



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十三五”规划教材

Power Supply and  
Distribution Technology

# 供配电技术

© 刘 燕 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十三五”规划教材

# 供 配 电 技 术

刘 燕 编著



机械工业出版社

本书系统讲述了供配电系统的基本知识、基本理论以及供配电系统的基本计算方法和运行管理方面的相关知识。

全书共分为 10 章,包括概论、负荷计算及无功功率补偿、短路电流及其计算、供配电系统的电气设备及选择、变配电所的电气主接线及结构、供配电线路、高层建筑的供配电系统、供配电系统的继电保护、供配电系统的二次回路及自动装置、供配电系统的安全技术。每章后均配有与本章内容相关的基本能力训练,并附有思考题与习题,以便读者复习和自学。

本书可作为本科院校电气工程及其自动化、自动化、建筑电气与智能化等相关专业的教材,也可供从事供配电系统运行管理或其他相关行业的技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

供配电技术/刘燕编著. —北京:机械工业出版社, 2016. 1  
普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-111-52381-9

I. ①供… II. ①刘… III. ①供电—高等学校—教材②配电系统—高等学校—教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 300771 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王雅新 责任编辑:王雅新 王 荣

版式设计:霍永明 责任校对:张 薇

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

唐山丰电印务有限公司印刷

2016 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.75 印张·434 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-52381-9

定价:38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

当前电力工业的发展，融合了计算机、自动化、通信、远动等技术，以弱电控制强电、多学科交叉的电力网络正得到广泛的应用。供配电系统从变电所（站）的结构形式到一次系统的运行管理，以及对一次系统进行控制、保护、测量、信号等的二次回路都发生了很大变化。本书在编写过程中，汲取了高等院校在探索应用型人才培养方面取得的经验，在保证内容系统性的前提下，尽量压缩传统知识，增加新知识，力争反映供配电技术发展中的新元件、新技术、新的控制方式。编写中做到深入浅出，理论联系实际。

本书具有以下特色：

1. 内容全面、新颖。供配电系统包括工业企业供配电系统和民用建筑供配电系统。本书在内容的组织与安排上尽量涵盖这两部分，并将两部分中相通的内容融为一体介绍，对重要的不同点则分别予以阐述。

2. 叙述力求简洁。本书在讲述电气设备时，着重介绍了广泛应用的新产品，并力求采用最新技术标准规范来讲述供配电技术问题。在介绍各种电气设备的结构原理时，均配有简明清晰的结构或元件实际图片，使元件识别更形象。在讲述有关的选择计算时，均适当配有选择计算示例，便于读者更准确地理解和掌握。

3. 注重实际技能。在每章后都配有与本章内容相关的基本能力训练。这些训练内容具有一定的针对性、可操作性及应用性，如中小型工厂计算负荷的确定、电气设备的运行监视与操作、变配电所的操作等，旨在突出实用技术与能力培养。

4. 加强了读图与识图的能力培养。本书在内容讲述中配有大量的与内容相关的原理图及接线图，如讲电气接线图时，配有不同类型变电所主接线图；在讲述控制、保护电路时，配有原理图等；在基本能力训练中加大了工程识图，如电力系统图、电气接线图和建筑电气工程图等识读。

本书由刘燕教授编著。由于作者水平有限，书中难免有错漏之处，敬请同行、师生和读者批评指正，不胜感谢。

作 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 概论 ..... 1

### 1.1 电力系统和供电系统的基本构成 ..... 1

#### 1.1.1 电力系统的组成 ..... 1

#### 1.1.2 供电系统的组成 ..... 6

### 1.2 电力系统的电压 ..... 7

#### 1.2.1 三相交流电网和电力设备的额定电压 ..... 7

#### 1.2.2 电压分类及高低电压的划分 ..... 9

#### 1.2.3 供电系统电压的选择 ..... 10

### 1.3 电力系统中性点的运行方式 ..... 11

#### 1.3.1 中性点不接地系统 ..... 11

#### 1.3.2 中性点经消弧线圈接地系统 ..... 13

#### 1.3.3 中性点直接接地或经低电阻接地系统 ..... 14

#### 1.3.4 低压配电系统的接地形式 ..... 14

#### 1.3.5 中性点不同接地方式的比较和应用范围 ..... 16

### 1.4 供电的质量指标 ..... 17

#### 1.4.1 电压的质量要求 ..... 17

#### 1.4.2 频率的质量要求 ..... 19

#### 1.4.3 供电的可靠性要求 ..... 20

### 1.5 电力负荷的分级及其对供电的要求 ..... 20

#### 1.5.1 电力负荷的分级 ..... 20

#### 1.5.2 各级负荷对供电电源的要求 ..... 21

### 1.6 分布式发电与微电网 ..... 22

#### 1.6.1 分布式发电 ..... 22

#### 1.6.2 微电网的结构和特点 ..... 23

### 基本能力训练 电力系统图的识读与电力负荷分级 ..... 24

### 思考题与习题 ..... 25

## 第2章 负荷计算及无功功率补偿 ..... 27

### 2.1 负荷曲线及有关物理量 ..... 27

#### 2.1.1 负荷曲线的类型 ..... 27

#### 2.1.2 与负荷曲线和负荷计算有关的物理量 ..... 28

#### 2.1.3 用电设备的工作制与设备容量 ..... 29

### 2.2 三相用电设备组计算负荷的确定 ..... 31

#### 2.2.1 概述 ..... 31

#### 2.2.2 按需要系数法确定计算负荷 ..... 31

#### 2.2.3 按二项式系数法确定计算负荷 ..... 34

### 2.3 单相用电设备组计算负荷的确定 ..... 36

#### 2.3.1 概述 ..... 36

#### 2.3.2 单相设备组等效三相负荷的计算 ..... 36

### 2.4 供电系统计算负荷和年电能需要量的计算 ..... 37

#### 2.4.1 供电系统计算负荷的确定 ..... 37

#### 2.4.2 供电系统年电能需要量的计算 ..... 39

### 2.5 供电系统功率因数及无功功率补偿 ..... 39

#### 2.5.1 功率因数的分类及供电部门要求 ..... 39

#### 2.5.2 无功补偿装置的选择 ..... 40

#### 2.5.3 无功补偿容量的确定 ..... 41

#### 2.5.4 并联电容器的装设位置 ..... 41

#### 2.5.5 无功补偿后的工厂计算负荷 ..... 42

### 2.6 尖峰电流的计算 ..... 44

#### 2.6.1 单台用电设备尖峰电流的计算 ..... 44

#### 2.6.2 多台用电设备尖峰电流的计算 ..... 44

### 基本能力训练 中小型工厂计算负荷的确定 ..... 45

### 思考题与习题 ..... 48

## 第3章 短路电流及其计算 ..... 50

### 3.1 短路的原因、后果及形式 ..... 50

#### 3.1.1 短路的原因 ..... 50

#### 3.1.2 短路的后果 ..... 50

3.1.3 短路的形式	51	4.4.2 隔离开关	87
3.2 无限大容量系统三相短路时的暂态过程及物理量	52	4.4.3 高压负荷开关	89
3.2.1 无限大容量系统	52	4.5 熔断器	90
3.2.2 无限大容量系统三相短路的暂态过程及物理量	52	4.5.1 高压熔断器	90
3.3 供配电系统三相短路电流的计算	54	4.5.2 低压熔断器	91
3.3.1 欧姆法计算三相短路电流	54	4.6 低压开关设备	93
3.3.2 标幺制法计算三相短路电流	58	4.6.1 低压负荷隔离开关	93
3.3.3 大容量电动机对短路电流的影响	61	4.6.2 低压刀熔开关	94
3.4 两相和单相短路电流的计算	62	4.6.3 低压断路器	94
3.4.1 两相短路电流的计算	62	4.7 成套配电装置	98
3.4.2 单相短路电流的计算	62	4.7.1 高压成套配电装置(高压开关柜)	98
3.5 短路电流的力效应和热效应	63	4.7.2 低压成套配电装置(低压配电屏)	100
3.5.1 短路产生的效应及电气设备进行校验的必要性	63	4.7.3 动力和照明配电箱	101
3.5.2 短路电流的力效应	63	4.8 高压开关电器的选择	101
3.5.3 短路电流的热效应	65	4.8.1 电气设备选择的一般原则	101
基本能力训练 中小型工厂变电所短路电流计算	66	4.8.2 高压隔离开关、负荷开关和断路器的选择与校验	102
思考题与习题	68	4.9 互感器的选择及校验	104
<b>第4章 供配电系统的电气设备及其选择</b>	69	4.9.1 电流互感器的选择及校验	104
4.1 电气设备概述	69	4.9.2 电压互感器的选择及校验	105
4.1.1 电气一次设备及其分类	69	4.10 低压熔断器的选择	107
4.1.2 电气设备运行中的电弧问题与灭弧方法	70	4.10.1 熔断器熔体电流的选择	107
4.2 电力变压器	72	4.10.2 熔断器的选择及校验	107
4.2.1 电力变压器的分类及特点	72	4.10.3 前后熔断器之间的选择性配合	108
4.2.2 电力变压器的结构及型号	73	4.11 低压断路器的选择	108
4.2.3 电力变压器的联结组别	74	基本能力训练 电气设备的运行监视与操作	112
4.2.4 电力变压器的实际容量及过载能力	75	思考题与习题	116
4.2.5 电力变压器的选择	75	<b>第5章 变配电所的电气主接线及结构</b>	118
4.3 互感器	77	5.1 变配电所的任务和类型	118
4.3.1 电流互感器	77	5.1.1 变配电所的任务	118
4.3.2 电压互感器	81	5.1.2 变电所的类型	118
4.4 高压开关设备	84	5.2 变配电所的电气主接线	120
4.4.1 高压断路器	84	5.2.1 变配电所主接线的基本形式	120
		5.2.2 变配电所电气主接线方案	123
		5.3 变配电所选址与布置	129
		5.3.1 变配电所所址选择的一般	

原则 .....	129	7.6 自备应急柴油发电机组 .....	173
5.3.2 变电电所的总体布置 .....	129	7.6.1 应急柴油发电机组的供电 范围 .....	173
5.3.3 变电电所的结构要求 .....	133	7.6.2 柴油发电机组的选用 .....	173
基本能力训练 变电电所的倒闸 操作 .....	135	基本能力训练 建筑电气工程图 .....	174
思考题与习题 .....	139	思考题与习题 .....	177
<b>第6章 供配电线路</b> .....	141	<b>第8章 供配电系统的继电保护</b> .....	178
6.1 供配电线路的接线方式 .....	141	8.1 继电保护的任务和要求 .....	178
6.1.1 高压供配电线路的接线方式 .....	141	8.1.1 继电保护装置的任务 .....	178
6.1.2 低压供配电线路的接线方式 .....	143	8.1.2 继电保护的类型及构成 .....	178
6.2 供配电线路的结构与敷设 .....	145	8.1.3 对继电保护的基本要求 .....	179
6.2.1 架空线路的结构与敷设 .....	145	8.2 常用的保护继电器及其接线 方式 .....	180
6.2.2 电缆线路的结构与敷设 .....	147	8.2.1 常用保护继电器 .....	180
6.2.3 低压配电线路的结构与敷设 .....	148	8.2.2 继电保护装置的接线方式 .....	183
6.3 导线和电缆截面积的选择 .....	150	8.3 高压电力线路的继电保护 .....	184
6.3.1 按发热条件选择导线和电缆的 截面积 .....	151	8.3.1 电力线路保护的配置 .....	184
6.3.2 按允许电压损失选择导线和 电缆的截面积 .....	153	8.3.2 带时限过电流保护的构成与 动作原理 .....	184
6.3.3 按机械强度选择导线和电缆 的截面积 .....	157	8.3.3 电流速断保护 .....	187
6.3.4 按经济电流密度选择导线和 电缆的截面积 .....	158	8.3.4 单相接地保护 .....	189
基本能力训练 供配电线路的运行 与维护 .....	159	8.3.5 电力线路的过负荷保护 .....	190
思考题与习题 .....	161	8.4 电力变压器的保护 .....	191
<b>第7章 高层建筑的供配电系统</b> .....	162	8.4.1 电力变压器的故障、不正常 工作状态及保护配置 .....	191
7.1 高层建筑负荷的计算 .....	162	8.4.2 电力变压器的过电流保护、 电流速断保护和过负荷保护 .....	191
7.1.1 高层建筑负荷的特点 .....	162	8.4.3 电力变压器低压侧的单相短路 保护 .....	194
7.1.2 高层建筑负荷的计算 .....	163	8.4.4 电力变压器的瓦斯保护 .....	194
7.2 高层建筑的变电所主接线 .....	164	8.4.5 变压器差动保护 .....	195
7.2.1 一般民用建筑变电所主接线 .....	164	8.5 微机继电保护 .....	196
7.2.2 高层民用建筑变电所主接线 .....	165	8.5.1 微机保护系统的组成 .....	196
7.3 高层建筑变电所的类型及 布置 .....	166	8.5.2 微机保护逻辑原理 .....	198
7.3.1 高层建筑变电所的类型 .....	166	基本能力训练 微机保护装置实例 .....	201
7.3.2 高层建筑变电电所的布置 .....	166	思考题与习题 .....	208
7.4 箱式变电站 .....	167	<b>第9章 供配电系统的二次回路及     自动装置</b> .....	209
7.5 高层建筑低压配电系统 .....	169	9.1 二次回路的基本知识 .....	209
7.5.1 低压配电系统的接线方式 .....	169	9.2 二次回路的操作电源 .....	210
7.5.2 照明供电系统 .....	171	9.2.1 直流操作电源 .....	210

9.2.2 交流操作电源 .....	212	10.1.3 直接接触电防护和间接触电 防护 .....	236
9.3 高压断路器的控制和信号 回路 .....	213	10.2 过电压与防雷 .....	236
9.3.1 对断路器控制回路的基本要求 ..	213	10.2.1 过电压的形式 .....	236
9.3.2 采用灯光监视就地控制的 断路器控制与信号回路 .....	214	10.2.2 防雷设备 .....	237
9.3.3 采用微机远方监控的断路器 控制和信号回路 .....	216	10.2.3 防雷措施 .....	240
9.4 中央信号回路 .....	218	10.3 供配电系统的接地 .....	242
9.4.1 中央事故信号装置 .....	218	10.3.1 接地的作用及有关概念 .....	242
9.4.2 中央预告信号装置 .....	219	10.3.2 接地的类型 .....	244
9.5 电测量仪表与测量回路 .....	220	10.3.3 电气装置的接地与接地电阻 的要求 .....	244
9.5.1 仪表的准确度要求 .....	220	10.3.4 接地电阻的装设 .....	245
9.5.2 互感器和测量仪表的配置 .....	221	10.3.5 接地电阻的计算 .....	247
9.5.3 电气测量回路与绝缘监视回路 ..	222	10.3.6 接地装置平面布置图示例 .....	248
9.6 供配电系统的自动控制装置 .....	223	10.4 低压配电系统的等电位联结 与漏电保护 .....	249
9.6.1 自动重合闸装置 .....	223	10.4.1 低压配电系统的等电位联结 .....	249
9.6.2 备用电源自动投入装置 .....	224	10.4.2 低压配电系统的漏电保护 .....	250
9.7 变电所综合自动化 .....	226	基本能力训练 触电的急救处理 .....	252
9.7.1 变电所综合自动化系统的基本 功能 .....	226	思考题与习题 .....	254
9.7.2 变电所综合自动化系统的结构 ..	228	附录 .....	256
基本能力训练 变电所综合自动化 系统的配置与组屏 实例 .....	230	附录 A 需要系数和二项式系数 .....	256
思考题与习题 .....	232	附录 B 并联电容器的技术数据 .....	258
<b>第 10 章 供配电系统的安全技术</b> .....	235	附录 C 电力变压器的技术数据 .....	259
10.1 电气安全的基本知识 .....	235	附录 D 高低压电器的主要技术 数据 .....	260
10.1.1 触电对人体的危害 .....	235	附录 E 电缆、导线的技术数据 .....	265
10.1.2 安全电流和特低电压 .....	235	附录 F 接地电阻的技术数据 .....	270
		参考文献 .....	273



# 第 1 章 概 论

**[内容提要]** 电力系统是生产、输送、使用电能的统一整体，供配电系统是电力系统中电能用户的供电网络。了解和掌握电力系统和供配电系统的概念、额定电压、中性点的运行方式、电能的质量指标和电力负荷等基本知识，对学习供配电技术是很重要的。本章就上述问题做了概述。

## 1.1 电力系统和供配电系统的基本构成

电能是由自然界中蕴藏的各种一次能源转变来的清洁二次能源。电能既可以方便地远距离传输，又能很容易地转换为其他形式的能量，运行过程又易于控制、管理及调度，因此电能已广泛应用于国民经济和社会生活的各个方面而成为主要的能源和动力。随着新技术的涌现和电气化程度的提高，国民经济和人民生活对电能的依赖程度越来越高，因此保障和提高供配电系统的运行可靠性就显得越发重要。

电力系统是生产、输送、使用电能的统一整体；供配电系统是电能用户所需电能的供应和分配网络，它处于电力系统的末端，作为用户端电力负荷的供电部分。保证安全、可靠、优质、经济的供电是电力系统和供配电系统的基本任务。

### 1.1.1 电力系统的组成

电力系统是由各级电压的电力线路将发电厂、电力网和电力用户联系起来实现电能的生产、输送、分配、变换和使用的统一整体。众所周知，电能是由发电厂生产的。为了充分利用动力资源，降低发电成本，发电厂多建在一次能源丰富的偏远地区，而电能用户一般集中在大中城市和负荷集中的大工业区，因此发电厂生产出的电能要经过高压远距离输电线路输送，才能到达各电能用户。从发电厂到用户的输配电过程如图 1-1 所示。从发电厂发出的电能，除了供给附近用户直接配电外，一般都经过升压变电所将其变换为 220kV 以上的高压或超高压电能，以高压输电线路进行电力传输；中途设立枢纽变电所可向较远的城市 and 工矿区输送电能，电能到达城郊或工业区再设降压变电所将降压后的 35 ~ 110kV 电能配电给附近的市内降压变电所或企业总降压变电所；在企业内部经过终端变电所的进一步降压，将电能变换为工厂和居民区用电负荷能够接受的电压，再由各种用电设备将电能转换成动力、热、光等不同形式的能量，为地区经济和人民生活服务。由此可见电力系统是由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统。从构成上来讲电力系统可以大到跨越几个省份，也可以小到一个地区。由于自然资源分布与经济发展水平等条件限制，电能的集中开发与分散使用，以及电能的连续供应与负荷的随机变化成为制约电力系统结构和运行的根本特点。从运行上来看，电力系统具有如下特点：

(1) 电能不能大量存储。由于目前还没有大量存储电能的好方法，因而电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的，即任何时刻发电机所送出的功率等于用电设备所消

耗的功率与输送过程中产生的功率损耗之和。

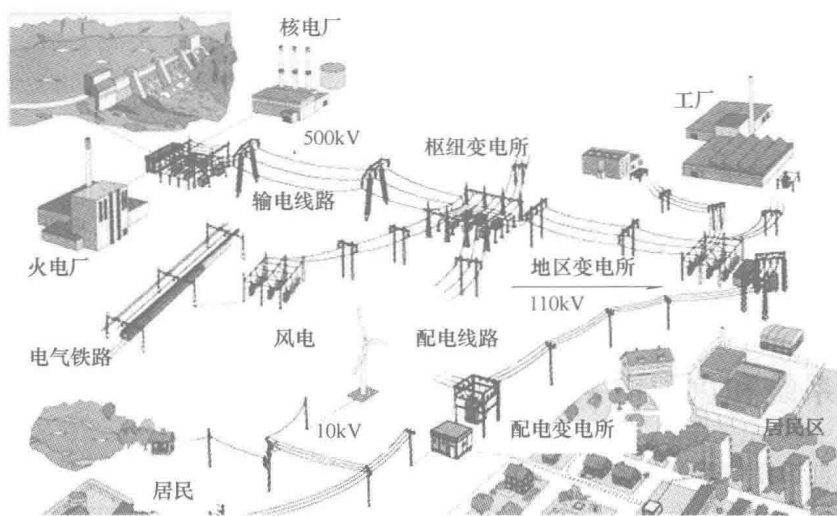


图 1-1 从发电厂到用户的输配电过程示意图

(2) 电力生产的快速性 电能输送过程迅速，其传输速度与光速相同，每秒达到 30 万 km，即使相距几万公里，发、输、用基本上都是同时完成的。电力系统的暂态过程非常短促，从一种运行状态到另一种运行状态的过渡极为迅速，以毫秒甚至微秒计。

(3) 与国民经济和人民生活密切相关 当今社会一切厂矿企业、事业单位和人民生活均离不开电能，供电的突然中断会造成很大的损失以致产生严重的后果。

现代电力系统正朝着电源结构的多样性和互补性、控制和调度手段的先进性以及输电方式的新颖性发展。现将电力系统各组成部分做如下介绍。

### 1. 发电厂（站）

发电厂根据利用一次能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电站、潮汐发电站等，此外还有地热发电、太阳能发电、垃圾发电和沼气发电等。目前我国和世界大多数国家仍以火力发电、水力发电和核能发电为主。

(1) 火力发电厂 火力发电厂是利用煤、石油、天然气等作为燃料生产电能的工厂，主要设备有锅炉、汽轮机、发电机等。基本生产过程是：燃烧的化学能在锅炉中燃烧转变为热能，加热锅炉中的水使之变成高温高压蒸汽，过热的蒸汽进入汽轮机，推动汽轮机的转子旋转，将热能转换为机械能，汽轮机带动联轴的发电机旋转发电，将机械能转换为电能。火力发电厂实景图如图 1-2 所示。

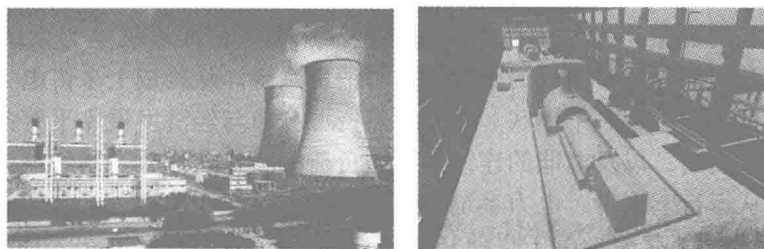


图 1-2 火力发电厂实景图

(2) 水力发电厂 水力发电厂是利用江河水流的位能生产电能的工厂，主要由水库、水轮机和发电机组组成。基本生产过程是：从河流较高处或水库内引水，利用水的压力或流速冲动水轮机旋转，将水能转变为机械能，然后水轮机带动发电机旋转，将机械能转变为电能。水力发电厂实景图如图 1-3 所示。

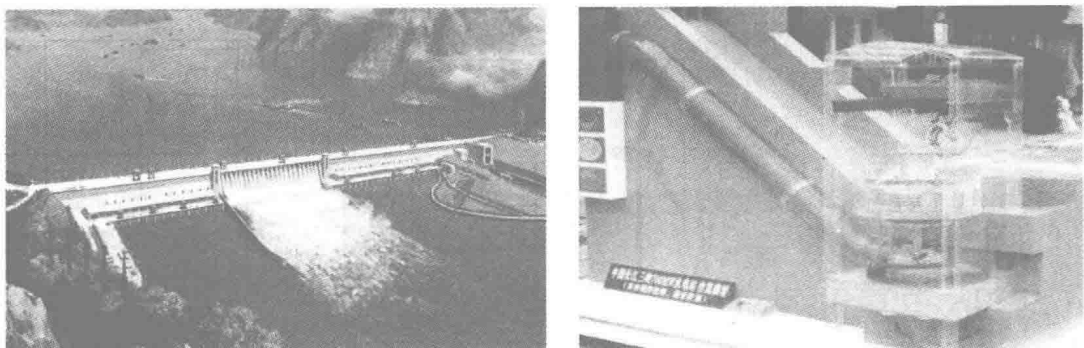


图 1-3 水力发电厂实景图

(3) 核能发电厂 核能发电厂是利用原子核的裂变能来生产电能的工厂，主要设备有反应堆、汽轮机、发电机等。其生产过程与火力发电厂基本相同，只是用核反应堆代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了煤炭。核能发电厂实景图和生产过程如图 1-4 所示。

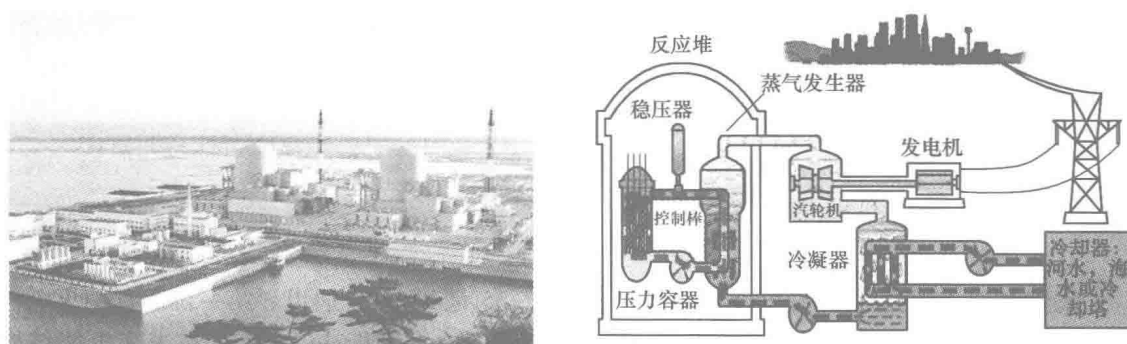


图 1-4 核能发电厂实景图和生产过程

(4) 风力发电 风力发电是利用风力的动能来生产电能。发电过程是：风的动能先被风力机的桨叶捕获并转换为机械能，再经过一个含齿轮箱（增速）的机械传动系统传递给发电机；发电机实现机械能到电能的转换。由于风速是变化的，发电机直接出来的电能幅值和频率上都与电网不同，不能够直接被用户使用，需要一个功率变换装置。功率变换装置一方面实现与电网的接口，另一方面可以实现风力发电机的控制。由于风能的能量密度较小，因此风力发电的单机容量不可能很大。为了保证连续供电，风力发电必须配备一定的蓄电装置。风能是一种取之不尽的清洁、价廉和可再生的能源，因此我国确定要大力发展风能。风力发电如图 1-5 所示。

(5) 太阳能发电 太阳能发电是利用太阳的光能或热能来生产电能，通常说的太阳能发电指的是太阳能光伏发电。太阳能发电是利用半导体界面的光生伏特效应而将光能

转变为电能的一种技术，太阳电池经过串联后进行封装保护可形成大面积的太阳电池组件，配合功率控制器等部件就形成了光伏发电装置。太阳能是一种十分安全、经济、没有污染而且取之不尽的能源，太阳能发电厂建在常年日照时间较长的地方。太阳能发电如图 1-6 所示。

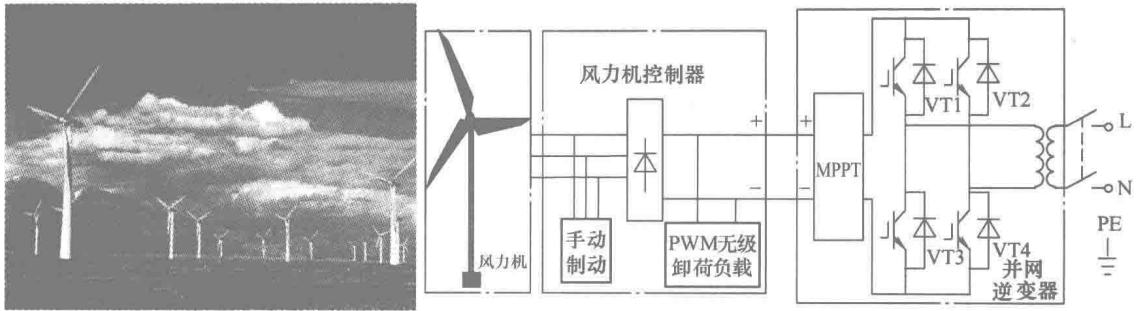


图 1-5 风力发电

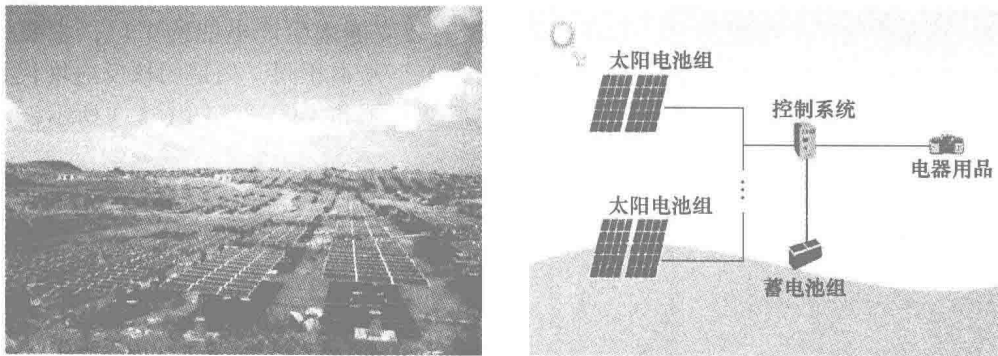


图 1-6 太阳能发电

截至 2015 年底，我国发电装机总容量突破 12.35 亿 kW，位居世界第一位。其中火电占 67.9%，水电占 19.5%，风电占 6.9%，核电占 2.6%，太阳能占 2.6%。在未来电能结构调整中，我国要快速提高非化石能源发电比例，到 2020 年，可再生能源发电和核电比例将达到 15%。

## 2. 电力网

电力网由变电站（所）和不同电压等级的输配电线路所组成，作用是输送、控制和分配电能。按照电压等级不同，电力网分为输电网和配电网。三相交流电压为 330kV 及以上或直流 ±500kV 及以上的称为输电网；三相交流电压为 220kV 以下的称为配电网。

变电站（所）是电力网的主要组成部分，其功能是接受电能、变换电压和分配电能。变电站（所）由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电站（所）的性质和任务不同，可分为升压变电站（所）和降压变电站（所）。升压变电站（所）通常紧靠发电厂，而降压变电站（所）通常远离发电厂而靠近负荷中心。根据变电站（所）在电力系统中所处的地位和作用，可分为枢纽变电站（所）、地区变电站（所）和用户变电所。枢纽变电站（所）位于电力系统的枢纽点，联系多个电源，出线回路多，变电容量大，电压等级一般为

330kV及以上；地区变电站（所）一般作为地区或中、小城市配电网的主要变电所，电压等级一般为110~220kV；用户变电所位于配电线路的终端，接近负荷处，高压侧10~110kV引入线，经降压后向用户供电。

目前我国逐步形成了以大行政区为基础的7个跨省大区电网，分别为华中、华东、川渝、华北、东北、西北及南方电网。2010年前后，已建成以三峡电网为中心连接华中、华东、川渝的中部电网；华北、东北、西北三个电网互联形成的北部电网；以及云南、贵州、广西、广东4省区的南部联合电网。各电网中500kV（包括330kV）主网架逐步形成和壮大，220kV电网不断完善和扩充，750kV输变电工程（青海官亭—甘肃兰州东）已投入运行，1000kV交流特高压试验示范工程（晋东南—南阳—荆门）已通电运行；世界第一条±800kV云广（云南禄丰—广东增城）特高压直流输电工程项目成功送电。

目前我国进入了大电网、大电厂、大机组、高电压输电、高度自动控制的新时代。我国规划，到2015年，在做到水电、火电、核电和新能源合理利用和开发的基础上，形成全国联合电网，实现电力资源在全国范围内的合理配置和可持续发展。现代电力系统正朝着能源结构的多样性和互补性、控制和调度手段的先进性、输电方式的新颖性方向发展。

### 3. 电能用户

所有消耗电能的单位均称为电能用户。从大的方面可分为工业电能用户和民用电能用户。

典型电力系统的系统图如图1-7所示。该图中有大型水电站、火力发电厂、核电厂等，这些发电厂中的发电机经过升压变电站将电压升高至220~500kV进行远距离输电，经过枢纽变电所与电力系统中某一个用电区域的110~220kV配电网相连，属于该区域内的发电厂的发电机由升压变电站直接进入本区域配电网；该系统中的负荷有大型用户和中小型用户等。

从图1-7可以看出，电力系统将分散于各地的众多发电厂连接起来并联工作，并通过电网与分散在各地的负荷中心的用户联系起来，实现电能的大容量、远距离的输送。因此建立大型电力系统可以经济、合理地利用一次能源，降低发电成本，减少电能损耗，提高电能质量，实现电

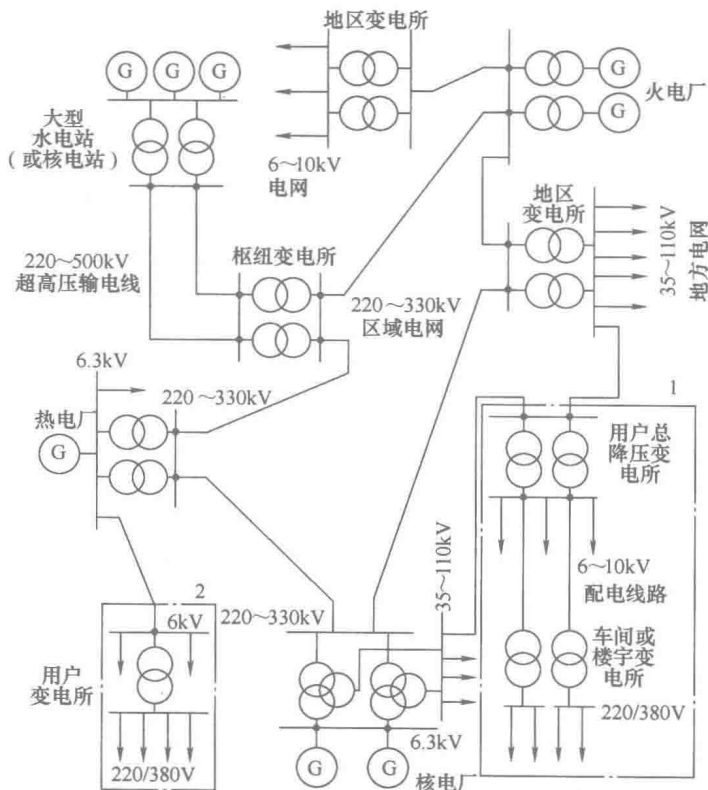


图 1-7 大型电力系统的系统图

能的灵活调节和调度，大大提高供电的可靠性。

### 1.1.2 供配电系统的组成

供配电系统是工业企业供配电系统和民用建筑供配电系统的总称。它反映电能用户的电能供应和分配问题。供配电系统是电力系统的重要组成部分，是电能用户的供电网络。对电能用户来讲，供配电系统的范围是指从电源线路进入用户起到高低压用电设备进线端止的整个电路，它由变配电所、配电线路和用电设备构成。图 1-7 中点画线框 1、2 为供配电系统示意图。本书主要讲述电能用户的供配电系统相关知识。

不同类型的电能用户，供配电系统的组成是不相同的。

对大型用户及某些电源进线电压为 35kV 及以上的中型用户，供配电系统一般经过两次降压，也就是电源进厂以后，先经过总降压变电所，将 35kV 及以上的电源电压降为 6 ~ 10kV 的配电电压，然后通过高压配电线路将电能送到各个车间变电所，也有的经高压配电所再送到车间变电所，最后经配电变压器降为一般低压用电设备所需的电压，如图 1-8 所示。

对电源进线电压是 6 ~ 10kV 的中型用户，一般电能先经高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所，或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装设有电力变压器，将 6 ~ 10kV 的高压降为一般低压用电设备所需的电压（如 220/380V），然后由低压配电线路将电能分送给各用电设备使用，如图 1-9 所示。

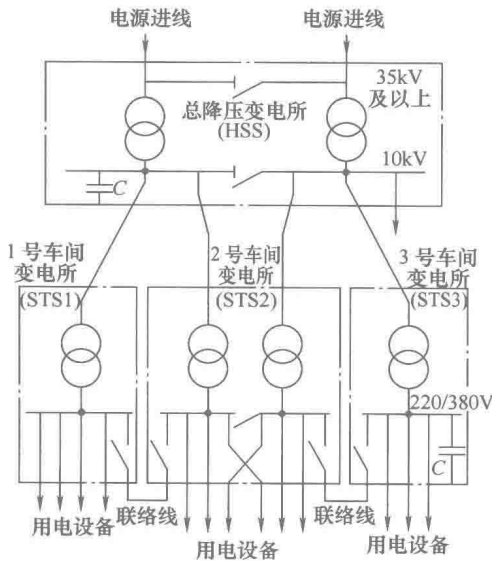


图 1-8 具有总降压变电所的供配电系统简图

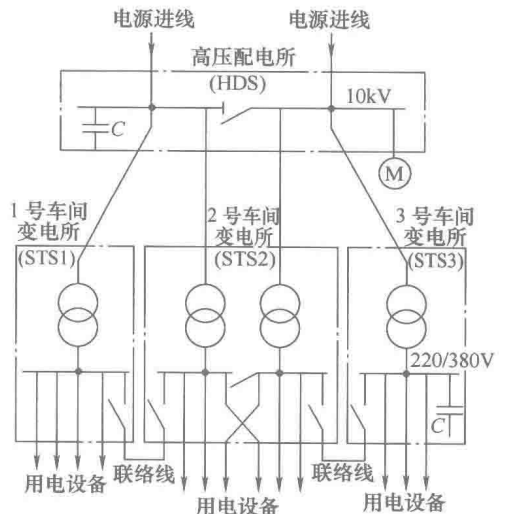


图 1-9 具有高压配电所的供配电系统简图

对于小型用户，由于所需容量一般不大于 1000kVA 或稍多，因此通常只设一个降压变电所，将 6 ~ 10kV 电压降为低压用电设备所需的电压，如图 1-10 所示。如果工厂所需容量不大于 160kVA 时，一般采用低压电源进线，因此工厂只需设一个低压配电间，如图 1-11 所示。

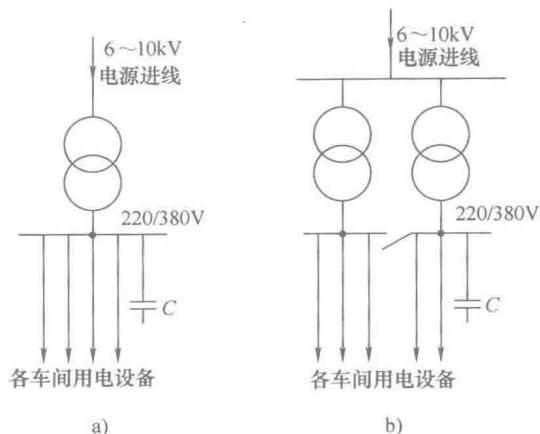


图 1-10 只有一个降压变电所的供配电系统简图

a) 装有一台变压器 b) 装有两台变压器

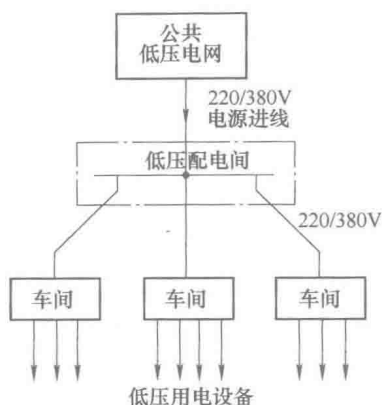


图 1-11 低压进线的供配电系统简图

## 1.2 电力系统的电压

### 1.2.1 三相交流电网和电力设备的额定电压

按照国家标准 GB/T 156—2007《标准电压》规定，我国三相交流电网和电力设备的额定电压等级见表 1-1。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 (单位: kV)

分类	电网额定电压	用电设备		发电机额定电压	电力变压器额定电压	
		额定电压	最高电压		一次绕组	二次绕组
低压	0.22/0.38	0.22/0.38		0.40	0.38	0.40
	0.38/0.66	0.38/0.66		0.69	0.66	0.69
	1 (1.140)	1 (1.140)				
高压	3	3	3.6	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6	7.2	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10	12	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	20	20	24			
	—	—		13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	35	40.5	—	35	38.5
	66	66	72.5	—	66	72.5
	110	110	126 (123)	—	110	121
	220	220	252 (245)	—	220	242
	330	330	363	—	330	363
500	500	550	—	500	550	
750	750	800	—	750	825 (800)	
1000	1000	1100	—	1000	1100	

#### 1. 电力网的额定电压

电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要以及电力工业的现有水平，经过全

面的技术分析后确定的，包括交流电力网和电力设备的额定电压。当电网的电压选定后，其他各类电力设备的额定电压即可根据电网的电压相应确定。

### 2. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。由于线路通过电流时要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1-12 中虚线所示。但是成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用处线路的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压  $U_N$  来制造。为了保证用电设备的良好运行，国家对各级电网额定电压的偏差均有规定。对接于 1000V 以上系统中的设备，还规定了其最高电压，用以表示设备绝缘及其他特性，见表 1-1。

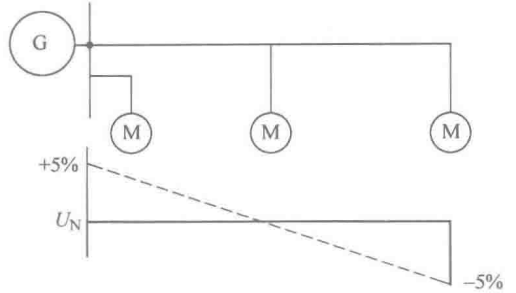


图 1-12 用电设备和发电机的额定电压说明

在此必须指出：按 GB/T 11022—2011 《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》规定，高压开关设备和控制设备的额定电压按其允许的最高工作电压来标注，即其额定电压不得小于它所在系统可能出现的最高电压，如表 1-2 所示。我国现在生产的高压设备大多已按此新规定标注。如高压断路器型号为 CV2-12，表示其额定电压为 12kV，它是按 10kV 线路允许的最高工作电压标注。

表 1-2 系统的额定电压、最高电压和部分高压设备的额定电压 (单位: kV)

系统额定电压	系统最高电压	高压开关、互感器及支柱绝缘子的额定电压	穿墙套管额定电压	熔断器额定电压
3	3.5	3.6	—	3.5
6	6.9	7.2	6.9	6.9
10	11.5	12	11.5	12
20	24	24	24	24
35	40.5	40.5	40.5	40.5

### 3. 发电机的额定电压

电力线路允许的电压偏差一般为  $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗值，因此为了维持线路的平均电压在额定值，线路首端（电源端）的电压可较线路额定电压高 5%，而线路末端则可较线路额定电压低 5%，如图 1-12 所示。发电机位于线路首端所以发电机额定电压规定高于同级电网额定电压 5%。

### 4. 电力变压器的额定电压

1) 电力变压器一次绕组的额定电压分两种情况：当变压器直接与发电机相连时，如图 1-13 中的变压器 T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压 5%；当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，如图 1-13 中的变压器 T2，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

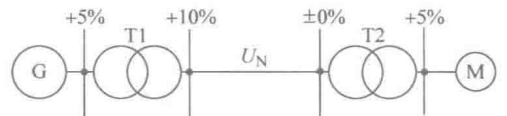


图 1-13 电力变压器的额定电压

2) 电力变压器二次绕组相当于供电设备，其额定电压亦分两种情况：当变压器二次侧供



电线路较长,如图 1-13 中变压器 T1,其额定电压高于同级电网额定电压的 10%,以此补偿变压器二次绕组内阻抗压降和线路上的电压损失;当变压器二次侧供电线路不太长,如图 1-13 中变压器 T2,其额定电压只需高于电网额定电压的 5%,仅以此补偿变压器内部 5% 的电压损耗。

[例 1-1] 已知如图 1-14 所示电力系统中线路的额定电压,试求发电机和变压器的额定电压。

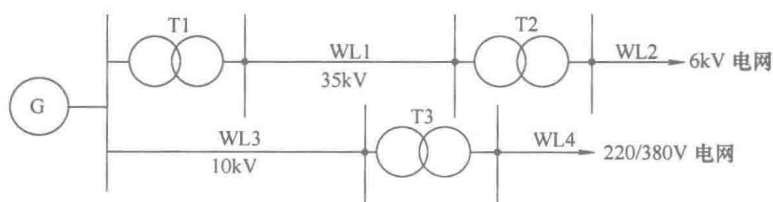


图 1-14 例 1-1 供电系统图

解:

(1) 发电机 G 的额定电压应高出同级电网 WL3 额定电压 5%, 即为

$$U_{N,G} = 1.05 U_{N,WL3} = 1.05 \times 10\text{kV} = 10.5\text{kV}$$

(2) 变压器 T1 的额定电压

一次绕组的额定电压应等于发电机的额定电压, 即为

$$U_{1N,T1} = U_{N,G} = 10.5\text{kV}$$

二次绕组的额定电压应高出远距离输电线路 WL1 电压 10%, 即为

$$U_{2N,T1} = 1.1 U_{N,WL1} = 1.1 \times 35\text{kV} = 38.5\text{kV}$$

因此, 变压器 T1 的额定电压为 10.5/38.5kV。

(3) 变压器 T2 的额定电压

一次绕组的额定电压应等于线路 WL1 的额定电压, 即为

$$U_{1N,T2} = U_{N,WL1} = 35\text{kV}$$

二次绕组的额定电压应高出线路 WL2 额定电压 10%, 即为

$$U_{2N,T2} = 1.1 U_{N,WL2} = 1.1 \times 6\text{kV} = 6.6\text{kV}$$

因此, 变压器 T2 的额定电压为 35/6.6kV。

(4) 变压器 T3 的额定电压

一次绕组的额定电压应等于线路 WL3 的额定电压, 即为

$$U_{1N,T3} = U_{N,WL3} = 10\text{kV}$$

二次绕组的额定电压应高出线路 WL4 额定电压 5%, 即为

$$U_{2N,T3} = 1.05 U_{N,WL4} = 1.05 \times 0.38\text{kV} = 0.40\text{kV}$$

因此, 变压器 T3 的额定电压为 10/0.40kV。

## 1.2.2 电压分类及高低电压的划分

### 1. 电压的分类

按国标规定, 额定电压分为三类:

第一类额定电压值为 100V 及以下, 如 12V、24V、36V 等, 主要用于安全照明、潮湿工地建筑内部的局部照明及小容量负荷的电源。