

# The Metabolism Analysis on Optimization of the Energy System in the Coking Industry

Sun Li

Shanghai Huanke Environmental Certification Co., Ltd., Shanghai 200233

## Abstract

With the analysis of the industrial metabolism, this paper analyzes the energy metabolism of the coke production process in a coking plant, traces and analyzes the energy's fluxion, clarifies the inputs and outputs of these energy flows for the enterprise to indentify the main energy loss units. It indicates that the efficiency of the coal-coke transformation is low, the cookery exhausts too much heat, the recycling rate of energy is low, and the wasting of all kinds of afterheat is comparatively serious. For instance, the coke cooling process uses wet-coke-cooling method; the afterheat of the red coke doesn't get efficient recycling. The crude gas is cooled down by ammonia water spray, which leads to the great wastage of the crude gas's afterheat. On the basis of the analysis, the paper gives advice about the optimization of energy system, reduces the energy consumption of per ton coke obviously, and gives the direction of energy-saving in coking industry.

**Keywords:** *Coke Production; Industrial Metabolism Analysis; Energy Metabolism; System Optimization*

## 基于工业代谢分析的焦化生产能源系统优化研究\*

孙丽

上海环科环境认证有限公司, 上海 20023

**摘 要:** 运用工业代谢分析方法, 对某焦化企业生产过程进行能源代谢分析, 追踪和分析能流走向, 通过比较其所有的输入输出过程来筛选企业节能降耗的关键节点, 并结合企业实际调查分析提出优化措施。结果表明, 该企业焦化系统煤-焦转换效率较低, 焦炉耗热量较大; 能量回收率低, 各种余热浪费比较严重。根据研究结果, 从加强余热资源回收、提高能源效率提出了具体的能源系统优化建议, 以期实现降低吨焦能耗, 为同类企业开展节能降耗探索了研究路径。

**关键词:** 焦化生产; 工业代谢分析; 能流代谢; 系统优化

## 引言

我国作为世界焦炭生产、消费和出口大国, 其产量占全球 50% 以上, 出口量为全球 70% ~ 80%。近年来, 我国焦化行业在钢铁企业生产规模迅速扩张的带动下, 得到了十分迅猛的发展。但由于工艺装备技术水平从总体上未能跟上规模扩大的步伐, 高耗能、高污染的问题成为制约焦化企业发展的瓶颈<sup>[1-2]</sup>。因此, 实施节能降耗、清洁生产和循环经济, 对于实现焦化行业可持续发展具有十分重要的意义。

焦化厂作为主要一次能源——煤炭的加工转化工序, 应该是煤炭高效综合利用和二次能源制造中心, 通过与钢铁企业内其他工序的联合, 可实现焦化产品和能源资源的优化配置和重复利用。但是传统的焦化生产对于能源使用的合理性、污染治理的科学性和有效性并没有进行系统深入的研究和探讨, 以至于对焦化的认识长期停留在焦化工艺本身就是高污染、高能耗的层面上, 导致焦化生产的工艺水平和装备水平得不到本质的改进和提高, 焦化过程资源能源利用效率长期处于落后地位<sup>[3-4]</sup>。

\*作者孙丽, 女, 1986 年生, 2011 年毕业于南京大学环境学院, 硕士研究生, 工程师。

## 1 焦化工艺流程

焦化生产是把原煤经选配、混合、破碎后，由装煤车送入焦炉，煤在高温干馏炼制成焦炭和荒煤气。焦炭成熟后用推焦车推出，经拦焦机导入熄焦车内。熄焦车由电机车牵引至熄焦塔内进行喷水熄焦，熄焦后的焦炭经切焦、筛焦后，由带式输送机外运。荒煤气经焦炉上升管进入集气管，经冷凝、分离、精制、洗涤、终冷后，分离出焦炉煤气和各种化工产品<sup>[5-6]</sup>。焦化生产工艺流程示意图见图 1。

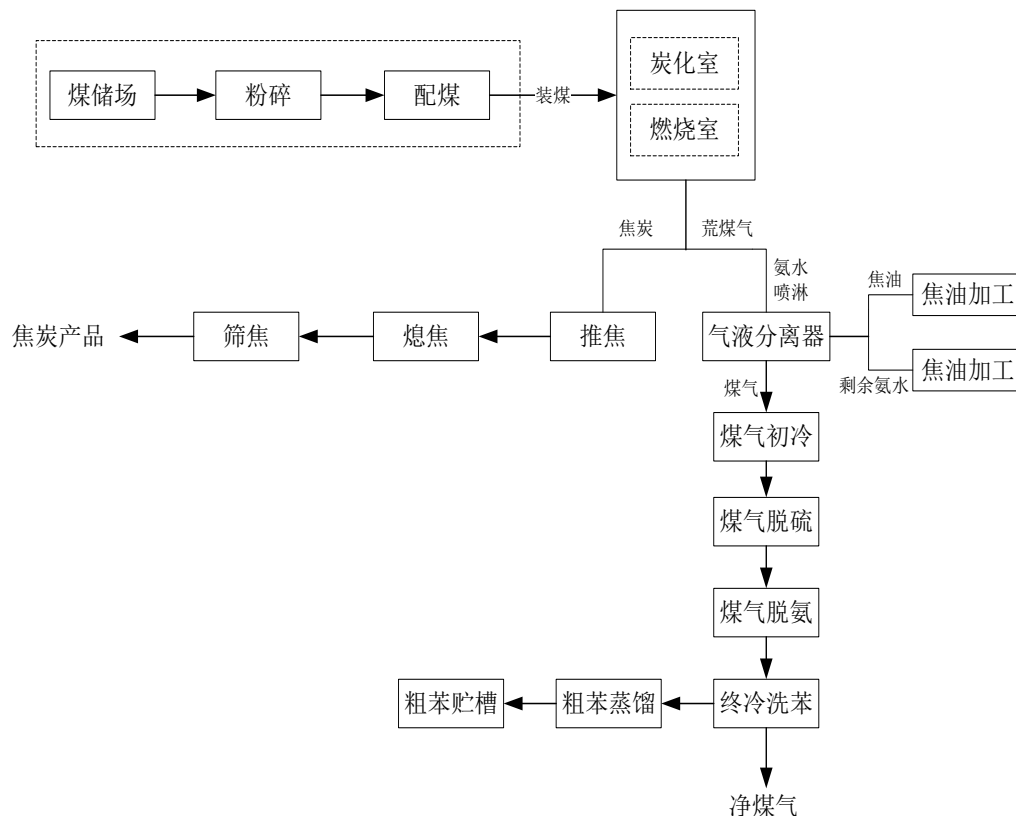


图 1 焦化生产工艺流程

## 2 工业代谢分析

### 2.1 概念及定义

工业代谢分析方法（Industrial Metabolism, IM）是建立生态工业的一种行之有效的分析方法，它模拟生物和自然界新陈代谢功能，以自然生态系统相似的系统分析手段，对工业系统的代谢机理进行研究<sup>[7-8]</sup>。工业代谢分析以质量守恒定理为其基本原理，在此基础上建立物料结算平衡表，对工业系统中物质能量的输入—存储转化—输出过程的数量进行追踪，通过实测来确定物质流动与转换数量，描绘其行进的路线和物质损失产生的途径、环节，识别和筛选生产过程中产生环境污染和物料损失的主要环节，为寻找改善物质代谢和提高资源利用率、减少环境排放的机会提供信息。

工业代谢方法可以适用于不同层次的分析要求，既可以是全球性、国家性或是地区性的工业生产分析，也可以是对某一个具体行业、公司或是特定场所的调查分析。通过这种分析，可以为公众或是企业的决策者提供一幅详细的物流图，并从中可以看出某一地区或企业所具有的可持续发展的潜力<sup>[9]</sup>。

### 2.2 分析方法与步骤

利用工业代谢分析方法对企业生产过程进行分析，结合焦化企业生产特点及企业内物质能源流动规律，给出企业工业代谢分析的方法与步骤<sup>[10]</sup>，具体如下：

2.2.1 收集数据

分析企业生产现状，收集与其生产有关的各种能源数据，弄清企业各个工序的能流的来龙去脉。

2.2.2 绘制能流代谢图

建立炼焦生产的各工序单元能流平衡帐户，其中各种能源按照对应的折标系数均折算成标煤，单位吨标煤。在此基础上，将各工序单元用能情况整合，得到整个生产过程的能流代谢图。

2.2.3 识别关键节点

通过比较其所有的输入、储存及输出过程来识别企业节能降耗的关键节点，这些节点主要包括能耗消耗大、能源利用率较低的工序等。

2.2.4 提出优化建议

对这些关键节点进行焦化企业实际调查分析找出主要原因，并根据分析结果，从管理、技术等方面探讨节能降耗措施。

3 焦化生产过程能源代谢分析

3.1 能流代谢

本研究的能流代谢分析包括一次能源和二次能源，即各类煤粉以及电、蒸汽、焦炉煤气等，由于本文主要关注工艺过程的优化，对原料准备、装运、设备运转等动力消耗在此暂不讨论。根据实际统计结果进行数据处理，首先建立炼焦生产的各工序单元能量平衡，然后在此基础上，将各工序单元用能情况整合，得到炼焦生产过程的能流代谢图（见图 2），其中各种能源均折算成标煤，单位吨标煤，各能源后的百分比表示该部分能源占总能源输入的百分比。

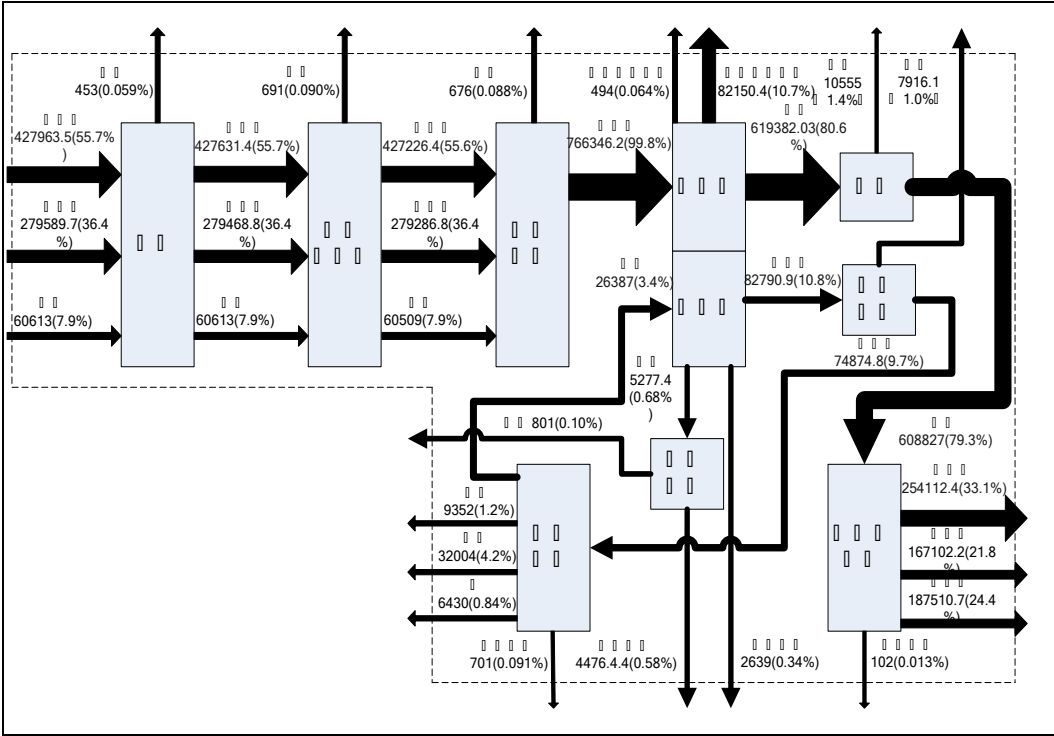


图 2 焦化生产过程能流代谢

从图 2 可以发现该企业能源的损失主要是以热能的形式耗散：

- (1) 炼焦生产过程的能流分析表明，焦炉加热过程由煤炭转换为焦炭的热能损失是炼焦过程的主要能源消耗，约为 82644.37 吨标煤，占总能量输入量的 10.7%，占能量总损失量的 76.2%。提高焦化过程能源转化效率和有效利用加热焦炉煤气是整个炼焦过程能源优化的核心。
- (2) 炼焦生产过程中对于能量的回收比较少，只在炼焦工序单元中对于排放的废气进行余热回收产生蒸汽 801 吨标煤，还有一大部分余热没有回收就浪费了，包括焦炉炉体的散热占 10% 左右，炽热的焦炭带走的显热占 40%，荒煤气带走 30% 的显热，烟道废气带走 15 % 的显热，余热损失量总达 25186.5 吨标煤，占能量总损失量的 21.8%。余热回收在降低炼焦过程能源消耗上有着重要的作用。
- (3) 炼焦结束准备出焦时，焦炭的温度在 1000 ℃ 左右，红焦所含的热量约相当于炼焦时所供热量的 40%。在熄焦工序单元中采用水湿法熄焦，使用循环水冷却将红焦却至 80 ℃ 以下，红焦的显热（10555 吨标煤，占总能量输入的 1.4%）全部随熄焦水的加热和蒸发排入环境。采用有效的红焦显热回收技术如干熄焦技术等，对炼焦生产过程的有显著节能降耗效果。
- (4) 荒煤气采用循环氨水直接与煤气接触以达到净化、冷却煤气的目的。包括水分，各种化学产品及焦炉煤气的显热和潜热，这部分热量大部分被上升管，集气管内喷洒的氨水及蒸发的水和氨气带走。并在煤气初步冷却器内被冷却水带入环境，以及循环水在澄清、分离焦油、清除焦油渣并返回焦炉喷洒的循环过程中降温，热量散失之环境而损失。荒煤气的显热（7916 吨标煤，占总能量输入的 1.0%）不但没有很好地回收利用，反而需要耗费更多的冷媒水进行冷却，造成了能源的巨大浪费。
- (5) 炼焦过程中烟道废气带走焦炉耗热量的 16%，通常从焦炉废气盘排出的废气温度约 350 ℃ ～ 400 ℃，经过烟道到达烟囱根部时废气温度通常降至 200 ℃ 左右。这是由于烟道的散热以及从废气盘开始到烟囱根部全过程中冷空气通过不严密处吸入废气而引起，因此要采取措施提高烟道的严密型和隔热性，可以减少废气的温度降。虽然废气导入废热锅炉用于产生蒸汽，但是锅炉的能源转化效率比较低，仅为 15.1%，导致烟道废气余热的大量散失，企业需要采取措施提高废气锅炉的能源转化效率。
- (6) 化产系统中采用蒸汽作为主要能源介质，有效利用率比较低。

### 3.2 主要耗能单元的识别

对主要的能量损失单元进行识别，可以有针对性地进行焦化生产过程的节能减排。从焦化生产过程能流代谢图中可以半定量的识别出主要的能量损失单元。若要进一步筛选生产过程中的主要能量损失单元，则按以下筛选步骤：

- (1) 按照能量损失单元中能量损失值进行降序排列；
- (2) 将能量损失的单元按降序逐一相加，直到其和超过 90 %，则表示这些能量单元总量之和能够代表生产过程中能量的总体损失水平，由此确定这些单元为主要能量损失单元。筛选结果见表 1。

表 1 炼焦生产过程中的主要能量损失单元

序号	工艺单元	占能源总输入的比例/%
1	炼焦（能量转换损失）	10.7
2	熄焦	1.4
3	桥管冷却	1.0
4	炼焦（废气余热损失）	0.58
5	炼焦（炉体散热损失）	0.34
合计	—	14.02

在该焦化企业中，主要的能量损失系统是炼焦系统，能量损失量占能量损失总量的 94.8 %；其次是化产系统，约占能量损失总量的 2.6 %。

炼焦系统中，能量损失最大的单元是炼焦过程，占能量总损失量的 76.2 %。炼焦单元是洗精煤转换成焦炭、焦炉煤气以及各种化学产品的过程。它的这一能源转化生产工艺特点决定了能源转化效率是焦化生产过程节能降耗的制约性因素。另外，焦化生产过程中余热损失非常严重，焦炉耗热量中的焦炭的显热占 40 %，荒煤气的显热占 30 %，烟道废气显热占 16 %，炉体散热占 10 %。对于这些余热，基本没有得到回收，却耗费大量的冷凝介质，造成资源和能源的浪费。

## 4 优化建议

通过以上分析和对各车间重点耗能设备的现场调查和节能监测，发现其在热能利用方面存在着较大的节能潜力，通过加强对余热回收系统的管理，可以有效实现节能降耗的目标。

### 4.1 降低焦炉燃气消耗

主要方法有：采用煤调湿技术控制装炉煤水分，焦炉向大型化发展，选择合理的空气过剩系数，降低废气排出温度，提高炉体、设备的严密性和改善炉体绝热等方法，同时加强炼焦炉加热的控制水平，从而提高焦炉的热工效率。

### 4.2 采用干法熄焦回收红焦显热

干熄焦是在密闭系统内完成熄焦过程，利用循环惰性气体做热载体，由循环风机将冷的循环气体输入红焦冷却室冷却高温焦炭后，再将热循环气体导入余热锅炉回收显热。采用干熄焦可回收约 80 % 的红焦显热，平均每熄 1 t 红焦可回收 3.9 MPa、450 °C 蒸汽 0.45 ~ 0.58 t。若采用全凝机组发电，平均每熄 1 t 红焦产生的蒸汽净发电可达 95 ~ 105 kwh。

### 4.3 改进荒煤气显热回收利用技术。

建议把荒煤气直接导入废热锅炉吸收其显热，然后通过露点冷却方法降温<sup>[11]</sup>，或者通过用分阶段冷却和除尘工艺来替代传统焦化系统中直接用氨水喷淋荒煤气的湿法熄焦工艺，具体工艺包括焦炉煤气的高温热回收、除尘、除焦油、中温热回收、冷却、净化等<sup>[12]</sup>。

### 4.4 提高废气锅炉发电效率。

通过技术改造提高废气锅炉的效率，或者采用效率较高的发电机组。

通过上述综合优化措施，应可以大幅度提升该焦化厂的能源效率，降低吨焦能耗，实现节能减排。

## 5 参考文献

- [1] 马芳芳, 卢振兰. 钢铁企业焦化工序节能减排途径探讨[J]. 绿色科技, 2015, (1): 27-229.
- [2] LIU GR, Zheng MH, Liu WB, et al. Atmospheric Emission of PCDD/Fs, PCBs, Hexachlorobenzene, and Pentachlorobenzene from the Coking Industry[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43 (24): 9196-9201.
- [3] 卢元俭, 曹友宝, 张青青. 宁钢焦化厂节能环保生产实践[J]. 燃料与化工, 2014, 45(3): 14-18.
- [4] ZHA DL, ZHOU DQ, DING N. The contribution degree of sub-sectors to structure effect and intensity effects on industry energy intensity in China from 1993 to 2003[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009, 13 (4): 895-902.
- [5] 朱慧玲. 焦化清洁生产分析探讨[J]. 建筑热能通风空调, 23(6): 94-98.
- [6] 江白茹. 焦化生产中的清洁生产工艺与污染控制[J]. 安全、健康和环境, 2003, 3(7): 17-19.
- [7] 张新力. 工业代谢分析法在啤酒行业清洁生产审核中的应用[J]. 工业技术, 2008, (1): 35-36.
- [8] DEWULF J, VAN LANGENHOVE H. Integrating industrial ecology principles into a set of environmental sustainability

indicators for technology assessment. *Resources Conservation and Recycling*, 2005, 43 (4): 419-432.

[9] 周哲, 李有润, 沈静珠, 等. 煤工业的代谢分析及其生态优化[J]. *计算机与应用化学*, 2001, 18(3): 193-198.

[10] 戴铁军. 工业代谢分析方法在企业节能减排中的应用[J]. *资源科学*, 2009, 31(4): 703-711.

[11] 张晓云, 关存先. 炼焦工业污染源控制研究[J]. *山西能源与节能*, 2002, (4): 9-12.

[12] 王光华, 舒广, 李文兵, 等. 焦化回收系统能量流有序化工艺及应用前景[J]. *工业安全与环保*, 2015, 41(8): 93-99.