

全国火力发电工人通用培训教材



锅炉设备运行

中级工

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是根据电力工人技术等级标准的必备知识与技能要求进行编写的。全书共分四篇十八章,介绍了现代化大型火力发电厂锅炉运行工人、电除尘器运行工人、除灰运行工人必须掌握的专业知识以及运行技术。

本书可供具有初中以上文化程度的运行工人培训使用,也可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉设备运行:中级工/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 7-80125-188-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 22519 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)

北京市城矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1997年3月第一版 1997年9月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 15.875印张 47千字

印数 5131—10610册 定价 19.00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)

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。

《锅炉设备运行》分初、中、高级工三册出版，全书编写工作由山西省电力试验研究所续爱世负责。本册为中级工教

材，适用于锅炉辅机值班员，锅炉运行值班员，电除尘器值班员及除灰值班员的中级工种。书中第一章、第二章由太原第二热电厂申杰兵编写；第三章至第五章由太原第二热电厂董双梅编写；第六章至第八章由太原第二热电厂陆述超编写；第九章至第十一章由太原第二热电厂刘学东编写；第十二章、第十三章由太原第二热电厂葛绍刚编写，第十四章至第十六章和第十八章由太原第二热电厂张岩编写，第十七章由太原第二热电厂吴晋刚编写。全书由葛绍刚主编，山西省电力试验研究所王绍武主审。

在中电联教培部为本套培训教材组织的审定会上，本书由长春第二热电厂张清波、陈玉田、李振东三位高级工程师审定，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 辅 机

第一章 制粉系统及其设备	1
第一节 直吹式制粉系统	1
第二节 中间储仓式制粉系统	5
第三节 制粉设备	7
复习题	21
第二章 制粉系统的启动与停运	25
第一节 制粉系统启动前的准备	25
第二节 制粉系统的启动	27
第三节 制粉系统的停运	28
第四节 制粉系统启停中的注意事项	30
复习题	32
第三章 制粉系统的运行与调整	35
第一节 制粉系统的运行与维护	35
第二节 煤粉细度与细度调整	37
第三节 制粉系统的出力调整及计算	42
复习题	62
第四章 辅机的经济运行	65
第一节 制粉系统的经济运行	65

第二节	通风设备的经济运行	71
复习题		78
第五章	辅机故障及处理	81
第一节	制粉设备故障	81
第二节	风机故障	86
复习题		88

第二篇 锅 炉 主 机

第六章	锅炉整体布置	91
第一节	影响锅炉布置的因素	91
第二节	锅炉整体布置方式	94
第三节	锅炉各受热面的结构及布置形式	97
第四节	过热器的热力特性	126
复习题		128
第七章	锅炉燃烧原理与燃烧设备	130
第一节	燃烧原理	130
第二节	燃烧条件与强化燃烧	132
第三节	燃料特性对燃烧的影响	139
第四节	煤粉燃烧器	143
第五节	油、气燃烧器及点火装置	154
复习题		168
第八章	锅炉水循环及蒸汽净化	170
第一节	自然循环锅炉	170
第二节	直流锅炉	178
第三节	多次强制循环锅炉	187
第四节	复合循环锅炉	193
第五节	低循环倍率锅炉	200
第六节	汽水分离设备	205

第七节 水、汽品质标准	213
复习题	226
第九章 锅炉启动	229
第一节 设备、系统的检查与准备	229
第二节 锅炉启动	232
复习题	264
第十章 锅炉运行调节	269
第一节 负荷调节	270
第二节 压力调节	274
第三节 汽温调节	280
第四节 燃烧调节	293
第五节 水位调节	301
第六节 吹灰与排污	311
复习题	315
第十一章 锅炉停运与保养	321
第一节 锅炉停运	321
第二节 锅炉停运后的防腐与保养	329
复习题	336
第十二章 锅炉事故处理	339
第一节 汽包锅炉水位事故	340
第二节 受热面损坏	343
第三节 厂用电故障	346
第四节 燃烧事故	348
第五节 高压加热器的紧急停运	353
第六节 回转式空气预热器故障	355
复习题	357
第十三章 锅炉检修后的验收与试验	361
第一节 检修前的安全措施	361
第二节 检修后的验收	364

第三节	锅炉水压试验	366
第四节	漏风试验	369
第五节	回转机械试运行	370
第六节	安全门的整定与校验	372
第七节	辅机连锁试验	376
第八节	锅炉保护装置及其试验	380
第九节	化学清洗	392
复习题		397

第三篇 电 除 尘 器

第十四章	电除尘器的除尘过程	401
第一节	电晕放电	401
第二节	收尘空间尘粒的荷电	405
第三节	荷电尘粒的运动和捕集	408
复习题		409
第十五章	电除尘器的经济运行与调整	411
第一节	除尘效率以及影响因素	411
第二节	电除尘器的运行调整	418
第三节	电除尘器常见的故障及处理方法	420
复习题		429
第十六章	电除尘器检修后的验收与试运	431
第一节	电除尘器的检修项目	431
第二节	电除尘器检修前的安全措施	437
第三节	电除尘器检修后的验收、试投运及评级	439
复习题		446

第四篇 锅 炉 除 灰

第十七章	水力除灰系统	448
------	--------------	-----

第一节	锅炉除渣系统	448
第二节	输灰系统	450
第三节	灰渣混除系统	453
第四节	水力除灰设备常见故障与处理	454
复习题		465
第十八章	气力除灰系统及运行	468
第一节	气力除灰设备	468
第二节	气力输灰系统	475
第三节	气力输送系统的运行与维护	480
第四节	气力输灰设备常见故障与处理	484
复习题		485
参考文献		488
后 记		489

第一篇 锅 炉 辅 机

第一章 制粉系统及其设备

制粉系统是燃煤锅炉机组的重要辅助系统，它的作用是磨制合格的煤粉，以保证锅炉燃烧的需要。制粉系统主要有直吹式和中间储仓式两种类型，它的运行好坏，将直接影响到锅炉的安全性和经济性。

第一节 直吹式制粉系统

所谓直吹式制粉系统，是指磨煤机磨出的煤粉，不经中间停留，而直接吹入炉膛进行燃烧的系统。

直吹式制粉系统中，磨煤机磨制的煤粉全部直接送入炉膛内燃烧。运行中，制粉量在任何时刻均等于锅炉的燃煤消耗量。也就是说，制粉量是随锅炉负荷的需要而加工磨制的，因此，直吹式制粉系统的特点就是磨煤机的制粉量始终等于锅炉的燃煤消耗量。

磨煤机是制粉系统中的重要设备。制粉系统及其磨煤机的型式，则根据燃料的特性予以选定，不同的制粉系统宜配置不同类型的磨煤机。直吹式制粉系统大多配用中速或高速磨煤机。不采用低速球磨机的主要原因是低负荷或变负荷工况下球磨机的运行是不经济的。只有对带基本负荷的锅炉才考虑采用低速钢球磨煤机直吹式系统。

根据排粉机放置位置的不同，直吹式制粉系统可分为正压系统和负压系统。排粉机（也是一次风机）装在磨煤机之后，整个系统处在负压下工作，称为负压直吹式制粉系统，如图 1-1 (a) 所示。若排粉机装在磨煤机之前或空气预热器之前时，整个系统将处在正压下工作，这种系统称为正压直吹式系统，如图 1-1 (b) 所示。

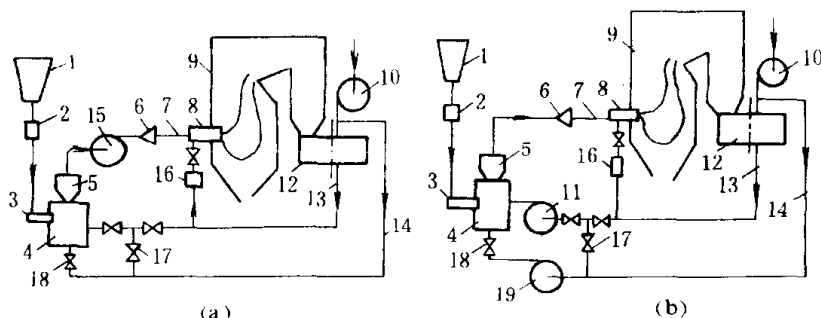


图 1-1 中速磨煤机直吹式制粉系统

(a) 负压系统；(b) 正压系统（带高温风机）

1—原煤仓；2—自动磅秤；3—给煤机；4—磨煤机；5—粗粉分离器；6—一次风管；7—去燃烧器的煤粉管道；8—燃烧器；9—锅炉；10—送风机；11—高温一次风机（排粉机）；12—空气预热器；13—热风管道；14—冷风管道；15—排粉机；16—二次风箱；17—冷风门；18—磨煤机密封风门；19—密封风机

在正压直吹式制粉系统中，排粉机装在空气预热器后，抽取热空气送入磨煤机的系统，称为热一次风系统。一次风机装在空气预热器之前，抽取冷空气经预热器后送入磨煤机的系统，称为冷一次风系统。

采用热一次风机时，由于空气容积流量大，将使得风机叶轮直径及出口宽度增大，风机钢耗量增加；由于工质温度高，风机效率下降，耗电量增大；风机轴承及密封部位工作条件也变差。冷一次风机可兼作制粉系统的密封风机，而热

一次风系统需装设专用密封风机。另外，热一次风机的热风温度要受到限制，从而限制了制粉系统的干燥出力，不适应高水分的煤种。而冷一次风机则无这种限制。目前的一些大容量锅炉，由于三分仓回转式空气预热器的应用，也为冷一次风机的广泛应用创造了条件。

负压直吹式系统中，排粉机叶片很容易磨损，增加了运行维护费用。由于排粉机叶片的磨损，也导致排粉机电耗增大、效率降低，从而使得系统可靠性降低。另外，负压运行使得漏风量增大，势必使经过空气预热器的空气量减少，结果，增加了排烟热损失，降低了锅炉效率。这种系统的最大优点是工作环境比较干净。正压直吹式系统中，不存在排粉机的磨损问题，不会降低锅炉运行的经济性，但磨煤机和煤粉管道密封必须严密。

与高速磨煤机配套的直吹式制粉系统中，高速磨多为风

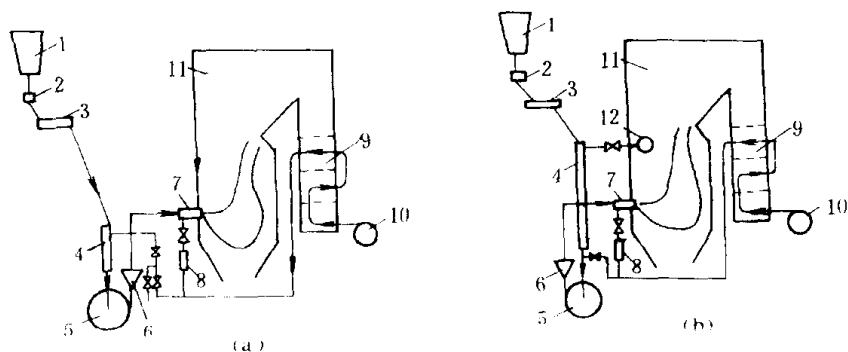


图 1-2 风扇磨煤机直吹式制粉系统

(a) 热风干燥；(b) 热风—炉烟干燥

1 原煤仓；2 自动磅秤；3 给煤机；4 下行干燥管；5 磨煤机；6 煤粉分离器；7 燃烧器；8 二次风箱；9 空气预热器；10 送风机；11 锅炉；12 抽烟口

扇磨。国内磨制烟煤、贫煤的风扇磨，大多采用热风干燥直吹式制粉系统，如图 1-2 (a) 所示。磨制褐煤的风扇磨一般采用炉烟热风干燥直吹式制粉系统，如图 1-2 (b) 所示。

采用热风和炉烟的混合物作为干燥剂有如下优点：

(1) 干燥剂内炉烟占有一定比例，降低了干燥剂中氧的浓度，有利于防止高挥发分的褐煤煤粉的爆炸；

(2) 炉烟较多可以降低燃烧器区域的温度水平，避免燃用低灰熔点褐煤时炉内结渣；

(3) 燃煤水分变化幅度较大时，只要改变干燥剂中炉烟所占的比例，便可满足制粉系统干燥的需要。

一般的直吹式制粉系统，由于是干燥剂送粉，一次风温低，不利于着火和稳定燃烧。为了克服以上缺点，可采用直

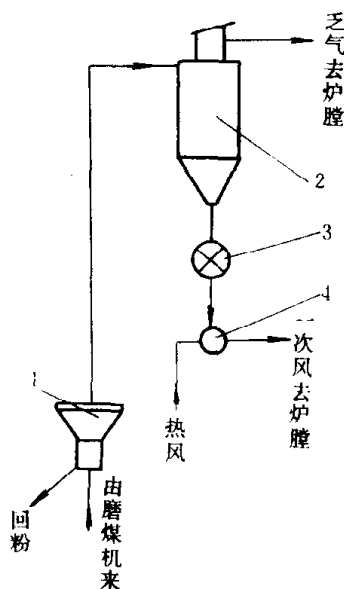


图 1-3 具有旋风分离器的直吹式制粉系统

1—粗粉分离器；2—旋风分离器；
3—旋转式锁气器；4—混合器

吹式系统热风送粉，有的厂称它为半直吹式热风送粉制粉系统。如图 1-3。它是在原直吹式制粉系统的基础上，加装了旋风分离器。

磨煤机出来的气粉混合物，先经粗粉分离器，然后进入旋风分离器将煤粉从气流中分离出来。煤粉由下部经锁气器送入混合器，在其中与热空气混合作为一次风送入燃烧器。由旋风分离器出来的乏气作为三次风送入炉膛。这种系统仅在原直吹式系统的基础上，加装了少量设备，克服了直吹式制粉系统的缺点，保

留了其优点，使直吹式制粉系统对煤种的适应性更为广泛。

第二节 中间储仓式制粉系统

中间储仓式制粉系统是将磨煤机磨好的煤粉先储存在煤粉仓中，然后再根据锅炉负荷的需要，从煤粉仓经由给粉机、一次风管送入炉膛进行燃烧。这种制粉系统的特点是磨煤机的出力不受锅炉负荷的限制，磨煤机可始终保持自身的经济出力。鉴于钢球磨的运行特点，中储式制粉系统一般配用钢球磨。

与直吹式制粉系统相比，中储式系统较为复杂，它增加了细粉分离器、煤粉仓给粉机和螺旋输粉机等设备。中储式制粉系统可分为乏气送粉系统和热风送粉系统两种类型。由细粉分离器分离出来的干燥剂内含有 10%~15% 左右的极细的煤粉，这部分干燥剂也称作磨煤乏气，乏气经排粉机提高工作压头后作为一次风输送煤粉至炉膛的制粉系统称之为乏气送粉系统，如图 1-4 (a) 所示。利用热空气作为一次风输送煤粉至炉膛，乏气作为三次风由专用喷口送入炉膛参加燃烧的系统称作热风送粉系统，如图 1-4 (b) 所示。

乏气作为一次风，其温度较低 (60~130℃)，又含有水蒸气，对煤粉气流的着火、燃烧不利。因此，乏气送粉系统不适宜挥发分低、水分高的煤种，而适用于烟煤等易着火的煤种。

热风作为一次风，温度较高，有利于煤粉气流的着火与稳定燃烧，适用于无烟煤、贫煤、劣质烟煤等煤种。

在乏气送粉系统中，排粉机除抽吸磨煤乏气，还可抽吸空气预热器来的热风作为一次风，以保证制粉系统停运时锅

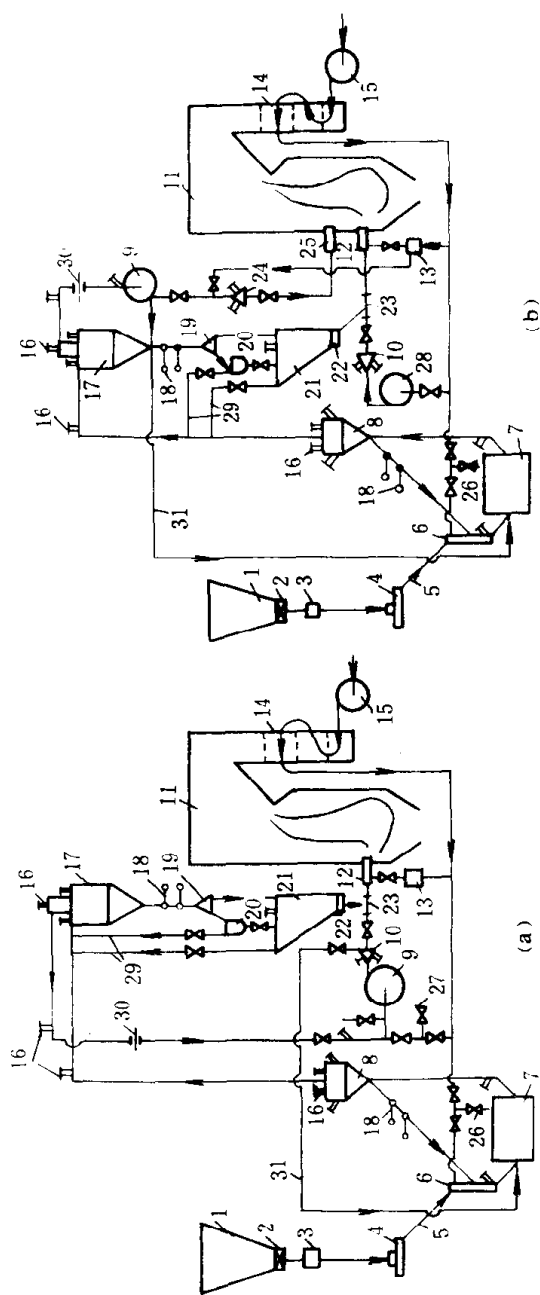


图 1-4 筒式钢球磨煤机中间储仓式制粉系统

(a) 磨煤乏气送粉; (b) 热风送粉

- 1—原煤仓; 2—煤闸门; 3—自动磅秤; 4—给煤管; 5—落煤管; 6—下行干燥管; 7—球磨机; 8—粗粉分离器; 9—排粉机; 10—二次风箱; 11—锅炉; 12—燃烧器; 13—二次风箱; 14—空气预热器; 15—送风机; 16—防爆门; 17—细粉分离器; 18—锁气器; 19—换向阀; 20—螺旋输送机; 21—煤粉仓; 22—给粉机; 23—混合器; 24—三次风箱; 25—三次风箱; 26—冷风门; 27—大气门; 28—一次风机; 29—吸潮管; 30—流量测量装置; 31—再循环管

炉的正常运行。

中储式制粉系统中，在煤粉仓和螺旋输粉机上装设有吸潮管，是由煤粉仓、螺旋输粉机引至细粉分离器入口的管子。吸潮管的作用是借细粉分离器入口的负压，抽吸螺旋输粉机、煤粉仓中的水蒸气和漏入的空气，防止煤粉受潮结块、发生堵塞或“棚住”现象。另外，还可使输粉机及煤粉仓中保持一定负压，防止由不严密处向外喷粉。

中储式制粉系统中，排粉机出口的乏气除作为一次风或三次风外，还有一部分直接进入磨煤机的入口作为再循环风。乏气温度较低，可用来调节制粉系统干燥剂温度，由于乏气的通入，使干燥剂的风量增大，可以提高磨煤机的出力。因此，再循环风是控制干燥剂温度、协调磨煤风量与干燥风量的手段之一，它的主要作用是增大系统通风量，调节磨煤机出口温度，提高磨煤出力。

如果从细粉分离器分离出来的磨煤乏气直接排入大气，则称这样的制粉系统为开式制粉系统。如果作为输送煤粉的一次风或三次风送入炉膛的制粉系统则称为闭式制粉系统。在开式系统中，直接排入大气的乏气不但造成燃料的浪费还污染环境，一般很少采用。

第三节 制 粉 设 备

原煤仓

原煤仓是储备原煤的容器，它保证给煤机正常供给磨煤机的用煤，同时也调节了输煤系统与多台磨煤机的供需关系。它是制粉系统的起点。

二、给煤机