

郑州航空工业管理学院

# 毕 业 论 文（设 计）

2013 届电气工程及其自动化专业班级

题 目 35kv 变电站电气部分设计

姓 名                      学号     

指导教师                      职称                     

二 一三 年 五 月 十二 日

# 内 容 摘 要

变电站是电力系统的重要组成部分，它直接影响整个电力系统的安全与经济运行，是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。电气主接线是发电厂变电所的主要环节，电气主接线的拟定直接关系到全厂电气设备的选择、配电装置的布置、继电保护和自动装置的确定，是变电站电气部分投资大小的决定性因素。变电站是把一些设备组装起来，用来切断、接通、改变或者调整电压的。在系统中，变电站成了输电和配电的集节点。

本次设计首先根据任务书上所给系统与线路及所有负荷的参数，分析负荷发展趋势。从负荷增长方面阐明了建站的必要性，然后通过对拟建变电站的概括以及出线方向来考虑，并通过对负荷资料的分析，安全，经济及可靠性方面考虑，确定了 35kV，10kV 以及站用电的主接线，然后又通过负荷计算及供电范围确定了主变压器台数，容量及型号，同时也确定了站用变压器的容量及型号，并进行了短路电流计算等内容，从而完成了 35kV 电气一次部分的设计。

## 关键词

主变压器；电气主接线；短路电流；电气设备

# Abstract

A substation is the electrical power system important constituent, it affects the entire electrical power system directly the security and the economical movement, is relates the power plant and user's middle link, is playing the transformation and the assignment electrical energy role. The electrical host wiring is the power plant transformer substation key link, the electrical host wiring draws up is relating the entire factory directly the electrical equipment choice, the power distribution equipment arrangement, the relay protection and the automatic device determination, is the transformer substation electricity part investment size determining factor. The transformer substation is assembles some equipment, uses for to shut off, the connection, the change or the regulation voltage. In the system, the transformer substation has become the electric transmission and the power distribution collection node.

This design first acts according to in the project description to give the system logical circuit and all load parameter, the analysis load trend of development. Had expounded from the load growth aspect the station construction necessity, then through to plans to construct the transformer substation the summary as well as the going beyond a line direction considered, and through to shoulders the material the analysis, safe, the economy and the reliable aspect considered, had determined 35kV/10kV as well as the station use electricity the main wiring, then calculated through the load and supplies power the scope to determine the main transformer Taiwan number, the capacity and the model, simultaneously also had determined stood with contents and so on transformer capacity and model, thus has completed 35kV electricity partial designs.

## Keywords

Main transformer , Single bus bar segment wiring, Short out in the-  
electric current , Electric equipment

# 目 录

第 1 章 概 述 .....	6
第 2 章 设计任务及要求 .....	8
2.1 设计任务 .....	8
2.2 设计要求 .....	8
2.2.1 技术要求 .....	8
2.2.2 设计内容 .....	8
第 3 章 变电站的总体设计分析 .....	10
3.1 变电站的主要设备组成 .....	10
3.2 负荷分析 .....	10
3.3 变电站主接线方案的确定 .....	11
3.4 主变压器选择 .....	12
3.4.1 主变台数的考虑原则 .....	12
3.4.2 变压器容量的确定 .....	12
3.4.3 调压方式的确定 .....	13
3.4.4 容量比 .....	13
3.4.5 主变压器的参数计算 .....	13
第 4 章 短路电流计算 .....	15
4.1 短路电流的目的及其假定 .....	15
4.1.1 短路电流计算的目的 .....	15
4.1.2 基本假定 .....	15
4.2 基准值计算 .....	15
4.2.1 计算短路电路中各元件的电抗及总电抗 .....	16
4.2.2 计算三相短路电流和短路容量 .....	17
第 5 章 电气设备的选择 .....	20
5.1 电气设备选择的基本原则 .....	20
5.2 断路器 .....	20
5.2.1 35KV 侧断路器的选择 .....	20
5.2.2 选择校验 .....	20
5.2.3 10KV 侧出线断路器及分段断路器的选择 .....	21
5.2.4 选择校验 .....	21
5.3 隔离开关 .....	22
5.3.1 35KV 侧隔离开关的选择 .....	22
5.3.2 10KV 侧隔离开关的选择 .....	23
5.4 电流互感器的选择 .....	24
5.4.1 电流互感器的初选 .....	24
5.4.2 电流互感器的校验 .....	25
5.4.3 电压互感器的选择 .....	26
5.5 母线的选择 .....	27
5.5.1 35KV 母线的选择 .....	27

5.5.2 10KV 母线的选择 .....	29
5.6 避雷器的选择 .....	30
5.6.1 避雷器参数 .....	30
5.6.2 参数校验 .....	31
5.6.3 避雷针的高度 .....	31
5.7 熔断器的选择 .....	33
5.7.1 型号选择 .....	33
5.7.2 熔断器的选择校验 .....	33
5.7.3 10KV 熔断器型号选择 .....	34
第 6 章 变电站主变压器的继电器保护设计 .....	35
6.1 变压器保护装置的一般原则 .....	35
6.2 纵联差动保护整定 .....	36
6.2.1 纵差动保护的整定计算 .....	37
6.2.2 确定差动继电器的动作工作电流和基本侧差动线圈匝数 .....	38
6.3 变压器过负荷保护整定 .....	40
6.4 变压器零序过电流过电压保护整定 .....	40
致 谢 .....	41
参考资料 .....	42
附录 .....	43

## 第 1 章 概 述

科学技术的迅猛发展，使得电力工业以现代工业发展的基础和先行官的形式也得到了很大的发展。广泛应用于电力工业的电能有便于输送、分配、使用、控制等优点。由于大电网的出现，世界各国电力工业发展和运行的经验告诉我们：电力系统愈大，调度运行就愈能合理和优化，经济效益就愈好，应变事故的能力就愈强。这可以说是现代电力工业发展的重要标志。而变电站是电力系统的重要组成部分，它直接影响整个电力系统的安全与经济运行，是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。电气主接线是发电厂变电所的主要环节，电气主接线的拟定直接关系到全厂电气设备的选择、配电装置的布置、继电保护和自动装置的确定，是变电站电气部分投资大小的决定性因素。变电站是把一些设备组装起来，用来切断、接通、改变或者调整电压的。在系统中，变电站成了输电和配电的集节点。

随着电力系统的发展，电网结构越来越复杂，各级调度中心需要获得更多的信息，以准确掌握电网和变电站的运行状况。同时，提高电力系统的可控性，要求更多地采用远方集中监视和控制，并逐步采用无人值班管理模式。显然，传统变电站已远远不能适应现代电力系统管理模式的需求。变电站综合自动化是一门多专业的综合技术，它以微型计算机为基础，实现了对变电站传统的继电保护、控制方式、测量手段、通信和管理模式的全面技术改造，实现了电网运行管理的一次变革。变电站汇集了电源、升降电压和分配电力场所，是联系发电厂和用户的中间环节。变电站有升压变电站和降压变电站两大类。升压变电站通常是发电厂升压站部分，紧靠发电厂。降压变电站通常远离发电厂而靠近负荷中心。这里所设计的就是总降压变电站。它通常有高压配电室、变压器室、低压配电室等组成。

供电工作要很好地为工业生产服务，切实保证工厂生产和生活的用电需求，并做好节能工作，就需达到下列的基本要求：

- (1) 安全 在电能的供应、分配和使用中，不应发生人身事故和设备事故。
- (2) 可靠 应满足电能用户对供电可靠性即连续供电的要求。
- (3) 优质 应满足电能用户对电压和频率等电能质量的要求。
- (4) 经济 供电的投资要省，运行费用要低，并尽可能地节约电能和减少对有色金属的消耗。

在设计过程中，所针对的首要问题是要通过对该厂的用电负荷的实际情况进行负荷计算分析来确定总设计的方案，通过参阅有关资料找一个贴切的解决方案来进行负荷计算分析。再次遇到的主要问题就是短路电流的计算，因为它是电力技术方面的基本问题之一，在发电厂、变电所及整个电力系统的设计、运行中均以短路计算结果的结果为依据。除此之外，它还是选择电气设备、电力继电保护设计、选择电力系统接线图和确定限制短路电流措施的依据。为更好的设计能少出错误，在遇到那些不解之处时，我就请教我的指导老师和学友们，然后参照校图书馆里的相关文献进行反复计算与思考，并参阅工程实际的设计计算过程，通过比较与简化省略掉对本设计无关紧要的部分计算，之后再进行整理。

本次设计主要包括变电站总体分析、电力系统分析、主接线选择、主变选择、无功补偿设备选择、短路电流的计算、电气设备的选择、防雷设计、配电装置和平面设置等。在主接线设计中，在 35kV 侧我们把两种接线方式在经济性、灵活性、可靠性三个方面进行比较，最后选择 35kV 采用单母线分段接线方式。在 10kV 侧采用单母分段接线方式。

变电站内的高压配电室、变压器室、低压配电室等都装设有各种保护装置，这些保护装置是根据下级负荷地短路、最大负荷等情况来整定配置的，因此，在发生类似故障是可根据具体情况由系统自动做出判断应跳闸保护，并且，现在的跳闸保护整定时间已经很短，在故障解除后，系统内的自动重合闸装置会迅速和闸恢复供电。这对于保护下级各负荷是十分有利的。这样不仅保护了各负荷设备的安全利于延长使用寿命，降低设备投资，而且提高了供电的可靠性，这对于提高工农业生产效率是十分有效的。

## 第 2 章 设计任务及要求

### 2.1 设计任务

本次设计任务是本次设计的主要任务是电气部分的设计和计算。此过程中，首先要对电力系统和变电站基本概况做总体分析，再进行负荷计算。依据负荷出线的多少及用户的负荷级别，初步设计电气主接线的形式，经过对比后择取最佳的主接线方案。依据负荷分析的数据，选择合适主变压器容量及主变压器型式。为使得变电站安全可靠运行，就必需进行防雷设计，以保证变电站的运行不受雷电的袭击。此次设计的变电站为终端变电站。该变压器采用双绕组连接方式。

### 2.2 设计要求

2 回 35kv 架空进线，线路长度 5Km 35kv 侧功率因数  $\cos\varphi = 0.85$ ，年最大负荷利用小时数  $T=3500h$ ，年最大负荷数  $P_{\max} = 45MVA$ ，其中重要负荷占 60%，最大一回负荷为 6MVA 采用中性点不接地的运行方式。主要向附近的大型企业供电（一类负荷）8 回 10kv 架空线路侧功率因数  $\cos\varphi = 0.8$ ， $T=3000h$  主要供乡镇企业和农业用电（二类负荷）。8 回 10KV 出线，主要给部分工厂和民用（主要为二、三类负荷），最大负荷为 16MVA。

电压等级：35KV/10KV；

出线路回数：35KV 出线共 2 回；10KV 出线共 8 回，四回备用；

该变电所主要以 35KV 和 10KV 电压对公司内各分厂供电，用电负荷比较集中，公司所处位置比较集中，同时该变电所还联结着电力系统各个部分，将系统电压降低后分配给各地区用户，因此该变电所为降压变电所。

#### 2.2.1 技术要求

自然条件地势平坦，海拔 600 米，交通方便；常年最高气温  $+38^{\circ}C$ ，最低气温  $-25^{\circ}C$ ，年平均温度  $+15^{\circ}C$ ；最大风速  $25m/s$ ；地震强度低于 6 级；土壤电阻率：小于  $400\Omega \cdot m$ ；周围环境好，不受污染影响

#### 2.2.2 设计内容

- (1) 变电站电气部分总体分析；
- (2) 电气主接线设计；
- (3) 短路电流计算；



- ( 4 ) 电气设备选择 ；
- ( 5 ) 主变压器保护整定计算 ；
- ( 6 ) 10KV线路保护整定计算 。

## 第 3 章 变电站的总体设计分析

### 3.1 变电站的主要设备组成

**变压器**：变压器是变换电压的主要设备，一般在变电站用于降低电压。变压器由单相变压器和三相变压器。一般使用经济上有利的三相变压器，单相变压器仅在高电压、大容量的 500kV 变电站等由于受到搬运上的限制而被采用。

**输电线和开关设备**：在变电站内汇集着许多集中和分配电力的输配电线，与主变压器一起接在母线上，在每一条线路的引出口除装设断路器和隔离开关。断路器通常用于电路的送出、停止或切换，当输、配电设备发生事故时则用来自动切断。

**隔离开关**用于输、配电线路，在检修断路器等电气设备时断开它们以隔离电源，有时用来切换母线环。

**控制装置与互感器**：控制装置是变电站的中枢神经、值班员监视设备的运行状态，根据需要进行设备的操作以及联合互感器进行电压、电流和功率的测量。互感器的主要作用是将高电压、大电流转换成低电压、小电流进行测量或保护。

**避雷器**：避雷器是把系统中如雷电和操作过电压之类的异常电压抑制在规定值以内，从而保护以变压器为主的主要设备。

**调相设备**：调相设备，因为在重负荷是使电流超前，轻负荷时使电流滞后，所以用来进行电压的调整。

### 3.2 负荷分析

**一级负荷**：中断供电将造成人身的伤亡，能造成重大的经济损失的如重大的交通枢纽、通讯枢纽，经常于国际活动的大量人员集中的公共场所还使用设备损坏，产品报废重要负荷中断将发生爆炸，火灾和中毒等给人民的生活带来影响。一级负荷必须有两个独立电源供电，且当任何一个电源失去后，能保证对全部一级负荷不间断供电。

**二级负荷**：中断供电将造成较大损失使连续的生产过程被打乱，需要长时间才能够恢复的称之为二级负荷。二级负荷一般要有两个独立电源供电，且当任何一个电源失去后，能保证全部或大部分二级负荷的供电。

**三级负荷**：中断供电后无重大的影响，三级负荷一般只需一个电源供电。

3.3 变电站主接线方案的确定

35kv 的变电站只有两台变压器和两条线路因此应该采用桥形连接。根据桥断路器 QF3 的安装位置，可分为内桥接线和外桥接线，如上图所示（ a )( b )，内桥接线在线路故障或切除、投入时，不影响其余回路工作，并且操作简单；而在变压器故障切除或投入时，要使用相应线路短时停电且操作复杂。因而该线路一般适用于线路较长（相对来说线路的故障几率较大）和变压器不需要经常切换（如火电厂）的情况；而外桥接线在运行中的特点相反，适用于线路较短和变压器需要经常切换的情况。当系统中有穿越功率通过主接线为桥形连线的发电厂或变电站高压侧，或者桥形的 2 条线路接入环形电网时，通常宜采用外桥连接。如果采用内桥接线，穿越功率将通过 3 台断路器，继电保护配置复杂，并且其中台断路器断开时都将是穿越功率无法通过，或是使环形电网开环运行。为减少开环及满足一回进线或出线停运时，桥断路器需退出运行，可加“跨条”联络两臂。桥形接线只用 3 台断路器，比具有 4 条回路的单母线接线节省了一台断路器，并且没有母线，投资省，看可靠性不高，只适用于小容量发电厂或变电站，或作为最终将发展为单母线分段或双母线的工程初期接线方式，也可用于大型发电机组的启动 / 备用变压器的高压侧接线方式。

而该设计系统以火电为主，变压器不需经常切换，再者从经济考虑桥形接线的造价都很低，并且容易发展或单母分段接线应该采用桥内接线的方式。

10KV侧主接线的接线方式有：单母及分段单母线，双母线。考虑到 10KV侧有 10 回出线且主要为二三类负荷，宜采用单母线分段接线方式。

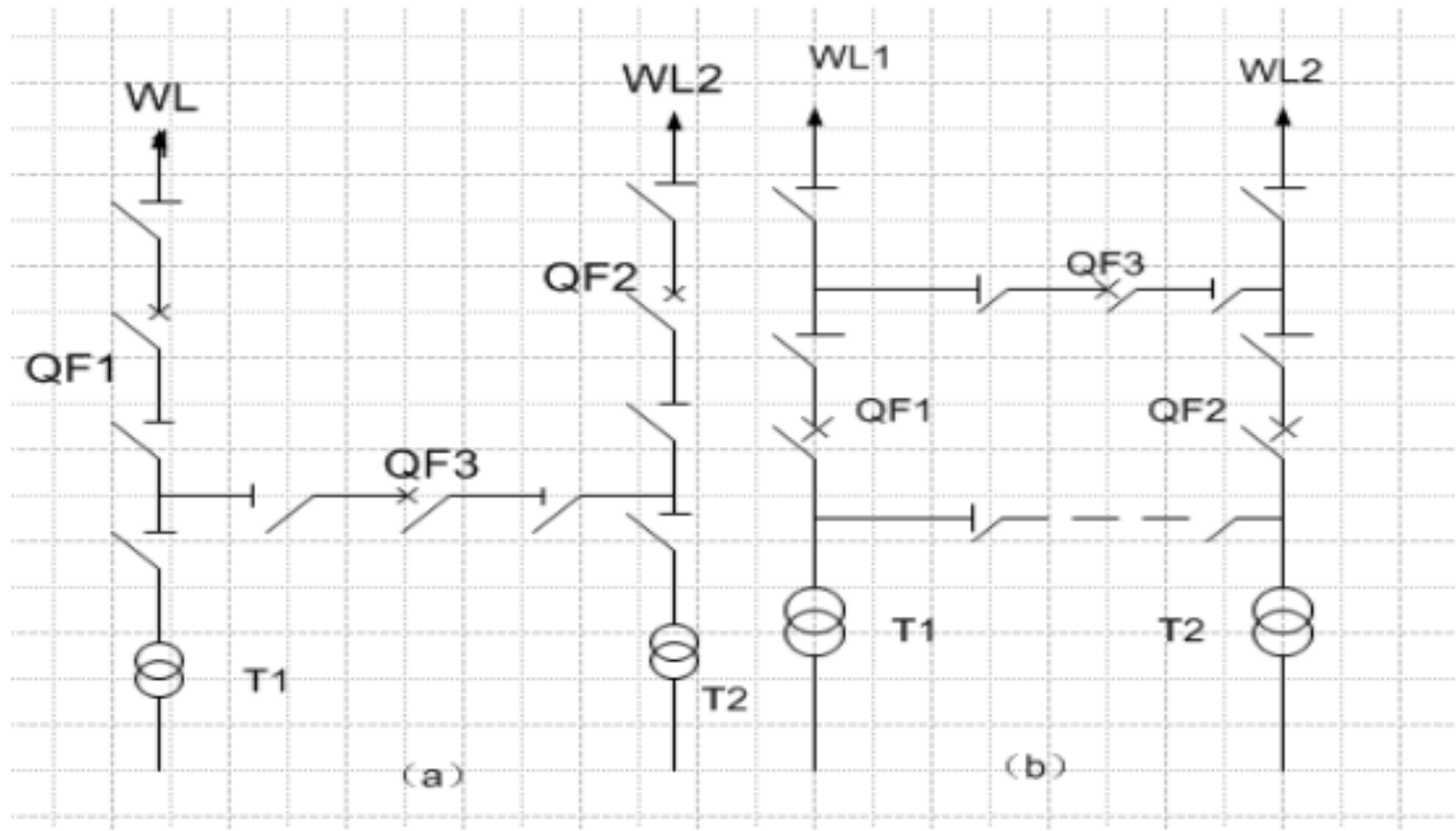


图 3-1 桥形接线

(a) 内桥接线

(b) 外桥接线

### 3.4 主变压器选择

#### 3.4.1. 主变台数的考虑原则

(1) 对大城市郊区的一次变，在中、低压侧构成环网情况下，装两台主变为宜。

(2) 为满足运行的灵敏性和可靠性，如有重要负荷的变电所，应选择两台绕组变压器，选用三绕组变压器占的面积小，运行及维护工作量少，价格低于四台双绕组变压器，因此三绕组变压器的选择大大优于四台双绕组变压器；对地区性孤立的一次变或大型的工业专用变电站，设计时应考虑装三台的可能性。

(3) 对于规划只装设两台主变压器的变电站，其变压基础宜按大于变压器容量的 1-2 级设计，以便负荷发展时更换变压器的容量按上述分析我设计的主电站应装设两台同型号的三绕组变压器。

#### 3.4.2 变压器容量的确定

(1) 主变容量选择一般应按变电站建成后 5~10 年的规划负荷选择，并适当考虑到远期几年发展，对城郊变电站，主变容量应与城市规划相结合。

(2) 根据变电站的负荷性质和电网结构来确定主变容量，对有重要负荷的变电站应考虑一台主变压器停运时，其余主变压器容量在计及过负荷能力后的允许时间内，应保证用户的一、二级负荷；对一般性变电站，当一台主变停运时，其余主变压器应能保证全部负荷的 60%。

(3) 同级电压的单台降压变压器容量的级别不宜太多，为了保证供电可靠性，变电所一般装设两台主变，有条件的应考虑设三台主变的可能性。对于使用两台变压器的变电所，其额定容量可按下式确定变压器的额定容量：

$$S_n \approx \frac{(0.6 \sim 0.7) S_{\max}}{(n-1)}$$

式中  $S_{\max}$  --- 变电所最大负荷

$n$  --- 为变压器台数；本设计中取 0.6

则其最大容量  $S_{\max} = 45 + 6 = 51(\text{MVA})$

平均容量  $S_N = 0.6 \times 51 = 30.6(\text{MVA})$ ，取 31.5MVA

查《电力工程电气设计手册（ 1 ）》（见附录 1 ）可知数据如下：

表 3-2

额定容量 $S_N$	额定电压 $U_N$		阻抗电压 $U_s \%$	空载电流 $I_0 \%$	负载损耗 $\Delta P_s$	空载损耗 $\Delta P_0$	备注
31.5MVA	高压	低压	8	0.6	132kW	31.6kW	
	38.5	11					

3.4.3 调压方式的确定

调压方式是指采用有载（带负荷）调压还是手动（不带负荷）调压方式。根据相关规程规定，在满足电压正常波动情况下可以采用手动（不带负荷）调压方式，手动调压方式的变压器便宜维修方便。对于 35kV 站的设计，可采用手动调压方式。但是，近年随着对变压器质量的要求的提高和有载调压变压器质量的提高，作为城市变电站一般选择有载调压方法。

3.4.4 容量比

变压器的绕组容量有：100/100/100、100/100/50、100/50/50 等几种。对于本次设计 35kV 变压器总容量不大，其绕组容量对于造价影响不大，所以采用 100/100/100 的容量比。

3.4.5 主变压器的参数计算

（1）绕组的等值电抗计算，变压器的等值电路如图 3-2

根据《电力系统分析》上册 P28 页

$$X_T = \frac{U_s \%}{100} \times \frac{U_N}{\sqrt{3} I_N} = \frac{U_s \% \cdot U_N^2}{100 \cdot S_N} = \frac{8 \times 35^2}{100 \times 31.5} = 3.11 \Omega$$

（2）选取基准值  $S_B=100MVA$   $U_B=U_N$ ， $X_B = \frac{U_B^2}{S_B} = \frac{35^2}{100} = 12.25 \Omega$ ，绕组的等值电抗标么值如下：

$$X^* = \frac{X}{X_B} = 3.11 / 12.25 = 0.254$$

（3）变压器绕组的等效电阻

$$R_T = \frac{\Delta P_s U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{132 \times 35^2}{31500^2} \times 10^3 \Omega = 0.163 \Omega$$

(4) 绕组的电抗

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{U_N^2} \times 10^{-3} = \frac{31.6}{35^2} \times 10^{-3} S = 2.580 \times 10^{-5} S$$

(5) 绕组的等效电纳

变压器空载电流  $I_0$  包含有功分量和无功分量，由于有功分量相对很小，可以近似认为空载电流等于无功分量，即  $I_0 \approx I_b$ ，于是就有

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_N} \times 100 \approx \frac{I_b}{I_N} \times 100 \approx \frac{U_N \cdot B_T}{\sqrt{3} I_N} \times 100 \text{ 从而有}$$

$$B_T = \frac{I_0 \%}{100} \times \frac{S_N}{U_N^2} \times 10^{-3} S = \frac{0.6 \times 31500}{100 \times 35^2} \times 10^{-3} S = 1.543 \times 10^{-4} S$$

该变压器的等值电路如图所示

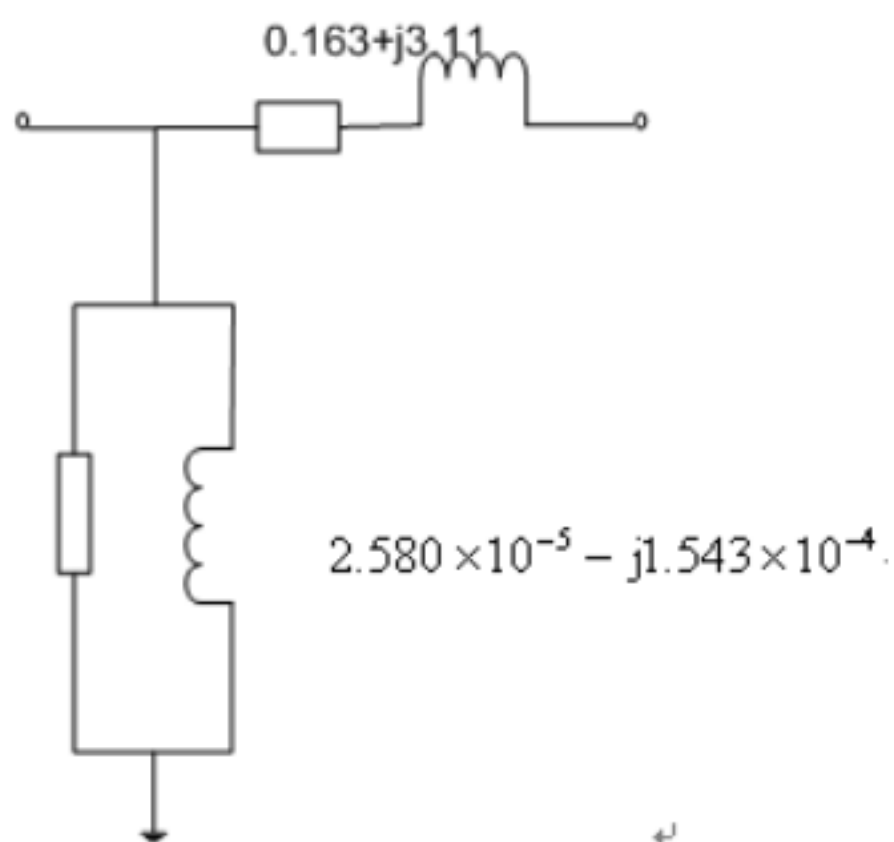


图 3-2 变压器的等值电路

## 第 4 章 短路电流计算

### 4.1 短路电流的目的及其假定

#### 4.1.1 短路电流计算的目的

(1) 在选择电气主接线时，为了比较各种接线方案，或确定某一接线是否需要采用限制短路电流的措施，均需进行必要的短路电流计算。

(2) 在选择电气设备时，为了保证设备在正常运行和故障状况下都能安全、可靠的工作；同时又力求节约资金，这就需要按短路情况进行全面校验。

(3) 在设计屋外高压配电装置时，需按短路条件校验软导线相间和相对地安全距离。

(4) 在选择继电保护方式和进行整定计算，需以各种短路时的短路电流为依据。

(5) 接地装置的设计，也需用短路电流。

#### 4.1.2 基本假定

(1) 正常工作时，三相系统对称运行。

(2) 所有电源的电动势相位角相同。

(3) 系统中电机均为理想电机。

(4) 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行。

(5) 短路发生在短路电流为最大值的瞬间。

短路电流的计算有两种方法：欧姆法和标么值法。本次设计采用欧姆法。

### 4.2 基准值计算

高压短路电流计算一般只计及各元件的电抗，采用标么值计算，取基准

容量  $S_B=100\text{MVA}$ ，基准电压  $U_0 = U_{av}$ ，基准电流  $I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{av}}$ ，基准电抗

$$X_0 = \frac{U_0^2}{S_0}, U_{oc} = 11\text{KV}$$



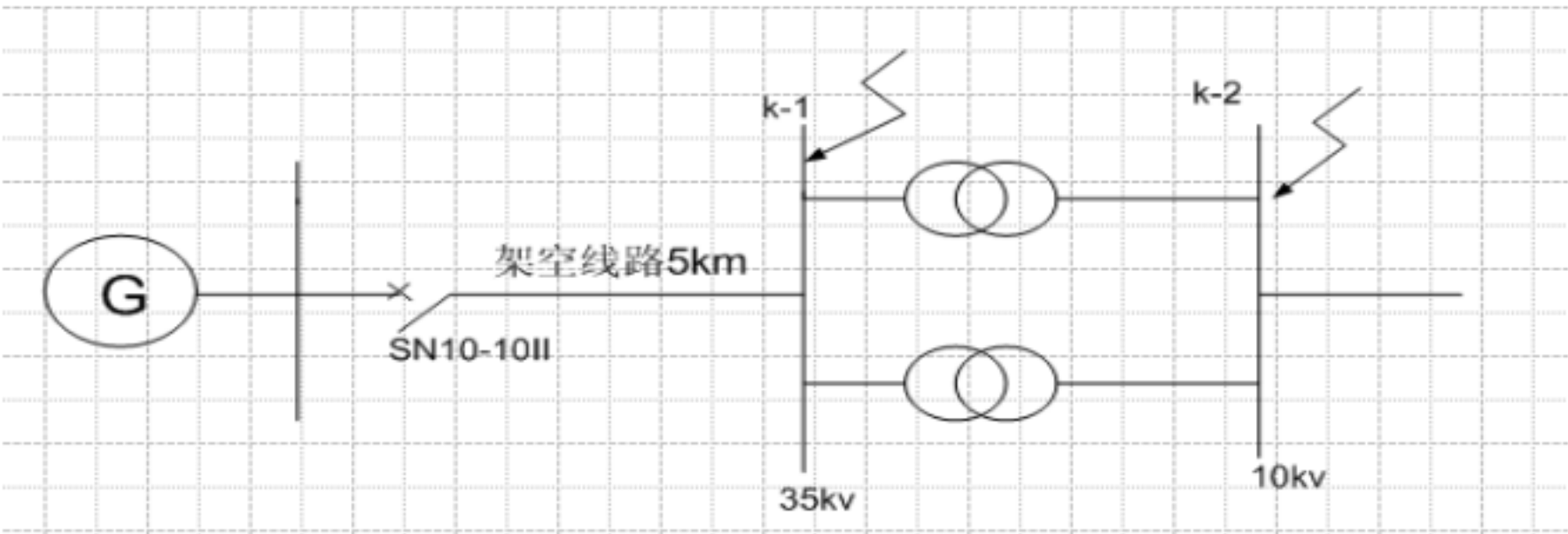


图 4-1 变电所的主接线图

#### 4.2.1 计算短路电路中各元件的电抗及总电抗

(1) 电力系统的电抗：有附录 8(《工厂供电》第 5 版 374 页)查得 SN10-10II 型断流容量  $S_{oc} = 5000\text{MV} \cdot \text{A}$ ，因此

$$X_1 = \frac{U_{c1}^2}{S_{oc}} = \frac{11^2}{500} = 0.242\Omega$$

(2) 架空线路的电抗：有表 4-1 可知  $X_0 = 0.40\Omega / \text{km}$ ，因此

$$X_2 = X_0 L = 0.40 \times 5 = 2\Omega$$

表 4-1 电力线路每相的单位长度电抗平均值

线路结构	线 路 电 压		
	35kv 及以上	6—10kv	220/380v
架空线路	0.40	0.35	0.32
电缆线路	0.12	0.08	0.066

(3) 绘 k-1 点短路的等效电路，如图所示，图上标出各元件的序号（分子）和电抗值（分母），并计算其总电抗为

$$X_{\sum (K-1)} = X_1 + X_2 = 2 + 0.242 = 2.242\Omega$$

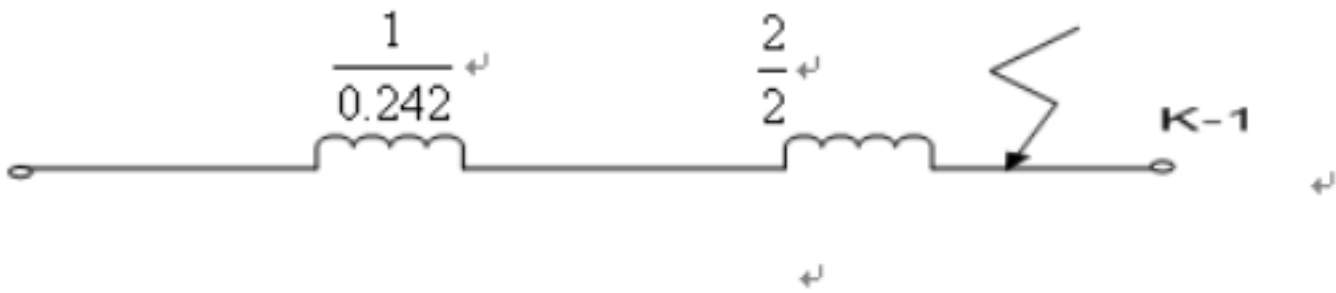


图 4-2 k-1 点短路时的等值网络图



#### 4.2.2 计算三相短路电流和短路容量

(1) 三相短路电流周期分量有效值

$$I_{k-1}^{(3)} = \frac{U_{c1}}{\sqrt{3}X_{\Sigma(k-1)}} = \frac{11}{\sqrt{3} \times 2} = 3.18 \text{ kA}$$

(2) 三相短路次暂态电流和稳态电流

$$I''^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{K-1}^{(3)} = 3.18 \text{ kA}$$

(3) 三相短路冲击电流及第一个周期短路全电流有效值

$$i_{sh}^{(3)} = 2.55 \times 3.18 = 8.11 \text{ kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.51 I''^{(3)} = 1.51 \times 3.18 = 4.80 \text{ kA}$$

(4) 三相短路容量

$$S_{k-1}^{(3)} = \sqrt{3} U_{c1} I_{k-1}^{(3)} = \sqrt{3} \times 11 \times 3.18 = 60.6 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

#### 4.2.3 求 k-2 点的短路电流和短路容量 ( $U_{c2} = 0.4 \text{ kv}$ )

(1) 计算短路电路中各元件的电抗及总电抗

$$\text{电力系统的电抗: } X_1' = \frac{U_{c2}^2}{S_{oc}} = \frac{0.4^2}{500} = 3.2 \times 10^{-4} \Omega$$

(2) 架空线路的电抗:

$$X_2' = X_0 L \left( \frac{U_{c2}}{U_{c1}} \right)^2 = 0.40 \times 5 \times \left( \frac{0.4}{11} \right)^2 = 2.64 \times 10^{-3} \Omega$$

(3) 电力变压器的电抗: 查《电力工程电气设计手册 (1)》得  $U_k \% = 8$

$$X_3 = X_4 \approx \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_{c2}^2}{S_N} = \frac{8}{100} \times \frac{0.4^2}{1000} = 1.28 \times 10^{-2} \Omega$$

(4) 绘 k-2 点短路的等效电路, 如图所示, 图上标出各元件的序号 (分子) 和电抗值 (分母), 并计算其总电抗为

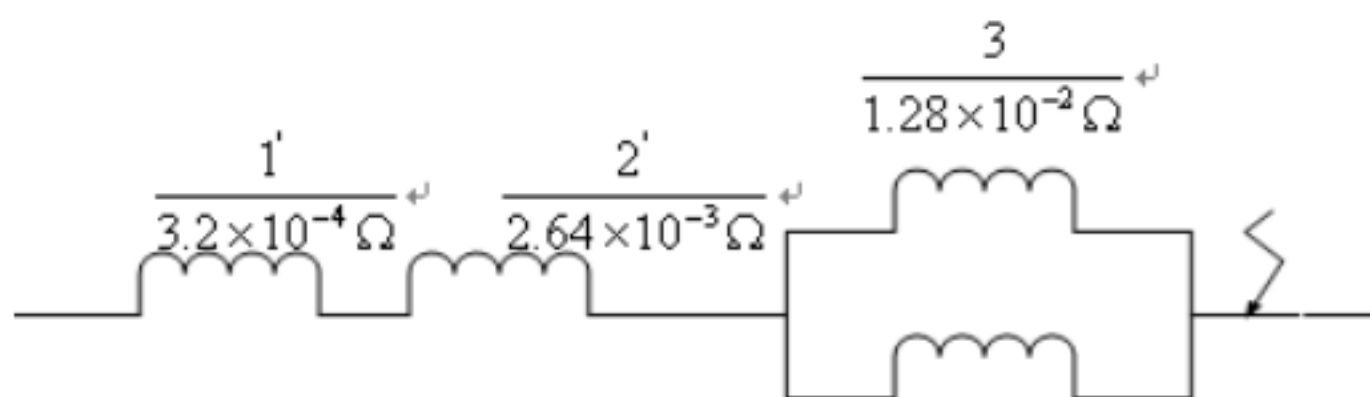


图 4-3 k-2 处短路时的等值网络图

$$X_{\Sigma(k-2)} = X_1' + X_2' + X_3 // X_4 = 3.2 \times 10^{-4} + 2.64 \times 10^{-3} + 6.4 \times 10^{-3} = 9.36 \times 10^{-3} \Omega$$

#### 4.2.2 计算三相短路电流和短路容量

(1) 三相短路电流周期分量有效值

$$I_{k-2}^{(3)} = \frac{U_{c2}}{\sqrt{3} X_{\Sigma(k-2)}} = \frac{0.4}{\sqrt{3} \times 9.36 \times 10^{-3} \Omega} = 24.7 \text{ kA}$$

(2) 三相短路次暂态电流和稳态电流

$$I''^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-2}^{(3)} = 24.7 \text{ kA}$$

(3) 三相短路冲击电流及第一个周期短路全电流有效值

$$i_{sh}^{(3)} = 1.84 \times 24.7 = 45.5 \text{ kA}$$

$$I_{sh}^{(3)} = 1.09 I''^{(3)} = 1.09 \times 24.7 = 27.0 \text{ kA}$$

(4) 三相短路容量

$$S_{k-2}^{(3)} = \sqrt{3} U_{c2} I_{k-2}^{(3)} = \sqrt{3} \times 0.4 \times 24.7 = 17.1 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

在工程设计说明中，往往只列短路计算表，如表 4-2 所示。

表 4-2

短路计算点	三相短路电流 /kA					三相短路容量 /MVA
	$I_k^{(3)}$	$I''^{(3)}$	$I_{\infty}^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$S_k^{(3)}$
k-1	3.18	3.18	3.18	8.11	4.80	60.6
k-2	24.7	24.7	24.7	45.5	27.0	17.1

## 第 5 章 电气设备的选择

### 5.1 电气设备选择的基本原则

- (1) 应满足正常运行、检修、短路和过电压情况下的要求，并考虑远景发展。
- (2) 应按当地使用环境条件校验。
- (3) 应力求技术先进和经济合理。
- (4) 与整个工程的建设标准应协调一致。
- (5) 同类设备用尽量减少品种。
- (6) 选用的新产品均应具有可靠的试验数据并经正式签订合格的特殊情况下选用未经正式鉴定的新产品应经上级批准。

### 5.2 断路器

#### 5.2.1 35KV 侧断路器的选择

- (1) 35KV侧最大的工作电流

$$I_{gmax} = \frac{1.05P_N}{\sqrt{3} \times 35 \times \cos\phi} = \frac{1.05(45 \times 0.8 + 6 \times 0.8)}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 779A$$

根据 110KV出线的  $U_{NS}$  ,  $I_{max}$  的要求，查《发电厂变电站电气设备》附表，把计算数据和断路器的有关参数进行列表可选 SW2-35/1000,而隔离开关应选用 GW5-35G/1000-83

表 5-1

型号	额定电压	额定电流	额定断流量	动稳定电流	热稳定电流 (4s)
SW2-35/1000	35	1000A	24.8kA	63.4kA	24.8kA

#### 5.2.2 选择校验

- (1) 额定开断电流校验

$$I_{Nbr} = 24.7kA \quad I_k = 24.8kA \quad I_{Nbr} \geq I_k \text{(满足条件)}$$

- (2) 额定电压校验

$V_N = 35\text{kV}$

$V_{Ns} = 35\text{kV}$

$V_N \geq V_{Ns} \text{ (满足条件)}$

( 3 ) 额定电流校验

$I_e = 1000\text{A}$

$I_{gmax} = 77\text{A}$

$I_e \geq I_{gmax} \text{ (满足条件)}$

( 4 ) 动稳定校验

$I_{es} = 63.4\text{kA}$

$I_{sh} = 45.5\text{kA}$

$I_{es} \geq I_{sh} \text{ (满足条件)}$

( 5 ) 热稳定校验

$\beta'' = \frac{I''}{I_\omega} = \frac{45.5}{24.7} = 1.84$

取  $t_s = 4\text{s}$  ,  $t_z = 4.8\text{s}$

$I_\omega \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}} = 24.7 \sqrt{\frac{4.8}{4}} = 39.856\text{kA}$

$I_r = 63.4\text{kA}$

$I_r \geq I_\omega \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}} \text{ (满足条件)}$

5.2.3 10KV 侧出线断路器及分段断路器的选择

( 1 ) 10KV 侧出线断路器及分段断路器的工作情况基本一致 ,故可选用同一型号断路器

10KV 侧母线最大持续工作电流。

$I_{gmax} = \frac{1.05P_N}{\sqrt{3} \times 110 \times \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 6 \times 0.8}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 1039\text{A}$

根据该最大持续工作电流  $I_{gmax}$  ,查<<发电厂电气部分 >> P<sub>345</sub> 附表 5 知选 SN10-10 /2000 型户内少油式断路器为宜 ,其具体参数如下表

表 5-2

型号	额定电压	额定电流	额定断流量	动稳定电流	热稳定电流 (4s)
SN10-10 /2000	10kv	2000A	43.3kA	130kA	43.3kA

5.2.4 选择校验

( 1 ) 额定开断电流校验

$I_{Nbr} = 43.3\text{kA}$                        $I_k = 24.7\text{kA}$                        $I_{Nbr} \geq I_k$  (满足条件)

( 2 ) 额定电压校验

$V_N = 10\text{kV}$                        $V_{Ns} = 10\text{kV}$                        $V_N \geq V_{Ns}$  (满足条件)

( 3 ) 额定电流校验

$I_e = 2000\text{A}$                        $I_{gmax} = 1039\text{A}$                        $I_e \geq I_{gmax}$  (满足条件)

( 4 ) 动稳定校验

$I_{es} = 130\text{kA}$                        $I_{sh} = 45.5\text{kA}$                        $I_{es} \geq I_{sh}$  (满足条件)

( 5 ) 热稳定校验

$\beta'' = \frac{I''}{I_\omega} = \frac{45.5}{24.7} = 21.83$  取  $t_s = 4\text{s}$  ,  $t_z = 4.8\text{s}$

$I_\omega \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}} = 24.8 \sqrt{\frac{4.8}{4}} = 29.856\text{kA}$

$I_r = 43.3\text{kA}$                        $I_r \geq I_\omega \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}}$  (满足条件)

经校验 ,计算结果满足要求 ,可确定 10kV 侧出线断路器 ,分段断路器选用型号为 SN10-10 /2000。

5.3 隔离开关

5.3.1 35KV 侧隔离开关的选择

35KV 侧隔离开关的工作情况基本一致 , 故可选用同一型号的隔离开关。

35KV 侧母线最大持续工作电流 :

$I_{gmax} = \frac{1.05P_N}{\sqrt{3} \times 110 \times \cos\varphi} = \frac{1.05(45 \times 0.8 + 6 \times 0.8)}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 882\text{A}$

根据该最大持续工作电流  $I_{gmax}$  , 查《发电厂电气部分》 P<sub>345</sub> 附表 7 可知选择 GW5-35G/1000-83 为如表 4-4 :

表 5-3

型号	额定电压	额定电流	动稳定电流	热稳定电流
GW5-35G/1000-83	35	1000A	83A	25A

( 1 ) 额定电压校验

$$U_N = 35\text{kV} \qquad U_{Ns} = 35\text{kV} \qquad U_N \geq U_{Ns} \text{ ( 满足条件 )}$$

( 2 ) 额定电流校验

$$I_e = 1000\text{A} \qquad I_{gmax} = 882\text{A} \qquad I_e \geq I_{gmax} \text{ ( 满足条件 )}$$

( 3 ) 热稳定校验

$$\beta'' = \frac{8.11}{4.8} = 1.83 \qquad t_z \text{ 取 } 4.5\text{s} \quad t_d \text{ 取 } 4\text{s}$$
  
$$t_{dz} = t_z + 0.05\beta'' = 4.8$$
  
$$I_r \cdot \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}} = 4.8\sqrt{4.8/4} = 6.4(\text{kA}) \quad I_r = 25\text{kA} \quad I_r \geq I_{\omega} \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}} \text{ ( 满足条件 )}$$

( 4 ) 动稳定校验

$$I_{es} = 83\text{kA} \qquad I_{sh} = 8.11\text{kA} \qquad I_{es} \geq I_{sh} \text{ ( 满足条件 )}$$

经 校 验 ， 计 算 结 果 满 足 要 求 ， 可 确 定 35 侧 隔 离 开 关 型 号 为 ：  
GW4-110D/1000-80。

5.3.2 10KV 侧隔离开关的选择

( 1 ) 10 KV 侧隔离开关的工作情况基本一致 ， 故可选用同一类型隔离开关。

10KV 侧母线最大持续工作电流为：

$$I_{gmax} = \frac{1.05P_N}{\sqrt{3} \times 110 \times \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 6 \times 0.8}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 1039\text{A}$$

根据该最大持续工作电流 ， 查 发电厂电气部分 p<sub>346</sub> 附表 7  
可知选择 GN2-10/2000-85 型隔离开关为宜 ， 其如表 5-4

表 5-4 隔离开关的参数

型号	额定电压	额定电流	动稳定电流	热稳定电流 5s
GN2-10/2000-83	10kv	200A	85	51

( 2 ) 选择校验

( a ) 额定电压校验

$$U_N = 10\text{kV} \qquad U_{Ns} = 10\text{kV} \qquad U_N \geq U_{Ns} \text{ ( 满足条件 )}$$

(b) 额定电流校验

$I_e = 2000A$                        $I_{gmax} = 109A$                        $I_e \geq I_{gmax}$  (满足条件)

(c) 热稳定校验

$\beta'' = 8.11 / 4.8 = 1.83$                        $t_z$  取 5s     $t_d$  取 5.5s

$I_{\omega} \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}} = 45.5 \sqrt{\frac{4.8}{4}} = 39.856kA$

$I_r = 51kA$                        $I_r \geq I_{\omega} \sqrt{\frac{t_{dz}}{t_d}}$  (满足条件)

(d) 动稳定校验

$I_{es} = 83kA$                        $I_{sh} = 45.5kA$                        $I_{es} \geq I_{sh}$  (满足条件)

经校验，计算结果满足要求。可确定 10kv 侧隔离开关选用型号为 GN2-10/2000-83。

5.4 电流互感器的选择

互感器是电力系统中测量仪器、继电保护等二次设备获取电气一次回路信息的传感器。互感器将高电压、大电流按比例变成低电压（100、 $100/\sqrt{3}V$ ）和小电流（5、1A），其一次侧接在一次系统，二次侧接测量仪表与继电保护装置等。互感器包括电流互感器和电压互感器两大类，结构上主要是电磁式的。

5.4.1 电流互感器的初选

根据电路互感器安装处电网的额定电压，线路的最大持续工作电流，用途以及安装地点，在 电力工程设计手册三  $P_{1251-1300}$  查表可选取电流互感器及其参数如表 5-5：

表 5-5

安装处	最大持续工作电流 (A)	型号	额定电流	热稳定倍数	动稳定倍数
35KV侧	882	LCWD-35	$1000/5$	65	100
10KV侧	1039	LMC-10	$2000/5$	75	



## 5.4.2 电流互感器的校验

### (1) 35KV 侧电流互感器的校验

#### (a) 热稳定校验

$$K_V I_e = 65 \times 1000 = 65000 \left( A \cdot S^{1/2} \right)$$

$$I_{\omega} \sqrt{t_{dz}} = 8.11 \sqrt{4.8} = 16486 \left( A \cdot S^{1/2} \right)$$

$$K_V I_e \geq I_{\omega} \sqrt{t_{dz}} \quad (\text{满足条件})$$

#### (b) 额定电流校验

$$I_e = 1000A \quad I_{g \max} = 822A$$

$$I \geq I_{g \max} \quad (\text{满足条件})$$

#### (c) 动稳定校验

$$\sqrt{2} I_e K_d = \sqrt{2} \times 1000 \times 100 = 141KA \quad I_{sh} = 45.5KA$$

$$\sqrt{2} I_e K_d \geq I_{sh} \quad (\text{满足条件})$$

### (2) 10KV 侧电流互感器的校验

#### (a) 热稳定校验

$$K_V I_e = 75 \times 2000 = 150000 \left( A \cdot S^{1/2} \right)$$

$$I \sqrt{t_{dz}} = 45.5 \sqrt{4.8} = 99638 \left( A \cdot S^{1/2} \right)$$

$$K_V I_e \geq I_{\omega} \sqrt{t_{dz}} \quad (\text{满足条件})$$

#### (b) 额定电流校验

$$I_e = 2000A \quad I_{g \max} = 1039A$$

$$I \geq I_{g \max} \quad (\text{满足条件})$$

#### (c) 动稳定校验

$$\sqrt{2} I_e K_d = \sqrt{2} \times 2000 \times \infty \quad I_{sh} = 24.7KA$$

$$\sqrt{2} I_e K_d \geq I_{sh} \quad (\text{满足条件})$$

经校验，计算结果满足要求，初选的各电压等级的电流互感器型号正确。

5.4.3 电压互感器的选择

(1) 电压互感器的初选

电压互感器按一次回路电压，二次电压，安装地点和使用条件，二次负荷及准确等级要求进行选择，查 电力工程设计手册三 P<sub>1243~1244</sub> 表 24-3 和表 24-4 得各电压等级电压互感器参数如表 5-6：

表 5-6

安装处	型号	最大容量 ( VA )	额定电压 ( KV )			副线圈容量 ( VA )
			原线圈	副线圈	辅助线圈	
35KV 侧	JDJJ-35	1200	$35/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	150 ( 0.5 级 )
10KV 侧	JSJW-10	960	10	0 . 1	$0.1/\sqrt{3}$	120 ( 0.5 级 )

(2) 电压互感器的校验

电压互感器二次侧负荷统计表 5-7

仪表名称及型号	每相线圈消耗功率	仪表电压线圈		仪表数目	AB相		BC相	
		$\cos \varphi$	$\sin \varphi$		$P^{ab}$	$Q^{ab}$	$P^{bc}$	$Q^{bc}$
三相有功功率表 1D1- W	0.75VA	1	0	2	1.5	0	1.5	0
三相无功功率表 1D1- VAR	0.75VA	1	0	2	0	1.5	0	1.5
三相有功电能表 DS1	1.5VA	0.38	0.95	2	1.5	0	1.5	0
三相无功电能表 DX1	1.5VA	0.38	0.95	2	0	1.5	0	1.5
电压表 1TV-V	6VA	1	0	2	6	0	6	0
负荷电压继电器 DY-Z	12.5VA	1	0	1	12.5	0	12.5	0
三相电压继电器 DYJ-1	5VA	1	0	1	5	0	5	0
总计	28VA			12	26.5	3	26.3	3

由上表可知，AB相与BC相负荷相等，有

$$S_{ab} = S_{bc} = \sqrt{26.5^2 + 3^2} = 26.67(\text{VA})$$

$$\arccos(\varphi_{ab}) = \arccos(\varphi_{bc}) = \frac{P_{ab}}{S_{ab}} = \frac{26.5}{26.67} = 0.994$$

$$\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = 6.3^\circ$$

电压互感器接成星形负荷接成三角形时 B相负荷的计算：

$$P_b = [S_{ab} \cos(A + 30^\circ) + S_{bc} \cos(B - 30^\circ)] / \sqrt{3} = 33.56(\text{W})$$

$$Q_b = [S_{ab} \sin(A + 30^\circ) + S_{bc} \sin(B - 30^\circ)] / \sqrt{3} = 12.34(\text{Var})$$

$$S_b = \sqrt{P_b^2 + Q_b^2} = \sqrt{33.56^2 + 12.34^2} = 35.75(\text{VA}) < 120/3 = 40(\text{VA})$$

电压互感器接成不完全星形负荷也接成不完全星形时 AB相负荷的计算：

$$P_{ab} = S_{ab} \cos(\varphi_{ab}) = 26.51\text{W}$$

$$Q_{ab} = S_{ab} \sin \varphi_{ab} = 2.93\text{Var}$$

$$S_{ab} = \sqrt{P_{ab}^2 + Q_{ab}^2} = \sqrt{26.51^2 + 2.93^2} = 26.67(\text{VA}) < 120/3 = 40(\text{VA})$$

10KV 副线圈容量最小，按照 10KV 的副线圈容量校验成立，那么 110KV，35KV 侧电压互感器校验也成立。

## 5.5 母线的选择

根据矩形、槽形和管形母线的使用范围、母线的截面形状，应该保证集肤效应系数尽可能低、散热良好、机械强度高、安装简便和连接方便以及变电所的周围环境和实际情况母线的选择。

### 5.5.1 35KV 母线的选择

#### (1) 母线型号选择

35KV 侧母线最大持续工作电流

$$I_{gmax} = \frac{1.05P_N}{\sqrt{3} \times 35 \times \cos\phi} = \frac{1.05(45 \times 0.8 + 6 \times 0.8)}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 882A$$

依据 T=3500h，在《发电厂电气部分》 P<sub>205</sub> 图 6-17 查得经济电流密度 j 为：0.96，结合最大持续工作电流 I<sub>gmax</sub>，可得：

$$S = \frac{I_{gmax}}{j} = \frac{882}{0.96} = 920(mm^2)$$

查《电力工程设计手册（1）》 P<sub>277</sub> 表 4-26，选择铝母线型号及参数见表 5-8：

表 5-8

D( mm )	截面 (mm <sup>2</sup> )	载流量 ( A )	重量 ( Kg / m )	电阻 ( 10 <sup>-4</sup> Ω / m )	集肤效应 系数 K <sub>f</sub>	截面系数 W(cm <sup>3</sup> )	惯性半径 R <sub>2</sub> (cm)
35	962.1	1370	2.6	0.307	1.07	4.288	0. 875

（2）母线选择校验

按导体长期发热允许电流校验

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{al} - \theta}{\theta_{al} - \theta_0}} = \sqrt{\frac{70 - 17}{70 - 25}} = 1.08$$

$$K I_{al} = 1.08 \times 962.1 = 1039A \quad I_{gmax} = 920A$$

$$I_{max} \leq K I_{al} \text{（满足条件）}$$

按电晕电压校验

对 35KV 及以上电压的母线（硬母线和软母线）应根据当地晴天气象条件校验电晕电压，使工作电压小于临界电晕电压

$$U_{lj} = 84K \cdot m \cdot \delta \cdot \gamma (1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta \cdot \gamma}}) L_g \frac{a}{\gamma} = 203KV$$

$$U_g = 35KV$$

$$U_{lj} \geq U_g \text{（满足条件）}$$

按热稳定校验

$$S = 962.1mm^2$$

$$\frac{I_{\infty}}{C}\sqrt{t_j K_f}=141\text{ mm}^2$$

$$S\geq \frac{I_{\infty}}{C}\sqrt{t_j K_f}\text{ (满足条件)}$$

按动稳定校验

$$\sigma =1.76\times 10^{-3}L^2i_{sh}^2\beta /(a\times w)=244.9\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{yv}=600\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{xu}\geq \sigma\text{ (满足条件)}$$

因此，经过各种校验都能满足条件，选择此种型号的母线。

5.5.2 10KV 母线的选择

(1) 母线型号选择

10KV侧母线最大持续工作电流为：

$$I_{gmax}=\frac{1.05P_N}{\sqrt{3}\times 110\times \cos\varphi}=\frac{1.05\times 45\times 0.8}{\sqrt{3}\times 35\times 0.8}=779\text{A}$$

依据 T=3000h，在《发电厂电气部分》 P<sub>201</sub> 图 6-17 查得经济电流密度 j 为：

1.10，结合最大持续工作电流 I<sub>gmax</sub>，可得：

$$S=\frac{I_{gmax}}{j}=\frac{779}{1.10}=708(\text{mm}^2)$$

查《电力工程设计手册（1）》 P<sub>277</sub> 见附录（最后一页），选择铝母线型号及参数见表 5-9：

表 5-9

D ( mm )	截面 (mm <sup>2</sup> )	载流量 (A)	重量 (Kg/m)	电阻 (10 <sup>-4</sup> Ω/m)	集肤效应 系数 K <sub>f</sub>	截面系数 W(cm <sup>3</sup> )	惯性半径 R <sub>2</sub> (cm)
68.5	800	634	10.728	0.238	1.10	6.400	1.0

(2) 母线选择校验

(a) 按导体长期发热允许电流校验（条件： I<sub>max</sub> ≤ KI<sub>al</sub>）

$$K=\sqrt{\frac{\theta_{al}-\theta}{\theta_{al}-\theta_0}}=\sqrt{\frac{70-17}{70-25}}=1.08$$

$$KI_{al}=1.08\times 800=864\text{A}\quad I_{gmax}=779\text{A}$$

$$I_{\max} \leq KI_{al} \text{ (满足条件)}$$

$$(b) \text{ 按电晕电压校验 (条件: } U_{lj} \geq U_g \text{)}$$

对 35KV 及以上电压的母线 (硬母线和软母线) 应根据当地晴天气象条件校验电晕电压, 使工作电压小于临界电晕电压。

$$U_{lj} = 84K \cdot m \cdot \delta \cdot \gamma \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta \cdot \gamma}}\right) L_g \frac{a}{\gamma} = 203KV$$

$$U_g = 10KV$$

$$U_{lj} \geq U_g \text{ (满足条件)}$$

$$(c) \text{ 按热稳定校验 (条件: } S \geq \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_j K_f} \text{)}$$

$$S = 800mm^2$$

$$\frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_j K_f} = 141 mm^2$$

$$S \geq \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_j K_f} \text{ (满足条件)}$$

$$(d) \text{ 按动稳定校验 (条件: } \sigma_{xu} \geq \sigma \text{)}$$

$$\sigma = 1.76 \times 10^{-3} L^2 i_{sh}^2 \beta / (a \times w) = 244.9kg/cm^2$$

$$\sigma_{yv} = 600kg/cm^2$$

$$\sigma_{xu} \geq \sigma \text{ (满足条件)}$$

各项指标都能满足要求, 因此选择此种型号的母线。

## 5.6 避雷器的选择

本电站地处平原地区, 海拔高度 100 米, 雷电活动较少, 110KV 侧采用中性点直接接地的运行方式, 结合经济性考虑, 选择 FCZ 磁吹阀型避雷器为宜。

### 5.6.1 避雷器参数

根据电压等级, 查《电力工程设计手册 (3)》附录 表 28-4 (见附表 2), 避雷器参数见表 5-10

表 5-10

型号	额定电压 ( KV )	灭弧电压 ( KV )	工频放电电压 ( KV )		冲击放电 电压 ( KV )	泄露电流	
			不小于	不大于		整流电压 ( KV )	电流 ( A )
FZ-35	35	41	82	98	134	148	450~650

5.6.2 参数校验

( 1 ) 灭弧电压校验 ( 条件 :  $U_{mi}(U_{be}) \geq c_d U_m$  )

$$U_{mi}(U_{be}) = 35 \times 41 = 1435 (KV)$$

$$c_d U_m = 35KV$$

$U_{mi}$  — 避雷器灭弧电压有效值

$U_{be}$  — 避雷器额定电压有效值

$c_d$  — 接地系数 , 取 1.0

$U_m$  — 最高运行线电压

$$U_{mi}(U_{be}) \geq c_d U_m \text{ ( 满足条件 )}$$

( 2 ) 避雷器冲击放电电压上限值

$$U_{chfs} = 134KV \geq U_{be} = 35KV, \text{ 满足条件。}$$

5.6.3 避雷针的高度

避雷针高度计算是根据门型架高度确定的 , 进出线架高 10 米。选避雷针高度  $h=25m$  那么  $P=1$  单支避雷针在地面的保护半径为 :  $r_x = 1.5 \times h = 1.5 \times 25 = 37.5m$  , 当  $h_x = 10m$  时 : 因为  $h_x = 1/2h$  , 所以在  $h_x$  高度避雷针的保护半径为  $r_x = (1.5h - 2h_x) = 17.5m$  四支避雷针的代号分别为 : #1、#2、#3、#4 则四支避雷针的联合保护范围分别为 :

( 1 ) 双针之间的联合保护范围为 :

$$h_0 = h - \frac{D}{7p} = 25 - \frac{39}{7} = 19.4m$$



在  $h_x$  高度避雷针的保护最小宽度  $b_x = 1.5 \times (h_0 - h_x) = 14\text{m}$

(2) 三针之间的联合保护范围为

$$h_0 = h - \frac{D}{7p} = 25 - \frac{55}{7} = 17\text{m}$$

在  $h_x$  高度避雷针的保护最小宽度  $b_x = 1.5 \times (h_0 - h_x) = 10.5\text{m} \geq 0$  ,所以变电站内的设备均在避雷针的联合保护范围内。

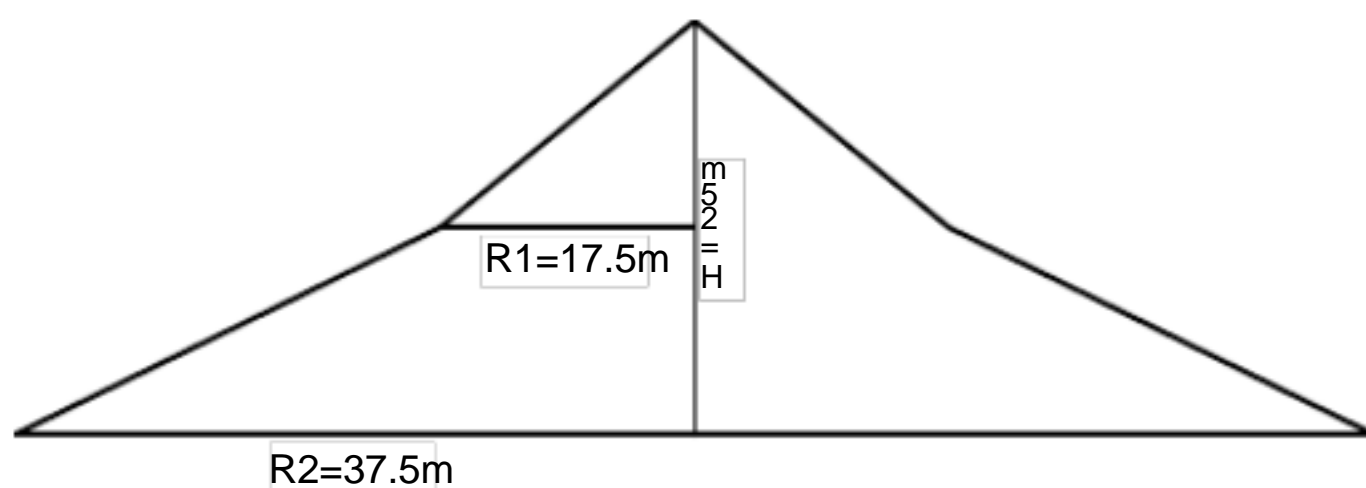


图 5-1 单根避雷针保护范围

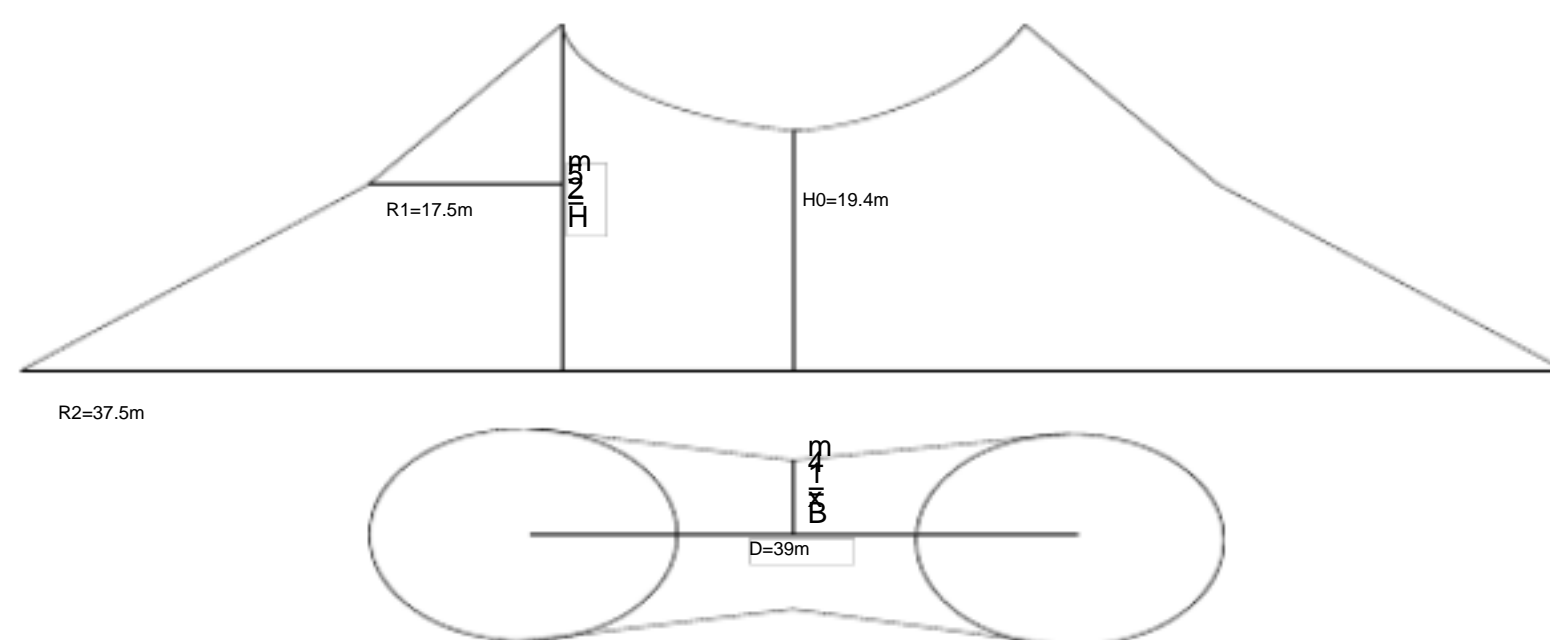


图 5-2 双根避雷针保护范围

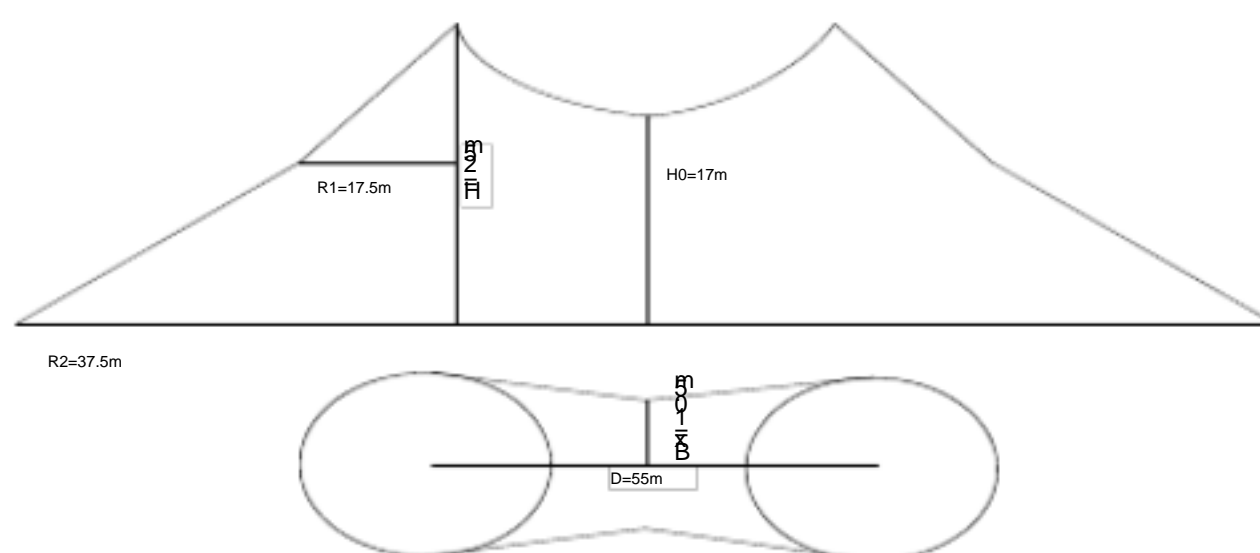


图 5-3 三根避雷针每两根避雷针保护范围



## 5.7 熔断器的选择

熔断器的型号和种类，可根据安装条件、用途及额定电压额定电流选择。作为电力线路、电力变压器短路或过载保护，可选用 RW3--RW7RW9--RW1等系列；作为电压互感器（3--110KV）的短路保护，可选用 RW10或者 RWX等系列。

### 5.7.1 型号选择

根据额定电压和最大持续电流  $I_{g \max}$  并考虑电力变压器侧和电压互感器一次侧，所以可选用同一型号的熔断器，查《发电厂电气部分》P494表 2-20，10KV 熔断器型号、参数见表 5-11

表 5-11

型号	额定电压 ( KV)	额定电流 ( KA)	最大开断容量 ( MVA)
RW10-35	35	1000	600

### 5.7.2 熔断器的选择校验

(1) 额定电压的校验 (条件:  $U_N \geq U_{NS}$ )

$$U_N = 35KV \qquad U_{NS} = 35KV$$

$$U_N \geq U_{NS} \quad (\text{满足条件})$$

 $U_N$ —熔断器的额定电压 $U_{NS}$ —电网额定电压

(2) 额定电流的校验 (条件:  $I_{NS} \approx KI_{qmax}$ )

$$I_{NS} = 1000A$$

$$KI_{g\max} = 1.5 \times 718.9 = 1078A$$

$$I_{NS} \approx KI_{qmax} \quad (\text{满足条件})$$

 $I_{NS}$ —熔断器的熔断电流

K—可靠系数，考虑电动机自启动时取（ $K=1.5\sim 2.0$ ）

$I_{q\max}$ —最大持续工作电流

(3) 额定开断电流的校验 (条件:  $I_{Nbr} \geq (0.5 \sim 0.6) I_{sh}$ )

根据最大开断容量求：

$$I_{Nbr} = S_{Nbr} / \sqrt{3} U_N = 600 / \sqrt{3} \times 35 = 9.89 \text{ KA}$$

$$I_{Nbr} = 9.89 \text{KA} > 0.6 \times 9.161 = 5.49 \text{KA} \quad (\text{满足条件})$$

$I_{Nbr}$  — 最大开断电流

$S_{Nbr}$  —最大开断容量 ( MVA )

$I_{sh}$  —短路时的冲击电流

5.7.3 10KV 熔断器型号选择

( 1 ) 熔断器型号选择

根据额定电压和最大持续电流  $I_{g\max}$  并考虑电力变压器侧和电压互感器一次侧，所以可选用同一型号的熔断器，查《发电厂电气部分》 P<sub>494</sub> 表 2-20 , 10KV 熔断器型号、参数见表 5-12

表 5-12

型号	额定电压 ( KV )	额定电流 ( KA )	最大开断容量 ( MVA )
RW10-10F	10	1600	200

( 2 ) 熔断器的选择校验

( a ) 额定电压的校验 ( 条件 :  $U_N \geq U_{NS}$  )

$U_N = 10KV$                        $U_{NS} = 10KV$

$U_N \geq U_{NS}$  ( 满足条件 )

$U_N$  —熔断器的额定电压

$U_{NS}$  —电网额定电压

( b ) 额定电流的校验 ( 条件 :  $I_{NS} \approx KI_{g\max}$  )

$I_{NS} = 1600A$

$KI_{g\max} = 1.5 \times 1039 = 1558.5A$

$I_{NS} \approx KI_{g\max}$  ( 满足条件 )

$I_{NS}$  —熔断器的熔断电流

K —可靠系数，考虑电动机自启动时取 ( K=1.5~2.0 )

$I_{g\max}$  —最大持续工作电流

( c ) 额定开断电流的校验 ( 条件 :  $I_{Nbr} \geq (0.5 \sim 0.6)I_{sh}$  )

根据最大开断容量求：

$I_{Nbr} = S_{Nbr} / \sqrt{3}U_N = 200 / \sqrt{3} \times 10 = 11.54KA$

$I_{Nbr} \geq (0.5 \sim 0.6)I_{sh}$  ( 满足条件 )

$I_{Nbr}$  —最大开断电流

$S_{Nbr}$  —最大开断容量 ( MVA )

$I_{sh}$  —短路时的冲击电流

## 第 6 章 变电站主变压器的继电器保护设计

### 6.1 变压器保护装置的一般原则

电力变压器是电力系统中十分重要的供电元件，它的故障将对供电可靠性和系统的正常运行带来严重的影响。因此，我们必须研究变压器有哪些故障和不正常运行状态，以便采取相应的保护措施。

(1) 防御变压器铁壳内部短路和油面降低的瓦斯保护。

(2) 防御变压器线圈和引出线的多相短路，大接地电流电网侧线圈和引出线的接地短路以及线圈间短路的纵差动保护或电流速断保护。

(3) 防御外部相间短路并作瓦斯保护和纵差动保护（或电流速断保护）后备的过电流保护（或复合电压启动的过电流保护或负序电流保护）

(4) 防御大接地电流电网中外部接地短路的零序电流保护。

变压器的故障可以分为油箱外和油箱内两种故障。油箱外的故障，主要是套管和引出线上发生相间短路以及中性点直接接地侧的接地短路。这些故障的发生会危害电力系统的安全连续供电。油箱内的故障包括绕组的相间短路、接地短路、匝间短路以及铁心的烧损等。油箱内故障时产生的电弧，不仅会损坏绕组的绝缘、烧毁铁芯，而且由于绝缘材料和变压器油因受热分解而产生大量的气体，有可能引起变压器油箱的爆炸。

变压器外部短路引起的过电流、负荷长时间超过额定容量引起的过负荷、风扇故障或漏油等原因引起冷却能力的下降等，这些运行状态会使绕组和铁芯过热。此外，对于中性点不接地运行的星形接线方式变压器，外部接地短路时有可能造成变压器中性点过电压，威胁变压器的绝缘；大容量变压器在过电压或低频率等异常运行方式下会发生变压器的过励磁，引起铁芯和其它金属构件的过热。

主保护：电流差动保护、瓦斯保护

后备保护：过电流保护 / 低压闭锁过电流保护 / 复合电压闭锁过流保护 / 阻抗保护 / 零序过电流保护 / 零序过电压保护 / 过负荷保护 / 过激磁保护。

两种配置模式：

(1) 主保护、后备保护分开设置

(2) 成套保护装置，重要变压器双重化配置

## 6.2 纵联差动保护整定

以双绕组变压器为例来说明实现纵差动保护的原理，如下图所示：

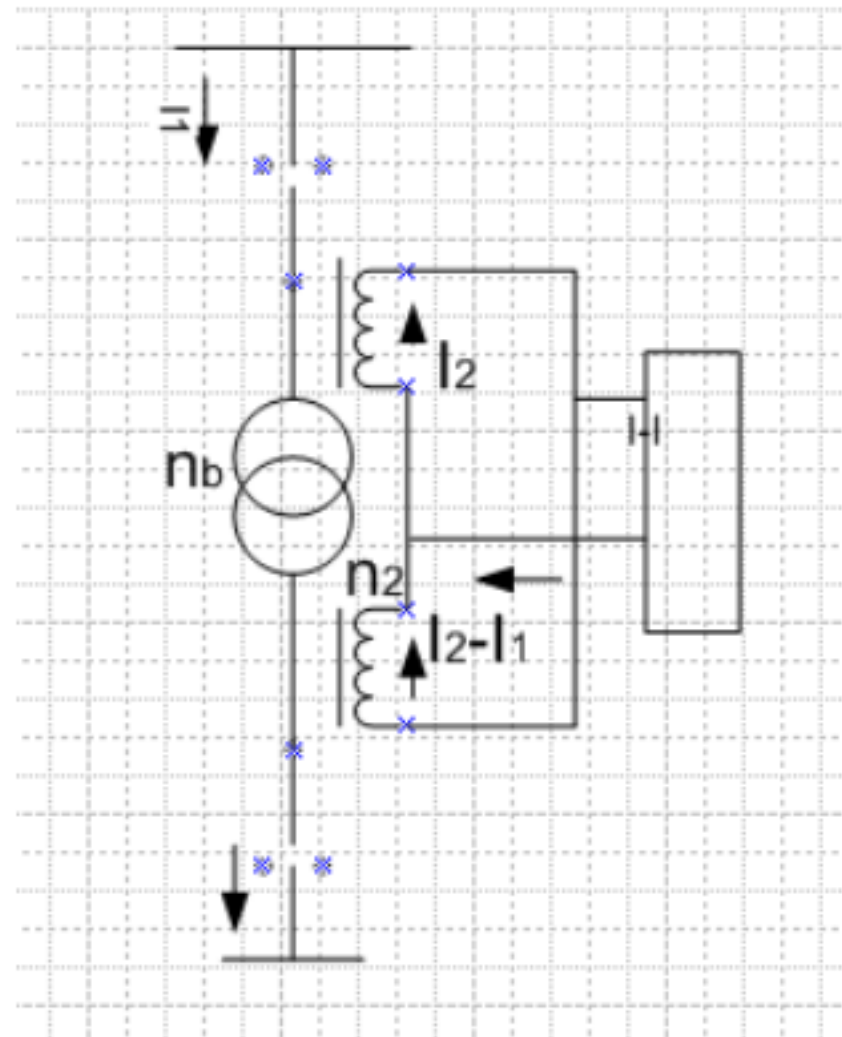


图 6-1 变压器纵差动保护的原理接线

变压器的纵联差动保护在正常运行和外部故障时，理想情况下，流入差动继电器的电流等于零。但实际上由于变压器的励磁电流接线方式和电流互感器误差等因素的影响，继电器中有不平衡电流流过。由于这些因素的影响，变压器差动保护的不平衡电流远比差动保护的大。因此，变压器差动保护需要解决的主要问题之一就是采取各种措施避越不平衡电流的影响。在满足选择性的条件下，还要保证内部故障时有足够的灵敏系数和选择性。

按照避越励磁涌流方法的不同，变压器差动继电器按不同的工作原理来实现。本设计站主变的容量较大，且为三绕组变压器，考虑到外部故障时不平衡电流的影响大于励磁涌流影响的实际情况，我们决定选用 BCH-1型继电器构成纵差动保护，它具有以下特点：

BCH-1型带制动特性的助磁式差动继电器，用于构成双绕组及三绕组变压器的差动保护，由于具有一个制动线圈，因而在避越外部故障不平衡电流的方面的性能优于 BCH-2型继电器，但避越性能则不如 BCH-2型差动继电器，BCH-1型差动继电器多用于以下保护中：

- (1) 带有载调压装置的变压器的差动保护
- (2) 多侧电源的三绕组变压器的差动保护

（3）同一电压侧经过两个断路器接到系统的变压器（如高压侧为内桥接线或多角型接线）的差动保护。

6.2.1 纵差动保护的整定计算

（1）变压器差动保护参数计算结果如下表 6-1

表 6-1

名称	各侧数值	
额定电压 (KV)	38.5	11
额定电流（ A ）	$\frac{40000}{\sqrt{3} \times 38.5} = 600$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \times 11} = 2099$
电流互感器的 接线方式	d	y
电流互感器一次电流计算值	$\sqrt{3} \times 600 = 1039$	2099
选用电流互感器变比	$1000 / 5 = 200$	$2000 / 5 = 400$
电流互感器二次额定电流（ A ）	5.20	5.25

$I_{dz} = K_1 (K_2 K_3 K_4 I_{f1} + I_{f2} + I_{f3} + I_{f4})$  躲过 38.5KV 侧外部短路时的最大不平衡电流

$I_{dz} = 1.3 \times (1 \times 1 \times 0.1 + 0.1 + 0.05 + 0.005) \times 7525 = 2934(A)$

（3）躲过电流互感器二次回路断线的最大负荷电流

$I_{dz} = 1.3 \cdot I_e = 273A$

保护基本侧的动作电流： $I_{dz js} = 29234A$

## 6.2.2 确定差动继电器的动作工作电流和基本侧差动线圈匝数

$$\text{差动继电器的动作电流: } I_{dz\ j\ j_b\ j_s} = \frac{I_{e2\ j_b} \cdot I_{dz\ j_b\ j_s}}{I_{e2\ j_b}} = \frac{3.02 \times 2934}{210} = 42.3(A)$$

$$\text{差动线圈匝数: } W_{cd\ j_s} = \frac{A_{w0}}{dz\ j_s\ j_b} = \frac{60}{42.3} = 1.4(t)$$

$$\text{实际整定匝数选用: } W_{cd\ z} = 1(t)$$

$$\text{继电器的实际动作电流: } I_{dz\ j\ j_b} = \frac{60}{1} = 60(A)$$

$$\text{保护装置的实际动作电流: } I_{dz\ j_b} = \frac{I_{dz\ j_b\ j_s} I_{e\ j_b}}{3.03} = \frac{60 \times 210}{3.03} = 4158(A)$$

(1) 确定非基本侧工作线圈和平衡线圈匝数:

$$W_{ph\ f_i\ j_s\ b} = \frac{3.03 - 5.25}{5.25} = -0.42$$

$$W_{ph\ f_i\ j_s\ 38.5} = \frac{3.03 - 5.20}{5.20} = -0.417$$

$$\text{选取 } W_{j\ f_i\ 2} = 0 + 1 = 1(t)$$

$$\text{实际工作线圈匝数: } W_{j\ f_i\ 2} = 0 + 1 = 1(t)$$

(2) 验算保护装置的动作选择性

基本侧的二次动作电流为:

$$I_{dz} = 1.3 \times (1 \times 1 \times 0.1 + 0.1 + 0.05) \times 7525 = 2446(A)$$

$$\text{差动线圈匝数 } W_{cd\ j_s} = \frac{60}{35.29} = 1.70(t) > 1(t)$$

由于精确计算匝数大于原整定匝数, 故可取  $W_{cd\ 2} = 1(t)$

(3) 校验保护的灵敏系数

当系数最小运行方式下, 11 千伏侧出口处发生两相短路时。保护装置灵敏

$$\text{系数最低: } K_{lm} = \frac{K_j \times \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{d\ min}}{K_{dz\ j_b}} = \frac{1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 5900}{4.58} = 1.116$$



灵敏系数小于 2 不 满足要求 , 需改用带比率制动特性 BCH-1 型差动继电器。

( 4 ) 躲过 11 千伏侧外部短路时的最大不平衡电流 :

$$I_{dz} = K_b \cdot I_b = 1.5 \times 210 = 315(A)$$

$$\text{躲过励磁涌流 : } I_{dz} = K_b \cdot I_e = 1.5 \times 210 = 315(A)$$

( 5 ) 差动继电器动作电流和差动线圈匝数

$$\text{差动继电器动作电流 : } I_{dzjs} = \frac{1082 \times 3.03}{210} = 17(A)$$

$$\text{差动线圈匝数 : } W_{cdjs} = \frac{60}{17} = 3.53(t)$$

选用  $W_{cd2}$  为 4t

$$\text{继电器的实际动作电流 : } I_{dzjb} = \frac{60}{4} = 15(A)$$

$$\text{保护的一次实际动作电流 : } I_{dzjb} = 15 \times \frac{210}{3.03} = 1040(A)$$

( 6 ) 非基本侧工作线圈匝数和平横圈匝数 :  $W_{phf1js10} = \frac{3.03 - 5.20}{5.20} = -0.42(t)$

$$W_{phfijs35} = \frac{3.03 - 5.20}{5.20} = -0.47(t) ,$$

选用  $W_{ph2.35} = W_{ph2} = 0$  ,  $W_{g210} = 1t$

( 7 ) 制动系数按躲过 35KV 侧外部短路的最大不平衡电流选择

$$K_{zh} = K_h (K_{IX} f_l + \Delta U_{110} + \Delta U_{35}) = 0.325$$

$$\text{制动线圈匝数 : } W_{dzjs} = \frac{0.325}{0.9} = 1.45 , \text{ 选用 } W_{zhz} = 2t$$

( 8 ) 校验保护的灵敏系数 :

在最小运行方式下 , 35KV 侧出口处发生两相短路时 , 保护装置灵敏度最低 , 所以 :  $AW_{\omega} = I_{g110} W_{cdz110} = 259(AT)$

$$\text{制动安匝计算值 : } AW_{dz} = 5.18(AT)$$

查 BCH-1 型差动继电器制动特性曲线 , 求出当  $AW_{dz} = 5.18(AT)$  时 ,

$$AW_{dz} = 80AT \quad K_{lm} = \frac{AW_g}{AW_{dz}} = \frac{297}{80} = 3.7 > 2$$

在系统最小运行方式下 , 110KV 出口发生单相接地短路时 , 计算出  $K_{lm} > 2$  符合灵敏性要求。

### 6.3 变压器过负荷保护整定

对称过负荷保护的動作電流，按避越額定電流整定：

$$I_{dz} = \frac{K_k}{K_f} I_e$$

$K_k$ —可靠係數，取 1.05； $K_f$ —返回係數，取 0.85

$$35KV \text{ 側} : I_{dz} = \frac{1.05}{0.8} \times 719 = 994(A)$$

$$10KV \text{ 側} : I_{dz} = \frac{1.05}{0.8} \times 322 = 423(A)$$

### 6.4 变压器零序过电流过电压保护整定

主變壓器零序過電流保護一般應接於變壓器中性點處的電流互感器上，這種接線方式由於沒有由電流互感器誤差而引起不平衡電流問題，接線簡單、經濟，不僅可以作為母線和引出線接地短路的後備保護，而且對變壓器接地中性點側的繞組內部及套管引出線上的接地故障具有較高的靈敏係數。

零序過電流保護的整定計算：

$$I_{dz0} = K_{ph} K_{0fz} I_{dz0xl}$$

$K_{ph}$  —配合係數，取 1.15

$K_{0fz}$  —零序電流分支係數

$I_{dz0xl}$  —出線零序電保護後備段的動作電流

零序電壓繼電器的動作電壓按躲過在部分中性點接地電網中發生單相接地短路時，保護安裝處可能出現的最大零序電壓整定，保護動作電壓為：

$$U_{dz0} \approx 2U_e = 220(KV),$$

$U_e$  為電網額定電壓。

考慮到電壓互感器的飽和電壓，取  $U_{dz0j} = 180V$



## 致 谢

三年的大学生活不知不觉中就要过去了，在这春光明媚的 2013 年春天，我们迎来了毕业前最重要的一件事：毕业设计。毕业设计是对我们大学所学知识综合运用的一个重要考查，是对我们综合能力的考查。对我们以后踏入社会能灵活运用所学知识，干出一番事业打下坚实的基础。

进入大学时间过的很快，十分感谢学校三年来的培育，感谢老师三年来无私的教诲，感谢学校在我们临近毕业时还为我们提供做毕业设计这种锻炼机会，更感谢我的毕业设计指导老师李老师。

在做设计的过程中，也得到了同学和宿舍同伴的大力支持，正是他们的存在、他们的帮助和鼓励，才让我在最艰难和灰心的时候坚持下来，并最终完成了这次设计，在此也表示衷心的感谢！

感谢父母，是他们的大力支持，让我顺利完成了学业；感谢各位老师，是他们传授给我的知识；感谢各位同学和朋友，是他们让我的学习和生活充满激情、乐趣，我真心地感谢你们！

## 参考资料

- [1] 孟祥萍 高嫵. 电力系统分析 . 高等教育出版社, 2004 年版
- [2] 贺家李等. 电力系统及电保护原理 . 水利电力出版社, 2003 年版
- [3] 熊信银. 发电厂电气部分 . 中国电力出版社, 2009 年版
- [4] 胡庄朔. 汉英电力工程手册 . 中国电力出版社, 1998 年版
- [5] 焦留成. 供配电设计手册 . 中国计划出版社, 1999 年版
- [6] 戈以草. 电工技能手册 . 上海交通大学出版社, 2001 年版
- [7] 张仁豫. 高电压实验技术 . 清华大学出版社, 1992 年版
- [8] 刘炳尧. 高电压绝缘基础 . 湖南大学出版社, 1986 年版
- [9] 赵智大. 电力系统中性点接地问题 . 中国工业出版社, 1983 年版
- [10] 郑忠. 新编工厂电气设备手册 . 兵器工业出版社, 1994 年版
- [11] 中国电机工程协会 . 供用电实用手册 . 辽宁科学技术出版社, 1998 年版
- [12] 朴在林. 变电所电气部分 . 中国水利水电出版社, 2002 年版
- [13] 王锡凡. 电力工程基础 . 西安交通大学出版社, 1998 年版

附录

附录 I

表 2-1-19 容量为 800~31500kVA 双绕组无励磁调压电力变压器技术数据

额定容量 (kVA)	电压组合及分接范围		连接组标号	空载损耗 (kW)	负载损耗 (kW)	空载电流 (%)	阻抗电 (%)
	高 压 (kV)	低 压 (kV)					
800 1000 1250 1600 2000 2500	35±5%	3.15、 6.3、 10.5	Y, d11	1.54 1.80 2.20 2.55 3.40 4.00	11.0 13.5 16.5 19.5 19.8 23.0	1.5 1.4 1.3 1.2 1.1 1.1	6.5
3150 4000 5000 6300				4.75 5.65 6.75 8.20	27.0 32.0 36.7 41.0	1.0 1.0 0.9 0.9	
8000 10000 12500 16000 20000 25000 31500	35±2×2.5% 38.5±2×2.5%	3.15、 3.3、 6.3、 6.6、 10.5、 11	YN, d11	11.5 13.6 16.0 19.0 22.5 26.6 31.6	45 53 63 77 93 110 132	0.8 0.8 0.7 0.7 0.7 0.6 0.6	7.5 7.5 8 8 8 8 8

附录 II

表 8-1-1 FZ、FZ2 系列普通阀式避雷器主要技术数据

型 号	额定电压 有效值 (kV)	灭弧电压 有效值 (kV)	工频放电电压有效值 (kV)		冲击放电电压峰值 (1.5/20μs 及 1.5/40μs)· 不大于 (kV)	8/20μs 雷电冲击波残压 峰值 不大于 (kV)		泄漏或电 导电流 (μA)
			不小于	不大于		5kA	10kA	
FZ-3	3	3.8	9	11	20	13.5	14.8	450~650
FZ-6	6	7.6	16	19	30	27	30	
FZ-10	10	12.7	26	31	45	45	50	
FZ-15	15	20.5	41	49	73	67	74	
FZ-20	20	25	51	61	85	81.5	90	
FZ-30	30	25	56	67	110	81.5		
FZ-35	35	41	82	98	134	134	148	