

DIANWANG DIAOKONG YUNXING
ZHUANYE SHIYONG SHOUCHE

电网调控运行 专业实用手册

国网上海市电力公司 编著



DIANWANG DIAOKONG YUNXING
ZHUANYE SHIYONG SHOUC

电网调控运行

专业实用手册

国网上海市电力公司 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了不断提高调控运行人员业务知识水平,全面提升调控运行人员驾驭大电网安全运行的能力,切实保障电网安全稳定运行,特编写本书。

本书在概述发电、输电、变电、配电等电力系统基本环节的基础上,重点介绍了电网事故异常处理原则,并分别列举了丰富的案例进行分析。

本书可为国内各级调度人员、监控运行人员、变电站运行人员、涉网电厂运行人员提供指导,也可作为电气工程专业和电力系统专业高校师生以及电力新入职员工的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电网调控运行专业实用手册 / 国网上海市电力公司编著. —北京: 中国电力出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-5198-1730-5

I. ①电… II. ①国… III. ①电力系统调度—技术手册 IV. ①TM73-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 023477 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王 晶 陈 倩 (010-63412512)

责任校对: 常燕昆

装帧设计: 左 铭

责任印制: 邹树群

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2017 年 12 月第一版

印 次: 2017 年 12 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 15.75

字 数: 358 千字

印 数: 0001—2500 册

定 价: 110.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 任 马苏龙

副 主 任 邹家琛 王 伟 叶洪波

委 员 沈丽菁 陈 明 杨建平 凌晓波

丁雷青 朱靖恺 章 渊 杨 磊

倪 伟

主 编 杨 磊

副 主 编 何振恺 余乐庭 张 麟 孙 歌

顾皓亮 唐丹红 臧 菲 彭 勇

张叶青

编写组成员 王乐峰 张 钊 陈 龙 顾小旭

周 一 鲁 捷 陈春逸 赵 彬

董 真 刘议华 陈昭宇 韩 政

夏 威 邱 健 徐律军 王笑天

吴颖骢 沈小平 周欣佳



前言

随着我国电网的快速发展、智能电网建设的迅速推进和全球能源互联网发展战略的逐步实现，国家电网公司电网运行管理方式已实现了从传统的“调度中心-现场值班”模式向以“调控一体化”为核心的“大运行”模式转变，实现了调度、通信、监控、信息的高度集中，电网调度与监控业务合二为一，组织结构扁平化，业务流程精简化，电网事故处理和日常操作高效化。

在国网上海市电力公司各级调度与监控机构合并，地区（县）调控机构合并之后，上海电网原有调度员、监控员的职责和权限也都发生了相应的变化，主要体现为设备监控范围扩大，管辖电压等级跨度变广，管辖设备种类繁多，日常运行工作量显著提升，电网事故处理要求更严。国网上海市电力公司电力调度控制中心组织公司各级调控技术骨干人员，结合电力系统调控技术的传承与发展编写了本书，旨在通过对调控人员的持续培训，不断提高调控运行人员业务知识水平，全面提升调控运行人员驾驭大电网安全运行的能力，切实保障电网安全稳定运行。

国网上海市电力公司深入贯彻国家电网公司关于国际对标工作的总体部署，积极推进电网运营控制与国际接轨。在当前内外部改革形势下，上海“全球城市”定位对高可靠性供电的要求和改革，对公司和电网的发展模式带来了深刻的影响，本书将以上海电网的相关事件为蓝本，进行电网调度事故异常处理与案例分析，展示与城市定位和发展水平相匹配的坚强城市智能电网运营情况。

本书理论联系实际、图文并茂，通用基础部分简洁明了，事故案例部分全面翔实，同时，还介绍了自愈系统等具有上海电网特色的内容。全书循序渐进地讲解了电力系统运行中的重点与难点，突出了电网调控人员应当掌握的基础知识及事故异常处理能力，具有较强的专业性、针对性和指导性。

本书吸收和整理汇编了近两年国网调控机构监控员技能竞赛、华东电网调度监控和变电运行专业技术技能竞赛、国网上海市电力公司青年调控员技术技能竞赛等竞赛比武活动中，国网上海市电力公司备赛的部分优异案例内容，反映了目前电网调控运行的技

术技能要求和时代特色。

本书共包含八章内容。

第一章为电力系统运行概述，以上海电网为例，分别从调度、监控、运维和发电等方面介绍电网情况和运行职责。

第二章为变电站运行，主要介绍变电一次主设备、继电保护和安全自动装置的基本原理和运行概况。

第三章为发电厂运行，主要从燃煤、燃气两类发电厂介绍调度基础知识和调度管理原则。

第四章为电网设备集中监控运行，主要从集中监视和集中控制两方面介绍监控运行基本情况，以及对监控异常信息处理进行分析。

第五章为电网调度运行，主要从调度管辖范围、系统频率、系统电压、电网潮流和电系操作等方面阐述调度运行相关原则和要求。

第六章为电网事故异常处理，主要从调度、监控专业分别介绍电网事故或异常后的分析、处理和汇报等原则。

第七章为 220kV 及以上电网事故异常案例分析，整理汇编了近两年竞赛和比武中的 220kV 及以上电网调控优秀案例，并进行分析总结。

第八章为 110kV 及以下电网事故异常案例分析，整理汇编了近两年竞赛和比武中的 110kV 及以下电网调控优秀案例，并进行分析总结。

在本书的编写过程中，国网上海市电力公司各供电公司、国网上海市电力公司检修公司、国网上海市电力公司培训中心以及上海电网各有关发电厂等单位给予了高度重视和大力支持，提供了大量宝贵资料和建议，在此对以上单位表示感谢！同时，一并向关心和支 持本书编写工作的领导和同行们表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免还有不足之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2017 年 8 月



目录

前言

第一章 电力系统运行概述	1
第一节 电力系统运行组织机构	1
第二节 电力系统运行机构职责	2
第二章 变电站运行	4
第一节 变电站电气主接线	4
第二节 变电站电气主设备	9
第三节 变电站继电保护和安全自动装置	17
第三章 发电厂运行	33
第一节 发电厂分类	33
第二节 燃煤电厂基础知识	34
第三节 燃气电厂基础知识	38
第四节 发电厂调度管理	40
第四章 电网设备集中监控运行	42
第一节 电网设备集中监视	42
第二节 电网设备集中控制	46
第三节 系统异常处置	48
第四节 集中监控信息实用分析	49

第五章	电网调度运行	52
第一节	调度范围划分原则	52
第二节	系统频率调整	54
第三节	系统电压调整	56
第四节	电网潮流调整	58
第五节	系统电系操作管理	62
第六章	电网事故异常处理	70
第一节	调度事故异常处理原则	70
第二节	调控机构电网事件汇报制度	76
第三节	电气设备典型异常分析处理	91
第七章	220kV 及以上电网事故异常案例分析	96
第一节	监控专业综合案例分析	96
第二节	电网调控一体化案例分析	111
第三节	电网经典调度事故分析	133
第四节	调控一体化仿真案例综合分析处理	151
第五节	变电站启动案例	173
第八章	110kV 及以下电网事故异常案例分析	183
第一节	电网设备异常案例分析	183
第二节	电网典型调度事故异常分析及处理	188
第三节	电网调控一体化案例分析	197
第四节	调控一体化仿真案例综合分析处理	220
第五节	变电站启动案例	234
参考文献	241

电力系统运行概述

现代电力系统是由发电厂、各类变电站及输电、配电线路及各种类型的用电设备组成的统一体，目前世界上已形成了中国、欧盟、北美等超大规模交直流混联电力系统，而我国的华东电力系统（华东电网）已成为拥有特高压输电、超大容量发电机组、高科技密集的现代大电网，是世界上单一国家内第一大区域电网。

上海电网属于华东电网的一部分，位于长江三角洲的东南前缘，北靠长江，东临东海，与江苏、浙江两省接壤，是典型的国际特大城市受端电网。上海电网以 500kV 环网为主干，通过 1000~500kV 多个电压等级的交直流混联通道与江苏、浙江、华中电网等相联系，以各 500kV 变电站为中心，220kV 解环成十余个独立分区运行，若干主力发电基地作为上海电网的电源支撑。

上海电力系统运行实行“统一调度、分级管理”的原则，电网调度、电网监控、电网运维、发电厂等重要运行机构协作配合，保证电力系统安全稳定、优质和经济运行。

本章以上海电网为例进行阐述。

第一节 电力系统运行组织机构

一、电网调度

国家电网公司电网调度已形成三级调度机构的调度体系，最高级为国家电网公司调度控制中心（简称国调），第二级为华北、华东、东北、华中、西北、西南六大区域电网电力调度控制分中心（简称网调、总调），第三级为国家电网公司各省、直辖市、自治区电力调度控制中心（简称省调、市调、区调等）。

上海电网作为国家电网公司下辖的省级电网，调度机构又可分为两级，最高级为国网上海市电力公司电力调度控制中心（简称市调调度），第二级为国网上海市电力公司各供电公司电力调度控制中心（简称地调调度）。市调调度属国调、华东网调的下级调度机构，在电力系统运行中接受国调、华东网调的领导。地调调度按供电公司设置，分为浦东、市北、市南、市区、嘉定、松江、奉贤、金山、青浦、崇明、长兴地调 11 家。

二、电网监控

国家电网公司电网监控由国调中心负责统一管理，具体监控业务由省级电网公司负

责实施，上海电网分为两级电网监控，即国网上海市电力公司电力调度控制中心监控（简称市调监控），和国网上海市电力公司各供电公司电力调度控制中心监控（简称地调监控）。市调监控与市调调度工作相互独立，主要负责上海 500、220kV 电网的集中监控，并服从各级调度机构的指挥；地调监控与地调调度工作已实现调控一体化，值班人员统称为“调控员”，主要负责上海 110kV 及以下电网的集中监控。

三、电网运维

上海电网运维单位分为两级，第一级为国网上海检修公司，第二级为国网上海市电力公司各供电公司。钢铁、石化等拥有 220kV 及以下电网的大型企业自行负责统一运维其自备电力系统，并接受上海市调的统一调度。另外，上海电网内特高压直流换流站由国家电网公司运行分公司及国网上海检修公司分别负责运维。

实行变电站“无人、少人值守”制度后，国网上海检修公司变电站运维部门以 7 个运维站为中心，分区块负责上海电网 220kV 及以上电压等级变电站的运维工作。相应地，各供电公司运维部门也按管辖范围划分了若干运维中心站，负责 110kV 及以下电压等级变电站运维工作。

四、发电厂

上海电力系统发电厂以燃煤火力发电为主，兼以一定容量的高效天然气调峰机组，部分企业和园区设有自备热电气“三联供”发电厂，依沿海地理优势设置了部分风力发电场，为满足城市垃圾处理的需要，设置了若干垃圾焚烧综合利用发电厂。各种一次能源在上海电力系统发电厂中的组成比例如图 1-1 所示。

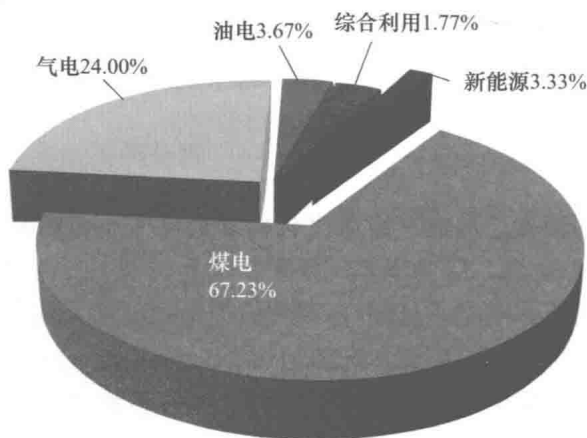


图 1-1 上海电力系统发电一次能源组成

第二节 电力系统运行机构职责

各级调控机构的调度专业代表主管单位对调度管辖范围内的电力系统运行行使指挥权，在电网调度业务中是上下级关系，下级调度机构必须服从上级调度机构的调度。厂

站运行值班单位及输变电设备运维单位，必须按规定服从调度机构的调度指令。各级调度机构的任务是组织、指挥、指导和协调电力系统的运行操作和事故异常处理。

各级调控机构的监控专业负责监控职责范围内变电站运行工况的集中监视，电网设备事故、异常、越限及变位信息的处置，并通知运维单位现场检查，必要时按调度管辖范围汇报值班调度员。

各级电网运维部门负责所辖变电站相关运行设备的日常运行维护工作，及时发现设备缺陷，配合调控机构进行异常及故障处理。

各电厂运行部门负责发电厂相关运行设备的日常运行维护工作，发电厂值长作为发电厂值班运行负责人，在调度关系上受上级调度机构值班调度员的指挥，接受上级调度机构值班调度员的调度指令。

上海电力系统调控机构和运维组织机构的设置如图 1-2 所示。

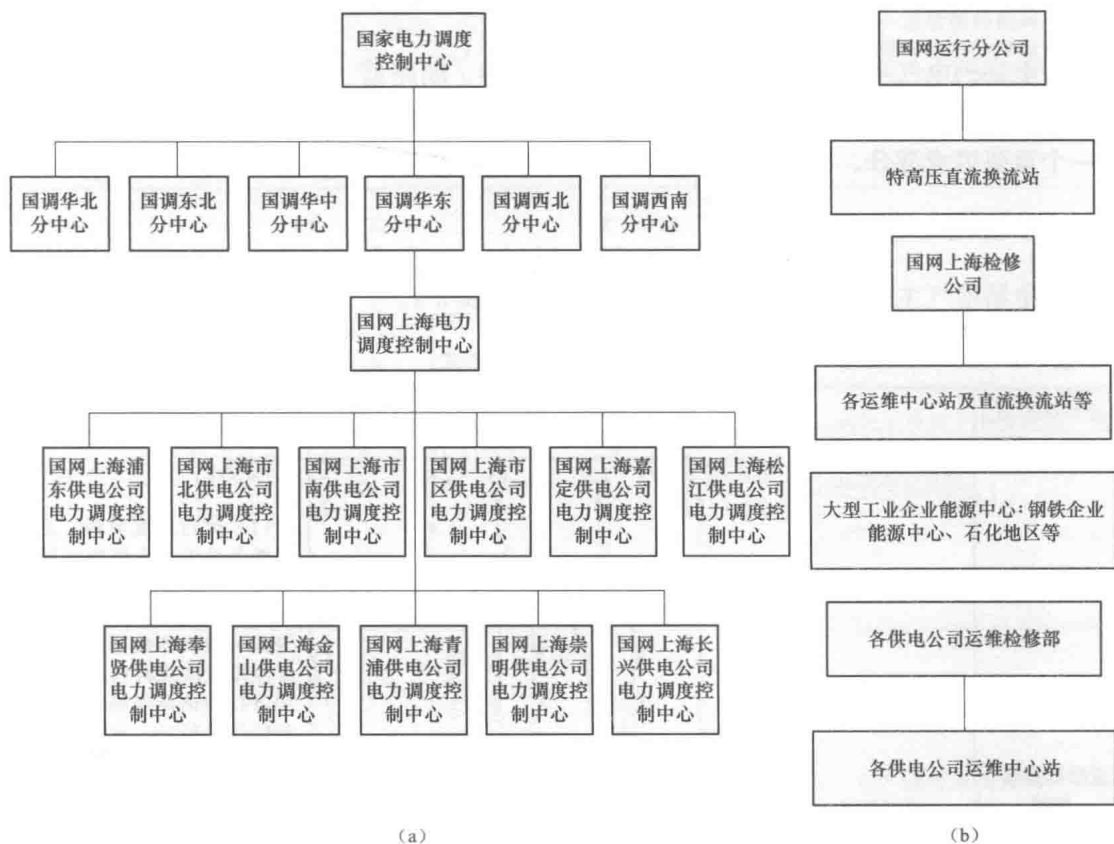
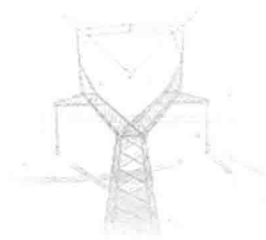


图 1-2 上海电力系统调控和运维组织机构示意图
(a) 调控机构；(b) 运维机构



第二章

变电站运行

第一节 变电站电气主接线

变电站的电气主接线是将变电站内的主变压器、断路器、隔离开关、母线等电气一次设备按一定顺序连接起来，用以表示产生、汇集和分配电能的电路，是电力系统接线的一个重要组成部分。电气主接线直接影响变电站的安全、稳定运行。

一、变电站电气主接线

变电站电气主接线类型、示例图及接线特点见表 2-1。

表 2-1 变电站电气主接线形式

主接线类型	接线示例图	接线特点
3/2 断路器接线		<p>(1) 运行调度灵活。正常时两条母线和全部断路器投入运行，形成多环路供电。</p> <p>(2) 倒闸操作方便。隔离开关一般仅作检修用，避免了双母线接线时利用隔离开关进行的倒母线操作。当一组母线停役时，回路不需要切换，任何一台断路器检修各回路仍可按原接线方式运行，也不需要切换。</p> <p>(3) 运行安全可靠。每一回路由两台断路器供电，合环运行时，发生母线故障或单个断路器故障退出运行，都不会导致出线停电。对于完整串，即使是两条母线同时停电，也可保证出线与系统最低限度的连接</p>

续表

主接线类型	接线示例图	接线特点
<p>双母线接线</p>		<p>(1) 双母线接线共有两组母线，每一出线经一组断路器和两组隔离开关接到两组母线上，两组母线之间通过母线联络断路器连接起来。根据需要，每一条出线可以通过母线隔离开关连接到任意一条母线上。</p> <p>(2) 通过倒闸操作，各回路可以实现在两组母线之间的切换，这样在检修任一母线时，都不会中断供电，而且当一组母线故障时，只要将故障母线上的回路倒换到另一组母线，就可迅速恢复送电</p>
<p>双母双分段接线</p>		<p>(1) 运行调度灵活，可构成不同运行方式。</p> <p>(2) 与双母线接线相比，相当于增加了两段母线，可缩小小母线故障停电范围，提高供电可靠性</p>
<p>双母带旁路接线</p>		<p>(1) 运行灵活方便，供电可靠性高。</p> <p>(2) 与双母线相比，增加一组旁路母线和旁路断路器间隔，当任一线路或变压器间隔的断路器、电流互感器或母线侧隔离开关进行检修时，其线路或变压器通过旁路断路器代路运行，线路或变压器可不停电</p>

主接线类型	接线示例图	接线特点
单母分段接线		<p>(1) 单母分段接线由断路器及隔离开关将单母线分成两段，当其中一段母线或母线隔离开关需要检修时，可以拉开分段断路器及两侧隔离开关，则另一段母线仍正常工作。</p> <p>(2) 双电源线路一路工作，另一路备用时，分段断路器接通运行。任一段母线故障，分段断路器可在保护装置作用下自动断开。</p> <p>(3) 双电源线路同时工作互为备用时，分段断路器则断开运行。任一电源故障，分段断路器可自动投入</p>
线变组接线		<p>(1) 线变组接线就是线路和变压器通过断路器直接连接，中间无母线，断路器两侧安装有隔离开关。</p> <p>(2) 接线简单、设备少、操作简单；但线路、变压器、断路器等任何设备故障或检修时，供电中断</p>

续表

主接线类型	接线示例图	接线特点
三主变四分段接线		<p>(1) 三主变四分段接线共有四组母线，中间的主变压器通过两个开关分别连接两段母线，两侧的主变压器各连接一段母线，两侧的主变压器与中间的主变压器所带母线之间通过分段开关连接起来。分段开关两侧均配置有自切。</p> <p>(2) 接线简单、设备少、操作简单，任意一台主变压器故障都可以通过自切将负荷转移至其余主变压器供电，供电可靠性较高</p>
内桥接线		<p>(1) 内桥接线的连接桥设置在变压器侧，并装设了桥断路器。两台断路器在引出线上，使引出线的操作灵活方便。</p> <p>(2) 当线路需要检修时，可以通过先合上桥断路器，再拉开线路断路器的方式将线路所带负荷转移，不影响主变压器的正常运行。但在变压器投、切操作时需要将相应的线路停电，适用于线路故障率较高、线路较长、变压器不需要经常切换的变电站</p>

二、3/2 接线与双母线接线主要区别

220kV 及以上电压等级 3/2 接线与双母线接线主要区别见表 2-2。

表 2-2 3/2 接线与双母线接线区别

3/2 接线	双母线接线
线路电压互感器与避雷器为三相，母线电压互感器与避雷器为单相（A 相）	线路电压互感器一般为单相，母线电压互感器与避雷器为三相
线路保护电压采用线路电压互感器电压，母线电压为检同期及测量用	线路保护采用的是母线电压互感器电压，线路电压互感器电压为检同期及测量用

续表

3/2 接线	双母线接线
按断路器配置断路器保护，一般配有失灵保护及重合闸	断路器不单独配置断路器保护，重合闸为线路保护功能，失灵保护为母差中失灵保护功能
线路保护与母差保护没有配合，断路器保护与母差保护有配合	线路保护与母差保护有配合

三、110kV 手拉手接线（带自愈系统）

手拉手接线（带自愈系统）运行的说明：

(1) 110kV 手拉手模式接线串内所有元件均应配置有选择性的快速主保护，能有选择性地快速切除故障，并能将保护动作信息传送给自愈系统，防止自愈系统合于故障。手拉手接线示例图（带自愈系统）及接线特点见表 2-3。

表 2-3 手拉手接线（带自愈系统）

手拉手接线示例	
手拉手接线特点	<p>(1) 有 2 条供电环网，分别是 A1-C1-C2-D1-D2-E1-E2-B1 和 A2-C4-C5-D4-D5-E4-E5-B2，所有 220kV 和 110kV 站的分段断路器正常运行断开。D1 和 D5 正常运行时断开，作为两条供电环网的母线联络断路器。</p> <p>(2) 当串供回路发生故障时，自愈系统能够根据实时获取的区域电网全景信息进行自动识别判断，跳开紧邻故障点的失电站的原主供电电源断路器，合上串供回路原处于开环点的断路器，由另一侧电源恢复对所有失电站的供电</p>

注 标准图形符号为教科参考书籍中运用的图形符号，偏向理论；通用图形符号现广泛运用于发电厂、变电站等运维机构以及各级调控机构的 SCADA 监控画面，通用图形符号较标准图形符号优点在于断路器分合位置较为直观明显，断路器与刀闸（闸刀）图形便于区分。全国调控仿真或比武竞赛系统中的一次接线图符号均运用通用图形符号，本书中所甄选的案例中大量配图（截图）均为通用图形符号，较为贴合实际运行工作，同时便于读者学习理解。变电站断路器和隔离开关图形符号对比说明如下：

设备名称	标准图形符号及说明		通用图形符号及说明	
断路器		断路器分闸位置		断路器分闸位置
		断路器合闸位置		断路器合闸位置
隔离开关		隔离开关分闸位置		隔离开关分闸位置
		隔离开关合闸位置		隔离开关合闸位置

(2) 自愈系统动作时间短于 10kV 备自投动作时间（2.5~3s）。如果在串供回路上 110kV 电压等级发生故障，则自愈系统应优先于 10kV 备自投动作；同时对于架空线，自愈系统动作时间应躲过线路重合闸时间（1s）。因此考虑上述两个因素，自愈系统动作时间一般定为 1.5~2s。



(3) 自愈系统对一进一出两条线路分别配置了合闸后加速保护,包括手合于故障加速跳以及自愈系统动作合闸于故障加速跳,可选择经复压闭锁。合闸后加速保护开放时间为 3s,在此期间内若该保护启动,则一直开放到故障切除。

第二节 变电站电气主设备

一、变压器

(一) 变压器的作用

变压器是电力系统中最重要电气设备之一,变压器是利用电磁感应原理把交流电压升高或降低,电压经变压器升压后,可以减少线路损耗,提高送电的经济性,达到远距离送电的目的;而降压变压器则能把高电压变为用户所需要的各级使用电压,满足用户需要。

(二) 变压器的组成部分

变压器主要由外壳、铁芯、绕组、绝缘以及辅助设备(套管、压力释放器、冷却系统、瓦斯继电器、调压装置、油枕、呼吸器等)组成。变压器外观图如图 2-1 所示。

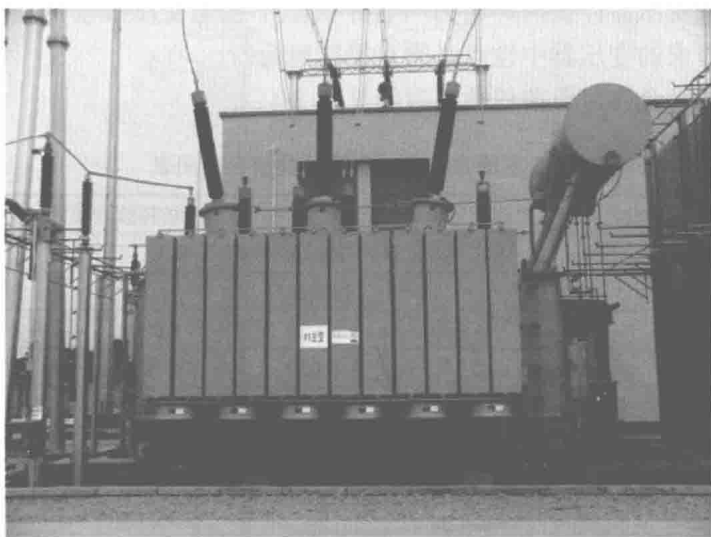


图 2-1 电力变压器外观图

(三) 变压器的分类

- (1) 按变压器的绕组可分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器;
- (2) 按电源输出的相数分为单相变压器、三相变压器和多相变压器(如直流换流变压器);
- (3) 按冷却介质分为油浸自冷式变压器、油浸风冷变压器、油浸强迫油循环风冷变