

焦化厂装备计算

陶 著 編 譯

中国工业出版社

81.631
475

焦化厂装备计算

陶 著 编 译



中国工业出版社

本书闡述了对炼焦炉和管式炉及其部件的结构和流程的研究与評定，以及設計計算的原理和方法，并探討了調节的原理和主要影响因素等。

本书主要内容为：炼焦炉的評定，用相似模型对炼焦炉及其部件的研究，結焦時間及其与各种因素的关系，焦餅沿高向与长向加热均匀的原理和方法；管式炉及其計算，焦油精馏塔及其計算，管式炉装置的現代化流程及其操作等。

本书可供从事炼焦化学专业的設計、生产、科学研究方面的工作人員及燃料化学工专业师生的参考。

本书是根据“炼焦炉热工制度” (Б.И.Кустов и И. В.Вирозуб Тепловой режим коксовых печей) 和“管式炉煤焦油蒸餾装置” (Я.А.Брон и С.Я.Сатановский Трубчатые агрегаты для перегонки каменноугольной смолы) 两书編譯而成。

焦 化 厂 装 备 計 算

陶 著 編 譯

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯 (北京灯市口71号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $9^{15/16}$ · 字数 201,000

1965年10月北京第一版·1965年10月北京第一次印刷

印数0001—1,110 · 定价(科五)1.10元

*

統一书号: 15165 · 4103(冶金-635)

目 录

第一章 炼焦生产的主要技术指标	1
1. 炼焦炉加热的均匀性	1
2. 炼焦炉的压力評定	5
3. 炼焦炉的生产能力及其評定方法	9
4. 对焦炭、炼焦煤气及化学产品的产率和质量的要求	12
5. 炼焦耗热量	15
第二章 用水力的、空气的及火力的模型来研究	
炼焦炉及其部件	17
1. 热装置模拟的原则	17
2. 沿炼焦炉蓄热室长向空气和废气分布的研究	22
3. 煤气火嘴的計算	33
4. 煤气与空气混合的过程	41
5. 废气循环量及其計算方法	52
6. 煤气和空气下噴式炼焦炉的研究	63
第三章 結焦時間及其与各种因素的关系	67
1. 平壁加热过程的数学研究	67
2. 炼焦时煤料加热过程的試驗室研究和工业研究	77
3. 計算結焦時間的不同公式	79
4. 結焦時間与炭化室寬度及炉牆厚度的关系	88
5. 炼焦最終溫度和配合煤堆比重对所需的	
立火道溫度的影响	90
第四章 沿高向和长向焦餅加热的均匀性	94
1. 溫度曲綫及其評定方法	94
2. 焦、机側測溫火道之間适宜的溫度差	97
3. 沿焦餅高向溫度的分布及其决定因素	99

08284

IV

4. 火焰中的温度分布·····	102
5. 沿立火道高向温度均匀的方法·····	114
6. 沿焦饼高向的温度分布与焦炉装煤和 平煤方法的关系·····	121
第五章 管式炉及其计算·····	124
1. 管式炉的结构及其部件·····	124
2. 一次蒸发温度及馏分产率的决定·····	129
3. 蒸馏的耗热量、管式炉热工效率及 加热煤气消耗量的决定·····	134
4. 在生产能力为10万吨/年的管式炉中，焦油蒸馏 耗热量的计算实例·····	139
5. 管式炉辐射室加热表面及热强度的计算·····	148
6. 管式炉对流室的计算·····	168
7. 管式炉的流体力学计算·····	193
8. 烟道的阻力·····	200
第六章 分馏煤焦油的精馏塔及其计算·····	202
1. 精馏过程的现代概念·····	202
2. 煤焦油精馏过程的计算·····	209
3. 分馏塔塔板效率的求法·····	246
4. 煤焦油精馏过程的热平衡·····	250
5. 塔板和精馏塔的构造·····	260
6. 冷凝和冷却的设备·····	271
第七章 管式炉焦油蒸馏装置的现代 化流程及其操作·····	275
1. 工艺流程·····	275
2. 管式炉焦油蒸馏装置的操作·····	288
参考文献·····	309

18280

第一章 炼焦生产的主要技术指标

炼焦生产的技术指标，在很大程度上取决于炼焦炉的结构、炼焦热工制度和工艺制度的完善程度。

为了评定炼焦炉，采用某些生产指标，但没有通用的标准，也没有通用的测定它们的方法。所以首先研究对炼焦炉的结构和对主要生产指标的要求。

炼焦炉结构的特点应当用一系列焦炉操作指标来表示，其中主要为：加热均匀性；压力评定；生产能力；焦炭质量；炼焦耗热量等。

1. 炼焦炉加热的均匀性

炼焦炉结构和热工制度完善程度的最重要指标是焦饼中的温度分布（决定焦炭成熟度），因为接近结焦末期，结焦物料中不同地点的温度是趋近于较为一致的。所以，在相同的条件下，推出的焦饼的平均温度愈高，焦饼加热的均匀性也愈高。因而，炼焦炉结构应当在相同的焦饼中心（中部）温度（约 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ ）下评定。

实际上是这样做的，即利用由装煤孔插入的铬-铝热电偶来测量温度，就可以得到温度分布最正确的评定。加热均匀性仅以推焦前15分钟时焦饼中心的最终温度来表示。热电偶在结焦5~6小时后插入；此时焦饼中心温度一般不超过 100°C 。如温度较高，则表示热电偶插得不正确，即其热端与焦饼中心产生偏差。在此情况下，应将热电偶拔出重插。每小时应记录一次温度，而在推焦前1.5小时，应每半小时记

录温度一次，最后一次测温应在推焦前15分钟时进行。

目前热工站的工作人员创造较简单的测温方法，即用光学高温计测量放在插入装煤孔的铁管中的不锈钢薄片的温度。这个方法可以被采用，并且在研究工作中替代热电偶测温。

在 ΠK 式和 $\Pi K-2K$ 式焦炉中（标准高度 4300 毫米），最高加热的地点位于距炭化室底部 3200 毫米处，而在 ΠBP 式焦炉中，则在 3500 毫米处。为了完善地表示出焦饼上部的加热情况，热电偶应当经过每个装煤孔，插到使其热端距炭化室底 600、2000、3200 及 3500 毫米处。

带废气循环的 $\Pi K-2K$ 式焦炉中，焦饼上部两点温度变化的例子如图 1 所示。

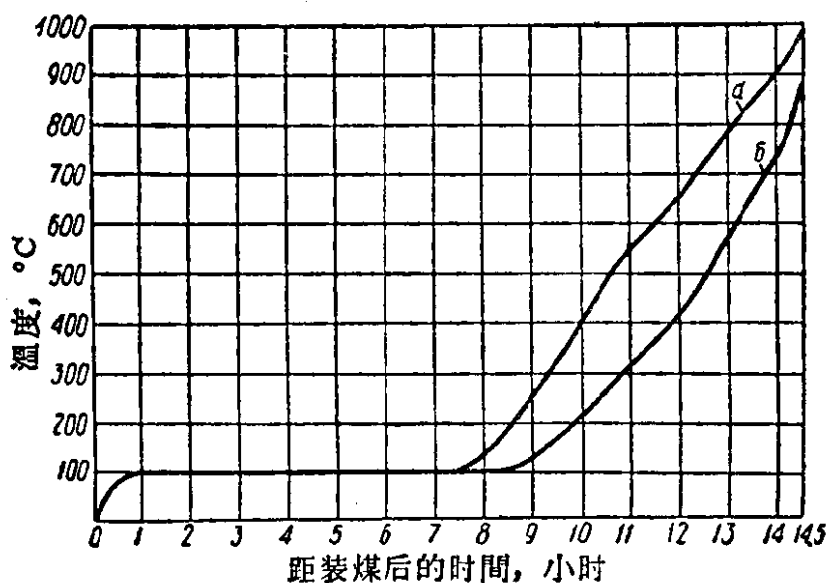


图 1 带废气循环的 $\Pi K-2K$ 式焦炉焦饼中心温度上升的情况

a — 距炭化室底 2.1 米； b — 距炭化室底 3.2 米

在采用不同推焦串序的两座焦炉中，为了表示加热的均匀性，应当进行不少于 2~3 次的测量。

炼焦炉炭化室高度方向加热的均匀性,用不同高度(在所有测温地点处) 600~1100、600~3200 及 600~3500 毫米处平均温度差来表示,而沿炭化室长度方向的加热均匀性,则用焦饼长度方向(距炭化室底2100毫米处) 的温度差来表示。

为了总评定结焦煤料的加热均匀性,作者建议〔1〕采用按均方根偏差公式①计算出来的平均不均匀性指数来评定,其公式如下:

$$K_{\pi} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (T - T_{\text{均}})^2}{n}}}{1000}$$

式中 T ——推焦前焦饼所有测温地点所测温度的平均值;

$T_{\text{均}}$ ——焦饼平均温度;

n ——测温地点的数目。

因为距炭化室底3500毫米处的温度仅表示较小部分结焦煤料的加热情况,所以在计算中,仅采用这些温度数值的一半和测温地点数目的一半。

测温的正确性仅在下列情况下是可以达到的,即当保证各炭化室装满煤时。在具有双集气管的焦炉中,炉顶空间应保留不大于 200 毫米的高度,而在具有单集气管的焦炉中,则应有略大的高度(约 250 毫米)。

在用焦炉煤气加热的不带废气循环的ΠK-2K 式焦炉中,焦饼中心温度列于表 1。

从表 1 的数据可以看出,在这种结构的焦炉中,沿焦饼高度方向的温度差为: 600~2100 毫米之间为 72°C; 600~3200 毫米之间为 185°C; 600~3500 毫米之间为 389°C。

① 为了求出不大数目 ($n \leq 40$) 的均方根偏差,按下式进行计算得到的近似数值是较正确的: $K_{\pi} = \sqrt{\sum (T - T_{\text{均}})^2 / (n - 1)} / 1000$ 。

表 1

距炭化室底的距离 毫 米	各装煤孔下焦餅中心溫度, °C			
	I	II	III	平 均
600	1112	1145	1195	1121
2100	1001	1095	1050	1049
3200	930	950	928	936
3500	790	735	671	732

焦餅长度方向的溫度差为: III 和 I 装煤孔之間 $1050 - 1001 = 49^{\circ}\text{C}$; II 和 I 装煤孔之間 $1095 - 1001 = 94^{\circ}\text{C}$ 。第一装煤孔 (从机側数) 处的溫度明显地較低。

为了計算不均匀性指数, 我們要先算出 $T_{\text{均}}$, 并且如前所述, 距3500毫米处的溫度仅取一半:

$$T_{\text{均}} = \frac{1121 + 1049 + 936 + 732 \times 0.5}{3.5} = 992^{\circ}\text{C}$$

对此例不进行詳細計算了, 可以看出, 对此例:

$$K_{\text{н}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (T - 992)^2}{10.5}}}{1000} = 0.12$$

对于結構較好的炼焦炉, 則 $K_{\text{н}}$ 較小; 例如, 帶废气循环的 ПК-2K 式焦炉 $K_{\text{н}} = 0.08$, ПБП 式焦炉 $K_{\text{н}} = 0.04$ 。

沿炭化室高度和长度方向加热的不均匀性决定了焦餅不一致的成熟時間。因而, 除了溫度差之外, 在实践中还应适当地确定焦餅各部分达到規定溫度的時間上的相差, 最适宜的成熟溫度为 950°C 。

对不帶废气循环的 ПК-2K 式焦炉, 达到这个溫度 (950°C), 距炭化室底600毫米处需11.8小时; 2100毫米处需12.9小时; 3200毫米处需14小时。因此, 这种結構的焦炉

(用焦炉煤气加热时)，焦餅下部与上部成熟時間相差 2.2 小时。

焦餅沿高度和长度方向加热的均匀性取决于煤气燃烧条件，主要取决于空气过剩系数。

为了表示焦炉結構的特点，应当测定达到沿高度方向加热最均匀时的空气过剩系数。

因为当加热煤气在焦炉燃烧室中燃烧时，空气过剩系数实际上是随時間和不同的火道及燃烧室在变动的，并且煤气在很小的过剩空气系数下燃烧会造成热損失（由于燃烧不完全），所以，当空气过剩系数在一定范围内变动时，焦炉結構的质量也取决于沿高向加热均匀性的相对稳定程度。

在用热电偶测量焦餅溫度时，了解相当大部分的焦餅的溫度情况是可能的，并且用其他輔助的測量（橫排溫度，边火道溫度，装煤孔之間那部分焦餅的溫度）来評定焦炉加热均匀程度也是需要的。焦餅头部溫度可以用炉門插入的热电偶来測定。

沿炭化室高度方向加热均匀性也可用光学高溫計来測量立火道頂部（調节砖处）和底部（鼻梁砖处）的溫度，以及用加热系統中气流換向后溫度下降量来确定。

2. 炼焦炉的压力評定

炭化室和加热系統中压力的分布在炼焦工艺中也起着重要的作用。炼焦炉压力制度的主要原則是由 P.3. 列尔涅尔〔2〕所首創的。遵守下列原則对于炼焦工艺是特別重要的：

1) 稳定地保持气体流动的方向由炭化室流向加热系統，更精确地說，不允許加热系統的压力甚至瞬时高于炭化室的压力；

- 2) 炭化室与燃烧室中的压力差应为最小;
- 3) 保持燃烧室所有地点的压力稳定;
- 4) 焦炉蓄热室异向气流之間压力差小。

在加热系統阻力較小时，实现上述条件是容易的。在加热系統阻力很大时（在 ΠK 式焦炉中会有这种情况），蓄热室异向气流之間压力差較大是不可避免的。在加热系統頂部阻力大时，可以看出立火道在上升和下降气流时具有不同的压力。甚至在 $\Pi K-2K$ 式焦炉頂部阻力虽然減少了，但是上升和下降气流之間仍有相当大的压力差。因而，如果使立火道頂部在上升气流时为零压，則在下降气流时立火道頂部仍将为負压，这样空气将从看火孔盖漏入。如果使立火道頂部在下降气流时为零压，則立火道頂部在上升气流时将有較大的正压，这样将使得气体从看火孔冲出，妨碍在炉頂看火和完成必要的工作。

由上述可見，具有不大的加热系統阻力是适当的，这项要求能在現代結構的炼焦炉中达到。但是加热系統阻力的減少不是在所有情况下都是合理的。煤气与空气量之比的調节，在用高炉煤气加热炼焦炉时，是用調节煤气蓄热室与空气蓄热室頂部压力差的大小进行的。在斜道阻力小时，上述不大的压力差就会使对 1 米^3 的煤气而言的空气量有很大的变化，这样就难于調节炼焦炉的加热。

增大蓄热室格子砖下面放置的篦子砖的阻力，可以改善煤气、空气流沿格子砖的分配；相反，篦子砖阻力較小，将使得气流沿格子砖分配不够滿意，因而适当增加篦子砖的阻力是有益的。

这样一来，由于考虑到正常操作的要求，在設計炼焦炉时，必須定出加热系統及其主要各別单元的阻力的数值。

現在我們舉出加熱系統個別單元阻力的數值，（毫米水柱），這些數值，根據我們的看法，當煉焦爐用高爐煤氣加熱時是適宜的：

上升和下降氣流立火道的阻力	0.1~0.2
斜道阻力：	
上升氣流	3
下降氣流	2
蓄熱室格子磚阻力	0.3
蓄熱室篦子磚阻力（在上升和下降氣流時）	3
加熱系統總阻力	8.5

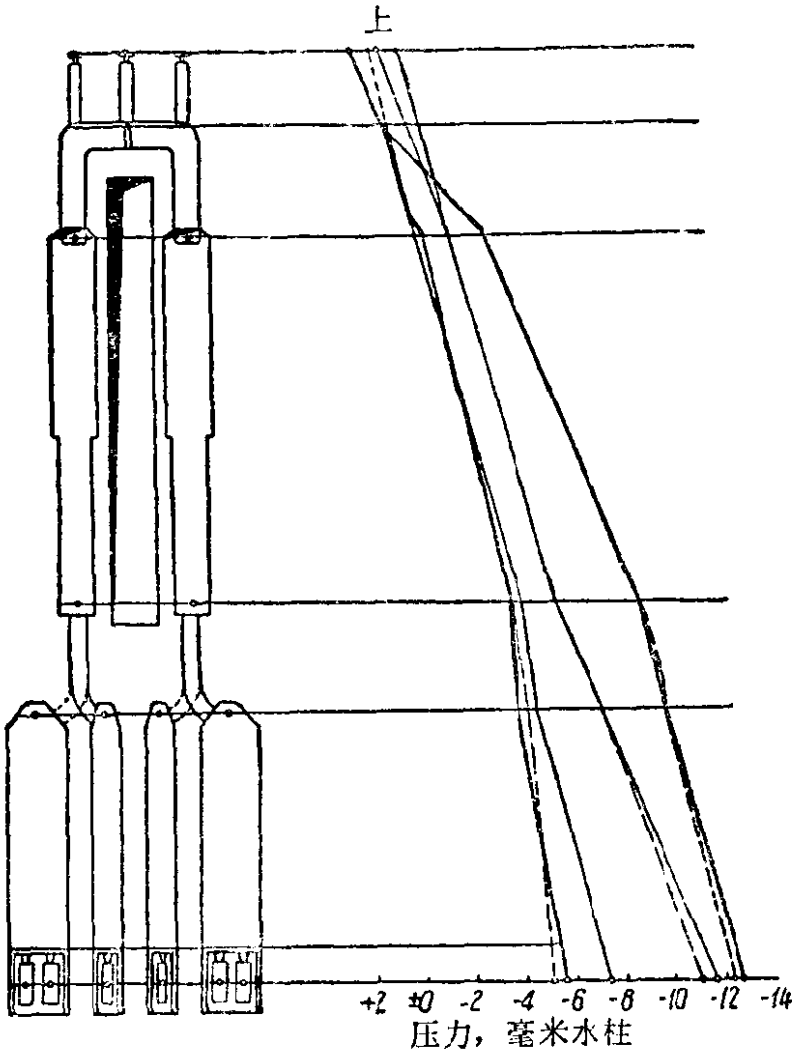


圖 2 ПК-46-2K 式煉焦爐加熱系統中的壓力分布
——煤氣系統；---空氣系統

为了評定炼焦炉的压力，測量加热系統所有可測地点的吸力，并經過炉門測量炭化室底部的压力。測量地点为：煤气空气废气瓣；蓄热室格子砖底部(在具有專門的孔眼时)；蓄热室頂部（通过測压孔）；立火道頂部。

所有的压力測量既在上升气流又在下降气流时进行的。根据所測得的数据，繪出沿焦炉高度方向压力变化的曲綫。这样的曲綫如图 2 和图 3 所示。

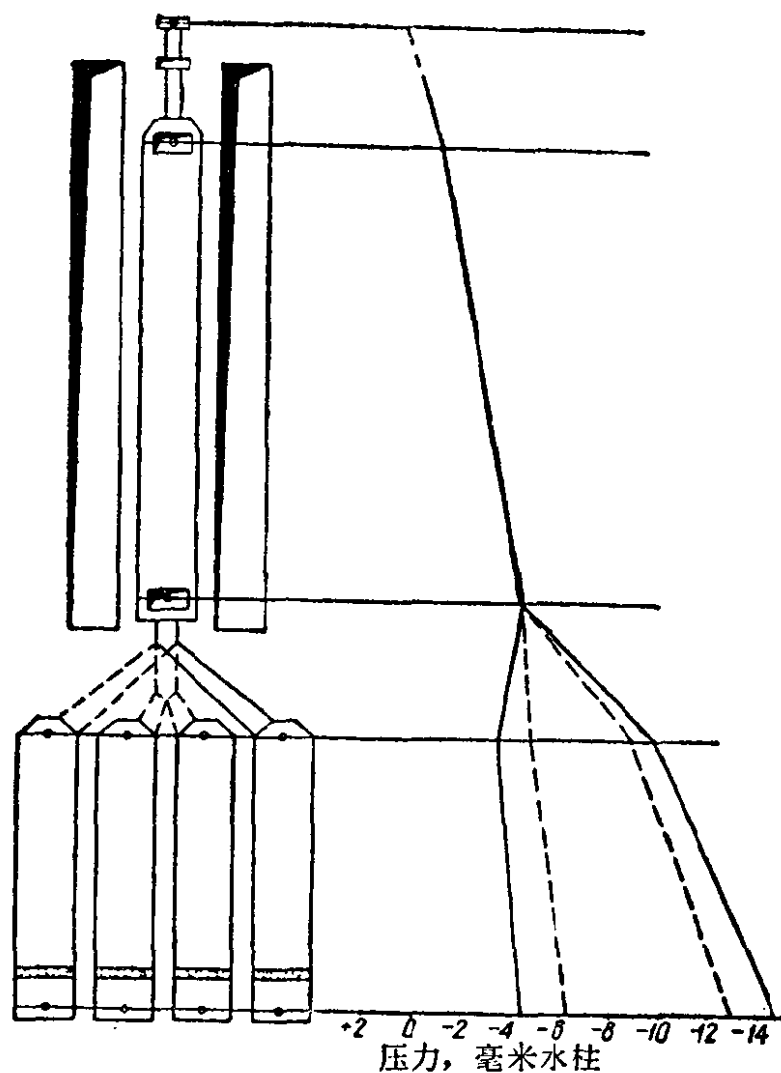


图 3 II BP式炼焦炉加热系統中的压力分布

——煤气系統；---空气系統

在焦炉砌体的严密性一致时，炼焦炉压力制度和结构的正确性最重要的指标为从炭化室漏到加热系统的荒煤气量，以及通过蓄热室墙损失的空气量和煤气量。

荒煤气损失量可按焦炉加热和停止加热时 CO_2 的平衡算出，其数量不应超过 3% [3,4]。

经过危险墙（分隔上升与下降气流的墙）损失的空气量和煤气量，取决于蓄热室的压力制度。空气和煤气的损失量，可由废气瓣的废气试样的分析算出；空气损失量不应超过 5%，而煤气损失量不应超过 1%。

荒煤气、加热煤气及空气损失量的测定，能作为炼焦炉砌体衰老状态的指标；在有大量损失时，炼焦炉正确的操作制度被破坏了，这样就会缩短其使用年限。

3. 炼焦炉的生产能力及其评定方法

炼焦炉最重要的指标为其每昼夜的生产能力。劳动生产率及所有技术经济指标都取决于它。

炼焦炉的生产能力决定于每昼夜炼焦干煤量。按照全焦量来决定炼焦炉的生产能力是不正确的，因为全焦的产率决定于配煤的性质（挥发物和所谓“固定碳”的产率），因而按焦炭来计算的生产能力，对于同一炼焦炉可以是不同的。配煤的堆比重主要取决于筛分组成（细度）和湿度，在不同工厂，它的变化比 1 米³ 炭化室容积或 1 个炭化室所产的焦炭量的变化小。

在炼焦炉中，每昼夜炼焦的配合煤的数量取决于：炉组中的炭化室数，炭化室有效容积，配合煤堆比重及焦炉的周转时间：

$$A = \frac{n \cdot V \cdot \gamma \cdot 24}{t} \text{吨/昼夜} \quad (1)$$

式中 n —— 炉組中炭化室数；

V —— 炭化室有效容积，米³；

γ —— 干煤料实际堆比重，吨干煤/米³；

t —— 炉組周轉時間，小时。

在設計时，炉組中炭化室数的确定，取决于每昼夜所能推焦的炉数— m 。 m 的数值取决于装煤和推焦机的完善程度以及出炉的条件。显然，炉組中炭化室数和每昼夜的出炉数有下列关系：

$$n = \frac{mt}{24} \quad (2)$$

把式 (2) n 的数值代入式 (1) 中得：

$$A = \frac{mtV\gamma 24}{24 t} = mV\gamma \quad (3)$$

由此可見，操作炉組的生产能力取决于炭化室的容积、周轉時間及炉組中的炭化室数。对于重新修建的炼焦炉炉組中炭化室数的选择，应与結焦時間相适宜，而在此情况下，炉組的生产能力仅取决于炭化室的容积。

上述关系式仅在这种情况下存在，即炉組中的炭化室数不超过一定的数值。

由此可見，为了提高炉組的生产能力及劳动生产率，最重要的是增加炭化室的容积，即在不降低焦炭质量的前提下，增加其綫尺寸（高度、长度、宽度）。

一个炭化室的生产能力（每昼夜处理的干煤量，吨）由下式决定：

$$A_1 = \frac{V\gamma 24}{t} \quad (4)$$

一个炭化室的生产能力与其有效容积成正比，而与其焦炉的周轉時間（与結焦時間相差甚微）成反比。

結焦時間本身則取決于：炭化室寬度，焦爐加熱均勻性，立火道溫度及炭化室牆厚度。

在立火道溫度相同時，隨着炭化室寬度的增加，結焦時間以更大的比例增加。因而，在立火道溫度相同時，炭化室的生产能力隨着其寬度的增加而降低，但是經研究表明，在450毫米（或略寬一些）以下，隨着炭化室寬度的增加，有可能採取較高的溫度（与炭化室寬407毫米的焦爐所採取的溫度相比）而不降低焦炭的质量。因而，在这个範圍內炭化室寬度的增加，實際上不降低一个炭化室的生产能力，而是提高了爐組的生产能力。

提高炭化室生产能力的备用方法为提高加熱火道的溫度。目前技術操作規程中規定，加熱系統的極限溫度為 1450°C ，相應地焦側測溫火道換算為換向後20秒的平均溫度，則為 1410°C 。這個溫度是20年前規定的，當時煉焦爐的操作水平和耐火磚的质量比現在低得多，所以在磚的荷重軟化溫度與工作溫度之間需要較大的相差，以防止焦爐磚體的燒熔。

为了查明煉焦爐強化的可能性，在更高的溫度（約 1500°C ）下研究煉焦爐的操作是有希望的。在外國的實踐中，有許多在這樣的溫度制度下操作的煉焦爐的例子〔5〕。

在炭化室寬407毫米和牆厚105毫米的蘇聯國立焦化工業設計院設計的新式焦爐中，用頓巴斯煤煉焦時，焦側測溫火道平均溫度實際上保持在 $1360\sim 1380^{\circ}\text{C}$ 的水平。進一步提高溫度（即提高結焦速度）則受焦炭塊度降低的限制，而焦炭塊度是冶金焦的重要質量指標。

选择这样寬（450 毫米）的炭化室来 提高焦炉的生产能力，可以利用焦炉的备用溫度而无損于焦炭的质量。

提高炼焦炉生产能力的第二个备用方法为进一步降低炭化室墙厚度。实际上存在着墙厚 100、90 甚至 80 毫米的焦炉〔5〕。

如在第三章所表明那样，在相同的溫度下，墙厚每减少 10 毫米，結焦时 間减少 40 分钟。

炉墙厚度这样的降低，在沒有对砌体强度以及它对焦化产品质量的影响得到預先檢驗的情况下，是不可以实行的。随着炭化室墙厚度的变化，在墙中的蓄热量发生变化，立火道的墙表面和炭化室的墙表面的溫度差也改变了；这就使得炭化室中装入煤加热过程的动态发生变化。

4. 对焦炭、炼焦煤气及化学产品的 产率和质量的要求

目前冶金焦机械性质的标准指标为：鼓內残余量，鼓外产物中 <10 毫米級的含量，全焦的篩分組成，特别是 60~80 和 25~40 毫米級的 含量。

所称标准轉鼓是德涅泊罗捷尔任斯克冶金工厂于 1900 年首先采用的。从那时起轉鼓指标已有了很大的改进（如表 2 所示）。

几乎在所有硅砖焦炉的工厂中，鼓內残余量都很大，为了更精确地評定所生产的焦炭的质量，需加輔助指标。焦炭輔助指标对于高炉生产的重要性，还根据在 1938~1940 年在 M.A.巴甫洛夫院士〔6〕领导的苏联科学院委员会的工作而来的。按照新的方法（黑色冶金中央科学研究所—Л.М.薩保什尼柯夫方法〔7〕，乌克兰煤化学研究所—С.А.施瓦尔