

焦炉 生产 技术



JIAOLU SHENGCHAN JISHU

主 编 于振东 蔡承祐
副主编 高兴锁 王晓东



辽宁科学技术出版社

LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

《焦炉生产技术》编委名单

主 编	于振东	蔡承祐		
副 主 编	高兴锁	王晓东		
编 审	何永吉	刘洪春	郑国舟	杨后斌
编 者	陈兴禄	马兴翼	张长青	袁正仲
	徐 列	李振国	刘承智	李 超
	张绍盾	赵希超	王进先	涂 宏
	王恩阁	左树行	李永成	李保顺
	肖江平	李全球	于吉春	穆 峰
	管庆杰	胡远华		
文字校对	杨素莲			

序

经过焦化工作者几十年的艰苦努力，中国焦化工业得到持续蓬勃发展。现在中国有 400 多个焦化厂，有大大小小 1200 座焦炉在生产。近些年来，中国的焦炭产量一直占世界总产量的 1/3 以上，稳居世界第一位，具有举足轻重的地位。

跨入新世纪，摆在我国焦化工作者面前的光荣而繁重的任务是，把我国由焦炭生产大国变成炼焦技术强国。为此，中国冶金建设集团鞍山焦化耐火材料设计研究总院和中国金属学会炼焦化学专业委员会组织本院热工站并邀请炼焦企业的专家编写了《焦炉生产技术》一书。期望本书的出版能对焦化工作者有所裨益，若能在提高焦炉生产操作水平、严格焦炉维护管理、促进焦炉稳产长寿方面起些作用，从而推动我国炼焦技术的进一步发展，我们将感到无限欣慰。

让我们共同携手，迎接中国焦化工业美好的未来！

中国金属学会炼焦化学专业委员会理事长
鞍山焦化耐火材料设计研究总院院长

郑文华

2002.11.19

编写介绍

《焦炉生产技术》一书是鞍山焦化耐火材料设计研究总院和中国金属学会炼焦化学专业委员会组织编写，主编是于振东副院长和蔡承祐副院长，郑文华院长为本书写了序言。鞍山焦化耐火材料设计研究总院是国家甲级设计科研单位。本院热工站是专门从事焦炉砌筑、安装、烘炉开工、焦炉诊断、焦炉维修、焦炉热工测试和研究的专业技术队伍。本书作者主要为热工站和院内炼焦专业的人员并邀请院外炼焦技术专家参加编写。编者中于振东、蔡承祐、郑国舟、杨后斌、刘洪春均为教授级高工，其余编者多为高级工程师和工程师。本书为煤化工方面的专业书籍，既有理论基础知识，又凝聚有丰富的实践经验，是指导炼焦生产较为全面的技术资料。本书内容包括炼焦煤的准备、焦炉装煤、出焦等生产操作、焦炉内气体流动和煤气燃烧、焦炉温度压力制度的确定与测量、焦炉的加热调节、焦炉的炉体与设备维护、焦炉加热计算机控制及焦炉环保及安全等。

本书可供焦化厂干部和技术人员使用，也可供大中专院校煤化工专业师生及从事炼焦设计的人员参考。

目 录

第一章 焦炉生产技术的发展	(1)
第一节 世界焦炉技术的发展	(1)
第二节 中国炼焦技术的发展与现状	(5)
第三节 现代炼焦技术的深入发展	(8)
第二章 焦炭与炼焦用煤	(11)
第一节 焦炭	(11)
第二节 炼焦用煤	(18)
第三章 焦炉及其设备	(41)
第一节 焦炉炉体结构及炉型简介	(41)
第二节 焦炉用耐火材料	(50)
第三节 护炉设备	(58)
第四节 煤气设备	(62)
第五节 废气设备	(68)
第六节 交换设备	(72)
第七节 荒煤气导出设备	(75)
第八节 焦炉机械	(80)
第四章 焦炉三班操作	(89)
第一节 装煤	(89)
第二节 推焦	(95)
第三节 熄焦	(106)

第五章 焦炉内气体流动与煤气燃烧	(116)
第一节 流体力学基本原理.....	(116)
第二节 煤气性质与燃烧.....	(141)
第三节 热效率与耗热量.....	(149)
第六章 温度与压力制度的确定	(156)
第一节 温度制度的确定.....	(156)
第二节 压力制度的确定.....	(161)
第七章 各项温度和压力的测量	(166)
第一节 各项温度的测量.....	(166)
第二节 各项压力的测量.....	(171)
第三节 废气分析.....	(174)
第四节 火落管理法的应用.....	(176)
第五节 测量温度压力的常用仪器.....	(188)
第八章 用焦炉煤气加热时炉温的调节	(195)
第一节 总供热量的调节.....	(195)
第二节 各燃烧室的供热.....	(213)
第三节 燃烧室各火道的供热.....	(222)
第四节 两分式焦炉加热特点.....	(228)
第九章 高炉煤气加热时的调节	(238)
第一节 用高炉煤气加热时的特点.....	(238)
第二节 炉温的调节.....	(240)
第十章 焦炉边界加热与高向加热	(264)
第一节 焦炉边界加热.....	(264)
第二节 焦炉高向加热.....	(277)

第十一章 焦炉特殊操作	(295)
第一节 焦炉强化生产.....	(295)
第二节 延长结焦时间和停产保温.....	(299)
第三节 焦炉停止加热和重新供热.....	(305)
第四节 焦炉更换加热煤气.....	(309)
第十二章 焦炉炉体及设备维护	(314)
第一节 焦炉损坏的原因.....	(314)
第二节 焦炉砌体的维修.....	(318)
第三节 护炉设备的管理.....	(330)
第十三章 焦炉各部位漏气率的测定	(340)
第一节 炭化室漏气率的测定.....	(340)
第二节 蓄热室漏气率的测定.....	(348)
第三节 交换开闭器煤气砵漏气率的测定.....	(351)
第十四章 焦炉加热计算机控制介绍	(353)
第十五章 炼焦环保与安全	(360)
第一节 焦炉污染治理.....	(360)
第二节 炼焦生产安全.....	(365)
附录 1 局部阻力系数表.....	(372)
附录 2 不同温度下的饱和水蒸汽压力.....	(376)
附录 3 原冶金工业部颁发的《焦炉技术管理规程》.....	(378)

第一章 焦炉生产技术的发展

人类生产和使用焦炭渊源甚早，但具有工业意义的大规模生产，是在18世纪初用焦炭代替木炭炼铁成功以后开始的。到18世纪末，欧洲大部分高炉都已使用焦炭炼铁，从此推动了炼焦生产的发展。此后又经历了漫长的发展道路，直到20世纪20年代才形成了现代炼焦技术。20世纪20年代以后几十年是世界炼焦技术深入发展的阶段。

第一节 世界焦炉技术的发展

一、成堆干馏

早期炼焦阶段是成堆干馏。将可以成焦的煤堆成圆堆，每堆十余吨到上百吨不等。在堆中心事先用砖砌成烟气道，在堆四周也留有通向中心的烟气道（图1-1，a），煤堆好后，在堆的表面砌上一层砖，用煤泥抹严，形成一个圆形窑，以防止煤过量燃烧。在四周烟道口点燃煤料，使烟气汇到堆的中心，从中心烟气道排出。由于气道部位煤料的燃烧将热量向煤料内部传递，煤料受热后，挥发分向烟气道排放燃烧，空气靠中心烟气道燃烧的热浮力吸入。经5~10昼夜使全部煤料得到干馏。这种成堆干馏法适用于粘结性好的煤，使用弱粘结性的煤时，不能得到较为理想的焦炭。后来人们采用夯实的方法将煤堆分层捣实，大大改善了焦炭的质量。为了便于夯操作，人们又采用方形成堆干馏（图1-1，b）。长方形煤堆的底部设横气道，而侧墙内设竖立火道，烟气经横气道从立火道排出。每装煤150mm厚可夯实一次，这样就大大增加了煤堆的

密度。18 世纪在欧洲采用长方形窑夯实的方法对使用弱粘结煤炼焦起到很大的推动作用。夯实法炼焦其实就是现代捣固炼焦的起源。

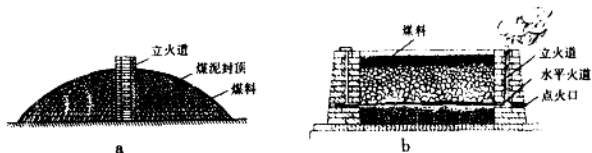


图 1-1 成堆干馏示意图

a—圆窑 b—方窑

19 世纪末，中国现代钢铁工业的兴起，曾大量采用圆窑和方窑这两种方法炼焦。圆窑多采用粘结性好的煤，如山东峰县（枣庄）的中兴煤矿，称“中兴窑”；长方形窑多采用粘结性较差的煤，如江西萍乡地区多采用方窑，称“萍乡窑”。成堆干馏法由于成焦率低，焦炭灰分高，生产率低，资源浪费严重，无法有效地控制污染物的排放，所以现在已经不再应用。

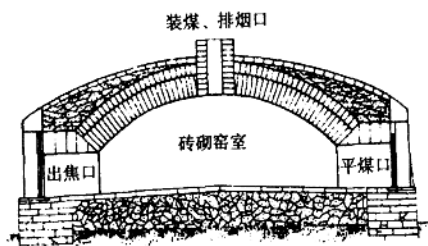


图 1-2 蜂窝焦炉示意图

二、蜂窝焦炉炼焦

18 世纪中叶，人们为了克服成堆干馏炼焦的缺点，用耐火砖砌成可以多次使用的固定窑室，称为蜂窝焦炉（图 1-2）。直到 19 世纪 60 年代，蜂窝焦炉才取代了成堆干馏法。蜂窝焦炉的燃烧室

与炭化室不分开，靠煤料燃烧和煤干馏时生成的煤气燃烧提供热源。每炉可装煤 5t 左右，炼焦周期 2~3 昼夜。焦炭在炉内熄火，最初由人工出焦。在生产规模较大时可将若干炉室排成一组统一生产，有效地利用机械设备，这是现代焦炉雏形。

随着炼铁技术及机械业的发展，对钢铁质量的要求越来越高，进而对焦炭质量的改善提出迫切的要求。19 世纪初开始对原料煤进行水冲洗等简单的处理，以降低灰分并选择含硫分较低的煤料，从此向煤的洗选迈进。与此同时，还开始采用原料煤的破碎方法，选用几种煤混合等方法以改善焦炭的质量。这些原料煤的处理方法，逐步发展为现代的炼焦配煤技术。

三、现代炼焦技术的形成

19 世纪中叶以后炼焦出现了一系列的重要技术变革，如炭化室与燃烧室分开、蓄热室的配置、炼焦副产品的回收、复热式焦炉的出现和硅砖砌炉材料的应用等，使炼焦技术发生了根本性的变化，这些技术沿用至今形成了现代炼焦技术的基础。

1. 炭化室与燃烧室分开 19 世纪中叶，在蜂窝焦炉的基础上将炭化室与燃烧室分开，中间用砖墙相隔，上部相通。炭化室产生的煤气进入燃烧室燃烧，火焰由上向下进入炉底烟道，故称为“倒焰焦炉”（图 1-3）。“倒焰焦炉”较大地提高了焦炉的热效率和焦炭产率，缩短了结焦时间，因此很快得到推广。“倒焰焦炉”常常以二三十个炉室组成，按一定的顺序装煤和出焦。这种形式的焦炉结构，成为后来焦炉改进的方向，这是炼焦技术较大的变革。

2. 蓄热室的建立 19 世纪 70 年代末，德国人奥托在“倒焰焦炉”的基础上建立了废热式焦炉。其特点是燃烧室内设置了上升气流通道和下降气流通道，并组成一个燃烧单元，形成了最初的双联火道结构形式。但这种焦炉不回收废热，热效率不高。后来奥托与另一个德国人霍夫曼一起将蓄热室原理用于焦炉，设计了纵蓄热室焦炉，即奥托—霍夫曼焦炉。它的蓄热室是一个用砖砌筑的长方形炉室，内装格子砖用以蓄热。蓄热室沿焦炉中心分成两格，交替用

于上升气流时预热空气和下降气流蓄积热量。这样大大提高了焦炉的热效率。这种蓄热室的原理一直沿用在现代焦炉上。由于纵蓄热室内气流分布不均，不便于进行精细的调节，后来德国人考贝斯于1904年设计了横蓄热室焦炉。这种焦炉的结构是在每个炭化室下部设置一个单独的蓄热室，形成了横向蓄热室结构。因而解决了纵向大蓄热室存在的缺点，进一步提高了热效率。这样，焦炉自身炼焦所发生的煤气除自用外，有了较大的剩余量。这种焦炉结构形式一直沿用至今。

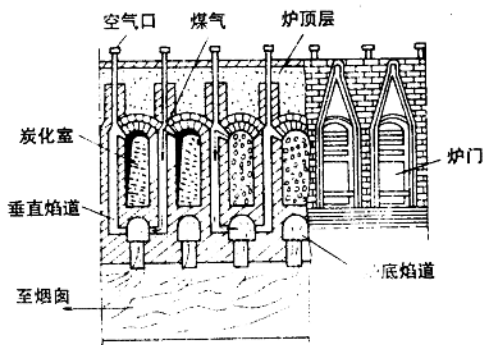


图 1-3 倒焰焦炉结构图

3. 化学产品的回收 焦炉改进后煤气量的剩余给化学产品回收创造了条件。另一方面，由于化学工业的发展，对化工原料的需求也促使人们研究炼焦的副产品回收。由于煤气中的焦油等被分离出去，大大改善了煤气输送和在焦炉上分配燃烧调节的精度，使焦炭的质量也得到改善。

4. 复热式焦炉的问世 20世纪初以前，焦炉炼焦的热源都是焦炉煤气。焦炉煤气是中发热量煤气（又称富煤气），是当时钢铁厂重要的燃气源。为了节约焦炉煤气，人们开始寻求其他气源炼

焦。1909年奥地利维也纳煤气厂采用净化的发生炉煤气，经预热后送至焦炉燃烧室使用，效果良好。1911年考贝斯复热式焦炉在德国问世。这样，焦炉在结构上增设了煤气蓄热室，以便在使用低发热值煤气（贫煤气）加热时预热煤气。复热式焦炉的出现，使焦炉加热用煤气扩大到贫煤气，使钢铁厂高炉煤气得到充分利用。

5. 硅砖筑炉材料在焦炉上的应用 19世纪末，焦炉发展遇到的难题是筑炉用的粘土砖和半硅砖的荷重软化温度较低，致使燃烧室温度和炭化室温度受到制约，当时的结焦时间长达30h，影响产量的提高。为了改变这种状况，奥托公司在19世纪90年代为美国约翰斯顿一个炼焦厂整修焦炉时，试用硅砖砌筑几孔焦炉进行试验，结果发现效果良好。1908年考贝斯公司在为美国乔利爱特炼铁厂建焦炉时，用硅砖砌筑了一座70孔焦炉。投产后，结焦时间明显缩短，燃烧室温度提高到1350℃，而原来仅能在1250℃以下操作。从此，焦炉逐渐改用硅砖砌筑，这是炼焦技术一个较大的变革。硅砖的高温性能好，荷重软化点高，高温下体积稳定，使高温操作下的焦炉结构强度高，使用寿命长。硅砖的采用给焦炉向大型化方向发展创造了条件。

第二节 中国炼焦技术的发展与现状

一、中国焦炉技术的发展

中国生产和应用焦炭的历史，根据对出土文物的考证，可以追溯到宋代。最早文字记载焦炭见于1650年前后方以智（1611～1671）所著《物理小识》一书。工业规模焦炭生产，是从清政府于1898年开办的江西萍乡煤矿开始的，当年生产焦炭2.9万t。同期，河北开滦煤矿也生产焦炭。1908年组建的汉冶萍煤铁厂矿公司，在萍乡建有各种成堆干馏窑164座，年产焦炭14万t，1916年达26.6万t。第一次世界大战后，在鞍山、本溪、石家庄等地开

始建设可回收化工产品的现代焦炉，如鞍山建成的考贝斯捣固焦炉、石家庄建成的奥托废热式焦炉和亨塞尔曼两分式焦炉，本溪建成黑田式焦炉等。1931年后在鞍山、本溪又建成奥托复热式焦炉，1938年在石景山铁厂建成侧入式索尔威型焦炉。一直到中华人民共和国成立后的第一个五年计划前，中国的现代大型焦炉全都是外国人设计的，炼焦技术的发展十分缓慢。

解放初期，中国的焦炉一部分是解放前遗留下来的外国焦炉，如奥托式焦炉，解放后恢复继续生产；另一部分是引进原苏联的现代化焦炉，如 ПБР 式焦炉、ПК 式焦炉；没有自行设计的焦炉。

在第一个五年计划期间，由于优先发展重工业的政策，使我国的钢铁技术包括炼焦技术在内很快发展起来。当时有引进原苏联的技术作为基础，而原苏联当时的炼焦技术已处在世界前列，所以我国炼焦技术发展也很快。我国炼焦研究、设计、基建等相应的专门组织相继建立并得到很快发展。

1952年，在鞍山黑色冶金设计院内设立炼焦专业设计部门和煤焦研究室，开始自行设计焦炉和进行煤焦研究。后于1958年组建为鞍山焦化耐火材料设计研究院（以下简称鞍山焦耐院）。

中国自行设计焦炉的起步是解放初期恢复战争期间停产的焦炉和引进原苏联焦炉建设中的设计工作。这些焦炉的基建、投产及生产调整工作的各种经验，给自行设计焦炉作了技术准备工作。

1954年，我国自行设计了双联火道废气循环下喷式本-54型焦炉。这种焦炉吸收了 ПБР 型焦炉废气循环拉长火焰原理和奥托式焦炉煤气下喷结构在调节上的方便及竖直砖煤气道的优点，克服了 ПБР 型焦炉调节不便及结构上的弱点，形成了全新形式的焦炉。实践证明，这种结构开创了世界焦炉结构的新的主导方向。本-54型焦炉于1956年在本钢焦化厂投产，当时是世界上最早的双联火道废气循环下喷式焦炉。

二、中国机械化焦炉概况

鞍山焦耐院于1958年设计了 JN43-58 型焦炉（简称 58 型焦

炉), 第一座 58 型焦炉于 1960 年在北京炼焦化学厂建成投产, 58 型焦炉的投产, 推动了我国炼焦技术的发展, 对我国冶金及城市煤气企业的发展起到了重要作用。为了适应我国地方工业的发展, 适应我国 20 世纪 60 年代经济水平的需要, 鞍山焦耐院设计了一系列中小型焦炉。为了适应地区原料煤的条件, 设计了各种规模的捣固焦炉, 如炭化室高 3.2m、3.8m、4.3m 的捣固焦炉。

随着焦炉向大型化发展, 为了进一步提高炼焦劳动生产率及炼焦产品质量, 鞍山焦耐院设计了炭化室高 5.5m 的大容积焦炉, 这种焦炉于 20 世纪 60 年代末在攀钢建成投产。

20 世纪 80 年代, 鞍山焦耐院自行设计了炭化室高 6m 的大容积焦炉, 其中包括具有分格蓄热室下调结构的居国际先进水平的 JN60-87 型焦炉。并自行设计了干法熄焦装置。为了利用非粘结煤生产煤气和特种焦炭如气化焦和铁合金焦, 鞍山焦耐院还开发设计了直立式连续炭化炉。

20 世纪 90 年代, 鞍山焦耐院开发设计了炭化室高 4.3m、宽 500mm 的宽炭化室焦炉。

炼焦专业相关技术也得到全面发展。如环境治理方面, 研制完善了高压氨水消烟装煤技术, 焦炉烟尘治理技术。在机械化自动化方面, 研制成功了焦炉液压交换机, 焦炉机械化清扫炉门炉框、焦炉自动启闭炉盖装置, 焦炉加热计算机控制系统等。在炼焦炉原料处理方面, 研制了煤调湿系统、成型煤添加技术等。

我国贮有丰富的炼焦煤资源, 有几十年形成的众多炼焦企业及设计、施工、技术监督等部门, 构成了优越的炼焦技术发展空间。所以, 我国炼焦技术才能由解放初期的落后状态, 经快速发展后跃居世界前列。

我国焦炉本体结构合理。目前, 我国首创的双联火道废气循环下喷式焦炉是最先进的结构形式。焦饼成熟均匀, 高向及横向加热均匀性良好。我国自行设计的 JN55 型大容积焦炉投产使用 30 年至今仍处于良好的操作状态, 可望达到 35 年以上的寿命。JN60 型

大容积焦炉、JN43 宽炭化室焦炉及大型捣固焦炉，都以结构优越见长。而且，我国还具有建设更高、容积更大焦炉的技术及试验基础。

我国炼焦煤资源丰富，炼焦生产规模世界最大，炼焦产品比较齐全，所以我国的炼焦工业具有广阔的发展前景。

三、中国的焦炭产量

从 1993 年起，中国焦炭产量已连续至今居世界第一位。1997 年达历史最高峰的 13902 万 t（表 1-1）。

表 1-1 中国焦炭产量及占世界焦炭总产量份额

年 份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
中国焦炭产量 (万 t)	9320	11429	13502	13646	13902	12806	12111	12184	13130
占世界焦炭总 产量份额 (%)	28.1	33.1	36.6	38.2	38.6	38.1	37.0	35.8	39.1

(未含台湾省焦炭产量)

中国也是世界焦炭出口大国，出口量占世界焦炭出口总量的 60% 以上。

第三节 现代炼焦技术的深入发展

现代炼焦技术到 20 世纪 20 年代基本定型，但各项工艺仍在不断改进和完善，尤其是从 60 年代到 80 年代的 20 多年中，又有重要发展。主要成就有，焦炉容积大型化、干法熄焦、装炉煤预处理、化学产品的加工和煤气净化技术、焦化厂环境保护和生产自动化等。

一、焦炉容积大型化

砌炉材料采用硅砖后，使焦炉的容积向大型化方向发展成为可能。20世纪20年代焦炉炭化室高度达到4~4.5m。此后不断出现炭化室高度更高、容积更大的焦炉，到80年代初联邦德国的曼内斯曼公司建成炭化室高7.85m的焦炉。现阶段，一些技术较发达的国家所建的焦炉多为6~7.5m，而且机械化、自动化程度不断提高。目前，德国TKS公司建成年产260万吨的超大型炉组，炭化室容积 93m^3 ($20.8\text{m} \times 0.6\text{m} \times 8.4\text{m}$)，每孔装湿煤79t，每孔产焦炭54t。

二、干法熄焦

20世纪20年代即开始研制干法熄焦。这种方法不是采用水来熄灭红焦，而是采用惰性气体将炽热焦炭熄灭。60年代初干法熄焦在前苏联研制成功，采用惰性气体用强制循环冷却焦炭，热气体进入余热锅炉生产蒸气。从此，干法熄焦不断得到推广发展。干法熄焦一方面可以回收炽热焦炭的显热，还可以改善焦炭的品质，并且干法熄焦流程在防止污染物的逸散、改善环境方面配备了完善的设施。因此，干法熄焦取代传统湿法熄焦已成为趋势。

三、装炉煤预处理

在早期炼焦阶段已经有了初步的原料煤处理技术，如洗煤、煤破碎、煤料夯实和煤料配合等。由于强粘结性煤资源在世界范围内日益紧缺和高炉炼铁对焦炭质量的严格要求，炼焦生产常常要在优质原料如强粘结性煤不足的情况下，设法炼制出质量符合要求的焦炭。因此，对炼焦原料煤方面的研究得到广泛的重视，开发了现代炼焦用煤选配和处理技术。煤岩学的应用，使配煤技术更具科学性和合理性。

四、现代化捣固炼焦

装炉煤堆密度随煤料的水分而变化，在某一范围内堆密度随水分降低而增加，所以降低装炉煤的水分可提高焦炭的质量。但装炉煤水分太低又会造成焦炉装煤困难，所以煤调湿技术已成为现代炼

焦的一项新技术。

采用捣固炼焦也是合理利用煤资源的一个方面，在早期炼焦阶段就已出现，捣固的煤料炼焦后焦炭的品质大为改善。采用捣固工艺是扩大炼焦煤源、多用高挥发分中等或弱粘结性煤并保证焦炭质量的有效措施之一。所以世界捣固炼焦技术在某些国家较为发达，并建有 6m 高大容积捣固焦炉。

五、焦化厂环境保护

环境保护技术的发展是现代炼焦技术完善的重要标志。20 世纪 60 年代以来，各国都对焦化工业污染问题进行了积极的研究，开发了各种防止措施。进入现代社会高度发展的阶段，治理焦化厂污染源，各国都高度重视并取得了良好的效果。

六、炼焦自动化技术

20 世纪 70 年代以后，炼焦工业开始采用计算机控制等自动化技术，使焦炉加热、原料煤的配合等控制的精度进一步提高。炼焦自动化技术的应用，对提高劳动生产率、提高产品质量、降低能耗及治理污染物等方面都起到了重要作用。