

小型变配电简易设计与安装



出版说明

随着我国电力、电机制造工业的迅速发展，电力设备不断更新，新技术不断涌现，电工队伍日益壮大，对电工进行技术培训，特别是帮助青年工人提高技术知识水平，便显得十分迫切。为了给广大电工创造自学条件，我们组织编写了这套《电工自学》丛书。

本丛书计划陆续出版的有：《电工学基础》、《电工识图》、《电气安全知识》、《电工材料》、《低压电器》、《常用电工仪表》、《继电保护》、《小型发电站的运行与维修》、《10千伏以下架空线路》、《电力拖动与控制》、《蓄电池的应用与维修》、《电力内线安装技术》、《小型变配电简易设计与安装》、《变配电设备检修手册》、《变配电检修问答》、《变配电调试与运行》、《交直流电机的维修》和《节能电动机和电动机节能》共18本。

本丛书主要供具有初中以上文化程度的广大电力用户和电力系统内部电工自学，也可以作为电工培训的辅导教材。

在丛书编写过程中，江苏省电力工业局及其所属有关供电局和发电厂，江苏省有关市、县电机工程学会等单位曾给予积极支持和帮助，在此谨表示衷心的感谢。

《电工自学》丛书编委会

1984.12

前 言

近年来,小型变电站(所)的设计和施工已越来越引起供电部门和电力用户的重视。为了配合基层电工培训和广大电工自学,我们特编写了这本《小型变配电简易设计与安装》。本书重点介绍一般中、小型工业企业35千伏及以下的小型变配电所的设计和安装工艺要求。其设计和施工安装方法符合国家电力设计技术规范的有关规定,并力求采用国内成熟的新技术、新设备;在设计和计算步骤上简捷、实用;在表达形式上采用表格和常用的典型图纸,图文相互对照,简洁明晰。它便于工厂中级以上电工和技术人员自学和参考。

全书由陈云发、阮国器共同编写。其中阮国器编写了第二章第一、二、三、四节,第三章第一、二、三、四、六节及第四章第一、二节,全书最后由陈云发统稿,郭志兴同志绘制了全部插图。

本书在编写过程中得到了江苏省电机工程学会、南通市电机工程学会和南通供电局、常州供电局的大力支持。全书由许萃群、柯有正负责主审,刘时中、王新泉、伍捷增同志初审了有关章节,并提供了许多宝贵资料和意见。编者在此一并表示衷心的感谢。

编 者

1989年1月

目 录

第一章 工厂变配电设计的基础知识

第一节 概述	1
第二节 工厂变配电设计的内容、方法和程序	4
第三节 工厂电力负荷的计算	9
第四节 功率因数的提高及移相电容器的选择	21
第五节 短路电流的计算	28

第二章 变配电所的主接线、电气设备及成套柜的选择

第一节 主接线及其选择	38
第二节 高压电气设备的选择及校验	50
第三节 电力变压器的选择	58
第四节 成套式高压开关柜的选择	63
第五节 静电电容器屏的选择	82
第六节 成套变电站	93

第三章 工厂变配电所的结构布置

第一节 高压配电室的布置及要求	105
第二节 低压配电装置及其布置	115
第三节 变压器室的布置型式及要求	130
第四节 电容器室的布置及要求	139
第五节 工厂小容量10/0.4千伏户外变电所的设备布置	140
第六节 工厂变配电所电气施工图的绘制	143
第七节 变配电所对土建、采暖、通风、给排水的要求	151

第四章 变配电所的防雷和接地装置

第一节 电气设备和建(构)筑物的防雷	161
第二节 变电所防雷保护计算实例	168
第三节 变配电所的接地装置	172

第五章 继电保护及二次回路的设计

第一节 继电保护的基本知识	184
第二节 保护装置的灵敏度及保护装置与互感器的连接方式	188
第三节 线路的继电保护	189
第四节 电力变压器的继电保护	198
第五节 6~10千伏补偿电容器的继电保护	213
第六节 高压熔断器保护	215
第七节 二次回路原理图和安装图的绘制	218
第八节 电气测量和电能计量	231
第九节 断路器的控制回路和信号回路	239
第十节 变电所的操作电源	251
第十一节 控制室的布置	260

第六章 变配电设备的安装

第一节 电力设备安装的基本工艺	262
第二节 电力变压器的安装	268
第三节 高、低压开关柜的安装	278
第四节 高压电气设备的安装	284
第五节 母线、绝缘子与穿墙套管的安装	292
第六节 控制屏和继电保护屏的安装	306
第七节 防雷装置和接地装置的安装、测量	311

附录

附表 1 电力系统图常用的图形符号	324
附表 2 用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因素	

值.....	331
附表 3 各类工厂的全厂需要系数及功率因数.....	333
附表 4 高压油断路器的主要技术数据.....	333
附表 5 负荷开关的技术数据及其所配用的熔断器和热脱扣器.....	335
附表 6 企业中常用高压隔离开关的技术数据.....	336
附表 7 SL7系列变压器技术数据.....	339
附表 8 3~10千伏电流互感器技术数据.....	341
附表 9 DL-10系列电流继电器技术数据.....	346
附表10 DJ-100系列电压继电器技术数据.....	347
附表11 DS-100系列时间继电器技术数据.....	348
附表12 中间继电器技术数据.....	349
附表13 DX-11型电流、电压信号继电器技术数据.....	350
附表14 GL-10系列电流继电器技术数据.....	351
附表15 高压熔断器技术数据.....	352
附表16 6~35千伏熔丝安秒特性曲线.....	356
附表17 电力系统图中的回路标号.....	357
附表18 二次接线图中常用的设备文字符号.....	359

第一章 工厂变配电设计的基础知识

第一节 概述

一、电力系统

电力生产的特点是电能从生产——传送——分配和使用的全过程，是在同时实现的。生产和消费紧密联系，随时平衡。

现将电能的生产、输送、分配各环节的基本概念介绍如下：

(1) 发电厂 是将各种能源转换成电能的工厂。发电厂按所利用的能源不同，分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、风力发电厂、地热发电厂以及潮汐、太阳能发电厂等。

(2) 变电所 是变换和调整电压，集中和分配电力及控制电力流向的场所。变电所的等级通常以其主变压器高压侧的电压来表示。例如，35千伏变电所或10千伏变电所等。按变压的性质和作用，变电所又可分为升压变电所和降压变电所两种。对仅装有受、配电设备而没有电力变压器的则称为配电所。

(3) 电力网 由变电所和各种不同电压等级的电力线路所组成。它将发电厂生产的电能输送、变换和分配到用户。

(4) 电力系统 由发电厂、电力网及电力用户联系起来的一个发电、输电、配电和用电的整体。

二、电能质量

电力系统中所有的电气设备都是在一定电压和频率按正弦规律变化的条件下工作的。电压、频率和波形是衡量电力系统电能的基本参数。

(1) 频率标准 我国和世界大多数国家电力系统的额定频率为50赫，我国规定的容许偏差是：电网容量在300万千瓦及以上者，为 ± 0.2 赫；电网容量在300万千瓦以下者，为 ± 0.5 赫。

(2) 电压 我国额定供电电压。低压单相为220伏，三相为380伏。高压为10、35、60、110(154)、220、330、500千伏。

供电局供给用户受电端的电压变动幅度不超过：

① 35千伏及以上供电和对电压质量有特殊要求的用户为额定电压的 $\pm 5\%$ 。

② 10千伏及以下高压供电和低压电力用户为额定电压的 $\pm 7\%$ 。

③ 低压照明用户为额定电压的 $+5\sim-10\%$ 。

电压变动幅度：是指实际电压偏移额定值的大小，一般用相对值来表示

$$U\% = \frac{\Delta U}{U_e} \times 100 = \frac{U_z - U_e}{U_e} \times 100$$

式中 ΔU ——电压实际偏移额定电压的数值，伏；

U_e ——额定电压，伏；

U_z ——实际工作电压，伏。

电压偏离额定电压值的原因，是由于当负荷电流通过线

路及变压器时会产生电压损失，一般离电源越远，电压降越大。同一用户的电压，由于用电方式不同，也将随时间不断地变化。就用户有功和无功负荷对电压的影响而言，无功负荷对电压降的影响较大。因而电网中缺乏就地供给无功功率的电源（补偿电容器或调相机）和带负荷调压的设备，是造成用户电压偏低的主要原因。

（3）波形 电力系统的电压应是正弦波形。随着冶金、化工、电气化铁路、电车等换流设备及其它非线性用电设备的增加，致使大量的谐波电流注入电网，造成电压正弦波形畸变，使电能质量下降，给发供电设备及用户（如自动化系统的计算机、通讯、精密测量等）用电设备带来严重的危害。为保证电能的质量，保证电网和用户用电设备的安全经济运行，必须对各种非线性用电设备注入电网的谐波电流加以限制。

根据《水电部SD-126-84电力系统谐波管理暂行规定》，要求电网中任何一点的电压正弦波形畸变率均不得超过表1-1所列范围。

表 1-1 电网电压正弦波形畸变率限值(相电压)

用 户 供 电 电压 (千伏)	总电压正弦波形 畸变率 DFV 限值 (%)	各奇、偶次谐波电压正弦波形畸变率 DFV_n 限值 (%)	
		奇 次	偶 次
0.38	5	4	2
6或10	4	8	1.75
35或63	3	3	1
110	1.5	1	0.5

表中第 n 次谐波电压正弦波形畸变率 DFV_n 为第 n 次谐波电压有效值 V_n 与基波电压有效值 V_1 的百分比，即：

$$DFV_n = \frac{V_n}{V_1} 100\%$$

总电压正弦波形畸变率 DFV 为各次谐波电压（有效值）的均方根值与基波电压有效值的百分比，即

$$DFV = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1}$$

第二节 工厂变配电设计的内容、方法和程序

一、设计内容

全厂总变、配电所的设计，是根据全厂的负荷性质、负荷大小、负荷分布以及电力系统的情况等，解决对全厂各车间安全、可靠、经济的供、配电问题，其设计内容包括：

- ① 变配电所的数量、位置与主变压器台数、电压比和容量的确定。
- ② 变配电所的主接线、电气设备的选择。
- ③ 变配电所的平面、剖面布置。
- ④ 变配电所的防雷保护、接地装置设计。
- ⑤ 变配电所的测量、信号、控制、继电保护的选择和设计。
- ⑥ 供、配电线路的路径走向；导线截面的选择；进行杆位、杆型、杆顶布置的设计及绝缘子、金具的选择。

以上六个方面的问题通过全厂供电系统平面布线图，杆塔总装图，总变、配电所主接线图，电气设备布置的平面、

剖面图，二次接线图及设计说明书主要材料表和工程概算的形式来表达设计内容。

二、设计的步骤

1. 收集资料

① 工厂总平面图，各车间的土建平、剖面图。

② 工艺、给排水、采暖通风、动力等工种的用电设备名称、额定容量（千瓦）、额定电压（伏）、额定功率因数、相数及使用情况（电机的工作制及其暂载率 $JC\%$ ）、车间的环境特征（潮湿、灰尘、易燃或易爆程度）等。这些是供电设计的重要基础资料，是进行负荷计算和选择导线、开关设备以及变压器等的依据。

③ 了解各车间生产流程的顺序，对电气传动和控制操作的要求（例如电气是否联锁的要求等）、对供电可靠性的要求和工艺允许停电时间。这是电气主接线和继电保护、自动装置选择的依据。

④ 全厂的年产量和年最大负荷利用小时数，用以估算全厂的年用电量和最高需用量。

⑤ 应向供电局收集下列资料：

a. 供电局同意供给的电源容量及备用电源容量。

b. 供电电源的电压、供电方式（电缆或架空线，专用线或非专用线），供电电源线路的回路数、截面、长度以及进入工厂的方向和位置。

c. 电力系统最小和最大运行方式时的电流，供电端或受电端母线上的各种短路电流数据。

d. 供电端出线的继电保护方式及其动作电流和动作时间的整定值；供电局对工厂进线与供电端出线之间的继电保护方式和时限配合的要求。

e. 供电局对工厂电能计量的要求（如高压供电、高压计量或高压供电低压计量，照明与电力是否要分别计量或合并计量）。

f. 供电局对工厂功率因数的要求。

g. 当地电价及电费的收取办法（包括计算方法、奖罚规定等）。

h. 电源线路厂外部分设计及施工的分工（一般由供电局负责），以及工厂应负担的投资额。

i. 供电局的其他特殊要求（如对大型电动机起动的意见，对自动减负荷的要求，对负荷转送的要求等）。

⑥ 向当地气象部门及其他单位收集的资料，包括：

a. 气象、地质资料，见表1-2。

b. 当地电气安装的常用设施、经验、特殊规定。

c. 当地生产的电气设备及材料情况。

d. 当地电气工程的技术经济指标。

表 1 - 2 气象、地质资料的内容及用途

内 容	用 途
最高年平均温度	选变压器
最热月平均最高温度	选室外裸导线及母线
最热月平均温度	选室内导线和母线
一年中连续三次的最热日，昼夜平均温度	选空气中敷设的电缆
最大风速	架空线路档距和弧垂的选择
土壤中0.7~1.0米深处一年中最热月平均温度	选地下电缆
年雷电小时数和雷电日数	防雷装置设计

续表

内 容	用 途
土壤结冻深度	接地装置设计
土壤电阻率	接地装置设计
50年一遇的最高洪水位和主导风向	选变电所的所址
地震烈度	防震措施

三、设计的程序和方法

一般中、小型工厂的变配电设计程序可分为两个阶段：

1. 第一阶段设计

第一阶段为拟定方案意见书（扩初设计）阶段。其主要内容为：

① 参照同类型工厂和结合本厂情况，计算出工厂的最大用电负荷及年用电量，并用表列出用电负荷主要数据（如表1-3所示）。

② 向当地供电局收集和落实可能对本工厂的供电电源容量（包括备用电源）及供电方式（电缆或架空线送电，及专用线或非专用线；供电线路回数；进入工厂的方位等）和继电保护的要求等。选择符合国家政策和技术、经济上最合理的供电方案，设计出全厂供、配电一次系统的主接线。

③ 选择变配电所的位置。根据工厂总平面图和供电电源情况，确定变配电所的地理位置，在选择变配电所的位置时应综合考虑以下原则：

a. 尽量靠近负荷中心，使电能、电压损耗和有色金属的消耗为最少。

b. 进出线和运输方便。

- c. 靠近电源侧。
 - d. 尽量不设在有剧烈震动和低洼积水的场所。
 - e. 不设在多尘或有腐蚀性气体的场所。如无法远离时，应设在主导风向的上风侧。
 - f. 高压配电所应尽量与车间变电所或有大量高压用电设备的厂房合建在一起。
 - g. 不应妨碍工厂或车间的发展，并应考虑今后扩建的可能。
- ④ 进行负荷和短路电流的计算，选择电气设备。
- ⑤ 根据负荷和对功率因数的要求确定变配电所的数量、位置、面积、变压器数量及容量等。

表 1-8 工厂用电负荷主要数据表

计 算 项 目	负 荷 性 质	单 位	数 量
全厂用电设备的总 设备容量	电 力	千瓦	
	照 明	千瓦	
全厂电力需要容量	有 功	千瓦	
	无 功	千乏	
	视 在	千伏安	
需 要 系 数 (K_x)			
功 率 因 数	补 偿 前		
	补 偿 后		
补偿电容器容量	高 压	千乏	
	低 压	千乏	
概 算 价 值		千元	

⑥ 主要设计方案原则的确定，如有重大方案比较时，应

同时列入。

⑦ 编制设计文件。

⑧ 按规定的概算指标编制概算。

⑨ 附图。包括变电所的平面布置图和主接线图；全厂的高压配电线路路径平面图和系统的主接线图。

⑩ 附表。包括：

a. 全厂用电负荷计算表（参见表1-3）。

b. 各变电所负荷计算表。

c. 主要设备材料表（开列国家统一调拨的一、二类物资，如有不作为订货的，应加以说明）。

2. 第二阶段设计

第二阶段为施工图设计阶段。其主要工作内容包括：

① 校正第一阶段扩初设计的基础资料和有关计算数据。

② 绘制施工设计图。包括一次设备的平、剖面布置和施工安装图；防雷保护和接地装置安装图；继电保护和二次回路的选择、布置、安装图；厂区配电线路的安装图等。

③ 向土建工种提出变配电所的土建资料（包括变配电所的平面图和剖面图，通风及防火要求，预留洞及预埋件等要求），变配电所及高低压线路路径在总平面图上的布置资料等。

④ 提供订货资料或图纸。

⑤ 编制修正概算。

第三节 工厂电力负荷的计算

为了合理地选择变配电系统中的导线、电缆、开关电器和变压器等设备元件，并使这些电气设备和材料得到充分的

利用和安全运行，必须进行工厂电力负荷的计算。

在变配电设计中电气设备是按计算负荷来选择的。计算负荷（以符号 P_{js} 来表示）是指按照发热条件来选择电气设备的一个假定负荷。根据计算负荷选择的导线及电器在实际运行中导体及电器的最高温升就不会超过容许值。通常采用负荷最大的半小时（30分钟）平均值作为计算负荷，所以计算负荷又叫半小时最大负荷，因此计算负荷符号 P_{js} 也可以写为符号 P_{30} 。

在运行中出现的短时（1~2秒）最大负荷，称尖峰负荷，以符号 I_{st} 表示（如电动机的起动电流等）。从发热观点考虑，这种短暂的尖峰负荷不是造成设备达到最高温度的主要原因，因为设备还来不及升高到其相应的温度之前，尖峰负荷已经消失。

由于影响电力负荷变化的因素较多，所以计算负荷的确定不可能有高度的准确性。现将目前工厂变配电设计中普遍采用于确定计算负荷的两种方法介绍如下：

一、按需要系数法确定计算负荷

一个工厂的所有用电设备，实际上不一定同时运行，而运行的那些设备又不大可能同时满负荷，因此用电设备的计算容量一般都小于用电设备的总容量。

1. 设备容量的计算

每台用电设备的铭牌上都标有额定容量，但由于各用电设备的工作条件不同，例如有的是长时工作制，有的是反复短时工作制，因此，不能将铭牌上的额定容量直接相加，而必须换算至统一规定的工作制下的额定容量，称为设备容量，设备容量（符号为 P_e ）的计算有以下两种方法：

① 对一般连续运行的长时工作制和短时运行（运行时间

短而停歇时间长，其发热足以在停歇时间内冷却到周围介质的温度）。包括一般电动机和白炽灯等，设备容量 P_e 就是其铭牌额定容量 P_n 。

②断续运行工作制（即反复短时工作制）的用电设备组，其工作时间（符号为 t_o ）与停歇时间（符号为 t_r ）相互交替。通常用暂载率的百分数来表示在一个工作周期（ $t_o + t_r$ ）内工作时间的长短。暂载率（符号为 $JC\%$ ），又称接电率（符号为 $e\%$ ），或负载持续率（符号为 $ZZ\%$ ），即

$$JC\% = e\% = ZZ\% = \frac{\text{工作时间}}{\text{工作周期}} = \frac{t_o}{t_o + t_r} \times 100\% \quad (1-1)$$

我国规定，工作周期以10分钟为计算依据。

a. 对吊车电动机的标准暂载率 $JC\%$ 有15%、25%、40%和60%四种，但在计算设备容量时，一律要化到 $JC\% = 25\%$ ，因此需按同一周期的等效发热条件进行换算：

$$P_e = \sqrt{\frac{JC_e}{JC_{25}}} \cdot P_n = 2 \sqrt{JC_e} \cdot P_n \quad (1-2)$$

式中 JC_e ——与额定容量 P_n 相对应的暂载率，

JC_{25} —— JC 为25%时的暂载率。

b. 对电焊机组的标准暂载率有50%、65%、75%、100%四种，但计算时要换到 $JC = 100\%$ 。由上故有

$$P_e = \sqrt{\frac{JC_e}{JC_{100}}} \cdot S_e \cdot \cos\varphi = \sqrt{JC_e} \cdot S_e \cdot \cos\varphi \quad (1-3)$$

式中 JC_e ——与 S_e 相对应的暂载率，

JC_{100} —— JC 为100%时的暂载率，

$\cos\varphi$ ——满载时的功率因数，

S_e ——额定视在功率，千伏安。