

任务一：电气主接线方案的设计

教案头：

项目	项目六 智能供电系统的方案设计		
任务	任务1 电气主接线方案的设计	学时	2
教学目标	知识目标	技能目标	素质目标
	①熟悉智能供配电系统的电气主接线形式。 ②理解不同电气主接线在供配电系统中的应用。	①熟练不同电气主接线形式的优缺点。 ②能设计供配电系统的电气主接线。	①培养周密细致的设计风格。 ②具有良好的团队协作精神，主动适应团队工作要求。 ③基本职业素养的培养。
工作任务	①主接线方案的经济比较计算 ②工厂企业配电系统电气主接线方案设计		
教学重点	重点：电气主接线方案的确定		
教学难点	难点：电气主接线的技术和经济比较		
教学策略	“教、学、练、做”一体化		
教学条件	多媒体设备、电气设计手册。		
作业	①为企业的供配电系统设计一个电气主接线方案 ② 做课后练习题		
备注			

教学内容：

一、任务概述

电气主接线方案设计是《供配电系统运行与维护》课程中的一次综合性的实践环节，通过对变配电所电气主接线的设计，巩固和加深对供配电系统的认识和理解，培养学生独立分析问题和解决问题的能力，理论联系实际的能力，初步学习工程设计的方法。本次任务要求：

(1) 设计应根据设计任务书以及国家的有关政策和各专业的设计技术规程、规定进行。学习用已学知识解决工程实际问题的一般方法。

(2) 能够读懂电气主接线图，且能根据原始资料对变电站和中小型企业配电室进行主接线设计。

(3) 能够根据原始资料初步拟出2~3个技术合理的电气主接线方案，并进行技

术经济比较，确定出一个最优方案，并绘出该方案的草图。

二、知识准备

1. 企业供配电系统设计的基本原则

根据国家标准《供配电系统设计规范》(GB50052-95)、《10kV 及以下变电所设计规范》(GB50053-94)、《低压配电设计规范》(GB50054-95)等的规定，工厂供配电系统设计的基本原则如下：

(1) 严格遵循规范、规程，为使工厂供配电系统设计贯彻执行国家的技术经济政策，做到保障人身安全，供电可靠，技术先进和经济合理，设计中必须严格遵循国家颁发的各相关规范、标准和有关行业规程。

(2) 工厂供配电系统设计必须从全局出发，统筹兼顾，按照负荷性质、用电容量、工程特点和地区供电条件，合理确定设计方案，以满足供电要求。

(3) 工厂供配电系统设计应根据工程特点、规模和发展规划，正确处理近期建设和远期发展的关系，做到以近期为主、远近期相结合，适当考虑扩建的可能。

(4) 工厂供配电系统设计应选用国家推荐的效率高、低能耗、性能先进的新型产品，以节约能源。

2. 工厂供配电系统设计基本内容

工厂供配电系统设计的基本内容包括两个方面：

(1) 工厂变配电所的设计

根据工厂的类型不同，有总降压变电所、总配电所、车间变电所之分。总降压变电所与车间变电所的设计内容基本相同，高压配电所除没有主变压器的选择外，其余设计与变电所基本相同。变配电所的设计内容应包括变配电所负荷的计算和无功功率补偿，变配电所所址的选择、变电所主变压器台数和容量、型式的确定，变配电所主接线方案的选择，进出线的选择，短路电流计算及开关设备的选择，二次回路方案的确定及继电保护的选择与整定，防雷保护与接地装置的设计，变配电所的照明设计等。最后应编制设计说明书、设备材料清单及工程概算，绘制变配电所主接线图、平面图、剖面图、二次回路图及其施工图。

(2) 供配电线路的设计

工厂供配电线路设计分工厂范围供配电线路设计和车间供配电线路设计。

工厂范围供配电线路设计包括高压供配电线路设计及车间外部低压配电线路设计。设计内容有：供配电线路电压等级的确定、线路路径及线路结构型式的确定，负荷的计算，导线或电缆型号和截面的确定、配电设备的选择、架空线路杆位的确定、电杆与绝缘子及其他线路配件的选择、电缆线的敷设方式、线路走向、施工方式及其配件的选择、防雷及接地装置设计计算等。最后应编制设计说明书、设备材料清单及工程概算，绘制车间供配电线路系统图、平面图及其他施

工图纸。

车间供配电线路的设计通常包括车间供配电线路布线方案的确定、负荷的计算、线路导线及配电设备和保护设备的选择、线路敷设设计等。最后也应编制设计说明书、设备材料清单及工程预算，绘制工厂配电线路系统图、平面图及其他施工图纸。

3. 工厂电气照明的设计

工厂供配电系统设计有室外照明设计、各车间照明设计、工厂内各建筑物的照明设计、变配电所内的照明设计等。以上各部分的照明设计基本上都包括如下几个内容：

- (1) 照明灯具型式的选择与布置；
- (2) 照明光源的选择和照度计算；
- (3) 照明线路的接线方式确定、照明线路的负荷计算、导线及敷设方式的设计；
- (4) 照明配电箱及保护与控制设备的选择等。

最后也要编制设计说明书、设备材料清单及工程预算，绘制照明系统图、平面图及其他施工图纸。

4. 工厂供配电系统设计的程序和要求

工厂供配电系统的设计通常分为扩大初步设计和施工图设计两个阶段。对于设计规模较小、任务紧迫，经技术论证许可时，也可直接进行施工图设计。

(1) 扩大初步设计

扩大初步设计的任务主要是根据设计任务书的要求，进行负荷的统计计算，确定选择工厂的用电容量，选择工厂供配电系统的原则性方案及主要设备，提出主要设备材料清单，编制工程预算，报上级主管部门审批。因此，扩大初步设计资料应包括工厂供配电系统的总体布置图、主接线图、平面布置图等图纸及设计说明书和工程概算等。

(2) 施工图设计

施工图设计是在扩大初步设计经上级主管部门批准后，为满足安装施工要求而进行的技术设计，重点是绘制施工图，因此也称为施工图设计。施工图设计须对初步设计的原则性方案进行全面的经济技术分析和必要的计算与修订，以使设计方案更加完善和精确，有助于安装施工图的绘制。安装施工图是进行安装施工所必需的全套图纸资料。安装施工图应尽可能采用国家颁发的标准图样。

施工图设计资料应包括施工说明书，各项工程的平面和剖面图以及各种设备的安装图，各种非标准件的安装图，设备与材料明细表以及工程预算等。

施工图设计由于是即将付诸安装施工的最后决定性设计，因此设计时更有必要深入现场调查研究，核实资料，精心设计，以确保工厂供配电工程的质量。

5. 工厂供配电系统设计的基础资料

设计之前应向当地供电部门收集下列资料：

- (1) 对工厂的可供电源容量和备用电源容量。
- (2) 供电电源的电压等级，供电方式是架空线还是电缆，专用线还是公用线，供电电源的回路数，导线或电缆的型号规格、长度以及进入工厂的方位。
- (3) 对工厂供电的电力系统在最大和最小运行方式下的短路数据或供电电源线路首端的断路器断流容量。
- (4) 供电电源首端的继电保护方式及动作电流和动作时限的整定值，向工厂供电的电力系统对工厂进线端继电保护方式及动作时限配合的要求。
- (5) 供电部门对工厂电能计量方式的要求及电费计收办法。
- (6) 对工厂功率因数的要求。
- (7) 电源线路工厂外部设计和施工的工厂应负担的投资费用等。

向当地气象、地质及建筑安装等部门收集下列资料：

- ① 当地气温数据，如年最高温度、年平均温度、最热月平均最高温度、最热月平均温度以及当地最热月地面下 0.8~1.0m 处的土壤平均温度等，以供选择电器和导体之用。
- ② 当地的年平均雷暴日数，供防雷设计用。
- ③ 当地土壤性质或土壤电阻率，供设计接地装置用。
- ④ 当地常年主导风向，地下水位及最高洪水位等，供选择变、配电所所址用。
- ⑤ 当地曾经出现过或可能出现的最高地震烈度，供考虑防震措施用。
- ⑥ 当地海拔高度、最高温度与最低温度，供选择电器设备参考。
- ⑦ 当地电气设备生产供应情况，以便就地采购或订货。
- ⑧ 当地水文地质资料和地形勘探资料。
- ⑨ 当地环境污染情况，供选择绝缘参考。

必须注意的是，在向当地供电部门收集有关资料的同时，也应向当地供电部门提供一定的资料，如工厂的生产规模，负荷的性质，需电容量及供电的要求等，并与供电部门妥善达成供用电协议。

6. 计算综合投资 Z

$$Z=Z^0 \left(1+\frac{a}{100}\right)$$

其中：Z⁰——主体设备费用，包括变压器、开关设备、配电装置设备的费用（元）

a——不明显的附加费用比例系数，包括设备运输、安装、架构、基础及辅助设备的费用，一般 35KV 取 100；110KV 取 90；220KV 取 70。

7. 计算年运行费用 U=U_Z+U_{ΔA}

(1) 年折旧维护检修费 $U_z = CZ$

(2) 年电能损耗费 $U_{\Delta A} = \alpha \Delta A$

◆ 双绕组主变的 ΔA 计算:

$$\Delta A_{=n} \left[\Delta p_0 t + \Delta p_k \left(\frac{S_m}{S_n} \right)^2 \tau \right]$$

◆ 三绕组主变的 ΔA 计算:

$$\Delta A_{=n} \left[\Delta p_0 t + \Delta p_{k1} \left(\frac{S_{m1}}{S_{n1}} \right)^2 \tau_1 + \Delta p_{k2} \left(\frac{S_{m2}}{S_{n2}} \right)^2 \tau_2 + \Delta p_{k3} \left(\frac{S_{m3}}{S_{n3}} \right)^2 \tau_3 \right]$$

式中: S^{n1} 、 S^{n2} 、 S^{n3} ——三绕组变压器高、中、低三侧绕组的额定容量 (KVA)

S^{m1} 、 S^{m2} 、 S^{m3} ——高、中、低压侧最大持续负荷 (KVA)

τ_1 、 τ_2 、 τ_3 ——高、中、低压侧最大负荷年损耗小时数

Δp_{k1} 、 Δp_{k2} 、 Δp_{k3} ——高、中、低压侧绕组中的额定铜损耗

$$\Delta p_{k1} = \frac{\Delta p_{k1-2} + \Delta p_{k1-3} - \Delta p_{k2-3}}{2}$$

$$\Delta p_{k2} = \frac{\Delta p_{k1-2} + \Delta p_{k2-3} - \Delta p_{k1-3}}{2}$$

$$\Delta p_{k3} = \frac{\Delta p_{k1-3} + \Delta p_{k2-3} - \Delta p_{k1-2}}{2}$$

◆ 架空线路: $\Delta A = \Delta P_m \tau$

8. 经济最优方案的确定

(1) $Z_1 > Z_2$ $U_1 > U_2$ 选择方案 2

(2) $Z_1 > Z_2$ $U_1 < U_2$ 有动态比较法和静态比较法

① 静态比较法: 抵偿年限法 $T = \frac{Z_1 - Z_2}{U_2 - U_1}$

若 $T < 5 \sim 8$ 年, 则选择方案 1

若 $T > 5 \sim 8$ 年, 则选择方案 2

② 计算费用最小法: 第 i 种方案的计算费用 $C_i = \frac{Z_i}{T} + U_i$

三、任务实施

工厂供配电系统的设计任务书

设计任务书包括原始基础资料和设计任务、设计安排等部分。

1. 原始基础资料

(1) 建设性质及规模

为满足某工厂生产用电需要，计划在工厂范围内新建一座 35kV 降压变电所，电压等级为 35/0.4kV。35kV 线路有两回，其中一回为开发区数家近期待建企业的穿越功率；0.4kV 将设计为多回路，分别送往工厂内车间及其附近的生活区。降压变电所占地东西长为 300m，南北宽为 200m。

(2) 供电电源的情况

按照工厂与当地供电部门签订的供电协议规定，该工厂可由附近 3km 处一电力系统变电所 35kV 母线上取得工作电源。该电源线路将采用 LGJ-35 架空导线送至工厂变电所，并经高压母线穿越送至待建变电所。该架空线为等边三角形排列，线距为 2m。已知该线路定时限过电流保护整定的动作时限为 1.5s，线路首端最大运行方式下三相短路容量为 195.5MVA，最小运行方式下三相短路容量为 150MVA。为满足新建变电所二级负荷的要求，可通过邻近企业变电所向本厂新建变电所的联络线路临时供电，将来也可作为新建变电所低压侧备用电源。同时可采用低压联络线由邻近企业取得备用电源，作为新建变电所及生活用电。

(3) 工厂负荷情况

工厂多数车间为两班制。变压器全年投入运行时间为 8000h，最大负荷利用小时 T_{\max} 为 4000h。新建工厂变电所的负荷统计资料如表 6-1 所示。

表 6-1 新建变电所负荷统计资料表

负荷性质	负荷名称	设备容量 kVA	功率因数	需要系数	负荷类别
全厂动力	铸造车间	500	0.70	0.4	II
	锻压车间	450	0.65	0.3	III
	金工车间	400	0.65	0.3	III
	工具车间	300	0.65	0.2	III
	电镀车间	400	0.75	0.6	II

	间				
	热处理车间	300	1.00	0.5	III
	装配车间	200	0.70	0.4	III
	机修车间	150	0.60	0.3	III
	锅炉房	80	0.70	0.6	II
	仓库	20	0.60	0.3	III
全厂照明	照明	80	0.90	0.85	III
生活照明	宿舍区	300	0.90	0.8	III

(4) 新建变电所选址条件

新建变电所位于工厂区内，该片海拔为 200m，地层以粘土为主，地下水位为 3m，最高气温为 39℃，最低气温为 -10℃，最热月的平均最高气温为 32℃，最热月的平均气温为 28℃，最热月地下 0.8m 处平均温度为 20℃，年主导风向为南风，年雷暴日为 40。

(5) 电价制度

表 6-2 以 0.90 为标准值的功率因数调整电费表

减收电费		增收电费			
实际功率因数	月电费减少%	实际功率因数	月电费增加%	实际功率因数	月电费增加%
0.90	0.00	0.89	0.5	0.75	7.5
0.91	0.15	0.88	1.0	0.74	8.0
0.92	0.30	0.87	1.5	0.73	8.5
0.93	0.45	0.86	2.0	0.72	9.0
0.94	0.60	0.85	2.5	0.71	9.5

0.951 ~ 1.00	0.75	0.84	3.0	0.70	10.0
		0.83	3.5	0.69	11.0
		0.82	4.0	0.68	12.0
		0.81	4.5	0.67	13.0
		0.80	5.0	0.66	14.0
		0.79	5.5	0.65	15.0
		0.78	6.0	功率因数自 0.64 及以下，每降低 0.01 电费增加 2%	
		0.77	6.5		
		0.76	7.0		

工厂与当地供电部门达成协议，35kV 输电架空线路由供电部门负责设计、施工。新建变电所按主变压器容量向供电部门一次性交纳供电贴费，标准为 x 元/kVA。电费核算按两部制电价制度，基本电价标准为 y 元/kWh；为鼓励提高功率因数，供电部门规定，凡功率因数低于规定值 0.9 时，将予以罚款，相反，功率因数高于规定值 0.9 时，将得到奖励，即采用“高奖低罚”的原则。因此供电部门还将根据该变电所月加权平均功率因数对实收电费进行调整见上表 6-2 (x 、 y 可按当地情况确定)。

2. 设计任务

要求在规定的时间内独立完成下列工作量

1) 编写设计说明书

设计说明书包括以下部分：

- (1) 前言
- (2) 目录
- (3) 负荷计算，计算结果应列表。
- (4) 无功功率补偿，包括补偿方式的选择、补偿容量的计算、接线及电容器型号、台数的选择。
- (5) 变电所位置和型式的选择。
- (6) 通过比较确定变压器的容量和台数，指出其节电性能和经济运行方式。
- (7) 设计接线方案的选择。

-
- (8) 短路电流计算、计算结果应列表。
 - (9) 变电所高、低压线路的选择。
 - (10) 变电所一次设备的选择与校验。
 - (11) 主变压器继电保护整定计算，原理接线图。
 - (12) 变电所二次回路方案设计。
 - (13) 变电所防雷计算及接地装置设计。
 - (14) 参考文献。

2) 绘制设计图纸

绘制设计的图纸包括变电所主接线图 1 张 (A2 图纸)、变电所平面布置图 1 张和主变压器继电保护原理图 1 张 (A2 图纸)。

3. 设计时间

按照教学计划执行，通常为 2~4 周。

4. 设计的安排

设计中，应有设计日程表，按日程表有序进行。设计中除正常辅导外，还宜根据日程对重点设计内容进行必要的辅导以及参观有关现场，以保证设计的正确性，按时完成设计。

5. 设计过程

- 1) 分析原始资料，初步拟定几个技术可行方案
- 2) 选择主变。包括台数、运行方式、容量、型式、参数
- 3) 分别拟定高、低压侧的基本接线形式
- 4) 经过技术比较，选出 2~3 个较优方案
- 5) 通过经济比较计算确定最优方案

四、检查评价

- (1) 学生分小组互查电气主接线经济比较方案和总结报告；
- (2) 教师对每一组学生提问，检查报告的完整性，并评定成绩。

五、总结

通过分析任务资料，使学生了解工厂供配电系统设计的程序和要求，对供配电系统主接线设计有一个明确的概念，巩固和加深对供配电系统的认识和理解，培养学生独立分析问题和解决问题的能力，理论联系实际的能力，初步学习工程设计的方法。