符合 GB/T 1984 的要求。

27.7.3 继电器整定

宜使用适当的过电流继电器来实现电容器的过电流保护,将继电器整定到当电流超过第 20 章所规定的允许限值时断路器跳闸。熔断器或熔丝通常不能提供适当的过电流保护(见附录 C 和 GB/T 11024.4—2019)。

过电流保护系统本身不能对过电压提供足够的保护,通常也不对电容器单元内部故障提供保护。因此,应对电容器组尤其是由多个单元组成的电容器组的内部故障进行保护。应采用适当的方法自动隔离故障单元或故障元件。

当电容器组的单元单独由外部熔断器保护时,尽管熔断器熔断的数目已导致电容器上持续过电压超过了第 19 章所规定的限值,但购买方可能会要求电容器组仍继续运行。

在这种情况下,购买方和制造方应协商决定是选择较高额定电压的单元还是限制过电压的时间。

27.8 绝缘水平的选择

27.8.1 概述

电容器组的绝缘水平应从第 18 章的表中选取,以适合电容器组将要接入的系统。

如果开关装置投切过程无重击穿,则 18.2 的绝缘要求对于操作冲击也是足够的。

有关爬电距离的选择见 27.9。

27.8.2 海拔超过 1 000 m

在海拔高于 1 000 m(见 4.1)处使用的设备,标准绝缘水平可能太低。

18.2 提供了需应用的海拔修正因数。

27.8.3 电容器自身的影响

表 3 中的耐受电压值符合 GB/T 311(所有部分)的规定,且其是按小电容的对象承受瞬态过电压时尚有足够的裕度来选取的。

因此,在电容器单元或电容器组中,表 3 中的绝缘水平只适用于其中具有小电容的装置,例如全绝缘单元的对地绝缘或不接地中性点与地之间的绝缘。

第 18 章中不同绝缘路径和连接类型的不同绝缘要求已按表 5 进行了考虑。图 2、图 3 和图 4 为不同连接的简图。

表 5 绝缘要求

类 型	绝 缘 要 求	条 号
A1	全绝缘 交流/LIWL*	18.2.2
A2	全绝缘 交流/LIWL*	18.2.3 第 1 段
A3	全绝缘 交流/LIWL*	18.2.3 第 2 段
B1	只有交流,2.15 p.u.	18.2.3 第 4 段 18.2.4 第 2 段
B2	只有交流,2.5 p.u.	18.2.3 第 3 段 18.2.4 第 1 段
* 雷电冲击耐受水平。		

如果电容器接地,则雷电冲击到达电容器时,其幅值将显著降低。如果电容器不接地,则雷电冲击仅作用在电容器组的带电部件与地之间的绝缘上。这就是 B1 和 B2 类型未规定雷电冲击耐受水平的原因。

对于 B1 和 B2 类型,规定了与电介质并联的各类绝缘的交流耐压值,该值绝不能低于 2.15 倍额定电压。因为电容器单元的端子对壳绝缘要求更大的裕度,故规定试验电压增加 15% 的裕度,达 2.5 p.u.。

对于与电容器电介质并联且物理位置上紧邻的绝缘只规定了交流要求,这也适用于套管、端子对壳绝缘和内部构架绝缘。对于与电容器有一段距离的绝缘,应采用 A1 类的全绝缘要求。

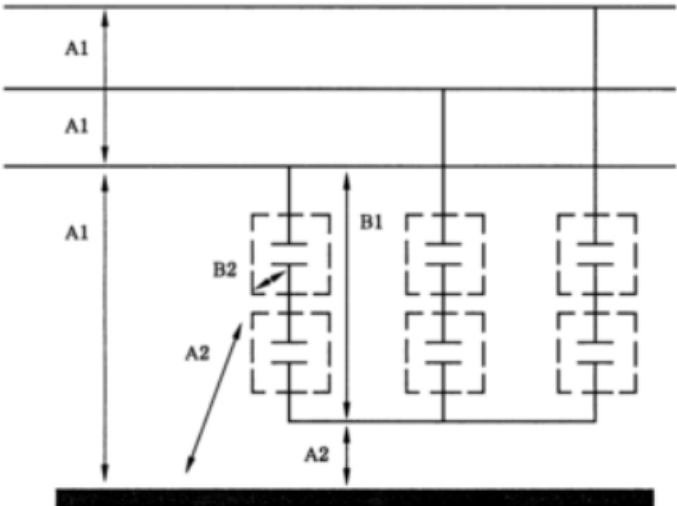


图 2 对地绝缘的电容器组

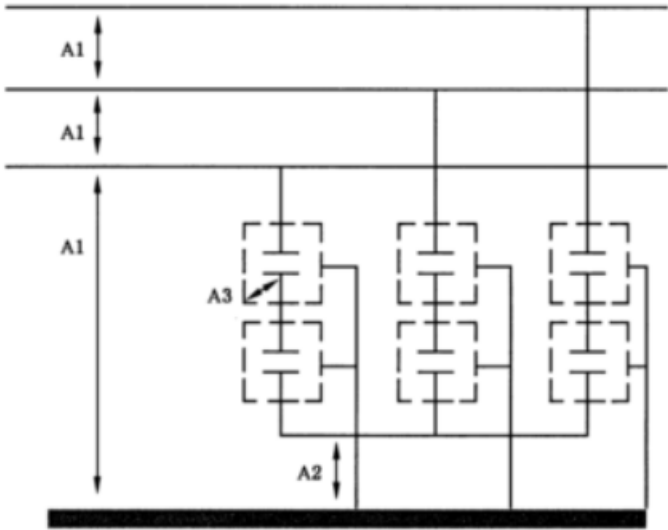


图 3 对地绝缘的电容器组(外壳接地)

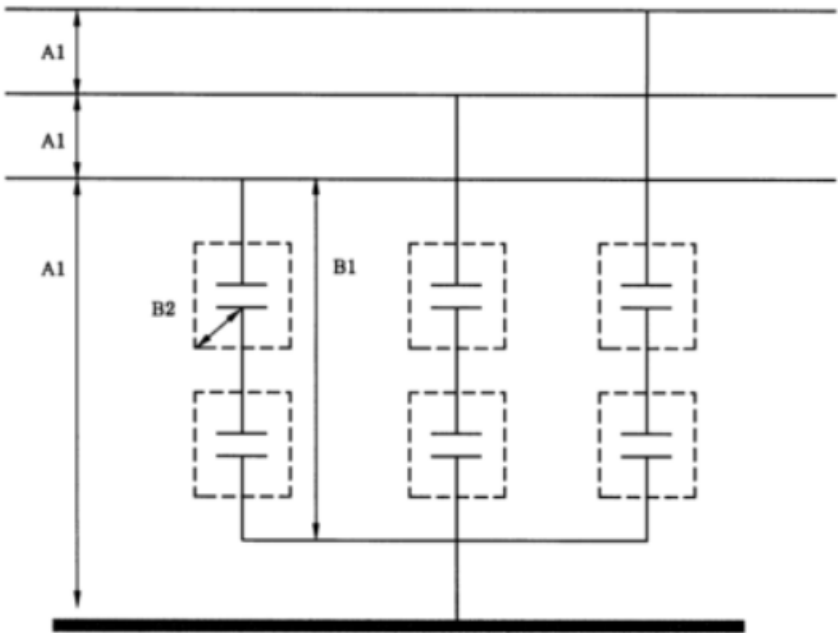


图 4 接地的电容器组

27.8.4 架空地线

对于中性点接地的电容器单元或电容器组,如果单元(组)和连接线之上装有架空地线,且架空地线距离单元(组)至少 $5U_m$ (U_m 的单位为 kV,但用 m 来表示)或 200 m,取两者中较大者,则通常认为已有适当的雷电冲击保护。

27.9 爬电距离和空气间隙的选择

27.9.1 爬电距离

GB/T 26218(所有部分)提供了绝缘子爬电距离选择的通用准则。爬电距离的要求由适用的长期持续工频电压与常用单位为 mm/kV 的统一爬电比距的乘积来确定。

在选择统一爬电比距时,宜对诸如气候、地理位置、大气状况等影响因素予以适当的考虑。各种现场污秽等级度的定义及相应统一爬电比距的推荐值在 GB/T 26218(所有部分)中已给出。购买方通常对这些情况十分熟悉且富有经验,宜给出适用的要求。

如果没有其他规定,则宜从表 6 中选值,这些值是根据 GB/T 26218.2 及 GB/T 26218.3 中给出的数据提供的。

表 6 具体的爬电比距

现场污秽等级 (SPS)	污秽程度	统一爬电比距 (USCD) mm/kV
a	很轻	22
b	轻	28
c	中等	35
d	重	44
e	很重	54

27.9.2 空气间隙

空气间隙距离选择的准则可在 GB/T 311.1—2012 的附录 A 中得到,这些要求以雷电或操作冲击电压为基础,适用于第 18 章和 27.8 所要求的全绝缘。该文献已对不同电极形状确定了最小间隙。一般情况下,除非供货方另有证明,间隙距离宜以棒-构架间隙为基准。

在 1 m 以下的间隙范围内,考虑了实践经验、经济和实际设备的尺寸,所列出的最小间隙是用保守的方法确定的,这些间隙仅拟用来解决绝缘配合的要求。然而,一些装置会遭受到因虫害造成闪络带来的问题,在虫类、鸟类、松鼠等出没的地方,加大间隙可能是有效的。

表 7 引自于 GB/T 311.1—2012,可用于确定雷电冲击耐受电压的相间和相对地绝缘。

对于仅适用于交流电压耐受要求(见第 18 章和 27.8)的跨越绝缘路径空气间隙的选择,宜采用 GB/T 311.2—2013 附录 F 中的推荐值。图 5 所示的是最小空气间隙与交流耐压的关系曲线。

在电容器单元由外部熔断器保护,且一个熔断器动作后允许继续运行的场合,应对悬垂的熔断器尾线保持等同的间距。

表 7 标准额定雷电冲击耐受电压和最小空气距离之间的关系(引自 GB/T 311.1—2012 表 A.1)

标准额定雷电冲击耐受电压 kV	最小空气距离 mm	
	棒-构架	导线-构架
20	60	
40	60	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
200	380	
250	480	
325	630	
380	750	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100

表 7（续）

标准额定雷电冲击耐受电压 kV	最小空气距离 mm	
	棒-构架	导线-构架
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900
2 250	4 500	4 200
2 400	4 800	4 500
2 550	5 100	4 800
2 700	5 400	5 100

注：标准额定雷电冲击耐受电压适用于相对地和相间。对于相对地，最小距离适用于导线-构架以及棒-构架。对于相间，最小距离适用于棒-构架。

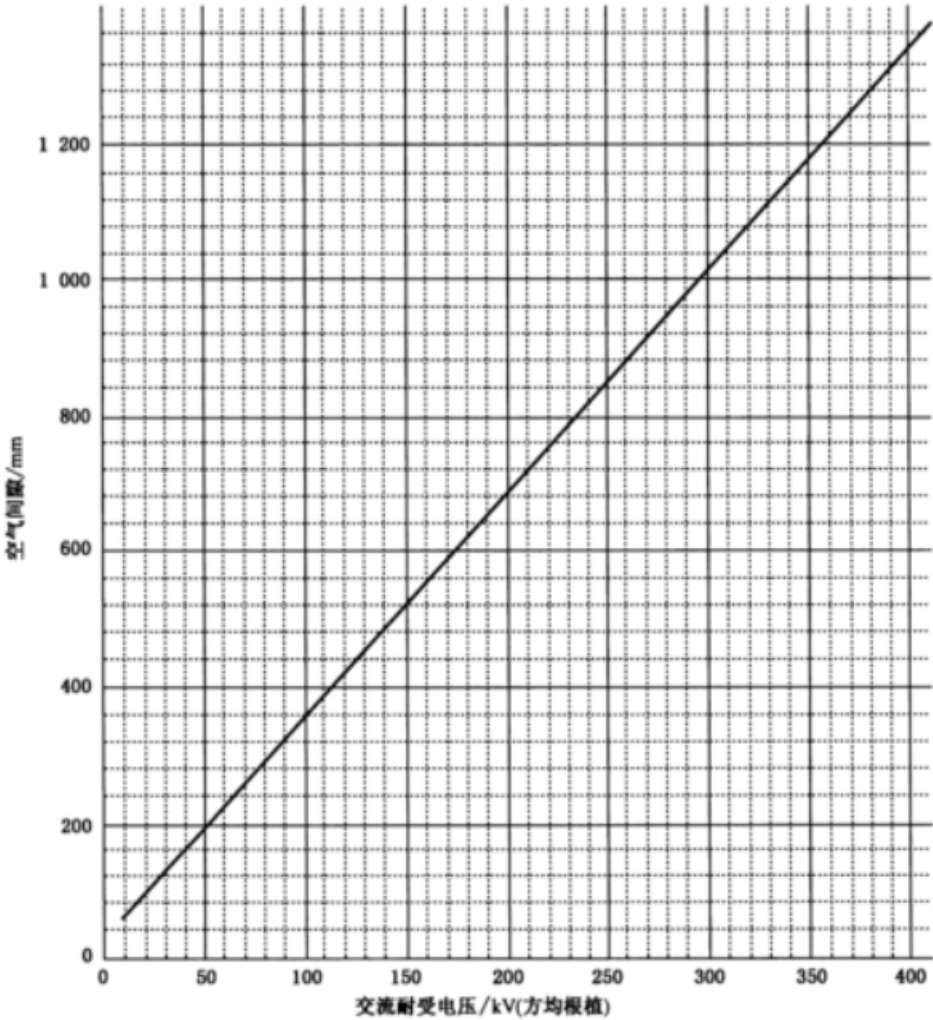


图 5 空气间隙与交流耐受电压的关系曲线

27.10 电容器连接到具有音频遥控的系统中

在音频下电容器的阻抗很低,因此当将它们连接到具有音频遥控的系统中时,可造成遥控传送器过载且不能正常工作。

有多种避免该问题的方法,最好的方法宜由有关各方协商选择。

附 录 A

(规范性附录)

避免多氯联苯(PCB)污染环境的预防措施

我国已规定禁止生产和使用多氯联苯(PCB)绝缘电介质浸渍的电容器。

附录 B
(规范性附录)

交流滤波电容器的附加定义、要求和试验

在本部分中加入下列条款后,便适用于与负载并联的交流滤波电容器(见第 1 章)。

在第 3 章中增加下列两个定义:

3.26

交流滤波电容器 a.c. filter capacitor

与其他配件,例如电抗器和电阻器连接在一起,在电力系统中对一种或多种谐波电流提供一低阻抗通道的电容器(或电容器组)。

3.27

交流滤波电容器的额定电容 rated capacitance of a.c. filter capacitor

C_N

设计交流滤波电容器时所规定的电容。

增加到 3.9 中:

注:对于交流滤波电容器,额定容量为基波与谐波产生的容量的算术和。

增加到 3.10 中:

注 3:对于交流滤波电容器, U_N 定义为:基波电压方均根值和谐波电压方均根值的算术和,或者是由额定容量(见增加到 3.9 的内容)和额定频率下电容器电抗计算得出的电压,取两者中较大者。

增加到 3.13 中:

注 2:对于交流滤波电容器, I_N 定义为:基波和谐波频率下额定电流平方值之和的平方根。附件,例如汇流排应设计成能在此电流和过电流(见第 20 章)下可靠地运行。

增加到 7.2 中:

对于交流滤波电容器,特别是带通滤波器,电容器单元和电容器组的电容均宜取对称偏差。

电容器组的偏差应由购买方与制造方协商确定。

当确定交流滤波电容器组的偏差时,应考虑下列因素:

- 相关设备,特别是电抗器电感的偏差;
- 交流滤波电容器所接入的电网中基波频率的偏差;
- 由温度引起的电容变化;
- 允许的短时间电容变化,例如在升温期间,或者在故障状态下,如熔断器动作之前的击穿;
- 熔断器动作之后的电容变化。

如果采用的是标准(非定制的)单元,则所要求的电容器组的偏差宜通过挑选单元来满足要求。

增加到 9.2 中:

对于交流滤波电容器:

$$U_i = 2.15U_N$$

增加到 9.3 中:

对于交流滤波电容器:

$$U_i = 4.3U_N$$

增加到 13.2 中:

注:对于交流滤波电容器,如果 $1.44Q_N$ 小于由 $1.1U_N$ 和 C_N 在基波频率下确定的容量,则在热稳定性试验中采用后者的试验电压。

增加到 18 章中:

对于交流滤波电容器, U_m 是指安装后滤波电路端子上的基波电压。

但是, 如果谐波电压方均根值算术和 U_H 大于 0.5 倍的基波电压 U_1 (即 $U_H > 0.5 U_1$), 则应按照电网中的设备最高电压 U_m 增加 $0.5 U_H$ 来选取电容器的绝缘水平。

绝缘水平和爬电距离应从标准水平中选取, 27.2 也应考虑在内。

增加到第 20 章中:

对于交流滤波电容器, 最大允许电流应由制造方和购买方协商确定。

增加到 25.1 和 26.1 中:

对于交流滤波电容器, 应标志调谐的谐波频率, 最好标在额定频率后面。

例如: 50 Hz+250 Hz(窄带通滤波器)

50 Hz+550 Hz/650 Hz(宽带通滤波器)

50 Hz+ ≥ 750 Hz(高通滤波器)

附 录 C
(规范性附录)

外部熔断器和用外部熔断器保护的电容器单元的试验要求与应用导则

C.1 概述

本附录适用于高电压并联电容器使用的外部熔断器,熔断器应与 GB/T 15166.4 相符。

本附录的目的是:

- a) 规定关于外部熔断器性能和试验的规则;
- b) 提供外部熔断器的应用导则。

C.2 术语和定义

对于本附录,采用 GB/T 15166.4 给出的和下列术语和定义。

C.2.1

外部熔断器 external fuse

连接在电容器单元外部并且在电气上和一个单元或一个并联单元组串联装设的熔断器。

C.3 性能要求

熔断器的性能应符合 GB/T 15166.4 的要求。

在电容器的寿命期间,熔断器应能承受一定次数的由投切操作引起的涌流冲击,涌流的峰值不应超过 100 倍额定电流方均根值(见 27.6.2)。

注 1:如果使用条件允许,“在电容器的寿命期间”的字句能用“直到下次定期维护检查为止”来取代。

连接在未损坏单元上的熔断器应能承受由其他单元击穿引起的放电电流和由单元外部短路形成的电流。

注 2:一种特定的熔断器可应用于多种额定值的电容器,一种特定的电容器也可采用多种类型和额定值的熔断器,因此对熔断器与电容器的组合尚没有规定型式试验。然而,在指定使用电容器/熔断器组合的场合,根据使用条件确定的放电型式试验可由制造方与购买方协商进行。

熔断器在开断时,不得出现重击穿。

C.4 外部熔断器的试验

见 GB/T 15166.4。

C.5 熔断器保护配合导则

C.5.1 概述

每个熔断器与一个单元或一个单元组串联连接,如果单元或单元组中的一个单元发生故障,就用熔断器来隔离。

受电容器组的布置和单元内部的连接的影响,由单元故障引起的通过该单元的电流,连同由与故障

单元并联的单元内储存能量的放电引起的电流,可能仍不足以使熔断器动作,要一直到故障单元中多个串联元件损坏后才能动作。为保证熔断器能够动作并且隔离一个完全失效的单元,熔断器的额定值宜按照其仅承受流经短路单元的工频过电流时能够动作来确定。

一个或多个熔断器动作将导致电容器组内电压分布发生变化。完好单元上的电压既不应超过第19章规定的值,其持续时间也不应长于第19章所规定的相应时间。除非对电容器组开断作了布置以达到这一要求,否则电容器组中的所有单元均宜按照由于熔断器动作断开单元所造成的更为严酷的工况来适当地选取其额定值。

对于有元件串联的单元,在熔断器动作之前,元件击穿将导致电容器组内部和单元内部电压的分布发生变化。

电容器组的有关电气保护应考虑这些电压变化。

由于熔断器的结构件易老化和腐蚀,需及时更换零件已锈蚀、尾线已松弛的熔断器,避免因其开断性能变差而造成重击穿,导致扩大性事故。

C.5.2 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(单元组)的熔断器动作。第二级是电容器组的继电保护(例如过电流或不平衡保护)。第三级是电网或设备的保护。

注1:取决于电容器组的大小、继电保护设计等,不是所有电容器组都采用全部的三级保护。

注2:在大电容器组中还能采用报警级。

注3:除非熔断器总是能在 $0.9\sqrt{2}U_N$ 到 $2\sqrt{2}U_N$ 的电压范围内由于放电能量的作用而动作,否则制造方宜提供熔断器的时间/电流特性及其偏差。

注4:在有些情况下,不平衡保护比熔断器更为灵敏,这就意味着熔断器仅在例如套管闪络或单元中的电介质完全击穿时方能动作。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。

C.6 熔断器的选择

C.6.1 概述

在选择熔断器时,宜考虑利用现有最佳的数据和标准,以使在电容器单元故障状况下外壳爆破的可能性降至最小。所用的数据和标准应由购买方与制造方商定。

该考虑的内容是指工频过电流以及与故障单元并联电容储存的能量。

C.6.2 非限流熔断器

这类熔断器通常为喷射型,熔断件是可以更换的。

这类熔断器对工频电流或储能放电只有小的或没有限流作用。

和故障电容器相并联的电容器的总储存能量应小于熔断器能释放而不爆炸的能量,并且应小于故障电容器爆裂所需能量(见 6.5.2 和 C.6.1)。

这类熔断器可用于供给故障单元的工频过电流相当小的场合。

C.6.3 限流熔断器

这类熔断器能将工频过电流限制到预期值以下,并且能在正常工频电流过零之前将电流降到零。

设计恰当的限流熔断器能仅使储存能量的一部分泄放到故障电容器中。

熔断器的允通量应小于使故障电容器爆裂所需之能量(见 6.5.2 和 C.6.1)。

当工频过电流或与可能故障的单元相并联的最大储存能量高到足以造成喷射式熔断器或故障电容

器爆炸时,应使用这类熔断器。恰当设计的限流熔断器对于故障电容器可获得的并联储存能量不强加上限。

C.7 外部熔断器的损耗

外部熔断器的损耗应由额定交流电阻(熔断器制造方规定的在 20 ℃时之值)乘以电容器额定电流的平方计算得到。

C.8 熔断器用户所需资料

为能正确选用各种用途的熔断器,可能要参考 GB/T 15166.4 中提供的部分或全部资料。

附录 D
(资料性附录)
电容器及装置的计算公式

D.1 由每两个线路端子间测得的三个电容计算三相电容器容量

无论是三角形还是星形连接的三相电容器,在每两个线路端子间测得的电容用 C_a 、 C_b 和 C_c 表示。如果能满足 7.2 所规定的对称要求,则电容器的容量 Q 可由式(D.1)计算得出:

$$Q = \frac{2}{3}(C_a + C_b + C_c)\omega U_N^2 \times 10^{-4} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:
 C_a 、 C_b 和 C_c ——在三相电容器每两个线路端子间测得的电容,单位为微法(μF);
 U_N ——电容器的额定电压,单位为千伏(kV);
 Q ——电容器的容量,单位为兆乏(Mvar)。

D.2 谐振频率

根据式(D.2),当 r 为整数时,电容器将在该次谐波下谐振:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q}} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:
 S ——电容器安装处的短路容量,单位为兆伏安(MVA);
 Q ——电容器的容量,单位为兆乏(Mvar);
 r ——谐波次数,为谐振频率(Hz)与电网频率(Hz)之比。

若电容器与用来限制合闸涌流或抑制谐波放大的电抗器串联连接,则按式(D.3)计算谐振频率:

$$r = \sqrt{\frac{S}{Q + KS}} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:
 K ——串联电抗器的电抗率, $K = X_L/X_C$ 。

D.3 电压升高

接入并联电容器将导致如式(D.4)恒定的电压升高:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (D.4)$$

式中
 ΔU ——升高的电压,单位为千伏(kV);
 U ——接入电容器前的电压,单位为千伏(kV);
 S ——电容器安装处的短路容量,单位为兆伏安(MVA);
 Q ——电容器的容量,单位为兆乏(Mvar)。

D.4 涌流

D.4.1 同一电抗率的电容器组单组投入或追加投入时

涌流按式(D.5)、(D.6)和(D.7)计算:

$$\hat{I}_s = \frac{1}{\sqrt{K}} \left(1 - \beta \frac{Q_0}{Q} \right) + 1 \quad \text{.....(D.5)}$$

$$\text{其中: } \beta = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{Q}{KS}}} \quad \text{.....(D.6)}$$

$$Q = Q' + Q_0 \quad \text{.....(D.7)}$$

式中:

\hat{I}_s ——涌流峰值的标么值(以投入电容器组额定电流峰值为基准值);

β ——电源影响系数;

K ——额定电抗率;

Q ——同一母线上装设的电容器组总容量,单位为兆乏(Mvar);

Q' ——所有正在运行的电容器组容量,单位为兆乏(Mvar);

Q_0 ——正在投入的电容器容量,单位为兆乏(Mvar);

S ——电容器组安装处的短路容量,单位为兆伏安(MVA)。

D.4.2 投入电容器组的电抗率与正在运行的电容器组的电抗率不同

D.4.2.1 设正在投入电容器组的电抗率为 K_1 ,当满足 $\frac{Q}{K_1 S} < \frac{2}{3}$ 时,涌流按式(D.8)计算:

$$\hat{I}_s = \frac{1}{\sqrt{K_1}} + 1 \quad \text{.....(D.8)}$$

D.4.2.2 设正在投入电容器组的电抗率为 K_1 ,正在运行电容器的电抗率为 K_2 ,当满足 $\frac{Q}{K_1 S} \geq \frac{2}{3}$,且

$\frac{Q}{K_2 S} < \frac{2}{3}$ 时,涌流仍应按式(D.5)计算,其中 $K = K_1$ 。

D.5 单相单元中的放电电阻

按式(D.9)计算:

$$R \leq \frac{t}{C \ln(\sqrt{2} U_N / U_R)} \quad \text{.....(D.9)}$$

式中:

t ——从 $\sqrt{2} U_N$ 放电到 U_R 的时间,单位为秒(s);

R ——放电电阻,单位为兆欧(M Ω);

C ——电容,单位为微法(μ F);

U_N ——单元的额定电压,单位为千伏(kV);

U_R ——允许的剩余电压,单位为千伏(kV)。

(t 和 U_R 的限值见第 21 章)

D.6 放电到 10%额定电压的时间

按式(D.10)计算:

$$t_1 = 2.65RC = \frac{2.65t}{\ln(\sqrt{2}U_N/U_R)} \dots\dots\dots (D.10)$$

式中

- t ——从 $\sqrt{2}U_N$ 放电到 U_R 的时间,单位为秒(s);
- U_N ——单元的额定电压,单位为千伏(kV);
- U_R ——允许的剩余电压,单位为千伏(kV);
- t_1 ——放电到 10%额定电压的时间,单位为秒(s)。

如果严格遵守第 21 章的限值,则按式(D.11)计算:

$$t_1 = \frac{1\,590}{\ln(U_N/53)} \dots\dots\dots (D.11)$$

附录 E

(资料性附录)

电容器组熔断保护及其单元的布置

E.1 概述

并联电容器组采用三种不同形式的熔断保护和单元的布置,本附录概略介绍了这些形式及相关的电容器单元的接线,参见图 E.1 和图 E.2。

E.2 装设内部熔丝的电容器组

装设内部熔丝的电容器单元内所采用的典型布置包括:由装有熔丝的元件并联构成的元件组,然后将这些元件组串联,以达到电容器单元的额定值。将电容器单元进行必要的串、并联,以符合电容器组整体的额定值。可以有多种不同的布置,电容组的一相可分列为两个或多个并联部分,以便电容器不平衡电流的检测。

一个电容器元件的故障会引起来自于与其并联的元件的放电电流,该电流流经与故障元件相串连的内部熔丝并使之熔断。这种情况会造成电容器单元内这些并联元件上电压的升高,并使相并联单元上的电压有轻微的上升,这些电压升高的值与制造方设计的元件并联数密切相关。

当电容器组上的电压高的时候,最有可能发生元件故障。如 GB/T 11024.4—2019 所要求的那样,内部熔丝被设计成在高于 $0.9U_N$ 和最高达 $2.5U_N$ 之间的电压范围内能正确地动作。由一些熔丝的熔断而引起的电流增大和电压升高应在设计中予以考虑。

采用内部熔丝的电容器,不宜同时采用外部熔断器。

E.3 装设外部熔断器的电容器组

采用装设外部熔断器的电容器的典型布置包括:将装有熔断器的电容器进行必要的并联连接,以满足电容器组额定电流的要求;将这些并联单元组进行串联连接,以达到电容器组电压和容量的额定值。电容器组的一相可分列为两个或多个并联部分,以便电容器不平衡电流的检测。

电容器单元的故障,会引起外部熔断器电流增大并熔断该熔断器,这种情况会造成所并联单元上电压的升高,电压升高的值与制造方设计的单元并联数有关。

附录 C 和 GB/T 15166.4 包含了正确使用外部熔断器更加明确的要求和准则。

E.4 无熔丝电容器组

采用无熔丝电容器的典型布置包括:电容器单元串联连接的单元串,单元串联数按要求设置,以达到必要的电压承受能力。将这些电容器单元串按需要进行并联连接,以达到电容器组电流和容量的额定值。

电容器组的一相可以分列为两个或多个并联的电容器单元串,以便电容器不平衡电流的检测。

电容器元件的故障导致电容器单元中相关的串联段短路,引起该单元中剩余元件上以及其所在电容器串中的其他电容器单元上通过的电流增大和电压升高。增大和升高程度取决于电容器单元串中串联元件的总数。由于电容器单元通常采用非直接并联连接,故放电能量和电流增量都不大。存在短路

元件的电容器单元仍保持继续运行。作无熔丝应用的电容器单元宜具有全膜电介质系统,这种电介质系统构成的元件内发生的故障会形成电阻值很小的熔焊短路。包括纸电介质在内的较老的电介质系统就不会出现这种现象。

由于故障元件没有断开,而且受其影响的单元也没有立即断开,所以应仔细考虑任何必不可少的内部绝缘部件耐受放电能量的能力。能影响对壳绝缘的故障也许特别危险。

单元的数量随使用要求和熔断类型可有所不同。图 E.1 中未标示检测电容器不平衡电流的互感器或检测不平衡电压的放电线圈。

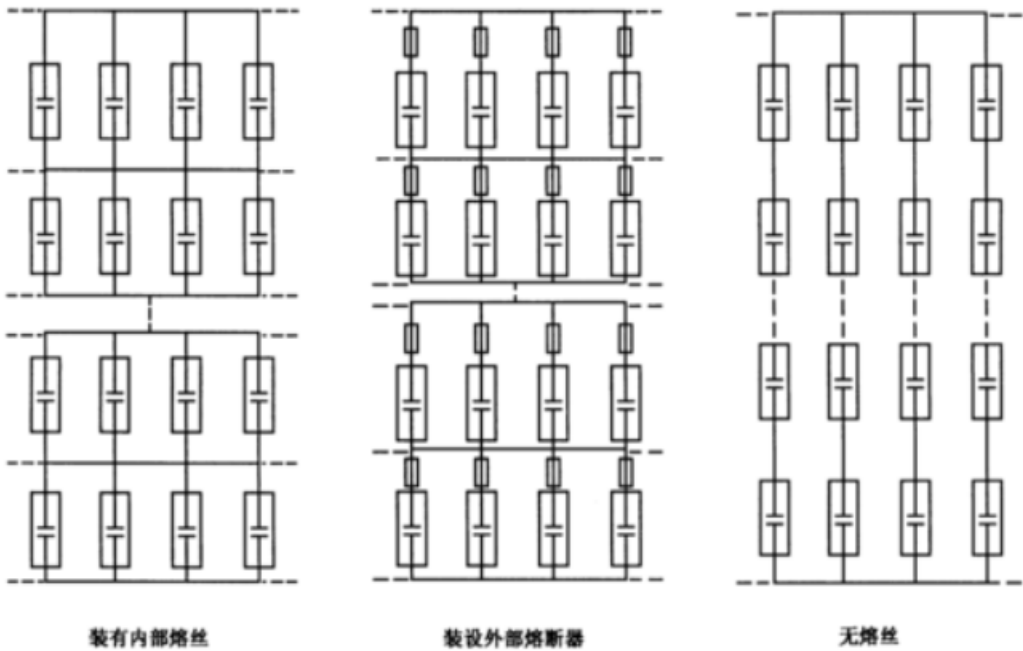


图 E.1 电容器单元之间的典型连接

单元内的元件数和元件的串、并联数会随使用要求和制造方设计的习惯做法而有所不同。

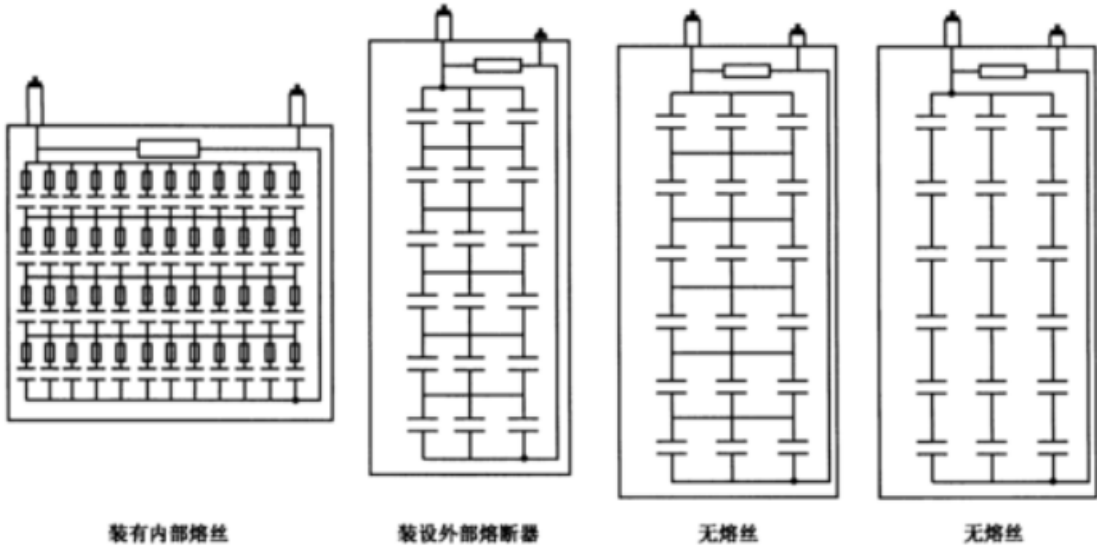


图 E.2 电容器单元内元件之间的典型连接

附录 F
(资料性附录)
元件和电容器外壳尺寸的定义

F.1 压扁的元件

图 F.1 所示为在厚度方向压扁的元件。

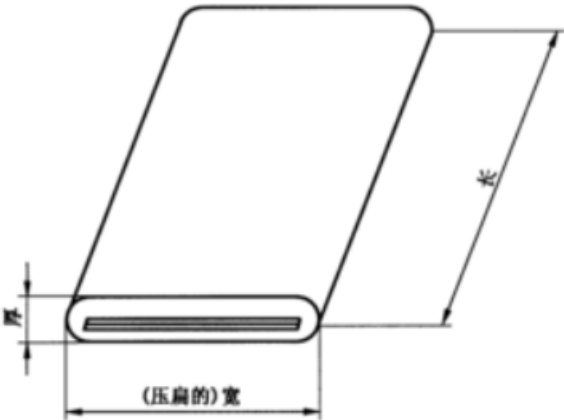


图 F.1 压扁的元件

元件展开长度或铝箔(有效)长度由在(压扁的)宽度方向展开元件获得。

F.2 电容器外壳

高度通常是从装有套管的一面到相对的另一面来确定。一般压扁元件的宽度尺寸对应于外壳的宽度方向尺寸,元件的长度方向可对应于外壳的高度或外壳的长度尺寸(见图 F.2),这取决于设计。

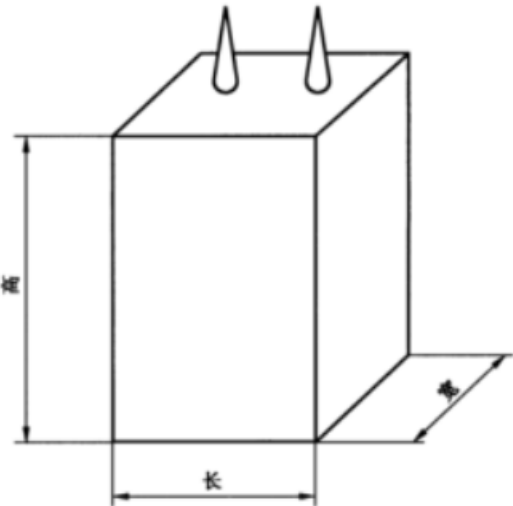


图 F.2 电容器外壳

参 考 文 献

- [1] GB/T 156—2017 标准电压(IEC 60038:2009,MOD)
- [2] GB/T 311.2—2013 绝缘配合 第2部分:使用导则(IEC 60071-2:1996,MOD)
- [3] GB/T 2900.16—1996 电工术语 电力电容器[neq IEC 60050(436):1990]
- [4] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件(IEC 60050-151:2001,IDT)
- [5] GB/T 3667(所有部分) 交流电动机电容器[IEC 60252(所有部分),IDT]
- [6] GB/T 3984.1—2004 感应加热装置用电力电容器 第1部分:总则(IEC 60110-1:1998, IDT)
- [7] GB/T 6115(所有部分) 电力系统用串联电容器[IEC 60143(所有部分)]
- [8] GB/T 8287.2—2008 标称电压高于1 000 V系统用户内和户外支柱绝缘子 第2部分:尺寸与特性(IEC 60273:1990,MOD)
- [9] GB/T 11024.2—2019 标称电压1 000 V以上交流电力系统用并联电容器 第2部分:老化试验(IEC 60871-2:2014,MOD)
- [10] GB/T 11024.3—2019 标称电压1 000 V以上交流电力系统用并联电容器 第3部分:并联电容器和并联电容器组的保护(IEC/TS 60871-3:2015,MOD)
- [11] GB/T 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器(IEC 60099-4:2006,MOD)
- [12] GB/T 12747(所有部分) 标称电压1 000 V及以下交流电力系统用自愈式并联电容器[IEC 60831(所有部分),IDT]
- [13] GB/T 17702 电力电子电容器(GB/T 17702—2013,IEC 61071:2007,IDT)
- [14] GB/T 17886(所有部分) 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[IEC 60931(所有部分),IDT]
- [15] GB/T 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/T 18489—2008, IEC 61048:2006,IDT)
- [16] 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, IEC 61049:1991,MOD)
- [17] GB/T 18939.1 微波炉电容器 第1部分:总则(GB/T 18939.1—2003,IEC 61270-1:1996,IDT)
- [18] GB/T 19749.1 耦合电容器及电容分压器 第1部分:总则(GB/T 19749.1—2016, IEC 60358-1:2012,MOD)
- [19] GB/T 20840.3—2013 互感器 第3部分:电磁式电压互感器的补充技术要求(IEC 61869-3:2011,MOD)
- [20] 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
- [21] GB/T 26870—2011 滤波器和并联电容器在受谐波影响的工业交流电网中的应用(IEC 61642:1997,MOD)
- [22] GB/T 30841—2014 高压并联电容器装置的通用技术要求
- [23] GB 50227—2017 并联电容器装置设计规范
- [24] DL/T 653—2009 高压并联电容器用放电线圈使用技术条件
- [25] JB/T 8957 校验电容器损耗角正切测量准确度的方法(JB/T 8957—1999,idt IEC 60996:1989)
- [26] IEEE 18 IEEE Standard for Shunt Power Capacitors
- [27] IEEE 1036 Guide for Application of Shunt Power Capacitors