

冶金石灰 生产技术手册

初建民 高士林 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

冶金石灰生产技术手册

初建民 高士林 主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2009

内 容 提 要

《冶金石灰生产技术手册》介绍了冶金石灰的基本知识、所使用的原料和燃料、焙烧原理、成品加工、生产过程控制及环境保护、主要生产过程所使用的设备以及生产系统附属装置等,特别对于冶金石灰的焙烧使用的各种窑炉的窑型、热工原理、结构规格、附属设备、施工、操作维修等作了重点介绍。

本书可供冶金石灰、化工、建材和窑业等专业技术人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金石灰生产技术手册/初建民,高士林主编. —北京:冶金工业出版社,2009.9

ISBN 978-7-5024-4993-3

I. 冶… II. ①初… ②高… III. 冶金—石灰—生产工艺—技术手册 IV. TF044-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 141017 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

策划编辑 曹胜利

责任编辑 程志宏 谭学余 美术编辑 李 新

版式设计 张 青 孙跃红 责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4993-3

北京盛通印刷股份有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 9 月第 1 版,2009 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;32 印张;854 千字;491 页;1-2500 册

128.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《冶金石灰生产技术手册》编写人员

主 编 初建民 高士林

副 主 编 尹 高 杨耕桃

编写人员 （以姓氏笔画为序）

于凌云	王学义	王洪涛	王海波	王景玉	王维山
尹 高	左大武	关世文	孙贵春	李云华	李福海
杜连喜	沈 浩	初建民	陈庆明	单永丰	杨耕桃
张 超	柏 杉	洪艳萍	赵宝海	赵新桥	侯成巍
宫雪松	高 磊	高士林	郭惠明	夏敬山	曹 旗
黄德民	隆知洪	程伟丰	潘洪文	霍 欣	霍延中
管少鹏					

前 言

冶金石灰是钢铁生产的重要熔剂和造渣材料之一，我国各大、中型钢铁企业基本上都有冶金石灰的生产设施。在 20 世纪 50 ~ 60 年代，我国钢铁企业的冶金石灰生产设施极其简陋。窑炉基本上采用竖窑。有些竖窑机械化程度稍高些，但大部分是以人工操作为主。燃料多数使用焦炭和无烟煤。生产的冶金石灰的质量参差不齐，生烧、过烧较多，一般活性度都在 250mL 以下。由于石灰的质量较差，活性度较低，有效氧化钙含量低，炼钢消耗石灰量较大。冶金石灰的生产和使用也没有被高度重视。

1974 年以后，随着武钢 1700 引进工程及宝钢的建设，钢铁冶炼技术有大幅度改进，生产品种不断增多，质量水平也不断提高。随之钢铁生产，特别是转炉炼钢生产对冶金石灰提出了更加严格的要求。要求石灰具有较高的活性度和较低的硫含量，即要求使用“活性石灰”。业界开始重视冶金石灰的生产和使用。为提高冶金石灰的质量，使得石灰石的选取、开采、运输、加工，焙烧窑炉的选型、改进，成品石灰的加工等技术都逐渐被提到日程上来。

首先就是要提高对原料石灰石的质量要求。选择氧化钙含量高、低硫的石灰石，有些企业在石灰石进厂后增设了控制粒度和水洗去除泥沙杂质的工艺。对焙烧窑炉和燃料的使用更是下了一番工夫。选择带预热器的大型回转窑、并流蓄热式双膛竖窑、套筒式竖窑等各种先进窑炉，采用无灰的气体燃料等。成品的贮存和粒度控制也更加讲究。这些都大大提高了冶金石灰的质量。如今，我国冶金石灰的生产技术和装备水平都达到了较高水平。

采用高质量的石灰可为钢铁生产带来一系列好处，特别是对于转炉炼钢更是如此。有资料统计，采用高质量的石灰（活性石灰）与使用普通石灰相比，转炉吹炼时间可缩短 10%，钢水收得率可提高 1%，石灰消耗可减少 30% 以上，萤石使用量可节省 25% 左右，原料的废钢比可提高 2.5 个百分点左右。此外，使用活性石灰还有利于炼钢过程的脱硫、去磷和提高转炉炉衬的寿命。有专家认为，氧气炼钢工艺的最大改进之一要依赖改进化渣操作，而改进化渣操作则须由提高石灰质量来实现。

当前我国钢铁工业的飞速发展，产量的急剧增加，生产技术的快速提高，使得冶金石灰生产与装备越来越引起人们的重视。为提高冶金石灰的生产水平，企业生产人

员和技术人员亟须掌握一些冶金石灰的知识，目前有关石灰方面的书籍很少。为满足石灰生产人员和技术人员的需求，中冶焦耐工程技术有限公司组织了有实际生产经验的工程技术人员，认真编制大纲，并广泛收集资料，为编写本手册做了充分的准备。尽管参编人员面临着繁忙的生产任务，但在公司领导全力支持和编写人员共同努力下，使得手册顺利完成。手册的编写还得到了其他相关企业生产一线具有丰富实际生产经验的技术人员大力支持，他们不仅参加了手册部分内容的编写工作，还为本书提供了大量宝贵的技术资料。手册在编写过程中参考引用了国内外一些技术资料，编者为文献作者表示感谢。编者在编写过程中也邀请了一些专业人员对书中内容反复审读与推敲，力求准确无误。但由于时间紧迫及参考资料有限，难免存在缺憾、不足甚至错误，恳请广大读者多提宝贵意见。

值此出版之际，编者谨向给予本书出版鼎力支持的中冶焦耐工程技术有限公司领导致谢，向对本书给予过大力支持和帮助以及提供技术资料的人们致谢。

编 者
2008 年 10 月

目 录

1 石灰	1
1.1 石灰的性能	1
1.1.1 石灰的化学成分	2
1.1.2 石灰的化学性质	4
1.1.3 石灰的物理性质	5
1.1.4 石灰的矿物组成	6
1.2 轻烧白云石	7
1.2.1 轻烧白云石的化学成分	7
1.2.2 轻烧白云石的理化性质	8
1.3 石灰的检测方法	9
1.3.1 组批	9
1.3.2 取样和制样方法	9
1.3.3 化学检验方法	10
1.3.4 物理检验方法	12
1.4 冶金石灰的技术指标	14
1.4.1 冶金石灰的行业标准	14
1.4.2 部分国外企业冶金石灰的技术指标	15
1.5 国内主要钢铁企业冶金石灰的质量标准和现状	16
1.5.1 我国主要钢铁企业的石灰质量标准	16
1.5.2 我国主要钢铁企业的冶金石灰概况	17
2 石灰在冶金工业中的应用	23
2.1 石灰在烧结中的应用及烧结对石灰的要求	24
2.2 石灰在炼铁中的应用及炼铁对石灰的要求	25
2.2.1 高炉炼铁过程中 S 的来源和变化	25
2.2.2 石灰在炼铁中的应用	26
2.2.3 炼铁对石灰的要求	27
2.3 铁水预处理对石灰的要求	27
2.4 石灰在炼钢中的应用及炼钢对石灰的要求	28
2.4.1 炼钢造渣过程及工作机理	29
2.4.2 石灰在炼钢过程中的熔解机理	30
2.4.3 炼钢对石灰及相关生产工艺的要求	31
2.4.4 活性石灰在炼钢中应用的效果	31

2.5 石灰在炉外精炼中的应用及炉外精炼对石灰和相关材料的要求	33
2.5.1 合成渣洗法	34
2.5.2 喷射冶金法	34
2.5.3 炉外精炼对石灰及相关生产工艺的要求	35
2.6 轻烧白云石对转炉炼钢溅渣护炉的影响	35
3 原料	36
3.1 石灰石	36
3.1.1 概述	36
3.1.2 石灰石的性质	36
3.1.3 石灰石的分解	37
3.1.4 石灰石的开采	39
3.1.5 石灰石的应用领域	39
3.1.6 冶金用石灰石	40
3.1.7 冶金石灰石的物理性质	40
3.1.8 主要钢铁企业使用石灰石质量指标	41
3.2 白云石	42
3.2.1 概述	42
3.2.2 白云石的应用领域	43
3.2.3 冶金用白云石	43
3.2.4 白云石资源及质量指标	45
3.2.5 部分国外白云石原料化学成分	46
3.3 部分企业石灰石、白云石原料情况	46
3.4 石灰石、白云石的检测方法	46
3.4.1 组批	47
3.4.2 取样、制样	47
3.4.3 试验方法	47
4 燃料	49
4.1 焙烧石灰对燃料的要求	49
4.1.1 焙烧石灰对固体燃料的要求	49
4.1.2 焙烧石灰对液体燃料的要求	50
4.1.3 焙烧石灰对气体燃料的要求	51
4.2 焙烧石灰用焦炭	51
4.2.1 焦炭化学成分	52
4.2.2 焦炭化学性质	52
4.2.3 焦炭的物理性质	53
4.2.4 焦炭机械强度	54
4.2.5 焦炭的粒度组成	54

4.2.6 焦炭的灰分及灰分熔点	54
4.2.7 不同窑型对焦炭的要求	54
4.3 焙烧石灰用气体燃料	55
4.3.1 焦炉煤气	55
4.3.2 高炉煤气、转炉煤气、混合煤气	55
4.3.3 天然气、电石炉煤气	56
4.3.4 不同窑型对气体燃料的要求	58
4.4 焙烧石灰用煤	58
4.4.1 烟煤和无烟煤	58
4.4.2 煤粉	63
4.5 主要钢铁企业石灰生产使用燃料的现状和技术指标	65
5 进厂原料的控制及贮存	68
5.1 进厂原料的不同生产工艺	68
5.1.1 以合格料进厂的石灰石生产工艺	68
5.1.2 以不合格料进厂的石灰石生产工艺	68
5.2 原料的破碎与筛分	68
5.2.1 不同窑炉对原料粒度的要求	68
5.2.2 破碎设备	70
5.2.3 筛分设备	73
5.3 原料的洗涤	79
5.3.1 洗涤必要性及洗涤工艺	79
5.3.2 洗涤用设备	80
5.3.3 洗涤用水及用后水处理	81
5.3.4 部分企业原料来源状况及洗涤工艺	81
5.4 原料贮存	83
5.4.1 原料贮存方式	83
5.4.2 原料仓库用设备	88
5.5 部分企业原料仓库状况	94
5.5.1 某甲厂原料仓库	94
5.5.2 某乙厂原料仓库	95
5.5.3 某丙厂原料仓库	95
5.5.4 某丁厂原料仓库	95
6 窑前工艺与设备	98
6.1 竖窑窑前工艺	98
6.1.1 气体（或液体）燃料竖窑窑前工艺	98
6.1.2 固体燃料竖窑窑前工艺	99
6.2 带链算预热机的回转窑上料工艺	99

6.3 带竖式预热器的回转窑上料工艺	100
6.4 窑前设备	101
6.4.1 给料设备	101
6.4.2 窑前筛分设备	110
6.4.3 运输、提升设备	111
6.4.4 计量设备	112
6.4.5 其他设备	114
7 石灰石的焙烧原理	115
7.1 碳酸钙的分解反应及分解速度	115
7.2 石灰石焙烧过程的次生反应	115
7.3 用竖窑焙烧石灰石的热工原理	116
7.3.1 竖窑内的物料运动	116
7.3.2 竖窑内的气流运动	117
7.3.3 竖窑内的燃料燃烧	118
7.3.4 竖窑的热工计算	121
7.4 用回转窑焙烧石灰石的热工原理	124
7.4.1 回转窑内的物料运动与气体运动	124
7.4.2 回转窑的燃料燃烧与热交换	126
8 焙烧石灰用机械化焦炭竖窑及低热值燃气竖窑	129
8.1 机械化焦炭竖窑	129
8.1.1 竖窑结构及规格	129
8.1.2 竖窑附属设备	133
8.1.3 机械化焦炭竖窑的操作与维修	160
8.1.4 部分企业机械化竖窑的统计技术资料	173
8.2 低热值燃气竖窑	175
8.2.1 竖窑结构及规格	175
8.2.2 竖窑附属设备	177
8.2.3 低热值燃气石灰竖窑的操作与维修	177
8.2.4 部分企业低热值燃气石灰竖窑的统计技术资料	184
8.3 机械化焦炭竖窑及低热值燃气竖窑的内衬	187
8.3.1 竖窑内衬结构及对耐火材料的要求	187
8.3.2 常用耐火材料的理化性能	191
8.3.3 竖窑内衬的使用效果及使用寿命	191
8.3.4 竖窑内衬耐火材料的砌筑施工	192
8.3.5 竖窑烘窑	199
8.4 机械化焦炭竖窑及低热值燃气竖窑的施工及设备安装	201
8.4.1 窑炉主体的施工和安装	201

8.4.2 窑炉附属设备及管道的安装	202
8.4.3 竖窑系统设备的空负荷试车和负荷试车	202
9 焙烧石灰用并流蓄热式双膛竖窑及双 D 窑	207
9.1 概述	207
9.2 并流蓄热式双膛竖窑的热工特性及原理	207
9.2.1 并流蓄热式双膛竖窑的热工特性	207
9.2.2 并流蓄热式竖窑工作原理	208
9.3 并流蓄热式双膛竖窑的结构及规格	209
9.3.1 双膛竖窑结构	209
9.3.2 双膛竖窑规格及技术数据	212
9.4 双膛竖窑的附属设备	212
9.4.1 加料设备	212
9.4.2 窑顶设备	214
9.4.3 出窑设备	216
9.4.4 燃料燃烧系统	217
9.4.5 机械系统	223
9.5 双 D 窑	225
9.5.1 双 D 窑的热工原理	225
9.5.2 双 D 窑的结构及规格	225
9.5.3 双 D 窑附属设备	227
9.5.4 影响双 D 窑能耗的主要因素	229
9.6 双膛竖窑的施工及设备安装	232
9.6.1 窑炉主体的施工和安装	232
9.6.2 窑炉附属设备及管道的安装	238
9.7 竖窑系统设备的空负荷试车和负荷试车	243
9.7.1 调试的前提条件	243
9.7.2 系统的调试	243
9.7.3 液压系统的调试	244
9.7.4 鼓风系统的调试	244
9.7.5 窑体的压力试验	245
9.7.6 供热系统的调试 (以燃煤系统为例)	245
9.7.7 供料系统的调试	246
9.7.8 卸料系统的调试	247
9.7.9 废气净化系统的调试	247
9.7.10 柴油点火系统的调试	247
9.8 双膛竖窑的内衬	247
9.8.1 双膛竖窑内衬结构及对耐火材料的要求	247
9.8.2 双膛竖窑常用耐火材料的理化性能	248

9.8.3 双膛竖窑内衬的使用效果及使用寿命	251
9.8.4 双膛竖窑内衬耐火材料的砌筑施工	252
9.8.5 双膛竖窑烘窑	256
9.9 关于煤粉燃烧系统	258
9.9.1 煤粉加热系统的主要设备组成	258
9.9.2 故障分析及处理方法	259
9.9.3 各类阀的状态及其变化	266
9.9.4 对窑前煤粉仓压缩空气系统的液体控制	269
9.10 并流蓄热式双膛竖窑煅烧小块石灰石	269
9.10.1 石灰石加料系统	269
9.10.2 燃料供给系统	270
9.10.3 窑的断面形状	271
9.10.4 冷却带的设计	271
9.11 部分企业双膛竖窑及双 D 窑的统计资料	271
10 焙烧石灰用套筒式竖窑	272
10.1 套筒式竖窑焙烧的特点	272
10.2 套筒式竖窑的结构及规格	272
10.2.1 套筒式竖窑的结构	272
10.2.2 套筒式竖窑的规格及技术数据	274
10.3 套筒式竖窑的附属设备	275
10.3.1 上料设备	275
10.3.2 窑顶设备	275
10.3.3 出窑设备	275
10.3.4 燃料燃烧系统	276
10.4 套筒式竖窑的施工及设备安装	278
10.4.1 窑炉主体的施工和安装	278
10.4.2 窑炉附属设备及管道的安装	279
10.4.3 竖窑系统设备的空负荷试车和负荷试车	279
10.5 套筒式竖窑的内衬	280
10.5.1 竖窑内衬结构及对耐火材料的要求	280
10.5.2 竖窑常用耐火材料的理化性能	280
10.5.3 竖窑内衬的使用效果及使用寿命	281
10.5.4 竖窑内衬耐火材料的砌筑施工	282
10.5.5 竖窑烘窑	284
10.6 套筒窑的操作与维修	285
10.6.1 循环气体的温度	285
10.6.2 石灰石料位	285
10.6.3 燃烧室	285

10.6.4	内套筒冷却空气	286
10.6.5	驱动风	286
10.6.6	停窑	286
10.6.7	石灰窑的维护	286
11	焙烧石灰用梁式烧嘴竖窑	288
11.1	梁式烧嘴竖窑的热工原理	288
11.2	梁式烧嘴竖窑的结构和规格	288
11.2.1	梁式烧嘴竖窑的结构	288
11.2.2	梁式烧嘴竖窑的规格及其技术性能	289
11.3	梁式烧嘴竖窑的附属设备	290
11.3.1	加料设备	290
11.3.2	料位监控装置	290
11.3.3	出灰装置	290
11.3.4	燃料燃烧系统	290
11.3.5	导热油系统设备	292
11.4	梁式烧嘴竖窑的施工及设备安装	292
11.4.1	窑炉主体钢结构件及主要机械设备的安装	292
11.4.2	竖窑系统冷态调试和热态调试	293
11.5	梁式烧嘴竖窑的内衬	297
11.5.1	梁式烧嘴竖窑的内衬结构	297
11.5.2	梁式烧嘴竖窑常用耐火材料的理化性能	297
11.5.3	梁式烧嘴竖窑的内衬砌筑施工	298
11.5.4	竖窑烘窑	300
11.6	梁式烧嘴竖窑的操作与维修	303
11.6.1	梁式烧嘴竖窑的操作	303
11.6.2	梁式烧嘴竖窑的维修	303
11.6.3	梁式窑操作控制的几点要领	304
11.7	部分企业梁式烧嘴竖窑的统计技术资料	304
12	焙烧石灰用回转窑	305
12.1	回转窑的结构	305
12.1.1	回转窑筒体	305
12.1.2	回转窑的支撑和传动装置	306
12.1.3	窑头罩、窑尾罩和密封装置	309
12.2	回转窑的规格	311
12.3	炉算式预热机和推动算式冷却机	312
12.3.1	炉算式预热机和推动算式冷却机的工作原理	312
12.3.2	炉算式预热机和推动算式冷却机的结构和技术规格	312

12.4 竖式预热器和竖式冷却器	314
12.4.1 竖式预热器和竖式冷却器的工作原理	314
12.4.2 竖式预热器和竖式冷却器的结构和技术规格	315
12.5 回转窑的内衬	317
12.5.1 回转窑内衬结构及对耐火材料的要求	317
12.5.2 回转窑常用耐火材料的理化性能	318
12.5.3 回转窑内衬耐火材料的砌筑施工	318
12.5.4 回转窑烘窑	319
12.6 回转窑的施工及设备安装	320
12.6.1 窑炉主体的施工和安装	320
12.6.2 窑炉附属设备及管道的安装	326
12.6.3 回转窑系统设备的空负荷试车和负荷试车	326
12.7 回转窑的操作与维修	327
12.7.1 试运转前的检查	327
12.7.2 运转中的机械调整	328
12.7.3 润滑装置	329
12.7.4 定期检查	329
12.7.5 维修	330
12.7.6 运转中常见故障及处理措施	332
12.8 部分企业石灰回转窑的统计技术资料	333
12.8.1 重点冶金石灰企业回转窑石灰产量	333
12.8.2 重点冶金石灰企业石灰质量	333
12.8.3 重点冶金石灰企业石灰煤耗	333
12.8.4 重点冶金石灰企业石灰生产电耗	334
12.8.5 重点冶金石灰企业生产成本	334
12.8.6 重点冶金石灰企业产品销售价格	334
13 焙烧石灰用其他窑型	335
13.1 悬浮窑	335
13.1.1 概述	335
13.1.2 悬浮窑的热工原理	335
13.1.3 悬浮窑的生产系统	336
13.1.4 悬浮窑的结构和技术规格	337
13.1.5 使用燃料	338
13.1.6 悬浮窑的热工控制	338
13.1.7 技术性能	339
13.1.8 悬浮窑的内衬	339
13.2 CID 窑	340
13.2.1 CID 窑的结构和热工原理	340

13.2.2	CID 窑的特点	342
13.2.3	CID 窑的技术经济指标	343
14	我国冶金石灰窑炉的发展方向	345
14.1	冶金石灰窑炉向大型化规模化生产发展	345
14.2	冶金石灰窑炉向节能型精细化生产发展	345
14.3	冶金石灰窑炉向机械化自动化生产发展	346
14.4	冶金石灰窑炉向环保型洁净化生产发展	346
14.5	冶金石灰窑炉向综合利用循环经济发展	346
15	煤粉制备系统	347
15.1	磨煤系统的选择	347
15.1.1	磨煤机的选型	347
15.1.2	原煤的干燥	347
15.1.3	磨煤系统工艺流程的选择	348
15.2	磨煤系统的计算	350
15.2.1	磨煤机的生产能力和所需功率的计算	350
15.2.2	磨煤系统的通风量和热平衡计算	353
15.2.3	磨煤系统的流体阻力计算	358
15.3	磨煤机和分离器的规格性能	360
15.3.1	钢球磨煤机的规格性能	360
15.3.2	辊式磨煤机的规格性能	367
15.3.3	$\phi 1900\text{mm}$ 、 $\phi 2200\text{mm}$ 和 $\phi 2500\text{mm}$ 粗粉分离器的规格性能	368
15.3.4	HG-CB 型粗粉分离器的规格性能	369
15.3.5	HG-XB 型旋风分离器的规格性能	369
15.3.6	标定资料	371
15.4	煤粉输送系统	372
15.4.1	煤粉输送系统概述	372
15.4.2	气力输送系统简介	373
15.4.3	气力输送系统存在的问题及处理	374
15.5	煤粉制备系统的自动控制系统和安全生产	376
15.5.1	煤粉制备系统的自动控制系统	376
15.5.2	煤粉制备系统中常见的安全事故	377
15.5.3	煤粉制备系统生产中的安全措施	377
16	煤气加压站	379
16.1	煤气加压系统的选择	379
16.1.1	工艺布置及建筑要求	379
16.1.2	一般原则	379

16.2 主要设备配置和规格性能	380
16.2.1 煤气加压机台数的确定	380
16.2.2 加压机工作点的选用	380
16.2.3 加压机设计流量的确定	380
16.2.4 加压机台数的确定	381
16.3 煤气输送系统	381
16.3.1 加压机进、出口管道	381
16.3.2 站区进、出口总管	382
16.4 煤气加压系统的自动控制和生产安全	382
17 成品石灰的贮运、加工	383
17.1 出窑后石灰的运输和运输设备	383
17.1.1 出窑后石灰的运输	383
17.1.2 石灰的运输设备	383
17.1.3 石灰的装车设备	389
17.1.4 石灰的给料设备	393
17.2 石灰的筛分、破粉碎加工和加工设备	396
17.2.1 石灰的筛分、破粉碎加工工艺	396
17.2.2 石灰的筛分设备	400
17.2.3 石灰的破粉碎加工设备	402
17.2.4 石灰的除铁设备	411
17.3 石灰成品的贮存	412
17.4 冶金用石灰加工产品	413
17.4.1 石灰用于烧结	413
17.4.2 石灰用于高炉炼铁	413
17.4.3 石灰用于铁水预处理	413
17.4.4 石灰用于炼钢	414
17.4.5 石灰用于炉外精炼	414
17.4.6 消石灰	414
18 石灰在其他领域的应用及石灰窑二氧化碳气体回收利用	418
18.1 石灰在其他领域的应用	418
18.1.1 石灰在建材行业的应用	418
18.1.2 石灰在化工行业的应用	418
18.1.3 石灰在环保行业的应用	420
18.2 我国冶金石灰窑二氧化碳回收概况	420
18.3 二氧化碳回收工艺	422
18.3.1 吸收工艺	422
18.3.2 吸附工艺	422

18.3.3 膜技术分离回收二氧化碳	423
18.3.4 蒸馏工艺	423
18.4 二氧化碳回收设备	423
18.4.1 变压吸附法的主要设备	424
18.4.2 膜吸附法的主要设备	426
18.5 二氧化碳的深加工利用	426
19 石灰生产过程控制	428
19.1 电气控制	428
19.1.1 控制系统概述	428
19.1.2 原料输送	429
19.1.3 竖窑系统	430
19.1.4 回转窑系统	430
19.1.5 除尘地面站	431
19.1.6 循环水系统	432
19.1.7 成品输送	432
19.1.8 煤粉制备及输送	433
19.2 仪表自动化	434
19.2.1 概述	434
19.2.2 回转窑仪表自动化测控系统	434
20 冶金石灰生产的环境保护	439
20.1 概述	439
20.1.1 冶金石灰生产系统的主要污染	439
20.1.2 冶金石灰生产系统的主要污染控制与治理措施	440
20.2 粉尘治理	447
20.2.1 粉尘性质	448
20.2.2 原料工段粉尘治理	450
20.2.3 贮运及加工过程粉尘治理	451
20.2.4 焙烧窑炉烟尘治理	458
20.3 生产过程噪声的治理	470
20.3.1 除尘系统的噪声源	470
20.3.2 除尘系统的噪声控制	471
20.3.3 通风机组的隔振与噪声控制	472
20.4 污水治理	473
20.4.1 洗石水来源及水质	473
20.4.2 洗石水处理方法	474
20.4.3 工艺流程及操作管理	474
20.4.4 主要设备结构及维护	478