

全国火力发电工人通用培训教材

# 发电厂集控运行

高级工

山西省电力工业局 编

安全第一 预防为主

中国电力出版社

全国火力发电工人通用培i

S130-3

# 发电厂集控运行

## 高级工

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

856215

## 内 容 提 要

本书是《全国火力发电工人通用培训教材》之一，也是新颁《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》的配套教材之一。

全书着重介绍了单元机组的启停、运行、控制保护、事故处理和试验验收。主要内容包括：单元机组启停步骤及启动分类，锅炉、汽轮机在启动中的热力特性；单元机组运行调整，机组变压运行和经济运行，单元机组的运行分析和运行管理；单元机组自动控制和安全保护，以及计算机在单元机组监视、控制中的应用；单元机组的事故处理及典型事故案例；单元机组的热力试验和检修后的验收等。

本书适用于火力发电厂集控运行值班员高级工的培训，也可供工程技术人员和大专院校师生参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

发电厂集控运行：高级工/山西省电力工业局编。  
-北京：中国电力出版社，1998（重印）

全国火力发电工人通用培训教材

ISBN 7-80125-220-9

I. 发… II. 山… III. 发电厂-集控装置-运行-技术培训-教材 IV. TM621.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（96）第 21095 号

中国电力出版社出版、发行  
（北京三里河路 6 号 邮政编码 100044）  
北京市京东印刷厂印刷  
各地新华书店经售

\*

1997 年 3 月第一版 2003 年 9 月北京第七次印刷  
787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 9.25 印张 201 千字  
印数 25741 - 28740 册 定价 12.00 元

版权专有 翻印必究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

努力搞好教材建設  
為提高電業職工  
素質服務

史大楨

丁巳年春

全国火力发电工人通用培训教材  
编 审 委 员 会

名誉主任：卞学海

主任：刘润来

常务副主任：郭连邦

副主任：程忠智 李宝祺 曹德声

贺至刚 张克让 王靖中

金明轩 刘治国 顾希衍

程纪奎 刘玉柱 刘向东

王文杰

委 员：阎刘生 陈懋龙 贾 诚

王清文 王解新 梁秀生

燕福龙 刘宇平 张建国

王扁桃 曹保林 王 震

周 新 郭林虎 乔文普

马家斌

办公室主任：程纪奎（兼）

办公室副主任：刘向东 乔文普

马家斌 郭林虎

办公室工作人员：曹 璜 王荣辉

## 序

《全国火力发电工人通用培训教材》出版、发行了，这是电力职工培训工作的一件大事。

工人技术培训教材建设，是搞好培训、提高人员素质、直接为生产服务的一项重要基础工作。电力工业部领导对电力职工队伍的培训和教材建设非常重视，多次为之做过重要指示。

关于电力工人培训教材建设工作，多年来我部取得了较大的成绩，得到了劳动部的肯定。由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》已发行、使用10余年，并多次重印，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的需要，有力地促进了培训工作的开展。在1987年全国电力普及读物评优中，这两套培训教材荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

但是，随着我国电力工业技术装备的不断更新和技术水平的不断提高，对电业生产人员的素质相应地提出了更高的要求。此外，由于劳动、培训制度改革不断深化，关于工人培训教育的思想、方法和手段也发生了深刻变化。为适应这一新情况、新需要，进一步加强电力工人培训教材的建设，有必要对原编写的两套培训教材进行修订和增补。为此，决定由山西省电力工业局重新编写《全国火力发电工人通用培训教材》。这套新编的培训教材业经中电联教培部组织审定，

作为全国火力发电工人通用的培训教材，由中国电力出版社出版、发行。

《全国火力发电工人通用培训教材》具有相当的权威性。首先，这套培训教材的编写依据，是电力工业部、劳动部颁发的《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》和中电联教培部《关于电力工人培训教材建设的意见》，以及有关电业生产、建设的技术规程、规范。无论是在内容的取舍上，还是在深度的把握上，这套教材都是按以上国家标准和部颁规程、规范的要求来进行的。

其次，这套培训教材从总体设计上来讲，思路是清晰的，指导思想是正确的。教材的编写突破了传统的学校教科书模式，注意按照工人培训的特点和规律，安排教学内容，即强调实用性，并且“以工种立目，以岗位立篇”。与每一个专业工种对应的初、中、高三个分册在内容上是阶梯式递进的，互不重复或不简单重复。这些思路都是超前的、可行的，符合中电联教培部《关于电力工人培训教材建设工作的意见》的精神。

再有，这套培训教材的编写、出版力量都是相当强的。其作者是山西省电力系统中技术上比较权威的专家，有相当丰富的培训工作经验，基本上能够代表全国电力系统的技术力量水平。作为全国首批认定的15家优秀出版社之一的电力出版社，无论在编辑力量和水平上，还是在出版质量上，都是国内一流的。对于这套培训教材，出版社领导亲自挂帅，组织了20余人的编辑班子，精心策划，全面指导，精雕细刻，因此，其质量是高的。

《全国火力发电工人通用培训教材》的另一个特点是实用性较强。一方面，这套培训教材是从生产实际需要和工人实

际水平出发，进行设计、编写的。为了使教材更具有针对性，更加实用，我们做了大量的前期工作，对电力系统的人员结构、整体素质进行过调查和认真分析。这套培训教材不仅适用于具有初中及以上文化程度、没有经过系统专业培训的电力生产人员，而且对于现场的工程技术人员，也是有参考价值的。另一方面，这套培训教材以培养工人实际能力为重点，以提高工人操作技能为主线，教材中所提供的“知识”是为“技能”服务的，因而增强了教材的实用性，使经过培训的工人能较快运用所学的知识 and 掌握的技能，指导或改进所从事的生产实践。

此外，这套培训教材图文并茂，通俗易懂，好学好用，特别适合工人学习。

当然，《全国火力发电工人通用培训教材》所反映的是普遍适用的主要内容。各单位在使用过程中，只要结合本单位的设备、工艺特点和人员素质的实际情况，在内容上做适当的补充和调整，便可有针对性地对本单位职工开展培训。

《全国火力发电工人通用培训教材》是《全国电力工人公用类培训教材》的延伸，两套培训教材要配合使用。这些培训教材的出版，必将对我国电力职工培训工作的有效开展和“九五”期间电力职工素质的提高，产生积极而深远的影响。

中国电力企业联合会教育培训部

1996年12月



# 前 言

由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》，发行、使用已历时 10 余年。其间，《学徒工初级工》各分册分别重印 5 至 9 次，《中级工》各分册分别重印 4 至 7 次，发行量很大，深受全国电力系统广大读者的欢迎，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的要求，取得了显著的社会效益。为此，这两套培训丛书在全国电力普及读物评优中，荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

10 余年来，由于改革开放的不断深入发展，我国的电力工业有了很大的发展，现已普遍进入大机组、大电网、高参数、超高参数、高电压、超高电压和高度自动化的发展阶段，对电业生产人员的素质提出了更高的要求。继 1991 年 12 月原能源部颁发的《电力工人技术等级标准》之后，1995 年 9 月电力工业部、劳动部又颁发了《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》。因此有必要根据电力生产的新情况和电力工人技术等级标准的新要求，对上述两套培训教材进行修订并增补高级工培训教材。经山西省电力工业局和中国电力出版社通力合作，并在全国电力工人技术教育研究所的支持下，现编写、出版了这套《全国火力发电工人通用培训教材》。本套丛书的内容覆盖了火力发电 16 个专业对初、中、高级工的技术要求，每个专业分初级工、中级工、高级工三个分册出版，共计 48 个分册；每一分册中又

以各专业的不同岗位工种设“篇”，共覆盖了40余个工种。

在编写本套丛书的过程中，首先根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从火电生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半年余，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的火力发电工人培训教材，深信是紧扣新的工人技术等级标准的实用性教材。

火力发电工人培训教材，体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则，尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法；教材以300MW机组及其辅机为主，兼顾600MW和200MW机组及其辅机的内容，因而有相当的先进性和普遍适用性，适应于“九五”期间主要机型的技能要求。与每一专业对应的初、中、高级工三个分册，自成一个小的系列，呈阶梯式递进，内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样，解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。有些习题，如操作题、读绘图题、设计试验题等，主要用以培养和巩固必备的技能。鉴于全国电力系统各基层单位、部门培训力量和师资水平并不平衡，学员水平也参差不齐，所以有必要为每一分册编写相应的《教材使用说明和习题解答》，这将在本套丛书出版后陆续推出。

本分册是《发电厂集控运行》高级工培训教材，全书由神头第二发电厂田钧、朱斌同志担任主编，祁智明同志担任

主审。本书的第一章由田钧同志编写；第二章第一节，第四章第一节、第二节中锅炉部分由赵立奇同志编写；第二章第二节、第四节、第五节，第四章第二节中汽轮机部分由赵先伟同志编写；第二章第三节，第四章第二节中电气部分由孟有同志编写；第二章第六节、第七节由朱斌同志编写；第三章由张建生和卢东胜同志编写；第五章由赵立奇和尚文祥同志编写；第四章事故案例由赵立奇、赵先伟、孟有同志编写。华能大连电厂为本书提供了大量宝贵的资料，在此致谢。

在中电联教培部为本套培训教材组织的审定会议上，本书由天津大港发电厂刘金忠、王玉云同志审定，并被推荐为全国火力发电工人通用培训教材。

在编写这套《全国火力发电工人通用培训教材》的过程中，得到了电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书进行了审定，提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心的感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或需修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1996年11月

# 目 录

序

前 言

<b>第一章 单元机组的启停</b> .....	1
第一节 锅炉启动中的热力特性 .....	2
第二节 汽轮机启动中的热力特性 .....	6
第三节 单元机组的启动方式分类 .....	20
第四节 单元机组冷态滑参数启动 .....	23
第五节 单元机组热态滑参数启动 .....	37
第六节 单元机组的停运 .....	41
复习题 .....	47
<b>第二章 单元机组的运行</b> .....	51
第一节 锅炉运行调节 .....	51
第二节 汽轮机运行监视和调整 .....	63
第三节 发电机运行调整及维护 .....	74
第四节 单元机组的负荷调节和变压运行 .....	84
第五节 单元机组的经济运行 .....	88
第六节 单元机组的报表分析和运行中的诊断 .....	97
第七节 单元机组运行管理 .....	102
复习题 .....	106
<b>第三章 单元机组的自动控制系统及安全保护</b> .....	111
第一节 单元机组自动控制系统的总体结构 .....	111
第二节 单元机组的控制方式 .....	117
第三节 燃烧器控制系统及炉膛安全保护监 控系统 .....	139

第四节	连锁保护逻辑系统 .....	156
第五节	计算机在火电厂监控中的应用 .....	171
第六节	单元机组自启停的计算机控制 .....	183
复习题	.....	188
<b>第四章</b>	<b>单元机组的事故处理 .....</b>	<b>193</b>
第一节	单元机组事故特点及处理原则 .....	193
第二节	单元机组故障处理 .....	195
第三节	电力系统异常运行或故障对单 元机组的影响 .....	217
第四节	单元机组事故案例 .....	226
复习题	.....	244
<b>第五章</b>	<b>单元机组的热力试验和检修后的验收 .....</b>	<b>247</b>
第一节	机组热平衡和热效率试验 .....	247
第二节	单元机组检修后的验收 .....	258
复习题	.....	277
参考书目	.....	280
后记	.....	李振生

## 第一章 单元机组的启停

单元机组的启动是指将静止状态的机组转变为运行状态的过程；停运则是指启动的逆过程。由于单元机组是炉机电纵向联系的生产系统，因而其启停是整组启停，炉机电之间互相联系，互相制约，各环节的操作必须协调一致、互相配合，才能顺利完成。另外，由于单元机组启停过程中，设备部件都要经历温度的大幅度变化，因此，单元机组的启停，实质上是一个对设备部件的加热升温或冷却降温过程。在启停过程中，锅炉、汽轮机的各个部件以及管道的温度和应力都要发生很大的变化。特别是高参数、大容量机组，由于设备体积庞大，结构复杂，各个部件（如锅炉受热面、汽包，汽水管，汽轮机汽室、汽缸、转子、法兰及螺栓等）所处的条件不同，火焰及工质对它们的加热或冷却速度也不同，因而各部件之间或部件本身沿金属壁厚方向产生明显的温差，温差导致设备金属膨胀或收缩不均，而产生热应力。热应力随温差的变化使金属产生疲劳。当热应力超过允许的极限值时，会使部件产生裂纹乃至损坏。

在启停过程中，锅炉受热面内工质的流动不正常，有的受热面内工质流量很少，甚至在短时间内没有工质流动，因此这部分受热面不能被工质正常冷却，如果加热速度控制不当，就会造成部分受热面超温。而对于汽轮机，由于结构复杂，又有高速旋转的转子，因而当汽缸和转子之间出现膨胀差时，会使本来就小的动静间隙进一步缩小，甚至产生摩擦

而损坏设备。实践证明，一些对设备最危险、最不利的工况往往出现在启停过程中。有些在启停过程中产生的问题虽不立即引起明显的设备损坏，却会给设备带来“隐患”，降低了设备使用寿命。因此，通过研究单元机组在启停过程中的热状态和热力特性，寻求合理的单元机组启停方式，就成为发电厂集控运行的一项重要任务。

## 第一节 锅炉启动中的热力特性

### 一、锅炉汽包的温差与热应力

#### 1. 锅炉上水工况

机组冷态启动时，锅炉汽包上水之前，汽包温度接近于环境温度。一定温度的给水进入汽包后，内壁温度随之升高，因汽包壁较厚（一般约100mm左右），外壁（外表面）温升

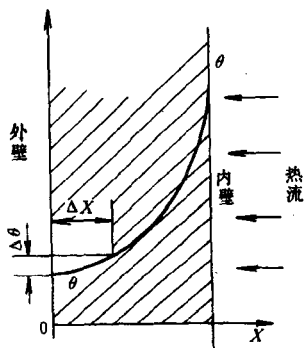


图 1-1 汽包壁内  
温度变化图

较内壁温升慢，从而形成内、外壁温差（见图 1-1）。由于汽包内、外壁温差的存在，温度高的内壁受热，力图膨胀，温度低的外壁则阻止膨胀，因此在汽包内壁产生压缩热应力，外壁产生拉伸热应力。温差越大，产生的应力也越大，严重时会使汽包内表面产生塑性变形。此外，管子与汽包的接口也会由于过大的热应力而受到损伤。

为此，部颁锅炉运行规程中规定，启动过程中的进水温度一般不超过  $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，进水时间根据季节的变化控制在 2

~4h。热态上水时，水温与汽包壁的温差不能大于  $40^{\circ}\text{C}$ 。另外，为安全起见，要求锅炉进常温水时，上水温度必须高于汽包材料性能所规定的脆性转变温度  $33^{\circ}\text{C}$  以上。

## 2. 锅炉升压工况

一般自然循环锅炉在启动过程中，汽包壁温差是必须控制的重要安全性指标之一。在启动开始阶段，蒸发区内的自然循环尚不正常，汽包内的水流动很慢或局部停滞，对汽包壁的放热率很小，故汽包下部金属温度升高不多。汽包上部与饱和蒸汽接触，蒸汽对金属冷凝放热，此放热率比汽包下部大好几倍，故汽包上部金属温度较高，汽包上下产生了温

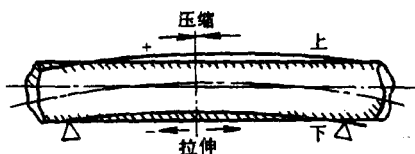


图 1-2 汽包上下温差应力图

差应力（见图 1-2）。由于受与汽包连接的各种管子对变形的限制，这种温差应力将使汽包上部金属受压应力，汽包下部金属受拉应力，汽包趋向于拱背状变形。另外，在启动过程中，汽包金属从工质吸收热量，其温度逐渐升高并由内向外散热。因此，汽包壁由于内外存在温差而产生应力。为了防止过大的热应力损坏汽包，目前国内各高压和超高压锅炉的汽包上下壁温差及汽包筒体任意两点的温差均控制在  $50^{\circ}\text{C}$  以下。汽包壁上下及内外温差的大小在很大程度上取决于汽包内工质的温升速度，速度愈大则温差愈大。一般规定汽包内工质温升的平均速度不超过  $1.5\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

## 二、锅炉受热面的温差与热应力



## 1. 水冷壁

自然循环锅炉在点火过程中，特别在升温升压的初始阶段，水冷壁受热不多，管内工质含汽量很少，故水循环还不正常；又因这时投入油枪或燃烧器的数量少，故水冷壁受热和水循环的不均匀性较大。因此，同一联箱上的水冷壁管之间存在金属温差，产生一定的热应力，严重时会使下联箱变形或管子损伤。尤其是膜式水冷壁应特别注意其受热的不均匀性。为此，通过正确选择和适当轮换点火油枪或燃烧器，可以使水冷壁受热趋于均匀。对于水循环弱、受热较差的水冷壁管，可从它们联箱的最低点放水以加速其受热。

对多次强制循环锅炉，由于使用强制循环泵进行强制循环，水流能按照计算设置的各水冷壁管的进口节流孔板进行分配，因而在锅炉启动过程中，水冷壁管之间的温差很小，无需采取特殊措施来改善水冷壁的受热情况。

## 2. 过热器和再热器

锅炉正常运行时，过热器被高速蒸汽所冷却，管壁金属温度与蒸汽温度相差无几。在启动过程中，情况就与此大不相同。在冷炉启动之前，屏式过热器一般都有凝结水或水压试验后留下的积水。点火以后，这些积水将逐渐被蒸发，或被蒸汽流所排除。但在积水全部被蒸发或排除以前，某些管内没有蒸汽流过，管壁金属温度近于烟气温度。即使过热器内已完全没有积水，如蒸汽流量很小，管壁金属温度仍较接近烟气温度。因此，一般规定，在锅炉蒸发量小于10%额定值时，必须限制过热器入口烟温。控制烟温的方法主要是限制燃烧率（控制燃料）或调整火焰中心的位置（控制炉膛出口温度）。另外，还可使用喷水减温方法，但要注意对喷水量的控制，以防喷水不能全部蒸发，使蒸汽带水，危害汽轮机。