

运行电容器组需控制电容偏差

许子亮¹, 江钧祥^{2*}

(1. 涡阳供电公司生产部, 安徽 涡阳 233600 2. 合肥华威自动化有限公司, 安徽 合肥 230001)

摘要:通过计算与分析说明, 电容器组的三相电容偏差应控制在合理范围内, 而电容器三相电流之差不大于 5%, 是避免电容器因承受电压过高而早期损坏, 保证电容器组安全运行的重要技术措施。

关键词:电容器组; 控制; 电容偏差

中图分类号: TM 761 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672 - 9706(2007)03 - 0054 - 04

Running Capacitor Group Needs Controlling Capacitance Deviation

XU Zi-liang¹, JIANG Jun-xiang²

(1. Guoyang Power Supply Company, Guoyang 233600 China; 2. Hefei Huawei Automation Ltd., Hefei 230001 China)

Abstract By calculation and analysis the deviation of three-phase electric capacity of capacitor set should be controlled in the reasonable scope three-phase electric current deviation of capacitor not over more than 5%, consequently the earlier period damage of capacitor is avoided because of bearing high electric voltage and it guarantees capacitor set safe

Key words capacitor set control the deviation of electric capacity

随着我国国民经济的快速发展, 电力负荷不断增加, 保证电力系统安全经济运行日显重要。加强电力系统无功管理可以稳定电网电压, 提高功率因数与降低线损, 提高供电质量水平。为此, 电力部门投入大量资金在众多的变电站里装设了高压并联电容器组, 要使电力系统能安全经济地运行, 就需保证高压并联电容器组的安全运行。

高压并联电容器组(简称电容器组)由高压并联电容器(简称电容器)等元件组成, 电容器是它的主要元件。所以, 要使电容器组能安全经济地运行, 首先就要保证电容器的安全。

电容器与其他电气设备不同, 只要一接入电网, 就处于满负荷状态。而且, 电容器与其他电气设备相比, 其工作场强比较高, 一般均超过 50kV/mm, 为了防止电容器因承受不适当的过电压而使其过早损坏, 严格控制其运行电压是十分必要的。

在国标 GB/T 11024.1-2001《标称电压 1kV 以上交流电力系统用并联电容器》第一部分《总则 性能、试验和定额 安全要求 安装和运行导则》中对电容器运行中允许的电压水平的要求如表 1 所示:

表 1 电容器运行中允许的电压水平

型式	电压因数 $\times UN$ (方均根值)	最大持续时间	说明
工频	1.00	连续	
工频	1.10	每 24h 中 8h	系统电压调整和波动
工频	1.15	每 24h 中 30min	系统电压调整和波动
工频	1.20	5min	轻负荷下电压升高
工频	1.30	1min	

在电力行业标准 DL/T 840-2003《高压并联电容器使用技术条件》中对电容器承受的工频稳定过

* 收稿日期: 2007-03-15

作者简介: 许子亮(1968-), 男, 涡阳供电公司生产部, 助理工程师。

江钧祥(1940-), 男, 华威自动化有限公司, 高级工程师。

电压的能力的要求如表 2所示:

表 2

工频过电压倍数	持续时间	说明
1.05	连续	
1.10	每 24h 中 8h	
1.15	每 24h 中 30min	系统电压调整和波动
1.20	5min	轻负荷时电压升高
1.30	1min	轻负荷时电压升高

所以, 要使电容器组能安全运行, 必须保证电容器组内的每一台电容器所承受的运行电压均符合表 1、表 2 的要求。

在国标 GB50227-95《并联电容器装置设计规范》中, 对高压并联电容器组的接线方式作了规定: “电容器组宜采用单星型接线或双星型接线。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接地”。其接线方式如图 1 所示:

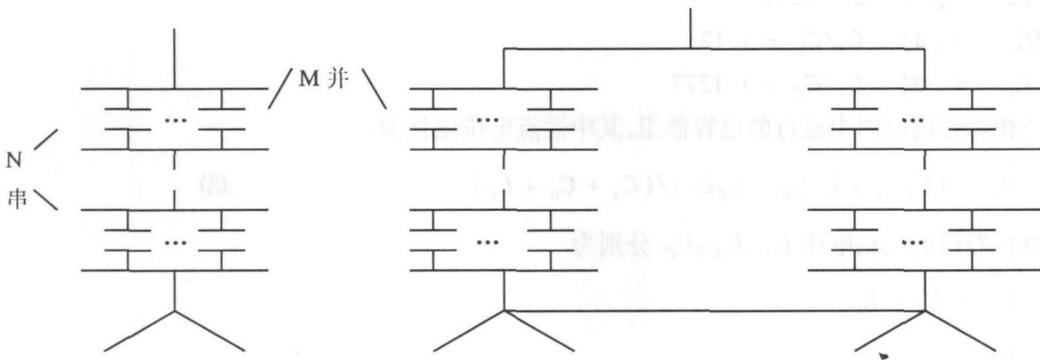


图 1 电容器组的接线方式

由图 1 可知, 电容器组每组由 N 个串联段串联, 每个串联段由 M 个电容器并联组成。一般在 10kV 电容器组中采用 N=1, 在 35kV 或 66kV 电容器组中采用 N=2。

采用星形接线方式的优点是: 若 N=1, 当电容器发生贯穿性击穿时, 其故障电流被限制为 3 倍相电流, 从而减少了发生外壳爆裂事故的可能性。但是星形接线方式也有缺点, 当三相电容不相等 (即存在偏差) 时, 会产生中性点位移, 使电容量较小的一相电容器承受较高的电压。

在安装电容器组时, 由于电容器的电容不可能全部相等, 所以组合后的各相电容也存在一定偏差; 在运行中, 由于电容器故障而使熔断器动作, 使故障相电容减少, 这些都是使电容器组的三相电容存在偏差的原因。

所以, 在实际的电容器组中, 其三相电容存在偏差是客观存在的, 在平衡的三相电源系统中, 必然有一相的电容器承受比其它两相电容器更高的电压。因此, 研究如何控制三相电容的偏差, 对防止这部分电容器承受过高的过电压是十分必要的。

安徽省电力公司在《安徽电网并联电容器组管理规程》中要求: “电容器组的三相电流之差不超过 5%, 当超过时应查明原因, 并采取相应措施”。这一规定实际是适当控制三相电容的偏差, 防止电容器承受过高的过电压而损坏的技术措施。

设中性点不接地星形连接的电容器组, 其三相电容分别为 C_A 、 C_B 、 C_C , 且 $C_A \geq C_B \geq C_C$, 故在任意两线路端子之间测得最大电容 C_{max} 与最小电容 C_{min} 之比值 P 为:

$$P = C_{max} / C_{min} \tag{1}$$

$$\because C_{max} = (C_A \times C_B) / (C_A + C_B)$$

$$C_{min} = (C_B \times C_C) / (C_B + C_C)$$

代入 (1) 式并化简:

$$P = (C_A C_B + C_A C_C) / (1 + C_A C_B) \quad (2)$$

在国标 GB50227-95《并联电容器装置设计规范》中规定：“电容器组三相的任何两个线路端子之间的最大与最小电容之比和电容器组每组各串联段之间的最大与最小电容之比，均不宜超过 1.02”。

在原机械部标准 JB7111-93《高压并联电容器装置》中规定了“装置的任何两线路端子之间电容的最大值与最小值之比应不超过 1.06”。

而在原电力部标准 DL/T604-1996《高压并联电容器装置订货技术条件》中规定“三相电容器组的任意两端子之间，其电容的最大值与最小值之比应不超过 1.02”。

比较后可知 DL 标准与 GB 标准的要求基本相同，而 DL 标准与 JB 标准存在差异。

下面通过计算与分析来比较两个标准能否满足《安徽电网并联电容器组管理规程》中要求“三相电流之差不得超过 5%”的规定。

在《JB7111-93》中，要求 $P \leq 1.06$ 取最大值 $P=1.06$ 代入 (2) 式，可得

$$C_A / C_C - 0.06 \times C_A C_B = 1.06$$

解得：1.12 $\leq C_A / C_C \leq 1.1277$

其中：当 $C_B = C_A$ 时 $C_A C_C = 1.12$

$$C_B = C_C \text{ 时 } C_A C_C = 1.1277$$

在三相对称的电网中运行的电容器组，其中性点电位偏移为：

$$U_0 = (C_A U_A + C_B U_B + C_C U_C) / (C_A + C_B + C_C) \quad (3)$$

则电容器组的三相电压 $U_{A'}$ 、 $U_{B'}$ 、 $U_{C'}$ 分别为

$$U_{A'} = U_A - U_0$$

$$U_{B'} = U_B - U_0$$

$$U_{C'} = U_C - U_0$$

当 $P=1.06$ 对不同的 $C_A C_B$ ，电容器组的三相实际运行电压与系统电压的比值、电容器组各相电流的比值如表 3 所示：

表 3

$C_A C_B$	C_A / C_C	C_B / C_C	$U_{A'} / U_A$	$U_{B'} / U_B$	$U_{C'} / U_C$	$I_{A'} / I_{CC}$	$I_{B'} / I_{CC}$
1	1.12	1.12	0.9820	0.9820	1.0370	1.0606	1.0606
1.01	1.1206	1.1095	0.9800	0.9853	1.0356	1.0604	1.0556
1.03	1.1218	1.0891	0.9762	0.9917	1.0328	1.0603	1.0458
1.05	1.1230	1.0695	0.9726	0.9981	1.0303	1.0601	1.0361
1.07	1.1242	1.0507	0.9690	1.0042	1.0277	1.0600	1.0267
1.09	1.1254	1.0325	0.9654	1.0102	1.0253	1.0597	1.0173
1.11	1.1266	1.0150	0.9621	1.0160	1.0230	1.0595	1.0081
1.1277	1.1277	1.0	0.9562	1.0210	1.0210	1.0561	1.0

从表 3 可以看到，在符合 JB 标准《高压并联电容器装置》中的规定：“装置的任何两线路端子之间电容的最大值与最小值之比应不超过 1.06”的条件下，电容器组的三相实际运行电压是不同的，A 相电压低于系统的相电压，B 相随着电容 $C_A C_B$ ($C_A C_C$) 的比值不同而高于或低于系统的相电压，C 相电压则均高于系统的相电压。电容器组的 C 相电压随着 $C_A C_B$ 值的减小，其过电压倍数 β 增大，当 $P=1.06$ ， $C_A C_B=1$ 时，其 $\beta = U_{C'} / U_C = 1.037$ 达到最高值。

$$\text{根据} \begin{cases} U_0 = \frac{C_A U_A + C_B U_B + C_C U_C}{C_A + C_B + C_C} \\ U_C = U_C - U_0 \end{cases}$$

可解得当 $\frac{C_A}{C_B} = 1$ 时, 各不同 P 值时的 β 值, β 可用下式表示

$$\beta = \frac{3(2P - 1)}{4P - 1} \quad (4)$$

$P=1.00 \sim 1.06$ 时的 β 值列于表 4

表 4

P	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
β	1.00	1.0066	1.0130	1.0192	1.0253	1.0313	1.0370

同时, 从表 3 中可知, 当 C 相的过电压为 1.0370 倍时, I_{CA} / I_{CC} 与 I_{CB} / I_{CC} 的比值也达到最高值 1.0606 已超过《安徽电网并联电容器组管理规程》的要求。

因此标准 JB7111-93《高压并联电容器装置》不能满足《管理规程》的要求, 不能作为电力部门验收高压并联电容器组的依据。同样, 若制造部门提供按 JB 标准生产的高压并联电容器组, 电力部门应拒绝使用。

而根据 DL/T604-1994《高压并联电容器装置订货技术条件》的要求, 其 $P=1.02$ 在 $C_A=C_B$ 时, 计算可得 C 相的过电压为 1.0130 其 I_{CA} / I_{CC} 与 I_{CB} / I_{CC} 的比值为 1.02 因此根据标准 DL/T604-1994《高压并联电容器装置订货技术条件》来控制三相电容偏差, 可以满足《管理规程》的要求, 且有一定裕度。

因此, 电力部门在订购高压并联电容器组时, 应要求制造部门按 DL 标准生产, 以保证电容器组运行后, 其三相电流符合《管理规定》的要求。

电容器组在实际运行中, 由于各种原因, 电容器会发生元件击穿短路, 使保护电容器的熔断器动作, 将故障电容器切除。故障相因切除故障电容器后, 其相电容减小, 使电容器组的 P 值增大, 故障相承受的电压增高。通过计算可知, 当三相电流之差达到 5% 时, P 约为 1.05 而相电容较小的一相承受的过电压为 1.03 倍左右。无疑的, 当三相电流之差超过 5% 时, 该相承受的过电压倍数亦相应增加。

上述的计算与分析是对 10kV 电容器组, 其串联段 $N=1$ 当电容器组为 35kV 或 66kV 时, 其串联段一般为 $N=2$ 这时由于两个串联段之间的电容存在偏差, 两段电压分布不均, 串联段电容较小的, 将承受较高的电压。计算表明, 若两段电容之比为 1.02 三相电流之差同样达到 5% 时, 串联段电容较小的一段的电容器, 其承受过电压的倍数约为 1.04 左右。

通过上述讨论可知, 为了保证高压并联电容器组安全运行, 在安装电容组时, 应控制其三相电容偏差符合 DL/T604-1994 要求 (即 $P = C_{max} / C_{min}$ 为 1.02)。

10kV 三相电容器组的各相电容一般是由许多台电容器并联后组成的, 由于每台电容器的电容量均不尽相同, 为了使电容器组符合要求, 我们在安装电容器组时, 采取如下措施:

- 1 先将所有电容器的实测电容相加后得到实测总电容, 再除以 3 后, 即可得一相电容量的平均值。
- 2 将电容器按电容量由大至小次序排列后进行调配, 使各相电容的电容量与平均值之差不大于 $\pm 2\%$ 。
- 3 电容器组安装完成后, 测量三相电容器组的任意两端子间的电容, 以确保 $C_{max} / C_{min} > 1.02$ 。

例如: 我们在安装 TBB10-2400/100AK 时, 选用 BFM11/3-100-1W 并联电容器共 24 台, 每相 8 台。安装时, 将所有电容器的实测电容相加后得到其总电容量为 $191.52\mu\text{F}$, 其相电容的平均值为 $63.84\mu\text{F}$, 然后进行适当调配使其各相电容分别为 $64.75\mu\text{F}$ 、 $62.78\mu\text{F}$ 、 $63.99\mu\text{F}$, 安装后, 测得任意两端子间的电容 $C_{max} / C_{min} = 1.016 < 1.02$ 该电容器组运行后, 其三相电流之差小于 5%。目前该电容器组运行正常, 没有出现异常情况。

在电容器组运行时, 我们规定, 当三相电流之差大于 5% 时, 首先应立即检查是否系熔断器动作所致, 以便查明原因并采取相应措施, 保证电容器组的安全运行。

参考文献:

- [1] 《安徽电网并联电容器组管理规程》[S]. 2005 年 2 月
- [2] JB7111-93 高压并联电容器装置 [S].
- [3] DL/T604-1996 高压并联电容器装置订货技术条件 [S].

[责任编辑: 朱子]