

发电工程设计项目经理（设总）培训课题

第二部分：专业设计基础知识

第六章：电气一次线专业设计基础知识

华北电力设计院工程有限公司

2012 年 8 月 北京

编写：高惠民

校审：马 安

目 录

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 1 | 概述..... | 1 |
| 1.1 | 电气一次线的设计范围..... | 1 |
| 1.2 | 术语..... | 1 |
| 2 | 电气一次线的设计主要内容..... | 2 |
| 2.1 | 电气一次线在初步可行性研究报告设计阶段中的主要工作内容..... | 2 |
| 2.2 | 电气一次线在可行性研究报告设计阶段中的主要工作内容..... | 3 |
| 2.3 | 电气一次线在初步设计阶段中的主要工作内容..... | 3 |
| 2.4 | 电气一次线在施工图设计阶段中的主要工作内容..... | 5 |
| 3 | 电气主接线..... | 6 |
| 3.1 | 设计依据..... | 6 |
| 3.2 | 主接线设计基本要求..... | 8 |
| 3.3 | 电气主接线几种型式..... | 10 |
| 3.4 | 大型电厂电气主接线发展特点..... | 16 |
| 3.5 | 厂、网分家后的新问题..... | 18 |
| 3.6 | 远距离输电带来的问题..... | 21 |
| 4 | 电气主设备选择..... | 23 |
| 4.1 | 发电机..... | 23 |
| 4.2 | 主变压器..... | 25 |
| 4.3 | 高压厂用变和起动/备用变压器容量..... | 27 |
| 4.4 | 离相封闭母线..... | 28 |
| 5 | 电气主设备中性点接地方式..... | 29 |
| 5.1 | 电力网中性点接地方式几种型式..... | 29 |
| 5.2 | 主变压器中性点接地方式..... | 30 |
| 5.3 | 发电机中性点接地方式..... | 30 |
| 5.4 | 高压厂用电系统中性点接地方式..... | 31 |
| 5.5 | 380V 低压系统中性点接地方式..... | 32 |
| 6 | 厂用电系统..... | 33 |
| 6.1 | 基本要求..... | 33 |

| | | |
|-----|-------------------------------------|----|
| 6.2 | 厂用电负荷类型、电压等级划分和厂用电率..... | 33 |
| 6.3 | 交流保安电源和不停电电源..... | 39 |
| 6.4 | 专业间相互配合..... | 40 |
| 7 | 高压配电装置..... | 41 |
| 7.1 | 设计主要原则..... | 41 |
| 7.2 | 设计基本要求..... | 42 |
| 7.3 | 专业间相互配合..... | 47 |
| 8 | 过电压保护及接地..... | 47 |
| 8.1 | 过电压几个基本概念..... | 47 |
| 8.2 | 发电厂、变电所雷过电压保护设计..... | 50 |
| 8.3 | 220kV 及以下和 330kV 及以上配电装置绝缘配合特点..... | 51 |
| 8.4 | 接地的基本概念和接地装置设计..... | 51 |

1 概述

1.1 电气一次线的设计范围

电气一次线的设计范围，一是电力送出部分：从发电机的出线端子起，经主变压器升压，通过变电站分配电能，直至出线线路的门型架；其次是主厂房和有关辅助车间的生产用电、办公用电和生活用电部分的设计；再就是对过电压的防护和安全接地系统的设计。

1.2 术语

1.2.1 电力系统 power system

电力系统是由发电、供电（输电、变电、配电）、用电设施和为保证这些设施正常运行所需的继电保护和安全自动装置、计量装置、电力通信设施、自动化设施等构成的整体。

1.2.2 电力系统过电压 Power system overvoltage

超过电力系统最高工作电压。

1.2.3 电力系统中性点接地方式 Neutral grounding of electric system

电力系统中性点与大地之间的连接方式。

1.2.4 中性点有效接地系统 Neutral effectively grounded system

中性点和大地有紧密联系的电力系统，包括中性点直接接地和经小电阻或小电抗接地等大接地电流系统。

1.2.5 中性点非有效接地系统 Neutral uneffectively grounded system

中性点和大地没有紧密联系的电力系统，包括中性点不接地、经消弧线圈接地和经高阻抗接地等小接地电流系统。

1.2.6 次同步谐振 Subsynchronous resonance

电力系统发生电感电容谐振的频率与汽轮发电机组的轴系扭振某一振型的频率互补时所发生的谐振。

1.2.7 黑启动 black start

当某电力系统因故障停运后，通过该系统具有自启动能力机组的启动，带动系统内其他无自启动能力机组，逐步恢复系统运行的过程。

1.2.8 高压配电装置 high voltage switchgear

在发电厂和变电所中，由 35kV 及以上电压等级的各种电气设备组合成的电气设

施。

1.2.9 3/2 断路器接线 one-and-a-half breaker arrangement

即一台半断路器接线。对两个回路而言，三台断路器串联跨接在两组母线之间，且两个回路分别连接到中间断路器两端的双母线接线。

1.2.10 4/3 断路器接线 one-and-one-third breaker arrangement

对三个回路而言，四台断路器串联跨接在两组母线之间，且三个回路分别连接到中间两个断路器两端及中间的双母线接线。

1.2.11 角形接线 Angle-type connection scheme

各断路器互相连接而成闭合的环形电路。

1.2.12 高压厂用工作变压器 Unit auxiliary transformer

向机组中压厂用负荷供电的变压器。

1.2.13 启动/备用变压器 Stand-by transformer

为提供发电厂机组启动和备用电源而设置的变压器。

1.2.14 低压厂用变压器 Step-down station transformer

向低压 380V 厂用系统供电的变压器。

1.2.15 保安电源 Emergency power source

为避免全厂事故停电而设置的向事故保安负荷供电的电源。

1.2.16 厂用高压开关柜 Medium voltage switchgear cubicle station auxiliary

用于高压厂用电系统作为受电和配电设备，并为高压辅助设备提供控制、测量和保护等功能的成套配电装置。

1.2.17 厂用低压开关柜 Low voltage switchgear cubicle for station auxiliary

用于低压厂用电系统作为受电和配电设备，并为低压辅助设备提供控制、测量和保护等功能的成套配电装置。

2 电气一次线的设计主要内容

发电厂设计的设计阶段有初步可行性研究报告、可行性研究报告、初步设计和施工图设计阶段。电气专业在不同的设计阶段有着不同深度的内容。

2.1 电气一次线在初步可行性研究报告设计阶段中的主要工作内容

初步可行性研究报告设计阶段的任务是：进行地区性的规划选厂，新建工程应对多个厂址方案进行技术和经济比较，择优推荐出两个或以上可能建厂的厂址方案作为

开展可行性研究的厂址方案。

电气专业在此阶段的工作量是配合系统专业就出线条件、总体布置设想等提供意见，提出电气主接线等与初步投资估算有关的初步设想

2.2 电气一次线在可行性研究报告设计阶段中的主要工作内容

可行性研究是基本建设程序中为项目决策提供科学依据的一个重要阶段。可行性研究报告是编写项目申请报告的基础，是项目单位投资决策的参考依据。

其主要任务是对推荐厂址的总体规划、厂区总平面规划以及各工艺系统提出工程设想，以满足投资估算和财务评价的要求。应论证并提出主机技术条件，以满足主机招标的要求。

主要工作内容：

a) 主变压器：根据厂址条件及大件运输条件，对 600MW 及以上机组主变压器型式选择提出推荐意见。

b) 电气主接线：根据电厂接入系统方案，综合本期工程和规划容量，对电气主接线方案提出推荐意见。对装设发电机出口断路器的设计方案应有论证。

c) 对高压启动/备用电源引接设计方案提出推荐意见。

d) 提出高压厂用电接线方案的原则性意见，对 600MW 及以上空冷机组以及 1000MW 机组，还应提出高压厂用电电压等级的选择意见。

e) 结合厂用电接线设计方案，对各工艺系统负荷供电设计方案提出意见。

f) 结合厂区总平面规划布置，对电气构筑物布置、高压配电装置型式以及网络继电器室等的设计方案和规模提出意见。

g) 对扩建工程，应充分利用（老厂）已有设备（施），对扩建或改造设计方案提出意见。

2.3 电气一次线在初步设计阶段中的主要工作内容

初步设计所确定的设计原则和建设标准，将宏观地勾画出工程概貌，控制工程投资，体现技术经济政策的贯彻落实。所以初步设计是工程建设中非常重要的设计阶段，各种设计方案应经过充分的论证和选择。

初步设计深度的要求，应满足以下要求：进行方案的比较选择和确定；主要设备材料订货；土地征用；基建投资的控制；施工图设计的编制；施工组织的编制；施工准备和生产准备等。

2.3.1 对设计文件的基本要求：

a) 设计文件表达设计意图充分，采用的建设标准适当，技术先进可靠，指标先进合理，专业间相互协调、分期建设与发展处理得当。重大设计原则应经多方比较选择，提出推荐方案供审批选择。

b) 积极稳妥地采用成熟的新技术，力争比以往同类工程在水平上有所提高。设计文件中应阐明其技术优越性、经济合理性和采用可能性。

c) 设计概算应准确地反映设计内容及深度，满足控制投资、计划安排及拨款的要求。

d) 设计文件内容完整、正确，文字简练，图面清晰，签署齐全。

2.3.2 主要工作内容：

a) 电气主接线：主接线方案比较与确定；各级电压负荷，功率交换及出线回路数；主变压器选择（规范、容量、阻抗、分接头、台数等）；启动/备用电源的引接方式；各级电压中性点接地方式；补偿装置的设置。

b) 短路电流计算：短路电流计算结果及有关计算的依据、接线、运行方式及系统容量等的说明。

c) 导体及设备选择：主要设备选择及对扩建工程原有设备的校验。

d) 厂用电接线及布置：厂用电电压等级选择及接线方案比较，负荷计算及厂用变压器选择，中性点接地方式选择；高低压厂用电工作、启动/备用电源连接方式，分接头及阻抗选择；厂用电压水平验算；厂用配电装置布置及设备选型。

e) 事故保安电源：事故保安电源的设置方案、接线方式及设备选择；保安电源的设备布置。

f) 电气设备布置：电气出线走廊及电气建（构）筑物布置的方案比较，厂区环境对电气设备的影响；高压配电装置型式选择及间隔配置；主变压器高压厂用变压器、启动/备用变压器、并联电抗器等布置；发电机出线及设备布置；高压厂用变压器及启动/备用变压器低压侧连接布置等。

g) 过电压保护及接地：主、辅建（构）筑物的防雷保护；电气设备的绝缘配合和防止过电压的保护措施；避雷器的选型与配置；环境污秽情况及电气外绝缘防污秽措施；土壤电阻率及接地装置的主要原则；接地材料选择及防腐措施。

h) 照明和检修网络：工作、事故、安全照明供电电压及照明和检修网络供电方

式；单元控制室、网络控制室等照明方式。

i) 电缆及电缆设施：电缆热稳定截面的选择；电缆选型原则；主厂房、厂区电缆隧道、桥架、沟道型式选择及路径；阻燃电缆和耐火电缆选用原则以及电缆防火措施。

j) 检修及试验。

k) 阴极保护。

l) 节能方案。

m) 劳动安全和职业卫生。

2.4 电气一次线在施工图设计阶段中的主要工作内容

初步设计经过审查批准，便可根据审查结论和主要设备落实情况，开展施工图设计。

2.4.1 对设计文件的基本要求

a) 符合初步设计审批文件，符合有关标准规范，符合工程技术组织措施及卷册任务书要求。

b) 采用的原始资料、数据及计算公式要正确、合理、落实，计算项目完整，演算步骤齐全，结果正确。

c) 卷册的设计方案、工艺流程、设备选型、设施布置、结构型式、材料选用等，要符合运行安全、经济，操作检修维护施工方便，造价低、原材料节约的要求。新技术的采用要落实。

d) 在克服工程“常见病”、“多发病”方面，应比同类型工程有所改进。凡符合卷册具体条件的典型、通用设计应予以套（活）用。

e) 卷册的设计内容与深度要完整、无漏项，并符合施工图成品内容深度的要求。各专业及专业内部的成品之间要配合协调一致，满足施工要求。

2.4.2 电气一次线设计的内容

施工图设计阶段电气专业的设计内容包括图纸、说明书、计算书（仅存工程档，不出设计单位）和设备材料清册。火力发电厂施工图卷册组织示例见下：

a) 总的部分：包括电气总图、说明书及卷册目录、设备及主要材料清册。

b) 电气主接线、短路电流计算及主要设备选择。

c) 高压配电装置：各级电压的屋外或屋内高压配电装置图。

- d) 屋外主变压器、高压厂用变压器、起动/备用变压器安装;
- e) 发电机变压器封闭母线安装、发电机小间布置安装、高压厂用变压器和起动/备用变压器低压侧共箱封闭母线安装;
- f) 厂用电接线: 主厂房高压厂用电接线、主厂房低压厂用电接线、主厂房厂用配电装置布置及厂用变压器安装、辅助车间厂用电接线及配电装置安装等;
- g) 全厂过电压保护及接地;
- h) 全厂行车滑线安装;
- i) 电缆敷设(包括电缆防火封堵);
- j) 全厂照明及检修系统;
- k) 阴极保护。

本《基础知识》对全厂行车滑线安装、电缆、照明系统及阴极保护限于篇幅不作说明,短路电流主要是计算部分也不作介绍。对主接线、厂用电、主要电气设备容量选择、中性点接地方式、高压配电装置和过电压保护接地等问题做一说明,主要说清设计的主要原则和一些基本概念,以及专业间相互配合。

3 电气主接线

电气主接线是发电厂电气设计的首要部分,也是构成电力系统的重要部分,它表明了发电机、变压器、线路和断路器等电气设备以什么样的方式来连接。主接线的确定对电力系统整体及发电厂、变电所本身运行的灵活性、可靠性密切相关,对电气设备选择、配电装置布置、继电保护和控制方式的确定有较大影响。所以主接线设计是一个综合性的问题,必须正确处理好各方面的关系,根据电力系统发展要求,着重从发电厂在电力系统中所处地位、规模、性质和所采用设备特点考虑,通过技术经济比较,合理确定主接线方案。

3.1 设计依据

3.1.1 发电厂在电力系统中的地位和作用;

3.1.1.1 以前是按下面的原则进行分类:

- a) 大型主力电厂: 靠近煤矿、沿海、工业发达地区,接入 330~500kV 超高压系统。
- b) 中小型地区电厂: 一般接入 110~220kV 系统,电力在地区平衡。过去可以是供电电厂,也可以是供热电厂,现在由于国家能源政策,一般是供热电厂或燃劣质

煤电厂。

c) 企业自备电厂：对本企业供电或供热为主。

3.1.1.2 对于发电厂在电力系统中的地位和作用，在中国电力工程顾问集团公司编制的 GB/T《火力发电厂设计规范》（报批稿）中（以下简称《报批稿》）第 3.1.1 款中分为：

a) 基本负荷机组：应具有较高的可靠性和稳定性，能较好地参与电网的一次调频和二次调频；

b) 调峰机组（包括中间负荷机组与尖峰负荷机组）：应满足启动速度快，负荷变化灵活、能够适应频繁启停要求。

c) 具有黑启动功能的机组：应能够使机组在无任何外部供电的情况下，由自身能力启动机组并网发电。

d) 热电联产机组：应能兼顾发电和供热两个功能，在对外供热期间，应具有较高的供热可靠性。

e) 资源综合利用机组（包括燃用煤矸石、煤泥、页岩等低热值燃料发电的机组）：其可靠性和灵活性不宜过高要求。

3.1.2 发电厂分期和最终建设规模；

发电厂的机组容量根据电力系统规划容量、负荷增长速度和电网结构等因素进行选择，最大机组容量不宜超过系统总容量的 8~10%。这个数据对电网相对于机组容量较小时的限制数据。目前我国的电网容量都比较大，如华北电网的装机容量为 186655MW，京津唐电网的装机容量为 47200MW。如若装单机 1000MW 容量机组，占京津唐电网的 2.12%，占华北电网的 0.54%，停台机组，不会对电网造成大的波动。

3.1.3 负荷大小和重要性；

3.1.3.1 对于一级负荷必须有两个独立电源供电，且当任何一个电源失去后，能保证全部一级负荷不间断供电。

3.1.3.2 对于二级负荷一般要有两个独立电源供电，且当一个电源失去后，能保证全部或大部分二级负荷的供电。

3.1.3.3 对于三级负荷一般只需一个电源供电。

3.1.4 系统备用容量大小；

系统备用容量与电力系统容量相关，一般在 10~15%至 20~25%的范围。目前

东北电网统计是在 18~20%，京津唐电网约在 14 %。

3.1.5 系统专业对电气主接线提供的资料：

3.1.5.1 可行性研究阶段系统的提资内容：

说明本电厂在系统中的地位、作用、任务，初期和最终规模发电厂与系统连接方式、电厂的出线电压等级及出线回路数，各级电压等级的系统短路容量和阻抗。

主变压器（对变电站）、联络变压器容量、台数及连接方式，各级电压母线接线方式，各级电压出线回路数等。

3.1.5.2 初步设计阶段系统的提资内容：

电厂接入系统方案地理接线图，接入系统的电压等级、各级电压出线回路数、方向及落点、每回路输送容量和导线截面等；

系统的短路容量或归算的电抗值，包括最大、最小运行方式的正、负、零序电抗值。为了进行非周期分量短路电流计算，尚需系统的时间常数或电阻 R 、电抗 X 值；

对电气主接线的特殊要求；

根据接入系统设计的电气计算结果，提出本工程装设静止补偿装置、并联电抗器、串联电容补偿装置等型式、数量、容量和运行方式的要求；

主变压器和联络变压器的规范、变压器各侧的额定电压、阻抗、调压范围及各种运行方式下通过变压器的功率潮流、各级电压母线的电压波动值和谐波含量值、中性点接地方式；

系统稳定对断路器切断时间的要求，对 330 ~ 500kV 断路器根据内过电压提出合闸电阻值及投入时间；

对汽轮发电机组承担调峰容量和快控的要求；

发电机是否高功率因数或进相运行；

必要时提出对励磁系统的强励顶值电压的要求，对发电机励磁方式提出要求；

母线运行电压：近期远期母线电压可能变动范围；

系统内过电压数值及限制内过电压措施；

330 ~ 500kV 避雷器配置方案及通流要求。

3.2 主接线设计基本要求

主接线的设计应满足可靠性、灵活性和经济性三项基本要求。

3.2.1 可靠性

可靠性是指接线可靠、设备可靠。可靠性的要求还要考虑发电厂在电力系统中的地位。

主接线的可靠性在很大程度上取决于电气设备的可靠程度，采用可靠性高的设备可以简化接线。在《火力发电厂设计技术规程》（DL 5000-2000）（下面简称《大火规》）的 13.2.11 条中规定：“当配电装置采用六氟化硫全封闭组合电器时，不应设置旁路设施；当断路器为六氟化硫型时，不宜设旁路设施；当断路器为少油型时，除断路器有条件停电检修外，宜设置旁路设施”。

如大同第二发电厂一期工程 500kV 电气主接线采用双母线分段带旁路母线接线，断路器采用六氟化硫型断路器。但运行多年从来就没有用过旁路母线，旁路断路器的保护装置的插件，现场都给拔走了，作为其它断路器的备件用了。

主接线可靠性的具体要求：

- a) 断路器检修时，不宜影响对系统的供电。
- b) 断路器或母线故障以及母线检修时，尽量减少停运的回路数和停运时间，并要保证对一级负荷及全部或大部分二级负荷的供电。
- c) 尽量避免全停运的可能性。
- d) 大机组超高压电气主接线应满足可靠性的要求。对超高压系统和大容量机组的主接线一般是按双重故障考虑分析可靠性，不宜按更多重故障来考虑其可靠性。

3.2.2 灵活性

灵活性是指适应电厂不同时期各种工况要求的能力。灵活性应满足在调度、检修和扩建时的灵活性。

- a) 调度灵活性：应可以灵活地投入和切除发电机、变压器和线路，调配电源和负荷，满足系统在事故运行方式、检修运行方式以及特殊运行方式下的系统调度要求。
- b) 检修灵活性：可以方便地将断路器、母线及其相关的继电保护设备按计划检修退出运行，进行安全检修而不致影响电力系统的运行和对用户的供电。
- c) 扩建灵活性：可以容易地从初期接线过渡到最终接线，并要考虑便于分期过渡和扩建。在不影响连续供电或停电时间最短的情况下，投入新装机组、变压器或线路而不互相干扰，并且对一次和二次部分的改建工作量最少。

3.2.3 经济性

经济性是指在满足可靠性、灵活性要求前提下做到经济合理，投资省、占地面积

小、电能损耗少。

a) 投资省

1) 主接线应力求简单, 以节省断路器、隔离开关、电流和电压互感器、避雷器等一次设备。

大唐集团公司几个工程, 提出把原定的双母线方案改为发电机-变压器-线路组方案。许多发电公司也都要求简化电气主接线。

《大火规》13.2.11 条中: 对“35kV~220kV 配电装置的接线方式”, “初期工程可采用断路器数量较少的过渡接线方式, 但配电装置的布置应便于过渡到最终接线”。

在修改的《报批稿》中, 作为主接线设计原则的 16.2.1 条规定: “当电厂初期建设机组 2 台及以下, 出线回路少, 为节省投资, 宜简化电气主接线, 并采取便于扩建改造、减少停电损失的过渡措施”。

2) 要能使继电保护和二次回路不过于复杂, 以节省二次设备和控制电缆。

3) 要能限制短路电流, 以便于选择价格合理的电气设备或轻型电器。

b) 占地面积少

主接线设计要为尽可能减少配电装置布置占地面积创造条件。

c) 电能损失少

电能损耗少是指经济合理地选择主变压器的型式(双绕组、三绕组或自耦变压器), 避免因两次变压而增加电能损失。

3.2.4 大机组超高压电气主接线可靠性的特殊要求。

随着系统容量的发展, 机组容量等级在不断增大, 从 200MW、300MW 到 600MW 机组, 近年来又出现了 1000MW 级机组, 从而 200MW、300MW 机组已经不算大机组了。超高压一般指 330kV 以上电压。它们在系统中地位重要, 供电容量大、范围广, 发生事故可能使系统稳定破坏, 甚至瓦解, 造成巨大损失。为此对大机组超高压接线提出了可靠性的特殊要求: 如一台断路器检修, 不影响对系统的连续供电; 任何一进出线断路器故障或拒动, 不应切除一台以上机组和相应线路等。其可靠性是按双重故障考虑。我们设计的 600MW、1000MW 级机组的电厂均是按上述要求设计的主接线。

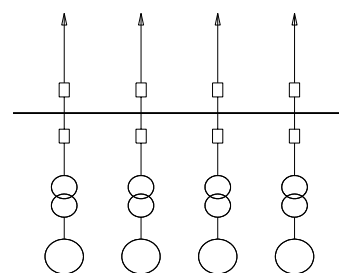
3.3 电气主接线几种型式

3.3.1 6~220kV 高压配电装置的基本接线

a) 单母线接线:

1) 优点: 接线简单、清晰, 设备少、操作方便、投资省, 便于扩建和采用成套配电装置。

2) 缺点: 不够灵活可靠, 母线或母线隔离开关故障或检修时, 均可造成整个配电装置停电。



单母线接线

b) 单母线分段接线:

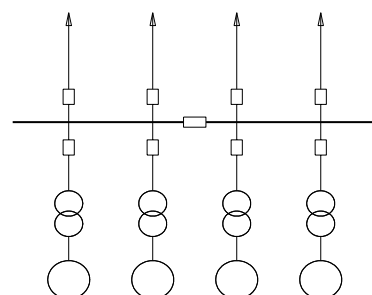
1) 优点:

用断路器将母线分段后, 对于重要用户可从不同段引出两个回路, 由两个电源供电。

当一段母线发生故障时, 分段断路器自动将故障段切除, 保障正常段母线不间断供电和不致使重要用户停电。

2) 缺点:

当一段母线或母线隔离开关故障或检修时, 该段母线段的回路都要在此期间停电。



单母线分段接线

当出线为双回路时, 常使架空线出现交叉跨越。扩建时需向两个方向均衡扩建。

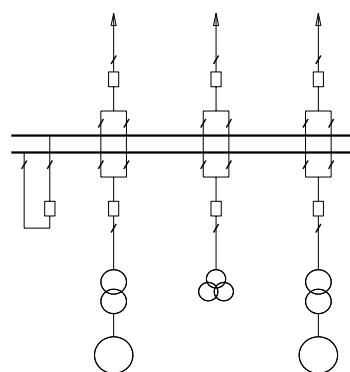
c) 双母线接线:

1) 优点:

供电可靠: 通过两组母线隔离开关的倒闸操作, 可以轮流检修一组母线而不致使供电中断; 一组母线故障后, 能迅速恢复供电; 检修任一回路的母线隔离开关, 只需停该回路。

调度灵活: 各个电源和各回路负荷可以任意分配到某一组母线上, 能灵活地适应系统中各种运行方式调度和潮流变化的需要。

扩建方便: 向双母线的左右任何一个方向扩建, 均不影响两组母线的电源和负荷均匀分配, 不会引起原有回路的停电。当有双回架空线路时, 可以顺序布置, 以致连接不同的母线段时, 不会如单母线分段那样导致出线交叉跨越。



双母线接线

便于试验。当个别回路需要单独进行试验时，可将该回路分开，单独接至一组母线上。

2) 缺点：

增加了一组母线及母线设备，每一回路增加了一组隔离开关，因此投资费用增加。

当母线故障或检修时，隔离开关作为倒闸操作电器，引起误操作几率增加。

3) 适用范围：当出线回路数或母线上电源较多、输送和穿越功率较大、母线故障后要求迅速恢复供电、母线或母线设备检修时不允许影响对用户的供电、系统运行调度对接线的灵活性有一定要求时采用。

d) 双母线分段接线：当变电站进出线回路数甚多时，双母线需要分段。

e) 增设旁路母线或旁路隔离开关的接线：为保证采用单母线分段或双母线的配电装置，在进出线断路器检修时，不中断对用户的供电，可增设旁路母线或旁路隔离开关。

f) 发电机 - 变压器 - 线路组单元接线：

1) 优点：接线最简单、设备最少，不需要复杂的高压配电装置。

2) 缺点：线路故障或检修时，变压器和机组需停运；变压器故障或检修时，机组和线路需停运。



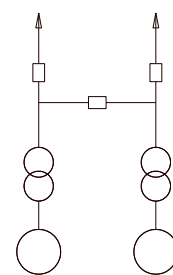
发-变-线路组单元接线

g) 桥形接线：

两回发电机-变压器-线路单元接线相连，构成桥形接线。桥形接线分为内桥与外桥两种接线，是长期开环运行的四角形接线。

1) 优点：高压断路器数量少，四个回路只需三台断路器。

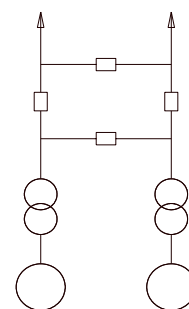
2) 缺点：①变压器的切除和投入较复杂，需动作两台断路器，并影响一回线路的暂时停运；②桥断路器检修时，两个回路解列运行；③出线断路器检修时，该线路需较长时间停运，但两台机组的电力通过一回线路送出。



内桥形接线

h) 3~5 角形接线：

多角形接线的各断路器互相连接而成闭合的环形，是单环形接线。为减少因断路器检修而开环运行的时间，保证角形接线运行可靠性，以采用 3~5 角形为宜，并且变压器与出线回路宜对角对称布置。



四角形接线

1) 优点：

投资省，平均每一回路只需装设一台断路器。

没有汇流母线，在接线的任一段上发生故障，只需切除这一段与其相连接的元件，对系统运行的影响较小。

接线成闭合环形，在闭环运行时，可靠性、灵活性较高。

每回路由两台断路器供电，在任一台检修时，不中断供电，也不需要旁路设施。隔离开关只作为检修时隔离之用，以减少误操作的可能性。

占地面小。

2) 缺点：

任一台断路器检修，都成开环运行，从而降低了接线的可靠性。

每个进出线回路都连着两台断路器，每台断路器又都连着两个回路，从而使继电保护和控制回路接线复杂。

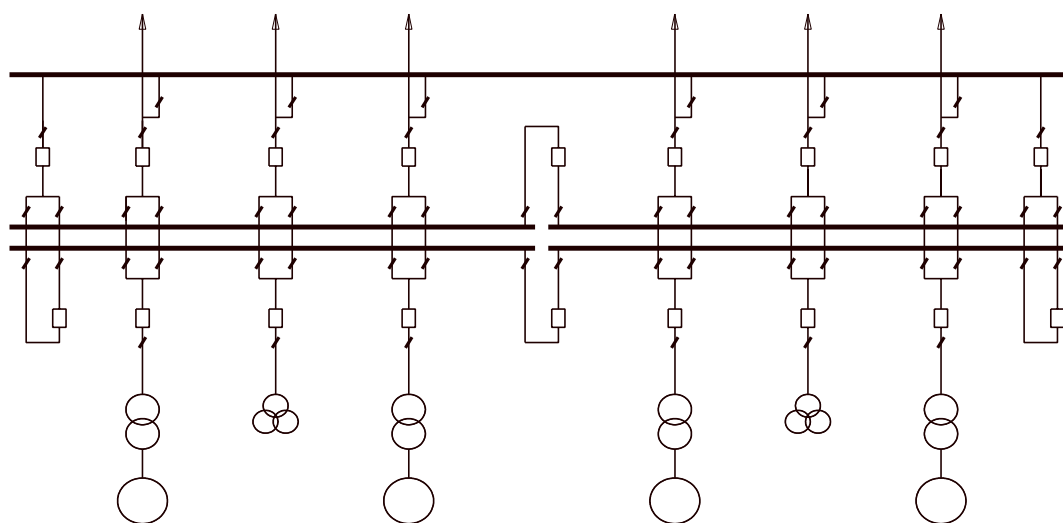
对于调峰电站当采用角形接线时，为提高运行可靠性，避免经常开环运行，一般在发电机出口设置断路器，开、停机需由发电机出口断路器承担。为此需增设发电机出口断路器，并增加了变压器空载损耗。

i) 其它接线：如 220kV 采用 $1\frac{1}{2}$ 断路器接线。

《大火规》中第 13.2.11 条：规定“若采用双母线分段接线不能满足电力系统稳定和地区供电可靠性的要求，且技术经济合理时，容量为 300MW 及以上机组发电厂的 220kV 配电装置也可采用一台半断路器的接线方式”。

3.3.2 330~500kV 超高压配电装置的主接线

a) 双母线三分段（或四分段）带旁路母线接线：



双母线四分段带旁路母线接

330~500kV 超高压配电装置接线的可靠性要求高，为限制故障范围，当进出线为 **6** 回及以上时，一般采用双母线单分段（或双分段）带旁路母线（或带旁路隔离开关）接线。如大同二电厂主接线即为双母线多分段接线（为 **6** 分段接线）。

这种接线可以缩小故障停电范围：当一段母线故障或连接在母线上的进出线断路器故障时，停电范围不超过整个母线的 $\frac{1}{3}$ （三分段时）或 $\frac{1}{4}$ （四分段时）；当一段母线故障合并分段或母联断路器拒动时，停电范围不超过整个母线的 $\frac{2}{3}$ 或 $\frac{1}{2}$ 。

b) 一台半 ($1\frac{1}{2}$) 断路器接线：

一台半断路器接线是一种没有多回路集结点、一个回路由两台断路器供电的双重连接的多环形接线，是现代国内外大型发电厂、变电所超高压配电装置广泛应用的一种接线。

《大火规》**13.2.13** 条规定：“**330kV~500kV** 配电装置的接线必须满足系统稳定性和可靠性的要求，同时也应考虑运行的灵活性和建设的经济性。当进出线回路数为六回及以上，配电装置在系统中具有重要地位时，宜采用一台半断路器接线；进出线回路数少于六回，如能满足系统稳定性和可靠性的要求时，也可采用双母线接线”。

当有六个回路时，采用一台半断路器接线形式的可靠性与采用双母线的可靠性是相当的，故在《报批稿》**16.2.11** 条中也明确：“**330kV~500kV** 配电装置的接线应满足系统稳定性和可靠性以及限制短路容量的要求，同时也应考虑电厂运行的灵活性和建设的经济性。……当进出线回路数为 **6** 回及以上，配电装置在系统中具有重要地位时，宜采用 $3/2$ 断路器接线。……进出线回路少于 **6** 回，当电网根据远景发展有限制短路容量、解环或解列运行的特殊要求时，可采用双母线接线，远期过渡到双母线分段接线”。

如沙岭子电厂、神头二厂、盘山电厂、托克托等电厂的主接线都是采用的一台半断路器接线。现在有 **500kV** 出线的电厂采用此种接线方式的较多。

1) 一台半断路器接线的特点：

有高度可靠性：每一个回路由两台断路器供电，发生母线故障时，只跳开与此母线相连的所有断路器，任何回路不会停电。在事故与检修相重合情况下的停电回路不会多于两个。

运行调度灵活：正常时两组母线和全部断路器都投入工作，从而形成多环形供电，运行调度灵活。

操作检修方便：隔离开关仅作检修操作时用，避免了将隔离开关作倒闸操作之用，误操作几率减少。检修母线时，回路不需要切换。

2) 采用一台半断路器接线时，注意的问题：

接线至少应有三个串（每串为三台断路器，接两个回路），才能形成多环形，当只有两个串时，属于单环形，类同角形接线。

成串配置原则：为提高一台半断路器接线的可靠性，防止同名回路（双回路出线或主变压器）同时停电的缺点，可按下述原则成串配置：

- I) 宜将电源线路和负荷线路配成一串；
- II) 同名回路应布置在不同串内。以免当一串的中间断路器故障或一串中母线侧断路器检修，同时串中另一侧回路故障时，使该串中两个同名回路同时断开。
- III) 初期仅两串时，同名回路宜分别接入不同侧的母线，进出线应装设隔离开关。当接线达三串及以上时，同名回路可接于同一侧母线，进出线不宜装设隔离开关。

过渡接线：最终为一个半断路器接线的过渡接线，初期应根据间隔配置位置和扩建情况采用断路器数量少的接线。

c) 发电机—变压器—线路单元接线：

大型电厂采用发电机—变压器—线路单元接线，厂内不设高压配电装置，将电能直接输送到附近的枢纽变电所。在下列情况宜采用本接线：

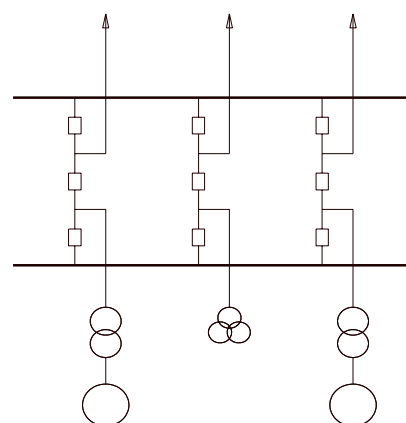
1) 某些地区矿源丰富，同地区有几个大型电厂，则汇总起来建设一个公用的枢纽变电所较为经济。

2) 有的电厂地位狭窄，厂内不设高压配电装置，不仅解决了电厂占地面积庞大的困难，而且也为电厂总平面布置创造有利条件，汽机房前可布置冷却塔或紧靠河流，从而缩短循环冷却水管道。

3) 有的电厂距现有枢纽变电所较近，直接从那里引出线路较为方便，因而在电厂内也不设高压配电装置。

d) 3~5 角形接线：

我国初期建设的 330kV 配电装置因电网比较简单，进出线回路数少，故多采用角形接线。主回路按一字形长条布置，环形母线架设在所有设备的上方，布置比较清晰、

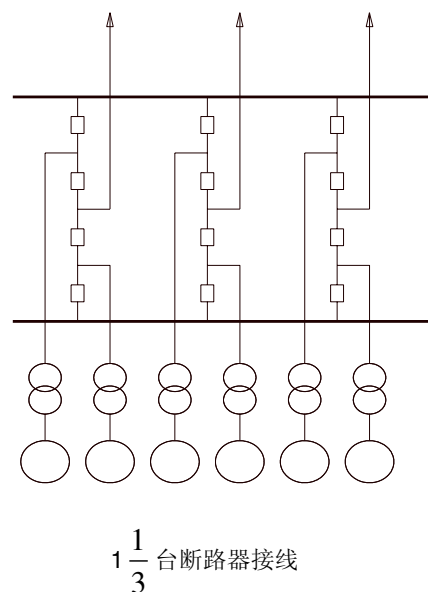


一台半断路器接线

直观，设备连线较短，占地面积小。进出线从条形布置的母线两侧引接，不受进出线回路数是否一致和进出线方向限制，并且可以随意向左右两侧扩建，所以这种布置方式较为灵活、方便、紧凑。其优缺点同前述。

e) 其它接线：

其他接线中包括有 $1\frac{1}{3}$ 台断路器接线。 $1\frac{1}{3}$ 台断路器接线特点是一串中有 4 台断路器接 3 个进出线回路，用于出线回路少，而进线回路较多的情况（应理解为进出线回路相差较多的情况）。我院设计的阳城电厂即采用 $1\frac{1}{3}$ 台断路器接线，装机 6 台 350MW 机组，输电至江苏省。距离远出线回路少，仅有 3 回线路，即 6 进 3 出，按 $1\frac{1}{3}$ 台断路器接线，组成三个完整串。与 $1\frac{1}{2}$ 台断路器接线相比，投资省、占地布置紧凑、扩建较灵活（二期扩建 $2\times 600\text{MW}$ 机组时，主接线形式为 $1\frac{1}{2}$ 台断路器接线）；但另一方面可靠性有所降低，布置比较复杂。阳城电厂工程 $1\frac{1}{3}$ 台断路器接线在我国是首次采用（苏联早有此种接线）。



不同类型的主接线相应有不同的配电装置布置型式，因此就有不同的占地面积，各种型式占地面积差异较大，选择主接线类型时要同时注意这个因素。

3.4 大型电厂电气主接线发展特点

由于厂网分家，各发电公司倾向于简化电气主接线。电气主接线采用简单可靠的接线方式的选择是一个涉及厂、网关系的综合性问题。它除了主要取决于接入系统的要求外，也与电厂的总平面布置、电气主接线、起动电源的引接、厂区的污秽等级和控制方式等因素有关。也与现在电气设备的可靠性提高，为简化电气主接线创造了条件。因此，简化接线方案的确定必须同时兼顾厂、网的不同要求，以使电厂和系统的连接方案在技术经济上取得总体的合理。

a) 采用简单可靠的单元接线方式。如发电机 - 变压器单元接线、扩大单元接线、发电机 - 变压器 - 线路组单元接线、桥形接线、多角形接线等，直接接入高压或超高压系统。

上海外高桥三期 $2\times 1000\text{MW}$ 机组，根据项目法人节省工程初投资的要求，以及

电网运行部门的意见，采用了内桥形接线；华能珞璜电厂三期工程 $2\times 600\text{MW}$ 机组 2 回 500kV 出线，不再扩建，采用了四角形接线。

根据这些要求，电力规划设计总院在修订《大火规》的《报批稿》16.2.2 条规定：“当配电装置不再扩建，能满足电厂运行要求，且电网对电厂主接线没有特殊要求时，宜简化接线形式，可采用发电机-变压器-线路组接线、桥形接线或角形接线”。

b) 接入 220kV 配电装置的单机容量一般不超过 300MW ，对 600MW 机组一般应接入 500kV 系统。

c) 当采用发电机 - 变压器单元接线时，为了考虑地区负荷的供电，有部分接入超高压配电装置，另部分接入 220kV 系统（如黄骅电厂第 1 台机组接入 220kV 系统，其余 3 台机组接入 500kV 系统）或全部接入超高压配电装置（如阳城电厂、托克托电厂、盘山电厂等）。

对于 200MW 及以上机组一般都采用与双绕组变压器组成单元接线，而不与三绕组变压器组成单元接线。当发电机容量与升高电压等级所能传输容量相比，发电机容量较小而不匹配时，可采用两台发电机接一台主变压器，组成扩大单元接线。如：阳城电厂发电机单机容量为 350MW ，而一回 500kV 输电线可传输容量约 80 万~100 万 kW ，发电机容量与输电线路的传输容量不相匹配，为减少主变压器台数节省投资，初设阶段提出扩大单元接线方案。当发电厂具有两种升高电压时，则宜装设联络变压器（如沙岭子电厂， 220kV 与 500kV 两种升高电压之间设置了联络变压器）。其原因是，对于大机组不推荐采用三绕组变压器，因采用三绕组变压器来解决电厂附近的地方负荷，由于机组容量大，造成在三绕组变压器中压侧的短路电流大，致使与中压侧相连的整个电网设备的投资增加。当采用三绕组变压时，又需要在发电机出口装设断路器。而大机组的额定电流和短路电流都很大，使得出口断路器制造困难，造价昂贵；另方面大机组要求尽量避免在发电机出口发生短路，力求主回路接线简单可靠。采用安全可靠的全链式封闭母线，采用双绕组变压器时，就可以做到主回路尽量不装设断路器。从布置上看双绕组变压器也较三绕组变压器简单、可靠。在这些方面《大火规》上有明确规定，如 13.1.7 条：“容量为 200MW 及以上的机组不宜采用三绕组变压器，如高压和中压间需要联系时，可在发电厂设置联络变压器或经变电所进行联络”。又如 13.2.8 条：“容量为 $200\sim 300\text{MW}$ 的发电机与双绕组变压器为单元连接时，在发电机与变压器之间不应装设断路器、负荷开关或隔离开关，但应有可拆连接点；技术

经济合理时，容量为 **600MW** 机组的发电机出口可装设断路器或负荷开关。此时主变压器或高压厂用工作变压器应采用有载调压方式；当两台发电机与一台变压器作扩大单元连接或两组发电机双绕组变压器组作联合单元连接时，在发电机与变压器之间应装设断路器和隔离开关”。

3.5 厂、网分家后的新问题

现在，由于电力体制改革，形成了电厂和电网分家的局面，也带来经济利益的分别算账，也对电气主接线的方案引起一定的变化。

3.5.1 发电机出口断路器

从设计规程的规定看，大机组在一般情况下不主张装设发电机出口断路器。《大火规》的 **13.2.8** 条中“容量为 **200MW~300MW** 的发电机与双绕组变压器为单元连接时，在发电机与变压器之间不应装设断路器、负荷开关或隔离开关，但应有可拆连接点。技术经济合理时，容量为 **600MW** 机组的发电机出口可装设断路器或负荷开关。此时主变压器或高压厂用工作变压器应采用有载调压方式。”

新的《报批稿》**16.2.5** 条规定：“容量为 **125MW 级~300MW 级**的发电机与双绕组变压器为单元连接时，在发电机与变压器之间不宜装设发电机断路器或负荷开关”。

在《报批稿》**16.2.6** 条规定：“容量为 **600MW 级及以上**机组，根据工程具体情况，经技术经济论证合理时，发电机出口可装设断路器或负荷开关。此时主变压器或高压厂用工作变压器宜采用有载调压方式，当根据机组接入系统的变电站电压波动范围经过计算，满足机组正常起停时高压厂用母线电压水平时，也可采用无励磁调压方式”。

据一些资料的统计数据：在世界上，有超过 **50%**的核电站和百分之十几的火力发电厂采用了发电机出口断路器。

国内 **GCB** 应用情况：火电厂有盘山一、二期工程，绥中，伊敏，沙角 **C**，外高桥，台山等。水电葛洲坝，二滩，丹江口，李家峡，天生桥，三峡等。核电有大亚湾、秦山、岭澳、田湾等。

近些年来，**ABB** 公司展开了推销发电机出口断路器的工作。有些建设单位希望采用发电机出口断路器，所以一些工程采用了发电机出口断路器。如我院设计的盘山二期工程、托克托二期工程。目前能制造 **600MW** 机组的发电机出口断路器的制造厂家只有 **ABB** 公司、阿海珐（**AREVA**）公司两家公司。一般说来，现在 **600MW** 机组发

电机出口断路器的价格约需人民币 900 万元,1000MW 机组发电机出口断路器的价格约需人民币 1300 万元。

按 2000 年示范电站的精神,当装设发电机出口断路器可以简化接线和设备,以提高可靠性和经济性。在《大火规》中也体现了这样的精神:“容量为 600MW 的机组,当发电机出口装有断路器或负荷开关时,高压厂用备用变压器的容量可按一台高压厂用工作变压器容量的 60%~100%选择”;“容量为 600MW 的机组,……当发电机出口装有断路器或负荷开关时,四台及以下机组可设一台高压厂用备用变压器,五台及以上同容量机组可设置一台不接线的高压厂用工作变压器”。

由于现在厂、网分开,在经济效益上有所改变,在一定的情况下有可能装设发电机出口断路器较经济。只有当此时装设发电机出口断路器是适合的。如宁海电厂,2 台 600MW 机组以发电机-变压器组接入 500kV 系统,500kV 配电装置采用 GIS。为了解决启动/备用变压器的电源,经经济技术论证,发电机出口装设断路器,从断路器与主变压器之间引接备用变压器的方案是合理的。

故《大火规》规定,当技术经济合理时,容量为 600MW 机组的发电机出口可装设断路器或负荷开关。这需要根据具体工程条件的条件,进行技术经济比较,再决定是否选用。

3.5.2 对可靠性的特殊要求

近来由于厂网分家,电网上对电厂事故停机采取处罚的办法。对电厂事故停机一次,罚该机组停止并网半个月到一个月,致使电厂在发电量上损失很大,造成重大的经济损失。从而引起对可靠性的特别的要求。

如我们在三河电厂二期投标主接线方案的考虑,就有此要求的体现。三河电厂一期工程 2 台 350MW 机组,220kV 配电装置采用双母线接线。二期扩建 2 台国产 300MW 机组,对二期的主接线是采用双母线双分段还是采用双母线单分段接线,作如下的考虑:

按照《大火规》的规定:“容量为 300MW 机组,当发电厂总装机在三台及以上,在选用双母线分段接线时,应考虑电力系统稳定和地区供电可靠性的要求。当任一台断路器发生故障或拒动时,按系统稳定和地区供电可允许切除机组的台数和出现回路数来确定采用双母线单分段或双分段接线。对容量超过 10000MW 的大型电力系统,如发电厂装有 3~4 台机组时,可采用双母线单分段接线;机组超过四台时,可采用

双母线双分段接线。对容量在 5000MW~10000MW 的中型电力系统，当发电厂装有三台机组时，可采用双母线单分段接线；当发电厂装有四台机组时，可采用双母线双分段接线”。三河电厂地处京津唐电网，京津唐电网的容量达 19212MW（统计到 2001 年底）。从系统稳定上和地区供电上看，切除 600MW 容量没有问题。按规程可采用采用双母线单分段接线。

采用双母线双分段时，每条母线上接一台机组，当母线故障时只停一台机组。采用双母线单分段时，有一条母线上平时将要接两台机组，当此母线故障时将停掉两台机组。当出现此种故障情况时，要多停一台机。按电网的处罚办法，多停一台机将多损失的经济帐如下：一台 300MW 机组，停发半个月到一个月的电，按当时发电成本价 0.137 元/kWh、上网电价 0.245 元/kWh 计，则处罚一次将损失 1652.4 万元~3304.8 万元。而单分段和双分段只差一个分段间隔，多一个分段间隔也就多 240 万元造价。多停一台机组的处罚损失远远多于该间隔的造价。因此，根据电厂的意见，推荐采用双母线双分段接线。

3.5.3 起动/备用变压器电源的引接

由于厂、网分家，从电网引接的起动/备用电源，若电厂与外电源部门无协议，一般是要收取基本电费。基本电费一般是按 10~20 元/kVA·月收取，有的地方收取的费用还要多。按两台 600MW 机组的起动/备用变压器为 2 台 40000kVA 的分裂变压器计，每月的基本电费需 80 万元~160 万元，每年的基本电费需 960 万元~1920 万元。若按平均 15 元/kVA·月计，每月约 120 万元，一年约 1440 万元。

我院设计的托克托电厂，起/备电源是从距离电厂 1km 远的燕山营变电站引接的。一期规划时，燕山营变电站由托克托电厂和电网合资兴建，以提供托克托电厂的起/备电源。托克托电厂出资约 4000 万元，变电站将提供给电厂 3 回 220kV 线路，作为电厂 6 台机组的起/备电源。原定不收取基本电费。后来，电网要收取基本电费，当时规定按 14 元/kW·月的价格收取，考虑到托克托电厂已出资兴建燕山营变电站，减收到 7 元/kW·月；使用电费按 0.35 元/kWh 收取。托克托工程一期起/备变是 2×40/20-20MVA 容量，托克托二期扩建工程，由于发电机出口装设了断路器，起/备变是 1×40/20-20MVA 容量。两期工程共装设 3 台 40/20-20MVA 容量的起/备变。按优惠价格，每年要缴纳基本电费 1008 万元。再加上使用电费，则用不了几年，其费用就可以再建造一个变电站了。在三期可研时，业主曾经提出自建一个 220kV 降压站，

从 500kV 母线上引接电源，以供全厂的起/备变电源。

于是对于大机组，厂内升高电压只有一级超高压时（如：330kV~750kV 时），为了解决启动/备用电源收取装置容量费的问题，经过技术经济比较，则很有可能从厂内超高电压配电装置以 2 级（如从 500kV 先降压到 220kV 或 110kV，再降到 6kV）或 1 级（如直接从 500kV 降到 6kV）降压引接。

3.6 远距离输电带来的问题

现在国家为了开发西部经济，在电站建设方面实行西电东送的方针，在煤炭基地建设坑口电站，施行将运煤改为输电的能源政策。电厂建设在远离负荷中心的煤矿坑口附近，输电线路长达数百公里。这给我们带来了新的问题。

3.6.1 提高输电线路的电压等级问题

为了提高送电线路的输送能力，一种办法是提高输电线路的电压等级。我国目前普遍最高电压等级是 500kV。对于远距离、大容量输电的要求，750kV 或 1000kV 的特高电压等级已经出现。

3.6.2 次同步谐振问题（SSR）

3.6.2.1 串联电容补偿引起的次同步谐振

为了提高送电线路的输送能力，另一种方法是在送电线路上增设串联电容补偿设施，以解决长距离、大功率输电和系统稳定性的问题。超高压远距离输电线路的感抗对限制输电能力起决定性作用。将电容器串入输电回路，利用其容抗抵消部分线路阻抗，相当于缩短了线路的电气距离，从而提高了系统的稳定极限和送电能力。如托克托电厂当 4×600MW 机组向北京供电时，不设串联补偿时，需要 3 回 500kV 输电线路；若设置串联补偿时，只需要 2 回 500kV 输电线路就可以了。从托克托拖送到北京安定，线路全长约 510km，一条 500kV 送电线路投资约 8.16 亿左右，而串联补偿装置的投资约 5000 万元左右。由此看来，采用串联补偿装置，节省一条送电线路的经济效益非常可观。

而事情总是一分为二。送电线路增设串联补偿装置，提高了送电能力。而有串联补偿的高压输电线路，在一定电网接线和运行方式下，由于串联补偿电容和所在线路的电容与线路的电感，使电网有一个低于同期频率的谐振频率，称为次同步频率。大型的汽轮发电机组的轴系有几个旋转质量和轴段，因而相应地有几个固有扭振频率。当汽轮发电机组的轴系中的固有扭振频率和电网的次同步频率这两种频率之和在

50Hz 附近, 则当电网中的突然扰动, 能激发大型火发电机组的轴系暂态扭振, 放大了机组轴系的暂态扭矩。次同步谐振和暂态扭矩放大, 都能严重损害发电机组轴系寿命的损失或轴系断裂。

典型的实例是美国南加州爱迪生公司的莫哈维(Mohave)火电厂, 装有 $2 \times 790\text{MW}$ 机组。在 1970 年和 1971 年, 不到一年的时间里, 发生两次轴断裂的事故。经研究才知道, 是由于电厂其中一条 500kV 输电线莫哈维—乐哥莫乐线路, 共装设 8 段串联补偿电容器, 从而引起次同步谐振, 造成机组大轴两次断裂。

3.6.2.2 直流输电引起的次同步谐振

在长距离、大功率输送电力的需求下, 又出现了超高压直流输电系统。目前我国的超高压直流输电电压标准为: $\pm 500\text{kV}$ 、 $\pm 800\text{kV}$ 。实际上还出现了 $\pm 400\text{kV}$ 、 $\pm 600\text{kV}$ 的电压输电系统。

美国明尼苏达 P&L 系统在 1977 年投入第一条晶闸阀线路—斯夸尔比特(Square Butte)线路, 当送端电厂切除了一条配出交流输电线路, 发生了次同步谐振。

距离跨越英法海峡直流输电的法国一侧换流站 25km 处有一座装有 $6 \times 900\text{MW}$ 机组的核电站。为了保证核电机组的安全, 对发生次同步谐振的可能性进行了现场试验。试验结论其中的措施是在核电机组上装设次同步谐振保护装置。

3.6.2.3 由晶闸管控制的电力设备引起的次同步谐振

联邦德国威廉氏港(Wilhelmshaven)电厂一台 770MW 汽轮发电机组, 发生次同步谐振。经研究、测试, 发现是晶闸管控制的 16800kVA 的给水泵电动机的反馈, 与汽轮机组相互作用, 引起的次同步谐振。

由上面可以看出, 当电厂出线设有串联补偿电容器时、当电厂机组距离直流输电换流站的电气距离较近时, 或当晶闸管控制的电力设备容量足够大且靠近汽轮发电机组时, 应进行次同步谐振的研究计算工作。

在主机制造厂招标确定后, 系统专业和主机厂(汽轮机制造厂和发电机制造厂)联合工作, 进行机电联合计算确定是否会发生次同步谐振。如会发生次同步谐振, 则要装设扭振应力分析仪(TSA)和扭振继电器(TSR)以保护发电机大轴。这个应在工程初步设计时制定专题项目, 另行委托进行研究。

4 电气主设备选择

4.1 发电机

4.1.1 发电机容量

《大火规》规定：“容量为 **300MW** 及以上……发电机和汽轮机的容量选择条件应相互协调。在额定功率因数和额定氢压下，发电机的额定容量应与汽轮机的额定出力配合选择，发电机的最大连续容量应与汽轮机的最大连续出力配合选择，但其冷却器进水温度宜与汽轮机相应工况下的冷却水温相一致”。在《报批稿》**5.3.2** 条中规定：“发电机和汽轮机的容量选择条件应相互协调。在额定功率因数和额定氢压（对氢冷发电机）下，发电机的额定容量应与汽轮机的额定出力相匹配，发电机的最大连续容量应与汽轮机的最大连续出力相匹配，其冷却器进水温度宜与汽轮机相应工况下的冷却水温相一致”。与现行《大火规》没有什么变化。

发电机的制造标准，氢气冷却器的进水温度是按照水温 **33°C** 或 **38°C** 设计的。

国内工程都照此执行，即发电机不能限制汽轮机的出力，要与汽轮机各种工况相匹配。但国外制造厂商对氢压恒定不变有不同见解。他们对发电机容量满足汽轮机的不同工况下的出力有不同的做法：可变动功率因数，可提高冷却气体的压力或降低冷却介质的温度，来满足发电机最大连续输出容量与汽轮机在 **VWO** 工况下出力相匹配（我们认为应有一个最低限度，根据发电机制造的国家标准：氢气直接冷却的发电机，氢气入口温度应在 **35°C ~ 46°C**。氢气入口的温度不得低于 **35°C**）。一般是采用保持功率因数恒定不变，提高氢气压力（漏氢量应满足要求），以满足与汽轮机的出力相匹配。如西门子公司按 **KWU** 的做法就是提高发电机的氢气压力，满足汽轮机 **TMCR** 和 **VWO** 工况匹配。在与外商谈判中，一般外商都不愿意告知发电机的实际设计容量。这要看为满足我国的功率因数、氢压不变的要求，将会加大一级发电机组，从而引起经济上增加支出；或是运行中改变参数，技术上应可靠，经进行技术经济比较确定。

目前我国制造标准：**300MW** 级机组功率因数为 **0.85**，**600MW** 级及以上发电机的功率因数为 **0.9**。发电机应具有一定的吸收无功功率、调峰及失磁后短时异步运行的能力。

确定发电机标书中氢、油、水的冷却水温和水质时，应由机务和其他相关专业提供资料：发电机氢气冷却器冷却水用开式冷却水还是闭式冷却水、其设计水温的最高和最低水温是多少；发电机定子冷却器冷却水采用开式冷却水还是采用闭式冷却水，

最低、最高水温是多少；密封油的冷却水是采用什么水、其水温变化范围是多少；以及各种水的水质，以确定冷却器的管材材质。

在招标过程中，电气专业应与汽机专业协调，以使发电机的容量应与汽机的各种工况相协调；对发电机的轴振数值，轴承的振动数值的要求应与汽轮机统一。

4.1.2 关于发电机的额定功率因数问题

在接入系统设计中或有些网局对发电机的额定功率因数要求为 0.85（滞相），这给 600MW 机及以上的大型机组的制造带来困难。我们国家发电机的制造标准：600MW 及以上的机组额定功率因数是 0.9（滞相）。若要求额定功率因数要求为 0.85（滞相），则需要增加巨大的资金，甚至制造厂造不出来。

我们看国家电网公司是如何要求的：在《国家电网生[2004]435 号》文件“关于印发《国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则》的通知”的附件，“国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则”中第九条：“为了保证系统具有足够的事故备用无功容量和调压能力，并入电网的发电机组应具备满负荷时功率因数在 0.85（滞相）～0.97（进相）运行的能力，新建机组应满足进相 0.95 运行的能力。为了平衡 500（330）kV 电压等级输电线路的充电功率，在电厂侧可以考虑安装一定容量的并联电抗器”。

这里第一是“事故时”；第二是具备满负荷时功率因数在 0.85（滞相）“运行的能力”，没有要求发电机的额定功率因数为“0.85（滞相）”。发电机完全有当电力系统事故时带满负荷按功率因数在 0.85（滞相）运行的能力。故要求大机组的发电机额定功率因数为“0.85（滞相）”，是不合理的要求。

在《报批稿》中 3.3.1 条的 5 款：“发电机额定功率因数：处于电网送端的发电机功率因数，一般选择不高于 0.9（滞后）；处于受端的发电机功率因数，600MW 以上机组可在 0.85～0.9（滞后）中选择”。对发电机的额定功率因数选择做了规定，进行协调。

4.1.3 关于发电机招标书中的问题

在发电机招标书中设总应注意协调的几个问题：

a) 关于发电机冷却水及水质的确定：发电机的定子冷却器冷却水和氢冷却器冷却水应由机务专业来确定，是采用开式冷却水还是闭式冷却水；冷却水的最高、最低水温应与汽轮机和锅炉的标书一致；其水质也应与汽轮机和锅炉标书一致，从而选用

适合水质的冷却器材质。在发电机标书中往往出现的冷却水的来源、水温和水质与汽轮机和锅炉标书不一致的情况，设总应对专业接口的地方予以协调。

b) 对于发电机的轴承和轴承座的振动要求值：发电机应与汽轮机一致。而工程中往往出现各写各的值，不一致。设总应对此注意进行统一协调。

c) 对于发电机最低运行频率的要求：也应由汽轮机来决定。实际发电机最低运行频率，可以还要低，而汽轮机则受到叶片的限制，有一个最低运行频率的要求。故标书中这一要求，设总也应注意协调统一。

4.2 主变压器

4.2.1 主变压器容量

主变压器的任务是将发电机的功率输送到网上。无论发电机是在额定容量还是在最大输出容量的工况下；是在高压厂变运行还是在高压厂变检修、故障，由启动/备用变运行，主变压器都应能将发电机的功率没有限制地送出。

《大火规》13.1.5 条：“容量为 200MW 及以上的发电机与主变压器为单元连接时，该变压器的容量可按发电机的最大连续容量扣除一台厂用工作变压器的计算负荷和变压器绕组的平均温升在标准环境温度或冷却水温度下不超过 65℃的条件进行选择”。

在《报批稿》中 16.1.5 条：“容量为 125MW 级及以上的发电机与主变压器为单元连接时，该升压变压器的容量宜按发电机的最大连续容量（与汽轮机的最大连续出力匹配值）扣除不能被高压厂用备用变压器替代的高压厂用工作变压器计算负荷后进行选择。变压器在正常使用条件下连续输送额定容量时绕组平均温升不超过 65K”。

这两种选择主变压器容量的原则，在发电机仅设置一台高压工作厂用变压器时，主变压器的容量是不一样的，后者要将主变压器比前者至少要增大一级。这与我们这些年的运行经验是不一致的。

首先主变压器容量的选择是以发电机的最大连续出力为基准。对于 300MW 及以下容量机组的高压厂用工作变压器为 1 台、600MW 级机组高压厂用工作变压器设置为 1 台的工程，主变压器的容量确定是以发电机最大连续出力扣除高压厂用变压器的计算负荷确定。对于 600MW 级机组设置为 2 台高压厂用工作变压器和 1000MW 级的机组，由于设置了 2 台高压厂用工作变压器，一般不会 2 台变压器同时出故障，故仅按 1 台变压器故障，没故障的高压厂用工作变压器还是从发电机取得电源，主变压器

的容量也应按发电机最大连续出力扣除该变压器的计算负荷确定。故《大火规》规定“该变压器的容量可按发电机的最大连续容量扣除一台厂用工作变压器的计算负荷和变压器绕组的平均温升在标准环境温度或冷却水温度下不超过 65℃的条件进行选择”。

而《报批稿》规定：“该升压变压器的容量宜按发电机的最大连续容量（与汽轮机的最大连续出力匹配值）扣除不能被高压厂用备用变压器替代的高压厂用工作变压器计算负荷后进行选择”，则只有 600MW 级机组设置为 2 台高压厂用工作变压器和 1000MW 级的机组情况，才扣除“一台厂用工作变压器的计算负荷”。则 600MW 级机组设置 1 台高压厂用工作变压器，及以下容量的机组的主变压器容量将比按《大火规》的原则选出的主变压器大许多。

现在电网调度是按发电机铭牌出力调度机组出力，没有按机组可调出力进行调度。所以各发电公司为了能多得发电量，要求制造厂把机组的能力工况打成铭牌，挖掘机组的潜力，于是纷纷出现 600MW 机组改为 660MW，出现 680MW 机组，甚至出现 720MW 容量的机组。

目前选择主变压器容量按发电机最大连续容量减去 1 台高压厂用工作变压器的计算负荷，已经是比较富裕了。从全国的电厂按此原则选择的主变压器运行这么长时间都没问题。故按《报批稿》选择主变压器，对于 600MW 级机组（当只设置一台高压厂用工作变压器时）及以下容量的机组，主变压器的容量显然偏大，从而增加了变压器的投资，增加变压器的损耗。在参加的工程设计审查时，有些设计院按《报批稿》原则选的主变压器容量，经过与项目建设单位沟通，最终还是按《大火规》的原则选择主变压器容量。

4.2.2 主变压器型式

对主变压器型式的选择，《大火规》13.1.3 条规定：“与容量为 300MW 及以下机组单元连接的主变压器，若不受运输条件的限制，应采用三相变压器；与容量为 600MW 机组单元连接的主变压器应综合运输和制造条件，经技术经济比较可采用单相或三相变压器。当选用单相变压器组时，应按所连接电力系统和设备的条件，确定是否需要装设备用相”。

《报批稿》中 16.1.4 条：“与容量为 600MW 级及以下机组单元连接的主变压器，若不受运输条件的限制，宜采用三相变压器；与容量为 1000MW 级机组单元连接的主

变压器应综合运输和制造条件，可采用单相或三相变压器。当选用单相变压器组时，应根据电厂所处地区及所连接电力系统和设备的条件，确定是否需要装设备用相”。

从《大火规》规定看，由于定的比较早，对 600MW 级机组的主变压器还要综合制造条件，进行选型。而在《报批稿》中，对 600MW 机组仅看运输条件是否受限制，对 1000MW 机组的主变压器要“应综合运输和制造条件”，进行选型。总的意思是只要不受运输的限制，推荐选用三相变压器。

4.3 高压厂用变和启动/备用变压器容量

厂用电负荷分机组负荷和公用负荷（输煤、化学水、水源地等）。机组负荷均相应由各机组的工作厂变供电，而公用负荷则可由工作厂变供电亦可由启动/备用变供电，视供电方式不同高压厂变和启动/备用变容量选择上有差异。

按《大火规》13.3.7 条：“高压厂用工作变压器容量宜按高压电动机计算负荷与低压厂用的计算负荷之和选择。如公用负荷正常由第一台（组）高压厂用启动/备用变压器供电，则应考虑该高压厂用启动/备用变压器检修时，由第一台（组）高压厂用工作变压器带全部公用负荷，也可由第一台（组）与第二台（组）高压厂用工作变压器各接带 50%公用负荷”。

对于启动/备用变压器《大火规》又规定：“高压厂用备用变压器（电抗器）或启动/备用变压器的容量不应小于最大一台（组）高压厂用工作变压器（电抗器）的容量；当启动/备用变压器带有公用负荷时，其容量还应满足作为最大一台（组）高压厂用工作变压器（电抗器）备用的要求。”

但厂网分家以后，由于电网对启动/备用变压器征收装置容量费，又由于启动/备用变压器用电从网上购电，费用较贵，故启动/备用变压器带公用负荷的方案很少采用了。在《报批稿》中 16.3.7 条第 2 款明确规定：“公用负荷宜由不同机组的高压厂用工作变压器分担”。

对于容量为 200~300MW 机组，每两台机组可设一台高压厂用启动/备用变；容量为 600 MW 机组，当发电机出口不装设断路器或负荷开关时，每两台机组可设一台或两台高压启动/备用变压器，当配置两台时，应考虑一台高压厂用启动/备用变压器故障检修时，不影响任一台机组的起停；当发电机出口装有断路器或负荷开关时，四台及以下机组可设一台高压厂用备用变压器，五台及以上同容量机组可设置一台不接线的高压厂用备用变压器。

《报批稿》对启动/备用变压器的台数规定，与《大火规》基本相同，仅是把 600MW 容量扩大到 600MW 级~1000MW 级。

4.4 离相封闭母线

大容量的发电机出口引线都采用离相封闭母线。其原因是：大型发电机组额定电流很大，下表列出几种容量发电机的额定电流：

发电机的额定电流

| 发电机容量 (MW) | 200 | 300 | 600 | 1000 |
|------------|------|-------|-------|-------|
| 额定电流 (A) | 8625 | 10189 | 19246 | 23760 |

a) 大电流母线的周围空间存在着强大的交变磁场，位于其中的钢铁构件，如绝缘子的金具、支持母线结构的钢梁、防护遮拦的钢结构以及附近混凝土中的钢筋等，将由于涡流和磁滞损耗而发热。对由于钢构组成的闭合回路，如母线支持结构和防护遮拦的钢框、混凝土中的钢筋及接地网等，其中还可能感应产生环流而发热。钢构中的损耗和发热随着母线工作电流增加而急剧增大。一般当母线工作电流大于 1500A 时就要考虑钢构的发热，不应使每相导体支持钢构及导体夹板的零件构成闭合磁路。对于工作电流大于 4000A 时，则钢构损耗可能接近或超过导体本身的损耗，引起钢构过热，危及人身安全和电器的正常工作，影响装置的安全经济运行。因此，对大电流母线附近的钢构发热应采取措施，宜将钢构最热点温度控制在规定值以下。

钢构允许温度

| 钢 构 位 置 | 允许温度 (°C) |
|-----------|-----------|
| 人可触及的钢构 | 70 |
| 人不可触及的钢构 | 100 |
| 钢筋混凝土中的钢筋 | 80 |

为了防止导体附近的钢构发热，大电流导体应采用离相封闭母线。离相封闭母线由于外壳的屏蔽作用，可降低母线周围的钢构发热，壳外磁场约减到敞露时的 10% 以下，钢构损耗发热量极其微小。

b) 大容量发电机出口的短路电流很大，给断路器的制造带来极大困难，现只有少数几个国外公司能制造，价格很贵。而且大容量发电机承受不了出口短路电流的冲击。封闭母线因有外壳保护，可基本消除外界潮气、灰尘以及外物引起的母线接地故障；母线采用分相封闭，也基本杜绝发电机出口相间短路的发生。

c) 由于采用离相封闭母线，随之带来以下好处：

(1) 减少相间短路电动力。当发生短路很大的短路电流流过母线时，由于外壳的屏蔽作用，使相间导体所受的短路电动力大为降低。

(2) 母线封闭后，便有可能采用微正压运行方式，防止母线上集灰，防止绝缘子结露，提高运行安全可靠性，并为母线采用通风冷却方式创造了条件。

(3) 封闭母线由于工厂成套生产，质量比现场制作母线桥有保证，运行维护工作量小，施工安装简便，而且不需要设置网栏，简化了结构，也简化了对土建结构的要求。

故《大火规》在 13.2.9 条规定：“容量为 200MW 及以上发电机的引出线、厂用分支线以及电压互感器与避雷器等回路的引下线应采用全连式分相封闭母线”。

发电机离相封闭母线可根据发电机的额定电流，再考虑电压波动，留有一定的余度选择。作为电气设备，在封闭母线制造厂订货采购。

这里需要注意的是：我们作为设计承包方，应负责发电机制造厂、变压器制造厂（包括主变压器和高压厂用变压器制造厂）和封闭母线制造厂之间的联系配合工作。

5 电气主设备中性点接地方式

5.1 电力网中性点接地方式几种型式

电力网中性点的接地方式与电压等级，单相接地短路电流、过电压水平、保护配置有关，直接影响电网的绝缘水平、系统供电的可靠和连续性、主变压器和发电机的运行安全以及通信干扰等。选择电力网中性点方式是个综合性的问题。电力网中性点的接地方式主要分中性点非直接接地系统和直接接地系统两种型式。

5.1.1 中性点非直接接地系统

中性点非直接接地系统可分为不接地系统、经消弧线圈接地系统和经电阻接地系统。不接地系统：单相接地时允许带故障运行两个小时，供电连续性好，故障电流仅为电容电流；但缺点是过电压水平高，单相接地时，接地相电压为零，另两相升高为线电压（ $U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$ ），要求有较高的绝缘水平，不宜用于 110kV 及以上电网，一般都在 6 ~ 35kV 系统。

城市供电网中，以前 10kV 系统的中性点是采用不接地方式，现在在城市供电网也采用中性点电阻接地的方式。其原因是过去 10kV 供电网多采用架空线路，故障多为单相接地故障，架空线路单相接地电流为电容电流，电流值较小，且一旦故障消除，

空气绝缘可以恢复，继续供电。而现情况多是将架空线路入地改为电缆线路，单相接地电容电流值很大，且一旦故障，绝缘不能恢复，不能继续供电，需要更换电缆。故采用电阻接地方式，以便迅速切除故障，从而提高网络供电的安全性和可靠性。

5.1.2 中性点直接接地系统

中性点直接接地系统的单相短路电流大，当出现短路故障时，线路或电气设备应立即切除，降低了供电的连续性。但由于过电压水平较低，绝缘水平可以下降，减少了设备造价，特别是在高压和超高压电网中经济效益显著。为弥补供电可靠性，线路上广泛采用自动重合闸装置。110kV 及以上电网均是中性点直接接地的方式，由于短路时单相接地电流较大又称为大接地电流系统，或称为有效接地系统。

5.2 主变压器中性点接地方式

电力网中性点接地方式决定了主变压器中性点接地方式。对 500kV 系统的变压器为降低过电压水平，降低绝缘的制造费用，一般都要求中性点直接接地。220kV 变压器根据电网的运行方式确定，变压器在运行中有时需要不接地，所以在其中性点应装隔离开关，以便根据系统运行方式，灵活选择变压器的接地方式。为降低变压器的制造成本，其绝缘是分级绝缘的变压器。当变压器中性点不接地运行时，应在该变压器中性点装有防止操作过电压和雷电过电压的保护装置，如避雷器和放电间隙。华北电力局 1996 年下文：新建、扩建工程 220kV 变压器中性点过电压应采用间隙为 250 ~ 300mm 棒间隙保护，不采用避雷器与棒间隙并联保护方式。如已装了应在变压器停电时将中性点避雷器拆除。这是华北电网的特点。

电网中变压器中性点接地点的数量，应使电网所有短路点的综合零序电抗与综合正序电抗之比 X_0/X_1 小于 3，以使单相接地时健全相上工频过电压不超过阀型避雷器的灭弧电压；且 X_0/X_1 尚应大于 1 ~ 1.5，以使单相接地短路电流不超过三相短路电流。

目前 500kV 系统中，变压器的中性点都是直接接地方式，系统零序阻抗越来越小，已经出现单相接地短路电流超过三相短路电流的情况。为限制单相短路电流，故要求主变压器中性点经电抗接地，这将提高主变压器的中性点绝缘水平。应在工程中注意 500kV 主变压器的绝缘水平，系统专业应在工程初期提出要求。

5.3 发电机中性点接地方式

发电机定子绕组在发生单相接地故障时，接地点流过的电流是发电机本身及其引出回路所连接元件（主母线、厂用分支、主变压器低压绕组等）的对地电容电流，当

超过允许值时会烧伤定子铁芯，损坏定子铁芯，进而损坏定子绕组绝缘引起匝间或相间短路。为保护发电机免遭破坏，接地方式有下列几种。

5.3.1 中性点不接地方式

对 125MW 以下机组，一般可不接地，因单相接地短路电流不超过允许值。

5.3.2 中性点经消弧线圈接地方式

发电机中性点经消弧线圈补偿后电流一般小于 1A，可不动作于跳闸只动作信号；使发电机在单相接地故障时能连续运行。如沙岭子电厂 #1 ~ #8 机组、盘山 1、2 号机组，都是采用发电机中性点经消弧线圈接地的方式。

其缺点是，当发生间歇性电弧接地故障时，在健全相上可产生 3.2 倍额定相电压的过电压，危及发电机的绝缘。现在大机组较少采用此种接地方式。我们院设计的盘山电厂一期工程是采用此种接地方式。

5.3.3 中性点经高电阻接地方式

发电机中性点经高电阻接地，当发生单相短路时，可使过电压倍数降低在 2.6 倍额定相电压以下，限制故障电流不超过 10 ~ 15A。为保证接地保护不带时限立即跳闸停机，总的故障电流不宜小于 3A。为了减小电阻的体积，一般采用电阻经配电变压器接入中性点，电阻接在配电变压器二次侧。如三河电厂、阳城电厂、托可托电厂等等。

5.4 高压厂用电系统中性点接地方式

高压厂用电系统电压相对较低，电压为 3kV、10kV 或 6kV。早期小机组厂用电电压采用 3kV 电压等级，随着机组容量增大，出现了 6kV 电压等级和 10kV 电压等级。

中小机组还由于高压厂用电网络较小，发生单相接地故障时，电容电流较小，一般不超过 10A，故大多采用中性点不接地的方式。当发生单相接地故障时，允许继续运行 2 小时，为处理故障赢得时间，可维持厂用电系统持续供电，机组继续发电。

当高压厂用电系统单相接地电容电流大于 10A 时，接地电弧不能自动消除，将产生较高的弧光接地过电压，于是在健全相上可产生 3.5 ~ 5 倍的过电压，易发展成多相短路，发生重大事故，造成设备大量损坏，从而恢复生产需要很长时间，造成机组长时间停运。

过去是采取中性点加消弧线圈补偿的办法。在发生单相短路时，消弧线圈在中性点位移电压下产生一个感性电流，补偿接地电容电流，将综合电流限制在 10A 以下（一般按补偿的脱谐度不大于 10%），达到自动熄弧、继续供电的目的。如盘山一期工程、

就是采用此方式。

从 80 年代，我国学习国外先进经验，引进美国依巴斯公司的设计方法。他们在高压厂用电系统，一般是采用中性点经电阻接地的方式。选择适当的中性点接地电阻，可抑制厂用电发生单相接地故障时，健全相上的过电压倍数不超过额定相电压的 2.6 倍，避免故障扩大；同时在故障点流过一个固定的电阻性电流，保证馈线的零序保护正确动作，有选择地快速将故障切除。此接地方式，既限制了过电压，以保护厂用系统的绝缘；又利于实现有灵敏度、有选择性的保护，快速将故障回路切除，避免电容电流长时间对故障点作用，将故障电流对电动机、电缆的危害限制到最低程度。

在大机组上，我们现在多用此种中性点接地方式。如三河电厂、阳城电厂、托克托电厂等电厂，6kV 厂用电系统都是采用中性点电阻接地的方式；只有很少的电厂，如沙岭子电厂 6kV 厂用电系统采用中性点不接地方式。

5.5 380V 低压系统中性点接地方式

《火力发电厂厂用电设计技术规定》第 4.2.2 条规定：“主厂房内的厂用电系统宜采用三相三线制，中性点经高电阻接地的方式，也可采用动力与照明共用的三相四线制中性点直接接地的方式”。

为进一步提高主厂房供电可靠性，规定主厂房宜采用三相三线制，中性点经高电阻接地的方式。由于 380V 低压厂用电系统单相接地电容电流比较小，一般都在 1A 以内，所以单相接地时的检测手段比较复杂。经高电阻接地后检测手段就大为简化。

采用经高阻接地，即在低压厂用变压器中性点接入一定的电阻。发生单相接地时可继续供电，单相接地故障可延时约 2 小时跳闸，这期间可有机会排除故障，从而提高供电可靠性，避免了瞬时跳闸和电动机停运；也防止了由于熔断器一相熔断，造成电动机两相运行，从而烧毁电动机；中性点直接接地的方式时，对熔断器保护的电动机，为了满足馈线电缆末端单相接地短路时，熔断器能正确动作，单相接地短路电流需大于熔件额定电流的 4 倍，为此常需要加大电缆截面或改为自动开关作保护电器。而采用经高阻接地，则不需要为了满足短路保护的灵敏度而放大馈线电缆截面。

另一方面，不接地与高电阻接地比较，安全性也并不突出，只有当接地电容电流在 34mA 以内，才能使人体触及相线时承受的电压不超过 65V，而一般的 380 网络接地电容电流都要超过 34mA。为减少电动机因二相运行而烧坏的事故，并为提高运行可靠性，主厂房低压厂用电系统采用高电阻接地方式是可取的。

其缺点是当需要取得 220V 电源时，需另设中性点直接接地变压器，如：照明和检修网络；对采用交流操作的回路，需要设置控制变压器。

对于辅助厂房，负荷相对较小，较分散，为了供电简单方便，为利于对照明和检修负荷的供电，仍可采用动力与照明共用的中性点直接接地的方式。就辅助厂房而言，且其供电可靠性的要求相对主厂房为低，一般采用中性点直接接地方式即可。

另外，照顾到过去的习惯，对于 125MW 及以下的机组，国内一般采用动力与照明混合供电的方式。所以补充了主厂房也可采用动力和照明网络共用的中性点直接接地方式。

这两种接地方式在具体工程中都可选用。沙电二期和阳城电厂低压厂用电系统中性点采用直接接地方式。沙岭子电厂一期工程、三河电厂、托克托电厂等主厂房内的低压厂用电系统采用经高阻接地，以提高主厂房内的低压厂用电系统的可靠性。

6 厂用电系统

6.1 基本要求

a) 各机组的厂用电系统应是独立的。特别是对于 200MW 及以上机组，应保持各单元厂用电的独立性，减少单元之间的联系。一台机组的故障停运不应影响到另一台机组的正常运行，以提高运行的安全可靠。

b) 充分考虑机组起动和停运过程中的供电要求。一般均应配备可靠的起动/备用电源。

c) 充分考虑电厂发展规划和分期建设的情况、施工过程中厂用电系统的运行方式。要注意对公用负荷供电的影响（公用负荷即指输煤、化学水、厂前区等，不是针对机组的），要便于过渡。

d) 容量为 200MW 及以上机组，应设置交流事故保安电源。当机组采用计算机监控时，应设置交流不停电电源。

6.2 厂用电负荷类型、电压等级划分和厂用电率

6.2.1 厂用电负荷类型划分方式

按负荷在生产过程中重要性可分为以下几类：

I 类负荷：短时（手动切换恢复供电所需的时间）停电可能影响人身或设备安全，或使生产停顿或发电量大量下降的负荷。对 I 类负荷的电动机，必须保证当厂用母线电源暂时消失后又恢复供电时，电动机自起动。接有 I 类负荷的高、低压厂用母线，

应设置备用电源。当备用电源采用明（专用）备用方式时，应装设备用电源自动投入装置。

Ⅱ类负荷：允许短时停电，但停电时间过长，有可能损坏设备或影响正常生产的负荷。对接有Ⅱ类负荷的厂用母线，应由两路独立的电源供电，采用手动切换。

Ⅲ类负荷：长时间停电不会直接影响生产的负荷。对Ⅲ类负荷一般由单电源供电。

不停电负荷：在机组运行期间，以及停机（包括事故停机）过程中，甚至停机以后的一段时间内，需要进行连续供电的负荷，简称“0Ⅰ类”负荷。由交流不停电电源（UPS）供电。

事故保安负荷：指当发生全厂事故性停电时，在停机过程中及停机后一段时间内，为了保证机炉安全停运，避免主要设备损坏、重要的自动控制失灵或推迟恢复供电，和为了防止危及人身安全等原因，需要在停电时继续供电的负荷，称为事故保安负荷。按其供电电源要求不同，分为直流保安负荷，简称“0Ⅱ类”负荷；交流保安负荷，简称“0Ⅲ类”负荷。直流保安负荷由蓄电池组供电；交流保安负荷平时由交流厂用电供电，失去厂用工作电源和备用电源时，交流保安电源（一般采用快速自起动的柴油发电机组）应自动投入。

负荷按运行方式可分为六类：经常连续、经常短时、经常断续、不经常连续、不经常短时和不经常断续等六种类型。

6.2.2 厂用电压等级划分

在《报批稿》16.3.1条中规定：“发电厂可采用3kV、6kV、10kV作为高压厂用电的电压。容量为125MW级~300MW级的机组，宜采用6kV一级高压厂用电电压；容量为600MW级~1000MW级的机组可根据工程具体条件采用6kV一级、10kV一级或6kV、10kV两级高压厂用电电压”。

发电厂可采用3kV、6kV、10kV作为高压厂用电的电压。容量在100~300MW机组，宜采用6kV；在600MW级及以上机组，当技术经济合理时也可采用两种高压厂用电电压，如北仑港电厂、扬州电厂和我院正在设计的大同二厂二期工程（空冷机组）的高压厂用电系统采用10kV和3kV二级电压。

北方地区缺水，机组的循环水冷却采用空气冷却，即采用空冷机组。600MW级机组给水泵的电动备用泵容量将达到10000kW左右。而对于600MW级超临界机组、超超临界机组以及1000MW机组，其电动备用给水泵的容量，达到9000kW~

14000kW。若高压厂用电电压采用 6kV，厂用电母线的起动电压降将不满足要求。为解决此问题，现通常采用提高厂用电电压等级的方法，选用 10kV 的厂用电电压。工程中出现高压厂用母线采用 2 级电压，以解决此问题。经过一段工程的实践，电规总院对此组织研讨。经各院优化，目前推荐高压厂用电电压采用两种方式：一是采用 2 级电压，10kV 和 6kV 组合（以我院为代表）；另一种是采用 10kV 一级电压，或采用 6kV 一级电压，电动给水泵采用软启动方式（以西北院为代表）。近来机务专业优化锅炉给水系统，电动泵仅作为启动泵或取消电动泵，在这种情况下，则高压厂用电电压仍可采 6kV 一级电压。

厂用电机的电压一般按容量选择。当厂用电电压为一级 6kV（或一级 10kV）时，200kW 及以上的电动机采用 6kV 供电；当有两级高压厂用电时，3kV 为（100）200～1800 kW 电动机采用，1800 kW 及以上的电动机采用 10kV（对于 100kW 和 200kW 容量上下的电动机，可按工程具体情况和技术经济比较，确定采用的电压）。200（100）kW 以下的电动机采用 380V 电压。当采用 10kV 和 6kV 两极电压时，目前工程中是按电动机容量为 3150kW 以上时采用 10kV 供电，对低压厂用变压器根据负荷分配情况分别接在 10kV 或 6kV 母线上。

低压厂用电系统一般采用 380/220V 电压等级。容量为 200MW 及以上的机组，主厂房内的低压厂用电系统应采用动力与照明分开的供电方式。动力网络电压一般为 380V。现在为简化系统，不少工程采用中性点直接接地方式，即 380/220V 三相四线系统。

6.2.3 厂用电率

发电厂厂用电率是对发电厂运行考核一项重要指标。它的含义是机炉发电和供热所需的自用电能消耗量，分别与同一时期对应机组发电量和供电量的比值。按凝汽式和供热式机组的热电厂不同有两种不同的近似计算公式。下面仅按凝汽式发电厂设计时额定工况下的厂用电率估算，列出近似公式。采暖供热电厂厂用电率，仅计算纯凝工况，采用公式

$$e = \frac{S_c \cos \varphi_{av}}{P_e} \times 100\%$$

e — 厂用电率（%）；

S_c — 厂用电计算负荷（kVA）；

$\cos \varphi_{av}$ – 电动机在运行时的平均功率因数，一般取 0.8；

P_e – 发电机的额定功率（kW）。

从公式中可见 P_e 和 $\cos \varphi_{av}$ 是一定的，关键是 S_c 计算负荷的大小。机组性能考核工况厂用电率的负荷计算采用轴功率法，对低压电动机的负荷计算，当没有轴功率数据时，采用换算系数法计算，其计算原则大部分与厂用变压器的负荷计算原则相同。不同部分按如下原则处理：只计算经常连续运行的负荷，对于备用的负荷，即使由不同变压器供电也不计；全厂性的公用负荷按机组容量比例分摊至各机组上；季节性变动负荷（如循环水泵、通风、采暖等）按一年中的平均负荷计算；在 24 小时内变动大的负荷（如输煤、中间储仓制的制粉系统），可按设计的工作班制进行修正，一班制工作乘以 0.33，两班制工作乘以 0.67；照明负荷乘以系数 0.5。

设计计算出的厂用电率是一个估算近似值，电厂运行的厂用电率是用机组在一段时间内的厂用电量除以发电电量得出的值。

下表是收集部分电厂的厂用电率。实际运行的厂用电率与许多因素有关，如电厂的负荷率高低、煤质的变化、环境温度的变化等等诸多因素，都将影响厂用电率。

部 分 机 组 厂 用 电 率

| 序号 | 电 厂 名 称 | 机组容量 (MW) | 机 组 型 式 | 厂用电率 % | 备 注 |
|----|---------------|--------------|----------------|-----------|------|
| 1 | 华能玉环电厂一期 | 2×1000 | 超超临界湿冷机组，汽动给水泵 | 3.95 | 含脱硫 |
| 2 | 华能玉环电厂二期 | 2×1000 | 超超临界湿冷机组，汽动给水泵 | 4.23 | 含脱硫 |
| 3 | 绥中电厂 | 2×800 | 超临界湿冷机组 | 5.16 | 不脱硫 |
| 4 | 托克托电厂#5~#8 机组 | 4×600 | 亚临界直冷机组，汽动给水泵 | 5.48 | 含脱硫 |
| 5 | 国华锦界电厂 | 4×600 | 亚临界直冷机组，电动给水泵 | 7.99 | 含脱硫 |
| 6 | 华能达拉特#7、#8 机组 | 2×600 | 亚临界直冷机组，电动给水泵 | 7.77 | 含脱硫 |
| 7 | 黄骅电厂 | 2×600 | 超临界湿冷机组，汽动给水泵 | 5.24 | 含脱硫 |
| 8 | 华能上安电厂三期 | 2×620 | 超临界直冷机组，电动给水泵 | 5.97 | 含脱硫 |
| 9 | 华电浦城电厂 | 2×600 | 超临界直冷机组，电动给水泵 | 9.25 | 含脱硫 |
| | | | | 8.32 | 不含脱硫 |
| 10 | 霍林河电厂 | 2×600 | 直冷机组，褐煤 | 11.3 | 含脱硫 |
| | | | | 10.73 | 不含脱硫 |
| 11 | 盘山电厂一期 | 2×500 | 超临界湿冷机组 | 7.05 | 含脱硫 |
| 12 | 准葛尔电厂 | 6×330 | 亚临界湿冷机组，电动给水泵 | 7.64 | 不脱硫 |
| 13 | 华能达拉特#1~#6 机组 | 6×330 | 亚临界湿冷机组，电动给水泵 | 7.99 | 不脱硫 |
| | | | | | |

6.2.4 厂用电源引接

a) 厂用母线接线方式

发电机组高低压厂用母线采用单母线接线，按锅炉容量决定厂用母线段数。锅炉容量为 400t/h 以下时，每台锅炉可由 1 段母线供电；锅炉容量为 400t/h 及以上时，每台锅炉每一级高压厂用电压应不少于 2 段，并将双套辅机的电动机分接在两段母线上，2 段母线可由 1 台变压器供电（这取决于厂用母线上的短路电流不超过断路器的遮断电流）。

容量为 200MW 及以上的机组，当公用负荷较多、容量较大，可采用集中供电方式，设立高压公用母线段。这样加强了机组的单元性；利于全厂公用负荷的集中管理；配合机组检修、停运以及检修本机组所属厂用配电装置均较为方便；当 1、2 号机组分期建设时，公用负荷的供电存在过渡问题（当不设公用母线段时，需提前安装由 2 号机组厂用母线供电的公用负荷开关柜，由 1 号机组的高压厂用工作母线或由备用电源临时供电）。

公用负荷的供电方式，一种是由工作厂用变压器带公用段负荷，另一种是由启动/备用变压器带公用负荷。沙岭子电厂和三河电厂设置了公用母线段。沙岭子电厂的公用母线由启动/备用变供电，三河电厂则由高压厂用工作变压器供电。前面 4.3 节中已有对启动/备用变压器供电接线的论述。

对于脱硫负荷，最初脱硫岛是由外商承包，如华能珞璜工程。我们对脱硫工艺还无经验，一般在脱硫岛设置脱硫 6kV 母线段，我们仅提供两路 6kV 电源，其余由脱硫岛承包商完成。经过一些工程的建设，我们有了一定的经验，脱硫岛的负荷应属于机组的负荷，从厂用电工作母线供电应更合理。在制定的《火力发电厂烟气脱硫设计技术规程》第 10.1.4 条规定：“脱硫高压负荷可设脱硫高压母线段供电，也可直接接于高压厂用工作母线段”。而相应的脱硫工作电源的引接，在 10.2.3 条中规定：“1. 脱硫高压工作电源可设脱硫高压变压器从发电机出口引接，也可直接从高压厂用工作母线引接”，“脱硫装置与发电厂主体工程同期建设时，脱硫高压工作电源宜由高压厂用工作母线引接，当技术经济比较合理时，也可增设高压变压器”。对于已建电厂加装烟气脱硫装置时，《如果高压厂用工作变压器有足够备用容量，且原有高压厂用开关设备的短路动热稳定值及电动机启动的电压水平均满足要求时，脱硫高压工作电源应从高压厂用工作母线引接，否则，应设高压变压器》。

电规总院在审查工程时掌握的原则是：当同步建设脱硫装置时，300MW 及以下

机组，脱硫负荷电源宜从高压厂用工作段引接，不宜设置高压脱硫变压器。600MW级及以上机组，脱硫负荷电源可由高压工作段引接，或单设高压脱硫变压器。是否设脱硫高压母线段根据厂用电接线方案、主厂房布置条件等因素综合考虑比较确定。

总体来讲，当同步建设脱硫装置时，高压脱硫负荷宜接在高压厂用工作母线上；当技术经济合理时亦可设置高压脱硫母线段，亦可由单独的高压变压器供电。

b) 工作厂用电源引接方式。

高压工作厂用电源（变压器或电抗器）引接是根据发电机容量大小有不同引接方式。当有发电机电压母线时，由各段母线引接，供给接在该段母线上的机组的厂用负荷（这种方式一般适于小机组上采用，现在仅用于企业小型自备电厂中）；当发电机与主变压器为单元连接时，一般由主变压器的低压侧引接，供给该机组的厂用负荷。低压厂用工作变压器一般由高压厂用母线段上引接。当无高压厂用母线段时，可从发电机电压主母线或发电机出口引接。按炉分段的低压厂用母线，其低压厂用变压器一般应由对应的高压厂用母线段供电。

c) 厂用备用或起动/备用电源引接

凡是接有 I 类和 II 类负荷的高压和低压厂用母线都应设置备用电源。对 200MW 及以上机组，因发电机出口一般不装设断路器应设置起动/备用电源，作为机组起动或停机及兼厂用备用电源；对 125MW 及以下机组，当发电机出口有断路器时，高压备用变压器主要作为事故备用电源，兼作机炉检修、起动或停机用电源。起动/备用电源引接方式，一般宜从 110kV 或 220kV 电压引接，当厂内无该等级的电压配电装置时，可由外部电网引接专用线路供电（现在由于厂网分家，一般也不怎么采用此方案），或从更高一级电压降压引接。

d) 厂网分家后的改变

由于厂网分家，若起动/备用变压器的电源是从外网供电，除收取基本电费外，还要加收其用电电费。

我们按托克托二期投标的数据来分析：托克托二期是扩建工程，没有化学水、水源地、燃油泵房、制氢站、灰场等，公用负荷已经很少，计算负荷只有 6531kW。根据技经专业计算，当时发电成本价 0.137 元/kWh，购电价 0.35 元/kWh。按最大负荷利用小时 5500h 计，公用负荷用电若从网上购买，每年的电费是 1257.2 万元；若从机组供电，按发电成本价 0.137 元/kWh 计，则每年电费是 492.1 万元，每年可节省

765.1 万元。这已是一笔不小的数目。

若是新建电厂，公用负荷更多，则每年可节省的钱更多。从其他工程的数据看：新建 2×600MW 机组工程的计算公用负荷为 11785.25kW。按以上条件计算，从网上购买，每年的电费是 2268.7 万元；从机组供电，每年电费是 888.02 万元，每年可节省 1380.7 万元。

由上面的分析可以看出，若启动/备用变压器的电源是从外网供电，公用负荷不宜由启动/备用变压器供电。采用由启动/备用变压器带公用负荷的方案，受到一定的限制。前面已述，对启动/备用变压器征收装置容量费，且从网上购电费用很高，故启动/备用变压器带公用负荷的方案很少采用了。在《报批稿》中 16.3.7 条第 2 款明确规定：“公用负荷宜由不同机组的高压厂用工作变压器分担”。

6.3 交流保安电源和不停电电源

6.3.1 交流保安电源

《大火规》13.3.17 条规定：“容量为 200MW 及以上的机组，应设置交流保安电源。交流保安电源宜采用快速起动的柴油发电机组”。此条是强制性条文。上一版的规程规定柴油发电机组不宜再设备用。而根据各电厂运行情况来看，经常是全厂停电而柴油发电机组未启动（与运行管理有关）。如沙岭子电厂 1997 年 5 月 28 日事故，全厂停电 4 台柴油发电机均未启动，因此许多电厂实际上又加外部电源作为柴油机组的备用。故现行规程取消了此规定。

交流保安电源母线应采用单母线接线，按机组分段分别供给本机组的交流保安负荷。正常运行时保安母线段应由本机组的工作变压器供电，当确认本机组的工作电源真正失电后，自动切换到交流保安电源（柴油发电机组启动）供电。

在电规总院编制的《报批稿》中：

16.3.17 条中：“容量为 200MW 级～300MW 级的机组，应设置交流保安电源。容量为 600MW 级的机组，应按机组设置交流保安电源”。

16.3.187 条中：“交流保安电源应采用快速起动的柴油发电机组。”

可以看出容量为 200MW 级～300MW 级的机组，可以 2 台机组设置 1 套柴油发电机组。另外现行的规程是“交流保安电源宜采用快速起动的柴油发电机组”，有些业主认为柴油发电机组不可靠，或者为了降低工程造价，不愿选用柴油发电机组，或者二者兼有之。而即将颁布的规程是：“交流保安电源应采用快速起动的柴油发电机

组”，要求必须选用快速起动的柴油发电机组。

6.3.2 交流不停电电源

《大火规》13.3.18 条规定：“当机组采用计算机监控时，应按机组应设置交流不停电电源。交流不停电电源宜采用静态逆变装置，不宜再设备用”。

现《报批稿》中规定：“采用计算机控制系统进行控制的发电厂应装设交流不间断电源”，“单机容量为 600MW 级及以上机组，每台机组宜配置 2 台交流不间断电源装置；容量为 300MW 级及以下机组，当计算机控制仅需要 1 路不间断电源时，每台机组可配置 1 台交流不间断电源装置”，“对于网络继电器室和远离主厂房的辅助车间，当需要向交流不间断负荷供电时，可分区设置独立的交流不间断电源装置”。

从不同时间的版本看出对不间断电源 UPS 的设置是有所不同，先是“不宜再设备用”。根据运行情况的调查，部分已运行仅设置 1 台的电厂发生过因 UPS 电源故障造成了机组停机事故。由于 600MW 及以上机组在电力系统中地位重要，事故停机损失较大，所以修改为：“600MW 级及以上机组，每台机组宜配置 2 台交流不间断电源装置”。

电规总院在审查工程时掌握的原则是：300MW 机组每台机组设 1 台 UPS；600MW 机组每台机组设置 1 台全容量的 UPS，或采用 2 台半容量的 UPS 并联运行（工程中我们 UPS 装置的容量都偏大，如盘山二期 600MW 机组工程实际运行的负荷在 25kVA 以下，而 UPS 装置的容量为 60kVA，若改为 2 台半容量的 UPS 装置，也相当于设置了备用）；1000MW 机组每台机组采用 2×80kVA 的双主机并联的 UPS 装置。

不停电母线应采用单母线接线，按机组分段，分别供给本机组的不停电负荷。正常情况下，不停电母线应由不停电电源供电。当供给不停电电源装置的交流电源故障时，由机组的蓄电池组供电，保证不停电负荷的连续供电。当不停电电源装置发生故障时，自动切换到本机组的交流保安母线段供电。不停电负荷主要是热控仪表计算机和控制装置的负荷。

6.4 专业间相互配合

厂用电系统设计涉及到机务、上煤、除灰、化学、水工、仪表等有关专业，专业间配合是个重要环节。做好厂用电系统设计，需要相关专业在初设、司令图、施工图不同阶段将所需电动机负荷资料提供电气。提资内容包括电动机台数、容量、电压及控制、连锁运行方式等，用表格和书面说明。详细可见院《勘测设计管理作业文件》

中的“电力勘测设计专业间联系配合规定”(Q/NC5.4.8-2007)。工程设计中常出现提资不准相互扯皮现象,提资中有的负荷估算误差太大,控制、连锁要求未写清;有些由于辅机招标后电动机容量变化较大;电气专业本身怕变压器选小了,加大富裕量;因而造成厂用电系统变压器容量富裕较大。

厂用电设计是电气专业为各工艺专业服务的一项设计,电气人员应积极主动与各工艺专业配合,了解各工艺系统电负荷情况;各工艺专业亦应与电气专业通气相互配合。凡工艺专业成套电气设备时,应有电气人员参加签定有关技术协议,电气方面技术条件应由电气专业负责,共同做好成套电气设备招标工作,保证厂用电系统安全、经济运行。

7 高压配电装置

7.1 设计主要原则

a) 高压配电装置的设计应贯彻国家法律、法规。执行国家的建设方针和技术经济政策,符合安全可靠、运行维护方便、经济合理,环境保护的要求。高压配电装置的设计必须坚持节约用地的原则。节约用地是我国现代化建设的一项带战略性的方针。随着工业的发展,耕地面积逐年减少,而人口逐年增多,故节约用地政策必须长期坚持。配电装置因地制宜充分利用地形尽量减少土石方工程量,尽可能不占或少占农田,不占良田,是一条必须认真贯彻的重要政策。

对于同一个主接线的各种配电装置型式占地面积比较:

以屋外普通中型为 100%;

屋外分相中型 70 ~ 80%;

屋外半高型 50 ~ 60%;

屋外高型 40 ~ 50%;

屋内型 25 ~ 30%;

SF₆全封闭型 5 ~ 10%。

这只是一个大致估计,具体工程要进行详细技术经济比较。

b) 保证运行安全可靠。按照系统和自然条件,合理选择设备,布置上力求整齐清晰,运行中满足对人身和设备的安全要求,如对电气设备应保证有足够的安全净距。

c) 设备检修、操作巡视方便。应重视运行维护时的方便条件,如合理确定电气设备的操作位置;设置操作巡视通道、设备的搬运道路和起吊设施;当考虑采用高型

或半高型布置时，要对上层母线和上层隔离开关检修、试验采取适当措施。

d) 在保证安全的前提下，布置紧凑，力求节约材料和降低造价。

e) 考虑分期建设和过渡的便利条件，如配电装置有可能扩建时，布置上注意不要堵死。

7.2 设计基本要求

7.2.1 满足安全净距要求

配电装置的整个结构尺寸，是综合考虑设备外形尺寸、检修和运输的安全距离等因素而决定的。在各种安全距离（即设计 A、B、C、D 值）中，最基本的是空气中不同相的带电部分之间和带电部分对地之间的最小安全净距，即所谓 A 值。在这一距离下，无论为正常最高工作电压或内、外过电压（在相应的气象条件下）都不致使空气间隙击穿。A 值是根据电气设备标准试验电压和相应电压与最小放电距离试验曲线确定的。其它电气距离 B、C、D 值均是在 A 值的基础上再考虑一些实际因素决定。如：B2 值（指带电部分对栅栏的安全净距）为 $A1+750$ ，750mm 是考虑一般运行人员手臂误入栅栏时的臂长不大于 750mm。不同的电压等级有不同大小的 A、B、C、D 值。如 220kV（屋外配电装置）A1 值（相对地）为 1800mm；B2 值为 2550mm 等；又如屋外配电装置电气设备外绝缘体最低部位距地应不小于 2.5m，对于屋内电气设备外绝缘最低部位距地应不小于 2.3m，否则应装设固定遮拦，这些都是从电气安全净距要求出发，设计时都要按规定满足要求。

沙岭子电厂一期工程#1、#2 机组 220kV 配电装置，总交在配电装置地面东西向和南北向均有坡度，电气与总交专业配合失误，电气未会签总交地面坡度的图纸，因此设计中未考虑地面坡度影响。施工中电气设计工代发现西北角上电气设备对地距离只有 2.3 ~ 2.4m，不满足 2.5m 要求，后在电气设备与土建基础之间加垫槽钢解决对地距离不够的问题。

7.2.2 配电装置设计的环境条件

7.2.2.1 屋外配电装置中的电气设备和绝缘子，应根据当地的污秽分级等级采取相应的外绝缘标准。在工程前期工作中，应收集当地的污秽等级，以正确选择配电装置的形式以及电气设备和绝缘子爬距。

7.2.2.2 应按规定选择导体和电气设备的环境温度。对于屋外配电装置的电气设备最高环境温度是年最高温度，应是多年所测量的最高温度的平均值；而最低环境温度也

是多年所测量的最低温度的平均值。不应以某年某月某日某时某分所测得的最高（或最低）的极端温度作为选择设备的环境温度。我们有的工程按极端温度作为选择设备的环境温度，则造成设备选择条件苛刻，选不出或为此选择进口产品，造成投资提高。应按要求收集当地的最高或最低温度的多年平均值，至少应不少于 10 年的平均值，作为选择导体和电气设备的环境温度。这在收集资料时，应以充分注意。

选择导体和电气设备的环境温度（周围空气温度）℃

| 类别 | 安装场所 | 环境温度（周围空气温度） | |
|---|------|--------------|-------|
| | | 最 高 | 最 低 |
| 裸导体 | 屋 外 | 最热月平均最高温度 | |
| | 屋 内 | 该处通风设计温度 | |
| 电气设备 | 屋 外 | 年最高温度 | 年最低温度 |
| | 屋 内 | 该处通风设计最高排风温度 | |
| 注 1：年最高（或最低）温度为一年中所测得的最高（或最低）温度的多年平均值。 注 2：最热月平均最高温度为最热月每日最高温度的月平均值，取多年平均值。 注 3：选择屋内裸导体及其他电气设备环境温度（周围空气温度），若该处无通风设计温度资料时，可取最热月平均最高温度加 5℃。 | | | |

7.2.2.3 配电装置位置的选择宜避开自然通风冷却塔和机力通风冷却塔的水雾区及其常年盛行风向的下风侧。一般情况下，配电装置布置在自然通风冷却塔冬季盛行风向上的上风侧时，配电装置构架边距自然通风冷却塔零米外壁的距离应不小于 25m；配电装置布置在自然通风冷却塔冬季盛行风向的下风侧时，配电装置构架边距自然通风冷却塔的距离应不小于 40m。

配电装置构架边距机力通风冷却塔零米外壁的距离，非严寒地区不小于 40m，严寒地区不小于 60m。

7.2.2.4 海拔超过 1000m 的地区，配电装置应选择适用于高海拔的电气设备、电瓷产品，其外绝缘强度应符合高压电气设备绝缘试验电压的有关规定。

7.2.2.5 35~1000kV 中型配电装置通常采用的有关尺寸见下表。可根据下面的参考尺寸估算出要建的配电装置的长度尺寸。

35~1000kV 中型配电装置的有关尺寸

(m)

| 名 称 | | 电 压 等 级 (kV) | | | | | | | |
|----------|------------|--------------|------|---------|-----------|------|-----------|------|------|
| | | 35 | 66 | 110 | 220 | 330 | 500 | 750 | 1000 |
| 弧垂 | 母线 | 1.0 | 1.1 | 0.9~1.1 | 2.0 | 2.0 | 3.0~3.5 | 5.0 | 6 |
| | 进出线 | 0.7 | 0.8 | 0.9~1.1 | 2.0 | 2.0 | 3.0~4.2 | 5.0 | 9 |
| 线间 距离 | π 型母线架 | 1.6 | 2.6 | 3.0 | 5.5 | — | — | — | — |
| | 门型母线架 | — | 1.6 | 2.2 | 4.0 | 5.0 | 6.5~8.0 | 10.5 | 15 |
| | 进出线架 | 1.3 | 1.6 | 2.2 | 4.0 | 5.0 | 7.5~8.0 | 10.6 | 15 |
| 架构 高度 | 母线架 | 5.5 | 7.0 | 7.3 | 10.0~10.5 | 13.0 | 16.5~18.0 | 27.0 | 56 |
| | 进出线架 | 7.3 | 9.0 | 10.0 | 14.0~14.5 | 18.0 | 25.0~27.0 | 41.5 | 54 |
| | 双层架 | — | 12.5 | 13.0 | 21.0~21.5 | — | — | — | — |
| 架构 宽度 | π 型母线架 | 3.2 | 5.2 | 6.0 | 11.0 | — | — | — | — |
| | 门型母线架 | — | 6.0 | 8.0 | 14.0~15.0 | 20.0 | 24.0~28.0 | 41.0 | 48 |
| | 进出线架 | 5.0 | 6.0 | 8.0 | 14.0~15.0 | 20.0 | 28.0~30.0 | 42.0 | 55 |

注：发电厂中的配电装置一般取上表中较大的尺寸数值。

根据上表我们可以估算出屋外配电装置的长度。

配电装置又根据母线采用软母线、悬吊式管母线还是支持式管母线，隔离开关采用普通型布置还是分相布置，以及电气设备采用不同的型式，配电装置的纵向长度会有不同的尺寸。

下表中根据我院不同工程，统计的配电装置的纵向长度尺寸：

敞开式

配电装置的纵向尺寸（从围墙至围墙）

| 电压等级 | 主 接 线 | 尺 寸 | 备 注 |
|-------|--------|------------|----------|
| 110kV | 双母线 | 35 ~ 44m | |
| 220kV | 双母线 | 55 ~ 70m | |
| 330kV | 3/2 接线 | 145 ~ 160m | |
| 500kV | 3/2 接线 | 225 ~ 260m | 断路器三列式布置 |
| | 3/2 接线 | 190 ~ 206m | 断路器双列式布置 |
| | 双母线接线 | 135 ~ 140m | |
| | 4/3 接线 | 206m | |
| 750kV | 3/2 接线 | 291m | 断路器三列布置 |

我们可以从上表中估算出配电装置的纵向尺寸。根据两个表格的尺寸，可以估算

出屋外配电装置的占地尺寸、面积。

1000kV 高压配电装置一般采用 GIS 或 HGIS 形式，配电装置的纵向尺寸与设备厂家制造的尺寸有关，不同厂家有所不同。

7.2.3 满足施工、运行和检修要求

7.2.3.1 施工方面应满足下列要求：

a) 在满足安全运行的前提下应尽量予以简化，如减少架构类型、考虑构件标准化和工厂化。

b) 配电装置设计要考虑安装检修时设备搬运及起吊的便利，宜设置环行道路或具备回车条件的道路。对于 500kV 配电装置宜设置相间道路，道路的路面宽一般为 3.5m，转弯半径不小于 7m，主要根据大型设备如变压器搬运方式确定的。对屋内的配电装置应考虑设备搬运的方便，如在墙上、楼板上设搬运孔，楼板下适当位置设吊环等。

c) 应考虑土建施工误差，确保电气安全距离的要求，一般不宜选用规程规定的最小值，而应留有适当裕度（5cm 左右）。这在屋内配电装置中更要引起重视。

d) 考虑分期建设和扩建过渡的便利。尽量做到过渡时少停电或不停电，为施工安全方便提供有利条件，这就要从主接线特点、进出线布置各方面综合考虑。

7.2.3.2 运行方面应满足下列要求：

a) 应按最终规模统筹规划，充分考虑运行的安全和便利。如配电装置的方位应考虑进出线方向；避免和减少各级电压架空线交叉；缩短主变压器引线长度；平面布置的整体协调性。

b) 布置应整齐清晰，各个间隔之间有明显的界线，对同类设备布置尽可能在同一中心线上。

c) 出线间隔排列根据出线走廊规划，避免交叉。

d) 配电装置各回路相序排列应一致。一般面对出线电流流出方向自左至右，由远至进，从上至下按 A、B、C 相序排列。

e) 配电装置内应设有供操作、巡视用的通道。

7.2.3.3 检修应满足下列要求：

a) 电压在 110kV 及以上的屋外配电装置，应根据在系统中的地位、接线及该地区检修经验情况考虑带电作业的要求。带电作业内容一般是：清扫、测试及更换绝缘

子、拆换金具及线夹、断接引线及检修母线隔离开关，更换阻波器等。带电作业需注意校验电气距离及架构荷载。

b) 为保证检修人员在检修电器设备和母线时的安全，电压 63kV 及以上的配电装置，对断路器两侧的隔离开关和线路隔离开关的线路侧宜装设接地刀闸；每段母线上宜装设接地刀闸或接地器。

7.2.4 控制噪声、静电感应场强和电晕无线电干扰值

7.2.4.1 噪声的允许标准和限制措施

应重视对噪声的控制，降低有关运行场所连续的噪声级。配电装置的噪声源主要是变压器、电抗器，其次是电晕放电。设计时注意主变与主（网）控楼，通信楼及办公楼布置的相对位置和距离。（中国科学院声学所认为：睡眠时噪声的理想值是 35dB(A)，极大值是 50dB(A)。）设计中注意选用低噪声设备，或向制造厂提出降低噪声要求。

7.2.4.2 静电感应场强和限制措施

静电感应问题主要反映在 220kV 及以上电压等级的配电装置中。在高压输电线路或配电装置母线下以及电气设备附近，有对地绝缘的导电物体时，由于电容耦合感应而产生电压，称静电感应电压。当上述被感应物体接地时，就产生感应电流。感应电压和感应电流统称为静电感应。鉴于静电感应与空间场强密切相关，故实用中常以空间场强来衡量某处的静电感应水平。所谓空间场强是指离地面 1.5m 处的空间电场强度，单位 kV/m。对于 220kV 变电所一般不超过 5kV/m，所以静电感应问题不突出。对于 330 ~ 500kV 变电所认为大部分测点场强在 10 kV/m 以内，没有问题，空间场强为 10 ~ 15 kV/m 的测点不超过 2.5%。沙岭子电厂和神头二站 500kV 升压站布置时，都在武汉水院进行了模拟试验和计算机计算。供有 2475 个测点，其中 95.4%测点场强值在 3 ~ 8 kV/m；4%在 8 ~ 10 kV/m；只有 0.6%在 10 ~ 12 kV/m，出现在边相电流互感器附近。场强值均满足要求。

7.2.4.3 电晕无线电干扰特性和控制措施

在 330 ~ 500kV 超高压配电装置内的设备、母线和设备间连线，由于电晕产生的电晕电流具有高次谐波分量，形成向空间辐射的高频电磁波，因而对无线电通信、广播和电视产生干扰。目前我国超高压配电装置设计无线电干扰水平的允许标准暂定为：在晴天，配电装置围墙外 20m 处（非出线方向）在 1MHz 的无线电干扰值不大于 50dB

(A)，这个值是国际无线电干扰特别委员会的推荐值。

为了防止超高压电气设备所产生的电晕干扰影响无线电通讯，应在设备的高压导电部件上设置不同形状的均压环（罩）和屏蔽环，以改善电场的分布。将导体和瓷件表面场强限制在一定范围内，使它们在一定电压下基本上不发生电晕放电。为了增加载流量及限制无线电干扰，超高压配电装置导线采用扩径空心导线、多分裂导线、大直径铝管或组合式铝管。

世界各国为了便于测量 500kV 设备（包括绝缘子串）的无线电干扰水平，国际上采用无线电干扰电压表示，单位为 μV 。引用 IEC 标准，对 330kV 及以上的超高压电气设备，规定在 1.1 倍最高工作相电压下，屋外晴天夜晚无可见电晕，无线电干扰电压不应大于 2500 μV 。

7.3 专业间相互配合

高压配电装置与总交、土建联系配合多。我院变电处已编制“电气专业与土建配合资料之一”和“电气专业与土建配合资料之二”。就屋外配电装置的架构、设备支架等配合资料提出了标准格式和例图，对配合中注意事项也做了说明，现电气专业以此作为互提资料的依据。另外电气专业在 1991 年编制了“电气专业设计成品会签工作要点”，关于屋内外配电装置建筑结构平断面图、屋外配电装置架构透视图、设备支架基础及沟道布置图等会签要点都有详细规定，设计中应贯彻执行。该科标业也已经多年，建议现应进行修订。

工程设计中常出现对屋外配电装置地面坡度、标高、地震等配合失误，专业间相互不通气。前面已述沙电一期 220kV 配电装置出现过地面坡度问题，其它工程也有类似现象。如配电装置地面标高标注的是主厂房的标高，而与屋外地面有个差值，致使配电装置内电气设备操作机构距地面太高（或太低），造成操作不便或带电体对地距离不满足安全距离要求。还有未注意地震烈度的等级，如电压为 330kV 及以上的电气设施，7 度及以上时应进行抗震设计；电压为 220kV 及以下的电气设施，8 度及以上时应进行抗震设计。上述问题各级都应引起重视。

8 过电压保护及接地

8.1 过电压几个基本概念

8.1.1 过电压类型

过电压基本上分为两种类型：一种是来自外部的雷电过电压，分为直击雷过电压、

感应雷过电压和侵入雷电波过电压；另一种是由于系统参数发生变化时，电磁能产生震荡，积聚而引起的内部过电压，它又分为工频过电压、操作过电压和谐振过电压。过电压对运行中的电气设备将造成很大的危害，针对不同性质的过电压应采取相应的保护措施。

8.1.2 工频过电压

工频过电压的频率为工频或接近工频，产生的主要原因是空载长线的电容效应，不对称接地故障，甩负荷。一般幅值不高，对 220kV 及以下电网的电气设备没有危险，但对 330kV 及以上超高压电网影响很大，需采取措施加以限制。主要措施是在线路适当位置装设超高压并联电抗器，以减少发电机充电功率、削弱电容效应。如沙岭子电厂 500kV 配电装置由沙岭子至昌平两回线上，均安装了 3×50Mvar 的电抗器，吸收线路上电容功率，降低沙岭子电厂 500kV 侧工频过电压。

8.1.3 操作过电压

电网中的电容、电感元件，在发生故障或操作时，由于其工作状态发生突变，将产生充电再充电或能量转换的过渡过程形成操作过电压。作用时间在几毫秒到数十毫秒之间，倍数一般不超过 4p.u (p.u 为标么值， $1.0p.u = \sqrt{2}U_n / \sqrt{3}$)。

对操作过电压采取的限制措施：

a) 开断空载变压器：

空载变压器激磁电流很小，开断空载变压器时不一定在电流过零时熄弧，而是在某一数值下被强制切断，使变压器各电压侧可能出现过电压。但它的能量很小，对绝缘的作用不超过雷电冲击波的作用。因此采用避雷器就可以保护。

b) 开断并联电抗器：

开断电抗器和开断空载变压器一样，都是开断电感性负载。但开断电流是电抗器的额定电流，远比开断空载变压器激磁电流大。另外切断电流时，断路器断口间的瞬态恢复电压固有频率高，使断路器更难断开。采取的限制措施是：选用带有分闸并联电阻的断路器；在断路器与并联电抗器之间装设避雷器；对于线路并联电抗器前一般不装设断路器，线路投入时线路并联电抗器也应投入，把并联电抗器视做线路的一部分，用线路断路器进行操作。

c) 开断空载长线：

空载长线相当于一个容性负载。在断路器开断工频电容电流过零熄弧后，便会有

一个接近幅值的相电压残留在线路上。若此时断路器触头发生重燃，相当于一次合闸，使线路重新获得能量。电压波的震荡反射，使过电压按重燃次数依次递增。限制措施是断路器加装分闸并联电阻，并联电阻在开断过程中短时接入回路，可以泄放残留电荷、降低恢复电压，从而避免重燃或降低重燃过电压。装设的并联电抗器也可以降低过电压幅值，但一般不为限制这种过电压而专门设置并联电抗器。

d) 关合（重合）空载长线：

空载长线合闸于电源时，电压波行至终端产生反射，形成接近 2 倍末端电压的过电压。它由工频分量和逐渐衰减的高次谐波分量迭加而成；线路重合时，由于电源电势较高和线路上存在着残余电压，将使这种电压更高。限制这类过电压最有效措施是采用带合闸电阻的断路器，应注意，合闸电阻仅数百欧，大大小于分闸电阻值（数千欧）。“交流电气装置的过电压保护和绝缘配合” DL/T620 – 1997 规定：发电机 – 变压器 – 线路单元接线，500MW 及以上的机组容量，500kV 线路长度在 200km 以内时，可以只采用在线路两端装设氧化锌避雷器措施降低过电压，当线路长度大于 200km 时，可要求断路器加装合闸电阻。这需由系统专业校验计算确定，提供电阻值。如托克托电厂 500kV 线路断路器就加装了 400Ω 的合闸电阻，以限制关合（重合）空载或轻载线路引起的过电压。

8.1.4 谐振过电压

电网中电感、电容元件，在一定电源作用下，并受到操作和故障的激发，使得某一自由振荡频率与外加强迫频率相等，形成周期性的剧烈振荡，电压振幅急剧上升，出现严重的谐振过电压。谐振过电压的持续时间较长，甚至可以稳定存在，直至破坏谐振条件为止。如 1995 年 11 月 22 日在青山热电厂 220kV 升压站安装调试完毕后，由系统向母线充电，母线上接有 PT，此时发生谐振过电压。谐振过电压又分为线性谐振、铁磁谐振和参数谐振三种类型。限制措施：主要是防止它发生，在设计中做出必要的预测，适当调整电网参数，避免谐振发生。另一方面是当出现时尽量缩短谐振存在的时间，降低谐振幅值和削弱谐振的影响。

8.1.5 大气过电压

大气过电压（又称雷电过电压）是大气中带电雷云对地放电时产生的。由于电气设备上出现这种过电压是受了外部影响而产生故又称外部过电压。大气过电压对电气设备绝缘威胁很大必须采取保护措施。

发电厂、变电所一旦遭受雷击就可能造成设备严重损坏，引起长时间停电，后果是十分严重的。因此需采取避雷针、避雷线或避雷带对发电厂和变电所进行直击雷保护，并采取措施防止反击。除了直击雷和反击外，当线路上落雷时雷电侵入波就会沿着线路向升压站或变电所袭来，由于线路绝缘水平比较高，高幅值的雷电侵入波就有可能使主变压器和其它电气设备绝缘损坏。采取措施是在配电装置内和变压器附近装设避雷器（尽量靠近被保护物的设备），以保护变压器和高压电气设备不受雷电侵入波的危害。

8.2 发电厂、变电所雷过电压保护设计

8.2.1 发电厂和变电所的直击雷过电压保护

对直击雷保护是采用避雷针、避雷线、避雷带和钢筋焊接成网等。对下列设施应装设：首先是屋外配电装置（包括组合导线和母线廊道）；再是遭受雷击后可能引起火灾危险的建筑物，如露天油罐及其架空管道、燃油泵房、油处理室、装卸油台、易燃材料库；第三是有爆炸危险的建筑物和乙炔发生站、制氢站、露天氢气储罐、氢气罐储存室、液氨贮存和制备车间、天然气调压站、天然气架空管道及其露天储罐；第四是雷击后可能引起机械性破坏的高大建筑物，如烟囱、冷却水塔、输煤系统的高建筑物（如煤粉分离器等）。对装设的避雷针、避雷线要进行保护范围计算，绘出保护范围图，防止出现保护空白点，使应该被保护的设备都处在直击雷保护范围之内。

8.2.2 发电厂和变电所高压配电装置的雷电侵入波过电压保护

超高压 330 ~ 500kV 配电装置雷电侵入波过电压问题比较突出，下面主要说明超高压配电装置应采取的措施。按 1997 年出版“交流电气装置的过电压保护和绝缘配合”规定，具体做法如下：

a) 对采用 $1\frac{1}{2}$ 断路器接线，氧化锌避雷器宜装在每回路入口和每一变压器主回路上。当母线较长时，是否在母线上装设避雷器可通过计算校验确定。

b) 330kV 变电所的敞开式高压配电装置中，金属氧化物避雷器至主变压器的距离，对于单、双、三和四回进线情况，分别为 90m、140m、170m 和 190m，对其它电器的最大距离可相应增加 35%。对 500 变电站没有规定，在工程中应进行计算，如沙岭子电厂和托克托电厂，都委托电科院进行了计算。

c) 变压器和并联电抗器的中性点经接地电抗器接地时，中性点上应装设氧化锌避雷器保护。

8.3 220kV 及以下和 330kV 及以上配电装置绝缘配合特点

8.3.1 绝缘配合的目的

绝缘配合就是根据系统中可能出现的各种电压和保护装置的特性，来确定设备的绝缘水平；或者根据已有设备的绝缘水平，选择适当的保护装置，以便把作用于设备上的各种电压引起设备的损坏和影响连续运行的概率，降低到经济上和技术上能接受的水平。也就是说绝缘配合是要正确处理各种电压、各种限压措施和设备绝缘耐受能力三者之间的配合关系，全面考虑设备造价、维修费用以及故障损失三个方面，力求取得较高的经济效益。

8.3.2 220kV 及以下配电装置绝缘配合特点

a) 220kV 及以下配电装置一般由雷电过电压决定绝缘水平，并按避雷器的冲击保护水平进行选择。外绝缘由泄漏比距控制，污秽地区配电装置的外绝缘应按规定加强绝缘或采取其它措施。

b) 由于绝缘水平在正常情况下能耐受操作过电压作用，因此一般不采用专门限制内过电压的措施，也不要求避雷器在内过电压下动作。

c) 配电装置（包括电气设备）的绝缘水平，以避雷器 5kA 残压为基础进行绝缘配合。

8.3.3 330kV 及以上配电装置的绝缘配合特点

a) 在绝缘配合中，操作过电压将起主导作用。因此，对工频过电压和操作过电压采取限制措施。

b) 采用开断性能优良的断路器和并联电抗器，将操作过电压限制到预定水平，作为主保护。采用氧化锌避雷器作为后备保护。因此，避雷器作为确定绝缘水平的基础，并应具备防护内过电压的能力。

c) 进行雷电过电压配合时，应以避雷器 10kA 的残压为基础。当 500kV 仅装有一组避雷器时，则应以 20kA 的残压为基础。

8.4 接地的基本概念和接地装置设计

8.4.1 接地的基本概念

当人触电时，电流通过人体，使部分或整个身体遭到电的刺激或伤害，引起电伤或电击。一般死亡事故大都由电击造成的。发电厂、变电所的接地装置设计就是要避免这种事故，使发电厂在正常运行、故障或遭受雷击时能保证人身和设备的安全。

电力系统中电气装置、设施的某些部分接地，按用途不同分有下列四接地：

8.4.1.1 工作（系统）接地

在电力系统中，为运行需要所设的接地。如中性点直接接地或经其它装置接地。该接地时通过电气设备中性点来进行的，又称“中性点”接地。

8.4.1.2 保护接地

电气装置的金属外壳、配电装置的架构和线路杆塔等，由于绝缘损坏可能带电，为防止其危及人身安全而设的接地。因人除了直接与带电部分接触或靠近造成人身伤亡外，还有电气设备损坏之后触及金属结构及外壳称“接触电压”；在电气设备损坏之处或载流部分发生接地故障部分，人的两脚受到“跨步电压”的危害。这两种用保护接地来防护。

8.4.1.3 雷电保护接地

为雷电保护装置，避雷针、避雷线和避雷器等向大地泄放雷电流而设的接地。接地不仅要求能够安全地引导雷电流入地，并且还应使雷电流入大地时能均匀地分布出去，原则是要求接地电阻越小越好。

8.4.1.4 防静电接地

为防止静电对易燃油、天然气贮罐和管道等的危险作用而设的接地。

虽然有四种不同用途的接地，但发电厂、变电所内的不同用途和不同电压的电气装置设施只能做一个总的接地装置，接地电阻应符合其中一个最小的要求。

8.4.2 接地装置设计

正确的设计接地装置，首先要有该工程的土壤电阻率。收集方法：一种是当地是否有土壤电阻率的值，如扩建工程。再就是在工程的初期，委托勘测专业进行土壤电阻率的测量。如托克托工程，电气专业就提出了测量土壤电阻率的任务书，由我院勘测专业进行了实测。一般要注意测量的季节，最好在干燥季节的末期，这时是一年中土壤电阻率最高的时候。否则应对实测的数据，进行季节的修正。

正确的设计接地装置，还应正确计算故障时的入地电流。对保护接地装置的接地电阻值的要求与入地电流大小有关。有效接地系统的电气装置保护接地的接地电阻应符合下式的要求：

$$R \leq \frac{2000}{I}$$

式中：R — 考虑到季节变化的最大接地电阻；

I — 计算用的流经接地装置的入地短路电流。

计算接触电势和跨步电势时都需要用到入地电流。而入地电流则是发生接地短路电流时电流。发生接地故障时，流经发电厂接地中性点的最大接地短路电流。有关这些计算都要用到接地短路时最大接地短路电流，这个电流的计算，要由系统专业提出电力系统的正序、负序、零序阻抗值，进行电力系统发生单相接地电流和二相对地短路电流值的计算。

有了这些数据才能正确确定系统的接地电阻值、接地系统的接地线导体截面。以保证接地装置的设计正确，人身和设备的安全才能得以保障。

将电力系统或建筑物中电气装置、设施的某些可导电部分与地做良好的连接称接地；埋入地中并直接与大地接触的金属导体称接地极；电气装置、设施的接地端子与接地极连接用的金属导体称接地线；接地线和接地极的总合称接地装置。

设计接地装置时，应考虑土壤干燥或冬季冻结深度等季节变换的影响，在四季中均应符合规范要求。确定发电厂、变电所接地装置的型式和布置时，考虑保护接地的要求，应尽可能降低接触电势和跨步电势，使其满足规定的要求。接地装置设计应充分利用自然接地极接地。自然接地极是指发电厂内直接与大地接触的各种金属构件、金属井管、钢筋混凝土建构筑物的基础、金属管道等。

接地装置的导体截面应考虑热稳定和腐蚀要求，另外还有最小机械强度要求。接地规程中列出了接地导体机械强度要求的数值，但设计时不要误认为是设计中所应选取的数值。当土壤中有腐蚀时应采用镀锌或适当加大截面。必要时需采取阴极保护措施，以防止对接地装置的腐蚀，保护接地装置。

接地装置除利用自然接地极外，不论采用何种人工接地极，都应敷设以水平接地极为主的人工接地网。接地装置设计在“交流电气装置接地设计规范”中有许多详细的规定，限于篇幅这里不再叙述，仅就一些基本设计原则和概念作一简要说明。