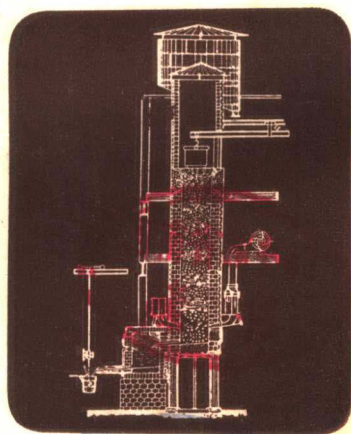


周道本編著

冲天爐的工作原理



機械工業出版社

親愛的讀者：

当您讀完這本書后，請盡量地指出本書內容、設計和校對上的錯誤和缺點，以及對我社有關出版工作的意見和要求，以幫助我們改進工作。來信請寄北京東交民巷二十七號本社收（將信封左上角剪開，註明郵資總付字樣，不必貼郵票），並請詳告您的通訊地址和工作職務，以便經常聯繫。

機械工業出版社

編著者：周遵本

NO. 1104

1956年10月第一版 1956年10月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數 24 千字 印張 1¹/₈ 0,001— 6,000 冊

機械工業出版社（北京東交民巷 27 號）出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號

統一書號
T 15033·314

定

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。為了使新工人能夠很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了〔機械工人活葉學習材料〕。

這套活葉學習材料是以機器工廠里的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉚、焊等工種的工人為對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的〔活葉〕出版。

本書有系統地介紹了沖天爐工作的原理，包括碳的燃燒、沖天爐中的熔化情況、影響沖天爐工作的因素和熔鐵成分的變化等；並簡單介紹了改進沖天爐工作的方法。本書可供化鐵工人學習。

目 次

一 从燃烧谈起.....	3
1 碳的燃烧——2 空气的需要量——3 焦炭的消耗量	
二 冲天爐的熔化情况.....	8
1 熔化的过程——2 爐气和爐溫的变化——3 熔化时候的矛盾性——4 最理想的底炭高度——5 熔化帶——6 層炭量——7 層鉄量	
三 影响冲天爐工作的几个主要因素.....	14
1 燃料的影响——2 風量的影响——3 装料的影响	
四 鉄水温度和產量的关系.....	16
五 熔剂的作用.....	18
六 熔鉄成分的变化.....	19
1 冲天爐的三个工作区——2 鉄水成分中各元素的变化	
七 冲天爐工作的改进方法.....	28
1 三排風口冲天爐——2 預热鼓風法——3 加氧送風法	

冲天爐是一种加热爐，它的主要任务是利用焦炭燃燒时候發出的热量使金屬熔化。初看起來，好像冲天爐的工作很單純，不会發生什么問題。但是，如果我們仔細研究一下，种种問題就会立刻產生起來；比如生鉄究竟是在爐子的哪一個部分开始熔化的，多添燃料和增大風量对生鉄的熔化是否有利，在熔化过程中鉄料会發生些什么变化等等。

因此，冲天爐的熔化工作並不簡單。我們首先必須知道爐子内部的燃燒情况；其次要懂得關於熔化方面的知識；为了更好地掌握配料，还必須了解鉄料在熔化过程中的变化；如果要熔化高級鑄鉄，还需要學習一下冲天爐的改進方法。

下面我們所要討論的，就是有关这些方面的問題，概括的來說，就是冲天爐的工作原理。

一 从燃燒談起

1 碳的燃燒 冲天爐中用的燃料，最普通的是焦炭。焦炭中間主要的可燃部分（能够燃燒的部分）是碳元素，其余的是不可燃部分（不能燃燒的部分）——水分、灰分等。我們說「焦炭燃燒了」，意思就是：焦炭中的碳跟氧氣發生了劇烈的化合作用，即氧化作用，因而產生了火焰，發出了热量。

既然碳的燃燒是依靠氧氣來完成的，如果氧氣的供应不够充足，当然燃燒作用就不好。这样燃燒的結果形成了一氧化碳(CO)的气体，所產生的热量並不高。因为这一氧化碳（就是通常用的煤气中的主要成分）还是可以燃燒的，所以这种燃燒叫做「不完全燃燒」。下面就是它的化学方程式：

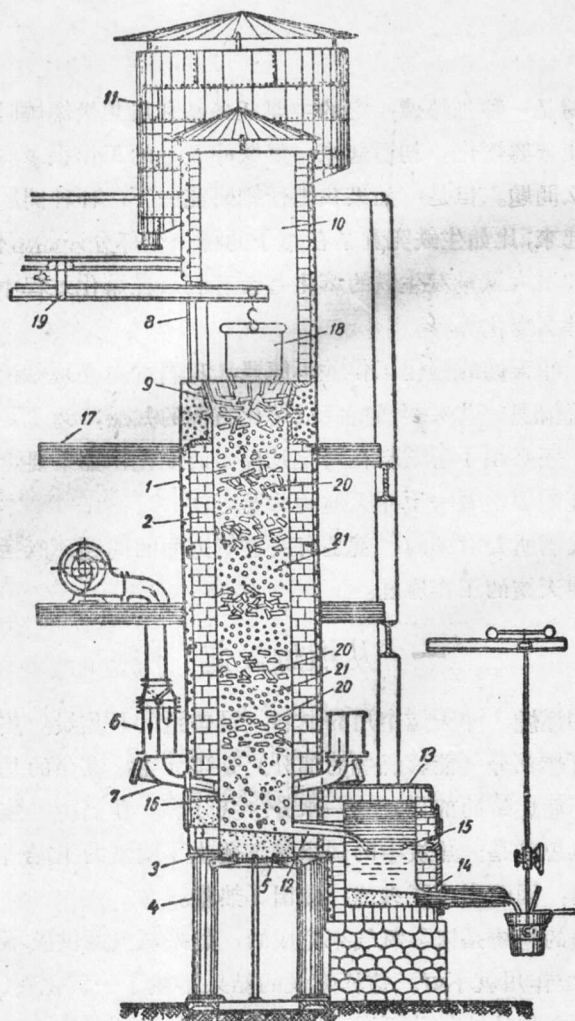
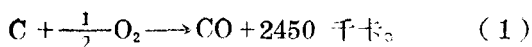


圖 1 有前爐設備的冲天爐：

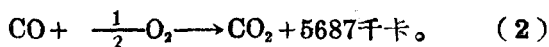
1—爐壳；2—耐火磚；3—爐底座；4—支柱；5—爐底；6—風環；
 7—風口；8—加料口；9—鑄鐵磚；10—烟囱；11—火花罩；12—
 鐵水流道；13—前爐；14—出鐵口；15—出渣口；16—底炭；17—
 加料台；18—加料斗；19—起重機；20—鉄料；21—層炭。



碳 不充分的氧 一氧化碳 热量

式中数字前的+号，表示反应时候是放出热量的。千卡是热量的单位，是指一公斤水升高摄氏温度一度的时候所需要的热量。

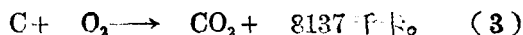
为了使一氧化碳能够燃烧得好，必须再补充供给一些氧气。式2表示这种反应和放出多少热量：



一氧化碳 不充分的氧 二氧化碳 热量

一氧化碳燃烧后得到的气体是二氧化碳(CO₂)，这二氧化碳气体是不能再燃烧的。

假使碳在燃烧的时候，氧气供应得非常充足，那末这样反应所得到的气体，不再是一氧化碳而是二氧化碳，同时放出的热量比较大：

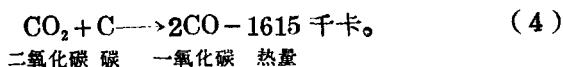


碳 充分的氧 二氧化碳 热量

按照反应式3反应所放出的热量，等于按照反应式1和2反应所放出的热量的总和。这就是碳的[完全燃烧]，也就是反应1和2同时进行所得到的结果。从这里可以看出，碳的完全燃烧是最有利的，不过要注意氧气量是不是适当。

上面已经谈过，二氧化碳本身不能再燃烧。但是必须注意，二氧化碳气体在高温状态下(温度高出摄氏1100度的时候)是不稳定的，也就是在这种温度下，它会分解出一部分氧来。这种氧气如果碰到高热的碳还会再发生燃烧作用。这种例子在冲天炉中是常常出现的。在冲天炉中靠近风口的地方，因为空气量比较充足，所以大多产生完全的燃烧。沿着炉腔往上，在离开风口相当距离的地方，氧气的供应就逐渐减少，最后甚至是完全没有了。

但是，在这种地方，虽然氧气已经没有了，爐內的温度却非常高。这样，在下面完全燃烧得到的二氧化碳就开始分解出氧来跟爐内的高热焦炭再发生下面的反应：



反应的结果，又形成了一氧化碳，但是并不放出热量，相反的却吸收了热量（式内—号表示反应时候的吸热现象）。因此，这类反应是很不利的，既消耗了燃料，又降低了爐温。这种反应叫做「吸热的还原反应」。

总的说来，在冲天爐燃烧的过程中，我們希望能消耗最少量的碳来得到最大的热量。因此，完全燃烧的过程是必需的，而反应式4那样的反应是绝对不容许有的。

2 空气的需要量 既然碳在完全燃烧的时候会放出最大的热量，那末要达到这种燃烧到底需要多少氧气呢？要研究这个问题，必须先弄清楚它的反应作用。 $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ 的意义，是一个原子的碳跟两个原子的氧化合成二氧化碳。碳的原子量是12，氧气的原子量是16，也就是说，要完全燃烧12公斤的碳需要32公斤的氧气。因此，完全燃烧1公斤碳就需要 $\frac{32}{12} = 2.7$ 公斤的氧气。

在冲天爐实际操作中，我們并不直接供给氧气，而是用鼓风机送入空气的。我們知道，空气的成分里，除掉氧气之外还有绝大部分的氮气。如果拿重量来说，1公斤空气中只有0.23公斤的氧气，而其余的0.77公斤是氮气。因此，在完全燃烧1公斤碳的时候，所需要的空气量应该比所需要的纯粹的氧气量多得多，就是需要 $\frac{2.7}{0.23} = 11.8$ 公斤的空气。

从鼓风机中送出的风量，一般不是拿重量来计算，而是拿体积（即多少立方公尺）来计算的。要把空气的重量化成体积，只

要把空气的重量除以它的比重就行了。这就是說，燃燒 1 公斤的碳理論上需要 $\frac{11.8}{1.29} = 9.1$ 立方公尺的空气（空气的比重是指每一立方公尺空气的重量，在溫度是 0°C 和标准大气压力下的空气的比重是 1.29 公斤/公尺³）。

以上所說的燃料指的是純粹的碳。但是冲天爐中使用的燃料是焦炭。焦炭中实际只含碳 84% 左右，其余都是灰分和水分。所以完全燃燒 1 公斤焦炭时候需要的空气量要比 9.1 立方公尺來得少，就是只要 $9.1 \times 0.84 = 7.6$ 立方公尺。

3 焦炭的消耗量 上面所討論的只是怎样使 1 公斤焦炭完全燃燒以及它所需要的空气量，还没有談到从燃燒所發出的热量怎样傳給生鉄塊。

關於冲天爐中的傳热过程大致是这样的：从燃燒發出的热量，靠着气体流动的作用，傳到鉄塊的表面上再進入到鉄塊的内部，鉄塊到达一定溫度（指鉄塊的熔化溫度）就开始熔化了。

根据計算，熔化 1 公斤鑄鉄到攝氏 1500° （有时叫做过热到 1500° ）需要 319 千卡的热量。按照反应式 3，1 公斤碳完全燃燒可以發出 8137 千卡的热量。如果这个热量沒有其它損失的話，熔化或者过热 1 公斤生鉄就只需要 $\frac{319}{8137} = 0.039$ 公斤的碳。我們已經知道，一般焦炭的含碳量在 84% 左右，因此 1 公斤生鉄需要消耗 $\frac{0.039}{0.84} = 0.045$ 公斤的焦炭；反过來說，只要 0.045 公斤的焦炭就可以熔化或过热 1 公斤的生鉄。这是熔化 1 公斤生鉄在理論上的消耗量，用百分率來說就是 $0.045 \times 100 = 4.5\%$ 。

实际上，冲天爐中的热量，还不能全部被利用，一大部分的热量給廢气帶走了，还有一部分給爐壁、爐壳等吸收去了，一部分通过爐壳散到空气中去了。因此，一般焦炭的平均消耗量总在 12% 左右。

到这里要說明一个問題：在日常操作的时候，我們常常用「鉄炭比率」來決定鉄料和焦炭的重量，难得听到焦炭的消耗量这种說法，这到底是怎么回事？其实，鉄炭比率就是焦炭消耗量的另一种表示方法。比如說焦炭的消耗量是鉄料的12%，那末鉄料对焦炭的比是 $\frac{100}{12}=8.3$ （大約是8），也就是熔化8公斤生鉄需要1公斤焦炭，鉄炭比率就是8:1。

二 冲天爐的熔化情况

1 熔化的过程 冲天爐中主要的燃燒現象產生在底炭層中。所謂底炭，就是从爐底起到熔化帶下面的一段焦炭。它是熔鉄热量的主要來源。鉄料就在这底炭上面熔化（關於底炭的其他种种問題，以后还要詳細說到）。至於底炭的燃燒，是由於从風口送進來的空气跟焦炭直接接触而發生的。此种由燃燒所產生的热量，沿着爐腔往上升，碰到上面加入的鉄料，就把它加熱並熔化成小滴鉄水，逐漸落到爐缸中去。底炭熔化一層鑄鉄就要燒去一部分，它的高度必然要降低。为了經常保持着底炭的高度，必須再加入补充的焦炭，这焦炭通常叫做層炭。因此，爐料中間依次是一層鉄料、一層焦炭（当然还有熔剂），一直到加料口为止（見圖1）。

由此可見，在冲天爐進行熔化工作的时候，出現着兩行物質的流动：一种是上升的热气流，另一种是下降的鉄料和層炭流。這兩种物質流相接触就形成了熔化中的各种現象。

2 爐气和爐溫的变化 要更好地了解冲天爐的熔化情况，先要搞清楚，爐子内部爐气和爐溫的关系到底是怎样的。

实际上，冲天爐的燃燒現象跟煤气發生爐有些相似，也就是在風口以上各个地区的燃燒作用是不相同的。在接近風口的区域，

因为空气量最充足，所以焦炭大多發生完全的燃燒，即 $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 。即使某些部分可能生成一氧化碳的反应，即 $C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$ ，但是由於空气量充分的关系，一氧化碳又立即跟氧化合成二氧化碳，即 $CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2$ 。

这种燃燒作用，繼續的往上發展着，所造成的結果是这样的：爐气中的氧逐漸因帮助燃燒而消失，相反地，二氧化碳气体就慢慢地增加起來，終於氧气完全消失掉，爐气中只剩下二氧化碳（当然还有絕大部分不起燃燒作用的氮气，在这里不加以考慮）。一般从進風口起向上一直到氧气完全消失这个区域，叫做「氧化層」，因为在这个範圍內只有碳被氧化（即燃燒）成二氧化碳的作用。虽然这个区域的溫度最高，但是鉄料却不应当在这里熔化，这是由於氧化作用太强，極难熔成优良鑄鉄的緣故。

上升着的二氧化碳气体，在这样的高溫下，当然是不穩定的，它要分解出氧气來。在氧化層以上的地帶，高热的焦炭已經失去了氧的供应，因此就开始跟二氧化碳分解出來的氧發生 $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ 的反应。結果，爐气內出現了一氧化碳的气体，而二氧化碳漸漸減少了。由於这种反应是吸热的，所以爐內的溫度也就逐漸下降。这种作用繼續向上發展，一直到爐內溫度降低到不可能分解出二氧化碳的时候为止。这时候的溫度，一般叫做「反应溫度」。在这溫度区以上的一段爐腔中，由於反应不再發生，爐气中的一氧化碳和二氧化碳的含量也就不再变化。冲天爐从氧完全消失开始到反应溫度的这一段距离，通常叫做「还原層」，因为这里的主要反应是还原作用。一般鉄料就是在这个区域内發生熔化的。虽然还原層的溫度比氧化層低，但是因为有还原气体的包围，鉄料就不会被氧化。

从还原層一直到加料口的这一段距离，叫做「預热層」。在这

个区域内，温度已经降得很低，只能用来预热爐料。当然这里爐气的成分是不再变化了。

圖 2 表示冲天爐中爐气和爐溫的变化关系。从圖上可以看到：

在氧化層中，氧气逐渐消失了，二氧化碳和爐溫却渐渐增加到最高量。

在还原層中，二氧化碳逐渐降低，一氧化碳逐渐增加，到了到达反应温度的时候就不再变化了。因为在这里發生了吸热反应（此外，熔化鉄料当然也要消耗热量），所以爐溫从最高点降低下来。

在预热層中，一氧化碳和二氧化碳的含量，不再發生变化。当然爐溫由於预热爐料的关系，还是下降着。

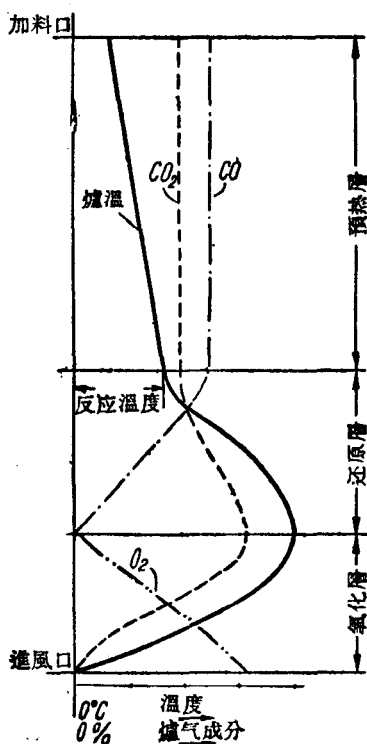


圖 2 風口以上的爐气和爐溫的关系。

3 熔化时候的矛盾性 上面已經談得很清楚，氧化層中生成的二氧化碳必然要分解出氧來，跟还原層中的焦炭發生吸热的还原作用。很明顯，这是热量的损失，它降低了冲天爐的热效率。在一般的情况下，如果要提高爐子的温度，多半採取提高風量的方法。但是，風量增加后，氧化層中爐气的温度必然会提高，就会在还原層中發生更旺盛的还原作用；这样，排出的爐气中一氧

化碳含量增加了，冲天爐的热效率也就降低了。当然，風量过多，風速就过大，鼓進去的空气中的氧气就來不及跟碳相結合，爐中的溫度就要更下降了。提高風量，一方面会提高爐溫，一方面又会降低爐溫，这是一种矛盾的現象。在一般單排風口的冲天爐中，这种矛盾現象是永远無法避免的。

4 最理想的底炭高度

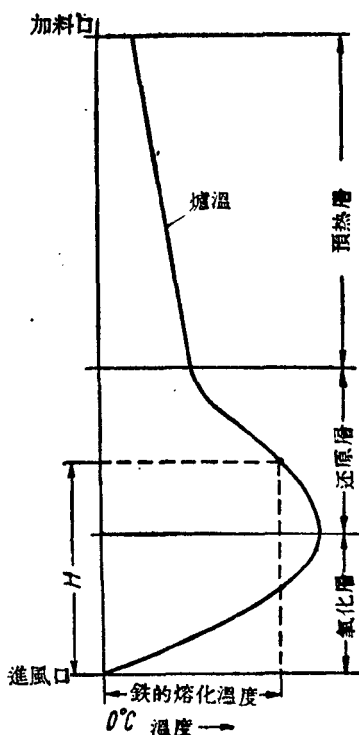


圖3 最理想的底炭高度(H)。

的爐气和爐溫，在風口以上的各个地区是不同的。如果要把鉄料熔化，一定要把鉄料安放在溫度剛好是鉄料熔点（即熔化溫度）的那个地区。

上面說過，底炭的頂面就是鉄料熔化的地方。因此，它的最理想的高度(H)，应当使鉄料在風口以上，爐氣溫度達到鉄料熔点的地方（底炭的高度 H 加上爐缸的高度，叫做底炭的总高度）。如果底炭超出了这个高度，那末底炭頂面的溫度必定比鉄料的熔点低（參看圖3），鉄料就不能熔化。这样，只有当全部多余的焦炭燒完，鉄料下降到这一定高度的时候，熔化才开始。这种現象，

一方面浪費了一部分多余的焦炭，另一方面却降低了冲天爐的熔化速度。如果底炭过低，鉄料熔化的地方就很可能降到氧化

層內。雖然這個層的溫度比較高，鐵水熔化得比較快，但是熔成的鐵水的溫度反而來得低（關於這點，以後將有進一步的敘述），而且鐵水很容易被氧化。所以底炭的過高、過低，對熔化操作來講，都有不好的影響。

在實際操作的時候，底炭的高度（ H ），一般是根據風壓來估計的，即

$$H = 37.5\sqrt{P} + 125 \text{ 公厘。} \quad (5)$$

式中 H ——底炭的高度（公厘）；

P ——風的壓力（水柱高度，公厘）。

當風壓是 600~625 公厘水柱的時候，底炭的高度用上面公式計算出來是： $H = 37.5\sqrt{625} + 125 = 1060$ 公厘。這表示在風壓 625 公厘水柱的時候，底炭在風口以上的高度，應該不低於 1060 公厘。

但是由上式所求得的 H 值，不過是一個參考數字，一般是用來給使用新的沖天爐的時候決定底炭高度的。事實上 H 值還要看熔化情況加以修正。要決定底焦高度的是否適當，主要是根據鼓足風後觀察風口中開始發現落下鐵滴的時間來決定的。當底炭的高度正確的時候，一般需要 6~7 分鐘後鐵水才滴下來，這個時間叫做正常的「落鐵時間」。落鐵時間如果比上面所說的時間短，就表示底炭太低；如果超出了這個時間，就表示底炭過高。

5 熔化帶 事實上，鐵料的熔化並不一定在一個理想的高度上產生，它總是有些上下的。這個上下範圍內的區域叫做熔化帶。熔化帶的位置，由於風量分配得不均勻等，可能發生一些變遷。

沿着爐壁四周的部分，因為焦炭和爐壁之間的空隙比較大，又因為進風時候的阻力比較小，所以風量比較暢通，焦炭燃燒得比較完全。在爐子的中心部分，鼓進的風受到焦炭塊的阻礙，風

量減弱了，所以不容易燃燒得好。因此，熔化帶的地位，在沿着爐壁的部分比中心部分高，也就是爐子中心部分的 H 值，比爐子四壁部分的 H 值低。

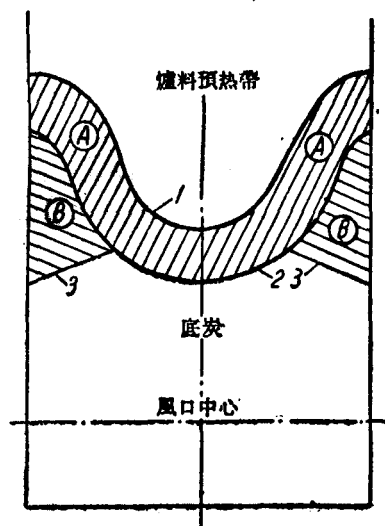


圖4 熔化帶。

圖4表示冲天爐中熔化帶的地位。曲線1和2間的部分，即A那個部分是熔化帶。從圖上可以看到，沿着爐壁四周部分的位置比較高。這就是說，四周部分鐵的熔化速度比中心部分快；也就是說，爐子中心部分的鐵料在比較低的地方熔化，而爐壁四周部分的鐵料在比較高的地方熔化。正因為這樣，中心部分的鐵料就有機會向四周下降，落到熔化帶

A下面的部分熔化，即圖中的B部分熔化，以致整個熔化帶的形狀改變了（等於A和B的總和）。這就是造成鐵料在爐內不同地位上熔化的主要原因。

6 層炭量 層炭就是按層加入的焦炭，有時叫做熔鐵焦炭。它的主要功用是補充底炭的消耗，使得整個底炭的高度不發生顯著的變化。因此它的加入量，必須加以適當的考慮，不然就會發生底炭過高、過低的現象。在熔化過程中，底炭由於燒失而逐漸降低，要是每次加入的層炭足夠補足這種燒失量的話，底炭的高度就可以維持不變。

由於底炭的燃燒主要是發生在熔化帶中，而一般熔化帶的上

落範圍，總是在 150~180 公厘之間，因此層炭的厚度也不能比這個數值少。通常決定層炭重量的時候，就根據這項原則，並且把層炭的平均厚度定為 160 公厘（即 0.16 公尺）。計算層炭高度的公式是：

$$W = 0.16 \times \frac{\pi D^2}{4} \times p. \quad (6)$$

式中 W ——層炭的重量（公斤）；

D ——冲天爐的內直徑（公尺）；

p ——每一立方公尺焦炭重量的公斤數，一般大約是 450 公斤/公尺³。

當爐子的內直徑是 500 公厘（即 0.5 公尺）的時候，層炭的重量

$$W = 0.16 \times \frac{\pi \times 0.5^2}{4} \times 450 = 14 \text{ 公斤}。$$

7 層鐵量 每批加入鐵料的重量叫做層鐵量。一般它的重量跟層炭量有一定的比率，是根據焦炭的消耗量來決定的。例如，焦炭的消耗量是鐵料消耗量 12% 的時候，鐵料量對焦炭量的比就是 $\frac{100}{12} = 8$ 。這就是 1 公斤焦炭可以熔化 8 公斤層鐵。既然決定了層炭的重量，那末層鐵的重量，只要把 8 乘上層炭的重量就可以求得了。

三 影响冲天爐工作的几个主要因素

1 燃料的影响 燃料（即焦炭）對冲天爐熔化工作有以下的几方面影响：

首先來討論一下焦炭量對熔化工作的影响。已經談過，生鐵的熔化是發生在底炭上面的。為了保證底炭高度不變，每次加入的層炭要恰好等於熔化一層鐵料的需要量。如果加入的層炭量多過這個數值，底炭的高度必然要逐漸增加上去，熔化帶也就跟着提高。這種趨向，使熔化帶的溫度降低了（參看圖 3），以致熔

化工作只得暫時停止一下，等过剩的焦炭燒完后再开始。这样就影响了鉄料的熔化速度。如果層炭量过少，底炭得不到适当的补充，熔化帶就下降了。开始的时候，熔化帶降到温度的最高区，虽然熔化速率增加了，但是鉄水很容易發生劇烈的氧化。然后熔化帶降到溫度較低的地方和接近風口的地帶，鉄料就得不到全部熔化。这些沒有全部熔化的鉄料叫做凝固塊，它会鑽到風口附近，阻碍了鼓風。因此熔化工作就有中断的可能。此外，層炭量減少以后，它的厚度來得薄些，某些部分就会有兩層鉄料接連在一起的現象，使熔化工作更加困难。

現在再來討論焦炭塊的大小对冲天爐燃燒的关系。焦炭必須在跟氧气有密切的接触的时候，才能起最大的燃燒作用。如果把一大塊焦炭打成許多小塊，这些小塊焦炭的总面積当然比大塊大得多。这对燃燒來說，当然是有利的。这样又会造成燃燒时候的矛盾性。所以焦炭的尺寸不能太大也不能太小。在实际应用的时候，中、小型的爐子（指直徑 600~900 公厘的）可以採用 50~90 公厘大小的焦炭做層炭。底炭可以大一些（因为希望經久耐燒一点），一般不应当小於 75~100 公厘。

2 風量的影响 增加風量，当然是可以加速燃燒，这是提高爐溫最普通的一个方法。但是必須注意，送入的風量要在使焦炭达到完全燃燒的时候才最有利。过多的風量，除了会造成爐子的矛盾性以外，还会使鉄料發生強烈的氧化作用。过多的風量中包含着大量的氮气，这些氮气不但不能帮助燃燒，反而要很多的热量來过热它。过多的風量，还会使底炭頂面的燃燒速度超出了鉄料的熔化速度，因此鉄料不可能达到完全的熔化。

此外，風速是随着風量的提高而增加的。这种快速的鼓風，会对風口区的燃料和熔渣起冷却作用，而冷凝的鉄液和熔渣会把