

# 变电工程设计电气专业主设人工作手册

## 专题报告

### 主要电气设备选择

中国电力工程顾问集团  
华北电力设计院工程有限公司变电电气室  
2011 年 12 月



# 目 录

<b>第 1 章 主要电气设备选择的一般原则和依据 .....</b>	<b>1</b>
1.1 一般原则.....	1
1.2 工程规模.....	2
1.3 自然条件.....	3
<b>第 2 章 主变压器选择 .....</b>	<b>3</b>
<b>第 3 章 开关设备选择 .....</b>	<b>4</b>
3.1 550kV HGIS .....	4
3.2 252kV GIS .....	6
3.3 66kV 配电装置.....	9
<b>第 4 章 低压并联无功补偿装置 .....</b>	<b>12</b>
4.1 66kV 并联电容器.....	12
4.2 电抗器.....	14
<b>第 5 章 绝缘子串选择 .....</b>	<b>16</b>
5.1 500kV 软导线用耐张绝缘子串 .....	16
5.2 500kV 母线用 V 型耐张绝缘子串 .....	17
5.3 500kV 软导线用悬垂绝缘子串 .....	17
5.4 220kV 软导线用耐张绝缘子串 .....	18
5.5 220kV 软导线用悬垂绝缘子串 .....	19
<b>第 6 章 支持绝缘子选择 .....</b>	<b>20</b>
6.1 66kV 管母线支持绝缘子选择.....	20
6.2 66kV 软导线支持绝缘子选择.....	22



# 第1章 主要电气设备选择的一般原则和依据

## 1.1 一般原则

1. 设备及导体选择按满足正常运行、检修、短路和过电压状态下的要求，并考虑远景发展及上级单位的特殊要求。

(1) 满足环境条件及系统条件。

(2) 设备额定电流大于等于回路持续工作电流。

(3) 中性点接地方式：一般地，220kV 及以上为直接接地，110kV 为直接接地或不接地方式，66kV 及以下为不接地方式。特殊情况下，根据系统要求确定。

(4) 短路水平：应按系统最大运行方式下可能流经被校验设备的最大短路电流，并考虑设备制造能力的限制。

(5) 短路电流时间：校验开关设备开断能力时，宜采用开关设备实际开断时间（主保护动作时间加断路器开断时间）；确定短路电流热效应计算时间时，宜采用后备保护动作时间加相应断路器的开断时间。

(6) 电器的绝缘水平：根据 DL/T 620 或国家电网公司标准技术条件的要求确定。

(7) 电晕及无线电干扰允许水平：

电气设备及金具在 1.1 倍最高工作相电压下户外晴天夜晚无可见电晕。

电气设备在 1.1 倍最高工作相电压下户外晴天无线电干扰电压不超过 500 $\mu$ V。对于在分、合闸状态下的隔离开关，在 1.1 倍最高工作相电压下，户外晴天无线电干扰电压不应大于 2000 $\mu$ V。

(8) 噪声允许水平

电气设备连续性噪音不应大于 80db(A)；户外断路器非连续性噪音不应大于 110db(A)。

(9) 设备的机械强度

荷载组合方式如下表所列：

表 1-1 荷载组合方式

状态	风速	自重	引下线重	覆冰重量	短路电力	地震力
正常时	有冰时的风速	√	√	√	—	—
	最大风速	√	√	—	—	—
短路时	50%最大风速，且不小 15m/s	√	√	—	√	—
地震时	25%最大风速	√	√	—	—	相应震级地震力

注：√为计算时应采用的荷载条件。

瓷套和支柱绝缘子的机械强度安全系数，按长期作用荷载校验时，不应小于 2.5，按短时作用荷载校验时，不应小于 1.67。

#### (10) 抗震能力

设备及其瓷套、支柱绝缘子应能承受下列地震力，并按动态带支架进行设计和试验：地面水平加速度 0.3g；地面垂直加速度按水平加速度的 65%选取。当仅对设备本体进行抗震设计时，应乘以设备支架的动力反应放大系数。

(11) 外绝缘的泄漏比距：电气设备瓷外绝缘的泄漏比距应按现行国家标准《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》GB/T16434 的有关规定执行。。断路器同极断口间的泄漏比距为对地的 1.2 倍。

2. 选择计算的有关公式及数据取值均按照以下的规程规定进行：

《导体和电器选择设计技术规定》 DL/T 5222

《高压架空线路和发电厂、变电所环境分级及外绝缘选择标准》 GB/T 16434

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》 DL/T 620

《电力工程电气设计手册 1 电气一次部分》

**本专题以 500kV 变电站为例，说明主要电气设备选择的一般原则和步骤。**

## 1.2 工程规模

本期规模为： 2 组 1200MVA/500kV 的单相自耦三绕组变压器；500kV 出线 2 回；220kV 出线 6 回；每台主变第三绕组侧配置 2 组 60MVar 低压电容器和 1 组 60MVar 低压电抗器。

最终规模为： 4 组 1200MVA/500kV 的单相自耦三绕组变压器；500kV 出线 10 回；220kV 出线 14 回；每台主变第三绕组侧配置 4 组 60MVar 低压电容器和 2 组 60MVar 低压电抗器。

### 1.3 自然条件

#### 1. 温度

最高气温： +37.9℃

最低气温： -25.7℃

导线覆冰厚度： 10mm

最大风速： 35m/s

#### 2. 地震烈度

地震烈度按 7 度设防。

#### 3. 海拔高度

海拔高度小于 1000m。

#### 4. 污秽

污秽等级 III 级。500kV、220kV 泄漏比距为 2.5cm/kV， 66kV 泄漏比距为 3.1cm/kV。

## 第2章 主变压器选择

系统专业提供主变压器的额定电压、抽头范围、高-中侧短路阻抗和调压方式（有载调压或无励磁调压）。有载调压多为中性点调压，无励磁调压可为中压侧线端调压。

型式：户外单相自耦三绕组有载调压降压变压器

容量：400/400/120MVA

额定电压：525/230±10×1.0%/66kV

联接组别：YN，yn0，d11

中性点接地方式：直接接地

阻抗：高-中 18（20）%

高-低 58（60）%

中-低 38（38）%

冷却方式：ONAN/ONAF（额定容量 70%以上为 ONAF 冷却方式，额定容量 70%以下为 ONAN 冷却方式。）

## 第3章 开关设备选择

### 3.1 550kV HGIS

#### 3.1.1 500kV 断路器

主变压器进线回路工作电流： $I_g = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 500} \times 1.4 = 1940A$

出线工作电流： $I_g = 1139 \times 4 \times 0.83 = 3781.5A$

导线型号 LGJ-630×4

若系统专业提了出线负荷，需按  $I_g = \frac{\dots \times 10^3}{\sqrt{3} \times 500} = \dots A$

设备主要技术参数如下：

额定电压：	500kV
最高工作电压：	550kV
额定电流：	4000A
额定短路开断电流：	63kA
动稳定电流（峰值）：	160kA
额定短时耐受电流（2s）：	63kA
首相开断系数	1.3
合闸电阻	/

技术参数校验：

500kV 母线三相短路电流为 62.6kA，动稳定电流为 159.6kA。

动稳定校验：

$$i_{chl} = 159.6kA < 160kA$$

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 62.6^2 \times 0.4 = 1567.5kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 63^2 \times 2 = 7938kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t > Q_{dt}$$

$t_{js}$ —短路电流周期分量持续时间； $t_b$  继电保护装置动作时间。



### 3.1.2 500kV 隔离开关及接地开关

#### ① 隔离开关

主变压器进线回路工作电流： $I_g = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 500} \times 1.4 = 1940 A$

出线工作电流： $I_g = 1139 \times 4 \times 0.83 = 3781.5 A$

设备主要技术参数如下：

额定电压：	500kV
最高工作电压：	550kV
额定电流：	4000A
动稳定电流（峰值）：	160kA
额定短时耐受电流（2s）：	63kA

#### ② 接地开关

设备主要技术参数如下：

额定电压：	500kV
最高工作电压：	550kV
动稳定电流（峰值）：	160kA
额定短时耐受电流（2s）：	63kA

#### ➤ 技术参数校验：

500kV 母线三相短路电流为 62.6kA，动稳定电流为 159.6kA。

动稳定校验：

$$i_{ch1} = 159.6 kA < 160 kA$$

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 62.6^2 \times 0.4 = 1567.5 kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 63^2 \times 2 = 7938 kA^2 \cdot s$$

$I_t^2 t > Q_{dt}$ ，满足要求

### 3.1.3 500kV 电流互感器和电压互感器

CT	5P/5P/0.2
PT	0.2(3P)/0.2(3P)
动稳定电流（峰值）：	160kA
额定短时耐受电流（2s）：	63kA

➤ 技术参数校验：

500kV 母线三相短路电流为 62.6kA，动稳定电流为 159.6kA。

动稳定校验：

$$i_{chl} = 159.6kA < 160kA$$

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 62.6^2 \times 0.4 = 1567.5kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 63^2 \times 2 = 7938kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t > Q_{dt}, \text{ 满足要求}$$

## 3.2 252kV GIS

### 3.2.1 总的要求

额定电压：	220kV
最高工作电压：	252kV
母线额定电流：	5000A
额定短路耐受电流（2s）：	50kA

### 3.2.2 220kV 断路器

$$\text{主变压器进线回路工作电流: } I_g = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \times 1.4 = 4409A$$

$$\text{出线工作电流: } I_g = 1139 \times 2 \times 0.83 = 1891A \text{ (导线型号 LGJ-630} \times 2 \text{)}$$

分段回路：按母线通流考虑

母联回路：1 个最大元件回路的额定电流

主变、出线和分段间隔设备主要技术参数如下：

额定电压：	220kV
最高工作电压：	252kV
额定电流：	4000A（目前设备制造能力）
额定短路开断电流：	50kA
动稳定电流（峰值）：	125kA
额定短时耐受电流（2s）：	50kA
首相开断系数	1.3

➤ 技术参数校验：

220kV 母线三相短路电流为 48.1kA，动稳定电流为 122.5kA。

动稳定校验：

$$i_{chl} = 122.5kA < 125kA$$

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 48.7^2 \times 0.4 = 948.7kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 50^2 \times 2 = 5000kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t > Q_{dt}, \text{ 满足要求}$$

### 3.2.3 220kV 隔离开关及接地开关

#### ① 隔离开关

$$\text{主变压器进线回路工作电流: } I_g = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \times 1.4 = 4409A$$

$$\text{出线工作电流: } I_g = 1139 \times 2 \times 0.83 = 1891A \text{（导线型号 LGJ-630} \times 2 \text{）}$$

分段回路：按母线通流考虑

母联回路：1 个最大元件回路的额定电流

设备主要技术参数如下：

额定电压：	220kV
最高工作电压：	252kV
额定电流：	4000A
动稳定电流（峰值）：	125kA
热稳定电流（2s）：	50kA

## ② 接地开关

设备主要技术参数如下：

额定电压：	220kV
最高工作电压：	252kV
动稳定电流（峰值）：	125kA
热稳定电流（2s）：	50kA

### ➤ 技术参数校验：

220kV 母线三相短路电流为 48.1kA，动稳定电流为 122.5kA。

动稳定校验：

$$i_{ch1} = 122.5kA < 125kA$$

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 48.7^2 \times 0.4 = 948.7kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 50^2 \times 2 = 5000kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t > Q_{dt}, \text{ 满足要求}$$

### 3.2.4 220kV 电流互感器和电压

本工程 220kV 配电装置选用电子式电流互感器（ECT）、电子式电压互感器（EVT）、电子式组合互感器（ECVT），按电气一次要求设备主要技术参数应满足：

ECT	5TPE/5TPE/0.2
EVT	0.2(3P)/0.2(3P)

动稳定电流（峰值）：125kA

额定短时耐受电流（2s）：50kA

➤ 技术参数校验：

220kV 母线三相短路电流为 48.1kA，动稳定电流为 122.5kA。

动稳定校验：

$$i_{chl} = 122.5kA < 125kA$$

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 48.7^2 \times 0.4 = 948.7kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 50^2 \times 2 = 5000kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t > Q_{dt}, \text{ 满足要求}$$

### 3.3 66kV 配电装置

#### 3.3.1 66kV 断路器

（1）单台并联电容器回路工作电流：

$$\text{串入 12\%电抗器: } I_{c1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{12\% \times 60000}{3 \times 5.28} = 591A$$

• 电容器额定电压为 22kV 时，电抗器额定端电压  $U_n$  为 5.28。

$$\text{串入 5\%电抗器: } I_{c1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{5\% \times 60000}{3 \times 2.0} = 650A$$

• 电容器额定电压为 20kV 时，电抗器额定端电压  $U_n$  为 2。

(2) 单台并联电抗器回路工作电流:  $I_l = \frac{60 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 66} = 524.9 A$

(3) 站用变回路工作电流:  $I_l = \frac{1.05 \times 1000}{\sqrt{3} \times 66} = 9.2 A$

(4) 主变进线工作电流:  $I_g = \sqrt{(2 \times 591 + 2 \times 650)^2 + 9.2^2} = 2482 A$

设备选用断路器的主要技术参数如下:

额定电压:	66kV
最高工作电压:	72.5kV
额定电流:	4000A/1250A
额定短路开断电流:	31.5kA
动稳定电流 (峰值):	80kA
额定短路耐受电流 (4s):	31.5kA

➤ 技术参数校验:

66kV 母线三相短路电流为 21.9kA, 动稳定电流为 55.9kA

热稳定校验:

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 21.9^2 \times 0.65 = 311.7 kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 31.5^2 \times 4 = 3969 kA^2 \cdot s$$

$I_t^2 t > Q_{dt}$ , 满足要求

### 3.3.2 66kV 隔离开关

①66kV 主变进线隔离开关

主变进线工作电流:  $I_g = \sqrt{(2 \times 591 + 2 \times 650)^2 + 9.2^2} = 2482 A$

设备选用隔离开关的主要技术参数如下:

额定电压:	66kV
最高工作电压:	72.5kV
额定电流:	4000A
动稳定电流 (峰值):	80kA

额定短路耐受电流（4s）：31.5kA

➤ 技术参数校验：

66kV 母线三相短路电流为 21.9kA，动稳定电流为 55.9kA

热稳定校验：

$$Q_{dt} = I^2(t_{js} + T) = I^2(t_b + t_d + T) = 21.9^2 \times 0.65 = 311.7 kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t = 31.5^2 \times 4 = 3969 kA^2 \cdot s$$

$$I_t^2 t > Q_{dt}$$

② 66kV 电容器回路（12%Xc，5% Xc）隔离开关

$$12\%Xc \text{ 工作电流: } I_{C1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{12\% \times 60000}{3 \times 5.28} = 591 A$$

$$5\% Xc \text{ 工作电流: } I_{C1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{5\% \times 60000}{3 \times 2.0} = 650 A$$

设备选用隔离开关的主要技术参数如下：

额定电压：	66kV
最高工作电压：	72.5kV
额定电流：	1250A
动稳定电流（峰值）：	80kA
额定短路耐受电流（4s）：	31.5kA

③ 66kV 电抗器回路隔离开关

$$\text{工作电流: } I_g = \frac{60 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 66} = 524.9 A$$

设备选用隔离开关的主要技术参数如下：

额定电压：	66kV
最高工作电压：	72.5kV
额定电流：	1250A
动稳定电流（峰值）：	80kA

额定短路耐受电流（4s）：31.5kA

④ 66kV 所用变回路隔离开关

$$\text{工作电流: } I_l = \frac{1.05 \times 1000}{\sqrt{3} \times 66} = 9.2A$$

设备选用隔离开关的主要技术参数如下：

额定电压：	66kV
最高工作电压：	72.5kV
额定电流：	1250A
额定短路开断电流：	25kA
动稳定电流（峰值）：	63kA
额定短路耐受电流（4s）：	25kA

## 第4章 低压并联无功补偿装置

### 4.1 66kV 并联电容器

根据“每台变压器 66kV 侧配置 4 组 60MVar 低压电容器”的要求，每台变压器 66kV 侧配置 4 组，每组 60000kvar 电容器。为限制短路电流和谐波，在电容器回路中串联  $x_c = 12\%$ （2 组）和  $x_c = 5\%$ （1 组）的电抗器。由于电抗器的接入使电容器组端电压高于 66kV 母线电压。

a. 电容器额定电压选择：

串入  $12\% x_c$  电抗器的电容器：

拟采用的电容器的额定电压：

$$U_{ce} \geq K \frac{U}{\sqrt{3N(1-A)}} = 1.016 \frac{66}{\sqrt{3 \times 2 \times (1-0.12)}} = 21.99kV$$

式中：

K—考虑电容器容差引起的电压升高系数。对于  $N>1$  的  $\Delta$  接线及  $N \geq 1$  的 Y、双 Y 接线， $K=1.016$ 。



N—电容器组中电容器串联段数，此工程取 N=2。

A—装置的调谐度，取 12%。

本工程取  $U_e = 22kV > 21.99kV$

串入 5% $x_c$  电抗器的电容器：

拟采用的电容器的额定电压：

$$U_{ce} \geq K \frac{U_m}{\sqrt{3}N(1-A)} = 1.016 \frac{66}{\sqrt{3} \times 2 \times (1-0.05)} = 19.45kV$$

本工程取  $U_e = 20kV > 19.45kV$

b. 电容器额定容量和并联台数的选择：

单台电容器额定容量：500kvar

最小并联台数：

$$M_{\min} = \frac{K_u(6N-5)}{6N(K_u-1)} = 6.42 \text{ 台}$$

不平衡电流保护的双 Y 接线，

K<sub>u</sub>—并联电容器允许长期运行的工频过电压倍数，取 1.1。

最大并联台数：

$$M_m = \frac{259W_{\min}}{Q_{ce}} + 1 = \frac{259 \times 15}{500} + 1 = 8.77 \text{ 台}$$

$W_{\min}$ —厂家提供的电容器外壳能承受的外壳爆裂能量 kJ，取 15kJ。

综合以上计算，得并联台数为 7 台。

c. 一组并联电容器额定电流：

$$12\%X_c \text{ 工作电流: } I_{c1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{12\% \times 60000}{3 \times 5.28} = 591A$$

$$5\% X_c \text{ 工作电流: } I_{c1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{5\% \times 60000}{3 \times 2.0} = 650A$$

## 4.2 电抗器

### 4.2.1 并联电抗器选择

每台主变压器 66kV 侧配 2 组 60Mvar 低压并联电抗器，则：

$$U_g = 66kV$$

$$\text{额定电流: } I_g = \frac{60000}{\sqrt{3} \times 66} = 524.9A$$

$$\text{额定电抗: } X_L = \frac{66 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 524.9} = 72.6\Omega / \text{相}$$

$$L = \frac{72.6}{314} = 231mH / \text{相}$$

设备参数：

系统最高工作电压：	72.5kV
额定电压：	$66/\sqrt{3}kV$
额定电流：	524.9A
额定电感：	231mH

### 4.2.2 串联电抗器选择

12% $x_c$  电抗器的选择：

型式：户外、干式、空心

$$\text{额定电流: } I_{c1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{12\% \times 60000}{3 \times 5.28} = 591A$$

$$\text{额定电抗: } x_l = \frac{1000 \cdot U_N^2}{S_N} = \frac{1000 \times 5.28^2 \times 3}{12\% \times 60000} = 11.6\Omega$$

式中：X – 电抗器的额定电抗， $\Omega$ /相

$U_n$  – 电抗器的额定端电压，kV。

$S_n$  – 电抗器的单相额定容量，kvar。

$$L = \frac{x_l}{\omega} = \frac{11.6}{314} = 37.0mH$$

设备参数：

额定电压:	66kV
最大持续工作电流:	591A
额定电抗:	11.6Ω
热稳定电流:	20kA/3s
动稳定电流:	50kA

5% $x_c$  电抗器的选择:

型式: 户外、干式、空心

$$\text{额定电流: } I_{c1} = 1.3 \times \frac{K \cdot Q}{3U_n} = 1.3 \times \frac{5\% \times 60000}{3 \times 2.0} = 650A$$

$$\text{额定电抗: } x_l = \frac{1000 \cdot U_N^2}{S_N} = \frac{1000 \times 2^2 \times 3}{5\% \times 60000} = 4\Omega$$

式中:

$X_n$  – 电抗器的额定电抗, Ω/相

$U_n$  – 电抗器的额定端电压, kV。

$S_n$  – 电抗器的单相额定容量, kvar。

$$L = \frac{x_l}{\omega} = \frac{4}{314} = 12.7mH$$

设备参数:

额定电压:	66kV
最大持续工作电流:	650A
额定电抗:	4Ω
热稳定电流:	20kA/3s
动稳定电流:	50kA

## 第5章 绝缘子串选择

### 5.1 500kV 软导线用耐张绝缘子串

#### 5.1.1 按机械荷载选择

选用 XWP2-160 型悬式绝缘子，考虑荷载长期作用时，安全系数为 5.3，荷载短时作用时，安全系数为 3.3：

$$\frac{160000}{5.3} = 30189N, \quad \frac{160000}{3.3} = 48485N$$

该绝缘子 1 小时机电试验荷载为 120000N，考虑荷载长期作用时，安全系数为 4，荷载短时作用时，安全系数为 2.5：

$$\frac{120000}{4} = 30000N, \quad \frac{120000}{2.5} = 48000N$$

500kV 配电装置采用 HGIS 型式，导线正常时最大拉力为 29490.5N，单相上人时拉力最大为 34928.6N，故采用单串 XWP2-160 绝缘子。

#### 5.1.2 按额定电压和泄漏比距选择

$$n \geq \frac{\lambda U_e}{l_0} = \frac{2.5 \times 550}{45} = 30.6 \approx 31 \text{ 片}$$

其中： $\lambda$ —泄漏比距(cm/kV)；

$U_e$ —最高工作电压(kV)

$l_0$ —每片绝缘子的泄漏距离，取 45cm。

考虑绝缘子的老化，500kV 耐张加零值绝缘子 2~3 片，悬垂加 1~2 片，一般取 2 片，得：

$$n = 31 + 2 = 33 \text{ 片}$$

## 5.2 500kV 母线用 V 型耐张绝缘子串

### 5.2.1 按机械荷载选择

选用 XWP2-100 型悬式绝缘子，考虑荷载长期作用时，安全系数为 5.3，荷载短时作用时，安全系数为 3.3：

$$\frac{100000}{5.3} = 18868N, \quad \frac{100000}{3.3} = 30303N$$

该绝缘子 1 小时机电试验荷载为 75000N，考虑荷载长期作用时，安全系数为 4，荷载短时作用时，安全系数为 2.5：

$$\frac{75000}{4} = 18750N, \quad \frac{75000}{2.5} = 30000N$$

500kV 铝管母线正常时最大拉力为 17800N，满足要求。

### 5.2.2 按额定电压和泄漏比距选择

$$n \geq \frac{\lambda U_e}{l_0} = \frac{2.5 \times 550}{45} = 30.6 \approx 31 \text{ 片}$$

其中： $\lambda$ —泄漏比距(cm/kV)；

$U_e$ —最高工作电压(kV)

$l_0$ —每片绝缘子的泄漏距离，取 45cm。

考虑绝缘子的老化，500kV 耐张加零值绝缘子 2~3 片，悬垂加 1~2 片，一般取 2 片，得：

$$n = 31 + 2 = 33 \text{ 片}$$

## 5.3 500kV 软导线用悬垂绝缘子串

### 5.3.1 按机械荷载选择

选用 XWP2-100 型悬式绝缘子，考虑荷载长期作用时，安全系数为 5.3，荷载短时作用时，安全系数为 3.3：

$$\frac{100000}{5.3} = 18868N, \quad \frac{100000}{3.3} = 30303N$$

该绝缘子 1 小时机电试验荷载为 75000N，考虑荷载长期作用时，安全系数为 4，荷载短时作用时，安全系数为 2.5：

$$\frac{75000}{4} = 18750N, \quad \frac{75000}{2.5} = 30000N$$

### 5.3.2 按额定电压和泄漏比距选择

$$n \geq \frac{\lambda U_e}{l_0} = \frac{2.5 \times 550}{45} = 30.6 \approx 31 \text{ 片}$$

其中： $\lambda$ —泄漏比距(cm/kV)；

$U_e$ —最高工作电压(kV)

$l_0$ —每片绝缘子的泄漏距离，取 45cm。

考虑绝缘子的老化，加零值绝缘子 2 片，得：

$$n = 31 + 2 = 33 \text{ 片}$$

## 5.4 220kV 软导线用耐张绝缘子串

### 5.4.1 按机械荷载选择

选用 XWP2-160 型悬式绝缘子，考虑荷载长期作用时，安全系数为 5.3，荷载短时作用时，安全系数为 3.3：

$$\frac{160000}{5.3} = 30189N, \quad \frac{160000}{3.3} = 48485N$$

该绝缘子 1 小时机电试验荷载为 120000N，考虑荷载长期作用时，安全系数为 4，荷载短时作用时，安全系数为 2.5：

$$\frac{120000}{4} = 30000N, \quad \frac{120000}{2.5} = 48000N$$

220kV 配电装置主变进线导线正常时最大拉力为 38387N，单相上人时拉力最大为 54806N，采用双串 XWP2-160 绝缘子。

#### 5.4.2 按额定电压和泄漏比距选择

$$n \geq \frac{\lambda U_e}{l_0} = \frac{2.5 \times 252}{45} = 14 \text{ 片}$$

其中： $\lambda$ —泄漏比距(cm/kV)；

$U_e$ —最高工作电压(kV)

$l_0$ —每片绝缘子的泄漏距离，取 45cm。

考虑绝缘子的老化，220kV 耐张加零值绝缘子 2 片，得：

$$n = 14 + 2 = 16 \text{ 片}$$

### 5.5 220kV 软导线用悬垂绝缘子串

#### 5.5.1 按机械荷载选择

选用 XWP2-100 型悬式绝缘子，考虑荷载长期作用时，安全系数为 5.3，荷载短时作用时，安全系数为 3.3：

$$\frac{100000}{5.3} = 18868N, \frac{100000}{3.3} = 30303N$$

该绝缘子 1 小时机电试验荷载为 75000N，考虑荷载长期作用时，安全系数为 4，荷载短时作用时，安全系数为 2.5：

$$\frac{75000}{4} = 18750N, \frac{75000}{2.5} = 30000N$$

#### 5.5.2 按额定电压和泄漏比距选择

$$n \geq \frac{\lambda U_e}{l_0} = \frac{2.5 \times 252}{45} = 14 \text{ 片}$$

其中： $\lambda$ —泄漏比距(cm/kV)；

$U_e$ —最高工作电压(kV)

$l_0$ —每片绝缘子的泄漏距离，取 45cm。

考虑绝缘子的老化，220kV 悬垂加零值绝缘子 1 片，得：

$$n = 14 + 1 = 15 \text{ 片}$$

## 第6章 支持绝缘子选择

### 6.1 66kV 管母线支持绝缘子选择

按唐山高压电瓷厂生产的 ZSW1-72.5/8.5 型支持绝缘子校验。

弯曲负荷：8.5kN      最大伞径：245mm      元件总高：740mm

重量：49kg

#### 6.1.1 正常机械荷载校验

在正常状态下，最大风对铝管母线产生的荷载 P' 为：

$$P_n = a_D K_D D_1 \frac{v_{\max}^2}{16} l = 1 \times 1.2 \times 0.13 \times \frac{35^2}{16} \times 12 = 143.3 \text{ kg}$$

铝管母线所受风压力折合到顶部为：（0.225 为托架及固定滑动金具总高度）

$$P = P_n \frac{0.74 + \frac{0.225}{2}}{0.74} = 143.3 \times 1.056 = 165 \text{ kg}$$

支柱绝缘子所受风压力折合到顶部为：

$$P'' = a K D H \frac{v_f^2}{32} = 1 \times 1.2 \times 0.245 \times 0.74 \times \frac{35^2}{32} = 8.33 \text{ kg}$$

$a$ —风速不均匀系数，取 1；

$K$ —空气动力系数，取 1.2；

$D$ —支柱绝缘子的平均外径，取 0.245；

$v$ —最大风速，取 35m/s。

$H$ —支柱绝缘子的高度，取 0.74

绝缘子顶部受力  $F$  为：

$$F = P'' + P N_{1m} = 8.33 + 165 \times 1.25 = 214.58 \text{ kg} < \frac{850}{2.5} = 340 \text{ kg}$$

#### 6.1.2 短路动稳定校验

导体短路时母线所受风压力折合到铝管母线顶部为：



$$P = d_v K_D D_1 \frac{v^2}{16} l \times 1.056 = 1 \times 1.2 \times 0.13 \times \frac{15^2}{16} \times 12 \times 1.056 = 27.8 \text{ kg}$$

支柱绝缘子所受风压力折合到顶部为：

$$P'' = \alpha K D H \frac{v_f^2}{32} = 1 \times 1.2 \times 0.245 \times 0.74 \times \frac{15^2}{32} = 1.53 \text{ kg}$$

铝管母线所受电动力折合到支持绝缘子顶部为：（ $i_{ch}$  为三相短路电流冲击峰值，按该点短路电流 2.55 倍考虑）

$$F_1 = 1.76 \frac{i_{ch}^2}{a} \beta l \times 1.056 = 1.76 \times \frac{55.3^2}{150} \times 0.58 \times 12 \times 1.056 = 263.7 \text{ kg}$$

绝缘子顶部受力 F 为：

$$F = P'' + (P + F_1) N_{lm} = 1.53 + (27.8 + 263.7) \times 1.25 = 366 \text{ kg} < \frac{850}{1.67} = 509 \text{ kg}$$

### 6.1.3 抗震强度校验

$$\begin{aligned} F &= F_j K_1 + F_l L K_2 = 1.6 \times 49 \times 0.5 + \left( \frac{10.2}{2} + 209 \right) \times 12 \times 8.78 \\ &= 369.2 \text{ kg} < 1077.8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$F_j$ —由支柱绝缘子的自重产生、作用在其重心的水平地震力，按九级地震烈度考虑时  $F_j = 1.6Q$ ，Q 为绝缘子自重（kg）

$K_1$ —支柱绝缘子的高度换算系数，为重心高度与总高度的比值，一般认为重心在高度一半位置，取 0.5。

$$F_l = F_{\text{铝}} + F_{\text{电}}, \quad F_{\text{铝}} = 0.5 \cdot g, \quad g \text{—铝管单位长度自重}, \quad F_{\text{电}} = 1.76 \frac{i_{ch}^2}{a} \beta$$

L—铝管跨距，m

$K_2$ —铝管高度换算系数，等于铝管截面中心线高度除以支柱绝缘子的高度。

## 6.2 66kV 软导线支持绝缘子选择

按唐山高压电瓷厂生产的  $ZSW_3 - 66/8$  型支持绝缘子校验。

产品参数：

弯曲负荷：8kN      最大伞径：220mm      元件总高：560mm

重量：27kg

### 6.2.1 正常机械荷载校验

在正常状态下，支柱绝缘子顶部所受的拉力是导线静态张力以及折算到支柱绝缘子顶部的水平风压之和。

单根  $LGJ - 400/35$  导线自重为 1.349kg/m。2× $LGJ - 400/35$  导线按 2m 一个间隔棒（重量 1.21kg）考虑得：

$$q_1 = 1.349 \times 2 + \frac{1.21}{2} = 3.303 \text{ kg/m}$$

导线冰重：

$$q_2 = 0.00283b(d+b) \times 2 = 2.084 \text{ kg/m}$$

导线覆冰时风压：

$$q_3 = 0.075v_f^2(d+2b) \times 10^{-3} \times 2 = 0.075 \times 10^2 \times 46.82 \times 10^{-3} \times 2 = 0.702 \text{ kg/m}$$

最大荷载为：

$$q = \sqrt{(q_1 + q_2)^2 + q_3^2} = \sqrt{(3.303 + 2.084)^2 + 0.702^2} = 5.433 \text{ kg/m}$$

设静态张力为 H，则有近似计算公式：

$$H = \frac{ql^2}{8f} = \frac{5.433 \times 7^2}{8 \times 0.9} = 36.97 \text{ kg}$$

导线承受的风压折算到绝缘子顶部的水平力  $F'$  为：

$$F' = q_3 l = 0.702 \times 7 = 4.92 \text{ kg}$$

支柱绝缘子本身承受的风压折算到绝缘子顶部的水平力  $F''$  为：

$$F'' = \alpha K D H \frac{v_f^2}{32} = 1 \times 1.2 \times 0.22 \times 0.56 \times \frac{10^2}{32} = 0.462 \text{ kg}$$

绝缘子顶部受力 F 为：

$$F = \sqrt{H^2 + (F' + F'')^2} = 37.36kg < \frac{800}{2.5} = 320kg$$

### 6.2.2 最大风荷载校验

导线最大风时风压：

$$q_5 = 0.075v_f^2 d \times 10^{-3} \times 2 = 0.075 \times 30^2 \times 26.82 \times 10^{-3} \times 2 = 4.93 kg/m$$

$$q = \sqrt{q_1^2 + q_5^2} = \sqrt{3.303^2 + 4.93^2} = 5.933 kg/m$$

设静态张力为 H，则有近似计算公式：

$$H = \frac{ql^2}{8f} = \frac{5.933 \times 7^2}{8 \times 0.9} = 40.38kg$$

导线承受的风压折算到绝缘子顶部的水平力  $F'$  为：

$$F' = q_5 l = 4.93 \times 7 = 34.50kg$$

支柱绝缘子本身承受的风压折算到绝缘子顶部的水平力  $F''$  为：

$$F'' = \alpha K D H \frac{v_f^2}{32} = 1 \times 1.2 \times 0.22 \times 0.56 \times \frac{35^2}{32} = 5.66kg$$

绝缘子顶部受力 F 为：

$$F = \sqrt{H^2 + (F' + F'')^2} = 56.94kg < \frac{800}{2.5} = 320kg$$

### 6.2.3 短路动稳定校验

导体短路电流作用力：

$$p = \frac{1.56 I_{(3)}^2 10^{-2}}{d} = \frac{1.56 \times 53^2 \times 10^{-2}}{1.5} = 29.214 kg/m$$

导线短路时风压：

$$q_5 = 0.075v_f^2 d \times 10^{-3} \times 2 = 0.075 \times 15^2 \times 26.82 \times 10^{-3} \times 2 = 0.905 kg/m$$

$$q = \sqrt{q_1^2 + (q_5 + p)^2} = \sqrt{3.303^2 + 30.12^2} = 30.3 kg/m$$

设静态张力为 H，则有近似计算公式：

$$H = \frac{ql^2}{8f} = \frac{30.3 \times 7^2}{8 \times 0.9} = 206.2kg$$

导线承受的风压折算到绝缘子顶部的水平力  $F'$  为：

$$F = q_5 l = 0.905 \times 7 = 6.336 \text{ kg}$$

支柱绝缘子本身承受的风压折算到绝缘子顶部的水平力  $F''$  为:

$$F'' = \alpha K D H \frac{v_f^2}{32} = 1 \times 1.2 \times 0.22 \times 0.56 \times \frac{15^2}{32} = 1.040 \text{ kg}$$

绝缘子顶部受力  $F$  为:

$$F = \sqrt{H^2 + (F + F'')^2} = 206.34 \text{ kg} < \frac{800}{1.67} = 479 \text{ kg}$$

#### 6.2.4 抗震强度校验

$$F = F_j K_1 + F_l \times L K_2 = 1.6 \times 27 \times 0.5 + (15.4 + 0.863 + 4.962) \times 8 \times 1.044 = 199 \text{ kg} < 479 \text{ kg}$$

$F_j$ —由支柱绝缘子的自重产生、作用在其重心的水平地震力, 按九级地震

烈度考虑时  $F_j = 1.6Q$ ,  $Q$  为绝缘子自重 (kg)

$K_1$ —支柱绝缘子的高度换算系数, 为重心高度与总高度的比值, 一般认为重心在高度一半位置, 取 0.5。

$$F_l = F_{\text{铝}} + F_{\text{电}}, \quad F_{\text{铝}} = 0.5 \cdot g, \quad g \text{—铝管单位长度自重}, \quad F_{\text{电}} = 1.76 \frac{i_{ch}^2}{a} \beta$$

$L$ —铝管跨距, m

$K_1$ —铝管高度换算系数, 等于铝管截面中心线高度除以支柱绝缘子的高度。