

251402

基本語彙

生鐵冶煉的 物理化學原理

下 冊

B. B. 米哈依洛夫 主編

冶金工業出版社

生鐵冶煉的物理化學原理

(下 册)

苏联科学院烏拉尔分院冶金研究所和馬格尼托

哥爾斯克鋼鐵公司召開的會議的文集

技術科學博士、教授 B·B·米哈依洛夫 主編

冶金工業出版社

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА
ЧУГУНА

Металлургия издат свердловск 1956

生鉄冶煉的物理化学原理(下册)

編者: 殷保楨 設計: 魯芝芳、曹魯訪 校對: 佟尚洁

—— * ——

冶金工业出版社出版(北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第093号

国家統計局印刷厂印 新华書店發行

—— * ——

1959年7月第一版

1959年7月 北京第一次印刷

印数 5,010 册

开本 850×1168·1/32·159,000字·印張 6 $\frac{2}{32}$

—— * ——

統一書号 15082·1703 定价 0.75 元

出版者的話

本书系根据苏联冶金出版社出版的 B. B. 米哈依洛夫主編“生鉄冶炼的物理化学原理”1955年版譯出。

本书分上下两册出版，上册内容主要是有关炼鉄过程的物理化学原理，下册是有关炼鉄生产的近代状况。

本书由重庆大学炼鉄教研組裴鶴年、徐楚詔、杨世泽、罗廷英、鄒毓璋等同志翻譯，由徐楚詔、裴鶴年負責校对。

目 录

生铁冶炼的近代实践	1
关于直接还原和间接还原过程的发展, 技术科学副博士 H. Г. 馬汉尼克著	1
高炉内热交换和还原过程的发展, 教授, 技术科学博士 B. H. 基太也夫	22
馬格尼托哥尔斯克钢铁公司高炉中氧化物的还原过程和 初成渣的造渣过程, 工程师H. H. 巴巴列金	41
高炉风口前焦炭的循环和燃烧, 工程师Л. B. 霍达克	66
高炉高压操作时节省焦炭的因素, 技术科学副博士 B. M. 謝德林	76
悉洛夫冶金工厂强化高炉的操作, 工程师B. M. 莫洛佐夫	88
关于在新塔吉尔冶金工厂的条件下有效容积利用系数 和焦比之間的关系, 工程师Ф. A. 赫尔凱維奇	101
馬格尼托哥尔斯克钢铁公司中高炉过程的强化, 工程师 B. M. 树肯	122
討 論	138
會議的決議	188

生鉄冶煉的近代實踐

关于直接还原和間接还原过程的发展

烏拉尔基洛夫工学院

技術科学副博士 Н.Г. 烏汉尼克

高炉冶炼的基本过程——鉄和生鉄中各元素的还原——进行时，需要消耗大量的热和还原剂。还原过程发展的速度和完全程度，尤其是在低温区和中温区时的还原过程发展的速度和完全程度，对于单位燃料消耗量(即焦比)和高炉生产率有重大的影响。

还原过程曾在各个极其不同的方面进行了研究，其中苏联学者解决了很多原則性的問題。И. А. 索柯洛夫(Соколов)和其同事們^①对烏拉尔和西伯利亚鉄矿石的还原性进行了大量的研究。这些研究确定了脉石、焙烧作用和燒結对还原性的影响，获得了矿石的还原性与其块度的关系等等。А. Н. 葆赫維斯涅夫(Похвиснев)和М. Ф. 岡恰列夫斯基(Гончаревский)对苏联南方矿石的还原性进行了研究^②。他們确定了在不同块度的条件下矿石和燒結矿还原性的差別。А. М. 崔路夫(Чылев)测定了里毕茨和图尔褐鉄矿的还原性，并詳細地研究了矿石的軟化溫度。

苏联学者們研究和創立了还原过程发展的理論基础：И. А. 索柯洛夫对构成炉料的主要氧化物在高炉条件下的还原可能性的

① 参閱 "Исследовательские работы по металлургии чугуна, желе за и стали", изд. Уралмета, вып. 3, 1929; изд. Магнитостроя, вып. 4, Свердловск, 1930.

② А. Н. Похвиснев и М. Ф. Гончаревский Восстановимость железных руд Крыного рога, Научно-техническое издательство Украины, Харьков, 1936.

热力学作过研究；A. A. 巴依可夫 (Байков) 創立了氧化物还原的理論，其基本原則現在还是有用的；Г. И. 邱发洛夫 (Чуфаров) 創立了氧化物还原的吸附自动触媒理論，可以解释过程的动力学問題。

此外，苏联学者們还研究了矿石在高炉中的还原問題：M. M. 列依包維奇 (Лейбович)，Я. М. 哥尔姆什托克 (Гольмшток) 和 Ч. З. 科兹洛維奇 (Козлович) 在近代大高炉上进行了广泛的研究；А. П. 柳班 (Любан) 在實驗室条件下和在高炉中都研究了矽、錳和磷的还原。

最近，馬格尼托哥尔斯克工厂的工作者 Н. Н. 巴巴列金 (Бабарькин) 和 Ф. А. 尤新 (Ющин) 进行了还原和造渣的研究，而还原和热交換过程的研究，是由烏拉尔工学院和工厂工作者共同組成的工作組在 Б. И. 基太也夫 (Китаев) 和 В. К. 格魯淨諾夫 (Грузинов) 的领导下于新塔吉尔、希洛夫和庫什文工厂的高炉上进行的。

直接还原和間接还原

在高炉內还原过程的发展可以有条件地分为两个部分：进行間接还原的上部和进行直接还原的下部^①。

間接还原开始的溫度决定于氧化物的性质和还原剂的化学活性。間接还原終止和直接还原开始的溫度决定于燃料的性质、碳素与还原时所生成的二氧化碳相互作用的能力。冶炼的結果——单位生铁的燃料消耗量 and 炉子的生产率——因直接和間接还原过程发展程度的比例而有很大的变化，其最适宜的比例符合于最小的理論燃料消耗量。这个最适宜比例的确定是高炉过程理論上爭論着的問題之一。

所謂高炉理想操作的“原則”，是在1874年法国冶金学家格留涅尔 (Грюнер) 提出的。根据这一原則，最小的燃料消耗量是在铁的氧化物 100% 的間接还原时才能达到。高烏良德 (Гадлянд)

① 分界面是一个复杂的表面，因此区分为上部和下部是有条件的 (編者注)。

比較了26座美国高炉操作的資料，得出結論說，最小的燃料消耗量是在大大提高直接还原度时达到的。M. A. 巴甫洛夫⁽¹⁾指出了两位作者观点的錯誤。他認為达到最小燃料消耗量的并不是格留德爾所提的“理想的”高炉行程，也不是高烏良德所認為的直接还原的强烈发展，而是在直接还原发展相对地不高时直接还原和間接还原具有一定的配合比才能达到最低的燃料消耗量。

M. M. 列依巴維奇⁽²⁾和A. H. 拉姆(Рамм)⁽³⁾发展和深入了M. A. 巴甫洛夫的学說。他們指出，燃料的碳素在高炉过程中完成两个职能：热量职能，放出对进行吸热过程和提高温度所必須的热量；化学职能，直接(直接还原)或間接(間接还原)进行元素的还原。碳素消耗量是根据为保証得到合格品种的生鉄所必須建立的热制度，以及为保証还原反应发展所必須建立的还原气氛来确定的。

M. A. 巴甫洛夫指出，在直接还原和間接还原共存及不同的碳素消耗量的条件下，建立了必要的热制度；間接还原能降低用于加热过程的碳素消耗量，但是須要較高的用于还原过程的煤气消耗量；直接还原則相反，提高了用于加热过程的碳素消耗量，但是只須要少量的还原剂。以一定的配合比同时发展这些过程可以相互取长补短。

碳素消耗量与直接和間接还原过程的比例之間的关系表示于图1。在化学过程和加热过程的碳素消耗量綫交叉时形成的四段綫中，具有实际意义的是MB綫段。綫上的每点表示可以保証冶炼必須的热制度的碳素消耗量。部分碳素的还原能力(直綫MD以下)用于化学过程，其他部分(直綫MB与MD)所示的碳素消耗量之間的差額随炉頂煤气逸走而未得到利用。

化学过程和加热过程的碳素消耗量綫的交点相当于最小的理論碳素消耗量。在这种情况下，碳素消耗量对保証过程所需的热量和取得为保証形成以一氧化碳还原一氧化鉄反应的平衡混合气体所需的还原剂数量來說是足够的。直接还原和間接还原的比例(此处前者为13%，后者为87%)是最适当的比例。

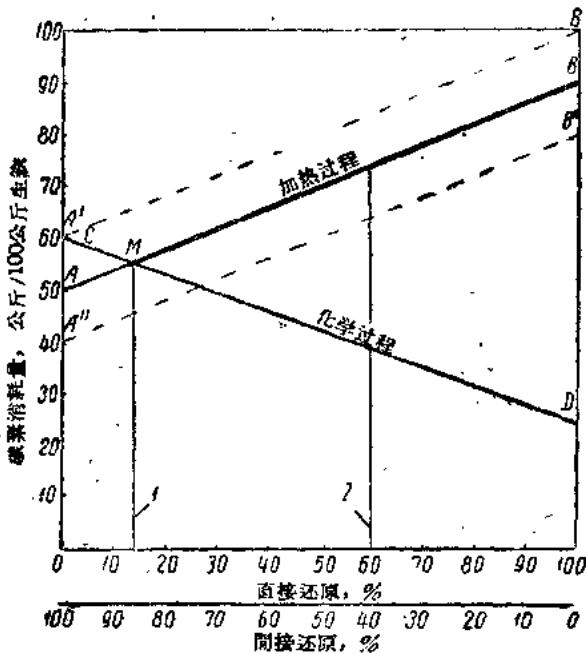


图1 碳素消耗量与直接还原和间接还原反应比例的关系

实际的碳素消耗量(例如垂线2)表示直接还原与最适宜的还原过程相比较有较大的发展。

还原过程最适宜的比例和实际的比例的大小不是固定不变的。它们是随加热过程的碳素消耗量而变化。这些变化在图(图1)中以AB直线变向A'B'或A''B''位置的位移来表示。此外,最适宜的比例也是随石灰石消耗量,也就是随从熔剂中分解出来的二氧化碳量而变化。AB直线向上的移动能导致这样一种情况,即保证化学过程的碳素消耗量的直线CD将不同它相交。从这一时刻起格留涅尔的“原则”将是正确的。在其他情况下,它不但不正确,而且也是不能作到的。因此,格留涅尔“原则”反映的只是局部的冶炼情况,这种情况就是用于补偿冶炼过程对热量需要的碳量将足够用间接还原原来完全还原氧化物。这条线向下移动,就会使理论的和实际的碳素消耗量降低。

降低理論碳素消耗量(此时M点和垂綫1向右移动),在最适宜的情况下所容許的直接还原的百分率增加),可以用减少为补偿冶炼过程对热量的需要所必須碳素消耗量的方法来达到。达到这一点的方法是各种各样的,其中最有意义的是:

- 1) 提高风温;
- 2) 增加炉料中的含鉄量;
- 3) 使用酸性渣操作;
- 4) 冶炼低錳和低矽生鉄;
- 5) 强化高炉冶炼;
- 6) 增大高炉能力;
- 7) 应用自熔性燒結矿。

随理論碳素消耗量的降低,实际碳素消耗量同时也有降低。后者的降低在垂綫2向左移动时也有发生。这种移动是以提高炉内間接还原发展程度来实现的,其方法是:

- 1) 改善矿石和燒結矿的物理化学性质;
- 2) 提高煤气的还原能力;
- 3) 使煤气与矿石和燒結矿密切的接触;
- 4) 保証炉内炉料的順利下降。

进一步的提高冶炼的技术经济指标,就要求以减少保証加热过程的碳素消耗量和提高間接还原度的方法来达到使垂綫1和2接近;在任何情况下,間接还原的发展都比最适宜还原过程的比例所要求的少得多。

下面研究一下在某些冶金工厂的操作条件下的直接还原和間接还原过程的比例。

某些工厂的高炉内还原过程的情况

馬格尼托哥尔斯克鋼鉄公司

馬格尼托哥尔斯克鋼鉄公司曾大量采取了降低焦炭消耗量的措施。在使用高风温、应用自熔性燒結矿、冶炼低錳生鉄后,高炉的高产量作业和炉料的順利下降使加热过程的碳素消耗量降低

和使垂綫 1 向右移动(图 2); 結果, 在最适宜的情况下容許的直接还原度从 16% 提高到了 26%。自熔性燒結矿的还原性的提高⁽¹³⁾ 保证了炉内間接还原程度的更大发展, 使垂綫 2 向左移动。

为了鉴别各个因素对最終冶炼結果的影响, 表 1 中列出了在 1949 年和 1954 年一座高炉的对照的操作数据。

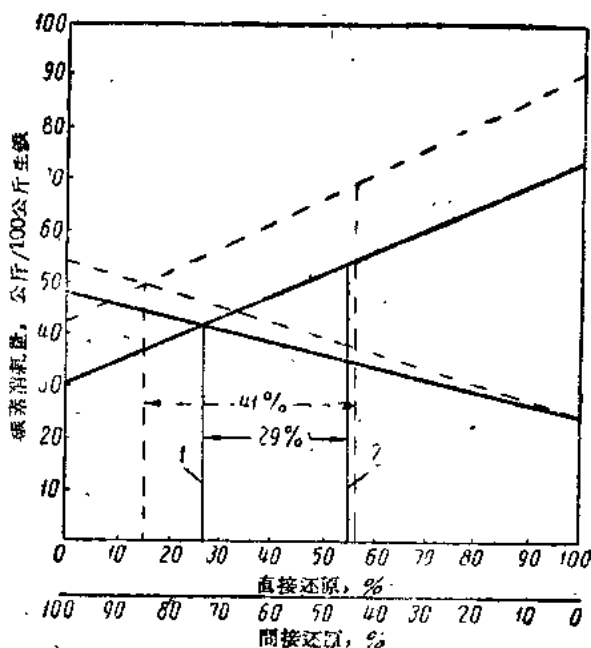


图 2 在馬鋼的条件下的直接还原和間接还原过程的比例
—— 1954 年的条件; 1949 年之前的条件

一座高爐操作数据的对照表

表 1

年 代	原料因素的变化程度				焦炭灰分 (%)
	风 温 (°C)	熔剂消耗量 (吨/吨生鐵)	燒結矿碱度 (CaO/SiO ₂)	錳矿和半爐渣消耗量 (吨/吨生鐵)	
1949	488~553	0.263~0.320	0.23(1948)	0.17~0.18	12.9
1954	758~900	0.033~0.147	0.84(1953)	0.039~0.06	11.2

續表 1

年 代	操 作 结 果			
	出 渣 量 (吨/吨生鉄)	爐子冶炼强度 (吨/昼夜·米 ³)	焦炭消耗量 (公斤/吨生鉄)	有效容积利 用系数
1949	0.600~0.620	0.99~1.06	814~880	0.799~0.839
1954	0.510~0.540	1.04~1.11	678~742	0.622~0.665

进一步地降低冶炼单位生鉄的热量消耗和提高炉内炉料的还原性，就可以改善高炉冶炼的指标。为了达到这个目的，必須从炉料中完全除去熔剂、降低焦炭的灰分、加大炉子的有效容积、光冶炼分級的原料和提高炉内煤气的压力。实施这些措施，不仅可以由节省焦炭来提高炉子的产量，而且也可以由提高强化程度来提高炉子的产量。

在繼續改善冶炼指标的道路上的主要困难，在于炉内冶炼单位矿石的煤气量的降低和矿石所占炉子容积的比例的增加。第一种情况能够引起炉身内原材料温度很大的降低和間接还原反应发展程度的减少，第二种情况能够引起炉料对运动煤气流的阻力的增加。只有在同时解决提高炉料的还原性和透气性问题的条件下，才能克服这些困难。

新塔吉尔冶金工厂

这个工厂的成就是提高了热风温度，这可以大大降低用于加热过程的碳素消耗量。在某一座炉子上的焦炭消耗量从1948年的0.87吨/吨生鉄降低到1953年的0.74吨/吨生鉄。由于风温从500°C提高到900°C(图3)，可以使直接还原的最适宜的允許发展值从12%提高到21%。炉内炉料的間接还原度仍大致停留在旧有的水平上。此外，降低用于加热过程的热量消耗和提高炉料的还原性还是这个工厂的潜力。挖掘这些潜力的可能性，主要地取决于炉料准备方面措施的实施以及高炉操作技术的改进。

进一步提高冶炼指标(使垂綫1和2接近)，須要同时提高炉

內炉料的还原性和透气性。在这个工厂中改善冶炼指标的的可能性，比在馬格尼托哥尔斯克鋼鐵公司高炉上的还大。

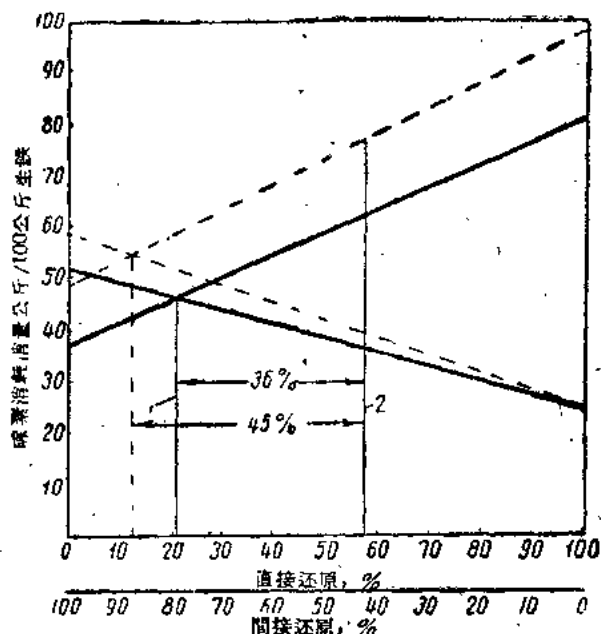


图 3 在新塔吉尔工厂的条件下直接还原和間接还原过程的比例

——风温为900°C； ······风温为500°C

高炉用頓涅茨焦炭操作的条件 (苏联南方工厂)

苏联南方工厂的高炉，还原过程可能性的利用程度比东方工厂小(图4)。虽然铁矿石賦有較高的天然还原性及单位生鉄有較多的煤气量，而实际的还原过程的比例与上述工厂沒有多大的区别。由于保証加热过程的碳素消耗量高，所以理論的比例有很大的不同。由于炉內生成的煤气量增加，使在最适宜的还原过程比例条件下所允許发展的直接还原不大(10%)。

对热量要求大的主要原因是焦炭中的含硫量高，迫使必須采

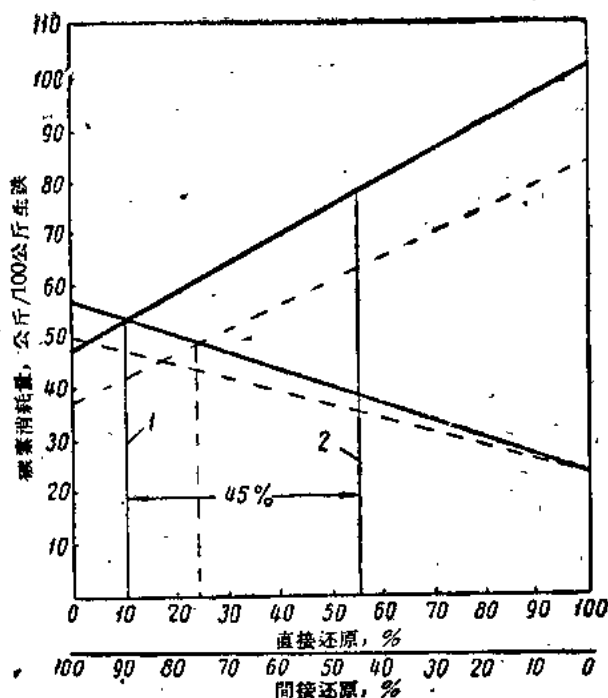


图 4 在苏联南方工厂中的直接还原和间接还原过程的比例
 ——1954 年的条件； ·····提高风温和改用自熔性烧结矿以后。

用碱性渣操作，消耗大量的熔剂。在这种情况下，要使垂线 1 和 2 接近，必须降低每吨生铁的热量消耗。要实现这一点，可以将高炉改用酸性渣操作，然后进行炉外脱硫，同时将矿石造块以得到自熔性烧结矿。

发展间接还原过程的意义

高炉内煤气的还原能力远没有完全被利用。一般炉顶煤气含有 10~13% CO_2 ；煤气中 CO_2/CO 比率波动于 0.35~0.48 的范围中，而温度为 685°C 时对 FeO 的还原反应的平衡条件下 CO_2/CO 比率等于 0.69，而在 Fe_2O_3 的还原反应的平衡条件下就等于无穷大。根据拉姆的数据^[5]，在实际的高炉条件下，这个比例已提高

到0.53~0.59，在个别情况下甚至已达0.75~0.89。所有这些都证明，不仅在理论上；而且在实际上，在更完全的利用煤气能量方面有着很大的潜力。提高间接还原度以利用这些潜力是进一步降低焦和生铁成本的手段。然而，应当注意到，采取提高炉料还原性的措施时也有一定的消耗，这就减少了提高还原性时所取得的节省。

为了评价提高还原性对于降低焦炭消耗量和生铁成本的意义，以新塔吉尔工厂的条件按拉姆的方法进行了计算。结果得出，由于提高炉料还原性而取得的炉顶煤气中 CO_2 含量的每增加百分之一，每吨生铁可节省约45公斤焦炭。仅仅由于减少了焦炭消耗量，每吨生铁的成本就可以降低约9卢布，或者该厂一座高炉每月节省约五十万卢布。还原过程的发展对技术经济指标有很大的影响。而为了提高炉顶煤气中的 CO_2 含量，就要求更加重视贯彻冶炼前炉料的准备措施、炉顶布料、炉内煤气的分布。因此，不要忘记在争论炉料还原性的问题上的重大责任。

提高间接还原度的途径

提高炉内炉料还原性的主要途径，是妥善的准备矿石和烧结矿以改善它们的性能、减小矿石的块度和增加煤气分布的均匀性以改善煤气与矿石的接触，而这些只有在保证炉料顺利下降的条件下才能有效地实施。在炉内矿石的还原性和炉料透气性有一定的配合的条件下，就能得到最好的冶炼结果。要取得这种配合，首先要确定和维持最适宜的矿石块度。现有的研究^[14, 15]表明，当矿石的块度增加时，其还原性和透气性变化的程度是不同的。矿石的块度超过20公厘，透气性的提高比还原性的降低要慢。可以设想，限制矿石的块度将导致其还原性的大大提高，而其透气性相应地只有较小的降低。

由于对还原性和料层的气体动力学问题研究得不够，对炉料的还原性和透气性隔离地进行研究，以及在与实际情况有很大差别的情况下进行研究，因而没有有根据的办法来选择最适宜的矿

石和燒結礦的塊度。同時提高爐內爐料的還原性和透氣性，不僅要求確定最適宜的礦石塊度，而且要求適當的按塊度將原料分級，並且此時最大的效果必然將由礦石和燒結礦的分級而取得。

某些煉焦專家否認這個基本方案。例如，К.И. 西斯可夫 (СЫСКОВ) 寫道〔4〕：“因為焦炭約占高爐的 $\frac{1}{4}$ 容積，因而可以近似地認為透氣性決定於燃料。因此，標幟着高爐內裝入料透氣性的焦炭的質量愈好，則強化高爐過程的可能性就愈大”。我們並不否認提高焦炭質量的必要性和這個措施對高爐工作的有利作用，然而對關於爐料中礦石和燃料部分透氣性的提高的意義問題要稍加說明。

首先，礦石占有的爐子容積不是 $\frac{1}{4}$ ，而是 $\frac{1}{3}$ ，但在此種情況下，對通過的煤氣的阻力比焦炭要大得多。假如觀察一下研究散狀原料的資料〔16〕(圖 5)，就容易使人信服：爐料礦石部分對煤氣運動具有很高的阻力。圖 5 中燒結礦和破碎而未篩分的礦石(曲綫 4 和 5)，在風量為 1 公尺³/公尺²·秒條件下，其阻力比焦炭的阻力大 13~17 倍。假如考慮到爐料礦石和燃料部分在爐內所占容積的比例，那麼，爐料礦石部分的阻力就比焦炭部分大 6~8 倍。因此，降低料柱的阻力——提高透氣性——在很大程度上就能靠改善礦石部分的性質來達到。此外，爐料中礦石和焦炭部分透氣性的差別，改變了煤氣在爐子各個斷面上分布的特性，煤氣在上升的同時，力求走阻力最小的路徑，繞過礦堆，即通過焦炭較大量集中之處。結果可以斷言，焦炭的分級能提高爐料的透氣性，但不能保證其還原性有很大增加；如按塊度分級礦石，不但可提高其還原性，同時也增加了爐料的透氣性。

在各個操作和構造的因素影響下，爐內爐料的還原性發生着變化，關於其中某些因素影響的特性方面的意見有着很大的分歧。在強化高爐行程對間接還原的影響方面，有着相反的意见。在同一本書中〔5〕闡述的相反意見可以引以為例。在該書 209 頁 A. H. 拉姆的文章中寫道：“間接還原的發展在蘇聯的條件下由於高爐

① 即“冶金問題”一書，蘇聯科學院出版社出版，1953 年。

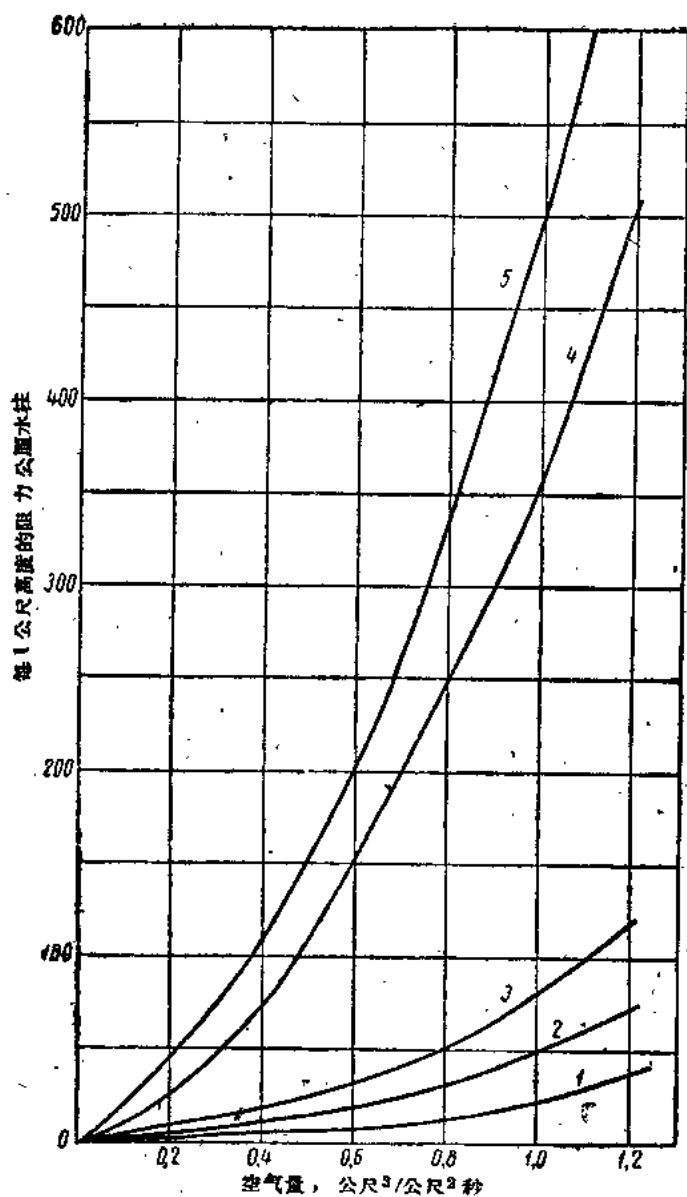


图 5 各种原料的透气性

1—焦炭；2—筛分的碎矿石；3—未破碎的矿石；4—烧结矿；
5—未筛分的碎矿石