

煉鐵原理講義

上册

北京鋼鐵工業學院

煉鐵教研組

1959.6

目 錄

緒 論	1 - 2
第一章 高爐中的機械作用	3—35
第一节 高爐中煤氣流動的規律	3
第二节 測定高爐中煤氣分布的方法	8
第三节 高爐中煤氣和爐料的合理分布	12
第四节 爐喉半徑上布料的調劑	15
第五节 爐喉圓周上布料的調劑	28
第六节 高爐中爐料的下降	31
第二章 高爐中的蒸發和分解反應	36—46
第一节 吸附水的蒸發及水化物的分解	36
第二节 燃料中揮發物的揮發	37
第三节 氧化物的揮發	38
第四节 碳酸鹽分解	40
第三章 還原	47—109
第一节 原理	47
第二节 從鐵的氧化物中還原鐵	50
第三节 影響鐵礦石還原速度的因素	63
第四节 在實驗室中測礦石還原性能的方法	77
第五节 直接還原與間接還原	81
第六节 高爐中鐵的氧化物的還原過程	88
第七节 鐵以外其他元素的還原	91
第八节 CO 的分解作用	103
第九节 滲炭作用	106
第四章 熔化成渣及去硫	110—171
第一节 爐渣的作用及其組成	110
第二节 爐渣的物理性能	117
第三节 高爐中的成渣和熔化過程	136
第四节 高爐中爐渣的去硫作用	143
第五节 生鐵的爐外去硫	156
第六节 爐渣的選擇	162

高爐冶煉過程

緒 言

高爐冶煉的目的在于用最少量的燃料，在單位容積高爐中煉出最大量的合于規格的優質生鐵。為了達到這一目的，煉鐵工作者必須對高爐冶煉過程有充分的了解，並作進一步的研究來促進和改善高爐生產。

高爐生產已具有六百多年歷史，但由於開始時缺乏在化學方面的基本知識，對高爐冶煉過程不能真實的了解，其後隨着化學這門科學的建立和發展，煉鐵工作者知道了煉鐵原料和產品的化學成分，肯定了高爐中的主要反應是鐵的氧化物的還原，這為高爐冶煉過程的理論打下了基礎，也為研究高爐冶煉過程創造了最基本的條件。

數百年來，各國冶金學家曾對高爐冶煉進行過很多詳細的研究，但由於高爐冶煉過程的錯綜複雜，同時也由於冶煉過程中在高溫，高壓和密閉的條件下進行研究的困難，嚴格地說，直到今天為止，還沒有得出一套關於高爐冶煉的完整的理論。

解放以前，在半封建半殖民地的枷鎖下，我國的鋼鐵事業奄奄一息，對冶煉過程很少進行研究。而今天，優越的社會主義制度和正確的黨的領導，使得祖國的鋼鐵事業能夠一日千里地飛躍前進，為煉鐵工作者創造了最優越的條件，在生產實踐中已創造了很多奇跡，對冶煉過程的研究工作需要也必然將以飛躍的速度前進，使能進一步推動煉鐵事業的發展。

高爐冶煉過程可以在實驗室里進行研究。在實驗室中可以把複雜的冶煉條件固定起來，研究某一過程的進行情況，這是研究高爐冶煉過程的一個重要手段，但是單靠實驗室里的研究還是不夠的，因為在高爐煉冶條件下，任何一個過程都不是孤立進行的，而是與其他很多同時發生的作用相互影響着的。因此要更全面地了解高爐冶煉的真實情況，除在實驗室中進行研究外，還必須直接在高爐上進行研究。

爐料從高爐上部加入，而風從高爐下部進入，隨着風口前燃料的燃燒，爐料從上部逐漸下降，而煤氣則從下部不斷以高速上升，由於按相反方向進行的兩個流柱的相互作用，在高爐各個區域中，同時進行着一系列錯綜複雜的物理的和化學的變化。所謂高爐冶煉過程就是這些變化過程的總稱。為了方便起見，把全部過程分成下列幾個部分進行研究：

1. 爐料和煤氣的機械運動。在這一部分中包括：1) 裝料入爐時爐料在爐喉部分的分布；2) 爐料下降過程中的再分布；3) 煤氣在爐料料塊間的分布。

這一作用對高爐冶煉具有重大的影響，它會影響還原過程的順利進行，也能影響爐料是否能正常下降，從而影響到整個生產指標。

2. 爐料和煤氣的熱變換。爐料在高爐中下降時不斷與上升的煤氣相接觸，熾熱的煤氣逐漸把本身帶有的熱量傳給溫度較低的爐料，煤氣逐漸冷卻而爐料則逐漸加熱，提供了爐料進行一系列變化（還原和熔化等）所需要的熱量。

3. 爐料中水分的蒸發和水化物的分解，燃料中揮發分的逸出，碳酸鹽等的分解，部分揮發性物質的揮發。這些變化都是由於爐料溫度增高而進行的，它們中間有的是物理狀態的改變，有的則是化學成分的變化。

4. 各种元素的还原。这是高爐中最主要的过程，其中以鐵的还原为主，此外还包括錳、矽、硫等元素的还原，有时还有 Cr、Ti、V、Ni、Cu 等的还原。依靠还原反应的进行，使能从氧化物中获得需要的金屬。

5. 生鐵与爐渣的形成。生鐵乃是許多还原出来的元素並溶入一部分炭所形成的，鐵在高爐上中部就部分地被还原出来。沒有滲炭的鐵，呈海綿狀，叫做海綿鐵；部分滲炭后的鐵，熔点下降，成液体，滴入爐缸，並在高爐下部滲入其他元素(如矽、錳等)，成为生鐵。

爐渣乃由一切高爐中既不能进入生鐵，又不能进入煤气的物質組合而成的复杂的物質，它的主要成分是由 CaO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 組成的各种不同的矽鋁酸鹽化合物，同时也常含有或少量的 MgO 、 MnO 、 FeO 和 CaS ，在特殊冶煉条件下，有时含有較多的 MgO 、 TiO_2 和 CaF_2 等化合物。

爐渣对于促进或阻止某种元素的还原，去硫，保証获得合于規定成分的生鐵，有着极为重大的作用。

6. 爐缸中的燃燒反应。裝入高爐的燃料，在高爐下部风口前进行燃燒，燃燒結果发出热量和生成煤气，提供了高爐反应中所必須的热量 and 还原剂。並使高爐下部形成空区，保証上部爐料的不断下降。

在爐缸上部还原出来的元素，在通过风口前的氧化区域时，会再被氧化，到风口以下再被还原出来。

7. 煤气上升过程中温度、压力和成分的变化。

除上述各种反应外，在本書中还将研究高爐中热能的利用和介紹如蒸汽送风、高压操作，富氧送风和酸性渣冶煉等新技术。

对于上述各种过程的研究所得出的理論就是“高爐冶煉原理”。

由于上述各种过程是相互联系和相互影响的，因此在研究高爐上的实际冶煉問題时，必須相互联系全面地加以考虑，以免由于考虑問題的片面性，得出錯誤的結論。

第一章 高爐中的机械作用

第一節 高爐中煤氣流動的規律

在高爐里，自下而上的煤氣流與自上而下逐漸流動的爐料形成兩個相對運動的流柱，這種相對運動對於高爐冶煉具有極為重大的意義，高爐中的所有過程，包括最主要的還原反應都是在這兩個流柱的對流過程中完成的。

上升的煤氣帶有大量熱，並含有濃度相當高的CO和少量的H₂和CH₄，這是高爐中用於還原的主要還原劑，因此說，高爐中上升的煤氣攜帶着大量熱能和化學能。高爐冶煉的要求是儘可能完善地利這些能量，即要把煤氣帶有熱量很好地傳給爐料，使爐料加熱，同時並很好的利用它所攜帶的還原劑還原礦石。只有這樣才能達到提高高爐生產率和降低煉單位生鐵時的燃料消耗量的目的。

為了達到上述目的，必須使煤氣在爐料中均勻分布，與爐料，特別是與礦石密切接觸。如果高爐中煤氣分布不均，從某一局部區域通過的特別多，而從其餘部分通過的較少，則從通過多的區域中通過的煤氣的能源不能得到充分利用就逸出高爐，而通過煤氣少的區域中的爐料又沒有很好地加熱和還原就進入爐缸，造成“爐冷”而迫使燃料消耗量增加。另一方面，煤氣通過多的區域，由於溫度的大量增高和煤氣的高速洗刷，將加重爐牆的燒損，降低爐牆的壽命。

既然煤氣在高爐中的運動具有如此重大的意義，煉鐵工作者就必須對高爐中煤氣運動的規律有所了解。

我們知道，煤氣所以能穿過爐料自下向上運動，主要是依靠鼓風機提供的壓力，使能不斷克服爐料的阻力而上升的。煤氣流在克服爐料阻力的過程中，本身的壓力則逐漸降低，造成壓頭損失。

氣體在直線管道中以渦流的形態通過時的壓頭損失可以用下式來表示

$$h_n = k \frac{\omega^2}{2g} \quad (1)$$

式中 h_n ——氣體壓頭損失；

ω ——氣體流動時的平均速度；

g ——重力加速度；

k ——氣體運動時的阻力係數。

在圓形直線管道中。管道的阻力係數與管道長度和管道直徑有關：

$$k = \mu \frac{L}{d} \quad (2)$$

式中： L ——管道長度；

d ——管道的水力學直徑；

μ ——管道壁的摩擦係數，決定於管壁長面的情況和特性及氣流的粘度等因素。

因此

$$h_n = \mu \frac{L}{d} \frac{\omega^2}{2g} \quad (3)$$

由於在高爐中是由散粒料組成的料柱，所以煤氣通過的通道不是直線的。上式不能用來

計算通过散粒料柱时真正的气体压头损失。曾有好多人研究过气体通过散粒料柱时的压头损失，但是直到现在还没有一个通用的计算公式。

在高爐中，由于所用爐料的种类不同，煤气的分佈也不均，特别是爐料在下降过程中是不断变化的，除固体爐料外，还有粘糊状和液态的爐渣和生鉄存在，因此就更难用一个通用的公式来計算了。虽然如此，利用上式依然可以看出高爐中煤气运动的一些規律。通道愈長愈細，煤气的压头损失愈大。气流速度对压头损失的影响特别大，速度愈大，压头损失愈大。

通道的長度和直徑主要决定于爐料的性能，即决定于爐料的粒度和强度，而气流的速度则决定于單位時間中送入高爐的风量。爐料的粒度愈細，則組成的气流通道的曲折愈多，長度愈長，因而煤气通过时受到的阻力愈大，压头损失也就愈大。

爐料的粒度愈不均匀，則小块爐料，填充于大块料的間隙中，使煤气能够流通的总的截面积减小，增大了煤气通过时的速度和管壁的摩擦阻力，因而增大了煤气的压头损失。

因此粒度愈小和粒度愈不均匀的爐料所引起的煤气压头损失愈大，在高爐料中矿石的粒度較焦炭的粒度小並且致密，因此矿石对煤气通过时生成的阻力要大得多。

强度差的爐料，由于在高爐中因碰击和摩擦而生成粉末和碎块，將严重地影响料柱的透气性。

图 1 示出不同爐料对煤气流阻力。从图中看出焦炭层的阻力最小，矿石（包括燒結石）的阻力都較大，特别是破碎而未经篩分的矿石的阻力最大。从图中还看出，随着流量的增大压头损失也增大，特别当爐料的透气性不好时，压头损失增加更剧。

沙波伐洛夫的研究也說明了这点，他指出在大块的物料中混入一部分 1—4 公厘的小块料时，使透气性急剧降低。由大块矿石和大块焦炭所組成的混合物的透气性要比把它們分层裝时差。同时沙波伐洛夫指出，当燒結矿的粒度組成和矿石的粒度組成相同时，燒結矿的阻力要比矿石的阻力小。

在高爐中，由于各风口前的煤气压力都大致相等，爐喉截面上的煤气压力都一样，因而无论从那一个通道通过的煤气所受到的压头损失都相同，即

$$h_n = P_{\text{風口}} - P_{\text{爐喉}}$$

同时，高爐料柱間的各个煤气通道都是相互通連的，为了保持从各通道間通过的煤气的压头损失相等，煤气流將进行自动調节，在爐料阻力大的部分煤气通过的量就少，而在爐料阻力小的部分通过的煤气就多。

在高爐中，由于鉄矿石的透气性常比焦炭的差，因此，鉄矿石集中的区域的爐料的透气性就差，煤气通过的量自然要少一些。相反，焦炭較集中的区域的透气性較好，煤气通过的量也必然較多。但是必須指出，决不应認为高爐中生成的全部煤气都是从透气性好的地方通过的，因为随着气流速度的增加，气流的压头损失也是大量增加的。当由于高速度所形成的压头损失和在透气性差的区域中所生成的损失一样时，煤气的流速就不再增加了。只有在风

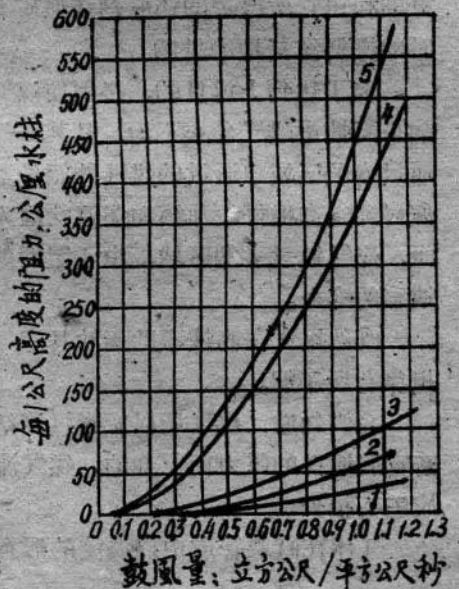


圖 1 各種爐料對煤氣流的阻力

- 1—焦炭；2—破碎后經過篩分的礦石；3—沒有破碎的礦石；
- 4—燒結礦；5—破碎后未經篩分的礦石。

量很小的情况下（象过去的一些高爐冶炼情况），單位時間中在爐缸中生成的煤气量很少，由于流速引起的压头损失很小，煤气不能滲透入每一个煤气通道，只是从阻力最小的几个通道中通过。在这种情况下，虽然爐料在高爐中的停留時間增長但对高爐的还原过程並沒有改善，只有增加單位時間中送入的风量，提高风口前的煤气压力和煤气速度，煤气才能穿透入料柱中阻力較大的部分，促使爐料中煤气的分布改善。

关于这一点，可以用以下两个事实来証明：

十九世紀七十年代初，在英国克利夫蘭工厂的容积为 1165 公尺³ 的大高爐中，爐料的停留時間达 48—60 小时，最長时甚至达 72 小时，而高爐日产量只 90 吨，利用系数仅为 0.08，焦比在 1 左右，相反目前我国很多高爐上，爐料在高爐中的停留時間虽仅 6—8 小时甚至低到 5 小时以下，但高爐利用系数在 1.5—2.0 左右，甚至高达 2.4—2.5，焦比为 0.6—0.7。

我国高爐的冶炼指标比英国克利夫蘭高爐好得多的一个主要原因是我国高爐的送风量，約为英国高爐的 15—20 倍。看来，由于英国高爐的风量过小，煤气不可能均匀地分布在爐料中間，而从阻力最小的地方通过，不能把全部矿石都很好还原和加热，以致生产指标很差，尽管爐料在高爐中停留的時間比我国高爐長 10 倍，焦比也仍远比我国的高爐为高。另一例子为苏联某工厂，由于原料供应发生了困难，不够三座高爐使用，为了不使高爐有一座停产，决定用慢风操作，三座高爐都減了风，結果生产指标严重恶化，反不如將一座高爐停止生产更为有利。

但是，风量的增加也並不是无限止的，当风量超过一定范围，与爐料透气性不相适应时，就会引起煤气分布的严重恶化，会产生所謂“管道行程”，即煤气將要在料柱中冲开一条或数条通道，很多煤气以巨大速度通过这些通道，而从料柱其余部分通过的則剧烈減少。在这种情况下也可能由于煤气的支撑作用，使料悬浮，破坏爐料的勻調下降，也严重地破坏了煤气能量的利用，使生产指标恶化。

煤气在高爐中的停留時間可以用下式計算：

$$t = \frac{V_n}{V} \text{ 秒}$$

式中 V_n ——料柱間孔隙的体积，公尺³；

V ——單位時間中产生的煤气量，公尺³/秒。

煤气通过料柱的速度为

$$w = \frac{H_m}{t}$$

式中 H_m ——料柱高度，公尺。

由于爐料在高爐中堆积情况的不同以及爐中生成粘糊狀物質和液体的結果，料柱間的孔隙体积 (V_n) 有很大变化，无法精确测定，因此也很难精确計算出煤气在高爐中停留的時間和通过料柱时的速度。

肯尼曾于 1929 年用压力差管直接在高爐上测定了煤气的运动速度，試驗指出，高爐各部分的气流速度均不同，自 14—137.2 公尺/秒。

根据 B. T. 巴索夫在高爐上测定煤气的运动速度的試驗指出，煤气的运动速度高达 60 公尺/秒。但是由于压力差管测定时的誤差，这些数据均不能認為完全可靠。

近几年来，由于放射性物質在冶金工业中的应用，使有可能較精确地测出煤气通过料柱的速度。

E. 伏欧斯和Ф.Ф.考列沙諾夫曾先后用放射性物質測定过煤气在高爐中的停留時間。他們从风口加入放射性物質，同时連續鑑定爐喉煤气，根据爐喉煤气中放射性物質出現的時間來确定煤气通过料柱所需的时间。Ф.Ф.考列沙諾夫的測定数据列于表1。

表1 高爐中煤气运动速度的測定数据

測定号数	料柱高度，公尺	煤气在高爐中的停留時間，秒	煤气运动的直線速度，公尺/秒
4	21.7	1.5	14.5
5	21.7	2.74	7.9
7	21.7	2.42	9.0

从表中看出，煤气在高爐中的停留時間在2.5秒左右，煤气通过高爐料柱的直線速度在8—9公尺/秒左右。

表中列出的第四次測定的停留時間特別短，这是在边缘气流大量发展的情况下測定的，所以測出的煤气运动速度比正常情况下高得多。

Ф.Ф.考列沙諾夫的測定也指出，自风口到爐腰的气流速度常比自爐腰到爐喉的速度快一倍还多，这是由于高爐下部温度高，煤气体积大的緣故。

上述測定的煤气速度都是爐牆边缘的煤气速度。由于从高爐各不同部分通过的煤气速度均不相同，所以可以想象，有些区域中的煤气速度是低于上述速度的。

煤气的临界速度（即超过这一速度时就会破坏煤气的正常分布和爐料的均衡下降）到底是多少将根据每一个具体情况的不同而不同，这只能在实际生产中逐步試驗求得。

料柱下降的性質也同样对煤气的分布有影响。在爐料运动得快的地方，爐料比較疏松，煤气容易通过；相反，在爐料运动較慢，特别是爐料停滯的地方，爐料比較紧密，煤气通过比較困难。

爐渣的性能和数量也将严重地影响煤气的分布，粘在焦炭块上的粘稠的爐渣，能使爐料的透气性降低，因而促使气流的分布变坏。渣量的增加，减少了料块間的通道断面积，也能使料柱的透气性和气流的分布变差。

如上所說，料柱中煤气的分布决定于很多相互联系和相互影响的因素。为了改进和調剂高爐中煤气的分布可以采取下列方法：

1. 改进冶炼前爐料的准备工作，提高料柱的透气性。

前面已經談过，爐料的粒度小时，增加了煤气通道的長度和曲折度，也增加了通道的管壁面积，大量增加了煤气通过时的压头损失。因此为了改善煤气的分布和减少煤气通过时受到的阻力，应该增大爐料的粒度。但是随着粒度的增大，矿石与煤气的相对接触面积减小，这也会影响爐料的加热和还原，因此，应该根据具体冶炼条件来确定料块的大小，还原性好的矿石的粒度可以稍大一些，而还原性差的则应该小一些。在大高爐上根据矿石性能不同，可以采用粒度的上限为30—70公厘，在小高爐上，由于料柱較矮，煤气通过时受到的阻力較小，因此可以采用較小的粒度，在100—200公尺³的高爐上可以采用不大于30—40公厘的矿石，对于容积仅为1—5公尺³的小高爐，矿石粒爐度最好不大于20—15公厘。根据高爐容积的减小，石灰石的粒度也应该相应减小。

根据試驗，料块粒度大于20公厘时，料块粒度的变化对煤气通过时的压头损失的影响較小，当料块粒度小于20公厘，特別当小于10公厘时对压头损失有着极其严重的影响，因此在一般高爐上（除容积很小如1—10公尺³的高爐外），在爐料入爐前，最好把小于10公厘的粉矿篩出，經過制块后再加入高爐。

改善爐料透气性的另一方法是提高原料的机械强度，减少爐料在高爐中由于摩擦和碰击所产生的碎粒。在高爐中特別当焦炭强度小时，在爐料下降过程中产生大量粉末，这不仅会减小煤气通道面积，更会引起爐渣粘度的大量增加，严重地影响爐料的透气性，破坏爐料的均衡下降，同时也將增加爐渣帶走的鉄量。

改善爐料透气性的另一措施是把爐料分級入爐，即把矿石按粒度不同，分成数級，分別裝入。

爐料对煤气的阻力，不仅因为料块粒度的减小而增加，同时也随着粒度組成的均匀度的不同而不同。

图2中排列着同样直径的圆球，設球的直径均为d，則圆球間空隙体积的百分率为

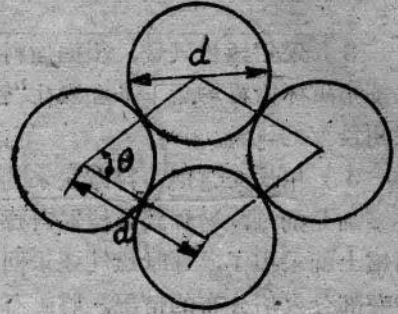


图2 八个同样直径的圆球排列在一起时的情况

$$100\% - \left(\frac{\pi d^3}{6} \sqrt{\frac{d^3 \sin^2 \theta \sqrt{1+2\cos \theta}}{1+\cos \theta}} \times 100\% \right)$$

$$= 100\% - \frac{\pi(1+\cos \theta)}{6\sin^2 \theta \sqrt{1+2\cos \theta}} \times 100\%$$

从上式看出，当球体直径相同时，球体間空隙的百分率与圆球的直径无关，仅决定于圆球联心線構成的菱形的頂角的大小，即决定于圆球排列的形式。当菱形的頂角为90°时（即成正方形时）的孔隙度最大，等于：

$$\left(d^3 - \frac{\pi d^3}{6} \right) / d^3 \times 100\% = 47.7\%$$

在菱形的頂角为60°时最小，等于

$$\left(\frac{d^3}{\sqrt{2}} - \frac{\pi d^3}{6} \right) / \frac{d^3}{\sqrt{2}} \times 100\% = 26.3\%$$

在实际情况下，当粒度完全相同时，孔隙度將随着排列方式的不同在上述范围内变动。但是当粒度不均时，小块料填充在大块料的間隙中，粒度愈不均匀，填充得愈致密，爐料間的孔隙度愈小，对煤气的阻力愈大。

如果把不同粒度的混合料篩分成几級，就可以发现，虽然矿石的重量並沒有变，但它的体积却大量增大了，随着原来混合料的粒度組成的不同，有时体积能增大20%甚至更多，这是因为爐料間的孔隙增加了的缘故。当然煤气通过时受到的阻力也將相应减小。

如上所述，分級入爐有利于提高爐料的透气性，同时也將有利于煤气的均匀分布，因为分級后可以避免裝料入爐时的偏折现象，避免大小块的分別集中，使整个高爐截面上的透气性比較均匀。关于这一点將在后面布料部分进一步加以研究。

但是，肖米克指出，並不是所有情况下分級入爐都能改善爐料的透气性的。混合料与分級料的透气性与爐料粒度組成的关系將如图3所示。因此，从透气性來說，在大块較多，小块較少的情况下，混合料的透气性要好一些，在大块較少，小块較多的情况下，分級后的透气性要比混合料好。

但必須指出，在實驗室中的情況可能如此，而在高爐中，無論爐料中小塊含量多少，在裝料入爐時總會發生爐料按粒度不同的偏析，一定會造成煤氣分布的不均。

分級時每級的范围可以根据同級中最大粒度与最小粒度的比不小于3至2.5来确定。

2) 提高矿石品位，降低焦炭灰分，或采用酸性渣冶炼，使减少渣量或改善渣性能，改善料柱的透气性。

3) 采用适当风量，根据炉料透气性的好坏，即在保证不破坏炉料均衡下降和发生“管道行程”的情况下，采用最大的风量。

4) 用改变炉顶布料方法来调剂煤气的分布。那里煤气通过多，就在那里多加一些矿石或多加几批料，增加该处炉料对煤气流的阻力，改变煤气的分布。关于这一点，早在原始的高炉上就采用了，那时煤气还未回收，炉喉是敞开的，原料用人工加入高炉，人们可以按照炉喉部分火焰分布的情况，将矿石装在火焰最盛的地方，这种调剂方法对改善煤气分布和能量的利用是最有效的。但是，现在由于回收煤气，炉顶已加以密闭，人们不能直接观察高炉中煤气的分布情况，必须利用各种测量仪表来测定，只有当完全掌握煤气的分布情况后，才能进一步加以调剂。

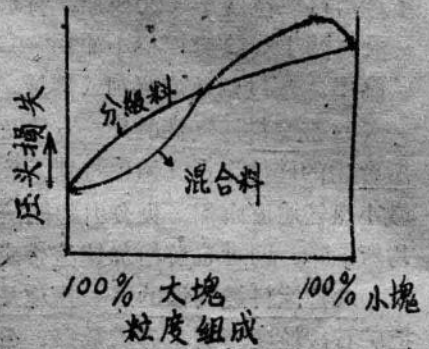


圖3 混合料與分級料的透气性與爐料粒度組成的關係

第二節 測定高爐中煤氣分布的方法

測定高爐中煤氣分布的方法很多，常用的測定方法有下列兩種：

- 1) 根据爐喉截面上煤氣中CO₂的含量來測定；
- 2) 根据爐牆及爐頂煤氣溫度來測定。

高爐中的煤氣在上升過程中將不斷使礦石還原，由於還原的結果，煤氣中CO的含量減少了，而CO₂的含量增加了。在一般情況下，透氣性好煤氣通過多的地方，由於遇到的相對礦石量少，煤氣中CO₂的含量就相應較低；相反，在透氣性差，煤氣通過少的地方，由於煤氣遇到的相對礦石量較多，因而煤氣中CO₂的含量就高。當然煤氣中CO₂含量的多少還與礦石和熔劑在高爐中的分布情況有關，礦石多的地方，由於還原作用發展較多，煤氣中CO₂的含量當然也較高，在相反情況下，煤氣中CO₂的含量自然就較低。在高爐中礦石多的地方也恰好是透氣性差和煤氣不易大量通過的地方。因此根據爐喉截面上煤氣中CO₂的含量，可以正確地判別高爐中煤氣分布的情況。

為了鑑別煤氣的分布情況，常在高爐爐喉部分裝置煤氣取樣孔，如圖4所示，按規定時間用煤氣取樣管從孔中插入高爐，沿着爐喉半徑，在不同位置採取煤氣樣品（通常在半徑距離上採取五個樣品）根據不同位置的煤氣中CO₂的含量可以繪出爐喉半徑上煤氣中CO₂含量的分布曲線。

象圖5表示的情況，爐牆邊緣和爐中心的CO₂含量均較低，在距爐牆某一距離處的CO₂含量最高，這表明從該處通過的煤氣量最少，而從爐牆邊緣和爐中心通過的煤氣均較多。

為了了解爐喉整個截面上的煤氣分布情況，可以在爐喉的同一平面的不同方向設四個取樣孔，根據這四個方向爐喉半徑上的CO₂含量曲線，可以大致估計爐喉截面上的煤氣分布情況。

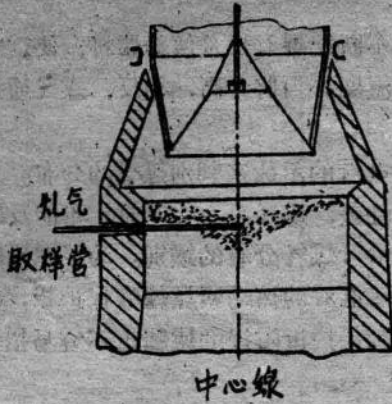


圖4 煤气取采裝置圖

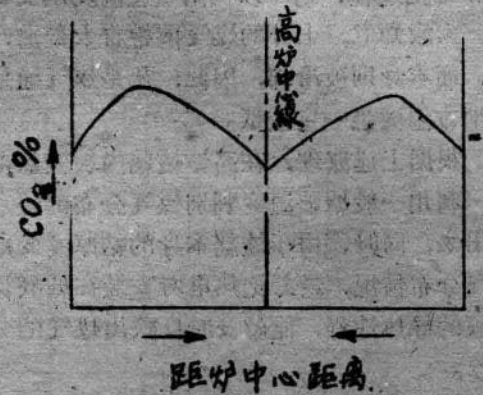


圖5 爐喉半徑上煤气中CO₂的含量曲線

如图6所示，东侧爐牆邊緣的CO₂含量特別低，而其余三方面的含量均較高，這表明从东侧通过的煤气特別多，而从其余部分通过的均較少。

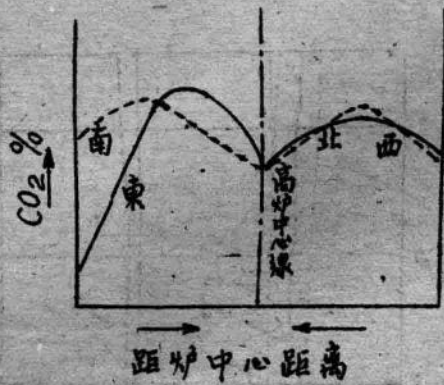


圖6 四个不同方向的爐喉半徑上煤气中CO₂的含量曲線

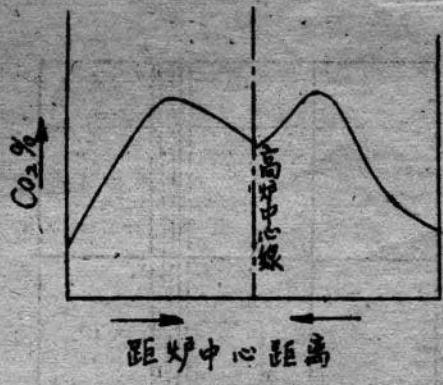


圖7 “邊緣行程”時的CO₂含量曲線

当煤气大量从爐牆邊緣通过，即所謂“邊緣行程”或“邊緣过分发展”时，邊緣煤气中CO₂的含量特別低，有时甚至低到2—3%左右（图7）。当煤大量从中心通过，即所謂“中心行程”或“中心过分发展”时，爐中心的CO₂含量特別低（图8）。

为了能正确地判別煤气的分布情况，爐喉部分煤气取樣孔应設在料面以下。如取樣孔的位置在料面以上，取樣管虽然容易插入，但由于煤气逸出料面后势必部分地进行混和，因而从各点上取出的煤气样品不能完全真实地代表該点的煤气成分，也就不能真实地反映出煤气的分布情况。必須指出，煤气中CO₂含量的变化，不仅能表示煤气分布的情况，同时还表示冶煉情况的好坏。煤气中CO₂含量高时，說明还原工作进行得好，冶煉指标当然也好。

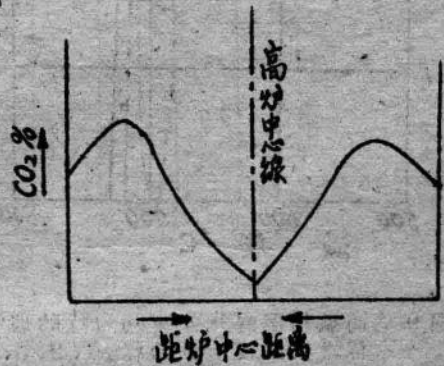


圖8 “中心行程”時的CO₂含量曲線

用上述方法只能知道某一段時間內煤氣的分布情況，如欲知道所有時間中煤氣的分布情況和變化過程，則可以根據爐牆溫度的變化來判別。

大家知道，上升的煤氣攜帶着大量熱，在上升途中不斷把帶有熱量傳給爐料，使爐料加熱，而本身則被冷卻，因此，凡是煤氣通過多的地方，溫度必須將升高，相反，煤氣通過少的地方溫度也一定較低。

根據上述原理，在高爐爐牆內裝設熱電對，根據熱電對的示數來判別煤氣的分布。

利用一般爐牆溫度判別煤氣分布的缺點是爐牆導熱性差，煤氣分布變動時，不能及時反映出來，同時，由於爐牆本身的結厚或變薄，有時會混淆對煤氣分布的鑑別。為了正確判別煤氣分布情況，最好把熱電對安裝在爐喉保護板部分把熱電對的熱端緊靠爐喉保護板，借保護板的導熱性好，能夠及時反映出煤氣的分布情況。同時保護板附近的爐牆也不容易損壞或結厚。

當高爐周圍煤氣的分布正常時，設在高爐周圍的保護板後的熱電對的溫度示數比較接近，如圖9中的曲線所示。當煤氣發生偏行，從某一側通過特多時，則該側的熱電對示數升高，而其餘部分由於煤氣通過量減少而均稍稍下降。如圖10中所示，煤氣從3號熱電對側通過的特別多。

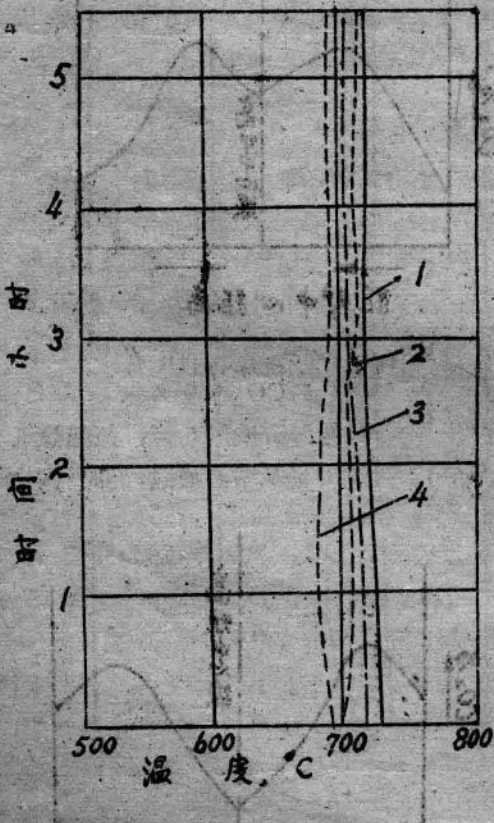


圖9 高爐周圍煤氣分布均勻時的爐喉保護板溫度示數曲線。1、2、3、4—爐喉周圍裝設在同一平面上的4支熱電對的溫度示數曲線

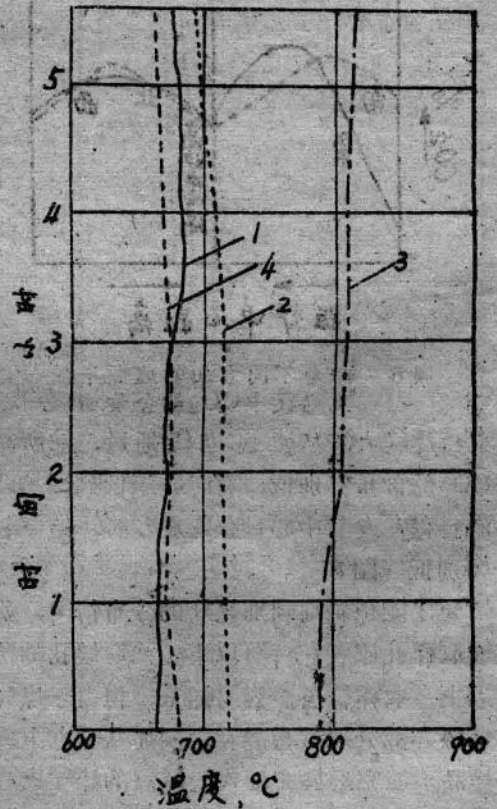


圖10 煤氣偏行時爐喉保護板溫度示數曲線。1、2、3、4—爐喉周圍裝設在同一平面上的4支熱電對的溫度示數曲線合

当高爐中发生“边缘行程”时，除爐牆周圍各个热电对的温度示数都增高外，由于煤气热能利用不好，爐頂煤气温度也随着升高（图11）。当高爐中发生“中心行程”时，由于高爐爐牆附近的煤气通过量减少，因此爐牆周围的热电对示数都降低，这时，整个煤气的热能

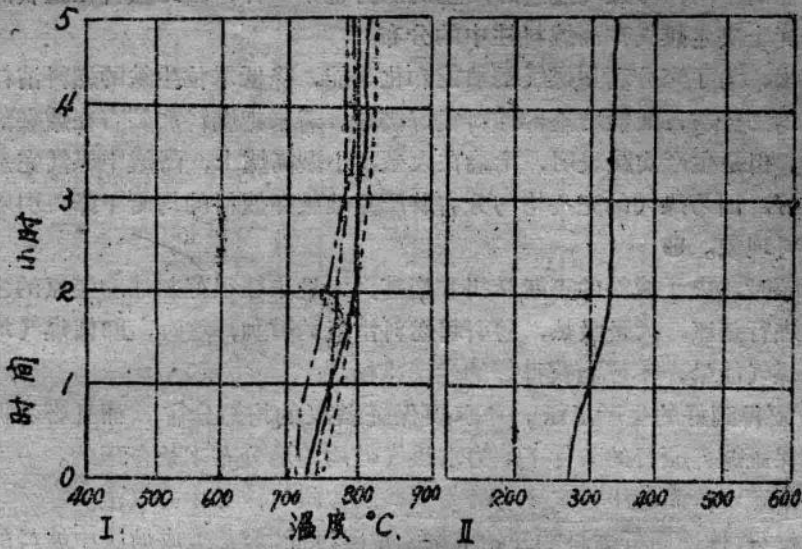


圖11 高爐“邊緣行程”時爐喉保護板及爐頂煤氣溫度曲線

I—爐喉保護板溫度 II—爐頂煤氣溫度

也利用不好，因而爐頂煤氣溫度仍將升高（图12）。这样把爐牆温度和爐頂煤氣温度配合起来，可以清楚地分辨出高爐半徑上煤氣的分布和变化情况。

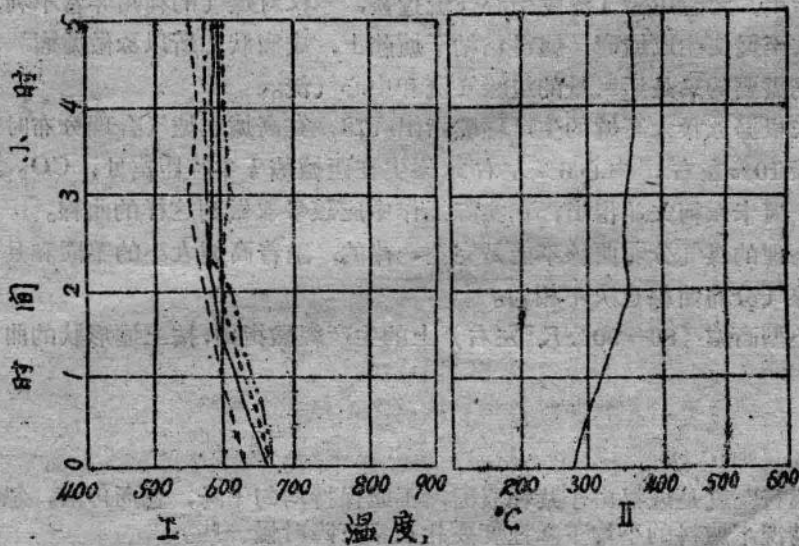


圖12 高爐“中心行程”時爐喉保護板及爐頂煤氣溫度曲線

I—爐喉保護板溫度 II—爐頂煤氣溫度

第三節 高爐中煤氣和爐料的合理分布

由于爐料性能的不同，对煤氣通过时产生的阻力也不一样，因此爐料在爐喉部分的分布情况將在很大程度上决定煤氣在高爐料柱中的分布。

前面已經指出，为了充分利用煤氣的热能和化学能，降低單位生鐵的燃料消耗量，必須使煤氣在爐料中均匀分布，使能与全部爐料很好接触。看来把燃料和矿石在爐喉部分完全均匀平鋪是合理的。但是生产实践表明，無論在大型或小型高爐上，高爐中煤氣完全均匀分布时冶炼指标並不好，因为煤氣的完全均匀分布將严重地破坏爐料的均衡下降，引起料的难行和发生悬料、崩料现象。①

爐料下降不順时，由于爐料的不断悬挂和崩落，大量未經很好加热和还原的生料落入高爐下部，在那里进行还原，大量吸热，將引起燃料消耗的增加，这时，即使煤氣均匀分布也不可能充分利用煤氣能量，不可能获得好的生产指标。

必須記得，要得到好的生产指标，不仅要保證煤氣的均匀分布，而且必須保證料的順行，而且只有在保證爐料順行的条件下，力求煤氣較均匀地分布才是合理的。

为了保證料的順行，高爐中一定要有較多一些的邊緣氣流和中心氣流。

如邊緣氣流过少，爐牆附近爐料的开始熔化的位置过低，容易造成爐腹中爐料的粘滯和卡塞，引起爐料的不順。因此必須保證适当量的邊緣煤氣，保證从上面下来的物料能在到达爐腹从前就很好地熔化，保證爐腹部分爐牆的洁淨。

如果中心煤氣不发展，高爐中心部分的矿石不能很好地被煤氣加热和还原，生料进入高爐下部，造成中心部分温度过低，亦易引起爐料的不順。

这样，合理的煤氣分布决不是煤氣的絕對均匀分布，而是有适当量邊緣氣流的煤氣分布。

但是必須指出，無論邊緣氣流或中心氣流过甚，不仅对煤氣的利用非常不利，也会引起爐料的不順，甚至促使生成爐瘤（爐料粘結于爐牆上，成瘤狀，所以称做爐瘤），这是很不好，因此我們需要的只是适当量的邊緣氣流和中心氣流。

阿卡尔柯夫根据苏联大高爐的生产經驗指出〔7〕，在高爐上爐氣合理分布时的 CO_2 含量曲線應該是邊緣10%左右，中心6%左右，峯尖在距爐牆 $\frac{1}{3}$ 半徑距离处， CO_2 含量为17%左右（图13）。阿卡尔柯夫並指出，在实际操作中應該爭取做到这样的曲線。

高爐上的合理的煤氣分布曲線不能是完全一律的，随着高爐大小的不同和具体冶炼条件的不同合理的煤氣分布曲線也决不相同。

我国很多小型高爐（80—90公尺³左右）上的生产經驗指出，按上述形狀的曲線操作时，

① “爐料难行”就是爐料由于某种原因，不能保持均匀下降，忽而停滯，忽而陷落。难行时，在很多情况下爐料的平均下降速度要比正常下降时慢一些。

由于某种原因，高爐中爐料的下降受到阻碍，虽然风口前的燃料已燒掉，形成空区，但料仍悬挂不下，叫做“悬料”。

悬挂着的爐料自动崩落叫“崩料”。

爐料在下降中发生难行、悬料、崩料等现象时均称做“爐料不順”。

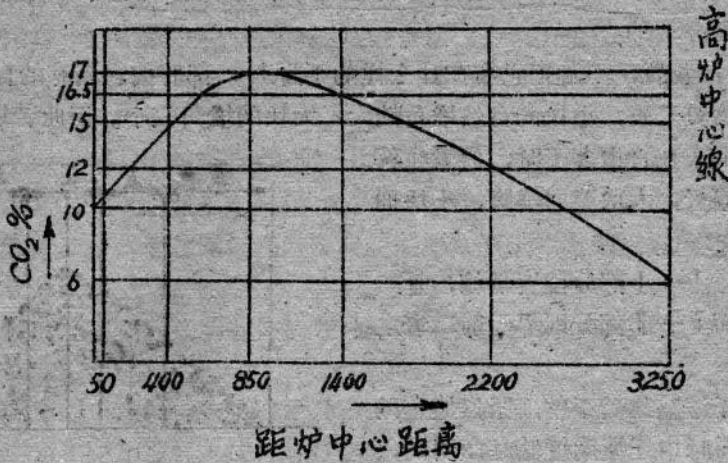


圖13 大型高爐中理想的煤氣分布曲線。

爐料多不順。根據大冶鋼廠小高爐的生產經驗，生產指標較好時的煤氣曲線如圖14所示。在馬鞍山鋼鐵公司與上述高爐容積相類似的高爐上也得出近似的結論，當邊緣及中心煤氣中CO₂的含量均為11%—12%左右，尖峰為15—16%，尖峰位置在距爐牆為半徑的 $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ 時的生產指標較好。

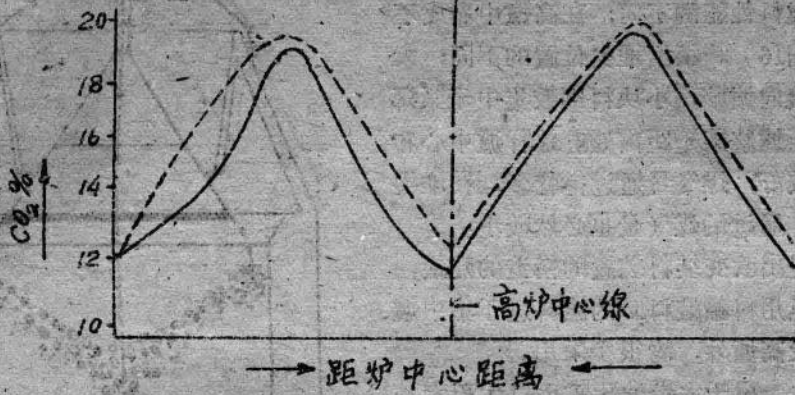


圖14 大冶鋼廠小高爐上生產指標較好時的煤氣分布曲線

因此在每個高爐上應該從生產實踐中找出自己的最合理的煤氣分布曲線，然後遵循這一曲線來調劑爐料的分布。

必須指出，在冶煉中必須力求充分利用煤氣的化學能，提高煤氣中CO₂的平均含量。從爐喉半徑上的CO₂含量曲線來看，在不影響順行的條件下，力求提高邊緣CO₂含量，改善邊緣煤氣的利用，對总的煤氣化學能的利用來說是更合宜的，因為同樣距離的邊緣面積要比中心面積大得多，因此邊緣煤氣中CO₂含量增減1%對煤氣中平均CO₂含量的影響要比中心

增減 1 % 的影响大得多。

所謂爐料的合理分布，也就是能保證煤氣合理分布的布料方法。因此把燃料和礦石都均勻平鋪就不能算是合理的。

任何一種散粒物質，不論把它布在什麼樣的平面上，都將按它固有的自然堆角堆積起來，對於同一種物質來說，小塊的自然堆角較大，大塊的堆角較小。因此若以粒度不均的混合料堆成一堆，那末在自由落下時，將發生料塊按粒度不同的偏析，大塊滾向堆腳，小塊則多集中於堆尖。

如圖15所示，I—I部分粒度最細，III—III部分的最大，而II—II部分則界於前二者之間。

在高爐中由於爐牆比較平整，緊靠爐牆的煤氣通道較短，同時由於爐胸爐牆是傾斜的，緊靠爐牆的料也比較疏松，因此在高爐中具有爐牆附近透氣性較好的天性。在爐料均勻分布的情況下，邊緣氣流一定較盛。因此為了能有適當的邊緣氣流和中心氣流，就希望把爐料布得中心的透氣性好些，而距爐牆不遠的地方的透氣性差些，使能在一定程度上抑制邊緣氣流。

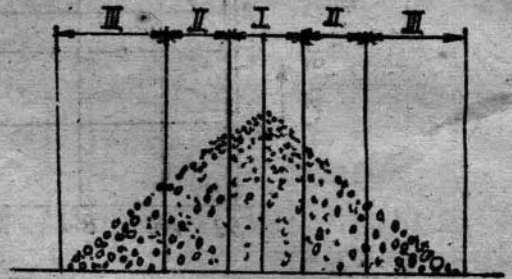


圖15 自然布成的散粒料堆中的粒度分布情況

現在廣泛用於布料的巴利布料裝置——料鐘和料斗（圖16），恰好為能夠把爐料布得合於上述要求。即使在爐喉直徑大於6公尺的大型高爐上仍能很合適地應用。

用巴利布料裝置炭布料時，先把爐料分批裝在料斗中，而後下降料鐘，爐料便順着鐘面按拋物線落入高爐，根據爐料性能的不同，在高爐中布成不同堆角的圓環（圖16）。根據堆尖位置的不同，大塊爐料將大部分滾向爐牆，小塊料則較集中於緊鄰爐牆的部分，或距爐牆某一距離處。這樣爐中心和邊緣的透氣性都較好，煤氣量通過得就多，在堆尖位置的透氣性差，通過的煤氣量也必然較小。

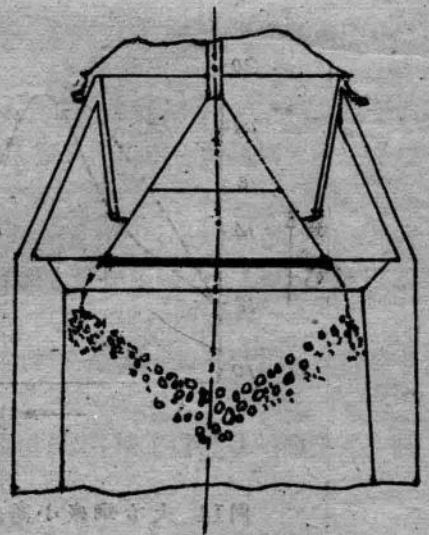


圖16 用料鐘和料斗布料

曾有很多人提出改變裝料裝置的構造的建議，其目的都在於避免用料鐘裝料時的爐料過於集中爐牆附近。但除木炭高爐外，均很少採用。

在木炭高爐中，由於木炭的比重小，體積大，每批料中礦石的相對體積小，特別是木炭成長條形，布於高爐中，表面層的坑窪較深，小量的礦石布到木炭層上時，陷於坑窪中，很難滾動，因此用普通料鐘布料時，就不可能使部分礦石進入爐中心，

只能布成一個很狹的環節，不利於冶煉。因此在木炭高爐上必須採用特種的布料裝置，使礦石能夠比較均衡地分布在整個高爐截面上。同時，對於木炭高爐來說，由於透氣性比焦炭高爐好，因此合理的煤氣分布曲線也將與焦炭高爐不同，爐料比較均勻地分布時也不致大量影響爐料的順行。

第四節 爐喉半徑上布料的調劑

在高爐冶煉過程中，必須在保證爐料順行的條件下力求改善煤氣的分布和利用，而爐料的分布情況直接影響着煤氣的分布和爐料的順行，因此很好地掌握爐料在爐喉的分布並及時加以調劑，將能大量改善高爐作業。

鞍鋼在1951年接受蘇聯先進經驗，試行爐頂調劑，使爐料順行，“懸崩”減少，產量提高20%，焦比從0.91降低到0.8左右，即降低12%。太鋼也是如此，1954年推行爐頂調劑，生量提高了20%左右，焦比降低15%左右。其他如石鋼，本鋼，大冶鋼廠等在採用爐頂調劑後，生產情況也都有改進。

為了能很好地調劑布料，必須首先對各種影響布料的因素有所了解，才能充分掌握爐料在高爐中的分布規律。

現代高爐上採用的上料設備主要有兩種——料車和料罐，而採用的布料裝置則幾乎全是料罐料斗布料器。為了防止裝料入爐時煤氣的逸出，常採用雙鐘布料器。如圖17所示，布料器由小料斗，小料鐘，大料斗和大料鐘組成。裝料入爐時，先把料裝入小料斗，下降小料鐘，料落到大料鐘上後，然後關閉小料鐘，下降大料鐘，爐料落入高爐，在原来的料面上布成一個新的環形料堆。

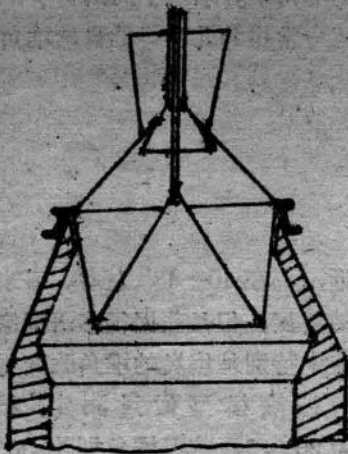


圖17 雙鐘式布料器

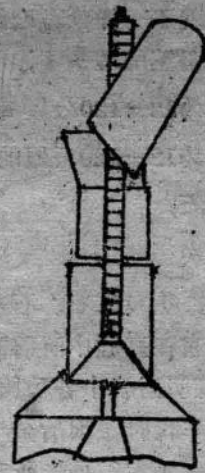


圖18 用料車上料

1—料車；2—承料漏斗；3—小料斗；
4—小料鐘；5—大料鐘；6—大料斗

高爐中的料是分批裝入的，每批料由按規定比例的燃料、礦石和熔劑組成。用料車裝料時，一批料常分裝成數車。由高爐一側逐車傾入小料斗而後放入大料斗（圖18）。用料罐時，限於料罐的上升速度不能過快，因此料罐容積較大，每批料常由兩罐組成，一罐焦炭一罐礦石和熔劑。上料時料罐直接座在料斗上，從料罐底部卸入料斗（圖19）。

由於現在高爐上主要使用的是料罐斗式布料器，因此下面我們將着重研究用這種布料器布料時的規律。

影響布料的因素很多，主要的有：

1) 爐料的性質——爐料的種類、粒度和形狀等；