

内容提要

根据设计任务书的要求,本次设计为 110kV 变电站电气一次部分初步设计,并绘制电气主接线图及其他图纸。该变电站设有两台主变压器,站内主接线分为 110kV、35kV 和 10kV 三个电压等级。各个电压等级分别采用单母线分段接线、单母线分段带旁母接线和单母线分段接线。

本次设计中进行了电气主接线的设计、短路电流计算、主要电气设备选择及校验(包括断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、母线等)各电压等级配电装置设计、直流系统设计以及防雷保护的配置。

本设计以《35~110kV 变电所设计规范》、《供配电系统设计规范》、《35~110kV 高压配电装置设计规范》等规范规程为依据,设计的内容符合国家有关经济技术政策,所选设备全部为国家推荐的新型产品,技术先进、运行可靠、经济合理。

SUMMARY

From the guide of engineering design assignment, we have to design primary power-system of 110kV substation and draw main electrical one-line diagram and others. There are two main transformer in the substation in which main electrical connection can be divided into three voltage grades: 110kV, 35kV with 10kV. It deposits sectionalized single bus bar scheme, sectionalized single and transfer bus bar and sectionalized single bus bar scheme per grade.

There is also a design for main electrical connection in this engineering, the calculation for short-circuit electric current,

the selection of electrical device and calibration (including circuit breaker, isolator, current transformer, potential transformer ,bus bar etc.) and the design for distribution installation per. voltage grade, direct current system and lightning protection is also included.

目 录

前言	1
第一部分 110kV 变电站电气一次部分设计说明书	
第 1 章 原始资料	3
第 2 章 电气主接线设计	5
第 2.1 节 主接线的设计原则和要求.....	5
第 2.2 节 主接线的设计步骤.....	8
第 2.3 节 本变电站电气主接线设计.....	9
第 3 章 变压器选择.....	13
第 3.1 节 主变压器选择	13
第 3.2 节 站用变压器选择	13
第 4 章 短路电流计算.....	15
第 4.1 节 短路电流计算的目的	15
第 4.2 节 短路电流计算的一般规定	15
第 4.3 节 短路电流计算的步骤	16
第 4.4 节 短路电流计算结果	18
第 5 章 直流系统设计.....	20
第 5.1 节 直流系统概述	20
第 5.2 节 直流系统的电压等级	21
第 5.3 节 直流系统的接线方式	21
第 5.4 节 本变电站直流系统设计	22

第 6 章 高压电器设备选择.....	23
第 6.1 节 电器选择的一般条件	23
第 6.2 节 高压断路器的选择	25
第 6.3 节 隔离开关的选择	27
第 6.4 节 电流互感器的选择	28
第 6.5 节 电压互感器的选择	28
第 6.6 节 高压熔断器的选择	28
第 7 章 配电装置设计.....	29
第 8 章 防雷保护设计.....	30
第二部分 110kV 变电站电气一次部分设计计算书	
第 1 章 负荷计算.....	33
第 1.1 节 主变压器负荷计算	33
第 1.2 节 站用变压器负荷计算	34
第 2 章 短路电流计算.....	36
第 2.1 节 三相短路电流计算	36
第 2.2 节 站用变压器低压侧短路电流计算	43
第 3 章 线路及变压器最大长期工作电流计算.....	44
第 3.1 节 线路最大长期工作电流计算	44
第 3.2 节 主变进线最大长期工作电流计算	45
第 4 章 电气设备选择及校验计算.....	46
第 4.1 节 高压断路器选择及校验	46
第 4.2 节 隔离开关选择及校验	48

第 4.3 节 电流互感器选择及校验	49
第 4.4 节 电压互感器选择及校验	49
第 4.5 节 熔断器选择及校验	51
第 4.6 节 母线选择及校验	52
第 5 章 防雷保护计算.....	55
第三部分 110kV 变电站电气一次部分设计图纸	
电气主接图.....	57
电气总平面布置图.....	58
110kV 进线间隔断面图.....	59
110kV 主变、PT 间隔断面图.....	60
35kV 进线间隔断面图	61
35 kV 主变间隔断面图.....	62
站用电系统图.....	63
直流屏正面布置图.....	64
直流系统接线图.....	65
直击雷防护图.....	66
总结.....	67
参考文献.....	68
致谢.....	69

前 言

变电站是电力系统的重要组成部分，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，直接影响整个电力系统的安全与经济运行。电气主接线是变电站设计的首要任务，也是构成电力系统的重要环节。电气主接线的拟订直接关系到全站电气设备的选择、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。

本次设计为 110kV 变电站电气一次部分初步设计，分为设计说明书、设计计算书、设计图纸等三部分。所设计的内容力求概念清楚，层次分明。本文是在***学电气信息工程学院***教授的精心指导下完成的。*老师治学严谨、知识广博、善于捕捉新事物、新的研究方向。在毕业设计期间*老师在设计的选题和设计思路给了我很多的指导和帮助。*老师循循善诱的教学方法、热情待人的处事方式、一丝不苟的治学态度、对学生严格要求的敬业精神给我留下了很深的印象。在此，我对恩师表示最崇高的敬意和最诚挚的感谢！

本文从主接线、短路电流计算、主要电气设备选择等几方面对变电站设计进行了阐述，并绘制了电气主接线图、电气总平面布置图、站用电系统图、防雷保护配置图、各级电压配电装置断面图、直流系统图等相关设计图纸。由于本人水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请各位老师批评指正。

第一部分

110kV 变电站电气一次部分

设计说明书

设计：***

指导教师：***

第 1 章 原始资料

1.1 地区电网的特点

(1) 本地区即使在最枯的月份, 水电站发电保证出力时亦能满足地区负荷的需要, 加上小火电, 基本不需要外系统支援。

(2) 本系统的水电大多数是径流式电站, 除发保证出力外的月份, 均有电力剩余, 特别是 4 至 7 月份。

1.2 建站规模

(1) 变电站类型: 110kV 变电工程

(2) 主变台数: 最终两台 (要求第一期工程全部投入)

(3) 电压等级: 110kV、35kV、10kV

(4) 出线回数及传输容量

①110kV 出线 6 回

本变—长泥坡	15000kW	6km	LGJ—120
本变—双溪变	15000kW	42.3 km	LGJ—120
本变—系统	30000kW	72km	LGJ—150
本变—芷江	8000kW	36km	LGJ—120
备用两回			

②35kV 出线 8 回

本变—长泥坡	8000kW	6km	LGJ—95
本变—火电厂	10000kW	8km	LGJ—95
本变—中方变	5000kW	15km	LGJ—95
本变—水电站	10000kW	12km	LGJ—120 (两回)
本变—鸭嘴岩变	5000kW	10km	LGJ—95
备用两回			

③10kV 出线 10 回

本变—氮肥厂	2500kW	2km	
本变—化工厂	1500kW	3km	
本变—医院	1500kW	5km (两回)	

本变—印刷厂	2000kW	4km
本变—造纸厂	2500kW	6km
本变—机械厂	2500kW	4km
备用三回		

(5) 无功补偿

采用电力电容两组，容量为 $2 \times 4500\text{kva}$

1.3 环境条件

- (1) 当地年最高温度为 40°C ，年最低温度为 -5°C ；
- (2) 当海拔高度为 800 米；
- (3) 当地雷暴日数为 55 日/年；
- (4) 本变电站处于“薄土层石灰岩”地区，土壤电阻率高达 $1000 \Omega \cdot \text{M}$ 。

1.4 电气主接线

建议 110kV、35kV、10kV 均采用单母线分段带旁路接线，并考虑设置熔冰措施。

1.5 短路阻抗

(1) 系统作无穷大电源考虑： $X_{1\Sigma\text{max}}=0.05$ ， $X_{0\Sigma\text{max}}=0.04$ ， $X_{1\Sigma\text{min}}=0.1$ ， $X_{0\Sigma\text{min}}=0.05$ 。

(2) 火电厂装机容量为 $3 \times 7500\text{kW}$ ， $X''_d=0.125$ ，最大运行方式下，该火电厂只投入二台机组，最小运行方式下，该火电厂三台机组全部投入，并满发。

(3) 水电厂装机容量为 $3 \times 5000\text{kW}$ ， $X''_d=0.27$ ，最大运行方式下，该水电厂三台机组全部投入运行，并满发，最小运行方式下，该水电厂只投入一台机组。

第 2 章 电气主接线设计

电力系统是由发电厂、变电站、线路和用户组成。变电站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。为满足生产需要，变电站中安装有各种电气设备，并依照相应的技术要求连接起来。把变压器、断路器等按预期生产流程连成的电路，称为电气主接线。电气主接线是由高压电器通过连接线，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，故又称为一次接线或电气主系统。用规定的设备文字和图形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，称为主接线电路图。

第 2.1 节 主接线的设计原则和要求

主接线代表了变电站电气部分主体结构，是电力系统接线的主要组成部分，是变电站电气设计的首要部分。它表明了变压器、线路和断路器等电气设备的数量和连接方式及可能的运行方式，从而完成变电、输配电的任务。它的设计，直接关系着全所电气设备的选择、配电装置的布置、继电保护和自动装置的确定，关系着电力系统的安全、稳定、灵活和经济运行。由于电能生产的特点是发电、变电、输电和用电是在同一时刻完成的，所以主接线设计的好坏，也影响到工农业生产和人民生活。因此，主接线的设计是一个综合性的问题。必须在满足国家有关技术经济政策的前提下，正确处理各方面关系，全面分析有关影响因素，力争使其技术先进、经济合理、安全可靠。

2.1.1 电气主接线的设计原则

电气主接线的基本原则是以设计任务书为依据，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、适用、经济、美观的原则。

(1) 接线方式：对于变电站的电气接线，当能满足运行要求时，其高压侧应尽可能采用断路器较少或不用断路器的接线，如线路—变压器组或桥形接线等。若能满足继电保护要求时，也可采用线路分支接线。在 110kV~220kV 配电装置中，当出线为

2 回时，一般采用桥形接线；当出线不超过 4 回时，一般采用分段单母线接线。在枢纽变电站中，当 110~220kV 出线在 4 回及以上时，一般采用双母接线。

在大容量变电站中，为了限制 6~10kV 出线上的短路电流，一般可采用下列措施：

- ①变压器分列运行；
- ②在变压器回路中装置分裂电抗器或电抗器；
- ③采用低压侧为分裂绕组的变压器。
- ④出线上装设电抗器。

(2) 主变压器选择

①主变压器台数：为保证供电可靠性，变电站一般装设两台主变压器。当只有一个电源或变电站可由低压侧电网取得备用电源给重要负荷供电时，可装设一台。对于大型枢纽变电站，根据工程具体情况，当技术经济比较合理时，可装设两台以上主变压器。

②主变压器容量：主变压器容量应根据 5~10 年的发展规划进行选择，并应考虑变压器正常运行和事故时的过负荷能力。对装设两台变压器的变电站，每台变压器额定容量一般按下式选择

$$S_n = 0.6P_M$$

P_M 为变电站最大负荷。这样，当一台变压器停用时，可保证对 60% 负荷的供电，考虑变压器事故过负荷能力 40%，则可保证对 84% 负荷的供电。由于一般电网变电站大约有 25% 的非重要负荷，因此，采用 $S_n = 0.6P_M$ ，对变电站保证重要负荷来说多数是可行的。对于一、二级负荷比重大的变电站，应能在一台停用时，仍能保证对一、二级负荷的供电。

③主变压器的型式：一般情况下采用三相式变压器。具有三种电压的变电站，如通过主变压器各侧绕组的功率均达到 15% S_n 以上时，可采用三绕组变压器。其中，当主网电压为 110~220kV，而中压网络为 35kV 时，由于中性点具有不同的接地形式，应采用普通的三绕组变压器；当主网电压为 220kV 及以上，中压为 110kV 及以上时，多采用自耦变压器，以得到较大的经济效益。

(3) 断路器的设置

根据电气接线方式，每回线路均应设有相应数量的断路器，用以完成切、合电路任务。

(4) 为正确选择接线和设备, 必须进行逐年各级电压最大最小有功和无功电力负荷的平衡。当缺乏足够的资料时, 可采用下列数据:

- ①最小负荷为最大负荷的 60~70%, 如主要是农业负荷时则宜取 20~30%;
- ②负荷同时率取 0.85~0.9, 当馈线在三回以下且其中有特大负荷时, 可取 0.95~1;
- ③功率因数一般取 0.8;
- ④线损平均取 5%。

2.1.2 设计主接线的基本要求

在设计电气主接线时, 应使其满足供电可靠, 运行灵活和经济等项基本要求。

(1) 可靠性: 供电可靠是电力生产和分配的首要要求, 电气主接线也必须满足这个要求。在研究主接线时, 应全面地看待以下几个问题:

①可靠性的客观衡量标准是运行实践, 估价一个主接线的可靠性时, 应充分考虑长期积累的运行经验。我国现行设计技术规程中的各项规定, 就是对运行实践经验的总结。设计时应予遵循。

②主接线的可靠性, 是由其各组成元件(包括一次设备和二次设备)的可靠性的综合。因此主接线设计, 要同时考虑一次设备和二次设备的故障率及其对供电的影响。

③可靠性并不是绝对的, 同样的主接线对某所是可靠的, 而对另一些所则可能还不够可靠。因此, 评价可靠性时, 不能脱离变电站在系统中的地位和作用。

通常定性分析和衡量主接线可靠性时, 均从以下几方面考虑:

- ①断路器检修时, 能否不影响供电。
- ②线路、断路器或母线故障时, 以及母线检修时, 停运出线回路数的多少和停电时间的长短, 以及能否保证对重要用户的供电。
- ③变电站全部停运的可能性。

(2) 灵活性: 主接线的灵活性要求有以下几方面。

①调度灵活, 操作简便: 应能灵活的投入(或切除)某些变压器或线路, 调配电源和负荷, 能满足系统在事故、检修及特殊运行方式下的调度要求。

②检修安全: 应能方便的停运断路器、母线及其继电保护设备, 进行安全检修而不影响电力网的正常运行及对用户的供电。

③扩建方便: 应能容易的从初期过渡到最终接线, 使在扩建过渡时, 在不影响连续供电或停电时间最短的情况下, 投入新装变压器或线路而不互相干扰, 且一次和二

次设备等所需的改造最少。

(3)经济性：在满足技术要求的前提下，做到经济合理。

①投资省：主接线应简单清晰，以节约断路器、隔离开关等一次设备投资；要使控制、保护方式不过于复杂，以利于运行并节约二次设备和电缆投资；要适当限制短路电流，以选择价格合理的电器设备；在终端或分支变电站中，应推广采用直降式（110/6~10kV）变压器，以质量可靠的简易电器代替高压断路器。

②占地面积小：电气主接线设计要为配电装置的布置创造条件，以便节约用地和节省构架、导线、绝缘子及安装费用。在运输条件许可的地方，都应采用三相变压器。

③电能损耗少：在变电站中，正常运行时，电能损耗主要来自变压器。应经济合理的选择主变压器的型式、容量和台数，尽量避免两次变压而增加电能损耗。

第 2.2 节 主接线的设计步骤

电气主接线的具体设计步骤如下：

(1)分析原始资料

①本工程情况 变电站类型，设计规划容量（近期，远景），主变台数及容量等。

②电力系统情况 电力系统近期及远景发展规划（5~10年），变电站在电力系统中的位置和作用，本期工程和远景与电力系统连接方式以及各级电压中性点接地方式等。

③负荷情况 负荷的性质及其地理位置、输电电压等级、出线回路数及输送容量等。

④环境条件 当地的气温、湿度、覆冰、污秽、风向、水文、地质、海拔高度等因素，对主接线中电器的选择和配电装置的实施均有影响。

⑤设备制造情况 为使所设计的主接线具有可行性，必须对各主要电器的性能、制造能力和供货情况、价格等资料汇集并分析比较，保证设计的先进性、经济性和可行性。

(2)拟定主接线方案

根据设计任务书的要求，在原始资料分析的基础上，可拟定出若干个主接线方案。因为对出线回路数、电压等级、变压器台数、容量以及母线结构等考虑不同，会出现多种接线方案。应依据对主接线的基本要求，结合最新技术，确定最优的技术合理、

经济可行的主接线方案。

(3) 短路电流计算

对拟定的主接线，为了选择合理的电器，需进行短路电流计算。

(4) 主要电器选择

包括高压断路器、隔离开关、母线等电器的选择。

(5) 绘制电气主接线图

将最终确定的主接线，按工程要求，绘制工程图。

第 2.3 节 本变电站电气主接线设计

2.3.1 110kV 电压侧接线

《35~110kV 变电所设计规范》规定，35~110kV 线路为两回及以下时，宜采用桥形、线路变压器组或线路分支接线。超过两回时，宜采用扩大桥形、单母线或分段单母线的接线。35~63kV 线路为 8 回及以上时，亦可采用双母线接线。110kV 线路为 6 回其以上时，宜采用双母线接线。

在采用单母线、分段单母线或双母线的 35~110kV 主接线中，当不允许停电检修断路器时，可设置旁路设施。

本变电站 110kV 线路有 6 回，可选择双母线接线或单母线分段接线两种方案，如图 2.1 所示。方案一供电可靠、运行方式灵活，但是倒闸操作复杂，容易误操作，占

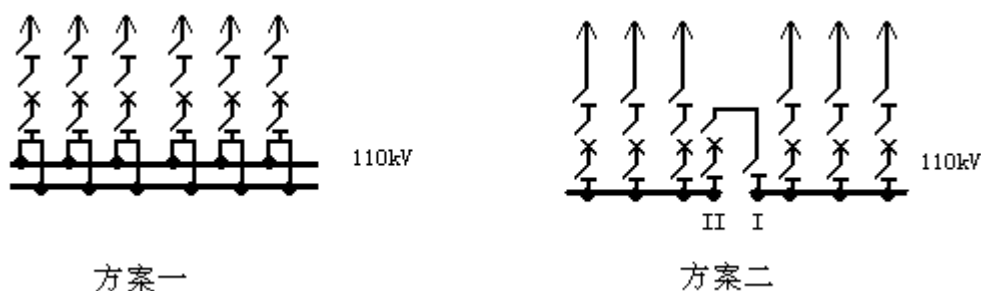


图 2.1 110kV 电压侧接线方案

地面积大，设备多，投资大。方案二简单清晰，操作方便，不易误操作，设备少，投资小，占地面积小，但是运行可靠性和灵活性比方案一稍差。本变电站为地区性变电站，电网特点是水电站发电保证出力时能满足地区负荷的需要，加上小火电，基本不

需要外系统支援，电源主要集中在 35kV 侧，110kV 侧是为提高经济效益及系统稳定性而倒有一回线路与华中大电网联系，采用方案二能够满足本变电站 110kV 侧对供电可靠性的要求，故选用投资小、节省占地面积的方案一。

设置旁路设施的目的是为了减少在断路器检修时对用户供电的影响。装设 SF₆ 断路器时，因断路器检修周期可长达 5~10 年甚至 20 年，可以不设旁路设施。本变电站 110kV 侧采用 SF₆ 断路器，不设旁路母线。

2.3.2 35kV 电压侧接线

本变电站 35kV 线路有 8 回，可选择双母线接线或单母线分段带旁路母线接线两种方案，根据本地区电网特点，本变电站电源主要集中在 35kV 侧，不允许停电检修断路器，需设置旁路设施，如图 2.2 所示。方案一供电可靠、调度灵活，但是倒闸操作复杂，容易误操作，占地面积大，设备多，配电装置复杂，投资大。方案二简单清晰，操作方便，不易误操作，设备少，投资小，占地面积小，旁路断路器可以代替出线断路器，进行不停电检修出线断路器，保证重要回路特别是电源回路不停电。方案二具有良好的经济性，供电可靠性也能满足要求，故 35kV 侧接线采用方案二。

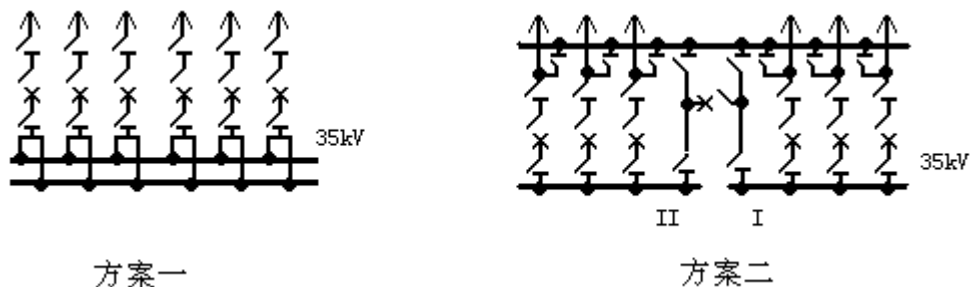


图 2.2 35KV 电压侧接线方案

2.3.3 10kV 电压侧接线

《35~110kV 变电所设计规范》规定，当变电所装有两台主变压器时，6~10kV 侧宜采用分段单母线。线路为 12 回及以上时，亦可采用双母线。当不允许停电检修断路器时，可设置旁路设施。

本变电站 10kV 侧线路为 10 回，可采用双母线接线或手车式高压开关柜单母线分段接线两种方案，如图 2.3 所示。方案一一般用于出线较多，输送和穿越功率较大，供电可靠性和灵活性要求较高的场合，设备多，投资和占地面积大，配电装置复杂，

易误操作。方案二简单清晰，调度灵活，不会造成全站停电，能保证对重要用户的供电，设备少，投资和占地小。手车式断路器的出现和运行成功，断路器检修问题可不用复杂的旁路设施来解决，而用备用的手车断路器来替代需要检修的工作的手车断路器。采用手车式高压开关柜，可不设置旁路设施。

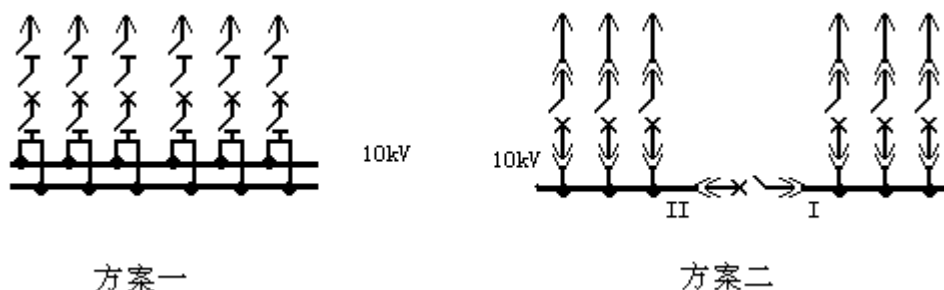


图 2.3 10kV 电压侧接线方案

综上所述，本变电站主接线如图 2.4 所示。

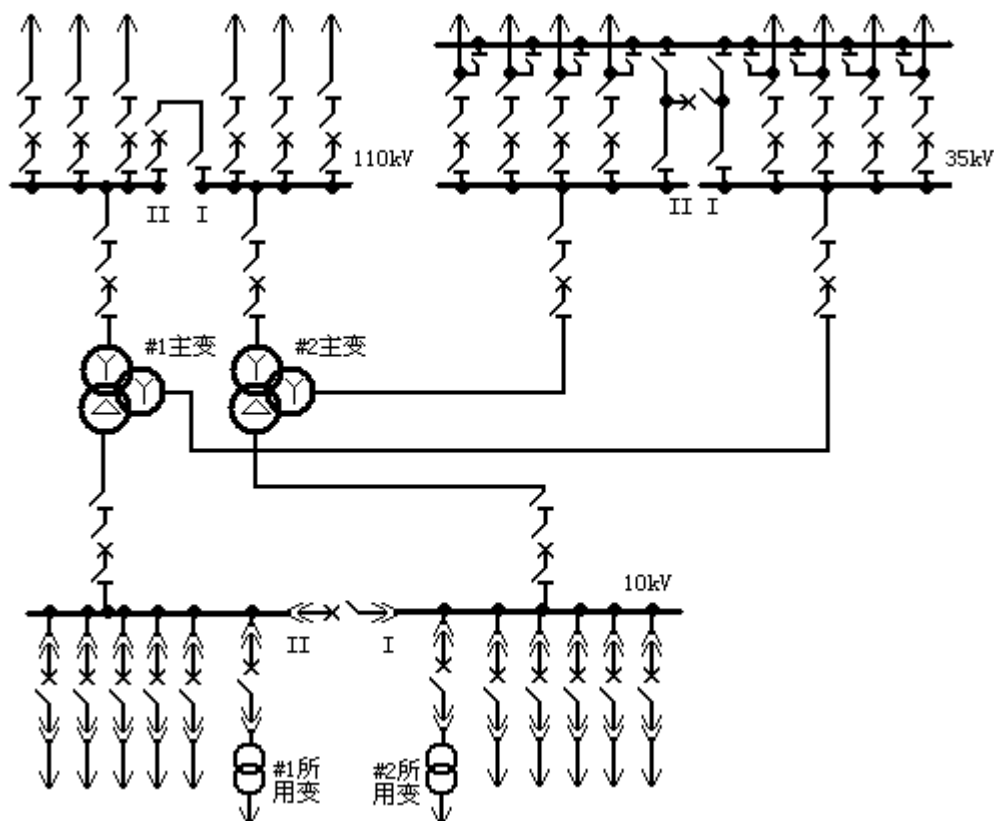


图 2.4 电气主接线简图

变电站低压侧未采用限流措施，待计算短路电流之后，再采用相应的限流措施。最简单的限制短路电流的方法是使变压器低压侧分列运行。变压器低压侧分列运行，

限流效果显著，是目前广泛采用的限流措施。在变压器回路中装设电抗器或分裂电抗器用的很少，母线电抗器体积大、价格高且限流效果较小，出线上装电抗器，投资最贵，且需造两层配电装置室，在变电站中应尽量少用。

2.3.4 站用变压器低压侧接线

站用电系统采用 380/220V 中性点直接接地的三相四线制，动力与照明合用一个电源，站用变压器低压侧接线采用单母线分段接线方式，平时分裂运行，以限制故障范围，提高供电可靠性。380V 站用电母线可采用低压断路器（即自动空气开关）或闸刀进行分段，并以低压成套配电装置供电。站用变压器低压侧接线如图 2.5 所示。

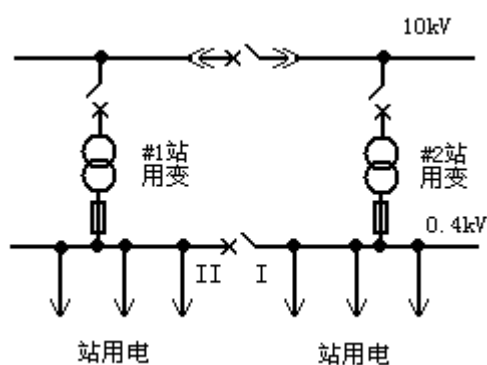


图 2.5 站用变压器低压侧接线

第 3 章 变压器选择

第 3.1 节 主变压器选择

在变电站中，用来向电力系统或用户输送功率的变压器，称为主变压器。

《35~110kV 变电所设计规范》规定，主变压器的台数和容量，应根据地区供电条件、负荷性质、用电容量和运行方式等条件综合考虑确定。

在有一、二级负荷的变电所中宜装设两台主变压器，当技术经济比较合理时，可装设两台以上主变压器。

装有两台及以上主变压器的变电所，当断开一台时，其余主变压器的容量不应小于 60% 的全部负荷，并应保证用户的一、二级负荷。

具有三种电压的变电所，如通过主变压器各侧线圈的功率均达到该变压器容量的 15% 以上，主变压器宜采用三线圈变压器。

主变压器台数和容量直接影响主接线的形式和配电装置的结构。

由负荷计算（设计计算书第 1 章）可知，本变电站远景负荷为 $P_M=32.95\text{MVA}$ ，装设两台主变压器，每台变压器额定容量按下式选择

$$S_N = 0.6P_M = 0.6 \times 32.95 = 19.77\text{MVA}$$

故可选择两台型号为 SSZ9—20000/110 的变压器。

$$\frac{20000}{46700} \times 100\% = 61.0\%$$

当一台主变停运时，即使不考虑变压器事故过负荷能力，也能保证对 61.0% 的负荷供电。

主变压器参数如表 3.1 所示。

表 3.1 主变压器技术参数

型号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)			空载 电流 (%)	空载 损耗 (kW)	负载损耗 (kW)			阻抗电压 (%)			连接组标号
		高压	中压	低压			高- 中	高- 低	中- 低	高 - 中	高 - 低	中- 低	
SSZ9-20000/110	20000	110	38.5	10.5	0.5	25.2	105	112	85	10.5	17.5	6.5	YN, yn0, d11

第 3.2 节 站用变压器选择

《35~110kV 变电所设计规范》规定，在有两台及以上主变压器的变电站中，宜装设两台容量相同可互为备用的站用变压器，分别接到母线的不同分段上。

变电站的站用负荷，一般都比较小，其可靠性要求也不如发电厂那样高。变电站的主要负荷是变压器冷却装置、直流系统中的充电装置和硅整流设备、油处理设备、检修工具以及采暖、通风、照明、供水等。这些负荷容量都不太大，因此变电站的站用电压只需 0.4kV 一级，采用动力与照明混合供电方式。380V 站用电母线可采用低压断路器（即自动空气开关）或闸刀进行分段，并以低压成套配电装置供电。

本变电站计算站用容量为 100kVA（设计计算书第 1 章），选用两台型号为 S9—100/10 的变压器，互为暗备用。10kV 级 S9 系列三相油浸自冷式铜线变压器，是全国统一设计的新产品，是我国国内技术经济指标比较先进的铜线系列配电变压器。

站用变压器参数如表 3.2 所示。

表 3.2 站用变压器技术参数

型号	额定容量(kVA)	额定电压(kV)		空载电流(%)	损耗(W)		阻抗电压(%)	连接组标号
		高压	低压		空载	短路		
S9-100/10	100	10	0.4	1.6	290	1500	4	Y, yn0

第 4 章 短路电流计算

第 4.1 节 短路电流计算的目的

在发电厂和变电站的电气设计中，短路电流计算是其中的一个重要环节。短路电流计算的目的主要有以下几方面：

(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取限制短路电流的措施等，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情况下都能安全、可靠地工作，同时又力求节约资金，这就需要进行全面的短路电流计算。例如：计算某一时刻的短路电流有效值，用以校验开关设备的开断能力和确定电抗器的电抗值；计算短路后较长时间短路电流有效值，用以校验设备的热稳定；计算短路电流冲击值，用以校验设备动稳定。

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

(4) 在选择继电保护方式和进行整定计算时，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。

第 4.2 节 短路电流计算的一般规定

验算导体和电器时所用的短路电流，一般有以下规定：

(1) 计算的基本情况

- ① 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行；
- ② 同步电机都具有自动调整励磁装置(包括强行励磁)；
- ③ 短路发生在短路电流为最大值的瞬间；
- ④ 所有电源的电动势相位角相同；
- ⑤ 正常工作时，三相系统对称运行；
- ⑥ 应考虑对短路电流值有影响的所有元件，但不考虑短路点的电弧电阻。对异步电动机的作用，仅在确定短路电流冲击值和最大全电流有效值时才予以考虑。

(2) 接线方式

计算短路电流时所用的接线方式，应是可能发生最大短路电流的正常接线方式（即最大运行方式），而不能用仅在切换过程中可能并列运行的接线方式。

(3) 计算容量

应按本工程设计规划容量计算，并考虑电力系统的远景发展规划（一般考虑本工程建成后 5~10 年）。

(4) 短路种类

一般按三相短路计算。若发电机出口的两相短路，或中性点直接接地系统以及自耦变压器等回路中的单相（或两相）接地短路较三相短路情况严重时，则应按严重情况进行校验。

(5) 短路计算点

在正常接线方式时，通过电器设备的短路电流为最大的地点，称为短路计算点。对于带电抗器的 6~10kV 出线与厂用分支回路，在选择母线至母线隔离开关之间的引线、套管时，短路计算点应该取在电抗器前。选择其余的导体和电器时，短路计算点一般取在电抗器后。

第 4.3 节 短路电流计算的步骤

在工程设计中，短路电流的计算通常采用实用计算曲线法。其具体计算步骤如下：

(1) 绘制等值网络。

①选取基准功率 S_B 和基准电压 $V_B = V_{av}$ ；

②发电机电抗用 x''_d ，略去网络各元件的电阻、输电线路的电感和变压器的励磁支路；

③无限大功率电源的内电抗等于零；

④略去负荷。

(2) 进行网络变换。

按网络变换的原则，将网络中的电源合并成若干组，例如，共有 g 组，每组用一个等值发电机代表。无限大功率电源（如果有的话）另成一组。求出各等值发电机对

短路点的转移电抗 x_{f_i} ($i = 1, 2, \dots, g$) 以及无限大功率电源对短路点的转移电抗 x_{f_s} 。

(3) 将前面求出的转移电抗按各相应的等值发电机的容量进行归算, 便得到各等值发电机对短路点的计算电抗。

$$x_{js-i} = x_{f_i} \frac{S_{Ni}}{S_B} (i = 1, 2, \dots, g)$$

式中, S_{Ni} 为第 i 台等值发电机的额定容量, 即由它所代表的那部分发电机的额定容量之和。

(4) 由 $x_{js1}, x_{js2}, \dots, x_{jsg}$ 分别根据适当的计算曲线找出指定时刻 t 各等值发电机提供的短路周期电流标么值 $I_{pt1*}, I_{pt2*}, \dots, I_{ptg*}$ 。

(5) 网络中无限大功率电源供给的短路电流周期是不衰减的, 并由下式确定

$$I_{ps*} = \frac{1}{x_{f_s}}$$

(6) 计算短路电流周期分量的有名值。

第 i 台等值发电机提供的短路电流为

$$I_{pt-i} = I_{pt-i*} I_{Ni} = I_{pt-i*} \frac{S_{Ni}}{\sqrt{3}V_{av}}$$

无限大功率电源提供的短路电流为

$$I_{ps} = I_{ps*} I_B = I_{ps*} \frac{S_B}{\sqrt{3}V_{av}}$$

短路点周期电流的有名值为

$$I_{pt} = \sum_{i=1}^g I_{pt-i*} \frac{S_{Ni}}{\sqrt{3}V_{av}} + I_{ps*} \frac{S_B}{\sqrt{3}V_{av}}$$

式中, V_{av} 应取短路处电压级的平均额定电压; I_{Ni} 为归算到短路处电压级的第 i 台等值发电机的额定电流; I_B 为对应于所选基准功率 S_B 在短路处电压级的基准电流。

(7) 计算短路容量和短路电流冲击值。

(8) 绘制短路电流计算结果表。

第 4.4 节 短路电流计算结果

本变电站短路电流计算结果如下（计算过程见设计计算书第 3 章）：

三相短路电流计算电路图及其等值网络如图 4.1 所示。

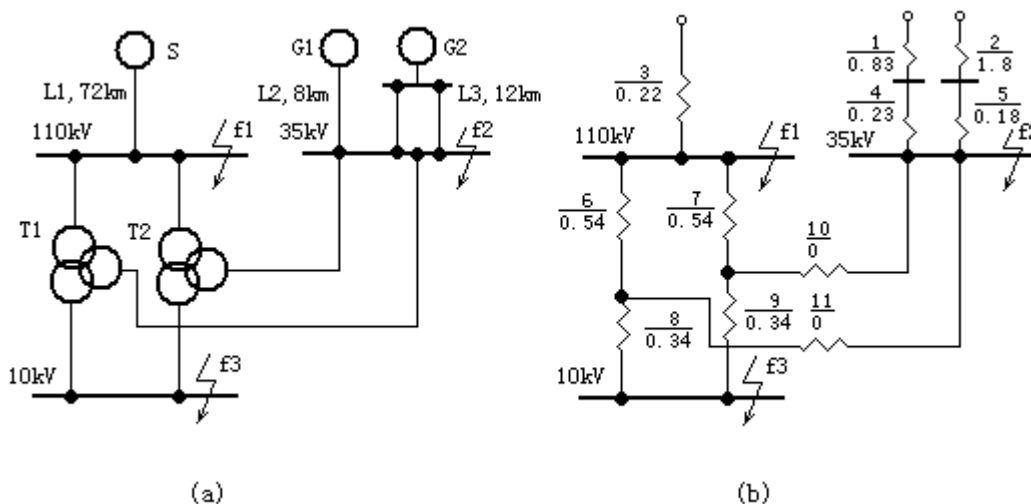


图 4.1 计算电路图及其等值网络

当短路发生在 f_3 点时，分变压器低压侧并列运行和变压器低压侧分列运行两种情况进行计算，变压器低压侧分列运行三相短路电流计算电路图及其等值网络如图 4.2 所示

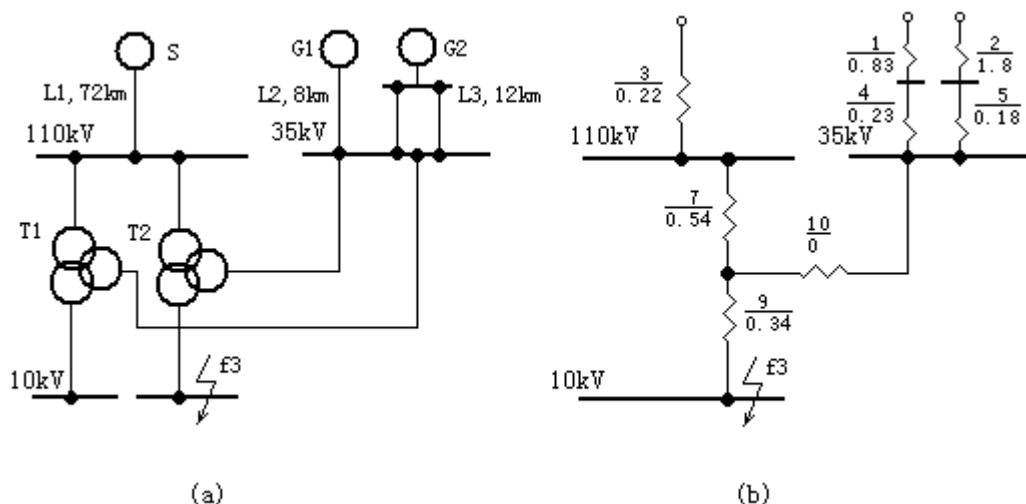


图 4.2 变压器低压侧分列运行计算电路图及其等值网络

三相短路电流计算结果见表 4.1。

表 4.1 短路电流计算结果

短路点编号	短路类型	0s 短路电流周期分量有名值 $I''(kA)$	2s 短路电流有名值 $I_2(kA)$	4s 短路电流有名值 $I_4(kA)$	短路电流冲击值 $i_{sh}(kA)$	短路全电流最大值 $I_{sh}(kA)$	短路容量 $S''(MVA)$
f_1	三相短路	2.72	2.54	2.54	6.93	4.13	518.21
f_2	三相短路	5.63	4.50	4.46	14.36	8.55	341.29
f_3	三相短路	12.0	10.5	9.79	24.96	14.88	207.84
f_3'	三相短路	7.77	7.03	7.19	19.81	11.81	134.58

注： f_3 ——主变低压侧并列运行；

f_3' ——主变低压侧分列运行。

第 5 章 直流系统设计

第 5.1 节 直流系统概述

在发电厂和变电所中，为了供给控制、保护、自动装置、事故照明和汽机直流油泵等的用电，要求有可靠的直流电源，即使在发电厂或变电所完全停电的情况下也要能保证上述负荷的可靠供电。直流控制负荷包括电气和热工系统的控制、信号、保护、自动装置和某些执行机构，这些都是保证发电厂和变电站正常、安全运行的极为重要的负荷。直流控制电源，除为直流控制负荷供电外，还为一些动力负荷供电，例如大合闸电流的电磁操作机构，事故照明装置等，可见，直流控制电源系统兼有直流保安电源的功能，其工作的可靠性是极为重要的。

蓄电池组构成的直流控制电源系统，有很高的可靠性。整个蓄电池组故障造成停止供电的可能性极小。因为蓄电池组的故障，总是首先在个别电池中发生，而且其发展过程缓慢，易于及时发现和消除，不致波及整个蓄电池组。这种情况已为多年的、大量的蓄电池组的运行经验所证明。因此，就其可靠性而言，还没有其他电源可以代替。但是，要保证蓄电池组构成的直流控制电源系统能可靠地、不间断地供电，蓄电池的正确使用和系统的合理设计是个关键。因此，在设计安装和运行方面，都必须遵守一些基本要求，概括起来有以下几点：

(1) 直流系统设计要简单可靠，同时又要满足运行灵活性的要求。为此，要正确运用经过运行实践考验的典型设计和标准设计；

(2) 电池、充电器直流屏等设备，要选用可靠性高，性能良好、制造精致、符合各级制造标准、有运行经验或经主管部门鉴定的产品；

(3) 直流屏的安装环境条件，一定要符合设备的要求，特别是蓄电池的环境条件是否符合安全运行的要求尤为重要；

(4) 对新蓄电池组，要严格按现行规范和蓄电池的技术要求进行安装及充放电工作；

(5) 运行的蓄电池组，要按规程定期检查、正确充放电，及时消除一切不正常现象，认真进行维护。

第 5.2 节 直流系统的电压等级

直流系统额定电压一般采用 220V 和 110V；当采用弱电控制信号时，一般采用 48V。电力工程中，直流系统电压等级分为 220、110、48、24V，常用的电压等级为 110V。一些弱电系统采用 48V。具体介绍 110V、220V 直流电压如下：

(1) 220V 直流电压

以往我国发电厂和变电站大多数都采用单一的 220V 电压。采用 220V 电压可以选择较小的电缆截面积，节省有色金属、降低电缆投资。

(2) 110V 直流电压

与 220V 直流系统相比，110V 直流系统具有以下特点：

- ①所需的电池个数少，占地面积较小，安装维护方便；
- ②绝缘水平低，系统中配备的中间继电器线圈线径较大，减少了线圈断线和接地的故障机率；
- ③由于电压水平低，从而降低了继电器触点断开时产生的干扰电压幅值，并减小了对电子元件构成的保护和自动装置的干扰；
- ④由于电压水平低，使得直流负荷电流成倍增加，从而使所需电缆截面相应增大。应此，通常在负荷电流较小、供电距离较短的控制信号和保护用电源中才推荐采用 110V 电压。

⑤对相同容量的负荷，110V 所需的蓄电池容量与 220V 相比，约增加一倍。

权衡利弊，直流系统额定电压宜按下列要求确定：

- ①控制负荷专用蓄电池组的电压采用 110V；
- ②控制负荷、动力负荷和直流事故照明负荷专用蓄电池组的电压采用 220V 或 110V；
- ③当采用弱电控制或信号时，装设较低电压等级的专用蓄电池组。

第 5.3 节 直流系统的接线方式

(1) 单母接线

①特点：接线简单、可靠。由于浮充电接在直流母线上，所以当蓄电池回路开关被误断时，直流母线不致失电。

②适用范围：适用于设有一组蓄电池，两套充电装置的变电站和小型发电厂。

(2) 单母分段接线

①特点：充电器和浮充电器分别接到两段母线上，蓄电池组接在一段母线上。直流负荷双回电源分别接至不同的分段上，以提高供电可靠性。接线较单母线复杂，但灵活性好；

②适用范围：适用于设有一组蓄电池和两套充电装置的大型变电站或机组较多的小型发电厂。

第 5.4 节 本变电站直流系统的设计

本设计直流电源采用 220kV 电压等级单母线接线方式。选用 PZ61 直流屏。直流系统接线图参见图 02 电力-毕业设计-9，直流屏正面布置图参见图 02 电力-毕业设计-8。

用于完成交直流转换、电源进线馈电、自动检测、信号报警等多种功能，并将有关直流电源操作、保护、检测等设备组装在相应屏、柜内，以实现预期功能的直流设备的总称叫直流屏(柜)。PZ61 新型直流屏是近几年由电力规划设计总院组织电力设计部门吸收国外技术，总结国内经验，根据我国规程和标准的要求设计制造的一种新型直流屏。

110kV 及以下电压的变电站，直流屏可布置在与蓄电池毗邻的房间内，也可布置在控制室内。本站直流屏布置在控制室内。

第 6 章 高压电器设备选择

第 6.1 节 电器选择的一般条件

电器选择是发电厂和变电站电气设计的主要内容之一。正确的选择电器是使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，选择合适的电器。

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却是一致的。电器要能可靠的工作，必须按正常工作条件进行选择，并按短路状态来校验热稳定和动稳定。

(1) 按正常工作条件选择电器

① 额定电压和最高工作电压

在选择电器时，一般可按照电器的额定电压 U_N 不低于装置地点电网额定电压 U_{Ns} 的条件选择，即

$$U_N \geq U_{Ns}$$

② 额定电流

电器的额定电流 I_N 是指在额定周围环境温度 θ_0 下，电器的长期允许电流。 I_N 应不小于该回路在各种合理运行方式下的最大持续工作电流 I_{\max} ，即

$$I_N \geq I_{\max}$$

③ 按当地环境条件校核

在选择电器时，还应考虑电器安装地点的环境（尤其是小环境）条件当气温、风速、污秽等级、海拔高度、地震烈度和覆冰厚度等环境条件超过一般电器使用条件是，应采取措施。

(2) 按短路情况校验

① 短路热稳定校验

短路电流通过电器时，电器各部件温度应不超过允许值。满足热稳定的条件为

$$I_t^2 t \geq Q_k$$

式中 Q_k ——短路电流产生的热效应；

I_t 、 t ——电器允许通过的热稳定电流和时间。

② 电动力稳定校验

电动力稳定是电器承受短路电流机械效应的能力，亦称动稳定。满足动稳定的条件为

$$i_{es} \geq i_{sh}$$

或

$$I_{es} \geq I_{sh}$$

式中 i_{sh} 、 I_{sh} ——短路冲击电流幅值及其有效值；

i_{es} 、 I_{es} ——电器允许通过的动稳定电流的幅值及其有效值。

下列几种情况可不校验热稳定或动稳定：

- 1) 熔断器保护的电器，其热稳定由熔断时间保证，故可不验算热稳定。
- 2) 采用有限流电阻的熔断器保护的电器，可不校验动稳定。
- 3) 装设在电压互感器回路中的裸导体和电器可不验算动、热稳定。

③ 短路电流计算的条件

为使电器具有足够的可靠性、经济性和合理性，并在一定时期内适应电力系统发展的需要，作验算用的短路电流应按下列条件确定：

1) 容量和接线 按本工程设计最终容量计算，并考虑电力系统远景发展规划（一般为本工程建成后 5~10 年）；其接线应采用可能发生最大短路电流的正常接线方式，但不考虑在切换过程中可能短时并列的接线方式。

2) 短路种类 一般按三相短路验算，若其它种类短路较三相短路严重时，则应按最严重的情况验算。

3) 计算短路点 选择通过电器的短路电流为最大的那些点为短路计算点。

④ 短路计算时间

校验电器的热稳定和开断能力时，还必须合理的确定短路计算时间。验算热稳定的计算时间 t_k 为继电保护动作时间 t_{pr} 和相应断路器的全开断时间 t_{ab} 之和，即

$$t_k = t_{pr} + t_{ab}$$

而

$$t_{ab} = t_{in} + t_a$$

式中 t_{ab} —— 断路器全开断时间；

t_{pr} —— 后备保护动作时间；

t_{in} —— 断路器固有分闸时间；

t_a —— 断路器开断时电弧持续时间。

开断电器应能在最严重的情况下开断短路电流，故电器的开断计算时间 t_{br} 应为主保护时间 t_{pr1} 和断路器固有分闸时间之和，即

$$t_{br} = t_{pr1} + t_{in}$$

第 6.2 节 高压断路器的选择

高压断路器的主要功能是：正常运行时，用它来倒换运行方式，把设备或线路接入电路或退出运行，起着控制作用；当设备或线路发生故障时，能快速切除故障回路、保证无故障部分正常运行，能起保护作用。高压断路器是开关电器中最为完善的一种设备。其最大特点是能断开电路中负荷电流和短路电流。

本变电站高压断路器选择如下（选择和校验计算见计算书第 4 章）：

(1) 110kV 线路侧及变压器侧：选择 LW11-110 型 SF₆ 户外断路器。

计算数据		LW11-110	
U_{Ns}	110 (kV)	U_N	110 (kV)
I_{max}	206.7 (A)	I_N	1600 (A)
I''	2.72 (kA)	I_{Nbr}	31.5 (kA)
i_{sh}	6.93 (kA)	i_{Nc1}	80 (kA)
Q_k	6.53 (kA ² · s)	$I_t^2 \cdot t$	3969 (kA ² · s)
i_{sh}	6.93 (kA)	i_{es}	80 (kA)

(2) 35kV 线路侧及变压器侧：选择 ZW7-40.5 型真空户外断路器。

计算数据		ZW7-40.5	
U_{Ns}	35 (kV)	U_N	40.5 (kV)
I_{max}	346.42 (A)	I_N	1600 (A)
I''	5.63 (kA)	I_{Nbr}	31.5 (kA)
i_{sh}	14.36 (kA)	i_{Ne1}	80 (kA)
Q_k	21.17 (kA ² · s)	$I_t^2 \cdot t$	3969 (kA ² · s)
i_{sh}	14.36 (kA)	i_{es}	80 (kA)

(3) 10kV 线路侧：选择 KYN28A-12 (Z) /1250-31.5 型高压开关柜。

计算数据		KYN28A-12 (Z) /1250-31.5	
U_{Ns}	10 (kV)	U_N	12 (kV)
I_{max}	189.4 (A)	I_N	1250 (A)
I''	12.0 (kA)	I_{Nbr}	31.5 (kA)
i_{sh}	24.96 (kA)	i_{Ne1}	80 (kA)
Q_k	111.86 (kA ² · s)	$I_t^2 \cdot t$	3969 (kA ² · s)
i_{sh}	24.96 (kA)	i_{es}	80 (kA)

(4) 10kV 变压器侧：选择 KYN28A-12 (Z) /2000-31.5 型高压开关柜。

计算数据		KYN28A-12 (Z) /2000-31.5	
U_{Ns}	10 (kV)	U_N	12 (kV)
I_{max}	1212.47 (A)	I_N	2000 (A)
I''	12.0 (kA)	I_{Nbr}	31.5 (kA)
i_{sh}	24.96 (kA)	i_{Ne1}	80 (kA)
Q_k	111.86 (kA ² · s)	$I_t^2 \cdot t$	3969 (kA ² · s)
i_{sh}	24.96 (kA)	i_{es}	80 (kA)

第 6.3 节 隔离开关的选择

隔离开关也是变电站中常用的电器，它需与断路器配套使用。但隔离开关无灭弧装置，不能用来接通和切断负荷电流和短路电流。

6.3.1 隔离开关的主要用途：

(1) 隔离电压 在检修电气设备时，用隔离开关将被检修的设备与电源电压隔离，以确保检修的安全。

(2) 倒闸操作 投入备用母线或旁路母线以及改变运行方式时，常用隔离开关配合断路器，协同操作来完成。

(3) 分、合小电流 因隔离开关具有一定的分、合小电感电流和电容电流的能力，故一般可用来进行以下操作：

- ①分、合避雷器、电压互感器和空载母线；
- ②分、合励磁电流不超过 2A 的空载变压器；
- ③关合电容电流不超过 5A 的空载线路。

6.3.2 本变电站隔离开关的选择

(1) 110kV：选择 GW5-110III/1000-80

计算数据		GW5-110III/1000-80	
U_{Ns}	110 (kV)	U_N	110 (kV)
I_{max}	206.7 (A)	I_N	1000 (A)
Q_k	6.53 ($kA^2 \cdot s$)	$I_t^2 \cdot t$	2311 ($kA^2 \cdot s$)
i_{sh}	6.93 (kA)	i_{es}	80 (kA)

(2) 35kV：选择 GW4-35D/1000-83

计算数据		GW4-35D/1000-83	
U_{Ns}	35 (kV)	U_N	12 (kV)
I_{max}	346.42 (A)	I_N	1000 (A)
Q_k	21.17 ($kA^2 \cdot s$)	$I_t^2 \cdot t$	2500 ($kA^2 \cdot s$)
i_{sh}	14.36 (kA)	i_{es}	83 (kA)

第 6.4 节 电流互感器的选择

互感器（包括电流互感器 TA 和电压互感器 TV）是一次系统和二次系统间的联络元件，用以分别向测量仪表、继电器的电流线圈和电压线圈供电，正确反映电气设备的正常运行和故障情况。

互感器的作用是：将一次回路的高电压和大电流变为二次回路标准的低电压（100V）和小电流（5A 或 1A），使测量仪表和保护装置标准化、小型化，并使其结构小巧、价格便宜和便于屏内安装。使二次设备与高压部分隔离，且互感器二次侧均接地，从而保证了设备和人身的安全。

本变电站电流互感器选择：

110kV 线路侧及变压器侧选用 LCWB6-110 型瓷绝缘户外电流互感器，校验合格。

35kV 线路侧选用 LZZB8-35 型支柱式、LRD-35、LR-35 型装入式电流互感器，校验合格，配置位置参见主接线图；35kV 变压器侧选用 LRD-35、LR-35 型装入式电流互感器，校验合格，配置位置参见主接线图。

10kV 线路侧及变压器侧选用 LA-10 型穿墙式电流互感器，校验合格。

第 6.5 节 电压互感器的选择

110kV 出线选用 TYD110/ $\sqrt{3}$ 型成套电容式电压互感器，校验合格。

110kV 母线选用 JDCF-110 型单相瓷绝缘电压互感器，校验合格。

35kV 母线选用 JDZXW-35 型单相环氧浇注绝缘电压互感器，校验合格。

10kV 母线选用 JSZX1-10F 型三相环氧浇注绝缘电压互感器，校验合格。

第 6.6 节 高压熔断器的选择

熔断器是最简单的保护电器，它用来保护电气设备免受过载和短路电流的损害。

35kV 母线电压互感器选用 RXW-35/0.5 型户外跌落式高压熔断器保护，校验合格。

10kV 母线电压互感器选用 RN2-10/0.5 型户内限流式高压熔断器保护，校验合格。

第 7 章 配电装置设计

配电装置是变电站的重要组成部分。它是根据主接线的连接方式，由开关设备、保护和测量电路、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。

配电装置应满足以下基本要求：

- (1) 配电装置的设计必须贯彻执行国家基本建设方针和技术经济政策。
- (2) 保证运行可靠。按照系统和自然条件，合理选用设备，在布置上力求整齐、清晰，保证具有足够的安全距离。
- (3) 便于检修、巡视和操作。
- (4) 在保证安全的前提下，布置紧凑，力求节约材料和降低造价。
- (5) 安装和扩建方便。

配电装置设计的基本步骤：

- (1) 根据配电装置的电压等级、电器的型式、出线多少和方式、有无电抗器、地形、环境条件等因素选择配电装置的型式；
- (2) 拟定配电装置的配置图；
- (3) 按照所选设备的外形尺寸、运输方法、检修及巡视的安全和方便等要求，遵照《配电装置设计技术规程》的有关规定，并参考各种配电装置的典型设计和手册，设计绘制配电装置的平、断面图。

普通中型配电装置，我国有丰富的经验，施工、检修和运行都比较方便，抗震能力好，造价比较低，缺点是占地面积较大；半高型配电装置占地面积为普通中型的 47%，而总投资为普通中型的 98.2%，同时，该型布置在运行检修方面除设备上方有带电母线外，其余布置情形与中型布置相似，能适应运行检修人员的习惯与需要。高型一般适用于 220kV 及以上电压等级。

本变电站有三个电压等级，110kV 主接线不带旁路母线，配电装置采用屋外中型单列布置；35kV 主接线带旁路母线，配电装置采用屋外半高型布置；10kV 配电装置采用屋内成套高压开关柜布置。各电压等级配电装置断面图见设计图纸 02 电力-毕业设计-3~6。

第 8 章 防雷保护设计

8.1.1 变电站的防雷保护具有以下特点：

(1) 变电站属于“集中型”设计，直接雷击防护以避雷针为主。

(2) 变电站设备与架空输电线相联接，输电线上的过电压波会运动至变电站，对电气设备过程威胁。因此变电站要对侵入波过电压进行防护，主要手段是避雷器。

(3) 变电站内都安装有贵重的电气设备，如变压器等，这些电气设备一旦受损，一方面会对人民的生产和生活带来巨大损失，造成严重后果；另一方面，这些设备的修复困难，需要花费很长时间和大量金钱，给电力系统本身带来重大经济损失。所以变电站要采取周密的过电压防护措施。

(4) 为了充分发挥防雷设备的保护作用，变电站应有良好的接地系统。

8.1.2 变电站直击雷防护：

户外配电装置一般都采用避雷针做为直击雷保护，本变电站直击雷防护采用避雷针，变电站围墙四角各布置 1 支避雷针，共布置 4 支避雷针，每支避雷针高 30m。本站东西向长 99m，南北向宽 68m，占地面积 6732m²，110kV 配电装置构架高 12.5m，35kV 终端杆高 13.5m。屋内配电装置钢筋焊接组成接地网，并可靠接地。本站避雷针设置如图 02 电力-毕业设计-10 所示。

8.1.3 侵入波过电压防护：

已在输电线上形成的雷闪过电压，会沿输电线路运动至变电站的母线上，并对与母线有联接的电气设备构成威胁。在母线上装设避雷器是限制雷电侵入波过电压的主要措施。

8.1.4 进线段保护：

所谓进线段保护是指临近变电站 1~2km 一段线路上的加强型防雷保护措施。当线路无避雷线时，这段线路必须架设避雷线；当沿线路全长架设避雷线时，则这段线路应有更高的耐雷水平，以减少进线段内绕击和反击的概率。

8.1.5 三绕组变压器和变压器中性点的防雷保护：

三绕组变压器只要在低压任一相绕组直接出口处装一个避雷器即可。110kV 中性点有效接地系统，若变压器不是采用全绝缘，则应在中性点加装一台避雷器。

第二部分

110kV 变电站电气一次部分

设计计算书

设计：* * *

指导教师：* * *

第 1 章 负荷计算

第 1.1 节 主变压器负荷计算

电力系统负荷的确定,对于选择变电站主变压器容量,电源布点以及电力网的接线方案设计等,都是非常重要的,电力负荷应在调查和计算的基础上进行,对于近期负荷,应力求准确、具体、切实可行;对于远景负荷,应在电力系统及工农业生产发展远景规划的基础之上,进行负荷预测,负荷发展的水平往往需要多次测算,认真分析影响负荷发展水平的各种因素,反复测算与综合平衡,力求切合实际。

本变电站负荷分析计算如下(线损平均取 5%, 功率因数取 0.8, 负荷同时率取 0.9) :

(1) 10kV 侧

$$P_1 = 12.5MW$$

$$Q_1 = P_1 \times \tan(\cos^{-1} 0.8) = 9.4M \text{ var}$$

$$S_1 = T \times \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = 14.1MVA$$

(2) 35kV 侧

35kV 侧电源容量 20MW, 负荷功率 1.8MW, 基本平衡, 功率可直接通过母线传输而不通过变压器传输。

(3) 110kV 侧

10kV 侧所需负荷功率可通过主变压器由 110kV 母线取得。

$$\text{故 } S' = S_1 = 14.1MVA$$

考虑增长,按 8 年计算,由工程概率和数理统计得知,负在荷一定阶段内的自然增长率是按指数规律变化的,即

$$S = S' e^{mx}$$

式中 S' —初期负荷

x —年数,一般按 5~10 年规划考虑

m —年负荷增长率,由概率统计确定。

所以,考虑负荷增长以及线损,年负荷增长率取 10%,按 8 年计算,本变电站负荷为

$$\begin{aligned} S &= S' e^{mx} (1 + 5\%) \\ &= 14.1 \times e^{0.1 \times 8} \times (1 + 5\%) \\ &= 32.95 \text{MVA} \end{aligned}$$

第 1.2 节 站用变压器负荷计算

目前采用的站用变压器负荷计算的主要方法有：(1)换算系数法；(2)分别将每台电动机的 kW 换算成 kVA，再考虑不同时运行情况的方法。

本变电站采用第二种计算方法。

按每台电动机的功率因数、效率、负荷系数分别由 kW 换算成 kVA，再考虑不同时运行的情况，计算出总负荷。本变电站需要计入的经常性电力负荷为：主变压器风扇，蓄电池的充电和浮充电机组、蓄电池室通风、取暖、照明等；短时不经常及断续不经常运行的设备如检修负荷等不计算在内。

充电机系不经常连续运行的设备，故其负荷应予以计算，但此时可考虑浮充电机不运行，不必计算。

计算公式如下：

电力负荷：

$$S_{g1} = \sum \frac{P_1 \times K_f}{\eta \times \cos \varphi} (\text{kVA})$$

照明和加热负荷：

$$S_{g2} = \sum P_2 (\text{kVA})$$

所用电总负荷：

$$S_g = S_{g1} + S_{g2} (\text{kVA})$$

本变电站所用变压器选择计算结果如表 3.2 所示。

表 3.2 110kV 变电站站用变压器选择计算结果

序号	名称	计算容量 (kW)	额定容量 (kW)	功率因数 (cos)和效率()	经常性负荷				非经常性负荷				
					安装数 (台)	运行数 (台)	运行容量		安装数 (台)	运行数 (台)	运行容量		
							(kW)	(kVA)			(kW)	kVA	
	1.动力												
1	充电机	34.8	40	0.78	1	1	34.8	44.8					
2	浮充电机	3.2	4.5	0.72	1	1	3.2	—					
3	蓄电池室通风机		5.4	0.72	1	1	5.4	7.50					
4	屋内配电装置通风机		1.1	0.62					2	2	2.2	—	
5	电焊		10.5	0.47					1	1	10.5	—	
6	检修用电	5	—	0.60							5	—	
7	电热	15	—	—			15	—					
8	通信用电				4	4	—	3.6					
9	取暖用电		0.2	0.51									
10	操动机构用电		0.3	—									
11	远动装置用电	1.50	—	0.68			1.50	2.2					
	2.照明												
12	屋内工作照明						16.0	16.0					
13	屋外工作照明						8.18	8.18					
14	事故照明						10.04	10.04					
15	福利区照明						8.76	8.76					
计算总容量(kVA)								109.9					
选择变压器容量(kVA)								100					

第 2 章 短路电流计算

第 2.1 节 三相短路电流计算

在最大运行方式下对三相短路的情况进行计算。

(1) 画出计算电路图，如图 2.1(a) 所示。

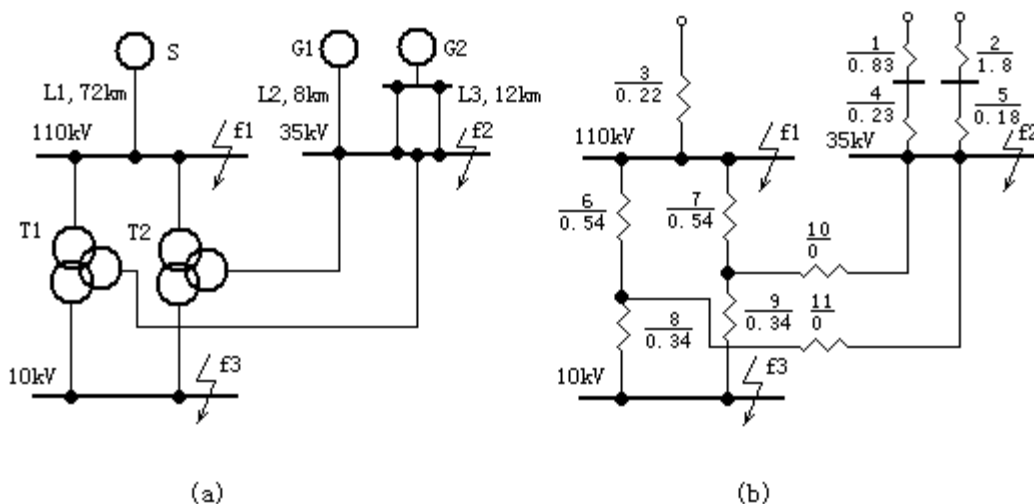


图 2.1 计算电路图及其等值网络

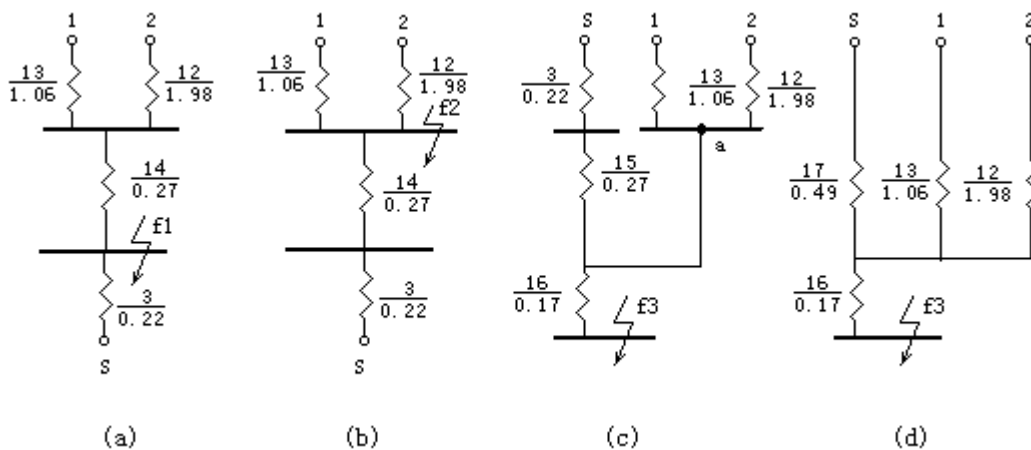


图 2.2 等值网络的化简

(2) 制订等值网络如图 2.1(b) 所示，进行参数计算。

选取 $S_B = 100MVA$, $V_B = 115kV$, 计算各元件的标么值。

$$\text{发电机 } G1 \quad x_1 = 0.125 \times \frac{100}{15} = 0.83$$

$$\text{发电机 } G2 \quad x_2 = 0.27 \times \frac{100}{15} = 1.8$$

$$\text{线路 } L1 \quad x_3 = 0.4 \times 72 \times \frac{100}{115^2} = 0.22$$

$$\text{线路 } L2 \quad x_4 = 0.4 \times 8 \times \frac{100}{37^2} = 0.23$$

$$\text{线路 } L3 \quad x_5 = \frac{1}{2} \times 0.4 \times 12 \times \frac{100}{37^2} = 0.18$$

$$\text{变压器 } T1、T2 \quad x_6 = x_7 = \frac{\frac{1}{2} \times (10.5 + 17.5 - 6.5)}{100} \times \frac{100}{20} = 0.54$$

$$x_8 = x_9 = \frac{\frac{1}{2} \times (6.5 + 17.5 - 10.5)}{100} \times \frac{100}{20} = 0.34$$

$$x_{10} = x_{11} = \frac{\frac{1}{2} \times (10.5 + 6.5 - 17.5)}{100} \times \frac{100}{20} \approx 0$$

将计算结果注于图 2.1(b)中。

(3) 计算各短路点的短路电流

当短路发生在 f_1 点时 ,

计算各电源对短路点的转移电抗和计算电抗 , 如图 2.2(a)所示。

$$x_{12} = x_2 + x_5 = 1.98$$

$$x_{13} = x_1 + x_4 = 1.06$$

$$x_{14} = \frac{(x_7 + x_{10})(x_6 + x_{11})}{(x_7 + x_{10}) + (x_6 + x_{11})} = 0.27$$

S 对 f_1 的转移电抗为

$$x_{f1} = x_3 = 0.22$$

G1 对 f_1 的转移电抗为

$$x_{f11} = x_{13} + x_{14} + \frac{x_{13}x_{14}}{x_{12}} = 1.46$$

G_2 对 f_1 的转移电抗为

$$x_{f21} = x_{12} + x_{14} + \frac{x_{12}x_{14}}{x_{13}} = 2.75$$

各电源的计算电抗如下

$$x_{js11} = x_{f11} \times \frac{15}{100} = 0.22$$

$$x_{js21} = x_{f21} \times \frac{15}{100} = 0.40$$

查计算曲线数字表，求出短路周期电流的标么值。

对于发电机 G_1 用汽轮发电机计算曲线数字表，对于 G_2 用水轮发电机计算曲线数字表，系统 S 提供的短路电流直接用转移电抗公式 $I_{ps*1} = \frac{1}{x_{fs1}}$ 计算。所得结果

填入表 2.1。

计算短路电流的有名值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路电流冲击值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路全电流最大有效值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路容量，将所得结果填入表 2.1。

当短路发生在 f_2 点时，

计算各电源对短路点的转移电抗和计算电抗，如图 2.2(b) 所示。

S 对 f_2 的转移电抗为

$$x_{fs2} = x_3 + x_{14} = 0.49$$

G_1 对 f_2 的转移电抗为

$$x_{f12} = x_{13} = 1.06$$

G_2 对 f_2 的转移电抗为

$$x_{f22} = x_{12} = 1.98$$

各电源的计算电抗如下

$$x_{js12} = x_{f12} \times \frac{15}{100} = 0.16$$

$$x_{js22} = x_{f22} \times \frac{15}{100} = 0.30$$

查计算曲线数字表，求出短路周期电流的标么值。

对于发电机 $G1$ 用汽轮发电机计算曲线数字表，对于 $G2$ 用水轮发电机计算曲线数字表，系统 S 提供的短路电流直接用转移电抗公式 $I_{ps*2} = \frac{1}{x_{fs2}}$ 计算。所得结果

填入表 2.1。

计算短路电流的有名值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路电流冲击值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路全电流最大有效值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路容量，将所得结果填入表 2.1。

当短路发生在 f_3 点时，分两种情况进行短路电流计算。

第一种情况：变压器低压侧并列运行，

计算各电源对短路点的转移电抗和计算电抗，如图 2.2(c)、2.2(d) 所示。

$$x_{15} = \frac{x_6 x_7}{x_6 + x_7} = 0.27$$

$$x_{16} = \frac{x_{10} x_{11}}{x_{10} + x_{11}} = 0.17$$

消去图 2.2(c) 中的结点 a，得图 2.2(d)。

$$x_{17} = x_3 + x_{15} = 0.49$$

S 对 f_3 的转移电抗为

$$x_{fs3} = x_{17} \times x_{16} \times \left(\frac{1}{x_{17}} + \frac{1}{x_{16}} + \frac{1}{x_{13}} + \frac{1}{x_{12}} \right) = 0.78$$

$G1$ 对 f_3 的转移电抗为

$$x_{f13} = x_{13} \times x_{16} \times \left(\frac{1}{x_{17}} + \frac{1}{x_{16}} + \frac{1}{x_{13}} + \frac{1}{x_{12}} \right) = 1.69$$

$G2$ 对 f_3 的转移电抗为

$$x_{f23} = x_{12} \times x_{16} \times \left(\frac{1}{x_{17}} + x \frac{1}{x_{16}} + \frac{1}{x_{13}} + \frac{1}{x_{12}} \right) = 3.15$$

各电源的计算电抗如下

$$x_{js13} = x_{f13} \times \frac{15}{100} = 0.25$$

$$x_{js23} = x_{f23} \times \frac{15}{100} = 0.47$$

查计算曲线数字表，求出短路周期电流的标么值。

对于发电机 G1 用汽轮发电机计算曲线数字表，对于 G2 用水轮发电机计算曲线数字表，系统 S 提供的短路电流直接用转移电抗公式 $I_{ps*3} = \frac{1}{x_{fs3}}$ = 2.56 计算。所得结果

填入表 2.1。

计算短路电流的有名值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路电流冲击值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路全电流最大有效值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路容量，将所得结果填入表 2.1。

第二种情况：变压器低压侧分列运行，计算电路图及其等值网络如图 2.3 所示，网络变换如图 2.4 所示。

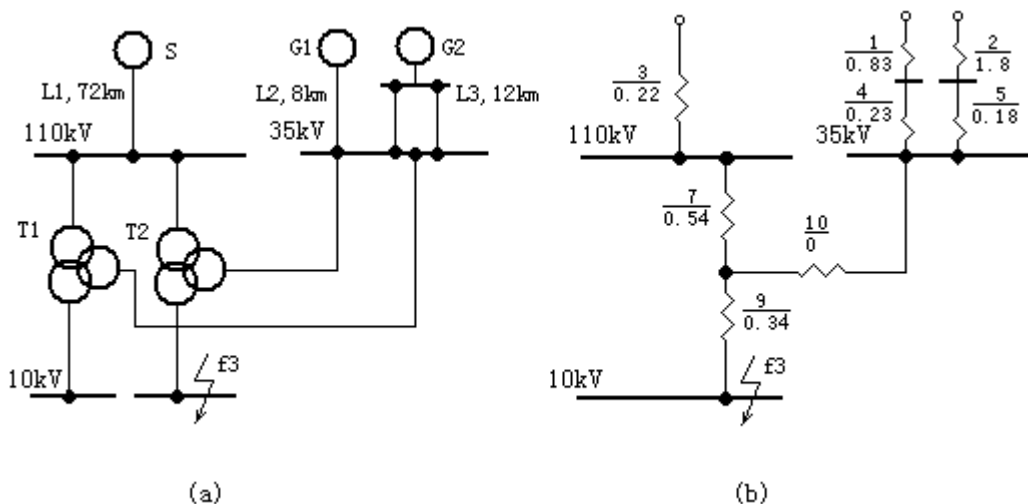


图 2.3 变压器低压侧分列运行计算电路图及其等值网络

计算各电源对短路点的转移电抗和计算电抗，如图 2.4(a)、2.4(b)所示。

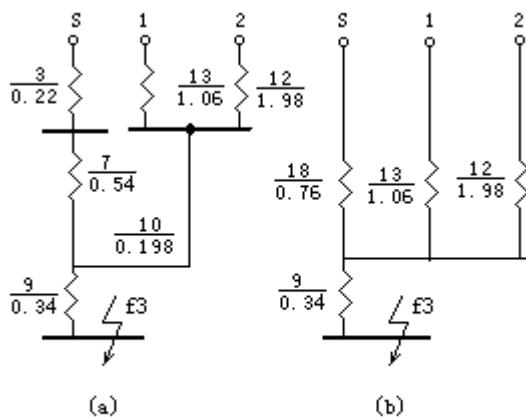


图 2.4 变压器低压侧分列运行等值网络化简

$$x_{18} = x_3 + x_7 = 0.76$$

S 对 f_3 的转移电抗为

$$x_{f_3'} = x_{18} \times x_9 \times \left(\frac{1}{x_{18}} + \frac{1}{x_9} + \frac{1}{x_{13}} + \frac{1}{x_{12}} \right) = 1.48$$

G1 对 f_3 的转移电抗为

$$x_{f_{13}'} = x_{13} \times x_9 \times \left(\frac{1}{x_{18}} + \frac{1}{x_9} + \frac{1}{x_{13}} + \frac{1}{x_{12}} \right) = 2.06$$

G2 对 f_3 的转移电抗为

$$x_{f_{23}'} = x_{12} \times x_9 \times \left(\frac{1}{x_{18}} + \frac{1}{x_9} + \frac{1}{x_{13}} + \frac{1}{x_{12}} \right) = 3.84$$

各电源的计算电抗如下

$$x_{js_{13}'} = x_{f_{13}'} \times \frac{15}{100} = 0.31$$

$$x_{js_{23}'} = x_{f_{23}'} \times \frac{15}{100} = 0.58$$

查计算曲线数字表，求出短路周期电流的标么值。

对于发电机 G1 用汽轮发电机计算曲线数字表，对于 G2 用水轮发电机计算曲线数

字表，系统 S 提供的短路电流直接用转移电抗公式 $I_{ps^*3'} = \frac{1}{x_{f_3'}} = 1.78$ 计算。

计算短路电流的有名值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路电流冲击值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路全电流最大有效值，将所得结果填入表 2.1。

计算短路容量，将所得结果填入表 2.1。

表 2.1 短路电流计算结果

短路 点编 号	短 路 类 型	电 源 名 称	电 源 计 算 电 抗 x_{js}	0s 短路电流周期分量		2s 短路 电 流 有 名 值 (kA)	4s 短路 电 流 有 名 值 (kA)	短 路 电 流 冲 击 值 $i_{sh}(kA)$	短 路 全 电 流 最 大 有 效 值 $I_{sh}(kA)$	短 路 容 量 $S''(MVA)$
				标 么 值 I_*''	有 名 值 $I''(kA)$					
f_1	三 相 短 路	S		4.55	2.17	2.17	2.17			
		G1	0.22	4.94	0.35	0.18	0.17			
		G2	0.40	2.77	0.20	0.19	0.20			
		小计			2.72	2.54	2.54	6.93	4.13	518.21
f_2	三 相 短 路	S		2.04	3.18	3.18	3.18			
		G1	0.16	6.76	1.58	0.63	0.58			
		G2	0.30	3.73	0.87	0.69	0.70			
		小计			5.63	4.50	4.46	14.36	8.55	341.29
f_3	三 相 短 路	S		1.28	6.70	6.70	6.70			
		G1	0.25	4.35	3.42	1.96	1.10			
		G2	0.47	2.33	1.83	1.86	1.99			
		小计			12.0	10.5	9.79	24.96	14.88	207.84
f_3'	三 相 短 路	S		0.68	3.56	3.56	3.56			
		G1	0.31	3.49	2.74	1.83	1.82			
		G2	0.58	1.87	1.47	1.64	1.81			
		小计			7.77	7.03	7.09	19.81	11.81	134.58

注： f_3 ——主变低压侧并列运行；

f_3' ——主变低压侧分列运行。

第 2.2 节 站用变压器低压侧短路电流计算

对于 1000V 以下低压网络的短路电流计算，还应考虑以下特点：

- (1) 可按无穷大容量供电的计算短路电流方法进行计算。
- (2) 因电阻值较大，感抗值较小，所以短路电流中各元件的有效电阻，包括开关和电器触头的接触电阻均应计入。
- (3) 多匝电流互感器的阻抗，仅当三相都装有同样互感器时，才予考虑。
- (4) 低压电器元件的电阻多以 $m\Omega$ 计因而短路电流一般采用有名值计算比较方便。

在设计和运行实践中，已经总结出了 1000 V 以下低压网络的短路电流计算结果，并制成表格，为简化计算，本设计站用变压器低压侧网络的短路电流计算值直接查表，并记入表 2.2。

表 2.2 站用变压器低压侧短路电流计算结果

变压器容量(kVA)	100	
变压器阻抗电压	4%	
变压器高压侧短路容量(MVA)	200	
	三相正 负序	单相相零
计算电阻(m)	32.63	128.59
计算电抗(m)	55.79	180.58
I_d (kA)	3.56	1.04

第 3 章 线路及变压器最大长期工作电流计算

第 3.1 节 线路最大长期工作电流计算

(1) 10kV 出线

$$\text{氮肥厂} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 2500}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.8} = 189.4A$$

$$\text{化工厂} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 1500}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.8} = 113.6A$$

$$\text{医院} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 1500}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.8} = 113.6A$$

$$\text{印刷厂} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 2000}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.8} = 151.5A$$

$$\text{造纸厂} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 2500}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.8} = 189.4A$$

$$\text{机械厂} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 2500}{\sqrt{3} \times 10 \times 0.8} = 189.4A$$

(2) 35kV 出线

$$\text{长泥坡} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 8000}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 173.2A$$

$$\text{火电厂} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 10000}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 216.5A$$

$$\text{中方变} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 5000}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 108.3A$$

$$\text{水电站} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 10000}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 216.5A$$

$$\text{鸭嘴岩变} : I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 5000}{\sqrt{3} \times 35 \times 0.8} = 108.3A$$

(3) 110kV 出线

$$\text{长泥坡: } I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 15000}{\sqrt{3} \times 110 \times 0.8} = 103.3A$$

$$\text{双溪变: } I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 15000}{\sqrt{3} \times 110 \times 0.8} = 103.3A$$

$$\text{系统: } I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 30000}{\sqrt{3} \times 110 \times 0.8} = 206.7A$$

$$\text{芷江: } I_{g \max} = \frac{10.5P}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{1.05 \times 8000}{\sqrt{3} \times 110 \times 0.8} = 55.1A$$

第 3.2 节 主变进线最大长期工作电流计算

$$(1) 10kV \text{ 侧主变进线: } I_{g \max} = \frac{1.05S_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1.05 \times 20000}{\sqrt{3} \times 10} = 1212.47A$$

$$(2) 35kV \text{ 侧主变进线: } I_{g \max} = \frac{1.05S_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1.05 \times 20000}{\sqrt{3} \times 35} = 346.42A$$

$$(3) 110kV \text{ 侧主变进线: } I_{g \max} = \frac{1.05S_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1.05 \times 20000}{\sqrt{3} \times 110} = 110.22A$$

第 4 章 电气设备选择及校验计算

各电压等级电器正常工作条件及短路情况如下：

110kV 线路侧及变压器侧： $I_{g \max} = 206.7A$ ， $I'' = 2.72kA$ ， $I_2 = 2.54kA$ ，

$I_4 = 2.54kA$ ， $i_{sh} = 6.93kA$ ；

35kV 线路侧及变压器侧： $I_{g \max} = 346.42A$ ， $I'' = 5.63kA$ ， $I_2 = 4.5kA$ ， $I_4 = 4.46kA$ ，

$i_{sh} = 14.36kA$ ；

10kV 线路侧： $I_{g \max} = 189.4A$ ， $I'' = 12.0kA$ ， $I_2 = 10.5kA$ ， $I_4 = 9.79kA$ ，

$i_{sh} = 24.96kA$ ；

10kV 变压器侧： $I_{g \max} = 1212.47A$ ， $I'' = 12.0kA$ ， $I_2 = 10.5kA$ ， $I_4 = 9.79kA$ ，

$i_{sh} = 24.96kA$ 。

短路计算时间为继电保护动作时间和断路器的全开断时间之和，本设计校验电器的热稳定和开断能力的短路计算时间取 4s。

第 4.1 节 高压断路器选择及校验

(1) 110kV 线路侧及变压器侧选用 LW11-110 型户外 SF₆ 断路器。

额定电压： $U_N = 110kV = U_{Ns} = 110kV$ ，合格；

额定电流： $I_N = 1600A > I_{\max} = 206.7A$ ，合格；

额定开断电流： $I_{Nbr} = 31.5kA > I'' = 2.72kA$ ，合格；

短路关合电流： $i_{Ncl} = 80kA > i_{sh} = 6.93kA$ ，合格；

动稳定校验： $I_t^2 \cdot t = 31.5^2 \times 4 = 3969(kA)^2 \cdot s$

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 6.53(kA)^2 \cdot s$$

$$I_t^2 \cdot t > Q_k, \text{ 合格};$$

热稳定校验： $i_{es} = 80kA > i_{sh} = 6.93kA$ ，合格。

(2) 35kV 线路侧及变压器侧选用 ZW7-40.5 型户外真空断路器。

额定电压： $U_N = 40.5kV > U_{Ns} = 35kV$ ，合格；

额定电流： $I_N = 1600A > I_{max} = 346.42A$ ，合格；

额定开断电流： $I_{Nbr} = 31.5kA > I'' = 5.63kA$ ，合格；

短路关合电流： $i_{Ncl} = 80kA > i_{sh} = 14.36kA$ ，合格；

动稳定校验： $I_t^2 \cdot t = 31.5^2 \times 4 = 3969(kA)^2 \cdot s$

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 21.17(kA)^2 \cdot s$$

$$I_t^2 \cdot t > Q_k, \text{ 合格};$$

热稳定校验： $i_{es} = 80kA > i_{sh} = 14.36kA$ ，合格。

(3) 10kV 线路侧选用 KYN28A-12(Z) 高压开关柜，柜内装设 ZN63-12 断路器。

额定电压： $U_N = 12kV = U_{Ns} = 10kV$ ，合格；

额定电流： $I_N = 1250A > I_{max} = 189.4A$ ，合格；

额定开断电流： $I_{Nbr} = 31.5kA > I'' = 12.0kA$ ，合格；

短路关合电流： $i_{Ncl} = 80kA > i_{sh} = 24.96kA$ ，合格；

动稳定校验： $I_t^2 \cdot t = 31.5^2 \times 4 = 3969(kA)^2 \cdot s$

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 111.86(kA)^2 \cdot s$$

$$I_t^2 \cdot t > Q_k, \text{ 合格};$$

热稳定校验： $i_{es} = 80kA > i_{sh} = 24.96kA$ ，合格。

(4) 10kV 变压器侧选用 KYN28A-12(Z) 型高压开关柜，柜内装设 ZN63-12 断路器。

额定电压： $U_N = 12kV = U_{Ns} = 10kV$ ，合格；

额定电流： $I_N = 2000A > I_{max} = 1212.47A$ ，合格；

额定开断电流： $I_{Nbr} = 31.5kA > I'' = 12.0kA$ ，合格；

短路关合电流： $i_{Ncl} = 80kA > i_{sh} = 24.96kA$ ，合格；

动稳定校验： $I_t^2 \cdot t = 31.5^2 \times 4 = 3969(kA)^2 \cdot s$

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 111.86(kA)^2 \cdot s$$

$I_t^2 \cdot t > Q_k$ ，合格；

热稳定校验： $i_{es} = 80kA > i_{sh} = 24.96kA$ ，合格。

第 4.2 节 隔离开关选择及校验

(1) 110kV 隔离开关选用 GW5-110 /1000-80 型隔离开关。

额定电压： $U_N = 110kV = U_{Ns} = 110kV$ ，合格；

额定电流： $I_N = 1000A > I_{max} = 206.7A$ ，合格；

动稳定校验： $I_t^2 \cdot t = 21.5^2 \times 5 = 2311(kA)^2 \cdot s$

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 6.53(kA)^2 \cdot s$$

$I_t^2 \cdot t > Q_k$ ，合格；

热稳定校验： $i_{es} = 80kA > i_{sh} = 6.93kA$ ，合格。

(2) 35kV 隔离开关选用 GW4-35D/1000-83 型隔离开关。

额定电压： $U_N = 35kV = U_{Ns} = 35kV$ ，合格；

额定电流： $I_N = 1000A > I_{\max} = 346.42A$ ，合格；

动稳定校验： $I_t^2 \cdot t = 25^2 \times 4 = 2500(kA)^2 \cdot s$

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 21.17(kA)^2 \cdot s$$

$I_t^2 \cdot t > Q_k$ ，合格；

热稳定校验： $i_{es} = 83kA > i_{sh} = 14.36kA$ ，合格。

第 4.3 节 电流互感器选择及校验

(1) 110kV 电流互感器：选用 LCWB6-110 型电流互感器。

一次回路额定电压和电流： $U_{N1} = 110kV = U_{Ns} = 110kV$ ，合格；

$$I_{N1} = 2 \times 300A > I_{\max} = 206.7A$$
，合格；

热稳定校验：

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 6.53(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 = (75 \times 0.3)^2 = 506.25(kA)^2 \cdot s$$

$(K_t I_{Nt})^2 > Q_k$ ，合格；

内部动稳定校验：

$$\sqrt{2} I_{N1} K_{es} = \sqrt{2} \times 0.3 \times 130 = 55.15kA > i_{sh} = 6.93kA$$
，合格。

(2) 35kV 电流互感器：线路侧选用 LZZB8-35 型电流互感器。

一次回路额定电压和电流： $U_{N1} = 35kV = U_{Ns} = 35kV$ ，合格；

$$I_{N1} = 300A > I_{\max} = 216.5A$$
，合格；

热稳定校验：

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 21.17(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 = (65 \times 0.3)^2 = 380.25(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 > Q_k, \text{ 合格};$$

内部动稳定校验：

$$\sqrt{2} I_{N1} K_{es} = \sqrt{2} \times 0.3 \times 100 = 42.42kA > i_{sh} = 14.36kA, \text{ 合格}。$$

变压器侧选用 LR-35 型电流互感器。

一次回路额定电压和电流： $U_{N1} = 35kV = U_{Ns} = 35kV$ ，合格；

$$I_{N1} = 800A > I_{\max} = 346.42A, \text{ 合格};$$

热稳定校验：

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 21.17(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 = (65 \times 0.8)^2 = 2704(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 > Q_k, \text{ 合格};$$

内部动稳定校验：

$$\sqrt{2} I_{N1} K_{es} = \sqrt{2} \times 0.8 \times 100 = 113.12kA > i_{sh} = 14.36kA, \text{ 合格}。$$

(3) 10kV 电流互感器：选用 LZZBJ9-10 型电流互感器。

一次回路额定电压和电流： $U_{N1} = 10kV = U_{Ns} = 10kV$ ，合格；

$$I_{N1} = 2000A > I_{\max} = 1212.47A, \text{ 合格};$$

热稳定校验：

$$Q_k = Q_p = \frac{I''^2 + 10I_2^2 + I_4^2}{12} = 111.86(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 = (50 \times 2)^2 = 10000(kA)^2 \cdot s$$

$$(K_t I_{Nt})^2 > Q_k, \text{ 合格};$$

内部动稳定校验：

$$\sqrt{2}I_{N1}K_{es} = \sqrt{2} \times 2 \times 90 = 254.52kA > i_{sh} = 24.96kA , \text{合格。}$$

第 4.4 节 电压互感器选择及校验

《3~110kV 高压配电装置设计规范》规定，用熔断器保护的电压互感器可不验算动稳定和热稳定。

(1)110kV 电压互感器：出线电压互感器选用 TYD-110 成套电容式电压互感器，母线电压互感器选用 JDCF-110 单相瓷绝缘电压互感器。

一次回路电压： $0.8U_{N1} = 88kV < U_{Ns} = 110kV < 1.2U_{N1} = 132kV$ ，合格；

二次回路电压： $110/\sqrt{3}V$ ，合格。

(2)35kV 电压互感器：母线电压互感器选用 JDZXW-35 单相环氧浇注绝缘电压互感器。

一次回路电压： $0.8U_{N1} = 28kV < U_{Ns} = 35kV < 1.2U_{N1} = 42kV$ ，合格；

二次回路电压： $110V$ ，合格。

(3)10kV 电压互感器：母线电压互感器选用 JSZK1-10F 三相环氧浇注绝缘电压互感器。

一次回路电压： $0.8U_{N1} = 8kV < U_{Ns} = 10kV < 1.2U_{N1} = 12kV$ ，合格；

二次回路电压： $110V$ ，合格。

第 4.5 节 高压熔断器选择及校验

对于保护电压互感器用的高压熔断器，只需按额定电压及断流容量两项来选择。

(1)35kV 高压熔断器，选用 RXW-35/0.5 型户外跌落式高压熔断器，

额定电压： $U_N = 35kV = U_{Ns} = 35kV$ ，合格；

断流容量： $S_{Ns} = 2000MVA > S'' = 341.29MVA$ ，合格。

(2)10kV 高压熔断器，选用 RN2-10/0.5 型户内限流式高压熔断器，

额定电压： $U_N = 10kV = U_{Ns} = 10kV$ ，合格；

断流容量： $S_{Ns} = 1000MVA > S'' = 207.84MVA$ ，合格。

第 4.6 节 母线选择及校验

4.6.1 母线选择及校验的一般规定

(1) 汇流母线按正常工作最大电流 $I_{g \max}$ 选择其截面 $S(mm^2)$ ，即按长期发热允许电流选择，要求导体所的电路上最大持续工作电流 $I_{g \max}$ 应不大于导体长期发热的允许电流 I_y ，即

$$I_{g \max} \leq I_y$$

(2) 按短路热稳定校验：

$$S \geq \frac{I_\infty}{C} \sqrt{t_j \cdot k_f}$$

式中 C ——散热系数

k_f ——集肤效应系数

(3) 按电晕电压校验 (35kV 及以上电压级母线)：使晴天工作电压小于临界电晕电压，即

$$U_{lj} \geq U_g$$

式中 U_{lj} ——临界电晕电压 (kV)，其值按下式计算：

$$U_{lj} = 84km_r \delta r \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \lg \frac{a}{r} \right)$$

式中 k ——三相导体等边三角形布置取 1，水平布置取 0.96；

m_r ——导线表面粗糙系数，管型母线及单股导线取 0.98 ~ 0.93，多股绞线取 0.87 ~ 0.83；

δ ——空气相对密度；

r ——导线半径，矩形母线为四角的曲率半径；

a ——相间距离。

(4) 硬母线校验动稳定

$$\sigma_{xu} \geq \sigma_r$$

式中 σ_{xu} 允许应力

4.6.1 本变电站母线选择及校验

(1) 110kV 母线选择

110kV 汇流母线按最大可能负荷 68000kW 计算, 则在当地常温 25 时, 最大持续工作电流为:

$$I_{g \max 25} = \frac{68000}{\sqrt{3} \times 110} = 356.92A$$

归算到温度为 $t=40$, 则

$$I_{g \max 40} = \frac{I_{g \max 25}}{k_{\theta}} = \frac{356.92}{0.81} = 440.64A$$

式中 k_{θ} ——温度校正系数。

该级汇流母线采用管型母线, 选择 LGJ—185, 载流量为 510A。

热稳定校验:

$$S = 185mm^2 > \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_j \cdot k_f} = \frac{2.54 \times 10^3}{97} \sqrt{3.43 \times 1} = 48.5mm^2, \text{合格};$$

电晕校验:

$$U_{lj} = 84km, \delta r \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \lg \frac{a}{r}\right) = 84 \times 0.96 \times 0.8 \times 1 \times 1.21 \times \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{1.21 \times 1}} \lg \frac{200}{1.21}\right)$$

$$= 220.1kV > U_g = 110kV, \text{合格}。$$

(2) 35kV 母线: $I_{g \max 25} = \frac{38000/2}{\sqrt{3} \times 35} = 313.43A$

$$I_{g \max 40} = \frac{I_{g \max 25}}{k_{\theta}} = \frac{313.43}{0.81} = 386.95A$$

该电压等级母线选用管型母线 LGJ—185，载流量为 510A。

热稳定：

$$S = 185\text{mm}^2 > \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_j \cdot k_f} = \frac{4.46 \times 10^3}{97} \sqrt{3.43 \times 1} = 84.91\text{mm}^2, \text{合格};$$

电晕电压：

$$U_{lj} = 84km_r \delta r \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \lg \frac{a}{r}\right) = 84 \times 0.96 \times 0.8 \times 1 \times 0.77 \times \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{0.77 \times 1}} \lg \frac{200}{0.77}\right) \\ = 148.6\text{kV} > U_g = 35\text{kV}, \text{合格}。$$

(3) 10kV 母线： $I_{g \max 25} = \frac{12500}{\sqrt{3} \times 10} = 721.7\text{A}$

$$I_{g \max 40} = \frac{I_{g \max 25}}{k_0} = \frac{721.7}{0.81} = 890.9\text{A}$$

选用单条矩形铝母线 LMY—110 × 10，其载流量 1663A。

热稳定： $S = 110 \times 10\text{mm}^2 > \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_j \cdot k_f} = \frac{9.79 \times 10^3}{97} \sqrt{3.43 \times 1} = 186.92\text{mm}^2, \text{合格};$

动稳定：取跨度 $l=100\text{cm}$ ，相间距离 $a=30\text{cm}$ ，震动系数 $\beta=1$ ，截面系数 $W_x=24\text{cm}^3$ ，水平平行放置的母线中产生的最大机械应力为

$$\sigma_r = 1.76 \times 10^{-3} \times \frac{l^2}{aw} i_{ch}^2 \beta = 1.76 \times 10^{-3} \times \frac{100^2}{30 \times 29} \times 24.96^2 \times 1 = 12.46\text{kg/cm}^2$$

母线允许应力为 $\sigma_{ux} = 500 - 700\text{kg/cm}^2$ ，合格。

第 5 章 防雷保护计算

本变电站直击雷防护采用避雷针，变电站围墙四角各布置 1 支避雷针，共布置 4 支避雷针，每支避雷针高 30m。本站东西向长 99m，南北向宽 68m，占地面积 6732m²，110kV 配电装置构架高 12.5m，35kV 终端杆高 13.5m。避雷针保护范围计算如下：

各针保护半径 r_x 由下式计算：

$$r_x = (1.5h - 2h_x)p$$

式中， p ——高度影响系数，当 $h \leq 30m$ 是， $p=1$ ；

h ——避雷针高度；

h_x ——被保护物高度。

四针保护半径为

$$r_{x1} = r_{x2} = r_{x3} = r_{x4} (1.5 \times 30 - 2 \times 13.5) = 18m$$

两针间的保护宽度为

$$b_{x1-2} = 1.5(30 - \frac{99}{7 \times 1} - 13.5) = 3.54m$$

$$b_{x2-3} = b_{x4-1} = 1.5(30 - \frac{68}{7 \times 1} - 13.5) = 10.19m$$

$$b_{x3-4} = 1.5(30 - \frac{99}{7 \times 1} - 12.5) = 5.04m$$

$$b_{x2-4} = 1.5(30 - \frac{120}{7 \times 1} - 12.5) = 0.75m$$

由计算结果可知，保护宽度都大于零，所以变电站内所有被保护物都在保护范围内
避雷针配置图见图 02 电力-毕业设计-10。

总 结

毕业设计是在完成了理论课程和毕业实习的基础上对所学知识 一次综合性的总结,是工科学生完成基础课程之后,将理论与实践有机联系起来的一个重要环节,是为以后走向工作岗位能更好的服务社会打下基础是重要环节。通过本次毕业设计,我树立了工程观点,能初步联系实际,基本掌握了 110kV 变电站电气主接线设计的基本步骤和方法,并在分析、计算和解决实际工程能力等方面得到训练,进一步巩固了电力生产的专业知识,掌握了工程绘图、CAD 绘图方面的知识、方法,掌握了科技论文写作的一般知识及科技文献资料的查找技巧,为以后从事设计、运行和科研工作,奠定必需的知识基础。110kV 变电站电气一次部分初步设计的过程,是对所学知识进行的一次检验和实践,从而使电力专业知识得到巩固和加深,逐步提高了分析问题和解决问题的能力。

在设计的过程中,我查阅了大量的文献资料,积累了丰富的第一手材料,在主接线设计、电气设备选择、平面布置等具体设计任务中进行了大量的比较、计算、优化有效的培养了自己分析问题、解决问题的能力,并使专业知识得到巩固和升华。

在设计工程中,因为时间紧、任务重,特别是 CAD 制图难度比较大,经常是通宵达旦的计算、绘图,十分辛苦。这使我深深感受到了奋战在我国电力系统设计第一线的专家、工程师和技术人员的辛劳,对他们为我国电力事业所付出的汗水所做出的贡献表示深深的敬意。在以后的学习和工作中,我将继续发扬这种能吃苦耐劳的精神,为我国电力事业发展做出应有的贡献。

但在本次设计中仍有不足与疏漏。在设计过程中,虽然有老师的耐心讲解,有大量的文献资料可供查阅,但对于一些具体问题,比如 PT、CT 二次侧的选择条件、复杂网络的短路电流计算等,仍感觉吃不透,我将在以后的工作、学习中扬长避短,发扬严谨的科学态度,使所到的知识不断升华。

参考文献

- [1] 弋东方 《电力工程电气设计手册》(电气一次部分) 1989年12月第1版 中国电力出版社
- [2] 弋东方 《电力工程电气设备手册》(电气一次部分上、下册) 1998年10月第1版 中国电力出版社
- [3] 范锡普 《发电厂电气部分》 1995年11月第1版 中国电力出版社
- [4] 黄纯华 《发电厂电气部分课程设计参考资料》 1987年6月第2版 水利电力出版社
- [5] 国家电力公司成套设备部 《城乡电网建设改造设备使用手册》(技术参数分册) 2001年10月第1版 中国电力出版社
- [6] 何仰赞 温增银 《电力系统分析》(上、下册) 2002年1月第3版 华中科技大学出版社
- [7] 中国工程建设标准化协会电气工程委员会 《注册电气工程师执业资格考试必备标准规范汇编》 2003年8月第1版 中国计划出版社
- [8] 胡国根 王战铎 《高电压技术》 1996年1月第1版 重庆大学出版社
- [9] 白忠敏 《电力工程直流系统设计手册》 1999年1月第1版 中国电力出版社

致 谢

值此论文完成之际，我衷心地感谢***教授。在我的设计过程中*教授给予了悉心地指导和精辟的建议，使得本课题的设计任务得以顺利完成，特别是在设计的最初阶段，*教授耐心细致地给我讲解，指导我查阅资料，为我排除困扰，使我走出困境。在我的设计过程中，*教授倾注了大量的心血和汗水，他严谨的治学态度、渊博的知识水平和踏实的工作作风给我留下了深刻的印象，在此，我向*老师致以最诚挚的谢意。

同时，我感谢***学电力工程教研室、图书馆理科书库、资料室、自然科学开架阅览室全体老师给我提供的帮助和指导，感谢各位同学在学习、生活中给我的鼓励和帮助。感谢***同学在设计过程中同我一起探讨遇到的问题，使我能够顺利完成设计。

衷心感谢其他所有关心我，帮助我的老师、同学和朋友们。