



最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南

# 水电站电气设备 运行与维修

( 第二版 )

主编 陈化钢



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南

# 水电站电气设备 运行与维修

( 第二版 )

主编 陈化钢



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》中的《水电站电气设备运行与维修（第二版）》分册，主要针对小型机组，参考水利和电力系统工人职业技能鉴定的内容，从培训和学习角度出发，精心编写而成。

全书共分十四章，主要内容包括：概论，水轮发电机、电力变压器、开关电器、互感器、电力电缆线路、异步电动机等设备的运行和检修；电气主接线及站用电接线；水电站的过电压及保护；电气设备预防性试验；继电保护基础；电力变压器与小型水轮发电机的继电保护；小型水电站二次回路等。

本书在编写过程中，密切结合我国小水电发展技术水平的实际，并采用当前执行的规程、规范、标准与名词、术语，力求图文并茂、语言精练、通俗易懂，着重说明概念和应用，对理论公式不作深入推导，重点揭示公式、参数和概念的物理意义及其应用中需要解决的问题。

本书可作为小型水电站在职职工和新上岗职工的岗位技术培训、等级考试教材及日常工作的必备工具书，并且可作为中专及高职高专水电类相关专业的参考教材，也可供初中以上文化水平的技术工人学习、阅读，还可供有关技术人员查阅、参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

水电站电气设备运行与维修 / 陈化钢主编. -- 2版

— 北京：中国水利水电出版社，2014.4

最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南

ISBN 978-7-5170-1902-2

I. ①水… II. ①陈… III. ①水力发电站—电气设备—运行—技术培训—教材②水力发电站—电气设备—维修—技术培训—教材 IV. ①TV734

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第075559号

书 名	最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南 <b>水电站电气设备运行与维修（第二版）</b>
作 者	主编 陈化钢
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 35.25印张 836千字
版 次	2006年7月第1版第1次印刷 2014年4月第2版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>89.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》 编写组成员名单

## 水轮发电机组及辅助设备运行与维修 (第二版)

主 编 刘孟桦 李志红 唐利剑

副主编 郭 磊

参 编 单欣安 王 兵 艾水平 罗雪斌 王善书 孙玉民

## 水电站电气设备运行与维修 (第二版)

主 编 陈化钢

参 编 汪永华 储成流 彭 伟

## 水电站运行规程与设备管理 (第二版)

主 编 刘洪林 肖海平

参 编 邓俊锋 秦 云 章香保 蔡华平 黎晓莉

## 水电站计算机监控技术 (第二版)

主 编 谢云敏 宋海辉

参 编 吴永辉 晏贡全

## 低压水轮发电机组运行与维修 (第二版)

主 编 桂家章

参 编 尹学勇 李 燕 龙 洋

## 第二版序

---

我国水能资源丰富，技术可开发量达 5.42 亿千瓦，居世界首位。我国开发水电的历史已有 100 多年。新中国成立以来，党中央、国务院高度重视水能资源的开发利用，尤其是改革开放以来，我国坚持节约资源、保护环境的基本国策，在合理规划的基础上结合江河治理兴建了一大批水电站。目前我国水电总装机容量居世界第一位。水电的发展在增加我国能源供应、改善能源结构、保护生态环境、减少温室气体排放方面做出了重要贡献。

农村水电是我国农村经济社会发展的重要基础设施，是山区生态建设和环境保护的重要手段。我国单站装机 5 万千瓦及以下的农村水能资源技术可开发量达 1.28 亿千瓦，分布在 1700 多个县，与广大贫困山区、少数民族地区、革命老区的人口分布一致。加快农村水能资源开发，将资源优势转化为经济优势，对于改善当地生产生活条件、促进农民群众增收致富、保障和改善民生具有十分重要的作用。截至 2013 年年底，全国已建成小水电站 45000 多座，总装机容量 6800 多万千瓦，年发电量 2000 多亿千瓦时，接近全国水电装机和年发电量的 30%。通过开发小水电，累计使全国 1/2 的地域、1/3 的县市、3 亿多农村人口用上了电。小水电的发展对提高农村电气化水平、带动农村经济社会发展、改善农民生产生活条件、减排温室气体以及电力系统灾害应急等方面发挥了重要作用。

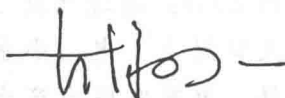
我国能源资源相对紧缺，结构不合理，主要依赖化石能源，生态环境压力大。煤炭年消耗量和二氧化碳年排放量均居世界首位。我国政府承诺到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年降低 40%~45%，非化石能源占一次能源消费比重要达到 15% 左右，其中 2015 年要达到 11.4% 已经作为约束性指标列入国家“十二五”规划纲要。实现这一目标，保障能源安全，必须大力发展绿色经济、循环经济、低碳经济。水电是低碳、清洁、可再生的绿色能源，大力开发包括农村水电在内的水能资源是我国可持续发展的现实选择。

目前，我国农村水能资源开发率约为 50%，潜力还很大。2011 年中央一

号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》和中央水利工作会议强调，要加快水能资源开发，大力发展农村水电。我们要认真落实“一号文件”精神，坚持科学发展主题和加快转变经济发展方式主线，治水与办电结合，开发与保护统一，新建与改造统筹，建设与管理并重，积极开展水电新农村电气化县建设，大力实施小水电代燃料生态保护工程建设，切实搞好农村水电站增效扩容改造，实现到2020年全国农村水电总装机超过7500万千瓦的既定目标。为改善能源结构、发展低碳经济、保护生态环境、建设美丽中国做出新的贡献。

实现农村水电的科学健康发展，科技是支撑，人才是保证。当前农村水电面临新的发展机遇，需要专业技术人才和管理人才的积极培养和知识更新。为了适应新时期农村水电发展对人才培养的需求，满足农村水电企业职工岗位培训的需要，中国水利水电出版社于2006年组织全国小水电领域的专家学者编写出版了《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（一套五本），深受广大读者喜爱，面向全国发行近20000套。七年多过去了，随着科学技术的迅猛发展，新技术、新材料、新工艺不断涌现，教材中有些内容已显过时，有些标准已经更新。为此，出版社组织专家对教材进行了全面修订，推出了《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（第二版）。我希望这套新版教材能够为小水电人才培养和各专业、各层次职工的岗位培训发挥更大作用，从而推动农村水电更好更快地发展。

中华人民共和国水利部副部长



2014年3月

# 第一版序

---

党中央、国务院十分重视农村水电及电气化事业。20世纪80年代初，在邓小平同志亲自倡导下，国务院决定在农村水电资源丰富的地区，开发农村水电，推动具有中国特色的农村电气化建设。“七五”至“九五”期间全国共建成了653个农村水电初级电气化县，有力地促进了农村经济发展和社会进步。2001年国务院批准在农村初级电气化县建设的基础上，建设更高标准的水电农村电气化县。“十五”期间，全国共建成410个水电农村电气化县，累计完成投资1151亿元，新增农村水电装机容量1060万千瓦，占同期全国农村水电新增装机的2/3。在电气化建设的带动下，农村水电快速发展，截至2005年底，全国农村水电装机容量达到4309万千瓦，占全国水电装机的37%，年发电量1357亿千瓦时，占全国水电发电量的34%。四川、云南、湖南、广西等省区，农村水电发电装机和年发电量均占所在省区电力总量的1/4以上。全国共建成了近800个县级电网和40多个区域性电网，近1/2的地域、1/3的县、1/4的人口主要靠农村水电供电。农村水电累计解决了3亿多无电人口的用电问题。

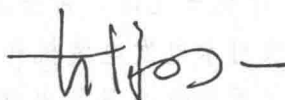
通过电气化建设，开发农村水电资源，形成了广大山区农村的发电和供电生产力，带动了其他资源的开发以及农村产品加工业、山区特色产业的发展，把山区的资源优势变成了经济优势；引导了农村劳动力的转移，增加了农民收入，促进了农村产业结构优化调整；带动了乡村公路、防洪灌溉设施、人畜用水设施以及广播、电视设施的建设，改善了农村基础设施、公共设施和生产生活条件，提高了农民的生活质量，促进了农村经济与人口、资源、环境协调发展。因此，水电农村电气化建设在水能资源丰富的广大山区、贫困地区的社会主义新农村建设中具有不可替代的作用。

在全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化建设新的历史时期，党中央、国务院将农村水电列为覆盖千家万户、促进农民增收效果更显著的农村中小型基础设施和公共设施，并要求放在更加重要的位置，增加投资规模，充实建设内容，扩大建设范围。根据全国“十一五”水利发展规划和农村水

电“十一五”及2020年发展规划，“十一五”期间将继续建设400个水电农村电气化县，扩大小水电代燃料生态工程建设的规模和范围，实施农村水电扶贫解困工程等，到2010年全国农村水电装机容量将达到5900万千瓦左右，再经过10年的努力，全国农村水电装机容量将达到1亿千瓦左右。

发展农村水电人才是关键。要保证农村水电事业的快速、健康发展，离不开成千上万的各类专业技术人才和管理人才。随着科学技术的迅猛发展，农村水电技术进步进一步加快，单机容量、变压器容量的不断增大，新技术、新产品的大量采用，特别是计算机自动化技术和网络技术的广泛应用，都给广大水电职工提出了新的更高的要求。为适应新时期加速培养水电专业人才，满足农村水电各专业、各层次职工的岗位培训需要，中国水利水电出版社组织全国小水电领域的专家学者，编写、出版了这套《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（一套五本）。我希望全国农村水电行业以科学发展观为指导，认真贯彻落实中央关于建设社会主义新农村的战略部署，下大力气抓好职工的岗位培训工作，不断提高职工队伍的整体素质，保障农村水电及电气化事业的健康发展，为建设社会主义新农村作出新贡献。

水利部副部长



2006年7月



## 第二版前言

小水电是水电建设的重要组成部分，过去的五年，我国小水电取得了极大发展，小水电经济生态效益凸显，小水电综合实力跃居世界第一。“十二五”期间，中国水电建设前景广阔，水电生产能力将大幅增长，水电产业总体发展势头良好。通过小水电开发，实施水电农村电气化和“以电代柴”等工程，极大地改善农村生产生活条件，为全面推进社会主义新农村建设做出了积极贡献。

由水利部副部长胡四一作序的《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》（第一版）系列丛书于2006年7月出版，本丛书已经重印两次，销量良好，影响并培养了一大批小水电从业人员，为小水电事业的发展做出了巨大的贡献，取得了良好的社会效益。然而，科技的变化是日新月异，近几年，小水电也在不断发展，读者对此系列丛书也有了更高的要求。在上述背景下，中国水利水电出版社决定修订再版《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》系列丛书，以满足当前读者的需求。

本册为《水电站电气设备运行与维修》分册，根据当前形势，对以下内容进行修订：

- (1) 强调了对电气设备运行的要求与规定。
- (2) 补充了电气设备分类、事故处理、状态检修和主要电气设备的检修工艺和质量标准以及常见内部过电压。
- (3) 新增了异步电动机的运行与检修。
- (4) 调整了水电站的防雷与接地的相关内容。

修订后的《水电站电气设备运行与维修》共分十四章，其中第一章、第二章、第七章、第十章由陈化钢编写，第三章、第四章、第五章、第六章、第八章由汪永华编写，第九章由储成流编写，第十一章、第十二章、第十三章、第十四章由彭伟编写。全书由陈化钢任主编并修订。

本次再版，虽对第一版中的不足进行了处理，但难免还存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2014年2月

# 第一版前言

---

随着改革开放以来,我国的小水电事业得到了迅速发展,为我国广大农村,特别是边远山区提供了清洁、廉价的能源,有力地促进了这些地区的经济发展和两个文明建设,极大地改变了当地的经济和社会生活的落后状况。尤其是20世纪90年代末期以来,我国小水电投资的体制发生了根本变化,实现了多元化,进一步促进了小水电事业的蓬勃发展,可以说是新中国成立50多年来第二个建设高峰时期,对促进我国水力资源的开发和充分利用,缓解电力能源的紧张局面,改善农村生态环境和流域水土条件,发展当地经济等,都起到了积极的推动作用。

原全国政协副主席钱正英同志曾指出:“发展小水电的关键是培训人才”。如何把已建和在建的水电站管理好、用好,使其充分发挥作用,提高利用率和保证安全经济运行,是我国小水电事业的一项艰巨而长期的任务。由于小水电事业的迅速发展和水电技术水平的不断提高,对职工技能的要求也越来越高,因此急需对大批在职职工和新上岗职工进行技术培训。

为适应我国小水电发展新形势的需要,大力加强对小水电运行维护和管理人员的培训,中国水利水电出版社组织编写了这套《最新统一编写小水电培训教材暨岗位必备指南》。本套教材内容简明扼要、图文并茂、实用性强,并采用了我国当前执行的最新规程、规范、标准与名词、术语,力争反映我国21世纪初小水电行业的新技术和新水平。

这本《水电站电气设备运行与维修》,主要针对小型机组,参考水利和电力系统工人职业技能鉴定的内容,从培训和学习角度出发,精心编写而成。

本书可作为小型水电站在职职工和新上岗职工的岗位技术培训、等级考试教材及日常工作的必备工具书,并且可作为中专及高职高专水电类相关专业的参考教材,也可供初中以上文化水平的技术工人学习、阅读,还可供有关技术人员查阅、参考。

本书共分13章,其中,第一章、第二章、第九章由陈化钢编写,第三章、第四章、第五章、第六章、第七章由汪永华编写,第八章由储成流编写,第

十章、第十一章、第十二章、第十三章由彭伟编写，全书由陈化钢任主编并统稿。

本书在编写过程中，查阅了大量的文献、资料，参考和引用了有关书籍的部分内容，并且得到了各级水电管理部门和一些科研、设计、设备及运行单位的指导和大力支持，在此一并表示衷心地感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2006年5月

# 目 录

第二版序	
第一版序	
第二版前言	
第一版前言	
<b>第一章 概论</b> .....	1
第一节 电力系统基本知识.....	1
第二节 水电站的电气设备类型 .....	15
第三节 电力系统的中性点运行方式 .....	19
第四节 对电气设备运行的要求及规定 .....	26
第五节 电气事故处理 .....	28
第六节 电气设备检修制度的发展 .....	33
本章小结 .....	37
复习思考题 .....	38
<b>第二章 水轮发电机运行与检修</b> .....	39
第一节 同步发电机的基本结构和工作原理 .....	39
第二节 水轮发电机的基本结构与运行 .....	41
第三节 水轮发电机维护 .....	49
第四节 水轮发电机检修 .....	53
第五节 水轮发电机干燥 .....	67
本章小结 .....	70
复习思考题 .....	71
<b>第三章 变压器运行与检修</b> .....	72
第一节 变压器的运行 .....	72
第二节 变压器的巡视检查 .....	80
第三节 变压器的异常运行分析及事故处理 .....	82
第四节 变压器的检修 .....	91
第五节 变压器油的处理.....	112
第六节 变压器的干燥.....	115

第七节	变压器渗漏油处理·····	120
本章小结	·····	124
复习思考题	·····	125
<b>第四章</b>	<b>开关电器运行与检修</b> ·····	126
第一节	电弧的基本概念·····	126
第二节	高压断路器运行与检修·····	130
第三节	高压隔离开关运行与检修·····	147
第四节	高压负荷开关运行与检修·····	153
第五节	高压熔断器运行与检修·····	158
第六节	低压一次设备运行与检修·····	164
第七节	成套电气设备的运行与检修·····	178
本章小结	·····	196
复习思考题	·····	197
<b>第五章</b>	<b>互感器运行与检修</b> ·····	199
第一节	概述·····	199
第二节	电压互感器运行与检修·····	199
第三节	电流互感器运行与检修·····	203
本章小结	·····	207
复习思考题	·····	208
<b>第六章</b>	<b>电力电缆运行与检修</b> ·····	209
第一节	概述·····	209
第二节	电力电缆的敷设及要求·····	211
第三节	电力电缆线路的运行维护·····	215
第四节	电力电缆检修·····	220
本章小结	·····	233
复习思考题	·····	234
<b>第七章</b>	<b>异步电动机运行与检修</b> ·····	235
第一节	异步电动机的运行·····	235
第二节	异步电动机检修·····	240
第三节	异步电动机的干燥与浸漆·····	261
本章小结	·····	264
复习思考题	·····	265
<b>第八章</b>	<b>电气主接线及站用电接线</b> ·····	266
第一节	概述·····	266
第二节	小型水电站电气主接线基本形式·····	269
第三节	小型水电站典型主接线方案分析·····	275

第四节 小型水电站的站用电·····	277
本章小结·····	284
复习思考题·····	285
<b>第九章 水电站的过电压保护·····</b>	<b>286</b>
第一节 过电压及其分类·····	286
第二节 雷电过电压·····	288
第三节 常见的内部过电压·····	333
本章小结·····	354
复习思考题·····	355
<b>第十章 电气设备预防性试验·····</b>	<b>357</b>
第一节 预防性试验及其分类·····	357
第二节 预防性试验的基本方法·····	358
第三节 主要电气设备的预防性试验·····	400
本章小结·····	419
复习思考题·····	419
<b>第十一章 继电保护基础·····</b>	<b>421</b>
第一节 继电保护预备知识·····	421
第二节 继电保护的基本知识·····	426
第三节 常用的电磁式继电器·····	432
第四节 输电线路的电流保护·····	440
第五节 方向电流保护·····	453
第六节 交流绝缘监察和接地保护·····	456
本章小结·····	461
复习思考题·····	461
<b>第十二章 电力变压器继电保护·····</b>	<b>462</b>
第一节 概述·····	462
第二节 电流保护·····	463
第三节 瓦斯保护与温度保护·····	465
第四节 纵联差动保护·····	469
第五节 变压器保护接线全图·····	476
本章小结·····	480
复习思考题·····	480
<b>第十三章 小型水轮发电机继电保护·····</b>	<b>481</b>
第一节 概述·····	481
第二节 发电机纵联差动保护·····	483
第三节 发电机的电流电压保护·····	485

第四节	发电机接地保护	486
第五节	发电机失磁保护	489
第六节	发电机保护接线全图	490
本章小结		494
复习思考题		495
<b>第十四章</b>	<b>小型水电站二次回路</b>	496
第一节	二次回路概述	496
第二节	二次回路的操作电源	496
第三节	高压断路器控制和信号回路	499
第四节	中央信号装置	510
第五节	电气测量仪表回路	515
第六节	同期回路	518
第七节	二次回路接线图	527
第八节	二次回路接线的运行与维护	533
本章小结		543
复习思考题		544
<b>参考文献</b>		546

# 第一章 概 论

## 第一节 电力系统基本知识

### 一、电力系统

现代工农业及整个社会生活中所应用的电力，绝大部分是由发电厂发出来的。电力从生产到供给用户应用，通常都要经过发电、输电、变电、配电、用电等 5 个环节。电力从生产到应用的全过程，客观上就形成了电力系统。严格地说，由发电厂的发电部分、输配电线路、变配电所及用电户的各种用电设备所组成的整体称为电力系统。常简称系统，其示意图分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

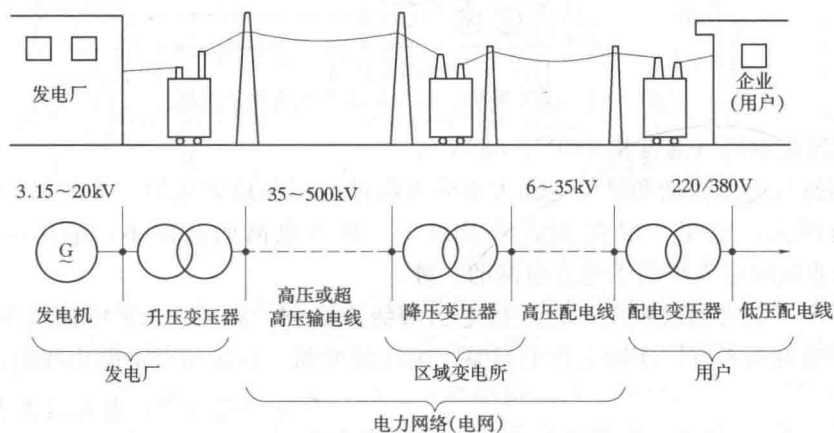


图 1-1 电力系统示意图

由图 1-2 可见，若电力系统再加上发电厂的动力部分（包括原动机及原动机的力能部分等），则称为动力系统。在电力系统中，除发电设备和用电设备外，各级电压的电力线路及其所联系的变电所，称为电力网，简称电网。它是电力系统的一个重要组成部分，承担了将电力由发电厂发出来之后供给用户的工作，即担负着输电、变电与配电（统称为供电）的任务。

电力网按其在电力系统中的作用，分为输电网和配电网，如图 1-2 所示。输电网是以输电为目的，采用高压或超高压将发电厂、变电所或变电所之间连接起来的送电网络，它是电力网中的主网架。直接将电能送到用户去的网络称为配电网或配电系统，它是以配电为目的。配电网的电压由系统及用户的需要而定，因此配电网中又分：高压配电网（通常指 35kV 及以上的电压，目前最高为 110kV）、中压配电网（通常指 10kV、6kV 和



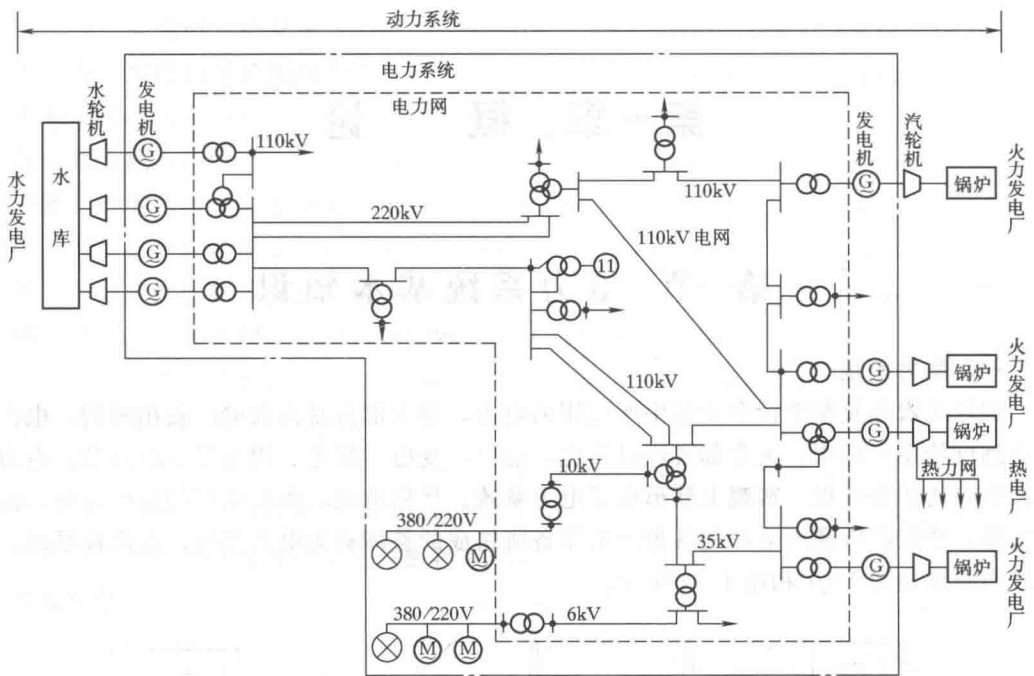


图 1-2 动力系统、电力系统和电力网示意图

3kV) 及低压配电网 (通常指 220V、380V)。

电力网按其电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网, 如图 1-3 所示。区域电网的范围大, 电压一般在 220kV 及以上。地方电网的范围小, 电压一般为 35~110kV。企业供配电系统属于地方电网的一种。

应当指出, 电力网或系统, 往往按电压等级来区分, 如说 10kV 电网或 10kV 系统。这里所说的电网或系统, 实际上指的是某一电压级的相互连接的整个电力线路。

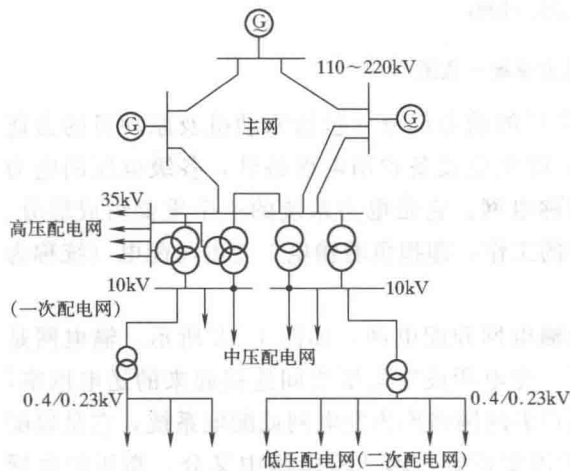


图 1-3 电力网示意图

在电力系统中, 电力是由发电厂生产的, 它是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能 (二次能源) 的工厂。发电厂按所使用的能源不同, 可分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等。

### 1. 火力发电厂

火力发电厂简称火电厂, 它是利用煤、石油、天然气等燃料的化学能来生产电能的。我国的火电厂主要是燃煤。煤粉在锅炉的炉膛内充分燃烧, 将锅炉内的水烧成高温高压的蒸汽, 推动汽轮机转动, 使与它联轴的发电机旋转发电。其能量转