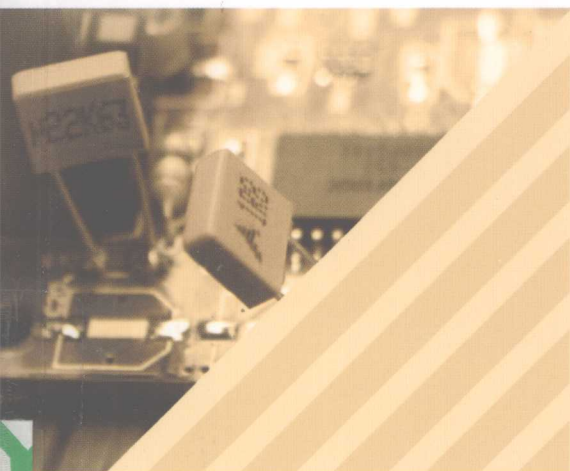


“十一五”国家重点图书出版规划项目  
现代节能工程技术系列丛书

# 无功补偿电容器 配置·运行·维护

■ 周志敏 周纪海 纪爱华 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十二五”期间国家重点图书出版规划项目  
“十二五”期间国家重点音像出版规划项目

# 无功补偿电容器 配置·运行·维护

王瑞强 王瑞 王瑞平 编

中国电力出版社

“十一五”国家重点图书出版规划项目  
现代节能工程技术系列丛书

# 无功补偿电容器

## 配置·运行·维护

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书针对无功补偿电容器在供电系统的配置、运行、操作、维护、检修中存在的问题,以无功补偿电容器设计规程和运行规范的要求为原则,系统地讲述了电容器的结构及分类、补偿电容器的配置、补偿电容器组保护配置、0.4kV/10kV 无功补偿整套装置、电容器的运行与维护、补偿电容器的安装与调试、电容器的故障处理等内容,深入浅出地阐述了与无功补偿电容器配置、运行、维护、检修中密切相关的电工理论知识和实际操作技能。全书内容新颖实用、语言通俗易懂,是生产一线电工的必备读物。

本书注重规范、标准和运行操作实践的结合,可直接用于指导无功补偿电容器的运行和维护,可供具有初中以上文化水平的电工阅读,也可供相关电气运行培训的教师及电气运行管理人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

无功补偿电容器配置、运行、维护/周志敏,周纪海,纪爱华编著. —北京:电子工业出版社,2009.8

(现代节能工程技术系列丛书)

“十一五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-121-09083-7

I. 无… II. ①周… ②周… ③纪… III. 无功补偿-补偿电容器-基本知识 IV. TM531.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 100265 号

策划编辑:富 军

责任编辑:毕军志

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:387.2 千字

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn),盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

电力系统无功潮流分布是否合理，不仅关系到电力系统向电力用户提供电能质量的优劣，而且还直接影响电网自身运行的安全性和经济性。若无功电源容量不足，系统运行电压质量将难以保证，供配电网的功率因数和电压的降低将使电气设备得不到充分利用，降低了供配电网电能传输的能力，并引起损耗增加。

电容器作为配电网无功补偿的重要设备，在配电系统中被广泛使用。通过合理地配置和控制电容器投入与切除，可以提高配电系统的电压质量，改善功率因素，降低网络损耗，增加系统容量。电容器的运行、维护、检修水平将直接影响供用电的可靠性及用电设备安全经济运行，其与社会的大生产和人民生活密切相关。为了提高供配电系统无功补偿电容器的配置、运行、维护、检修技术水平，本书在编写中以电容器实用技术为主线，结合目前电容器制造技术的发展及新技术、新材料、新工艺的应用，力求其适应于供用电企业电容器的安全、经济运行的需求。

本书系统地把电容器基础知识和电容器在供用电系统中的配置、运行、维护、检修技术有机地结合起来，书中选题尽量做到有针对性和实用性，阐述力求深入浅出，在保证科学性的同时，注意通俗性。读者可以以此为“桥梁”，系统全面地了解和掌握电容器的基础知识及在供用电系统中的配置、运行、维护和检修技能。

本书在写作过程中无论从资料的收集和技术信息交流上都得到了国内的专业学者和同行的大力支持。在此向他们表示衷心的感谢。

由于时间短，水平有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

编著者  
2009年6月

# 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第 1 章 电容器的结构及分类 .....         | 1   |
| 1.1 电容与电容器 .....              | 1   |
| 1.1.1 电容和电容器的结构 .....         | 1   |
| 1.1.2 电力电容器 .....             | 2   |
| 1.1.3 电容器的型号 .....            | 4   |
| 1.2 电容器技术性能指标和损耗角正切值 .....    | 7   |
| 1.2.1 电容器主要性能指标 .....         | 7   |
| 1.2.2 电容器的损耗、损耗角正切和等值电路 ..... | 10  |
| 1.3 自愈式和集合式电容器 .....          | 12  |
| 1.3.1 自愈式电容器的结构特点 .....       | 12  |
| 1.3.2 自愈式电容器及其成套技术 .....      | 17  |
| 1.3.3 高压干式电容器的技术特点 .....      | 20  |
| 1.3.4 集合式电容器 .....            | 22  |
| 1.3.5 全膜电容器 .....             | 23  |
| 第 2 章 补偿电容器的配置 .....          | 28  |
| 2.1 无功功率和无功功率补偿原则 .....       | 28  |
| 2.1.1 无功功率与功率因数 .....         | 28  |
| 2.1.2 无功功率补偿原则 .....          | 37  |
| 2.2 无功补偿方案 .....              | 39  |
| 2.2.1 无功补偿方式 .....            | 39  |
| 2.2.2 低压补偿方式 .....            | 45  |
| 2.3 电容补偿容量的确定 .....           | 54  |
| 2.3.1 补偿电容器补偿容量的确定 .....      | 54  |
| 2.3.2 终端分散补偿电容补偿容量的确定 .....   | 57  |
| 2.4 补偿电容器组的配置 .....           | 59  |
| 2.4.1 电容器组的选型 .....           | 59  |
| 2.4.2 电容器补偿主电路设备 .....        | 64  |
| 第 3 章 补偿电容器组保护配置 .....        | 73  |
| 3.1 电容器的过电压和过电流保护 .....       | 73  |
| 3.1.1 电容器的保护 .....            | 73  |
| 3.1.2 电容器的电压保护 .....          | 78  |
| 3.1.3 氧化锌避雷器 .....            | 87  |
| 3.1.4 电容器的电流保护 .....          | 99  |
| 3.1.5 电容器组的谐波过载 .....         | 100 |
| 3.2 电容器组的保护类别 .....           | 101 |
| 3.2.1 熔断器保护 .....             | 101 |

|             |                                  |            |
|-------------|----------------------------------|------------|
| 3.2.2       | 电容器组的零序保护 .....                  | 110        |
| 3.2.3       | 电容器组的相差动保护 .....                 | 114        |
| 3.2.4       | 电容器组的中性线电流平衡保护 .....             | 116        |
| <b>第4章</b>  | <b>0.4kV/10kV 无功补偿整套装置 .....</b> | <b>121</b> |
| 4.1         | 无功补偿装置控制器 .....                  | 121        |
| 4.1.1       | 无功补偿控制器 .....                    | 121        |
| 4.1.2       | 电容器组投切方式 .....                   | 131        |
| 4.1.3       | 低压电容器补偿装置 .....                  | 140        |
| 4.2         | 10kV 无功补偿整套装置 .....              | 149        |
| 4.2.1       | 10kV 无功补偿整套装置的结构形式 .....         | 149        |
| 4.2.2       | 10kV 无功补偿整套装置的选型 .....           | 151        |
| <b>第5章</b>  | <b>电容器的运行与维护 .....</b>           | <b>155</b> |
| 5.1         | 电容器的安全运行 .....                   | 155        |
| 5.1.1       | 电容器的安全运行条件 .....                 | 155        |
| 5.1.2       | 电容器组日常巡视检查 .....                 | 157        |
| 5.1.3       | 电容器组的维护和保养 .....                 | 162        |
| 5.2         | 电容器组的操作 .....                    | 168        |
| 5.2.1       | 电容器组的操作原则 .....                  | 168        |
| 5.2.2       | 电容器组操作过电压 .....                  | 170        |
| 5.2.3       | 电容器组的合闸涌流 .....                  | 171        |
| <b>第6章</b>  | <b>补偿电容器的安装与调试 .....</b>         | <b>182</b> |
| 6.1         | 电容器安装 .....                      | 182        |
| 6.1.1       | 电容器的安装环境 .....                   | 182        |
| 6.1.2       | 电容器室通风计算和建筑要求 .....              | 191        |
| 6.1.3       | 成套电容器装置的布置方式 .....               | 193        |
| 6.2         | 电容器组的检测与试验 .....                 | 195        |
| 6.2.1       | 电容器组的测量 .....                    | 195        |
| 6.2.2       | 电容器的试验 .....                     | 197        |
| <b>第7章</b>  | <b>电容器的故障处理 .....</b>            | <b>203</b> |
| 7.1         | 电容器使用寿命及损坏原因 .....               | 203        |
| 7.1.1       | 电容器使用寿命与使用条件的关系 .....            | 203        |
| 7.1.2       | 电容器损坏的原因 .....                   | 206        |
| 7.2         | 电容器故障判断及处理 .....                 | 209        |
| 7.2.1       | 电容器熔断器熔断 .....                   | 209        |
| 7.2.2       | 电容器谐振 .....                      | 211        |
| 7.2.3       | 电网谐波对运行电容器的危害 .....              | 215        |
| 7.2.4       | 运行中电容器异常现象的处理 .....              | 220        |
| 7.2.5       | 预防电容器装置事故的技术措施 .....             | 227        |
| 7.2.6       | 电容器的火灾成因及其预防对策 .....             | 231        |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>                     | <b>234</b> |

# 第 1 章

## 电容器的结构及分类



### 1.1 电容与电容器

#### 1.1.1 电容和电容器的结构

##### 1. 电容

电容是衡量导体储存电荷能力的物理量。在两个相互绝缘的导体上加上一定的电压，就会储存一定的电量。其中一个导体储存正电荷，另一个导体储存着与正电荷容量相等的负电荷。两个导体上的电压越大，储存的电量就越多。储存的电量和加上的电压是成正比的，其比值叫做电容。如果电压用  $U$  表示，电量用  $Q$  表示，电容用  $C$  表示，则

$$C = Q/U \quad (1-1)$$

电容的基本单位是法(F)，也常用微法( $\mu\text{F}$ )或者皮法(pF)做单位。其之间关系是：

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F}, 1\text{F} = 10^9 \text{nF}, 1\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

电容可以用电容测试仪测量，也可以用万用表欧姆挡粗略估测。欧姆表红、黑两表笔分别碰接电容的两脚，欧姆表内的电池就会给电容充电，指针偏转，充电完毕，指针回零。调换红、黑两表笔，电容放电后又会反向充电。电容越大，指针偏转也越大。对比被测电容和已知电容的偏转情况，就可以粗略估计被测电容的量值。因此，用欧姆挡粗略估测电容容量值是有实际意义的。但是，普通万用表欧姆挡只能估测容量值较大的电容，小于几十个皮法的电容就只能用电容测试仪测量了。

##### 2. 电容器结构

###### (1) 电容器

电容器是一种能储存电荷的容器。它是由两片靠得较近的金属片，中间隔以绝缘物质组成的。电容器是依靠它的充放电功能来工作的，电源开关未合上时，电容器的两片金属板和其他普通金属板一样，是不带电的。当开关合上时，电容器正极板上的自由电子便被电源所吸引，并推送到负极板上。由于电容器两极板之间隔有绝缘材料，所以从正极板移动来的自由电子便在负极板上堆积起来。正极板便因电子减少而带上正电，负极板便因电子逐渐增加而带上负电。电容器两个极板之间便有了电位差，当这个电位差与电源电压相等时，电容器的充电就停止了。此时若将电源切断，电容器仍能保持充电电压。对已充电的电容器，如果用导线将两个极板连接起来，由于两极板间存在的电位差，电子便会通过导线回到正极

板上,直至两极板间的电位差为零,电容器又恢复到不带电状态,导线中也就没电流了。在电容器的充放电过程中,加在电容器两个极板上的交流电频率高,电容器的充放电次数增多,充放电电流也就增强。也就是说,电容器对于频率高的交流电的阻碍作用就减小,即容抗小,反之电容器对频率低的交流电产生的容抗大,对直流电阻力无穷大(理想状态),即电容器具有隔直流作用。对于同一频率的交流电,电容器的容量越大,容抗就越小;容量越小,容抗就越大。

实验证明,容抗和电容成反比,和频率也成反比。如果容抗用  $X_C$  表示,电容用  $C$  表示,频率用  $f$  表示,容抗为

$$X_C = 1/(2\pi fC) \quad (1-2)$$

容抗的单位是  $\Omega$ 。知道了交流电的频率  $f$  和电容  $C$ ,就可以用上式把容抗计算出来。

## (2) 结构

电容器由箱壳和芯子组成,箱壳用薄钢板密封焊接制成,箱壳盖上装有出线瓷套,箱壁两侧焊有供安装用的吊环,一侧装有接地螺栓。电容器芯子由若干元件和绝缘件组合而成。元件由作为极板的铝箔中间夹膜纸复合介质或全膜介质经卷绕而成。芯子中的元件按一定的串并联方式连接,以满足不同电压和容量的要求。内熔丝电容器内部每个元件均串有一根熔丝,当某个元件击穿时,与其并联的完好元件即对其放电,使熔丝在毫秒级的时间内迅速熔断,将故障元件切除,从而使电容器能继续运行。电容器内部设有放电电阻,电容器从电网断开后能自行放电,一般情况,10min 后即可降至 75V 以下。

## 1.1.2 电力电容器

### 1. 电力电容器结构和分类

#### (1) 电力电容器结构

用于电力系统和电工设备的电容器称为电力电容器,电力电容器在交流电压下使用时,通常以其无功功率来表示电容器的容量,单位  $V \cdot A$  或  $kV \cdot A$ 。1926 年电力电容器开始工厂化生产,并正式在电力系统中应用。随着大电厂和远距离输电系统的建立、新兴科学技术领域的发展,电力电容器的品种和容量得到了迅速的发展。20 世纪 50 年代初,并联电容器的最大单台容量为  $25 \sim 50kV \cdot A$ ,到 1978 年生产出的最大单台容量已达  $6667kV \cdot A$ ,80 年代已达到单台容量  $1 \times 10^4 kV \cdot A$ 。

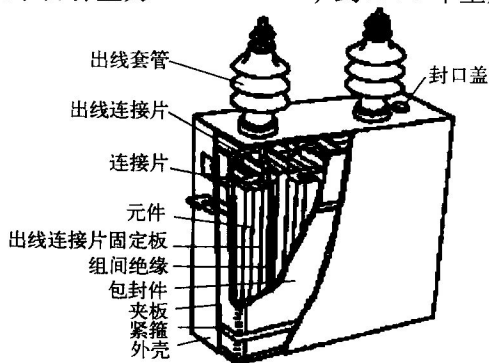


图 1-1 电力电容器的结构图

电力电容器的结构如图 1-1 所示,电力电容器芯子中的元件全部并联,每个元件都接有熔丝。单台三相电力电容器在芯子内部接成三角形,出线采用瓷套管绝缘结构。电力电容器内部充以矿物油、烷基苯、苯甲基硅油等作为浸渍剂。

#### (2) 电力电容器分类

电力电容器的制造技术经历了几个发展阶段,从电容器构成材料和封装形式上看,分别有以下 3 种主要形式:

- ① 20 世纪五六十年代出现的油浸式电容器。
- ② 七八十年代的金属化聚丙烯膜干组件式电容器。
- ③ 90 年代出现的一体化高能量密度 MKK、MKP 电容器。

目前油浸式电容器基本已淘汰, 低压电力系统广泛使用的有金属化聚丙烯膜干式组件式电容器和 MKK、MKP 电容器。从电介质材料上看, 干式组件式电容器与 MKK、MKP 都采用金属化聚丙烯膜。不同之处在于, 构成干式组件式电容器由于采用当时技术条件下的金属化聚丙烯膜以及制造工艺的限制, 其单元组件的耐压等级小、容量有限, 一只电容器是由若干个小容量、低耐压等级的电容器组件, 通过串、并联构成的。为了减少这种串、并联结构在安全上的危害, 电容器组件采用了内附熔丝或外附熔丝技术。而 MKK、MKP 电容器采用的现代工艺和技术, 其单层电介质厚度可满足 800V 以下不同的电压等级, 并可构成  $2.5 \sim 50\text{kV}\cdot\text{A}$  容量的电容器, 其内部没有结构复杂且安全性能差的多层串、并联结构; MKK、MKP 电容器特有的加强厚边和波纹切割技术、真空灌注技术、过压分离技术, 使得该电容器具有以下其他形式的电容器不具有的突出特性。

- ① 耐浪涌电流:  $200 \times I_R$ 。
- ② 连续过电流:  $\geq 1.8 I_R$ 。
- ③ 使用寿命:  $\geq 115\,000\text{h}$ 。
- ④ 安全性高: 不燃、不爆, 不需充填蛭石等防火材料。

电力电容器的种类很多, 按其工作条件来分, 可分为以下几种。

- ① 移相电容器: 型号有 YY、YL 两个系列。
- ② 串联电容器: 型号有 CY、CL 两种。
- ③ 耦合电容器: 型号为 OY。
- ④ 电热电容器: 型号有 RYS、RYSY 两种。
- ⑤ 脉冲电容器: 型号有 MY、ML 两种。
- ⑥ 均匀电容器: 型号为 JY。
- ⑦ 滤波电容器: 主要有 LY、LB 两种。
- ⑧ 标准电容器: 型号有 BF、BD 两种。

## 2. 电力电容器的作用

电力电容器分为串联电容器和并联电容器, 都具有改善电力系统的电压质量和提高输电线路的输电能力, 是电力系统的重要设备。电力电容器种类很多, 按其安装方式可分为户内式和户外式两种; 按其运行的额定电压可分为低压和高压两类; 按其相数可分为单相和三相两种; 按其外壳材料可分为金属外壳、瓷绝缘外壳、胶木筒外壳等。电力电容器的作用有:

- ① 在输电线路中, 利用电力电容器可以组成串补站, 提高输电线路的输送能力。
- ② 在大型变电站中, 利用电力电容器可以组成 SVC, 提高电能质量。
- ③ 在配电线路末端, 利用电力电容器可以提高线路末端的功率因数, 保障线路末端的电压质量。
- ④ 在变电站的中、低压各段母线装设的电力电容器, 可补偿负荷消耗的无功功率, 提高母线侧的功率因数。

在有非线性负荷的负荷终端站, 也会装设电力电容器, 用于滤波。

### (1) 串联电容器

串联电容器串接在线路中,其作用如下:

① 提高线路末端电压。串接在线路中的电容器,利用其容抗  $X_C$  补偿线路的感抗  $X_L$ ,使线路的电压降落减少,从而提高线路末端(受电端)的电压,一般可将线路末端电压提高 10% ~ 20%。

② 降低受电端电压波动。当线路受电端接有变化很大的冲击负荷(如电弧炉、电焊机、电气轨道等)时,串联电容器能消除电压的剧烈波动。这是因为串联电容器在线路中对电压降落的补偿作用是随通过电容器的负荷而变化的,具有随负荷变化的瞬时调节性能,能自动维持负荷端(受电端)的电压值。

③ 提高线路输电能力。由于线路串入了电容器,补偿了线路的感电抗  $X_L$ ,线路的电压降落和功率损耗减少,相应地提高了线路的输送容量。

④ 改善了系统潮流分布。在闭合网络中的某些线路上串接一些电容器,部分地改变了线路电抗,使电流按指定的线路流动,以达到功率经济分布的目的。

⑤ 提高系统的稳定性。线路串入电容器后,提高了线路的输电能力,这本身就提高了系统的静稳定。当线路故障被部分切除时(如双回路被切除一回路、单回路单相接地切除一相),系统等效电抗急剧增加,此时,串联电容器将进行强行补偿,即短时强行改变电容器串、并联数量,临时增加容抗  $X_C$ ,使系统总的等效电抗减少,提高了输送的极限功率,从而提高系统的动稳定。

### (2) 并联电容器

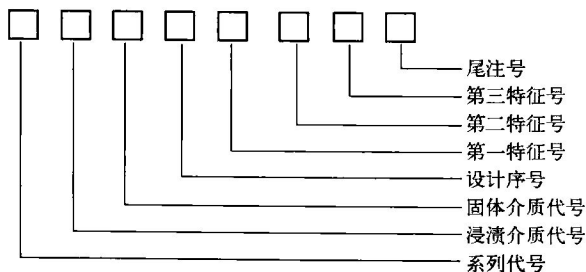
并联电容器并联在系统的母线上,类似于系统母线上的一个容性负荷,它吸收系统的容性无功功率,这就相当于并联电容器向系统发出感性无功。因此,并联电容器能向系统提供感性无功功率,可提高系统运行的功率因数,提高受电端母线的电压水平;同时,它减少了线路上感性无功的输送,减少了电压和功率损耗,因而提高了线路的输电能力。

并联电容器也称为移相电容器,主要用来补偿电力系统感性负荷的无功功率,以提高功率因数,改善电压质量,降低线路损耗。单相并联电容器主要由芯子、外壳和出线套管等几部分组成。用金属箔(作为极板)与绝缘纸或塑料薄膜叠起来一起卷绕,由若干元件、绝缘件和紧固件经过压装而构成电容芯子,并浸渍绝缘油。电容器极板的引线经串、并联后引至出线瓷套管下端的出线连接片。电容器的金属外壳内充以绝缘介质油。

## 1.1.3 电容器的型号

### 1. 国产电容器的型号含义

国产电容器的型号含义如下:



① 系列代号：用于表示电容器所属的系列，用一个大写汉语拼音字母表示，字母含义如表 1-1 所示。

表 1-1 电容器系列代号及其含义

| 系列代号 | 字母含义     | 系列代号 | 字母含义  |
|------|----------|------|-------|
| A    | 交流滤波电容器  | M    | 脉冲电容器 |
| B    | 电容器      | O    | 耦合电容器 |
| C    | 串联电容器    | R    | 电热电容器 |
| D    | 直流滤波电容器  | X    | 谐振电容器 |
| E    | 交流电动机电容器 | Y    | 标准电容器 |
| F    | 防护电容器    | Z    | 直流电容器 |
| G    | 断路器电容器   | —    | —     |

② 浸渍介质代号：用于表示电容器中浸渍介质的种类，由一个大写汉语拼音字母表示，字母含义如表 1-2 所示。

表 1-2 浸渍介质代号及其含义

| 浸渍介质代号 | 字母含义  | 浸渍介质代号 | 字母含义 |
|--------|-------|--------|------|
| A      | 苡基甲苯  | L      | 六氟化硫 |
| B      | 异丙基联苯 | S      | 石蜡   |
| C      | 蓖麻油   | T      | 偏苯   |
| D      | 氮气    | W      | 烷基苯  |
| F      | 二芳基乙烷 | Y      | 矿物油  |
| G      | 硅油    | Z      | 菜子油  |
| K      | 空气    | —      | —    |

注：当浸渍介质为几种浸渍介质的混合物时，只表示主要浸渍的代号。

③ 固体介质代号：用于表示电容器中固体介质的形式，用一个大写汉语拼音字母表示，字母含义如表 1-3 所示。

表 1-3 固体介质代号及其含义

| 固体介质代号 | 字母含义 | 固体介质代号 | 字母含义 |
|--------|------|--------|------|
| F      | 膜纸复合 | M      | 全膜   |

注：固体介质为全纸时，固体介质不用字母表示；Y 系列标准电容器不标固体介质代号；金属化电容器在固体介质代号加字母 J 表示；集合式电容器在固体介质代号后加字母 H 表示。

④ 设计序号：用于区别某一系列产品的不同尺寸（如安装尺寸等），按申请型号的顺序由型号管理单位编制和发布，设计序号为 1 时，在型号中略去。

⑤ 第一特征号：用于表示电容器的额定电压，单位 kV(E 系列的单位用 V)。三相电容器内部 Y 形连接，其额定电压为线电压，内部为 M 形连接（即分为三个独立部分），其额定电压为每一独立部分的电压。

⑥ 第二特征号：用于表示电容器的额定容量或额定电容，额定容量的单位为 kV·A，额

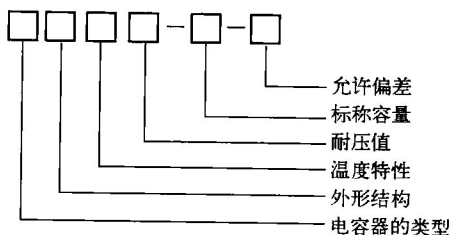
定电容的单位为  $\mu\text{F}$  (Y 系列的用  $\text{pF}$ )。

⑦ 第三特征号：用于表示并联、串联、滤波电容器的相数或电热电容器的额定频率，单相用“1”表示，三相用“3”表示，额定频率的单位为  $\text{kHz}$ 。对于内部为 M 形连接的三相电容器，相数以“1×3”表示。

⑧ 尾注号：用于表示电容器的主要特征，“尾注号”字母的含义在产品的样本、使用说明书等有关文件中说明。当不出现“第三特征号”时，尾注号应在第二特征号的后面。

## 2. 国外电容器的型号命名方法

国外电容器的型号含义如下：



① 第一部分用字母表示电容器的类型，其含义如表 1-4 所示。

表 1-4 第一部分：类别

| 字 母        | 含 义      | 字 母      | 含 义       |
|------------|----------|----------|-----------|
| CM、CB、DM   | 云母电容器    | CL、CLR   | 非固体钽电解电容器 |
| CC、CK、CKB  | 瓷介电容器    | CY、CYR   | 玻璃釉电容器    |
| CE、CV、NDS  | 铝电解电容器   | CA、CN、CP | 纸介电容器     |
| CS、CSR、NDS | 固体钽电解电容器 | CH、CHR   | 金属化纸介电容器  |

② 第二部分用数字表示外形结构。

③ 第三部分用字母表示温度特性，其含义如表 1-5 所示。

表 1-5 第三部分：温度特性

| 字 母 | 含 义          | 字 母 | 含 义           |
|-----|--------------|-----|---------------|
| A   | +100(10-6/℃) | T   | -470(10-6/℃)  |
| B   | +30(10-6/℃)  | U   | -750(10-6/℃)  |
| C   | 0            | V   | -1000(10-6/℃) |
| H   | -30(10-6/℃)  | W   | -1500(10-6/℃) |
| L   | -80(10-6/℃)  | X   | -2200(10-6/℃) |
| P   | -150(10-6/℃) | Y   | -3300(10-6/℃) |
| R   | -220(10-6/℃) | Z   | -4700(10-6/℃) |
| S   | -330(10-6/℃) |     |               |

④ 第四部分用字母或数字表示耐压值,其含义如表1-6所示。

表1-6 第四部分:耐压值

| 字 母 | 含 义  |      |     |      | 字 母 | 含 义 |    |     |      |
|-----|------|------|-----|------|-----|-----|----|-----|------|
|     | 0    | 1    | 0   | 1    |     | 3   |    |     |      |
| A   | 1    | 10   | 100 | 1000 | G   | 4   | 40 | 400 | 4000 |
| B   | 1.25 | 12.5 | 125 | 1250 | H   | 5   | 50 | 500 | 5000 |
| C   | 1.6  | 16   | 160 | 1600 | J   | 6.3 | 63 | 630 | 6300 |
| D   | 2    | 20   | 200 | 2000 | K   | 8   | 80 | 800 | 8000 |
| E   | 2.5  | 25   | 250 | 2500 | Z   | 9   | 90 | 900 | 9000 |
| F   | 3.15 | 31.5 | 315 | 3150 |     |     |    |     |      |

⑤ 第五部分用数字表示标称容量,其含义如表1-7所示。

表1-7 第五部分:标称容量

| 数 字 | 含 义   |             | 数 字 | 含 义          |                 |
|-----|-------|-------------|-----|--------------|-----------------|
|     | 普通电容器 | 电解电容器       |     | 普通电容器        | 电解电容器           |
| 0R5 | 0.5pF | 0.5 $\mu$ F | 221 | 200pF        | 200 $\mu$ F     |
| 010 | 1pF   | 1 $\mu$ F   | 103 | 0.01 $\mu$ F | 10 000 $\mu$ F  |
| 1R5 | 1.5pF | 1.5 $\mu$ F | 333 | 0.03 $\mu$ F | 33 000 $\mu$ F  |
| 100 | 10pF  | 10 $\mu$ F  | 104 | 0.1 $\mu$ F  | 100 000 $\mu$ F |
| 101 | 100pF | 100 $\mu$ F |     |              |                 |

⑥ 第六部分用字母表示允许偏差,其含义如表1-8所示。

表1-8 第六部分:允许偏差

| 字 母 | 含 义        | 字 母 | 含 义         |
|-----|------------|-----|-------------|
| G   | $\pm 30\%$ | J   | $\pm 120\%$ |
| H   | $\pm 60\%$ | K   | $\pm 250\%$ |



## 1.2 电容器技术性能指标和损耗角正切值

### 1.2.1 电容器主要性能指标

#### 1. 运行技术条件

电容器安装运行地区环境温度范围为 $-40 \sim +45^{\circ}\text{C}$ ,其中GMKP/BFF、GMKP/BFM型电容器为 $-25 \sim +45^{\circ}\text{C}$ ,其余为 $-40 \sim +45^{\circ}\text{C}$ ;海拔高度不超过1000m。对安装地点高度超过

1000m 电容器的极间介质应能承受下列两种试验电压之一：工频交流电压： $U_{YJ}=2.15U_n$ ；历时 10s，直流电压： $U_{YZ}=4.3U_n$ ；历时 10s。电容器端子与外壳的绝缘水平应能承受如表 1-9 所示的试验电压。

表 1-9 试验电压

| 绝缘等级<br>(kV) | 电容器额定电压<br>(kV)          | 绝缘水平 (kV)    |    |                                  |
|--------------|--------------------------|--------------|----|----------------------------------|
|              |                          | 工频试验电压, 1min |    | 雷电冲击试验电压 1.2 ~ 1.5/50 $\mu$ s、峰值 |
|              |                          | 干试           | 湿式 |                                  |
| 3            | 3.15                     | 25           | 18 | 40                               |
| 6            | 6.6/ $\sqrt{3}$ , 6.3    | 30           | 23 | 60                               |
| 10           | 10.5, 11, 11/ $\sqrt{3}$ | 42           | 30 | 75                               |
| 20           | 19, 20                   | 65           | 50 | 125                              |

电容器具有如表 1-10 所示的工频稳态电压能力。

表 1-10 工频稳态电压

| 工频过电压      | 最大持续时间    | 说明                         |
|------------|-----------|----------------------------|
| 1.10 $U_n$ | 长期        | 指长期工作电压的最高值应不超过 1.10 $U_n$ |
| 1.15 $U_n$ | 30min/24h | 系统电压调整与波动                  |
| 1.20 $U_n$ | 5min      | 轻负荷时电压升高                   |
| 1.30 $U_n$ | 1min      | 同上                         |

表 1-10 中的 1.20 $U_n$ 、1.30 $U_n$  及其对应的运行时间在电容器的寿命期间总共应不超过 200 次，其中若干次过电压可能是在电容器内部温度低于 0℃ 到下限温度范围内发生。为了延长电容器的使用寿命，电容器应经常维持在额定电压下运行。

电容器能承受第一个峰值不超过 2.2 $U_n$ ，持续 1/2 周期的过渡过电压。电容器允许在由于电压升高及高次谐波造成的有效值为 1.3 $I_n$  的稳定过电流下运行，对于电容具有最大正偏差的电容器，这个过电流允许达到 1.43 $I_n$ 。

电容器的实测电容值与额定值之差不超过额定电容值的 -5% ~ +10%，三相电容器中任何两线路端子间测得的最大与最小电容值之比应不大于 1.06。内部装有放电电阻的电容器在与电源断开后，能在 10min 内由额定电压的峰值降到 75V (低压电容器) 以下。若需要在 5min 内额定电压的峰值降到 50V 以下，则应在订货时特别加以说明。电容器导电杆能承受的扭矩如表 1-11 所示。

表 1-11 电容器导电杆能承受的扭矩

| 导电杆螺纹 | 螺母扳手的扭矩 N·m |      |
|-------|-------------|------|
|       | 最大值         | 最小值  |
| M12   | 15          | 7.5  |
| M16   | 30          | 15.0 |

## 2. 电容器的主要参数

电容器的主要参数有标称容量(简称容量)、允许偏差、额定电压、漏电流、绝缘电阻、损耗因数、温度系数、频率特性等。

### (1) 标称容量

标称容量是指标注在电容器上的电容量。电容量的基本单位是法拉(简称法),用字母“F”表示。在实际应用时,电容量在1万皮法以上电容量,通常用微法作为单位,例如,0.047 $\mu$ F、0.1 $\mu$ F、2.2 $\mu$ F、47 $\mu$ F、330 $\mu$ F、4700 $\mu$ F等。电容量在1万皮法以下的电容器,通常用皮法作为单位,例如,2pF、68pF、100pF、680pF、5600pF等。标称容量的标注方法有直标法、文字符号标注法和色标法等。

### (2) 允许偏差

允许偏差是指电容器的标称容量与实际容量之间的允许最大偏差范围。电容器的容量偏差与电容器介质材料及容量大小有关。电解电容器的容量较大,误差范围大于 $\pm 10\%$ ;而云母电容器、玻璃釉电容器、瓷介电容器及各种无极性高频有机薄膜介质电容器(如涤纶电容器、聚苯乙烯电容器、聚丙烯电容器等)的容量相对较小,误差范围小于 $\pm 10\%$ 。

电容器实际电容量与标称电容量的偏差称误差,在允许的偏差范围称精度。精度等级与允许误差对应关系:00(01)级;允许误差为: $\pm 1\%$ 、0(02)级;允许误差为: $\pm 2\%$ ;I级;允许误差为: $\pm 5\%$ ;II级;允许误差为: $\pm 10\%$ ;III级;允许误差为: $\pm 20\%$ ;IV级;允许误差为: $-10\% \sim +20\%$ ;V级;允许误差为: $-20\% \sim +50\%$ ;VI级;允许误差为: $-30\% \sim +50\%$ 。

常用电容器为I、II、III级,电解电容器用IV、V、VI级,选用时应根据用途选取。例如,某一电容器标有220nJ,表示这个电容器的标称电容量为220nF,实际电容量应在220nF $\pm 5\%$ 之内,此处J表示容量误差为 $\pm 5\%$ 。若J改为K,表示误差为 $\pm 10\%$ ,改为M表示误差为 $\pm 20\%$ 。

### (3) 额定电压

额定电压也称电容器的耐压值,是指电容器在规定的温度范围内,能够连续正常工作时所能承受的最高电压。在不注明的情况下,均指额定工作电压。该额定电压值通常标注在电容器上。在最低环境温度和额定环境温度下可连续加在电容器的最高电压有效值,一般直接标注在电容器外壳上,如果工作电压超过电容器的耐压,电容器将被击穿,造成不可修复的永久损坏。在实际应用时,电容器的工作电压应低于电容器上标注的额定电压值,否则会造成电容器因过压而击穿损坏。

### (4) 漏电流

电容器的介质材料不是绝对绝缘体,在一定的工作温度及电压条件下,也会有电流通过,此电流即为漏电流。一般电解电容器的漏电流略大一些,而其他类型电容器的漏电流较小。

### (5) 绝缘电阻

绝缘电阻也称漏电阻,它与电容器的漏电流成反比。理想电容器,在其上加有直流电压时,应没有电流流过电容器,而实际上存在有微小的漏电流。直流电压除以漏电流的值,即

为电容器的绝缘电阻。电容器的绝缘电阻是一个不稳定的电气参数，它会随着温度、湿度、时间的变化而变化。现在 CL11、CBB22 等塑料薄膜电容器的绝缘电阻值可达到  $5000\text{M}\Omega$  以上。电解电容器的漏电流越大，绝缘电阻越小。绝缘电阻越大，表明电容器的漏电流越小，质量也越好。当电容较小时，绝缘电阻的性能主要取决于电容的表面状态；当容器的电容量大于  $0.1\mu\text{F}$  时，绝缘电阻的性能主要取决于介质的性能。

#### (6) 电容的时间常数

为恰当地评价大容量电容的绝缘情况而引入了时间常数，其数值等于电容的绝缘电阻与容量的乘积。

#### (7) 损耗因数

电容器接于交流电压时，大部分电流为容性电流  $I_C$ ，作为交换电场能量之用，另一部分为介质损失引起的电流  $I_R$ ，通过介质转换为热能而消耗掉。

#### (8) 温度系数

温度系数是指在一定温度范围内，温度每变化  $1^\circ\text{C}$  时，电容器容量的相对变化值。温度系数值越小，电容器的性能越好。

#### (9) 频率特性

频率特性是指电容器对各种不同高低的频率所表现出的性能（即电容器的各种电参数随着电路工作频率的变化而变化的特性）。不同介质材料的电容器，其最高工作频率也不同，例如，容量较大的电容器（如电解电容器）只能在低频电路中正常工作，高频电路中只能使用容量较小的高频瓷介电容器或云母电容器等。

### 1.2.2 电容器的损耗、损耗角正切和等值电路

#### 1. 电容器的损耗、损耗角正切

在电场作用下，电容在单位时间内因发热所消耗的能量叫做损耗。各类电容都规定了其在某频率范围内的损耗允许值。在直流电场的作用下，电容器的损耗以漏导损耗的形式存在，一般较小；在交变电场的作用下，电容的损耗不仅与漏导有关，而且与周期性的极化建立过程有关。电容器的无功功率：

$$Q = UI_C = UI \sin \varphi \quad (1-3)$$

因  $I_C = U/X_C = UC\omega$ ，故  $Q = U^2 C\omega$ 。

电容器在外施交流电压的作用下，除了会输出一定容量的无功功率  $Q$  之外，在电容器的内部介质、在电容器的极板（铝箔）、引线等导体中，以及在瓷瓶间的泄漏电流等都会产生一定的有功损耗功率  $P_R$ 。电容器的有功损耗为

$$P_R = UI_R = UI \cos \varphi = UI_C \tan \delta = Q \tan \delta = \omega CU^2 \tan \delta \quad (1-4)$$

式中， $U$  为外施交流电压， $\text{kV}$ ； $C$  为电容器的电容量， $\mu\text{F}$ ； $\omega$  为角频率， $\omega = 2\pi f$ ， $f$  为频率，单位  $\text{Hz}$ ； $Q$  为电容器容量， $\text{Var}$ ； $P_R$  为电容器损耗功率， $\text{W}$ ； $\tan \delta$  为电容器介质损耗角正切值，用百分数表示。

通常把电容器的有功功率  $P$  与无功功率  $Q$  的比值称为该电容器的损耗角正切值，并用下式表示：