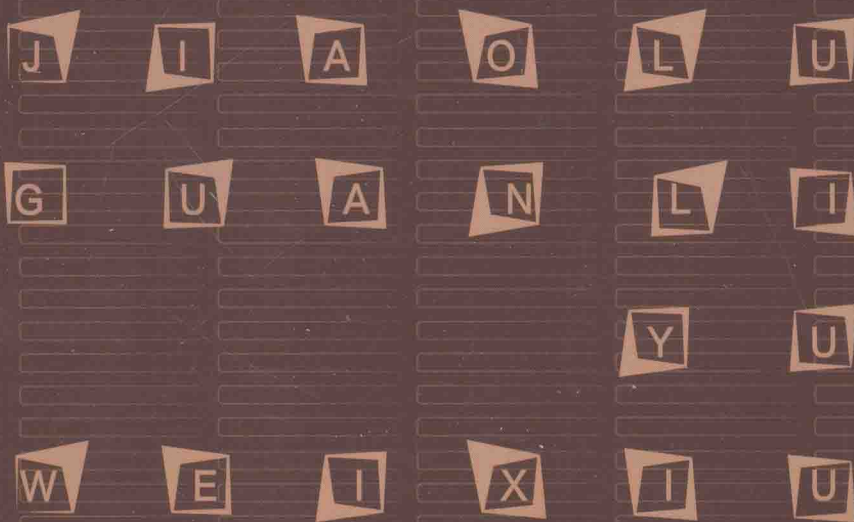


焦炉

管理与维修

马鞍山钢铁股份有限公司煤焦化公司 组织编写
杨建华 邱全山 王水明 钱虎林 许万国 编



化学工业出版社

焦炉

管理与维修

马鞍山钢铁股份有限公司煤焦化公司 组织编写
杨建华 邱金山 王水明 钱虎林 许万国 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从实际应用出发,简略地介绍了炼焦、干熄焦技术的发展和进展、焦炉炉型和炉体单元结构;阐述了耐火材料基本特性和焦炉炉体、护炉铁件管理的基本要求;分析了焦炉砌体的损坏机理;对于焦炉日常维护的主要工作、措施和方法作了详细的描述;对于焦炉炉体的各种修理方法,如吊顶边火道修理、揭顶多火道切除修理、全火道中修、炉顶翻修等修理工程的具体组织、实施工法、工器具等,结合图表进行了尽可能详尽介绍。同时本书以适当的篇幅介绍了干熄焦、克劳斯炉的运行管理要求和炉体的基本结构、维修方法等。

本书可以作为焦化厂的管理、技术、操作人员以及从事焦炉建设、维修的有关人员的工作参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

焦炉管理与维修/杨建华等编:马鞍山钢铁股份有限公司煤焦化公司组织编写. —北京:化学工业出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-122-18574-7

I. ①焦… II. ①杨…②马… III. ①炼焦炉-管理
②炼焦炉-维修 IV. ①TQ522. 15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 237606 号

责任编辑:辛 田

文字编辑:冯国庆

责任校对:宋 玮

装帧设计:尹琳琳

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 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数408千字 2014年1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

序

焦化行业有一句俗语“焦炉是焦化厂的命根子”。焦炉的寿命取决于操作管理、日常维护、砌体修理，方法得当可以使焦炉正常服役 30 年乃至 40 年以上。而疏于管理、维修的焦炉，在 5 年、10 年后就难以正常生产的例子也不鲜见。

本书围绕焦炉的管理、维护、修理，对炼焦技术的发展、焦炉的基本炉型、炉体单元结构、耐火材料的基本性质做了概要介绍；对焦炉砌筑和烘炉、生产操作管理、砌体损坏机理、砌体日常维护和修理、护炉铁件的管理与修理等方面做了详尽介绍，包括了具体的工具制作、修理方法等，使之具有较强的操作性；对焦炉维护、修理的一些新技术、新方法如火焰焊补、半干法喷补、陶瓷焊补、空压密封的设备、材料、原理、应用等也做了详细介绍。

近十年来，干熄焦技术在我国焦化行业广泛推广应用，其砌体的管理、修理、长寿成为行业普遍关注的焦点，本书用一章的篇幅，对干熄焦炉体的损坏、修理、新材料的研究与应用做了介绍。此外我国还有为数不少的处理焦炉煤气硫化氢的克劳斯炉，在本书的最后一章，介绍了克劳斯炉砌体的耐火材料性质、砌筑、烘炉、修理、运行要点等。

组织编写本书的马钢煤焦化公司具有五十多年的历史，由于不断发展的原因，该公司拥有炭化室高 4.3m、5m、6m、7.63m 焦炉，拥有处理能力 $1 \times 125\text{t/h}$ 、 $2 \times 125\text{t/h}$ 、 $2 \times 130\text{t/h}$ 的 5 套干熄焦装置，对这些不同炉型焦炉和干熄焦的管理、维护、修理具有丰富的经验。多年来，进行过吊顶边火道修理、揭顶多火道切除修理、全火道中修、炉顶翻修、干熄焦年修等修理工作；日常维护中，应用抹补、火焰焊补、半干法喷补、陶瓷焊补、空压密封等技术，使焦炉的最长炉龄达到 43 年。由于管理科学，作为国家干熄焦国产化示范工程的处理能力 $1 \times 125\text{t/h}$ 的 3[#] 干熄焦装置，目前已经运行了近 10 年，尚未大修，炉体寿命超过设计的 8 年预期寿命。

2000 年以后，我国焦化工业快速发展，2012 年的焦炭产能已经达到 4 亿吨以上，超过世界产量的 50%，众多的各种炉型的焦炉进入中、老年期。本书内容丰富，理论性、实践性、系统性、实用性强，相信本书对于焦化同行在进行焦炉维护、修理工作时，会有所裨益。

中钢设备股份有限公司 焦化业务总监 教授级高级工程师
韩冬

前言

焦炉虽然“傻、大、笨、粗”，却是焦化厂日常生产、操作管理要求最高、最主要的设备，并且服役期长达数十年。在焦化基建工程中，焦炉费用占总投资比例最大，建设周期最长。因此，焦炉的长寿运行既是焦化工作者的荣耀，也是企业追求的一个重要目标。

焦炉自开始砌筑之时起，其日后的“健康”就与管理、操作、维护、修理密切相关。本书围绕着上述环节，从实际应用出发，在简略介绍炼焦、干熄焦技术的发展和进展的基础上，对炉体单元结构作了剖析；分析了焦炉砌体的损坏机理，对于焦炉日常维护的主要工作、措施和方法作了详细的描述，力图使读者能知其然并知其所以然。

基于焦炉修理的需要，本书阐述了耐火材料基本特性，对于焦炉炉体的各种修理方法，如吊顶边火道修理、揭顶多火道切除修理、全火道中修、炉顶翻修等修理工程的具体组织、实施工法、工器具等，结合图表进行了尽可能详尽介绍。

本书以适当的篇幅介绍了干熄焦、克劳斯炉的运行管理要求和炉体的基本结构、维修方法等。

本书可以作为焦化厂的管理、技术、操作人员以及从事焦炉建设、维修的有关人员的工作参考用书。

本书的编者都是经验丰富的资深专业人员。第1章、第2章由杨建华编写，第3章、第9章由钱虎林编写，第4章、第7章、第8章由邱全山编写，第5章、第6章由王水明编写，第10章由许万国编写。全书由杨建华构架、审阅及统稿。本书在编写过程中得到马钢利民建筑安装有限责任公司关于检修方法的一些帮助；甘晓平、邹华、宋前顺、崔涛为本书的编写做了资料方面的工作，在此一并致谢。

由于编者水平有限，本书的不当之处敬请同行指正。

编者

目录

第 1 章 炼焦技术综述	/001
1.1 炼焦技术的发展	001
1.2 现代炼焦技术	001
第 2 章 焦炉和干熄炉的炉型与基本结构	/004
2.1 焦炉	004
2.1.1 焦炉分类	004
2.1.2 焦炉主要炉型	005
2.1.3 焦炉的基本构成	008
2.2 干熄焦技术及干熄炉的基本结构	016
2.2.1 干熄焦技术及其发展	016
2.2.2 干熄焦工艺简介	019
2.2.3 圆形干熄炉的结构	021
第 3 章 焦化常用耐火材料的种类及其特性	/023
3.1 耐火材料的概念与分类	023
3.1.1 耐火材料的概念	023
3.1.2 起源与发展	023
3.1.3 耐火材料的基本分类	024
3.2 耐火材料的组成与性质	025
3.2.1 耐火材料的矿物组成	025
3.2.2 耐火材料的组织结构	026
3.2.3 耐火材料热学性质	027
3.2.4 耐火材料的力学性能	028
3.2.5 耐火材料的高温使用性质	031
3.2.6 耐火材料形状的正确性和尺寸的准确性	032
3.3 焦炉用主要耐火材料	032
3.3.1 焦炉对耐火材料的基本要求	032
3.3.2 焦炉用耐火材料的基本分类及矿物组成	033

3.3.3 焦炉主要耐火材料品种	035
3.4 焦炉用隔热材料	048
3.4.1 隔热材料的基本特性	048
3.4.2 焦炉用隔热材料主要品种介绍	048
3.4.3 耐火纤维	049
3.5 表面涂釉材料在焦炉上的使用	051
3.5.1 焦炉上升管衬砖、炉门衬砖的工艺要求	051
3.5.2 常规的焦炉上升管衬砖、炉门衬砖材质	052
3.5.3 常规的焦炉上升管衬砖、炉门衬砖存在的问题	052
3.5.4 焦炉衬砖表面涂油技术的开发	052
3.6 干熄焦炉用关键耐火材料	054
3.6.1 炉体耐火材料结构	054
3.6.2 干熄焦耐火材料种类及使用部位	054
3.6.3 干熄焦耐火材料的性能	054

第4章 焦炉的砌筑和烘炉

/059

4.1 焦炉的砌筑	059
4.1.1 筑炉的准备	059
4.1.2 炉体砌筑	060
4.1.3 收尾工作	063
4.2 焦炉的烘炉	063
4.2.1 几种不同燃料的烘炉方法	063
4.2.2 烘炉的准备	065
4.2.3 烘炉管理	069
4.3 7.63m 焦炉烘炉简介	074
4.3.1 烘炉烧嘴	074
4.3.2 温度控制	075
4.3.3 转内部加热的条件	076

第5章 焦炉管理的基本要求与焦炉砌体损坏机理

/077

5.1 对焦炉操作的要求	077
5.1.1 对原燃料的要求	077
5.1.2 对生产操作的要求	078
5.1.3 对护炉铁件和热工制度的要求	079
5.1.4 对清除炭化室内石墨的要求	079
5.2 焦炉砌体损坏机理	080
5.2.1 炭化室损坏的原因与特征	081
5.2.2 燃烧室与斜道损坏的原因与特征	090
5.2.3 蓄热室和小烟道损坏的原因与特征	093
5.2.4 炉顶、烟道、烟囱损坏的原因与特征	097
5.3 焦炉鉴定	097

5.3.1 焦炉热态鉴定	098
5.3.2 焦炉冷态鉴定	099

第6章 焦炉的日常维护

/101

6.1 焦炉的日常维护与维修	101
6.2 日常维修组织、设施和维修制度	101
6.3 砌体裂缝、凹面的一般处理方法	104
6.4 炉顶部位的维修	105
6.5 炉台部位的维修	111
6.6 蓄热室部位的维修	124
6.7 焦炉热态维修新技术	130
6.7.1 半干法喷补技术	131
6.7.2 空压密封技术	136
6.7.3 火焰焊补技术	139
6.7.4 陶瓷焊补技术	145

第7章 焦炉砌体的修理

/151

7.1 焦炉不揭顶翻修火道	151
7.1.1 挖补火道	151
7.1.2 端火道不揭顶翻修	154
7.1.3 端部两个火道不揭顶翻修	155
7.1.4 多火道不揭顶翻修	156
7.2 焦炉多火道切除	159
7.2.1 准备阶段	159
7.2.2 降温阶段	161
7.2.3 拆除阶段	164
7.2.4 砌筑阶段	165
7.2.5 升温阶段	167
7.2.6 投产	168
7.3 焦炉全火道翻修	168
7.3.1 修理内容的确定及准备工作	168
7.3.2 加热煤气的处理	168
7.3.3 护炉铁件的管理	168
7.3.4 温度管理	169
7.3.5 拆除工作	170
7.3.6 砌筑	170
7.4 炭化室底部的修理	171
7.4.1 炭化室局部冷却降温法	171
7.4.2 炭化室底部耐火砖热态修补方法	172
7.4.3 火焰焊补或陶瓷焊补法	173
7.5 蓄热室的修理及格子砖的更换	173

7.5.1	蓄热室格子砖的更换	173
7.5.2	蓄热室单(主)墙修理	175
7.6	炉顶部位及全炉炉顶表面的翻修	176
7.6.1	炉顶部位的翻修	176
7.6.2	全炉炉顶表面翻修	177
7.7	荒煤气系统的修理	179
7.7.1	国内常规焦炉的荒煤气导出设备	179
7.7.2	7.63m 焦炉集气管的单炭化室压力调节系统	182
7.7.3	常规焦炉荒煤气系统主要设备修理	183

第 8 章 护炉铁件的管理与修理

/187

8.1	国内常规焦炉护炉铁件的作用与维护	187
8.1.1	炉柱	187
8.1.2	保护板	189
8.1.3	炉门	190
8.1.4	炉门框	192
8.1.5	纵、横拉条	192
8.1.6	弹簧	193
8.2	7.63m 焦炉护炉铁件介绍	194
8.2.1	7.63m 焦炉铁件概述	194
8.2.2	7.63m 焦炉铁件的日常维护	194
8.3	护炉铁件的修理	197
8.3.1	炉柱	197
8.3.2	保护板	200
8.3.3	炉门	201
8.3.4	炉门框	201
8.3.5	纵拉条、横拉条与弹簧	203

第 9 章 干熄炉砌体的修理

/205

9.1	干熄炉结构介绍	205
9.1.1	干熄炉本体结构	205
9.1.2	干熄炉炉体用耐火材料的使用性能介绍	206
9.1.3	干熄炉内各部位所使用的主要耐火材料	207
9.2	干熄炉耐火材料的施工	208
9.2.1	砌筑前准备工作	208
9.2.2	冷却段耐火砖的砌筑	208
9.2.3	斜道区及环形烟道耐火砖的砌筑	208
9.2.4	预存段耐火砖的砌筑	209
9.2.5	熄焦室中心线控制	209
9.2.6	干熄炉砌筑质量检评标准	209
9.2.7	干熄炉浇注料的施工	210

9.3 干熄炉炉体损伤原因及减缓损伤的措施	210
9.3.1 炉体主要部位的损伤	211
9.3.2 砌体损坏原因分析	211
9.3.3 减缓损坏的措施	212
9.3.4 干熄炉炉体安全检修	213
9.3.5 日常小修介绍	214
9.3.6 干熄炉年修	215
9.3.7 干熄炉多段损坏的维修	221

第 10 章 克劳斯炉砌体的修理

/228

10.1 概述	228
10.2 立式克劳斯炉	228
10.2.1 立式克劳斯炉的结构	228
10.2.2 砌筑施工	230
10.2.3 烘炉和升温曲线	232
10.3 卧式克劳斯炉	233
10.3.1 卧式克劳斯炉的结构	233
10.3.2 砌筑施工	235
10.3.3 炉砖的理化指标	236
10.3.4 烘炉和升温曲线	240
10.4 克劳斯炉操作管理要点	241
10.4.1 过程气冷却器的控制	241
10.4.2 克劳斯炉炉膛温度的控制	241
10.4.3 反应器温度的控制	242
10.4.4 尾部管线温度的控制	242
10.4.5 空气加入量的控制	242
10.4.6 N ₂ 量的控制	242

参考文献

/243

第1章

炼焦技术综述

1.1 炼焦技术的发展

工业技术是应人类社会实践的需求而发展的，炼铁的需要和煤炭的发现与利用，导致炼焦技术的产生。最初是煤成堆炼焦，后来在此基础上改良，出现了窑式炼焦。其特点是靠燃烧少量煤料和继而干馏产生的煤气，直接加热煤炭而结焦，是最原始的方法，焦炭的产率低、灰分高、质量不均匀，且严重污染环境、浪费资源。

随着工业化的进程，炼焦技术不断进步。19世纪中叶出现了结焦与加热完全分开为炭化室和燃烧室的窑炉，干馏产生的煤气直接进入燃烧室自上而下边流动边燃烧，这种炼焦窑炉称为倒焰炉。由于煤未被烧掉使焦炭产率得到提高，质量得到改善。

出于回收炼焦副产品的需要，出现了将煤气引出，分离出煤焦油后，再送到燃烧室燃烧的焦炉，通常称为废热式焦炉。废热式焦炉排出高温燃烧废气，热效率低下，人们又建造了蓄热式焦炉。

蓄热式焦炉将燃烧室产生的高温废气，通过蓄热室换热以加热燃烧用的煤气和空气，由于废热得到回收，所以大大提高了焦炉的热工效率。蓄热式焦炉所产生的煤气，用于自身加热的只需一半左右，另外还可以使用贫煤气加热，这不仅可以降低成本，还更加合理地利用了资源。

1.2 现代炼焦技术

自1884年建成第一座蓄热式焦炉以来，主流焦炉的结构没有太大变化，但在筑炉材料、炉体构造、有效容积、装备技术、控制水平等方面都有显著进展。20世纪20年代以后，焦炉的耐火砖由黏土砖改为硅砖，使得结焦时间缩短，炉龄延长。

20世纪60年代以来，焦炉发展的主要标志是大容积、致密硅砖、减薄炭化室炉墙和提高火道温度。为了减少装煤、出焦过程的逸散物，焦炉炭化室的长、宽、高进一步增大；为了在受限制的煤炭资源条件下，改善焦炭质量，满足高炉高效冶炼的要求，采用了捣固炼焦、配型煤炼焦技术；为了回收余热，节能减排，干熄焦、煤调湿得到推广应用；随着自动

化技术的发展,焦炉装备水平极大提高,现在四大机车配置可以达到无人操作的要求。

2000年以后,我国炼焦技术飞速发展,引进技术的7.63m焦炉,建成投产十余座。中国焦耐工程技术有限公司自行开发设计的7m焦炉得到广泛应用。8m焦炉也完成了单孔试验和工程设计。捣固炼焦技术从不太成熟的

炭化室高3.8m焦炉,发展到成熟可靠的炭化室高4.3m、5.5m、6.25m焦炉。

20世纪90年代以来,以美国和澳大利亚为代表,认为现行带回收的炼焦生产工艺,存在投资大、环境污染等问题,提出了带废热发电的无回收(又称热回收)炼焦工艺(图1-1)。

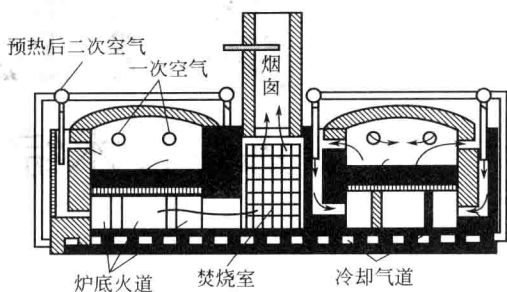


图 1-1 无回收焦炉示意

上述无回收焦炉是一种长12~14m、宽24~37m、高30~46m的带炉底火道的长窑,

装煤厚度为610~1220mm,煤层上方有较大空间,煤料结焦所需热量由粗煤气在该空间部分燃烧和表面层煤料燃烧以及未充分燃烧的粗煤气在炉底火道进一步被注入的空气燃烧所供给。燃烧所产生的热烟气经废热锅炉产生蒸汽并用于发电,经废热锅炉的热废气通过净化后放散。这种无回收焦炉在美国、澳大利亚被认为是一种投资省、环保条件好、废热得到利用、可取代常规焦炉的新一代焦炉,因而受到部分炼焦界的关注。但我国的焦化界普遍认为这种无回收炼焦工艺仍存在焦炉烟尘和环保治理问题,如热效率低、煤耗高、成焦率低、炼焦副产不能合理利用、生产能力小、占地面积大等一系列缺点,因而其应用范围有限,且产业政策也不鼓励采用该技术,在我国仅有数座热回收焦炉。

20世纪80年代以来,以德国为主的欧洲焦化界认为传统的常规多室式焦炉的技术水平已基本达到了顶峰。为解决焦炉进一步的发展,提出了单炉室式巨型反应器的设计思想以及煤预热与干熄焦直联合的方案。90年代由德国等8个国家的13家公司组成的欧洲炼焦技术中心,在德国的普罗斯佩尔(Prosper)焦化厂进行了巨型炼焦反应器(jumbo coking reactor, JCR),也叫单室炼焦系统(single chamber system, SCS)的示范性试验(图1-2)。

这种焦炉在每个炭化室两边各有独立的一个燃烧室、隔热层和抵抗墙,每个炭化室自成体系,彼此互不相干,试验装置高10m、宽850mm、长10m(半炭化室长),在干熄焦系统蒸汽发生器中回收了部分热量后的惰性热气体用于装炉煤的干燥、预热,然后装入巨型反应器中炼焦。试验进行了三年多,取得了焦炭反应后强度明显提高,焦炉配用更多高膨胀性、低挥发煤和弱黏或不黏高挥发煤,节能8%,污染物散发量减少一半,生产成本下降10%等效果。实现了焦炉超大型化、高效化和扩大炼焦煤源等方面的突破,被认为是21世纪取代传统焦炉的一种新炉型。但这种技术的商业化还受到诸多因素制约,尚需一定的发展过程。

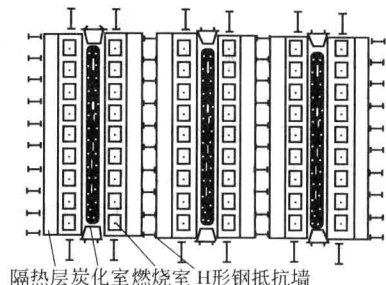


图 1-2 巨型炼焦反应器示意

日本钢铁联盟与日本煤炭利用中心合作开展了“面向21世纪高效和环保超大型焦炉新炼焦技术研究”(“Super Coke Oven for Productivity and Environment enhancement toward the 21 st century”,简称SCOPE21),以应对21世纪焦化工业面对的环境、资源、能源等各种问题(图1-3)。

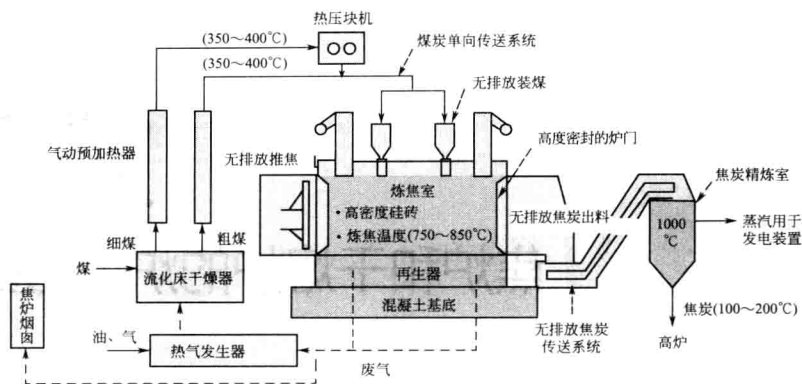


图 1-3 SCOPE21 示意

该项目是干法熄焦、装炉煤预热、多用劣质煤、余热利用、减少焦炉逸散排放等技术的集成研究。研究目标如下：一是将炼焦利用劣质煤的比例从 20% 提高到 50%；二是将焦炉生产效率提高 3 倍；三是使炼焦过程产生的 NO_x 减少 30%；四是实现无烟无尘密闭生产；五是节省能源 20%。2003 年 3 月起进行一年的单孔炉试验，取得了较好阶段成果：一是平均焦炭强度 $\text{DI}_{15}^{50} = 84.8$ ，比通常值高 2.5，在非黏结煤配比为 50% 时，操作也没有问题；二是在装入煤 $t = 330^\circ\text{C}$ 、炉温为 1250°C 时，结焦时间为 7.4h，生产率提高 2.4 倍；三是焦炉废气中 NO_x 浓度在 100×10^{-6} 以下；四是工序能耗降低 21%；五是占地面积节约 1/2；六是设备费用降低 16%；七是总生产成本降低 18%。2005 年 4 月，日本在新日铁大分制铁所动工建设的 5 号焦炉，首次采用“SCOPE21”技术，该焦炉共 64 孔，年产焦炭 100 万吨。2008 年 2 月建成投产，实践效果与单孔试验装置的预期相差较大，广泛应用尚需时日。

第2章

焦炉和干熄炉的炉型与基本结构

2.1 焦炉

从可以预期的技术发展趋势看,在一定的时间内,主流焦炉的结构型式,仍将以目前的多室蓄热式焦炉为主,仅在超大容积、改善环境、提高装备水平、提高劳动生产率等方面作为主要的技术发展方向。

2.1.1 焦炉分类

现代焦炉可按装煤方式、加热煤气和空气供入方式、燃烧室火道形式、实现高向加热均匀的方式以及气流调节方式等的不同,进行分类。每一种焦炉形式均由以上分类的合理组合构成。

(1) 按装煤方式分类 焦炉按装煤方式不同有顶装(散装)焦炉和侧装(捣固)焦炉之分。

两种焦炉的总体结构没有本质上的差别,但捣固焦炉为适应捣固煤饼侧装的要求,有以下特征。

① 由于捣固煤饼是从机侧安装,故炭化室锥度较顶装焦炉小。

② 为保证煤饼的稳定性,炭化室高宽比通常不大于11,即同样炭化室高度,通常捣固焦炉炭化室要宽一些。

③ 捣固煤饼靠托煤板送入炭化室,对炭化室底砖磨损较严重,因此该砖通常特别加厚,并且对体积密度、常温耐压、耐磨等指标要求也高一些。

④ 炉顶不设装煤孔,只需设装炉时往相邻炭化室或消烟除尘车抽吸粗煤气用的孔。

(2) 按加热煤气和空气供入方式分类 焦炉加热煤气和空气供入方式有侧入式及下喷式两类。

侧入式焦炉加热焦炉的富煤气由焦炉机、焦侧位于斜道区的水平砖煤气道引入炉内,空气和贫煤气从废气盘及小烟道由焦炉侧面进入炉内。下喷式焦炉加热用的煤气(或空气)由焦炉下部垂直地进入炉内。也有的焦炉采用焦炉煤气下喷,贫煤气和空气侧入。

(3) 按燃烧室火道形式分类 焦炉燃烧室火道形式有水平火道式和直立火道式两大类。

水平火道式焦炉已很少采用。直立火式焦炉道按上升气流和下降气流的组合方式，可分为两分式、四分式、过顶式和双联式。目前广泛采用的是双联式火道。

(4) 按高向加热均匀方式分类 焦炉高向加热均匀方式主要有高低灯头、分段加热和废气循环等。

高低灯头采用相邻火道不同高度的煤气灯头（烧嘴），以改变火道内燃烧点的高度，从而使高向加热均匀，此法仅限于富煤气加热，且由于高灯头高出火道底面一段距离送出煤气，自斜道来的空气易将高灯头下部砖缝中的沉积炭烧掉，造成串漏。

分段加热是将煤气或空气沿立火道隔墙中的孔道，在不同高度处进入火道，使燃烧分段，这种措施可使火焰拉得较长，并通过孔道出口的断面调整高向加热，通常用于 6m 以上的焦炉。分段加热可以有效降低焦炉燃烧废气中排放的氮氧化物含量以满足近年来日益严格的环保要求。

废气循环是将下降火道的部分燃烧废气，通过立火道隔墙下部的循环孔，抽回上升立火道，形成炉内循环，以稀释煤气和降低氧的浓度，从而减缓燃烧速率，拉长火焰，这种方式结构简单，且具有按加热煤气的进入量自动调节循环废气量的功能。

(5) 按气流调节方式分类 焦炉加热气流的调节方式有上部调节式和下部调节式两类。

上部调节式焦炉采用从炉顶更换立火道底部烧嘴的方式来调节富煤气量，采用更换或拨动斜道口调节砖（牛舌砖）的方式来调节贫煤气量和空气量。下部调节式焦炉采用从焦炉底部更换煤气支管上的喷嘴或控制小烟道顶部算子砖孔开度的方式来调节煤气量或空气量。下部调节式焦炉调节方便，且操作环境好。

2.1.2 焦炉主要炉型

2.1.2.1 两分式焦炉

蓄热室靠中心隔墙分成机、焦两侧，并与上方燃烧室的机、焦侧火道相连，焦炉煤气由一侧焦炉煤气管经各燃烧室下方斜道区内的水平砖煤气道和各分支砖煤气立管进入该侧各立火道，空气由焦炉进煤气侧的废气盘，经该侧蓄热室和斜道进入各立火道，与煤气混合燃烧，产生的废气经立火道上部的水平烟道汇合，从另一侧立火道下降，再经该侧斜道、蓄热室、废气盘、分烟道、总烟道和烟囱排出，两侧定时换向。两分式焦炉异向气流的隔墙面积小（仅中间隔墙），减少了串漏，但水平集合焰道使气流沿燃烧室长向分配不易均匀，火道结构复杂，系统的气流阻力大。为减少气流通过水平集合焰道的阻力，常增大其断面，但将削弱砌体强度。炭化室容积增大时，两分式焦炉的缺点就更为突出。中小型焦炉炭化室较短，但一般都用焦炉煤气加热，废气量少，上述缺点不突出，故我国中小型焦炉多采用两分式结构（图 2-1）。我国已经淘汰的 66 型、70 型焦炉为该炉型，而大型焦炉则不采用。但国外有的大型焦炉，为充分利用两分式焦炉同侧气流同向的优点，将水平集合焰道断面设计成由炉头向中部逐渐扩大，以减少其阻力及对砌体强度的影响，故国外也有大型焦炉采用两分火

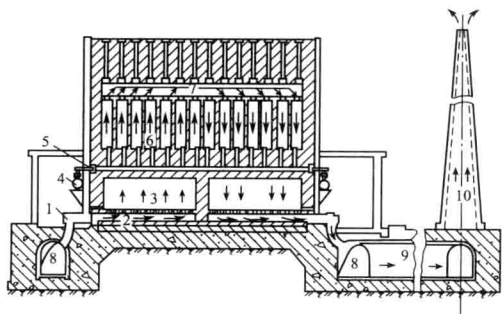


图 2-1 两分式焦炉结构示意图

1—废气盘；2—小烟道；3—蓄热室；4—焦炉

煤气管；5—水平砖煤气道；6—立火道；

7—水平烟道；8—分烟道；9—总烟道；10—烟囱

道式。

2.1.2.2 过顶式焦炉

由美国考伯斯公司的领导人贝克（Becker）设计，称为考伯斯-贝克式焦炉（图 2-2），为过顶火道、焦炉煤气下喷式焦炉。每个燃烧室下设两个蓄热室，用贫煤气加热时，一个预热贫煤气，另一个预热空气。预热后的空气和煤气经斜道进入其上方燃烧室的所有火道，混合燃烧后经过顶烟道进入炭化室另一侧的所有火道，然后再下降至蓄热室。每 4 个立火道（燃烧室端部为 2 个火道）汇合成一个过顶烟道。用富煤气加热时，煤气由两个同向蓄热室间的隔墙中的垂直砖煤气道进入燃烧室各立火道，该两个蓄热室均进空气。斜道结构简单，并可在过顶烟道调节气流量。但过顶烟道使炉顶层结构复杂，且使炉顶温度提高，炭化室顶部易产生沉积炭，且不利于化学产品的生成。该炉型较少应用。

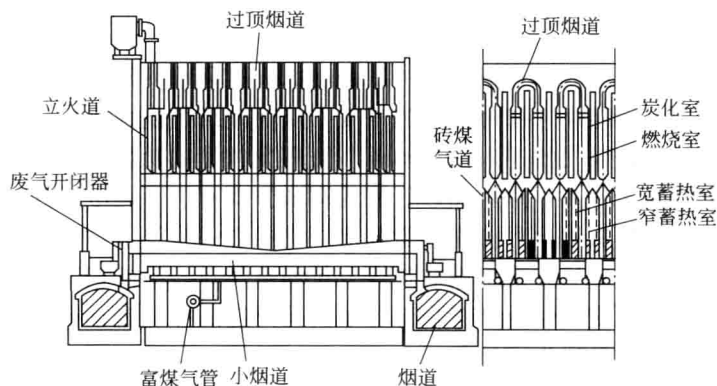


图 2-2 考伯斯-贝克式焦炉结构示意图

2.1.2.3 双联式焦炉

双联式焦炉是在我国得到最广泛应用的焦炉炉型，由鞍山焦化耐火材料设计研究院在吸取国外炉型特点，总结多年炼焦炉生产实践经验的基础上，自 1958 年开始设计并不断完善的系列炉型，标记为 JN 型。目前有炭化室高 4.3m、5m、5.5m、6m、7m 的不同炭化室宽度的一系列焦炉。按照产业政策，炭化室高小于 6m 的顶装焦炉将逐渐被淘汰。

(1) JN 型焦炉 JN 型焦炉为双联火道、废气循环、煤气下喷的复热式焦炉（图 2-3）。

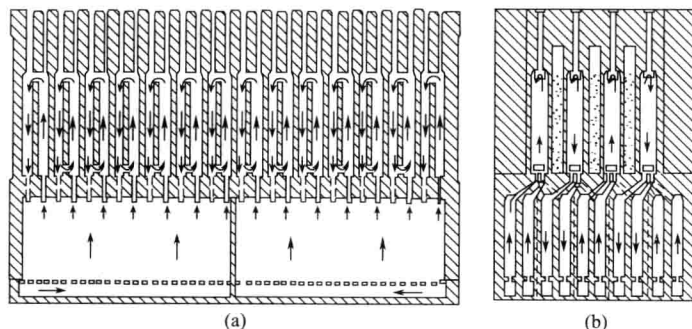


图 2-3 JN 型焦炉结构示意图

每个炭化室下面设两个宽度相同、气流方向也相同的蓄热室，一个为煤气蓄热室，另一个为空气蓄热室，贫煤气和空气通过炭化室下方的两个蓄热室与其上方炭化室两侧的燃烧室相通；在燃烧室下方异向气流蓄热室之间的主墙内设垂直砖煤气道，富煤气加热时，煤气通

过它供入炉内，两个蓄热室则皆作为空气蓄热室。燃烧室每两个火道成一组，成对火道的隔墙上部设跨越孔，底部设废气循环孔。但为防止短路，炉头成对火道间不设废气循环孔。为改善 6m 以上焦炉的高向加热均匀性，采用了高低灯头结构，或者分段供入煤气。

在 JN 型焦炉基础上鞍山焦化耐火材料设计研究院设计了下部调节气流的 JNX 型焦炉。其结构特点为双联火道、废气循环、焦炉煤气下喷、蓄热室分格、贫煤气和空气下调的复热式焦炉（图 2-4）。

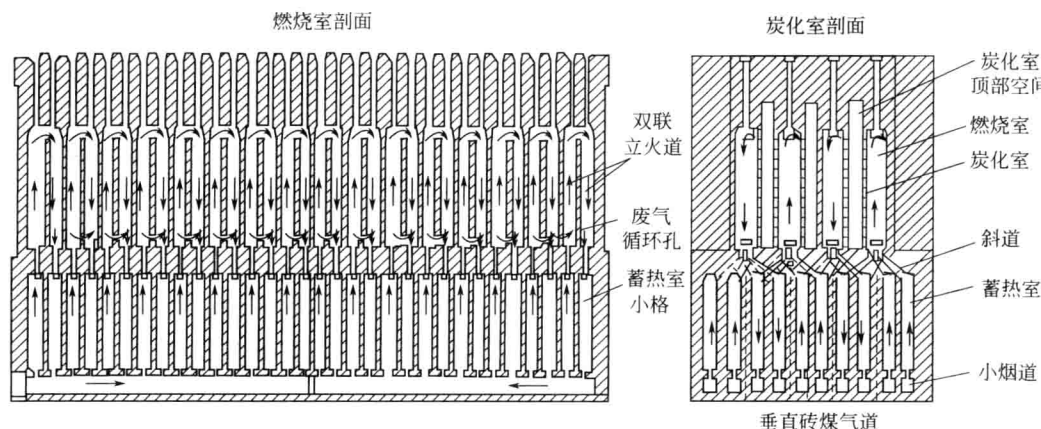


图 2-4 JNX 型焦炉结构示意图

炉体尺寸和基本结构与相应的 JN 型焦炉基本相同，主要不同在于蓄热室长向用横隔墙分成独立的小格，每一格与上部立火道一一对应，数目相同。在每个独立小格底部的算子砖上，设置 4 个固定断面的算子孔和一个可调断面的算子孔（图 2-5）。

通过焦炉基础顶板上的下调孔，用更换调节砖的办法来调节可调算子孔断面，以控制蓄热室长向的气流分布，以及进入各立火道的贫煤气和空气量，贫煤气和空气仍通过小烟道进入蓄热室。

（2）7.63m 焦炉 近年从德国伍德（Uhde）公司引进的 7.63m 焦炉也是双联式焦炉。（图 2-6）。炉体结构及主要特点如下。

① 该炉为双联火道、废气循环、分段加热、焦炉煤气下喷、空气侧入，蓄热室分格可调、单侧烟道的复热式超大型焦炉。

② 燃烧室由 36 个共 18 对双联火道组成。分三段供给空气进行分段燃烧（图 2-7），并在每对火道隔墙间下部设循环孔，将下降火道的废气吸入上升火道的可燃气中，用这两种方式拉长火焰，达到高向加热均匀的目的。由于三段燃烧加热和废气循环，炉体高向加热均匀，废气中的氮氧化物含量 $\leq 500 \text{ mg/m}^3$ ，可以满足焦炉烟囱排放要求。焦炉设计的高向加热调节方法较多，主要有空气导向板、燃烧室底部循环废气调节砖、燃烧室上部循环废气调节砖、空气分段供入调节砖。但是这些高向加热的调节方法的可操作性和有效性不太好。

③ 对应燃烧室的 36 个立火道，蓄热室从机侧到焦侧分成 18 格，每格构成 1 个加热单元。蓄热室底部设有可调节每一格孔板开度的喷嘴板，这种结构为各个火道的调节以及分段调节提供了可能。

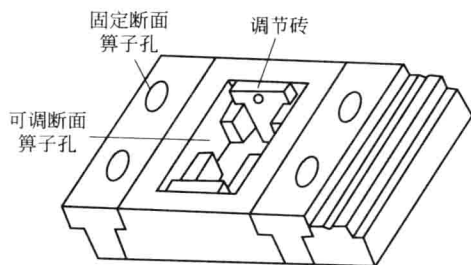


图 2-5 JNX 下调型焦炉算子砖