

超高压和特高压

串联电容补偿装置的通用原理设计

宋怡群 曹荣江 顾霓鸿

(电科院高压开关研究所)

内容提要 本文从组合式设计结构出发,提出了串联电容补偿装置的通用设计思想。文中以500kV输电线路为例,给出了超高压、特高压串联补偿装置的通用原理设计。这套原理设计适用于500kV及其它等级超高压和特高压输电线路。文章的主要内容有:典型单元的选取、典型单元中电容器组的内部接线、台架结构原理以及阻尼元件的确定。

一、引言

超高压、长距离输电线路采用的串联电容补偿装置可以有效地提高线路输送能力,加强系统的动、静稳定度,在世界各国早已获得成功的运行经验。但是,迄今为止,各国的超高压串联补偿装置都是根据所在线路的具体条件设计的,其设计和元件的制造不能通用。

我国对超高压串联电容补偿装置的研究始于60年代。1966年在新安江——杭州——上海线路上建成了第一组220kV串补站。1972年,在刘家峡——秦安——汤峪线路上又建成了两组330kV串补站。这些串联补偿装置的运行是成功的,经济效益显著。近年,我国500kV线路得到进一步发展,拟议中的某些线路上将加装500kV级串补站。本文在我国220、330kV串补站的基础上,借鉴国内外的经验,提出一套超高压、特高压串联电容补偿装置的通用原理设计。它采用独创的组合式设计思想,设计出一种“单元式”结构,根据线路的具体情况,再将它们按所需参数组合,所有超高压、特高压等级的串补站均由这种“单元”组成,从而简化设计与制造,具有较大的实用性和经济性。希望它能对我国的串补站的设计和建设起推动作用。

二、典型单元的选取

前已述及,本设计的通用性在于通过“典型单元”的组合构成串补站。这就使得今后不必为每一个串补站单独作出设计,只需根据线路、系统的具体情况将若干“典型单元”进行组合即可。典型单元由两个大台相串,或由两个大台相串、若干个大台并联。每个典型单元具有与之相配用的保护装置,自成一个整体单元。在典型单元的组合中(指若干个典型单元相串联时),各单元保护回路中的间隙和并联断路器的工作彼此无关,它们在动作时刻上的差异(不同期性)不会影响各单元的正常工。本通用设计适用于220kV以上直至1000kV

任何电压等级。本文仅以500kV为例分析、说明之。

典型单元的电容器选用国产CGM-1-70-1型电容器，因其容量较大，介质为硅油，无毒性，其参数见表1。如果今后生产出性能、参数更好的电容器，它也很容易被替换而不致使通用设计变化太多。

表1 CGM-1-70-1型串联电容器技术参数

额定电压 (kV)	额定容量 (kvar)	额定电流 (A)	电 容 (μF)	容 抗 (Ω)	介质材料	重 量 (kg)	长×宽×高 (mm ³)
1	70	70	223	14.2857	硅油薄膜	50	373×136×925

考虑到对于500kV输电线路，一般只有当每条线路的输送功率在80~90万千瓦以上时才有必要采用串联电容补偿，另外，每条线路输送功率超过200万千瓦已属罕见，因此，典型单元的并联电容器数选为16并、2×12并以及3×12并三种。相应的通过电流范围为1000~2500A。

在确定典型单元中的电容器数和大台数时，还考虑了以下几点因素：

1. 每个单元中电容器的串并联台数应选择适当，使补偿度能上下调节以适应各种不同情况，级差不宜太大。
2. 每个单元中的电容器总台数不能太多，使台架的承重易于设计。
3. 每个单元的“跨电压”不能太高，要充分利用现有设备的参数。目前，我国设计的保护元件的电压等级为35kV。

综上所述，在通用设计中选用了以下4种大台：

第1种大台上的电容器台数为16并×10串。

第2种大台上的电容器台数为12并×10串。

第3种大台上的电容器台数为16并×12串。

第4种大台上的电容器台数为12并×12串。

由上述4种大台组成以下6种典型单元，各典型单元中的电容器串并联台数为：

- (一) 16并×20串：由2个第1种大台串联组成。
- (二) 2×12并×20串：由4个第2种大台组成，2台并联，2台串联。
- (三) 3×12并×20串：由6个第2种大台组成，3台并联，2台串联。
- (四) 16并×24串：由2个第3种大台串联组成。
- (五) 2×12并×24串：由4个第4种大台组成，2台并联，2台串联。
- (六) 3×12并×24串：由6个第4种大台组成，3台并联，2台串联。

选择这6种典型单元，使之串联，可以满足500kV电压等级中的不同串补度（15%~60%）和不同输送电流（1000~2500A）的需要。

三、典型单元的内部接线与保护回路

典型单元系由数百台电容器串并联组成。电容器组的接线设计必须保证当某台电容器发生断线或绝缘击穿时，不会危及其它电容器乃至整个典型单元。经分析和计算，选用图1所

示的典型单元的内部接线。

典型单元的保护回路如图 2 所示。根据国内外的经验, 这种接线的运行是成功的。其中 C 为串补电容器, G_1 为主保护间隙, G_2 为后备保护间隙, B 为并联断路器, R 、 L_2 为阻尼电阻与阻尼电感, G_3 为串联间隙, K_1 为隔离开关, K_2 、 K_3 为带接地刀闸的隔离开关。在本例中, 间隙 G_1 的整定值为电容器组额定电压的 3.5 倍, 而间隙 G_2 的整定值为 5 倍。计算表明, 对于负荷电流小于 2500A 且主保护间隙整定值不超过 3.5 倍者, 典型单元的阻尼元件都可以通用为 $R = 1.5 \Omega$, $L_2 = 480 \mu\text{H}$ 。

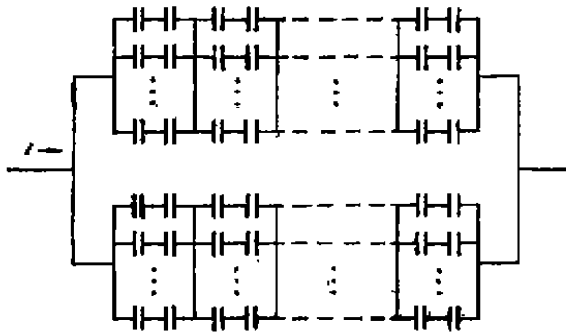


图 1 典型单元电容器组内部接线图
(2×12 并)

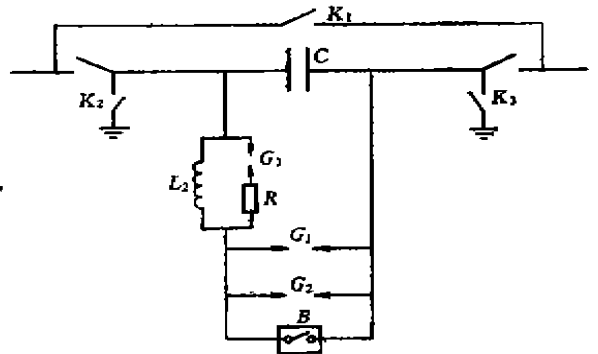


图 2 典型单元的保护回路图

四、典型单元的台架结构原理

1. 必须将每个典型单元的电容器布置在两个大台上, 以确保站内故障转化为站外故障 (见图 3)。而对于 2×12 并或 3×12 并的典型单元, 则需要布置四个或六个大台, 每两个大台串联后与其它大台并联, 2×12 并的典型单元大台布置示意图如图 4 所示。

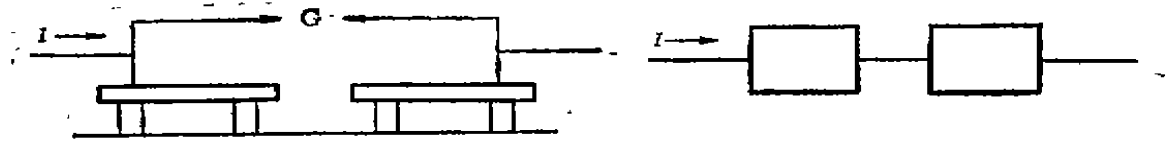


图 3 两个大台串联组成的典型单元示意图

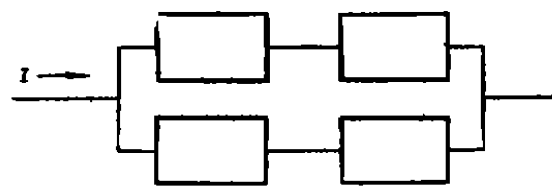


图 4 由 4 个大台组成的典型单元示意图

2. 为了消除某个串联小组中两台电容器同时故障的可能性, 将同一串联小组中的两台电容器分置于相邻的两个小台上, 如图 5 中的 C_1 和 C_2 。图中 f_1, \dots, f_n 为跌落式熔断器, 当电容器外壳绝缘损坏时, 熔管跌落, 发出指示。 C_0 为附加电容, 当小台对大台的绝缘损坏

时, C_0 可以防止熔断器爆裂而产生的事故。 G_0 为引导间隙, 它可以保证在加了 C_0 后仍然可以使站内故障转化为站外故障。

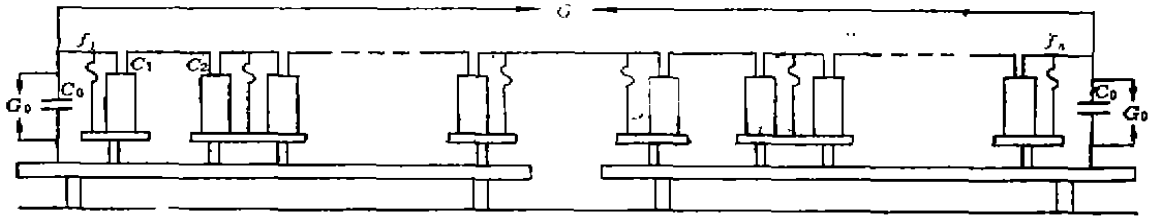


图 5 典型单元的台架结构示意图

五、500kV串补站设计算例

我国东北某500kV输电线路一期工程1995年正常输送功率为1000 MW, 运行电压计算值为525kV, 线路长度为520km, 导线为 $4 \times \text{LGJQ}-400$ (单位感抗为 $0.28 \Omega/\text{km}$), 线路感抗 x_l 为 145.6Ω , 串补站设在线路中间处, 计划补偿度 k 为 57% 。

根据以上数据, 可以计算出负荷电流

$$I = \frac{1000}{525 \times \sqrt{3}} = 1.1 \text{ kA}$$

单台电容器额定电流 I_N 为 70 A , 可以求出电容器的并联数

$$\frac{I}{I_N} = \frac{1100}{70} = 15.7$$

所以选用16并的典型单元。

根据计划补偿度和线路感抗, 可以算出所需的补偿容抗

$$x_c = kx_l = 0.57 \times 145.6 = 83 \Omega$$

因单台电容器的容抗为 14.2857Ω , 电容器的并联数为16, 所以电容器的串联数应为

$$\frac{83}{14.2857/16} = 93$$

因此, 可选3个“16并 \times 24串”的典型单元与1个“16并 \times 20串”的典型单元串联构成此串补站。

$$\text{实际补偿度} = \frac{\left(\frac{3 \times 24}{16} + \frac{20}{16} \right) \times 14.2857}{145.6} = 56.4\%$$

实际补偿容量 = $70 \times 16 \times (3 \times 24 + 20) \times 3 = 309 \text{ Mvar}$, 可以满足系统要求。

六、结 论

1. 本文给出了500 kV 串联补偿装置的典型单元, 这些典型单元的组合, 可以构成不同的串补站以满足不同的补偿度 ($15\% \sim 60\%$) 和不同的输送电流 ($1000 \sim 2500 \text{ A}$, 对应于输送功率 $866 \sim 2160 \text{ MW}$) 的要求。

2. 将所给典型单元有关500kV 的绝缘部件换成其它电压等级的绝缘部件, 即可构成其它电压等级的典型单元。将这些典型单元进行不同的组合, 可以构成超高压或特高压串补站以满足不同补偿度和输送功率的要求。