

全国火力发电工人通用培训教材



锅炉设备检修

高级工

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为全国火力发电工人通用培训教材之一。

全书共五篇十章，主要内容包括：锅炉本体检修专业相关知识；锅炉本体特殊检修工艺；锅炉辅机检修专业相关知识；锅炉辅机特殊检修工艺；有关管道阀门的基础知识；高温高压管道及阀门检修；除灰设备；除灰设备检修；电除尘器专业相关知识；电除尘器检修。为便于学习，各章都配有复习题。

本书可作为电厂从事锅炉检修工作的高级工培训教材，也可供有关检修工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉设备检修：高级工/山西省电力工业局编. -北京：中国电力出版社，1997（重印）

全国火力发电工人通用培训教材

ISBN 7-80125-226-8

Ⅰ. 锅… Ⅱ. 山… Ⅲ. 火电厂-锅炉-检修-技术培训-教材 N. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 21097 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)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 10 月北京第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 10.625 印张 227 千字

印数 5121 11200 册 定价 11.00 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)

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、培训制度改革的不深化，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和掌握的技能,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,特别适合于工人学习。

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”期间主要机型的技术要求。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，学员不平也参差不齐，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《锅炉设备检修》高级工培训教材，全书内容分五篇，共十章：其中第一篇至第五篇分别由太原第一热电

厂刘成槐、尹立新、王引棣、帖险峰、闫继东编写。全书由太原第一热电厂周茂德主编，王引棣、尹立新参与了本书大纲的制定。全书由山西省电力工业局彭必达主审。

在中电联教培部为本套培训教材组织的审定会议上，本书由吉林热电厂任智新高级工程师、安增庆高级工程师和朴吉满工程师审定，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

第一篇 锅 炉 本 体 检 修

第一章 锅炉本体检修专业相关知识	1
第一节 锅炉原理	1
第二节 受压元件强度的基本知识	10
第三节 金属管道的热应力	36
复习题	38
第二章 锅炉本体特殊检修工艺	42
第一节 受热面管排的更换	42
第二节 集箱的更换	47
第三节 锅炉的外部检验	50
第四节 锅炉的内部检验	55
第五节 锅炉的超压试验	61
第六节 受热面爆管及分析	63
复习题	67

第二篇 锅 炉 辅 机 检 修

第三章 锅炉辅机检修专业相关知识	72
第一节 锅炉辅机的分析计算	72
第二节 辅机的传动机构	81

第三节	辅机的密封	91
第四节	辅机的振动诊断	98
复习题		107
第四章	锅炉辅机特殊检修工艺	111
第一节	乌金瓦的浇铸及局部焊补	111
第二节	轴的校直	114
第三节	齿轮箱的装配	120
第四节	转子找动平衡	126
第五节	热套及晃动、瓢偏测量	130
第六节	齿轮的表面淬火	137
第七节	辅机的启动调试	145
复习题		148

第三篇 管 阀 检 修

第五章	有关管道阀门的基础知识	151
第一节	火力发电厂管道系统布置	151
第二节	火力发电厂汽水管道系统简介	154
第三节	金属在长期运行中组织性质的变化及损坏	164
第四节	高温高压管道的焊接及热处理	171
第五节	阀门驱动装置	177
复习题		184
第六章	高温高压管道及阀门检修	188
第一节	蒸汽管道的蠕变变形测量	188
第二节	高温高压管阀故障分析及检修	194
第三节	苏尔寿再热器安全阀及其检修	199
第四节	苏尔寿分离器放水阀及其检修	214

复习题	229
-----------	-----

第四篇 除灰设备检修

第七章 除灰设备	233
第一节 水力除灰设备	233
第二节 气力除灰设备	246
第三节 灰渣管道水力输送计算	247
复习题	248
第八章 除灰设备检修	250
复习题	266

第五篇 电除尘器检修

第九章 电除尘器检修专业及相关知识	268
第一节 电除尘器的工作原理	268
第二节 电除尘器的启动和停运程序	286
复习题	295
第十章 电除尘器检修	298
第一节 电除尘器的电气安装	298
第二节 电除尘器安装（大修）后的调整及试运行	307
复习题	315
后记	李振生

第一篇 锅炉本体检修

第一章 锅炉本体检修专业相关知识

第一节 锅 炉 原 理

一、锅炉上升管内工质的流动和传热恶化

1. 汽水流动的流型

当水在垂直管内向上流动时，水在管子横截面上的流速分布是不均匀的；当汽水在管内流动时，汽与水不是均匀混合的，且两者流速也不一样。由于汽水混合物的含汽率和流速不同，汽水组成的流型也不同。不同流型会影响流动阻力和传热，而流速大小和传热的强弱又影响到流型。

图 1-1 示出周界均匀受热、垂直上升蒸发管中工质的流型和传热情况的变化。过冷水（低于饱和温度的水）由下口进入，完全蒸发后由上口流出。

当受热不太强烈时，区域 A 为单相水的对流传热，水温低于饱和温度，而管内壁温度稍高于水温。

在 B 区内贴近壁面的水部分地沸腾，生成气泡，但管子中部的大量水仍然低于饱和温度。当生成的气泡脱离壁面与大量水混合时，又被冷凝成水，并将水加热。在这一区域内，壁温高于饱和温度，进行着过冷沸腾传热。

当水进入 C 区时基本上已全部达到饱和温度，传热状况过渡到饱和核状沸腾，此后生成的汽不会再被凝结，故沿流动方向含汽率逐渐增大，气泡分散地混合在水中。这种流动

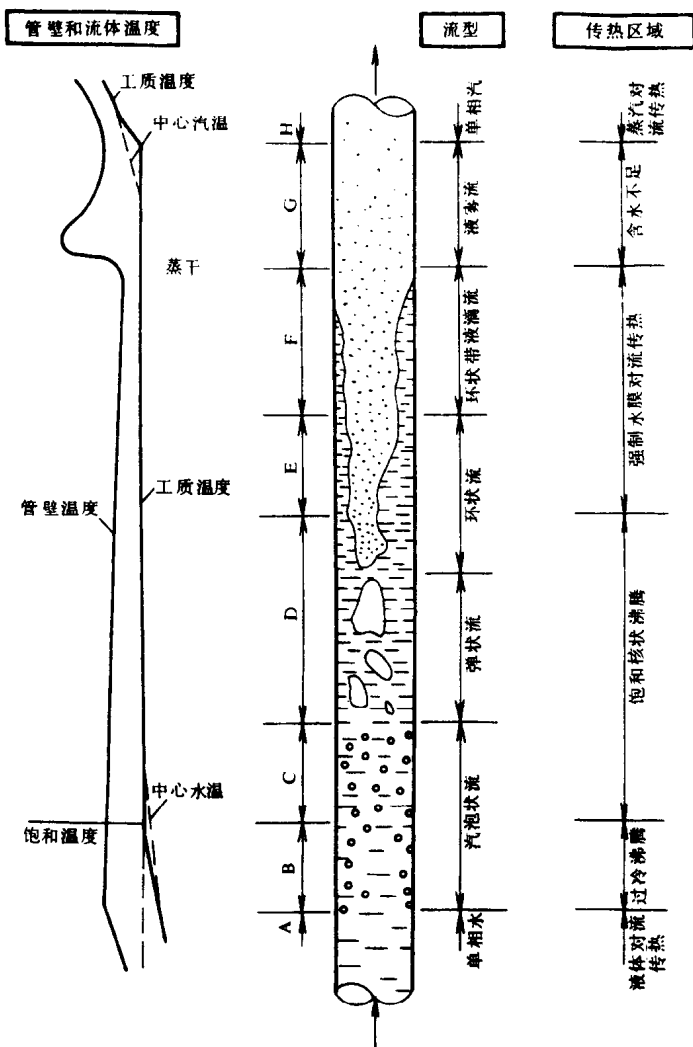


图 1-1 汽水流动温度、流型和传热区域

组织称为汽泡状流型。

在 D 区内，小汽泡在管子中心聚合成大汽弹，形成弹状流型。汽弹与汽弹之间有水层。当汽量逐渐增多使汽弹相互连接时，就形成中心为汽流而周围有一圈水膜的环状流型。

在环状流的后期，蒸汽流速增大，使中心汽流中带有小水滴，同时周围的水环逐渐变薄，形成环状带液滴的流型。环状水膜变薄后的导热能力很强，可能不再发生核态沸腾而成为强制水膜对流传热，亦即热量由管壁经强制对流的水膜传至水膜同蒸汽核心之间的表面，就在这里进行蒸发。

当水膜完全被蒸发，即所谓“蒸干”后，就进入液雾流型区域。这时虽说汽流中仍有不少小水滴，但它们对管壁已没有良好的冷却作用，传热开始恶化，管壁温度突然飞升。此后随着汽流中水滴的蒸发，工质的流速增大，壁温又逐渐下降。

在蒸汽过热区中，由于蒸汽温度逐渐上升，管壁温度又逐渐增高。

2. 两相流体的传热恶化

为保证锅炉的安全，要求所有受热面均有足够的冷却，金属有一定裕量的机械强度，不发生氧化而且金属温度不应有过大的波动。管子金属温度取决于其中流动工质的温度、内部换热情况、水垢和局部热负荷。蒸发管中的工质温度变化不大，但不同流速和流型对管内放热系数的影响却很大，也就是，管壁金属温度决定于某些参数的组合，如压力、质量流速、热负荷、含汽率 x 及管子直径等。

通过分析，有两种不同情况的传热恶化：在核状沸腾范围内（即 x 较低范围内）的传热恶化和在液体不足范围内（ x 较高范围内）的传热恶化。也有人把前者叫做第一类换热

危机，把后者叫做第二类换热危机。

(1) 第一类换热危机。第一类换热危机的发生，是由于受热管内壁的汽泡生成速度超过了汽泡的脱离速度，相邻汽泡连结到一起，将紧贴壁面的水挤向管子中心。由此开始不再是核态沸腾，故把这一点称为偏离核态沸腾点。这类换热危机的主要参数是单位面积的热功率，并称为临界断面热强度 q_{∞} 。这完全是局部问题，临界断面热强度的大小同压力 p 、质量流速 ρw 、该处的含汽率 x 以及管子直径有关。图 1-2 给

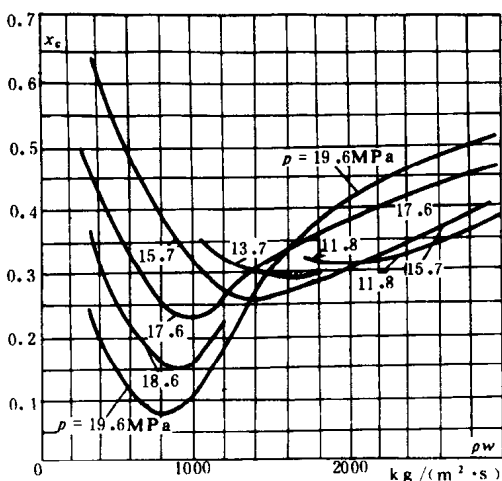


图 1-2 对于管内径为 20mm 和热负荷 $q=472\text{kW}/\text{m}^2$ 时的临界含汽率

出在管子内径为 20 mm 和断面热强度 $q = 472\text{kW}/\text{m}^2$ 时，临界含汽率同压力和质量流速的关系。由图可以看出在亚临界压力范围内 ($p = 17.6 \sim 19.6\text{MPa}$)，当质量流速在 $800 \sim 1000\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右时，临界含汽率最小，即第一类换热

危机出现最早。

(2) 第二类换热危机。第二类换热危机的出现是由于在环状流动结构中 (x 较高)，壁面水膜被蒸干，这主要取决于流体的水动力条件。其主要参数是发生危机地点的含汽率，并称为界限含汽率 x_{jx} 。界限含汽率的大小同质量流速、压力和管径有关。实测发现，在出现这类换热恶化时 (B 点)，液膜被分裂为一股一股的小水流，这时壁温微有波动。再增大热负荷时，壁温的波动幅度增大很多。这是因为，这一块受热面有时接触蒸汽，有时接触水。当水膜完全蒸干时，壁温就稳定升高。

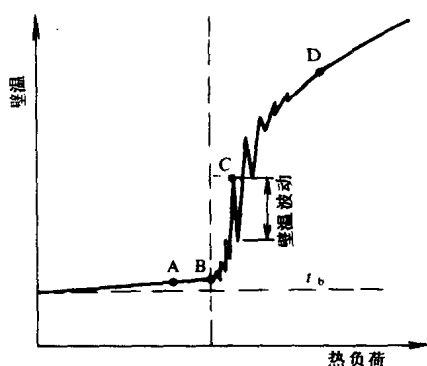


图 1-3 第二类换热恶化时管壁温度波动特性

A—正常换热；B—恶化临界点；C—壁温波动区；

D—稳定恶化区； t_b —工质饱和温度

第二类换热危机不同于第一类，在含汽率很高时，即使热负荷不太高也会出现，只不过热负荷低时壁温上升较少而已。在开始出现换热危机时，流体核心仍有液滴，但壁面上的液膜被蒸干。这时汽流中心的液滴可能湿润壁面，也可能

不湿润。当液滴不能落到壁面时，界限含汽率同热负荷无关，只取决于压力、质量流速和管径；当液滴能湿润壁面时，随热负荷的减小，要在更大的含汽率时才会出现第二类换热危机。

二、煤的燃烧

1. 煤的组成及性质

(1) 煤的元素分析成分及性质。煤的元素分析成分包括碳 (C)、氢 (H)、硫 (S)、氧 (O)、氮 (N)、水分 (M) 和灰分 (A)。其中碳是煤中的主要可燃元素，含量一般为 40%~85%，特点是不易着火，燃烧缓慢，火苗短；氢是煤中发热量最高的元素，含量约为 3%~6%，特点是极易着火，燃烧迅速，火苗长；氧、氮是煤中杂质，它们的存在使煤中的可燃元素含量相对减少；硫虽能燃烧并放出一些热量，但其燃烧产物 SO_2 或 SO_3 气体与水蒸气生成的亚硫酸或硫酸蒸气会造成锅炉受热面腐蚀；水分也是煤中杂质，其存在会降低煤的实际发热量，使煤的燃烧过程延长；灰分是煤中的主要杂质，对锅炉工作的危害很大。

(2) 煤的工业分析成分及性质。煤的工业分析成分包括水分 (M)、挥发分 (V)、固定碳 (FC) 和灰分 (A)。挥发分主要由可燃气体组成，如氢气 H_2 、甲烷 CH_4 、一氧化碳 CO 、硫化氢 H_2S 及其他碳氢化合物 C_mH_m 等，还有少量不可燃气体，如氧气 O_2 、氮气 N_2 、二氧化碳 CO_2 等。挥发分特点是容易着火，也容易烧透，火焰长。故煤中的挥发分含量越多，越易着火和燃尽。

(3) 煤的元素分析与工业分析之间的关系如图 1-4 所示。元素分析中的碳，一部分为工业分析中的固定碳，另一部分包括在挥发分中。