

毕 业 设 计（论 文）说 明 书

题 目： **220KV 变电站电气部分设计**

系 别： **电子与信息工程系**

专业班级： **电气工程及其自动化**


学生姓名：

指导教师：

教 研 室： **电气教研室**

提交时间： **2007 年 6 月 13 日**

摘 要



随着我国科学技术的发展，特别是计算机技术的进步，电力系统对变电站的更要求也越来越高。

本设计讨论的是 220KV 变电站电气部分的设计。首先对原始资料进行分析，选择主变压器，在此基础上进行主接线设计，再进行短路计算，选择设备，然后进行防雷接地以及保护、配电装置设计。

关键字：变电站；短路计算；设备选择。

ABSTRACT

With the development of science and technology in China, particularly computing technology has advanced, the power system demands on substation more and more.

The design is refer to the part of 220kV electrical substation design. First of all, analyze the original data and choose the main transformer, based on it , design the main wiring and Short Circuit Calculation, at last choose equipment, then mine and the protection of earth and distribution device.

Key Words: Substation; Short Circuit Calculation; Equipment Selection



目录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
第 1 章 引 言	1
第 2 章 电气主接线的设计	2
2.1 主接线概述.....	2
2.2 主接线设计原则.....	4
2.3 主接线选择.....	4
第 3 章 主变压器的选择.....	7
3.1 主变压器的选择原则.....	7
3.1.1 主变压器台数的选择.....	7
3.1.2 主变压器容量的选择.....	7
3.1.3 主变压器型式的选择.....	8
3.1.4 绕组数量和连接形式的选择.....	9
3.2 主变压器选择结果.....	9
第 4 章 所用电设计	10
4.1 所用变选择.....	10
4.2 所用电接线图.....	10
第 5 章 220KV 变电站电气部分短路计算	12
5.1 变压器的各绕组电抗标么值计算.....	12
5.2 10KV 侧短路计算.....	13
5.3 220KV 侧短路计算.....	16
5.4 110KV 侧短路计算.....	18
第 6 章 导体和电气设备的选择	20
6.1 断路器和隔离开关的选择.....	21
6.1.1 220KV 出线、主变侧.....	22
6.1.2 主变 110KV 侧.....	26
6.1.3 10KV 限流电抗器、断路器隔离开关的选择.....	28
6.2 电流互感器的选择.....	33
6.2.1 220KV 侧电流互感器的选择.....	34
6.2.2 110KV 侧的电流互感器的选择.....	36
6.2.3 10KV 侧电流互感器的选择.....	37
6.3 电压互感器的选择.....	38
6.3.1 220KV 侧母线电压互感器的选择.....	39
6.3.2 110KV 母线设备 PT 的选择.....	40
6.3.3 10KV 母线设备电压互感器的选择.....	40
6.4 导体的选择与校验.....	40
6.4.1 220KV 母线.....	41
6.4.2 110KV 母线.....	42

6.4.3 10KV 母线的选择.....	43
6.4.4 变压器 220KV 侧引接线的选择与校验.....	44
6.4.5 变压器 110KV 侧引接线的选择与校验.....	45
6.4.6 变压器 10KV 侧引接线的选择与校验.....	46
第 7 章 防雷接地设计	49
7.1 防雷设计.....	49
7.1.1 防雷设计原则.....	49
7.1.2 避雷器的选择.....	49
7.1.3 避雷针的配置.....	53
7.2 接地设计.....	54
7.2.1 接地设计的原则.....	54
7.2.2 接地网型式选择及优劣分析.....	55
第 8 章 电气总平面布置及配电装置的选择	56
8.1 概述.....	56
8.1.1 配电装置特点.....	56
8.1.2 配电装置类型及应用.....	56
8.2 配电装置的确定.....	57
8.3 电气总平面布置.....	59
8.3.1 电气总平面布置的要求.....	59
8.3.2 电气总平面布置.....	60
第 9 章 继电保护的配备	61
9.1 变压器继电保护配置.....	61
9.2 母线保护.....	61
第 10 章 结束语.....	62
致谢	63
参考文献	64
附 录	65



第1章 引言

毕业设计是我们在校期间最后一次综合训练，它将从思维、理论以及动手能力方面给予我们严格的要求。使我们综合能力有一个整体的提高。它不但使我们巩固了本专业所学的专业知识，还使我们了解、熟悉了国家能源开发策略和有关的技术规程、规定、导则以及各种图形、符号。它为我们以后的学习、工作打下良好的基础。

能源是社会生产力的重要基础，随着社会生产的不断发展，人类使用能源不仅在数量上越来越多，在品种及构成上也发生了很大的变化。人类对能源质量也要求越来越高。电力是能源工业、基础工业，在国家建设和国民经济发展中占据十分重要的地位，是实现国家现代化的战略重点。电能也是发展国民经济的基础，是一种无形的、不能大量存储的二次能源。电能的爱、变、送、配和用电，几乎是在同时瞬间完成的，须随时保持功率平衡。要满足国民经济发展的要求，电力工业必须超前发展，这是世界发展规律。因此，做好电力规划，加强电网建设，就尤为重要。而变电站在改变或调整电压等方面在电力系统中起着重要的作用。它承担着变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的责任。220KV 变电站电气部分设计使其对变电站有了一个整体的了解。该设计包括以下任务：1、主接线的设计 2、主变压器的选择 3、短路计算 4、导体和电气设备的选择 5、所用电设计 6、防雷接地设计 7、配电装置设计 8、继电保护的配置等。

第 2 章 电气主接线的设计

2.1 主接线概述

电气主接线是由电气设备通过连接线,按其功能要求组成接受和分配电能的电路,成为传输强电流、高电压的网络。用规定的电气设备图形符号和文字符号并按工作顺序排列,详细地表示电气设备或成套装置的全部基本组成和连接关系的单线接线图。主接线代表了发电厂或变电站电气部分的主体结构,是电力系统网络结构的重要组成部分,直接影响运行的可靠性、灵活性并对电器选择、配电装置布置、继电保护、自动装置和控制方式的拟定都有决定性的关系^[1]。

单母线接线及单母线分段接线^[2]

1、单母线接线

单母线接线供电电源在变电站是变压器或高压进线回路。母线既可保证电源并列工作,又能使任一条出线都可以从任一个电源获得电能。各出线回路输入功率不一定相等,应尽可能使负荷均衡地分配在各出线上,以减少功率在母线上的传输。

单母接线的优点:接线简单,操作方便、设备少、经济性好,并且母线便于向两端延伸,扩建方便。缺点:①可靠性差。母线或母线隔离开关检修或故障时,所有回路都要停止工作,也就成了全厂或全站长期停电。②调度不方便,电源只能并列运行,不能分列运行,并且线路侧发生短路时,有较大的短路电流^[3]。

综上所述,这种接线形式一般只用在出线回路少,并且没有重要负荷的发电厂和变电站中。

2、单母分段接线

单母线用分段断路器进行分段,可以提高供电可靠性和灵活性;对重要用户可以从不同段引出两回馈电线路,由两个电源供电;当一段母线发生故障,分段断路器自动将用户停电;两段母线同时故障的几率甚小,可以不予考虑。

在可靠性要求不高时，亦可用隔离开关分段，任一母线故障时，将造成两段母线同时停电，在判别故障后，拉开分段隔离开关，完成即可恢复供电。

这种接线广泛用于中、小容量发电厂和变电站 6~10KV 接线中。但是，由于这种接线对重要负荷必须采用两条出线供电，大大增加了出线数目，使整体母线系统可靠性受到限制，所以，在重要负荷的出线回路较多、供电容量较大时，一般不予采用^[4]。

3、单母线分段带旁路母线的接线

单母线分段断路器带有专用旁路断路器母线接线极大地提高了可靠性，但这增加了一台旁路断路器，大大增加了投资。

双母线接线及分段接线

1、双母线接线

双母接线有两种母线，并且可以互为备用。每一个电源和出线的回路，都装有一台断路器，有两组母线隔离开关，可分别与两组母线接线连接。两组母线之间的联络，通过母线联络断路器来实现。其特点有：供电可靠、调度灵活、扩建方便等特点^[5]。

由于双母线有较高的可靠性，广泛用于：出线带电抗器的 6~10KV 配电装置；35~60KV 出线数超过 8 回，或连接电源较大、负荷较大时；110~220KV 出线数为 5 回及以上时。

2、双母线分段接线

为了缩小母线故障的停电范围，可采用双母分段接线，用分段断路器将工作母线分为两段，每段工作母线用各自的母联断路器与备用母线相连，电源和出线回路均匀地分布在两段工作母线上。双母接线分段接线比双母接线的可靠性更高，当一段工作母线发生故障后，在继电保护作用下，分段断路器先自动跳开，而后将故障段母线所连的电源回路的断路器跳开，该段母线所连的出线回路停电；随后，将故障段母线所连的电源回路和出线回路切换到备用母线上，即可恢复供电。这样，只是部分短时停电，而不必短期停电^[6]。

双母线分段接线被广泛用于发电厂的发电机电压配置中，同时在 220～550KV 大容量配电装置中，不仅常采用双母分段接线，也有采用双母线分四段接线的。

3、双母线带旁路母线的接线

双母线可以带旁路母线，用旁路断路器替代检修中的回路断路器工作，使该回路不致停电。这样多装了价高的断路器和隔离开关，增加了投资，然而这对于接于旁路母线的线路回数较多，并且对供电可靠性有特殊需要的场合是十分必要的^[7]。

2.2 主接线设计原则

电气主接线的设计是发电厂或变电站电气设计的主题。它与电力系统、电厂动能参数、基本原始资料以及电厂运行可靠性、经济性的要求等密切相关，并对电气设备选择和布置、继电保护和控制方式等都有较大的影响。因此，主接线设计，必须结合电力系统和发电厂和变电站的具体情况，全面分析有关影响因素，正确处理它们之间的关系，经过技术、经济比较，合理地选择主接线方案。

电气主接线设计的基本原则是以设计任务为依据，以国家经济建设的方针、政策、技术规定、标准为准绳，结合工程实际情况，在保证供电可靠、调度灵活、满足各项技术要求的前提下，兼顾运行、维护方便，尽可能地节省投资，就近取材，力争设备元件和设计的先进性与可靠性，坚持可靠、先进、实用、经济、美观的原则^[8]。

2.3 主接线选择

根据原始资料的分析现列出两种主接线方案。

方案一：220KV 侧双母接线，110KV 侧双母接线、10KV 侧单母分段接线。

220kV 出线 6 回（其中备用 2 回），而双母接线使用范围是 110～220KV 出线数为 5 回及以上时。满足主接线的要求。且具备供电可靠、调度灵活、扩建方便等特点。

110kV 出线 10 回（其中备用 2 回），110kV 侧有两回出线供给远方大型冶炼厂，其容量为 80000kVA，其他作为一些地区变电所进线，其他地区变电所进线总负荷为 100MVA。根据条件选择双母接线方式。

10kV 出线 12 回（其中备用 2 回），10kV 侧总负荷为 35000kVA，I、II 类用户占 60%，最大一回出线负荷为 2500kVA，最大负荷与最小负荷之比为 0.65。选择单母分段接线方式^[9]。

方案主接线图如下：

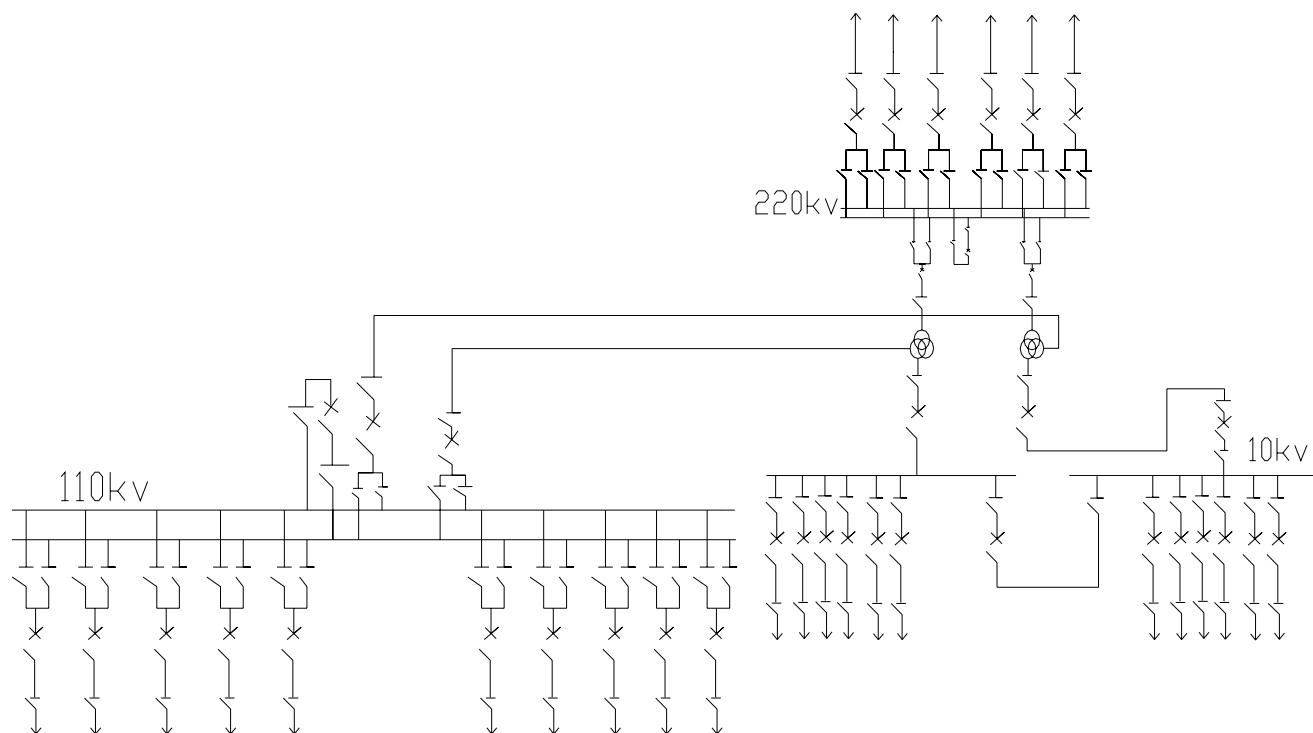


图 2-1 主接线方案一

方案二：方案进行综合比较：220KV 侧双母带旁路接线，110KV 侧双母接线、10KV 侧单母分段接线。

220kV 出线 6 回（其中备用 2 回），而由于本回路为重要负荷停电对其影响很大，因而选用双母带旁路接线方式。双母线带旁路母线，用旁路断路器替代检修中的回路断路器工作，使该回路不致停电。这样多装了价高的断路器和隔离开关，增加了投资，然而这对于接于旁路母线的线路回数较多，并且对供电可靠性有特殊需要的场合是十分必要的。主接线如下图：

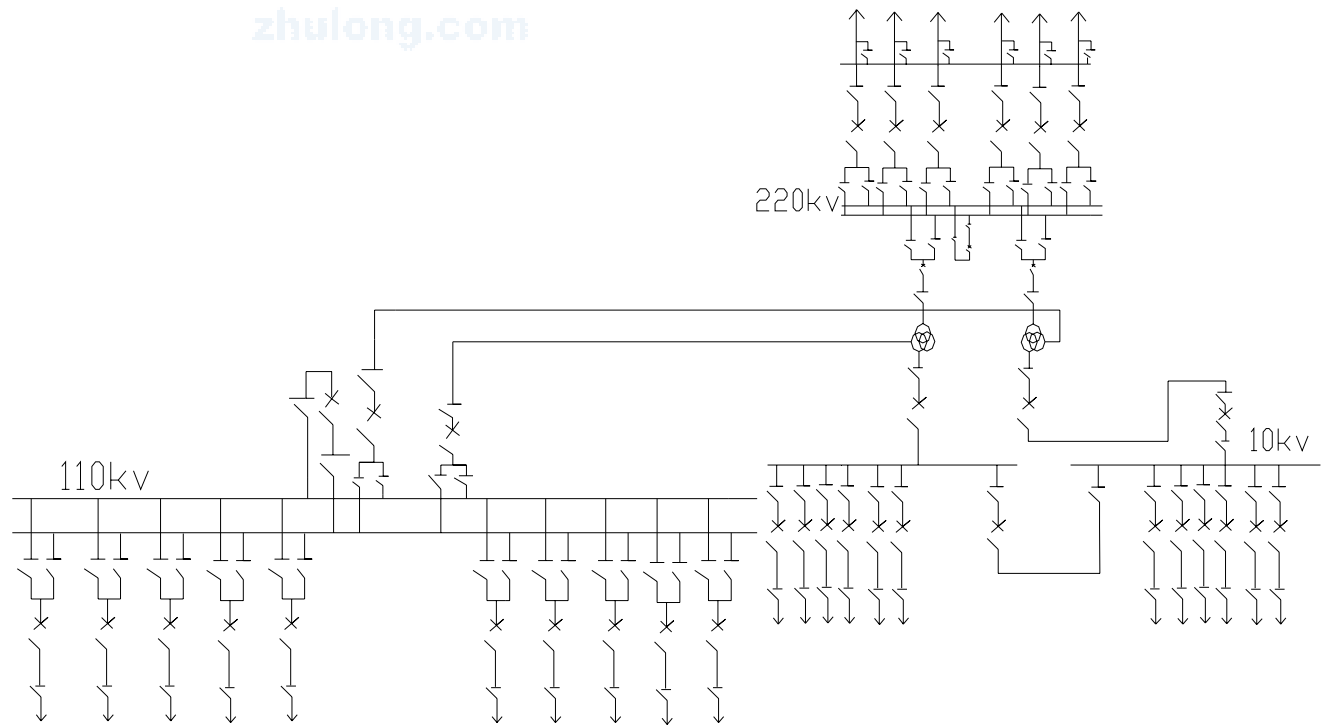


图 2-2 主接线方案二

现对两种方案比较如下^[10]:

表 2-1 主接线方案比较表

方案 项目	方案一：220KV 侧双母接线， 110KV 侧双母接线、10KV 侧单母 分段接线。	方案二、220KV 侧双母带旁路接线， 110KV 侧双母接线、10KV 侧单母分 段接线。
可靠性	1.220KV 接线简单，设备本身故障率少； 2.220KV 故障时，停电时间较长。	1.可靠性较高； 2.有两台主变压器工作，保证了在变压器检修或故障时，不致使该侧不停电，提高了可靠性。
灵活性	1.220KV 运行方式相对简单，灵活性差； 2.各种电压级接线都便于扩建和发展。	1.各电压级接线方式灵活性都好； 2.220KV 电压级接线易于扩建和实现自动化。
经济性	设备相对少，投资小。	1.设备相对多，投资较大； 2.母线采用双母线带旁路，占地面增加。

通过对两种主接线可靠性，灵活性和经济性的综合考虑，辩证统一，现确定第二方案为设计最终方案。

第3章 主变压器的选择

在发电厂和变电站中，用来向电力系统或用户输送功率的变压器，称为主变压器；用于两种电压等级之间交换功率的变压器，称为联络变压器；只供本所（厂）用的变压器，称为站（所）用变压器或自用变压器。本章是对变电站主变压器的选择。

3.1 主变压器的选择原则

1、主变容量一般按变电所建成后 5~10 年的规划负荷来进行选择，并适当考虑远期 10~20 年的负荷发展。

2、根据变电所所带负荷的性质和电网结构来确定主变的容量。对于有重要负荷的变电所，应考虑一台主变停运时，其余变压器容量在计及过负荷能力后的允许时间内，保证用户的Ⅰ级和Ⅱ级负荷，对于一般变电所，当一台主变停运时，其他变压器容量应能保证全部负荷的 70%~80%。

3、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^[11]。

3.1.1 主变压器台数的选择

1、对大城市郊区的一次变电所，在中、低压侧已构成环网的情况下，变电所以装设两台主变压器为宜。

2、对地区性孤立的一次变电所或大型工业专用变电所，在设计时应考虑装设三台主变压器的可能性。

3、对于规划只装设两台主变压器的变电所，以便负荷发展时，更换变压器的容量。

3.1.2 主变压器容量的选择

（1）主变压器容量一般按变电所建成后 5~10 年的规划负荷选择，适当考虑到远期 10~20 年的负荷发展。对于城郊变电所，主变压器容量应与城市规

划相结合。

(2) 根据变电所所带负荷的性质和电网结构来确定主变压器的容量。对于有重要负荷的变电所，应考虑当一台主变压器停运时，其余变压器容量在其过负荷能力后的允许时间内，应保证用户的一级和二级负荷；对一般性变电所，当一台变压器停运时，其余变压器容量应能保证全部负荷的 70%~80%^[12]。

(3) 同级电压的单台降压变压器容量的级别不宜太多。应从全网出发，推行系列化、标准化^[13]。

$$S_{\text{总}} = 80 + 100 + 35 = 215 \text{MVA}$$

同时率取 0.85

$$\text{容量确定: } S_N = 0.7 \times 0.85 S_{\text{总}} e^{5 \times 0.05} \quad (3-1)$$

$$S_N = 0.7 \times 0.85 \times 215 \times e^{0.25} = 164.5 \text{MVA}$$

3.1.3 主变压器型式的选择

选择主变压器，需考虑如下原则：

(1) 当不受运输条件限制时，在 330KV 及以下的发电厂和变电站，均应选用三相变压器。

(2) 当发电厂与系统连接的电压为 500KV 时，已经技术经济比较后，确定选用三相变压器、两台 50%容量三相变压器或单相变压器组。对于单机容量为 300MW、并直接升到 500KV 的，宜选用三相变压器。

(3) 对于 500KV 变电所，除需考虑运输条件外，尚应根据所供负荷和系统情况，分析一台（或一组）变压器故障或停电检修时对系统的影响。尤其在建所初期，若主变压器为一组时，当一台单相变压器故障，会使整组变压器退出，造成全网停电；如用总容量相同的多台三相变压器，则不会造成所停电。为此要经过经济论证，来确定选用单相变压器还是三相变压器。

在发电厂或变电站还要根据可靠性、灵活性、经济性等，确定是否需要备用相。

3.1.4 绕组数量和连接形式的选择

具有三种电压等级的变电所，如各侧的功率均达到主变压器额定容量的15%以上，或低压侧虽无负荷，但需要装设无功补偿设备时，主变压器一般选用三绕组变压器^[5]。

变压器绕组的连接方式必须和系统电压相位一致，否则不能并列运行。电力系统采用的绕组连接方式只要有Y和 Δ ，高、中、低三侧绕组如何结合要根据具体工作来确定。我国110KV及以上电压，变压器绕组多采用Y连接；35KV亦采用Y连接，其中性点多通过消弧线圈接地。35KV以下电压，变压器绕组多采用 Δ 连接。由于35KV采用Y连接方式，与220、110系统的线电压相位角为0，这样当变压变比为220/110/35KV，高、中压为自耦连接时，否则就不能与现有35KV系统并网。因而就出现所谓三个或两个绕组全星接线的变压器，全国投运这类变压器约40~50台。

3.2 主变压器选择结果

查《电力工程电气设备手册：电气一次部分》，选定变压器的容量为180MVA。

由于升压变压器有两个电压等级，所以这里选择三绕组变压器，查《大型变压器技术数据》选定主变型号为：SFPS7-180000/220。

主要技术参数如下：

额定容量：180000（KVA）

额定电压：高压— $220 \pm 2 \times 2.5\%$ ；中压—121； 低压—10.5（KV）

连接组标号：YN/yn0/d11

空载损耗：178（KW）

阻抗电压（%）：高中：14.0；中低：7.0；高低：23.0

空载电流（%）：0.7

所以一次性选择两台SFPS7-180000/220型变压器为主变。

第 4 章 所用电设计

变电站站用母线采用单母分段接线方式。当有两台站用变采用单母线接线方式，平时分列运行，以限制故障。对于容量不大的变电站，为了节省投资，所用变压器高压侧可用高压熔断器代替高压断路器^[14]。

4.1 所用变选择

1. 选择原则：所用电负荷按 0.2%变电所容量计，设置 2 台所用变相互备用。

2. 所用电负荷：

$$S=215000 \times 0.2\%=430\text{KVA}$$

3. 所用变容量计算：

$$S_B=0.7 \times S=301\text{KVA}$$

所用变压器参数：

型号：S9—315/10

$U_{1e}=6.3 \pm 5\%$ (KV) $U_{2e}=0.4$ (KV)

连接组别：Y, yn0

空载损耗：0.70 (KW)

阻抗电压：4 (%)

空载电流：1.5 (%)

4.2 所用电接线图

变电站的主要站用电负荷是变压器冷却装置，直流系统中的充放电装置和晶闸管整流设备，照明、检修及供水和消防系统，小型变电站，大多只装 1 台站用变压器，从变电站低压母线引进，站用变压器的二次侧为 380/220V 中性点直接接地的三相四线制系统。对于中型变电站或装设有调相机的变电站，通常都装设 2 台站用变压器，分别接在变电站低压母线的不同分段上，380V 站用电

母线采用低压断路器进行分段，并以低压成套配电装置供电。

因而本设计两台所用变分别接于 10KV 母线的 I 段和 II 段，互为备用，平时运行当一台故障时，另一台能够承担变电所的全部负荷。接线图如下所示。

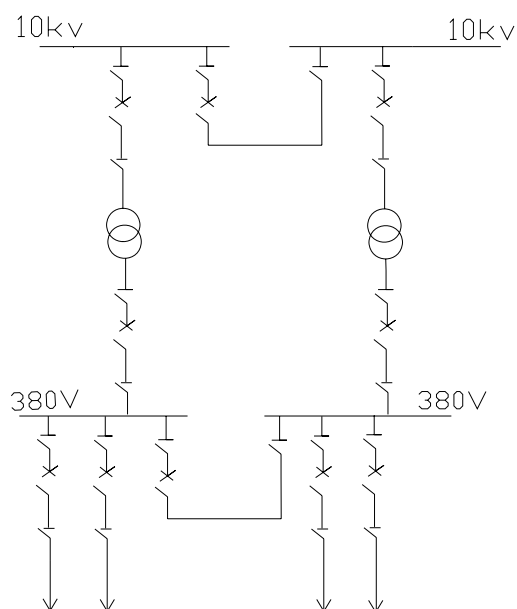


图 4-1 所用电接线图

第 5 章 220KV 变电站电气部分短路计算

系统阻抗：220KV 侧电源近似为无穷大系统 A，归算至本所 220KV 母线侧阻抗为 0.015 ($S_j=100\text{MVA}$)，110KV 侧电源容量为 500MVA，归算至本所 110KV 母线侧阻抗为 0.36 ($S_j=100\text{MVA}$)。变压器型号为 SFPS7—180000/220。

$S_N=180\text{MVA}$ 其中高中、高低、中低阻抗电压 (%) 分别为 14，23，7。简化图如下图所示：

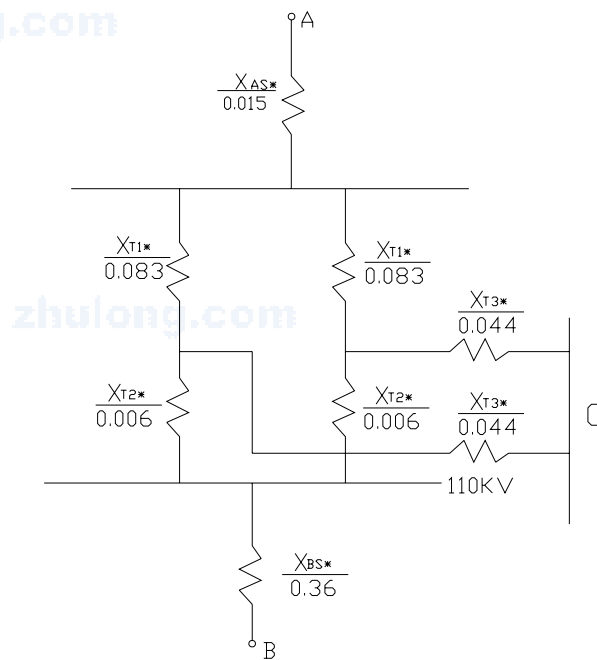


图 5-1 系统图的等值电路

5.1 变压器的各绕组电抗标么值计算

$$U_{s1}\% = \frac{1}{2}[U_{s(1-2)}\% + U_{s(3-1)}\% - U_{s(2-3)}\%] = \frac{1}{2}(14+23-7)=15$$

$$U_{s2}\% = \frac{1}{2}[U_{s(1-2)}\% + U_{s(2-3)}\% - U_{s(3-1)}\%] = \frac{1}{2}(14+7-23)=-1$$

$$U_{s3}\% = [U_{s(3-1)}\% + U_{s(2-3)}\% - U_{s(1-2)}\%] = \frac{1}{2}(23+7-14)=8$$

设 $S_B=100\text{MVA}$ ， $U_B=U_{av}$

$$X_{T1*} = \frac{U_{s1}\%}{100} \times \frac{S_B}{S_N} = \frac{15}{100} \times \frac{100}{180} = 0.083$$

$$X_{T2*} = \frac{U_{s2}\%}{100} \times \frac{S_B}{S_N} = \frac{-1}{100} \times \frac{100}{180} = -0.006$$

$$X_{T3*} = \frac{U_{s3}\%}{100} \times \frac{S_B}{S_N} = \frac{8}{100} \times \frac{100}{180} = 0.044$$

5.2 10KV 侧短路计算

$f^{(3)}$ -1 短路时，示意图如下：

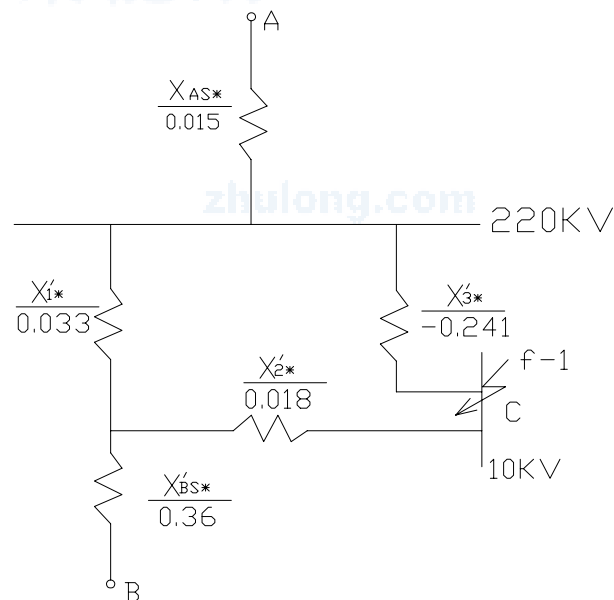


图 5-2 $f^{(3)}$ -1 短路的等值电路图

$$X'_{1*} = \frac{1}{2} (X_{T1*} + X_{T2*} + \frac{X_{T1*} X_{T2*}}{X_{T3*}}) = \frac{1}{2} (0.083 - 0.006 + \frac{-0.006 \times 0.083}{0.044}) = 0.033$$

$$\begin{aligned} X'_{2*} &= \frac{1}{2} (X_{T2*} + X_{T3*} + \frac{X_{T2*} X_{T3*}}{X_{T1*}}) \\ &= \frac{1}{2} (-0.006 + 0.044 + \frac{-0.006 \times 0.044}{0.083}) \end{aligned}$$

$$= 0.018$$

$$\begin{aligned}
 X'_{3*} &= \frac{1}{2} (X_{T1*} + X_{T3*} + \frac{X_{T1*} X_{T3*}}{X_{T2*}}) \\
 &= \frac{1}{2} (0.083 + 0.044 + \frac{0.083 \times 0.044}{-0.006}) \\
 &= -0.241
 \end{aligned}$$

三角形变为星形:

$$\begin{aligned}
 X'_{1*} &= \frac{X'_{1*} X'_{3*}}{X'_{1*} + X'_{2*} + X'_{3*}} \\
 &= \frac{0.033 \times (-0.24)}{0.033 + 0.018 - 0.241} \\
 &= 0.042
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X'_{2*} &= \frac{X'_{2*} X'_{3*}}{X'_{1*} + X'_{2*} + X'_{3*}} \\
 &= \frac{0.018 \times (-0.241)}{0.033 + 0.018 - 0.241} \\
 &= 0.023
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X'_{3*} &= \frac{X'_{2*} X'_{1*}}{X'_{1*} + X'_{2*} + X'_{3*}} \\
 &= \frac{0.018 \times 0.033}{0.033 + 0.018 - 0.241} \\
 &= -0.003
 \end{aligned}$$

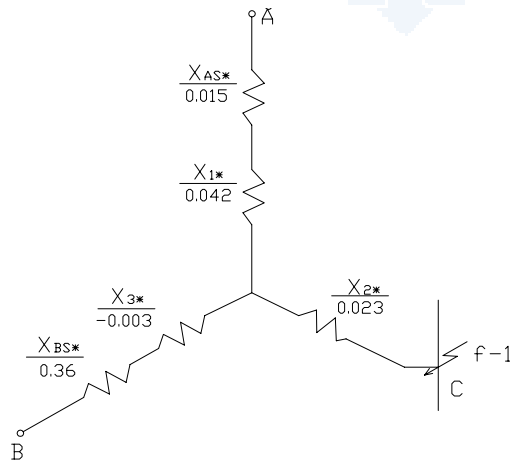


图 5-3 $f^{(3)}-1$ 短路的等值电路图

再次简化

$$\text{因为 } X_{1*} = 0.042 \quad X_{AS*} = 0.015 \quad X_{BS*} = 0.36$$

$$\text{所以: } X_{A*} = X_{AS*} + X_{1*}$$

$$= 0.015 + 0.042$$

$$= 0.057$$

$$X_{B*} = X_{BS*} + X_{3*} = 0.36 - 0.003 = 0.357$$

$$X_{C*} = X_{2*}$$

示意图如下所示:

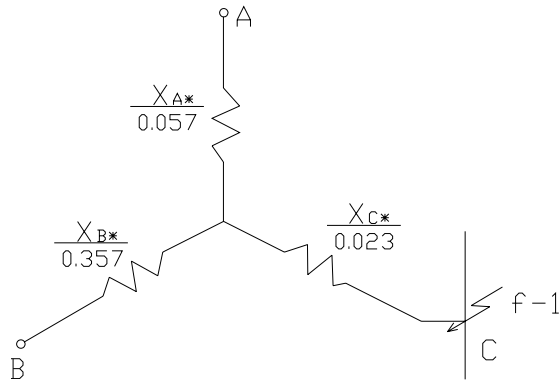


图 5-4 f⁽³⁾-1 短路的等值电路图

再做三角形变换

$$\begin{aligned} X_{AF*} &= X_{A*} + X_{C*} + \frac{X_{A*}X_{C*}}{X_{B*}} \\ &= 0.057 + 0.023 + \frac{0.057 \times 0.023}{0.357} \\ &= 0.084 \end{aligned}$$

$$X_{BF*} = X_{B*} + X_{C*} + \frac{X_{B*}X_{C*}}{X_{A*}} = 0.357 + 0.023 + \frac{0.357 \times 0.023}{0.057} = 0.524$$

示意图如下：

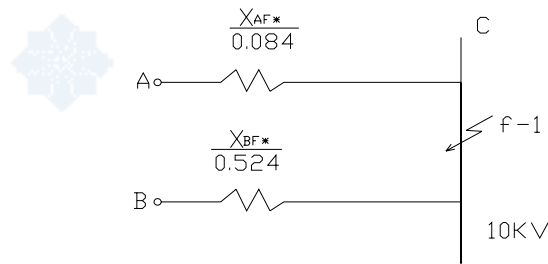


图 5-5 $f^{(3)}-1$ 短路的等值电路图

计算电抗：

$$X_{jsB} = X_{BF*} \frac{S_{Ni}}{S_N} = 0.524 \times \frac{500}{100} = 2.62$$

汽轮发电机计算曲线，0s 时标么值为

$$I_{B0*} = 0.390$$

因为 A 电源为无穷大系统所以提供的短路电流为：

$$I_{p*} = \frac{1}{X_{AF*}} = \frac{1}{0.084} = 11.90$$

所以短路电流有名值为^[11]：

$$I_{F0} = 0.390 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 10.5} + 11.90 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} = 76.154 \text{ KA}$$

$$\text{冲击电流: } i_{sh} = 2.55 \times 76.154 = 194.193 \text{ (KA)}$$

$$\text{短路容量: } S_k = \sqrt{3} \times 10.5 \times 76.154 = 1384.977 \text{ (MVA)}$$

5.3 220KV 侧短路计算

$f^{(3)}-2$ 短路时，示意图如下图所示。

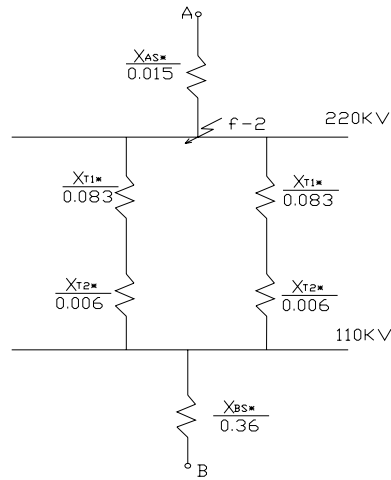


图 5-6 $f^{(3)}-2$ 短路的等值电路图

$$X_{T*} = \frac{1}{2}(X_{T1*} + X_{T2*}) = \frac{1}{2}(0.083 - 0.006) = 0.039$$



图 5-7 $f^{(3)}-2$ 短路的等值电路图

$$X_{B*} = X_{T*} + X_{BS*} = 0.039 + 0.36 = 0.399$$

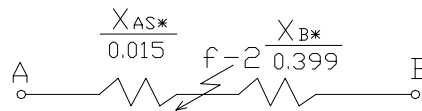


图 5-8 $f^{(3)}-2$ 短路的等值电路图

A 电源（无穷大系统）的短路电流为：

$$I_{p*} = \frac{1}{X_{AS*}} = \frac{1}{0.015} = 66.667$$

$$X_{jsB} = 0.399 \times \frac{500}{100} = 2.00$$

查汽轮发电机计算曲线有

$$I_{B0}=0.512$$

所以短路电流有名值为

$$I_{f0}=0.512 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 230} + 66.667 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 230} = 17.376 \text{KA}$$

$$\text{冲击电流}^{[11]}: i_{sh} = 2.55 \times 17.376 = 44.309(\text{KA})$$

$$\text{短路容量: } S_k = \sqrt{3} \times 230 \times 17.376 = 6922.106(\text{MVA})$$

5.4 110KV 侧短路计算

$f^{(3)}$ -3 短路时

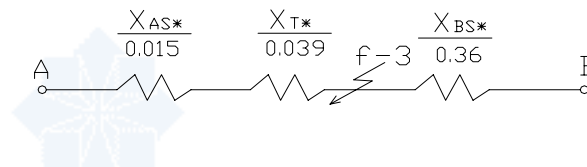


图 5-9 $f^{(3)}$ -3 短路的等值电路图

$$X_{A*} = X_{T*} + X_{AS*} = 0.039 + 0.015 = 0.054$$

上图简化图如下:

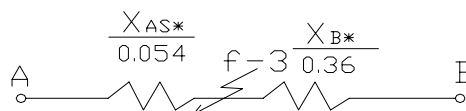


图 5-10 $f^{(3)}$ -3 短路的等值电路图

A 为无穷大系统所以有

$$I_{p*} = \frac{1}{X_{A*}} = \frac{1}{0.054} = 18.519$$

$$\text{而 } X_{jsB} = 0.36 \times \frac{500}{100} = 1.80$$

查汽轮发电机的计算曲线得

$$I_{B0}=0.570$$

所以短路电流有名值为

$$I_{f0}=0.570 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 115} + 18.519 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} = 10.778 \text{KA}$$

$$\text{冲击电流: } i_{sh} = 2.55 \times 10.778 = 27.484(\text{KA})$$

$$\text{短路容量: } S_K = \sqrt{3} \times 115 \times 10.778 = 2146.825(\text{MVA})$$

短路计算结果列表于下:

表 5-1 短路计算成果表

短路点	基准电压	短路电流	冲击电流	短路容量 S
	(K)	(KA)	(KA)	(MVA)
f-1	10.5	76.154	194.193	384.977
f-2	230	17.376	44.309	6922.106
f-3	115	10.778	27.484	2146.825

第 6 章 导体和电气设备的选择

正确选择电气设备是电气主接线和配电装置达到安全、经济运行的重要条件。在进行电器选择时，应根据工程实际情况，在保证安全、可靠的前提下，积极而稳妥地采用新技术，并注意节省投资，选择合适的电气设备。

尽管电力系统中各种电器的作用和工作条件并不一样，具体选择方法也不完全相同，但对它们的基本要求确是一致的。电气设备要可靠地工作，必须按正常工作条件进行选择，并按短路状态来校验动、热稳定性。

本设计，电气设备的选择包括：断路器和隔离开关的选择，电流、电压互感器的选择、避雷器的选择，导线的选择^[4]。

气设备选择的一般原则：

应满足正常运行、检修、断路和过电压情况下的要求，并考虑远景发展的需要。

应按当地环境条件校验；

应力求技术先进与经济合理；

选择导体时应尽量减少品种；

扩建工程应尽量使新老电气设备型号一致；

选用新产品，均应具有可靠的实验数据，并经正式鉴定合格。

技术条件：

选择的高压电器，应能在长期工作条件下和发生过电压、过电流的情况下保持正常运行。同时，所选择导线和电气设备应按短路条件下进行动、热稳定校验。各种高压设备的一般技术条件如下表：

表 6-1 高压电器技术条件

序号	电器名称	额定 电 压	额定 电 流	额定 容 量	机械 荷 载	额定开 断电流	热稳定	动稳定	绝缘水 平
		KA	A	KVA	N	A			
1	断路器	√	√		√	√	√	√	√
2	隔离开关	√	√		√		√	√	√
3	组合电器	√	√		√		√	√	√
4	负荷开关	√	√		√		√	√	√
5	熔断器	√	√		√	√		√	√
6	PT	√	√						√
7	CT	√		√		√	√	√	√
8	电抗器	√	√		√		√	√	√
9	消弧线圈	√	√	√	√				√
10	避雷器	√	√		√				√
11	封闭电器	√	√		√	√	√	√	√
12	穿墙套管	√	√		√		√	√	√
13	绝缘子							√	

6.1 断路器和隔离开关的选择

断路器的选择，除满足各项技术条件和环境条件外，还应考虑到要便于安装调试和运行维护，并经济技术方面都比较后才能确定。根据目前我国断路器的生产情况，电压等级在 10KV~220KV 的电网一般选用少油断路器，而当少油断路器不能满足要求时，可以选用 SF₆ 断路器。

断路器选择的具体技术条件如下：

额定电压校验:

$$U_N \geq U_{Ns} \quad (6-1)$$

额定电流校验:

$$I_N > I_{\max} \quad (6-2)$$

开断电流:

$$I_{Nbr} > I'' \quad (6-3)$$

动稳定:

$$i_{es} > i_{sh} \quad (6-4)$$

热稳定:

$$I_t^2 t > Q_k \quad (6-5)$$

同样, 隔离开关的选择校验条件与断路器相同, 并可以适当降低要求。

6.1.1 220KV 出线、主变侧

(1)、主变断路器的选择与校验

流过断路器的最大持续工作电流

$$I_{\max} = \frac{1.05 \times 180000}{\sqrt{3} \times 220} = 496.01(A)$$

具体选择及校验过程如下:

1. 额定电压选择: $U_N \geq U_{Ns} = 220KV$
2. 额定电流选择: $I_N > I_{\max} = 496.01A$
3. 开断电流选择: $I_{Nbr} > I'' = 17.376KA$

选择 SW6—220/1200, 其 SW6—220/1200 技术参数如下表:

表 6-2 SW6—220/1200 技术参数表

型号	额 定 电 压 KV	额定 电流 A	断流容 量 MVA	额定断流 量 KA	极限通过 电流 KA	热稳定 电流 KA	固有分 闸 时 间 S
					峰值	4S	
SW6-220/1200	220	1200	6000	21	55	21	0.04

4. 热稳定校验： $I_t^2 t > Q_k$

$$I_t^2 t = 21^2 \times 4 = 1764 \text{ [(KA) }^2 \text{ S]}$$

电弧持续时间取 0.06S，热稳定时间为： $t_k = 1.5 + 0.04 + 0.06 = 1.6\text{S}$

查计算电抗并计算短路电流为

$$I_{0.8} = 0.519 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 230} + 66.667 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 230} = 17.319 \text{ KA}$$

$$I_{1.6} = 0.512 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 230} + 66.667 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 230} = 17.321 \text{ KA}$$

$$\begin{aligned}
 Q_k &= \frac{I''^2 + 10I_{t_k/2}^2 + I_{t_k}^2}{12} t_k \\
 &= \frac{17.376^2 + 10 \times 17.319^2 + 17.321^2}{12} \times 1.6 \quad \text{所以, } I_t^2 t > Q_k \\
 &= 120.252 \text{ [(KA)}^2 \cdot \text{S]}
 \end{aligned}$$

满足热稳校验。

5. 动稳定校验： $i_{es} = 55 \text{ kA} > i_{sh} = 44.309 \text{ KA}$ 满足校验要求

具体参数如下表：

表 6-3 具体参数表

计算数据	SW ₆ -220/1200
U _{Ns} 220KV	U _N 220KV
I _{max} 496.01A	I _N 1200A
I'' 17.376KA	I _{Nbr} 21KA
i _{sh} 44.309KA	I _{Ncl} 55KA
Q _K 120.252[(KA) ² s]	I _t ² t 21 ² ×4=1764[(KA) ² s]
i _{sh} 44.309KA	i _{es} 55KA

由表可知，所选断路器满足要求。

(2)、出线断路器的选择与校验

$$I_{\max} = \frac{2 \times 180000}{\sqrt{3} \times 220} = 944.88A$$

由上表可知 SW₆-220/1200 同样满足出线断路器的选择。

其动稳定、热稳定计算与主变侧相同。

具体参数如下表所示：

表 6-4 具体参数表

计算数据	SW ₆ -220/1200
U _{Ns} 220KV	U _N 220KV
I _{max} 944.88A	I _N 1200A
I'' 17.376KA	I _{Nbr} 21KA
i _{sh} 44.309KA	I _{Ncl} 55KA
Q _K 120.252[(KA) ² s]	I _t ² t 21 ² ×4=1764[(KA) ² s]
i _{sh} 44.309KA	i _{es} 55KA

(3)、主变侧隔离开关的选择及校验过程如下：

1. 额定电压选择：U_N ≥ U_{Ns} = 220KV
2. 额定电流选择：I_N > I_{max} = 496.01A
3. 极限通过电流选择：i_{es} > i_{sh} = 44.309KA

GW6—220D/1000—80，其技术参数如下表：

表 6-5 GW6—220D/1000—80 技术参数表

型号	额定 电压 KV	额定 电流 A	极限通过 电流 KA	热稳定 电流 KA
			峰值	4S
GW6—220D/1000—80	220	1000	80	23.7

4. 热稳定校验： $I_t^2 t > Q_k$

$$I_t^2 t = 23.7^2 \times 4 = 2246.76 [(\text{KA})^2 \text{S}]$$

所以， $I_t^2 t > Q_k$ 满足热稳校验。

5. 动稳定校验： $i_{es} = 80\text{KA} > i_{sh} = 44.309\text{kA}$ 满足校验要求。

具体参数如下表：

表 6-6 具体参数表

计算数据	GW ₄ -220D/1000—80
U_{Ns} 220KV	U_N 220KV
I_{max} 496.01A	I_N 1000A
Q_k 115.743 [(KA) ² S]	$I_t^2 t$ 23.7 ² ×4=2246.76 [(KA) ² S]
i_{sh} 44.309KA	i_{es} 80KA

由表可知，所选隔离开关各项均满足要求。

(4)、出线侧隔离开关的选择及校验过程如下：

$$I_{max} = \frac{2 \times 180000}{\sqrt{3} \times 220} = 944.88\text{A}$$

由上表可知 GW6—220D/1000—80 同样满足出线隔离开关的选择。

其动稳定、热稳定计算与主变侧相同。

具体参数如下表：

表 6-7 具体参数表

计算数据	GW ₄ -220D/1000—80
U_{Ns} 220KV	U_N 220KV
I_{max} 944.88A	I_N 1000A
Q_K 115.743[(KA) ² S]	$I_t^2 t$ 23.7 ² ×4=2246.76[(KA) ² S]
i_{sh} 44.309KA	i_{es} 80KA

由表可知，所选隔离开关各项均满足要求。

6.1.2 主变 110KV 侧

断路器的选择与校验

流过断路器的最大持续工作电流

$$I_{max} = \frac{1.05 \times 180000}{\sqrt{3} \times 110} = 992.02(A)$$

具体选择及校验过程如下：

1. 额定电压选择： $U_N \geq U_{Ns} = 110KV$
2. 额定电流选择： $I_N > I_{max} = 992.02A$
3. 开断电流选择： $I_{Nbr} > I'' = 10.778KA$

初选 SW4—110/1000 技术数据如下表所示：

表 6-8 SW4—110/1000 技术数据

型号	额 定 电 压 KV	额定电 流 A	断流容量 MVA	额定断流 量 KA	极限通过 电流 KA	热稳定电 流 KA	固 有 分 闸 时间 S
					峰值	5S	
SW4—110/1000	110	1000	3500	18.4	55	21	0.06

4. 热稳定校验： $I_t^2 t > Q_k$

$$I_t^2 t = 21^2 \times 5 = 2205 [(\text{KA})^2 \text{S}]$$

灭弧时间取 0.06S，热稳定计算时间： $t_k = 1.5 + 0.06 + 0.06 = 1.62\text{S}$

查转移电抗并计算短路电流

$$I_{1.62} = 0.584 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 115} + 18.519 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} = 10.762 \text{KA}$$

$$I_{0.81} = 0.575 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 115} + 18.519 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 115} = 10.730 \text{KA}$$

$$\begin{aligned} Q_K &= \frac{I''^2 + 10I_{t_k/2}^2 + I_{t_k}^2}{12} t_k \\ &= \frac{10.778^2 + 10 \times 10.730^2 + 10.762^2}{12} \times 1.62 \\ &= 186.747 [(\text{KA})^2 \text{S}] \end{aligned}$$

所以， $I_t^2 t > Q_K$ 满足热稳校验。

5. 动稳定校验： $i_{es} = 55 \text{kA} > i_{sh} = 27.484 \text{KA}$ 满足校验要求。

具体参数如下表：

表 6-9 具体参数表

计算数据	SW ₄ -110/1000
U_{Ns} 110KV	U_N 110KV
I_{max} 992.02A	I_N 1000A
I'' 10.778KA	I_{Nbr} 18.4KA
i_{sh} 27.484KA	I_{Ncl} 55KA
Q_K 186.747 [(KA) ² S]	$I_t^2 t$ 21 ² ×5=2205 [(KA) ² S]
i_{sh} 44.309KA	i_{es} 55KA

由表可知，所选断路器满足要求。

隔离开关的选择及校验过程如下：

1. 额定电压选择： $U_N \geq U_{Ns} = 110 \text{KV}$

2. 额定电流选择: $I_N > I_{\max} = 992.02A$

3. 极限通过电流选择: $i_{es} > i_{sh} = 27.484KA$

选择 GW4—110D/1000—80 其技术数据如下表:

表 6-10 GW4—110D/1000—80 技术数据

型号	额定电压 KV	额定电流 A	极限通过电流 KA	热稳定电流 KA
			峰值	4S
GW4—110D/1000—80	110	1000	80	21.5

4. 热稳定校验: $I_t^2 t > Q_k$

$$I_t^2 t = 21.5^2 \times 5 = 2311.25 [(KA)^2 s]$$

所以, $I_t^2 t > Q_k$ 满足热稳校验

5. 动稳定校验: $i_{es} = 55kA > i_{sh} = 27.484kA$ 满足校验要求

具体参数如下表

表 6-11 具体参数

计算数据	GW ₄ -110D/1000—80
U_{Ns} 110KV	U_N 110KV
I_{\max} 992.02A	I_N 1000A
Q_k 186.747[(KA) ² S]	$I_t^2 t$ 21.5 ² ×5=2311.25[(KA) ² S]
i_{sh} 27.484KA	i_{es} 55KA

由表可知, 所选隔离开关各项均满足要求。

110KV 母联断路器及隔离开关的最大工作条件与变中 110KV 侧应满足相同的要求, 故选用相同设备。即选用 SW4-110/1000 型少油断路器和 GW4-110D/1000—80 型隔离开关。

6.1.3 10KV 限流电抗器、断路器隔离开关的选择

由于短路电流过大需要装设限流电抗器

(一)、限流电抗器的选择

$$I_N \geq \frac{35}{\sqrt{3} \times 10.5} = 1.347 \text{ KA}$$

$$U_N \geq U_{NS} = 10 \text{ KV}$$

设将电抗器后的短路电流限制到 $I'' = 20 \text{ KA}$

(1) 初选型号

根据以上条件初选 XKK—10—4000—4

电抗器标么值：

$$X_{*\Sigma} = \frac{I_B}{I''} \quad \text{其中: } I_B = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} = 5.5 \text{ KA}$$

(2) 选择电抗值

电源至电抗器前的系统标么值：

$$X'_{*\Sigma} = X_{AF*} // X_{BF*} = \frac{0.084 \times 0.524}{0.084 + 0.524} = 0.0724$$

$$X_L \% = \left(\frac{I_B}{I''} - X'_{*\Sigma} \right) \frac{I_N U_B}{I_B U_N} \times 100\% = \left(\frac{5.5}{20} - 0.0724 \right) \times \frac{4000 \times 10500}{5500 \times 10000} = 11.2\%$$

曾运用 4% 的电抗器，计算结果表明不满足动稳定要求，故改为 XKK—10—4000—12。

表 6-12 XKK—10—4000—12 技术数据

型号	额定电压 KV	额定电流 A	电抗率	动 稳 定 电 流峰值 KA	热稳定电流 KA	固有分闸 时间 S
					4S	
SW4—10—4000	10KV	4000	12%	204	80	0.17

(3) 电压损失和残压校验

当所选电抗值大于计算值时，应重算电抗器后短路电流，以供残压校验。

为计算短路电流，先计算电抗标么值为

$$X_{*L} = X_L \% \frac{I_d U_n}{I_n U_d} = 0.12 \times \frac{5500 \times 10000}{4000 \times 10500} = 0.157$$

zhulong.com

$$X_{*\Sigma} = X'_{*\Sigma} + X_{*L} = 0.0724 + 0.157 = 0.229$$

其中 $t_k = 2 + 0.17 + 0.05 = 2.22\text{s}$ ，查短路电流计算曲线并换算成短路电流有名值： $I'' = 76.154\text{KA}$ $I_{2.22} = 76.23\text{KA}$ $I_{1.11} = 76.23\text{KA}$

则电压损失和残压分别为

$$\Delta U \% = \Delta U \% = X_L \% \frac{I_{\max}}{I_N} \sin \theta = 0.012 \times \frac{1347}{4000} \times 0.6 = 2.42 \% < 5 \%$$

$$\Delta U_{re} \% = X_L \% \frac{I''}{I_N} = 0.12 \times \frac{76.154}{4.0} = 228 \% > 60 \% \sim 70 \%$$

(4) 动、热稳定校验

$$\begin{aligned} Q_K &= \frac{I''^2 + 10I_{t_k/2}^2 + I_{t_k}^2}{12} \times t_k \\ &= \frac{76.154^2 + 10 \times 76.23^2 + 76.23^2}{12} \times 2.22 \\ &= 12898.306 [(\text{KA})^2 \text{s}] \end{aligned}$$

$$i_{sh} = K_{sh} I'' = 2.55 \times 76.154 = 194\text{KA} < 204\text{KA}$$

表 6-13 具体参数

计算数据	XKK—10—4000—12
U_N 10KV	U_N 10KV
I_{\max} 1347A	I_N 4000A
Q_K 12898.306 [(KA) ² s]	Q_K 80 ² ×4=25600 [(KA) ² s]
i_{sh} 194KA	i_{es} 204KA

根据以上校验，选择满足要求。

$$\text{限流后 } I'' = 20\text{KA} \quad i_{sh} = 2.55 \times 20 = 51\text{KA}$$

流过断路器的最大工作电流：

$$I_{\max} = \frac{1.05 \times 35}{\sqrt{3} \times 10.5} = 1414.4A$$

具体选择及校验过程如下：

1. 额定电压选择： $U_N \geq U_{Ns} = 10KV$

2. 额定电流选择： $I_N > I_{\max} = 1414.4A$

3. 开断电流选择： $I_{Nbr} > I'' = 20KA$

选择 SN4—10G/5000，其技术参数如下表所示：

表 6-14 SN4—10G/5000 技术参数

型号	额 定 电 压 KV	额定 电流 A	断流容 量 MVA	额定断流 量 KA	极限通过 电流 KA	热稳定 电流 KA	固有分 闸 时 间 S
					峰值	4S	
SW4-10G/5000	10	5000	1800	105	300	120	0.15

4. 热稳定校验

$$I_t^2 t = 120^2 \times 5 = 72000 [(KA)^2 s]$$

设后备保护时间为 1.5S，灭弧时间为 0.06S

$$t_k = 1.5 + 0.15 + 0.06 = 1.71S$$

查短路电流计算曲线并换算成短路电流有名值： $I'' = 20KA$

$$I_{1.71} = 0.37 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 10.5} + 11.9 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} = 75.6KA$$

$$I_{0.855} = 0.38 \times \frac{500}{\sqrt{3} \times 10.5} + 11.9 \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} = 76.1KA$$

$$Q_K = \frac{I''^2 + 10I_{t_k/2}^2 + I_{t_k}^2}{12} \times t_k = \frac{20^2 + 10 \times 76.1^2 + 75.6^2}{12} \times 1.71 = 9123.9 [(KA)^2 s]$$

$I_t^2 t > Q_k$ 满足要求。

5. 动稳定校验: $i_{es}=300kA > i_{sh}=51kA$ 满足校验要求。

具体参数如下表:

表 6-15 具体参数

计算数据	SN4-10G/5000
U_{Ns} 10KV	U_N 10KV
I_{max} 1414.4A	I_N 5000A
I'' 20KA	I_{Nbr} 105KA
i_{sh} 194.193KA	I_{Ncl} 300KA
Q_k 9123.9 [(KA) ² s]	$I_t^2 t$ $120^2 \times 5 = 72000$ [(KA) ² s]
i_{sh} 51KA	i_{es} 300KA

由表可知, 所选断路器满足要求。

隔离开关的选择及校验过程如下:

1. 额定电压选择: $U_N \geq U_{Ns} = 10KV$
2. 额定电流选择: $I_N > I_{max} = 1414.4A$
3. 极限通过电流选择: $i_{es} > i_{sh} = 51KA$

选择 GN10—10T/5000—200, 其技术参数如下:

表 6-16 GN10-10T/5000-200 技术参数

型号	额定电压 KV	额定电流 A	极限通过电 流 KA	热稳定电流 KA
			峰值	5S
GN10-10T/5000-200	10	5000	200	100

4. 热稳定校验: $I_t^2 t > Q_k$

$$I_t^2 t = 100^2 \times 5 = 50000 [(KA)^2 s]$$

所以， $I_t^2 t > Q_k = 9123.9 [(\text{KA})^2 \text{s}]$ ，满足热稳校验。

5. 动稳定校验： $i_{es} = 200 \text{kA} > i_{sh} = 51 \text{kA}$ 满足校验要求。

具体参数如下表：

表 6-17 具体参数

计算数据	GN10-10T/5000-200
U_{Ns} 10KV	U_N 10KV
I_{max} 1414.4A	I_N 5000A
Q_k 9123.9 [(KA) ² S]	$I_t^2 t$ $100^2 \times 5 = 50000 [(\text{KA})^2 \text{S}]$
i_{sh} 51KA	i_{es} 200KA

由表可知，所选隔离开关各项均满足要求。

10KV 母联断路器及隔离开关的最大工作条件与变低 10KV 侧应满足相同的要求，故选用相同设备。即选用 SN4-10G/5000 型少油断路器和 GN10-10T/5000—200 型隔离开关。

6.2 电流互感器的选择

电流互感器的选择和配置应按下列条件：

型式：电流互感器的型时应根据使用环境条件和产品情况选择。对于 6～20KV 屋内配电装置，可采用瓷绝缘结构和树脂浇注绝缘结构的电流互感器。对于 35KV 及以上配电装置，一般采用油浸式瓷箱式绝缘结构的独立式电流互感器。有条件时，应尽量采用套管式电流互感器。

一次回路电压： u_g (一次回路工作电压) $\leq u_n$ (6-6)

一次回路电流：

$I_{g \cdot max}$ (一次回路最大工作电压) $\leq I_m$ (原边额定电流) (6-7)

准确等级：要先知道电流互感器二次回路所接测量仪表的类型及对准确等级的要求，并按准确等级要求高的表计来选择。

二次负荷:

$$S_n = I_{2n} \cdot Z_{2n} (\text{VA}) \quad (6-8)$$

式中,

$$S_n = I_{2n} \cdot Z_{2n} (\text{VA}) \quad (6-9)$$

$$S_2 = I_{2n}^2 \cdot Z_{2n} \quad (6-10)$$

动稳定:

$$i_{sh} < \sqrt{2} I_m K_{dw} \quad (6-11)$$

式中, K_{dw} 是电流互感器动稳定倍数。

热稳定:

$$I_{\infty}^2 t_{dz} \leq (I_m K_t)^2 \quad (6-12)$$

K_t 为电流互感器的 1s 热稳定倍数。

6.2.1 220KV 侧电流互感器的选择

主变 220KV 侧 CT 的选择

一次回路电压: $u_n \geq u_g = 220 \text{KV}$

$$\text{二次回路电流: } I_m \geq I_{g \cdot \max} = \frac{4}{3} \times \frac{180000}{\sqrt{3} \times 220} = 629.84 \text{A}$$

根据以上两项, 初选 $LCW-220(4 \times 300/5)$ 户外独立式电流互感器, 其参数如下:

表 6-18 LCW-220 (4×300/5) 参数

型 号	额定电流 A	级次 组合	准 确 级次	二次负荷						10%倍数		1S 热 稳定		动稳定	
				准确等级											
				0.2V.A	0.5	1	3	5P	10P	二 次 负 荷	倍 数	电 流	倍 数	电 流	倍 数
					Ω			V.A							
LCW-220	4×300/5	D/D D/0.5	D 0.5		1.2 2	4				1.2	30		60		60

动稳定校验： $i_{sh} \leq \sqrt{2} I_m K_{dw}$

$$\sqrt{2} I_m K_{dw} = \sqrt{2} \times 1200 \times 60 = 101.81 \text{KA} \geq i_{sh} = 44.309 \text{KA}$$

满足动稳定要求。

热稳定校验：

$$I_{\infty}^2 t_{dz} \leq (I_m K_t)^2$$

$$(I_m K_t)^2 = (1200 \times 60)^2 = 5184 \text{KA}^2 \cdot \text{S} \geq Q_k = 115.743 \text{KA}^2 \cdot \text{S}$$

满足热稳定要求。

综上所述，所选 LCW-220(4×300/5) 满足要求。

表 6-19 LCW-220 (4×300/5) 参数

项 目 \ 设 备	LCW-220	
	产品数据	计算数据
$u_n \geq u_g$	220KV	220KV
$I_e \geq I_{gmax}$	1200A	496.01A
$(I_m K_t)^2 > Q_k$	518KA ² S	115.743KA ² S
$\sqrt{2} I_m K_{dw} > i_{sh}$	101.81KA	44.309KA

220KV 母联 CT:

由于 220KV 母联与变高 220KV 侧的运行条件相应，故同样选用 $LCW-220(4\times 300/5)$ 型 CT。

6.2.2 110KV 侧的电流互感器的选择

主变中 110KV 的 CT 的选择：

一次回路电压： $u_n = u_g = 110KV$

$$\text{二次回路电流: } I_m \geq I_{g\cdot\max} = \frac{4}{3} \times \frac{180000}{\sqrt{3} \times 110} = 1159.67A$$

根据以上两项，初选 $LCWDL-110/(2\times 600/5)$ 户外独立式电流互感器，其参数如下：

表 6-20LCWDL-110/（2×600/5）参数

型 号	额 定 电 流 A	级次组 合	准 确 级 次	二 次 负 荷						10%倍数		1S 热 稳定		动稳定	
				准 确 等 级											
				0.2 V.A	0.5	1	3	5P	10P	二次 负荷	倍 数	电 流	倍 数	电 流	倍 数
LCWDL-110	2×600/5	0.5/D/D	0.5		2					1.2	20		75		135

动稳定校验： $i_{sh} \leq \sqrt{2} I_m K_{dw}$

$$\sqrt{2} I_m K_{dw} = \sqrt{2} \times 1200 \times 135 = 229.10KA \geq i_{sh} = 24.484KA$$

热稳定校验：

$$Q_K \leq (I_m K_t)^2$$

$$(I_m K_t)^2 = (1200 \times 75)^2 = 8100KA^2.S \geq Q_K = 179.831KA^2.S \text{ 满足热稳定性}$$

要求。综上所述，所选的电流互感器 $LCWDL-110/(2 \times 600/5)$ 满足动热稳定性要求。

表 6-21 $LCWDL-110/(2 \times 600/5)$ 参数

项 目 \ 设 备	LCWDL-110 (2×600/5)	
	产品数据	计算数据
$u_n \geq u_g$	110KV	110KV
$I_e \geq I_{gmax}$	1200A	992.02A
$(I_m K_t)^2 > Q_k$	$8100KA^2 S$	$186.747KA^2 S$
$\sqrt{2} I_m K_{dw} > i_{sh}$	229.10KA	24.484KA

110KV 母联 CT 的选择。

母联的工作条件与变中 110KVCT 应相同，所以同样选择型 CT。

6.2.3 10KV 侧电流互感器的选择

10KV 主变进线回路 CT 的选择

1、一次回路电压： $u_n \geq u_g = 10KV$

2、二次回路电流： $I_m \geq I_{g \cdot max} = \frac{4}{3} \times \frac{35}{\sqrt{3} \times 10} = 2694A$

由此得，初选 $LMZD-10(11000/5)$ 户外独立式电流互感器，其参数如下：

表 6-22 $LMZD-10(11000/5)$ 参数

型 号	额定电流 A	级次 组合	准 确 级 次	二次负荷						10%倍数		1S 热 稳定		动稳定	
				准确等级											
				0.2 V.A	0.5	1	3	5P	10P	二次 负荷	倍 数	电 流	倍 数	电 流	倍 数
LMZD-10（11000/5）	11000/5	0.5/D	0.5		1.2					1.2	20		40		90

3、动稳定校验 $i_{sh} \leq \sqrt{2} I_m K_{dw}$:

$$\therefore \sqrt{2} I_m K_{dw} = \sqrt{2} \times 11000 \times 90 = 1399.86 \text{ KA} \geq i_{sh} = 115.754 \text{ KA}$$

4、热稳定校验: $Q_k \leq (I_m K_t)^2$

$$\therefore (I_m K_t)^2 = (11000 \times 40)^2 = 193600 \text{ KA}^2 \cdot \text{S} \geq Q_k = 12898.306 \text{ KA}^2 \cdot \text{S}$$

满足热稳定性要求。

综上所述,所选的电流互感器 $LMZD-10(11000/5)$ 满足动热稳定性要求。

表 6-23 LMZD-10 (11000/5) 参数

项 目 \ 设 备	LMZD-10	
	产品数据	计算数据
$u_n \geq u_g$	10KV	10KV
$I_e \geq I_{gmax}$	1100A	10912.24A
$(I_m K_t)^2 > Q_k$	$193600 \text{ KA}^2 \text{ S}$	$12898.306 \text{ KA}^2 \text{ S}$
$\sqrt{2} I_m K_{dw} > i_{sh}$	1399.86KA	51KA

10KV 母联 CT 的选择:

由于 10KV 母联只在一台主变停运时才有大电流通过,与 10KV 母线侧电流互感器相同,所以同样选择户 $LMZD-10(11000/5)$ 户外独立式电流互感器。

6.3 电压互感器的选择

电压互感器的选择和配置应按下列条件:

型式: 6~20KV 屋内互感器的型式应根据使用条件可以采用树脂胶主绝缘结构的电压互感器; 35KV~110KV 配电装置一般采用油浸式结构的电压互感器; 220KV 级以上的配电装置,当容量和准确等级满足要求,一般采用电容式电压互感器。在需要检查和监视一次回路单相接地时,应选用三相五柱式电压互感器或具有第三绕组的单相电压互感器。

一次电压 u_1 、 $u_n > u_1 > 0.9u_n$ ， u_n 为电压互感器额定一次线电压。

二次电压：按表所示选用所需二次额定电压 u_{2n} 。

表 6-24 二次额定电压

绕组	主二次绕组		附加二次绕组	
高压侧接入方式	接于线电压上	接于相电压上	用于中性点直接接地系统中	用于中性点不接地或经消弧线圈接地
二次额定电压	100	$100/\sqrt{3}$	100	$100/\sqrt{3}$

准确等级：电压互感器在哪一准确等级下工作，需根据接入的测量仪表，继电器和自动装置等设备对准确等级的要求确定，规定如下：

用于发电机、变压器、调相机、厂用馈线、出线等回路中的电度表，及所有计算的电度表，其准确等级要求为 0.5 级。

供监视估算电能的电度表，功率表和电压继电器等，其准确等级，要求一般为 1 级。

用于估计被测量数值的标记，如电压表等，其准确等级要求较低，要求一般为 3 级即可。

在电压互感器二次回路，同一回路接有几种不同型式和用途的表计时，应按要求准确等级高的仪表，确定为电压互感器工作的最高准确度等级。

5、负荷 S_2 ： $S_2 < S_n$

6.3.1 220KV 侧母线电压互感器的选择

型式：采用串联绝缘瓷箱式电压互感器，作电压，电能测量及继电保护用。

电压：额定一次电压： $U_{1n} = 220KV$ $U_{2n} = 100/\sqrt{3}V$

准确等级：用于保护、测量、计量用，其准确等级为 0.5 级，查相关设计

手册，选择 PT 的型号：JCC₂—220。

$$\text{额定变比: } \frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1KV$$

6.3.2 110KV 母线设备 PT 的选择

型式：采用串联绝缘瓷箱式电压互感器，作电压、电能测量及继电保护用。

$$\text{电压: 额定一次电压: } U_{1n} = 110KV \quad U_{2n} = 0.1/\sqrt{3}V$$

准确等级：用户保护，测量、计量用，其准确等级为 0.5 级。

查《发电厂电气部分》，选定 PT 的型号为：JCC-110

$$\text{额定变比为: } \frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1KV$$

6.3.3 10KV 母线设备电压互感器的选择

型式：采用树脂浇注绝缘结构 PT，用于同步、测量仪表和保护装置。

$$\text{电压: 额定一次电压: } U_{1n} = 10KV \quad U_{2n} = 0.1KV$$

准确等级：用于保护、测量、计量用，其准确等级为 0.5 级。

查《发电厂电气部分》选定 PT 型号：JDJ-10

额定变比为：10/0.1KV

6.4 导体的选择与校验

导体选择的一般要求：

裸导体应根据具体情况，按下列技术条件分别进行选择 and 校验。

工作电流；

电晕（对 110KV 级以上电压的母线）；

动稳定性和机械强度；

热稳定性；

同时也应注意环境条件，如温度、日照、海拔等。

导体截面可以按长期发热允许电流或经济密度选择，除配电装置的汇流母线外，对于年负荷利用小时数大，传输容量大，长度在 20M 以上的导体，其截面一般按经济电流密度选择。

一般来说，母线系统包括截面导体和支撑绝缘两部分，载流导体构成硬母线和软母线，软母线是钢芯铝绞线，有单根，双分 and 组合导体等形式，因其机械强度决定支撑悬挂的绝缘子，所以不必校验其机械强度。110KV 及以上高压配电装置一般采用软导线。

6.4.1 220KV 母线

这里采用钢芯铝绞线导体

$$I_{\max} = \frac{2 \times 180000}{\sqrt{3} \times 220} = 944.88A$$

按最大持续工作电流选择查设备手册选 LGJ 型钢芯铝绞线，其标称截面为 $800/100 \text{ mm}^2$ ，长期允许载流量为 1402A。

$$\text{温度修正系数 } k_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta_y - \theta}{\theta_v - \theta_0}} = \sqrt{\frac{70 - \theta}{70 - 25}} = \sqrt{\frac{70 - 40}{70 - 25}} = 0.82$$

$$I_{al40} = k_{\theta} \times I_{\max} = 0.82 \times 1402 = 1149.64 > 944.88A$$

热稳定校验。正常运行时导体温度

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{\max}^2}{I_{al}^2} = 40 + (70 - 40) \frac{944.88^2}{1149.64^2} = 60.26^{\circ}\text{C}$$

查发电厂电气部分表 C=89，则满足短路时发热的最小导体截面为

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{Q_k k_f}}{C} = \frac{\sqrt{115.743 \times 1 \times 10^6}}{89} = 120.876 \text{ mm}^2 < 800 \text{ mm}^2$$

满足热稳定要求。

电晕校验:

$$U_{lj} \geq U_g = 1.05U_n = 1.05 \times 220 = 231KV$$

$$U_{lj} = 84k_{mx.\delta.r} \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta.r}}\right) \lg \frac{a}{r} = 299.55KV > 231KV$$

满足要求。

6.4.2 110KV 母线

这里采用钢芯铝绞线导体

$$I_{max} \leq K_{\theta} I_y$$

$$I_{max} = 992.02A$$

按最大持续工作电流选择查设备手册选 LGJ 型钢芯铝绞线, 其标称截面为 $630/55mm^2$, 长期允许载流量为 1211A, 外径为 34.32mm。

$$\text{温度修正系数 } k_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta_y - \theta}{\theta_v - \theta_0}} = \sqrt{\frac{70 - \theta}{70 - 25}} = \sqrt{\frac{70 - 40}{70 - 25}} = 0.82$$

$$I_{al40} = k_{\theta} \times I_{max} = 0.82 \times 1211 = 993.02A > 992.02A$$

热稳定校验。正常运行时导体温度

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{max}^2}{I_{al}^2} = 40 + (70 - 40) \frac{992.02^2}{993.02^2} = 69.94^{\circ}C$$

查发电厂电气部分表 C=87, 则满足短路时发热的最小导体截面为

$$S_{min} = \frac{\sqrt{Q_k k_f}}{C} = \frac{\sqrt{179.83 \times 1 \times 10^6}}{87} = 154.14mm^2 < 630mm^2$$

满足热稳定要求。

电晕校验:

$$U_{lj} \geq U_g = 1.05U_n = 1.05 \times 110 = 115.5KV$$

$$U_{lj} = 84K_{mx \cdot \delta \cdot r} \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right) \lg \frac{a}{r} = 299.55KV > U_g = 115.5KV$$

满足要求。

6.4.3 10KV 母线的选择

1) 按最大持续工作电流选择

$$I_{\max} = \frac{1.05 \times 35}{\sqrt{3} \times 10.5} = 1414.4A$$

按最大持续工作电流选择 2 条 125×8 矩形铝导线平放，额定载流为 2670A，集肤效应系数为 1.4，修正后的载流量为： $I_{al} = 2670 \times 0.82 = 2789.4 > I_{\max}$ 。

热稳定校验。正常运行时导体温度：

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{\max}^2}{I_{al}^2} = 40 + (70 - 40) \frac{1414.4^2}{2189.4^2} = 52.5^\circ C$$

查发电厂电气部分表 C=93，则满足短路时发热的最小导体截面为：

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{Q_k k_f}}{C} = \frac{\sqrt{12898.306 \times 10^6 \times 1.4}}{93} = 1444.9mm^2 < 2000mm^2$$

满足热稳定要求。

6) 动稳定校验

相间距 $a=0.25m$

冲击电流 $i_{sh}=51KA$

单位长度上的相间电动力：

$$f_{pf} = 1.73 \times 10^{-7} \frac{1}{a} i_{sh}^2 = 1.73 \times 10^{-7} \times \frac{51000^2}{0.25} = 1799.892N/M$$

$$W = \frac{bh^2}{3} = \frac{0.008 \times 0.125^2}{3} = 42 \times 10^{-6} m^3$$

$$\sigma_{ph} = \frac{f_{ph} L^2}{10W} = \frac{1799.892 \times 1.2^2}{10 \times 42 \times 10^{-6}} = 6.2 \times 10^6 Pa < 70 \times 10^6$$

母线同相条间作用应力计算如下：

$$\frac{b}{h} = \frac{8}{125} = 0.064 \quad \frac{2b-b}{b+h} = \frac{8}{8+125} = 0.06$$

由导体形状系数曲线查得 $K_{12}=0.23$

$$f_b = 2.5 K_{12} i_{sh}^2 \frac{1}{b} \times 10^{-8} = 2.5 \times 0.23 \times 51000^2 \times \frac{1}{0.008} \times 10^{-8} = 1869 Pa$$

其中 $L_b = 1.2/3 = 0.4m$ ，而条间应力为

$$\sigma_b = \frac{f_b L_b^2}{2b^2 h} = \frac{1869 \times 0.4^2}{2 \times 0.008^2 \times 0.125} = 18.69 \times 10^6 Pa$$

$$\sigma_{ph} + \sigma_b = 6.2 \times 10^6 + 18.69 \times 10^6 = 24.89 \times 10^6 Pa < 70 \times 10^6 Pa$$

由以上可知满足要求。

6.4.4 变压器 220KV 侧引接线的选择与校验

按经济电流密度选择导体截面积：

$$I_{max} = \frac{2 \times 180000}{\sqrt{3} \times 220} = 944.88 A$$

查经济电流密度曲线，当 $T_{max}=3600h$ 时，经济电流密度 $J=1.3 A/mm^2$ ，则

$$S_J = \frac{I_{max}}{J} = \frac{944.88}{1.3} = 726.83 mm^2$$

查阅资料选取 LJ-800 铝绞线。

当环境温度为 $40^\circ C$ 时

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{al} - \theta}{\theta_{al} - \theta_0}} = \sqrt{\frac{80 - 40}{80 - 25}} = 0.727 \quad (\text{考虑日照影响: 取 } 80^\circ\text{C})$$

按长期发热允许电流校验:

$$I_{al40^\circ\text{C}} = K \cdot I_{al} = 0.727 \times 1377 = 1001\text{A} > I_{\max} = 944.88\text{A}$$

满足要求。

2) 热稳定校验, 正常运行时导体温度

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{\max}^2}{I_{al}^2} = 40 + (80 - 40) \frac{944.88^2}{1001^2} = 75.6^\circ\text{C}$$

$$S_{\min} = \sqrt{Q_K K_f} / C$$

查表得: $C=85 \quad K_f=1$

$$S_{\min} = \sqrt{Q_K K_f} / C = \sqrt{115.743 \times 10^6 \times 1} / 85 = 126.57 < 800\text{mm}^2$$

满足热稳定要求。

选择 LG-800 铝绞线符合要求。

6.4.5 变压器 110KV 侧引接线的选择与校验

按经济电流密度选择导体截面积:

$$I_{\max} = 992.02\text{A}$$

查经济电流密度曲线, 当 $T_{\max} = 4600\text{h}$ 时, $J=1.07\text{A/mm}^2$,

$$\text{则: } S_J = \frac{I_{\max}}{J} = \frac{992}{1.07} = 927\text{mm}^2$$

查阅资料选取 LGJK-1250/150 扩径钢芯铝绞线。长期允许载流量 (考虑日

照): 1430A

当环境温度 40℃ 时

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{al} - \theta}{\theta_{al} - \theta_0}} = \sqrt{\frac{80 - 40}{80 - 25}} = 0.727 \quad (\text{考虑日照影响: 取 } 80^\circ\text{C})$$

按长期发热允许电流校验:

$$I_{al40^\circ\text{C}} = K \cdot I_{al} = 0.727 \times 1430 = 1039.61\text{A} > I_{\max} = 992\text{A}$$

满足要求。

2) 热稳定校验, 正常运行时导体温度

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{\max}^2}{I_{al}^2} = 40 + (80 - 40) \frac{992^2}{1039.61^2} = 76^\circ\text{C}$$

$$S_{\min} = \sqrt{Q_k K_f} / C$$

查表得: $C=85 \quad K_f=1$

$$S_{\min} = \sqrt{Q_k K_f} / C = \sqrt{179.831 \times 10^6 \times 1} / 85 = 157.77 < 1250\text{mm}^2$$

满足热稳定要求。

选择 LGJK-1250/150 钢芯铝绞线符合要求。

6.4.6 变压器 10KV 侧引接线的选择与校验

10KV 母线最大持续工作电流:

$$I_{\max} = \frac{1.05 \times 35}{\sqrt{3} \times 10.5} = 1414.4\text{A}$$

查表: $J = 0.98\text{A/mm}^2$

导体经济面积：

$$S_j = \frac{I_{\max}}{J} = \frac{1414.4}{0.98} = 1443.26 \text{ mm}^2$$

查表选取二条 $125\text{mm} \times 10\text{mm}$ 矩形硬铝导体平放：

竖放允许电流：3152A

集肤效应系数： $K_f=1.45$

当环境温度 40°C ，温度修正系数： $K=0.82$

$$I_{al40^\circ\text{C}} = K \cdot I_{al} = 0.82 \times 3152 = 2553.12 \text{ A} > I_{\max} = 1414.4 \text{ A}$$

热稳定校验：

正常运行时导体温度：

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{\max}^2}{I_{al}^2} = 40 + (70 - 40) \frac{1414.4^2}{3152^2} = 46.04^\circ\text{C}$$

查表得： $C=95$ 。则满足短路时发热的最小导体截面积：

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{Q_k K_f}}{C} = \frac{\sqrt{14898.306 \times 10^6 \times 1.45}}{95} = 1547.132 \text{ mm}^2 < 2500 \text{ mm}^2$$

满足条件。

动稳定校验：

相间距 $a=0.25\text{m}$

10KV 侧短路冲击电流： $i_{sh}=51\text{KA}$

$$\text{母线相间应力： } f_{ph} = 1.73 \times 10^{-7} \times \frac{i_{sh}^2}{a} = 1.73 \times 10^{-7} \times \frac{51000^2}{0.25} = 1799.892 \text{ N/m}$$

$$W = \frac{bh^2}{3} = \frac{0.01 \times 0.125^2}{3} = 52.083 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$



$$\sigma_{ph} = \frac{f_{ph} \cdot L^2}{10W} = \frac{1799.892 \times 1.2^2}{10 \times 0.000052083} = 4.98 \times 10^6 Pa$$

母线同相条间作用应力计算如下：

$$\frac{b}{h} = \frac{10}{125} = 0.08 \quad \frac{2b-b}{b+h} = \frac{10}{10+125} = 0.074$$

由导体形状系数曲线查得 $K_{12}=0.24$

$$f_b = 2.5K_{12}i_{sh}^2 \frac{1}{b} \times 10^{-8} = 2.5 \times 0.24 \times 51000^2 \times \frac{1}{0.01} \times 10^{-8} = 1561 Pa$$

其中 $L_b = 1.2/3 = 0.4m$ ，而条间应力为

$$\sigma_b = \frac{f_b L_b^2}{2b^2 h} = \frac{1561 \times 0.4^2}{2 \times 0.01^2 \times 0.125} = 10 \times 10^6 Pa$$

$$\sigma_{ph} + \sigma_b = 4.98 \times 10^6 + 10 \times 10^6 = 14.98 \times 10^6 Pa < 70 \times 10^6 Pa$$

满足要求。

所以选择：2 条 $125mm \times 10mm$ 矩形硬铝导体满足条件。

第 7 章 防雷接地设计

7.1 防雷设计

7.1.1 防雷设计原则

已在输电线路形成的雷闪过电压，会沿输电线路运动至变电所的母线上，并对于母线有连接的电气设备构成威胁。在母线上装设避雷器是限制雷电入侵波过电压的主要措施。

三绕组在正常运行时可能存在只有高、中压绕组工作低压绕组开路的情况，这在防雷中带来了需要特别考虑的问题。在三绕组变压器中，若低压绕组开路，则 C_2 很小（仅为其对地电容），静电分量可能危及低压绕组的绝缘，故应采取防雷措施。考虑到静电分量将使低压绕组三相的电位同时升高，故只要在任一相绕组直接出口处装设一个避雷器即可^[14]。

7.1.2 避雷器的选择

阀式避雷器应按下列条件选择

型式：选择避雷器型式时，应考虑被保护电器的绝缘水平和使用特点，按下表选择。

表 7-1 避雷器类型

型号	型式	应用范围
FS	配电用普通阀型	10KV 以下配电系统、电缆终端盒
FZ	电站用普通阀型	3~220KV 发电厂、变电所配电装置
FCZ	电站用磁吹阀型	1、330KV 及需要限制操作的 220KV 及以下配电 2、某些变压器中性点
FCD	旋转电机用磁吹阀型	用于旋转电机、屋内

1、额定电压 U_n ：避雷器的额定电压应与系统额定电压一致。

2、灭弧电压 U_{mh} : 按照使用情况, 校验避雷器安装地点可能出现的最大导线对地电压, 是否等于或小于避雷器的最大容许电压 (灭弧电压)。

3、工频放电电压 U_{gf} : 在中性点绝缘或经阻抗接地的电网中, 工频放电电压一般大于最大运行相电压的 3.5 倍。在中性点直接接地的电网中, 工频放电电压应大于最大运行相电压的 3 倍。工频放电电压应大于灭弧电压的 1.8 倍。

4、冲击放电电压和残压: 一般国产阀式避雷器的保护特性与各种电器的具有均可配合, 故此项校验从略^[16]。

根据避雷器配置原则, 配电装置的每组母线上, 一般应装设避雷器, 变压器中性点接地必须装设避雷器, 并接在变压器和断路器之间; 110、35kV 线路侧一般不装设避雷器。本工程采用 220KV、110KV 配电装置构架上设避雷针, 10KV 配电装置设独立避雷针进行直接保护为了防止反击, 主变构架上不设置避雷针。考虑到氧化锌避雷器的非线性伏安特性优越于碳化硅避雷器, 且没有串联间隙, 保护特性好, 没有工频续流、灭弧等问题, 所以本工程 220KV、110KV 系统中, 采用氧化锌避雷器。

1、220KV 侧避雷器的选择和校验

(1) 型式选择

根据设计规定选用 FCZ 系列磁吹阀式避雷器。

(2) 额定电压的选择:

$$U_N = U_{NS} = 220KV$$

因此选 FCZ-220 避雷器, 其参数如下表 7-2:

表 7-2 避雷器参数

型号	额定电压 (kV)	灭弧电压 有效值 (kV)	工频放电电压有效值 (KV)		冲击放电电峰 值 (1.5/20 μ s) 不大于 (KV)	8/20 μ s 冲击 残压不大于 (KV)
			不小于	不大于		
FCZ-220	220	252	503	580	710	740

(3) 灭弧电压校验:

最高工作允许电压： $U_m = 1.15U_N = 1.15 \times 220 = 253KV$

直接接地： $U_{mh} > C_d U_m = 0.8 \times 253 = 202.4KV$ ，满足要求。

(4) 工频放电电压校验：

下限值： $U_{gfs} > k_0 U_{xg} = 3 \times \frac{253}{\sqrt{3}} = 438.2KV$

上限值： $U_{gfs} = 1.2U_{xg} = 1.2 \times 438.2 = 525.84KV < 580KV$

上、下限值均满足要求。

(5) 残压校验： $U_{bc} = k_{bh} U_{mh} = 2.35 \times \sqrt{2} \times 202.4 = 672.657KV < 740KV$ ，满足要求。

(6) 冲击放电电压校验： $U_{chfd} = U_{bc} = 672.657KV < 710KV$ ，满足要求。

所以，所选 FCZ-220 型避雷器满足要求

2、110KV 侧避雷器的选择和校验

(1) 型式选择

根据设计规定选用 FCZ 系列磁吹阀式避雷器。

(2) 额定电压的选择：

$$U_N = U_{NS} = 110KV$$

因此选 FCZ-110 避雷器，其参数如下表 7-3：

表 7-3 避雷器参数

型号	额定电压 (kv)	灭弧电压 有效值 (kv)	工频放电电压有效值 (KV)		冲击放电电峰 值(1.5/20 μ s) 不大于 (KV)	8/20 μ s 冲击 残压不大于 (KV)
			不小于	不大于		
FCZ-110	220	126	255	290	345	365

(3) 灭弧电压校验:

最高工作允许电压: $U_m = 1.15U_N = 1.15 \times 110 = 126.5 \text{ KV}$

直接接地: $U_{mh} > C_d U_m = 0.8 \times 126.5 = 101.2 \text{ KV}$, 满足要求。

(4) 工频放电电压校验:

下限值: $U_{gfs} > k_0 U_{xg} = 3 \times \frac{126.5}{\sqrt{3}} = 219 \text{ KV}$

上限值: $U_{gfs} = 1.2 U_{gfs} = 1.2 \times 219 = 262 \text{ KV} < 290 \text{ KV}$

上、下限值均满足要求。

(5) 残压校验: $U_{bc} = k_{bh} U_{mh} = 2.35 \times \sqrt{2} \times 101.2 = 336 \text{ KV} < 365 \text{ KV}$, 满足要求。

(6) 冲击放电电压校验: $U_{chfd} = U_{bc} = 336 \text{ KV} < 345 \text{ KV}$, 满足要求。

所以, 所选 FCZ-110 型避雷器满足要求。

3、10KV 侧避雷器的选择和校验

(1) 型式选择: 根据设计规定选用 FS 系列普通阀式避雷器。

(2) 额定电压的选择: $U_N = U_{NS} = 10 \text{ KV}$

因此, 选择 FS—10 型磁吹阀式避雷器。

表 7-4 FS-10 主要技术数据

型式	额定电压(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(1.5/20 μ s)不大于(KV)	8/20 μ s 冲击残压不大于(KV)
			不小于	不大于		
FS—10	10	12.7	26	31	50	50

(3) 灭弧电压校验:

最高工作允许电压： $U_m = 1.15U_N = 1.15 \times 10 = 11.5 \text{ KV}$

直接接地： $U_{mh} > C_d U_m = 1.1 \times 11.5 = 12.65 \text{ KV}$ ，满足要求。

（4）工频放电电压校验

下限值： $U_{gfs} > k_0 U_{xg} = 3.5 \times \frac{11.5}{\sqrt{3}} = 23 \text{ KV}$

上限值： $U_{gfs} = 1.2 U_{gfh} = 1.2 \times 26 = 28 \text{ KV} < 31 \text{ KV}$

上、下限值均满足要求。

（5）残压校验： $U_{bc} = k_{bh} U_{mh} = 2.35 \times \sqrt{2} \times 12.65 = 42 \text{ KV} < 50 \text{ KV}$ ，满足要求。

（6）冲击放电电压校验： $U_{chfd} = U_{bc} = 42 \text{ KV} < 50 \text{ KV}$ ，满足要求。

故所选 FS—10 阀式避雷器合格。

7.1.3 避雷针的配置

一、避雷针的配置原则：

1. 独立式避雷针宜装设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区，其工频接地电阻 $R_e \leq 10 \Omega$ 。当有困难时，可将该接地装置与主接地网连接，但避雷针与主接地网的地下连接点沿接地线的长度不得小于 15m。

2. 独立式避雷针与变配电装置在空气中的间距 $d_1 \geq 0.2R_i + 0.1h$ ，且 $d_1 \geq 5m$ ；

独立式避雷针的接地装置与变配电所主接地网在地中距离 $d_2 \geq 0.3R_i$ ，且 $d_2 \geq 3m$ ，式中 R_i 为冲击接地电阻。

二、避雷针位置的确定：

首先应根据变电所设备平面布置图的情况而确定，避雷针的初步选定安装位置与设备的电气距离应符合各种规程规范的要求。

1、电压 110KV 及以上的配电装置，一般将避雷针装在配电装置的构架或房顶上，但在土壤电阻率大于 1000 $\Omega \cdot m$ 的地区，宜装设独立的避雷针。

2、独立避雷针（线）宜设独立的接地装置，其工频接地电阻不超过 10Ω 。

3、35KV 及以下高压配电装置架构或房顶不宜装避雷针，因其绝缘水平很低，雷击时易引起反击。

4、在变压器的门型架构上，不应装设避雷针、避雷线，因为门形架距变压器较近，装设避雷针后，构架的集中接地装置，距变压器金属外壳接地点在址中距离很难达到不小于 15m 的要求。

7.2 接地设计

随着电力事业的快速发展，电力系统中对接地装置的要求越来越严格，变电所接地系统直接关系到变电所的正常运行，更涉及到人身与设备的安全。然而由于接地网设计考虑不全面、施工不精细、测试不准确等原因，近年来，发生了多起地网引起的事故，有的不仅烧毁了一次设备，而且还通过二次控制电缆窜入主控室，造成了事故扩大，故接地网对电力系统的安全稳定运行起到非常重要的作用。

7.2.1 接地设计的原则

按接地装置内、外发生接地故障时，经接地装置流入地中的最大短路电流所造成的接地电位升高及地面的电位分布不致于危及人员和设备的安全，将变电站范围的接触电位差和跨步电位差限制在安全值之内的原则，进行本变电站接地装置的设计。

1、由于变电站各级电压母线接地故障电流越来越大，在接地设计中要满足电力行业标准 DL/T621-1997《交流电气装置的接地》中 $R \leq 2000/I$ 是非常困难的。现行标准与原接地规程有一个很明显的区别是对接地电阻值不再规定要达到 0.5Ω ，而是允许放宽到 5Ω ，但这不是说一般情况下，接地电阻都可以采用 5Ω ，接地电阻放宽是有附加条件的，即：防止转移电位引起的危害，应采取各种隔离措施；考虑短路电流非周期分量的影响，当接地网电位升高时，3-10kV 避雷器不应动作或动作后不应损坏；应采取均压措施，并验算接触电位差和跨步电位差是否满足要求，施工后还应进行测量和绘制电位分布曲线。

2、在接地故障电流较大的情况下，为了满足以上要求，还是得把接地电阻值尽量减小。接地电阻的合格值既不是 0.5Ω ，也不是 5Ω ，而应根据工程的具体条件，在满足附加条件要求的情况下，不超过 5Ω 都是合格的。

7.2.2 接地网型式选择及优劣分析

220kV 及以下变电站地网网格布置采用长孔网或方孔网，接地带布置按经验设计，水平接地带间距通常为 $5\text{m}\sim 8\text{m}$ 。除了在避雷针（线）和避雷器需加强分流处装设垂直接地极外，在地网周边和水平接地带交叉点设置 $2.5\text{m}\sim 3\text{m}$ 的垂直接地极，进所大门口设帽檐式均压带，接地网结构是水平地网与垂直接地极相结合的复合式地网。

长孔与方孔地网网格布置尺寸按经验确定，没有辅助的计算程序和对计算结果进行分析，设计简单而粗略。因为接地网边缘部分的导体散流大约是中心部分的 $3\sim 4$ 倍，因此，地网边缘部分的电场强度比中心部分高，电位梯度较大，整个地网的电位分布不均匀。接地钢材用量多，经济性差。在 220kV 及以下的变电工程中采用长孔网或方孔网，因为入地故障电流相对较小，地网面积不大，缺点不太突出。而在 500kV 变电站采用，上述缺点的表现会十分明显，建议 500kV 变电站不采用长孔或方孔地网。

第 8 章 电气总平面布置及配电装置的选择

8.1 概述

配电装置是发电厂和变电所的重要组成部分，它是根据主接线的联结方式，由开关电器、保护和测量电器，母线和必要的辅助设备组建而成，用来接受和分配电能的装置。

配电装置按电器装设地点不同，可分为屋内和屋外配电装置^[1]。

8.1.1 配电装置特点

屋内配电装置的特点：

- 1、由于允许安全净距小和可以分层布置而使占地面积较小；
- 2、维修、巡视和操作在室内进行，不受气候影响；
- 3、外界污秽空气对电器影响较小，可减少维护工作量；
- 4、房屋建筑投资较大。

屋外配电装置的特点：

- 1、土建工作量和费用较少，建设周期短；
- 2、扩建比较方便；
- 3、相邻设备之间距离大，便于带电作业；
- 4、占地面积大；
- 5、受外界环境影响，设备运行条件差，须加强绝缘；
- 6、不良气候对设备维修和操作有影响。

8.1.2 配电装置类型及应用

根据电气设备和母线布置的高度，屋外配电装置可以分为中型、半高型和高型等。

1、中型配电装置：中型配电装置的所有电器都安装在同一水平面内，并装在一定高度的基础上，使带电部分对地保持必要的高度，以便工作人员能在地面安全地活动，中型配电装置母线所在的水平面稍高于电器所在的水平面。这种布置特点是：布置比较清晰，不易误操作，运行可靠，施工和维修都比较方便，构架高度较低，抗震性能较好，所用钢材较少，造价低，但占地面积大，此种配电装置用在非高产农田地区及不占良田和土石方工程量不大的地方，并宜在地震烈度较高地区建用。这种布置是我国屋外配电装置普遍采用的一种方式，而且运行方面和安装检修方面积累了比较丰富的经验。

2、半高型配电装置：半高型配电装置是将母线置于高一层水平面上，与断路器、电流互感器、隔离开关上下重叠布置。半高型配电装置介于高型和中型之间。具有以下优点：

- 1) 占地面积约在中型布置减少 30%；
- 2) 节省了用地，减少高层检修工作量；
- 3) 旁路母线与主母线采用不等高布置实现进出线均带旁路很方便。

缺点：上层隔离开关下方未设置检修平台，检修不够方便。

3、高型配电装置，它是将母线和隔离开关上下布置，母线下面没有电气设备。该型配电装置的断路器为双列布置，两个回路合用一个间隔，因此可大大缩小占地面积，约为普通中型的 5%，但其耗钢多，安装检修及运行条件均较差，一般适用下列情况：

- 1) 配电装置设在高产农田或地少人多的地区；
- 2) 原有配电装置需要扩建，而场地受到限制；
- 3) 场地狭窄或需要大量开挖。

8.2 配电装置的确定

本变电所三个电压等级：即 220KV、110KV、10KV 根据《电力工程电气设计手册》规定，110KV 及以上多为屋外配电装置，35KV 及以下的配电装置多采用屋内配电装置，故本所 220KV 及 110KV 采用屋外配电装置，10KV 采用屋内配电



装置。

设计的变电站位于市郊区，地质条件良好，所用土地工程量不大，且不占良田，所以该变电所 220KV 及 110KV 电压等级均采用普通中型配电装置，具有运行维护、检修且造价低、抗震性能好、耗钢量少而且布置清晰，运行可靠，不易误操作，各级电业部门无论在运行维护还是安装检修，方面都积累了比较丰富的经验。

若采用半高型配电装置，虽占地面积较少，但检修不方便，操作条件差，耗钢量多。选择配电装置，首先考虑可靠性、灵活性及经济性，所以，本次设计的变电所，适用普通中型屋外配电装置，该变电所是最合适的。

屋内、屋外配电装置的安全净距。

表 8—1 屋内配电装置安全净距 (mm)

符号	适用范围	额 定 电 压 10KV
A ₁	(1) 带电部分直接接地部分之间 (2) 网状和栅状遮栏向上延伸线距地 2.3m 处，与遮栏上方带电部分之间	125
A ₂	(1) 不同相的带电部分之间 (2) 断路器和隔离开关的断口两侧带电部分之间	125
B ₁	(1) 栅状遮栏至带电部分之间 (2) 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	875
B ₂	网状遮栏至带电部分之间	225
C	无遮栏裸导体至地面之间	2425
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	1925
E	通向屋内的出线套管至屋外通道的路面	4000

表 8—2 屋外配电装置的安全净距（mm）

符号	适用范围	额定电压（KV）	
		110J	220J
A ₁	（1）带电部分直接接地部分之间	1000	1800
	（2）网状和栅状遮栏向上延伸线距地 2.5m 处，与遮栏上方带电部分之间		
A ₂	（1）不同相的带电部分之间	1100	2000
	（2）断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间		
B ₁	（1）设备运行时，其外廓至无遮栏带电部分之间 （2）交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 （3）栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间 （4）带电作业时的带电部分至接地部分之间	1750	2550
B ₂	网状遮栏至带电部分之间	110	1900
C	（1）无遮栏裸导体至地面之间	3500	4300
	（2）无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间		
D	（1）平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	3000	3800
	（2）带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间		

8.3 电气总平面布置

8.3.1 电气总平面布置的要求

- 1) 充分利用地形，方便运输、运行、监视和巡视等；
- 2) 出线布局合理、布置力求紧凑，尽量缩短设备之间的连线；

3)符合外部条件, 安全距离要符合要求。

8.3.2 电气总平面布置

本变电所主要由屋外配电装置, 主变压器、主控制室、及 10KV 屋内配电装置和辅助设施构成, 屋外配电装置在整个变电所布置中占主导地位, 占地面积大, 本所有 220KV、110KV 各电压等级集中布置, 将 220KV 配电装置布置在北侧, 110KV 配电装置布置在南侧, 这样各配电装置位置与出线方向相对应, 可以保证出线顺畅, 避免出线交叉跨越, 两台主变位于电压等级配电中间, 以便于高中低压侧引线的连接, 便于运行人员监视控制, 主控制楼布置在 10KV 屋内配电装置并排在南侧, 有利于监视 220KV 及主变。

1) 220KV 高压配电装置

220KV 同样采用屋外普通中型单列布置, 它共有 8 个间隔, 近期出线 2 个间隔, 远期没有, 两台主变进线各一个间隔, 电流互感器及避雷器占一个间隔, 母联和旁路断路器各占一个间隔, 间隔宽度为 8 米^[14]。

2) 110KV 高压配电装置

采用屋外普通中型布置、断路器单列布置, 且共有 10 个间隔, 间隔宽度为 14 米, 近期出线 5 个间隔, 两个连线间隔, 母联和旁路断路器各一个间隔, 电压互感器和避雷器共占一个间隔^[16]。

3) 10KV 高压配电装置

采用屋内配电装置, 且采用两层式。

4) 道路

因设备运输和消防的需要, 主控楼、主变 220KV、110KV 侧配电装置处铺设环形行车道路, 路宽 4 米, “丁”型、“十”字路口弧形铺设, 各配电装置主母线与旁母之间道路宽 3 米, 为方便运行人员操作巡视检修电器设备, 屋外配电装置内设 0.8~1 米环形小道, 电缆沟盖板也可作为部分巡视小道, 行车道路弧形处转弯半径不小于 7 米。

第9章 继电保护的配备

9.1 变压器继电保护配置

电力变压器是电力系统的重要电气设备之一，它的安全运行直接关系到电力系统的连续稳定运行，特别是大型电力变压器，由于其造价昂贵，结构复杂，一旦因故障而遭到损坏，其修复难度大，时间也很长，必然造成很大的经济损失。所以，本设计中主变保护配置如下^{[18][19]}：

- 1、纵联差动保护
- 2、非电量保护
- 3、过流保护

为了反应变压器外部故障而引起的变压器绕组过电流，以及在变压器内部故障时，作为差动保护和瓦斯保护的后备，所以需装设过电流保护。

- 4、过负荷保护

变压器的过负荷电流，大多数情况下都是三相对称的，因此只需装设单相式过负荷保护，过负荷保护一般经过时动作于信号，而且三绕组变压器各侧过负荷保护均经同一个时间继电器^[20]。

- 5、变压器的零序过流保护

对于大接地电流的电力变压器，一般应装设零序电流保护，用作变压器主保护的后备保护和相邻元件接地短路的后备保护，一般变电所内只有部分变压器中性点接地运行，因此，每台变压器上需要装设两套零序电流保护，一套用于中性点接地运行方式，另一套用于中性点不接地运行方式^[21]。

9.2 母线保护

母线配置的保护有：母线差动保护。

第 10 章 结束语

经过三个多月的时间，我顺利的完成了这次毕业设计。从总体上来说，我对自己的成果还是比较满意的，也基本上达到了老师的要求。这段时间我翻阅了许多的书籍，从对变电站的生疏，到了解，再到深入研究，第一次完成了一件实际应用的设计。不过由于本人经历、阅历、实际操作能力有限。难免存在一些不近人意的地方，请各位老师指点。

通过本次设计，不仅丰富了我的专业知识，还让我深深体会到了认识事物的过程。从拿到题目，再查阅资料，对题目进行设计、论证、修改到设计的完成。体现了理论联系实际的重要性。更重要的是这次设计让我学会了让自己独立完成一件事情，为将来参加工作做好基础。当然这次设计从开始到结束都离不开吴老师的帮助，在此表示谢意。

zhulong.com



致谢

本设计的顺利完成，自己付出了许多劳动，但与吴浩老师的细心指教是分不开的。在过程中体现出吴浩老师的渊博专业知识，更体现出了吴老师的宽厚待人的品质。我在设计过程中不但学会了勤奋求实的工作精神，更懂得了待人的品质。这一切将在我以后的工作生涯中起着重要的作用。借此机会，向帮助过我的老师，特别是老师表示衷心的感谢！

在过程中，我还要特别感谢给予我帮助的同学、朋友们，是在他们的鼓励、支持下我才会有今天的成绩。

 www.zhulong.com

zhulong.com



参考文献

- [1] 熊信银. 发电厂电气部分[M]. 中国电力出版社, 2004
- [2] 宋继成. 220—500KV 变电所二次接线. 中国电力出版社, 1996
- [3] 刘笙. 电气工程基础[M]. 科学出版社, 2002
- [4] 水利电力部西北电力设计院. 电气工程设计手册电气一次部分[M]. 中国电力出版社, 1989
- [5] 电力工业部西北电力设计院. 电气工程设计手册电气一次部分[M]. 中国电力出版社, 1998
- [6] 文锋. 现代发电厂概论[M]. 中国电力出版社, 1999
- [7] 黄益庄. 变电站综合自动化技术[M]. 中国电力出版社, 2001
- [8] 丁德劭. 怎样对新技术标准电气一次接线图[M]. 中国水利水电出版社, 2001
- [9] Network communications Fechonlogy Ata Elahi[M]. 科学出版社, 2002
- [10] 弋东方. 电气设计手册电气一次部分[M]. 中国电力出版社, 2002
- [11] 孟祥萍. 电力系统分析[M]. 高等教育出版社, 2004
- [12] 刘吉来, 黄瑞梅. 高电压技术[M]. 中国水利水电出版社, 2004
- [13] 陈庆红. 变电运行[M]. 中国电力出版社, 2005
- [14] Kuffel E. et al. Hing-voltage Eundemnetals[M] new York, pergamon press, 1984
- [15] 陈生贵. 电力系统继电保护[M]. 重庆大学出版社, 2003
- [16] Naildu MS. et al. Hing-voltage Engineering[M]. New Delhi Tata McGraw-Hill, Publ., 1982
- [17] 何仰赞. 电力系统分析[M]. 华中科技大学出版社, 2002
- [18] 李华. 微机型继电保护装置软硬件技术探讨[M]. 中国电力出版社, 2001
- [19] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 中国水利水电出版社, 2000
- [20] 华中工学院. 电力系统继电保护原理与运行[M]. 中国水利电力出版社, 1999
- [21] 杨新民. 电力系统继电保护培训教材[M]. 中国电力出版社, 2000

附 录

1. 主要设备选择汇总表如附表 1-1 所示：

主要设备清单表

220KV 侧		
序 号	设 备	型 号
1	断路器	SW6—220/1200
2	隔离开关	GW4—220D/1000—80
3	电流互感器	LCW—220（4×300/5）
4	电压互感器	JCC ₂ —220
5	避雷器	FZ—220J
110KV 侧		
6	断路器	SW4—110/1000
7	隔离开关	GW4—110D/10000—80
8	电流互感器	LCWDL—110/（2×600/5）
9	电压互感器	JCC—110
10	避雷器	FZ—110J
10KV 侧		
11	断路器	SN10—10G/5000
12	隔离开关	GN10—10T/5000
13	电流互感器	LMZD—10（11000/5）
14	电压互感器	JDJ—10
15	避雷器	FZ—10
16	限流电抗器	XKK—10—4000—12
变压器		
17	主变压器	SFPS7—180000/220
18	所用变压器	S9—250/10

2. 电气主接线图、断面配置图、平面配置图（另附）。