

中 华 铁 冶 志

姜茂发 车传仁 著

东 北 大 学 出 版 社

沈 阳

姜茂发 车传仁 2005

图书在版编目 (CIP) 数据

中华铁冶志 / 姜茂发, 车传仁著. — 沈阳: 东北大学出版社,
2005.6

ISBN 7-81102-165-X

I. 中… II. ①姜… ②车… III. 炼铁—冶金史—中国
IV. TF5—092

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 028734 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024-83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024-83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: // www.neupress.com

印 刷 者: 铁岭市新华印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

幅面尺寸: 140mm×203mm

印 张: 7.625

字 数: 212 千字

出版时间: 2005 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2005 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘宗玉

责任校对: 薛 平

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

定 价: 18.00 元

前 言

近年来讲授冶金史课，每每苦于教材阙如。偏偏又有些学子极深研几，喜对我国古代冶铁及相关问题寻根究底，而千年古事往往又非三言两语可以解说清楚。恰是这些使笔者萌生了“写本教学参考书”的念头，于是，从2003年岁末开始搜集资料，进而归纳梳理，缀字成文，这就是本书的由来。

我国冶铁始于西周，在世界称不上最早，但用矿石炼出铁水则比欧洲要早近2000年。直至明代中期，我国的冶铁技术及钢铁产量一直在世界上遥遥领先。只是近四五百年，由于长期封建社会制度束缚等多方面原因，才逐步衰落下来。温故而知新，对两千年来我们先人在铁冶方面走过的道路和取得的成就进行回顾、归纳、总结和介绍，对于振奋民族精神、促进钢铁工业的发展来说，定是十分有益的，这也是笔者撰写这本铁冶志的初衷。

本书由8章组成。前三章是我国古代铁冶技术发展的主线。首先对铁冶原理作了概要介绍，并对古今铁冶流程进行了比较，这些对非钢铁冶金专业的读者无疑将是有益的。第2章介绍了历代铁冶发展简况。考虑到一些青年学子对我国历史沿革不甚清楚，所以在每朝的开头，均就这个朝代作了概要介绍；而对文史基础踏实的读者，这些介绍难免有蛇足之嫌。第3章按炼铁、炼钢、成型加工及热处理，即按专业较为细致地介绍了历朝铁冶技术发展状况，这部分内容主要供冶金专业学生阅读。第4章介绍了我国古人的矿物观及铁矿产地。古代采矿和冶炼多在一处，所以铁矿产地大体上也就是铁冶基地。第5章介绍了历代的铁冶体制、法规和生产关系，对两千年来匠人身份、地位及铁冶官营、民营的变化消长作了较为详

尽的阐述。第6章介绍了我国古代铁冶对近邻及其他国家的影响和相互交往。自汉代以来，我国的铁制品及冶铁术，一直通过陆上、海上两条“丝绸之路”传播四方，虽然朝廷屡有“铁禁”，实际上则一直有禁无止。从这部分介绍也可看出，明代以前在国际交往中，我国一直是比较开放的。第7章是关于中华古代铁文化的叙述。从铁制的人牛桥塔、犁剪兵刃到皇帝的丹书铁券及至涉铁的诗文哲理，方方面面均有涉猎。如以菜肴作喻，这部分内容虽非山珍海味品高位显，却似早韭晚菘老少咸宜，即对各专业的读者来说都有一定可读性。最后一章，笔者就明代以后我国科技落后的原因作了简要分析，观点可能失之偏颇，但作为一家之言，还是奉献出来供读者参考。

笔者对冶金史未曾作过深入探究，况本书又属应对教学所需的急就之章，囿于资料和精力，疏漏乃至谬误在所难免，还望专家及同好不吝赐教。

成文过程，多得益于华觉明、何堂坤等各位冶金史家的论文及专著，不胜感激之至，在此致以谢忱。

作者谨识

2005年1月

目 录

第 1 章 铁冶原理及古今铁冶流程比较	1
1.1 钢铁冶金原理	2
1.2 现代与古代钢铁冶金工艺流程的比较	5
第 2 章 历代铁冶简况	9
2.1 西周晚期 (公元前 771 年以前)	9
2.2 春秋战国时期 (公元前 771 年—前 221 年)	12
2.3 秦、汉时期 (公元前 221 年—公元 220 年)	18
2.4 魏晋南北朝时期 (公元 220—589 年)	23
2.5 隋、唐、五代时期 (公元 581—960 年)	26
2.6 宋、辽、金、元时期 (公元 960—1368 年)	28
2.6.1 铁冶生产简况	29
2.6.2 煤的普遍使用及煤铁带来的经济发展、国力 变化	34
2.7 明代 (公元 1368—1644 年)	38
2.8 清代 (公元 1616—1911 年)	40
2.8.1 传统冶铸技术的衰退期	41
2.8.2 清代: 近代钢铁冶金技术的确定	44

第 3 章 我国古代铁冶技术及成就	49
3.1 炼 铁	49
3.1.1 陨铁、块炼铁和生铁	49
3.1.2 矿石和熔剂	55
3.1.3 燃料——木炭、煤、焦炭	57
3.1.4 鼓 风	59
3.1.5 炼炉构造及砌筑	62
3.1.6 炼炉操作及产品	65
3.1.7 坩埚法	70
3.2 炼 钢	75
3.2.1 块炼铁渗碳钢	75
3.2.2 铸铁脱碳钢	76
3.2.3 炒 钢	77
3.2.4 灌 钢	81
3.2.5 百炼钢	84
3.3 成型与加工	87
3.3.1 铸 造	87
3.3.2 锻 打	91
3.3.3 拉 拔	94
3.3.4 钢“铁”复合	95
3.4 热处理	96
3.4.1 铸铁柔化术	96
3.4.2 钢的淬火	98
3.4.3 渗碳处理	100

第 4 章 铁矿石及古人的矿物观	102
4.1 古代对铁矿物的称谓	102
4.2 古人对铁矿石的认识	105
4.3 古代铁矿的找矿、采掘方法	106
4.4 我国古代的铁矿分布	108
4.5 我国古代的煤炭开采	117
第 5 章 体制、法规和生产关系	120
5.1 春秋战国时期	120
5.2 秦、汉时期	122
5.2.1 铁冶官营和铁官的设置	122
5.2.2 盐铁会议及《盐铁论》	125
5.3 魏晋南北朝时期	126
5.4 隋、唐、五代时期	129
5.5 宋 代	130
5.6 元 代	132
5.7 明 代	134
5.8 清 代	137
第 6 章 对外传播与交流	141
6.1 对朝鲜和越南的影响	141
6.2 对日本的影响和相互往来	143
6.3 对西亚、欧洲的影响与相互往来	145
6.4 对印度和克什米尔地区的影响与相互往来	147
6.5 对其他国家的影晌及贸易往来	148

第7章 铁文化集萃	151
7.1 山顶洞人与赤铁矿粉	151
7.2 中西冶神与两种铁文化	152
7.3 万里长城与“上帝之鞭”	155
7.4 皇帝玉玺与王侯金印	156
7.5 龟兹与铁冶	158
7.6 曹操、嵇康和刘宗敏	159
7.7 试为俄语 чугуn (生铁) 寻根	161
7.8 两首咏剑诗	164
7.9 冶铁四古人	167
7.10 并州铁剪与济南针铺	170
7.11 铁钱与铁券	172
7.12 千年沧桑说铁塔	175
7.13 挂一漏二话铁桥	179
7.14 铁狮、铁牛、铁剑与铁柱	184
7.15 铁佛、铁人与铁釜	189
7.16 铁农具缘何铸铭文	193
7.17 诗人笔下的冶铸与冶铸中的哲理	196
7.18 炒钢、灌钢与转炉炼钢	197
7.19 细说锻铁业行规、行俗	199
7.20 漫话古代铁兵器	202
7.21 涉“铁”地名古今谈	206
7.22 含“铁”词语何其多	209

第 8 章 明代以后我国科技何以落后于西方之探析·····	212
8.1 几种因素对科技发展的负面影响·····	212
8.1.1 儒学和科举·····	212
8.1.2 阴阳五行说与天人合一论·····	215
8.1.3 妄自尊大与闭关锁国·····	220
8.1.4 手工行业的陈规陋习·····	222
8.2 15 世纪以后中西科技发展的不同路径·····	223
参考文献·····	229

第 1 章 铁冶原理及古今铁冶流程比较

金属的冶炼和应用是人类从蒙昧走向文明的转折点。

铜由于熔点低、易还原，因此成为最早被人类认识和广泛应用的金属。经过漫长的铜器时代，人类学会了从铁矿石中提取铁，进而步入铁器时代，铁器的使用是人类文明的又一重大进步。

人类最早使用铁器约在公元前 14 世纪至公元前 13 世纪，西亚“两河流域”^①和埃及最先掌握了冶铁技术，以后逐渐被传入欧洲。但早期的炼铁属于铁矿石固相还原法所谓的“块炼铁”，这种技术在西亚和欧洲一直延续到公元 14 世纪。

我国的铁器生产始于公元前 7 世纪以前的西周。虽然较晚，但几乎在掌握了“块炼铁”技术的同时，就用竖炉炼出了铁水，步入生铁冶铸阶段，且很快开发出铸铁柔化、炒铁成钢、钢材淬火等一系列先进技术。从先秦到明代，我国的钢铁产量和技术水平在世界上一直遥遥领先；以后，由于长期受封建社会制度等多方面因素束缚，才逐步衰落下来。

新中国建立五十多年来，我国的钢铁生产发展迅猛，目前钢铁产量已雄居世界首位。但我们亦应看到，距“钢铁技术强国”还有很长一段路要走。正确地认识自己，看到两千多年来先人所创造的辉煌，同时也看到不足，对今后的发展无疑将是有益的。

正是基于这种认识，作者对我国古代铁冶的技术发展和有关的政策法规、管理体制等方面的资料作了梳理、归纳和分析，见诸笔

^① 指西亚底格里斯和幼发拉底两河流域平原。

端，供大家参考。

论及古代科学技术发展，离不开文献记载和地下发掘情况的介绍。为了便于读者（尤其是非冶金专业的读者）更好地理解这类资料，有必要对钢铁冶炼的原理及现代与古代的生产流程先作以简要介绍。作者认为，站在现代技术的层面上回望古代铁冶，或许能够看得更加清晰。

1.1 钢铁冶金原理

纯铁是银白色金属，质软，有延展性。因其化学性质较为活泼，故在自然界通常以化合态存在。常见的含铁矿物有赤铁矿（主成分 Fe_2O_3 ）、磁铁矿（主成分 Fe_3O_4 ）、褐铁矿（主成分 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）及菱铁矿（主成分 FeCO_3 ）几种。

因铁以氧化物形态存在，故要提取铁，就必须设法“夺走”与其结合的氧。使碳不完全燃烧生成的气体 CO 与铁矿石充分接触，在高温下， CO 即可“夺走”其中的氧，生成气体 CO_2 逸出，铁则被还原出来。所以，碳是炼铁过程中使铁摆脱化合状态的物质——还原剂，它来自木炭、煤及焦炭之类燃料。总体说来，炼铁是个还原过程。

现代炼铁借助高炉来完成，主要原料为铁矿石。如系富矿，经破碎、筛分，即可入炉；若为贫矿，则需经选矿（磁选、重选或浮选）得到精矿粉，经烧结法或球团法造块再加入高炉。高炉属竖式炉，炉料（主要是矿石和焦炭）自炉顶加入，从炉子下部向炉内鼓风，借助鼓风中氧使焦炭燃烧，生成 CO 。此高温的气态 CO 沿炉料空隙上升，与铁矿石接触，在 $600 \sim 1100^\circ\text{C}$ 温域内使铁在固态下部分地还原出来（约占矿石含铁总量的 $60\% \sim 70\%$ ）。此后，随炉料的下降，温度不断升高，矿石逐渐软化、熔融。进入炉子下部后，又进行最终消耗固体碳的所谓直接还原反应，使在上部（借助 CO 间接还原）未及还原的铁最终还原出来。在炉子下部，铁水愈

积愈多，此过程燃料中碳及部分与铁同时还原出来的一些元素（如硅、锰、硫、磷等）也进入铁水，达到一定量后，由炉子下部专设的铁口排出。而炉料带入的其他杂质则变成炉渣，浮于铁水之上，也定期排出炉外。为了促进矿石中非铁成分（脉石）熔化，常与矿石同时加入少许石灰石之类物质，这类物质称为（助）熔剂。

现代高炉借助电动的风机向炉内鼓入高压热风（经预热的空气在 1000°C 以上）。鼓风中氧保证了焦炭的燃烧，由此既为过程提供了热能，又提供了还原剂。

综上所述，铁在高炉内的还原过程，是先在固态下部分还原（间接还原），然后在下部高温区又经液态还原（直接还原），最后形成含碳 $3.5\% \sim 5.0\%$ 的铁水。

由于受过程特性制约，高炉炼出的铁水含碳高且含较多硫、磷等杂质。含碳高使铁水冷凝后性脆，难以制作工具；杂质多无疑也影响其机械性能。研究指出，含碳 1.2% 以内的铁水冷凝后才会既有强度、可塑性而又不脆，所以应设法将多余的碳和杂质除掉。无疑，使这部分碳和杂质元素再氧化掉，即可达到此目的，完成这项任务的工艺就是炼钢。

目前，炼钢生产的主流工艺是采用转炉法。其方法是把铁水注入转炉，然后将氧枪插入炉内铁水，借助氧气流的搅动令氧与铁水中碳及杂质元素充分接触，使其氧化，然后呈炉气及溶渣排出。这样一来，铁水就变成了性能比较适宜的钢。

社会发展对钢材质量的要求越来越高。为使钢更洁净，炼钢厂往往还要采取诸如合成渣洗、钢包吹气、真空处理、钢包精炼等炉外精炼法，对普通钢水进行深化处理。

上面介绍了炼铁和炼钢工艺原理。现代工业用铁按其中碳的质量分数，可分为三种，即熟铁（ $w(\text{C}) < 0.1\%$ ）、钢（ $w(\text{C}) < 2.0\%$ ，通常 $w(\text{C}) < 1.2\%$ ）和生铁（ $w(\text{C}) > 2.0\%$ ，通常 $w(\text{C}) > 2.5\% \sim 4.5\%$ ）。熟铁质软，延展性和韧性好，磁导率高，但使用范围很小；钢是可以通过锻、轧等手段进行塑性加工、以铁为基的铁碳合

金；生铁是含碳和杂质较高的铁，性脆，不能承受塑性加工。机械工业上应用最为广泛的是钢。

在现代冶金工业，钢炼成之后要经轧制、锻造等塑性加工借以成型，制成坯、板、管、棒等钢材。但此过程基本上是物理变化，化学反应很少。

钢的材质不仅决定于其化学成分，还取决于其金相组织。为使钢材的金相组织向期望的方向转化，以满足社会需求，钢材出厂前多需经过热处理。

研究指出，铁、碳两种元素在钢中以不同的方式存在，可以形成不同的组织。这种组织在金属学上叫做“相”。钢中常见的相有铁素体（体心立方结构的铁中溶极少量碳，强度、硬度较低，塑性及韧性好）、渗碳体（ Fe_3C ，结构复杂，硬而脆，无塑性及韧性）、珠光体（铁素体与渗碳体的混合组织）、奥氏体（面心立方结构的铁在高温下存在的相，含碳较高，塑性及韧性好）和马氏体（急冷条件下钢中高温奥氏体形成的一种极硬组织，显微镜下呈针状）。同一化学组成的钢材，在不同加热、保温和冷却条件下，其形成的组织不同，即在条件改变时要有相的转变。不同冷却条件下，会形成不同的相或各相占不同比例，致使其机械性能有明显差别。热处理的实质就是人为创造条件，使钢的材质向用户期望的方向转化。

常见的钢材热处理操作有淬火、退火和回火。

淬火是使钢材经加热、保温后，对其进行快速冷却（一般在水或油中进行），借以提高其强度和硬度、增加耐磨性以及随后的回火过程中获得高强度、高韧性相配合的性能的操作工艺。淬火温度和淬火介质的选择是影响淬火效果的重要因素。

所谓回火，是将淬火后的钢加热到 $723\text{ }^\circ\text{C}$ 以下的某一温度范围进行保温，然后在油或空气中冷却的操作，其目的是减小或消除钢在淬火时产生的内应力，降低淬火钢的脆性，获得较好的韧性与硬度的配合。

退火是将钢材缓慢加热到一定温度并保持足够时间，然后缓慢

冷却的热处理工艺，目的是使经过铸造、锻压、焊接或切削加工的工件软化，改善塑性和韧性，使化学成分均匀化，去除残余应力进而得到预期的物理性能。

在现代冶金企业，经过热处理工序的钢材即可发送给用户使用。

1.2 现代与古代钢铁冶金工艺流程的比较

综上所述不难看出，现代钢铁冶金的主流工艺是按采选、造块—高炉炼铁—转炉炼钢（一炉外精炼）—塑性加工成型—钢材热处理这一模式进行的，其原理是按铁矿石还原——铁中过剩碳及杂质元素再氧化——进一步去除杂质——改善成品材的金相组织几个环节逐步进行的。炼铁所需燃料焦炭由煤干馏获取，转炉用氧由制氧机对空气施行氧、氮分离获得。为降低能耗，高炉冶炼的废气（尚含可燃成分）经除尘后作为燃料重新利用。铁水出炉后热装进入转炉。转炉熔炼出的钢水经连铸工序浇铸成坯，然后根据要求再进一步热轧或冷轧。整个流程中，炼铁、炼钢和轧钢等均设置专用设备，工作有明确分工。

古代铁冶就其涵盖的技术面而言，与现代钢铁冶金差别不大。在我国，包括采矿、矿石选分、竖炉（或坩埚）炼铁、脱碳制钢、钢的精炼及热处理几个环节，有时将烧炭也包括在内。除了“铁冶”，古代还有“冶铁”、“坑冶”、“矿冶”、“冶铸”、“鼓铸”等术语表述钢铁冶金一系列工艺。受科学水平限制，古代炼铁选用的铁矿石，多为易还原的赤铁矿、褐铁矿，也有采用天然铁矿砂及菱铁矿（甚至预先将其焙烧）的记载；但无烧结、球团工艺。炼铁采用的竖炉与现代高炉相比，其工艺原理相同，鼓风采用皮囊（用人力、水力带动皮囊）、风箱等设备，鼓入常温空气。主要燃料为木炭，木炭含硫、磷杂质少，性质稳定；也有采用煤者；明代以后，还有采用焦炭者。炼出的铁水，或直接注入型模制作工件（如农

具)；或先浇铸成块(片)，在需对其进行塑性加工时，经退火柔化处理，再加热锻打，去除多余碳及杂质，使之成钢；或将铁块加热到半熔态，用棍棒搅动，借助空气将铁中碳氧化，从而获得钢。到明代，更出现了竖炉铁水进入方塘，用木棍搅动使其脱碳制钢的方法，相当于现代高炉铁水热装入转炉的工艺。也就是说，古代的炼钢没有专用的大型设备，炼钢靠铸铁中碳的再氧化即脱碳(炒钢法或经可锻退火后再加热锻打)来完成，钢中碳含量的控制借助脱碳和渗碳的密切配合实现。渗碳制钢较原始的方法是工件在木炭火中加热渗碳；较先进的方法是把工件放在陶制或铁制容器中，按一定配方加入渗碳剂(如木炭、锯屑)和催化剂，密封加热使之渗碳。至于钢的精炼，古代没有专门设备，但却有多种方法。如靠工件加热后反复锻打、“千锤百炼”，即所谓“百炼钢”法来实现。工件在反复加热锻打过程中，碳含量得到调节、夹杂被有效去除、组织得以均匀细化使材质改善。还有所谓“灌钢法”，即在高温下将熔融生铁渗淋、灌注或擦入熟铁块的表层，利用碳的扩散使生铁含碳量降低、熟铁含碳量增高，再经锻打成钢。这是个碳的扩展和均化过程，故也可称之为匀碳制钢法^[1]。

此外还有将高碳硬钢与软钢(或熟铁)在高温下锻合，借以获得复合钢材的工艺；用把钢包在刃部外表面，使之“钢表铁里”的包钢技术；“嵌钢于其面”的贴钢技术；把钢夹在刃部当中的“夹钢”技术，等等。通过这些可满足兵器和生产工具、生活用具的需要^[2]。始于宋代的钢铁冷锻技术，可借助加工硬化使铁甲获得更高的硬度，且避免热锻时的高温氧化。总之，历代先人想出了许多方法来满足对钢材质提出的要求。

古代没有相图，古人也不懂金相的显微结构；但远在春秋晚期，我们的先人已开始借助热处理来改变铁制品的组织进而改善材质。

我国古代的铸铁含碳一般为2%~4%。为使这种硬而脆的材料具有可锻性以扩大其使用范围，早在春秋晚期就发明了铸铁可锻

退火法，即将铸铁铸成要求的形状，放在特制的（退）火炉里，经过长时间的加热和保温，使铸铁中 Fe_3C 分解成元素铁和石墨，并脱掉部分碳，从而使铸铁变得有韧性。

钢的淬火和回火技术始于春秋晚期。至战国中晚期，这项技术又有新的发展，汉代以后，更得迅速推广。打造刀剑，都要“清水（淬）其锋”。最初淬火剂只用水，到三国和南北朝时，已开始对淬火剂进行选择。北齐人綦母怀文已掌握在高温区使用尿淬、低温区用油淬，利用尿、油冷却速度不同来消除单用一种淬火剂的缺点，这已与现代的双液淬火相当。

我国古代的铁冶与西亚和欧洲明显不同。在西亚和欧洲，铁的提取只停留在依靠 CO 间接还原获得海绵铁阶段。此还原在固态下进行，故称为“块炼铁”。块炼铁得到的固态团块，要待冷却拆炉取出后，借助锻打使铁聚合成片、排除夹杂。由于铁不可能全部在固态下还原，所以此工艺的铁收率低（排除的炼渣中氧化铁质量分数可高达 50% 以上），且多要炼一炉拆一次，故生产率低、成本高。由于没有液渣出现，生铁的脱硫难以进行，不似高温下的生铁法可借助熔渣脱硫。由于只能靠锻造成型，数量大且形状复杂的工件就难以打造。而我国开发的生铁冶铸法，可直接浇铸出或大或小、各种形状的工件，特别是农具及常用工具，采用的铁范可多次使用，同时用叠铸法，即把许多相同的范层层摞起来，共用一个浇口，则一次可铸得许多工件。两千多年来，我们的先人既用铁铸出了数十吨重的铁狮、铁塔，也铸造了大量流通的小而薄的铁钱。也就是说，古代的东西方冶铁技术是沿不同的途径发展的。如果说西方的早期铁器文化是一种锻铁文化，那么，中国则是一种铸铁文化。显然，后者较之前者要优越得多。

前已述及，现代金属学按碳含量，将铁制品分为熟铁、钢和生铁三大类。值得说明的是，古代也有这类术语，但古今含义不完全相同。古代没有含碳量的概念，往往把可承受塑性加工的铁碳合金，不论其含碳量高低，统称为熟铁；把硬而脆、不能锻打成型的

铁碳合金称为生铁；而把可以淬火硬化的铁碳合金（一般说来其含碳量适中）称之为“钢”或“钢铁”、“刚铁”。现代概念的熟铁（软钢）也称“熟铁”。这一点在阅读文献时，应予注意。