

76.21
171
1:3

高等学校教学用书



专业炼铁学

上册

北京钢铁学院

东北工学院

重庆大学

西安冶金学院

鞍山钢铁学院

編

中国工业出版社



本书分上下册出版。上册内容包括緒論、高炉生产概要、高炉冶炼原理和作业；下册包括高炉冶炼用原料及其准备处理、高炉車間构造和設計，其他冶炼方法。本书是按专业理論系統，結合教学过程要求編写的。在原理部分叙述高炉的基本物理化学反应，能量的利用和煤气与炉料的机械运动等，操作部分結合我国高炉强化实践进行討論。在原料部分主要介紹冶炼对燃料、天然矿石的要求和人造富矿生产原理。构造部分着重由設計观点来討論高炉車間的設備和构造，并附有必要的數據。其他冶炼方法中簡略地評述了几类主要非高炉冶炼方法和特点。

本书可作为高等学校炼铁专业的教学用书，也可供厂矿、科研机关工程技术人员和业余自学者参考。

专业炼铁学

上册

北京钢铁学院等編

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $16 - \frac{1}{2}$ ·字数384,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数0001—2,633 定价（10—6）1.95元

統一书号：15165·444（冶金—31）

目 录

(上 册)

前 言	1
緒 論	2
高炉生产概要	6
§ 1. 高炉間的生产流程和生产設備	6
§ 2. 高炉冶炼用原料	10
§ 3. 高炉冶炼的产品及其利用	12
§ 4. 高炉生产的技術經濟指标	15
§ 5. 高炉冶炼的技術进步	17

第一部分 高爐冶炼原理和作业

第一篇 高炉冶炼原理

引 言	19
第一章 炉料的挥发和分解	20
§ 1. 水分的挥发和水化物的分解	20
§ 2. 焦炭中挥发物的挥发	21
§ 3. 碳酸盐的分解	21
§ 4. 其它物质的挥发	23
第二章 还原反应	23
§ 1. 铁及铁元素还原的热力学分析	23
§ 2. 直接还原和間接还原	37
§ 3. 铁矿石(固态)还原的机理和还原速度	41
§ 4. 影响铁矿石还原速度的内外因素	48
§ 5. 高炉内铁的还原过程	58
§ 6. 矿石还原的研究方法	59
第三章 高炉燃烧反应和煤气成分的变化	61
§ 1. 固体燃料燃烧的热力学和动力学分析	61
§ 2. 炉缸内的燃烧过程	62
§ 3. 煤气上升过程中成分的变化	69
第四章 炉渣及高炉造渣过程	70
§ 1. 概述	70
§ 2. 炉渣結構理論及相图分析	71

§ 3.	炉渣的基本物理性质及其影响因素	70
§ 4.	高炉内的成渣过程	90
第五章	生铁的形成及其成分的控制	95
§ 1.	烟气的沉积及生铁的形成和熔池	95
§ 2.	生铁脱碳	98
§ 3.	铁及非铁元素在渣相中的还原, 生铁中各主要成分的控制	111
§ 4.	炉渣成分的选择和配料计算	115
第六章	高炉内能量的利用	127
§ 1.	物料平衡和热平衡	127
§ 2.	热平衡计算方法的设计	145
§ 3.	单位生铁热量消耗, 直接还原度与焦比二者的关系	147
§ 4.	提高风温对焦比的影响	150
§ 5.	精料对焦比的影响	152
§ 6.	富氧鼓风对焦比的影响	154
§ 7.	焦炭消耗量的理论计算方法	155
第七章	高炉内的热交换	159
§ 1.	高炉内热交换的基本原理	160
§ 2.	炉顶温度	161
§ 3.	炉缸温度	162
第八章	高炉内炉料和煤气的机械运动	164
§ 1.	炉料下降的条件及其力学分析	164
§ 2.	气体通过散料层的压力降	167
§ 3.	高炉内的炉料运动过程及压力降	168
§ 4.	大风对煤气压力降及顺行的影响	173
§ 5.	燃烧带的大小及其影响	175
§ 6.	原料性质对顺行的影响	181
§ 7.	造渣制度对顺行的影响	182
§ 8.	其它因素对顺行的影响	183
第九章	高炉按煤气流操作和上下部调剂	185
§ 1.	合理的煤气分布	185
§ 2.	影响煤气分布的因素	186
§ 3.	上下部调剂的综合运用	194
第十章	强化高炉冶炼的措施	195
§ 1.	我国高炉强化的成就及其理论分析	195
§ 2.	高压操作	198
§ 3.	加湿鼓风	200
§ 4.	富氧鼓风	201
§ 5.	鼓风中加入含碳物质	202

第二篇 高炉作业和不同生铁的冶炼

第十一章 炉况判断和调剂, 高炉故障和事故的处理	205
§ 1. 炉况的观察和综合判断	205
§ 2. 炉况失常的调剂和事故处理	216
第十二章 开炉和停炉	226
§ 1. 开炉前的准备工作	226
§ 2. 开炉	231
§ 3. 高炉的检修	234
§ 4. 停炉	236
第十三章 炉内操作和休风	238
§ 1. 出铁口的维护	238
§ 2. 出铁口放渣	242
§ 3. 冷却设备的维护和烧坏后的更换	243
§ 4. 热风炉操作	244
§ 5. 高炉休风	246
第十四章 不同生铁的冶炼	247
§ 1. 普通生铁的冶炼	247
§ 2. 锰铁冶炼	248
§ 3. 钒铁冶炼	252
§ 4. 铌铁冶炼	256

前 言

本书是根据1959年全国统一的指导性教育计划和教学大纲，并以1959年我国出版的“炼铁学”和“现代炼铁学”二书（分别由北京钢铁学院和东北工学院炼铁教研组编著）为基础编写而成。

根据十年来的教学经验，我们在本书的内容和顺序的安排上作了适当的调整。主要是把原料及其准备放在冶炼原理之后，把高炉操作提到前面接着冶炼原理叙述讨论。这样做是为了避免过去同学未学炼铁原理和操作，对原料的要求不明确，就广泛深入地学习原料及原料准备的知識，学习的积极性和主动性得不到发挥；将操作提前有利于理论与实际更好地结合，使两部分的效果都能得到提高。考虑到有的学校在讲授专业课以前，学生可能缺少生产实习的机会，故在最前面写了一节高炉生产概要。实际上，把原料和构造方面的知識有机地结合在原理和操作之中是有好处的，本书在这方面做了一些尝试。个别章节安排的意图，每一部分的引言中另有介绍。

当然，各校可以根据不同条件适当变更顺序（例如在校内和在工厂讲课就不同），同学如有一定生产知識，高炉生产概要可以节略不讲。总之，我们认为教学过程不一定机械地按生产过程来安排，而应更好地符合同学的认识过程以提高教学质量。

构造设备部分是从生产问题需要以及发展的角度出发，以讨论设计原理为中心来叙述的。

鉴于同学学习时间有限，编写时只引用最必要的科研資料和生产数据，索引中只列出最必要的参考文献。

各种試驗設備和方法的詳細資料，可在各校的試驗指導書中加以介紹。

参加本书编写工作的是：緒論——孔令坛；炼铁生产概論——杨兆群；第一部分——杨永宜、杨兆群、甘永年、王秉儒、罗克庸；第二部分——虞燕霞等；第三部分——刘述临、郭良蕃；第四部分——陈大受。其中第一、二部分由杨永宜負責編輯，第三、四部分由刘述临負責編輯。

北京钢铁学院炼铁教研組的全体教师和魏寿崑、林宗彩兩位先生参加了大綱的討論和制定工作，并参加了最后的审查和校对。东北工学院杜鶴桂同志参加了大綱的制定工作，山东冶金学院譚嘉林同志参加了部分工作，謹致謝意。

由于编写時間仓促，本书一定会有缺点和錯誤，希望讀者批評指正。

緒 論

一、鋼鐵在國民經濟中的意义

鐵广泛地存在于自然界中，就金属元素而言，铁在自然界中的貯藏量仅次于铝，居于第二位（若以地壳中所有元素的总和为100%，铝占7.5%，铁占5.1%）。

純粹的铁不仅不易得到，它的用途也不广。在工业中广泛应用的是铁与其他元素构成的合金，生铁便是铁、碳（3~4%）和少量的硅、錳、硫、磷构成的合金。

生铁的性质硬而且脆，只能用于鑄造，不能鍛压。因此在工业中应用最广泛的是它的再制品——鋼。就世界各国的統計資料看，在生铁的总产量中，炼鋼生铁約占80%，其余部分为鑄造生铁及少量的特种生铁。鋼除具有比生铁更高的强度和不同的硬度以外，鋼的可塑性良好，可以鍛压成各种形状的鋼材和机械的部件。若加入不同的合金元素（如硅、錳、鎳、鉻、錫、鈦等），可以得到不銹的、耐高溫的、耐酸的、高强度和高硬度的鋼。此外用热处理办法，还能在頗大范围内改变鋼的物理性质，以满足工业中多方面的需要。

鋼鐵工业在国民經济中占有重要的地位。有了鋼鐵，机械制造工业才能得到发展，才能以各种机械設備供給农业、輕重工业、交通运输业等国民經济各个部門。可是鋼鐵工业的进一步发展，也只有农业发展的基础上，并有賴于机械制造工业提供大量优良設備。

二、煉鉄技術的發展过程

煉鉄方法的发生和发展，是社会生产力发展到一定阶段的必然結果，当人类掌握了“火”以后，为了避免火种在风雨中熄灭，逐步学会了筑砌炉灶，在某些地方砌筑炉灶的石块中用了一些易还原的铁矿石，矿石被燃烧还原成为海绵状鉄，后来人們又发现这种被还原出来的鉄具有良好的塑性，可以鍛打成一定形状，从而人們就开始有意識地进行冶炼，并用它制造生产工具。

最原始的煉鉄方法十分简单（如图1所示），利用自然地形挖一竖窑，周围用天然耐火石块砌成，中間装滿鉄矿石和燃料，从下部点火，自然通风助燃，这样使部分矿石还原，得到金属鉄。

后来出现了生吹法煉鉄炉（如图2所示），在平地上掏一洞，里面堵以耐火材料，将鉄矿石和燃料装入炉內，利用人力鼓风助燃。得到半熔融状态的海绵鉄和含氧化鉄很高的炉渣。冶炼过程中不断用鉄錘攪拌，最后将渣鉄混凝体鉗出炉外，用錘鍛打，挤去大部分炉渣，得到最后的产品——熟鉄。

生吹法煉鉄过程的特点是：冶炼前期鉄矿石与大量的赤热燃料相接触，炉內为还原性气氛，鉄矿石还原成海绵鉄，同时受高溫作用而軟化，少部分的海绵鉄进行了渗炭反应。冶炼后期随着炉內燃料的减少，过剩空气相应增加，同时产生了大量含氧化鉄很高

的炉渣，使炉内变为氧化性气氛，从而使铁中的炭氧化。所以在生吹炉中只能得到含炭很低的半熔融状态的熟铁。

竖炉与生吹炼铁炉之不同处，在于它具有较大的熔炼室和较高的高度，以利于提高产量和熔炼较难还原的铁矿石。在使用这种竖炉的很长时期内，得到的产品仍旧是半熔融状态的熟铁。

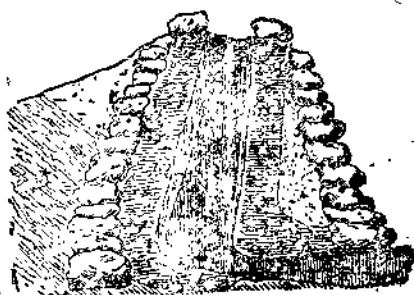


图1 大高炉炼铁

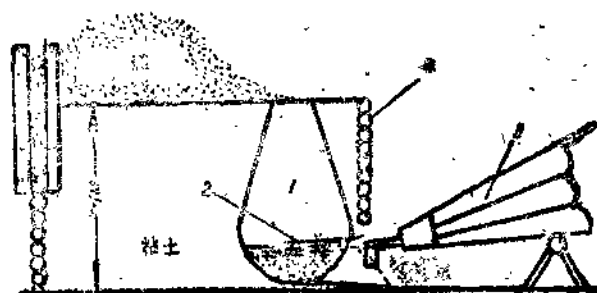


图2 生吹炉形式之一

1—炉膛；2—进风管；3—皮箱；4—加固用木架

随着鼓风设备的发展，水力代替了人力和畜力鼓风，单位时间内鼓入竖炉的风量增加了，因而在单位时间内燃烧的燃料增加，使炉缸温度上升，炉内铁矿石的还原过程改善。还原得到的海绵铁有可能渗炭。熔点随之降低，从而得到液态的生铁。

在获得生铁的初期，人们对它可能并不感兴趣，因为生铁性脆，不能锻打成型。后来发现将生铁与矿石一齐放入炉内再行冶炼，可以使熟铁的产量大大提高，人们才开始有意地冶炼生铁了。这样便形成了一直沿用到现在的二步冶炼法。

二步冶炼法是钢铁冶金史上的转折点，它与以往的生吹法比较，其优越性在于：第一改善了铁矿石的还原过程，减少了铁在炉渣中的损失，从而大大降低了矿石的损耗；第二生铁的生产是连续性的，因而生产率大大提高，燃料的单位消耗也显著降低。

根据对冶金发展史的研究认为，欧洲的第一批高炉（即冶炼生铁的竖炉）大约出现在十四世纪中叶。六百年来高炉冶炼技术发展过程中，出现了以下几个主要的突变：

一、焦炭的使用：过去炼铁的燃料是木炭，随着社会生产力的发展，对生铁需要量日益增加，木炭的消耗量也随之增加。森林资源日益减少，限制了炼铁工业的发展，1558年英国政府曾下令禁止采伐林木作为冶金燃料。于是不得不寻找另外的燃料，1735年英国人亚·德尔比发明了以煤炭炼焦的方法，为炼铁工业进一步发展提供了充足的燃料。同时焦炭的机械强度比木炭高得多，从而为高炉容积的扩大和高度的增加提供了可能。但是在鼓风机没有改进以前，焦炭的优越性并未显示出来，因为高炉使用焦炭以后，炉内透气性变坏。

二、蒸汽机用作鼓风的原动机：1736年俄国机械工程师依·尼·波尔兹诺夫首先在高炉上安装了以蒸汽为动力的鼓风机，1782年英国也开始在高炉上使用蒸汽鼓风机，送风能力较水力鼓风大大提高一步，高炉生产规模随之得到跃进式的发展。

三、冷风的预热：1828年苏格兰人纳尔逊第一次用换热式热风炉将鼓入高炉的冷风预热，得到显著的效果（燃料单位消耗由8.06降至5.16）。为了利用煤气，1832年开始用

高炉本身产生的煤气预热冷风，敞开的炉顶不得不封闭起来，引起了高炉结构上的一系列变化。1857年建造了蓄热式（考貝式）热风炉，使风温有可能提到更高的水平。从这时起，近代高炉的基本形式就确定了。

十九世纪后半期以来，高炉冶炼技术的发展突飞猛进。主要的有以下几个方面：

一）冶炼前原料准备工作的改善：天然矿石的破碎和分级，自熔性烧结矿和球团矿等入造富矿的应用。

二）高炉冶炼过程不断地强化：高炉使用强有力的鼓风机，不断提高高炉的冶炼强度，富氧鼓风、蒸汽鼓风、高压操作等强化高炉过程措施的使用。

三）热风炉构造和操作不断地改善，使高炉的鼓风温度不断提高，目前已能达到1000°C或更高的水平。

四）高炉构造及附属设备不断地改善。操作过程的机械化、自动化程度日益提高。

五）高炉冶炼过程的理论研究日益深入，因而使高炉的操作技术和管理工作日益完善。

三、我国炼铁事业的成就

我国是世界上使用铁器最早的国家之一。相传在黄帝时代（公元前2600年）在我国就能“炒铁铸釜、造干戈”了。到了春秋战国时代（公元前722~246年）我国已广泛使用铁器。据左传记载昭公29年（公元前513年）“赋晋国一鼓铁，以铸刑鼎”（即将法令铸于铁鼎上），1950年中国科学院考古研究所在河南辉县发掘战国墓葬，得到铁制生产工具九十多件，兵器八十件。1953年在河北省兴隆县发现了八十七件战国时代的铁范。1954~1955年在山西长治市发掘战国墓葬，得到白口铁制的生产工具二十件。由此可见，我国发现生铁比欧洲约早1600年。此外，我国炼铁使用的鼓风设备也较欧洲发展得快。吴越春秋一书中叙述干将莫邪造剑时说：“使童男童女三百人鼓橐装炭”。早在公元31年东汉时代就发明了水排，并用来鼓风。宋朝发明了木风扇，进而发展为木风箱。我国的魏晋时代就大量地以煤炭作为炼铁的燃料，北魏酈道元水经注浊漳水篇到释氏西域记说：“屈茨北二百里山，夜则火光，昼日但烟。人取此山石炭，冶此山铁”。我国历史上炼铁事业的规模也很可观的。十七世纪以前欧洲还没有铁产量的记载，十七世纪中欧洲产铁最多的国家是俄国。我国远在十一世纪的1053年（宋代）年产铁即达4000余吨。

但是，由于几千年来的封建统治，以及近百余年来，由于帝国主义的侵略和国民党反动派的反动统治，我国钢铁工业和其他工业一样根本得不到发展。

我国第一个现代化的钢铁厂——汉阳钢铁厂建于1890年，包括两座日产100吨生铁的高炉（容积各为248米³）。1902年又建了两座450米³的高炉，每炉日产生铁不超过250吨，至1924年止的三十余年中共产铁约200万吨。第一次世界大战期间在大冶建了两座500吨的高炉。日本帝国主义为掠夺我国的资源，于1910年开始在鞍山建钢铁厂，相继建成大型高炉9座。在1918年在本溪也建了钢铁厂。北京石景山钢铁厂建于1919年。1934年山西军阀阎锡山在太原建起了两座高炉。1943年是我国解放前钢铁产量最高的一年，生铁产量仅为180万吨，钢90多万吨。1945年抗日战争胜利以后，我国的钢铁工业由于日本帝国主义和国民党反动派的破坏，1949年生铁年产量降为25万吨，钢16万吨。

自中华人民共和国建国以来，在中国共产党的正确领导下，由于工人阶级的忘我劳动和苏联的援助，经过1950~1952三年经济恢复时期，使我国生铁年产量达到了190万吨，超过历史上最高水平。在第一个五年计划期间的1956年我国生铁产量就达到了490万吨，提前一年超额完成了第一个五年计划规定的指标。到1957年生铁年产量达594万吨。在此期间我国高炉冶炼技术水平也大大地提高。学习了苏联的先进经验如全风量快料顺行操作法，使用自熔性烧结矿、采用定湿度鼓风、进行炉顶调剂等。高炉有效容积利用系数由1949年的0.616吨/米³昼夜，提高到1957年的1.312吨/米³昼夜。

第二个五年计划的第一年1958年，党提出了“鼓足干劲、力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，和“以钢为纲，全面跃进”的方针。在全国范围内掀起了大炼钢铁的群众运动。迅速改变了我国钢铁工业的面貌。几乎全国所有的省和自治区都建立起或大或小的钢铁工业基地，仅小洋群高炉现在已能年产生铁一千万吨以上。在高炉冶炼技术方面也得到空前的提高，鞍山和本溪钢铁公司的高炉技术经济指标达到了世界先进的水平。党领导着群众在生产实践中创造出我国高炉生产的“精料，大风，高温”冶炼方法。1960年我国生铁产量已跃居世界第3位。

在党的领导下，在1956年制订的我国科学研究十二年规划中为炼铁方面的研究工作规定了明确的方向和任务。有关的科学研究机关、生产单位和高等院校，正在进行着我国高炉强化冶炼过程的理论和新的冶炼技术等研究工作，钢铁工业技术干部也在迅速地大批地成长。

我们怀着无限喜悦，欢呼我国钢铁工业的巨大成就，我们深深知道，社会主义社会制度给钢铁工业开拓了无限美好的前景。

参 考 文 献

- 1) 炼铁学，北京钢铁学院炼铁教研组编著。
- 2) 现代炼铁学，东北工学院炼铁教研室编著。
- 3) 中国土法冶铁炼钢技术发展简史，杨宽著。
- 4) 生铁冶金学，依·彼·肯米克讲稿。
- 5) “得不偿失”论可以休矣，人民日报1959年9月1日社论。

高炉生产概要

§ 1. 高炉車間的生产流程和生产設備

現代高炉車間的生产流程一般都是比較定型的。冶炼用的原料（铁矿石、焦炭和熔剂）先进行准备加工（如破碎和按粒度大小分級）以适合高炉冶炼的需要，再按一定比例分批加到高炉中去进行連續不断的熔炼，而熔炼所获得的产品——生鉄和炉渣，則定期从炉缸放出。为了維持炉内燃料不断燃烧，必須用鼓风机向炉内連續地送入空气。此外，为了回收可作燃料用的高炉煤气（以降低生鉄成本和节约用煤），高炉車間也必須配备煤气除尘的工序及設備。在不同的生产条件下，可能在整个生产流程中有某些环节被取消，或其生产方式被簡化。如在一般小高炉上原料的加工处理和渣鉄产品的处理就比大高炉简单些；又如有平炉炼鋼車間的企业中生鉄就不必鑄块，而以液体状态直接加入平炉。图1为現代大型高炉車間生产流程的示意图。

一般高炉車間都配备有以下一些基本生产設備。

一、高 炉

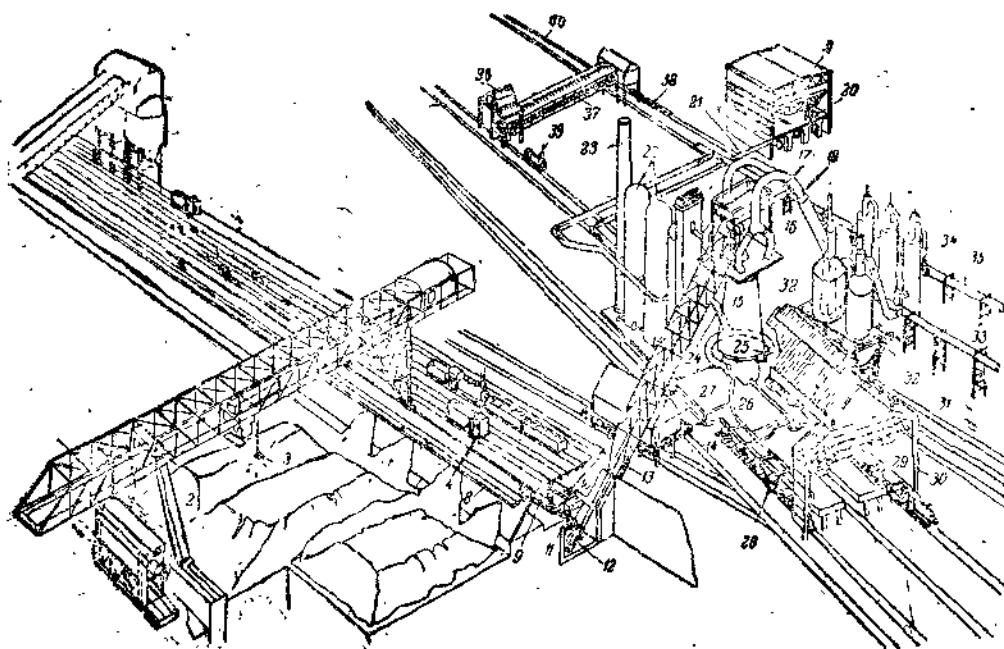


图1 現代大型高炉車間生产流程示意图

- 1—翻車机；2—矿石装卸机；3—抓斗；4—自行运矿車；5—焦炭运輪机；6—貯焦樓；7—自行运焦車；8—斜槽找桥；9—称量車；10—焦炭篩；11—焦炭称；12—高炉卷揚机的料車；13—高炉卷揚机的斜桥；14—卷揚机室；15—高炉；16—炉頂鋼梁；17—安裝梁；18—煤气导出管；19—鼓风机室；20—鼓风机；21—冷风管道；22—热风炉；23—烟囱；24—热风管道；25—风口設備；26—出鉄口及鉄沟；27—出渣口；28—流罐；29—鉄水罐；30—出鉄場房；31—出鉄場起重機；32—除尘器；33—荒煤气管道；34—靜电除尘器；35—淨煤气管道；36—翻桶卷揚机；37—鑄鉄机；38—运走鑄鉄块用的平板車；39—称量鉄水罐車用的軌道磅称；40—往倉庫运送鑄鉄块的鉄路綫

高炉是炼铁车间最基本的熔炼矿石的设备。它是一个外包钢壳内砌耐火材料的圆形截面的竖炉。高炉内部砌砖的轮廓称为炉形。近代高炉的炉形(图2)一般都由五段组成。有时把高炉上部三段(炉喉、炉胸、炉腰)合称之为炉身。从铁口中心线到大钟开启时的下缘的高度称为有效高度($H_{\text{效}}$)，而这一部分的工作空间称为高炉的有效容积。为了适应冶炼的需要，炉身和炉腹通常具有一定的倾角(α 和 β)。

自从出现二步冶炼方法以来，高炉内形经过多次改变。有效容积不断扩大，高度和断面直径也在不断增加，炉形逐步趋向合理。目前，高炉最大的容积达2000米³以上，有效高度不超过30米，炉缸直径9米多。我国的大型高炉容积多在900~1500米³之间。此外，根据我国社会主义建设事业的具体情况，还有为数众多的中小型高炉，它们的容积从10米³左右到300~400米³之间，是我国钢铁建设事业中重要的方面军。大型高炉的日产量可达2000~2500吨，有时超过3000吨，而中小型高炉的产量亦可达到它本身容积的150~200%以上。

高炉炉料经钟加入高炉后，由于焦炭在炉缸中不断燃烧空出位置而下降。在炉料下降过程中，受到上升煤气流的不断作用发生许多复杂的变化。在炉喉和炉胸部分，主要被煤气加热而放出其中的水分和其它容易挥发的物质，石灰石在较高温度下才大量分解，放出 CO_2 ，铁矿石被还原性煤气不断还原，然后渗碳。在炉腰部分，矿石中的脉石和生铁开始软化和熔化，并和石灰石中的 CaO 等生成炉渣(亦称初成渣)。在炉腹部分固体炉料只有燃料，其它绝大部分为熔融的炉渣和生铁。渣铁在下降过程中继续被加热，并进行某些元素的还原。这时的还原条件已同上部不同，元素多从液相炉渣中还原出来，且难还原元素的数量显著增加。由于部分未参与造渣的成分的加入和炉渣不断被还原的结果，炉渣成分不断变化。在风口附近，焦炭燃烧生成 CO 含量很高(约40%)的高温(1700~2000°C)还原性气体。它供给高炉反应赖以进行的物质基础——热量和还原剂。最后生铁炉渣分层聚集于炉缸下部(炉渣因比重小而在铁水上面)。

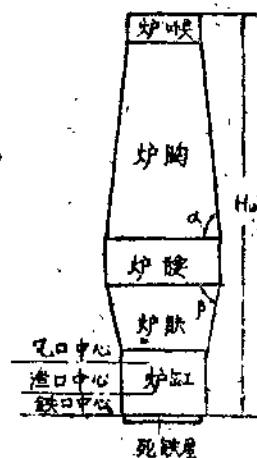


图2 现代高炉炉形

二、高炉的送风设备

单位时间内燃烧的燃料数量主要取决于单位时间内鼓入的空气量，因此鼓风机的能力是保证高炉产量的根本条件之一。由于生产不断发展，而对鼓风机的要求(风量和风压)愈来愈高。这些要求一直刺激着改善鼓风机的结构和增加它的能力。而鼓风机的改进反过来又引起高炉生产的相应提高。

在过去的一百年当中，鼓风机的传动形式、本体结构和生产能力都经过了許多巨大的变革。从最初的人力和畜力带动的木制风箱，直到现在采用的由蒸汽透平或电力传动的离心式鼓风机。目前鼓风机的最大风量可达4250米³/分，风压为3个多绝对大气压。由于产量进一步的提高和高压操作的应用，对鼓风机已经提出了一系列新的要求。为了适应大风量操作的要求，将数台能力较小的鼓风机实行并联或串联是提高风量和风压的

有效措施。

从1828年英国开始将鼓风预热送入高炉，由于生产上很快获得了效果（节省了燃料，提高了产量），因而鼓风加热的设备很快就成为高炉车间的必备设备。目前，我国小型高炉在经过改造后，已全部实现热风化，并向着更高的风温水平迈进。我国大型高炉使用的风温水平在900~1000℃之间，个别的达到1000℃以上。目前大中型高炉广泛应用的是格子砖蓄热式热风炉（见图本书第三部分图4—9，亦称考貝式热风炉）。一般每座高炉配备3~4座热风炉，轮流燃烧和加热鼓风。燃烧用高炉煤气或高炉煤气焦炉煤气的混合煤气。利用格子砖作传热介质。

在采用加热鼓风的初期，一度广泛应用过的换热式管式热风炉，由于它的缺点（风温不高，并需经常检修等），后来就被蓄热式热风炉所长期代替。但在1958年我国大力发展小型高炉的生产后，这种管式热风炉（本书第三部分图4—15）由于它的投资少和建设快的优点，又被广泛地应用在小高炉上。它以铸铁管作传热介质，利用高炉煤气燃烧放出的热量加热空气。整个操作是连续不断的进行，只有在热风炉检修时才进行换炉。

三、煤气除尘设备

最初高炉煤气被放散到大气中，到后来才加以利用。现代冶金工厂的高炉煤气是用来加热热风炉、平炉、炼焦炉以及轧钢厂加热炉等设备的主要燃料来源之一。表1列出现代冶金工厂高炉煤气的使用分配情况^①。由于高炉煤气的利用，可以降低生铁成本和节约燃料，并促使那些使用高炉煤气的设备在生产操作上获得改善（如用煤气燃烧热风炉就比用固体燃料燃烧优越得多）。因此，高炉煤气在冶金联合企业中的地位是愈来愈重要了。一座日产2000吨生铁的高炉，在焦比为0.65~0.7的条件下，每天大约可产煤气 5×10^6 米³，如果全部利用，则相当于500~600吨普通煤的发热量。因此，高炉煤气占近代冶金工厂中整个燃料平衡的30%左右，在冶金工厂内部则占可燃动力资源的50%。

表1 黑色冶金工厂的高炉煤气平衡（%）

热 风 炉	炼焦炉	轧钢用炉	平 炉	蒸汽锅炉	其它用途	损 失
20~22	13~14	8~9	6~7	27~28	3	17~20

从高炉出来的煤气，由于携带大量灰尘，不能直接应用，故需一组除尘设备。高炉煤气从炉顶出来后，经煤气下降管首先进入第一除尘器（通常称为重力式除尘）和第二除尘器（常称为离心式除尘），进行粗除尘。然后，再经过洗涤塔的本格子而被由上向下喷来的水所清洗除尘，这就是半精细除尘。最后，煤气通过精细除尘阶段。用于精细除尘的设备有鼠籠式洗气机、静电除尘器和喷雾管等。根据对煤气利用和要求的含尘标准，可采用不同的除尘方式。小高炉由于目前煤气利用得还不完善，故在除尘方面的一些方式不和大高炉一样。为了满足煤气系统在操作上的要求，在高炉炉顶、各式除尘器的上部都安有煤气放散阀，在煤气系统的管道上装有各式煤气切断阀和切断闸板。

^①表1数据为50年到53年苏联冶金工厂的资料。

四、原料的貯存及裝運設備

現代高爐車間原料的貯運問題是保證整個生產可靠進行的基礎。一座日產2000噸生鐵的高爐，每天消耗的原料有5500~6500噸左右。對於一個日產萬噸生鐵的高爐車間，每天至少吞吐3萬噸以上的物料，所以沒有相應的貯運能力，高爐是不能正常生產的。小高爐雖然要求貯運的原料絕對量比大高爐少，但機械化程度較低，對於每個勞動力的工作負荷是很大的。

通常由外部運來的原料先貯存在具有相當容量的貯料場上（在一些礦石供應地很近且有專用運輸綫的高爐車間，可以減小或不要貯料場），然後再用不同方式（門形起重機、電鏟挖斗和皮帶運輸機等）將原料運到貯料槽分別存放。槽中原料經下部給料器，按一定配料比漏到稱量車上，然後再由稱量車裝入料車（在用料罐的高爐上，原料從貯料槽中直接漏到稱量車上的料罐中去。）用卷揚把料車（或料罐）提升到爐頂裝入爐頂裝料設備中去。最近幾十年來，高爐運料系統的機械化和自動化程度大大提高，為提高勞動生產率創造了極其有利的條件。最近新的運料方式還正在實現中。

採用密封的爐頂裝料設備是利用高爐煤氣的必備條件。最初的裝料設備是由兩個相向的圓錐所組成的料鐘和料斗（圖3）。這種結構原則基本上保留在現代高爐的爐頂裝料設備上。為了防止大鐘打開時煤氣逸散造成煤氣供應的波動，一般都採用大小兩個料鐘（見圖4）。我國新建高爐都採用料車上料，一些經過改建的舊高爐（大中型）還沿用料罐上料的方式。

五、渣鐵處理的設備

高爐每天處理的渣鐵數量很大，配備處理能力足夠的設備是保證高爐正常生產的重要條件之一。在與平爐煉鋼車間聯合的現代高爐車間，鐵水以液體狀態用鐵水罐運到煉鋼車間。在無平爐車間的煉鐵廠，高爐生產的是商品生鐵，用鐵水罐運到專門的鑄鐵機工段鑄成鐵塊。鑄鐵機是個由許多鐵模聯結而成的循環運動的“履帶”。在產量不高的中小型高爐上，鐵水直接在爐前鑄床鑄塊，但這給爐前操作人員帶來沉重的工作。



圖 3 料鐘料斗式爐頂裝料設備

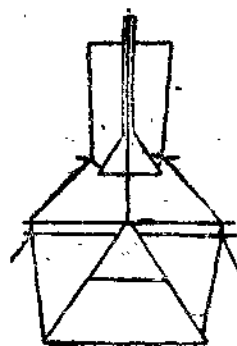


圖 4 雙鐘式爐頂裝料設備

現代大型高爐每天必須用渣罐車及時將爐渣從爐前運走，部分爐渣可在爐前沖制水渣和渣棉作為有用的建築材料。

§ 2. 高炉冶炼用原料

高炉冶炼用原料主要有三种：铁矿石、燃料和熔剂。其它还有一些附加的原料，如各种被回收利用的炉渣（锰铁炉渣、平炉渣及转炉炉渣等）、碎铁以及其它作为调剂炉况用的少量材料。锰矿石除冶炼锰铁时作为主要原料外，一般用量很少。

一、燃 料

在高炉冶炼中燃料的作用有二：一是供给冶炼所必需热量，（如炉料的加热、渣铁熔化以及其它吸热的化学反应所消耗的热量等）约80%左右（其它由鼓风加热带入）；二是供给还原反应所必需的还原剂（CO及C）。因此，在冶炼需要温度高热量多的生铁时所消耗的燃料量就比冶炼需要温度低热量少的生铁时为少。现代高炉所用燃料绝大部分是焦炭，由配有一定量具有结焦性的炼焦煤经过高温隔绝空气干馏而得，木炭和无烟煤等仅仅在少数小型高炉上使用。木炭需要消耗大量昂贵的木材，破坏森林，故一般都不用它。现代高炉要求所用燃料具有良好的强度和块度，低的灰份和硫含量，这对改善冶炼指标是有益的。

由于目前世界上可用于炼焦的结焦煤储量日渐减少，因此研究新型的燃料和试验不用结焦性煤炼出强度合格的焦炭的工艺生产方法，已成为各国政府和科学家关心解决的重要问题。

二、铁 矿 石

生铁中的Fe几乎全部都是由铁矿石中还原出来的。一般认为，在现有技术条件下，能从中经济而有利的冶炼出生铁来的岩石称为铁矿石。矿石中铁的氧化物部分称为含铁矿物，而非铁氧化物部分（如 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 及 CaO 等）称为脉石。铁矿物类型主要有四种：磁性氧化铁矿（亦称磁铁矿，分子式为 Fe_3O_4 ）；无水氧化铁矿（亦称赤铁矿， Fe_2O_3 ）；含水氧化铁矿（亦称褐铁矿， $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）和碳酸铁矿（亦称菱铁矿， FeCO_3 ）。可以直接用于高炉炼铁的矿石必需具备一定的化学成分和冶炼性能。冶炼含铁品位高的矿石比冶炼品位低的更加经济合理。品位高的称富矿，品位低的称贫矿，但是区分贫富的具体数量没有严格的规定，因为它还决定于许多条件。根据一般习惯，对于含酸性脉石的矿石（即含 SiO_2 高），含Fe量在40%以下的称为贫矿，40~50%之间的为较贫矿，50~60%的为富矿，60%以上的为好富矿。对于含碱性脉石的矿石（含 CaO 及 MgO 较多），区分贫富程度的含Fe量可以相应的降低些，因为应用这类矿石时熔剂用量减少。

矿石含S、P等有害杂质的数量愈低愈好，它严重影响着生铁和钢的质量。含有有害杂质多的矿石应经过适当的准备处理（为选矿、焙烧和烧结等）。

用于冶炼的矿石必需具有合适的粒度。粒度太大不能保证还原反应的有效进行，太小又会严重恶化料柱的透气性。因此，必需进行适当的破碎和筛分，以消除过大的块料和过细的粉料。对于富矿粉必先经造块，然后才能用于冶炼。

为了有效而经济的利用大量品位低的贫矿，应加精选以提高其品位。选矿所得的精

矿常成粉末状，故必须先经过造块，然后才能直接加入高炉。因此，选矿和造块是贫矿石准备处理中的两个最基本的生产过程。目前广泛使用的造块方法是在带式烧结机上进行抽风烧结，而盘式吹风烧结法在我国广大中小型高炉车间也占有很大比重（因它投资少、建设快）。此外还有少部分是盘式抽风烧结机和隧道窑式团矿炉生产出来的烧结矿和团矿。球形团矿是目前在工业上已初步生产应用并具有发展前途的新型原料。用这些方法生产出来的铁矿石统称之为人造富矿。在造块过程中为进一步改善它的物理化学性质，加入部分石灰石或白云石等碱性熔剂这类人造富矿称为自熔性人造富矿（如自熔性烧结矿，自熔性球团矿等）。由于自熔性人造富矿的使用给冶炼带来很大的经济效益，近年来的用量有了很大的增长。总之，原料准备处理的进一步改善是冶炼效果提高的必备条件。

三、熔 剂

现代高炉使用的熔剂主要是含 CaO 和 MgO 等碱性熔剂，如石灰石和白云石等。因为在绝大多数情况下，矿石中的脉石和焦炭中的灰份都含有过多的 SiO_2 等酸性氧化物，加入一定量的碱性熔剂可以获得一定碱度的炉渣（炉渣中的碱度通常用炉渣成分中的 CaO/SiO_2 和 $\text{CaO} + \text{MgO}/\text{SiO}_2$ 之比表示），以保证炉渣具有一定的脱硫能力和较低的熔点从炉缸中顺利地流出来。当用木炭冶炼时，因木炭中的灰份和硫黄很少，故可少用些熔剂。在使用自熔性铁矿石时，熔剂可以少用或者不用，具体数量可按专门的配料算法来确定。所谓酸性熔剂在一般正常的情况下是很少应用的。高炉使用熔剂要求：碱性氧化物要多，酸性氧化物要少，要有合适的块度和一定的强度。一般熔剂的准备处理工作内容不多（仅破碎和筛分），但对小高炉讲，使用事先经过适当焙烧过的石灰石（其中夹有大量石灰）可以带来很好的冶炼效果。

四、锰 矿 石

锰矿石是在冶炼要求一定含锰量的普通生铁和含锰高的锰铁时必须加入的重要原料。对于锰矿石的要求是：含锰品位高、含铁和酸性脉石少、有害杂质（P和S）低、具有良好的强度和块度。

五、其它工艺用材料

高炉车间除去必需消耗上述各种原材料外，还需消耗大量的水、电和风等工艺用材料。

对于大中型高炉，每立方米有效容积每分钟需要 $2.5 \sim 3.5$ 米³ 的风；而对于小型高炉，一般大于 $4 \sim 5$ 米³，最高可大于 10 米³。炉子容积愈小、单位有效容积需要的风量愈大。

高炉车间的用水量也很大，它主要用于高炉炉体冷却、煤气洗涤、铸铁机铁块的冷却以及造水渣等方面。一般每炼一吨生铁总共消耗水量 $11 \sim 15$ 米³。在用循环供水的条件下，用水量要低些，但也要考虑 $5 \sim 20\%$ 左右的损失了。

现代高炉车间每炼一吨生铁的耗电量约为 $15.5 \sim 23.1$ 千瓦时。

应当指出，根据不同的生产条件（炉子大小以及机械化和自动化的程度等），每吨

生铁的用水量和用电量是有很大波动的。

§ 3. 高炉冶炼的产品及其利用

高炉主要产品是生铁，同时也生产出数量很大的煤气、炉渣和炉尘等副产品。

一、生 铁

高炉生产的生铁按其成分和用途可以分为制钢铁、铸造铁和高炉铁合金三种。表2、表3及表4中列出了我国焦炭高炉冶炼生产的各种生铁的规格和化学成分范围。

表2 我国高炉生产炼钢生铁规格

铁 种	铁 号		化 学 成 分, %							
	牌 号	代 号	硅	锰	磷			硫		
					1 级	2 级	3 级	1 类	2 类	3 类
碱性平炉 炼钢生铁	碱平08	P08	≤ 0.90	不 规 定	≤ 0.15	≤ 0.20	≤ 0.35	0.03	0.05	0.07
	碱平10	P10	$0.91 \sim 1.20$							
	碱平13	P13	$1.21 \sim 1.40$							
酸性侧吹转炉 炼钢生铁	酸转13	S13	$1.01 \sim 1.60$	$0.50 \sim 1.00$	≤ 0.07	≤ 0.07	≤ 0.07	0.04	0.05	0.06
	酸转18	S18	$1.61 \sim 2.00$							
碱性侧吹 转炉炼钢 生铁	碱转08	J08	$0.60 \sim 0.90$	不 规 定	—	—	$0.81 \sim 1.60$	0.04	0.06	0.08
	碱转10	J10	$0.91 \sim 1.20$		—	$0.41 \sim 0.80$	$0.81 \sim 1.60$			
	碱转13	J13	$1.21 \sim 1.50$		≤ 0.40	$0.41 \sim 0.60$	—			
	碱转18	J18	$1.51 \sim 1.90$		≤ 0.40	—	—			

铸造生铁通常用作铸件，其断口结晶较粗且为暗灰色，故常称为灰口铁。铸造铁一般含硅较高，因为硅可促进石墨化，铸造时具有良好填充性，并使铸件易于切削加工，具有良好的耐磨性以及能够很快的消除震动和共振等，适宜于制作机架及机座等铸件。其中磷含量一般在 $0.11 \sim 0.30\%$ 之间。如用低磷原料可以得到一种低磷铸造铁($P < 0.1\%$)，它可用来铸造在高温高压下工作或者要求铸件性能好强度大的铸件。有时为了增加铁水的流动性和改善铸件表面的质量，适应制作薄壁精细铸件的要求，希望得到含磷较高的高磷铸造铁(含 $0.31 \sim 1.2\%P$)。此外，铸造铁还要求一定的含锰量($0.5 \sim 1.3\%$)。下限用于铸造形状复杂的薄壁铸件，此时含锰过高会形成裂纹。上限用于形状简单而壁厚的铸件。对含硫量要求愈低愈好。高炉冶炼铸造铁要求比炼钢生铁有较高的炉温和