

A·B·舒尔 著 孫其文 译

Jiāngdī jiāobǐ de jīngyàn

降低焦比的经验

蘇聯切列波維茨冶金工廠

降低焦比的經驗

A. Б. 舒 尔 著

孫其文 译

中國工業出版社

本书介绍了苏联切列波维茨冶金工厂降低焦比的經驗。
本书分析了采用高碱度自熔性烧结矿、高压炉顶和高温度等
先进技术措施，对提高高炉生产率和降低焦比的影响。

本书可供我国炼铁工程技术人员参考；此外，本书对有关冶金院校的教師、学生亦有俾益。

А.Б. Шур

ВЫПЛАВКА ЧУГУНА С МИНИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ КОКСА
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ МОСКВА—1960

* * *

降低焦比的經驗

孙其文 譯

*

冶金工业部图书編輯室編輯（北京猪市大街78号）

中国工业出版社出版（北京修脚胡同10号）

（北京市书刊出版事业許可證出字第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 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $2\frac{5}{8}$ ·字数55,000

1963年12月北京第一版·1963年12月北京第一次印刷

印数 001—930·定价（10-6）0.36元

*

統一书号：15165·2548（冶金-437）

目 录

編輯者的話.....	1
作者的話.....	2
前言.....	3
焦炭质量.....	4
采用自熔性燒結矿.....	6
高压炉頂作业和送风制度.....	12
高风温作业.....	30
冶炼低錳炼鋼生鉄.....	45
冶炼炼鋼生鉄和冶炼鑄造生鉄作业制度的比較.....	49
炉內热量和煤气的利用.....	51
高炉进程的調剂.....	56
結論.....	60
参考文献.....	63
附：切列波維茨工厂高炉生产获得高指标的經驗 （譯自苏联《鋼》杂志1962年第7期）.....	64

編輯者的話

切列波維茨冶金工厂實驗室工作者所写的这本小册子，在一些原則性問題上的看法并不代表切列波維茨高炉工作者共同的意見，而只是作者的主观見解。

其中，在《送风制度》一章內，作者关于高炉进程強化問題的意見，是与 1960 年 10 月在馬格尼托哥爾斯克召开的全苏高炉工作者會議上大多数代表的意見不一致的。大家都知道，會議上大多数代表的意見认为，高炉进程可能強化的程度决定于所准备炉料的质量能否允許采用正常的装料制度而不造成《邊緣进程》的发展。

在同一章內，作者沒有任何实际証据，肯定地认为风口煤气向炉缸中心渗透的深度是由每个风口上每秒钟的鼓风动能来决定的。这样，就使这一指标和生产中所通用的指标——鼓风速度相对立起来了。

显而易见，为了解决这个問題，把研究工作的方向指向确定鼓风动能和鼓风速度对鼓风渗透深度的影响是合适的。

总之，这本小册子虽沒有完全反映出切列波維茨高炉工作者的經驗，可是仍然有益于讀者。

工程师 И.А.涅克拉索夫

作者的話

切列波維茨冶金工廠在改進高爐生產技術操作方面所採取的措施是在副總工程師 Л.Я. 列文同志直接領導下進行的。Л.Я. 列文同志對本書提出了許多寶貴建議和意見，作者謹向他表示感謝。

前 言

切列波維茨冶金工厂高炉車間于 1955 年 8 月投入生产。在此較短时期內，高炉技术經濟指标有了很大变化。高炉有效容积利用系数降到了 0.6 立米/吨 以下，亦即实际上与苏联最先进的黑色冶金企业——馬格尼托哥尔斯克鋼鐵公司的水平相等^①。每吨生鉄的焦炭消耗量（不論是炼鋼生鉄还是鑄造生鉄），已在較长时期內是苏联最低的，也是世界高炉生产中最低的焦比之一。

切列波維茨冶金工厂其所以取得如此成就，乃是由于采取了大量措施才实现的，然而它們采取的那些措施，在苏联冶金企业內也并不能算是什么新措施。它們广泛利用了苏联一些先进企业的經驗，首先是利用了馬格尼托哥尔斯克鋼鐵公司和庫茲涅茨克鋼鐵公司的高炉获得高产与低耗的經驗。在这方面的基本措施是：

- （1）采用高碱度熔剂性燒結矿；
- （2）在振動篩上篩除燒結矿粉末；
- （3）提高高压炉頂压力；
- （4）提高热风溫度；
- （5）冶炼低錳炼鋼生鉄；
- （6）在任何条件下保持炉子順行；
- （7）授予工长在掌握高炉进程方面具有广闊的权限，

① 馬格尼托哥尔斯克高炉有效容积利用系数最近达到 0.55 立米/吨。

以保証能細心地控制技术操作。

但是，切列波維茨工厂所采取的这些措施，并非单纯地做效馬格尼托哥爾斯克鋼鐵公司和其他工厂的經驗，而在某些方面（高压炉頂和热风溫度）則已超过了馬格尼托哥爾斯克鋼鐵公司。同时，在解决其他的一些問題上（采用自熔性燒結矿和降低生鉄含錳量）曾遇到过很多在馬格尼托哥爾斯克条件下并不存在的（或是較少一些）困难。最后应当指出，某些技术措施还是头一次实现的，例如，燒結矿在盘式冷却器上进行冷却以及在振动篩上进行第二次篩分。

因此，切列波維茨工厂高炉車間的經驗对于一些新建的高炉車間而言是有典型意义的，值得予以特別注意。

高炉作业的一些主要指标和操作制度的变化情况見图1。

焦炭质量

焦炭系由沃尔庫琴斯克的焦煤并加入少量庫茲涅茨克的粘結性煤（标号ΠC）所炼成。

經過洗煤以后，焦炭灰份达到10.3—10.5%。

焦炭含硫量通常約为0.6%（前几年在配用頓巴斯粘結性煤的条件下，焦炭含硫量升高到0.8%）。

焦炭的机械强度与南方工厂使用的焦炭大致相同。

1958年至1959年期間，焦炭质量的主要指标見表1和表2。

焦炭的缺点在于，当它装入料車时，合适块度的部分所占比重減少，而小块部分的含量增多。

虽然如此，但从焦炭冶金性能总的方面来衡量，应当认

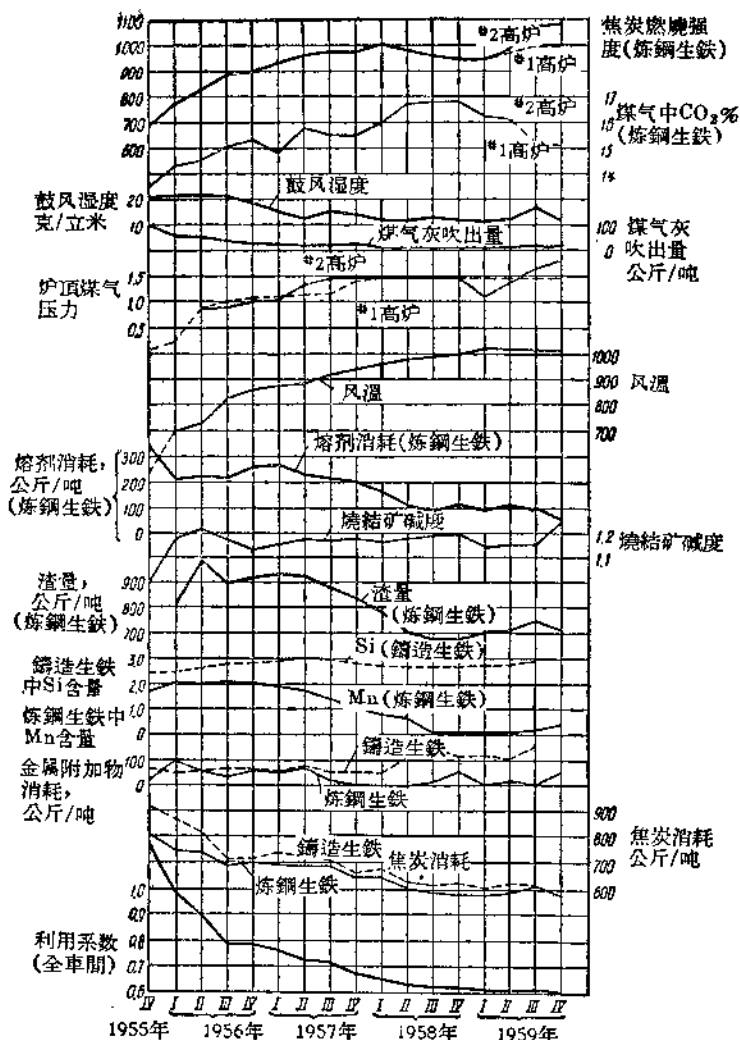


圖 1 切列波維茨高爐于 1955 年至 1959 年期間分季度的作業指標

表 1 焦炭的成分和机械性能

年	水分 %	灰分 %	硫分 %	挥发分 %	轉 鼓 指 数 公斤	鼓外小 于10毫 米部分 公斤	粉焦率 %	高炉車 間篩下 焦 %
1958	2.48	10.45	0.61	0.87	333.6	32.8	2.0	6.2
1959 (1~9月份)	2.29	10.34	0.56	0.86	330.7	35.2	2.3	5.9

表 2 焦炭的篩分組成

焦 炭	年	篩 分 組 成, %				
		>80毫米	80~60 毫米	60~40 毫米	40~25 毫米	<25毫米
商品焦炭	1958	12.78	39.19	39.05	5.66	3.32
	1959 (1~9月份)	9.15	38.5	45.94	4.06	2.35
料車焦炭	1958	4.62	30.4	52.7	11.31	0.97
	1959 (1~9月份)	5.8	21.9	53.5	17.6	1.2

为焦炭质量是足够好的。

最近时期, 焦炭的机械性能 (轉鼓指数, 鼓外篩分小于 10 毫米部分, 料車焦炭內 25—40 毫米部分的含量), 因来煤质量发生变化而稍有变坏 (表 1 和表 2)。

1960 年, 由于縮短結焦時間, 轉鼓指数又更降低一些。

采用自熔性燒結矿

高炉炉料的鉄矿部分, 由百分之百自熔性燒結矿組成。
燒結矿由三台燒結面积各为 75 平方米的鏈带式燒結机

生产〔9〕。燒結矿經過机尾固定篩篩除返矿后落入盘式冷却器內。三台冷却器中有二台为自然通风冷却，冷却時間2.4—4小时，随后略为噴水冷却；其余一台冷却器为强迫通风冷却，冷却時間40分钟。燒結矿冷却后，先在慣性振动篩上篩除粒度小于5毫米部分（送去重新燒結），而后經過运输机送入高炉車間料仓內。

燒結矿使用的原料是奥列涅果尔斯克的鉄精矿，其含鉄量为58.5—60.5%。

如果将奥列涅果尔斯克鉄精矿和其他地区矿石进行比较时，应当考虑到奥列涅果尔斯克鉄精矿的金属鉄主要是以磁鉄矿形态存在的，而且三氧化二鋁与二氧化硅的比值很低，較之在克里沃罗格矿石內低得多（众所周知，克里沃罗格矿石內三氧化二鋁含量并不高）。因此，奥列涅果尔斯克鉄精矿含鉄量为60.5%，大約相当于（按二氧化硅含量与鉄含量的比值，或按每吨生鉄的出渣量計算）克里沃罗格赤鉄矿含鉄量为58.5%。

自1956年起，由于鉄精矿冬季卸料困难，而且后来因奥列涅果尔斯克鉄精矿供应不足，故在不同时期內，曾利用过以下的一些代用品以代替鉄精矿：

黄鉄矿残渣，其化学成分是：Fe 45—47%， SiO_2 17—20%，S 3—4%，Zn 0.3—0.4%；

庫尔σκ磁力異常区鉄精矿，其含鉄量略低于奥列涅果尔斯克鉄精矿，但矿物組成大致相同；

图尔工厂的煤气灰，含鉄量約为36%，二氧化硅含量約为20%。

1959年10月以前，燒結矿碱度1.10—1.15，它完全适应于冶炼鑄造生鉄所需的熔剂性（有一座高炉經常冶炼鑄造

生鉄)。在冶炼煉鋼生鉄（低錳）情况下，石灰石消耗量約为100公斤/吨。随着炉料內含鉄量的变化，石灰石消耗量有时降至70公斤/吨，有时升高到140公斤/吨。

1959年10月，全車間完全冶炼煉鋼生鉄，因而将燒結矿碱度提高到平均为1.25，高炉配料中石灰石消耗量相应地降低到30—40公斤/吨。每吨生鉄石灰石消耗总量为700±50公斤/吨（包括燒結矿消耗的石灰石量計算——譯者注）。

按燒結矿的篩分成分来看，燒結矿卸入料車时的顆粒度較小。这有以下一些原因：

（1）由于原料中二氧化硅含量增多，每吨燒結矿的石灰石消耗量高达270—300公斤（有时达到350公斤）。众所周知，石灰石单位消耗量增多，燒結时将引起燒結矿强度降低，这是因为孔隙之間的墻壁变薄，因为出現有未起反应的石灰形成的巢穴，以及因为在冷却过程中燒結矿內矿物发生轉化时产生內应力所致。

（2）燒結使用的毕卡辽夫斯克矿山石灰石（列宁格勒地区），其特点是含水分高（8%，有时达到12—15%）。由于石灰石含水分高，以致在錘式破碎机上磨細很困难，因而不得不增大篩条之間空隙，或将破碎机下面料箱打开。这时，破碎好的石灰石內常混有粒度达20—30毫米的大块。石灰石中0—3毫米部分的含量，当石灰石含水分增大时，常常降低到75%。潮湿的石灰石，甚至在磨細得很好的条件下，在料仓儲存和运输过程中也会結成一些大团子，而这些大团子在混料时并不是經常都被打碎的。石灰石的大块和大团子，在燒結的配料里組成了一些夹杂物，它不仅不和鉄精矿燒結，而且甚至来不及完全分解。石灰的夹杂物于燒結矿

冷却和运输时乃成为烧结矿破裂的中心。

(3) 烧结矿的冷却也促使烧结矿块度的减小。显而易见, 甚至在任何缓慢冷却情况下, 大块发生破裂现象或多或少是不可避免的。由于在自然通风冷却器上, 烧结矿不可能达到完全冷却, 必须补充对烧结矿进行喷水冷却, 借以防止运输皮带被烧坏, 这时, 烧结矿的破裂程度便更加剧。在强迫通风冷却器上, 烧结矿虽然无需喷水冷却, 可是实践表明, 在快速冷却条件下, 烧结矿破裂的程度甚至比在缓慢冷却后再喷水冷却时还要大些。

减少烧结矿产生破裂的方法, 可以借助于降低冷却速度。为此, 应将强迫通风冷却器的尺寸予以扩大^①。

(4) 烧结矿在运送到称量车的转运过程中, 也增加了

表 3 烧结矿在运输过程中不同位置上的筛分组成

粒 度 组 成 毫米	烧结矿中各种粒度组成部分所占比重, %				
	自式式冷 却器卸出 烧结矿时	在振动筛 筛分分级 以 后	在装入高 炉车间料 仓 之 前	自称量车内取样	
				碱 度 1.10—1.15	碱 度 1.28
+150	10.1	1.6	1.4	0.2	—
150—100	11.6	5.8	1.6	1.0	—
100—80	6.1	6.8	3.6	2.0	0.9
80—40	17.3	21.9	19.2	14.6	8.5
40—25	15.0	21.6	20.4	20.7	13.8
25—10	21.8	30.2	36.2	36.9	42.3
10—5	8.9	9.0	11.8	14.7	23.8
5—3	3.0	1.3	2.0	3.8	1.6
3—0	6.2	1.8	3.8	6.1	6.1

① 近来, 由于烧结机生产率提高, 冷却器负荷因而加大, 以致冷却情况变坏, 不得不加强喷水冷却强度。在此情况下, 烧结矿的破裂程度大大增加。

燒結礦大塊被打碎的程度。

燒結礦在運輸過程中各個不同位置上的篩分組成情況見表3（數據取自燒結礦鹼度為1.10—1.15時）。

從列舉的資料來看，裝入料車的燒結礦，幾乎完全沒有大於80毫米的部分，40毫米的部分也很少，燒結礦大半由5—25毫米的部分組成。同時，0—5毫米粉末部分的含量並不多，比其他冶金工廠少。此乃由於在盤式冷卻器後面安裝有振動條篩篩除了粉末所致。

自表3可以看出，雖然這些篩子幾乎已完全將粉末篩除掉，但在燒結礦轉運和通過料倉的過程中又重新生成了粉末。因此，燒結礦在裝入高爐料倉以前進行的篩分，並不能保證進入料車的燒結礦不含有粉末，雖然可使粉末數量減少一些。

使用由百分之百燒結礦（具有高鹼度和上述特點）組成的礦料，並配合採用高風溫與高壓爐頂操作，以及冶煉低錳煉鋼生鐵，乃是決定高爐作業制度與所取得成績的一些主要因素之一。

經常保持使用百分之百燒結礦作業，甚至不論燒結礦的鹼度如何，就可能獲得很多良好的效果。且不說燒結的基本作用——粉末的結塊，燒結還可使爐料的物理性質和化學成分達到較大的穩定性，可以消除由於爐料中礦石配比改變而引起的變料。此外，在準備燒結用料的过程中，還可進行原料的補充混勻。

眾所周知，採用自熔性燒結礦具有更多的優越性：

（1）可以免除（或減少）因分解碳酸鹽而消耗的热量；

（2）可以減少由於往高爐內加入石灰石而生成的二氧

化碳被还原为一氧化碳所消耗的固定碳和热量；

(3) 可以改善煤气的还原性能（因带入炉内的二氧化碳数量减少所致）；

(4) 可以改进烧結矿的还原性能；

(5) 可以改进造渣条件。

由于这些改变的结果，便带来了焦比的降低（焦比降低数量，可用計算方法确定^[1]）；这已为很多工厂的生产实践所证实。

切列波維茨工厂的高炉，基本上沒有在較长时期内使用过非自熔性烧結矿作业，因此不可能用直接比較指标的方法来确定由于使用自熔性烧結矿所获得的效果；可是在不同时期内，曾經有过一些短时间的变料，由此也可評定出使用自熔性烧結矿的效果。在渣量不变情况下，由于将石灰石加到烧結过程以代替高炉配料中规定使用的石灰石数量，每从高炉配料中减少石灰石 100 公斤，約可节约焦炭消耗量 40 公斤。这个数字接近于計算数值，并和其他工厂所取得的效果相近似。

前已指出，烧結矿顆粒度較小是它的特点。这对高炉炉料透气性起着不利影响，尤其是在切列波維茨工厂的条件下，烧結矿在炉内約占有高炉容积的 50%，与使用非自熔性烧結矿作业的高炉相比，烧結矿在炉内只占有高炉容积的 30%。

部分地由于这种原因，使送风量很难增加，以致在較长时期内，高炉生产率的提高主要系借助于增加焦炭負荷而获得。

除了由于烧結矿的自熔性直接影响到焦炭的节约以外，还必须看到它对改进高炉作业指标所产生的間接影响。这里

首先涉及到与使用高风温的可能性有关。关于这个问题，下面将另行讨论。

此外，上述烧结矿在筛分组成方面的特点（没有大块，同时最小颗粒部分的含量不多），可以有助于促进炉料沿炉喉横截面的分布较为均匀，使煤气的热能和化学能获得良好的利用。

为了对烧结矿冶炼性能作出正确的评价，应当提出如下意见：

（1）在化学成分波动方面，虽然烧结矿已达到了先进工厂的水平，但还不能满足高炉生产目前要求，特别是由于冶炼低锰炼钢生铁的原因。

（2）鉴于在输送烧结矿时生成粉末（0—5毫米部分）对高炉作业起着很坏影响，因此，工厂里应当拟定措施方案，在烧结矿卸入料车之前将粉末分离出去。

（3）虽然烧结矿在筛分组成方面已相当均匀，可是就是在此条件下，采取按粒度分级方法以更进一步改进烧结矿粒度的均匀性，仍然是合适的。工厂和设计机构应当制定这方面的措施。

高压炉顶作业和送风制度

高压炉顶作业

切列波维茨工厂的高炉，自1957年开始采用炉顶煤气压力为1.5计示大气压的高压炉顶作业，而且有一座高炉最近达到了1.8计示大气压。

炉顶煤气压力小于1.0计示大气压时对炉子生产率影响的数值无法进行评定，由于当时也伴随着高炉作业制度的一

些改变，而且采用压力較低的高压炉頂作业時間很短，同时作业的条件也不正常。

炉頂煤气压力自 1.0 提高至 1.5 計示大气压，是在較长时期和其他条件較为固定情况下进行的，因而对提高煤气压力所产生的效果可以作出比較精确的評定。此外，关于煤气压力自 1.0 提高至 1.5 計示大气压时所获得的資料，值得予以很大的注意，因为許多工厂掌握压力較低的高压炉頂作业的資料已屢見于文献，而采用 1.5 和大于 1.5 計示大气压的高压炉頂高炉现时还是少見的。

炉頂煤气压力对冶炼强度和焦比，以及对高炉生产率的影响見图 2。

为了便于比較，高炉生产率和焦比都已按照金属附加物消耗量、渣量和生鉄中含硅量的不同折算为同一的条件。

可見，切列波維茨工厂高炉因提高炉頂煤气压力而带来高炉生产率的增长，不仅是由于提高了冶炼强度的作用，而且在相当大的程度上乃是由于增加焦炭負荷与降低焦比所造成的結果。

提高炉頂煤气压力其所以能影响焦比降低，首先在于它能在减少鼓风湿度的同时可以提高风温。此外，由于提高炉頂煤气压力的作用，可以加重边缘和中心負荷而不致破坏炉子順行，因此也就改进了煤气能的利用。应当指出，我們还未发生过像某些工厂因提高压力而表現出的边缘进程发展难以消除的傾向。

关于談到提高高压炉頂压力的效果时，应当特別着重指出它在采用自熔性燒結矿作业中所起的作用。在采用自熔性燒結矿作业情况下，不論是由于燒結矿粒度减小，或是由于被燒結矿所占有的相对容积的增加，都会使高炉炉内料柱透