

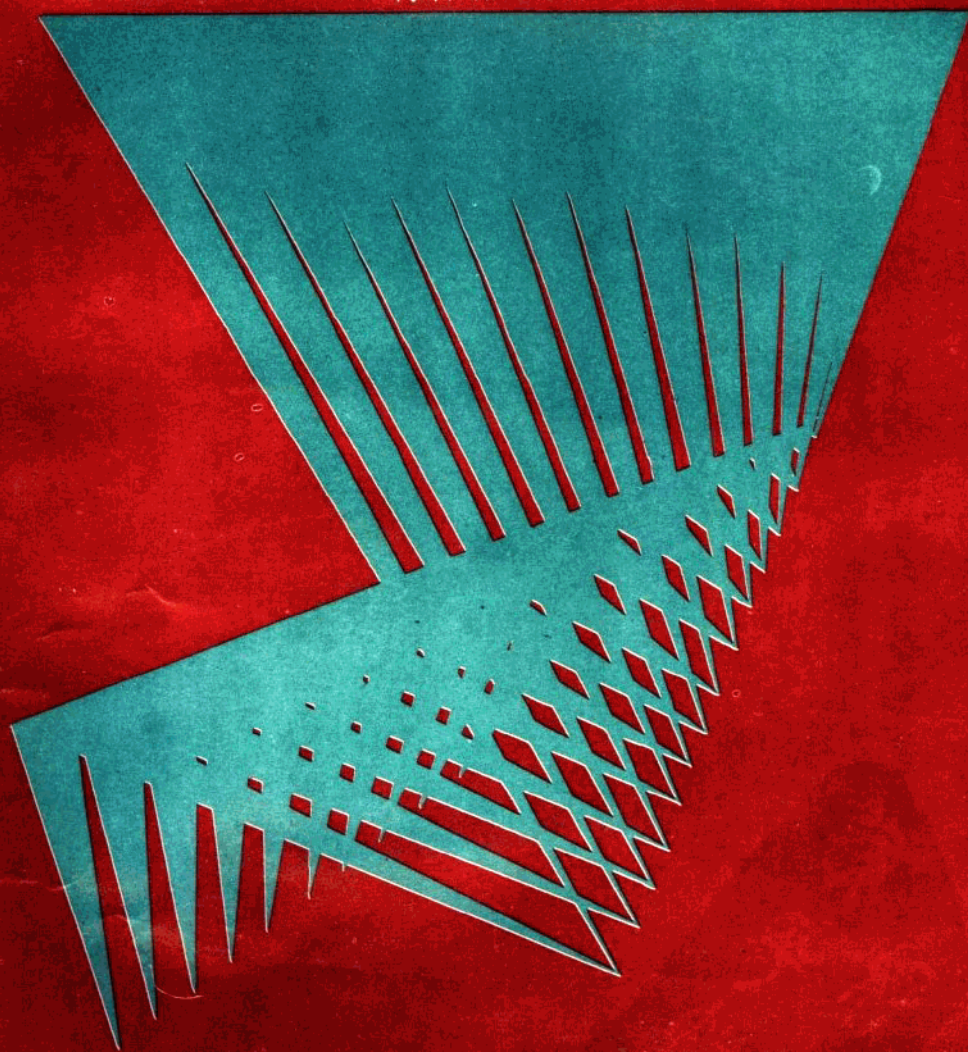
高等学校教学用书

钢铁冶金学

(第一册)

——钢铁冶金的原材料及辅助材料

付君昭 等译



东北工学院出版社

译者序

这是一本由美国钢铁公司组织编写的有关钢铁工业的巨著，原书名为《The Making, Shaping and Treating of Steel》。它涉及到四方面的内容，即钢铁冶金的原材料及辅助材料；钢铁冶炼过程；钢的成型；钢的热处理及合金钢。为了便于有不同兴趣的读者阅读，将全书按上述四个方面分成四册译成中文出版，本书是其第一册。

该书第一版是1919年由美国卡内基钢铁公司出版的，读者对象原是销售人员及用户，后来内容不断更新扩展，多次修订，从1951年第6版起，美国钢铁公司接管了该书的出版工作，它邀请了钢铁冶金各方面的专家共同执笔，因而使内容的深度方面大大提高，并且还不断地修订，读者对象也改变了，现在已成为培养冶金系大学生及黑色冶金工程师的主要教材。在美国享有“钢铁工业的圣经”的誉称。

本书是根据1985年第10版译成的，它反映了自1971年第9版出版以来钢铁工业的巨大变迁，即第三世界钢铁工业的崛起，石油危机所引起的能源价格上涨，环境问题的严峻性，世界范围的销售竞争，因而本书的内容也做了很大的调整，补充了连铸技术及盛钢桶冶金技术方面的内容，因而更增加了该书的先进性。

该书对我国的大学生及钢铁冶金工程师是一本难得的、绝好的教材，使读者对国外（尤其是美国）的冶金工业发展有一清晰的概念，对掌握现代冶金技术，实现钢铁工业的现代化也是大有裨益的。

参加本册翻译工作的有：第一章宋良；第二章刘冀琼；第三章程志宏；第四章丁成勋；第五章秦复生；第六章至第九章王秋芬；第十章至第十二章方茹娟。全书由付君昭先生审校。

欢迎读者提出批评意见。

译者

1990.9

目 录

译者序

第一章 钢铁冶金的历史变迁

第一节	现代炼钢原理	1
第二节	史前的和早期的黑色金属冶炼	1
第三节	直接法冶炼熟铁	7
第四节	高炉的发展	8
第五节	间接法冶炼熟铁	11
第六节	早期的炼钢法	20
第七节	现代炼钢方法	26

第二章 钢铁厂使用的耐火材料

第一节	耐火材料的分类	40
第二节	耐火材料的制备	43
第三节	耐火材料的化学、物理性质及 它们与使用条件的关系	47
第四节	耐火材料在高温下的反应	64
第五节	耐火材料的实验与选用	72
第六节	耐火材料的特殊应用	79

第三章 钢铁厂燃料及燃料的节约措施

第一节	燃料, 燃烧及热流	104
第二节	固体燃料及利用	122
第三节	液体燃料及利用	135
第四节	气体燃料及利用	142
第五节	燃料的节约措施	150

第四章 冶金焦炭的生产和煤化学产品的回收

第一节	绪 言	157
第二节	生产冶金焦炭用煤	159
第三节	冶金焦的生产过程	166
第四节	现代副产式焦炉的构造和工艺原理	173
第五节	煤的预热、压型装料和压块配煤	201
第六节	现代副产式焦炉的典型设计	206
第七节	煤化学产品的回收	252

第五章	铁矿石	
第一节	铁矿石的性质和产状	278
第二节	供应美国高炉原料的主要铁矿床及其他一些主要矿床	284
第三节	铁矿石的勘探和开采	325
第四节	铁矿石的精选	328
第五节	铁矿石的运输	344
第六章	钢铁冶炼过程中使用的熔剂	345
第七章	炉渣的用途	
第一节	炉渣的冶金性能	353
第二节	固体炉渣的化学和物理特性	354
第八章	废钢铁在炼钢中的应用	361
第九章	炼钢生产中使用的添加剂	
第一节	引言	364
第二节	各种添加剂的化学组成和用途	365
第三节	常用添加剂引起的钢水温度变化	368
第十章	炼钢过程所消耗的水	
第一节	水的一般性质和用途	370
第二节	水的净化	371
第三节	钢铁工业中水的使用	372
第四节	废水处理	374
第五节	通过再使用与再循环以节约用水	376
第十一章	钢铁冶炼工业用氧	378
第十二章	润滑与润滑剂	
第一节	绪言	382
第二节	润滑原理	382
第三节	需要润滑的机械零件	385
第四节	润滑剂的类型	387
第五节	润滑剂的物理化学性质	389
第六节	润滑方法	391

第一章 钢铁冶金的历史变迁

第一节 现代炼钢原理

当前所有的钢铁制品的实际生产流程，如图 1-1 所示。

人们用于炼铁的原料，通常为氧化铁，包括铁矿石、球团矿和烧结矿等等。将原料装进高炉冶炼，并加入焦炭作为还原剂，便可使矿石还原出铁水(生铁)来。在这个还原过程中，铁吸收了占其重量 3.0%~4.5% 的碳。含碳量在 3.0%~4.0% 之间的铁水，可用于铸造。不过，人们今天所用的钢，含碳量已大大低于 1.0%，要将生铁炼成钢，还必须在冶炼过程中，除去铁中多余的碳。

为了生产含碳量适度的钢，就要在炼钢炉中，通过控制炉中生铁、熟铁和废钢的混合物的氧化反应，达到除碳的目的。在美国，炼钢炉一般包括碱性氧气转炉、平炉和电弧炉。在炼钢过程中，除碳时或除碳后，可向炉内加入各种元素——铬、锰、镍和钨等等。可以只添加一种元素，也可以多种元素配合添加。这样炼出的钢，便是合金钢。当代的所有炼钢方法，都是生产液体钢水的。

在炼钢过程中，当钢水达到了预定的化学成分后，即可将其注入盛钢桶中，再浇到锭模中。锭模一般略呈方锥形。钢水在锭模中凝固，形成钢锭。钢锭脱模后，多数又被加热至一定的温度，再经轧制(有时为锻压)成初轧棒坯、方坯和板坯等，称为半成品；只有很少量的钢锭被直接轧(或锻)成成品。目前，越来越多的半成品由连铸方式生产，即将钢水注入连铸机的结晶器中，随着钢水的逐渐凝固，便能拉出各种形状的长钢坯。

各种钢坯之所以被称为半成品，原因在于它们是各种压力加工工序——热轧、冷轧、锻压、挤压和拉拔的原料，然后制成棒、板、型钢、钢轨、线材、管材、涂镀或非涂镀带钢等用户所需的多种产品。这些产品大多需在钢厂经过某些形式的热处理，使其获得用户所要求的最佳性能。

以上所述为钢铁冶金的一般过程，似乎很简单。实际上，种类繁多的钢铁制品是经一系列复杂的、彼此相关连的操作过程生产出来的，对此将在后续章节中逐一详细讨论。

第二节 史前的和早期的黑色金属冶炼

一、 古代的黑色金属

黑色金属是指以铁为其主要成分的金属。对于早期的人们来说，黑色金属有三个来源：陨铁、天然铁和人造铁。陨铁和天然铁的数量相当少，人们只有在掌握了从铁矿石中提炼铁的技术以后，才能使铁获得比较广泛的应用。

古代人类使用金属铁，可从亚述、巴比伦、埃及、波斯、中国和印度，以及后来的希腊和罗马的片断文字，和那些古代残留下来的纪念碑、宫殿和坟墓上的记载得到证明。除了这些文字记载外，在世界上许多没有留下文字记载的史前人类居住过的地方，考古学家也发掘

出土了人类使用过的，同其它器具和珠宝在一起的铁制工具、兵器和装饰品。

很早以前，人们就知道了金、银和铜以及其它一些金属。在地面上和地表层中，通常可以找到它们的纯块或粗团。由于其外表光亮，易于发现，还能不经加热而直接锻打成型，因而被原始人类所利用。由于纯金纯银质地很软，无法用于制作工具和武器，只能用来制做容器和装饰品。不过，铜毋须加热便可经锤锻而硬化。欲用天然铜制做工具，只需将其反复锤打，便有了足够的硬度。在那个时代，铜制工具的应用较广。

考古发掘结果表明，人类掌握炼铜的技术似乎早于炼铁。人们使铜矿石经还原而得到铜液。铜液既可以直接铸成所需形状，又可以由凝固后料块锻打成形。铜锡合金(青铜)和铜锌合金(黄铜)因其可以在炉中熔化，故得到古代人类广泛地应用。在这一点上，铁是无法与铜相比的。因为铁的熔点高，在原始的冶炼炉内无法熔化。这一点，我们放在第四小节“人造黑色金属”中去讨论。

直至今日，还无法搞清楚人类是从何时开始采用还原法用铁矿石炼出铁来的，炼铁技术是如何从其发祥地广泛地传播开来的，抑或是如何在相距遥远的几个地区各自独立地发展起来的。

古中国和古印度的冶铁史料表明，这两个地区早在公元前 2000 多年就已使用铁器了，尽管还不能确定那些金属铁是否是人造的。某些权威认为，最早进行炼铁生产的是古印度人。

公元前 1350 年至公元前 1100 年间，有意识的还原铁矿进行炼铁似乎在不停地扩散，覆盖地区相当广阔。从那以后，炼铁生产已很普遍，至少在先进的人群中是这样的。当然，各地炼铁技艺的同期发展水平是不同的。实际上，某些孤立人群直至今日仍未达到那些炼铁先驱们当年所达到的水准。

二、陨 铁

现有资料表明，人类最早所使用的铁类金属很可能是从陨铁的碎块中得到的。对此，有三条事实可以为证：第一，铁的所有最早期名称，原意都是“天外来石(或硬物，金属)”，“星铁”，或其它类似的意思；第二，人们对大量的古代铁器做过化学分析，结果表明，它们含有大量的镍(通常为 7%~15%，某些高达 30%)，而陨铁中的镍含量也正在这一范围之内，但是古代人们用任何有效方式炼出的人造铁，基本上都不含镍；第三，晚些时候的原始人用大块陨铁的碎块制做了各种用具，但大块的陨铁本体仍在原坠落处，供人们取用。

当然，上述三点，还不足以使人们得出结论。对第一点，在文明人使用陨铁并给以命名之前，此前的原始人也许已经能够炼铁了，只是没有留下文字记录而已。既然区分陨铁和人造铁之间化学成分上的差别在当时无任何意义，那么原始人就可能将一些铁制品留给后人，也就是文明人，而后者也就有可能用相同的名字去称谓不同的东西了。第二点和第三点只是证明有用的器具能够用陨铁制作。

三、天然铁

天然铁在地球上极为稀少，格陵兰岛西北部是少数几个发现天然铁的地区之一。在那里，铁是以晶粒或结核的形式存在于玄武岩之中的，玄武岩是一种含铁的火成岩，是火山熔岩喷发通过煤层后凝固而成的。有两种稀少的镍铁合金，矿物学名为铁镍矿(FeNi_2)和镍铁

矿(Fe_3Ni_2), 都是呈颗粒状和蚕豆状的。

总之, 前人不可能找到充足的天然铁, 而天然铁数量之少也无法解释考古发现的铁制品何以广泛分布的原因。

四、人造铁

千百年来人们就已知道, 埋在燃烧着的木炭中的铁矿石能还原成铁。木炭的成分几乎全

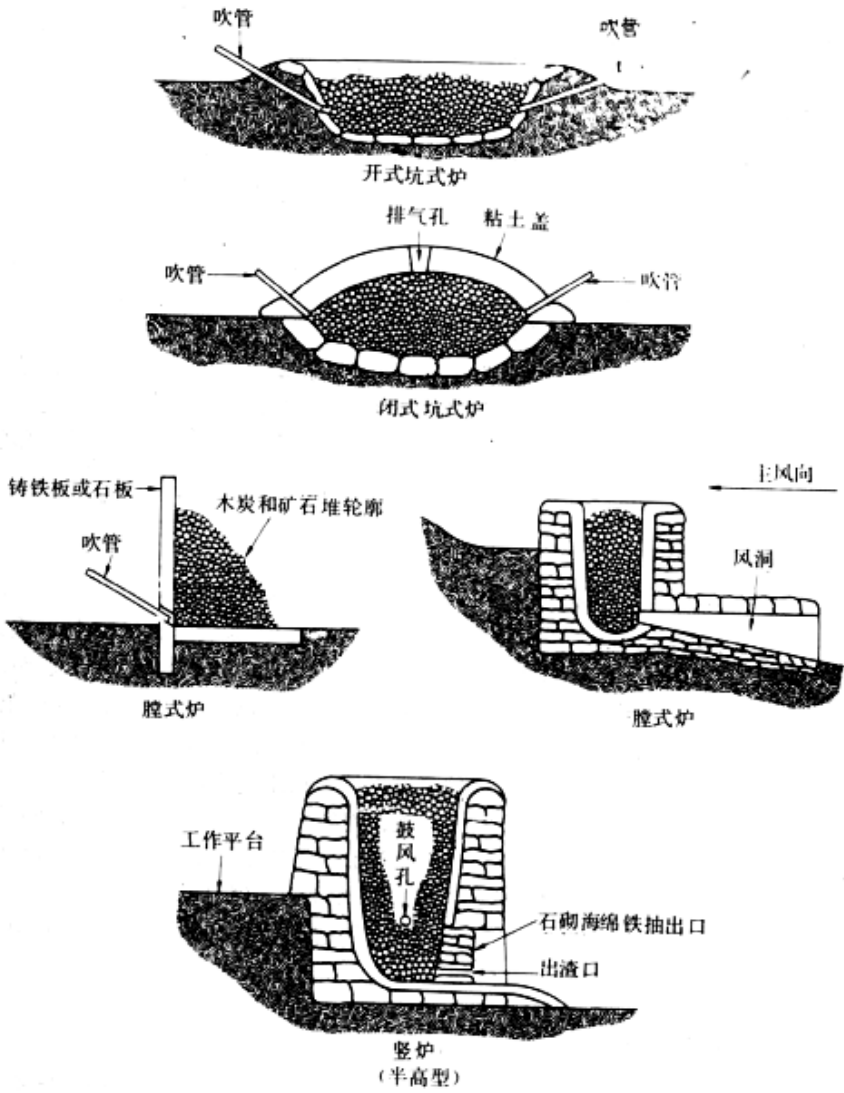


图 1-2 早期几种采用木炭还原的炼铁炉

是碳, 而矿石中的铁则多是以氧化铁的形式存在着的。用现代术语来说, 就是燃烧时, 空气

中的氧进入炭层底部，与碳结合，形成二氧化碳，并放出热。当遇到炽热的碳后，二氧化碳几乎立即转化为一氧化碳，热的一氧化碳与氧化铁中的氧发生反应，生成二氧化碳。二氧化碳穿过木炭和矿石逸出，剩下的便是铁了。某些碳还可以直接与氧化铁发生反应，生成铁和一氧化碳。上述氧化-还原反应过程中，燃烧区内二氧化碳的转变，还有碳与氧化铁的反应，都要吸收热量，这热量是通过燃烧木炭中富裕的碳提供的。

上述过程，已被早期的炼铁者在许多种类的炼铁中实践过。有些炉子依赖自然气流为燃烧过程供气，其它炉子则需采用一定的设备向燃料层鼓风，以便获得高温，并更好地控制冶炼过程。图 1-2 为早期使用木炭作燃料，通过还原矿石炼铁的几种炼铁炉的剖面图。在早期的炉子中，自然气流只能提供燃烧所需的空气。后来，人们在山脚或悬崖底部，面向常年的主要风向，筑起了炼铁炉。冶炼过程中，在风向、风速适宜的情况下，气流通过沟槽或风洞，经炉墙上的开口导入炉内，向燃烧区送风。后来，人们陆续制造了一些鼓风装置，使风量不受风向和气候的影响。数百年来，人们使用过的典型的鼓风装置有用心芦苇制成的吹管，兽皮制成的风箱，脚踏风箱，手动风箱，脚踏轮或水轮驱动的风机。今天，人们则用蒸汽机、内燃机、蒸汽涡轮机和燃气轮机去驱动风机。当时应用较多的风机里，有一种被称为特仑普的风机，其结构如图 1-3 所示。风机顶部水箱中的水，经水箱底孔流出，在一竖直长管中下落，在管中产生负压。长管上端开有进气孔，空气经此孔被抽入长管中，在风机底部的密封箱中被压缩，再经管路送到炼铁炉中。

无论是何种炼铁炉，其炉内最热区位于空气进入炉内的开口附近。大多数氧化铁在到达最热区以前，即被还原为铁了。在坑式炉和膛式炉内，还原铁呈多孔颗粒状。随着木炭的消耗和铁的还原，还原铁逐渐下落至木炭层较热区。最后，在炉底最高温区，这些颗粒变成糊团状，结成松散的粘着体，人们称其为海绵铁。由风机吹入炉内的气流，可以到达距炉底一定距离处。进气口以下的地方为海绵铁聚集处，这里海绵铁不与氧气接触，否则海绵铁又将生成氧化铁。在坑式炉、膛式炉和竖炉里，要获得足以熔化海绵铁的高温相当困难，甚至没有可能。

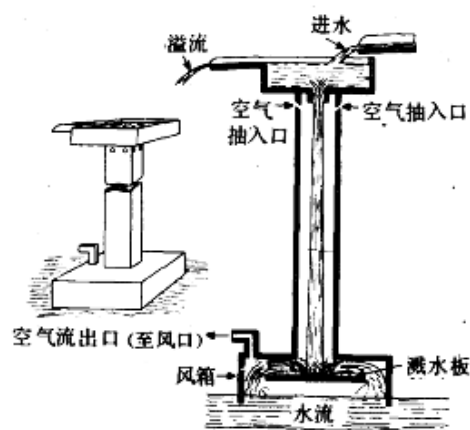


图 1-3 特仑普风机

在冶炼过程中，铁矿石中的杂质，如二氧化硅，与矿石中的某些氧化铁结合，形成液态的含高铁成分的硅酸渣。它们的极少部分会渗入海绵铁的空隙中去，绝大部分不是聚集在炉底，就是经出口跑到炉外。

当炉内的海绵铁聚集至一定尺寸后，可将其从炉内撬出，趁热锻打，将大多数渣除去，使其孔隙闭合，组织紧密，外形均匀。

还原铁在缺乏空气的条件下与炽热的木炭保持接触，就会吸收一部分碳。另外，铁在还原过程中，不可避免地还会吸收一些矿石中的镁、硅、磷和硫。不过，早期的手工业工人对这些杂质通常是不予考虑的。他们感兴趣的是碳，因为含碳量是影响还原铁性能的主要因

素。

铁中含碳量的高低，取决于铁与碳接触时的温度和持续时间，如能将两者控制在一定范围内，就能控制住铁的含碳量，此外，还原过程所用的炼铁炉的种类，对于能将含碳量控制在哪个范围内，也有着很大的影响。

在坑式炉和膛式炉中还原出来的铁，几乎是纯铁，含碳量极低，因为炉内温度低，海绵铁在利于吸收碳的环境中暴露时间短，来不及吸收更多的碳。

竖炉可提供更利于吸收碳的条件，特别是在为竖炉配备有适宜的鼓风装置时，因为在有鼓风的条件下，炉内可达到更高的温度，使还原反应可以在燃烧区域上面一个较大的范围内进行，因此，在竖炉中，还原铁可以在比坑式炉和膛式炉更高的温度下而与炽热的碳长时间接触，从而吸收较多的碳。

上述情况表明，在早期的炼铁生产中，木炭中的碳除绝大部分作为燃料被烧掉之外，还有如下几个重要的作用：

- 1) 它的燃烧为还原过程提供了所需的热量；
- 2) 它为氧化铁的还原提供了所需的化学介质；
- 3) 铁被炽热碳所包围，能有效地防止还原铁再被氧化；
- 4) 它被还原铁吸收，形成各种铁碳合金，合金的性能取决于含碳量，这一点，我们将在后面讲述早期铁还原过程的产品时讨论。

早期铁还原过程的产品很多，其一便是低碳铁，低碳铁比较软，可延展，可锻，在锻造温度下能够锻焊。一般地讲，它相当于现代的熟铁(参见本章第三节和第五节)。

在炼铁生产中，采用适当的炉型和冶炼方法可使铁吸收适量的碳，譬如含碳量达到1%，那么炼出的铁碳合金就是可锻的、可延展的和可焊的，如果令其由锻造温度缓慢地冷却下来，其自身硬度略高于低碳熟铁，更重要的是，具有较高含碳量的铁，可采用淬火(即将炽热的铁浸入水或其它液体中，迅速冷却)的方式使其变得非常硬，如同今天人们对中碳钢和高碳钢所做的那样。淬火的作用在相当早的时期即已为人们所知，淬后的金属非常硬，也有点脆，将其重新加热至一较低温度，保持短时间后，便可使其脆性降低，而其经淬火得到的硬度又不致降得过多，这一低温加热过程，称为回火，关于其它早期的炼钢方法，放在本章第六节中讨论。

铁碳合金含碳越多(高的可超过4%)，其熔点就越低，用竖炉炼的铁能获得较高含碳量(2.5%~3.0%)的高碳铁水。这种铁水凝固后形成的铁块，当时被工人所抛弃，因为它们太脆，即使将其加热至锻造温度时，仍然无法锻打成形。后来，人们掌握了在木炭炉里，通过控制各项条件，将高碳铁重熔成熟铁的技术。很早以前(中国至少在公元前200年)，一些地区的人们就能生产高碳铁水，并将铁水注入各种形状铸模，冷却后成为实用的铸件，于是，高碳铁水成为铁矿还原生产中的主要产品(参见本章第四节和第十五章第一节)，经铁矿还原生产熔融金属的过程，称为熔炼。

对于早期的炼铁工人来说，判断力和操作技艺是控制还原过程和硬化过程的唯一手段，因为那时人们尚未掌握相应的冶金理论，在将矿石还原为铁的生产中，在某次操作过程中炼出了一种铁，并不意味着下次操作仍能得到与前次操作所得相同的结果，并且矿石中的大部分铁丢失在渣中，产品在成分上的差异，对于生产熟铁类金属或许不太重要，但在生产类似于钢的铁碳合金时，人们就不可能沿用老经验进行硬化操作了，否则，很可能得不到预期的结果。在某些地区，铁矿石中还含有某些其它金属，它们在还原过程中与铁结合，生成合金，对于改善铁的性能是有益的(如锰)，用这类矿石炼出的金属，在当时很有名气，尽管人们对其何以获得优良性能还一无所知。

第三节 直接法冶炼熟铁

一、历史背景

大约公元1300年以前，所有的熟铁都是直接从矿石中提炼出来的。前面一节曾讲过以木炭为燃料，用相对简单的方法将矿石还原成铁的方法，因为熟铁是由矿石一次还原而成的，所以可将该方法称为直接法。

自直接法问世后的许多世纪以来，人们采用了多种手段，制造了多种设备。18世纪以前使用的炉子如今已鲜为人知，但很可能主要是膛式炉，以及类似于小高炉的竖炉。我们随后便会讲到，尽管这些炉子在形式、尺寸和材料方面有着很大的差别，但其基本冶金学原理却是相同的。用直接木炭法炼制熟铁有两个分支，一个是相当古老的卡特兰(Catalan)法，另一个是较为现代的美式炼熟铁法。我们可用图示方法来说明，在简单的和复杂的炼铁炉中，是如何应用同一原理的。

二、卡特兰法

卡特兰炼铁法使用的膛式炉诞生于13世纪，具有多种样式。人们后来常用的卡特兰炉，截面积为 0.5m^2 ，深 0.4m ；或截面 0.75m^2 或 1m^2 ，深度超过 0.6m 。向炉内鼓风用的风口至炉底的距离，小型炉为 230mm ，大型炉为 380mm 。炉内填入木炭，与风口齐平。在此之上，再填入矿石和木炭，它们在炉内形成两个独立的料柱。木炭堆在炉内靠风口一侧，矿石堆在另一侧，如图1-4所示。冶炼当中，先向木炭适量地送风，促其燃烧，由此生成的一氧化碳，流经矿石料柱，矿石中的氧与一部分一氧化碳结合，生成二氧化碳，矿石中的铁还原成金属铁，废气在料堆上方逸入大气。随着冶炼过程的继续，将木炭(与碎矿一起)按一定间隔有规律地填入炉中，以补充燃料的消耗。大约两个小时之后，矿石料柱逐渐下落。再增大鼓风量，可提高炉内温度。随着矿石逐步地还原，它们移向风口附近，也就是炉温最高处。当它们到达最热区时，大多被还原成金属状态。

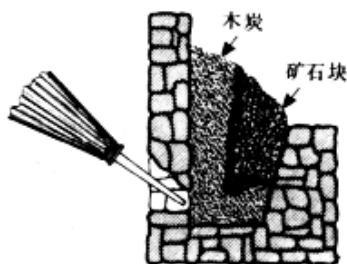


图1-4 后期的卡特兰炉示意图

未被还原的矿石，同那些随着木炭逐批填入炉内的碎矿，与脉石一起形成了高铁成分的硅酸炉渣。由矿石还原出来的金属铁，在风口附近的高温区里呈糊状，形成粘铁块。在尽可能多的矿石被还原后，即可将这些粘铁块由炉中搅出，锻成棒状。

三、美式炼熟铁法

美式炼熟铁法同卡特兰炼铁法极为类似，区别主要在于前者的矿石为粉状，而后者则为块状。美式炼铁法将矿粉和木炭掺在一起构成炉料，它代表用简易膛式炉生产熟铁的最高水准。该法采用水轮机或蒸汽机驱动鼓风机，炉内装有水冷金属底板，四周为铸铁板。炉膛呈棱锥形，深约 0.6m ，宽约 0.9m ，顶部为一截棱锥形的高烟囱，用来排出热废气。烟囱中装有铸铁管，管中通以空气。热废气在排出的过程中，经铸铁管将热量传给管内空气，以节约燃料。这类炼铁炉通常在前面开口，与壁炉类似。风口装在炉身两侧或后面，离炉底约 0.5m 高。冶炼时，先将木炭装入炉内，然后点火送风，促其燃烧。待燃烧正常后，将一些

矿石铺在木炭上。此后，交替填入木炭和矿石，直到炉底聚集了足够量的铁为止，此时铁呈粘状，混有许多渣，可用铁棒或钳子将其取出，锻成块状。1901年，美国用这种方法生产了最后一批熟铁。

第四节 高炉的发展

一般说来，冶炼高碳铁水的高炉是由生产熟铁的早期膛式炉逐步发展而成的，其发展过程是炉子高度不断增加，在炉顶周期地装料，还有适当的送风装置，这些较高的炼铁炉与卡特兰炉及熟铁吹炼炉不同，自成一型，称为竖炉，典型的早期竖炉是斯图克炉(Stuckofen)，它采用砖石结构，中部较粗，两端稍细，如同两个截锥体锥底相接而成，外形与现代高炉相似，如图1-5所示。在冶炼过程中，矿石、熔剂和木炭由炉顶装入炉内，空气则以较低的压力从炉底处的风口吹入炉内，风口数量为一至数个不等。

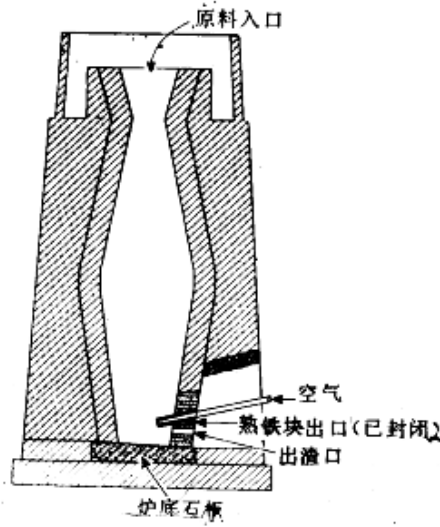


图1-5 带出铁口的斯图克炉截面简图(从出铁口拉出铁块)

一、早期的竖炉

如前所述，斯图克炉(老式熟铁冶炼竖炉)是由卡特兰膛式炉演变而来的。它有许多变种，如 Salamander furnace, wolf furnace, wolf oven, wulf's oven 和 luppenofen 或 loup furnace。它们最早出现于德国(拿骚 Nassau, 锡根 Siegen, 萨克森 Saxony)、奥地利、比利时和荷兰的部分地区。

在公元1350年前后，斯图克炉发展到高为3~5m，截面为圆形、椭圆形或矩形，最大直径为0.9~1m。

斯图克炉有一或两个风口，装在炉床上方0.3m左右处，燃料和矿石由炉顶装入，使冶炼过程能够连续进行。在炉底处的炉壁上，开有出铁口，该口的作用是，在出铁时由人们经此拉出凝聚在炉底的铁块，平时则用砖或石块封住，出铁时再将封口打开。斯图克炉仅用木炭作燃料。

前面提到的沃尔夫炉(wolf oven)比斯图克炉低一些，平均高度为1.8~2.1m，布莱恩炉(blasofen)和鲍恩炉(bauernofen)的大小居于沃尔夫炉和斯图克炉之间。鲍恩炉相当于瑞典的奥斯蒙德炉(osmund)，高约2.4m，印度也有类似的炉型。那些结构和操作方式与斯图克炉相似，既能生产低碳熟铁块，又能生产高碳铁水的一类炼铁炉，已具高炉雏形，被人们称为竖炉(blauofen, blau furnace 或 blue furnace)

仅生产液态金属(高碳铁水)的斯图克炉,可看作是现代高炉的先驱。当时,人们往往是有意无意地用斯图克炉炼出了高碳铁水。当还原铁在炉内离开鼓风气流与炽热燃料长时间接触,吸收了足够的碳,其熔点因而降低时,就会成为液态。炉体高,特别是温度足够高时,使熔出铁水的可能性加大了。严格说来,弗卢思炉(Flusofen)是一种原始高炉,仅用于生产高碳铁。而现代高炉则是在斯图克炉和弗卢思炉的基础上逐步发展而成。当时,人们称其为“高炉”(high furnace),是从它的德文名字 hochofen 派生出来的,其法文名为 hautfournaux。这种炼铁炉能连续操作,固体原料(矿石、焦炭和石灰石)有规律地由炉顶顺序装入,而聚集在炉底的铁水和渣则定时流出。它们仅用于生产铁水。

二、 15 世纪以后的高炉

大约在 1500 年前后,高炉传入了英国。焦炭在英国首次被用作高炉燃料是在 1619 年,但直到 1730 年,焦炭才被广泛的使用。19 世纪初期,还是在英国,有人提出了在将空气吹入高炉之前,先将其加热的理论。这种经过预热的空气流,称为热风。

1. 早期的美式高炉 大约是 1619 年,在弗吉尼亚的詹姆斯(James)河边,建起了一座炼铁厂。该厂于 1622 年被印第安人所破坏,从此再未重建。1645 年,在马萨诸塞开始建设哈默史密斯(Hammersmith, 今称 Saugus)炼铁厂,它是美国第一座成功的炼铁厂,其生产一直维持到 1675 年。

有趣的是,高炉炼铁自出现后的 400 多年中的主要发展,是推广到新的地区去。在这一时期中建成的所有高炉当中,有许多极其类似,只是尺寸、鼓风机构等有所不同。因此,图 1-6 所示的哈默史密斯高炉(Hammersmith furnace),可称之为 100 年前美国高炉的典型。该炉建在马萨诸塞的索格斯(Saugus)附近,为美国钢铁联合公司重建。

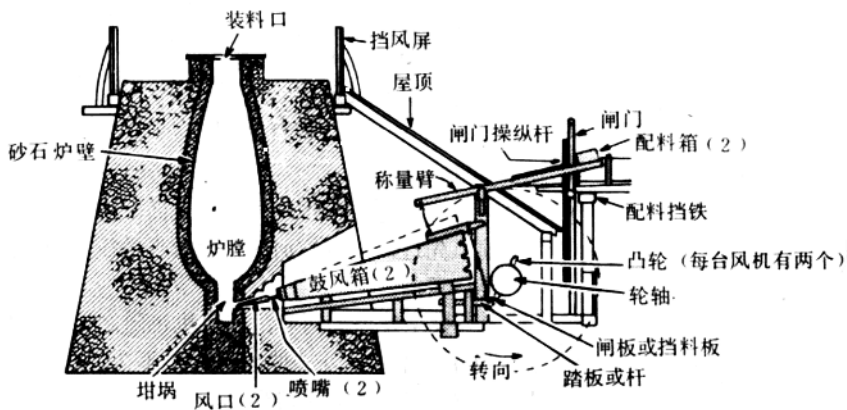


图 1-6 哈默史密斯高炉结构示意图

由图可见，水经闸门流出，驱动水轮。装在轮轴上的凸轮与踏板(或驱动杆)咬合，在风机上产生了挤压力，压缩空气向炉内供风。炉顶开有装料口，原料经此口倾倒入炉。在熔池底部附近的炉墙上面向读者方向开有出铁口，铁水可经此口流出。在不出铁时，该口处于封闭状态。

以现代眼光来看，19世纪中叶的美国高炉可说是相当粗糙。它们的外形通常是截圆锥或截棱锥形的，高6~9m，为石砌结构。炉顶直径1.2m，炉腹直径约2.4m，炉膛截面有圆形的，也有方形的。日产量为1~6t。1850年，美国拥有377座高炉，产铁511438t。

2. 装甲式高炉(Cupola Blast Furnace) 在建造一些大型高炉时，曾用熟铁棒或带缠绕炉身，以加强炉身。然而，即使采取了当时可行的最强的加固措施，炉身受热后产生的膨胀力仍将破坏炉体。为了解决这个问题，一个显而易见的办法就是用熟铁板做成炉壳，将炉身整个地包围起来。1854年，在纽约的亨利港(Port Henry)建起一座最早采用炉壳结构的高炉。壳型结构使这类高炉名为装甲炉(Cupola blast furnace)。图1-7所示(从略)的两座高炉都是敞顶式炉，称作伊萨贝拉炉(Isabella Furnace)，建于1871年至1872年间。

3. 炉顶的改进 早期的高炉炉顶，都是敞开形的。在冶炼过程中，从炉内逸出的煤气，在炉顶上方的大气中烧掉。后来，人们试图用这些燃气的热量去预热鼓入空气。预热装置最初是安装在炉顶的。后来，人们对炉顶做了改进，采用了封闭式炉顶，研制出料钟式装料装置。除了大钟下落、装料入炉这一段时间外，其余时间炉顶均保持封闭。1870年建于纽约 Mineville 附近的 Fletcherville 木炭高炉，是美国最早采用封闭式炉顶的高炉之一。到了1883年，出现了双钟双斗炉顶。这样，人们可以在不完全敞开炉顶的情况下，向炉内装料了(见图1-8)。现代的一些高压操作高炉，装备了三钟炉顶或保尔·沃思(Paul Wurth)型无料钟炉顶，它们的炉顶，通常也是封闭的。

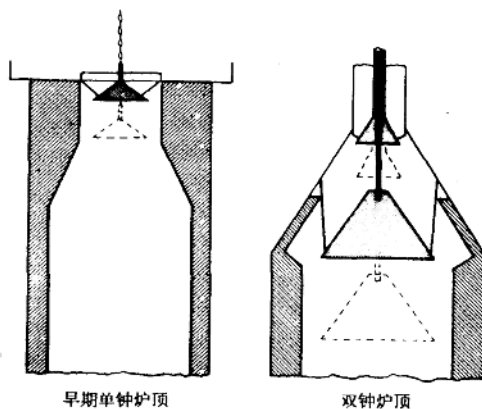


图1-8 钟式炉顶示意图

早在1859年，美国就先于别国着手研究，在将炉顶燃气烧掉之前，先将其回收。通过管路将气体引至地面，使其在具有特殊结构的热风炉中燃烧。鼓风在吹入高炉之前，先进入热风炉加热，然后再送往高炉。热风炉有两种炉型：换热型和蓄热型，后者是近年应用的。

4. 鼓风机的改进 在炼铁炉向高大型发展的同时，鼓风机也随之发展，甚至超前发展。起初，蒸汽机取代了水轮驱动式风箱和木制活塞式吹管。过了不久，约在1880年，人们制成了高性能的活塞型蒸汽鼓风机。它也是大型高炉的标志。在美国，第一批燃气驱动的鼓风机于1903年投入使用，它们是用净化的高炉煤气作燃料的内燃机。高炉鼓风机的一个重大突破是透平鼓风机的诞生。它最早出现于1910年，至今仍为人们所使用。

5. 装料系统的改进 早期的炼铁炉装料时，大多是用手推车将矿石、燃料和熔剂等经栈桥运至炉顶的。随着炉体高度的增加，人们又用与电梯类似的垂直绞车将装料推车从地面升至炉顶，再将炉料倒入炉顶加料器。加料器位于料钟上方，可旋转定位，将炉料卸在料

钟上。随着高炉生产能力的提高，若继续采用这种人工操作方式去装卸大量的原料，显然是不现实的。1883年，第一台斜桥式料车卷扬机，连同第一座双钟双斗炉顶在美国投产使用。采用这种装置，炉料用料车运至炉顶后，可自动倾倒入小钟上方的料斗。由于料车总是在同一处卸料，将使炉料在高炉内不能合理分布，从而影响生产的顺利进行。所以，必须采取各种机械方式，去合理布料。方式之一，就是改进小钟上的料斗的结构，使其能够转动。现代高炉通常都采用这一方式。另一种方式是使用特殊的装料罐。它在料仓中装过料以后，被运至炉顶，在卸料前，可以转动。

6. 贮料方式 生产率的增加，促使人们采用机械方法处理和贮存原材料。在1890年以前，人们用火车将原料运至料仓栈桥，再由人力将其卸入料仓，然后装入料车(罐)。到了1895年，在宾夕法尼亚的杜肯(Duquesne)新建的炼铁厂中，采用了堆料场和桥式堆料机，与现代的炼铁厂相似。这种全新的原理，被人们称之为“杜肯革命”。由于新方法很成功，使其在工业生产中被广泛采用。这段简历，仅叙述了高炉一些早期的主要构想和发明，它们后来一步一步地被引导到现代高炉的设计之中。关于现代炼铁厂的情况，将在第十五章中详细讲述。

第五节 间接法冶炼熟铁

在生产高碳铁水的炼铁炉在欧洲广为应用以后，人们将部分高碳铁水注入各种形式的铸模，制成铸铁件。但是，由于在铁的还原过程中，其它一些元素也被铁水吸收了，再加上其自身的高碳成分，使得这种铸铁又硬又脆，限制了它的应用。另外，高碳铸铁还不能锻造。也就是说，在低于其熔点的任何温度下，无论是锻打或是轧制都无法使其成型。

为了能利用高碳铁制造铸件，就需要有精炼法。采用精炼方法，能将不纯净的铁中多余的碳、锰和硅等杂质除去，生产出较软的、可锻的熟铁。其总体成分与用卡特兰法(及其它类似的方法)直接从矿石中还原了来的铁的成分相同。可想而知，在这种形势下，大量的精炼方法在各地应运而生。在这些方法中，最终得以推广的有两类：一类是木炭炉法，另一类是搅炼法。无论采用哪种方法生产熟铁，其生产过程都为两个步骤：1)还原矿石，炼出生铁；2)重熔、精炼生铁，炼成熟铁，因此，这些方法统称为间接法。

下面介绍几种应用最广泛的木炭炉法——瓦龙法、南威尔士法和兰开复法。

一、木炭炉法

1. 瓦龙法 今天，人们已无法考证出是谁，在什么时候，什么地点，采用何种方法首先将生铁炼成熟铁的，尽管这种方法可能发源于比利时。可以肯定的是，最初是锻造，或是用膛式炉冶炼，就象前面讲过的那样，是直接利用矿石冶炼的。当时，鼓风方式已被广泛采用。在熔炼期间，如果铁与空气充分接触，就会生成硅、锰(大部分)和碳的氧化物，从而炼出具有一定延展性的、可机械加工的铁产品。这一冶炼方法最早为史料所载是在1602年。不过，那时此法已达相当发展的地步。在此之前，比利时南部弗兰德斯(Flanders)的瓦龙(Walloon)人已经到了瑞典，把这种炼铁方法介绍给了那里的人们。所以，这一方法被后人称作瓦龙法。这种方法所用的炼铁炉炉膛较深，带有一个或两个风口，如图1-9所示。冶炼过程是这样的：先将木炭填满炉膛，使其燃烧；待炉内达到一较高温度后，把长条形的生铁块放入炉中；铁条由下端开始逐渐熔化，铁水向下滴落，聚积在鼓风区前面；铁水与鼓风

气流中的氧发生反应，实现脱硅和脱硫，形成海绵铁球团。随着铁水的聚积，氧化反应愈发强烈。待生铁全部熔化后，可将海绵铁球团取出，分成块状料，放在风口上方重熔。这样，炉底又聚积出新的海绵铁球团。待重熔过程完成后，可趁热将铁球取出，锻成熟铁坯。在重熔过程中，可将铁中的大部分夹杂除去。在瑞典，生铁是用含硅、硫和磷极低而著称的丹内马拉(Dannemora)矿石还原炼出的。因此，此法特别适用。

2. 南威尔士法 世界上没有哪个地区能象丹内马拉那样，拥有含磷量极低的矿石，并且在一个相当长的时期里，一直使用木炭作为炼铁燃料。高炉用焦炭炼铁，如果要将硫保持在适当限度内，就不可避免地要生产出高硅铁来。当温度低于生产低硅铁所需的温度时，铁就会从焦炭中吸收更多的硫。这样一来，铁内含硫、含硅量较高，便无法用简单的方法，例如瓦龙法去精炼了。因为瓦龙法的精炼过程是在金属、渣与燃料充分接触的炉腔内进行的。不过，高硫高硅铁还是可以分成两个阶段精炼很容易转变为熟铁的。南威尔士法(South Wales Process)就是典型的二阶段法。在第一阶段，它所用的炉子有一个很小的矩形水冷炉缸，四周有很多风口，有的炉子是双缸分离结构，有的炉子是双缸组合结构。双缸组合结构的炼铁炉，其熔化生铁的炉缸位于精炼熟铁的炉缸的上方。当使用分离结构的炼铁炉时，一个炉缸使用焦炭作燃料，熔化生铁；另一个炉缸用木炭作燃料，供精炼之用。当采用组合结构时，两个炉缸都用木炭作燃料。也有用一个炉缸为两个木炭缸供应铁水，铁水由熔缸出来，直接流入两个木炭缸进行精炼。这些炉子有很多名称。对于独立结构炉，如果允许铁水在进入第二个缸之前，部分或全部凝固，则称此炉为精炼炉；如果允许铁水直接流入第二个缸(一个或数个)，也就是炉型为组合结构时，则将熔化缸称作熔吹炉。上述两种类型的炼铁炉，它们的第二个缸称作精炼炉。

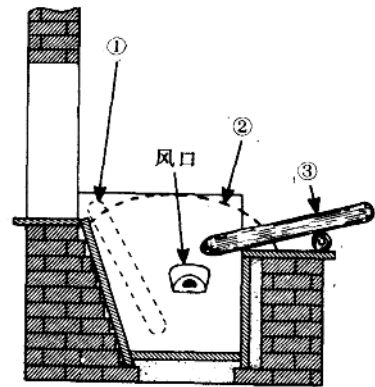


图 1-9 瓦龙法示意图
① 半熟铁的预热位置； ② 木炭堆外轮廓线；
③ 准备熔化的铁料

南威尔士法的冶炼过程是这样的：熔化缸点火后，分批交替装入焦炭和生铁。生铁熔化后，聚集在熔缸底部。鼓风气流经风口吹至此处，硅和某些磷与部分铁发生氧化反应。若熔缸此时为分离结构的，当炉内的铁部分提纯、部分凝固达到一定数量后，就可将其取出，放入第二缸内，堆在风口前面，使其在鼓风气流的作用下，完全重新熔化。在重熔期间，铁水被持续加热，并被气流反复扰动，促进了碳的氧化。随着碳的消除，铁水逐渐呈现糊状。当铁充分除碳后，便形成球团状。这时，即可将铁球取出，趁热锻打。

3. 兰开夏法 兰开夏法(Lancashire Process)法与南威尔士法有着本质的不同。它将生铁的熔化和精炼过程放在一个炉腔中进行，用木炭作燃料。先用以前的炉盖盖住炉底；再填入木炭，堆至风口上边；将碎生铁块铺在木炭上，再用更多的木炭将铁块盖住，然后向炉内鼓风。生铁熔化后，向下滴落，在经过风口区时，脱去一部分碳，最后聚积在炉底。当铁块全部熔化后，铁水与炉底的渣混作一起，用铁棒搅拌与渣混合，使充分精炼。随着精炼的继续，铁水逐渐发稠变硬。待精炼结束后，将糊状铁块从炉内取出，锻成铁坯。

用木炭炉精炼生铁，制出熟铁的间接法有很多种，以上所述仅仅是其中的三种。

二、人工搅炼法

约在 1613 年, 罗文森(Rovenson)发明了反射炉(reverberatory furnace)。反射炉的炉膛较浅, 炉顶可反射火焰, 朝着炉膛和炉料表面辐射热量。罗文森将这种炉子比作 bloomery, finery 和 chaffery。原料在炉内熔化或锻打, 可不与燃料接触。不过, 在克兰内基(Cranege)兄弟于 1766 年以一种被后人称作“搅炼法(puddling)”的冶炼方法获得英国专利以前, 反射炉未能用于生铁的精炼。克兰内基兄弟在反射炉上精心操作, 用原煤作燃料, 象南威尔士法那样, 使在炉中精炼的生铁除去大部分硅和磷, 炼出锻造性能很好的熟铁。到了 1784 年, 亨利·考特(Henry Cort)在炉底上设一个洞穴以盛放铁水, 再用铁棒或长棒搅拌铁水。这样可将白口生铁或半精炼生铁炼成熟铁。生铁中的碳, 则被炉气中的氧化性气体烧掉了。

由于炉底是用砂子砌成的, 在冶炼过程中, 它会很快地被形成的氧化铁熔化。此外, 这种方法耗时太长, 而且铁的损耗量大, 铁的收得率低于 70%。这些令人生畏的缺点, 到了 1830 年才被约瑟夫·霍尔(Joseph Hall)基本克服。他用氧化铁炉取代了砂质炉底, 使之能冶炼任何成分的铁, 并缩短了加热时间, 收得率提高到 90%左右。这种氧化铁型炉底一经问世, 马上广为人们所喜用, 因为炉底的氧化物在熔化时与碳产生氧化反应, 使铁水剧烈沸腾, 迅速脱碳, 从而缩短了冶炼过程。霍尔的方法, 被人们称为生铁沸腾法(pig boiling process)。后来, 它成为生产熟铁的主流方法。

人们最初采用的操作方式称为干法搅炼法(dry puddling), 因为炼铁过程中会生出少量的渣, 须在精炼时将渣类杂质除去(参见“南威尔士法”)。霍尔及其助手们还采用气冷铁板来支撑炉底和炉壁, 从而延长了炉子的寿命。在其后的 30 年中, 这一方法没发生什么变化。它显然比以前的各种炼铁法要好得多, 以致于无人试图去改进它。直到 1856 年, 贝塞麦炼钢法(Bessemer process)(又称空气转炉炼钢法)的出现, 才改变了这种状态。从这以后, 为了与贝塞麦法竞争, 并降低搅炼法的劳动强度, 那些习惯于采用搅炼法的人们象其前辈们那样, 艰苦奋斗, 做了数以百计的试验, 以图改进搅炼法, 简化操作工序, 降低成本(参见“机械搅炼法”一节)。不过, 这些尝试鲜有成功的, 即使是最有希望的人, 最后仍以失败告终。

从 1920 年至 1930 年这 10 年当中, 人工搅炼法受到了埃利机械搅炼法(Ely mechanical puddler)和阿斯顿熟铁炼制法(Aston process)的排挤, 几乎被彻底遗弃。埃利法同人工搅炼法很相似, 而阿斯顿法同人工法之间从原理到操作都有着根本区别。它们的产品与人工法产品相比, 成分类似, 但组织更为均匀。

1. 人工熟铁搅炼炉的结构 自搅炼炉问世以来, 尽管人们对其结构做了许多改进, 从尺寸到形状都有变化, 但总的趋势还是向小型、简易型发展。其典型结构如图 1-10 所示。这是一座单体炉(single furnace), 每次投料 227kg, 燃料为煤。炉体分作几部分: 炉篦位于炉子的一端; 炉颈位于炉子的另一端, 经烟道与烟囱相通; 熔池(搅炼池)居于炉篦和炉喉之间。这类炉子全部用砖砌筑, 并用铁板作外壳, 再用铁条加固。因为炉子为反射型, 其所有部分都为炉盖所遮掩。炉盖为拱形, 从燃烧室向烟道倾斜。燃烧室的上部用耐火砖砌成; 而熔池和炉颈上方, 通常用硅砖砌成。燃烧室四周为耐火砖炉墙。为了支撑火床, 在灰坑上方用铁棒搭成炉篦。在炉篦上方, 炉子的前壁上开一方孔, 通到燃烧室, 用于点火和添加燃料。炉子另一端, 炉颈为用耐火砖砌成的烟道, 通常加砌一层优质硅砖。炉颈另一端, 为一截垂直向上的烟道, 与烟囱相连。烟囱安装在一个罩子上面。在垂直烟道底部正对炉颈