

300MW级火力发电厂培训丛书

电气设备及系统

山西漳泽电力股份有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

300MW级火力发电厂培训丛书

电气设备及系统

山西漳泽电力股份有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

20 世纪 80 年代开始, 国产和引进的 300MW 级火力发电机组就陆续成为我国电力生产中的主力机组。由于已投入运行 30 多年, 涉及机组运行、检修、技术改造和节能减排、脱硫脱硝等要求越来越严, 以及急需提高实际运行、检修人员的操作技能水平, 组织编写了一套《300MW 级火力发电厂培训丛书》, 分为《汽轮机设备及系统》《锅炉设备及系统》《热控设备及系统》《电气设备及系统》《电气控制及保护》《集控运行》《化学设备及系统》《输煤设备及系统》《环保设备及系统》9 册。

本书为《300MW 级火力发电厂培训丛书 电气设备及系统》, 共四篇十一章, 主要包括电气系统、电机、变压器、配电装置的分类、结构、检修及故障处理、试验方法。

本书既可作为全国 300MW 级火力发电机组电气设备系统运行、检修、维护及管理生产人员、技术人员和管理人员等的培训用书, 也可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备及系统/山西漳泽电力股份有限公司编. —北京:
中国电力出版社, 2015. 7

(300MW 级火力发电厂培训丛书)

ISBN 978-7-5123-7534-5

I. ①电… II. ①山… III. ①火电厂-电气设备 IV.
①TM621. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 069298 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 507 千字

印数 0001—3000 册 定价 67.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

随着我国国民经济的飞速发展,电力需求也急速增长,电力工业进入了快速发展的新时期,电源建设和技术装备水平都有了较大的提高。

由于引进型 300MW 级火力发电机组具有调峰性能好、安全可靠性强、经济性能好、负荷适应性广及自动化水平高等特点,早已成为我国火力发电机组中的主力机型。国产 300MW 级火力发电机组在我国也得到广泛使用和发展,对我国电力发展起到了积极的作用。

为了帮助有关工程技术人员、现场生产人员更好地了解和掌握机组的结构、性能和操作程序等,提高员工的业务水平,满足电力行业对人才技能、安全运行以及改革发展之所需,河津发电分公司按照山西漳泽电力股份有限公司的要求,在总结多年工作经验的基础上,组织专业技术人员编写了本套培训丛书。

《300MW 级火力发电厂培训丛书》分为《汽轮机设备及系统》《锅炉设备及系统》《热控设备及系统》《电气设备及系统》《电气控制及保护》《集控运行》《化学设备及系统》《输煤设备及系统》《环保设备及系统》9 册。

本书为《300MW 级火力发电厂培训丛书 电气设备及系统》,共四篇十一章,主要包括电气系统、电机、变压器、配电装置的分类、结构、检修及故障处理、试验方法。

本书由山西漳泽电力股份有限公司文生元主编,其中,第一章由翟利宏编写,第二章由郭海宇编写,第三章由董小录编写,第四章由张磊、畅康清编写,第五章由翟利宏、董国编写,第六章由温杰、毛磊杰、史彩芳编写,第七章由郭海宇、陈力编写,第八章由张鹏编写,第九章由靳建龙、宋文科编写,第十章由宋文科、张鹏编写,第十一章由张鹏、武军杰编写。

由于编者的水平、经验所限,且编写时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 4 月

目 录

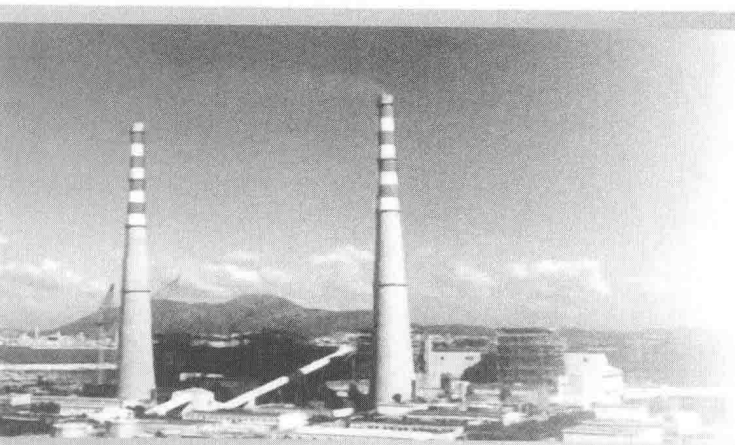
前言

第一篇	电气系统	1
第一章	电气主接线	3
第一节	发电机—主变压器组接线	3
第二节	220kV 配电装置接线	4
第二章	厂用电系统	8
第一节	厂用电及厂用电负荷分类	8
第二节	厂用电接线方式	9
第二篇	电机	13
第三章	汽轮发电机	15
第一节	概述	15
第二节	汽轮发电机结构	18
第三节	汽轮发电机检修	52
第四节	汽轮发电机试验	75
第四章	电动机	98
第一节	概述	98
第二节	电动机结构	101
第三节	电动机检修	107
第四节	电动机运行中的检查及故障处理	112
第五章	柴油发电机组	118
第一节	概述	119
第二节	柴油发电机组维护	126
第三篇	变压器	129
第六章	变压器结构	131
第一节	铁芯	131
第二节	绕组	136
第三节	变压器内绝缘	140

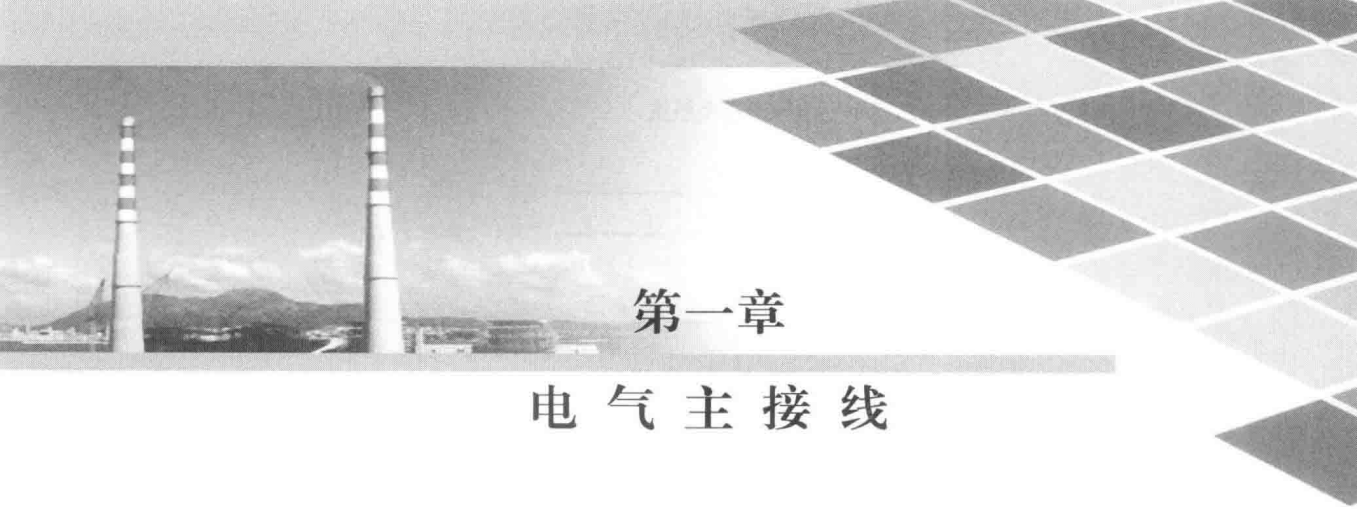
第四节	变压器附件	143
第五节	主变压器介绍	162
第六节	高压厂用变压器	167
第七章	变压器检修	173
第一节	油浸式变压器检修	173
第二节	干式变压器检修	186
第八章	变压器试验	189
第一节	变压器试验项目及分类	189
第二节	变压器试验方法	191

第四篇 配电装置 207

第九章	220kV 配电装置	209
第一节	六氟化硫断路器	209
第二节	隔离开关	256
第三节	互感器	264
第四节	穿墙套管	273
第五节	避雷器	275
第十章	6kV 配电装置	282
第一节	概述	282
第二节	6kV 配电装置 (一)	286
第三节	6kV 配电装置 (二)	298
第四节	6kV 配电装置 (三)	309
第五节	6kV 配电装置 (四)	321
第六节	真空断路器试验	328
第十一章	封闭母线	331
第一节	概述	331
第二节	封闭母线类型及特点	332
第三节	封闭母线结构	334
第四节	封闭母线介绍	336



第一篇 电 气 系 统



第一章

电气主接线

发电厂电气主接线是电力系统接线组成的一部分，是指发电机、变压器、断路器、隔离开关、母线和输电线路等之间的连接方式。按照它们在系统中位置的不同，可以分为发电机—主变压器组接线和接入系统配电装置接线两部分。

本章以某电厂 350MW 机组（1、2 号机组）和 300MW 机组（3、4 号机组）为例，对电气主接线进行说明。

第一节 发电机—主变压器组接线

本节主要介绍发电机—主变压器单元制接线方式与 220kV 输电系统连接时的接线情况。

单元制接线方式是指每台机组的发电机、变压器作为一个整体与电力系统相连，厂用电由本台机组的高压厂用变压器接带，该单元内设备与其他机组间相互不发生连接。这种接线方式在发电机出口不设断路器，而是通过封闭母线将发电机与主变压器相连接后接入电力系统。发电机出口不装设断路器的优点是：投资小，而且在发电机出口至主变压器之间采用封闭母线后，这段线路范围的故障率将大幅度降低。在发电机出口也不装隔离开关，只设有可拆的连接片，以供发电机测试时用。以 300MW 发电机—主变压器组为例进行介绍，见图 1-1。

300MW 发电机出口经自冷全连式离相封闭母线与主变压器连接，主变压器高压侧经导线与 203 断路器相连，203 断路器通过 203-C、203-D 隔离开关分别与 220kV C、D 母线相连接，从发电机出口封闭母线引出分支为高压厂用变压器提供电源。

发电机中性点采用高阻接地方式，经中性点接地的变压器与地相连，中性点接地的变压器二次侧接电阻，阻值仅有零点几欧姆，该电阻经过中性点接地的变压器反映到一次侧后达到数百欧姆，这样可以将过电压限制在 2.6 倍额定相电压以下，故障电流限制在 1A 以内，同时为定子接地保护装置提供监测信号。

发电机与主变压器之间的离相封闭母线上除高压厂用变压器分支母线外，还有两条分支母线，一条接励磁变压器，另一条接发电机出口电压互感器及避雷器。励磁变压器降压后通过晶闸管整流装置将交流电变为直流电后经励磁开关、直流励磁母线流入发电机转子。电压互感器是为了给保护、测量装置提供发电机出口电压信号专门设置的电器设备，避雷器是为了防止过电压影响发电机、主变压器低压侧绝缘的电器设备。350MW 发电机

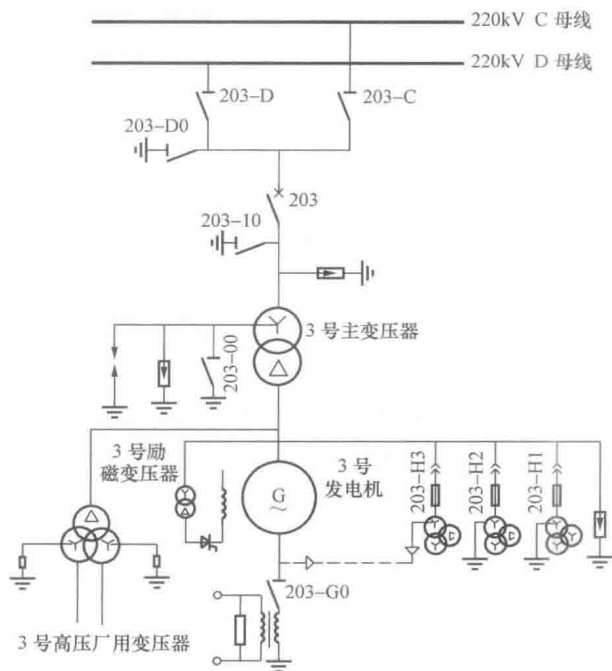


图 1-1 发电机—主变压器组单元制接线图

出线端配置 2 组电压互感器和 1 组避雷器, 300MW 发电机出线端配置 3 组电压互感器和 1 组避雷器。

主变压器高压侧中性点直接接地，中性点接地处设置了接地开关、放电间隙及无间隙金属氧化物避雷器。为了不改变系统中的零序阻抗，根据继电保护整定运行需要，两台主变压器中性点在运行中保持一台接地，另一台不接地。

主变压器高压侧经穿墙套管与 203 断路器相连,主变压器高压侧与穿墙套管间装有 1 组避雷器。在升压站内还装有电流互感器、接地开关、断路器、隔离开关等设备。

第二节 220kV 配电装置接线

电厂常用的主接线方式有双母线接线、双母线带旁路接线、3/2 断路器接线方式等，以下对 220kV 双母线接线方式室内配电装置进行介绍，其接线方式见图 1-2。母线之间通过母线联络断路器（以下简称母联）连接，每条线路都经一台断路器和两组隔离开关分别接至两组母线。

有 两组 母 线 后，使 运 行 的 可 靠 性 和 灵 活 性 大 大 提 高，其 特 点 如 下：

(1) 检修任一组母线时, 不会停止对用户连续供电。例如, 检修母线Ⅰ时, 可把全部电源和负荷线路切换到母线Ⅱ上。

(2) 运行调度灵活,通过倒换操作可以形成不同的运行方式。当母联断路器闭合,进出线适当分配到两组母线上,形成双母线同时运行的状态,两组母线同时运行的供电可靠性比仅用一组母线运行时高。有时为了系统的需要,也可将母联断路器断开(处于热备用状态),两组母线独立运行。

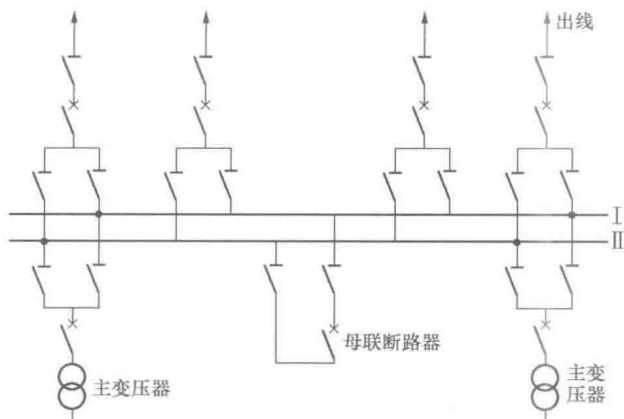


图 1-2 典型的双母线接线方式图

(3) 在特殊需要时，可以用母联与系统进行同期或解列操作。当个别回路需要独立工作或进行试验（如发电机或线路检修后需要试验）时，可将该回路单独接到备用母线上运行。

350MW 机组 220kV 双母线为 A 母线、B 母线，300MW 机组 220kV 双母线为 C 母线、D 母线。正常运行方式：双母线并列运行，母联断路器在合位。

350MW 机组：211、213、201 断路器上 A 母线，212、214、202、260 断路器上 B 母线。

300MW 机组：204、218、270 断路器上 C 母线，203、219 断路器上 D 母线。

一、350MW 机组 220kV 配电装置的接线方式

350MW 机组 220kV 配电装置有 2 条进线、4 条出线和 1 条启动/备用出线。2 台主变压器高压侧经双分裂钢芯铝导线（ $2 \times \text{LGJ-630/45}$ ）通过穿墙套管接入室内 220kV 系统，启动/备用变压器高压侧经单根钢芯铝导线（ LGJ-400/25 ）通过穿墙套管接入室内 220kV 系统。架空线路中部装有金属氧化锌避雷器，并在构架顶部装有避雷针防止直击雷。启动/备用变压器作为厂用备用变压器，当单元厂用变压器停运时，厂用电系统由启动/备用变压器供电。4 条出线经双分裂钢芯铝导线（ $2 \times \text{LGJ-400/25}$ ）通过穿墙套管接入电网，接线方式见图 1-3。

220kV 升压站房顶进线侧设有 2 根避雷针。室内配电装置采用上、下分层布置，下层为 A 母线，上层为 B 母线。母线为铝锰合金管形母线，其规格为 $\phi 130/116$ ，由支柱绝缘子支撑，为了消除热胀冷缩产生的应力，在每组母线中部设有伸缩节。

二、300MW 机组 220kV 配电装置的接线方式

300MW 机组 220kV 配电装置有 2 条进线、2 条出线和 1 条启动/备用出线。2 台主变压器高压侧经双分裂钢芯铝导线（ $2 \times \text{LGJ-500/45}$ ）通过穿墙套管接入室内 220kV 系统；启动/备用变压器高压侧经单根钢芯铝导线（ LGJ-300/50 ）通过穿墙套管接入室内 220kV 系统。2 条出线经双分裂钢芯铝导线（ $2 \times \text{LGJ-500/45}$ ）通过穿墙套管接入电网，见图 1-4。

220kV 升压站房顶进线侧设有 2 根避雷针。室内配电装置采用上、下分层布置，下层为 C 母线，上层为 D 母线。母线为铝锰合金管形母线，其规格为 $\phi 130/116$ ，由支柱绝缘子支撑，为了消除热胀冷缩产生的应力，在每组母线中部设有伸缩节。

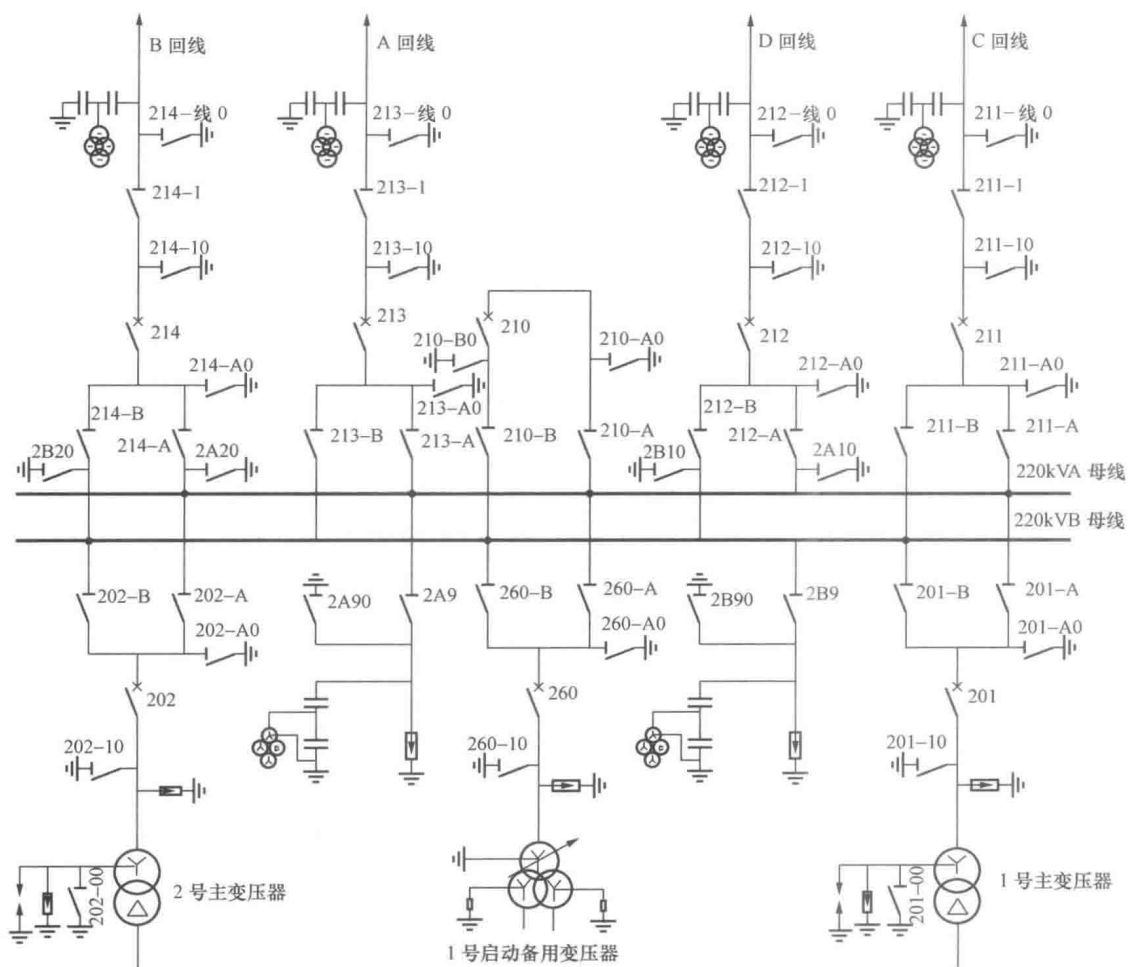


图 1-3 350MW 机组 220kV 配电装置的接线方式图

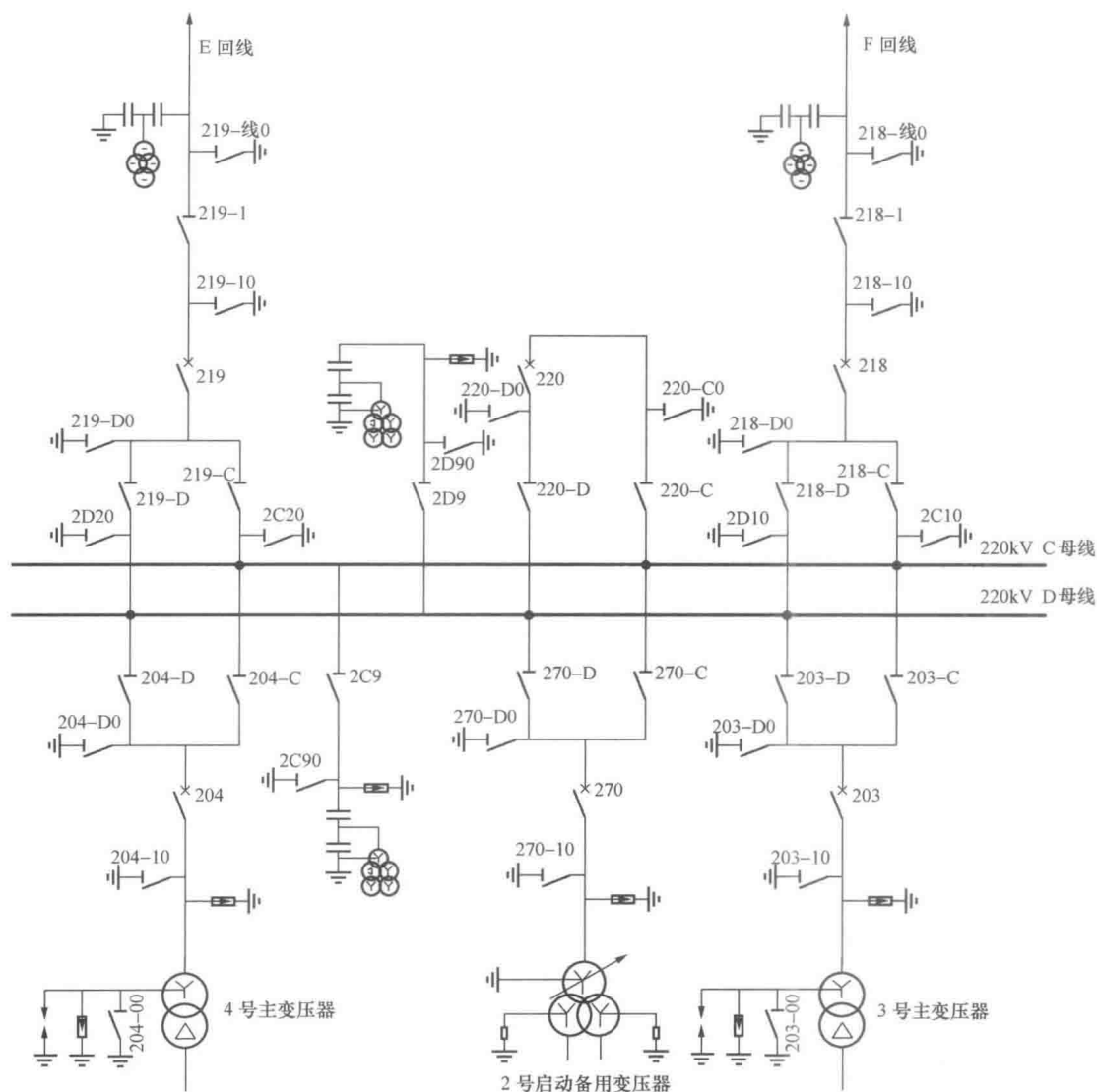
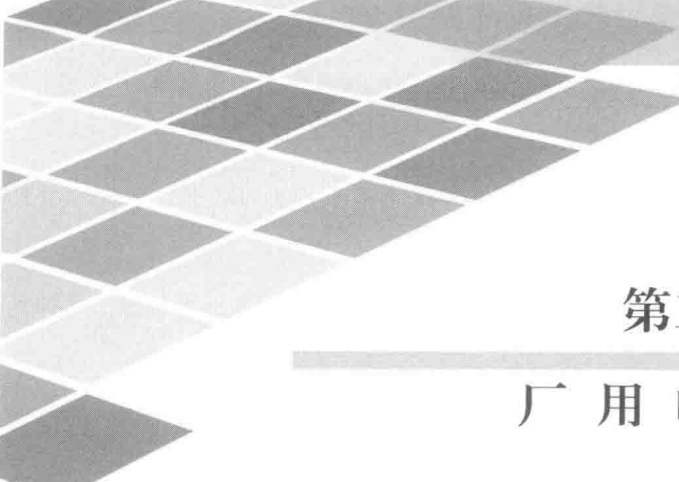


图 1-4 300MW 机组 220kV 配电装置的接线方式图



第二章

厂用电系统

第一节 厂用电及厂用电负荷分类

一、厂用电

发电机组在启动、运转、检修的过程中,有大量用电动机拖动的机械设备,用以保证机组的主要设备和输煤、除灰、除尘及水处理等辅助设备的正常运行。这些电动机以及全厂的运行、操作、试验、检修、照明等用电设备都属于厂用负荷,统称为厂用电。

厂用电由发电厂本身供给,其耗电量与电厂类型、机械化和自动化程度、燃料种类及其燃烧方式、蒸汽参数等因素有关。厂用电耗电量占发电厂全部发电量的百分数称为厂用电率。厂用电率是发电厂运行的主要经济指标之一,一般凝汽式电厂的厂用电率为5%~8%。降低厂用电率可以降低电能成本,同时可以增大对系统的供电量。

二、厂用电负荷的分类

厂用电负荷,根据其用电设备在生产中的作用和突然中断供电所造成的危害程度,按其重要性可分为以下四类。

(1) I类厂用负荷。凡是属于单元机组本身运行所必需的负荷,短时停电会造成主辅设备损坏、危及人身安全、主机停运及影响大量出力的负荷,都属于I类厂用负荷。如火电厂的给水泵、凝结水泵、循环水泵、引风机、送风机、磨煤机等。通常,它们设有两套或多套相同的设备。例如:有两套相同的辅助设备,每一套辅助设备运行就能使主机带满负荷,正常运行时,一套运行,另一套备用或检修,可以互相连锁切换,如凝结水泵、辅机冷却水泵等。又如:有两套相同的辅助设备,每一套辅助设备运行就能使主机带50%的负荷;正常运行时,两套同时运行,没有备用,其中一套因故障停运时,则主机降低出力到50%,如引风机、送风机、一次风机等。这些负荷分别接到两条独立电源的母线上,并设有备用电源,当失去工作电源后,备用电源就立即自动投入。

(2) II类厂用负荷。允许短时停电(几分钟至几个小时),恢复供电后,不致造成生产紊乱的厂用负荷,属于II类厂用负荷。此类负荷一般属于公用性质负荷,不需要24h连续运行,而是间断性运行,如上煤、除灰、水处理系统等负荷。一般它们也有备用电源,常用手动切换。

(3) III类厂用负荷。较长时间停电,不会直接影响生产,仅造成生产上不方便者,都属于III类厂用负荷,如检修车间、试验室、油处理室等负荷。通常由一个电源供电,在大

型电厂中，也常采用两路电源供电。

(4) 事故保安负荷。在 200MW 及以上机组的大容量电厂中，自动化程度较高，要求在事故停机过程中及停机后的一段时间内，仍必须保证供电，否则可能引起主要设备损坏、重要的自动控制失灵或危及人身安全的负荷，称为事故保安负荷。事故保安负荷按对电源要求的不同又可分为：①直流保安负荷，如发电机的直流润滑油泵、氢侧直流密封油泵等；②交流保安负荷，如发电机的交流润滑油泵、氢侧交流密封油泵；③UPS 负荷，如实时控制用的计算机等。为满足事故保安负荷的供电要求，对大容量机组应设置事故保安电源。通常，事故保安负荷是由蓄电池组、柴油发电机组或可靠的外部独立电源作为其备用电源。

第二节 厂用电接线方式

本节以某电厂 350MW 机组（1、2 号机组）和 300MW 机组（3、4 号机组）为例，对厂用电接线方式进行说明。

一、概述

汽轮发电机组厂用电系统有两种常用供电方案，一种为不设公用负荷母线，另一种为设置公用负荷母线。6.3kV 厂用电系统全部采用第一种供电方案，不设公用负荷母线，将全厂公用负荷（如输煤、除灰、化水等）分别接在各机组两段母线上，见图 2-1。

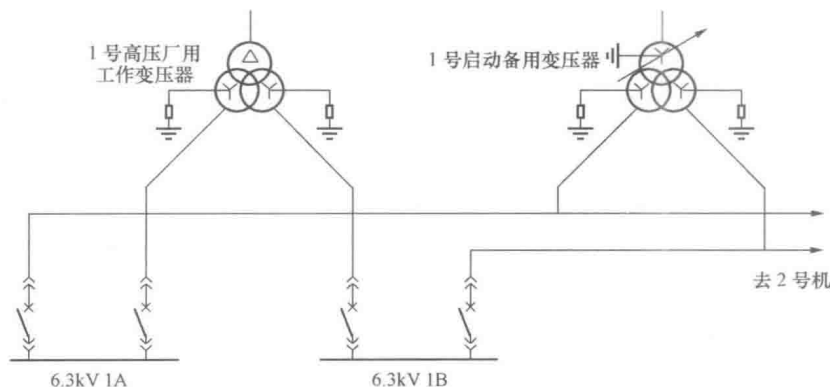


图 2-1 厂用电系统接线方式图

不设公用负荷母线的优点是公用负荷分接于不同机组变压器上，供电可靠性高、投资少。但由于公用负荷分接于各机组工作母线上，机组工作母线清扫时，将影响公用负荷的备用。

二、350MW 机组厂用电接线方式

(一) 6.3kV 厂用电系统

每台机组设一台容量为 50/25-25MVA 的高压厂用工作变压器，电源通过厂用分支母线由各自发电机出口 T 接。高压厂用工作变压器为分裂变压器，通过低压侧的共箱母线引到 6.3kV 系统。6.3kV 系统为单母线，每台机组设两段，每台机组的工作负荷均匀地接在两段上，而全厂的公用负荷则分摊接在两台机组的 6.3kV 母线段上。两台机组公用



一台启动/备用变压器，启动/备用变压器引至厂内 220kV 系统，作为每台机组的启动备用电源。

6. 3kV 系统为中电阻接地系统，变压器的低压侧中性点采用中值电阻接地方式，接地电阻按单相短路电流 100A 选取，接地电阻值为 38Ω 。

（二）0.4kV 厂用电系统

0.4kV 厂用电系统的设计原则有两种，一种是采用暗备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式，另一种是采用明备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式。采用暗备用动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）的供电方式，其动力中心和电动机控制中心成对设置。动力中心采用单母线分段，每段母线由一台干式变压器供电，两台低压变压器间互为备用，手动切换。电动机控制中心和容量为 75kW 及以上的电动机由动力中心供电，75kW 以下的电动机由电动机控制中心供电。成对的电动机分别由对应的动力中心和电动机控制中心供电。MCC 采用单母线接线，一般为单电源供电，对接有非成对电动机的 MCC，根据工艺需要，可采用双电源供电或由保安 MCC 供电。

每台机组在主厂房设两台低压工作变压器给单元机组的工作动力中心供电，两台低压工作变压器互为备用、手动切换。每台机组分别设置照明变压器和检修变压器各一台，两台机组设置照明备用变压器一台，两台检修变压器互为备用，照明及检修电源采用 0.4/0.23kV，电源从公用动力中心引接。两台机组设置两台低压公用变压器给主厂房内的公用负荷供电，这些负荷包括集控楼空调、煤仓层负荷、空气压缩机等，公用动力中心为单母线分段配置，两台公用变压器互为备用、手动切换。工作变压器和公用变压器的电源均引至厂用 6.3kV 段，主厂房低压动力电源系统采用高阻接地方式，接地电阻取 70Ω ，照明、检修低压系统采用中性点直接接地方式。

辅助厂房均选用油浸式变压器为其动力中心供电，电源均引至厂用 6.3kV 段，中性点直接接地，采用动力、照明、检修合并的供电方式，供电电压为 0.4/0.23kV。辅助厂房变压器的设置原则按区域分片在负荷中心设置。

（三）事故保安电源

每台机组设一台 800kW 柴油发电机组作为本机保安电源。每台机组设置两段 380V 交流事故保安段，正常运行时分别由主厂房工作 PC 段供电，事故时由柴油发电机组供电，以确保机组安全停机。

三、300MW 机组厂用电接线方式

（一）6.3kV 厂用电系统

每台机组设一台容量为 50/31.5-31.5MVA 的高压厂用工作变压器，其接线方式与 350MW 机组类同。

（二）0.4kV 厂用电系统

主厂房低压工作厂用电系统、包括汽机段、锅炉段、公用段、保安段、空冷段，其母线电压为 0.4kV。主厂房内每台机组成对设置为锅炉变压器、汽机变压器及电除尘变压器，每对变压器互为备用。每台机组设四台空冷变压器，每两台互为备用。每台机组设一



台公用变压器及一台照明变压器，两台机公用变压器、照明变压器互为备用。正常时互为备用的变压器分列运行，一台变压器故障时，采用手动切换，另一台变压器带全部负荷运行。

低压厂用电设动力中心（PC）和电动机控制中心（MCC）两级供电方式，75kW 及以上的电动机和 200kW 及以上的静止负荷在 PC 上接，75kW 以下的电动机和 200kW 以下的静止负荷由 MCC 供电。重要负荷容量在 75kW 以下的可视情况由 PC 供电。电动机控制中心（MCC）根据负荷分散成对设置，成对的电动机分别由相应的两段 MCC 供电。

I 期各个辅助车间所设低压变压器容量已考虑 II 期扩建容量，开关柜已预留有 II 期扩建回路，根据各个工艺专业负荷清单对辅助车间变压器容量进行了校验。因灰库及回收水处理以及新建化水反渗透室新增负荷较多，新增设废水动力中心，动力中心设两段母线，以联络断路器连接，灰库气化风机房、回收水处理、化水反渗透室及其附近负荷由该动力中心供电。

0.4kV 厂用电系统采用高值电阻接地方式。汽机段、锅炉段、公用段、保安段、空冷段均采用中性点高阻接地方式，接地电阻为 70Ω 。其余主厂房低压系统包括照明、检修、电除尘以及辅助厂房采用直接接地方式。

（三）事故保安电源

每台机组设一台快速启动的柴油发电机组，作为本机组的事故保安电源，柴油发电机容量为 500kW。柴油发电机组中性点高阻接地。每台机组设置两段 0.4kV 交流事故保安段，正常运行时分别由主厂房 0.4kV 锅炉段供电，事故时由柴油发电机组供电。