

GONGYE QIYE DITAN JIENENG JISHU

工业企业 低碳节能技术

王文堂 邓复平 吴智伟 编



化学工业出版社

GONGYE QIYE DITAN JIENENG JISHU

工业企业 低碳节能技术

王文堂 邓复平 吴智伟 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了168项工业企业碳减排、节能领域的先进适用技术,包括煤炭燃烧节能低碳技术、油气燃烧节能低碳技术、工艺过程低碳技术、二氧化碳回收利用技术、节电技术、热力节能低碳技术、低碳能源技术等,涵盖石油石化、化工、钢铁、有色金属、建材、机械、纺织等高排放、高耗能行业。每项技术均有企业应用案例及碳减排、节能效果的计算。全部技术均适于工业企业选用。

本书可供重点碳排放单位、万家企业的碳减排和节能管理人员、技术负责人以及准备从事节能低碳工作的人员参考阅读。

工业企业
节能低碳技术

图书在版编目(CIP)数据

工业企业低碳节能技术/王文堂,邓复平,吴智伟编. —北京:化学工业出版社,2017.10

ISBN 978-7-122-30362-2

I. ①工… II. ①王… ②邓… ③吴… III. ①工业企业-节能-研究-中国 IV. ①TK01

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第183859号

责任编辑:傅聪智

责任校对:宋玮

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:三河市延风印装有限公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数316千字 2017年11月北京第1版第1次印刷



购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

继中央提出 2030 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65% 的目标后，在国家“十三五”规划中又列入约束性发展指标：2020 年，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2015 年下降 18%，能源消耗量降低 16%。节约能源、减少碳排放是万家企业、重点碳排放单位不得不认真面对的问题。在企业持续完成“十一五”“十二五”节能减碳目标，节能低碳管理措施已经比较完善的情况下，未来十年节能减碳将主要依赖技术措施。

根据重点碳排放单位、万家企业的行业分布情况，本书精取 168 项先进适用的碳减排、节能技术进行介绍，涵盖化工、石油石化、钢铁、有色金属、建材、机械、纺织等高排放、高耗能行业。每项技术均有企业应用案例及碳减排、节能效果的计算。

本书选取的低碳节能技术具有以下特点：

(1) 全部技术均适用于重点碳排放单位、万家企业。我们直接面向重点排放（用能）单位组织内容，强调实用性，尤其注重选择国家碳交易试点行业适用的碳减排技术。

(2) 技术成熟。本书介绍的技术完全选自在工业企业有实际应用的新技术，并附有企业应用案例及节能、碳减排效果。基于这一原则，有些先进技术因为尚无工业应用案例而未能入选本书。

(3) 覆盖碳减排技术的各个领域。由于碳排放的大部分是由能源使用产生的，因此碳排放与节能密不可分。但由于管理体制的原因，很多机构推荐的碳减排技术并不包括节能技术，因此，不能全面反映碳减排技术涉及的领域。本书根据企业碳排放核算方法，选取了涉及企业碳排放各领域的先进技术，包括煤炭燃烧节能低碳技术、油气燃烧节能低碳技术、工艺过程低碳技术、二氧化碳回收利用技术、节电技术、热力节能低碳技术、低碳能源技术。

(4) 每项技术均有碳减排效果。我们根据碳核算标准或核算指南，对各项技术实施后的碳减排效果进行核算，供企业选择应用该项技术时参考。

本书中碳减排技术的应用案例数据源于北京万企龙节能低碳技术研究院的《万家企业节能低碳技术数据库》，碳排放量数据与读者当地情况可能有差别，

建议读者参考技术应用后减排的燃料、电力、热力及 CO₂ 回收量等数据按企业当地适用的排放因子重新计算。

本书编写过程中，在万家企业节能低碳网、《万家企业节能低碳》周刊发布征集技术启事后，收到很多企业碳减排管理人员的反馈信息，在此表示衷心的感谢！北京万企龙节能低碳技术研究院专家委员会、苏州节能管理进修学院、北京和碳环境技术有限公司的专家在本书编写过程中提出了很多建议，并提供了部分资料，在此一并致谢！

由于作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2017年5月



目录

CONTENTS

第1章 绪言	1
第2章 煤炭燃烧节能低碳技术	3
2-1 大推力多通道燃烧节能技术	3
2-2 大容量高参数褐煤煤粉锅炉技术	4
2-3 锅炉富氧燃烧技术	5
2-4 锅炉燃烧温度测控及性能优化技术	6
2-5 锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警技术	7
2-6 锅炉煤粉复合燃烧技术	9
2-7 高效节能环保型燃煤催化剂技术	10
2-8 回流区分级着火燃烧技术	11
2-9 基于流态重构的低能耗 CFB 锅炉燃烧技术	13
2-10 煤粉锅炉给粉计量自控节能技术	14
2-11 燃煤锅炉等离子煤粉点火技术	15
2-12 燃煤催化燃烧节能技术	16
2-13 四通道喷煤燃烧节能技术	17
2-14 卧式循环流化床锅炉技术	19
2-15 循环流化床锅炉煤灰复燃节能技术	20
2-16 新型高效煤粉工业锅炉系统技术	22
第3章 油气燃烧节能低碳技术	23
3-1 预混式二次燃烧节能技术	23
3-2 聚能燃烧技术	24
3-3 超低浓度煤矿乏风瓦斯氧化利用技术	26
3-4 煤矿低浓度瓦斯发电技术	27
3-5 天然气全氧燃烧技术	28
3-6 无引风机无换向阀蓄热燃烧节能技术	29
3-7 隧道窑高温助燃节能新技术	30
3-8 燃气锅炉减雾减霾热能回收装置技术	31
3-9 无旁通不成对换向蓄热燃烧节能技术	32

3-10	新型强化传热燃烧器技术	33
3-11	富氧双强点火稳燃节油技术	35
3-12	车用燃油清洁增效技术	36
3-13	燃煤锅炉气化微油点火技术	37
<hr/>		
第4章	工艺过程低碳技术	40
<hr/>		
第1节	石油化工行业工艺过程低碳技术	40
4-1	顶置多喷嘴粉煤加压气化炉技术	40
4-2	模块化梯级回热式清洁燃煤气化技术	42
4-3	非熔渣-熔渣水煤浆分级气化技术	45
4-4	多喷嘴对置式水煤浆气化技术	46
4-5	两段法变压吸附脱碳技术	48
4-6	基于相变移热的等温变换节能技术	49
4-7	氨合成回路分子筛节能技术	51
4-8	GC型低压氨合成工艺技术	52
4-9	JX节能型水溶液全循环尿素生产技术	54
4-10	水平带式真空滤碱节能技术	55
4-11	新型高效节能膜极距离子膜电解技术	57
4-12	矿或冶炼气制酸低温热回收技术	58
4-13	垂直筛板型甲醇三塔精馏技术	59
4-14	五效真空蒸发制盐技术	62
4-15	电石炉尾气制甲醇和二甲醚工艺技术	63
4-16	炼油装置间热联合与热供料技术	64
4-17	化工炼油装置高压液体能量回收液力透平技术	66
4-18	封闭直线式长冲程抽油机节能技术	67
第2节	钢铁行业工艺过程低碳技术	68
4-19	炼钢连铸优化调度技术	68
4-20	在线热处理技术	70
4-21	高炉炼铁-转炉界面铁水“一罐到底”技术	71
4-22	高炉浓相高效喷煤技术	72
4-23	钢渣辊压破碎-余热有压热闷工艺技术	73
4-24	转炉烟气高效利用技术	74
4-25	球团废热循环利用技术	76
4-26	烧结烟气循环利用技术	78
4-27	电炉炼钢优化供电技术	80
4-28	燃气轮机值班燃料替代技术	82
4-29	新型蒸汽管回转干燥煤调湿技术	83
4-30	焦炉烟道废气余热煤调湿分级技术	85
4-31	焦炉炭化室荒煤气回收和压力自动调节技术	86
第3节	有色金属行业工艺过程低碳技术	88

4-32	低温低电压铝电解新技术	88
4-33	铝电解槽新型焦粒焙烧启动技术	89
4-34	新型导流结构铝电解槽技术	90
4-35	新型稳流保温铝电解槽节能技术	91
4-36	精滤工艺全自动自清洁过滤技术	92
4-37	流态化焙烧高效节能炉窑技术	94
4-38	旋浮铜冶炼节能技术	96
4-39	有色冶金高效节能电液控制集成技术	97
4-40	双侧吹竖炉熔池熔炼技术	98
4-41	双炉侧顶吹粗铜连续吹炼工艺技术	99
第 4 节	建材行业工艺过程低碳技术	101
4-42	高效优化粉磨节能技术	101
4-43	高效节能选粉技术	103
4-44	球磨机高效球磨综合节能技术	103
4-45	辊压机+球磨机联合水泥粉磨技术	105
4-46	建筑陶瓷制粉系统用能优化技术	106
4-47	陶瓷粉料高效节能干法制备工艺技术	108
4-48	XDL 水泥熟料煨烧工艺技术	108
4-49	稳流行进式水泥熟料冷却技术	110
4-50	智能连续式干粉砂浆生产技术	112
第 5 节	机械行业工艺过程低碳技术	113
4-51	数字化无模铸造精密成形技术	113
4-52	基于频谱谐波的应力消除技术	114
4-53	精密可控气氛渗氮技术	115
4-54	金属涂装前常温钝化处理节能技术	117
4-55	智能真空渗碳淬火技术	118
4-56	环保型 PAG 水溶性淬火介质淬火技术	120
第 6 节	其他行业工艺过程低碳技术	121
4-57	染整企业节能集热技术	121
4-58	超低浴比高温高压纱线染色机节能染整装备技术	121
4-59	塑料动态成型加工节能技术	123
4-60	造纸靴式压榨节能技术	124
4-61	废纸鼓式连续碎浆技术	125
4-62	合成纤维熔纺长丝环吹冷却技术	126
4-63	低碳低硫制糖工艺技术	127
4-64	低浓度瓦斯真空变压吸附提浓技术	128
4-65	低阶煤低温热解改质利用技术 (LCC 技术)	130

第 5 章 二氧化碳回收利用技术 132

5-1	二氧化碳的捕集驱油及封存 (CCUS) 技术	132
-----	------------------------------	-----

5-2	石灰窑废气回收液态 CO ₂ 技术	133
5-3	二氧化碳捕集生产小苏打技术	134
5-4	发酵 CO ₂ 回收、净化、利用技术	134
5-5	利用 CO ₂ 替代 HFCs 发泡生产挤塑板技术	135
5-6	二氧化碳减排与资源化绿色利用技术	136
5-7	全生物降解 CO ₂ 基共聚物生产技术	137
5-8	二氧化碳矿化磷石膏制硫酸铵和碳酸钙技术	138
5-9	低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术	139

第 6 章 节电技术 141

6-1	配电网全网无功优化及协调控制技术	141
6-2	可控自动调容调压配电变压器技术	142
6-3	新型节能导线应用技术	143
6-4	动态谐波抑制及无功补偿综合节能技术	145
6-5	变频优化控制系统节能技术	146
6-6	空压机智能节电控制技术	147
6-7	高效节能电动机用铸铜转子技术	148
6-8	永磁涡流柔性传动节能技术	149
6-9	基于微机控制的三相电动机节电器技术	150
6-10	流体高效输送节能技术	152
6-11	工业冷却循环水系统节能优化技术	153
6-12	循环水系统智能控制节能技术	155
6-13	基于低压高频电解的循环水系统防垢提效技术	157
6-14	准稳定直流除尘器供电电源节能技术	159
6-15	矿热炉低压短网综合补偿技术	159
6-16	塑料注射成型伺服驱动与控制技术	161
6-17	多供电（一拖二、一拖三）感应电炉供电技术	162
6-18	工业微波/电混合高温加热窑炉技术	162
6-19	电子膨胀阀技术	164
6-20	基于电磁平衡调节的用户侧电压质量优化技术	165
6-21	开关磁阻调速电机及控制技术	166
6-22	泵（风机）站目标电耗节能技术	167
6-23	绕组式永磁耦合调速器节能技术	169

第 7 章 热力节能低碳技术 171

7-1	蒸汽系统运行优化节能技术	171
7-2	蒸汽节能输送技术	172
7-3	自密封旋转式管道补偿节能技术	173
7-4	钛纳硅超级绝热材料保温节能技术	174
7-5	水性高效隔热保温涂料节能技术	175

7-6	耐高温远红外辐射涂料节能技术	177
7-7	耐高温纳米级高辐射覆层技术	178
7-8	加热炉黑体技术强化辐射节能技术	179
7-9	氧化还原树脂常温除氧技术	181
7-10	机械式蒸汽再压缩技术 (MVR 技术)	182
7-11	乏汽与凝结水闭式全热能回收技术	183
7-12	空压站循环冷却水余热回收利用技术	184
7-13	高效复合型蒸发式冷却 (凝) 器技术	186
7-14	非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术	187
7-15	高炉冲渣水直接换热回收余热技术	188
7-16	向心涡轮中低品位余能有机朗肯循环 (ORC) 发电技术	190
7-17	电站锅炉排烟余热深度利用技术	190
7-18	烧结余热能量回收驱动技术 (SHRT 技术)	191
7-19	石灰窑余热回收利用技术	192
7-20	油田采油污水余热综合利用技术	193
7-21	矿井乏风和排水热能综合利用技术	194
7-22	裂解炉扭曲片管强化传热技术	195
7-23	蓄热式转底炉处理冶金粉尘回收铁锌技术	196
7-24	热轧加热炉系统化节能技术	198
7-25	碳素环式焙烧炉燃烧系统优化技术	199
7-26	三相工频感应电磁锅炉技术	200
7-27	纳米梯度结构保温材料节能技术	201
7-28	锅炉防腐阻垢及相平衡热回收节能技术	203

第 8 章 低碳能源技术

8-1	基于微结构通孔阵列平板热管的太阳能集热器技术	204
8-2	中低温太阳能工业热力应用系统技术	205
8-3	光伏直驱变频空调技术	206
8-4	直驱永磁风力发电技术	208
8-5	低风速风力发电技术	208
8-6	风电场、光伏电站集群控制技术	209
8-7	多能源互补的分布式能源技术	211
8-8	基于二次燃烧的高效生物质气化燃烧技术	212
8-9	生物质气化燃气替代窑炉燃料技术	213
8-10	生物质成型燃料规模化利用技术	214
8-11	生物质热解炭气油联产技术	216
8-12	工业生物质废弃物资源化 (热解) 利用集成技术	217
8-13	单井循环换热地 (热) 能采集技术	218
8-14	浅层地 (热) 能同井回灌技术	219

中国经济经历三十多年快速发展，温室气体排放也在快速增加，中国已成为世界温室气体排放第一大国。因此，在全球共同进行碳减排的过程中，中国面临更大的压力，需要承担更多的减排责任。

2009年哥本哈根气候变化领导人会议上，中国政府宣布：到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%，并将此作为约束性指标纳入国家“十二五”发展规划。2015年，中国再次提出到2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%的宏伟目标。在国家“十三五”规划中列入约束性发展指标：2020年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2015年下降18%，能源消耗量降低16%。

节能低碳目标已经确定，如何实现这一目标是摆在企业，尤其是万家企业（重点排放单位）面前的现实问题。国务院印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》（国发〔2016〕61号），对温室气体减排行动进行了具体部署，将强化保障各项政策措施的落实，包括淘汰落后产能、推动传统产业改造升级、扶持战略性新兴产业发展、建立全国统一碳市场等。企业需结合自身情况，确定应采取的措施。企业在采取管理措施、结构调整措施的同时，技术措施将在“十三五”节能减碳中发挥重要作用。

根据碳排放核算情况，企业减少碳排放的主要技术措施有以下六个方面：

(1) 减少燃料燃烧碳排放的技术。企业所用燃料包括煤炭、焦炭、兰炭、燃料油、汽柴油、液化气、天然气、焦炉气、煤层气等。影响燃料消耗及碳排放的主要因素是工艺过程，但在燃料的购入储存、加工转换、终端利用等环节仍有很多减少碳排放的先进技术，如提高燃料的能量利用效率，减少燃料中的有机成分损失，使用的燃料应符合锅炉等燃烧设备的设计要求，减少燃烧过程的能量浪费等。

(2) 工艺过程碳减排技术。不同的生产工艺产生的温室气体排放不同，工艺过程还可能有CO₂等温室气体的直接排放，或CO₂的再利用，可以采取技术措施，减少碳排放。

在碳排放核算过程中，工艺过程碳排放不包括燃料燃烧、外购电力热力产生的碳排放。但工艺过程对整个企业（或产品）的碳排放起着关键性作用，通过工艺过程的改进，可以大幅降低燃料消耗量，节约能源、减少碳排放。

(3) 减少外购热力的碳减排技术。相关技术包括保温保冷技术、热能梯级利用技术、余热回收技术等。

(4) 减少外购电力的减排技术。外购电力引起的碳排放占企业碳排放的比例是比较大

的，碳减排的潜力也比较大。

(5) CO₂ 回收利用技术。CO₂ 回收利用率即是碳减排量。

(6) 低碳能源技术。低碳能源是指为人类提供能量的同时不产生或很少产生碳排放的能源，如太阳能、风能、核能、生物质能等。“十二五”期间我国太阳能、风能的应用得到快速发展，但其发电成本仍然偏高，且受到电力稳定性的影响。核能应用主要受到安全性能的影响，尤其是日本核电站造成核污染后给人们造成的心理影响，将是影响核能发展的重要因素。目前的低碳能源技术正在不断取得进展，“十三五”将是低碳能源快速发展的时期。

本书选取以上六个方面的先进技术进行介绍，并对企业应用后的节能、减碳效果进行核算，供读者参考。

碳减排的效果是依据各项技术措施实施后产生的实际效果计算的。本书中各项技术措施的碳减排量是燃料、电力、热力、二氧化碳及其他温室气体的减排量之和，即

$$E = E_{\text{燃料}} + E_{\text{电力}} + E_{\text{热力}} + E_{\text{CO}_2} + E_{\text{其他温室气体}}$$

式中，燃料消耗降低产生的碳减排量 $E_{\text{燃料}}$ 、节电产生的减排量 $E_{\text{电力}}$ 、减少热力消耗产生的减排量 $E_{\text{热力}}$ 均为实物减排量与相应排放因子的乘积，二氧化碳直接减排量 E_{CO_2} 及其他温室气体的减排量 $E_{\text{其他温室气体}}$ 为实物减排量与全球变暖潜势的乘积。

本书案例计算碳减排时采用的排放因子如下：

原煤排放因子：1.75tCO₂/t；

柴油：3.15tCO₂/t；

汽油：3.04tCO₂/t；

燃料油：3.05tCO₂/t；

天然气：21.62 吨 CO₂/万立方米；

焦炭：3.07tCO₂/t；

炼厂干气：2.82tCO₂/t；

热力排放因子：0.11tCO₂/GJ；

1t 标准煤按 2.6tCO₂ 计算。

计算电力消耗减少所产生的碳减排量，所用排放因子为国家发改委公布的 2012 年区域电网排放因子，如表 1.1 所示。

表 1.1 中国区域电网排放因子

区域电网	覆盖的地理范围	2012 年排放因子 /[tCO ₂ /(MW·h)]
华北区域电网	北京市、天津市、河北省、山西省、山东省、内蒙古西部 (除赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟外的内蒙古其他地区)	0.8843
东北区域电网	辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古东部(赤峰、通辽、呼 伦贝尔和兴安盟)	0.7769
华东区域电网	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省	0.7035
华中区域电网	河南省、湖北省、湖南省、江西省、四川省、重庆市	0.5257
西北区域电网	陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆自治区	0.6671
南方区域电网	广东省、广西壮族自治区、云南省、贵州省、海南省	0.5271

2-1 大推力多通道燃烧节能技术

一、技术介绍

大推力多通道燃烧器(图 2.1)是由内部的旋流通道、中间的煤流通道、外部的轴流通道以及最外部的冷却风通道构成的燃烧器。煤粉从多通道燃烧器喷出燃烧,除空气输送煤粉本身就是煤粉与风的预混合外,还经过多次扰动、混合。外部的轴流风通道将高压空气从通道中送出,使局部的出口空气风速接近风速,在此高速气流的卷吸作用下,大量二次风进入燃烧区域,极大地提高了煤粉的燃烧速度和温度。在较小的一次风量(8%以内)条件下获得更高的火焰温度,从而达到节能降耗的目的。同时,对不同煤质的适应性也大大提升,能使用 4200kcal/kg (1kcal=4.18kJ) 的低热值无烟煤。另外,在轴流风外侧布置冷却风道对设备运行进行技术保护,延长设备使用寿命。

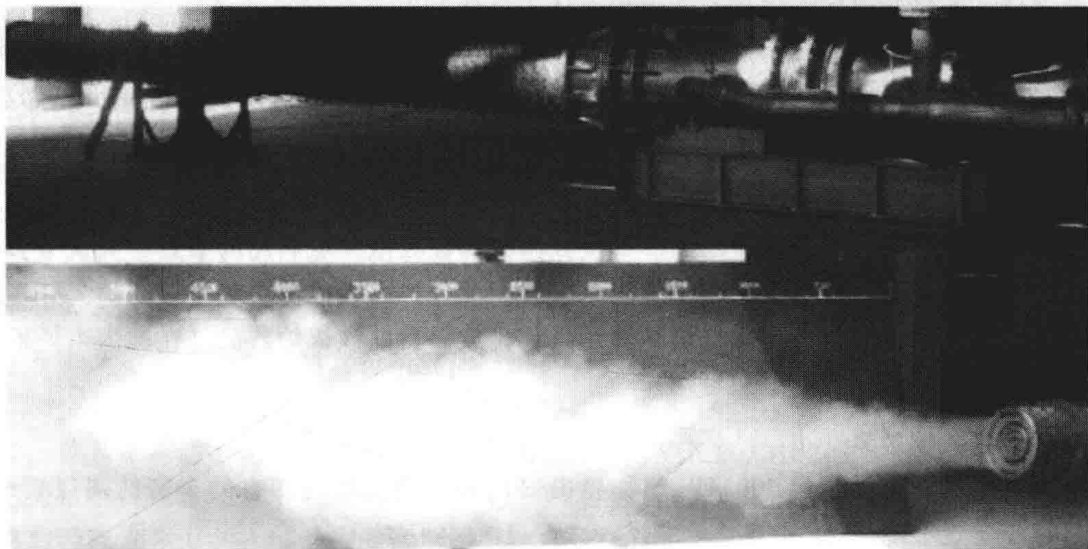


图 2.1 大推力多通道燃烧器

二、应用情况

大推力多通道燃烧节能技术适用于建材、化工、冶金、有色等行业回转窑和燃烧炉等,

对燃料适应性强，可烧烟煤、褐煤、劣质煤和无烟煤，实现多种燃料混烧，也可用于新建厂和老厂的设备改造，其主要性能指标达到国际先进水平。目前已在全国各地多家水泥窑、活性氧化钙窑、氧化铝窑、冶金球团窑、镍铁窑等推广应用，并出口国外。

三、节能减碳效果

大推力多通道燃烧器一次用风量较传统燃烧器低 4%~7%，熟料热耗比传统燃烧器降低 0.5%~1%。

河北某水泥公司 5500t/d 水泥生产线窑头燃烧器改造，采用大推力多通道燃烧器，改造后熟料产量由 5700t/d 提高到 6150t/d，吨熟料热耗降低 3.6kgce^①，年实现节能 6160tce，年减碳量 16016tCO₂，年节能经济效益约 620 万元。

四、技术支撑单位

合肥水泥研究设计院。

2-2 大容量高参数褐煤煤粉锅炉技术

一、技术介绍

大容量高参数褐煤煤粉煤锅炉采用 π 型或塔式布置，切圆或前后墙对冲燃烧方式，配中速磨煤机或风扇磨煤机制粉系统的低 NO_x 燃烧技术，利用先进的控制技术，根据褐煤锅炉燃料特点实现不同燃料情况下锅炉的稳燃及传热特性。该锅炉技术指标先进，运行安全可靠，能有效降低煤耗和污染物排放，有良好的经济和社会效益。其关键技术包括：

(1) 炉膛定制设计技术。根据不同种类褐煤煤质特性，制定褐煤燃烧特性判别标准及不同参数褐煤锅炉炉膛选型导则。

(2) 与褐煤煤质相适应的锅炉性能监控技术。通过对进煤特性进行检测，并根据煤质特性调整送风、配风及引风机流量，实现燃烧处于最佳工作点。

(3) 大容量褐煤锅炉防结渣、高燃烧效率、低污染物排放设计技术。通过炉膛结构优化设计和温度控制实现炉膛的高效率燃烧，避免炉膛结渣；通过改进配风系统减少局部高温，降低污染物的生成。

二、应用情况

大容量高参数褐煤锅炉的应用能够解决我国褐煤在火电领域利用的难题，大量节省优质的烟煤资源，使我国煤炭资源利用结构更加合理。此外，高性能高参数褐煤锅炉的开发应用可进一步提高火电机组效率，降低煤耗和污染物排放。目前该锅炉产品已在国内市场推广应用，并出口印度、菲律宾、老挝等国。

三、节能减碳效果

内蒙古某电厂建设 2 台 600MW 超临界褐煤锅炉，利用周边拥有的丰富的褐煤资源，2 台机组每年实现节能量 21.6 万吨标准煤，减碳量 56.2 万吨 CO₂。

四、技术支撑单位

哈尔滨锅炉厂有限责任公司。

^① ce 是 consumed energy 的缩写，指能源消耗量，用标准煤表示，kgce 意指千克标准煤，tce 意指吨标准煤。

2-3 锅炉富氧燃烧技术

一、技术介绍

富氧燃烧主要是指用比普通空气（含氧 21%）的含氧浓度高的富氧空气进行燃烧，它是一项高效燃烧技术。目前富氧制备方法主要有深冷分析法、变压吸附法、膜分离法等，富氧燃烧的形式可分为微富氧燃烧、纯氧燃烧、氧气喷枪、空-氧燃烧等。与采用普通空气燃烧相比，富氧燃烧具有以下优势：

(1) 提高火焰温度。辐射换热是锅（窑）炉换热主要方式之一，按气体辐射特点，只有三原子和多原子气体具有辐射能力，原子气体几乎无辐射能力，传统空气燃烧中， N_2 在烟气中占有很大比例，其他 CO_2 和 H_2O 三原子气体仅占约 20%，而在富氧条件下，因氮气量减少，空气量及烟气量均显著减少，三原子气体所占比例高达 95%，使得烟气的辐射能力提高，故火焰温度随着燃烧空气中氧气比例的增加而显著提高，进而提高火焰辐射强度和强化辐射传热。

(2) 加快燃烧速度，促进燃烧完全。燃料在空气中和在纯氧中的燃烧速度相差甚大，如氢气在纯氧中的燃烧速度是在空气中的 4.2 倍，天然气则达到 10.7 倍左右。故采用富氧空气助燃后，能够提高燃烧强度，加快燃烧速度，获得较好的热传导。同时由于温度提高，有利于燃烧反应完全。而且，加快燃烧反应速率也可以提高燃烧设备的工作效率，提高企业生产能力，为企业创造更多效益。

(3) 降低燃料燃点温度和减少燃尽时间。燃料的燃点温度随燃烧条件变化而变化，燃料的燃点温度不是一个常数，如 CO 在空气中为 $609^\circ C$ ，在纯氧中仅 $388^\circ C$ ，因此采用富氧燃烧能降低燃料燃点、提高火焰强度、增加释放热量。

(4) 减少燃烧后的烟气量。随着富氧空气中含氧量的增加，理论空气需要量减少，烟气量减少，从而可以降低排烟热损失，提高热效率。

(5) 增加热量利用率。富氧燃烧对热量的利用率有所提高，如采用普通空气助燃，当加热温度为 $1300^\circ C$ 时，其可利用的热量为 42%，而用 26% 的富氧空气时，可利用的热量可达 56%。

(6) 减少污染物排放。富氧燃烧烟气量减少，使燃烧废气中的污染物浓度增加，可使废气处理更有效率。同时 N_2 减少可减少热力型 NO_x 生成量。

此外，富氧燃烧能将排烟中的 CO_2 浓度提高到 95%，有利于对 CO_2 进行分离、回收，对于实施 CO_2 捕集和封存，控制温室气体排放具有一定的积极作用。

二、应用情况

富氧燃烧技术对所有燃料（包括气体、液体、固体）和工业锅（窑）炉均适用，目前在玻璃、冶金、水泥等行业及热能工程领域均有广泛应用。

以江苏某企业为例，将膜法富氧生产装置应用于 WGC20/3182-I 型燃煤蒸汽锅炉，主要工艺为：空气经净化除尘后送至富氧发生器，制备含氧体积分数为 28%~30% 的富氧空气，然后经汽水分离器、脱湿罐和稳压罐，脱除气体中的水分，由增压风机将富氧空气增压至 3000~4500Pa 后进入富氧预热器，该预热器安装于锅炉空预器和省煤器之间的烟道内。富氧空气加热至大于 $80^\circ C$ 后分为两路，一路通入炉排下面的二、三风室，由导风器、富氧均化喷头横向均匀地高速喷入炉内煤层进入炉膛，使该燃烧区内的火焰温度升高，并增强火焰刚性；另一路由后拱前端通过具有扩散角的“富氧高温喷嘴”喷入火焰上部，使火焰中的

未完全燃烧物达到完全燃烧，并获得消烟除尘、提高火焰温度的效果。某企业膜法富氧制取装置流程简图如图 2.2 所示。

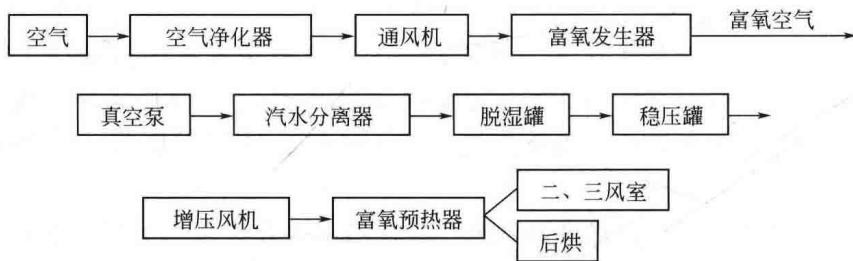


图 2.2 某企业膜法富氧制取装置流程简图

该工艺的安装不改变锅炉原有结构和工作状态，仅预热系统和富氧喷嘴与锅炉接触，对锅炉的性能和安全无任何影响。根据改造后两年多的运行效果，富氧燃烧改造实现了提高吨煤产汽量，节煤、节电，提高锅炉出力的效果。此外，由于提高了燃烧效率，烟气中的烟尘量明显下降，大大降低了除尘器负荷。

三、节能减碳效果

某公司 20t/h 燃煤锅炉采用膜法富氧燃烧技术进行改造，改造后实现提高锅炉出力 10% 左右，直接取得年节电 712 万千瓦·时、节煤 2142t 的节能效果，实现年减碳量 10045tCO₂，年经济效益 74133 万元。

四、技术支撑单位

山东烟台华盛燃烧设备工程有限公司，中国建筑材料科学研究总院。

2-4 锅炉燃烧温度测控及性能优化技术

一、技术介绍

锅炉燃烧温度测控及性能优化技术是以先进的测控技术和仪器进行数据采集，以煤-风-温度合理匹配为基础，优化锅炉系统燃烧，提高锅炉整体效率，降低锅炉煤耗。该技术通过对烟气温度、煤粉细度等进行在线监测，采集锅炉运行数据并储存到数据库，根据数据库已有实际运行数据设计优化方案，进行由单变量到多变量的锅炉试验。试验后由经济运行系统建立锅炉的数学模型，同时采用自训练方式不断对锅炉模型进行完善优化，以达到最优方案选择进而进行锅炉调试，调试结果可通过部分闭环控制，或发布运行指导意见以达到优化燃烧的目的。此外，系统在运行期间会不断进行补充验证，从而优化实验模型，实现模型的动态管理。具体流程如图 2.3 所示。

二、应用情况

锅炉燃烧温度测控及性能优化技术可应用于各种工业燃煤锅炉，目前已经进行大范围推广，在华电、国电、大唐等多家电厂的多台亚临界、超临界等燃煤锅炉（6MW~600MW）和循环流化床锅炉得到成功应用。

以黑龙江某电厂 2×300MW 热电联产机组锅炉性能优化改造为例，主要技改包括：安装火电机组智能运行优化及管理系统、安装小指标绩效考核软件、安装远红外炉膛出口烟气温度监控装置、安装性能优化服务器等。优化后使锅炉热效率得到提高，有效降低供电煤耗。同时由于增加了关键点运行参数控制，实现实时在线监测炉膛出口烟温，预防和控制锅

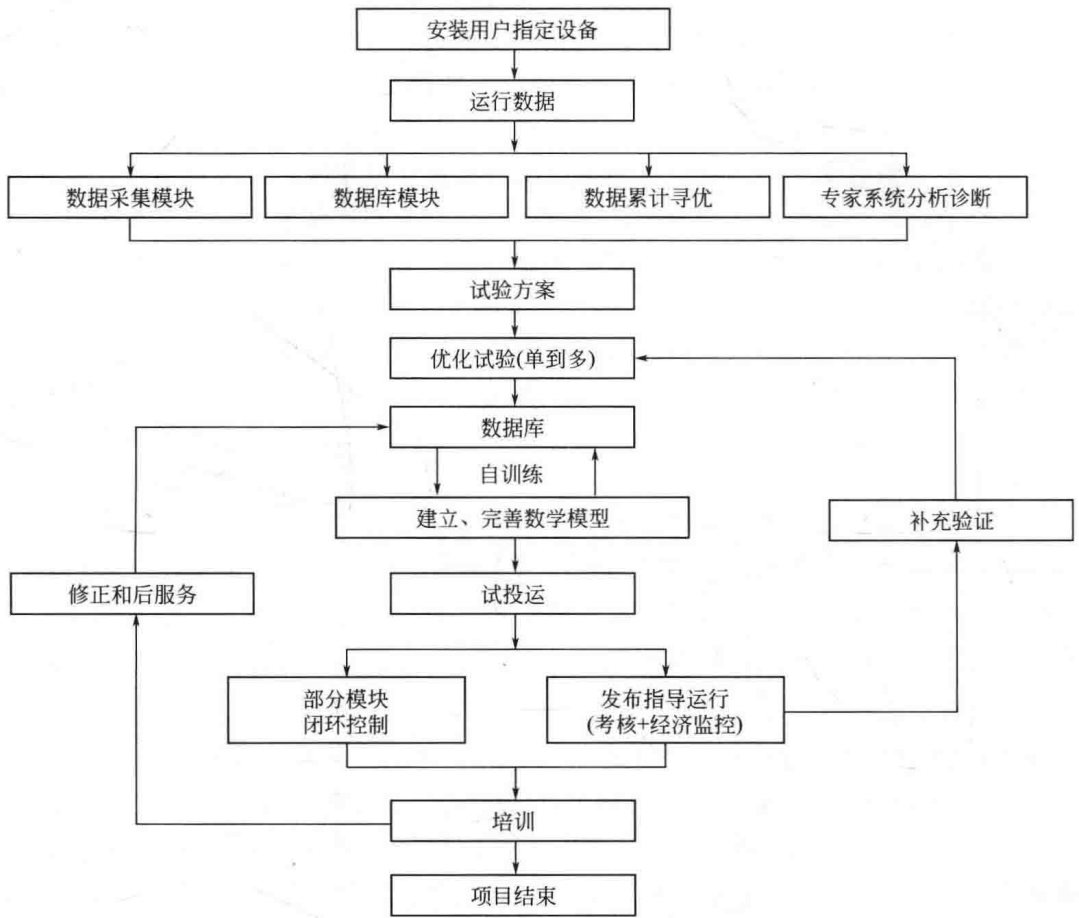


图 2.3 锅炉节能检测及系统优化流程图

炉结焦；控制过热器与再热器的管壁温度，降低过热器和再热器的等效强制停机率；延长锅炉部件使用寿命，降低锅炉维修费用和可用率等，间接经济效益也非常可观。

三、节能减碳效果

锅炉燃烧温度测控及性能优化技术可提高锅炉效率 0.3% 以上，降低供电煤耗 1gce/(kW·h) 以上。

某电厂对其 2×300MW 热电联产机组锅炉采用该技术进行优化改造，每年实现节能量 4099tce，年减碳量 10657tCO₂，年节能经济效益 266 万元。

四、技术支撑单位

天津鹰麟节能科技发展有限公司。

2-5 锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警技术

一、技术介绍

锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统，以能量守恒定律、传热学和工程热力学原理为基础，建立软测量模型、统计回归、模糊逻辑数学及人工神经网络等分析运算体系，将锅炉水冷壁、过热器、再热器、省煤器“四管”及省煤器后尾部烟道空预器污染程度进行量化处理和图像转换，显示实时参考画面和污染数据，使各受热面的污染率“可视化”，从而确定