



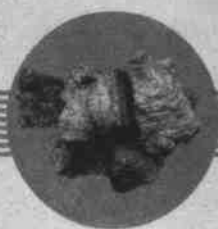
JIAOHUA FEISHUI CHULI JISHU

焦化废水 处理技术

单明军 吕艳丽 丛蕾 主编



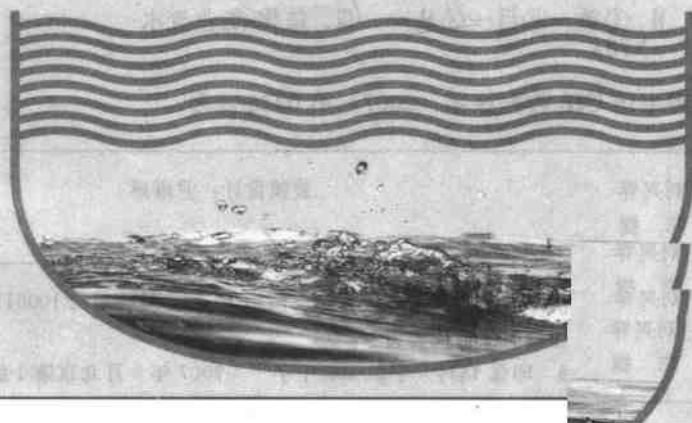
化学工业出版社



JIAOHUA FEISHUI CHULI JISHU

焦化废水 处理技术

单明军 吕艳丽 丛蕾 主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

焦化废水处理技术/单明军, 吕艳丽, 丛蕾主编. —北京:
化学工业出版社, 2007. 4
ISBN 978-7-122-00103-0

I. 焦… II. ①单…②吕…③丛… III. 焦化-工业废水-
废水处理 IV. X784

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 033088 号

责任编辑: 刘兴春
责任校对: 郑捷

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: 北京市彩桥印刷有限责任公司
720mm×1000mm 1/16 印张 14½ 字数 305 千字 2007 年 5 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: 39.80 元

版权所有 违者必究

前 言

随着经济的持续发展和人口的不断增长,排放到水体中的污水量越来越多,水污染所造成的环境问题越来越被人们所关注。

焦炭是钢铁冶金生产的重要原材料,在炼焦及其副产物化学产品回收过程中产生大量的高浓度含氨氮和芳香族类有机污染物的污水,对环境的危害极大。针对目前炼焦及化学产品回收产生的废水污染状况及现行的处理技术,编者查阅了大量国内外有关污水处理方面的资料,并根据多年的教学、科研与工程实践经验编撰本书。

全书共分8章,第1章论述了焦化生产,侧重介绍了焦化生产的工艺过程;第2章论述了焦化废水的产生和危害;第3章、第4章论述了焦化废水各种处理技术的工艺原理和特点;第5章对焦化废水生物反应动力学进行了研究;第6章论述了焦化废水剩余污泥的处置;第7章介绍了焦化废水处理的经济核算;第8章介绍了焦化废水的综合治理与回用。

本书可供环境工程专业、水处理专业的有关工程技术人员科研与设计参考,也可以作为高等院校环境工程及相关专业教师与学生的参考书,对环境研究和管理的人员也有参考价值。

本书由单明军、吕艳丽、丛蕾主持编写并负责统稿。参加本书编写的人员还有王喜全、刘洋、王艳秋、闵玉国、冯卫强等;另外,白杨、王旭、沈雪、张岩、孙娟、苏莹、崔利平等同志参与了部分资料和文字的整理工作。

在本书的形成及编写过程中,得到了孙秋柏、金永龙、张志强、宋铁军、杨蓓德、张海灵等同志的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者经验不足,成书时间仓促,书中缺点和不妥之处在所难免,敬请读者、专家予以批评指正。

编 者

2007年2月于辽宁科技大学

目 录

1 焦化生产工艺	1
1.1 炼焦生产工艺	1
1.1.1 炼焦工业	1
1.1.2 煤的成焦过程	1
1.1.3 炼焦及方法	2
1.1.4 焦化生产的工艺流程	3
1.1.5 炼焦新技术	4
1.2 化学产品的回收工艺	10
1.2.1 炼焦化学产品的回收与精制	10
1.2.2 粗煤气分离	13
1.2.3 粗苯回收	17
1.2.4 焦油蒸馏	19
1.2.5 煤高温干馏化学产品的生成	21
1.2.6 煤气气化化学产品的加工	23
1.2.7 煤液化化学产品的加工	24
2 焦化废水的产生及危害	30
2.1 焦化废水的产生	30
2.1.1 焦化废水产生的概况	30
2.1.2 焦化废水的组成及分类	31
2.2 焦化废水排放的现状与危害	32
2.2.1 我国焦化废水治理概述	32
2.2.2 焦化废水水质及危害	32
2.2.3 我国焦化废水治理情况	36
3 焦化废水处理技术	38
3.1 两段生物法	38
3.1.1 工作原理及微生物特征	38
3.1.2 AB法的设计要点及运行参数	40
3.1.3 应用AB工艺应注意的问题	40
3.2 延时曝气	42

3.3	传统生物脱氮工艺	42
3.3.1	传统生物脱氮机理	43
3.3.2	传统生物脱氮工艺	49
3.4	SBR 生物脱氮工艺	56
3.4.1	SBR 工艺简介	56
3.4.2	SBR 工艺理论分析	58
3.4.3	SBR 工艺脱氮	58
3.4.4	设计方法	59
3.5	MBR 生物膜脱氮工艺	66
3.5.1	概述	66
3.5.2	膜生物反应器的处理机理	67
3.5.3	MBR 工艺组成	67
3.5.4	MBR 稳定运行的因素	68
3.6	物化脱氮工艺	71
3.6.1	吹脱法	71
3.6.2	折点氯化法 (break point chlorination)	78
3.6.3	选择性离子交换法	82
3.6.4	离子交换脱氮原理	85
4	焦化废水处理新技术	91
4.1	生物强化技术	91
4.1.1	技术特点	92
4.1.2	生物强化技术的提出	92
4.1.3	作用机制	92
4.1.4	实施途径	93
4.1.5	效果及评价	95
4.2	生物强化技术应用于焦化废水处理	96
4.2.1	焦化废水中的生物强化技术	96
4.2.2	研究现状	97
4.2.3	生物强化系统的优化设计	100
4.3	深度氧化技术	100
4.3.1	化学氧化	101
4.3.2	光化学氧化技术	114
4.4	脱氮工艺	119
4.4.1	同步硝化反硝化工艺	119
4.4.2	短程硝化-反硝化脱氮工艺	122
4.4.3	短程硝化-厌氧氨氧化脱氮工艺	126
4.4.4	短程硝化+铁炭微电解除氮工艺	128

4.5	焦化废水处理的展望	130
4.5.1	整体趋势展望	130
4.5.2	行业管理	131
4.5.3	处理技术	132
4.5.4	焦化废水排放标准	132
5	焦化废水生物处理动力学	133
5.1	生物反应过程动力学描述	133
5.1.1	污泥中的微生物生长规律	133
5.1.2	基本概念	134
5.2	莫诺特 (Monod) 模式	135
5.2.1	活性污泥的有机物负荷与氨氮负荷	136
5.2.2	限制细菌增殖的底物浓度	137
5.2.3	微生物的比增殖速度	138
5.2.4	K_s 与 V_{max} 的求解	138
5.2.5	存在有毒底物时的莫诺特模式修正	139
5.3	劳伦斯-麦卡蒂模式	141
5.3.1	劳伦斯-麦卡蒂基本方程式	141
5.3.2	劳伦斯-麦卡蒂模式的推论——基本方程式在完全混合系统 方面的应用	143
5.3.3	生物动力学常数测定	146
5.4	麦金尼模式	149
5.4.1	麦金尼的有氧代谢理论	149
5.4.2	生物量的测定与计算	149
5.4.3	K_d 的测定	151
5.4.4	双参数计算方法	152
6	污泥的处理与处置	157
6.1	污泥的性质与分类	157
6.1.1	污泥的分类与特性	157
6.1.2	表示污泥性质的指标	157
6.2	污泥浓缩	160
6.2.1	污泥中水的分类与去除方法	160
6.2.2	污泥的重力浓缩法——静置沉降	160
6.2.3	气浮浓缩法	162
6.2.4	离心浓缩	163
6.2.5	污泥浓缩设备	163
6.3	污泥机械脱水	164

6.3.1	机械脱水前的预处理	164
6.3.2	机械脱水	166
6.4	污泥最终处置	173
6.4.1	污泥处置方式	173
6.4.2	国内外污泥处理处置趋势分析	176
6.4.3	对污泥处置问题的几点建议	176
6.5	焦化行业污水处理厂污泥的处理与处置	177
7	工程经济技术分析	178
7.1	经济分析概述	179
7.1.1	工程技术经济分析的步骤和基本要求	179
7.1.2	在工程技术经济分析中应处理的关系	180
7.1.3	经济分析的具体内容	181
7.2	技术经济分析的程序	183
7.2.1	技术经济分析的基本程序	183
7.2.2	技术经济评价指标	185
7.2.3	技术经济分析原则	186
7.3	工程经济评价的基本方法	187
7.3.1	净现值法 (NPV)	188
7.3.2	内部收益率法 (IRR)	188
7.3.3	最低成本法	189
7.3.4	年成本法	189
7.3.5	投资回收期法 (投资返本年限法)	189
7.3.6	静态差额投资回收期和差额投资收益率	190
7.3.7	效益成本率法	190
7.3.8	敏感性分析	191
7.4	环境效益分析	193
7.4.1	内部费用	194
7.4.2	外部费用	194
7.4.3	效益分析	194
7.5	评价因素权重和综合评价	195
7.5.1	优缺点对比法	195
7.5.2	多目标权重评分法	195
7.5.3	序数评价法	196
7.5.4	费用效益法	197
8	焦化废水综合治理及回用技术	205
8.1	结合物化法的生物脱氮技术	205

8.1.1	物化预处理	205
8.1.2	生物处理	207
8.1.3	焦化废水的后续处理	207
8.1.4	工程实例	210
8.2	结合强化生物法的生物脱氮技术	211
8.2.1	生物铁强化技术在焦化废水处理中的应用	211
8.2.2	高效生物菌种在焦化废水处理中的应用	212
8.2.3	固定化微生物技术在焦化废水处理中的应用	213
8.3	焦化废水回用	213
8.3.1	湿法熄焦补充水	213
8.3.2	钢铁转炉除尘水系统补充水	214
8.3.3	高炉冲渣、泡渣	214
8.3.4	洗煤循环水补充水	215
8.3.5	曝气池的消泡水	216
8.3.6	煤场喷洒	216
参考文献	217

1

焦化生产工艺

炼焦化学工业是煤炭的综合利用工业。煤在炼焦过程中除了有 75% 左右变成焦炭外，还有约 25% 生成各种化学产品及煤气。将各种经过洗选的炼焦煤按一定比例配合后，在炼焦炉内进行高温干馏，可以得到焦炭和粗煤气。将粗煤气进行加工处理，可以得到多种化工产品和焦炉煤气。焦炭是炼铁的燃料和还原剂，它能将氧化铁（铁矿）还原为生铁。焦炉煤气热值高，是钢铁厂生产及民用的优质燃料，又因其含氢量多，也是生产合成氨的原料。

1.1 炼焦生产工艺

1.1.1 炼焦工业

煤隔绝空气加热到 950~1050℃，经过干燥、热解、熔融、黏结、固化、收缩等阶段最终制得焦炭，这一过程叫高温炼焦（高温干馏）。由高温炼焦得到的焦炭可用于高炉冶炼、铸造、气化和化工等工业部门作为燃料或原料；炼焦过程中得到的干馏煤气经回收、精制得到各种芳香烃和杂环化合物，供合成纤维、染料、医药、涂料和国防等工业原料；经净化后的焦炉煤气既是高热值的燃料，又是合成氨、合成燃料和一系列有机合成工业的原料。因此，高温炼焦是煤综合利用的重要方法之一。

焦炭主要用于高炉炼铁。煤气可以用来合成氨，生产化学肥料或用做加热燃料。炼焦所得到的化学产品种类很多，特别是含有多种芳香族化合物，主要有硫酸铵、吡啶碱、苯、甲苯、二甲苯、酚、萘、蒽和沥青等。炼焦化学工业提供农业需要的化学肥料和农药，生产合成纤维的原料苯、塑料和制备炸药的原料酚以及医药的原料吡啶碱等。

1.1.2 煤的成焦过程

炼焦所用的煤一般是烟煤，烟煤是复杂的高分子有机化合物的混合物。它的基本单元结构是聚合的芳核，在芳核的周边带有侧链。年轻烟煤的芳核小，侧链多，年老的烟煤则与此相反。煤在炼焦过程中，随着温度的升高，连在核上的侧链不断脱落分解。芳核本身缩合并稠环化，反应最终形成煤气、化学产品和焦炭。在化学反应的同时，伴有煤软化形成胶质体，胶质体固化黏结，以及膨胀、收缩和裂纹等现象产生。煤由常温开始受热，温度逐渐上升，煤料中水分首先析出，然后煤开始发生热分解，当煤受热温度在 350~480℃ 左右时，煤热解有气态、液态和固态产物，出现胶质体。由于胶质体透气性不好，不易析出气体，产生了对炉墙的膨胀压力。当超过胶质体固化温度时，则发生黏结现象，产生半焦。在由半焦形成焦炭的

阶段有大量的气体生成，半焦收缩，出现裂纹。当温度超过 650℃左右时，半焦阶段结束，开始由半焦形成焦炭，一直到 950~1050℃时焦炭成熟，结焦过程进行完毕。上述成焦过程可用图 1-1 表示。



图 1-1 煤的成焦过程

1.1.3 炼焦及方法

1.1.3.1 炼焦原理

(1) 原理

炼焦生产的基本原料是炼焦煤。将炼焦煤在密闭的焦炉内隔绝空气高温加热放出水分和吸附气体，随后分解产生煤气和焦油等，剩下以碳为主体的焦炭。这种煤热解过程通常称为煤的干馏。

煤的干馏分为低温干馏、中温干馏和高温干馏三种。它们的主要区别在于干馏的最终温度不同，低温干馏在 500~600℃进行，中温干馏在 700~800℃进行，高温干馏在 900~1000℃进行。目前的炼焦炉绝大多数属于高温炼焦炉，主要生产冶金焦、炼焦煤气和炼焦化学产品。这种高温炼焦过程就是高温干馏。

(2) 炼焦煤的热解过程

炼焦煤在隔绝空气高温加热过程中生成焦炭，它具有下列特性：当被加热到 400℃左右时，就开始形成熔融的胶质体，并不断地裂解产生出油气，这类油气经过冷凝、冷却及回收工艺，得到各种化工产品和净化的焦炉煤气。

随着温度的不断升高，油气不断放出，胶质体进一步分解，部分气体析出，而胶质体逐渐固化成半焦，同时产生出一些小气泡，成为固定的疏孔。温度再升高，半焦继续收缩，放出一些油气，最后生成焦炭。

1.1.3.2 炼焦方法

(1) 机械化焦炉生产

煤料从炉顶部的装煤孔或机侧（捣固焦）装入炭化室，由两侧燃烧室传来的热量将煤料在隔绝空气的条件下加热至高温。加热过程中，煤料熔融分解所生成的气态产物由炭化室顶端部的上升管逸出，导入煤气净化处理系统，可得到化学产品及煤气；残留在炭化室内的半焦固化成焦炭。煤料分解固化过程完成后，将炭化室两侧的炉门打开，用推焦机将焦炭推出，落入熄焦车（或干法熄焦装置）。赤热的焦炭可用水熄灭，或用惰性气体将余热带走，冷却后即得到可使用的焦炭。机械化焦炉（顶装）目前国内采用的炉型主要有 JN 型、JNX 型以及 58 型、66 型、70 型。

(2) 土法炼焦

炼焦煤（多为单种焦煤、配煤、焦肥煤）在普通黏土砖窑炉内（目前国内多用 75 型、89 型、91 型、95 型、96 型、赵城连体炉）以土法炼焦工艺生产可燃固体产物的过程称为土法炼焦。

在炉窑内不隔绝空气的条件下，借助窑炉边墙的点火孔人工点火，将堆放在窑内的炼焦煤点燃，靠炼焦煤自身燃烧热量逐层将煤加热；煤燃烧产生的废气与未燃尽的大量煤裂解产物形成的热气流经窑室侧壁的导火道继续燃烧，并将部分热传入窑内（间接加热部分）。高温燃气流（800℃）则夹带着未燃尽的煤裂解物——化学产品排入大气。这个过程延续8~11d，焦炭成熟，从人工点火孔注水熄焦、冷炉、扒焦。

土法炼焦结焦周期长，成焦率低，煤耗高，焦炭灰分高（燃烧一部分煤造成的）。炼焦化学产品或被烧掉或随高温废气流排入大气，不仅不能综合利用炼焦煤，还对大气造成严重污染。

（3）型焦

型焦是由煤粉等型焦用料加压成型煤，再经炭化处理制成的，也有把型煤经氧化热处理或型焦炭化炉氧化处理或自热硬化处理制成型块。根据处理的工艺方式，可分为冷压型焦和热压型焦。

（4）其他工艺生产

其他工艺生产焦炭，主要有连续回转窑、立式炉等炉型生产的焦炭。

1.1.3.3 炼焦用煤的选择

焦炭的物理性能及其化学成分主要取决于所用的煤种和炼焦方法。

① 洗煤（或精煤）从原料煤带到焦炭中的灰分、硫和磷等杂质对于炼铁是极为有害的。为了除去这些杂质，就需要对原煤进行洗选，洗选后所得净煤称为洗煤或精煤。

② 配合煤 焦煤能够单独炼成很好的焦炭，有的煤种本身虽不能单独炼成焦炭，但能与其他煤种配合炼成焦炭。这样，将不同煤种按适当比例配合、混匀后的煤料称为配合煤。

③ 目前，世界各国焦化厂几乎都用配合煤方法炼焦，即以焦煤配合其他煤种（一至五、六种）进行炼焦。其原因是：（a）焦煤资源缺乏，用配合煤方法可以大量节约主焦煤；（b）焦煤的结焦性虽好，但有的主焦煤在炼焦时膨胀压力较大，损害炉体，有的含杂质较多，用配合煤的方法可以解决上述问题；（c）焦煤的价格较高，用配合煤炼焦可以降低焦炭成本。

1.1.4 焦化生产的工艺流程

焦化生产的主要任务是生产优质的冶金焦供高炉冶炼使用，同时，回收焦炉煤气及焦炉煤气中的化工产品。焦化生产工艺流程有多种，一般由备煤车间、炼焦车间、回收车间、焦油加工车间、苯加工车间、脱硫车间和废水处理车间组成。其主要生产工艺流程见图1-2。

根据焦炉本体和鼓冷系统流程图，从焦炉出来的荒煤气进入鼓冷系统之前已被大量冷凝成液体；同时，煤气中夹带的煤尘、焦粉也被捕集下来，煤气中的水溶性成分也溶于氨水中。焦油、氨水以及粉尘和焦油渣一起流入机械化焦油氨水分离池，分离后氨水循环使用，焦油送去集中加工，焦油渣可回配到煤料中，炼焦煤气进入初冷器被直接冷却或间接冷却至常温，此时，残留在煤气中的水分和焦油被进

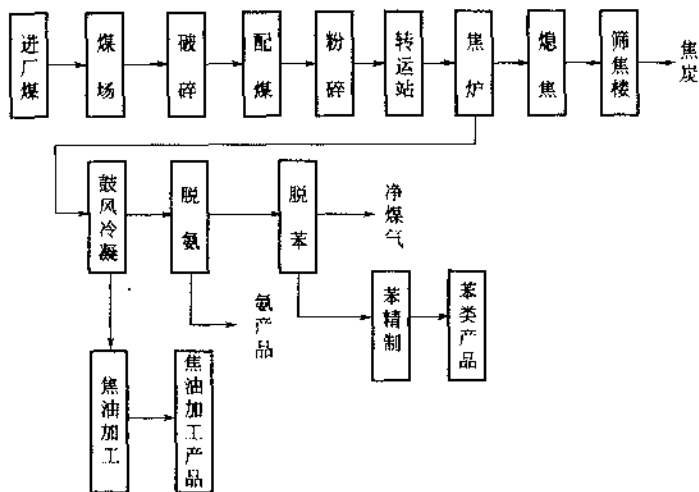


图 1-2 焦化生产工艺流程图

一步除去。出初冷器后的煤气经机械捕焦油使悬浮在煤气中的焦油雾通过机械的方法除去，然后进入鼓风机被升压至 19600Pa (2000mmH₂O) 左右。为了不影响以后的煤气精制操作，使煤气通过电捕焦油器除去残余的焦油雾；为了防止萘在低温时从煤气中结晶析出，煤气进入脱硫塔前设洗萘塔用洗油吸收萘；在脱硫塔内用脱硫剂吸收煤气中的硫化氢，与此同时，煤气中的氰化氢也被吸收；煤气中的氨则在吸氨塔内被水或水溶液吸收产生液氨或硫酸铵。煤气经过吸氨塔时，由于硫酸吸收氨的反应是放热反应，煤气的温度升高，为了不影响粗苯回收的操作，煤气经终冷塔降温后进入洗苯塔内，用洗油吸收煤气中的苯、甲苯、二甲苯以及环戊二烯等低沸点的碳氢化合物和苯乙烯、萘、占马隆等高沸点的物质，与此同时有机硫化物也被除去。

1.1.5 炼焦新技术

随着工业不断发展，需要生产更多优质的高炉用煤、铸造用焦炭、电热化学用焦炭以及其他用途的焦炭。因此，目前焦化工业的主要任务是提高焦炭质量，增加焦炭产量。为了合理利用资源，提高生产及经济效益，扩大炼焦煤源，利用弱黏结性煤和不黏结性煤是焦化工业发展的途径之一。中国弱黏结性煤和不黏结性煤储量丰富，占煤总储量的 14.5%，这些煤的挥发分含量高，且有些煤低灰低硫，有利于生产杂质少的焦炭。为了利用弱黏结性煤获得合格焦炭，需要研究开发炼焦新技术。

现行的焦炉生产主要缺点在于利用炭化室炼焦，由于煤料加热速度不均，煤料堆密度在炭化室的上下方向有差别，故所得焦炭的块度、强度、气孔率和反应性都不均匀。为了生产出高强度的焦炭，需要在配煤中加入大量的炼焦煤。

炭化室间歇式生产是另一大缺点，使得生产难于自动化，劳动生产率低，劳动条件差。目前的炼焦生产工艺未能很好地利用煤的化学潜力以生产出更多的化学产

品。为此，国内外正在进行大量完善炼焦工艺和连续炼焦技术的研究开发工作。

1.1.5.1 改进炼焦备煤

完善现有的和开发新的炼焦备煤工艺，如合理配煤、煤破碎优化、增加装炉煤堆密度、煤的干燥和预热等。

合理配煤，选择破碎煤可以扩大炼焦煤源，提高焦炭的物理性质和化学性质。

提高装炉煤的堆密度是改善焦炭质量的主要途径，可用不同方法增加弱黏结性煤用量。其中包括捣固装煤、部分配煤成型和团球、配煤中配有机液体及选择破碎等。这些方法不仅改善了焦炭质量，而且提高了焦炉的生产能力。

煤捣固炼焦或煤成型（部分煤或全部煤）是在炼焦前把煤料压实增大堆积密度，可节省好的黏结性煤，并可以改善焦炭质量，提高生产经济技术水平。

粉煤捣固是在炉外捣固装置上用锤子把煤料捣实。压实煤料增大密度，也可通过把煤料全部或部分预先压成型煤。成型后可以加黏结剂（也有不加黏结剂的），成型后把型煤装入焦炉炼焦。

增加弱黏结性煤配比进行配煤炼焦时，预先压实煤，增加其密度，可改善煤的黏结性，提高焦炭质量。当捣固装煤时，煤堆密度可增加到 $1.05\sim 1.15\text{t}/\text{m}^3$ 。煤堆密度增大使得煤粒子互相接近，煤饼成焦时只需少量的液相黏结成分即可达到较大的焦块结构强度，因此可用较少的黏结性煤。

当部分型煤炼焦时，煤料堆密度增加程度小于捣固方法的。煤料中含型煤30%时，平均堆密度为 $0.8\text{t}/\text{m}^3$ 。部分配入型煤的炼焦过程中的焦炭强度要比具有相同堆密度的一般配煤方法的焦炭强度大，其原因是由于型煤软化阶段的膨胀程度比粉末状配煤的膨胀程度大，故而改善了配煤的整体黏结性。所以，部分配入型煤的炼焦过程就如同堆密度大的煤料在炉子里进行的情况。

压块煤在胶质体状态析出大量气态物，压迫型煤周围的煤料粒子，有助于这些粒子的黏结。因此，配入部分型煤炼焦可以改善全部配煤的黏结性和焦炭质量，因而能利用弱黏结性煤炼焦。

1.1.5.2 捣固煤炼焦

捣固煤炼焦的工业生产已在我国和其他国家进行，可以多用弱黏结性煤生产出高炉用焦炭。一般地，散装煤炼焦只能配入气煤35%左右，捣固法可配入气煤55%左右。

捣固煤可以提高煤粉细碎度而不降低焦炉生产能力，也不使操作条件变坏。

捣固煤炼焦工艺，是将煤由煤塔装入推焦机的捣煤槽内，再用捣煤锤于3min内将煤捣实成饼，然后推入炭化室，关闭炉门。

在装煤入炭化室时，借助于设置在炉顶的装炉煤气净化车把产生的粗煤气和烟尘吸出，通过炭化室上部孔析出气体，气体在车上的燃烧室内烧掉，废气经冷却送入地面站除尘后排入大气。

过去，捣固焦炉的炭化室高度比较低，高宽比为9:1，现已提高到15:1，炭化室高度增加到了6m；过去捣固一次装煤时间为13min，由于现在改进了捣固设备，利用多锤同时捣固，不但强化了捣固过程，而且装煤时间也缩短至3~4min。

含水率达 10%~11% 的煤，堆密度可达 1.13t/m³。

1984 年，西德的萨尔区建成的大容积捣固焦炉，一座焦炉有 90 孔炭化室，炭化室尺寸如表 1-1 所列。

表 1-1 炭化室尺寸

高度/mm	6250	有效容积/m ³	45.7
长度/mm	17720	一次装煤/t	48
宽度/mm	490	一座焦炉能力/(kt/a)	1200
锥度/mm	20		

捣固法还可以和预热煤联合炼焦，可以配入 80% 的不黏结性煤。将煤预热到 170~180℃，混入 6% 的石油沥青，然后在捣固机内捣实。此法与捣湿煤的方法相同。将煤饼推入炭化室炼焦，结焦时间可缩短 25%~30%，而生产能力增加不小于 35%。捣固与预热煤联合炼焦与湿煤捣固炼焦相比，主要优点是大大改善了焦炭质量，块焦率增加 5%。联合方法中配入 10%~15% 黏结性好的煤即可生产优质焦炭。联合方法使用原料煤便宜，生产成本低，炉子生产能力大。

1.1.5.3 成型煤

全部煤料用黏结剂或无黏结剂压成型，或者部分配煤压成型，此配煤中配有弱黏结性和不黏结性组分。

20 世纪 70 年代，日本大量采用配入黏结性成型煤的方法炼焦，到 1981 年已达到日产型块 20000 多吨的生产规模。我国宝山钢铁公司（以下简称宝钢）为了在配煤中多配入弱黏结性煤、炼得优质焦炭，引进了成型煤新工艺。

从通常配合煤料中，切取约 30% 的煤料，配以黏结剂压块成型，然后在装炉前与剩余的 70% 未成型粉煤配合装炉。

在压块成型前，将原料煤加湿到 11%~14%，再喷洒软沥青黏结剂 6%~7%，用蒸汽加热到 100℃ 进行混捏均匀，然后在对辊式成型机中压制成型煤。

成型煤炼焦利用了廉价的弱黏结性煤，降低了煤原料成本。我国弱黏结性煤量多数含灰分低，有利于降低焦炭灰分。同时，焦炭质量也得到了改善，块焦产率提高，高炉焦比降低，生铁产量得到提高，节约了焦炭。但该方法由于增加了较多的设备，基建投资较高。

1.1.5.4 选择破碎

现代焦炉都是用数种煤配合炼焦，几种煤的结焦性各不相同。如果能很好地处理和混合结焦性不同的各种煤，使所得配合煤料具有可能达到的最好结焦性，因此，找出煤处理的最佳条件，就可以提高配合煤料的结焦性，或扩大炼焦煤源。

各种煤的变质程度不同，其挥发分含量、黏结性和岩相组分也不一样。各种煤的抗碎性也有区别，一般中等变质程度煤易碎，年青和年老的煤难碎，在一般生产破碎情况下难碎的气煤多集中在大颗粒级中，能使结焦性下降。

煤的不同岩相的组分其性质也不相同，镜煤、亮煤和暗煤的黏结性有很大差

异，镜煤的黏结性好，暗煤的差，亮煤的居中。例如，劳林高挥发分煤、镜煤、亮煤和暗煤的奥亚膨胀度曲线的形状和数值有明显差别。煤的挥发分 V_{daf} 为 19%~33% 的镜煤有良好的结焦性。中等挥发分的镜煤和暗煤的结焦性都较好，它们之间的区别不大，而高挥发分弱黏结性煤的结焦性则差别较大。

镜煤容易破碎，暗煤和矿物质很难破碎，丝炭是惰性成分容易粉碎。在一般生产破碎条件下，暗煤和矿物质多集中于大颗粒级中，黏结性好的镜煤和亮煤多集中在小颗粒级内。

根据煤的岩相性质进行选择破碎，使得有黏结性的煤不被细碎，黏结性差的暗煤和惰性矿物进行细粉碎，使其均匀分散开。这样可以保证黏结性成分不被瘦化，提高堆密度，消除含有惰性成分的大颗粒，从而提高黏结性弱的煤料的黏结性。

黏结性差和不结焦的煤组分由于其硬度大，在粉碎时仍保留在大颗粒级中，将其筛出来进行粉碎，并再进行筛分，大粒子再循环粉碎。这样把不软化的和软化性能差的组分细碎，而强结焦的组分不过细粉碎，使得结焦固化时清除了惰性组分的大颗粒，防止形成裂纹，从而可以获得大块焦炭。

这样粉碎，可使黏结性差的成分小于 1.0mm，但又不使其生成更多的 $<0.2\text{mm}$ 的粒子， $0.2\sim 0.8\text{mm}$ 粒子占大多数，黏结性好的粒子大，避免粒了过细。粉碎煤料粒子平均直径比一般粉碎方法的大，煤料堆密度比一般粉碎的大，煤粒度都在 $0\sim 3\text{mm}$ 之间，但选择破碎煤的堆密度高。

选择破碎方法首先被法国采用。用一般方法配煤只能配入约 20% 的挥发分 V_{daf} 为 37%~38% 的高挥发分煤，其余是进口鲁尔煤。当采用选择破碎后，本地高挥发分煤可以配入 65%，扩大了炼焦煤源。

煤选择破碎方法已被不少国家采用，有的工厂每天处理煤量达 3000t。显然，该方法是一些气煤炼焦的有效途径之一。但是对于岩相组成较均一的煤，或者岩相组成虽不均一但是不富集于某一粒度级的煤，选择破碎效果不大。选择破碎方法的缺点是流程长、设备多、筛孔小、电热筛操作困难等。粉碎煤过细亦不好，不但使煤料瘦化，堆密度降低，而且不利于黏结，所得的焦炭强度要比选择破碎得到的焦炭强度低。现在，一般锤式粉碎机粉碎的煤料中，小于 0.5mm 粒级的含量占 50% 以上。利用冲击破碎机，可以降低小于 0.5mm 和过大颗粒的含量，提高弱黏结性煤的焦炭强度。某种高挥发分弱黏结性煤，利用冲击式破碎机破碎时，焦炭强度 M_{40} 提高了 6%~13%。由于冲击式粉碎机粉碎时使煤尘产生量少，煤颗粒大，目前在外国得到了广泛地应用。

圆筒立式筛分机的筛分生产能力大，可以筛分湿煤。为了克服湿煤堵塞筛网的缺点，要用压缩空气清除附在筛网上的粉煤，压缩空气喷嘴可以上下移动，筛网以 55r/min 的速度旋转，使整个筛网定期得到清扫。筛分机置于一个密闭的装置内，粉尘易控制，操作环境清洁。

1.1.5.5 煤干燥预热

煤中水分对炼焦有害，为了脱除水分需对煤进行干燥。将煤加热到 $50\sim 70^\circ\text{C}$ ，

可将水分降至2%~4%。干燥煤装炉能提高堆积密度，缩短结焦时间，提高焦炉生产能力15%左右。干燥煤装炉在工业生产上已获得成功应用，在国外采用干燥和冲击破碎备煤，扩大了炼焦煤源。煤干燥方法有立式流化加热法、沸腾床加热法和转筒加热法。

把煤预热处理的加热温度提高至150~200℃，称为煤预热。预热煤装炉能提高炼焦装煤量及焦炭质量，煤在预热过程中还可以脱除一部分硫。但是由于煤料温度高，在生产上需要解决热煤的贮存、防氧化、防爆和装炉等技术问题。

煤预热炼焦技术在世界上已引起重视，美国、英国、法国、南非和德国等国家已用此技术进行了工业生产，日本和加拿大也开始采用此项技术。煤预热技术始发于法国和德国，可广泛利用结焦性差或高挥发分煤生产焦炭。煤干燥和预热技术从1950年开始开发，至1960年取得较大进步。该研究开始时在反应器中进行，操作虽然复杂，但能够增加产量，产品的质量也保持不变。研究表明，煤预热炼焦可增产50%，而焦炭质量和其他化学产品质量都保持不变。当采用结焦时间与炼湿煤相同时，可增加焦炭强度和提高了焦炭块度。根据对炼焦煤的综合研究，发现热处理炼焦煤需要一些特殊条件，且需要解决热煤的输送和贮存问题。

德国的普雷卡邦（Preccarbon）法采用不同的预热和加煤方法，它包括两段气流加热用于热处理。热烟气于燃烧室与惰性气体相混调节温度，并首先进入预热管，在此预热煤，由预热管出来的热气再去干燥管。此法完全利用逆流操作原理，这样操作热效率高，且热处理较精细，所以加热气体温度低。旋风分离器用于气体与煤的分离，预热煤用装煤车，把煤加入焦炉。此技术是用重力加入预热煤，因此煤的堆密度大于湿煤装炉。热煤流动性好，加煤比较均匀，不需要平煤。

1.1.5.6 干法熄焦

由焦炉推出的赤热焦炭的温度约为1050℃，其显热占炼焦耗热量的40%以上。如采用洒水湿法熄焦，虽然方法简便，但是损失了这部分高温级的热量，而且耗用了大量熄焦用水，造成大气环境的污染。采用干法熄焦，即利用惰性气体将赤热焦炭冷却，得到的高温惰性气体用于加热锅炉生产蒸汽，再将降温后的惰性气体送去熄焦，循环使用，从而回收了赤热焦炭的显热，提高了炼焦生产的热效率。每吨1000~1100℃的焦炭的显热约为1.51~1.67MJ，干熄焦热量回收率可达80%左右，可产生蒸汽400kg以上。

1920年前后，在瑞士建立了第一套干法熄焦装置，能力为27t/d。此后相继建立了多套装置，其中两套操作了40年，一套在法国，另一套在英国。20世纪60年代初，由于气候寒冷，湿法熄焦困难，前苏联也发展了干熄焦装置。由于能源紧张，德国也发展了干熄焦技术，除了采用前苏联技术2×70t/h装置之外，在熄焦槽内增设了水冷壁，采用直接气冷和间接气冷的联合方法，使熄焦槽本身产生蒸汽，可减少熄焦用循环气体量，从而减少电耗。干法熄焦装置中，中国宝钢、日本八幡及德国干熄焦设备性能和规格如表1-2所列，中国宝钢干熄焦的技术指标如表1-3所列。