

高等学校教学用书



炼焦工艺学

大连工学院煤综合利用教研室 編著

冶金工业出版社

高等学校教学用书

炼焦工艺学

大连工学院煤综合利用教研室 編著

冶金工业出版社

炼焦工艺学

大连工学院煤综合利用教研室 編著

1961年 1月 第一版 1961年 1月 北京第一次印刷 6,050 册
开本850×1168•1/32•字数 190,000•印张 $8\frac{12}{32}$ •插頁 6•定价 1.00 元

統一書號15062•2304 冶金工业出版社印刷厂印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

冶金工业出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲45号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第093号

內 容 提 要

本書基本上是依据1956年全国統一燃料专业炼焦專門化教学大綱中炼焦部份編写的。全書共分十二章，包括产品焦炭和原料煤的性质、成焦理論、焦炉构造、焦炉热工以及焦炉开工操作等部份。

为了反映和結合中国生产实际，書中尽可能地引用了已发表的国内資料。为了帮助讀者运用計算方法和进行毕业設計，書中附有較詳細的計算例題。

本書可以作为高等学校炼焦專門化学生教学用書，亦可供有关的工程技术人员参考。

本書初稿由郭树才完成，經過講授实践，后由大連工学院煤綜合利用教研室和五年級学生进行审核定稿。

由于此书是在1959年編成，因此书中內容会有不符合当前教学改革精神之处，希讀者指正，以便再版时改进。

目 录

第一章	緒論	7
§ 1.	炼焦化学工业对国民經济发展的意义.....	7
§ 2.	炼焦化学工业发展簡史.....	7
§ 3.	解放前我国的炼焦化学工业.....	8
§ 4.	解放后十年我国炼焦化学工业的成就.....	9
第二章	焦炭性质	11
§ 1.	焦炭的用途.....	11
§ 2.	焦炭的化学性质.....	13
§ 3.	焦炭的物理化学性质.....	16
§ 4.	焦炭的物理机械性质.....	17
第三章	炼焦原料煤	21
§ 1.	原料煤的性质.....	21
§ 2.	中国炼焦煤的分类.....	23
§ 3.	配煤比的选择.....	24
§ 4.	煤的儲存.....	32
§ 5.	配合盘和带运机.....	36
§ 6.	煤的破碎.....	39
§ 7.	煤的篩分.....	44
第四章	成焦理論	53
§ 1.	結焦过程.....	53
§ 2.	焦炉物料平衡.....	57
§ 3.	成焦理論.....	58
§ 4.	影响焦炭质量的因素.....	61
第五章	扩大炼焦煤源的途径	64
§ 1.	新法炼焦分类.....	64
§ 2.	捣固装煤炼焦.....	64

§ 3.	选择破碎煤炼焦	66
§ 4.	干燥煤和预热煤炼焦	69
§ 5.	热压焦	70
§ 6.	NFC法和包姆克法炼焦	73
§ 7.	褐煤炼焦	74
第六章	焦炉	76
§ 1.	焦炉发展阶段	76
§ 2.	现代焦炉分类	81
§ 3.	焦炉各部份的构造	84
§ 4.	现代焦炉应满足的要求	89
§ 5.	我国现代焦炉的类型	93
§ 6.	大容积焦炉	104
第七章	焦炉燃烧与传热	109
§ 1.	燃料燃烧	109
§ 2.	影响火焰长度的因素	126
§ 3.	焦炉燃烧室传热	129
§ 4.	炭化室煤料传热	141
第八章	蓄热室传热与焦炉热工评价	151
§ 1.	蓄热室计算公式	151
§ 2.	格子砖与交换周期	161
§ 3.	蓄热室计算举例	161
§ 4.	焦炉热工评价	169
第九章	焦炉流体力学	175
§ 1.	制定焦炉压力制度的基本原则	175
§ 2.	焦炉流体力学基本公式	177
§ 3.	阻力系数	179
§ 4.	阻力吸力流量关系	184
§ 5.	烟囱计算	189
§ 6.	焦炉流体力学计算	193

第十章	焦炉机械与设备	208
§ 1.	护炉铁件.....	208
§ 2.	焦炉煤气管件.....	210
§ 3.	炉門.....	213
§ 4.	焦炉机械.....	218
§ 5.	熄焦与篩焦.....	227
第十一章	焦炉建築、烘炉与开工	234
§ 1.	焦炉設計.....	234
§ 2.	焦炉用耐火材料的性质.....	237
§ 3.	砌炉.....	241
§ 4.	烘炉.....	244
§ 5.	焦炉开工.....	249
第十二章	焦炉操作	250
§ 1.	焦炉加煤.....	250
§ 2.	推焦及串序.....	250
§ 3.	集气管操作.....	254
§ 4.	焦炉的修理.....	255
§ 5.	焦炉加热制度.....	255
§ 6.	加热制度自动控制.....	262
§ 7.	焦炭生产安全技术.....	265
参考文献		266

第一章 緒 論

§ 1. 煉焦化学工业对國民經濟發展的意义

鋼鐵工业，是发展工业的基础。所以党提出发展工业的方针是以鋼为綱，带动其他一切工业发展，这是非常正确的。而炼焦化学工业的主要产品中，焦炭是炼铁生产中的主要原料，焦炉煤气供給炼鋼生产和矿石燒結。由此可見要发展鋼鐵工业，必須相适应地发展炼焦化学工业。因此炼焦化学工厂多是鋼鐵联合企业的組成部份之一。

炼焦化学工业，除了与鋼鐵工业有密切联系以外，与其他工业也有广泛的联系。有机合成工业用的原料之一——电石，是由焦炭生产的。从焦炉煤气中可以分离出有机合成原料。炼焦的許多化学产品，是染料工业必不可少的原料，是合成纖維的原料，是医药和国防工业的原料。

由焦炉煤气可以合成农业必需的氮肥，許多农药也是由炼焦化学产品进一步加工制成的。

焦炉煤气是很好的家用煤气，焦炉煤气可以使城市煤气化，使人民生活条件大大改善。

可見炼焦化学工业是发展工业和提高农业产量的重要一环，是煤綜合利用主要途径之一。

§ 2. 煉焦化学工业發展簡史

炼焦化学工业，是随鋼鐵工业发展而发展起来的。初期人們炼铁是用木炭，由于木材缺乏，使炼铁发展受到了限制。人們才开始寻求从煤获得焦炭。一直到1735年，焦炭炼铁才获得了成功。所以1735年被认为是炼焦化学工业开始发展的一年。

初期人們是根据烧木炭經驗，将煤堆成圓堆进行炼焦。随着

鋼鐵工業的發展，要求煉焦生產能力和勞動生產率必須不斷提高，從而逐步地改進了煉焦爐型。隨著有機化學工業的發展，從以前認為可厭的廢物焦油中，可以提煉出美麗的染料原料，從此便結束了只生產焦炭不回收化學產品的生產。

由於焦爐煤氣用途的擴大，出現了熱效率高的換熱式和蓄熱式焦爐。為增加焦爐的生產能力，由粘土磚焦爐發展到現代的矽磚焦爐。

§ 3. 解放前我國的煉焦化學工業

我國最早開始煉焦是在開灤和萍鄉。開灤用的是圓窯，萍鄉用的是方型長窯。清末時成立漢冶萍鋼鐵廠，用萍鄉煤在倒焰爐中煉焦。

我國自己開辦的現代焦化廠，最早的是石家莊，於1914年開始修建，因第一次世界大戰中斷，戰後1923年重建，在1925年建成。修建的焦爐是奧托廢熱式20孔焦爐，並有化學產品回收車間。

1924年在鞍山建成考貝式焦爐，1925年在本溪建成黑田式焦爐。其後在鞍山和本溪又建立了現代化的奧托式焦爐。當時是作為日人掠奪我國資源的工具。

1937年在太原開始修建恆塞曼蓄熱式焦爐36孔，因抗日戰爭中斷，1940年投入生產。此外在抗戰期間，在石景山建立了索爾維廢熱式焦爐，在大連和吉林建立了奧托式焦爐。東北的幾個廠，都有完整的化學回收車間。

在解放前，這些工廠多數是日本帝國主義者侵略和奴役我國人民的工具，所以生產是掠奪式的，操作條件是惡劣的。由於勞動力低廉，勞動生產率是很低的。當時工人們為了進行反抗侵略和壓迫，有意的將生產搞亂。所以即使是一些現代化的焦爐，如鞍鋼的奧托式焦爐，生產情況也是不好的。

焦爐的結焦時間很長，450毫米寬的現代焦爐，結焦時間長

达21~24小时，但炉温很高，经常将炉砖烧坏。炼焦用煤是由两种煤配合成，很少有三种的。因此使用的都是好炼焦煤。冶金焦占全焦的86~88%，焦炭灰份在18~20%，炼每吨铁需用焦炭1150~1250公斤。焦炉集气管是在负压（-10毫米水柱）下操作，炉门冒烟冒火是经常现象，生产是混乱的。

§ 4. 解放后十年我国炼焦化学工业的成就

抗日战争胜利后，由于国民党黑暗统治以及经过解放战争，旧有的焦化工业和其他工业一样，几乎全被破坏。1949年产冶金焦炭，只占1943年的16%。解放后由于党的英明领导，人民当家作主，很快就恢复了旧有的焦炉，并大大向前发展了我国的焦化工业。

解放初期，我们技术力量很薄弱，几乎是沒有設計和制造能力，但是由于党的领导，苏联的无私援助，我们培养出一批焦化方面的研究、設計和生产的技術人員。成立了研究所，設計院。改建扩建了旧有焦化厂，完全改变了旧有面貌。建立了新的焦化基地。并且继续建立其他的大型焦化厂。

就生产冶金焦炭（>25毫米）数量来看，1943年是185万吨，而在解放后第三年1952年，即达到200万吨。到1957年已达到424万吨〔1〕。由于1958年大跃进，焦炭产量亦和其他工业一样，有很大增长。1958年焦炭产量是1949年的49倍，是1943年的8倍〔2〕。

解放后我们改建了鞍钢和本钢的焦化厂，大大超过了原有基础。无论是对焦炉结构、焦炉机械或设备，都比原有的先进合理，回收精制车间也是如此。

一些新建的能力较大的焦化厂，都修建了苏联新型双联火道带有废气循环式的（IIBP—51）焦炉。在1958年大跃进中，鞍山焦化耐火設計院設計出了大批定型焦化厂設計——从簡易的到現代化的。如設計的58型焦炉，它具备了現代焦炉的主要优点。这种

炉型有的焦化厂正在兴建。

在焦化厂施工上，也成长了一批基本力量，由原来鞍钢的一个建设公司，现在已经扩大到很多个。在施工技术上有很大提高，如以焦炉砌筑为例，1956年砌一座焦炉用了108天，而1959年砌四座同样焦炉，只用了29~39天，大大跃进了一步。

在焦炉机械制造方面，已能制造全套焦炉机械，并且已经开始设计和制造新型的焦炉机械了。

在生产管理和操作技术方面，我们已经学到了苏联的一套先进技术。现在已经能结合中国具体情况，熟练地管理和操作生产了。特别是在1958年大跃进中，生产管理和操作技术都有很大进步。

第二章 焦炭性質

焦炭是炼焦过程中的固体残留物，多是銀灰色焦块，块中有裂紋，是孔泡体結構（图 1）。焦炭中除了有机成份外，尚含有水份和灰份。

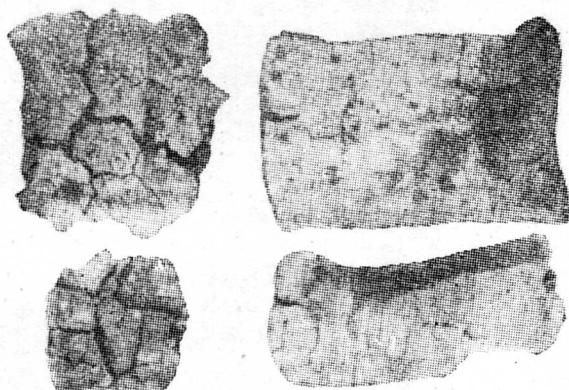


图 1 冶金焦炭

焦炭是炼焦的主要产品之一。以前人們把炼焦化学产品称副产品，現在已經改变，就产值和产品对国民經济意义來說，已不是副产品了。但由于焦炭是炼焦产品中数量最大的，又是供給炼鉄使用，所以在生产冶金焦炭的焦化厂中，生产仍然是以保証焦炭质量和产量的条件下，来規定炼焦制度的。

焦炭性質可分为化学性質、物理化学性質和物理机械性質。由于用途不同，对其要求各異。

§ 1. 焦炭的用途

用于冶金的焦炭，占焦炭生产量的90%左右。其余的用于鑄造和氣化等方面。

一、冶金用焦炭

高炉炼铁用的焦炭，是供热燃料，焦炭在风口处燃烧，保持炉内必要的温度。同时焦炭燃烧后生成的 CO_2 ，当其上升时，与赤热焦炭相遇发生反应： $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ ，即生成了使铁矿石还原的还原剂。此外在高温下，焦炭亦能直接与铁矿石发生还原反应。所以焦炭应有足够的反应能力。由于焦炭假比重比矿石的小很多，而且焦炭都是固态存在，高炉中焦炭占有的容积比率很大。因此焦炭对高炉的吹风阻力和下料情况影响很大。所以焦炭要有足够的强度，要有一定大小的块度，块度愈均匀愈好。这样才能保证高炉下料均匀，不发生挂料现象。高炉用焦炭的杂质愈少愈好，如灰份和硫份都有一定的限制。

二、鑄造用焦炭

鑄造用焦炭，在燃烧时应发出最大的热量，燃烧时多生成 CO_2 ，因鑄造用焦炭主要是用其热量来熔化铁，故不希望焦炭的反应率高。为防止在熔化铁时有杂质混入铁中，焦炭要含杂质少，特别是对硫的含量应当很少。

三、气化用焦炭

气化用焦炭，多是用生产冶金焦的小块部份。亦有生产专门用于气化的焦炭。气化是用焦炭与水蒸汽发生反应生成水煤气或合成气的。因此希望气化用焦炭的反应能力要好，保证发生炉在小的料层高度情况下，即能有效地进行反应。此外气化用焦炭的灰份熔点要高，如果低了，就会在发生炉的爐栅上熔化，使发生炉不能进行操作，灰份熔点与其成份有关，铁、镁、钙含量多的，熔点低，一般气化用焦炭灰份熔点要高于 1250°C 。

有色金属熔炼用焦炭，可以用含硫高的，对机械强度要求也不高。

§ 2. 焦炭的化学性質

一、元素組成

焦炭的有机物成份中，碳含量可达96.5~97.5%，氧含量0.3~0.4%，并含有数量不多的硫和氮以及少量的氢。

焦炭中含有氢和氧，是由于焦炭中尚含有挥发份。挥发份的多少，可以鑑定焦炭成熟情况。焦炭尚未达到成熟温度，提前推出焦炉，或焦餅加热不均，有生有熟时，焦炭的挥发份含量要高。相反如果焦炭过火，挥发份含量必低。成熟的冶金焦炭中，含挥发份为0.9~1.1%。假如高于1.5%时，即含不熟生焦。我国生产的冶金焦炭，挥发份介于0.5~2.0%。

生焦块很大，但强度很低，易碎成粉末和小块。这样的焦炭用于高炉生产最为有害。由于生成許多焦粉，吹风阻力必增大，产生挂料等现象，使高炉生产能力降低，破坏高炉生产制度。同时生成的粉末被煤气带走，恶化了操作条件。如果粉焦是由于生焦所造成，则粉焦的挥发份必然很高。一般正常的粉焦挥发份含量为1.5~2.2%。

二、焦炭水份

焦炭一般含有2~6%的水份。用于法熄焦时，才可以获得几乎没有水份的焦炭。干焦炭置于空气中，可以吸收空气中水份到1~1.5%。一般水份是由熄焦时带来的。大块焦中水份少，粉焦中水份多。有时工厂为了减少焦炭中水份，熄焦未完全，在焦台尚有燃烧的焦炭，这不仅会增加焦炭的灰份，而且有时会将运焦皮带烧坏。一般规定焦炭水份在2~5%之間。

水份对高炉生产过程并没有什么影响，它还可以降低一些炉頂温度。但是由于焦炭中含水份，减少了有效成份。特别是高炉用焦炭是以重量計量时，水份的波动，即会对高炉带来坏影响，故

焦炭水份要求稳定。

三、焦炭灰份

焦炭中的灰份是累贅物，在高炉熔炼过程中，它白白占据了有效容积，并且需要耗用热量使其熔融，以及使熔融的而附加的熔剂。

根据鞍钢高炉实验数据[3]，当焦炭灰份每降低1%时，焦炭轉鼓值增加2.2%，每炼1吨鉄耗用焦炭降低1.71%，高炉生鉄产量增加2.2%，生鉄成本降低0.72%。焦炭强度提高实验结果如图2所示。

图2中焦炭的配煤比为：Г—50%；K—30%；ГЖ—20%
結焦時間 $\tau = 16$ 小时。

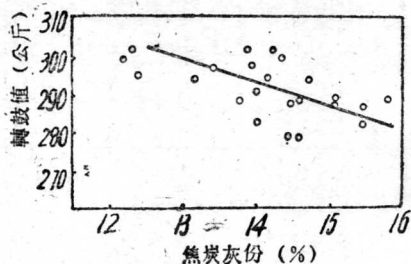


图2 焦炭灰份与强度关系

冶金焦炭灰份，因原料煤的可选性不同，一般在10%左右，苏联东方的冶金焦炭灰份为11%。苏联鑄造用焦炭灰份規定11.5~14%。我国冶金焦炭的灰份为10~12%。

灰份的熔点，与其成份有关，根据灰份成份分析，按下式可以简单計算：

$$A = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

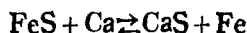
上述比例大的，灰份熔点高。将各成份的百分率代入，可以近似地計算灰份熔点。当 $A=1$ 时，灰份熔点为 1300°C 。当 $A=3$

时，灰份熔点为 1500°C ，在其間的可用內插法求得。熔点低于 1200°C 的，称易熔灰份，熔点介于 $1200\sim 1350^{\circ}\text{C}$ 的，称熔融灰份，熔点介于 $1350\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 的，称难熔灰份。

四、焦炭硫份

焦炭中硫含量，对焦炭质量很有影响。在熔炼时硫能轉入鉄中，降低鉄的质量。当焦炭作为燃料用时，硫燃烧生成硫化物气体，它对金属起腐蚀作用。当焦炭用于气化时，如果气化的煤气是用于化学加工或家用，需要脱除硫化物。

硫于高炉风口处，与鉄水和矿渣接触能生成 FeS 和 CaS ，其間有如下的可逆反应：



为防止硫轉入鉄中，要多加石灰石，使硫轉入到矿渣中去。但矿渣中含 CaS 时，会减低矿渣的流动性，所以焦炭硫含量愈少时，对鉄的质量和高温操作愈有好处。由于鉄的用途不同，鉄的容許含硫量在 $0.02\sim 0.08\%$ 之間。

現在操作用含硫焦炭时，其矿渣中 CaS 的含量容許不高于 $5.5\sim 6\%$ ，亦即相当于焦炭中硫含量不高于 1.6% 。如果超过此值时，矿渣量要大量增加。随之而来的要多消耗焦炭，多占了高炉的有效容积。

計算和实验都表明，当焦炭硫含量大于 1.6% 时，每增 1% 的硫含量，焦炭要多消耗 18% ，高炉生产能力降低 $15\sim 20\%$ 。

五、焦炭磷份

焦炭中磷含量不大，但其大部份轉入鉄中。故要获得无磷生鉄，只能用无磷矿石和无磷焦炭炼鉄。

貝式炼鋼用的生鉄，由于熔炼时是酸性渣，磷易轉移到金属中去。所以生鉄含磷应当特別低。炼貝式炉用生鉄时，磷含量不应高于 0.01% 。而托馬氏法，因其系利用磷的燃烧热，故磷含量应当高。

§ 3. 焦炭的物理化学性質

一、焦炭反应能力

測定焦炭的反应能力，是以二氧化碳、氧或水蒸汽与焦炭相作用为基础。也有的人提出用焦炭的某些物理性质来判断焦炭的反应性，如焦炭的导电性。反应能力与焦炭的碳结构有关系，反应能力和可燃性，随焦炭真比重增加而减小，随气孔率增加而增加。

測定焦炭反应能力的方法，是将焦炭置于电炉中加热至 950°C ，通以二氧化碳。焦炭将 CO_2 还原，取出反应了的气体分析其成份，按下式計算值，表示反应能力的大小：

$$R = \frac{\text{CO} \times 100}{\text{CO}_2 + \frac{1}{2} \text{CO}} \%$$

数值 $R = 30 \sim 50$ ，反应能力低。 $R = 50 \sim 100$ ，反应能力中等。 $R = 100 \sim 200$ ，反应能力强。

将焦炭放在氧气流中，或空气流中，可以测出焦炭的可燃性。

氧和二氧化碳与固体焦炭中碳相反应，是在焦炭表面上进行的。因此焦炭的单位容积的表面积大小，是很有作用的。焦块愈小，其单位堆积容积的表面积愈大。因此向焦炭吹风，进行燃烧时，块愈小的，其氧化区必然愈小。根据研究结果已証明，氧化区的大小是与焦炭块尺寸大小成正比的。氧化区小的，温度必然高。

在高炉中，氧化区不应很大，为的是在风口区的温度，能达到一定程度，使获得的生铁和矿渣有一定的质量。在高炉中，应该是各个风口所形成的氧化区，能互相連成一片，使风口截面上能均匀地进行熔炼过程。因此氧化区应当足够大，高炉用焦炭应有适当的块度和可燃性。

鑄造用焦炭，应有最大可能的氧化区。故应用大块和有最小可燃性的焦炭；气化用焦炭，应具有大的反应能力，焦炭层的高