

高温低氧火焰图像 智能诊断方法

董增寿 刘明君 著



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高温低氧火焰图像智能诊断方法

董增寿 刘明君 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍了数字图像处理技术在高温低氧燃烧诊断中的应用现状以及火焰图像预处理方法、温度场检测方法、火焰图像的特征量分析、基于神经网络和基于支持向量机的燃烧稳定性判定方法、基于偏最小二乘法的氮氧化物排放量预测方法等。

本书适合从事燃烧技术的工程技术人员阅读,也可供高等院校图像处理相关专业的教师 and 研究生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高温低氧火焰图像智能诊断方法 / 董增寿, 刘明君著. —北京: 电子工业出版社, 2012.9

ISBN 978-7-121-18192-4

I. ①高… II. ①董… ②刘… III. ①高温—低氧燃烧—图象识别 IV. ①TQ038.1 ②TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 210301 号

责任编辑: 赵 娜 特约编辑: 韩奇桅

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1 000 1/16 印张: 14.75 字数: 330 千字 彩插: 6

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 46.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

总 序

2012 年，太原科技大学将迎来 60 周年华诞。值此六秩荣庆之际，我校的专家学者推出了这套学术丛书，以此献礼，共襄盛举。

六十年前，伴随着新中国的成立，伟业初创，百废待兴，以民族工业为先锋的社会主义现代化建设蓬勃兴起，太原科技大学应运而生。六十年来，几代科大人始终心系民族振兴大业，胸怀制造强国梦想，潜心教书育人，勇担科技难题，积极服务社会，为国家装备制造行业发展壮大和社会主义现代化建设做出了积极贡献。四万余名优秀学子从这里奔赴国民经济建设的各个战场，涌现出一大批杰出的科学家、优秀的工程师和知名的企业家。作为新中国独立建设的两所“重型机械”院校之一，今天的太原科技大学已发展成为一所以工业为主，“重大技术装备”领域主流学科特色鲜明，多学科协调发展的教学研究型大学，成为国家重型机械工业高层次人才培养和高水平科技研发的重要基地之一。

太原科技大学一直拥有浓郁的科研和学术氛围，众位同仁在教学科研岗位上辛勤耕耘，硕果累累。这套丛书的编撰出版，定能让广大读者、校友和在校求学深造的莘莘学子共享我校科技百花园散发的诱人芬芳。

愿太原科技大学在新的征途上继往开来、再创辉煌。

谨以为序。

太原科技大学校长 郭勇义

2012 年 6 月

前 言

我国是世界上最大的煤炭生产和消费大国，以燃煤为主的工业锅炉在工业生产中占据重要地位。优化锅炉炉内燃烧工况不仅能减少燃料量和避免炉内爆管事故，而且是控制燃烧污染排放的有效途径，从而提高工业锅炉燃烧的安全性，减少空气污染。因此，工业锅炉燃煤的安全、经济运行，清洁燃烧对我国经济的发展、人民生活水平的提高、生活环境的改善有着十分重要的意义。

燃烧工况的不稳定不仅会降低锅炉的效率，增加污染物的排放和产生噪声污染，在极端的情况下可能会引起炉膛熄火造成事故。氮氧化物对人体有直接的危害，是酸雨形成的一个主要原因，还会污染环境。其中的二氧化氮是一种温室气体，会破坏臭氧层。目前我国的工业锅炉燃烧管理水平比较落后，燃煤机组煤质较差，煤种的特性经常变动，参数整定困难，缺少准确可靠的氮氧化物检测手段。评价各种工业炉和燃烧技术的两个基本标准是燃烧工况稳定性和 NO_x 的排放量。高温低氧燃烧技术是一种具有高效节能和低 NO_x 排放双重优越性的燃烧技术，一直以来受到世界各国的普遍重视。

工业锅炉炉膛内的燃烧过程是发生在较大空间范围内的、不断脉动的、具有明显三维特征的复杂物理化学过程。锅炉燃烧的基本要求是在炉膛内建立并维持稳定、均匀的燃烧火焰。燃烧火焰的温度测量是燃烧领域一个极其重要的问题，它对于燃烧状态的判断、预测和诊断有着十分重要的意义。应用彩色CCD摄像机获取炉膛内燃烧火焰图像，利用数字图像技术计算出锅炉内火焰温度是一个具有挑战性的课题。

炉膛火焰燃烧诊断一直是一个热点问题。现有的燃烧诊断系统都有不稳定、实时性差和识别率低的缺点。而实现炉膛火焰状态的实时监控、准确判断以及燃烧诊断系统的自动化、智能化，能提高燃烧状态识别的准确性和可靠性，可以有效地防止熄火、锅炉爆燃等重大事故的发生，减少国家财产损失，保障人民的生命安全。

作者旨在将图像处理技术与现有炉膛火焰监视设备结合起来,根据热辐射原理和彩色CCD摄像机的色度学基础,利用数字图像处理技术从火焰图像中提取计算所需的图像信息。

本书分析研究了锅炉燃烧诊断现状,总结了国内外的研究方向和方法,指出其存在的不足与缺陷,并分析总结了数字图像处理技术和人工智能的研究进展,重点研究了基于数字图像处理技术与现代人工智能相结合的燃烧诊断系统。由于摄取的火焰图像较原始图像存在一定程度的降质和失真,因此本书建立了图像降质模型,依据该模型对摄取的火焰图像实现了变换和恢复处理,使处理后火焰图像能够最大程度地接近原始图像的特征。采用增强处理,使火焰目标和炉膛背景产生明显的区别,然后对其进行分割处理,把火焰目标从炉膛背景中提取出来。同时,研究了基于火焰图像处理技术的测温算法,运用智能模型来诊断火焰的燃烧状态。最后,本书重点研究了氮氧化物的生成机理,以及各种运行参数对氮氧化物排放量的影响规律,这些影响因素为检测氮氧化物排放量做了理论基础。并对偏最小二乘法的计算模型进行改进,结合从火焰图像中提取出的锅炉内燃烧温度及其他影响氮氧化物生成的参数对锅炉氮氧化物排放量进行预测,提高预测的精确度和计算速度。

本书得到山西省自然科学基金(项目编号:200711048)项目支持。太原科技大学电子与信息工程学院院长孙志毅教授对本书的写作给予了极大的关心,宋仁旺副教授、常春波副教授、石慧老师、忻州师范学院张丽丹老师也为本书提出了宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢。

全书力求理论、实践和方法的统一,并使其具有可操作性。由于作者水平有限,加上时间仓促,书中肯定存在不足之处和错误,恳请读者给予批评指正。

作 者

2012年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 图像处理在燃烧诊断中的应用	2
1.3 火焰图像温度场检测技术	10
1.4 氮氧化物排放检测技术的发展	11
第 2 章 火焰图像的预处理	13
2.1 火焰图像处理技术	15
2.2 火焰图像去噪处理	37
2.3 火焰图像分割处理	46
第 3 章 温度场检测方法	59
3.1 温度场检测方法概述	59
3.2 燃烧火焰特性及基于图像火焰测温系统的构成	72
3.3 热辐射的基本概念	83
3.4 黑体辐射基本定律	84
3.5 灰体的基本概念	86
3.6 热辐射测温法	87
第 4 章 燃烧稳定性的判断	96
4.1 燃烧稳定性的研究现状	97
4.2 燃烧技术的原理及特征	112
4.3 基于神经网络的燃烧稳定性判别	122
4.4 基于支持向量机的燃烧诊断	145
第 5 章 氮氧化物检测技术	153
5.1 基于火焰图像的 NO_x 排放量检测的研究	154
5.2 NO_x 生成机理与排放量影响因素的研究	163
5.3 高温低氧氮氧化物排放量的预测	176
5.4 偏最小二乘回归法在锅炉氮氧化物检测中的应用	179

第 6 章 相关技术发展	194
6.1 高温低氧火焰图像处理技术的发展	194
6.2 炉膛火焰图像处理系统软件设计	199
6.3 稳定性判断技术的发展	207
6.4 氮氧化物检测技术的发展	212
6.5 工业高温炉自动调节系统的开发构想	217
参考文献	220

第 1 章

绪 论

1.1 引言

能源是社会发展的物质基础，是国民经济发展的必要条件，能源生产数量及能源耗用情况关系到一个国家的经济建设和社会建设，在当今时代，能源与环境是困扰当今全球可持续性发展的两大主题。能源主要包括煤、石油、天然气、水能、地热、太阳能及核能等。我国能源储备比较丰富，尤其在煤炭资源和水力资源方面更为丰富。我国煤炭资源储备量大约有 7000 多亿吨，居世界第三位，水力资源的理论储备量大约有 $6.8 \times 10^8 \text{ kW}$ ，居世界首位。煤炭资源和水力资源的丰富，为我国火力发电和水力发电提供了便利的条件，但是水力发电受季节、气候等因素的影响，很难广泛使用，目前我国的电力以燃煤形式的火力发电为主，并且这种趋势在相当长的时间内都不会改变，虽然在燃煤发电技术上取得了很大成效，但火力发电在我国仍是一个薄弱环节，燃煤发电效率比国外先进水平低得多，全国火电厂平均效率为 32.3%，而国外先进水平为 47.5%^[1]。

我国是世界上最大的煤炭生产和消费大国，也是世界上少有的几个能源以煤炭为主的国家。在我国的能源结构中，煤炭具有举足轻重的地位，以燃煤为主的工业锅炉在我国的社会发展中占重要地位。目前我国工业水平同发达国家相比还有不小的差距，其中很重要的方面就是我国的锅炉燃烧管理水平比较落后，燃煤机组煤质较差，煤种的特性经常变动，参数确定困难。因此，工业锅炉燃煤的安全、经济运行、清洁燃烧对国家经济的发展、人民生活的生活提高和生活环境的改善，有着十分重要的意义。

燃煤锅炉的燃烧过程是一种带有剧烈放热化学反应的流动现象，它包含着流动、传热、传质和化学反应，以及它们之间的相互作用。大型燃煤电站炉膛内的燃烧过程是发生在较大空间范围内的、不断脉动的、具有明显三维特征的复杂物理化学过程。燃煤电站炉膛燃烧的基本要求是在燃煤电站炉膛内建立稳定、均匀的燃烧火焰，

燃烧火焰直接反映出炉膛燃烧状况。燃煤电站燃烧火焰的温度测量是燃烧领域一个重要的问题,温度测量准确与否对于燃煤电站燃烧状态的判断、预测以及诊断都有着重要的意义。在工业方面,如果能够有效地控制电站炉膛内地燃烧过程,就可以提高燃煤的燃烧效率并节约成本等。因此一种能全面及时有效地测量整个炉膛燃烧火焰温度的方法是提高生产效率的必要手段,并对提高产品质量、保护生态环境、改善工人工作条件、保证生产安全 also 具有重要意义^[2]。

本书首先将图像处理技术与现有炉膛火焰监视设备结合起来,根据热辐射原理和彩色 CCD 摄像机的色度学基础,利用数字图像处理技术从火焰图像中提取计算所需的图像信息。考虑到摄取火焰图像与原始图像相比存在一定程度的降质和失真,从而建立了图像降质模型,依据该模型对摄取火焰图像实现了变换和恢复处理,使处理后火焰图像能够最大程度地达到原始图像的特征。采用增强处理,使火焰目标和炉膛背景产生明显的区别,然后对其进行分割处理,把火焰目标从炉膛背景中提取出来。

其次,研究了基于火焰图像处理技术的测温算法,其中包括单色测温法、双色测温法、三色测温法,以及全辐射测温法等,分析了这些方法的优缺点。根据实际测量的需要,在全辐射测温法的基础上,对算法进行了改进,对辐射系数进行修正,实验结果表明,修正系数后测得的炉膛温度接近其真实温度。

再次,分析研究了锅炉燃烧诊断现状,总结国内外研究方向和方法,着重研究了基于数字图像处理技术与现代人工智能相结合的燃烧诊断系统。同时建立了多种智能模型来判断燃烧火焰图像的稳定性,对这几种模型进行了比较应用,提出了两种新的人工智能的稳定性判别算法,分别是利用改进的自适应逃逸微粒群算法(IAEPSO)训练改进的自适应小波神经网络和改进的最小二乘支持向量机进行燃烧稳定性的判断。

最后,分析研究了氮氧化物的生成机理,以及各种运行参数对氮氧化物排放量的影响规律,这些影响因素为检测氮氧化物排放量提供了理论基础。并对偏最小二乘法的计算模型进行改进,结合从火焰图像中提取出的锅炉内燃烧温度及其他影响氮氧化物生成的参数,对锅炉氮氧化物排放量进行预测,提高预测的精确度和计算速度。

1.2 图像处理在燃烧诊断中的应用

锅炉是工业燃烧的重要设备,锅炉运行的好坏很大程度上决定了整个机组运行的安全性。由于锅炉系统结构复杂,运行工况恶劣,锅炉一直是工业运行中问题最集中、事故率最高、对机组效率影响最大的一个设备。锅炉燃烧系统又是锅炉系统

中最重要的部分,燃烧状态的好坏,直接影响电厂的经济效益和社会效益。电站锅炉炉膛内部是一个高温、高辐射、高杂质污染的环境,炉内燃料的燃烧过程伴随着剧烈且连续的发光发热的物理、化学反应。工业锅炉燃烧的基本要求是建立和保持稳定的燃烧,燃烧的不稳定会降低锅炉热效率,产生大量污染物和很强的噪声,而且在极端情况下会引起锅炉炉膛熄火、煤粉爆燃,从而引起重大锅炉安全事故。因此及时准确地了解燃煤锅炉内的燃烧状况,对锅炉的安全高效运行至关重要,有助于最大程度地使用燃料,降低生产成本,保证锅炉安全可靠地运行,也是炉膛安全监控系统(FSSS)的关键。加强对燃煤锅炉的检测与管理,积极促进实施锅炉的燃烧诊断和优化,提高燃烧整体的自动化水平,对能源工业的节能、降耗、减排都具有重要的意义,也必然会产生巨大的经济效益和社会效益。

工业锅炉炉膛内的燃烧过程是一个在相对较大空间内发生的、不断脉动的、具有明显三维特征的复杂物理化学过程,火焰的温度场分布及燃烧状态对于电厂的安全运行和燃烧诊断都具有极其重要的现实意义。过去主要依靠单点测量的技术已不能适应容量越来越大、要求越来越高的锅炉安全、经济运行的需要。在工程应用方面,寻找一种简便快捷的方法对炉膛进行燃烧诊断和监测显得尤为重要。

燃烧诊断是20世纪80年代兴起的一门新技术,国内外一些学者把火焰图像处理技术的研究重点放在了燃烧诊断领域,并取得了研究成果,推动了该学科的发展。

随着智能化理论的发展,基于火焰图像处理的燃烧诊断技术如虎添翼,有了更快的发展,出现了许多模糊逻辑法、专家系统、人工神经网络等结合火焰图像处理的燃烧诊断技术。华中科技大学周怀春等^[3]尝试将自组织神经网络原理应用到燃烧诊断技术中,网络的输入信号采用了火焰辐射信号的频谱估计值,成功地将燃烧状态划分为稳定、过渡和不稳定3个区域;杨宏旻^[9]首先将误差逆传播网络理论引入到对火焰的状态辨识中,采用高速图像处理技术获得辨识指标,并实现了燃烧状态的数字化预测,此成果已实际应用于电站。赵利敏等^[10]同样利用BP神经网络对锅炉燃烧特性进行了预测,以锅炉的燃料特性、结构参数和运行参数等5个数据作为网络输入训练参数,得到了关于锅炉稳燃性、结渣性和燃尽性的参数输出,并将此方法与传统统计方法进行了比较,并预言:随着人工智能和专家系统在电力工业中的不断应用,人工神经网络在煤燃烧预测领域将具有广阔的发展和应用前景。

每项技术都有它的时代优势和时代局限性。未来燃烧诊断技术应是结合计算机网络技术、数字图像处理理论、智能化理论和先进的控制理论,向智能化、实时性、闭环控制的目标发展。

1.2.1 数字图像技术的应用和发展

数字图像处理亦称计算机图像处理,指将图像信号转换成数字格式并利用计算

机进行处理的过程。这项技术最早出现于 20 世纪 50 年代,当时的数字计算机已经发展到一定的水平,人们开始利用计算机。1964 年,美国喷气推进实验室(Jet Propulsion Laboratory)利用计算机对太空船发回的月球图像信息进行处理,收到明显的效果。不久,一门称为“数字图像处理”的新学科便从信息处理、自动控制、计算机科学、数据通信、电视技术等学科中脱颖而出,成为专门研究图像信息的崭新学科。30 多年来,由于大规模集成电路技术和计算机技术的迅猛发展、离散数学理论的创立和完善,以及军事、医学和工业等方面应用需求的不断增长,数字图像处理的理论和方法进一步完善,使得数字图像处理技术在宇宙探测、遥感、生物医学、工农业生产、军事、公安、办公自动化、视频和多媒体系统等领域得到了广泛的应用,并显示出广阔的应用前景,成为计算机科学、信息科学、生物学、医学等学科的研究热点。

数字图像处理是利用计算机的计算功能,实现与光学系统模拟处理相同效果的过程。数字图像处理具有如下特点:

- (1) 处理精度高,再现性好。
- (2) 易于控制处理效果。
- (3) 处理的多样性。
- (4) 图像的数据量庞大。
- (5) 处理耗时。
- (6) 图像处理技术综合性强。

数字图像处理的应用范围十分广泛,概括起来主要应用于下面几个领域:

(1) 通信。通信包括图像传输、电视电话、电视会议等,主要进行图像压缩甚至理解基础上的压缩。

(2) 遥感。航空遥感和卫星遥感图像需要用数字技术进行加工处理,并提取有用的信息。

(3) 宇宙探测。由于太空技术的发展,需要用数字图像技术处理大量的星体照片。

(4) 生物医学领域中的应用。图像处理在医学界的应用非常广泛,无论是临床诊断还是病理研究都大量采用图像处理技术。

(5) 工业生产中的应用。

(6) 军事、公安等方面的应用。用于军事目标的侦察、制导和警戒系统,自动灭火器的控制及反伪装;公安部门的现场照片、指纹、手迹、印章等的处理和辨识。

(7) 机器人视觉。

(8) 视觉和多媒体系统。电视制作系统广泛使用的是图像处理、变换、合成,在多媒体系统中主要用于静态图像和动态图像的采集、压缩、处理、存储和传输。

(9) 科学可视化。图像处理和图形学紧密结合,形成了科学研究各个领域中新

型的研究工具。

(10) 电子商务, 如身份认证、产品防伪和水印技术等。数字图像处理技术在锅炉燃烧监控中的应用研究已越来越受到国内外的广泛关注, 以数字图像处理技术为核心的火焰图像监测系统正日益成为火焰监测系统发展的主流。芬兰、日本等国家已将该系统投入到电站运行中, 国内的华中理工大学煤燃烧国家重点实验室、东南大学、上海交通大学、浙江大学热能工程研究所等单位也开展了这方面的研究工作^[4]。

最初将图像处理技术应用于火焰监测时, 使用的是普通光学摄像机, 光学图像在彩色摄像机内经光电转换后, 成为模拟 PAL 信号, 然后通过图像卡把 PAL 信号分解成三原色 RGB 信号, 送入计算机进行数字图像处理。随着电子技术的发展, 近年来开始使用彩色 CCD 摄像机作为图像采集设备, 获取数字图像信号, 把火焰燃烧的图像信息记录下来, 以数字信号的形式存储在计算机内并根据彩色 CCD 摄像机的色度学基础进行分析和处理。图像型火焰检测器是基于火焰电视、综合多媒体计算机和数字图像处理技术发展起来的, 它继承了火焰电视直观形象的优点, 又充分发挥了计算机强大的处理计算能力, 使火焰检测功能得到了质的提高。图像型火焰检测器分单个燃烧器的火焰图像检测和全炉膛火焰图像检测两类, 对于单个燃烧器的火焰检测主要是判断该燃烧器的好坏, 发出熄火、着火和燃烧不稳的告警信号。对于全炉膛火焰检测主要是通过火焰图像信息计算出全炉膛火焰温度场分布状况及火焰燃烧的能级, 防止火焰偏离中心和局部过热。

数字图像处理技术应用领域相当广泛, 已在国家安全、经济发展、日常生活中充当越来越重要的角色, 对国计民生的作用不可低估。

1.2.2 火焰图像技术的应用

电站锅炉燃烧的基本要求在于建立和保持稳定的燃烧火焰。燃烧不稳定, 不仅会降低锅炉热效率, 产生污染物和噪声, 而且在极端情况下会引起锅炉炉膛熄火, 如处理不当就会诱发炉膛爆燃, 造成事故。为了能及时、灵敏、可靠地检测炉内燃烧工况, 防止在点火、低负荷等燃烧不稳定工况下发生炉膛爆炸事故, 电站锅炉必须配备功能齐全、性能可靠的炉膛安全监视系统。燃烧火焰反映了燃烧状态的稳定与否, 炉膛安全监视系统投运成功与否, 在很大程度上, 取决于所用的火焰检测器和炉膛熄火保护装置是否可靠与完善。因此, 准确、可靠地监测炉膛火焰, 是防止炉膛爆炸、确保锅炉安全运行的重要手段。

回顾火焰检测的发展历史, 我们可以把其归纳为以下 3 个阶段。

1. 炉膛安全监视系统 (FSSS)

FSSS 用于防止锅炉的任何部位积聚燃料和风的爆炸性混合物, 它在锅炉启动、

运行及停止的各个阶段,连续地监测锅炉的有关运行参数,根据防爆规程规定的安全条件,不断地进行逻辑判断和运算,通过相应连锁装置使燃烧设备按照既定程序完成必要操作,避免爆炸性的空气燃料混合物在炉膛及烟道内积聚,并在出现危及锅炉安全的工况时,迅速切断进入炉膛的所有燃料,防止炉膛爆炸事故的发生。在出现内窥式火焰电视之前,为了达到炉内火焰安全监测的目的,锅炉 FSSS 系统常采用可见光+红外光火检探头或紫外光火检探头,利用煤粉着火区内火焰的亮度或闪烁频率来判断火焰燃烧状况,为监控处理系统内提供判断依据^[5]。

2. 火焰监视工业电视

单点检测由于探头视角小、镜头易被烟灰沾污等诸多问题,误报、漏报现象时有发生,可靠性差,无法满足运行人员全面了解炉内燃烧状况的要求。在工业型 CCD 摄像机出现以后,由于 CCD 摄像机具有耐灼热、图像清晰度高、工作稳定可靠、对振动和冲击损伤的抵抗力较强等优点,而迅速地在电厂中以火焰电视的形式得到应用,它为锅炉点火及运行调整提供了直观的监视功能,目前已成为大容量机组中必备的火焰检测手段。采用传像光纤和 CCD 摄像机直接观测炉膛及燃烧器的火焰,锅炉点火时可清晰看到四角油枪火焰,正常运行时可观测到炉膛中心火球及烟气旋流,大大提高了火焰检测的直观性、灵敏性、准确性和鉴别能力。它是对整个炉膛火焰图像进行数字化处理,正像气象卫星对气象云图进行数字处理一样,对炉膛火焰进行全面分析,减少片面性。

火焰监视工业电视有以下特点。

(1) 运行人员可以直观、清晰地在中央控制室的大屏幕 CRT 上观察每个燃烧器及全炉膛的燃烧状态,及时进行燃烧调整,提高燃烧效率。

(2) 采用计算机图像处理技术,可向运行人员提供丰富生动的火焰燃烧信息。运行人员可以有选择地观察单个燃烧器的火焰图像或同一层四个角的火焰图像,或同时在直方图上了解全部煤粉燃烧器的燃烧状态。

(3) 能够自动记录 24 小时的火焰图像并且可以按要求回放。这个图像存储功能不仅有助于事故追忆且可用于分析燃烧工况,提高运行水平。

(4) 使用单火嘴工业电视,锅炉启动点火后,现场不需要留人与主控室联系,减少了运行人员的配置,防止了因运行人员现场观察点火而造成人身安全事故的隐患。

(5) 通过燃烧器优化组合及合理的风、油和风、煤比例,尽量达到完全燃烧,不但节省燃料,提高了锅炉效率,而且减少了烟气中 NO_x 及其他有害物质的排放量,减少了对大气污染。

(6) 该装置功能完善,适合老厂改造,提高了对燃烧工况的监视程度,及时发现煤种变化对燃烧的影响,还可对机组投产前考虑燃烧调整与自动控制相结合,提高机组优化和自动化水平。

3. 火焰图像识别系统

目前, 炉内监视工业电视的功能比较单一, 仅以火焰颜色和亮度作为判断依据, 以保护燃烧火焰不熄灭, 但不能作为定量判据连入自动控制系统。随着计算机多媒体技术的发展, 火焰图像的识别系统得到了越来越广泛的应用。火焰图像识别系统是基于计算机监控技术的火焰图像监控系统, 它是将现代计算机监控技术、数字图像处理技术与燃烧学等相结合的应用结果。它利用传像光纤和彩色 CCD 摄像机作为一次传感元件, 经图像采集卡把火焰图像采集到计算机进行实时显示, 同时根据一定的算法对采集到的图像数据进行分析处理, 根据处理结果输出火焰状态信号至相应的控制系统, 从而克服了传统火焰检测系统的缺陷, 有效地预防了事故的发生, 提高了机组运行效率。该类图像火检装置是国内乃至国际上的先进产品, 采用传像光纤和数字视频图像处理技术及三维温度分布理论相结合进行火焰的检测和诊断, 实现对大型火电机组燃烧系统的火焰检测、燃烧控制优化、ON/OFF 预报、清洁燃烧、降低 NO_x 排放量等功能。采用传像光纤和数字图像处理技术的智能型火焰检测系统属于新一代的火焰检测装置^[7]。

火焰图像识别系统有以下特点。

(1) 采用传像光纤和 CCD 摄像机直接观测炉膛及燃烧器的火焰, 大大提高了火焰检测的直观性、灵敏性、准确性和鉴别能力。它对整个炉膛火焰图像进行数字化处理, 对炉膛火焰进行全面分析, 减少片面性;

(2) 运行人员可以直观、清晰地在中央控制室的大屏幕 CRT 上观察每个燃烧器及全炉膛的燃烧状态, 并能迅速地测出炉膛各部分的温度场及辐射能量, 及时进行燃烧调整, 提高燃烧效率;

(3) 采用计算机图像处理技术, 可向运行人员提供丰富生动的火焰燃烧信息。运行人员可以有选择地观察单个燃烧器的火焰图像或同一层四个角的火焰图像, 及时了解多个煤粉燃烧器的燃烧状态;

(4) 准确可靠地输出每个燃烧器火焰 ON/OFF 的开关量信号, 可以方便地与任一种类型的锅炉炉膛安全监控系统相连;

(5) 能够自动记录 24 小时的火焰图像并且可以按要求回放。这个图像存储功能不仅有助于事故追忆且可用于分析燃烧工况, 提高运行水平;

(6) 当工作站选取适当的通信接口后, 火焰识别系统便可直接挂在计算机分散控制系统的网络上, 作为 DCS 的一个有机组成部分, 也可以将数字图像处理信号直接送往燃烧控制系统, 对锅炉燃烧状况进行在线控制, 及时调节各燃烧器的风煤比, 保证炉内燃烧过程在我们希望的情况下进行, 从而保证了锅炉运行的安全经济性。这种图像火焰检测装置适用面非常宽, 值得向大中型火力发电机组推广;

(7) 使用图像火焰检测系统, 锅炉在启动点火后, 现场不需要留人与主控室联系, 减少了运行人员配置, 防止了因运行人员现场观察点火而造成人身安全事故的

隐患；

(8) 通过系统调整，可以燃烧器最佳工况作为画面，以棒状图形标示其适当范围，使燃烧器参数优化，达到最佳的燃烧效果；

(9) 通过燃烧器优化组合及合理的调整风、油和风、煤比例，尽量达到完全燃烧，不但节省燃料，提高了锅炉效率，而且减少了烟气中有害物质排放量，减少对大气污染。

炉膛火焰监视系统按检测结构可分为以下几种情况。

1) 单输入单输出系统

全炉膛火焰电视监测、全炉膛火焰辐射能监控、全炉膛火焰温度场测量系统等都属于单输入单输出数字图像处理系统。如图 1-1 所示，系统只采集一路视频信号，通常光学组件安装在锅炉上部，其视野要求有效地覆盖整个炉膛，以获取全炉膛完整的火焰燃烧图像，并经棱镜转向后自接投射在 CCD 摄像机靶面上。从 CCD 摄像机也只出来一路视频信号，进入工业监视器和计算机的视频采集卡中进行处理。这类系统的特点是，只有一路视频信号，结构简单，易于实现。能对炉内总体燃烧状况进行评价，给出全炉膛火焰辐射能、全炉膛火焰温度图像等。

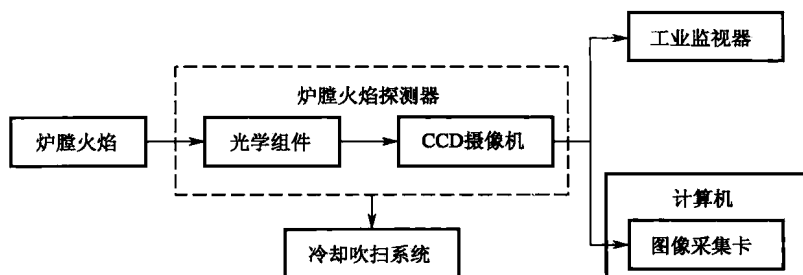


图 1-1 单输入单输出系统结构示意图

2) 多输入单输出系统

在锅炉的火焰监测中，有时需要同时检测几个测点，在这种情况下，需要有多火焰探测器，为了让监控人员能同时看到所有监控点的情况，往往采用视频分割器使多路图像同时显示在一台监视器上。这也就构成了简单多输入数字图像处理系统。这类系统可以实现单只燃烧器火焰的探测与鉴别，对于判断火焰的稳定性及火焰是否存在有着重要意义。一般来说，火焰探测器分多层布置，系统工作原理如下：由光学组件和 CCD 摄像机组成的火焰探测器摄取各燃烧器着火区的火焰图像，各路视频信号经同步匹配、放大预处理后，由同轴电缆送入视频分割器中合成一路，以多画面形式的视频信号输出，分别进入工业监视器和计算机中。多输入单输出系统结构如图 1-2 所示，从图中可见，输入的视频信号有多路，输出的视频信号只有一路。

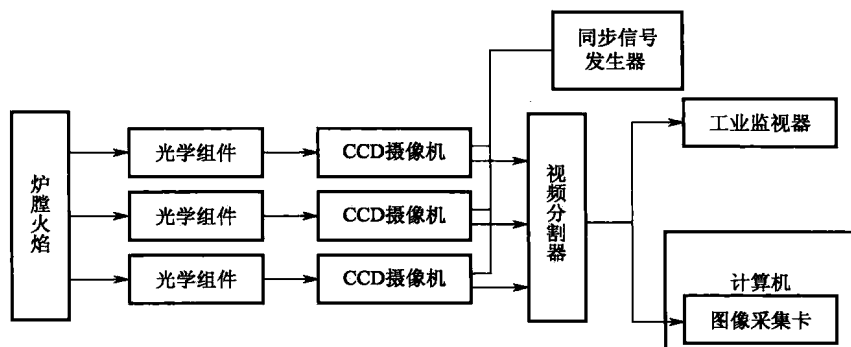


图 1-2 多输入单输出系统结构示意图

3) 多输入多输出系统

在由多路摄像机组成的监控系统中，对于要求很高的监视场合，不但要求能同时显示多个测点的情况，还要求能够看到每个测点的情况。这样，需要系统能按要求切换显示几台摄像机的图像信号。这使得多输入数字图像处理系统结构更加复杂。这类炉膛火焰监视和图像处理的指导思想是参照 FORNEY 模式，在单个燃烧器火焰监视的基础上，进行了全炉膛火焰的监视，通过对单个燃烧器局部火焰的监视构成全炉膛火焰监视和燃烧状态判断。系统可以有效地防止局部爆燃、炉膛燃烧火焰中心严重偏离等事故。系统结构如图 1-3 所示，沿炉膛高度布置基层火焰探测器，采集对应于四角燃烧器各出口火焰，多路视频信号经视频分割器合成为一路信号，加上全炉膛火焰信号一起进入视频切换器中，通过计算机的控制模块可以实现视频信号的切换，以满足不同的需要。

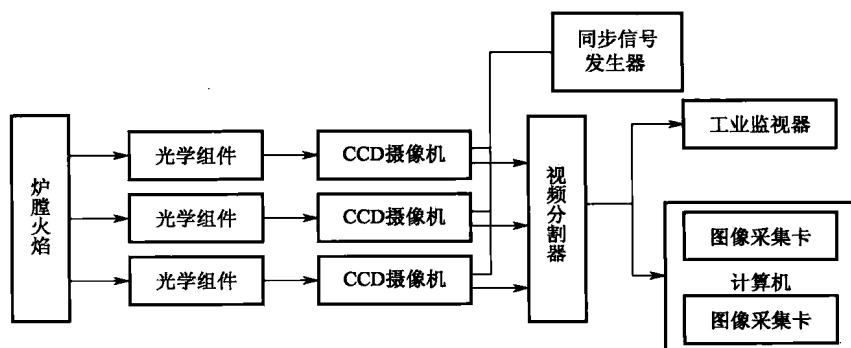


图 1-3 多输入多输出系统结构示意图