



中华人民共和国国家标准

GB/T 30841—2014

高压并联电容器装置的通用技术要求

General requirements for high-voltage shunt capacitor installations

2014-06-24 发布

2015-01-22 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	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 设计、结构、性能、安装及安全要求	6
5.1 概述	6
5.2 产品分类	6
5.3 设计方案及参数选择	6
5.4 装置的布置和安装	13
5.5 保护	15
5.6 装置的信号、测量和控制	17
5.7 结构和性能要求	19
5.8 安全要求	23
5.9 环境保护的要求	25
6 检验	25
6.1 试验分类	25
6.2 试验条件	26
6.3 试验方法	27
7 标志	30
8 包装、运输与贮存	30
8.1 包装	30
8.2 运输与贮存	30
附录 A (资料性附录) 安装和运行说明	31
附录 B (资料性附录) 电容器装置的计算公式	43
参考文献	47
图 1 变电站用装置典型主接线原理图	7
图 2 柱上式装置典型主接线原理图	8
图 3 电动机就地补偿装置典型主接线原理图	9
图 4 单星形电容器组开口三角电压保护接线原理图	15
图 5 单星形电容器组相电压差动保护接线原理图	16
图 6 双星形电容器组中性点不平衡电流保护接线原理图	16
图 7 单星形电容器组桥式差电流保护接线原理图	16

图 A.1 接入并联电容器的效果	31
图 A.2 输电线路等效电路和相量图	32
图 A.3 避雷器的接线图	38
图 B.1 系统及电容器支路的简化电路和等值电路	44
表 1 上限温度的分类	5
表 2 变电站用装置的额定容量推荐值	10
表 3 柱上式装置的额定容量推荐值	10
表 4 电容器组额定(相)电压标准值	10
表 5 户内装置最小电气间隙	19
表 6 户外装置最小电气间隙	19
表 7 框(台)架式装置电容器组安装最小尺寸	20
表 8 柜式装置电容器组安装最小尺寸	20
表 9 绝缘水平	21
表 10 运行中允许的电压水平	22
表 11 试验类别及项目表	26
表 A.1 应用并联电容器的功效一览表	31

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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:无锡赛晶电力电容器有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司。

本标准参加起草单位:合肥华威自动化有限公司、浙江省电力公司电力科学研究院、吴江市苏杭电气有限公司、桂林电力电容器有限责任公司、广东电网公司电力科学研究院、西安 ABB 电力电容器有限公司、西安西电电力电容器有限责任公司、上海思源电力电容器有限公司、浙江绍兴电力局、上虞电力电容器有限公司、青岛菲特电器科技有限公司、青岛市恒顺电气股份有限公司、安徽省电力科学研究院、深圳市三和电力科技有限公司、日新电机(无锡)有限公司、深圳市普顺科技有限公司、上海库柏电力电容器有限公司、上海永锦电气集团有限公司、指月集团有限公司、鞍山市恒力电气设备制造有限公司、淄博莱宝电力电容器有限公司。

本标准主要起草人:杨一民、杨昌兴、江钧祥、梁琮、赵启承、徐林峰、郭庆文、刘菁、董海健、贺满潮、王崇祐、蔡重凯、陈柏富、史海洋、张建平、陈晓宇、蒿跃宏、陶梅、刘岱红、祁钢、张宗有、严焕玲、吕韬、吕健、苏斌、张剑呼、沈小益、赵福庆、王培波、王明毫、朱文庆、于洋、马峰。

高压并联电容器装置的通用技术要求

1 范围

本标准规定了标称电压 1 000 V 以上交流电力系统用并联电容器装置的性能、试验、安全要求等，提供了安装和运行导则。

本标准适用于装设在标称电压 1 000 V 以上、频率 50 Hz 或 60 Hz 的交流电力系统中用来改善功率因数的并联电容器装置(以下简称装置)。

本标准不适用于下列电容器装置或电容器组：

- 在频率 40 Hz~24 000 Hz 下运行的感应加热装置中所用的电容器组；
- 电力系统用串联电容器装置；
- 高压直流输电系统用并联电容器及交流滤波电容器组；
- 用自愈式电容器组成的高压并联电容器装置；
- 标称电压 1 000 V 及以下交流电力系统用并联电容器装置；
- 电力滤波装置。

装置中的电容器及各附件，诸如绝缘子、开关、串联电抗器、放电线圈、避雷器、互感器、外熔断器和控制器等均应符合相应的标准。

本标准的目的如下：

- a) 阐述关于装置的定额、性能及试验的统一规则；
- b) 阐述装置的分类、主接线和结构；
- c) 阐述装置的参数选择方法；
- d) 阐述装置的保护方式；
- e) 阐述装置的安全规则；
- f) 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 311.1 绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则(GB 311.1—2012, IEC 60071-1:2006, MOD)

GB/T 1094.10 电力变压器 第 10 部分：声级测定(GB/T 1094.10—2003, IEC 60076-10:2001, MOD)

GB 1984 高压交流断路器(GB 1984—2003, IEC 62271-100:2001, MOD)

GB/T 2900.16 电工术语 电力电容器[GB/T 2900.16—1996, neq IEC 50(436):1990]

GB 4208 外壳防护等级(IP 代码)(GB 4208—2008, IEC 60529:2001, IDT)

GB/T 11022 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求(GB/T 11022—2011, IEC 62271-1:2007, MOD)

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(IEC 60871-1:2005, MOD)

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB 17467—2010 高压/低压预装式变电站(IEC 62271-202:2006,MOD)

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 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 60815-2:2008,MOD)

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 26218.3-2010,IEC 60815-3:2008,MOD)

GB 50149 电气装置安装工程 母线装置施工及验收规范

GB 50227 并联电容器装置设计规范

GB 50229 火力发电厂与变电站设计防火规范

3 术语和定义

GB/T 2900.16 和 GB/T 11024.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

并联电容器 shunt capacitor

并联连接于电力网中,主要用来补偿感性无功功率以改善功率因数的电容器。

[GB/T 2900.16—1996,定义 2.1.3]

3.2

电容器元件(元件) capacitor element(element)

由电介质和被它隔开的两个电极所构成的部件。

[GB/T 11024.1-2010,定义 3.1]

3.3

电容器单元(单元) capacitor unit(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。

[GB/T 11024.1—2010,定义 3.2]

3.4

电容器组 capacitor bank

电气上连接在一起的若干电容器(单元)的组合体。

3.5

集合式电容器 capacitor of assembling type

由若干电容器单元集装于一个充满绝缘油的大箱壳中构成的电容器。

3.6

箱式电容器 capacitor of tank type

由若干电容器元件组合后装于带有油补偿器的油箱中构成的电容器。

3.7

电容器 capacitor

当不需要特别强调“电容器单元”“集合式电容器”或“箱式电容器”的不同含义时的用语,也是“并联电容器”的简称。

3.8

并联电容器装置 shunt capacitor installation

由并联电容器(组)和所有附件,如开关电器、保护设备、控制器等按照设计要求组装的装置。它可以在运行地点装配集成,也可以是部分或全部在工厂装配集成。

3.9

电容器单元的放电电阻 discharge resistors of a capacitor unit

一种装设于电容器单元内部的、当电容器从电源断开后能在规定时间内将电容器单元端子间的电压降低到规定值及以下的电阻器或其组合。

3.10

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。

3.11

串联电抗器 series reactor

与电容器串联连接,用以限制合闸涌流或控制流过电容器的谐波电流的电抗器。

3.12

阻尼式限流器 damped current limiter

由低电抗率的电抗器与火花间隙接入的阻尼电阻器并联组成的限流装置。

3.13

电容器的额定电压 rated voltage of a capacitor

$$U_{NC}$$

设计电容器时所规定的交流电压方均根值。

3.14

电容器的额定容量 rated output of a capacitor

$$Q_{NC}$$

设计电容器时所规定的无功功率。

[GB/T 2900.16—1996,定义 2.3.8]

3.15

装置的额定频率 rated frequency of an installation

$$f_N$$

设计装置时所规定的频率。

3.16

电容器组的额定电压 rated voltage of a capacitor bank

$$U_{Nb}$$

设计电容器组时所规定的交流电压方均根值。

注:当电容器组含有一个或多个独立的电路时(例如拟用于多相连接的单相电容器组), U_{Nb} 系指每一电路的额定电压,通常其值等于电容器单元额定电压乘以单元串联数。对于相间已有电气连接且中性点不能触及的三相电容器(例如三相电容器单元、三相集合式或箱式电容器), U_{Nb} 系指线电压。

3.17

电容器组的额定容量 rated output of a capacitor bank

$$Q_{Nb}$$

设计电容器组时所规定的无功功率。通常也称为电容器装置的额定容量。

3.18

装置的额定电压 rated voltage of an installation

$$U_N$$

电容器装置拟接入电网的系统标称电压。

[GB/T 22582—2008,定义 3.5]

3.19

装置的额定无功输出 rated reactive power of an installation

Q_N

在额定频率和装置额定电压下的装置总的无功功率,由包括电抗器(如有的话)在内的装置中的所有阻抗计算得出。

3.20

装置的额定电流 rated current of an installation

I_N

在额定频率和电容器(组)额定电压下流过装置内电容器(组)的相电流。

3.21

装置的额定电容 rated capacitance of an installation

C_N

装置的额定电容用装置内电容器(组)一相的额定电容值来表示,可由电容器(组)一相的额定容量、额定电压和额定频率计算得出。

3.22

额定电抗率 rated reactance ratio

K

装置中串联电抗器额定感抗与电容器额定容抗的百分比值。

3.23

串联段 series section

在多台电容器单元连接组合中,相互并联的电容器单元群。

3.24

电容器的最大允许电流 maximum permissible current of a capacitor

在规定条件下,电容器能承受的最大交流电流方均根值。

3.25

背靠背投切 back to back switching

将一个电容器装置与电气连接在同一母线上的已在运行的一个或多个电容器装置相并联的投切。

3.26

柱上式高压并联电容器装置 pole mounted high-voltage power factor correction installation

并联连接于交流高压架空电力线路上,用来补偿线路和负载的感性无功、调整网络电压、降低线路损耗的并联电容器装置。

3.27

高压无功就地补偿装置 high-voltage local power factor correction installation

在交流配电系统中,直接与高压电动机并联,用来补偿其感性无功、改善功率因数的并联电容器装置。

3.28

框(台)架式并联电容器装置 frame mounted capacitor installation

将若干个电容器单元安装在开放式框(台)架上,并与附属电器进行电气连接构成的并联电容器装置。

3.29

柜式并联电容器装置 cabinet type shunt capacitor installation

将电容器(组)及其附属电器组装在一个或多个电气柜中,进行电气连接而构成的并联电容器装置。电气柜柜体应符合外壳防护等级设计要求。

3.30

预装式(箱式)并联电容器装置 prefabricated(box type)shunt capacitor installation
预装在箱体內的并联电容器装置。

3.31

环境空气温度 ambient air temperature

准备安装电容器处的空气温度。

[GB/T 11024.1--2010,定义 3.18]

3.32

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外壳最热点之间连线中点的空气温度。

如果仅有一个单元,则指在距离电容器外壳最热点大约 0.1 m 处测得的温度。

3.33

剩余电压 residual voltage

从电源断开一段时间之后电容器(组)端子间残存的电压。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

4.1.1 海拔

安装运行地点的海拔不超过 1 000 m。

4.1.2 环境空气温度

安装运行地点的环境空气温度范围为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在此范围内装置按所能适应的环境温度范围分为若干个温度类别,每一类别用下限温度和上限温度来表示。

下限温度为装置可以投入运行的最低环境空气温度,其值在 $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中选取。

上限温度为装置可以连续运行的最高环境空气温度,其值在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中选取,它们对应的代号分别为 A、B、C、D,相应的 24 h 平均和年平均最高温度见表 1。

表 1 上限温度的分类

代 号	环 境 温 度 °C		
	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。

表 1 是以装置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。

如果装置运行影响空气温度,则应加强通风或另选电容器。在这样的装置中冷却空气温度应不超

过上限温度加 5℃。

任何下限温度和上限温度的组合均可选作装置的温度类别。

装置的温度类别应与安装运行地点的环境空气温度相适应。

4.1.3 污秽

装置能在一定的污秽环境下运行取决于装置外绝缘的性能。装置外绝缘由绝缘子和套管构成, GB/T 26218.1~26218.3 规定了这些绝缘件选择及其尺寸确定的方法。

使用方应按照上述方法,根据运行经验或试验结果确定外绝缘类型及其尺寸,并与制造方达成协议。

4.1.4 地震

装置在水平加速度 0.2g,垂直加速度 0.1g 作用下不损坏,且有不小于 1.67 倍的安全系数。

4.1.5 安装场所要求

安装场所应无有害的气体及蒸汽,无导电性或爆炸性尘埃,不允许有严重的霉菌存在。

4.2 非正常使用条件

若要求装置在非正常使用条件下使用,使用方应与制造方另订协议。

5 设计、结构、性能、安装及安全要求

5.1 概述

装置的设计应根据安装地点的电网条件、谐波水平、环境状况、运行和检修要求及实践经验等,确定电压等级、补偿容量、接线方式、配套设备和器件、布置与安装方式、保护与控制方式,做到安全可靠、技术先进、经济合理和运行检修方便。

装置的设计应能在规定的使用条件、电能质量符合国家相关标准的状况下,确保装置的连续运行。对于特殊的运行环境和工况,应采用相应的设计标准与技术措施,满足运行要求。

装置应避免外部电网事故及异常对自身的危害;应采用可靠的安全防护措施,确保人身和设备的安全。

装置中的配套设备和器件除应符合各自的标准外,还应满足装置整体的技术性能要求,并宜选用标准化产品。

5.2 产品分类

按补偿地点可分为变电站、柱上式及电动机就地补偿三类装置。

按安装场所可分为户内型、户外型两种装置。

按结构形式可分为:

- 采用电容器单元组合而成的柜(台)架式、柜式和预装式(箱式)装置;
- 采用集合式、箱式电容器构成的装置。

按投切方式可分为手动投切和自动投切两类装置。

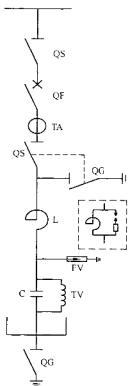
5.3 设计方案及参数选择

5.3.1 装置的主接线及配套设施

5.3.1.1 变电站用装置除电容器外可装设下列配套设备和器件:

- a) 隔离开关；
- b) 投切电容器组的开关电器(按设计要求配置断路器或负荷开关或真空接触器等)；
- c) 串联电抗器或阻尼式限流器(按设计要求配置)；
- d) 操作过电压保护用避雷器；
- e) 电容器单元保护用外熔断器(按设计要求配置)；
- f) 放电器件；
- g) 接地开关；
- h) 继电器保护、控制、信号和电测量用设备。

典型的主接线原理图见图 1；



说明：

- QS——隔离开关；
 QF——断路器；
 TA——电流互感器；
 L——串联电抗器或阻尼式限流器，虚线框内为阻尼式限流器；
 FV——避雷器；
 C——电容器(组)；
 TV——放电线圈；
 QG——接地开关。

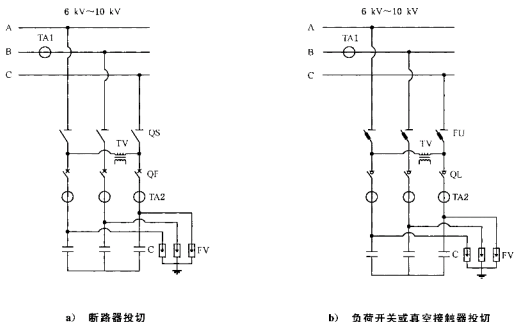
图 1 变电站用装置典型主接线原理图

5.3.1.2 柱上式装置，除电容器外可装设下列配套设备和器件：

- a) 隔离开关或跌落式熔断器；

- b) 投切电容器组的开关电器(按设计要求配置断路器或负荷开关或真空接触器等);
- c) 放电器件(宜在电容器单元内部装设放电电阻);
- d) 避雷器;
- e) 继电保护、控制、信号和电测量用设备。

典型的主接线原理图见图 2:



说明:

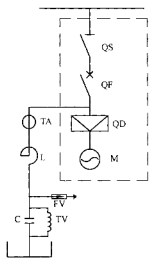
- QS —— 隔离开关;
- QF —— 断路器;
- FU —— 跌落式熔断器;
- QL —— 负荷开关或真空接触器;
- TV —— 控制电源变压器兼电压互感器;
- TA1、TA2 —— 电流互感器;
- FV —— 避雷器;
- C —— 电容器(组)。

图 2 柱上式装置典型主接线原理图

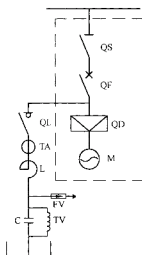
5.3.1.3 电动机就地补偿装置除电容器外可装设下列配套设备和器件:

- a) 投切电容器组的开关电器(按设计要求配置负荷开关或真空接触器等);
- b) 串联电抗器;
- c) 操作过电压保护用避雷器;
- d) 放电器件(可在电容器单元内装设放电电阻,亦可外设放电线圈);
- e) 继电保护、控制、信号和电测量用设备。

典型的主接线原理图见图 3,其中虚线框内为电动机的主接线。



a) 不带负荷开关或真空接触器



b) 带负荷开关或真空接触器

说明:

QS —— 隔离开关;

QF —— 断路器;

QD —— 起动器;

M —— 电动机;

QL —— 负荷开关或真空接触器;

TA —— 电流互感器;

L —— 串联电抗器;

FV —— 避雷器;

C —— 电容器(组);

TV —— 放电线圈。

图 3 电动机就地补偿装置典型主接线原理图

5.3.1.4 电容器组的接线方式应符合下列规定:

- 电容器组应采用单星形或双星形接线。在中性点非直接接地的电网中,星形接线电容器组的中性点不应接地;
- 电容器单元并联的总能量(含计及所有与故障电容器两端构成并联回路的电容器注入的能量)应不超过该单元的耐爆能力。

5.3.2 装置电气参数的选择

5.3.2.1 装置额定容量的选择

装置的额定容量可按不同类型分别在下面列出的推荐值中选取。

变电站用装置的额定容量可在表 2 中选取。特大容量装置可选用单台容量 500 kvar 及以上的电容器单元,装置容量的级差可以加大。

表 2 变电站用装置的额定容量推荐值

单位为兆乏

级差容量	装置的额定容量					
	0.9	1.2	1.5			
0.3	0.9	1.2	1.5			
0.6	1.8	2.4	3.0	3.6		
1.0	1.0	2.0	4.0	5.0	9.0	
1.2	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	
2.0	8.0	10	12	20	24	
5.0	25	30	40	50	60	90
30	120	150	180	210	240	270

柱上式装置的额定容量可在表 3 中选取。

表 3 柱上式装置的额定容量推荐值

单位为兆乏

级差容量	装置的额定容量				
	0.10	0.20	0.40	0.50	
0.10	0.10	0.20	0.40	0.50	
0.15	0.3	0.45	0.60	0.75	
0.6	0.6	1.2	1.8		
1.0	1.0	2.0			

电动机就地补偿装置的额定容量(kvar)可在下列推荐值中选取:50,65,75,100,150,200,250,300,350,400,450,600,700,750,900,1 000。

5.3.2.2 装置中电容器组额定电压的选择

电容器组的额定电压选择应计及装置接入电网处的运行电压与接入串联电抗器引起电容器运行电压的升高,以及考虑接入电网处谐波对电容器运行电压和电流的影响,既要确保电容器的安全,又要尽量利用电容器的容量。

在装置接入电网处各次谐波电压含量未超过 GB/T 14549 的规定且有一定裕度的场合,电容器组额定电压可在表 4 中选择。当电网持续运行电压高于 1.05 倍标称电压时,则可按其与 1.05 的比值相应增高电容器组的额定电压。

表 4 电容器组额定(相)电压标准值

电抗率 %	装置的额定电压 kV								
	6	10	20	35	66	110	220	500	
≤1	$6.3/\sqrt{3}$	$10.5/\sqrt{3}$	12	—	21	40	67	133	303
5	$6.6/\sqrt{3}$	$11/\sqrt{3}$	13	$38.5/\sqrt{3}$	22	42	70	140	318
12	$7.2/\sqrt{3}$	$12/\sqrt{3}$	14	$42/\sqrt{3}$	24	44	76	152	346

电容器组接入电网处谐波含量较高时,其额定电压的选择应考虑谐波的影响。

5.3.2.3 装置中串联电抗器额定电抗率的选择

串联电抗器电抗率的选择应根据电网条件与电容器组参数经相关计算分析确定,额定电抗率取值范围应符合下列规定:

- 仅用于限制合闸涌流时,宜取 0.1%~1%;
- 用于抑制谐波时,应根据装置接入电网处背景谐波含量测量值选择,当谐波为 5 次及以上时,宜取 5%;当谐波为 3 次及以上时,宜取 12%。亦可采用装置中电容器分组分别串接 5% 与 12% 两种电抗率的方式。

5.3.3 装置的配套设备和导体的选择

5.3.3.1 一般规定

装置的设备选型应根据下列条件确定:

- 电网电压、电容器运行工况;
- 电网谐波水平;
- 母线短路容量;
- 电容器对短路电流的助增效应;
- 补偿容量及扩建规划;
- 使用环境条件;
- 布置、安装、接线与保护方式;
- 电容器组投切方式;
- 产品技术条件和标准。

装置电器和导体的选择应满足在当地环境条件下正常运行及过电压状态、谐波电流水平和短路故障的要求。

装置总回路和分组回路的电器选择时,工作电流应按稳态过电流最大值确定,过电流倍数为回路中电容器额定电流的 1.37 倍。

装置的电气设备绝缘水平不应低于变电站、配电站(室)、供电线路中同级电压的其他电气设备。

制造方生产的成套装置,其组合结构中的构件应具有通用性与互换性,且应便于运输、现场安装、运行检修和试验,并使组装后的整体技术性能满足使用要求。

5.3.3.2 电容器

变电站用装置中的电容器可选用电容器单元、集合式电容器或箱式电容器;单组容量较大时,宜选用 500 kvar 及以上的电容器单元组成电容器组。柱上式装置和电动机就地补偿装置宜选用电容器单元。

电容器的绝缘水平应按电容器接入电网处的电压等级、由电容器组接线方式确定的串并联组合、安装方式等,根据电容器产品标准选取。

电容器单元额定容量的选择,应根据电容器组容量和每相电容器的串联段数和并联台数确定,并宜在电容器产品额定容量系列的优先值中选取。

电容器单元的额定电压通常由电容器组额定电压除以串联段数确定。

5.3.3.3 开关电器

装置应采用适合于电容器(组)投切的开关电器,其技术性能除应符合开关电器通用技术条件外,尚

应满足下列要求：

- a) 应具备频繁操作的性能；
- b) 合、分时触头弹跳不应大于限定值，开断时不应出现重击穿；
- c) 应能承受电容器组的关合涌流和工频短路电流以及电容器高频涌流的联合作用；
- d) 装置总进线线路中的断路器，应具有切除所连接的全部电容器组和开断总回路短路电流的能力。总回路断路器满足上述要求时，分组回路可采用不承担开断短路电流的负荷开关或真空接触器等开关电器。

并联电容器装置所选用的断路器，其开合电容器组的性能应满足 GB 1984 中 C2 级断路器的要求，机械寿命应满足 GB 1984 中 M2 级断路器的要求。

柱上式装置选用的开关如不能满足短路开断要求时，可用性能合格的、能满足短路开断要求的高压熔断器作为保护开断电器。

5.3.3.4 电容器单元保护用外熔断器

电容器单元保护用外熔断器应采用电容器专用熔断器。

当采用三相电容器单元或单相电容器单元并联数少于 4 台时，不宜采用外熔断器作为电容器内部故障保护。

外熔断器的熔丝额定电流应按电容器单元额定电流的 1.37~1.50 倍进行选择。

外熔断器的耐爆能量应不小于 15 kW·s。

外熔断器的技术参数和保护性能：额定电压、耐受电压、开断性能、熔断性能、抗涌流能力、机械性能和电气寿命等应符合现行相关标准的规定。

5.3.3.5 串联电抗器

串联电抗器选型应根据工程条件，经技术经济比较，确定采用干式空心电抗器或铁心电抗器。安装在户内的串联电抗器，宜采用干式铁心电抗器。

串联电抗器额定电抗率的选择应符合 5.3.2.3 的规定。

串联电抗器的额定电压和绝缘水平应符合接入处的电网电压要求。

串联电抗器的额定电流应等于所连接的电容器组的额定电流，其允许的过电流应不小于电容器组允许的最大过电流值。

干式空心电抗器宜装设在电容器组的电源侧；铁心电抗器宜装设在电容器组的中性点侧。

注：装置总回路装设有限流电抗器时，应考虑其对电容器回路电抗率和电容器电压的影响。

5.3.3.6 放电器件

电容器单元内部宜装设放电电阻，其放电性能能满足电容器组断开电源后，在 10 min 内将电容器单元的剩余电压从 $\sqrt{2}U_{Nc}$ 放电到 75 V 或更低值的要求。在电容器组不装设外接放电器件（放电线圈）的场合，这种放电电阻是必不可少的。

放电线圈应采用电容器专用的油浸式或干式放电线圈。油浸式放电线圈应为全密封结构，其内部压力应满足使用环境温度变化的要求，在最低环境温度下不得出现负压。

放电线圈的额定一次电压应与所并联的电容器（组）的额定电压相一致，或高于电容器（组）的额定电压。三相放电线圈的励磁特性应基本一致。

放电线圈的额定绝缘水平应根据安装方式确定。安装在地面上的放电线圈，额定绝缘水平应不低于同电压等级电气设备的额定绝缘水平；安装在绝缘框（台）架上的放电线圈，其额定绝缘水平应与安装在同一绝缘框（台）上的电容器的额定绝缘水平一致。

放电线圈的最大配套电容器容量（放电容量）应不小于与其并联的电容器（组）容量。放电线圈的放

电性能应能满足电容器组断开电源后,在5 s内将电容器组的剩余电压降至50 V及以下的要求。

放电线圈带有二次绕组时,其额定输出、准确级应满足保护和测量的要求。

仅作放电用的放电线圈可不设二次绕组。

5.3.3.7 避雷器

装置中电容器操作过电压保护,应采用无间隙金属氧化物避雷器(MOA),或选用过电压保护器。

避雷器的参数应根据电容器组参数和避雷器接线方式确定。接于线-地之间避雷器可用来抑制断路器单相重击穿过电压。

对于10 kV等级、容量在4 000 kvar及以下的电容器组所配用的避雷器,其2 ms方波通流能力应不小于300 A,电容器组容量每增加2 000 kvar,避雷器2 ms方波通流能力增加值为100 A。

对于35 kV等级、容量在24 000 kvar及以下的电容器组所配用的避雷器,其2 ms方波通流能力应不小于600 A,电容器组容量每增加20 000 kvar,避雷器2 ms方波通流能力增加值为300 A。

对于66 kV等级、容量在24 000 kvar及以下的电容器组所配用的避雷器,其2 ms方波通流能力应不小于600 A,电容器组容量每增加20 000 kvar,避雷器2 ms方波通流能力增加值为200 A。

对于110 kV等级、容量在120 000 kvar及以下的电容器组所配用的避雷器,其2 ms方波通流能力应不小于1 400 A,电容器组容量每增加40 000 kvar,避雷器2 ms方波通流能力增加值为200 A。

5.3.3.8 导体及其他

电容器单元至母线或熔断器的连接线应采用软导线,其长期允许电流不宜小于电容器单元额定电流的1.5倍。

装置的总回路和分组回路,应按1.37倍电容器组额定电流选择回路导体截面,电容器组的汇流母线和均压线截面应与分组回路的导体截面相同。

双星形电容器组的中性点连接线和桥式电容器组的桥中间点连接线,其长期允许电流应不小于电容器组的额定电流。

装置的所有连接导体除了应满足长期允许电流的要求外,还应满足动稳定和热稳定要求。

装置用支柱绝缘子,应按电压等级、爬电距离、机械荷载等技术条件,以及运行中可能承受的最高电压选择和校验。

并联电容器组不平衡保护用的电流互感器应符合下列要求:

- 额定电压应按装置接入处电网电压选择;
- 额定一次电流应不小于最大稳定不平衡电流;
- 应能承受电容器极间短路故障状态下的短路电流和高频涌流而不损坏,并可加装保护措施;
- 准确等级应满足继电保护要求。

5.4 装置的布置和安装

5.4.1 装置典型的结构形式

装置典型的结构形式如5.2所列。

5.4.2 装置布置和安装的基本要求

5.4.2.1 安装场所的确定

装置应根据安装地点的环境条件和当地实践经验,选择户外布置或户内布置。

严寒、湿热、风沙等特殊地区和污秽、鸟类或小动物危害严重、易燃、易爆等特殊环境宜采用户内布置。如采用户外布置,则应采取有效的防护措施。

5.4.2.2 电容器组的布置和安装

装置的布置和安装应符合 GB 50227 的有关规定。

框(台)架式装置的电容器组可以一层或多层布置,每层电容器单元不超过两排。

柜式装置每层只装设一排电容器单元时,应有一侧易于将单元取出;每层安装两排电容器单元时,两侧均易于取出。

电容器单元应直立(套管与地面垂直)或卧式(套管水平)放置,其铭牌应面向巡视走廊。

电容器单元外壳不接地的电容器组,宜分相设置独立的绝缘框(台)架。

电容器单元外壳接地的电容器组,当单元台数较少或受场地限制时,可安装在三相共用的框(台)架上。

户内装置的顶部与天花板之间应当保证有足够的距离,以利通风,避免热量积累。

电容器组的电容器单元之间应当保证有足够的水平间距以利冷却空气的流通。

框(台)架式装置的电容器组的安装设计尺寸限值见表 7。

底部用钢板封闭的柜式装置的电容器组(外壳直接接地)安装设计尺寸限值见表 8。

户外或户内布置的电容器组应在其四周或一侧设置维护通道,其宽度不宜小于 1.2 m。电容器单元在框(台)架上单排布置时,框(台)架可靠墙;电容器单元在框(台)架上双排布置时,框(台)架相互之间或框(台)架与墙(或围栏)之间,应留出距离设置检修走道,其宽度不宜小于 1 m。

注:维护通道系指正常运行时可使用通道;检修走道系指在停电后才能使用的走道。

66 kV 及以下电压等级落地安装式结构的集合式与箱式电容器,外壳应接地,它们的布置和安装相对比较简单,可参照制造方的使用说明书实施。

对布置、安装及设计尺寸有特殊要求时,使用方可与制造方协商。

5.4.2.3 串联电抗器的布置和安装

干式空心串联电抗器宜采用分相水平一字形排列或三角形排列的布置,不推荐采用三相叠装的布置方式。

干式空心串联电抗器的布置与安装应满足防电磁感应的空间要求,电抗器对其四周、上下和基础中不形成闭合回路的铁磁性金属构件的最小距离、电抗器相互之间的最小中心距离,应满足下列要求:

- 电抗器对上部、下部和基础中的铁磁性构件距离不宜小于电抗器直径的 0.5 倍;
- 电抗器中心对侧面的铁磁性构件距离不宜小于电抗器直径的 1.1 倍;
- 电抗器相互之间的中心距离不宜小于电抗器直径的 1.7 倍。

干式空心串联电抗器支柱绝缘子的金属底座接地线,应采用放射形或开口环形,并与主接地网至少有两点相连。电抗器组装应采用非导磁螺栓连接;与相邻设备连接的矩形母线应立式安装。电抗器的护栏宜采用非导磁材料。

干式空心串联电抗器户内布置时,应与继电保护和微机监控等电气二次弱电设备保持足够距离,以减少干扰。

油浸式铁心串联电抗器宜安装在户外,以利于散热。当污秽较重的地区采用普通设备时,为了防止套管污闪事故的发生,应安装在户内,并采取通风散热措施,以保证运行安全。

干式铁心电抗器应布置在户内,安装时应满足产品的相关规定。

电抗器的对地绝缘水平比电网低时,应将其安装在不低于电网绝缘水平的绝缘台架上。

布置在楼层上的串联电抗器应注意振动的影晌,必要时采取有效措施进行抑制。

5.4.2.4 外熔断器的安装

当电容器单元的外壳直接接地时,熔断器应接在电容器单元的电源侧。当电容器单元装设于绝缘框(台)架上且串联段数为 2 及以上时,至少应有一个串联段的熔断器接在电容器单元的电源侧。

熔断器的安装角度、喷口方向和弹簧拉紧位置应符合制造方规定的安装要求,保证熔断器动作后尾线能顺利弹出,且不应搭在电容器外壳上。

熔断器应安装在靠近通道一侧,以利于巡视观察。

5.4.2.5 导体连接

装置中的导体连接应满足 GB 50149 和 5.3.3.8 的要求。

电容器单元至电容器组汇流排之间应用软导线连接,集合式和箱式电容器接线端子与母线连接若采用硬导体,则应有伸缩节,不得将电容器的接线端子直接与硬母线连接。

5.4.2.6 对场地和建筑的要求

户外装置中电容器组的安全围栏内,宜铺设一层碎石或卵石,其厚度为 100 mm~150 mm,并不得高于周围地坪。

户内装置电容器组下部地面,宜有防止电容器液体溢流的设施。

电容器室的屋面防水设计,不得低于户内配电装置室的防水标准。电容器室的屋面应根据当地的气温条件,确定设置保温层或隔热层。

装置可根据周围环境中鸟、鼠、蛇类等小动物活动的情况,设置防侵袭的封堵、围栏和网栏等设施。

装置场地及建筑的防火和通风要求见 5.8.4。

框(台)架式装置应设置安全围栏。网状围栏的高度应不低于 1 700 mm,其网孔应不大于 40 mm×40 mm。围栏应设置安全闭锁。

5.5 保护

5.5.1 概述

保护包括电容器内部故障保护、装置(整体)的继电保护和操作过电压的限制。

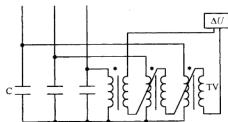
电容器内部故障保护方式有:内熔丝保护、外熔断器保护和继电保护等,应在满足电容器(组)安全运行的条件下,根据装置的容量、接线方式以及各地的实践经验进行配置选择。装置的保护有速断保护、过电流保护、过电压保护和失压保护等。

电容器的各种保护器件应按规定顺序动作。通常第一级是外熔断器或内熔丝动作;第二级是电容器组的继电保护(不平衡保护或过电流保护)动作;第三级是电网或设备的保护动作。

5.5.2 电容器内部故障保护

5.5.2.1 电容器(组)不论采用内熔丝、外熔断器保护或无熔丝保护,均应设置不平衡保护,保护方式可根据电容器(组)额定容量与额定电压,在以下方案中进行选择:

a) 单星形电容器组可采用开口三角电压保护,接线原理见图 4。



说明:

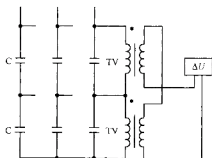
C —— 电容器(组);

TV —— 放电线圈;

ΔU —— 开口三角电压。

图 4 单星形电容器组开口三角电压保护接线原理图

b) 单星形电容器组串联段数为两段及以上时,可采用相电压差动保护,接线原理见图 5。

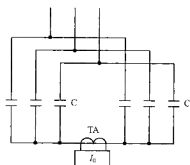


说明:

- C —— 电容器(组);
- TV —— 放电线圈;
- ΔU —— 相不平衡电压。

图 5 单星形电容器组相电压差动保护接线原理图

c) 双星形电容器组可采用中性点不平衡电流保护,接线原理见图 6。

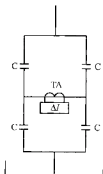


说明:

- C —— 电容器(组);
- TA —— 电流互感器;
- I_n —— 中性点不平衡电流。

图 6 双星形电容器组中性点不平衡电流保护接线原理图

d) 单星形电容器组每相能接成四个桥臂时,可采用桥式差电流保护,接线原理见图 7。



说明:

- C —— 电容器(组);
- TA —— 电流互感器;
- ΔI —— 桥差电流。

图 7 单星形电容器组桥式差电流保护接线原理图

5.5.2.2 不平衡保护整定值应以确保电容器组运行安全性为目标,按电容器内部故障保护顺序、保护动作可靠性和灵敏度,根据不同保护方式进行计算确定。

保护配合的整定原则:采用外熔断器保护的电容器组,其不平衡保护应按电容器单元过电压允许值整定;采用内熔丝保护和无熔丝保护的电容器组,其不平衡保护应按电容器内部元件过电压允许值整定;当有两种及以上保护方案并存时,整定值取较小值。

5.5.3 装置的继电保护

装置应设置速断保护,保护动作于跳闸。速断保护的动作电流值,按最小运行方式下,在电容器(组)端部引线发生两相短路时,保护灵敏系数应符合要求来确定;速断保护的动作时限应大于电容器组的合闸涌流时间。

装置应装设过电流保护,保护动作于跳闸。过流保护装置的动作电流值应大于电容器组的长期允许最大过电流。

装置应装设母线过电压保护,带时限动作于信号或跳闸。

装置应装设母线失压保护,带时限动作于跳闸。

装置的油浸式串联电抗器,其容量为 0.18 MVA 及以上时宜装设瓦斯保护,轻瓦斯动作于信号,重瓦斯动作于跳闸。干式串联电抗器,宜根据具体条件设置保护。

电容器组的电容器外壳接地时,宜装设电容器组接地保护。该保护尚在研究中。

集合式电容器和箱式电容器应装设压力保护或温控保护,压力保护动作于跳闸,温控保护动作于信号。

5.5.4 操作过电压的限制

如果断路器重击穿或晶闸管控制系统发生故障,则电容器可能遭受严重的过电压。在这种情况下,可在每个电容器支路上装设避雷器来加以保护。

5.6 装置的信号、测量和控制

5.6.1 一般规定

装置宜根据运行时间、补偿点的负荷特征和电压无功运行要求等设置手动、自动等不同的控制方案。装置宜具有就地和远程控制功能。

变电站用装置宜采用计算机监控和微型保护。装置的二次回路,包括信号、测量、控制、继电保护和自动投切等的设计,应与变电站其他部分的相应设计统一考虑,满足安全可靠、协调配合和便于使用的要求。

柱上式装置可以采用人工投切和自动投切等方式。

5.6.2 测量

应对装置的下列电量进行测量:

- 总回路三相电流及分组回路电流;
- 总回路的无功功率和无功电能。当总回路下同时接有并联电容器和并联电抗器时,应分别测量和计量容性和感性电能;
- 中性点非有效接地系统的母线上,接有并联电容器装置时,应测量用于绝缘检查的三个相电压和相间电压。

测量装置宜采用交流采样,应满足装置允许通过的最大电流和允许耐受的最高电压的要求。对装

置的电流测量应满足持续通过的电流为电容器组额定电流的 1.37 倍。

装置的分组回路中,可仅设一只电流表。当装置与供电线路同接在一条母线上时,宜在装置的分组回路中装设无功电表度表。

装置的总回路与分组回路,其测量回路接入微机监控系统时,可不再装设测量表计。

控制装置应对无功补偿监视点的电压、功率因数或无功功率进行测量。监视点可以是变压器的高压侧、中压侧、低压侧或柱上式装置接入点的线路。

5.6.3 信号

装置应设置投切开关(包括分组开关)的位置信号、故障跳闸的信号、异常运行的报警信号以及设备的其他运行状态信号。

变电站用装置宜使用站内的信号系统。

当变电站设有微机监控系统时,与装置有关的模拟量、信号量和开关量应输入微机监控系统。

柱上式装置宜通过远程通讯向主站报送装置的运行状态信号,在就地应有明显的运行状态信号显示。

5.6.4 控制回路

变电站用装置宜在主控室集中控制,也可就地控制;柱上式装置采用自动控制时,应具有远程控制和就地控制功能。

变电站用装置的投切开关(包括分组开关)宜采用计算机监控。

装置严禁设置自动重合闸。控制回路应具有装置再次投入运行之前,保证电容器(组)上的剩余电压不超过其额定电压 10% 的闭锁功能。

变电站用装置的投切开关、隔离开关、接地开关的操作以及网门或柜门的开闭,应具有防误闭锁(电气的或机械的)装置,并纳入变电站的五防统一考虑,以达到防止误操作的目的。

变电站用装置的控制操作电源宜使用变电站的直流电源;柱上式装置的控制操作电源可使用低压交直流电源。

5.6.5 自动投切控制

装置可按无功功率的流向和大小、电压高低、负荷轻重以及适当的延时时间等组合条件进行分组自动投切,变电站用装置还应具备与电网电压调节和变压器分接开关调整等协调控制功能。

自动投切装置应符合设计规定的补偿响应时间的要求。

自动投切控制装置应具有满足运行需要的控制、调节、闭锁、联络和保护功能,同时应设置改变投切方式的选择开关。

并联电容器装置自动投切宜选用在满足无功平衡的条件下,开关动作次数较少的技术方案。

多组装置自动投切时,宜采用循环投切方式,防止部分装置及开关电器长期使用和频繁操作,并尽量减小对系统的冲击。

具有不同串联电抗率的多个分组的装置投运时,应先投入电抗率较大的分组,后投入电抗率较小的分组;切除时,应先切除电抗率较小的分组,后切除电抗率较大的分组。

对并联电容器装置、并联电抗器组与变压器有载调压分接开关综合控制时,应对变压器分接头调节方式设置相关的系统电压闭锁,或设置与系统交换无功功率的优化闭锁。当系统监视点的运行电压在允许变动范围内时,应以控制投切并联电容器装置或并联电抗器组为主,并应防止发生投切振荡。

装置因故障保护跳闸切除后,应闭锁该装置的自动投切控制回路,不再投入;多组装置运行,一组发生故障时,不应影响其他并联电容器装置、并联电抗器组的正常运行。故障排除,手动解除保护闭锁后,该组装置才能投入运行。

带有总断路器的自动投切的多个分组,当总断路器分断后,各分组应全部切除并闭锁自动投切回路。总断路器闭合后,自动投切控制装置解除闭锁,才能重新启动运行。

接入装置的母线失压时,装置应切除并闭锁自动投切回路。母线电压恢复正常后,自动投切控制装置解除闭锁,才能重新启动运行。

5.7 结构和性能要求

5.7.1 外观与结构

装置的金属件外露面应有可靠的防腐蚀层,且应符合相关标准或规范的要求。

装置的布置和安装应符合本标准 5.4 规定的要求。预装式(箱式)装置内部的布置和安装应符合户内装置的要求,箱体及伸出箱体与外部电气连接的部分应符合户外装置的要求。

装置的结构应便于运输、现场安装、检验和试验,组装后整体性能和技术参数应符合本标准要求。构架的结构件宜具备通用性与互换性。

5.7.2 电气间隙与爬电比距

户内装置的带电体间、带电体与接地体间的最小电气间隙应不小于表 5 所列的数值。

表 5 户内装置最小电气间隙

单位为毫米

相关位置	装置额定电压 kV						装置二次回路 500 V 以下
	6	10	20	35	66	110	
不相同的裸导体间	100	125	180	300	550	900(1 000)*	4
带电裸导体至接地框架	100	125	180	300	550	950	15
带电裸导体至板状遮栏	130	155	210	330	580	980	15
带电裸导体至网门及网状遮栏	200	225	280	400	650	1 050	50

* 括号内数值为中性点不接地系统选用。

户外装置的带电体间、带电体与接地体间的最小电气间隙应不小于表 6 所列的数值。

表 6 户外装置最小电气间隙

单位为毫米

相关位置	装置额定电压 kV				
	6~10	15~20	35	66	110
带电部分至接地部分之间; 网状遮栏向上延伸线距地 2.5 m 处与遮栏上方带电部分之间	200	300	400	650	1 000
不相同的带电部分之间; 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	200	300	400	650	1 100
设备运行时,其外廓至无遮栏带电部分之间; 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间; 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间	950	1 050	1 150	1 400	1 750

表 6 (续)

单位为毫米

相关位置	装置额定电压 kV				
	6~10	15~20	35	66	110
网状遮栏至带电部分之间	300	400	500	750	1 100
无遮栏裸导体至地面之间； 无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	2 700	2 800	2 900	3 100	3 500
平行的不同停电检修的无遮栏带电部分之间； 带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	2 200	2 300	2 400	2 600	3 000

额定电压 110 kV 以上的装置,其最小电气间隙由使用方与制造方协商确定。

装置外绝缘的爬电比距应符合 4.1.3 的规定。

5.7.3 电容器组的安装尺寸

框(台)架式装置的电容器组安装尺寸不宜小于表 7 所列的数值。

表 7 框(台)架式装置电容器组安装最小尺寸

单位为毫米

名称	电容器单元(户外、户内)		电容器底部距地面		框(台)架顶部至房屋顶面净距
	间距	排间距离	户 外	户 内	
最小尺寸	70	100	300	200	1 000

柜式(底部用钢板封闭)装置的电容器组(电容器外壳直接接地)安装尺寸应不小于表 8 所列的数值。

表 8 柜式装置电容器组安装最小尺寸

单位为毫米

名称	电容器单元		电容器距柜体底部	柜顶部至房屋顶面净距
	间距	排间距离		
最小尺寸	70	100	150	1 000

预装式(箱式)装置的电容器组安装尺寸参照表 8。

5.7.4 装置外壳的防护

装置外壳应根据使用条件按照 GB 4208 选择相应的防护等级。户内柜式装置柜壳的正面应不低于 IP20 要求。预装式(箱式)装置的箱体应符合 GB 17467—2010 中 5.13 的要求。

5.7.5 电容允许偏差

装置的实测电容与其额定电容的相差应不超过:

——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, $0 \sim +5\%$ 。

电容器(组)三相的任何两线路端子之间,其电容的最大值与最小值之比应不超过 1.02,并应满足保护整定要求。

电容器组各支路中串联段之间的最大与最小电容之比应不超过 1.02, 并应满足保护整定要求。

配电线路上装设的柱上式装置, 若使用三相电容器单元, 其任何两线路端子之间测得的电容的最大值与最小值之比应不超过 1.05。

5.7.6 串联电抗器电感允许偏差

在额定电流下, 额定电抗率 $K \geq 5\%$ 的电抗器, 其电感的允许偏差为 $0 \sim +5\%$ 。

在额定电流下, 额定电抗率 $K \leq 1\%$ 的电抗器, 其电感的允许偏差为 $0 \sim +10\%$ 。

对于三相电抗器或单相电抗器组成的三相电抗器组, 每相电感值应不超过三相平均值的 $\pm 2\%$ 。

对于油浸或干式铁心电抗器, 在 1.8 倍额定电流下的电感值应不小于 95% 的额定值。

5.7.7 绝缘水平

装置一次电路的各相之间、相与地之间、二次电路与地之间应能承受表 9 规定的耐受电压。工频耐受电压施加的时间为 1 min。

表 9 绝缘水平

单位为千伏

装置额定电压 (方均根值)	装置一次电路			装置二次电路
	额定短时工频耐受电压 (方均根值)	额定操作冲击耐受电压 (峰值)	额定雷电冲击耐受电压 (1.2~5)/50 μ s(峰值)	工频耐受电压 (方均根值)
6	30		60	3
10	42		75	
20	65		125	
35	95		185	
66	140		325	
	160		350	
110	200		450	
220	360		850	
	395		950	
330	460	850	1 050	
	510	950	1 175	
500	630	1 050	1 425	
	680	1 175	1 550	
	740	1 300	1 675	

注: 对于同一额定电压设备给出两个及以上绝缘水平者, 在选用时应考虑到电网结构及过电压水平、过电压保护装置配置及其性能、可接受的绝缘故障率等。

5.7.8 耐受短路电流能力

主回路中的电气设备、连接线及机械结构应能耐受短路电流和电容器内部极间短路放电电流的作用, 而不产生热的和机械的损伤及明显的变形。

变电站装置的额定短路耐受电流值(kA)推荐在下列数值中选取: 12.5、20、25、31.5、40、50、63。

线路装置的额定短路耐受电流值(kA)推荐在下列数值中选取:2.5、8、12.5、20。

额定短路持续时间的标准值为2 s。

5.7.9 过负载能力

5.7.9.1 最高允许电压

装置中电容器(组)应适于在表10的电压水平下运行。

电容器(组)能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(组)的温度。表10中给出的高于 $1.15U_{N0}$ 的过电压是以在电容器寿命内发生不超过200次为前提确定的。

表10 运行中允许的电压水平

型式	电压因数 ^a	最大持续时间	说明
工频	1.00	连续	装置运行任何期间内的最高平均值。在运行期间内出现的小于24 h的例外情况采用如下的规定
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
工频	1.30	1 min	
工频加谐波 / 使电流不超过5.7.9.3中给出之值			
^a 过电压值=电压因数 $\times U_{N0}$ (方均根值)			

5.7.9.2 操作过电压

投入运行之前电容器(组)上的剩余电压应不超过额定电压的10%。用不重击穿断路器来切合电容器(组)通常会产生第一个峰值不超过 $2\sqrt{2}$ 倍施加电压(方均根值),持续时间不大于1/2周波的暂态过电压。

在这些条件下,电容器每年可切合1 000次(相应的暂态过电流峰值可达 $100I_N$)。

在切合电容器组更为频繁的场所,过电压的幅值和持续时间以及暂态过电流均应限制到较低水平。其限值应协商确定并在合同中写明。

5.7.9.3 最大允许电流

装置应适于在电流方均根值为1.3倍电容器(组)在额定正弦电压和额定频率下产生的电流下连续运行,暂态过程除外。由于实际电容最大可达 $1.05C_N$,故最大电流可达 $1.37I_N$ 。

这些过电流是考虑到谐波和 $1.10U_N$ 及以下的过电压共同作用的结果。

5.7.9.4 涌流

在将电容器装置接入电网时,尤其是将电容器装置背靠背接入时,可能产生高频率和高幅值的暂态过电流。为了将暂态过电流降低到电容器与设备能承受的水平,可能需要通过电阻器接入电容器装置或在装置中串联电抗器。

装置的合闸涌流限值宜取电容器(组)额定电流的20倍,通常采用装设串联电抗器予以限制。电容器组投入电网的涌流计算,可参考附录B.4。

5.7.10 温升

对于柜式装置和预装式(箱式)装置,除各电气设备的温升不超过各自的规定外,其余应符合 GB/T 11022 的有关规定。

对于柜(台)架式装置,其母线之间连接处及主电路中各连接处的温升应不超过 50 K,各电气设备的温升应不超过各自的规定。

5.7.11 开关投切性能

开关电器的投切性能应符合 5.3.3.3 的要求。

开关应能正常切合,机械运动灵活,无操作力过大或卡住现象,与其相连接的机械联锁或其他附件承受 6.3.9 型式试验规定的操作次数后应未受损伤,且不应发生重击穿。

5.7.12 保护性能

装置设置的保护性能应符合 5.5 的相关要求。

5.7.13 控制性能

装置的控制性能应符合 5.6 的相关要求。

5.7.14 柜(台)架的机械强度

柜(台)架的机械强度应能承受下列几种荷载组合作用的作用:

- 电容器组的自重及相连导线的拉力;
- 当地天气的影响(户外装置按 30 年一遇的最大风力及最严重的覆冰考虑);
- 4.1.4 规定的地震的作用。

5.8 安全要求

5.8.1 放电

电容器装置应具有断开电源后使电容器(组)放电的器件。放电器件有放电线圈和装于电容器单元内部的放电电阻两类,其主要性能及选用应符合 5.3.3.6 的相关要求。

电容器单元或电容器组与放电线圈之间不得有开关、熔断器或任何其他隔离器件(电容器配用的熔断器除外)。

装置应具备退出运行后间隔足够的时间再投入的控制功能,以保证电容器的放电,使得装置再次投入运行之前,电容器上的剩余电压不超过其额定电压的 10%。

以下情况应予以注意:

- 由内熔丝电容器单元内部电气故障产生的剩余电荷,仅靠端子间的放电电阻可能在规定的时间内不能消除,因此内熔丝电容器单元宜在内部每个串联段上并接放电电阻。
- 当电容器组内由于单元局部故障而存在不平衡状态时,若断开电源后仅靠放电线圈放电,单元的放电会出现不一致或不彻底的情况。
- 外熔断器保护的电容器单元内部的电气故障或跨越电容器组的局部闪络均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线圈在规定的时间内消除的。
- 在某些情况下,内部电阻失效可能导致电容器单元中留存电荷。

5.8.2 固定电位

电容器金属外壳的电位应予固定,外壳应具备供连接用的至少为 M10 的螺栓。

对于额定电压 10 kV 及以下的框(台)架电容器组,电容器单元外壳与框(台)架可直接接地。

对于安装在对地绝缘的框(台)架上的电容器组,其每层绝缘框(台)架、电容器单元外壳及相配套的放电线圈(如有的话)外壳,均须固定电位。

5.8.3 接地

装置应设置挂接地线的母线接触面和地线连接端子;大容量装置应装设接地开关。

装置从电源断开后,人体接触电容器前必须用接地导体将电容器端子短路。

5.8.4 防火和通风

5.8.4.1 防火

装置的框(台)架和柜体均采用难燃烧材料制作。

户外装置与变电站内建筑物、设备之间的防火间距应符合 GB 50229 的规定。

电容器室火灾危险性类别为丙级,其耐火等级应不低于二级。电容器室的楼板、隔墙、门窗和孔洞均应满足防火要求。

当电容器室与其他建筑物连接布置时,相互之间应考虑设置防火墙,防火墙上及两侧 2 m 以内不得开门窗及孔洞。电容器室不宜设置采光玻璃窗。

当电容器室的长度超过 7 m 时,应设两个出口,门应向外开启。相邻两个电容器室之间的隔墙需开门时,应采用乙级防火门,并能向两面开启。

与装置相关的沟道,应符合下列要求:

——电容器室通向屋外的沟道,在屋内外交接处应采用防火封堵;

——电容器组框(台)架与电缆沟道边缘的距离不宜小于 2 m;引至电容器装置处的电缆,应采用穿管敷设并进行防火封堵。

装置的消防设施,应符合下列要求:

——连接于不同主变压器的户外大容量装置之间宜设置消防通道。

——连接于不同主变压器的户内装置之间宜设置防火隔墙。

——应按照相关的消防规定放置灭火设备,以减少装置着火后的事故损失。

油浸集合式电容器、箱式电容器和油浸式铁心电抗器,应设置储油池或挡油墙。储油池的长、宽和深度尺寸与设备的外形尺寸和油量相关,可参照变压器的做法确定。油浸式铁心电抗器安装在户内时,若其油量超过 100 kg,还应单独设置防爆间隔。

装置宜布置在变电站最大频率风向的下风侧。

预装式(箱式)装置选择的材料和设计的零部件的防火性能,应符合 GB 17467—2010 中的相关规定。

5.8.4.2 通风

户外装置的布置应考虑夏季时通风良好,电容器的小面一侧宜朝向太阳直射方向,以减少太阳辐射热的影响。

电容器室的通风量应按消除室内余热计算。余热量包括设备散热量和通过围护结构传入的太阳辐射热量。

电容器室宜采用自然通风,当自然通风不能满足要求时,可采用自然进风和机械排风。

夏季排风温度应根据装置的环境温度类别确定,并应不超过装置所允许的最高环境温度。

电容器室的进、排风口应采取防止鸟、鼠、蛇类等小动物进入和防雨雪飘进的措施,在风沙较大地区,进风口宜设置过滤装置。

柜式和预装式(箱式)装置内部电容器的冷却空气温度应不高于电容器温度类别的上限温度,必要时应采取有效的通风冷却措施,以满足这一要求。

5.8.5 防止凝露

户内布置的电容器装置、柜式和预装式(箱式)装置应采取防止凝露引起闪络事故的措施。

5.8.6 人身和财产的保护

对人身和财产的保护详见 A.9.2。

5.9 环境保护的要求

5.9.1 防止绝缘油对环境的污染

装置所选用的所有设备和器件,其中如果含有会污染环境或有其他危险的物质,则应按照相关规定在该设备和器件上标有相应的标志。使用方应通知制造方有关这样的规定。

禁止生产和使用多氯联苯(PCB)绝缘介质浸渍的电容器。

电容器、油浸式铁心电抗器和放电线圈等发生故障流出的绝缘油不得逸散到周围环境中。

5.9.2 电磁兼容性

装置运行中产生的电磁干扰应符合安装处对环境电磁干扰的有关要求。

5.9.3 噪声

装置运行中产生的噪声应符合安装处对声环境质量的有关要求。

6 检验

6.1 试验分类

试验分为例行试验、型式试验和验收试验。

6.1.1 例行试验

例行试验应由制造方在交货前对每一套装置进行。试验项目见表 11。

对于大容量装置或 35 kV 及以上电压等级的装置,当试验室有困难不能进行试验时,允许在现场进行试验。

6.1.2 型式试验

型式试验考核装置的设计、材料、配套设备和器件的选择及制造工艺等方面是否满足标准规定的结构和性能要求。

新产品必须进行型式试验。

在生产中,当材料、工艺、产品结构或所选用的配套设备有所改变,且其改变有可能影响装置的性能时,也应进行型式试验,此时允许只进行与这些改变有关的试验项目。

对于大容量装置或 35 kV 及以上电压等级的装置,当试验室有困难不能进行试验时,允许在现场

进行试验。

用来做型式试验的装置必须是经例行试验合格的装置,试验项目见表 11。

型式试验应由制造方进行,在有要求时,应向使用方提供详列这些试验结果的证明书。

6.1.3 验收试验

验收试验考核装置在运输和安装过程中是否有损坏,试验项目见表 11,或按使用方和制造方所签订的技术协议中规定的试验项目进行。

表 11 试验类别及项目表

序号	检验项目	要求条款号	试验方法条款号	例行试验	型式试验	验收试验
1	外观及结构检查	5.7.1,5.7.2, 5.7.3,5.8.2, 5.8.3	6.3.1	●	●	●
2	电容测量	5.7.5	6.3.2	●	●	●
3	电感测量	5.7.6	6.3.3	●	●	●
4	工频耐受电压试验	5.7.7	6.3.4.1	●	●	●
5	保护装置试验	5.5,5.7.12	6.3.10.2	●	●	■
6	雷电冲击耐受电压试验	5.7.7	6.3.4.2		●	
7	温升试验	5.7.10	6.3.5		●	
8	短路耐受强度试验	5.7.8	6.3.6		●	
9	防护等级检验	5.7.4	6.3.7		●	
10	放电试验	5.3.3.6 5.8.1	6.3.8		●	
11	投切试验	5.7.9.4,5.7.11	6.3.9		●	
12	内部故障保护试验	5.5,5.7.12	6.3.10		●	
13	自动控制试验	5.6,5.7.13	6.3.11		●	●
14	噪声试验	5.9.3	6.3.12		●	
15	电容器组柜(台)架机械强度检验	5.7.14	6.3.13		●	
16	装置中独立设备和器件的检验	5.3.3	6.3.14		●	
17	装置补偿响应时间测试	5.6.5	6.3.15		▲	

注:●表示进行该项检验;▲表示只对标识补偿响应时间要求的装置进行。

6.2 试验条件

试验条件规定如下:

- 除一次设备和器件应分别进行试验外,进行装置整体试验时,有关接线都必须按实际运行情况连接好;
- 试验电压的频率为 45 Hz~55 Hz,波形应为近似正弦波,且正半波峰与负半波峰的幅值差应小于 2%,正弦波的峰值与有效值之比应在 $\sqrt{2} \pm 5\%$ 以内;
- 试验时的环境温度为 5℃~40℃,并作记录;

d) 投切试验时,电源回路的工频电压变化不大于5%。

6.3 试验方法

6.3.1 外观及结构检查

目测检查绝缘子是否有损伤,金属件外表面是否有损伤或腐蚀,各配套件是否有渗漏油、表面损伤和外壳变形。按设计图纸和 5.7.1~5.7.3 及 5.8.2、5.8.3 检验是否符合要求。

检查开关电器、电容器、熔断器、电抗器、放电线圈、避雷器等设备和器件的安装是否符合相关标准及设计要求。

6.3.2 电容测量

装置的电容可用实际测量电容的方法,也可根据装置内各电容器单元的实测电容用计算的方法来检验。装置的电容偏差应满足 5.7.5 的要求。

电容的测量,可在降低的电压下进行,所用测量方法应能排除由于谐波和测量回路内附件所引起的误差。测量的分辨率应能满足检测电容偏差的要求,对电容器单元,应能检测出一个元件击穿或一根内部熔丝动作的电容变化。

6.3.3 电感测量

干式空心电抗器测量电感时,可以在降低的电压下进行,也可以用电桥法测量。

铁心电抗器测量电感时,应在其额定电压下进行。

测量叠装的干式空心电抗器或三相一体的铁心电抗器的电感时,应使用三相电源测量。

当忽略电阻时,电抗为试验时电抗器两端电压和通过电抗器电流的比值。

串联电抗器的电感偏差应符合 5.7.6 的要求。

6.3.4 耐电压试验

试验前,应将不能承受试验电压的器件(如避雷器)拆除,并短接电容器、串联电抗器和放电线圈的端子。

6.3.4.1 工频耐电压试验

工频耐电压试验在装置的相间、相与地之间、辅助电路与地之间以及带电部件与绝缘材料制成或覆盖的外部操作手柄之间进行,试验电压在表 9 中选取。

试验时,应从装置额定电压的一半或以下开始升压,在 2 s~10 s 内均匀升到试验电压值,并在该电压下保持规定的时间。

6.3.4.2 雷电冲击耐电压试验

电压施加于装置的相与地之间,试验电压及波形在表 9 中选取。

试验时,先施加 15 次正极性冲击,紧接着再施加 15 次负极性冲击。改变极性后,施加负极性冲击之前,允许施加数次低幅值的冲击。

如果每一极性试验中均未发生多于 2 次的闪络且未发生击穿,则认为装置通过了该项试验。

6.3.5 温升试验

本试验只对柜式装置或具有封闭外壳的装置进行。

试验时,装置应按正常布置。应给装置施加不低于 U_N 的电压,并使装置的容量在整个试验过程中

等于 $1.3Q_{Nk}$ 。

试验时应有足够的时间使温度达到稳定。每隔 1 h~2 h 用温度计或热电偶或其他测温仪测取各规定部位的温度,同时测量最热区域 2 台电容器中间的冷却空气温度。当 3 h 内连续 3 次测量温度的变化不超过 1 K 时,认为温升达到稳定。

试验期间应测量装置的周围空气温度,此测量应用不少于 3 支经标准温度计校验过的水银温度计或热电偶进行。温度计或热电偶均匀布置在距装置约 1 m 之处,放置高度应为装置各载流部分高度的平均值。取最后 2 次所测温度的算术平均值作为装置的周围空气温度。

为了避免由于温度的迅速变化而引起的误差,温度计或热电偶应置于盛有油的容器中,热时间常数约为 1 h。

注:如受试验条件限制,本试验也可根据装置中电容器的等值损耗,用相等损耗的电阻片贴在电容器表面,在回路中施加 1.35 倍额定电流,各部分温升不得大于限值。

6.3.6 短路耐受强度试验

装置的短路耐受强度试验的目的是验证装置耐受由短路电流引起的热应力和电动应力的能力。

装置进线处的预期短路电流值根据所接入系统的参数,在 5.7.8 的推荐值中选取。

试验时,装置按正常使用情况安装,并将电容器组进线端子处短路。

试验按 GB/T 11022 要求的方法进行。

试验后若母线没有过大变形,导线、绝缘支持件和电器没有任何损坏,电气间隙和爬电距离仍符合规定,则认为装置通过本项试验。

也可根据装置母线排尺寸、绝缘子参数和安装位置,用计算方式验证装置的耐受能力。如计算结果表明装置能承载所要求的短路电流,则认为装置符合短路耐受强度要求。

6.3.7 防护等级检验

本检验只对具有外壳防护等级标识的装置进行。

检验时根据所选取的防护等级,按 GB 4208 规定的相应方法进行。

预装式(箱式)装置的箱体按照 GB 17467-2010 中 5.13 的规定进行检验。

6.3.8 放电试验

放电试验分别在每一组电容器上进行。用直流电将电容器组充电至额定电压的峰值,然后撤去充电电源,接通放电装置。试验结果应符合 5.3.3.6 的要求。

注:放电试验可结合投切试验进行。

6.3.9 投切试验

本试验只对具有投切电容器开关电器的装置进行。试验时,电源电压应不低于装置额定电压。

对于多组相并联的电容器装置,试验应对每一组进行,各投切操作 30 次,测量过电压及涌流;背靠背试验仅需对投入最后一组装置时的过电压及涌流进行测量,操作 30 次;对于采用负荷开关的装置,投切操作各为 10 次。

开关电器的操作性能应符合 5.7.11 的要求。

装置的涌流应符合 5.7.9.4 的要求。

6.3.10 内部故障保护试验

6.3.10.1 外熔断器保护试验

本试验只对装设电容器保护用外熔断器的装置进行。

在某台电容器单元两端并接 1 台~2 台与其同容量的电容器单元,模拟内部故障,通电后观察熔断器动作情况,应能正确动作。

6.3.10.2 保护装置试验

试验项目包括:电容器内部故障的桥式差电流保护或中性点不平衡电流保护或电压差动保护或开口三角保护等(根据装置的接线方式而定);装置的过电流保护、过电压保护、失压保护等。

试验根据制造方技术条件的要求,以模拟方法进行。

对于变电站用装置,可在电容器组某个部位并接或撤出 1 台~2 台电容器单元以模拟电容器内部故障,或在二次回路上设定等价故障信号,保护装置在整定范围内应能正常动作。

对于柱上式装置,由于一般采用三相电容器或每相只有 1 台~2 台单相电容器单元的电容器组,无法在一次电路上模拟电容器内部故障,可根据计算确定故障状态产生在二次回路的信号量,在二次回路上设定等价故障信号,保护装置在整定范围内应能正常动作。

不包含开关电器的装置,对保护装置应进行验证。

每项试验次数不少于 3 次。

6.3.11 自动控制试验

本试验只对具有自动投切功能的装置进行。试验时,按装置控制方式的要求及相关闭锁条件设置运行状态,自动投切装置应能正确动作,自动投切试验次数不小于 3 次。

控制方式试验次数较多时,试验可以在装置控制部分采用低电压信号进行模拟试验,检查控制部分对开关电器发出的信号,应正确无误。

6.3.12 噪声试验

应在额定电压下测量装置的噪声。试验按 GB/T 1094.10 的要求进行。

6.3.13 电容器组框(台)架机械强度检验

根据装置结构和最恶劣天气影响(见 5.7.14),按要求耐受的地震水平加速度和垂直加速度,计算装置在水平方向和垂直方向上承受的最大水平力和最大垂直力。

装置按正常安装方式固定,分别在装置顶部、中部、水平方向上施加最大水平力,持续时间 1 min,装置结构应不发生明显变形。

装置按正常安装方式固定,分别在装置顶部、中部、垂直方向上施加最大垂直力,持续时间 1 min,装置结构应不发生明显变形。

可以通过仿真计算来核算、验证装置的机械强度达到 5.7.14 的要求,并验证装置的安全系数。

6.3.14 装置中独立设备和器件的检验

装置中开关电器、电容器、熔断器、串联电抗器、放电线圈、避雷器、电流互感器、隔离开关、接地开关等独立设备和器件应通过按相关产品标准进行的试验,并提供合格有效的型式试验报告。

6.3.15 装置补偿响应时间测试

本试验只对明确标识补偿响应时间的装置进行:

- 改变实际无功负荷(或模拟输入无功负荷)使信号达到投入设定值,测量装置投入第一部分的时间;
- 改变实际无功负荷(或模拟输入无功负荷)使信号达到切除设定值,测量装置切除第一部分的时间;

- c) 立即改变实际无功负荷(或模拟输入无功负荷)使信号重新达到投入设定值,测量该部分自切除经过闭锁至再次投入的时间。

7 标志

每套装置的铭牌至少应标明下列内容:

- a) 名称及型号;
- b) 额定电压, kV;
- c) 额定频率, Hz;
- d) 额定容量, Mvar;
- e) 绝缘水平, kV;
- f) 额定电抗率, %;
- g) 温度类别;
- h) 主接线示意图;
- i) 出厂编号;
- j) 制造年月;
- k) 制造方名称或商标。

8 包装、运输与贮存

8.1 包装

包装箱外表面应标明如下标志及字样:

- a) 型号、制造方名称、交货合同号;
- b) 收货单位和地址;
- c) 净重、毛重、箱体尺寸以及“共×箱、第×箱”;
- d) “小心轻放”“不许倒置”“请勿受潮”等。

包装箱必须牢固,应能保证在正常运输条件下装置及装置内的设备和器件不受损伤。

装箱资料应包括:

- a) 装箱单(应详细标明设备和器件的数量、型号、制造方名称、出厂编号);
- b) 合格证(包括配套设备和器件的合格证);
- c) 产品使用说明书;
- d) 例行试验报告;
- e) 安装时必需的技术文件。

8.2 运输与贮存

在贮存和运输装置期间,应能保证装置的性能和质量不受影响。产品贮存时,贮存场地不得有腐蚀性气体、物质,并不受雨、雪侵蚀。

附录 A
(资料性附录)
安装和运行说明

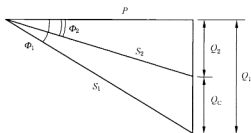
本附录简要说明装置在安装和运行中应注意的主要事项,更详细的内容可参见有关的规程和制造方的使用说明书。

A.1 并联电容器的用途

A.1.1 概述

在交流电力系统中,大多数电力负荷和输电设备(例如输电线和变压器)实质上是电感性的,因此系统会在滞后的功率因数下工作。在这种情况下,要求系统附加输送无功功率,因而造成系统输送有功功率的能力减小、损耗增大和电压降低。

图 A.1 说明,在输送有功功率 P 的系统中,通过加入容量为 Q_C 的并联电容器后,系统的无功负荷从 Q_1 减小到 Q_2 ,从而使得系统输送的视在功率减小、网络损耗降低。



说明:

- P ——系统输送的有功功率,单位为千瓦(kW);
- Q_1 ——并联电容器接入前系统输送的无功功率,单位为千乏(kvar);
- Q_2 ——并联电容器接入后系统输送的无功功率,单位为千乏(kvar);
- Q_C ——并联电容器的无功功率,单位为千乏(kvar);
- S_1 ——并联电容器接入前系统输送的视在功率,单位为千伏安(kV·A);
- S_2 ——并联电容器接入后系统输送的视在功率,单位为千伏安(kV·A);
- Φ_1 ——并联电容器接入前的功率角;
- Φ_2 ——并联电容器接入后的功率角。

图 A.1 接入并联电容器的效果

表 A.1 是在交流输、配电系统中使用并联电容器获得效益的一览表。对于输变电系统,无功支撑和电压调节是获得的主要功效;而配电系统的效益可能是多方面的,既有发电、送电公司的利益,又有电力用户的利益。下列条文对这些效益作了介绍。

表 A.1 应用并联电容器的功效一览表

功 效	输变电系统	配电系统
提供无功	P	P
调节电压	P	P

表 A.1 (续)

功效	输变电系统	配电系统
提高输变电设备利用效率	s	p
降低系统电能损耗	s	p
减少电费	—	p

注：p 通常是主要功效；s 通常是次要功效。

A.1.2 提供无功

采用并联电容器进行无功补偿具有多种功效,比如调节电压、改善功率因数、降低网络损耗、减少对发电机的无功功率需求以及提高系统静态稳定性。应根据电网和负荷对无功的需求确定并联电容器装置的安装位置及容量大小,尽可能在靠近负荷的地方提供无功,或在重负荷送电回路的中途提供无功支撑。

A.1.3 调节电压

图 A.2 所示输电线路,始节点为 1,终节点为 2。这个系统可以看成发电机通过串联阻抗为 $Z_L = R + jX$ 的输变电系统向负荷传输功率 $S = P + jQ$ 。

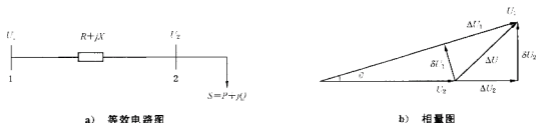


图 A.2 输电线路等效电路和相量图

沿输电线的电压降落见式(A.1):

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_2} + j \frac{PX - QR}{U_2} = \Delta U_2 + j\delta U_2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

电压降落可分成两个分量:与 U_2 同相位的纵向分量 $\Delta U_2 = (PR + QX)/U_2$,与 U_2 正交的横向分量 $\delta U_2 = (PX - QR)/U_2$ 。

对于高压输电系统,因 $R \ll X$,电压降落的纵向分量主要取决于所输送的无功功率 Q ,电压降落的横向分量主要取决于所输送的有功功率 P 。纵向分量主要影响电压降落幅值的大小,横向分量主要影响两端电压 U_1 与 U_2 之间的相角差 θ 。当线路两端之间电压差不大,功率传输角 θ 较小时,可忽略横向分量对电压降落的影响,把纵向分量近似看作电压降落。换言之,高压输电系统始节点和终节点之间的电压幅值差主要取决于所传输的无功功率。

在该系统中适当地装设并联电容器可减少从电源传输给负荷的无功功率,减小输电系统的无功电流和系统阻抗的压降,使得发电机送电端至电容器安装点的系统电压升高,从而调整负荷母线的电压。有多个公式可用来估算电容器接入的电压调整率。一个常用的公式见式(B.2)。

电容器安装在输电系统主母线上可提供大范围的电压支撑,安装在配电线路可沿整条线路支撑电压,安装在配电母线上及直接安装在向用户送电的母线上,可向较小范围和单个电力用户提供电压支撑。

为调整负荷母线电压所安装的电容器,通常在负荷高峰期间或电压偏低情况下投入,而在轻负荷时或电压偏高情况下切除,这样可以在一定程度上将负荷母线电压维持在所要求的范围内。

A.1.4 提高输变电设备利用效率

并联电容器的接入减少了系统所承载的视在功率,能提高输变电设备利用效率,相应地增大了系统的容量,当系统的用电负荷快速增长时,这一点特别明显。从这里释放出来的容量能用于向今后增加的负荷供电,其最佳经济功率因数能用式(A.2)进行估算:

$$PF = \sqrt{1 - \left(\frac{C}{S}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

C ——每千乏电容器的费用;

S ——每千伏安系统设备的费用;

PF ——最佳经济功率因数。

为释放期望的系统容量,所要求的功率因数可通过式(A.3)确定:

$$PF_2 = \frac{PF_1}{1 - S_R} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

PF_2 ——电容器补偿后的功率因数;

PF_1 ——电容器补偿前的功率因数;

S_R ——释放的系统容量(视在功率标么值)。

为通过补偿达到一个新的、更高的功率因数,计算时用补偿前功率因数对应的感性无功功率减去补偿后功率因数对应的感性无功功率,其差值是系统需补偿的容性无功,式(A.4)是一个简便算式。

$$Q = P [\tan(\cos^{-1} PF_1) - \tan(\cos^{-1} PF_2)] \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

P ——系统的有功负荷,单位为千瓦(kW);

Q ——需补偿的容性无功功率,单位为千乏(kvar)。

A.1.5 降低网络电能损耗

在一些输配电系统中,通过安装并联电容器可以明显地降低损耗。

装设并联电容器装置能减少流经发电机送电端到电容器安装点的系统无功电流,因为电能损耗与电流的平方成正比,故电流的减小能使网络的有功损耗大大降低,从而提高系统运行的经济性。根据这个原理电容器应尽可能装设在靠近负荷处。

对于一个局部负荷系统,无功补偿前后的网络损耗比可用式(A.5)估算,估算时假设负荷的有功功率和电压为恒定值。

$$\alpha_P = \frac{P_{L2}}{P_{L1}} = \left[\frac{PF_1}{PF_2} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

α_P ——网络损耗比;

P_{L2} ——装电容器后的损耗,单位为千瓦(kW);

P_{L1} ——不装电容器时的损耗,单位为千瓦(kW)。

损耗的降低将减少提供这些损耗所需的发电能量以及弥补负载高峰损耗所用系统设备的费用。

A.1.6 减少电费

《全国供用电规则》和国家电网公司企业标准《电力系统无功补偿配置技术原则》都对电力用户在电

网高峰负荷时需达到的功率因数作了规定。

根据国家有关部门发布的《功率因数调整电费办法》，电费收取按功率因数进行调整。因此电力用户根据其负荷特点合理配置无功补偿装置，使功率因数提高至规定值及以上，就可以减少电费支出。

A.2 装置应符合使用条件

并联电容器装置宜根据第4章规定的使用条件来选择，并应在规定的使用条件下工作。以下具体方法和说明可供选用和运行时参考。

A.2.1 正常使用的环境条件

A.2.1.1 环境空气温度

应按照4.1.2选择装置的温度类别。在中国，一般规定北方地区可以选用 $-40^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$ ；南方地区可以选 $-25^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$ ；特别热的地区可以选用 $-5^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$ ；特别寒冷地区可以选用 $-50^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$ 。

对装置的上限运行温度应予以注意，因为这对电容器寿命有很大影响。

上限温度为 50°C 的装置通常适于在大多数热带地区使用。然而有些地区的环境空气温度可能要求使用上限温度为 55°C 的装置。在经常受到几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，仍可能需要上限温度为 55°C 的装置。

装置应在等于或高于装置的下限温度下投运。这是因为当电容器介质达到低于温度类别下限温度时，有发生局部放电的危险，这不仅在电容器开始通电时是这样，而且在运行期间当电容器的介质损耗低造成的温升甚小时也是这样。

A.2.1.2 风速

在户外，落地安装的集合式、箱式电容器对风速没有特殊要求，装设在台架上的电容器组对风速有一定的限制，例如通常要求风速不大于 35 m/s 。

A.2.2 特殊使用条件

除了第4章所涉及的条件外，对下列任一特殊使用条件，使用方均应通知制造方：

- 高的相对湿度或大的覆冰厚度；可能需要使用特殊设计的绝缘子。湿热带地区应选择适用于湿热带的产品；
- 快速的霉菌生长；在装置中灰尘等落积处霉菌有可能滋生。当使用杀菌剂时，注意其有效期仅几个月；
- 腐蚀性大气；在工业区及沿海地区都会遇到腐蚀性大气。应注意在较高温度的气候下，这种大气的作用要比在较低温度下更为严重。户内也可能存在高腐蚀性气体；
- 污秽；当装置安装在高度污秽的地区时，应采取特殊的预防措施；
- 风速；有更高要求时使用方须提出；
- 耐震；有些地区地震概率或强度较大，这将对装置的机械设计有更高要求，使用方向制造方说明振动加速度幅值和阻尼值；
- 在特殊场合，环境空气温度最高值可能高于 55°C ，或日平均温度高于 45°C ，该处又无法改善冷却条件，则应使用特殊设计的或较高额定电压的电容器及其配套的设备 and 器件；
- 海拔；若超过 $1\ 000\text{ m}$ ，则其选型需由使用方与制造方协商确定。应该注意：
 - 在海拔超过 $1\ 000\text{ m}$ 地区，装置周围空气对流散热的能力将有所降低，但是在这样的海拔下，环境温度通常较低，这在确定电容器及其配套设备的容量时应予以考虑；

- 对于海拔超过 1 000 m 地区使用的装置,当在海拔 1 000 m 及以下的地点试验时,其外绝缘试验电压值应按 GB 311.1 的规定进行修正。

A.3 电容器及装置主要参数选择的注意事项

A.3.1 电容器及电容器组额定电压的选择

选择电容器额定电压的前提是先确定电容器组的额定电压,然后根据主接线确定电容器的额定电压。

并联电容器运行电压的高低受诸多因素影响,在谐波电压不超过 GB/T 14549 规定的限值、谐波电流和基波电流的合成电流(均为方均根值)不大于 $1.3I_{nc}$,且有一定裕度时,电容器组额定电压的选择就不需考虑谐波的影响,只需考虑电容器接入后升高的连续运行电压,以及串联电抗器引起的电容器电压升高这两个因素。

电容器组额定电压可以用式(A.6)求出计算值,再从表 4 的标准值中选取。

$$U_{Nb} \approx \frac{1.05U_{SN}}{\sqrt{3}(1-K)} \quad \dots\dots\dots(A.6)$$

式中:

U_{Nb} ——电容器组额定相电压,单位为千伏(kV);

K ——额定电抗率;

U_{SN} ——系统标称电压,单位为千伏(kV)。

在某些电网中,若最高运行电压与系统标称电压相差较大,使用方应提供其详细情况,以便制造方能为之留出适当的裕度。

须注意,装置的额定电压 U_N 定义为电容器装置拟接入电网的系统标称电压,它不等于 $\sqrt{3}(1-K)$ 倍的电容器组额定相电压,即 $U_N \neq \sqrt{3}(1-K)U_{Nb}$ 。

若装置拟接入电网处谐波电压含量或电压畸变率超过 GB/T 14549 的规定,则须考虑谐波对电容器运行电压和电流的影响,其电容器组额定电压的选择可参考 GB/T 20994—2007 的 1.3.22。

A.3.2 电容器装置容量的选取

首先根据无功、电压及系统稳定的要求确定变电站、线路或负荷的无功补偿容量即并联电容器组的额定容量,再根据无功需求和调节灵活的原则确定电容器分组容量,例如 500 kV 变电站通常选用 4 组 60 Mvar 的电容器装置。

本标准中,电容器装置的额定容量定义为并联电容器(组)的额定容量(Q_{Nb});电容器装置的额定无功输出 Q_N 定义为在额定频率 f_N 和装置额定电压 U_N 下的装置总的无功功率。

作为工程设计,在大多数情况下,电容器装置的额定容量 Q_{Nb} 在 5.3.2.1 的容量推荐值中选取即可。

根据装置额定容量 Q_{Nb} 和电容器组额定相电压 U_{Nb} ,可以计算得到装置的额定电流 I_N 。显然 I_N 等于电容器组额定相电流 I_{Nb} ,即 $I_N = I_{Nb} = Q_{Nb}/(3U_{Nb})$ 。

由于电容器装置的特殊性,有几个关系较容易混淆,在这里作一些提示:

a) 关于装置额定容量 Q_{Nb}

Q_{Nb} 不能用装置额定电压和额定电流来计算,即 $Q_{Nb} \neq \sqrt{3}U_N \cdot I_N$,而应是 $Q_{Nb} = 3U_{Nb} \cdot I_N$ 。

b) 关于装置的无功输出 Q_N 与装置额定容量 Q_{Nb} 的关系

1) 装置在额定频率 f_N 和额定电压 U_N 下的额定无功输出见式(A.7):

$$Q_N = \left[\frac{U_N}{\sqrt{3}(1-k)U_{Nb}} \right]^2 (Q_{Nb} - Q_{NL}) \quad \dots\dots\dots(A.7)$$

式中:

Q_{NL} ——串联电抗器的额定容量。

- 2) 当装置中电容器组承受的电压等于电容器组额定电压时,装置的无功输出等于该装置的额定容量 Q_{NL} 减去串联电抗器的额定容量 Q_{NL} 。

A.3.3 电容器及装置绝缘水平的选取

电容器装置的绝缘水平应与接入系统的绝缘水平相一致,其耐受电压应从表 9 中选取。

对于安装在绝缘框(台)架上的电容器单元的绝缘水平,则根据电容器组接线方式和绝缘框(台)架结构,按照 GB/T 11024.1—2010 中 27.8 规定的方法选择。电容器单元与外壳间的试验电压可按 GB/T 11024.1—2010 中 18.3 方法计算确定,即:

当交流电压试验是以单元额定电压为依据时,试验电压值按式(A.8)计算:

$$U_1 = 2.5 \times U_{NC} \times s \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

U_1 ——工频试验电压;

U_{NC} ——电容器串联单元的额定电压;

s ——相对于外壳连接电位的串联单元数。

A.4 装置配套设备选用和安装注意事项

应按照 5.3.3 和 5.4.2 选用和安装装置的配套设备和器件,对一些需注意的事项作如下提示和说明。

A.4.1 串联电抗器

A.4.1.1 装设位置

额定电压 110 kV 及以下的并联电容器装置通常接成中性点不接地的星形。如果电抗器装设在电源侧,在电抗器与电容器连线段发生短路故障时,电抗器有限制系统短路电流的作用。

空心电抗器在过电流下不会发生磁饱和,由于其电抗值基本不随电流大小变化,所以有较强的限流功能,这种电抗器的结构也决定了其具有较强的承受短路电流的能力。

铁心电抗器在过电流下会饱和,电抗值将大幅度下降,影响其限制短路电流的能力。

考虑到它们承受和限制短路电流能力的差异,故干式空心串联电抗器宜装设在电容器(组)的电源侧,普通型铁心电抗器宜装设在电容器(组)的中性点侧。

A.4.1.2 关于三相叠装的空心干式电抗器

空心干式电抗器三相叠装虽可减小安装场地,但是各相线圈间距较小,相间绝缘主要由支柱绝缘子的爬距及其表面性状决定。绝缘子表面性状受环境条件的影响较大,在存在污秽和潮气的状况下,绝缘子表面易发生闪络进而发展成为相间短路。而且在电抗器一相发生故障而发热、冒烟时,由于线圈中气流的作用,也容易由“烟囱效应”而引发相间短路。运行实践中发现这种三相叠装方式安全性较差,因此应尽可能不选用该型式的电抗器。

A.4.2 放电线圈

放电线圈的首末端必须与电容器(组)首末端相连接。当其兼作不平衡保护器件时,应按图 4 或图 5 接线。当其仅作放电器件时,可以并接在电容器(组)与电抗器串联后的两端。用于开口三角电压

保护的放电线圈,在接线有困难时,可以并接在电容器(组)与电抗器串联后的两端;而用于电压差动保护的放电线圈,则不允许采用这种接法。对使用外部熔断器的装置,则接于电容器与熔断器串联后的两端。

不得将放电线圈的一次绕组在装置中接成三角形或 V 形,以避免放电线圈故障扩大成相间事故。油浸放电线圈应选用全密封型式,防止内部因受潮而引发事故。

禁止采用放电线圈中性点接地的接线方式。

应防止放电线圈二次回路短路,这种短路通常是由人为接线错误或二次端子盒密封性差进水而造成的。

验收电容器装置时,必须认真校核放电线圈的绕组极性和接线是否正确,确认无误后方可进行试投,试投时不平衡保护不得退出运行,避免因放电线圈极性接错,造成放电线圈损坏,甚至爆炸。

A.4.3 外熔断器

电容器单元保护用外熔断器的选用应按照 5.3.3.4 的规定进行,选型必须正确和谨慎,所用的熔断器应具有合格、有效的例行试验和型式试验报告。

熔断器应按照 5.4.2.4 的规定和制造方使用说明书中的要求正确安装和使用。

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,避免因开断性能变差而造成重击穿,导致扩大性事故发生。

A.5 防止过电压对电容器造成危害的措施

A.5.1 操作过电压的限制

电容器的投切往往会引起操作过电压,应按照 5.5.4 的要求采取相应的对策来抑制其对电容器的损害。

A.5.1.1 选用适合于投切电容器的开关

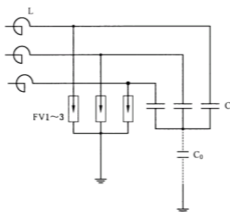
按照 5.3.3.3 的要求选用适合于投切电容器的开关,根据实践经验,对具体选择方法作如下说明:

- 额定电压应不低于安装处的系统最高电压。
- 额定电流应不小于 $1.5I_N$ 。
- 应能耐受电容器投入时的合闸涌流。
- 额定开断电流应满足电容器装置可能出现的最大容性电流的开断要求。对于在电容器装置中承担短路故障开断任务的断路器,其短路电流开断能力应满足安装地点的短路开断要求。
- 为避免重击穿过电压对电容器的损害,应选用具有非常低重击穿概率的 C2 级断路器;有频繁操作要求时,则应选用 C2-M2 级断路器。
- 如选用真空断路器,则应在出厂前进行高压大电流老炼处理,以降低重击穿概率。
- 额定电压 12 kV 真空断路器的合闸弹跳时间应小于 2 ms,额定电压 40.5 kV 真空断路器的合闸弹跳时间应小于 3 ms;分闸弹跳幅值均应小于断口间距的 20%。
- 开关的型式试验项目必须包含投切电容器组试验。

建议在选择时咨询开关制造方。

A.5.1.2 装设避雷器

在靠近电容器(组)的电源一侧装设金属氧化物避雷器可限制由开关重击穿引起的操作过电压,起到保护电容器的作用。如 5.3.3.7 所述,目前普遍采用的是将避雷器装设于线—地之间的接线方法,接线示意图如图 A.3 所示。



说明:

- L —— 串联电抗器;
 C —— 并联电容器;
 C_0 —— 中性点对地分布电容;
 FV1~3 —— 避雷器。

图 A.3 避雷器的接线图

这种接法可以有效地限制开关单相重击穿时电容器(组)相对地和中性点过电压的发展,在一定程度上能降低由单相重击穿诱发的两相重击穿的几率,但对电容器极间过电压不能起限制作用,因此保护是不够完善的,更完善的保护方法正在研究之中。

特别要注意的是,若不慎采用不恰当的避雷器接线方式与不正确的参数配置,非但起不了保护作用,还有可能引起严重事故。

A.5.2 雷电过电压的限制

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。

对于中性点接地的装置,如果装置及其连接线上装有架空地线,且架空地线距离装置至少 $5U_m$ (U_m 为装置的最高连续运行电压,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。

A.5.3 防止电动机自激励过电压

当电容器装置固定连接在电动机上[见图 3a)]时,在将电动机从电源切除后,仍在转动的电动机由于自激可能起发电机的作用,并可能产生比系统电压高得多的电压。

这种过电压通常可以用保证电容器装置电流小于电动机空载电流(建议约 90% 之值)的办法来防止。为预防人身伤害,在固定接有电容器装置的电动机停止转动以前不得接触电动机带电部分。

注:电动机切除后由于自激产生维持电压,故对于感应发电机以及有失压制动系统的电动机(例如电梯用电动机)是特别危险的。

对断开电源后能立即停止转动的电动机,或电容器装置可以在电动机断电前单独切除[见图 3b)]的情况,其补偿度可以超过 90%。

A.6 防治谐波过电流的提示

装置决不可在超过 5.7.9.3 规定的稳态最大允许过电流下运行,轻负荷下电压升高(见表 10)历时

不超过 5 min 者除外。

过电流可能是由基波过电压或由谐波或者是由两者共同引起的。主要的谐波源是晶闸管变流器及饱和的变压器铁心。

安装装置前后应测量电压波形及网络特性,如果装置电流超过 5.7.9.3 规定的最大值,而电压仍在表 10 规定的允许限值之内,则应测出主要的谐波,以便找到解决的对策。

下列一项或多项办法可能对降低谐波电流有作用:

- 将一部分或全部装置移到系统的其他部位;
- 按 5.3.2.3 选用串联电抗器,使得电容器装置对谐波呈现感性;
在谐波源近旁装设滤波器;
- 控制投切方案以避免谐振;谐波放大和谐振的计算式参见 B.3。

A.7 安装的注意事项

装置的布置和安装应符合 GB 50227 的有关规定及 5.4.2、5.7~5.9 的要求。

使用方在收到本装置及其配套设备和器件后,应按装箱单清点和查验,并进行外观检查。

在装置安装前,务必仔细阅读该装置及所附设备、器件的使用说明书,然后按照使用说明书和总装图进行布置和安装。

对于电容器组,安装时应调配电容,使各相电容及各串联段之间电容的差异不超过 5.7.5 或双方所订协议的规定,并满足继电保护整定的要求。

安装完毕后,应根据装置的验收项目进行验收试验。

不推荐在户外装置上加盖遮阳棚的布置(即所谓半露天布置)方式。因为户外型产品已考虑了日照因素,不设遮阳棚可使电容器经常受到雨水冲洗,既不易污闪,又利于通风。加设遮阳棚反而可能由于尘埃积累、棚顶破损、鸟兽聚居等,容易导致设备损坏。

A.8 保护设置和应用的提示

电容器及其装置的保护按 5.5.1、5.5.2 的规定设置。

制造方应向使用方提供装置保护的计算方法和保护定值;使用方须对该保护定值进行核算,避免保护定值错误而造成事故。

电容器保护动作后,应对电容器进行检测,查明原因,经排除故障后方可再投运。未经检测核实确认无故障,不得再投运,避免带故障电容器再投运而引起爆炸起火。

采用内熔丝保护的电容器单元,不宜同时采用外熔断器保护。这是由于内熔丝和外熔断器功能和作用是不同的,在某些场合两者同时采用并不合适,还可能造成不良后果。

A.9 检查和维护

A.9.1 概述

本条是对变电站和配电网中并联电容器装置维护和检查的一般性考虑。

所有电容器装置应在开始安装时、运行中周期性地或按要求进行检查和电气性能测量。因为电容器是密闭设备,仅靠视觉的检查并不能确定所有单个电容器的情况。

A.9.2 安全和人身保护

进行装置安装、检查和维护时,应做好规范完善的安全工作。由于电容器的特殊性,应该遵照有关

电气安全规则操作,并对人身和设备的保护做好以下的防范。

A.9.2.1 放电和接地

装置应装有放电器件,装置断电后至少等待 10 min 才能进行后续操作。必须用接地导体或接地开关将电容器组三相短路并接地。在人体接触前还应将各电容器单元短路并接地,以保证不存在残存的电荷。

A.9.2.2 膨胀的电容器

电容器的过度膨胀表示其内部可能由过热或存在电弧产生气体造成过高压力,这些电容器触摸时应小心,如果处理这些电容器存在问题,应咨询制造方。

电容器单元的过度膨胀主要可以从其外壳大面上观察发现,凡鼓凸程度超出制造方限定,退出运行降温后不能恢复原状,或在角上有起“筋”现象的,可以判断为过度膨胀。

未通电的完好电容器单元,其外壳在常温或较高温度下略向外凸出是正常的,这是由于单元内部物体随温度变化引起的体积变化是通过其较薄外壳的弹性变形来实现补偿的,若制造、存贮、安装现场的环境温度的不同,就会出现外壳大而不同程度变形的现象;大容量单元直立放置时,内部绝缘油受重力的作用而向下汇聚,也会使外壳中心偏下部位略显凸出。制造方宜说明这类电容器单元正常变形的范围,避免使用方产生疑虑和误判。

但是在允许的极限温度下运行或试验时,完好电容器单元内外压力差造成的应力不得超出外壳的弹性限度而造成永久性变形。

A.9.2.3 渗漏油的电容器

当接触渗漏油的电容器时,应避免皮肤接触绝缘油,并防止绝缘油进入例如眼睛等敏感部位。外泄绝缘油的处理和清除应按照国家法规要求的方法进行。

A.9.2.4 易燃液体

含有易燃液体的电气设备,其安装位置应按照对运行现场限制的有关规则进行选择,并考虑到万一设备故障引起着火的可能性及其遏制措施。防火措施见 5.8.4.1。

A.9.2.5 再投运

维护后装置恢复运行时,应确定为维护而设置的短路和接地已被移除。

正常运行时,在装置开断和重投之间应保持相应的时间间隔,以使存贮能量释放。再次投入运行之前电容器上的剩余电压应不超过额定电压的 10%。

A.9.3 试投运的检查和测量

建议包括下列项目:

- 检验装置以证实具有适当的电气间距、爬电距离、防护等级和完好的结构;
- 验证验收试验项目和结果,应符合本标准及设计的要求;
- 确认外熔断器的安装符合要求;
- 检查电气连接,检验各接线端子螺母是否适度拧紧,证实装置安装正确、电气接触良好;
- 清洁所有绝缘子、熔断器和套管表面,防止由污秽发生闪络;
- 检查绝缘子和套管有无裂纹和破损;
- 检查电容器等充油设备的套管和外壳是否渗漏,查明渗漏的来由;
- 在主回路未通电情况下,试验所有控制设备、断路器、隔离开关和接地开关;

- i) 在通电之前,验证每相电容的偏差,应在所采用的不平衡保护方案容许的范围以内;
- j) 在采用不平衡保护的电容器装置上,验证这种保护动作的准确性;
- k) 记录和检查主回路合闸瞬间的电压和电流波形,验证操作过程中各设备、器件是否正常;
- l) 在主回路通电后,立即验证所获得的电压增高是否足够接近预期值,验证外施电压、电容电流和容量是否在装置额定值及其容许范围之内;
- m) 装置投入运行后 8 h~24 h 内,检查电容器组有无外熔断器熔断、电容器单元是否鼓肚、相电流是否平衡、其他设备和器件是否异常;
- n) 在变电站主变压器空载的情况下试投大容量电容器装置时,应防止由多组电容器装置连投引起电压升高及谐波谐振而造成对电网和设备的危害。

A.9.4 巡视

对运行中装置的日常巡视检查主要需做以下几项工作:

- a) 观察电容器等充油设备各部位是否渗漏油,电容器单元是否鼓肚;
- b) 观察电容器外壳、配套设备表面、接线端子以及其他电气连接处有无发热变色现象,示温蜡片是否熔化或变色,油漆是否变色;
- c) 观察装置外壳、构架和电气设备油漆是否脱落、生锈;
- d) 观察电容器套管和绝缘子是否洁净、有无裂纹,有无闪络、放电现象或痕迹;
- e) 检查记录电容器室的温度,观察通风是否良好;
- f) 观察仪器仪表(如电流表、电压表、电压监测仪等)指示是否正常,装置的三相电流是否平衡,电压是否超过允许值;
- g) 监测避雷器的泄漏电流是否正常;查看避雷器动作计数器,动作次数如有变化应及时做好记录;
- h) 装置运行中是否有异常声音;
- i) 观察外熔断器是否动作;
- j) 观察装置运行的安全设施和信号设施是否状态良好。

A.9.5 周期或按要求进行的检查、测量和维护

装置应该按周期或按要求进行检查和电气测量。检测的频度应由各地区的情况和要求(比如环境条件,投运时间的百分率以及投切操作的次数等)决定。

A.9.5.1 外观检查

外观检查应包括下列项目:

- a) 检查电容器和配套设备是否有过热或其他故障的迹象;
- b) 检查外熔断器是否开断,管体是否有缺陷,弹簧是否发生锈蚀,尾线是否松弛,指示牌是否在规定位置。应及时更换已锈蚀、松弛的外熔断器;建议根据实际情况对用于户外的外熔断器定期进行更换;
- c) 检查连接是否松动,导线是否破损;
- d) 检查地面有没有漏下的油滴,电容器等充油设备的外壳是否渗漏、膨胀、变色和破裂;
- e) 检查绝缘部件表面是否有污秽、闪络痕迹,套管和绝缘子是否破损;
- f) 检查电气连接处有无过热迹象;
- g) 检查故障后跳闸的开关和动作的保护装置;
- h) 检查故障造成的爆炸和破坏;
- i) 检查来自于自然力的破坏和损害;

- j) 检验闭锁装置是否在位,确认各种所要求的警告标志是否完好且明显清晰;
- k) 检查设备表面是否腐蚀、掉漆。

A.9.5.2 性能检查和测量

性能检查和测量应包括下列项目:

- a) 检验保护装置、控制器、开关的整定和动作是否正确;
- b) 检查避雷器是否动作及动作的次数;
- c) 按电力设备预防性试验规程和制造方使用说明书中的维护运行建议,对电容器及其配套件进行试验和检查。

A.9.5.3 故障过多的电容器组

应该更为频繁地检查单元故障或外熔断器开断发生过多的电容器组。除 A.9.5.1 和 A.9.5.2 中的项目外,检查可能还需包括测量电容器上经受的暂态或谐波的电压和电流,以保证这些值在电容器限值范围之内。对于这类电容器组,使用方应与制造方协商以取得协助。

A.9.6 问题和故障的处理

在 A.9.3、A.9.4 和 A.9.5 检查、巡视和测量中发现的问题和故障,应立即处理,移除已损坏的设备和器件。故障处理后和投运时,应按照 A.9.3 中 i)、j)、k) 进行检查和验证。

外熔断器动作后的处理方法:

- a) 若是由电容器单元部分元件故障引起外熔断器在较小电流下动作,则在更换电容器单元的同时,更换该外熔断器的熔体和弹簧,并检查相邻单元的外熔断器,如有损伤应予更换;
- b) 若是由电容器单元极间贯穿性击穿引起外熔断器动作,则在更换电容器的同时,同段相并联单元的外熔断器应全部更换,相串联的完好段及另两相的外熔断器应逐个检查,如有损伤应予更换。

在电容器组中有个别电容器单元损坏而被拆除的情况下,不提倡电容器组缺台运行,因为这样做会导致:

- a) 缺台相的电抗率发生变化,可能引起谐波严重放大甚至谐振;
- b) 由于三相不平衡,可能造成不平衡保护动作;
- c) 完好电容器单元可能会在超过 1.1 倍额定电压的过电压下运行。

只有在经核算和检测上述情况都不发生的前提下,缺台运行才能用作电容器组恢复原状前的一种暂时性措施。

A.9.7 现场试验

现场的验收试验按 6.1.3 进行。

现场的交接试验按照 GB 50150—2006 进行,现场的预防性试验按照 DL/T 596—2005 进行。

附录 B
(资料性附录)
电容器装置的计算公式

B.1 由每两个端子间测得的 3 个电容值计算三相电容器(组)容量

星形连接的三相电容器(组),在每两个线路端子之间测得的电容用 C_a 、 C_b 和 C_c 表示。如果能满足 5.7.5 所规定的对称要求,则电容器(组)的容量 Q 可由式(B.1)计算得出:

$$Q = 2(C_a + C_b + C_c) \omega U_{\text{N0}}^2 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

C_a 、 C_b 和 C_c —— 在三相电容器(组)每两个线路端子之间测得的电容,单位为微法(μF);

U_{N0} —— 电容器(组)额定相电压,单位为千伏(kV);

Q —— 电容器(组)的容量,单位为兆乏(Mvar)。

B.2 电压升高

接入并联电容器装置后,将导致如下持续的电压升高[见式(B.2)]:

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S} \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中:

ΔU —— 电压升高值,单位为千伏(kV);

U —— 接入电容器装置前的电压,单位为千伏(kV);

S —— 电容器装置安装处的短路容量,单位为兆伏安(MV·A);

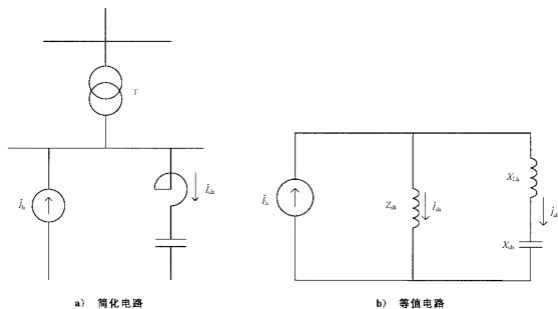
Q —— 电容器装置的容量,单位为兆乏(Mvar)。

B.3 谐波放大及谐振

并联电容器装置的接入可能会引起谐波放大甚至谐振而影响电容器和电力设备的安全运行,因此必须限制谐波的放大并避免产生谐振。

B.3.1 谐波电流的放大

系统接入并联电容器后的简化和等值电路见图 B.1。



a) 简化电路

b) 等值电路

说明:

T —— 变压器;

i_h —— 谐波源的 h 次谐波电流;

i_{sh} —— 进入系统的 h 次谐波电流;

i_{ch} —— 进入电容器支路的 h 次谐波电流;

Z_{sh} —— 系统 h 次谐波阻抗;

X_{ch} —— 电容器 h 次谐波电抗;

X_{1h} —— 串联电抗器 h 次谐波电抗。

图 B.1 系统及电容器支路的简化电路和等值电路

系统的 h 次谐波阻抗按式(B.3)计算:

$$Z_{sh} = R_{sh} + jX_{sh} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

R_{sh} —— 系统的 h 次谐波电阻;

X_{sh} —— 系统的 h 次谐波电抗。

通常 $R_{sh} \ll X_{sh}$, 故分析时忽略 R_{sh} , 可得式(B.4)和式(B.5):

$$I_{sh} - \frac{X_{1h} - X_{ch}}{X_{sh} + (X_{1h} - X_{ch})} I_h = \frac{\xi}{1 + \xi} I_h \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$I_{ch} = \frac{X_{sh}}{X_{sh} + (X_{1h} - X_{ch})} I_h = \frac{1}{1 + \xi} I_h \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

其中 ξ 按式(B.6)计算:

$$\xi = \frac{X_{1h} - X_{ch}}{X_{sh}} = \frac{hX_L - X_C}{hX_S} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

h —— 谐波次数, 即谐振频率(Hz)与电网频率(Hz)之比;

X_S —— 系统的基波电抗;

X_L ——串联电抗器的基波电抗；

X_C ——电容器的基波电抗。

由式(B.4)、式(B.5)可见：

a) 当 $\xi = -1$ 时, $I_{ch} = \infty, I_{cb} = \infty$, 电容器与系统发生并联谐振。

谐振谐波次数 $h_p = \sqrt{\frac{X_C}{X_L + X_S}}$, 显然 h_p 低于未串联电抗器时的值。

b) 当 $\xi = -2$ 时, $\left| \frac{I_{sh}}{I_b} \right| = 2, \left| \frac{I_{ch}}{I_b} \right| = 1$, 设对应的谐波次数为 h_a ;

当 $\xi = -0.5$ 时, $\left| \frac{I_{sh}}{I_b} \right| = 2, \left| \frac{I_{ch}}{I_b} \right| = 1$, 设对应的谐波次数为 h_b ;

在 $h_a \leq h \leq h_b$ 区域内, 电容器支路呈容性, 同时有 $|I_{sh}| \geq |I_b|$ 和 $|I_{ch}| \geq |I_b|$, 谐波电流严重放大。而 X_L 越大, h_a 和 h_b 越接近, 则该严重放大区域就越小。

c) 当 $\xi = 0$ 时, 电容器与串联电抗器发生串联谐振, 谐振谐波次数 $h_s = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$ 。

d) 在 $h_s < h < h_a$ 区域内, 电容器支路呈容性, 谐波源的谐波电流大部分流入电容器的支路, 电容器支路起滤波作用。

B.3.2 并联谐振频率与容量的关系

由 B.3.1 分析可导出, 在式(B.7)中, 当 h_p 为整数时, 电容器与系统将在该次谐波下并联谐振, 谐振频率和容量之间的关系可表示为:

$$h_p = \sqrt{\frac{S}{Q}} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

h_p ——并联谐振谐波次数;

S ——电容器安装处的短路容量, 单位为兆伏安(MV·A);

Q ——电容器的容量, 单位为兆乏(Mvar)。

若电容器与串联电抗器串联连接, 则并联谐振频率和容量之间的关系可表示为式(B.8):

$$h_p = \sqrt{\frac{S}{Q + KS}} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

K ——串联电抗器的电抗率。

B.4 涌流

B.4.1 单个装置投入或相同电抗率的装置背靠背投入

涌流峰值的标么值按式(B.9)计算:

$$\hat{I}_s = \frac{1}{\sqrt{K}} \left(1 - \beta \frac{Q_0}{Q} \right) + 1 \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

其中 β 和 Q 分别按式(B.10)和式(B.11)计算:

$$\beta = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{Q}{KS}}} \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

$$Q = Q' + Q_0 \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

式中：

\hat{I}_s ——涌流峰值的标么值(以投入装置额定电流峰值为基准值)；

β ——电源影响系数；

K ——额定电抗率；

Q ——同一母线上装设的装置总容量，单位为兆乏(Mvar)；

Q' ——所有正在运行的装置容量，单位为兆乏(Mvar)；

Q_0 ——正在投入的装置容量，单位为兆乏(Mvar)；

S ——装置安装处的短路容量，单位为兆伏安(MV·A)。

B.4.2 投入装置的电抗率与正在运行装置的电抗率不同

B.4.2.1 设正在投入装置的电抗率为 K_1 ，当满足 $\frac{Q}{K_1 S} < \frac{2}{3}$ 时，涌流应按式(B.12)计算：

$$\hat{I}_s = \frac{1}{\sqrt{K_1}} + 1 \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

B.4.2.2 设正在投入装置的电抗率为 K_1 ，正在运行装置的电抗率为 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(B.9)计算，其中 $K = K_1$ 。

参 考 文 献

- [1] GB/T 311.2—2013 绝缘配合 第2部分:使用导则
- [2] GB 1207—2006 电磁式电压互感器
- [3] GB 1208—2006 电流互感器
- [4] GB/T 1094.6—2011 电力变压器 第6部分:电抗器
- [5] GB/Z 11024.3—2001 标称电压1 kV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
- [6] GB/T 11024.4—2001 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
- [7] GB 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器
- [8] GB/T 15166.4—2008 高压交流熔断器 第4部分:并联电容器外保护用熔断器
- [9] 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
- [10] GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第2部分:测量系统
- [11] 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
- [12] GB/T 22582—2008 电力电容器 低压功率因数补偿装置
- [13] GB 50060—2008 3~110 kV高压配电装置设计规范
- [14] GB 50150—2006 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- [15] JB/T 7111—1993 高压并联电容器装置
- [16] DL/T 462—1992 高压并联电容器用串联电抗器订货技术条件
- [17] DL/T 584—2007 3~110 kV电网继电保护装置运行整定规程
- [18] DL/T 596—2005 电力设备预防性试验规程
- [19] DL/T 604—2009 高压并联电容器装置使用技术条件
- [20] DL/T 653—2009 高压并联电容器用放电线圈使用技术条件
- [21] DL/T 841—2003 高压并联电容器用阻尼式限流器使用技术条件
- [22] 全国供用电规则.中华人民共和国水利电力部.1983.
- [23] 功率因数调整电费办法.水利电力部,国家物价局.1983.
- [24] 电力系统电压质量和无功电力管理规定.国家电网公司.2009.
- [25] 电力行业电力电容器标准化技术委员会.并联电容器装置技术与应用[M].北京:电力工业出版社,2011.
- [26] 国家电网公司.输变电工程通用设备[M].北京:电力工业出版社,2009.

中华人民共和国
国家标准
高压并联电容器装置的通用技术要求
GB/T 30841—2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

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 3.5 字数 89 千字
2014年9月第一版 2014年9月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49783 定价 48.00 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)68510107



GB/T 30841-2014