

解决电厂疑难问题的**金钥匙**

燃煤锅炉卫燃带 设计与优化

RANMEI GUOLU
WEIRANDAI
SHEJI YU YOUHUA

陈冬林 杜洋 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

解决电厂疑难问题的**金钥匙**

燃煤锅炉卫燃带 设计与优化

RANMEI GUOLU
WEIRANDAI
SHEJI YU YOUHUA

陈冬林 杜洋 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了探索改善燃煤锅炉对煤质及负荷频繁变化的适应性,作者提出了可调卫燃带的概念,并在总结多年理论研究与工程实践的基础上,系统地阐述了基于卫燃带的燃煤锅炉的燃烧及热力特性,详细研究与分析了燃煤锅炉卫燃带表面的结渣机理,在此基础上,提出了卫燃带的优化设计理论及方法,并提出了可根据锅炉入炉煤质及负荷变化而实时可调的新型卫燃带及模块化卫燃带技术,以保证炉内燃烧器区域能够实现准恒温状态的燃烧。

书中既有燃煤锅炉卫燃带的系统理论知识与工程实践经验,也有解决工程问题的应用实例,对燃煤锅炉卫燃带的设计与改造实践具有较大的指导与借鉴意义。此外,本书对从事电厂锅炉运行操作、维护与管理工作的工程技术人员,锅炉设计、制造、安装及调试工作的工程技术人员以及大专院校、科研单位从事锅炉研究和教学的广大师生,均有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

燃煤锅炉卫燃带设计与优化 / 陈冬林, 杜洋著. —北京: 中国电力出版社, 2012. 12

(解决电厂疑难问题的金钥匙)

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3836 - 4

I. ①燃… II. ①陈…②杜… III. ①火力发电 - 燃煤锅炉 - 卫燃带 - 设计 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 300513 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>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 12 月第一版 2012 年 12 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 9.625 印张 245 千字

印数 0001—3000 册 定价 33.00 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



解决电厂疑难问题的金钥匙
燃煤锅炉卫燃带设计与优化

我国是产煤大国，煤炭资源非常丰富，煤种品质高低不等，变化范围很大。根据我国的能源政策，火力发电厂大多以煤为主要燃料，且动力用煤应尽量使用低质煤，加上现有供煤与配煤系统有许多不完善之处，电厂锅炉燃用煤质难以得到保证。因此，长期以来，我国动力生产部门一直存在下面三个问题：一是锅炉对煤质、负荷的适应性较差；二是锅炉的热效率不高；三是锅炉的排放物污染严重。

国内、外有不少学者与研究人员一直致力于解决煤燃烧过程中的上述问题，并已取得了显著成效，但远未达到令人满意的程度。作者在多年理论探索与工程实践经验的基础上，经过调查研究发现，炉内燃烧温度，特别是燃烧器区域内燃烧温度不可控制是导致锅炉对燃料适应性差及锅炉热效率不高的主要原因。为此，作者提出了在炉内燃烧器区域实现基于耐火隔热层的可调卫燃带绝热燃烧的设想，并围绕这一构想开展了多年的理论与试验研究。本书共分为八章：第一章，主要对锅炉燃用低质煤的现状及进展进行了简要的总结与回顾；第二章，主要探讨了燃煤锅炉的燃烧理论基础；第三章，对燃煤锅炉卫燃带所用耐火材料的主要特性进行了总结分析；第四章，总结分析了基于卫燃带的燃煤锅炉的燃烧及热力特性；第五章，研究探讨了燃煤锅炉卫燃带的结渣机理；第六章，分析总结了燃煤锅炉卫燃带的试验研究成果；第七章，系统地总结分析了燃煤锅炉卫燃带的设计理论与方法；第八章，提出了新型卫燃带技术及其优化设计的思想。

本书是作者多年来研究工作的总结，其中，有关成果来自

于相关纵、横向项目的研究，并先后得到华中电力集团公司、湖南省电力公司、湖南省科技厅、湖南省教育厅及国家自然科学基金委员会等的资助。另外，书中引用了国内、外相关研究文献资料的成果，在此一并表示感谢。

水平所限，书中疏漏及不妥之处在所难免，敬请读者给予批评、指正。

编 者

2012 年 11 月



目 录



解决电厂疑难问题的金钥匙
燃煤锅炉卫燃带设计与优化

前言

第一章 概述	(1)
第一节 我国的劣质煤炭资源及其燃烧利用现状	(1)
第二节 锅炉燃用低质煤存在的主要问题	(1)
第三节 锅炉燃用低质煤的技术现状及进展	(3)
第二章 燃煤锅炉燃烧理论基础	(18)
第一节 炉内温度与负荷间的关系	(18)
第二节 炉内温度对煤挥发分热解析出特性的 影响	(22)
第三节 炉内温度对煤粉粒子着火的影响	(24)
第四节 炉内温度对燃烧速度及燃烧效率的影响	(28)
第五节 炉内温度对燃烧稳定性的影响	(30)
第三章 卫燃带耐火材料及其敷设工艺	(34)
第一节 卫燃带的典型类型	(34)
第二节 卫燃带耐火材料分类及其特性	(35)
第三节 陶瓷耐火材料制备工艺	(48)
第四节 燃煤锅炉常用的卫燃带耐火材料及其 特性	(50)
第五节 卫燃带破坏失效原因	(56)
第六节 卫燃带的养护及热处理	(58)
第七节 卫燃带耐火材料技术进展	(60)
第四章 基于卫燃带的燃煤锅炉燃烧及热力特性	(62)
第一节 基于卫燃带的炉内燃烧温度模型	(62)
第二节 卫燃带对炉内温度场的影响	(67)

第三节	卫燃带对着火的影响	(72)
第四节	卫燃带对燃烧效率的影响	(87)
第五节	卫燃带对锅炉热力特性的影响	(93)
第六节	卫燃带对 NO_x 生成特性的影响	(99)
第七节	卫燃带对燃烧影响的数值模拟	(102)
第五章	锅炉卫燃带的结渣机理	(112)
第一节	锅炉受热面的结渣过程及机理	(112)
第二节	锅炉卫燃带结渣特点及其影响因素	(113)
第三节	卫燃带结渣影响因素的实验研究	(115)
第四节	煤灰成分对卫燃带结渣特性的影响	(146)
第六章	卫燃带的试验研究	(170)
第一节	微孔陶瓷隔热板卫燃带的高温考核试验 ..	(170)
第二节	石油液化气 (LPG) 模拟炉试验	(171)
第三节	煤粉炉中的卫燃带试验	(186)
第四节	卫燃带对炉内温度影响的试验测试	(201)
第七章	卫燃带的设计理论与方法	(210)
第一节	卫燃带设计概述	(210)
第二节	卫燃带设计准则	(211)
第三节	卫燃带的布置	(213)
第四节	卫燃带的设计方法	(216)
第八章	新型卫燃带技术	(257)
第一节	通用模块化卫燃带	(257)
第二节	实时可调卫燃带	(265)
第三节	可调卫燃带的布置	(276)
第四节	可调卫燃带隔热层设计的传热计算	(281)
第五节	可调卫燃带的防结渣措施	(296)
参考文献		(299)



第一章

概 述

第一节 我国的劣质煤炭资源及其燃烧利用现状

煤炭是我国储量和消耗量最大的常规能源，占我国化石能源总量的比例高达 95.5%。在全国已发现煤炭资源中，褐煤约占 12.7%，低变质烟煤（长焰煤、不黏煤、弱黏煤）约为 42.4%，中变质烟煤（气煤、肥煤、焦煤、瘦煤）约为 27.6%，贫煤、无烟煤约为 17.3%。据统计，目前全世界的煤炭储量可够人类开发利用 200 年以上，但一半以上都是劣质煤。随着我国工业化进程的加速，能源消耗量与日俱增，预计到 2020 年，我国煤炭需求量将达 22 亿 ~ 24 亿 t。由于能源对社会发展的极端重要性，以及煤炭等常规能源的不可再生性，迫切需要我国动力工作者积极研究开发劣质煤的高效低污染利用技术。

第二节 锅炉燃用低质煤存在的主要问题

燃料的安全高效利用一直是燃烧领域的主要研究课题。长期以来，我国的动力生产部门一直以劣质煤及其混煤作为燃料使用，常出现因燃料特性偏离设计值而使锅炉运行中出现对燃料及负荷的适应性差、热效率低及污染物排放严重等问题。

近 20 年来，随着国民经济的飞速发展，我国电力工业发展迅猛，截至 2011 年，全国发电机组装机容量为 105 576 万 kW，其中火力发电机组装机容量的比例高达 72.5%。发电机组装机



容量的快速增加，导致了电网容量也越来越大，同时电网负荷的昼夜及季节性峰谷差越来越大，而电网调峰的任务主要由火力发电机组承担，其中，有相当一部分是由中、小型燃煤锅炉机组承担的。因此，要求燃煤锅炉能对负荷变化具有良好的适应性——具有尽可能低的稳燃负荷及较高的燃烧效率。另外，由于燃料资源的市场化配置，越来越多的火力发电企业燃用低质煤及混合燃料，这一燃料变化要求锅炉对入炉煤质变化具有良好的适应性——减少或杜绝炉内结渣情况的发生、维持稳定高效的燃烧效率。

在实际运行中，燃料特性及负荷的频繁变化将给锅炉的安全、经济运行带来以下不利影响：

(1) 入炉煤质变劣时，燃烧器区域烟气温度将不能满足劣质煤高效稳定燃烧的要求，从而将使锅炉燃烧效率下降。另外，入炉煤质变劣还将使锅炉最低不投油稳燃负荷上升，负荷调节能力下降，为适应负荷调节要求，往往需进行投油助燃或两班制启停运行，但这样的运行方式不仅会导致锅炉机组运行经济性变差，还会导致机组发生疲劳损耗，降低其使用寿命。

(2) 入炉煤质变优时，会使燃烧器区域烟气温度显著升高，而过高的燃烧器区域烟气温度不仅容易引发炉内结渣，还将导致炉膛出口烟气温度升高，严重影响锅炉机组运行的安全性。

(3) 锅炉运行中，入炉煤质的频繁变化还会使炉内燃烧偏离最佳空气/燃料配比工况，从而降低燃烧效率及锅炉运行的经济性。

(4) 入炉煤质或负荷频繁变化，往往引起锅炉过（再）热蒸汽温度超温（或偏低）现象，影响锅炉过（再）热器的安全性及机组的循环热效率。

由于现役锅炉设计时未能充分考虑到上述入炉燃料品质及负荷变化带来的不利影响，锅炉的最低不投油稳燃负荷普遍偏高，且低负荷燃烧时效率普遍较低，如现役燃用低挥发分无烟煤的四角切圆燃烧煤粉炉，长期不投油稳燃负荷普遍高于额定

负荷的70%。虽然近几年投产的锅炉在设计时采取了一系列相关措施,但实际运行中锅炉对煤种及负荷频繁、大幅度变化的适应性仍难以满足用户的要求。制约燃煤锅炉最低不投油稳燃负荷、燃烧效率及炉内结渣的关键因素是燃烧器区域的温度水平,该温度主要取决于燃烧器区域内燃料的燃烧放热量与水冷壁吸热量之间的平衡。由于现役锅炉的炉膛及燃烧器结构不能主动调节燃烧器区域内的烟气温度,因此,当锅炉负荷或燃料品质下降时,燃烧器区域内的烟气温度必随之降低,而当负荷降至一定值时,燃烧器区域内的烟气温度将不足以满足燃料着火及稳定燃烧所需的最低温度,使锅炉发生灭火。

上述分析表明,现役锅炉难以适应入炉燃料品质及负荷频繁、大幅度的变化,因此,研究开发对燃料品质及负荷变化具有良好适应性的新型燃烧技术,对改善现役锅炉总体性能具有重要的现实意义,同时,也可为未来锅炉的设计提供新的技术支持。

第三节 锅炉燃用低质煤的技术现状及进展

目前,国内、外为解决锅炉对燃料、负荷适应性差的问题,同时实现锅炉安全、稳定、高效燃烧的目的,主要从炉型选择、炉内热负荷设计、新型燃烧器的研究与开发、炉内绝热燃烧等方面着手。

一、炉型选择

目前,对于大容量燃煤锅炉机组,主要采用四角切圆燃烧炉膛与“W”型火焰燃烧炉膛。其中,采用四角切圆燃烧炉膛的锅炉因其结构简单,可靠性高,具有较好的炉内气流充满度与着火、燃尽性能,在国内、外得到了广泛的应用。但四角切圆燃烧锅炉也存在一些不足:不投油稳燃负荷偏低,特别是对于低挥发分无烟煤,其长期不投油稳燃负荷大多在60%以上;常出现因炉膛四角配风不均导致炉内火焰中心偏斜,使煤粉气

流直接冲刷炉墙而导致炉内结渣现象；炉膛出口存在烟气的残余旋转，往往引起过热器产生较大的热偏差。与四角切圆燃烧锅炉相比，“W”型火焰锅炉具有不投油稳燃负荷低，负荷调节范围广，炉内火焰中心不易偏斜，炉膛出口两侧烟气温度差较小等优点。“W”型火焰锅炉具有低负荷稳燃特性的主要原因是在炉膛前、后炉拱及左、右两侧墙水冷壁上敷设了大面积的耐火隔热层，在燃烧器区域形成了一个局部绝热的燃烧空间，使得该区域内的烟气温度始终维持在较高水平。如燃用低挥发分无烟煤的300MW的“W”型火焰锅炉，炉内敷设的耐火隔热层面积通常达500~1500m²，而同容量的四角切圆燃烧锅炉，燃烧器区域四周炉墙上耐火隔热层的敷设面积约为60~300m²，远小于“W”型火焰锅炉。由于“W”型火焰锅炉的上述优点及近年来燃料资源配置形势的变化与锅炉负荷的调节要求，国内采用“W”型火焰锅炉的用户正在迅速增加。

二、炉内热负荷设计

锅炉通常按照设计燃料选择炉膛容积热负荷、断面热负荷及燃烧器区域壁面热负荷，并用校核燃料进行校核，炉内热负荷的设计是否合理对锅炉的燃料、负荷适应性有决定性的影响。对煤粉气流而言，其快速着火及稳定燃烧的关键因素是燃烧器区域内的烟气温度，只有当该区域内的烟气温度高于燃料的着火温度，并将煤粉气流加热至着火温度时，燃料才能稳定着火燃烧。炉膛壁面热负荷与燃烧器区域烟气温度的关系如图1-1所示，由图1-1中可以看出：要使锅炉具有良好的负荷适应性，就要求在不导致锅炉结渣的前提下具有尽可能高的 q_{pn} 值；要使锅炉具有良好的燃料适应性，就要求锅炉 q_{pm} 值对应下的 T_{am} 值高于锅炉所燃用的各种燃料的 T_i 值，且 q_{pn} 值对应下的 T_{an} 低于煤的灰熔点温度。实际上，锅炉热负荷的设计过程中仍存在以下问题：

(1) 目前，锅炉设计时大多凭工程经验确定炉膛热负荷，尚不能采用有效的计算方法准确计算炉膛燃烧器区域内烟气温

度与热负荷间的关系，因而容易使所设计的热负荷偏离最佳热负荷。

(2) 锅炉实际运行中，由于炉膛结构的不可变性及入炉燃料频繁变化的特性，经常出现燃料的着火温度 T_i 高于 T_{am} 以及灰熔点温度低于 T_{an} 的情况，因而导致燃烧不稳定或出现炉内结渣现象。

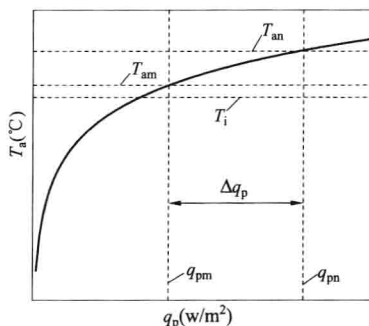


图 1-1 炉膛壁面热负荷与燃烧器区域烟气温度间的关系

T_a —燃烧器区域平均烟气温度； T_i —燃料的着火温度； T_{am} —最低负荷时燃烧器区域平均烟气温度； T_{an} —额定负荷时燃烧器区域平均烟气温度；

q_p —炉内壁面热负荷； q_{pm} —最低壁面热负荷；

q_{pn} —额定负荷时壁面热负荷

工程实际中通常由于锅炉热负荷设计不当或燃料特性发生变化而导致炉内结渣、燃烧不稳、燃烧效率低、过热蒸汽温度过高或偏低等问题。例如，湖南岳阳电厂从英国 Babcock 公司引进的 1160t/h “W” 型火焰煤粉炉，设计燃用干燥无灰基挥发分 $V_{daf} = 10\%$ ，变形温度 $DT = 1400^\circ\text{C}$ ，软化温度 $ST = 1500^\circ\text{C}$ ，流动温度 $FT > 1500^\circ\text{C}$ 的混煤，为使燃料能够稳定着火及燃烧，在燃烧器区域敷设了 520m^2 的卫燃带，投产后在额定负荷时出现了严重的结渣现象，现场测试结果发现燃烧器区域内的最高温度达 2000°C 以上，远高于燃料的流动温度 FT ；江苏射阳港电厂一台燃用 $V_{daf} = 21.48\%$ 煤的 SG-420/13.7-M421A 型

锅炉，炉膛壁面热负荷设计过低，使得燃烧不稳定，额定负荷时的过热蒸汽温度 $t_{gr} = 530.5^{\circ}\text{C}$ ，再热蒸汽温度 $t_{zr} = 523^{\circ}\text{C}$ ，燃烧效率仅为 95.25%；山东荷泽电厂一台燃用无烟煤的 SG420t/h - M419 锅炉，设计断面热强度为 $4.3\text{MW}/\text{m}^2$ ，容积热强度为 $0.172\text{MW}/\text{m}^3$ ，运行时燃烧器区域的烟气温度高达 $1600 \sim 1700^{\circ}\text{C}$ ，超过了煤灰流动温度 $FT = 1520^{\circ}\text{C}$ ，导致了较严重的结渣。因此，通过工程实例可知，仅靠锅炉热负荷的优化设计是难以满足锅炉安全、稳定、高效燃烧及其对燃料、负荷适应性要求的。

三、新型燃烧器的研究与开发

提高锅炉对燃料及负荷适应性的另一种比较有效的办法是研究开发各种具有高稳燃性能的燃烧器。燃烧器对燃料、负荷适应性的含义有两点：一是对确定的燃料，能在较宽的负荷范围内使燃料稳定着火及高效燃烧；二是在一定的负荷范围内，能使多种燃料安全、稳定、高效燃烧。燃烧的稳定性包括两方面的含义：一是燃烧火焰的稳定性；二是入炉燃料着火的稳定性。当燃料特性及配风状况一定时，特定环境（反应器）中火焰的稳定性主要取决于该系统温度水平的高低，而温度水平又取决于燃烧放热与反应器散热之间的热平衡。在实际的燃烧反应器中，该热平衡同时受到燃料气流在炉内停留时间、燃料的发热量、燃料气流初始温度等因素的影响。对于进入炉内的燃料气流，其着火的稳定性主要取决于燃料气流在炉内的吸热速度、所能达到的温度水平及燃料本身的着火温度，而影响吸热速度及温度水平的因素有炉内的热力学及空气动力学条件、燃料气流的速度等。

对于煤粉燃料，为了解决低质煤及低负荷时的稳定燃烧问题，目前已开发出了多种高稳燃性能与高燃烧效率的燃烧器。从稳燃机理上讲，可将这些燃烧器分成两大类：第一类是降低燃料气流着火热量的燃烧器，第二类是强化炉内高温烟气对入炉燃料气流传热能力的燃烧器。

第一类燃烧器的设计思路是：当炉内高温烟气对入炉燃料气流的传热能力一定时，尽可能地减小入炉燃料气流的着火热——达到其着火温度时所需吸收的热量。降低燃料气流着火热的有效办法是提高燃料的浓度，基于这一思想设计出来的燃烧器称为燃料浓缩燃烧器或浓淡燃烧器。目前，国内大多数燃用劣质煤的锅炉采用了煤粉浓缩燃烧技术。从实现方法上来看，浓淡燃烧器通过采用特殊的结构或设备，使煤粉气流在燃烧器出口被分成两股，其中一股煤粉浓度较高，另一股煤粉浓度很低。按照煤粉浓缩的位置，浓缩技术可分成三种：一是燃烧器出口浓缩技术。如钝体燃烧器、简单弯头型浓淡分离燃烧器、带偏转板的弯头型浓淡燃烧器、在燃烧器喷嘴出口带简单三角锥体及波纹锥的弯头形燃烧器、燃烧器内部的百叶窗、扭曲导向板、阻力块、导向板分离浓淡燃烧器、大速差射流燃烧器、多功能船形燃烧器、扁平射流燃烧器、犁形燃烧器、基于旋风分离的浓缩型煤粉燃烧器、PAX (primary air exchange) 燃烧器等；二是原始浓缩技术。其是指在煤粉气流离开煤粉仓或磨煤机时使煤粉浓度提高的方法。前民主德国、希腊等国家在燃用高水分褐煤时在风扇磨煤机中采用了这种方法。前苏联在一台 $30 \times 10^5 \text{ kW}$ 的煤粉炉上进行了原始浓缩燃烧试验，浓度高达 $40 \sim 50 \text{ kg/kg}$ 的煤粉空气混合物通过压气泵压缩空气来输送，一次风管只输送空气，在燃烧器出口前的合适位置再将高浓度煤粉注入到一次风中，形成浓度为 0.9 kg/kg 左右的煤粉气流，进入炉膛燃烧；三是燃烧器前浓缩技术。如带乏气分离器的直流煤粉燃烧器、借助于弯头惯性实施浓淡分离的 WR 宽调节比燃烧器、将旋风分离器与燃烧器组合成一体浓淡燃烧器、既具有浓淡分离作用又实现低污染物排放的 PM (pollution minimum) 型燃烧器、直吹式制粉系统中在燃烧器入口利用弯头惯性力将排粉分成浓淡两股 (primary air exchange) 的 PAX 燃烧器、在燃烧器入口处装设一台卧式旋风分离器实施浓淡分离以保证低负荷稳燃的旋流燃烧器、实现煤粉浓度可变的浓淡燃烧器、在炉



膛横断面上实现水平浓淡分离的水平浓淡燃烧器等。

浓淡燃烧器对低质煤的稳定燃烧及降低 NO_x 排放具有明显的效果，但也存在以下问题：

(1) 浓淡燃烧为非化学当量燃烧，对配风的要求很高，易导致燃烧后期燃料与空气混合不良，使未燃尽损失增大。

(2) 煤粉浓度较大的一侧火焰温度较高，易导致该侧水冷壁管的高温腐蚀。

(3) 煤粉浓度较大的一侧常因空气量不足而导致还原性气氛，引发炉膛结渣。

第二类燃烧器的设计思路是：当进入炉内的燃料特性与炉内的热力工况一定时，通过燃烧器的结构设计，强化炉内高温烟气对入炉燃料的传热，使入炉燃料在最短的时间内达到着火温度，以实现稳定燃烧。强化传热的主要途径是使高温烟气回流到燃烧器出口处与燃料气流直接混合，基于这一思想设计的燃烧器即称为回流型燃烧器。根据射流理论，某些燃烧器出口的射流中存在一负压区域，这一负压区将导致其附近的气流向燃烧器喷口反向流动。烟气回流型燃烧器就是利用这一原理，在燃烧器上采用特殊的结构使炉内高温烟气被回流至燃烧器出口附近，以加热入炉燃料，实现燃料的稳定着火与燃烧。基于这一理论设计出来的燃烧器有钝体燃烧器、船形燃烧器、大速差燃烧器、高速蒸汽射流燃烧器、双通道燃烧器、稳燃腔燃烧器及各种变形后的钝体燃烧器等。

人们对回流区高温烟气对燃料着火与燃烧的影响已作了较为系统及深入的研究。J. M. Beer 及 A. B. Hedley 等人研究了回流烟气对无烟煤煤粉及燃烧系统的影响，发现回流烟气对火焰的亮度、热负荷强度、燃料的燃尽时间、燃烧稳定性及燃烧室内的传热均有明显的影响。回流烟气流对燃烧可能产生截然不同的结果：当回流烟气流在 0 ~ 22% 时，会对燃烧的稳定性产生不利的影响；而当回流量大于 20% 时，则会产生积极的影响。燃烧室炉墙的形式对燃烧也具有重要影响：如敷有卫燃带的燃

烧室，在同样的热负荷条件下，回流烟气的温度比水冷炉墙燃烧室中的烟气温度高很多，因而当回流烟气流相同同时，可能产生完全不同的燃烧火焰。J. M. Beer 在一维炉的试验中发现，引入回流烟气后，无烟煤煤粉的火焰传播速度增加了 3 倍，Effenberger 进一步验证了 J. M. Beer 的试验结果，并发现燃烧空气温度对着火过程的影响远大于煤粉/空气比率变化对着火过程的影响。Essenhigh 与 Csaba 计算了特定条件下回流烟气对火焰传播速度的影响，结果表明：回流烟气使火焰传播速度提高 10 倍以上。

回流烟气改善燃烧的前提条件是：回流烟气必须有足够高的温度，否则，不但不能改善燃烧，还会起反作用。运行实践也证明了这一点，大多数回流型燃烧器在高负荷工况下能显著改善低质煤的燃烧稳定性，但在负荷较低的情况下则不明显。

四、炉内绝热燃烧

在燃烧器区域维持较高的烟气温度将有利于低质燃料及低负荷工况时的稳定着火与高效燃烧。提高燃烧器区域烟气温度最简单、最有效的方法是采用局部绝热燃烧。局部绝热燃烧有几种典型的应用方式：一种是在锅炉燃烧器进口前设置绝热的燃烧室（如马弗炉），快速加热入炉燃料气流；第二种是在燃烧器区域的炉墙上敷设一定厚度、一定面积的耐火隔热材料，即卫燃带，减少该区域炉膛水冷壁的吸热量，以提高燃烧器区域内的烟气温度；第三种典型的应用就是采用液态排渣炉膛，这种炉膛的特点是在其燃烧器区域内全部布满了绝热材料，以使燃烧器区域的烟气温度高于所燃煤种的灰熔点温度。在工程实际中，对燃用低质燃料，且要求具有较大负荷调节范围的锅炉，设计制造商除了采用各种先进的燃烧器外，大多采用了局部绝热燃烧技术。国内、外投产的燃用无烟煤、贫煤的 300MW 机组“W”型火焰的煤粉锅炉，均在其燃烧器的前、后炉拱及两侧炉墙上布置了大量的卫燃带，布置面积达 $500 \sim 1500\text{m}^2$ 。运行实践证明，“W”型火焰锅炉燃用劣质煤时具有良好的低负荷稳燃性



能与燃烧效率，主要归功于这些卫燃带的敷设。国内燃用无烟煤及高水分、高灰分、低发热量劣质煤的 125 ~ 300MW 机组四角切圆燃烧煤粉炉均在燃烧器区域的水冷壁炉墙上布置了一定面积的卫燃带，以提高燃烧器区域的烟气温度，改善低负荷时的燃烧稳定性。

卫燃带隔热层按是否可移动可分为可调卫燃带和固定式卫燃带。可调卫燃带又可细分为实时可调卫燃带和非实时可调卫燃带。固定式卫燃带按其施工工艺可分为捣打料卫燃带、可塑料卫燃带、涂料卫燃带及需要辅助附着结构的浇注料卫燃带。

传统的卫燃带是在锅炉的水冷炉墙上敷设一层具有一定厚度和面积的耐火隔热材料，一旦敷设完成后，在运行中其位置与面积就不能改变。这种卫燃带的缺点是：当煤质变优或负荷过高时，会由于燃烧温度过高而引起炉内结渣，此时，意味着卫燃带面积过大；当煤质变劣或负荷过低时仍会出现燃烧不稳定，此时，意味着卫燃带敷设面积不足；因卫燃带多敷设于炉内高温区，且其表面比较粗糙，因此，为煤灰在其表面的结渣创造了条件；此外，当煤质和负荷频繁变化时，因卫燃带面积不能随之动态变化，使得炉膛出口烟气温度发生较大的波动，有时会出现过热器严重超温的现象。

针对传统卫燃带的施工周期较长、施工时需耗用大量固定销钉、易对承压水冷壁管造成机械损伤、施工后需进行烘炉工艺、煤种负荷变化时其敷设面积不能实时调整等缺点，本书作者提出了一种可调式卫燃带，该卫燃带的特点是，其在水冷炉墙上的敷设位置及面积可根据锅炉运行中负荷和煤质的变化而进行实时调节。研究表明，锅炉的水冷炉墙上安装层叠式隔热板可调卫燃带后，其火焰侧表面温度很高，有利于燃料的稳定着火及燃烧；而卫燃带水冷管侧表面温度、卫燃带与水冷炉墙间烟气室内的温度较低，可保证耐热钢构件及可调卫燃带驱动机构有关金属部件的正常工作，使可调卫燃带在炉内工作的安全性得到保障。可调卫燃带隔热面积连续变化的校核热力计算