

中华铁冶志

姜茂发 车传仁 著



NEUPRESS
东北大学出版社

中华铁冶志

ISBN 7-81102-165-X



9 787811 021653 >

ISBN 7-81102-165-X 定价 18.00元

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 and 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 对其他国家的的影响及贸易往来	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°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，然后根据需要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；用把钢包在刀具刃部外表而，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（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擦起来，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。

第2章 历代铁冶简况

在人类历史的发展进程中，冶铁技术的出现和发展起过重要的作用。正如恩格斯所说：“它（指铁）是在历史上曾起过革命作用的各种原料中最后和最重要的一种原料……铁使更大面积的农田耕作、开垦广阔的森林地区成为可能；它给手工业工人提供了一种极其坚固和锐利、非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具。”（恩格斯：《家庭、私有制和国家的起源》）

我国的冶铁技术始于西周晚期，较之其他文明古国，要晚几百年；但我国几乎在块炼铁技术出现的同时或稍晚，就出现了生铁，使我国的冶铁技术后来居上。一系列辉煌的发明和创造构成我国具有自己民族特色的钢铁冶金发展史。

从远古到近代，我国冶铁技术的发展经历了几个阶段，这与我国社会文明的进程相一致。下面就各阶段的铁冶发展状况作以简要介绍。

2.1 西周晚期（公元前 771 年以前）

本时期或此稍前是我国冶铁技术的诞生期。

早在公元前 14—前 13 世纪，我国先民就已使用铁。1972 年，河北藁（gāo）城出土了商代中期的铁刃铜钺，经检验，铁刃中镍的质量分数在 8% 以上，表明是陨铁经加热锻打成型后，与钺体铸接的。20 世纪，在北京、河南还有几起类似的发掘。

陨铁的外表与某些铁矿石相像。铁刃含镍高，性能远胜青铜。

它的屡被使用可能成为我们的先人寻找铁的出处、探索其冶炼加工方法并导致冶铁术发生的一个动因^[1]。

关于人工冶炼的铁在我国最早何时出现、出自何处，20世纪史学界一直没有定论。截至20世纪70年代末，所发现的最早人工冶炼的铁，是江苏六合县出土的春秋晚期的铁条和铁块^[2]。经检验，铁条由块炼铁锻成，而铁块是白口铸铁。这一事实表明，块炼铁和生铁这两种冶铁技术在我国可能大体上是同一历史时期发展起来的。20世纪60年代有学者指出，由于我国商周时期青铜冶铸技术的高度发达，“铸铁、锻铁有可能在若干地区同时或稍有先后地产生（大体上在同一历史时期）。迄今为止，考古发掘和实物验证似乎是进一步证实着这种看法”^[1]。这一看法在30年后得到了验证。1990年，考古工作者在河南省三门峡上村岭的虢（guó）国墓地进行再发掘，发现了一件西周晚期的玉柄铁剑，其铁刃据分析为人工冶炼——固体还原法——制成，同时还出土铁刃铜戈一副，铁工具三件^[3]。三门峡与江苏六合的发掘清楚表明：①最迟在西周晚期，我国中原文化区已掌握块炼铁技术；②最迟在春秋晚期，我国中原文化区已掌握了生铁冶铸技术，生铁法在块炼铁出现之后最多不过三百年左右。


在西周或稍后的古代遗址发掘出铁器，并不限于三门峡。1979年在甘肃省永昌三角城沙井文化（公元前1150—前680，西周一春秋早期）遗址中，发现了凹型铁锄（钁刃）；1980年又在甘肃永登榆树沟出土一批沙井文化时期的铁器。而1977年在甘肃省灵台县则出土了春秋时代的铜柄铁剑，剑长37厘米，铁剑叶焊接在铜柄上，分析推断材质为块炼铁渗碳锻造的中碳钢^[4]。这表明，即使在距当时我国政治中心较远的地区，制铁也已不是稀罕事。

至于我国最早何时出现生铁，目前尚无确切说法。虽然现在还没有西周时铸铁器物出土，但学术界多数人认为，西周出现生铁是完全可能的。20世纪70年代在河南洛阳出土的春秋战国之交一件铁铤，经鉴定铸态为白口铁，经过退火成为表面脱碳的铸件。可以

推想，在交通不发达且几乎没有传媒的古代，以当时的科技水平，要从炼得生铁、铸成器件，进而采用加热退火的方法对铸铁件进行柔化处理，必然需要一个摸索和试验改进过程。因此，可以断定，我国生铁的最初出现当比公元前5世纪更早^[5]。

我国早在东周以前就发明了生铁冶炼法，与我国青铜制造技术发达有直接关系。早在殷商时期就造出了875公斤的司母戊鼎，当时的炼铜炉直径已达1米左右。我国古人用火经验丰富（北京猿人在50万年前已经用火），为炼铜创造了条件。而早期使用的铜矿多与铁矿共生（如湖北铜绿山、甘肃陈家庙、云南大红山等铁铜共生矿目前尚在开采），且有些铁矿石其外观与铜矿石相近，所以炼铜过程铁矿石很易有意或无意被带入炉内。春秋早期，铜绿山的炼铜炉渣含铁极高（有的氧化铁质量分数高达40%），原因可能就在于此。随着技术的发展，炼铜炉逐渐加高加大，炉料得以充分预热，炉温逐渐升高，混入的铁自然也同样从矿石中还原出来。还原出来的固态铁会从炉内吸碳，此渗碳反应且随温度升高而加快；同时吸碳后铁的熔点随之降低。当碳的质量分数达到2.0%时，熔点降到1380℃；碳的质量分数达到4.3%时熔点最低（仅1146℃），所以在炉温达到1200℃以上时，铁就可能熔化成铁水。在铜绿山遗址附近曾出土铜锭（其中铁的质量分数达5.44%），也正说明在我国古代是先从炼铜炉炼出了铁水。这也就是炼铁竖炉很早就诞生在我国的物质条件和技术原因。

在我国古代传说中，炼铜、炼铁经常相提并论，会炼铜的也会炼铁，也说明了铁和铜的历史渊源^[6]。

至于最早人工冶铁诞生何处，目前学术界尚无定论。范文澜认为：“铁字古文作，当是东方夷族最先发明冶铁技术，为华族所采用”（《中国通史简编》修订本第一编）。距西周不算很远的西汉，在全国设铁官49处^①，其中今山东和苏北计14处，可见古夷人所

^① 在汉代，铁官既是官职，也是从事冶铁及铁器经营的机构，类当今之冶金工业局。

居地域冶铁之盛，故认为铁冶为夷族发明当属情理中事。但对此有人提出异议，认为“鐵”作“鎮”，说明“夷”与“鐵”字的右偏旁（古代也是个汉字）在古代可能有某种音义关系，不足以证明冶铁是东夷人的发明^[7]。有人根据前述的从铜、铁共生矿最早炼出铁水的观点，认为生铁冶铸当源于今湖北铜绿山一带，即古代的楚国。更有日本学者认为，中国的铁器文化应有两个发源地：一是华北，一是今湖北、河南一带。理论依据是：中国北方的铁矿多为火山岩系的磁铁矿、赤铁矿，熔点高，难还原，所以早期北方的铸铁可能来自坩埚法。华北地区有丰富的煤炭资源，可为坩埚法提供外部热源。另一方面，河南、湖北（古代楚国）水成岩系铁矿石多，这一地区的赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿和砂铁（砂状铁矿石）等比北方的磁铁矿熔点低、易还原，所以这里的生铁可能是由已成功炼铜上千年的竖炉炼出来的^[8]。

上面介绍的是中原文化区的情况。其实，我国新疆地区早在商代晚期至西周早期就已炼出了铁。1981年，在哈密地区焉不拉克墓地出土7件铁器，包括刀、剑和戒指各1件，残铁器4件。刀、剑、戒指皆相当于西周早、中期以前，其中铁刀距今 3240 ± 135 年（树轮校正），相当于商代晚期^[9]。此外，在乌鲁木齐、和静、轮台墓地也出土过相当于中原西周至春秋时期的铁器多种^[2]；1958年在新疆龟兹（今库车）冶铁遗址发现汉代炼铁的坩埚、矿石、炼渣、风管等^[10]。联想到甘肃西周一春秋时期多处发掘以及坩埚法在近现代还在山西、山东、河南和辽宁等地区应用，可以认为，日本学者的“二源说”亦不无道理。

2.2 春秋战国时期（公元前771年—前221年）

春秋战国时代是我国从奴隶社会过渡到封建社会、由铜器时代过渡到铁器时代的历史时期。这个时期，矿产得到广泛的利用，铁冶受到高度重视。当时社会处于大变革、大改组态势，群雄并起、

百家争鸣，文化和技术空前发展，是中华古代文明发展的鼎盛时期。这个时期冶铁业兴盛，铁器分布广泛。北起今辽东，南至今湖南、四川，包括当时齐、楚、燕、韩、赵、魏、秦七国的主要地区，都有铁器出土，说明铁冶已颇发达。据成书于战国时期的《山海经·五藏山经》记载，产铁之山有三十四处，分布在今河北、山西、山东、河南、湖北、湖南、陕西和四川等省，而以河南、陕西为最多。据文献记载，至今仍在生产之中的山东金岭铁矿、河北邯郸铁矿、辽宁鞍山铁矿，当时均已开始采掘冶铁^[11]。

春秋以后，我国的农业生产水平得到空前提高，其标志就是铁器的使用和牛耕的普及。

随着冶铁的出现，经济发展的速度加快。春秋中期以后，使用铁器的情况已经较为普遍。据《左传·昭公二十九年》记载，周敬王七年（公元前513年），晋国铸造了一个铁质刑鼎，把范宣子（晋国的一个卿）所作的刑书铸在上面，用铁四百八十斤，是作为军赋向百姓征收的。这件事既说明当时铁在晋国已普遍存在^[12]，又说明当时铸造技术之高，已能铸有铭文的大型铁器。成书于西汉的《管子·小匡》引齐相管仲的话说，铁是“恶金”，只能用作农具及木工工具；铜是“美金”，用于打造兵器。据此推测，在管仲为相的春秋时代，在冶铁兴盛的齐国，铁已不是珍贵之物；但也说明由于铁器问世时间短，铸造退火柔化技术尚未普及，铁因性脆易折，还不能大量用作兵器。1976年，湖南长沙杨家山65号春秋晚期墓掘出一个铁鼎，经鉴定为白口铸铁^[13]，也间接表明当时热处理技术尚不甚普及。

春秋时期，由于铁农具的普及，牛耕已普遍发展起来。这在该时期文献中已多有记载，如《国语·晋语》（九）中说：“夫范、中行氏（此二人均为晋国的卿）……今其子孙将耕于齐，宗庙之牺，为畎（quān）亩之勤”，意思是原来用作祭品的牛，现在让它在田间干活了。又如，古人往往有本名和别名，别名叫做“字”，是根据本名的字义而取的。孔子的弟子冉耕，字伯牛；司马耕，字子

牛。牛与耕的字义既然相连，也是牛用于耕的证明^[14]。

铁器和牛耕的使用，是春秋时期社会生产力发展的重要标志。

春秋时期，冶铁技术的另一大进步是出现了钢。

1978年，甘肃省灵台县景家庄1号墓出土铜柄铁剑一把，年代为春秋早期。1976年，湖南长沙杨家山65号春秋晚期墓出土钢剑一把（图2-1），通长38.4厘米，经金相考察，其中碳的质量分数为0.5%~0.6%，为中碳钢，剑身断面可以看出反复锻打的层次，并经过了退火处理^[13]。这些出土与史籍记载恰相印证。

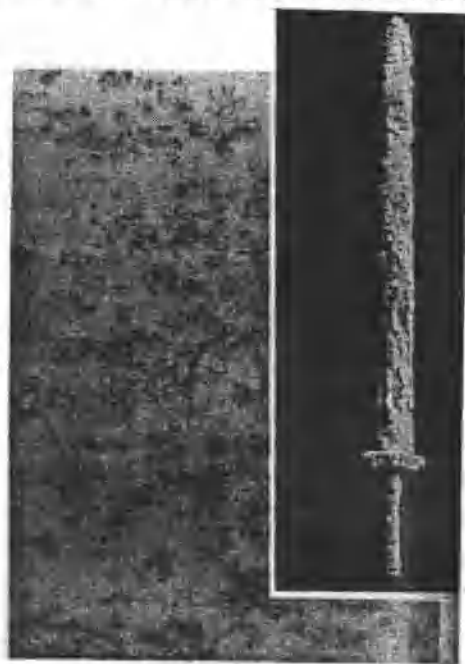


图 2-1 春秋晚期钢剑

左：金相组织：铁素体和粒状碳化物

右：剑体（湖南长沙出土），为我国已发现的最早钢兵器

据《吴越春秋》记载，吴越是最先发明炼钢的地方。造铁剑成功的人，在越有欧冶子（春秋末期人），在吴有干将及其妻莫邪（yé）。欧冶子曾为越王铸作铜剑五柄。他还应楚王之邀，与干将一起制作铁剑三柄，名为龙渊、泰阿、土布，剑身皆有花纹。干将“采五山之铁精、六合之金英”以铸铁剑，三月不成，莫邪“断发剪爪，投入炉内，使童男童女三百人鼓囊（tuó，皮囊）装炭，金铁乃濡，遂以成剑”，制成的两柄剑分别称“干将”、“莫邪”。剑身均有花纹，干将剑“作龟文”，莫邪剑“作漫理”（水波纹）。《吴越春秋》成书于东汉，所以这个传说在一定程度上反映了战国和两汉时代的制作工艺，但吴越擅造刀剑则是可信的。《战国策·越策》载赵奢的话说：“吴干之剑，肉试则断牛马，金试则截盘匱”（匱，yí，舀水用器，状如瓢）。剑如此锋利，说明当时已掌握炼钢和热处理技术。

我国古代炼钢的方法有两种：一是以块炼铁渗碳成钢，二是生铁脱碳法制钢。把块炼铁放在炽热木炭中加热、表面渗碳，然后锻打使碳渗入内部即可得渗碳钢。河北易县燕下都出土的钢制品就是锻成的。另一方法是块炼铁配入渗碳剂及催化剂，密封加热使之渗碳成钢，俗称“焖钢”。《吴越春秋》所载干将夫妇所炼制的钢当属这类渗碳而得的焖钢。但如确曾“金（指铜）、铁乃濡，遂以成剑”，说明炉子既能炼铜又能炼铁，倒也反映了炼铁炉起源于炼铜炉。干将夫妇的剑是使铸铁经退火柔化处理再锻打并进一步脱碳才打造出来的。当然，如控制得当，出炉铁水含碳不高，冷凝后直接锻打亦可。

战国时期社会经济有了显著发展。这一阶段，生铁农具的使用更为普及。河北石家庄市庄村战国遗址出土的各式铁农具占各种农具的65%，说明起码在部分地区，铁农具在农业生产中已占主导地位。云梦秦简《司寇律》有关于城旦春毁坏铁器的处罚，《厩苑律》有关于借用铁农具损坏了不令赔偿的条文，反映国家掌握了一部分铁农具并出借给贫苦农民。铁农具的较普遍使用，可以为农业

提供坚硬、锐利的工具，有利于大量垦荒、深耕细作、改良土壤。战国时期牛耕得到进一步推广。都江堰、郑国渠等大型水利工程兴建起来，灌溉农田收到实效^[15]。此外，1953年从辽宁鞍山地区战国遗址出土锄、镰、铤、锛、铲多种农具和锅等铁制品，说明这一时期边远地区也已使用铁器。

冶铁业是最重要的手工业部门，迄今出现的先秦铁器，大部分是战国中晚期的制品。考古发现表明，在采用竖炉法炼铁时，风利用囊经风管鼓入炉内，铸造用陶范和铁范，冶炼燃料为木炭。囊用于鼓风，有时是用一排皮囊以提高风温。与冶炼设备的进步相同，冶炼技术较春秋时期也有明显提高。

近年来出土了大量战国时期的手工工具，如铤、斧、锥、凿和锤等，种类繁多，几乎遍及全国。铁冶和手工工具的普遍使用也促进了手工业的发展，使之门类更为齐全，技术更为进步。

在与冶铁密切相关的采矿业，此阶段铁工具也逐渐取代了铜工具而占主导地位。

战国时期，各国为富国强兵、争霸天下，都注意冶铁和兵器生产。楚国宛地（今河南省南阳地区）冶铁业繁盛。秦昭王曾夸赞楚国铁剑锋利并对此颇为忧虑：“吾闻楚之铁剑利而倡优拙。夫铁剑利则士勇……吾恐楚之图秦也”（《史记》卷十九《范雎传》）。楚之邻国韩则出宝剑最多。河南西平县有冶炉城，有棠谿村，都是韩国著名的铸剑处。西平有龙渊水，淬刀剑特别坚利，称为龙渊（泉）之剑。20世纪50年代以后，我国考古工作者断断续续对该地区进行了发掘和考察，发现在今舞钢市、西平一带计有铁矿30个，矿石储量至今尚有6亿吨以上，并发现冶铁遗址8处。在棠谿河畔一遗址发现大量铁滓和木炭，炼炉保存完好，长方形炉底以砂、黏土及木炭粉混合物打结，在三座炼炉炉底内发现了铁块，其重达65公斤。铁渣为褐色或灰绿色玻璃渣。在舞钢地区赵村一处就发现炼炉4座。另外考察得知，有名的“龙泉宝剑”出自今舞钢市龙泉河下游的翟庄^[16]。

除了铁造兵器外，战国时期护身的铁甲也已出现。《吕氏春秋·贵卒》载：“赵氏攻中山（一个小诸侯国），中山之人多力者曰吾丘鸠，衣铁甲，操铁杖以战，而所击无不碎，所冲无不陷”。1965年在河北易县燕下都出土了战国铁胄^[15]（作战时防护头部用，图2-2），表明这一时期军需用铁可谓甲胄俱全。



图 2-2 战国铁胄

冶铁这一新兴的金属冶铸业，始于春秋末期，到战国时期有了很大发展。《管子·地数》中说“天下出铜之山四百六十七山，出铁之山三千六百九山”，数字未必准确，但铁矿比铜矿多、铁矿含铁比铜矿含铜更高，这是显而易见的。所以冶铁之法一旦为先民所掌握，必然迅速发展起来。此外，在叙述某山的各种资源时，当时文献中常有“其阳多铜、其阴多铁”的提法。《管子》中还说“上有赭者，下存铁”，说明当时已掌握通过辨认矿苗来找矿的方法。

20世纪50年代以来，我国各地出土了大量战国时期的铁器，

既有农具也有兵器和手工工具。此外，还有铸造用的泥范和铁范。化验结果表明，当时我国各地的冶铁发展不很均衡。有的地方出土物质地较软的块炼铁，多数出土物则为生铁制品，说明生铁冶炼在中原文化区已成为主流。可贵的是，对块炼铁，我们的先人学会了加热锻打渗碳成钢之法；对生铁，则掌握了退火柔化再锻打成钢技术。先人从春秋时期就掌握了钢的淬火工艺，打造出“陆断马牛、水击鹄雁、当敌即斩”的优质刀剑，较之欧洲在冶炼和热处理领域都要超前千年以上，表明当时我国铁冶技术在世界雄居领先地位。

西周时期，手工业主要是由官府控制经营的官手工业。春秋战国时，官手工业仍占首要地位，但也允许私人经营，政府收税。官手工业有国、郡和县三级，组织严密，内部分工师、丞和工三级。官工是官手工业的主要生产者，身份是官奴。《国语·晋语》云“庶人食力，工商食官”，可见当时的“工”、“商”均为官府豢养的奴隶，身份低下且需世守其业。战国时官手工业的生产者，除大量官奴和刑徒，也从民间征发工匠服役，另外还有民间雇来的“佣客”。

私人手工业中，经营者除了从农业分离出来的小生产者，还有一些大的工商主。这些手工业者经营范围主要是冶铁和煮盐，其中很多人依此成为巨富。

2.3 秦、汉时期（公元前 221 年—公元 220 年）

秦汉是我国古代冶铁技术全面发展时期。

战国以后，中国进入秦代。这是个短命但很重要的朝代。它是中国历史上第一个真正统一的封建王朝，奠定了此后两千多年中国封建社会的政治基础，对中国古代历史的发展产生了巨大影响。但繁重的徭役、沉重的赋税和残酷的刑罚，使广大农民无法生活下去，引发农民大起义，最终导致又一个地主阶级统治的西汉王朝诞生。在秦末农民战争中壮大起来的刘邦政治集团于公元前 202 年建

立汉朝，定都长安，史称西（前）汉。汉初采用休养生息政策，使社会经济得到进一步巩固。至汉武帝时，统一的多民族的封建国家得到进一步加强。西汉后期，随土地兼并愈演愈烈，社会矛盾日益尖锐，公元23年，王莽改制随农民大起义而失败。公元25年，刘秀重建汉朝，定都洛阳，史称东（后）汉。由于东汉末年对农民进行残酷剥削，引发公元184年黄巾起义，使东汉政权岌岌可危；公元220年，曹丕建魏代汉。

前已述及，冶铁业在战国时期取得重大发展。秦统一全国后，为了消除靠开矿冶铸发展起来的豪族势力，同时也为调整布局，将东部一些冶铁业者迁徙到边远地区。但这些善于经营的手工业者，又在新的矿产地区发家致富。这样就使冶铁技术和铁器在全国广大地区得到了传播和使用。考古发掘表明，当时的农具和工具已以铁器居多，其种类较战国时有所增加，尺寸有所加大，工艺进一步成熟。例如，秦始皇陵出土的全铁犁铧，较之战国时的木铧，易于起土带垅，功效大为提高^[17]。

考古发掘判明：西汉初期，铜、铁兵器经常同时出土；武帝以后，铁兵器便占主要地位；到东汉时期，主要兵器已全部为铁制，而且比西汉更重更大。例如，四川金堂焦山东汉初年崖墓出土一件铁矛，头长达84厘米；洛阳烧沟东汉末年墓中一件铁斧，斧身长16.3厘米，柄也是铁制的；日常生



图2-3 汉代齿轮
(河北武安汉墓出土)

活用品和机械构件，也逐渐为铁制品所取代，如灯、釜、炉、剪、刀以及齿轮（图2-3），都在西汉中期开始出现。图2-4为1967年陕西咸阳窑店出土的西汉铁制耕犁翻土器（犁镜），其形似竖置的

马鞍，两翼向后延展，下部前端有突尖，设计合理，铸造精巧，表明当时农具已达到相当完善的程度^[18]。



图 2-4 西汉犁铧（上）及东汉牛耕画像石（陕西米脂出土）

在汉代，为了使统一的度量衡器经久耐用，大都使用铜质或铁质材料制作，这样也有利于测量的准确。图 2-5 为 1968 年河北满城汉墓出土的铁权（秤砣）、错金铁尺和铜量。

冶铁业的发展和铁农具的广泛传播，为水利工程兴修创造了有利条件。秦统一后，除继续沿用都江堰、郑国渠等外，还修筑了灵渠、秦渠等工程。



图 2-5 汉代铁权、错金铁尺、铜量

西汉统治者出于自身消费需要，大力发展官营工商业。同时，汉初实行“无为而治”的休养生息政策，亦放松了对私营工商业的控制。“汉兴，海内为一。开关梁，弛山泽之禁，是以富商大贾周流天下，交易之物莫不通”（《史记·货殖列传》）。在手工业中，冶铁业占有重要地位，西汉的冶铁技术和铁器种类、数量和质量，较之秦代均有重大进展。20 世纪 50 年代以后，河南、山东和江苏等地发现了许多汉代冶铁遗址。其中以河南巩县铁生沟遗址为最大，共有：炼炉 8 座，锻炉 1 座，退火脱碳炉 1 座，洪范窑 11 座，多种用途的长方形排窑 5 座。郑州古荥镇遗址有一座最大的炼铁炉，估计炉容近 50 立方米，遗址除发现木炭外，还掘出原煤和煤饼，这是中国历史上最早用煤的遗存。各地出土的汉代铁器很多，金相鉴定表明，铁器中有黑心可锻铸铁（欧洲 18 世纪才出现）。特别是巩县铁生沟出土的一件铁铎（jué，即铎）中发现了球墨形态存在的

碳，而欧洲直至 20 世纪 40 年代才出现球墨铸铁。

就铁的生产而言，从遗址出土和文献记载来看，汉代已经掌握了白口铁、麻口铁、灰口铁和白心韧性铸铁、墨心韧性铸铁的生产，这标志着我国的炼铁技术已进入成熟阶段。

前已提及，铁生沟遗址发现一座低温炒钢炉。所谓炒钢法，是将出炉后冷凝的生铁加热成半液态进行搅拌，借助空气及添加的铁矿粉中的氧对生铁进行脱碳，以获得熟铁或钢，再在炭火中加热锻打，使之渗碳成钢。

生铁由于质脆，直接使用受到限制。靠此前已有的退火柔化处理毕竟生产率低，炒钢技术问世后，则可使冶铁业及时地向社会提供大量质优价廉的熟铁和钢，满足社会生产和生活需要，也促进了铁兵器取代青铜器的进程。西汉抗击匈奴骚扰的战争往往一次大战役动用兵力达 10 万~20 万人，铁兵器需求量十分巨大，故炒钢法也随着大规模战争的需要而得到发展。炒钢法的出现，在炼钢史上也是一项重大的技术进步^[19]。

西汉后期炒钢技术的发明，还促进了钢精炼技术——百炼钢工艺——的发展。

百炼钢工艺是在块炼铁渗碳钢工艺基础上发展起来的。在块炼铁渗碳钢的实践中，人们发现加热锻打的次数增加后，钢件变得更坚韧了。因此，很自然地把这种反复加热锻打操作开展起来。西汉后期炒钢的发明为百炼钢提供了优质熟铁和炒钢，促进百炼钢工艺进入成熟阶段。1974 年，在山东苍山县东汉墓出土了三十炼（即高温下反复折叠锻打 30 次）环首钢刀；1978 年，在江苏铜山汉墓出土了一把东汉“五十谏（炼）”钢剑。经鉴定，都是以炒钢为原料经反复加热锻打而成的^[20]。

前已述及，冶铁业在战国时主要为官营，但也有少量私营。秦代在商鞅变法后置铁官，把冶铁业全部收归官营（著名史学家司马迁的先祖曾为秦铁官）。西汉初期，各地冶铁业多被控制在诸侯王及富商手中。汉武帝时期，为解决财政危机、抑制商人势力，在各

地置铁官（计49处，以今山东、河南、江苏和陕西居多）垄断全国冶铁业，并实行专卖政策。

东汉初期，承袭西汉制度，冶铁业仍由国家专营，在全国设铁官34处，分布地区基本承袭前代。但豪强地主势力强大，私设工场自造铁器，官府难以禁止。章和二年（公元88年）和帝即位，宣布盐铁开禁，此后各地冶铁业多为豪强地主私营。20世纪，东汉铁器出土地点远比西汉多，除北方外，今江浙一带也多有出土。铁除用于铸造农具，主要兵器已全为铁制，各种铁制生活用品在南北各地也多有发现，说明铁器的使用已遍及各地及各个生活领域，铁的总产量比此前大为增加。铁需求量增加又推动冶铁技术进步。东汉初年，南阳太守杜诗推广利用水利鼓风的水排代替人工鼓橐，“用力少，见功多，百姓便之”（《后汉书·杜诗传》），这比欧洲要早1200年以上^[19]。

2.4 魏晋南北朝时期（公元220—589年）

魏晋南北朝是个社会动荡但冶铁技术有所发展的时代。

在这战乱频仍的三百多年间，中国进入空前的民族大融合时期。许多少数民族进入中原地区，阶级与民族矛盾日益突出，朝代更替十分频繁，民族融合促进了北方经济的恢复和发展。另一方面，北方人民的南移又使江南经济有了迅速发展。这一时期我国对外经济、文化往来十分频繁，为隋唐的统一和经济、文化的繁荣奠定了基础。公元581年，杨坚夺取北周政权，定都长安，隋王朝开始。公元589年，隋克建康，结束了纷争局面^[21]。

从东汉末年起，由于战乱和外族入侵，社会经济遭到极大破坏，手工业普遍衰落下去，一些手工业工人流散各地，社会用铁很感紧张，甚至连制造刑具的铁都感不足。据《汉书·食货志》载，汉代“敢私铸铁器煮盐者，鈇（dì）左趾”，且“钳在颈，鈇在足，皆以铁为之”（钳为脖子上铁链，鈇为脚镣）（《汉书·陈万年传》）颜

注)。东汉末年，曹操修改为“犯欬左右趾者，易以木械”，“是时乏铁，故易以木焉”。由于缺铁，在东汉中期已经废止了的官铁冶，到了三国魏晋时期又恢复起来。曹操在平定冀州后，首先在河北设置了冶铁机构，任命王修为司金中郎将，强调“以盐铁之利足贍军国之用”；魏积极推广“水排”冶铁，恢复和发展了铁业。西蜀也有司金之官；东吴在产铁地区设冶令、冶丞管理，大力开采长江中下游铜铁矿。黄武四年（公元225年），孙权采用武昌山铜铁铸造剑千口、刀万口。又丹阳郡（今南京一带）“山出铜铁，自铸甲兵”。西蜀建有较大的冶铸作坊，自汉代以来，“蜀刀”一直在全国有很高地位，诸葛亮在斜谷口一次铸刀三千口。可见，三国鼎立时，各自的冶铸业都有长足发展。

西晋时，在产铜铁之处皆置冶令，全国共三十九冶，冶户有5350户之多。除梅根（今安徽贵池）、冶塘（今湖北武昌）外，余均在江北。

东晋时，扬州成为冶铸中心，其属下有梅根、冶塘二冶，皇室控制的尚方（主管兵器生产的机构）也有冶所掌工徒鼓铸。成帝咸康中，许多百姓为逃避赋役剥削，“乃以海道入广州，刺史邓岳大开鼓铸，诸夷因此知造兵器”（《宋书·百官志》）。当时，炼钢技术尤有提高。

东晋南朝时期，冶铁业仍以官营为主，中央设置主管采冶的官吏，地方官府也有经营冶铁的。

南朝时期，南方经济在东晋基础上又进一大步。在铁冶方面，水排得到推广；在无水处还开发了以人鼓排的“步冶”。此时灌钢技术在南方得到发展。这种方法可能始于东汉，但在此时得到推广。陶弘景说，灌钢“杂炼生（生铁）𦔁（熟铁）而成”，这种工艺，工费俱省，质量也好。南朝钢铁生产的规模很大。史传所及“传屯邸冶”，其中“冶”即鼓铸场所，南朝已很普遍。梁武帝时，曾用数十万斤铁器堵浮山堰决口（《梁书·康绚传》），表明南北朝时期长江流域冶铁业已具相当规模。

当时处于北方的北魏，在孝文帝实施一系列改革之后，手工业也由恢复而发展。随冶铁技术发展，以锻代铸器物增多，兵器、铁甲及车马具等主要已用锻铁制造。考古发掘表明，此时用锻铁制造的器物，其数量之多、质量之高，都超过了魏晋时期^[14]。铁制手工工具很多，也很进步，这是兴修土木工程和水利工程的重要条件。北魏在公元507—509年进行的褒斜道工程，比魏晋时期进行的同一工程规模要大得多，这与铁工具的大量使用密切相关。此时随佛教的传播，北方开始大规模开凿石窟寺，属于北魏前期的最具代表性的石窟有大同的云岗石窟，北魏迁都洛阳后有洛阳的龙门石窟。云岗石窟造像三万余尊，最大者高达17米，对这样浩大工程的完成，铁工具的增多和材质的改善，无疑起到决定性作用。

北魏后的北齐也广泛在各地设官冶铁。今山西地区就有武安（沁水县）、白涧（阳城）、晋阳、原仇（孟县）等处均有铁冶，当时山西已成为国内冶铁的主要地区^[22]。

北朝也很重视钢的生产。东魏、北齐间（公元550年前后）的綦母怀文，把生铁烧化，浇到称为“柔铤”的可锻料铁上，经几宿即得到钢，可见其实质也是“灌钢”。綦母怀文称这种钢为“宿铁”，用以打刀，并用动物油脂和尿溺淬火，使刀锋利得能斩甲三十札。用油脂和尿来淬火，是因为脂、尿与水的冷却速度不同。联想到三国时期，蜀国的蒲元为诸葛亮铸刀时，选用成都所取江水而不用他处杂水，也是意识到淬火用水的选择将影响淬火效果，可见魏晋南北朝时期，在钢铁热处理方面进步很大。

这个时期炼钢方面的又一成就是“百炼钢”技术的完善和推广。由于战事不断，社会上对兵器质量要求越来越高；另一方面，这种社会需求又成了贵族士大夫阶层的时尚，所以“百炼钢”技术应运而生。

如前所述，百炼钢是在块炼铁基础上发展起来的。炒钢技术发明后，其原料则转为生铁。山东苍山出土的东汉钢刀为“三十炼”，到东汉中南平年间出现了有“百炼清刚”（意即百炼清钢）铭文的百

炼钢刀。三国时期，百炼钢屡见记载，曹丕《典论》说：“选兹良金，命彼国工，精而炼之，至于百辟”，炼得的宝刀、宝剑“色似彩虹”、“理（纹理）似坚冰”。西晋刘愔所制刀剑，能切断悬挂在发丝上的十三根稻芒而丝不绝。《晋书·赫连勃勃载记》也有关于大夏制百炼钢刀的记述，说明不但“中原文化区”，连少数民族地区也掌握了这项技术。自晋人刘愔写下“何意百炼钢，化成绕指柔”这一脍炙人口的诗句，“百炼成钢”、“千锤百炼”更作为成语流传至今。

纵观魏晋南北朝，前后三四百年纷争不断，使手工业生产备受摧残，但冶铸业还是有所发展。灌钢技术的推广标志着封建制手工业生产方式所要求的以及它所能提供的钢铁冶炼技术已初步齐备^[1]，为隋唐时期冶铁技术的全而发展奠定了基础。

2.5 隋、唐、五代时期（公元 581—960 年）

隋、唐、五代是我国铁冶技术的平稳发展期。

公元 581 年，北周外戚杨坚废除静帝，建立隋朝并逐步统一了全国。在政治上，隋实施三省六部制，巩固中央集权；在经济上，沿袭北魏以来的均田制，开通了大运河，促进了经济的繁荣。所以这一阶段是政治、经济和文化多方面承前启后的重要时期。隋炀帝时，因横征暴敛，激起人民强烈反抗。公元 618 年，隋朝被推翻，为唐朝所取代。

唐代是我国历史上继汉之后第二个鼎盛时期，尤其是其前期，全国统一，疆域辽阔，政治清明，经济和文化出现空前的繁荣，中外交流也异常活跃。但唐代后期由于统治者腐化和政策失误，导致藩镇割据和农民起义。公元 907 年，唐朝在纷乱中灭亡。

唐朝灭亡后，中国历史进入五代十国时期，即黄河流域先后经历了后梁、后唐、后晋、后汉、后周 5 个朝代，史称“五代”；同时在南方和山西建立了吴、南唐、北汉等 10 个割据政权，史称

“十国”。此时北方战乱频繁，政治动荡；南方则相对稳定，中国经济重心发生大规模的南移。公元960年，北周赵匡胤发动兵变建立宋朝，结束了战乱局面^[23]。

隋代矿权全部收归国有，经营采取封建徭役制，矿政特点是大力发展铜矿。但据《太平广记》卷一一四记载，隋开皇年间（公元581—600年），僧人澄空曾在山西晋阳集资铸造一尊70尺高铁佛像^[22]（隋唐1尺=29.5厘米），可见当时铁并不缺乏。

唐代民营坑冶有了较大发展。据《旧唐书·职官志》记载：“凡天下出铜铁州府，听人私采，官收其税”，矿业由此出现空前的繁荣。《新唐书·地理志》载，全国有铁矿产地104处，其中以今四川、山西、陕西、河北、福建、湖北、湖南和山东居多。据《新唐书·食货志》载，元和初年，铁的年收入量为207万斤（隋唐1斤≈0.67公斤），而唐宣宗时为53.2万斤。但这些数字未必真实，因这些是已上税的产量，漏税现象是无法避免的（宣宗时产量低显然是偷税漏税的反映）。这点可由蒲津关所铸铁牛大量耗铁得到旁证。

据唐代杜佑《通典》载：“河东有蒲津关，大唐开元十二年于黄河两岸开东西门，各造铁牛四，并前后铁柱十六，其牛下并铁柱连腹，入地丈余”。山西考古工作者于1991年对其遗址进行了发掘，遗存有铁牛四尊，身长3米，高1.9米，每牛由一铁人驱策；又有铁山两座，南北排列，铁山下又有径粗0.4米、长3米多的铁柱埋入地下。另外，在遗址东北还有大铁柱7根。据测定，修筑这座桥，铁牛、铁人、铁山和铁柱合计要用铁几十万斤^[22]。另外，山西多处有隋唐铁佛、铁钟遗存，可见当时冶铁之盛。

唐代荆楚地区也是全国冶铸中心之一。据《新唐书·地理志》记载，鄂州之江夏，岳州之巴陵，蕲州（今湖北蕲春）之广济、蕲水为铁之采冶基地。武昌为银、铁和铜之采冶基地。矿冶规模以武昌一带为大，矿冶收入相当可观^[24]。

隋唐五代，金属冶铸技术平稳发展、钢铁产量较大，但技术上

建树甚鲜。值得一提的是，这一时期铁的铸造技术达到新的水平。考古分析表明，前述蒲津关铁牛，是先将铸铁块叠置“牛”腹中，然后将熔化了的铁水浇铸其中，使铁牛与铁块熔为一体，巧妙地解决了巨型实体铸件冶铸技术难题^[22]。武则天时期，在洛阳铸造天枢，高105尺，径12尺，八面各5尺，下铸铁山，天枢上置腾云承露盘，其径3丈，四龙直立捧火珠，高约1丈。这一巨型钢铁铸品的制成，反映当时冶铸技术之高超^[19]，正如英国冶金史家考格兰在《旧大陆史前和早期的铁》一书中所指出的：“中国人是世界上第一个生产堪称规模宏大的重型铸铁件的民族”，“在铸作具有巨大尺寸的铸铁件方面，显示了伟大的技术和能力。”

在热处理工艺方面，发明于春秋晚期、在汉魏时期发展到相当成熟的铸铁可锻化退火技术，虽因炒钢工艺的发展受到削弱，但在隋唐时期仍在沿用。见于报道的出土物有洛阳隋大业九年墓铁镜（脱碳退火），西安唐大明宫铁锄、铁板，洛阳唐代铁铤（皆石墨化退火），洛阳唐贞元十七年墓残农具（脱碳退火）等。

隋唐时期冶铁冶铜的另一成就是将胆水炼铜法应用于生产实践。该法是在自然界中存在的硫酸铜（古代称胆矾）溶液中加入铁，用铁将铜置换出来。自然界铁蕴藏丰富，价廉易得，借此炼铜，其经济价值不言而喻。对这种置换反应的认识，最早见于西汉时期刘安所著的《淮南万毕术》中一段话：“白青得铁则化为铜”（汉代称硫酸铜为白青）。宋代沈括《梦溪笔谈》中对信州（今江西铅山）利用苦泉（含胆矾的泉水）以铁炼铜这件事有所记载。但有学者考证，沈括所记源自于唐乾元元年至宝应年间（758—762年）的《丹房镜源》，由此推断在唐代已有小规模的水法炼铜生产^[24]。

2.6 宋、辽、金、元时期（公元960—1368年）^[25~28]

宋、辽、金、元是我国古代铁冶技术的又一个新的发展期。

公元960年，后周将领赵匡胤发动兵变代周而立，定都开封，

史称北宋。北宋王朝逐步实现了局部统一，公元1127年又被金所灭，其宗室赵构称帝而迁都临安（今杭州），史称南宋。在两宋周边，长期并存几个少数民族政权，都与宋发生战争但也维持了较长时间的和平共处。其间频繁的贸易交流及农耕技术的传播，促使北方民族逐渐汉化。北方的战乱使南方成为中国经济的重心。公元1279年，南宋为蒙古所灭。

辽是契丹人所建王朝，在我国北部。曾发兵攻宋，宋被迫与之签订“澶渊之盟”，实现了百年和好。其间辽的国力达到鼎盛。在与汉族长期交往中，受先进文化影响，政治、军事和文化诸方面都有很大发展，后被金国所灭。

此外，北宋时期，在我国西北部还有一个由党项羌建立的夏国，史称西夏。从10世纪到12世纪初期，逐步形成了北宋、辽和西夏鼎立局面，其间三个政权不乏军事攻战对抗，但在经济和文化上三者都有或多或少的交流和联系，为我国多民族的融合统一创造了重要条件。

金是我国东北部女真族建立的国家，建国后逐渐向南扩展，于公元1125年灭辽，两年后又灭北宋，占领了淮河以北广大地区，长期与南宋对峙。但迁入中原后，女真人逐渐汉化，公元1234年为蒙古所灭。

元朝是中国历史上由蒙古统治者建立的统一王朝。依靠军事征服，它成为地跨亚欧两大洲的大国。公元1279年，元军南下攻灭南宋，统一了全国，进一步密切了我国各民族之间的联系，促进了更大规模的民族融合。后由于推行不平等的民族政策，终于爆发了全国性的农民大起义。公元1368年，朱元璋领导的义军攻占大都，元朝灭亡。

2.6.1 铁冶生产简况

北宋时期，新增矿区数量很大。初期全国金属矿场有201处，治平年间（1064—1067年）各州坑冶总数由唐代的168处增至271

处，其中铁冶 77 处。元丰六年（1083 年），铁产量也由唐代的年产 207 万斤增加到 550 余万斤（唐、宋 1 斤 \approx 670 克，见阴法鲁等著《中国古代文化史》，北京大学出版社，1991，以后各朝度量衡与现代的换算亦见此书）。铁主要用于打造兵器和农具。主要铁冶有邢州（今河北邢台）綦村冶、磁州（今河北磁县）武安县固镇冶务、徐州利国监、兖州莱芜监和威胜军（今山西沁县）。邢、磁两州的收入量约占全国总收入的 74%^[29]。至仁宗皇祐年间（1049—1053 年），铁年得为 724 万余斤。

宋代冶炼技术有很大进步。已发现的多处宋代冶炼遗址发掘表明，当时已普遍使用煤做燃料。据苏轼说，徐州利国监用煤“冶铁作兵（器）、犀利胜常”。冶铁炉的鼓风设备也有所革新，并已用带活门的木扇风箱取代皮囊鼓风。风箱体积可以造得很大，不像皮囊受皮革大小限制，同时装置牢固，可承受较大压力。风量大对提高炉温和铁的质量极为重要。

与铁冶相关的是，在铜的冶炼方面，宋代“胆水浸铜法”得到发展，由此大大提高了铜的产量，也降低了成本。但铁消耗量很大，大约用铁二斤四两得铜一斤（《宋史·食货志》）。政和年间，广东年收铁 289 万斤，“浸铜之余无他用”。此外，为补铜币之不足，还铸部分铁钱。这项耗铁也在 300 万斤以上^[30]。

宋朝南迁后，手工业生产也伴随农业继续向前发展。宋代矿产多分布在北方，南迁后矿产大为减少。铁是制造兵器所必需，所以尽力增加铁的生产。宋高宗时，铁产曾达年得 216 万斤，相当于宋神宗时期的 40%。

南宋手工业仍有官营、私营和家庭手工业几种经营方式。官营的矿冶业仍由朝廷派遣监官管理，差调兵士和招募民间坑户生产，给以工值。南宋因矿冶衰落，鼓励民间采炼，因而出现一些新现象。宋高宗时期，曾采用神宗时期一度实行过的制度，福州的铁矿官府收两成，其余八成也由官府拘买，私营矿冶都由官府派官监督生产。所谓“坑户”，一类是当地土豪，从官府取得采炼权，奴役

工匠劳动；另一类是劳动工匠，他们像佃客一样遭受官府的直接剥削。高宗、孝宗时，福州还有些矿由所谓“有力之家”的坑户向官府承租经营。专门从事冶炼的坑户也出现定额税制，如福州七十二家坑户，按炉容大小向官府交纳不同的定额税。随朝廷对矿冶的提倡，一些矿区附近的农民也兼营冶铸^[31]。

辽代的矿冶也很繁荣。耶律阿保机的父亲撒剌的时“始置铁冶，教民鼓铸”（《辽史·太祖记》）；阿保机征服辽东后，曾开采那里的金属矿藏。东京道的铁州（今辽宁营口东南）、同州（今辽宁开原南）、广州（今沈阳西南）均有铁冶。辽南原为渤海国铁冶地区，多有铁矿。辽灭渤海国后这里又成了辽的铁冶基地。阿保机又以渤海俘户在上京道饶州置长乐县（今内蒙古林西），内一千户冶铁纳贡。宋朝使臣王曾在柳河馆（今河北隆化）西北见到被驱使来的渤海人在那里冶铁：“河在馆旁，西北有铁冶，多渤海人所居，就河漉沙石，炼得铁……过松亭岭，甚险峻，七十里到打造部落馆（今承德市东北），有蕃户百余编荆篱，锻铁为兵器……山中长松郁然，深谷中多烧炭为业”（《宋会要辑稿·蕃夷》2之7~8，《王曾上契丹事》）。渤海在唐时即擅长冶铁，《新唐书·渤海传》以渤海“位城之铁”为名贡出产之一。渤海冶铁术传入契丹，推动了辽朝冶铁业的发展。辽朝东京道尚州东平县有铁矿，采炼者二百户，按赋税制度供铁。阿保机南征幽、蓟，在还军路上发现银、铁矿，命置矿冶，冶炼者可能是俘掳来的汉民。契丹奴隶采炼的铁矿，有柳浑河、三黠古斯和手山三处。圣宗时置为曷术（契丹语“铁”）部，其中手山即今鞍山附辽之首山。首山附近曾发现深达18米的辽代矿坑。

辽东一带，自两汉以来即在平郭（今辽宁盖州）设有铁官冶铁，辽朝的铁冶也多在这一地区，所以在东京（今辽阳）设户部司管领。在辽朝的铁冶业中，又以冶炼镔铁著称，镔（bin）铁是一种精炼的铁，实为钢（当时欧洲人称这种铁为“大马士革钢”）。《隋书·西域传》载波斯（今伊朗）产镔铁。《契丹国志》记大食

(今阿拉伯)等国向契丹贡献的物品中有“宾铁兵器”。大食的镔铁可能对辽有所影响,但显然不起决定性作用,因辽早在十世纪时已以镔铁著称。辽拥有丰富的铁矿资源,经室韦、渤海、契丹和汉各族人民交流技术,锻炼出优质的铁或钢不足为奇。

金代矿冶也比较发达。女真族在建国前已经炼铁。金朝建立后,著名的产铁地区有云内州(今内蒙古默特左旗)、真定府(河北正定)、汝州(河南临汝)、鲁山、宝丰、邓州(河南邓县)、南阳等。近年黑龙江省肇东县曾出土金朝铁器七百多件。辽宁省绥中县遗址也出土大批金代铁农具。1961—1962年,考古工作者在黑龙江省五道岭发现一处属于金朝中期的铁矿和冶铁遗址。矿坑多达十几个,最深达40米,分采矿、选矿两个作业区。在铁矿附近山坡上散布冶铁遗址五十几处,遗留下很多炼铁炉、炼渣、铁块和铁矿石。从矿井采掘规模估计,这些矿井已采出铁矿石40~50万吨。实物表明,这里是一处从采、选到冶炼一连串生产过程的冶铁基地(图2-6)。在上京(今黑龙江阿城)故城也曾发现过炼铁炉的遗址^[31]。

西夏手工业多控制在官府手里,朝廷设有金工司和铁工院。另有冶铁务专门负责管理铁的开采和冶炼,甘肃陇西郡在汉代即为设铁官郡国之一,渭州(今甘肃平凉县)、秦州成纪府(今甘肃秦安县)等处均有铁产。北宋时仪州(今平凉县)也是十二冶之一。所以甘肃为西夏管辖时,铁冶未曾间断^[4],其锻造、制作技术也十分精良。除生产农具和手工用具外,兵器制作尤为重要。采用冷锻工艺制作的铠甲,坚滑晶莹,劲弩无法射穿。所铸的剑,被宋人称为“夏人剑”,有“天下第一”的美誉^[19]。在安西万佛峡的西夏壁画中,有一幅表现当时锻铁的画面(图2-7),为门扇式风箱。因是木制,可以克服风囊受皮革限制难以大型化的困难,将风箱体积做得很大,也保证了连续鼓风,用于竖炉则可强化冶炼。

元代铁冶较之前代又有所发展。元初,政府在各路设立诸洞冶总管府,掌管矿冶业,颁布矿业法规,以保护官办矿场和恢复税

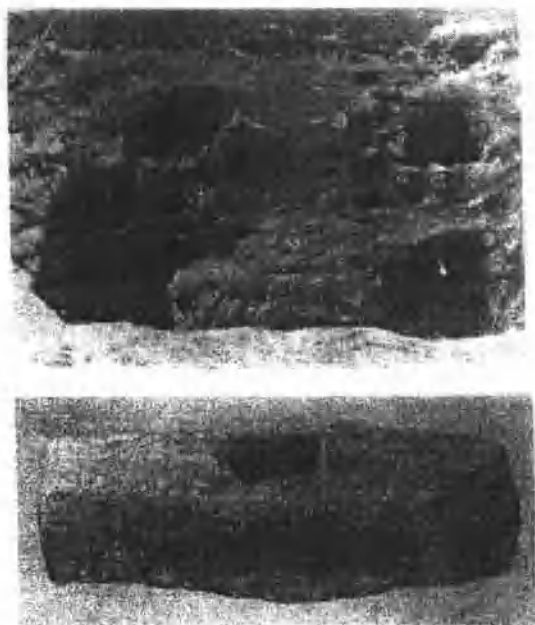


图 2-6 金代冶铁炉遗址及铁矿开采用的铁锤



图 2-7 锻铁图 (西夏)

收。元代全国铁矿产地计 49 处，分布于今 14 省、市，以江西、湖南为最多（各 9 处），其次是云南、福建（各 6 处）。云南昆明、四川西昌的铁矿也得到了开采，表明矿产开发已向边远地区发展。据有关资料估计，元代盛时生铁年收入量在 500 万~1000 万斤^[11]。

元初，矿冶、制盐等属官手工业。官手工业在手工业中占重要地位，所用工匠最初主要是奴隶，后来是农奴性质的“系官人匠”。其来源一是蒙古军队东征西伐时掠夺来的各地工匠；另一部分是从内地拘集来的民夫匠户。工匠身分低下，生活困苦，对政府依附性强。

元代矿冶也有民营企业。“听民煅冶，官为抽分”，政府还把一些经营不善、成本过高的官营矿山转民经营。元初，燕山南北设置官营铁冶 19 处，煅炼人户三万余。中统二年（1261）后，“仅存留三五处，依例兴煅”，其余的“许诸人认办课额兴煅小炉、或抽本货；或办钞数”（王恽《秋涧集》卷 89）。这样，几乎全部变成了民营。此外，蓟州、宛平、昌平都有民营铁冶场，甚至一些寺院也经营矿冶业。有些民营铁冶业的规模不小，如“[刘]宗海，庐陵永福人也……尤善生殖，尝业铁炉于金牛（今安徽庐江县西北）大冶，煅役者常千人”（王礼《麟原文集·前集》卷三）；又如“[李]玉，世为林虑（今河南林州）人，中统二年，自以禄仕四十余年……力以疾辞。既得，请治生教子，三致丰阜，鼓铸煮硃，所居城市凡能佣力而无恒产者，鱼聚水而鸟投林，相率来归。寒者得衣，饥者得食，穷殍者得生活。卵翼子孙，累世不忍舍去”（胡祇遹(yù)：《紫山大令集》卷十八)。能安排大量“能佣力而无恒产者”，可见规模不小。“鼓铸煮硃”说明元代水浸制铜法仍很盛行。

2.6.2 煤的普遍使用及煤铁带来的经济发展、国力变化

我国用煤历史悠久，成书于战国初年的《山海经·北山经》载：“孟门之山……多涅石。贲闻之山……多涅石”。涅石即煤，孟门、贲闻皆在今山西境内。秦汉时期，富有煤铁矿藏的三晋地区，已将煤炭用于冶铁了。据南北朝时《北史·王劭传》记载，王劭在做晋

阳县令时曾说：“今温酒及炙肉用石炭火”。在河南古荥镇汉代冶铁遗址炉基周围发现过煤及煤饼，说明远在汉代煤已用于铁冶，但显然并不普遍。稍稍广泛地以煤做燃料，似由唐末开始，而到北宋时，已是“昔汴都数百万家，尽仰石炭，无一家燃薪者”了（南宋·庄绰《鸡肋编》卷中）。北宋时，在华北地区，煤已成为商品，成为常见的民间燃料，甚至远在陕西路延安府，《鸡肋编》卷上也有这样记载：“延州亦有诗云：沙堆套里三条路，石炭烟中两座城”，说明紧邻西夏的边城延安，当时煤炭消耗也很大。至于煤用于冶铁，在宋代已很普遍了。公元1078年苏东坡任徐州地方官时，他下令叫人找煤代替木炭用于炼铁。找到煤后，高兴之余写过一首《石炭》诗，述说用煤炼铁的好处：“南山栗林渐可息，北山顽石何劳锻。”说明此前该地区是用栗木炭冶铁的。

在宋代，主要是华北地区到处把煤炭当作燃料使用。南宋陆游《老学庵笔记》卷一里说：“北方多石炭，南方多木炭，而蜀又有竹炭。”由此推想，铁冶用燃料也该大体如是。

既然北宋已盛行使用煤炭，辽代亦应如此。有人认为，北京自辽金以来能成为重要都会，其原因之一就在于西山的煤炭。而“煤”这一称谓，大约是元代以后流行开的。《庚申外史》卷上载，元至正二年（1342），左、右丞相奏曰：“京师人烟百万，薪刍（chú，喂牲口的草）负担不便，今西山有煤炭，若……通舟往来，西山之煤，可坐至于城中矣。”

前已述及，元代燕山南北铁冶多达19处，显然与燕赵地区煤炭资源丰富有关。有煤有铁，经济必然发展，综合国力提升。与唐代相比，宋代经济更为繁荣，与海外贸易国家不下几十个。但何以经常受经济、文化水平较之低下的辽、金甚至西夏的威胁欺辱呢？“答案很简单：这些敌人也从中原学会了炼铁的方法”^[30]。对辽、金的铁冶状况略作分析，不难看出这一点。

讲到辽、金及元代的铁冶，必谈及辽南、辽东这块宝地。

众所周知，鞍本地区是我国最大、最古老的铁矿区，自战国时

代一直开采至今，在当今全国 156 个重点铁矿中，它仍占 18 个。这一大矿区不单是贮量丰富、含铁品位高，且矿石质地特别优良。近年在现代实验室中性气氛下，借助高温显微镜下观察，测定国内各矿区铁精矿的软熔温度，结果表明，我国一般矿区铁矿石的软熔温度区间（熔化温度与软化开始温度之差）大体上在 110~160℃，而鞍山矿区的弓长岭精矿仅为 20℃，大孤山精矿为 35℃，本溪南芬精矿为 55℃^[32]。对高（竖）炉炼铁而言，矿石从软化到熔融的过程处于粘稠状态，给从炉子下部生成的煤气流穿过该层上升到炉子上部间接还原区带来很大阻碍。尤其是古代，用人工鼓风，煤气流很弱，这种影响尤显突出。鞍本矿区矿石软熔温度区间小，表明这种矿石宜于炼铁，即只要温度足够，很容易生成铁水，这也正是辽南地处边陲远离中原文化区却远在战国时代就已成为燕国冶铁基地的原因所在。再者，20 世纪 50 年代，中国科学院对本溪矿区的铁矿石进行的全面分析表明，本溪矿石含有一般常规化学分析所分析不出的微量元素，这些微量元素的存在可改变铁中夹杂的形态，由此使铁制品的性能得到改善（关于这一点，20 世纪 30 年代出版的日本冶金图书也有记载）。也正因如此，现代的本钢铸造铁才被称为“人参铁”饮誉中外。

除了铁，更为可贵的是，本溪及鞍山附近的抚顺均有优质煤，且煤层较浅。前些年，在距今 6500 年前的沈阳新乐文化遗址，曾发现大量用抚顺煤精制作的雕刻艺术品，所以，到了宋、辽、金、元时代，“辽东人”知道用煤做燃料当不难理解。辽东山区在辽代当时也是“山中长松郁然”的景象，所以不论以木炭还是以煤作为冶铁的燃料，均不感匮乏。辽太祖耶律阿保机称帝前即北击室韦，后又亲征渤海。而室韦人、渤海人均擅冶铁。辽建国后置三冶，今鞍山所辖首山即是一冶。辽平渤海后，在多铁的今沈阳南置铁利州，在东平县（今开原市）即置采炼者三百户“随赋供纳”。辽南、辽东的铁对辽的国力增强显然起到了极大作用。不久，后唐的石敬瑭又将燕云十六州割归辽国，使辽不但占据了这块中原屏障，又获

得了晋北、燕北丰富的煤铁资源。有此地利加上千余年冶铁经验积累，使辽成了以冶炼优质钢——镔铁著称的国家。镔铁坚韧异常，经多次冶炼锻打而成，类“百炼钢”，据说镔铁刀剑砍铁甲不卷刃又柔若柳枝。在冷兵器时期，有利器在手又骁勇剽悍，当然所向披靡。所以辽向西一直扩张到天山麓，甚至在他们的东方王朝崩溃以后，残部跑到中亚还在那里建立起了黑契丹（西辽）王国又延续了九十几年，至今在一些西方语汇中，“中国”还是“契丹”。

后起的金朝也是一样。辽建国之初，冶铁靠渤海人，而渤海人又是女真人的先祖，所以女真人当是擅冶铁的。《金史·鸟春传》、《三朝北盟会编》均载女真族炼铁之事。除了辽南、辽东铁冶基地，前已述及，在今黑龙江地区还有个大型铁冶中心。接受中原文化之后，金的经济得以迅速发展，所以很快代替已经走向腐朽的辽，占据了北方。我国煤铁资源多在华北，占据华北更使金如虎添翼。完颜兀术的“铁浮屠”、“拐子马”虽被视死如归的岳家军所败，但那种金戈铁马、有似近代战车后继步兵般的进军气势出现在近千年前，不能不令人震撼。

至于元朝，情况也是一样。前已述及，辽“坑冶则自太祖并室韦”，室韦“其人善作铜铁器，又有曷术部者多铁”。“曷术”国语铁也（《辽史·食货志》下）。今鞍山地区的千山，古代即称室韦山，当为室韦人所居，而蒙古族的先人即蒙兀（古）室韦，所以，继金在我国北方兴起的蒙古族亦当懂得冶铁，“蒙古代金而起，成为北方的霸者，华北的铁对子蒙古的大规模征伐也有重要的贡献^[30]。”元太宗征伐欧洲之前，曾在华北急速设炉冶铁，太宗命其侄拔都西征是在1236年（丙申年），实际入侵俄国是第二年（丁酉年）。《元史》卷九四《食货志》有这样记载：

“铁在河东者，太宗丙申年立炉于西京，州县拨冶户七百六十煽焉；

丁酉年，立炉于交城县（现属山西省），拨冶户二千煽焉。在檀景等处者太宗丙申年，始于北京拨户煽焙。”

大规模远征必有大量消费。元代统治者幸运的是占有华北大量产铁地区。当蒙古远征军出现在欧洲时，仍保持封建割据的欧洲虽然急忙纠集了分散的势力来进行抵御，但无论如何不是它的对手。

元朝是个幅员广袤的帝国，其疆域北逾阴山、西极流沙；东尽辽东、南越海表。其陆路、海路交通范围广阔，来往方便。路上有各种车辆，海上有载员千人以上的大船。元人形容其时“适千里者如在户庭，之万里者如出邻家”，车辆和海船的制作离不开铁。元代极其发达的对外贸易中，铁也是重要输出品。从元朝汪大渊的《岛夷志略》看，当时铁及铁制品几乎出口到南洋及阿拉伯、波斯湾各地。

辽、金、元铁冶发展情况就介绍到这里。统而观之，自契丹在东北勃兴之后，凡在东方拥有根据地的民族都达到压倒西方的地步，这种转变无疑是和采矿冶铁有重大关系，正如《辽史》卷六〇《食货志》所说：“诸坑冶多在国东”。

2.7 明代（公元 1368—1644 年）

明代是我国古代铁冶技术集大成的阶段。

在元末农民起义战争中崛起的朱元璋，于 1368 年称帝建立明朝。

明代铁冶也有官办、民营两种，总的趋势是官手工业逐渐走向衰落，手工业工人地位较之前代有所改善。明统治者把手工业工人分为轮班和住坐两种，除在规定时间内必须为国家服役外，其余时间可自行安排，使生产积极性大为提高。

明代矿冶业技术的进步较为显著。洪武初年，全国官铁收入量为 1849 多万斤（明代 1 斤 \approx 593.1 克），是明代以前历史上年收入量的最高纪录。其中湖广（湖北、湖南和广西东部）675 万斤，江西 326 多万斤，山东 315 多万斤，这三个区占全国总收入的 71.2%。洪武七年，全国总收入为 907 多万斤，至洪武 28 年，国

库存铁已高达 3743 多万斤。因此朱元璋下令停办官铁冶，让民间自由采炼，官府只管收税，税率为“三十分取二^[11]”。河北遵化、山西阳城、广东佛山、福建龙溪等地出现了较大规模的冶炼、铸造和锻钢业。遵化炼铁炉高一丈二尺（1 营造尺 = 32 厘米），可容矿石 2000 多斤，每天能炼 6 次，每次出铁 200 斤，并自动流入范内成型。佛山炼铁炉日产 20 余版，每版 300 斤，每天产铁六七千斤。

从技术层面来讲，明代采矿已改铁锤敲击为烧爆。据河北《唐县志》载，万历年间采矿“或用火爆石裂”，可能已用火药。

在鼓风技术方面，由简单的木风扇改为活塞式风箱。风箱轻便省力，功效高，有助于提高风温、扩大炉容，提高冶炼强度。

在明代，先进地区冶铁燃料已“煤居十七，木炭居十三”，同时已掌握炼焦技术。

炼铁技术的又一项成就是已将萤石作为稀释剂用于生产。工部郎中傅凌主持遵化铁冶时，用加萤石解决了竖炉“料不下”即悬料问题。

冶铁技术的一大发明是炼铁炉与炒钢炉的串联，即炼出的铁水流入炒钢“方塘”，用木棍急速搅动，利用空气氧化铁中碳使之成为熟铁备以后深加工，由此使炒钢工艺简化、能耗降低。

灌钢技术在明代有所发展。宋代灌钢法是使“屈盘”着的“柔铁”与生铁接触，明代“柔铁”改为熟铁片，增加了生、熟铁接触面积，利用生铁液渗淋，使得到的钢质更为均匀。

钢铁渗碳技术在明代也有所发展，主要表现在“焖钢”已见诸记载。其法原理是将被处理件和渗碳剂（木炭粉、骨粉等）置于箱式炉内，炉口封闭然后加热，经一定时间使碳渗入钢件表层进而深入内部，借以改善钢质。

明代钢铁热锻技术也有进步。郑和下西洋所乘宝船可载数千人，铁锚重达千斤，是采用分段接合法锻制的。此外，枪炮等钢铁管形火器的生产技术也有进步。其中大炮多为铸铁、小炮多为钢铁锻成。此外，在锯等生产工具的制作中，应用了冷锻技术；在针的

生产中广泛采用了拉拔技术。

就地区而论，明代山西省成为我国冶铁生产的发达地区之一。铁矿产地有 32 州县，占当时全国 246 个铁矿产地的 12.6%，居全国第一位。洪武六年，在全国设立 13 个铁冶所，山西就占了 5 个。全国冶铁所每年要供给国家 746 万斤铁，山西则不下 200 万斤。明代较出名的铁是交城县产“云子铁”，专门用于制造兵器。此外，民间小规模冶铁也很兴盛。万历 34 年铸造的铁钟，重几千斤，高 1.5 米，铸字万余言及鸟兽花纹，由此不难看出当时山西铁冶之盛及铸造技术之高超^[22]。

明代南方最大的铁冶和铁器集散地是广东佛山。天启、崇祯年间，这里具有铁锅行、铸造行、炒钢行、铁线行、铁锁行、农具杂器行、铁钉行等，所需铁料多来自广东各地，尤以罗定等地所产最佳。佛山冶铸业均属民营，冶铁户称“炉户”，受雇募者为工匠。佛山铁制品（尤其是铁锅）畅销国内，远销南洋。

明代中期以后，包括冶铁在内的一些手工业部门，出现了资本主义生产关系的萌芽，主要体现在沿海地区雇工情形已相当普遍，一些铁矿生产已具有资本主义作坊形态。“原非土著、又毫无恒产”的人可兴办矿场，“数百人”在“矿头”指挥下生产，生产有明确分工，雇工多为“流民”、“游手游食”者等。但这种资本主义萌芽极其微弱，且带有浓重的封建性。作坊主经常受官府的生派和重税榨取，想以生产致富很难，雇用工人也不能完全脱离封建行会的束缚和国家的控制，不可能完全自由。这些严重阻碍了社会分工的进一步发展。特别是万历年间，朝廷派出矿监盐使，增加了对工商业的掠夺，工商业萧条也阻碍了社会生产力的进一步发展^[33]。

2.8 清代（公元 1616—1911 年）

清代早中期，总体上属于传统冶铸技术的衰退期，晚期为我国近代钢铁冶金技术逐渐确立时期。

公元1616年,努尔哈赤统一女真各部建立后金。1636年其子皇太极改国号为清,1644年灭明后入主北京,建立了中国最后一个封建王朝。清前期农业、手工业得到全面恢复和发展,超过了前代水平,社会稳定、国力强盛,出现了“康乾盛世”。乾隆以后,政治渐趋腐败,阶级矛盾激化,国力衰弱。1840年的鸦片战争,使中国开始逐渐沦为半殖民地半封建的社会。1911年孙中山先生领导的辛亥革命,推翻了统治中国三百年的清王朝^[34]。

2.8.1 传统冶铸技术的衰退期

我国历史上反复出现的游牧民族对中原地区农业社会的冲击,再次发生在明清交替之际。长江三角洲等商品经济比较发达地区备受兵火之祸,明代后期出现的资本主义萌芽遭到严重摧残。清王朝统治稳定以后,继续推行“重本抑末”即重农而轻工的传统国策,但也不得不顺应社会经济发展的潮流,采取一些相对宽松的措施。康熙年间,明令废除了中国历史上长期存在的匠籍制度,使手工业者脱离了世代承袭的主雇关系。官营手工业经营范围和规模比明代缩小,并采取了“惠工给值”的措施^[19]。

清入关后,顺治时曾在直隶古北口、喜峰口等地开采铁矿,均由官办或旗办(满洲八旗官员采办)。三藩战后,汉族地区结束了长期的战乱,清政府更加鼓励民间采矿以增加税收,补充国用和军需。明朝对矿冶的专制统治和长期的战争,使许多地方的矿采遭到破坏和中止,清朝对矿采的奖励又使各地矿采逐渐得到恢复。广东罗定、海阳和阳山,四川邛州、蒲江的铁矿都在康熙年间陆续开采,矿业的恢复和发展使清朝增加了税收,也为手工业的恢复和繁荣提供了条件。

但康熙奖励矿采的政策,后来又因担心矿采业“潜藏匪类,滋生事端”转而采取禁矿政策。1704年康熙帝传谕:“开矿事情甚无益于地方,嗣后有请开采者,俱著不准行(雍正《会典》卷五十三)。”这还是只不准再开新矿,已有之矿业尚未禁止。次年,御史

景月珍上疏请禁闭广东海阳县矿，说是“聚众几至十余万，强梁争兢，时时有之”（《圣祖实录》卷二二一）。广东、四川等地官员也有类似奏请，终使广东、四川和河南的矿采全遭封禁。

除了矿禁，清初还曾实行“禁海”，即禁止南洋贸易和限制出海，主要是防范东南沿海人民与海外联系据地抗清。这些措施对铁冶的发展，无疑均起到阻碍作用。

乾隆年间，随国内政治形势的平稳，清廷转而采取允许鼓励开矿的政策。这些措施有利于手工业生产的恢复和发展。乾嘉年间，随社会经济的恢复和发展，资本主义生产方式的萌芽重又生长起来，并逐渐超过明代发展的水平。许多行业出现了工场手工业或商人包买主，矿冶业中雇工很多，也出现了使用雇佣劳动的巨大矿场。如广东冶铁业“凡一炉场，环而居者三百家，司炉者二百余人，掘铁矿者三百余人，汲者、烧炭者三百有余。驮者牛二百头，载者舟五十艘，计一铁场之费，不下万金”（屈大均《广东新语》卷15，货语·铁）。陕西汉中一带的铁冶工场规模也很大。大铁厂往往有两三千人，小厂也有千人或数百人，“每开一厂，率费银十万、二十万两不等”^[19]。

清代，朝廷以奉天（今辽宁）是“龙兴之地”，“迫近陵寝”，担心开矿“泄地气”、“走风水”，所以鞍山矿区一直未得开采。河北遵化是明代冶铁重要基地，但随商品经济和民间手工业的发展，也由于工匠不断进行反抗斗争，使官手工业开始走向衰落。万历九年，工部题准将遵化冶铁“山场”封闭，此后遵化铁冶再未恢复到以前的地位。清代北方铁冶仅山西尚较发达。就全国言，冶铁重心已转到江南、广东一带。煤炭为民用必需，各地小煤窑很多。清政府视工商为末业，执行“抑商政策”，对采煤冶铁这类获利较小的手工业，允许商民经营，但控制亦严，且高额收税、低价收购、无偿摊派，手工业中普遍存在着浓重的地域性、排他性的行会组织，这些都阻碍了铁冶发展。山西煤铁资源丰富，又有较好基础，所以以家庭为单位的手工业制铁一直很发达。如道光年间，晋城全县就

有生铁炉 1000 多座（坩埚法炼铁）、熟铁炉 100 多座、铸锅炉 400 多座。当时山西的“潞铁”（潞安一带所产）、“平铁”（平定所产）很有名气，嘉庆十四年（1809 年）朝廷征用“平铁”、“好铁”即为 20 万斤。山西的保德、新绛等地冶铁也有较大规模。晋城的针不但供应全国，还远销中亚。

“铁莫良于广铁”。清初广东的铁，论质论量均已达到全国领先地位。冶铁中心仍是佛山。广东的炼铁炉炉容比明代遵化炉（高一丈二尺）略大；鼓风、出铁等方面无明显进步，但装料用了机车，向机械化靠近一步。一昼夜出铁 12 次，每次一版计 120 钧（折合现在约 1.8 吨）。

在清代，坩埚炼铁工艺得到进一步推广，尤其是在山西，有三十几个州县具有铁冶，铁矿产地在 200 个以上。山西铁矿埋藏浅，容易发现和开采，所以开采多无定点。冶炼则采用方炉法，以无烟煤做燃料和还原剂，把部分煤和矿石装入坩埚，埚外以煤燃烧加热令埚内进行还原、熔融。该法以入操风箱鼓风，炼成后铁水从坩埚倒在地上凝成铁片，再熔铸成铁器；如系锻造熟铁，就让铁水在埚内冷却，然后打碎坩埚取出再加锻制。除了山西，清代此法还在河南、山东、辽宁等地流传。

在炼钢技术方面，灌钢工艺在清代演变为苏钢工艺。这种“生铁与熟铁并铸”法，为苏南工匠首创，故有此名。此法从清代至近世盛行于苏、皖、鄂、湘、川、闽广大地区。由于熔炼时人工操作，加以机械力帮助生铁渗入熟铁内，同时转动坯料使之淋透，所以比明代“团钢”法生产效率、产品质量好。

清代铁冶业在锻造和拉拔工艺方面，较之明代有所进步。据陈炎宗《乾隆佛山忠义乡志》记载，该地区在清代有铁线行十余家；在清代《钦定工部则例》和《圆明园则例》中，多处提到黄豆条、绿豆条、黄米条、铁丝，并订有价格和消耗定额，显然，此际国产钢丝已有许多规格，且有专业分工。

2.8.2 清代：近代钢铁冶金技术的确定^{[2][35]}

前已述及，我国在明代已出现资本主义生产关系萌芽，且在清中叶以后，有所发展，但这种萌芽还不足以引发铁冶及其他行业出现重大改变。因为清代官方和学界都不重视科技，所以这方面成就不大，与同时期的西方国家相比，技术上明显落后。由于政治和意识形态方面的诸多原因，清中叶以后，我国与外部世界的联系更加阻隔，科技落后也成为国家贫困软弱的重要原因之一。

1840年，英国人的大炮轰开了“天朝大国”的门户，貌似强大的清王朝暴露出了不堪一击的虚弱本质。在铁冶方面，1856年以后，随着转炉、平炉炼钢的发展，欧美各资本主义国家的钢铁生产发生了根本性变化，蒸汽机带动的轧钢机和各种电解技术更使钢铁的产量和质量有很大提高。由此，欧美列强大量对外倾销钢铁及其制品，进行经济侵略。面对大局的变化和列强的进逼，清政府也曾企图振作图强，引进外国的枪炮船舰和机器设备、学习西方的科学技术；朝野上下一些有识之士也痛感革新的必要。19世纪下半叶，清政府发展近代军事工业，制枪炮战舰，大量输入西方国家生产的钢铁。1867年进口钢11万担（约8250吨），1885年达120万担（约9万吨），1891年增加到173万担（约13万吨）。进口钢逐渐占据了中国市场，使传统的冶铁业难以维持生产。广东、山西、安徽、湖南各地钢坊在光绪年间相继倒闭。

19世纪80年代以后，中国官办工业从军事扩展到民用。随着钢铁消费量增加，近代矿冶业的兴起成为时代的需要。

1871年，福州船政局所属铁厂首先采用了新的钢铁加工技术，安装吊车、铸造大型汽缸；购置3吨汽锤，锻造大车轴；建立拉铁（轧钢）厂，轧制18毫米以下的造船钢板和6~120毫米圆钢、方铁。

1886年，贵州巡抚潘霭创办青谿铁厂。矿属商办，由官督销。从英国购置日产25吨高炉1座，容积1吨的贝塞麦酸性转炉2座，

炼熟铁炉（即倒焰式炒铁炉）8座，轧条机13架，轧板机1架。该厂于光绪16年开炉炼铁。原计划其铁行销汉口、上海等地，但因运输不便、燃料缺乏、资金不足，加之督办潘霨（潘蔚之弟）心力憔悴、积劳成疾病故，仅生产一个多月便被迫停炉，光绪19年停办。中国近代第一座近代大型钢铁厂就这样夭折了。

光绪十五年（1890年），上海江南机器制造总局建成中国第一座3吨炼钢平炉，后又建成一座15吨平炉，当为我国近代炼钢之始。

1890年春，两广总督张之洞提出在广州筹建铁厂之设想，后张调任湖广总督并筹办芦汉铁路，又把厂址改在湖北，并将建厂主要目的由减少钢铁进口改为生产钢轨。铁厂定址于汉阳，于1891年破土，1894年大致完工，建成六个大厂和四个小厂。大厂是（1）炼生铁厂，248立方米（日产生铁100吨左右）高炉2座；（2）炼贝塞麦钢转炉厂，8吨转炉2座；（3）炼西门子钢钢厂，10吨碱性平炉1座；（4）造钢轨厂；（5）炼熟铁厂；（6）造铁货厂。小厂是机器厂、铸铁厂、打铁厂、造鱼尾钩钉厂（铁轨接头的鱼尾板与钩头钉）。此外，还有自备电厂和轮船、码头。光绪20年5月25日高炉点火，27日出铁，后备厂先后开工。工厂雇用外国工程师约40人，佣工约3000人，大冶铁矿佣工约1000人。从破土到竣工计两年十个月，建设速度是较快的（图2-8）。

汉阳铁厂的建立，是我国工业史上一个重大事件，它的建设显示了中国发展近代工业的信念和决心。但由于多种原因，铁厂投产后生产经常处于不正常状态中，产量、质量均未达到预期目标。5月出铁，10月下旬即因“开平煤炭未到，不敷用”而封炉（“留火，炭到再开”），当初预计购机建厂、经营煤铁矿等需银约280万两，但至光绪二十一年（1895年）八月计已支出近583万两。亏损原因是：①马鞍山煤灰多硫高，不宜炼焦；湘煤供应不足，只好仰赖开平和国外焦煤，成本高且供应不甚及时；②主要负责人缺乏起码的科学知识，在尚未了解矿、煤成分的情况下便匆忙订购炼钢

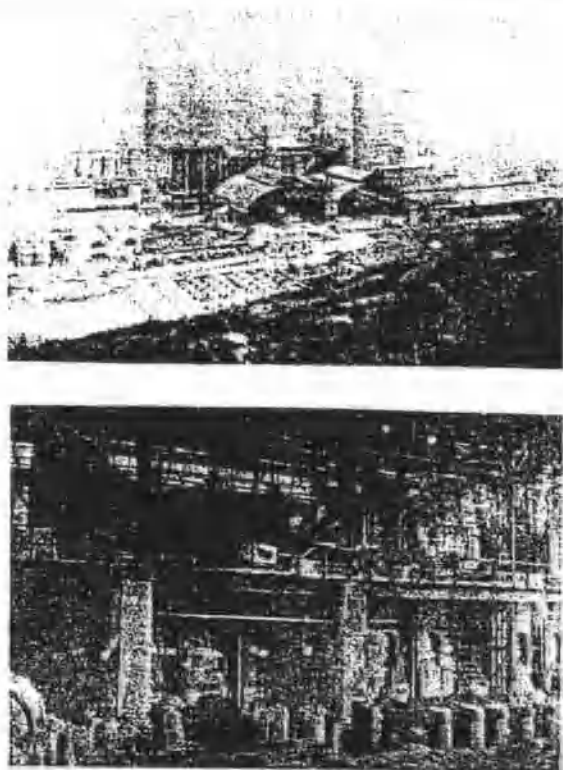


图 2-8 汉阳铁厂 (上: 高炉; 下: 平炉)

设备。大冶铁矿高磷，却设置了难以脱磷的贝塞麦转炉，致使轨钢高磷冷脆，难以与进口钢材竞争；③矿石、燃料产地距汉阳均不近，运费高；④机构庞大，管理腐败，浪费严重。这些都使钢铁厂难以维持，只得于 1896 年招股 200 万两白银，由官办改为官督商务。

接办汉阳铁厂的是直隶津海关道盛宣怀，盛上任后派铁厂总办李维格出国考察。李在英国请人化验，方知大冶铁矿品位较高、萍乡焦炭质地亦佳，转炉冷脆乃因矿石含磷较高、贝氏转炉不能去磷

所致；其平炉钢所制之鱼尾板等零件为上乘之品，乃因平炉系碱性操作可以去磷。光绪三十三年（1907年），盛推荐李接理厂务，对铁厂进行技术改造，当年初具规模。已建立30吨马丁炉（平炉）两座，同年十月出钢，由此汉阳钢厂逐渐走上正常生产道路，产品质量有较大提高，曾远销美国、日本，并为国内修建铁路提供了钢轨和零件近6万吨。

在兴建汉阳铁厂的同时，张之洞还从德国购入采矿设备，建设大冶铁矿，铺设了30多公里轻便铁路，使之成为中国第一个用近代技术开采的露天铁矿。该矿于1891年开始生产铁矿石，年产4万吨。

光绪三十四年（1908年），汉阳铁厂、大冶铁矿、萍乡煤矿合并成汉冶萍煤铁厂矿公司，改由商办。这是我国第一个钢铁联合企业，也是当时远东最大的钢铁联合企业。宣统元年，汉冶萍公司与西美钢铁公司立约，15年内，每年可输出生铁及矿石3.6万吨，次年便输出矿石约2400吨，生铁2万吨。当时汉阳铁厂有大小高炉3座，每天出铁450多吨，其中3号高炉477立方米，日产250吨左右，第四座高炉也在建造中。1909—1911年建成30吨平炉4座，故大小炼钢炉计有6座，每天出钢约250吨。萍乡煤矿初为土法开采，盛宣怀圈购后改为机采，一切设施悉仿西方。时有窿（lóng）口（坑道）七处，每昼夜出煤1300吨。炼焦洋炉日可得焦600吨，焦炭收得率65%。另有土炉数十座，以煤脚烧炼成焦，火力甚佳，成本甚低。据李维格云，1910年以前每年可产煤60万吨，扩充后可年产100万吨，有炼焦炉254格，可年产焦18万吨，扩充后可年产焦30万吨。

此时其他企业的炼钢技术也有了一定发展。除前述江南制造局、金陵制造局等设有炼钢厂外，光绪三十三年（1907年），湖北枪炮局向德国订购了全副罐子钢（坩埚钢）机炉，每天能炼两吨钢。

清光绪三十年（1904年），日俄战争爆发。翌年俄国战败，日

本获得了长春至大连的南满铁路和旅大租借地。光绪三十二年（1906年）日在大连建设南满洲铁道株式会社，作为对我国东北进行经济、文化侵略的大本营。其间，日本大仓财阀抢先对安奉铁路（今丹东—沈阳）沿线本溪一带的煤、铁矿山非法进行勘查和采掘，拒不交还中国，后清政府妥协，于宣统二年（1910年）签订了《清日合办本溪湖煤矿合同》，宣统三年（1911年）又签订了《合同》附加条款，取得了庙儿沟（今本溪南芬）铁矿和在本溪湖建设炼铁厂的权利。公司定名为本溪湖煤铁有限公司，庙儿沟铁矿开始生产，后又于民国后建高炉2座，是现今本钢前身。

宣统元年（1909年）满铁开始向鞍山一带伸手，并于民国后建成鞍山制铁所，是现今鞍钢前身^[36]。

我国近代矿冶教育事业在清代有所发展。光绪二十一年（1895年），天津北洋西学学堂开设采矿冶金系，辛亥革命后更名为北洋大学（今天津大学前身）；宣统元年（1909年），湖南高等实业学堂设采矿冶金科，都先后为中国培养了不少优秀的矿冶人才。

第3章 我国古代铁冶技术及成就

3.1 炼 铁

3.1.1 陨铁、块炼铁和生铁

1972年,河北藁城商代中期遗址出土了一件铁刃铜钺。经检验,铁刃中含镍在8%以上;1977年北京平谷商代中期遗址也出土了一件类似的由陨铁加工的铁刃铜钺^[20]。另外,1931年曾在河南浚县(古卫辉府)出土过殷商末期的铁刃铜钺、铁援铜戈各一件(现存美国弗里阿美术馆),其铁刃部含镍分别为22.6%和5.2%^[37]。上述几件铁刃中均保留有只能发生于冷却极为缓慢的铁镍天体中的高、低镍层状分布,表明铁刃的原材料确为陨铁(图3-1)。除了我国,其他国家的先民也曾利用陨铁加工刀剑及装饰品。截至1977年,全世界采集到的陨铁及铁质陨石计558次,重约160吨^[37]。可见,先民最早认识的铁是陨铁。

我们的先民知道陨铁具有较好的强度和韧性,并能对它进行加热锻打,与青铜铸接成器。陨铁较好的性能促使人们去寻找类似材料。而自然界中,易于找到且与之外观接近的是铁矿石。所以,对早已学会烧陶和利用熔炉冶炼青铜的我国先民而言,萌生从铁矿石获取铁的想法是很自然的,由于有冶铜实践,所以至迟在殷商晚期,我们的先人已掌握了在熔炉获取1200℃高温的技术,这就为炼铁技术的出现创造了条件。考古发掘表明,在商代晚期的大冶铜

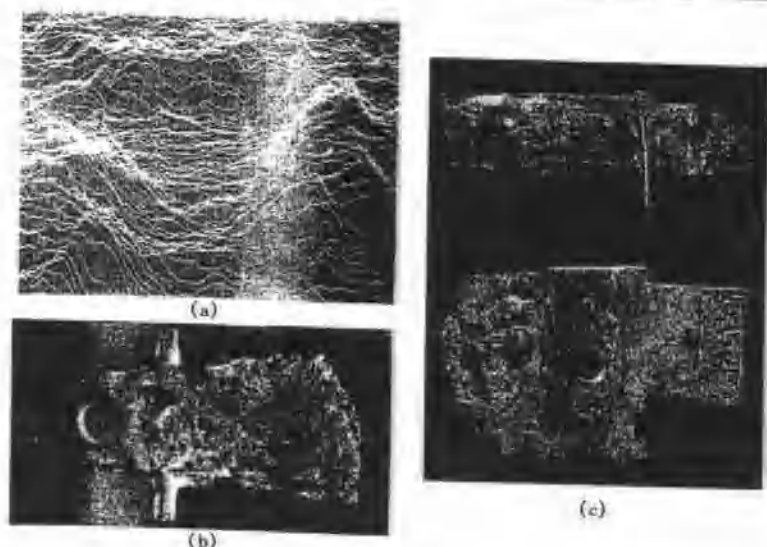


图 3-1 中国古代的陨铁器物

- (a) 藁城商代铁刃铜铎上铁刃的镍分布曲线，显示出陨铁的特点
 (b) 商代铁刃铜铎（北京平谷出土）
 (c) 上为陨铁刃青铜戈；下为陨铁刃青铜铎（均河南浚县出土）

绿山冶铜遗址的炼炉旁有大量赤铁矿粉堆积，有的炼铜炉渣含 Fe_2O_3 高达 50%，表明先民或许是有意在炼铜原料中加入了赤铁矿；或许炼铜原料就是铜铁共生矿。这样做的结果，在竖炉排出铜液后，炉底会有一些含碳极低、质地很软的铁块沉积。以后人们就有意识地用与炼铜同样的竖炉来熔炼“铁”这种新的金属，这样，最早的块炼铁技术就出现了。

我国与西亚、欧洲一样，早期出现的人工冶铁是块炼铁。方法是將铁矿石与木炭一层叠一层地装入炼炉，然后点火，鼓风使木炭燃烧。这样，铁矿石经过预热、水分蒸发、碳酸盐分解一系列过

程，在 $650\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下，木炭不完全燃烧产生的一氧化碳将矿石中氧化铁逐级还原成金属铁。随还原进行，氧化铁中氧被夺走，但其晶格并未改变，所以会出现晶格缺位。这样，宏观上看来还原出的铁呈多孔状，故称为海绵铁。另一方面，在炉内气流较盛之处，矿石中低温组分会发生熔融，并把从总体讲仍呈固态的还原产物及未熔的脉石组分粘固在一起，使之成为夹杂较多的铁块。随冶炼进行，木炭燃烧，此铁块逐渐沉于炉底。这样，停止送风后，炉内火熄、反应停止，待“块铁”冷却后再设法弄出。取出的块铁夹杂着渣滓，故很粗糙。由于炉内温度较低，还原反应进行得不很激烈，碳及进入铁中的硅、锰、硫、磷等元素含量均很低（碳 $<0.5\%$ ）。这种铁性柔软，易于锻造，故又称“软铁”或“锻铁”。只能再在火中加热并反复锻打、渗入一定量的碳使之成为刚强耐用的钢（含碳 $0.5\%\sim 2.0\%$ ）后，制成的器具才能有较好的性能。关于“块炼铁”的形态，目前已无古代遗存，图 3-2 为今人（日本小林增己氏）复原古代冶铁条件炼得的“海绵铁”，冶炼者曾用这样的“块炼铁”打造出刀具^[37]。

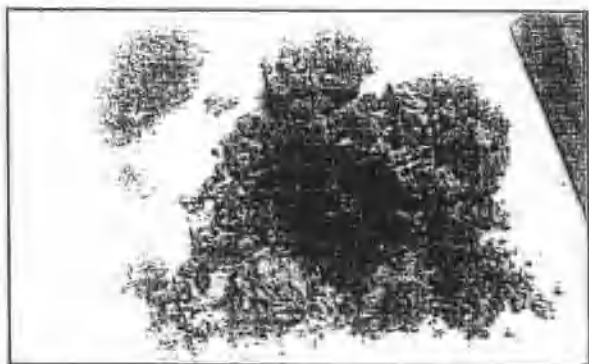


图 3-2 复原古代冶铁条件炼得的海绵铁（左前方为粒状金属铁）

随冶炼技术水平的提高和鼓风条件的改善，人们逐渐将炼炉由

地坑式改为筒状，即竖炉。竖炉炉身加高，炉料得到较充分预热，随鼓风的强化，炉内化学反应也更为充分。当炉温达到 $1100 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 时，虽未及铁的熔点 (1534°C)，然已还原的固态铁会吸收碳且此吸碳作用随温度升高而加速。另一方面，吸碳又使其熔点降低。当碳达 2.0% 时熔点降到 1380°C ，当碳达 4.3% 时，由铁-碳平衡图可知，此时熔点最低，仅为 1146°C 。所以，只要炉内温度超过 1200°C ，已还原铁就可能熔成铁水。而在固态下未及还原的部分铁，在高温下也会继续被还原，由此使矿石中铁全部得以还原。还原、熔融后积存于炉子下部（炉缸）的铁水定期排出，或直接浇铸成器，或铸成铁块备用。这就是竖炉生铁法。

与块炼铁比较不难看出，生铁法可以连续生产，既提高了生产率，又不用频繁拆炉，也会降低成本，同时还能铸造出形体复杂的铁器。所以，在世界冶金史上，高温液态还原法炼铁的出现具有划时代的意义。

由于幅员辽阔，各地资源条件和生产力发展水平不一，尽管在块炼铁工艺出现不久我们的先人就发明了生铁法，块炼铁却并未由此而消失。河南巩县铁生沟汉代冶铁遗址发掘出的 11 座炼炉中，还有 3 座为海绵铁炉，这是由于块炼铁作为锻造和渗碳钢的原料，在一定程度上可适应古代社会制造兵器和工具的需要。再者，早期炼出的生铁均为白口铁，质脆，直接浇铸成器则性能较差。春秋时管仲称青铜为“美金”，贬称生铁为“恶金”，原因即在于此。随技术发展，先人不久开发出铸铁柔化技术，使生铁应用范围大为扩展。所以，在我国，竖炉生铁法很快就成了古代铁冶的主流。

欧洲的铁冶起步于公元前一千年前后，炼炉也是从地坑式逐渐演变为竖炉。早期欧洲人多将炼炉砌在山坡或高岗通风处，主要依靠自然通风。鼓风技术经历了人用口吹、用风管吹、用皮囊鼓风的漫长发展过程。古俄罗斯语中，“冶炉”与“呼吸”，“炉缸”与“山”为同根词，正是这种技术演变的反映^[38]。至 14 世纪前后才发明水车鼓风。由于鼓风较弱，抑或所用矿石较之我国普遍采用的

矿石难还原,所以直至14世纪,铁冶一直处于块炼铁阶段。偶尔得到半液态铁产物则不知如何处置才好。后随炉子加高、鼓风强化,至14世纪终于炼出了铁水,但由于没有掌握铸铁柔化技术,铁水自炉内流出凝成一堆,黝黑粗糙类猪卧地,故被人贬称为“猪铁”,此即英文称生铁为“Pig iron”之缘由。直至近代高炉问世,高炉可以炼出灰口铁及高炉炼铁—平炉/转炉炼钢的现代流程出现,高炉冶炼生铁在欧洲才成为正常生产流程的一个环节,因此欧洲的生铁冶铸技术较之我国要迟1900多年。

生铁法的出现是冶铁史上的重大进步。但与块炼铁相比,早期铸铁在质量上并无明显优势。块炼法由于炉温较低,化学反应不激烈,炼出的铁含碳量低但硫、磷等有害元素含量也低。块炼法的致命弱点是无造渣过程,铁收得率低,因此浪费资源,故两千年前希腊哲学家就发出过在不远的将来人类将面临“铁饥谨”的警告^[38]。此外,铁中夹杂也多。相比之下,生铁法其还原在较高温度下进行,炉渣能显现脱硫和吸收杂质作用;但还原出的硫、磷总量较高,尤其是在采用高磷矿石时。关于这点,有化学分析可资比较。

建于公元23年的苏格兰英赫图梯(Inchtuthil)地方的一座罗马堡垒,存在90万只不同尺寸的铁钉(长钉约9厘米,短钉约4厘米),其中长的具有较高的碳含量(0.2%~0.9%),能承受较大的力。20世纪日本新日铁曾就这两种铁钉进行检验,结果表明,长钉金相组织为较硬的珠光体,含碳约0.6%;短钉为较软的铁素体,含碳约0.13%(表3-1)。由此得知古罗马的铁在两种以上;而同时期的中国(汉代)铁有生铁(铸铁)、黄铁(高碳钢)、熟铁(低碳钢)三种。此外,对古罗马长钉进行的CMA分析表明,其夹杂较多(表3-2),含有较高的 K_2O 和 CaO 。

表3-1 古罗马铁钉(短钉)的化学组成

								%
C	Si	Mn	P	S	Ti	Ca	Al	Mg
0.13	0.02	<0.01	0.014	0.007	0.003	0.005	0.014	<0.001

表 3-2 古罗马铁钉 (长钉) 中熔渣夹杂的组成 %

CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
7.7	3.0	6.6	0.2	11.5	70.1

表 3-3 古莱镇 1 号炉 (汉代) 铁块的化学组成 %

C	Si	Mn	P	S
3.53	0.16	0.15	0.378	0.065

1974 年, 河南郑州市郊古莱镇农民在平整土地时发现大片炉渣、凝铁, 经发掘发现了两座并列的椭圆形竖炉。由残迹推算该 1 号炉容积约 44 立方米, 在其附近发现一块重 20 余吨的凝铁 (图 3-3)。凝铁与炉底形状吻合, 显然是拆炉取出的。化学分析表明, 与现代高炉生铁比较, 古莱镇竖炉生铁含碳高 (这点在采用高磷矿石时是必然的), 磷高会使铁制品冷脆。



图 3-3 从汉代竖炉取出的铁块

(参观者为出席金属早期生产及应用第二次国际会议的代表)

生铁冶炼除了竖炉法外, 我国最迟自汉代起还开发了一种坩埚法。但自生铁柔化技术及炒钢、灌钢这类生铁炼钢技术问世之后, 竖炉生铁法一直是我国铁冶工艺的主流。下面侧重介绍竖炉法, 而

对坩埚法也设专节介绍。

3.1.2 矿石和熔剂

现代高炉冶炼，对矿石最看重的是品位。古代受技术水平限制，则主要使用易于开采、冶炼的矿石。我国古代开采铁矿石冶铁始于春秋时代。据史料记载，古代开采的大部分是地表风化残积、坡积和江河岸边的砂铁（沉积岩形成的铁矿砂）以及露出地表的铁矿体。当然各地资源条件不同，在易冶炼矿石缺乏的地区，先民也逐渐掌握了不易冶炼矿石的冶炼技术。如河北承德地区，在20世纪70年代曾发现深达100米的铁矿竖井，底部有东西方向长、南北方向短、用坑木支撑的坑道^[8]。再如，安徽马鞍山（当涂）铁矿，早在秦汉时期已经开采，三国时期，当涂冶铁已用于铸造兵器。而承德和马鞍山地区的矿石，均属较难还原的含钕钛磁铁矿。

古人历来重视炼铁原料的准备。在这方而，我国古代主要有两项举措。

一是“整粒”。随冶铁竖炉的加高，煤气流穿过料柱的阻力增加，这个矛盾阻碍冶铁技术发展。先民经过长期实践，认识到炉料粒度整齐可减少煤气运行阻力，于是炉料整备——“整粒”工作随之发展起来。在河南巩县铁生沟汉代冶铁遗址中，保留着经过破碎筛分后粒度整齐的块矿和筛除的粉末。该遗址还出土有破碎矿石用的石砧和铁锤；河南古荥镇汉代冶铁遗址炼炉后也分别发现矿石堆和矿粉堆。这种整粒技术在我国冶金发展中作为成功经验保留下来，以后在宋、元冶金遗址中，也见到大量筛除的矿粉。20世纪50年代，整粒技术在日本得到发展并引起各国炼铁界的重视，被认为是高炉强化的重要举措。事实上，这项技术早在两千年前我们的先人就已经掌握了。

二是洗矿和焙烧。洗矿，指将开采来的矿石先经水洗，去除夹带泥砂以淘汰杂质，减少冶炼渣量。宋代官员王曾出使辽国，在今河北隆化伊逊河（古柳河）西岸，曾见人“就河漉沙石，炼得铁”。

说明最迟在宋辽时期已采用水洗。明代以后这项技术更得推广。

焙烧可去除铁矿石中的结晶水。对菱铁矿而言，焙烧使碳酸盐分解可排除 CO_2 ；水分和 CO_2 的排除使矿石空隙率增加，由此增大还原气体与矿石的接触面积。明隆庆四年（1570）前后写成的《徽州府志》里明确记载：“既得矿石，必先烹炼，然后入炉”。这说明，在明代焙烧已成为一些铁冶炉场冶炼前的一道工序。

古代竖炉炼铁所用造渣熔剂有石灰石、白云石、萤石三种。

在汉代，已采用石灰石做熔剂。石灰石主成分为 CaCO_3 ，它分解产生的 CaO 能与矿石中 SiO_2 结合生成复合化合物使炉渣熔点降低。这样既可保证炉渣与铁水分离，石灰石带入的 CaO 又能对铁水有效脱硫（使硫转化为 CaS 随渣排出），由此保证铁水质量。石灰石的使用是古代炼铁史上的重要事件。古荥镇等汉代遗址多处发现炼炉附近有破碎好的石灰石，说明两千年前已普遍使用。白云石（主成分 MgCO_3 ， CaCO_3 ）作为熔剂最迟始于宋代，其助熔效果比石灰石更好。到了明代，熔剂又增加了萤石（主成分 CaF_2 ），萤石有更强烈的助熔效果，现代钢铁企业常用做洗炉剂，古代则主要用于竖炉冶炼“料不下”（悬料）时。明人朱国祯撰《涌幢小品》中曾这样记遵化铁冶：“黑沙为本，石子为佐，时时旋下，用炭火，置二鞴扇之，得铁日可四次。妙在石子产生于水门口，色间红白，略似桃花。大者如斛，小者如拳，捣而碎之，以投子火，则化而而为水。石心若燥，沙不能下，以此投之，则其沙始销成铁”。这里“黑沙”指砂铁，“石子为佐”意以熔剂作为辅料；“时时旋下”指炉料在炉内脉动式不断下降；“用炭火”说明是以木炭（或石炭即煤）为燃料（和还原剂）；“二鞴扇之”意用两个风箱鼓风；“色间红白，略似桃花”说明“石子”确为萤石；“大者如斛，小者如拳”指从产地（水门口）采运到铁场时块度；“捣而碎之”说明已知“整粒”；“以投子火，则化而而为水”，意萤石入炉因其强烈助熔作用，使脉石成分很快熔成液态渣；“石心若燥，沙不能下”指如普通石灰石的助熔效果满足不了冶炼要求，铁矿石则难以顺利下

降，此时若投入萤石，“则其沙始销（熔化）成铁”。寥寥数十语将四百年前竖炉炼铁的情况说得清清楚楚。

3.1.3 燃料——木炭、煤、焦炭

燃料在竖炉冶炼中的作用有三：发热剂、还原剂、料柱骨架。尤其是在炉子下部矿石软融之后，唯燃料仍呈固态，维持料柱有一定透气性。

我国古代竖炉炼铁（块炼铁和生铁冶炼）的基本燃料是木炭。木炭含碳高、含硫低，在森林资源尚称丰富的古代亦不难获取，所以两千年来是铁冶的主要燃料（国外更是这样），以至直到20世纪40年代，我国民间土高炉仍以木炭为燃料（甘肃就是这样^[4]）。煤的热稳定性差，易热裂，使燃料的“料柱骨架”作用在高温下难得发挥。同时因其含硫高，不利于生铁质量，即使在现代，直接以煤做燃料用于高炉炼铁也不容易。所以，尽管许多文献说我国远自汉代已将煤用于炼铁，但不能认为以煤做竖炉燃料已成为古代竖炉炼铁的主流。一般文献所说煤用于冶铁，可能多指坩埚炼铁法（尤其是在北方地区）。

关于煤何时用于竖炉冶铁，明代以前文献无明确记载。从考古发掘来看，巩县铁生沟汉代遗址曾发现炼炉所用燃料有木炭、木柴和煤；在古荥镇一号炉（约44立方米）炉基附近发现了煤饼和栎木炭。同时期其他冶铁遗址未发现过煤，表明当时一些先进竖炉可能已以部分煤作为燃料。《苏东坡全集·前集》卷十《石炭引》中说：“彭城旧无石炭，元丰元年十二月，始遣人访获于州之西南白土镇之北，以冶铁作兵（兵器），犀利胜常云。”与此同时，他还写过一首《石炭行》述说用煤炼铁的好处。彭城为现今徐州，宋代设有徐州冶所。白土镇在今安徽萧县东南，距徐州约50公里。1954年在徐州北约50公里的利国驿铁矿场掘出呈半地穴式的东汉炼铁炉一座，说明苏东坡所说的“冶铁”当为竖炉法而非坩埚法，即宋代一些竖炉已以煤（或配部分煤）为冶铁燃料。

文献上明确记载竖炉用煤是明代宋应星的《天工开物》。该书卷十四“铁”条云：“凡铁一炉载土（指铁矿石）两千余斤，或用硬木柴，或用煤炭，或用木炭，南北各从其便。”此外有文献说明代遵化铁冶的炼炉所用燃料已“煤居十七，木炭居十三”^[33]。说明明代竖炉用煤已较普遍^①。直至20世纪70年代，我国南方仍有“白煤（无烟煤）炼铁”的高炉，可谓是这项技术的延续。

马可·波罗在那本著名的《行记》中，说中国“所产木材固多，然不用以烧，盖石（指煤）之火力足，而其价亦廉于木也”。易热裂使煤在竖炉的应用受到限制，但它具有“价廉于木”的优势，我们的先人自然要设法寻找避热裂、提高其强度的方法。由此开发出了以煤炼焦技术。

大约在唐代，我国就发明了煤的炼“熟”技术，最迟到明代就已炼出了焦炭。

唐人康骈《剧谈录》载：“洛中豪贵子弟……凡以炭炊饭，先烧令熟，谓之炼炭，方可入爨（cuàn），不然犹有烟气”。此“炭”当指煤炭，因木炭无烟。故此“烧炭”可视为“炼焦”的前身。

明方以智《物理小识》卷七载：“煤则各处产之，臭者（挥发分高者）烧熔而闭之成石，开凿而入炉曰礁，可三日不绝火，煎矿煮石，殊为省力。”明末清初的孙廷铨在《颜山杂记》卷四“石炭”条也有类似说法：煤再“炼而坚之，谓之礁；顽于石，重于金铁，绿焰而辛酷”，“礁出于炭而烈于炭”。这是我国古代关于炼焦技术的最早记载，但其发明应在此以前^[2]。许多外国学者把焦炭的发明归功于18世纪英国人达比（A. Darby），这是不正确的。

焦炭发明之后，广泛用于坩埚法及竖炉法炼铁。《咸丰青州府志》中说，明清之交已盛行于山西的坩埚法就是将铁矿石破碎，配好煤加入坩埚，再“置方炉中，周以礁火”进行冶炼。可见该法是以煤为还原剂、以礁为燃料（发热剂）的。又，清初屈大钧在《广

^① 此外，明中期于谦《咏煤炭》诗有“铁石犹存死后心”句，也表明此时竖炉炼铁已以煤或焦炭为燃料。

东新语》中说，广东竖炉铁冶，装料“下铁矿时，与竖炭相杂，率以机车从山上飞掷而入炉”。此“竖炭”显然指焦炭而非木炭，因木炭不竖。

3.1.4 鼓 风

我国自古就高度重视鼓风。《礼记》就有“良冶之子，必学为裘”之句。这里的“裘”是一种皮囊，商周时已用于冶铜。

最早使用的鼓风器称为橐或橐龠 (tuó yuè)，也叫鞴鞴 (gūo bèi)。橐，是用牛皮制成的风袋；龠，原指吹口管乐器，这里借喻橐的输风管。“鞴”即今“排”字。战国时已有橐龠。《老子·道经》用它比喻空间：“天地之间，其犹橐龠乎？虚而不屈，动而愈出”，意即皮囊内充满空气而不塌缩，拉动其体又能将其内空气压出来。空气通过输风管进入熔炉。

汉代典籍中述及橐龠者甚众。图 3-4 为 1930 年在山东滕县宏道院出土汉代冶铁画像石，它由三个木环、两块圆板、外敷皮革而成。由图左侧可见，鼓橐者两人，下仰卧一人，当橐压缩后，此人用手将其推起使之恢复原位。图中间有四人正在打铁（锻打）。左一人掌钳，右三人抡锤；图中间一人瞞视所锻的刀是否平直，另一个站着检查表面质量，右二人用木锤校直刀脊。整个图面除鼓风用橐之外，其余景况与近代无异。依画像石上橐比例推算，汉代橐容积约 0.23 立方米，若每分钟往复 20 次，则风量约 3.3 立方米/分^[6]。

高炉容积扩大，橐也相应增多。一橐要三人操作，加上轮换休息、倒班，则一座四橐的竖炉即需工人 35 名以上，为此迫切需要新的动力出现。东汉初期，南阳太守杜诗推广劳动人民的创造，倡导使用水排，即用水力推动的排橐。水力的使用不但节省了人力、畜力，而且可以提高鼓风量。这项技术后在我国沿用下来，到三国时，韩暨“乃因长流水排，计其利益三倍于前”（《三国志·韩暨传》）。水力鼓风的发展对冶铁作用巨大，到南北朝时仍继续使用。

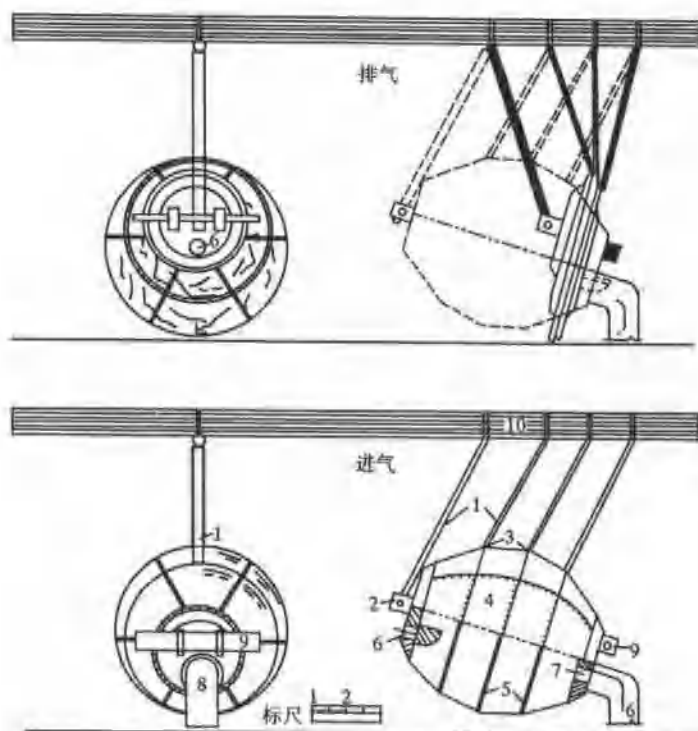


图 3-4 汉代画像石冶铁图及鼓风装置“囊”复原图

1—吊杆；2—拉杆；3—铁环；4—皮囊；5—木环；6—进气门；7—排气门；8—排气管；9—横木；10—横梁

至南朝元嘉年间,“冶令颜茂以塘数破坏,难为功力,茂因废水冶,以人鼓排,谓之步冶”(《太平御览》卷八三三《资产部治》引《武昌记》),以后应用逐渐减少。

宋代,活跃在我国西北地区的西夏人发明了双木扇风箱。这种风箱靠木质箱体与木板的启闭运动造成断续气流(参见图2-7)。为了得到足够的风力,其扇风板比人体还高,鼓风效率可能较低。不久,这种风箱被安装于水力驱动的机械上(图3-5),这才使木扇风箱有了较高的功效。南宋末年,约13世纪下半叶,这种风箱被拉杆式风箱取代。拉杆式风箱轻便省力、功效高,很快得到普及

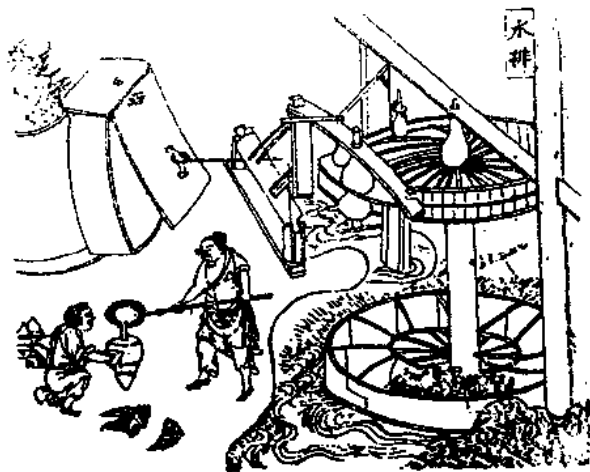


图3-5 古代的水力鼓风机械

(取自元代王祿《农政全书》)

和发展^[39]。在明代宋应星《天工开物》中,画有20个风箱图,这些风箱分别出现在卷中《冶铸》、《锤锻》,卷下《五金》的插图中(图3-6)。这表明,在明代活塞式风箱已于冶炼、铸造、金属加工中广泛应用。从这些风箱可以看到,其中有的拉杆面及对面各有两个进气瓣;有的拉杆面一个进气瓣,对面两个进气瓣;有的拉杆面

一个进气瓣，对面未画出；有的拉杆面没有进气瓣，对面未画出。前三种推拉拉杆时均可鼓风，可得到连续气流；第四种只有推拉杆时进风，得到的是间歇式气流。不同类型的风箱可能是适应不同温度的需要而设计和制造的。

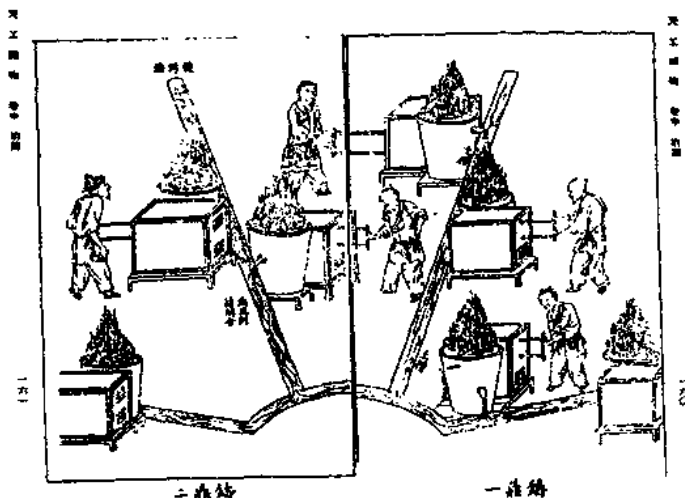


图 3-6 《天工开物》绘冶铸图

活塞式风箱的问世是鼓风设备的重大创新。英国著名科学史家李约瑟博士曾引述 19 世纪科学著作家尤班克的话评价这种风箱的科学价值和历史地位。尤班克说：“最完美的鼓风机和近代改良泵的杰作”都是中国活塞式风箱的“仿制品”^[40]。

3.1.5 炼炉构造及砌筑

春秋战国时期炼炉资料史无记载，近年两汉冶铁遗址则发掘多达三十几处，其中尤以河南为多。总体说来，两汉时期炼炉有如下特点：

(1) 多为较高大的竖炉。如古荥镇遗址 1 号炉复原高度达 5.6

米，有效容积约 44 立方米，堪称当时世界最大的炼铁炉。

(2) 炉缸多呈椭圆形，部分是圆形和长方形。如古荥 1 号炉为椭圆形炉缸，长轴 4 米，短轴 2.8 米，面积约 8.5 平方米。长轴两侧各设两个风口。在河南鹤壁汉代冶金遗址，有 13 座椭圆形炼炉。炉体宽 2.2~2.4 米，长 2.3~3 米，最大一座炉缸面积 5.72 平方米，其中一座残高尚有 2.99 米^[6]。1954 年江苏徐州北利国驿发现的东汉炼炉（半地穴式）亦为椭圆形。呈椭圆形主要是由于汉代尚以囊鼓风，送风能力不强。同样面积的炉缸，椭圆形短轴两侧距中心比圆形近得多，炉缸不活跃区减少。炼炉断面由圆发展到椭圆，在鼓风机械能力较弱的古代，可称是强化冶炼的有效途径。基于同样的考虑，1850 年美国建成两座椭圆形高炉，英国建成一座，随后瑞典、俄国也相继出现，并将此视为新的创造，殊不知已较中国晚了 1800 年。

(3) 炉身多呈直筒形，个别有斜度。此“个别”指先进竖炉，如古荥 1 号，炉子下部炉墙向外倾斜，与水平呈 62°。炉墙外倾，炉料与煤气容易充分接触，能节省燃料。这种倾斜反映了早在汉代，对冶炉内状况已有所认识。

(4) 尚存少量海绵铁炉。如铁生沟发现的 10 座炼炉中，海绵铁炉占了 3 座（两座长方形，一座圆形）。

汉代各地筑炉方式不同。古荥、临汝、夏店等许多地方都是以土夯筑，内壁以草拌泥做炉衬。铁生沟的圆形、椭圆形及两座长方形炉用耐火砖，五座长方形退火脱碳炉内砌耐火砖，内壁敷以泥土^[8]。

值得指出的是，在河南多处汉代冶铁遗址发现了化铁用的熔炉。根据对瓦房庄熔炉的复原研究，汉代熔炉是建在地面上的竖炉，高约 3~4 米，炉内径约 1.5 米。炉壁分 3 层，从炉内壁的熔融程度看，自上而下分为预热区、还原区、氧化区，进风管与鼓风机相接，使用人力鼓风，以栗木为燃料。从已发现的熔炉结构和筑炉材料看，它与炼铁炉显然有别，说明炼铁与化铁的分工已经明确。早期以炼铁炉的铁水直接浇注铸件的做法至此多已为专用的熔

炉所取代^[41]。

与汉代同时期的欧洲，炼铁炉随地区不同，大致可分为三类：即①地炉。从地面下挖，上有圆顶，侧面鼓风，在炉顶加料和取样；②平地筑炉；③竖炉。有的可以排渣^[42]。

唐宋以后，炼炉炉型发生了明显变化，主要体现在以下几方面。

(1) 炉体变小

可能是经过两汉和魏晋时期的实践，认识到在鼓风能力不足条件下，“矮”炉较之“高”炉更宜于强化冶炼。炉子高，木炭易被压碎，“高”炉发生悬料等故障的可能性也大。

(2) 炉缸多已呈圆形

椭圆、长方形炼炉逐渐被淘汰，这点当与随活塞式风箱的出现，鼓风能力增强有关。圆形炉易砌筑，且内部无死角（长方形死角最多），利于炉料顺行和煤气利用。

(3) 炉腔内形多呈梨形，出现了明显的炉身角

这类炉子在安徽繁昌唐宋冶铁遗址、河南安阳宋代冶铁遗址都曾发现，其结构与至今保留的梨形土高炉相近（比如20世纪40年代，甘肃土高炉多呈灯罩形，炉容6~7.5立方米^[4]）。

唐宋竖炉多傍山面筑，这样可利用山坡强固炉身，同时也便于装料与出铁等操作^[2]。

明清两代，鼓风技术较之前代明显进步，经唐宋多年摸索，炼炉规模及内型与鼓风能力已较适应，所以明清炼炉在容积和炉型方面较之前代无明显变化。明代河北遵化大型炼炉高4米，前宽0.83米；河北武安县发掘的明代炼炉高6.33米，内径2.33米，“用炭火置二鞴扇之，得铁日可四次”（孙承泽《春明梦余录·工部》）。

明宋应星《天工开物》中说：“凡铁炉，用盐做造，和泥砌成。其炉多傍山穴为之，或用巨木匡围，塑造盐泥，穷月乏力，不容造次；盐泥有罅，尽弃前功。”顾炎武《天下郡国利病书》中称：“凡

炼铁依山为窑，以矿、炭相间，乘高纳之，窑底为窠。炭炽，矿液流入渠中者为铁，用以模铸器物。”清初屈大钧《广东新语》中说：“炉之状如瓶，其口上出，口广丈许，底厚三丈五尺，崇（高）半之，身厚二尺有奇，以灰沙盐醋筑之，巨藤束之，铁力紫荆木支之，又凭山崖以为固。炉后有口，口外为一土墙，墙有门二扇，高五六尺，广四尺。以四人持门，一阖一开，以作风势”；又说：“其二口皆镶水石一，（水石）其质不坚，不坚故不受火，不受火以能久而不化，故名水石。”由上记述大体可看出明清炼炉状况。

3.1.6 炼炉操作及产品

先秦炼炉的操作状况，现已无法确知。20世纪80年代曾对河南省舞钢地区古西平冶铁遗址进行调查。据考证，这一带在战国时期是韩国的重要兵器生产基地，古代著名的铸剑工师干将、莫邪曾应邀来此指导铸剑^[16]。考察结果：在赵庄遗址，发现大量散布的铁渣和木炭，有保存较好的长方形炼铁炉，其底部是以砂、粘土并混入木炭粉混合物捣固，炉壁有黑色耐火砖残存；在许沟遗址，从战国（当时属韩）到汉代的炼炉遗址发现绿或蓝色的玻璃质炼铁炉渣；在沟头赵遗址三座炼炉的炉底发掘出铁块（最大直径45厘米，厚24厘米，重65公斤）；在圪垯赵遗址发现青绿、灰绿及褐色玻璃渣及矿石块，褐、黑两层炉壁残片及圆形炼炉。此外，在尖山铁矿发现许多矿石碎片和废弃的脉石，当地农民在耕作中还掘出过重5公斤的铁块。这些资料表明，从战国到两汉这一时期，炼铁炉已主要冶炼生铁而不是块炼铁，当时已注意选用高品位矿石。炉渣呈玻璃渣，可能是由于木炭含硫低，炉渣脱硫任务不重，玻璃渣（酸性渣）的热稳定性比石头渣（碱性渣）好，可减少由热制度波动引发的悬料、炉缸冻结等故障；但也可能是当时尚未充分认识到加入熔剂（石灰石）的有益作用。

从铁生沟及古荥镇汉代遗址的发掘来看，汉代炼铁炉渣仍为玻璃渣，但已采用石灰石。古荥1号炉经检定推算，这座约44立方

米的炉子，日产生铁约 570 公斤，炼一吨铁消耗矿石约 1995 公斤，木炭 7850 公斤，加入石灰石 130 公斤。这一生产规模相当于同时期 25 座罗马炼炉块炼铁产量的总和^[6]。

汉代炼铁显现出来的冶炼过程状态已与现代高炉相近，这点可从史书关于当时竖炉爆炸的记载看出。据《汉书》载：“征和二年春，涿郡铁官铸铁、铁销，皆飞上去，此火为变使之然也（下面大段有关朝廷大变动的叙述从略）：成帝河平二年正月，沛郡铁官铸铁，铁不下，隆隆如雷声，又如鼓音，工十三人惊走，音止还视地，地陷数尺，炉分为十，一炉中销铁如流星，皆上去，与征和二年同象（其下又述朝廷内纠葛，从略）”（《汉书》卷二十七，五行志，第七上）。这类爆炸，只有在炉子很高，悬料（“铁不下”）很久，炉下部很长一段炉料烧空、熔化，炉缸已聚积很多铁水时，当上部炉料突然下落导致炉子上部腾出空间，炉外大气突然侵入与炉内煤气混合时才有可能发生。爆炸声如雷似鼓，爆炸导致地陷数尺，表明炉内煤气量相当多，冶炼相当强化。汉代以橐鼓风，从古茱 1 号炉推断，此沛郡炼炉也应是四橐送风的椭圆形炉。由汉代画像石可知，鼓橐者一橐三人，故当班工人应 12 人，加上当今“炉长”之类一人，计 13 人，此与“工十三人惊走”恰相印证。

关于明清炼炉的操作，明孙恩泽《春明梦余录》称，遵化铁冶“生铁之炼，凡三时而成”，三时即三个时辰，今之六小时；又明朱国祯《涌幢小品》称遵化铁冶“得铁日可四次”。二者相符，即北方的炼炉大体一昼夜出铁四次。而南方的炼炉，清初屈大钧《广东新语》称佛山炼炉“铁矿既熔，液流至于方池，凝铁一版。取之，以大木杠搅炉，铁水注倾，复成一版；凡十二时，一时须出一版，重可十钧。一时而出二版，是日双钧，则炉太王（旺），炉将伤，须以白犬血灌炉，乃得无事”。由此看来，正常情况下两小时出一次铁，即一昼夜出铁 12 次，出铁 120 钧，折 2175 公斤（1 钧 = 30 斤，1 斤 = 604.8 克）。佛山炼炉依其尺寸计算，容积约 15 立方米，产量为汉代古茱 1 号（44 立方米）的 3.8 倍，故清代较之汉代，

生产率（用现今有效容积利用系数的概念）提高了8~9倍。这是送风能力增强、炉容炉型与风量相适应等多种因素带来的。至于经济效益，同书又说：“一铁场口得二十余版则利赢，八九版则缩，是有命焉”。表明若减产一半则赔钱，正常生产有利可图。当然铁质亦影响经济效益：“然诸冶唯罗定大塘基炉铁最良，悉是铠（铠甲）铁，光润而柔，可拔之为线，铸镞（bó，锄）亦坚好，价贵于诸炉一等”。

我国古代炼铁的综合技术水平远远高于其他国家，这点可从各地发现的炼铁炉渣的化学分析反映出来（表3-4）^[42]。不难看出，欧洲由于采用块炼法，铁还原条件差，渣铁难以分离，金属收得率很低（ FeO 、 Fe_2O_3 含量高达50%以上）。我国炼炉渣铁分离多较好，这是由于石灰质熔剂的应用大大降低了渣的熔点和渣中含铁量，有利于获得生铁及铁水脱硫。表中安阳唐坡、东冶的炼炉渣 MgO 含量均很高，显然是采用了富 MgO 的白云石，说明最迟在宋代，我国最少已采用石灰石、白云石两种熔剂。

谈到古代冶铁，一个值得注意的问题是，古代（乃至民国年间）民间炼炉均秋天开炉，来年春天停炉，即如《广东新语》所说：“凡开炉始于秋，终于春”。对此，屈大钧的解释是“以天气寒凉，铁乃多水，金为水之源，水盛于冬，故铁水以寒而生也”。这种“阴阳五行说”显然不能令人信服。从现代观点来看，从秋到春为北半球气温较低季节，鼓风不论取何种设备，均系体积风量（现代仍如此），则同体积风量，冬季鼓风含氧量较之夏季多，故有利多出铁，但这只稍许影响效益，冶户不该由此在春天停炉。考察近邻日本的古代铁冶，日本自曹魏时期从我国传入生铁法后，冶铁业也是每年秋季（中国夏历十月即公历十一月份）开炉（并和我国中原古代一样，举行祭祀）、春季停炉。对此，日本一些学者的看法是，日、中古代均以农立国，从春到秋为农事季节，铁再紧俏也没粮食宝贵，所以“农忙务农，农闲冶铁”^[43]。这种看法，亦不全令人信服。对此，已故著名炼铁学者靳树梁（中国科学院学部委员）有

表 3-4 世界各地不同时期的炼铁炉渣成分

地 区	年 代	成 分 / %										
		FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	TiO ₂	S
土耳其 Sirzi	公元前 7 世纪	55.65	13.96	8.60	5.16	7.18	1.89	4.87	1.95			
奥地利 Noreia	公元前 1 世纪	55.72	10.33	20.72	3.85	2.38	1.96	1.85	0.40			
英国 Dorset	24~25	53.00	22.87	15.95	2.75	痕	1.47	0.45	0.40			
法国 Yonne	罗马帝国时代	46.9	4.80	31.8	2.10	22	9.9	0.75	0.25	0.45	0.35	
丹麦 Jutland	300~500	41.2	3.6	22.7	1.4	16.8	1.0	1.13	2.20			
德国 Aachen	罗马帝国时代	65.42	5.18	17.19	2.73	2.7	4.95	1.68	1.00			0.223
中国郑州古荥	汉	2.94		52.20	24.95	2.64	12.06	2.64				
中国山西阳曲	南北朝	31.61		51.48	8.25	0.1	1.67	0.43	1.1			
中国河南安阳 唐 陵 坡	宋	7.94		54.26	25.20			11.69				
中国河南安阳 冶 东	宋	18.13		48.73	23.24	0.21		9.55				
日本岛 根	奈良前(710 前)	54.53	10.17	19.45	0.78		5.00					
日本冈山县	奈良前(710 前)	33.12	9.90	23.60	5.15	1.5	5.03	1.38				
日本青 森	平安后(806 后)	39.08	14.52	18.15	2.81	0.80	7.47		0.7			5.70

精辟分析，他在写于我国抗战时期的一篇论文中说：“与小型炼铁炉共负制炼生铁之使命者，尚有土法炼铁炉。其历史远在数百年前。土法炼铁炉有一显著之特点，即每当夏季，一律‘放箱’，暂停工作，绝无例外；俟秋冬之交，再行‘架箱’，恢复冶炼。一般土炉业者，知其当然而不知其所以然。解之者曰：冬令空气较冷，空气愈冷，则愈干燥；愈干燥则愈省冶炼之燃料。此系事实，无可置疑；唯仅因空气冷热之差异，所生耗废（费）燃料之差别很小，其差别未必能超过土炉冶炼之利润范围。业土炉者以利润为目的，若谓其竟能明知有利而不为，殊非情理之正。解之者又曰：夏季农忙，故土炉必须间歇，然则其他民间工业如制盐等，何以四季不辍，故知土炉之夏季停工，必另有其主因在。主因云何？曰：在于炉底湿气之上渐，与吾今所论小型炉之特征相同”。靳先生进而指出土高炉焦比之所以甚高，“其原因即在于借燃烧之热力而与炉底潮湿相斗争也。”指明这点之后，进而提出了炉底砖层浇入桐油借以防水的解决措施^[44]。作者认为，靳先生的看法较为可信，古代炼炉多建于山坡或高岗，想或有这方面的考虑。

我国古代生铁以白口铁居多，但也有麻口铁和灰口铁。与现代高炉相比，早期炼炉炉温不高，还原硅量较少，放生铁含硅低；又因主要以木炭为燃料，带入硫少，故铁水含硫一般亦较低；含磷量则取决于铁矿石，磷在炉内全部还原，所以采用高磷矿石生铁含磷高，反之亦然。白口铁中碳以碳化三铁（ Fe_3C ）和游离渗碳体的形态存在，断口呈银白色，硬而脆、耐磨，适作农具。河北兴隆燕国矿冶遗址出土的大量锄等农具就是白口铁铸成的。为克服白口铁的脆性，大约在春秋战国之交创造了铸铁柔化术，即借助高温退火使之由表及里脱碳，同时使其中的碳化铁高温分解析出石墨，从而消除脆性成为可锻铸铁。

到了汉代，我国竖炉已达到较大规模，鼓风技术也有所改善，由此炉温相应升高。因硅还原属强吸热反应，炉温高使铁水溶解硅量增加，硅的引入能使铁中碳在凝固时发生石墨化形成条状石墨

片，而其基体则变成含碳低的铁素体，此时断口呈灰色，这就是灰口铁。较之白口铁，灰口铁脆性降低，凝固收缩也小，故适于铸造精巧、纹细的器物；又由于其组织中的片状石墨具有润滑作用，故适作轴承材料。河北满城西汉墓出土的车铜（即轴承）即灰口铁制品。

麻口铁性质介于白口、灰口之间，可视为白口铁向灰口铁发展过渡时期的产品。满城西汉墓出土的铁犁铧则为麻口铁^[20]。

我国古代生铁先后曾有过三种用途：①直接铸器。用于铸造农具等廉价用具；②铸成铁条、铁块，然后对此白口铁进行脱碳退火处理，再加工成各种器具，主要见于汉魏时期；③作炒钢和灌钢原料，此工艺始于汉代，延续至近现代^[2]。在宋元时期，生铁还用于水法浸铜。

生铁冶炼是我国古代钢铁技术体系的关键。没有生铁，铸铁柔化、炒钢、灌钢等技术则无从谈起，钢铁器物的使用不会那么普遍。所以生铁冶炼技术在我国古代文明中占有特殊地位。

3.1.7 坩埚法

3.1.7.1 工艺及在我国的发展概况

坩埚是可在炉内加热物料的开口耐火材料容器，其大小多以可用钳子举起为度。

我国关于坩埚冶铁的记载始见于清。《咸丰青州府志》卷三十二《县志》说：“康熙二年，孙廷铨召山西人至此，得熔铁之法。凿取石，其精良为礞石，次为硬石，击而碎之，和煤盛以筒，置方炉中，周以礞火。初犹未为铁也，复碎之，易其筒与炉，加大火，每石得铁二斗为生铁。复取其恶者置圆炉中，木火攻其下，一人执长钩和搅成团。出之，为熟铁，减其生之工焉”。由上可知，在清康熙之前，此法在山西已相当成熟，康熙后传入山东地区。其中“石”即铁矿石，“煤”主要为还原剂，“礞”则作发热剂。“筒”即坩埚，“方炉”即坩埚炉。其中第一次加热约与焙烧相当，旨在去

硫和预还原，“易其简与炉”后则为还原冶炼^[2]。坩埚法特点是①成品质量好；②坩埚可大可小，操作简单；③可大量用煤，经济^[45]。故该方法近现代在晋、鲁、豫、辽诸省多有使用。在抗战时期，我国与国外交通受阻，大后方还尝试用此法炼过钢^[46]。此法缺点是铁收得率低，产品含硫较高；从现代的角度看，综合能耗亦较高。

19世纪，我国的坩埚法曾引起不少西方人的兴趣。最早记录见于德国地质学家李希霍芬写的《中国》一书。李氏来华考察，在山西亲眼见到这种特殊的生产方法，十分惊奇，在1882年出版的书中作出如下描述：

坩埚高“15英寸（0.38米），上口直径约6英寸（0.15米），用耐火土制的”；坩埚内填充铁矿石和煤块，将坩埚码在“长8英尺（2.44米）、宽5英尺（1.52米）的地上，三面用泥墙框起来，第四面敞开。坩埚上下及周围均填充煤块。坩埚共码两层，一炉码150个，第四面用横放的坩埚垒起作墙，然后点火鼓风。等到温度够高时，停止吹风……以下的手续是依要炼出的铁是用于铸造还是锻打而定。如目的是前者，就把坩埚从火中取出，并把里面的流质倾倒在一块平地上，这样就成为一种薄片形白而脆的铁；如果想要锻铁，那就让这一堆在四天之内缓慢冷却，然后击碎坩埚，在其底上就是半球状的铁块。以上两种方法炼出来的铁的价格是十多个铜钱一斤，合三马克一公担^[6]。”

范百胜于20世纪50年代调查山西晋城的坩埚炼铁，了解到的情况与上述记载大体相似。另据文献[22]记载，该法是用2~4人操作风箱鼓风。除了炼铁，此法也可用于化铁，即把生铁打成碎块放置埚内，熔化后将铁水倒入模型中制成各种铁器，其种类在山西多达2000种以上。

坩埚炼铁工艺，其实还可从古代炼锌的记载中间接了解到。《天工开物》卷十四《倭铅》条云：“每炉甘石十斤，装载入一泥罐内，封裹泥固，以渐研（yà）干，勿使见火拆裂，然后逐层用煤炭

饼垫盛，其底铺薪，发火煨红，罐中炉甘石熔化成团，冷定，毁罐取出每十耗去其二，即倭铅也。”此书还有坩埚法炼锌图。

与竖炉法相比，坩埚法中每个坩埚都相当于一座炼炉。坩埚内矿煤配比及坩埚周围加热温度不同，铁水成分会有变化，既可炼出高碳生铁，也能炼出接近高碳钢成分的钢。1979年在洛阳吉利区发掘了一批汉墓，其中一座出土了11个坩埚。坩埚皆直筒形，其中一个坩埚内壁粘附一钢块，经化学分析，钢块含碳量1.21%，属过共析高碳钢。金相分析表明，金属基体为珠光体。晶粒间界上分布许多网状渗碳体，磷共晶则以不规则的星形分布于晶粒间界上。一般说来，坩埚法产品应为生铁，但控制得当也可得到钢。像洛阳这样充分熔化了了的液态坩埚钢，在西方于1740年才出现，而我国在汉代就已炼了出来，实在难能可贵^[2]。

3.1.7.2 关于坩埚法的思考

坩埚是我国古代十分重要的高温加热器具，既可用于冶炼，亦可用于熔炼，且适于金、银、铜、铁等许多金属的冶铸。我国在先秦就出现了内加热和外加热两种形式，以内加热居多。汉代以后外加热式增多。内加热时，鼓风从口部进入，坩埚材质因用途而异。

坩埚法过去亦称泥罐熔炼，铜器时代先民以此炼铜。坩埚冶铁则是我国古代钢铁技术的一项特殊成就。

关于坩埚冶铁始于何时，我国学术界尚无一致意见。与此有关的早期资料主要有四处：一是20世纪50年代北京清河镇清理的一座西汉早期钢铁作坊，出土坩埚炼铁炉一座，其底径约12米，坩埚高似不超过60厘米，口径约30厘米，容积似不大于殷代将军盔；二是呼和浩特二十家村南西汉铁工场，出土大小有异形状各别的冶铁炉16座，在各冶炉附近出土有坩埚、鼓风管、铁矿石、炉渣、泥范等；三是洛阳市吉利区汉墓出土了11个坩埚，如前所述，其中一个内壁附有铸态钢；四是1959年从河南南阳瓦房庄汉代冶铁遗址发现17座坩埚炉，坩埚外涂3~4厘米草泥，泥外有一层灰

白光亮的烧结层^[6]（图 3-7）。由这些发掘断定，中原文化区在汉代已发明了坩埚炼铁。

在有关中国冶金史的著作中，常引晋代释道安《释氏西域记》中一段话来说明中国冶铁用煤之早：“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，恒充三十六国。”

就此冶金史学者何堂坤先生指出：“晋时库车（屈茨今称）既已大量用煤炼铁且恒充三十六国用，这应是坩埚冶炼而不是竖炉冶炼。因煤的热稳定性较差，会严重地影响料柱透气性，决不可能大量而普遍地用到竖炉上。我们推测，汉代在向西域传播冶铁技术时，很可能竖炉工艺、坩埚工艺一同传了过去”^[2]。

此外尚有值得注意之点：1958 年在新疆库车古龟兹（qiuci）冶铁遗址，发现了炼铁小坩埚及矿石、炼渣、风管等。龟兹是西域城郭王国，佛教文化中从梵文将该地汉译成屈茨。在汉代，甚至直到晋代，当地居民还是高鼻深目，属印欧语系，从地域和文化背景均与中原相去甚远。由于历史条件、行规陋习等不利因素，古代文化传播缓慢，所以晋代在西域已“恒充三十六国”的技术，内地在此前几百年已开发出来亦不为怪。

就坩埚冶铁，国外学者也有类似看法。英国的中国科技史学者尼达姆就中国铸铁何以出现得较欧洲早 1900 年提出四点看法。其一就是今山西省有适于制作坩埚的优质耐火粘土，所以坩埚技术可能很早就发展起来。再者，中国从公元 4 世纪冶铁开始使用煤炭。煤炭作为燃料与还原剂使坩埚法更易获得高温由此更易推广发展。日本科技史学者吉田光邦进而提出中国铁器文化二源说，即有坩埚



图 3-7 汉代冶铁坩埚
（河南南阳出土）

法和竖炉法两个源头。就北方的坩埚法，吉田氏还指出，早已熟悉用坩埚法炼铜的中国古代冶铜匠师，完全可以尝试以同样方法来炼铁。同时坩埚内壁所含的石灰质或粘土在高温下自然有助于形成矿渣而在生铁冶炼中得到利用。坩埚法可能是先被用于炼铁、后被用于化铁铸造，中国丰富的煤炭资源会支持这种技艺发展下去^[8]。笔者认为吉田氏的看法不无道理。中国幅员辽阔，各地域资源条件、文化发展不同，几种方法先后或几乎同时出现是很可能的。

至此似已可得出结论：坩埚法最迟在汉代已经开发出来，在中原许多地区得到推广且一直传播到西域。

从吉田氏的“二源说”联想到我国古代炼铜及山西省的煤铁贮藏，不尽令人想到山西这块宋代以后我国坩埚铁的主要产地，是否从先秦起就已与“坩埚炼铁”连在一起了呢？

地下发掘表明，我国早在 6000 年前已经炼出了铜。1977 年在甘肃东乡发掘出完整铜刀，距今约 5000 年；古朴庄重，重 875 公斤的司母戊鼎则铸于至今 3200 年前。而据考证，我国炼铜最早就是采用坩埚法。1989 年著名的辽西牛河梁红山文化遗址，在一圆锥形石冢顶部发现一炼铜遗址，上有冶炼红铜的坩埚多达 1500 多个。坩埚高约 33 厘米，坩埚口直径约 30 厘米，与现代水桶大小差不多^[47]，至于炼铜竖炉则是商周之交才出现的（国外古代炼铜也是先采用坩埚法后发展为竖炉法，其大型坩埚高约 50~60 厘米）。既然 5000 年前已能用坩埚大量炼铜，那么，此后 3700 年的晋国赵鞅铸刑鼎，其作为军赋向城中百姓征收的铁，当然也有可能同样出自坩埚法。山西铁矿分布广，浅藏易炼，有“山西式铁矿”之美称；更为难得的是，山西全省皆煤，是世界上最早认识并利用煤炭的地区。写于春秋末年的《山海经·北山经》中就记载山西多处“多涅石”，所以尝试以价廉易得的煤炭作为燃料和还原剂，用坩埚法这种既古老又简便的方式进行冶铁，实属情理中事。

因无发掘和文献为证，认为坩埚冶铁源于山西还只是推测。山西广泛采用此法治铁则始于宋代。北宋时的文献记载：“河东民烧

石炭，家有橐冶之具，盗铸者莫可诘”（《文献通考》卷四《钱币》二）。河东为今山西泛称，“莫可诘”即无法查寻、盘问。如系规模大、用工多的竖炉法，不可能“家有橐冶之具”，历代朝廷经常以“聚众滋事”、“潜藏匪类”为由封闭矿冶，也只有坩埚法这种家庭作坊式生产方能使官府“莫可诘”。

宋代以后，山西一直是我国铁冶重地，且直至清末均采用坩埚法治铁。1902年，高平一县就有冶铁方炉一百五六十座，每天出铁七八万斤^[22]。这种工艺一直延续到20世纪中期。因就地取材、成本低廉，用坩埚铁锻成各种小工具颇受社会各界欢迎。

关于坩埚炼铁概述至此。简要的结论：生铁法是我国古代炼铁的主流。就全国而论，竖炉生铁法是铁冶主线，然坩埚法亦是一支不容忽视的方面军。

3.2 炼 钢

我国古代的炼钢方法主要有两类，一是以块炼铁为原料渗碳使之成钢；一是令生铁脱碳使之成钢。现分述如下。

3.2.1 块炼铁渗碳钢

我国古代把熟铁叫𦔁铁或黄铁，实际上都是铁矿石低温还原得到的海绵铁，通称块炼铁。因系固相还原产物，故夹杂多。

块炼铁含碳很低，软而有延展性。古人通过长期实践掌握了两种渗碳成钢法：一是把块炼铁直接放在炽热的木炭中加热，表面渗碳，再经反复锻打使之成为渗碳钢。河北易县燕下都出土的汉代钢剑，就是这样锻成的。另一种方法是在块炼铁中配入渗碳剂和催化剂，密封加热使之渗碳成钢，俗称“焖钢”。河北满城一号汉墓出土的刘胜佩剑和错金书刀即为这种焖钢。《吴越春秋》所记载的干将、莫邪曾“断发剪爪，投入炉中”所炼制的钢可能亦是这种钢。这种固体渗碳技法是木炭火中渗碳法的发展，渗件质量较易保证，

近现代仍流传在河南、湖北、江苏等地，广泛用来制造铁锹、镐头等生产工具和轴承等机械零件。古代所用的渗碳剂有木炭、锯屑等，有时还加入骨粉、火硝。

明代宋应星《天工开物·锤锻篇》中载有渗碳制针法：用松木、火矢（即木炭）、豆豉做渗碳剂，拌以土末，和针一起在铁锅内加热，在密封层外表插上几枚针用以测火候；当测针经加热氧化、手捻即碎时，打开密封层将针淬火。据调查，我国东北赫哲人在近代仍用类似方法制作鱼钩。即把铁丝加工成型后，与木炭、火硝一同装入陶罐，置炉中加热，热毕将罐打碎，使针落入水中淬硬，再在锅中用油和小米炒熟（实为回火）。这样做成的鱼钩可钓大鱼而不被拉断，可见方法与渗碳制针大体相同^[5]。

渗碳法制得的钢，强度、硬度均较块炼铁高，但通常含碳较低且渗碳不均，夹杂较多，颗粒显大，生产率也较低，所以它是早期最原始的炼钢方法。

3.2.2 铸铁脱碳钢

铸铁脱碳钢的工艺过程是先制取白口生铁铸件，然后在氧化性气氛中脱碳退火，使其含碳量降低到钢的成分范围而不析出或很少析出石墨。它的金相组织与近代的钢相近。

战国时期铸铁的退火柔化处理工艺得到了推广。在制成韧性铸铁的实践中，人们摸索出，在铸件脱碳退火中，只要时间、温度控制得当，在固态下进行比较充分且适当的氧化脱碳，即令其白口组织消失又基本上不析出或少析出石墨，即可得到性能不同于韧性铸铁的“铸铁脱碳钢”。1977年，河南登封告城战国遗址中出土的一批铁器，经检验是目前所知我国最早的铸铁脱碳钢制品^[20]。

铸铁脱碳钢技术似可追溯到战国早期。洛阳水泥制品厂出土的战国早期铁铤就是经过不完全脱碳处理的，应属铸铁脱碳钢的早期制品。到了汉代，这项技术已相当成熟，不少遗址都有其制品出土。

铸铁脱碳钢的发明具有十分重要的意义。古代没有铸钢，而锻钢的冶炼和加工效率都低，且含杂质较多。我国古代利用生铁容易成型、含夹杂极少的优点，通过脱碳退火得到在成分、性能上和近代铸钢件相近的铸件，确是一项重大发明。所以，这一工艺在南北朝以前，曾被广泛采用。这一工艺的缺点是器件的含碳量不易控制，难于加工较大、较厚的工件，故其应用有局限性。目前已发现的铸铁脱碳钢器件都是较薄的。

3.2.3 炒 钢

炒钢因在冶炼过程中要不断地搅拌，有似炒菜而得名。

3.2.3.1 工艺特性和发展

在铸铁脱碳的工艺实践中，工匠们发现采用这种技术还能使生铁变成熟铁，由此导致了最迟在公元前1世纪的西汉后期发明了用生铁炒炼成钢或熟铁的新技术。这项技术是将生铁锤成碎块，加热熔化后不断地搅拌以增加铁水与空气的接触，使铁中碳逐步氧化，凭经验控制其氧化脱碳的程度，即控制其铁中含碳量，由此可以得到熟铁和钢。由于当时无化学分析知识和手段，工匠们在炒钢过程控制碳含量较为困难，故一般都是先将铸铁炒炼成（现代概念的）熟铁，再用渗碳法炼制成钢。

我国发现最早的炒钢实物，是1974年山东苍山出土的东汉永初六年（112年）的“卅谏大刀”，其次是1955年洛阳晋墓出土的元康九年（299年）的“徐美人刀”。“卅谏大刀”由炒钢直接锻打而成，刃部组织均匀，是比较细的珠光体，有少量马氏体，是高碳钢；“徐美人刀”也由炒钢锻成，是低碳钢，刃部进行过渗碳和淬火处理。它们的非金属夹杂性质相同，以硅酸盐为主^[48]。

我国炒钢技术约发明于西汉中晚期。今见较早的遗物有河南巩县铁生沟出土的汉代炒钢炉及铁块、残铁锄、铁耒等14件炒炼产品。铁生沟炒钢炉系向地下挖出的缶形小坑，内涂耐火泥，长0.37米，宽0.28米，残高0.15米。炉壁已被烧成黑色，内中残

存一铁块。

关于炒钢的记载，最早见于东汉的道家著作《太平经》卷七十二。文中说：“有急乃使工师击冶石，求其中铁，烧冶之，使成水。乃后使良工万锻之，乃成莫邪。”这段文字首先讲开矿（击冶石）炼铁，得到铁水，再将凝固的铁反复加热炒成钢。生铁无法锻打，既能“万锻之”，说明已炒炼成钢。

炒钢的发明，迅速地改变了我国社会可锻铁的使用状况。到西汉中期以后，大部分兵器已多用钢铁制作，其原料显然是炒钢。西汉时期抗击匈奴骚扰的战争，往往一次大战役动用兵力达10~30万人，铁兵器的需要量十分巨大。炒钢法也随着大规模战争的需要而得到发展。以生铁为原料的炒钢技术又进一步推动了炼铁技术的发展。此法问世后，农具也逐步用熟铁锻打。晋隋间的著作《夏侯阳算经》中有生铁炼黄铁、黄铁炼钢铁的记载，黄铁就是由生铁炒炼而成的熟铁或低碳钢。这一工艺出现在算学著作，说明它在当时应用已较普遍。唐初铁农具还有用铸铁的，到了宋代则大都以熟铁锻制了。以后炒钢法一直沿用到明清，直到近代，土法炒钢仍在采用。炒钢法随技术发展还产生多种形式。

炒钢法以可连续大规模生产的生铁为原料，过程又在液态、半液态下进行，故可连续地、比较大规模地进行生产，且可去除部分夹杂。其工艺过程分炼铁、炼钢两步走，故可说是两步炼钢的开始。在近代钢铁史上，只有转炉炼钢和氧气顶吹技术等少数发明创造可与之比拟。

3.2.3.2 工艺操作

(1) 单室式炒炼

金属熔炼与燃料燃烧在同一炉膛进行。前述巩县铁生沟、南阳瓦房庄等汉代炒钢法皆属此类。铁生沟炒铁炉系在地面下挖成缶状坑做炉膛，从遗址中出土的三块铁料，其含碳量分别为1.288%，0.35%和0.048%，很可能就代表炒钢的产品并反映出通过一定的加热和锻打条件，可以得到高、中、低含碳量的钢和熟铁。河南方

城也曾发现 6 座汉代地炉式炒钢炉^[5]。

20 世纪 50 年代，河南、山西曾流行一种“地炉”，亦筑炉于地下，炉口与地面平直，冶炼时先放木炭（或煤），后放生铁。生铁需击碎，上面盖以煤末，之后点火、送风、封闭炉口。生铁接近熔化时启开炉口，用铁棍或木棍不断搅动铁熔体。随炒炼进行，碳分降低，金属熔点升高，粘结成海绵状固体块，夹出锤击，排除夹杂，赋予一定形状，便是炒炼产品^[2]。

(2) 双室式炒炼

亦称反射炉（倒焰炉）炒炼。燃料燃烧与金属熔炼各占有独立空间，燃烧产生之高温火焰流越过火墙（火道）进入熔炼室并加热金属，之后从炉门或专设烟道排出。因金属不与燃料接触，故减少了磷、硫等有害杂质进入之可能性。图 3-8 为近代四川威远式炒钢炉^[5]，供参考。铁生沟汉代冶铁遗址曾发现反射炉一座，呈长方形，以耐火砖砌筑，长 3.47 米，宽 1.17 米，残高 0.78 米，炒炼成品为低碳钢^[8]。在南京眼香庙发现的明洪武初年所建的一排六座琉璃窑亦属这类倒焰窑。

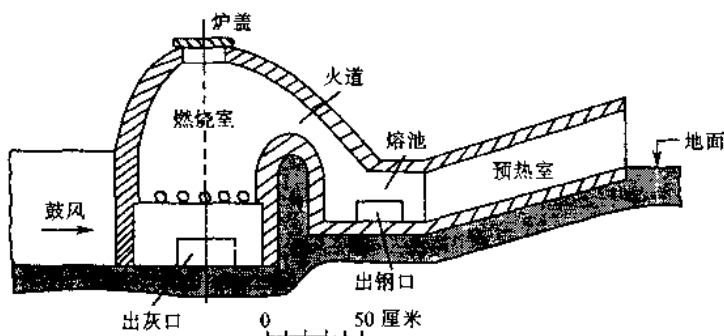


图 3-8 四川威远式炒钢反射炉

(3) 串联式炒炼

指炼铁炉与炒钢炉串联，出炉铁水不待凝固直接炒炼。这种工

艺是现代炼钢法铁水热装和连续炼钢的先声，是明代钢铁史上最重大的发明（图 3-9）。



图 3-9 串联式炒钢法
(明代生熟铁冶炼图，载《天工开物》)

有关记载唯见于《天工开物·五金》之“铁”条：

“凡造生铁为冶铸用者，就此流成长条圆块，范内取用；若造熟铁，则生铁流出时，相连数尺内低下数寸，筑一方塘。短墙抵之。其铁流入塘内，数人执柳木棍排立墙上，先以污潮泥晒干，舂筛细罗如面，一人疾手撒抛，众人持柳棍疾搅，即时炒成熟铁。其柳棍每炒一次，烧折二三寸，再用，则又更之。炒过稍冷之时，或有就塘内斩划成方块者；或有提出挥椎打圆后货者。若浏阳诸冶，不知出此也。”

炼炉铁水流入炒钢炉（方塘），人们急速搅动，利用空气氧化铁水中的碳。方塘很浅，铁水流入深度不过三四寸，所以搅动的木

棍要烧损二三寸。用潮泥做氧化剂，加速脱碳过程。在凝固前，或在塘内将铁水隔开（“斩划成方块”）；或抬出用锤锻打成圆饼出售。至于上文中加潮泥的作用，目前尚不很清楚，除了认为是氧化剂，也有人认为是脱氧剂或是熔剂以促进造渣。

与旧法相比，串联法节省了热量。另一方面，竖炉铁水超过1350℃，较加热铁块可能达到的温度高150℃以上，脱碳速度当然较快，从而也提高了炒钢炉的效率^[6]。上引文中说此法浏阳各冶场“不知出此也”，说明串联法是项新发明，尚未普及。

尚需提及，古人区别生铁、钢、熟铁主要依其使用性能：硬而脆者为“生”，可锻者为“熟”，性刚强者为钢。因炒炼在半液态下进行，渣铁难以分离，产品含夹杂往往较多，即使含碳量较高但性不刚，也只能称之“熟铁”而不称为钢。苏恭《唐本草》云：“柔铁也，即熟铁”，是以材料性能来区分钢与“熟铁”；苏颂《图经本草》云：“初炼去矿，用以铸泻器物者为生铁，再三销拍，可以作𦔁（yè，金属薄片）者为𦔁（xū，锁簧）铁，亦谓之熟铁”则是以性能和冶炼工艺来区别生熟；《天工开物》卷十四“铁”条：“凡铁分生熟，出炉未炒为生，既炒为熟”是单以工艺作为区分钢铁的标准。从含碳量的标准来看，古代“熟铁”应与今可锻铁相当，即指 $C < 2\%$ 的所有可以锻打的铁碳合金^[49]。

3.2.4 灌 钢

灌钢是我国特有的制钢技术，它是在高温下将熔融生铁渗淋、灌注或擦入到熟铁块（或片）的表层，利用碳扩散使生铁碳含量降低、熟铁碳含量增高，再经锻打而成钢。灌钢冶炼过程是碳的扩散和均匀化过程，因之属匀碳制钢术。采用这种炼钢方法获得的钢件碳分布均匀，且可去除部分杂质，得到的是可用作刀锋刃的优质钢，所以在1740年西方坩埚炼钢法发明之前，是世界上最先进的炼钢方法。

灌钢法大约始创于5世纪后半叶的南北朝时期。陶弘景说：

“钢铁是杂炼生柔作刀镰者”。“生”指生铁，“柔”指柔铁。南北朝时东魏、北齐期间（550年前后）的綦母怀文是灌钢的最早实践者之一。他把生铁烧化，浇到称之“柔铤”的可锻料铁上，几次就成钢了（“造宿铁刀，其法烧生铁精以重柔铤，数宿则成钢”）。他制得的刀叫宿铁刀。用动物的油脂和尿来淬火。也有人认为东汉末年王粲《刀铭》中的“灌辟以数”、西晋张协《七命》中的“乃炼乃炼，万辟千灌”其中的“灌”即指灌钢。如是，则灌钢的创始时代可提前到公元3世纪时^[40]。

据史籍记载，灌钢加工工艺可分三种，其发展趋势是减少灌炼次数，以致一次炼成。

第一种是生铁陷入法。北宋沈括在《梦溪笔谈》卷三中说：“世间锻铁所谓钢铁者，用柔铁屈盘之，乃以生铁陷其间，泥封炼之，锻令相入，谓之团钢，亦谓之灌钢”。把柔铁屈盘起来，是为增加生铁、熟铁的接触面积，提高灌钢效率，并使碳分布更加均匀；封泥则可促进造渣、去除杂质，并起保护作用。

第二种是生铁覆盖法，记载在《天工开物》卷十四之中。它把柔铁屈盘改为薄熟铁片，进一步增加了生铁、熟铁的接触面，加速了“生熟相和、炼成则钢”的过程。泥封亦改为草泥混封，反映了明代灌钢技术的改进。

第三种是生铁浇淋法。该法即自清代至近世盛行于江苏、安徽、湖北、湖南、四川、福建等地的“抹钢”或“苏钢”。“苏钢”操作要点是：先把料铁放在炉里鼓风加热，后把生铁的一端斜放在炉口加热。继续鼓风，使炉里温度不断升高，当炉温在1300℃左右时，炉内生铁不断下滴铁水，料铁也已软化。此时钳住生铁块在炉外的一端，使铁水均匀淋到料铁上，并且不断翻动料铁，这样就产生了剧烈的氧化。淋完以后，停止鼓风，夹出钢团，砧上锤击，去除夹杂，一般要淋两次。这种方法约始于明代中期，清代在安徽芜湖、湖南湘潭等地亦较盛行。因传为江苏工匠始创，故名“苏钢”。

关于后两种方法,明唐顺之《武编》中亦有记载:“熟钢无出处,以生铁合熟铁炼成;或以热铁片夹广铁锅,涂泥入火而团之;或从生铁与熟铁并铸,待其极热,生铁欲流,则以生铁于熟铁上,擦而入之”。文中熟钢即指灌钢。前种方法是用熟铁片夹着广铁锅片,然后涂泥熔炼。锅片很薄,是“团钢”的好材料,广铁是当时最优质的生铁。后种方法所谓“擦而入之”实际即为“抹钢”和“苏钢”。苏钢冶炼高明之处在于:一是料铁组织疏松,含有大量氧化夹杂,硅、锰、碳含量较高,灌炼时氧化剧烈,造成一定的渣、铁分离;二是料铁中铁的氧化物氧化了生铁中的碳之后,铁被还原出来,由此提高了金属收得率。如用熟铁灌炼,氧化铁早已被当成夹杂排除了。清嘉庆年间《芜湖县志》卷一说的“初锻熟铁”,大概就是这种类型的料铁。“苏钢”和前两种工艺之别,也主要在这。前两种是用“熟铁”片,即为“片”,组织就比较致密,就不是“初锻熟铁^[49]。”

“抹钢”或“苏钢”法用于制造小农具,就是著名的“擦生”法。“擦生”也就是《天工开物》所说的“生铁淋注”,是在熟铁锻成的小农具上,于高温擦上薄层熔融的生铁(“每锹、锄重一斤者,淋生铁三钱为率”),使最外层成为白口铁熔复层,自外向内依次为过共析层、共析层、亚共析层和本体金属。经过擦生的农具,外硬内韧,锋刃锐利,耐磨经久,旱不沾土,湿少沾泥,使用轻便,耕作效率高,故深受农民欢迎^[5]。

因灌钢以生铁和“熟铁”为原料,有学者认为它是利用生铁向熟铁渗碳的工艺,这是种误解。灌钢冶炼主要目的不在渗碳,而是排除夹杂。它和百炼钢法一样,是在炒钢的基础上为进一步去除夹杂、改善钢质才发明出来的。这是由于古代“熟铁”之含碳量与可锻铁相当,而灌钢以熟铁为料,故灌炼后其含碳量可能增加亦可能减少或变化不大。1938年,周志宏对重庆北碚苏钢作坊的原料与产品进行了分析,结果见表3-5。

表 3-5 苏钢工艺的原料及产品成分 %

品 名	C	Si	Mn	P	S
生铁料	3.05	0.28	0.18	0.22	0.05
“熟铁”料	0.92	0.19	0.10	0.08	0.02
成品钢中段外部	0.92	0.036	0.024	0.037	0.008
成品钢中段内部	0.92	0.034	0.029	0.046	0.011

由表 3-5 可见，其产品含碳量与原料“熟铁”一样。它们之间主要区别是成品中 Si, Mn, P, S 含量较“熟铁”低，系排除夹杂的结果。

灌钢是我国古代冶金技术的一项杰出成就，它利用生铁含碳较高，“熟铁”含氧化夹杂较多的特点，用“熟铁”中氧去氧化生铁中 Si, Mn, C 造成激烈的“沸腾”而达到去除夹杂之目的。该法操作虽简，然效果显著，是古代制钢工艺所获得的最高成就。明唐顺之《武编前编》卷五中说：“此钢合二铁，两经铸炼之手复合为一，少沙土粪滓，故凡工炼之为易也”。这是毫不夸张的评价。因之约翰·德（John Day）在《史前钢铁使用》一书中将此法誉为“后世平炉方法的先声”^[2]。

3.2.5 百炼钢

3.2.5.1 产生与发展

前已述及，炒钢工艺是在半液态下进行，故渣铁分离依然较难，只有通过反复锻打，才能进一步排除夹杂。古人通过实践认识到，反复锻打的次数越多，夹杂排除越充分，钢的质量也越好。于是，便产生了一种以“炼数”来标明钢质量的工艺。

1974 年，山东苍山县东汉墓出土了汉安帝永初六年（112 年）三十炼环首钢刀；1978 年江苏铜山驼龙山汉墓出土了一把汉章帝建初二年（77 年）制造的“五十炼”钢剑。经鉴定，它们都是以炒钢为原料，经反复加热折叠锻打而成的百炼钢制品。

就文献而言,“百炼”最早见于东汉王充的《论衡·状留编》:“干将之剑,久在炉炭,𦏧(xiān,锋利)锋利刃,百熟炼厉,久销乃见,作留成迟,故能割断”。这里的“百熟炼厉”即有“百炼”之意。1961年,日本奈良一古墓出土百炼钢刀一枚,全长103厘米,背部有24字错金铭文:“中平□年五月丙午造作支刀百炼清刚上应星宿□辟不祥。”中平系东汉灵帝年号,这是今知最早的百炼钢实物。

百炼钢工艺发展到三国时期已趋成熟,魏、蜀、吴三国都有工匠掌握了这种技艺以锻造刀剑。曹操曾令工匠为他做“百炼利器,以辟不祥”。晋崔豹《古今注·舆服第一》云:“吴大帝有宝刀三,……一曰百炼,二曰青篋,三曰漏景”。陶弘景《刀剑录》云:“蜀主刘备令蒲元造刀五千口,皆连环,及刃口刻七十二谏”。可见三国都制作过“百炼”或标以其他炼数的名刀利剑。汉末与三国时期,百炼钢工艺得到发展,固然与群雄割据混战需要刀剑兵器有关,但主要还是由于当时的贵族社会把宝刀名剑视为身份象征并借以辟邪求吉的风尚有关。倡导这种贵族式刀剑风尚的正是魏的曹氏父子。这一时期,不独中原,连边远地区百炼钢工艺也很发展。《晋书》卷一三〇说,夏(407—431年)赫连勃勃称王时亦曾“造百炼钢刀,为龙雀大环,号曰大夏龙雀”。《太平御览》卷六六五引陶弘景话说,南朝有一种“横法刚”,也是“百炼”而成。文人学士们也常用“百炼钢”作喻。历代的名剑宝刀,不少就是用这种工艺锻成的。近代冶金史家普遍认为,在我国古代的钢铁材料中,百炼钢可以说是质量最高的产品^[20]。

唐宋以后,因灌钢工艺发展等原因,百炼钢有所减少,但这一工艺形式一直沿用下来。《册府元龟》说五代有一种“九炼纯钢”;沈括《梦溪笔谈》说北宋时期磁州有百炼钢;宋周去非《岭外代答》卷六“蛮刀”条说到南方有一种“卅谏”钢;明宋应星《天工开物》、清黄冕《飞炸弹炮说》也都谈到过“百炼钢”。百炼钢工艺还传到朝鲜和日本,对举世闻名的日本刀制作曾产生许多重要的影

响^[2]。

3.2.5.2 工艺

北宋沈括在《梦溪笔谈》中最早记载了百炼钢的工艺过程：“予出使到磁州，锻坊观炼铁，方识真钢。凡铁之有钢者，如面中有筋，濯尽柔面，则面筋乃见，炼钢亦然。但取精铁锻之百余火，每锻称之，一锻一轻，至累锻而斤两不减，则纯钢也。虽百炼不耗矣，此乃铁之精纯者，其色清明，磨莹之，则黯然青且黑，与常铁迥异。亦有炼之至尽而无钢者，皆系地之所产”。文中“精铁”当指百炼钢原料，应是含碳稍高、含夹杂不十分多的铁碳合金。“一锻一轻”应是不断去除夹杂，氧化铁皮不断产生并脱落之故，因之“累锻斤两不减”应是相对而言。“炼之至尽而全无钢”可能是含硫较高、产生热脆之故。不难看出，“百炼”即百锻，中心环节是反复锻打，百炼钢就是去除夹杂后的“纯钢”。从现代观点来看，除了排除夹杂，反复锻打还可均匀成分，致密组织，有时亦可细化晶粒，从而极大地提高材料质量^[2]。

“百炼”操作，主要有三种类型。

(1) 多层积叠锻合法

把许多块料积叠锻合在一起。这些原料成分可以相同，亦可不同，积叠锻合后也可再次折叠。这种方法有实物为证。科学分析表明，永初“卅炼刀”和建初“五十炼”长剑，金相组织都明显分层，前者刃部取样含碳约 0.6%~0.7%，夹杂细薄分散，变形量较大，大体分 30 层左右。后者刃部组织分为三部分，总计为 50 余层，可见早期百炼工艺中，炼数与组织层数之间存在一定关系，当然“百”当言多，非为严格的数字。

(2) 单料反复折叠锻合

未折前为一层时，经 n 次折叠会出现 2^n 层。现代龙泉宝剑有“九炼”之说。有人说近代之日本刀折叠 7~8 次，由此得到 128 或 256 层组织。在金相显微镜下，此组织有时能够分辨，有时不能分辨。

(3) 旋转锻合法

清魏源所辑《海国图志》引林则徐奏章一段话说：“至熟铁则不可铸而但可打造。其打造之法，用铁条烧熔百炼，逐渐旋绕成团，每五斤熟铁方能炼成一斤，坚刚光滑无比”。根据调查，20世纪30年代前，北京宝刀工艺中也有类似操作，但旋绕锻合次数视情况而定^[2]。

百炼钢因制作艰难，金属收得率低，所以主要用其制作宝刀名剑一类名贵器物，持有者亦多不用之做实战兵器或工具，普通刃器及生产工具应用甚少。

3.3 成型与加工

3.3.1 铸造

我国冶金史的一个突出特点，是铸造技术占有重要地位，以至它既作为成型工艺存在，又成为冶炼工序的一个组成部分，达到“冶”、“铸”密不可分的地步。铸造这种突出的地位具有广泛的社会影响，像“模范”、“陶冶”、“熔铸”、“就范”等习语都是沿用了铸造业的术语。

我国的生铁铸造成型技术，是在高度发达的铜器冶铸技术基础上发展起来的。早在夏朝，我们的先人已能熔铸青铜器，到了商代，铸出了司母戊方鼎那样复杂的大型器物。进入铁器时代时，泥范已经淘汰了石范，最迟到战国时又出现了金属范。在造型工艺上，则掌握了分铸、叠铸及熔模铸造等多种技术，这是古代世界上其他国家和地区所无法比拟的。

3.3.1.1 泥铸

为了获得形状复杂、花纹精细的铸件，古代冶铸工匠采取了一系列工艺措施。在造型材料的选备上，精选质地纯净、耐火度较高的沙泥予以炼制。铸型表层所用的面泥用水澄洗，得到极细极纯的

澄泥。这种泥料有很好的塑性和强度，翻到铸范时能得到很高的清晰度和准确度。背泥则采用较粗的泥料或杂以沙子、植物质，以减少澄泥耗用量，增加铸范的透气性。所有泥料都要经过长期的阴干、反复摔打，使它高度匀熟，不致在造型、干燥时开裂。在造型工艺上，以分铸法作为基本工艺原则，获得复杂的器形；或者先铸器身，再在上合范浇注附件；或先铸得附件（如鼎的耳、足等），再在浇注器身时铸接成一体。春秋时期，先铸附件后铸器身已成为分铸法的主流^[50]。这样，运用简单的工艺原则成功地解决复杂的工艺问题，执简御繁，可谓匠心独具。由于选料考究、工艺精湛，使生铁铸件近乎青铜铸件一样精美。以山西为例，远在春秋时，已将成文法典铸于铁鼎之上；到了明代，万历三十四年（1606年），铸出刻有一万余字及鸟兽花纹的铁钟^[22]。此外，对于范芯的干燥、焙烧、装配、均匀壁厚使它达到同时凝固、预热铸型使它顺利浇注等方面，远在商、周时期已摸索出成熟的工艺，不但为后代的泥范铸造，也为金属型和熔模铸造奠定了技术基础。

我国古代泥范铸造的另一杰出成就，是叠铸法的早期出现和广泛应用。叠铸是把许多个范块或成对范片叠装在一起，用一个共同的浇道进行浇注，一次得到几十甚至上百个铸件。它可以批量生产，生产效率高、成本较低，又能节省造型、浇注用地，故是比较先进的铸造方法。这种方法在西方是随着大机器生产才出现和发展起来的，至今仍被广泛采用；而在我国，在两千年前的战国时期已开始应用。1974年，在河南温县招贤村汉代冶铁遗址，发现东汉前期洪范窑一座，窑内整齐放置叠铸泥范500余套，以车马器泥范为主，有革带扣、马衔、连接链、各种轴承等36种器形。铸范都用金属模盒翻制成范块或范片，然后叠合成套，由一个垂直的总浇口把各层空腔连起来。金属液自上而下逐层流灌型腔，一般一次可铸6~10层，每层2~6件；最多的是革带扣，有14层，每层6件，一次可铸84件。那次出土的六角承叠铸范复原图见图3-10^[50]。放置泥范的洪范窑呈半地穴式，平面略呈前部半圆形，

后部方形，并在前面挖出窑道（工作场面），再在地面上砌出窑室。窑体分窑门、火膛、窑室、烟囱四部分。窑门拱顶，门内为火膛，比窑室面低 0.5 米，火膛内有砌砖的炉箅。窑室方形，底部铺砖，四壁用土坯砌成，向上逐渐收拢成密封券（xuàn）顶。窑室后壁设有烟囱。从此窑及其他遗址中发现的泥范可以看出，用泥范浇注铸铁件，在合范后浇注前要经过一道烘范（预热）工序，使用预热型浇注能减低金属液在型腔中的冷却速度，有利于铁水畅流注满型腔，保证铸件有较高的精确度^[40]。

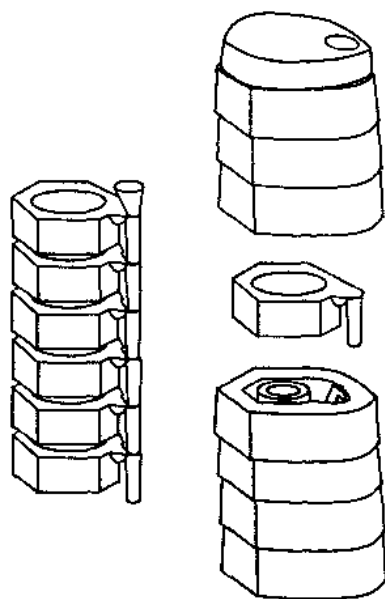


图 3-10 河南温县出土的汉代六角承叠铸范复原图

用泥范铸造大型和特大型铸件技术，唐宋后有很大发展。山西唐代蒲津关铁牛、沧州五代铁狮、当阳北宋铁塔都是闻名的巨大铸件。沧州铁狮重 5 万公斤以上，铸造时以整块内模为芯，使用 400 多块泥范拼接，用“分节叠铸法”铸成^[51]。宋应星《天工开物》

记述了两种浇注大件的方法：一是用多个行炉相继倾注；二是用多个熔炉槽注。这在古代手工业生产的技术条件下，应当说是一种巧妙而又需要熟练技巧和很好组织协同的工艺措施。

3.3.1.2 金属型铸造

铸型从石范、泥范发展到金属范，在铸造的历史发展上具有重要意义。1953年在河北兴隆发现一批战国时代燕国铁范，包括铤、斧、锄、凿、车具等器类共87件（图3-11），由白口铁铸成，可以多次重复使用，省却制范、备料等多道工序，劳动生产率提高很多，而且规格划一、形制齐整；铸件经过激冷，石墨核心生成几率增加，又可促进石墨化发展。兴隆铁范表明中国风格的金属型在当时已大体定型。继兴隆之后，河南南阳、郑州，河北满城，山东莱芜等地又陆续出土汉代铁范多件，品种比战国时期显著增多，但形式基本相同。

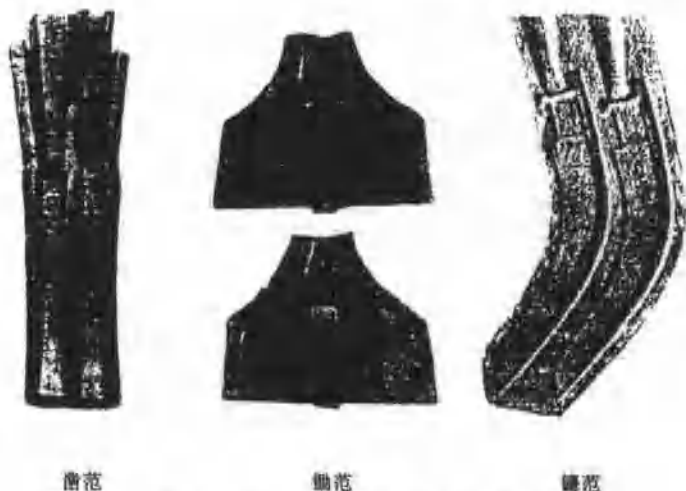


图3-11 铁范（战国时期，河北兴隆出土）

从战国起，我国由泥范翻铸铁范，再由铁范翻铸铁器的工艺方法延续不变，一脉相承，工艺上形成一套合乎科学原理的方法。如

用铁水预热铸型，使用双层涂料，浇注后及时打箱，除使用金属芯外还采用泥芯，使用简易的装卡机构等等。由于金属型生产率高，使用寿命长（小型铸件可达几百次），产品规格齐整，铸造又能与铸铁柔化术密切配合，故在古代农具铸造上发挥了十分重要的作用。

用铁范铸炮是我国传统金属型铸造的一个创造。鸦片战争时期，在浙江省炮局监制军械的龚振麟，为赶铸炮位，曾倡议用铁范铸炮并获成功。这种方法一范多铸、成本低、工效高，减少了表面清理和旋洗内膛的工作量，铸型不含水气、不出气孔，收藏、维护方便。如战事紧迫，能很快投产应急。虽然此后不久钢炮的发明使这种工艺没获进一步发展，但龚振麟的首创精神和爱国情怀，仍然值得赞扬^[50]。

3.3.2 锻 打

3.3.2.1 热 锻

锻打分热锻和冷锻两类。

钢铁锻打技术是随块炼铁出现同时产生的，所以在我国应始于西周；但这项技术的发展则出现在汉代以后。从秦汉到明清，在热加工技术中，值得注意的有百炼钢、花纹钢及铁炮锻打等。百炼钢前已述及，下面对花纹钢及铁炮锻打予以简要介绍。

花纹钢是一种带花纹的钢，将其表面打磨光净，或再腐蚀一下，会显现各种花纹。这实际上是材料组织或成分不均匀、不连续面表现出来的一种光学现象。这种钢主要用于制作名贵刀剑等器物。

我国花纹钢据传始见于春秋末年。《吴越春秋》载，吴国铸剑名匠干将、莫邪曾铸剑两枚，一曰“干将”，呈龟裂纹；一曰“莫邪”，吴水波纹。汉晋时期此工艺有较大发展。据魏曹丕《剑铭》载，建安二十四年（219年），曹丕命国工铸宝剑九枚，皆因姿定名。有“光似流星”者名为“飞景”；有“文（纹）似灵龟者”名

为“灵宝”，其他如“流彩”、“含章”等各有其名，显然皆系花纹钢所制。同时期裴景声《文身刀铭》云：“良金百炼，名工展巧，宝刀既成，穷理尽妙，文繁波回，流光电照”。花纹钢如此沿用下来，唐代有“文身铁”，宋代有“蟠钢剑”，清代有“菊花钢”，直至20世纪30年代北平还有“折花剑”生产。

古代花纹钢中，最有代表性的是折花钢型。这种钢在魏晋时谓之“百辟文身”钢，是由两种含碳量相差较为悬殊的钢通过多层积累、反复折叠、旋拧最后锻合而成。我国古代由波斯和罽（jì）宾（今克什米尔）传入的镔铁，即西方所谓“大马士革钢”，亦有与此相类的工艺^[2]。花纹钢对原料要求高，加热温度需适中、均匀，加工速度要快。总之，操作繁杂，金属收得率低，故制品非寻常百姓可以问津。

古代名贵刀剑，一要其身能显示出花纹，二要锋利，三是舒曲自如，因之要求高超的加工技艺。

我国古代称锚为碇（dìng），“海中以石驻舟曰碇”（《四声学苑》），“锚”字见于南北朝以后，隋唐时铁锚才逐渐推广。

我国古代关于铁锚工艺的记载始见于明。《天工开物》卷十“锤锻·锚”条云：“凡舟行遇风难泊，则全身系命于锚，战舡（chuán，同船）、海舡，有重千钧者。锤法：先成四爪，以次逐节接身。其三百斤以内者，用径尺阔砧，安顿炉傍；当其两端皆红，掀去炉炭，铁包木棍，夹持上砧。若干斤内外者，则架木为棚，多人立其上，共持铁链，两接锚身，其末皆带巨铁圈链套，提起掟（liè，扭转）转，咸（全）力锤合。合药不用泥，先取陈久壁土筛细，一入颞撒接口之中，浑合方无微罅。盖炉锤之中，此物其最巨者”。由上可见，古代铁锚是用分段接合法锻制的^[2]，加工过程使用了简单的提升机械。“黄泥”当指造渣剂，亦系覆盖剂。铁锚加工反映了钢铁热加工技术的进步（图3-12）。

我国管形火器技术发明于南宋，金属管形炮则出现于元明，始为铜质，后或铜或铁。其中大炮多为铸铁，小炮则以钢锻成。

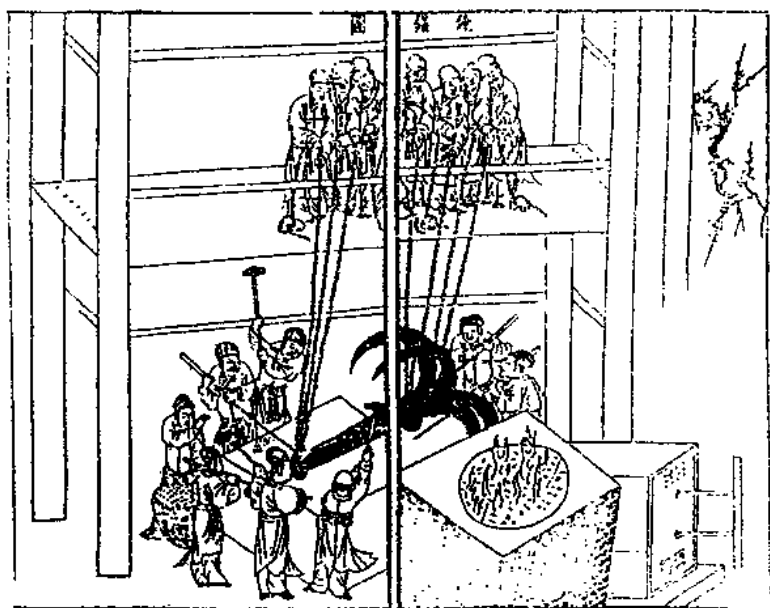


图 3-12 《天工开物》所载铸钟图

宋应星《天工开物》卷十五“佳兵·火器”条说：“凡鸟銃（chòng），长约三尺，铁管载药，嵌盛木棍之中，以便于握。凡锤鸟銃，先以铁挺（直铁棍）一条，大如箸者为冷骨，果（裹）红铁锤成。先为三接，接口炽红，竭力撞合。合后以四棱钢锥如箸大者，透转其中，使极光净，则发药无阻滞。其本近身处，管亦大于末，所以容受火药”。可见其技术措施是：分节锻制，夹铁挺为冷骨，以四棱钢锥加工鸟銃内壁，使之光洁。

清代魏源《海国图志》卷五引黄冕《炸弹飞炮说》也谈到小炮锻造技术：“如欲以少胜多，须讲究小炮可容大弹之法。因又精益求精，别制捷胜小炮，不用铸造而用打造，不用生铁而用熟铁，方能使炮身薄而炮膛宽。缘生铁铸成，每多蜂窝涩体，不能光滑，难于剥磨。故弹子施放不能迅利，至熟铁则不可铸而但可打造……铁

经百炼，永无铸造之炸裂，施用灵活，尤胜巨炮之笨重。”

3.3.2.2 冷 锻

记载始见于宋。主要用于铁甲。沈括《梦溪笔谈》卷十九载：“青堂羌（居今青海西宁附近之羌人）善锻甲，铁色青黑，莹彻可鉴毛发。……去之五十步，强弩射之不能入……凡锻甲之法，其始甚厚，不用火，冷锻之，比元（原）厚三分减二乃成。其末留筋头许不锻，隐然如瘕子，欲以验未锻时之厚薄，如浚河留土笋也，谓之瘕子甲”。近代碳钢冷形变曲线表明，当形变量小于60%~70%时，在此范围内，钢的强度随锻造比递增。而在超过这一关节点后，锻造比的增加并不能显著地提高钢的硬度，反使其脆性递增，导致强度降低。因此文中谈将甲的锻造比取成三是符合科学原理的。

我国古代铁甲发明于战国时期，从河北满城汉墓和内蒙二十家子出土汉代铁甲金相分析来看，早期铁甲多是热锻而成，冷锻似出现在宋代以后。辽、西夏铁甲均用冷锻。“夏众甲冑皆冷锻而成，坚滑光莹，非劲弩可入”（《西夏书事》卷十四），最迟在明代，又把冷锻技术用于部分工具的生产中。如《天工开物》卷十“锤锻·锯”条云：“凡锯，熟铁断（锻）成薄片，不钢，亦不淬健。出火退烧后，频加冷锤坚性”。即锯的制作不需夹钢也不用淬火，退火后用冷锻法提高硬度。

冷锻的优点是：一因加工硬化之故，使之比热锻具有更高的硬度；二因避免了热锻时的高温氧化，器表更显得晶莹光洁。当然制作劳动强度大，生产率低，难以用于普通铁器生产。

3.3.3 拉 拔

我国的金属拉拔约始于汉代，到宋朝时期才用到钢铁工艺中。上海博物馆原藏有一块“济南刘家功夫针铺”广告钢版，其中有“收买上等钢条，造功夫细针”广告语。一般认为，如此大规模制针，可能是拉拔而成。

我国关于拉拔工具的详细记载始见于《天工开物》卷十“锤锻·针”条：“凡针，先锤铁为细条，用铁尺一根，锥成线眼，抽过条铁成线，逐寸剪断为针。先搓其末成颖（小而细长物品之尖端），用小槌敲扁其本，刚锥穿鼻，复搓其外”，然后入釜，慢火炒熬渗碳，再经淬火而成。文中被锤为“细条”的料铁当与现代熟铁和下限低碳钢相当，作为模具的“铁尺”应为含碳较高的钢^[2]。

拉拔工艺在清代有所发展，其中尤以广东为盛。屈大均《广东新语》卷十五说：“诸冶唯罗定大塘基炉铁最良，悉是铠铁，光润而柔，可拔之为线”。陈炎宗《乾隆佛山忠义乡志》卷六说：“铁线有大缆、二缆、上绣、中绣、花丝之属。以精粗分，铁锅贩于吴、越、荆、楚而已；铁线则无处不需。四方贾客各犂（niǎn，人拉的车）运而转鬻（yù，卖）之，乡民仰食于二业者甚众。”可见，此铁丝铁条至少有五种型号^[2]。

19世纪中叶以后，随洋铁、洋针大量输入（1885年进口洋针17.6亿根^[1]），这种土法钢坊才相继倒闭。

3.3.4 钢“铁”复合

这种技术约始于汉代并沿用至今。据考证，汉代制斧，其斧身以含碳较低的钢铁为之，刃部以含碳较高的钢铁为之，唐代亦如此。沈括《梦溪笔谈》卷十九云：“古人或以剂钢为刃，柔铁为茎干，不尔（如此）则多断折。剑之钢者，刃多毁缺，巨阙（过失）是也；故不可纯用剂钢”。文中剂钢当为刃钢，柔铁即柔性较大的可锻铁。由上可见，钢“铁”复合技术要点，其一是以“柔铁为茎干”；其二是“或以剂钢为刃”但又“不可纯用剂钢”，刃钢用得过多则毁，这是重大过失。

我国古代钢铁锋刃器的刃部用钢，其操作法至少有三种，即：①包钢，把钢包在刃口外表，即“钢表铁里”；②夹钢，即“钢里铁表”；③贴钢，将钢焊在刃口一侧，使之一侧为钢，一侧为“铁”^[2]。《天工开物》卷十“锤锻·斤斧”条云：“刀剑绝美者以百

炼钢包裹其外，其中仍用无钢铁为骨。若非钢表铁里，则劲力所施，即成折断。其次寻常刀斧，止嵌钢于其面”，这里显然用了包钢和贴钢技术。在流传至今的传统工艺中，包钢已很少见，使用较多的是夹钢。著名的浙江龙泉宝剑、北平折花剑均曾用此工艺。民间所用刀镰诸刃亦多用夹钢，需一面形成斜刃者则用贴钢。

此外，我国古代还有一种与此类似的锻合钢技术，即用含碳高的硬钢与软钢或熟铁在高温下锻合，使之成为复合钢材。我国台湾山胞就用含碳0.3%~0.4%的中碳钢与含碳0.8%~0.9%的高碳钢折叠锻打制造刀剑。分析一些古代铁质兵器，有的矛头是由低碳钢与中、高碳钢混合组成，两者之间无明显的过渡性，但界面有较多夹杂，推断是锻合钢制成^[5]。

钢“铁”复合反映了我国古代金属冶炼、加工技术由低级向高级发展的过程。无论哪个时代，人们都希望“好钢用在刀刃上”。

3.4 热处理

3.4.1 铸铁柔化术

我国古代大量使用铸铁工具，而早期铸铁是脆而硬的白口铁，冶铁工匠就面临一个使之柔化的课题。通过长期实践，古人创造了两种柔化方法。

一种方法是在氧化气氛下对铸件进行脱碳处理。在脱碳不完全时，铸件外层已成钢，然内层仍是生铁，河北石家庄市庄村战国遗址出土的铁斧和河南辉县出土的铁锤即属此类。脱碳较完全时，白口组织消失，铸件全部由铁变成了钢，但仍保留铸件的物理特征，具有缩孔、气眼等铸造缺陷，河南渑池铁器窖藏出土的“新安镰”就是这种铸铁脱碳钢的实例^[5]。

另一种方法是铸铁件可锻化退火。这项技术约发明于春秋晚期，汉魏时发展到相当成熟的阶段，后因“以锻代铸”过程的逐步

完成而被削弱，但直至宋代仍在使⽤。可锻化退火包括脱碳退火和石墨化退火两种操作。前者在强氧化性气氛中进行，退火过程不析出或少析出石墨；后者以石墨化为主、以脱碳为辅。

我国现存最早的铸铁可锻化退火处理件是河南新郑春秋晚期墓出土的残铁板。为脱碳退火，表层轻微脱碳，内层仍为共晶组织。还有人分析过洛阳水泥制品厂战国早期灰坑出土的铁鏃、铁铲各一件，前者为脱碳退火，后者为石墨化退火^[2]。湖北大冶铜绿山的古矿冶遗址出土的铁斧，是目前已知较早的可锻铸铁件，它经过氧化脱碳并析出部分石墨，属于白心可锻铸铁。战国晚期的黑心可锻铸铁件则是经长时间加热退火而成，石墨呈团絮状，韧性比灰口铸铁和白心可锻铸铁高。湖南长沙出土的战国铁锛，外形端正、铸作精细，壁厚仅1~2毫米，几乎全无锈蚀，是件罕见的古代铁器。经鉴定，是以铁素体和珠光体为基体的黑心可锻铸铁。上述这些都是我国也是全世界最早的铸铁可锻化退火处理件。在西方，铸铁可锻化退火是1722年由法国人发明的，最初也是脱碳退火；石墨化退火的可锻铸铁是1826年才由美国人发明出来的^[2]。

西汉时期，铸铁可锻化技术发展到了相当成熟的阶段。出土的有关器物数量多、地域广，目前北起吉林、南至广东，都有出土，主要技术成就是^[2]：

① 中心残有白口组织的铸件大为减少。

② 石墨化退火技术比战国中晚期又有发展。

③ 脱碳退火已运用得比较好，许多试样不但整个断面脱碳成钢和熟铁，没有或很少有石墨析出，且可根据需要对此类器物进行重新渗碳、组织均匀化处理和锻打加工，从而获得含碳量较高、组织和成分较匀的白心可锻铸铁，其组织和性能已与现代铸钢接近。譬如郑州出土的东汉铁剪，是先用生铁浇铸出条材或剪的基本形态，再整体脱碳成钢，然后可能还进行了渗碳、组织均匀化等加工（参看图7-7）。

④ 石墨化退火发展到了娴熟阶段。退火处理不但析出发展得

较为充分的絮状石墨，且培养出部分较为规整的球状石墨。

⑤ 脱碳退火和石墨化退火两种工艺的产品，在使用上表现出分工倾向。作为手工业工具的剪、刀、凿、斧及镰多作脱碳退火，少作石墨化退火；而农具中的锸、锄、耨、铲等则多用石墨化退火。说明人们对铸铁可锻化工艺及其产品性能的关系已有了较深认识。显然剪、刀、凿、斧、镰对材料强度、塑性的要求较之锸等农具为高。

生铁既硬又脆，几乎没有塑性，难以制作刚强轻便的工具和锋利刃器。经可锻化处理后，强度、塑性提高、机械性能改善，故铸铁可锻化退火技术的发明和发展对战国、两汉时期铁器的广泛使用和社会经济发展、对中央集权封建国家的形成都具有重要意义。相形之下，西方大约在 14 世纪才发明生铁，因不知柔化术，早期生铁多弃之不用，直至 19 世纪中叶美国发明石墨化退火之后，人们才逐渐认识到它的技术意义。所以古代欧洲的铁器使用不够充足。

南北朝以后，随炒钢工艺发展，铸铁可锻化退火技术受到削弱，但使用量依然很大。这一工艺一直沿用到唐宋，元代以后情况不甚明了。我国的现代可锻铸铁工艺是 1933 年从西方引入的。

3.4.2 钢的淬火

淬火、回火的发明、发展与早期制钢术密切相关。先秦时期，楚、韩、燕三国制钢术较为发达，淬火、回火技术在这些地区发展也较早。1976 年在长沙（古属楚国）杨家山出土的春秋晚期钢剑，经鉴定是迄今我国最早的淬火、回火处理件。

战国中晚期，钢的淬火技术有了进一步发展。1965 年河北易县燕下都遗址出土铁器多件，有学者对其中六件进行了科学考察，发现有两件曾经正火，三件进行过淬火处理。其中两把剑由含碳相差较大的钢积叠、折叠锻打而成，曾加热到 900℃ 以上淬火，刃部高碳区为马氏体，局部有少量索氏体（细珠光体），低碳区为带铁素体的细珠光体；其心部因冷却较慢，高碳部分马氏体组织中细珠

光体增多，低碳部分铁素体增多^[52]。今河南舞钢市辖区（古西平县）在韩、楚交界之处有许多铁矿，其地龙泉水、棠溪河等河流水质亦极适钢剑淬火，所以楚、韩两国都制作过许多锋利的铁兵器。《汉书·武帝纪》“龙渊宫”注引孟康语云：“在西平界，其水可用淬刀剑，特坚利，古龙渊之剑，取于此水”，说明誉满天下的韩国龙渊剑是用龙泉水淬火的。

汉代以后，钢的淬火技术迅速推广。出土的实物有辽宁辽阳西汉钢剑，河北满城刘胜墓所出佩剑、错金书刀，山东苍山东汉“卅谏大刀”等。经鉴定，刘胜佩剑是表面渗碳后淬火的，错金书刀则只做了局部淬火。局部渗碳、局部淬火显示了制刀及热处理的高超技艺。此时有关记载亦明显增加，如《汉书·王褒传》引《圣主得贤臣颂》云：“巧冶铸干将之璞，清水淬其锋”；颜师古云：“淬谓烧而内水中，以坚之也。”《史记·天官书》云：“火与水合为淬”（文中淬同淬），说明淬火技术已迅速发展^[21]。

淬火剂的优劣对淬火效果有明显影响。在淬火剂选择上作出贡献的古人，有据可查者一是三国时代的蒲元；一是东魏北齐间的綦母怀文。

据《诸葛亮集·故事》卷四《制作篇》引《诸葛亮别传》载：

亮尝欲铸刀而未得，会蒲元为西曹掾，性多巧思，因委之于斜谷口，熔金造器，特异常法，为诸葛亮铸刀三千口。刀成，自言汉水钝弱，不任淬用，蜀江夷烈，是谓大金之元精，天分其野。乃命人于成都取江水至，元取以淬刀，言杂涪水，不可用。取水者犹捍言不杂。元以刀画水云：“杂八升，何故言不杂？”取水者叩头服，云：“实于涪津渡负倒覆水，惧怖，遂以涪水八升益之。”于是咸共惊服，称为神妙。刀成，以竹筒密纳铁珠满中，举刀断之，应手虚落，若刺水台，称绝当世，因曰神刀。

故事基本精神与现代技术原理相符。因不同源头之水流经不同地域,成分必然有别,冷却能力自不一样。上述记载还可找到一些旁证,就是汉代“蜀刀”一直在全国有很高的地位。1978年在徐州曾出土一柄错金书五十炼钢剑,铭文中“蜀郡西工官王愷造”字样;洛阳也曾出土广汉郡产汉代书刀;《魏书·高允传》也有“特赐蜀刀一口”之载^[53]。冶铁、炼钢术的掌握是秦汉以来巴蜀经济发展的重要因素之一。因为水利工程、交通孔道、盐井开凿都离不开淬火得当的钢质工具。

钢淬火用得最多的当然是水。水淬的优点一是其易于获得;一是其高温区(550~650℃)冷却能力较强,又避免珠光体类型的转变,使刀剑能获得较高的淬火硬度。但水淬也有缺点,即其低温区(200~300℃)冷却能力亦较强,由此易产生较大的组织应力,使工件出现裂纹,于是后来又发明了油淬^[2]。

我国古代关于油淬据记载始于嵇母怀文。《北齐书·方伎列传》说他“造宿铁刀。其法:烧生铁精,以重柔铤,数宿则成刚。以柔铁为刀脊。浴以五牲之溺,淬以五牲之脂,斩甲过三十札”。尿为多种盐类溶液,冷却速度快;油脂如用于低温区则有冷却速度慢的优点。上文对淬火过程记载不详,若系高温区尿淬、低温区油淬,则与现代双液淬火相当。

除水淬、尿淬、油淬之外,我国古代还采用过马血淬、“地溲油”(疑为石油产物)淬等^[2]。清徐寿基《续广博物志》第八“制造·炼铁之法”云:“以硝黄、盐卤、人溺合置器内,取铁烧透,俟红时淬之,每淬一次则锤炼一次,如是百回,则纯铁百斤仅得宝剑双股,削凡铁如泥”。由此可见其淬火剂更为复杂,这也意味着古人对淬火剂的认识愈来愈深入。

3.4.3 渗碳处理

我国古代钢铁渗碳技术约发明于先秦时期,汉魏时已发展到较为成熟阶段。

早期的渗碳主要是块铁渗碳成钢。明代之后，渗碳技术有了进一步发展，出现了箱式渗碳、液态渗碳和凝膏渗碳等工艺。箱式渗碳即焖钢法；液态渗碳即生铁淋口。相关工艺前已陆续谈及，不再赘述，下面侧重介绍一下凝膏渗碳法^[2]。

凝膏渗碳法是种把渗碳剂做成凝膏状的局部渗碳工艺。其主要用途，一是用于刃部渗碳借以改善刃器使用性能；二是一般性表面渗碳，使之显现出不同的花纹。

有关记载始见于明代。《便民图纂》卷十五“制造类·点铁为钢”条云：“羊角、乱发，俱煨灰，细研，水调，涂刀口，烧红磨之”。这是刃部渗碳。羊角、乱发均为含碳物质。

清陈克恕《篆刻鍼度》卷七“炼刀法”条谈到了另一种渗碳、淬火、回火的工艺：“用酒蟹钳嘴烧灰存性，仍用蟹酒调涂刀口，入火烧红，复入蟹酒淬之。更涂钳灰于上，如前烧红淬酒，愈炼愈坚。依法炼毕，仍用火烧红寸许，取悬火上，刀口昂出火外，渐渐退出，相其口上变色转白，未可即淬，淬之则脆，既而转黄转青，淬之适中可用，太迟则火候过矣。”这一操作的基本特点是把渗碳剂做成膏状，并反复渗碳、反复淬火。“仍用火烧红寸许”数句，所说的是一种回火工艺，目的是消除淬火应力，提高刃口韧性。

制作刀剑花纹的局部渗碳法亦首见于明代。此时所用膏状渗入剂中除了羊角、酱等含碳物质，还有硝、礞（náo）砂（天然氯化铵）这样含氮物质，故在渗碳同时也渗入了氮。局部渗碳后，该部位含碳量升高，颜色发育发亮；未渗碳部位含碳量较低，颜色发白，黑白相映即是花纹。

综上所述，淬火、回火与渗碳、渗氮工艺的密切配合，较好地满足了古人对钢材硬度、塑性及韧性等性能的要求，从而有效地推动了经济发展。

第4章 铁矿石及古人的矿物观

我国是文明古国。从传说的五帝、夏朝至今已有近五千年的历史。大量出土文物和丰富的史籍表明，中华民族的祖先从石器时代就开始利用大自然赋予的矿产原料，在三千年前就有文字记载矿产特点、分布和开发情况。古代矿业是中华文明的灿烂篇章。

我国古人对铁矿石的认识可追溯到距今一万九千年前的“山顶洞人”时期。考古发掘表明，居住我国北方的山顶洞人，除了使用石器，已将赤铁矿粉作为涂料用于装饰或将其撒在死人尸体旁（社会学家认为这是先民“血崇拜”的反映，与后世人以红色避邪之习俗同出一理^[54]）。进入仰韶文化（彩陶文化）时期，先民又以赤铁矿（赭红彩）、磁铁矿（黑彩）作为绘制彩陶的颜料。进入西周以后则广泛利用各种铁矿石来炼铁了。

4.1 古代对铁矿物的称谓

我国古代没有“矿物”这一术语。矿物通称“金石”，但对当时可以利用的各种含铁矿物，已有不同程度的认识，简单介绍于次^[11]：

（1）磁铁矿

古人称为玄石，玄即黑色。唐苏敬《唐新修本草》云：“此物铁液也，但不能拾针……磁石其无孔光泽，纯黑者，玄石也，不能吸针也”；又宋寇宗奭（shì）《本算衍义》卷五云：“其玄石，即磁石之黑色者也。多滑净，其治体大同小异，不可分而为二也”。按现代矿物学的概念，“能吸针”的极磁铁矿是磁铁矿的一个亚种；

古人则认为磁铁矿（玄石）是极磁铁矿（磁石）的一个亚种。正因如此，古代文献中“磁石”常见而“玄石”不很常见。

（2）极磁铁矿

古人称为磁石。按现代矿物学分类，极磁铁矿又名天然磁铁，是磁铁矿的一个亚种，其本身具有明显的磁极，能吸铁。宋苏颂《图经本草》云：“磁石生泰山山谷及慈山，山阴有铁处则生于阳。今磁州、徐州及南海傍山中皆有之。慈州（磁州）者岁贡最佳，能吸铁虚连十数针，或一二斤。刀器回转不落者，尤真”，“其中有孔，孔中黄赤色，其上有细毛”。《本草衍义》卷五云：“磁石色轻紫，可吸连针铁。”唐麟德年间无名氏著《金石薄五九数诀》说，磁石“出磁州，但引得六七针者，皆名上好”。由此可见，磁石的基本特征是能吸铁，但为较稀少的矿物，极为难得。我国古代对于天然磁铁非常重视。据报道，磁山是我国四大发明之一的指南针发源地。

（3）赤铁矿

古代称为赭石，因其外观呈赭色。

据《明一统志》载：万全都指挥使司（今河北宣化）龙门镇东乡出大赭石，龙门村、进阳村出磁石。《宣化府志》载：所产矿物中有磁石和赭石，具出龙门卫（今河北龙关县）。这些都是古代关于“宣（化）龙（烟）式”铁矿的记载。“宣龙式”铁矿的典型产地，矿石类型以赤铁矿为主，但也有磁铁矿、菱铁矿，故《宣化府志》中赭石、磁石并提。

（4）云母铁矿

古称云子铁。

云母铁矿是赤铁矿的一个亚种，是经变质作用形成的镜铁矿，特征是薄板状或鳞片状集合体，有云母状结构。《明史·食货志》卷五载：“工部言：‘山西交城产云子铁，旧贡十万斤，善治（制）兵器，他乡无有’。”其实在元代，云子铁也是主要用于打造兵器的。《元史》卷九四《食货志》“岁课”条载：“丁酉年，立炉于交城县，拨冶户一千煅焉。”^[30]上文中“云子铁”即指云母铁矿，因为古代

有人把碎云母叫做“云子”。

(5) 代赭石（代赭）

此为古称，系一种粉末状赤铁矿。梁陶弘景《名医别录》说：赤铁矿（赭石）“出代郡（今山西代县）者，名代赭”。唐苏敬《唐新修本草》云：“此石多从代州来，云山中采得……其色有赤、红、青者，其赤者亦如鸡冠，且润泽，土人唯采以丹楹柱（涂饰屋中柱子）”，可见代赭石在古代还用做天然的红色颜料。

(6) 红粉（铁丹）

为古代一种天然磨料的名称，是粒度极细而均匀的代赭石。《山海经》晋·郭璞注：“赭，赤土也。张华以赤土拭宝剑，倍益精明。”这里所说的“赭”即红粉。证明西晋时已知道利用它在金属器物表面进行抛光。

(7) 褐铁矿

古人称之铤铁。

褐铁矿是各类原生铁矿、硫化物矿床及其他含铁岩石经风化淋滤作用而成，分布广泛，是古代冶铁用的一种重要铁矿石。《天工开物》云：“凡土铤铁，土而浮出黑块，形似秤锤，遥望宛然如铁，捻之则碎土”，可能称的就是褐铁矿。夏湘蓉等著《中国古代矿业开发史》称：“古代开采的铁矿，主要属于这类（残积砂矿床），所采矿石以松散结核状的赤铁矿——褐铁矿型矿石为主，叫‘铤铁’。”清初屈大钧《广东新语》卷十五说：“广中产铁之山，凡有黄水渗流，则知有铁。掘之得大铁矿一枚，其状如牛，是铁牛也。循其脉络深入掘之，斯得多铁矣。”这是对褐铁矿床的确切描述。广东境内的褐铁矿床，主要为多金属矿床的铁帽和沼泽沉积的沼铁矿等两种类型。

沼铁矿是褐铁矿的一个亚种。明初曾对广东云浮县所产的沼铁矿进行大规模开采。据清乾隆八年修《大清一统志》记载：“罗定州东安县（今云浮县）大台山，在县东北二十里，又五里有铁山，产铁矿。剖之皆有竹筍（sì，竿）树叶之形，旧尝置炉于此”。屈

大钧《广东新语》卷十五也说：“凡铁矿一枚，层层剖之，皆有木叶纹，向背不一。山有某木，则铁矿中有某叶纹，深掘之数十丈，莫不皆然。”这些描述均确切地表明了沼铁矿的主要特征。

(8) 菱铁矿

菱铁矿在未经风化时，其外貌酷似方解石和石灰岩，不易被人们所认识。但暴露于地表很容易风化成褐铁矿，形成大小不等的褐铁矿结核，遍布山坡，俯拾即是，也是古代开采铁矿的主要对象。

4.2 古人对铁矿石的认识

明李时珍《本草纲目》云：“铁皆取矿土炒成。秦、晋、淮、楚、湖南、闽、广诸山中产铁，以广铁为良，甘肃土锭铁色黑性坚，宜作刀剑。”五代轩辕述《宝藏论》云：“荆铁出当阳，色紫而坚利；上饶铁次之”；“太原、蜀山之铁顽滞”。这两段话，首先说明金属铁是用铁矿石炼出来的，接着指出各地所产的铁在质量上的差异。如前所述，明代“广铁”主要是用云浮沼铁矿来冶炼的。这种矿石中硫、磷等杂质含量低，可以炼出优质铁。“荆铁出当阳”，湖北当阳铁矿是由菱铁矿风化形成的褐铁矿结核，由此可知明代南方著名的“广铁”和“荆铁”都是褐铁矿冶炼的^[11]。

除了褐铁矿，我国古代采用最多的当是赤铁矿。比如就战国期间出土的铁器而论，今辽东、辽南出土的铁器比中原文化区的华北还多，南方更难与之相比^[8]，而辽南、辽东铁矿石则主要来自今鞍山矿区。鞍山铁矿属前震旦纪沉积变质型贫铁矿，赤铁矿、磁铁矿各占50%左右，而赤铁矿则主要分布在矿体上部的氧化带中^[55]，古人广为采用的当属这类易采的赤铁矿。赤铁矿与褐铁矿主成分均为 Fe_2O_3 ，其逐级还原过程，当由 Fe_2O_3 还原为 Fe_3O_4 时，晶格强烈破坏，相应生成多孔的 FeO 相，使还原反应速度增大；而磁铁矿之主成分 Fe_3O_4 向 FeO 转变时，由于晶格形式相似，因而形成致密的 FeO 相，使还原反应速度减小^[56]。除了易还原，较

之国内其他地区矿石，鞍山赤铁矿石还有软熔区间极小，因而易于冶炼的优点，所以从战国时期起，辽东、辽南就一直是我国的重要冶铁基地。

矿石品位对冶炼效益有明显影响，所以在同样采掘条件下，古代亦知取富弃贫；也知道通过水洗淘汰夹杂泥沙，提高矿石入炉品位。同时正如河南古荥汉代冶铁遗址所显现的，古人也注意筛除粉末使粒度均整。然古代铁冶受采、选、冶多方面技术条件限制且缺乏近代的化学分析手段，故直接入炉的铁矿石其含铁量不一定要求很高，只要有害杂质少就可炼出优质生铁。这点可从古文献清楚看出。据《清文献通考》载：“乾隆三十年，四川总督阿尔泰奏：江油县木通溪和合洞等处产铁，每矿砂一十五斤，可煎得生铁四斤八两。”又《清实录·高宗实录》卷七六一载：“乾隆三十一年，四川总督阿尔泰奏称，宜宾县铁矿试采有效，应设炉二座，每炉夫九名，每日每名可获砂十斤，煎铁三斤。”据此推算，所用铁矿石的品位仅 30% 多^[11]，这在现代是不能直接入炉的。

既然粉料难以直接入炉，古代是否想出了类似近代烧结、球团这类造块方法呢？1975 年，河南博物馆与北京钢铁学院（现北京科技大学）一起到河南铜冶县铎炉村古炼铁遗址考察，除发现筛除的矿粉外，还发现一些烧结在一起的矿粉。当地农民讲，1958 年曾以 5 元一吨卖给同省林县炼铁厂做炼铁原料，据回忆有数千吨。对此，当时考察组推断是炼炉故障被迫停炉从炉内扒出来的烧熔炉料。1976 年再次讨论谈及这一问题，意识到可能是古人一项创造（停炉扒出不可能那么多），便马上到遗址取样，可惜最后残留的一堆已荡然无存^[6]。由上推断，两千年前这一带冶铁业者很可能已掌握了近代才有的土法烧结，但没流传下来。

4.3 古代铁矿的找矿、采掘方法

找矿线索（标志）古代称之为“苗”、“引”或“荣”。除前述

一些分布规律外,还常以与铁共生的某种金属作为铁矿石之苗,如《丹房镜源》云:“阴平(今甘肃文县西北)铅出剑州(今川北龙山东南)是铁之苗”;《宝藏论》:“上饶乐平铅……铁苗也。”郭璞《流赭赞》:“沙则潜流,亦有远赭;于以求铁,趁在其下”,即由流沙见“赭”,寻踪找到铁矿。《管子·地数》也记有:“山上有赭者,其下有铁……此山之见荣者也。”这里的“荣”具有矿苗意义。《管子·地数》对矿产分布规律的论述还有:“上有慈石者,下有金也”,总结了铁与铜、金矿产的垂直分布规律。

成书于战国的《山海经·五藏山经》则记载了许多地区(山)不同矿产分布的“阴阳”分布关系。如《西山经》说:“符禺之山(今陕西华县西南)其阳多铜,其阴多铁”;孟山(今陕西靖边县)“其阴多金,其阳多铜”;龙首之山(今陕西陇县)“其阳多黄金,其阴多铁”。共23处铁矿产地皆在“其阴”,占《山海经·五藏山经》记载产铁之山的67%^[1],不知此处“阴”指山的北面还是地层深处。《山经》为巫祝之流根据远古以来传说记录写成的。战国时期,阴阳五行说已经流行,所以这种认识难免有牵强附会、机械唯物论的倾向。

古人认识不到金属以化合态存在于矿物中,以为是脉石包围了金属颗粒。为时代所限,认为冶炼的实质是通过“烹”、“煮”使这些金属摆脱外壳的杂石使之聚为一体。《博物志》记:“石者,金之根甲。”就是说,认为金属孕含在“石”中而又被“石”所包围。

我国古代采用铁矿石冶铁始于春秋时代。据史料记载,古代采取的铁矿石多系地表风化残积、坡积和江河岸边的砂铁以及露出地表的铁矿体^①。开采方法有以下几种^[11]。

① 砂铁是岩石内的铁矿物受风化作用后形成的更细小的碎粒,其化学成分未因风化而改变,也不被溶解。这些碎粒被地面水搬运到河滩或海岸而成为河滩砂矿或滨海砂矿。砂铁主要是磁铁矿及钛铁矿。《天工开物·五金》云:“凡砂铁,一抛土膜即现其形,取来淘洗,入炉煎炼,熔化之后与锭铁无二也”。我国福建沿海、日本许多地区的沿海都产这种铁矿石^[57]。明朱国祯《涌幢小品》记河北遵化铁冶言“黑沙为本、石子为辅”,表明所用铁矿石为砂铁。另外,20世纪50年代,在山东省发现过从春秋到秦汉时代以砂铁为原料的冶铁遗址^[58]。

(1) 露天垦土法

翻耕有铁矿的土地，矿石随之露出地面。《天工开物》载：土锭铁（即褐铁矿结核）“浅浮土面，不生深穴”，“若起冶煎炼，浮者拾之。又乘雨湿之后，牛耕起土，拾其数寸土内者”。这是古代的一个特殊采矿方法。

(2) 露天掘取法

用于采掘地表露头铁矿体。1974年鞍山东北太平沟发掘的汉代古采坑，坑形上宽（10米）下窄（2米），深10米，呈漏斗状，显然系古代露天采掘遗址。清代开采的庙儿沟（本溪南芬）铁矿，是人们在地表露头处先用棒撬开石缝，再用火烧（火爆法），经冷缩热胀使其破碎，采取矿石。

(3) 地下凿坑法

即沿着矿体往下凿坑采掘矿石。在河南、江苏、黑龙江等地一些古铁矿遗址都发现有竖井、斜井和巷道直接采掘矿石的古洞，说明当时人们已能根据矿体的不同产状，采用不同的采掘方法。河南发掘的汉代巩县铁生沟的巷道是沿矿体平行掘进，并沿矿体倾斜分别有上山和下山小斜井，直接采矿。竖井有方形和圆形两种。一般在矿体中间或一侧往下采掘矿石，对缓倾斜矿体再采用斜井。江苏利国东汉冶铁遗址附近的峒山古竖井，开口径约1.5米，深约10米。20世纪70年代，在河北承德还发现了深达100米的汉代铁矿竖井，且地下坑道已使用坑木和梯子^[8]。但总的趋向，还是随采掘技术的提高，矿井愈来愈深。黑龙江阿城五道岭发掘金代中期的铁矿井深达40米，矿井呈阶梯式，井内有采矿和选矿（手选）的不同作业区，还有灯洞和采掘工具。

4.4 我国古代的铁矿分布^{[11][59]}

(1) 春秋战国时期

根据《山海经》、《禹贡》、《史记·货殖列传》记载，铁矿贮藏

地区有今陕西、山西、河南、甘肃、宁夏、新疆、河北、内蒙古、四川、山东诸省区（《山海经·五藏山经》云，产铁之山有34处），而以河南、陕西为最多。山东的金岭、河北的邯郸铁矿当时已开采；辽宁鞍山地区铁矿在战国时也已采掘用于冶铁。

（2）秦、汉时期

根据《汉书·地理志》、《续汉书·郡国志》记载，铁矿地区有68处，分布于今16省区，以山东12处、河南9处为最多。其次是江苏、陕西各7处；四川、河北各6处；山西5处；新疆4处；云南3处；湖南、甘肃各两处，北京、天津、安徽、辽宁、湖北各1处。其中，现在还在开采的有北京密云，河北滦县、武安，山西临汾，辽宁鞍山，山东金岭、济南、莱芜，江苏利国、六合冶山，河南林州，四川泸沽等铁矿。秦执行冶铁官营的经济政策；“汉承秦制”，武帝时在全国置铁官49处，今山东12处，江苏7处，河南、陕西各6处，河北、山西各5处，四川3处，北京、辽宁、安徽、湖南、甘肃各一处。可见西汉冶铁是在战国时期基础发展起来的，主要分布在北方的齐、秦、燕、赵、魏、韩六国范围内。当时重要的冶铁基地是今河南巩县铁生沟村和郑州古荥镇（均属河南郡）。今四川邛崃地区也是重要冶铁基地。

东汉时设铁官34处，分布地区基本上承袭前代，但在云南新增铁官2处，表明铁冶向边远地区发展了。

（3）魏晋南北朝时期

根据考古资料和《水经注》、《魏书·食货志》、《三国志》、《晋书》记载，铁产地有今河北、陕西、山西、河南、甘肃、新疆、四川、山东、江苏、安徽、湖北、浙江诸省区。这一时期战乱频仍，矿业发展受到一定影响。

（4）隋唐五代时期

唐代民营坑冶有较大发展，矿业出现空前繁荣。《新唐书·地理志》载全国有铁矿产地104处，分布于10个道，相当于今17个省（市、区）。其中四川22处，山西15处，陕西10处，河北9处，

福建8处，湖北、湖南、山东各6处，广西、安徽、甘肃各两处，天津一处。今河北邯郸、邢台、滦县，山西五台、临汾，山东济南、莱芜、金岭，江苏利国、六合冶山，广东怀集，陕西略阳，四川泸沽，安徽当涂，浙江绍兴，河南舞阳、林县，湖北大冶、灵乡等重要铁矿，这一时期均已开采。与秦汉相比，不难看出，南方铁冶有较大发展。

(5) 宋、辽、金时期

根据《宋史·食货志》、《宋会要辑稿》的记载，铁的产地有陕西、山西、河南、甘肃、河北、四川、山东、辽宁、江苏、安徽、湖北、湖南、浙江、江西、福建、广东、广西、黑龙江诸省区。北宋全国铁冶72处，分布在二十四州二军。主要冶铁基地有：邢州綦村冶、磁州武安县固镇冶务，徐州利国监、兖州及威胜军（今山西沁县），其中邢、磁两州收入量占全国总收入的74%。

南宋铁矿分布在23个州（军）46个县，在今10个省（区）内。以江西为最多（19县），其次是广东（7县）、湖北（5县）、安徽（4县）。主要产地有信州（今江西上饶）的铅山场、弋阳县、上饶县、抚州的东山场4处。

辽统治东北和华北地区达210年，这两个地区的矿业开发得到促进，特别是今鞍山、本溪、辽阳的铁矿得到大规模的开采。

金是与南宋并存的女真族政权，在其管辖区铁冶也很发展，从发掘看今黑龙江地区的采掘和冶铁均达到较高水平。

(6) 元代

根据《新元史·食货志》、《元史·食货志》的记载，铁的产地有今16个省区，其中以江西、湖南为最多，各9处；其次是云南、福建各6处，浙江4处，山西、安徽各3处，河北、四川各两处，北京、山东、湖北、广东、陕西、辽宁各一处。包括现今还在开采的北京密云、河北邢台、山西交城、山东济南、四川西昌、云南昆明等重要铁矿。

(7) 明代

根据《明史·食货志》、《明一统志》等文献记载,铁矿产地有130处,分布于今陕西、山西、河南、甘肃、河北、四川、山东、辽宁、江苏、安徽、湖北、湖南、云南、浙江、江西、福建、广东、贵州共19个省市,以湖广、福建最盛,再次是山西。包括今之河北遵化、迁安,山西五台、临汾,辽宁鞍山、辽阳,山东莱芜,江苏徐州,浙江绍兴,江西新余、分宜,湖北鄂城、大冶、灵乡、黄梅,湖南茶陵、宁乡,广东阳山,陕西勉县,云南昆明、玉溪等地铁矿。全国官营铁收入逾1800万斤,是当时中国历史上的最高纪录。

(8) 清代

根据《清史稿·食货志》等文献记载,清前期(1840年前)铁矿产地计134处,分布于今16个省(市、区,不含东北地区),其中湖南27处,湖北16处,四川15处,云南13处,山西11处,浙江9处,贵州8处,广东7处,福建6处,山东5处,河北、广西各4处,陕西、甘肃各3处,江西两处,北京一处。包括北京密云,河北遵化、迁西,山东莱芜、益都、金岭,湖北大冶、长阳、宜都、鄂城、阳新、宜昌,湖南茶陵、石门、安化,广东云浮、阳山,陕西汉中,云南易门等铁矿区。清代前期大型铁场在广东佛山和陕西汉中一带。

我国古代部分铁矿分布列于表4-1中^[11]。表中所述的接触交代矿床,即一般所谓硅卡岩矿床属火成矿床,是由岩浆中温度很高的含矿气体与围岩成分之间互相替换而形成的,矿体大小不一。已发现的矿床以中、小型为主,常呈扁豆状和脉状。这种矿床绝大部分为磁铁矿,品位一般较富,我国各省均有,最有名的如湖北大冶、河北武安铁矿。表中所示沉积型矿床,是岩石因受空气中氧、二氧化碳及水的作用而破碎;岩石中的铁也被溶解而由雨水带入江河,进而流至海洋和湖泊时,便在距岸近的地方沉淀下来形成矿床。这种矿床多呈层状,主要是赤铁矿,有些是菱铁矿。表中的火

山岩型铁矿床属火成矿床，是由地下岩浆凝固过程分离出来矿液形成的。马鞍山、南京一带铁矿属于火成矿床系统中的中温、低温热液矿床，常由致密块状赤铁矿组成，多为优质富矿。

表 4-1

我国古代主要铁矿分布

矿床类型	先秦	汉	魏晋南北朝	隋、唐	宋、辽、金	元	明	清
接触交代(硅卡岩)型铁矿床	河北邯鄲、山东金岭	河北邯鄲, 山东金岭、济南、莱芜, 江苏利国、六合冶山, 山西临汾, 四川泸沽, 河南林州	河北邯鄲, 湖北大冶、鄂城, 山东金岭	河北邯鄲、邢台, 山东金岭、济南、莱芜, 江苏利国、六合, 湖北大冶、鄂城, 四川泸沽, 山西临汾	河北邯鄲、邢台, 江苏利国, 湖北大冶、阳新, 山西临汾, 黑龙江阿城	河北邢台, 山东莱芜、金岭, 江苏利国, 湖北大冶、鄂城、阳新, 山西临汾	河北邢台, 山东莱芜、金岭, 江苏利国, 湖北大冶、阳新、鄂城	山东金岭、莱芜, 湖北大冶、阳新、鄂城
前寒武纪沉积变质型铁矿床	辽宁鞍山	北京密云, 河北滦县, 辽宁鞍山	辽宁鞍山	河北滦县, 山西五台, 河南舞阳, 辽宁鞍山、本溪	辽宁鞍山、本溪	北京密云, 辽宁鞍山、本溪	河北遵化、迁安, 山西五台, 辽宁鞍山、本溪, 江西新余	河北迁安、迁西, 北京密云, 辽宁本溪
火山岩型铁矿床		安徽马鞍山	江苏南京, 安徽马鞍山	安徽马鞍山, 江苏南京	安徽马鞍山			
海相沉积型铁矿床				湖北巴东	湖北建始		湖南茶陵、宁乡, 河北龙烟	湖南茶陵, 湖北长阳、宜昌

铁是重要矿产资源，铁矿开发历来受到国家的重视。为便于比

较,将汉代铁官所在地、北宋时期主要铁产地及当今(20世纪80年代)我国主要铁矿山一并示出(见表4-2,表4-3,表4-4),三者先后各相距约一千年,由此大体可以看出铁冶在地域上的变化。由表可见,汉代铁冶主要集中在长江以北的齐鲁、中原、燕赵、关中所谓广义的中原文化区系之内;边疆地区铁冶不振,或因生产力低下、交通不便;或是由于中央政府出于军事上的考虑,不愿在边远地区发展铁冶。这种状况后来随封建社会的发展和中央集权的巩固而有所改变,如清代,南方铁冶已明显盛于北方。由于铁供应不显紧张,关外作为“龙兴之地”,鞍山地区铁矿还曾受命停采。有些大型铁矿在古代没开采,当然也有技术方面的原因,如内蒙白云鄂博矿,系火成矿床中的一种特殊类型,称特种高温热液矿床。矿石中除磁铁矿、赤铁矿外,还含大量稀土元素,这类矿石在古代尚难为人们所认识。

表 4-2

西汉铁官一览^[40]

序号	古 称	今 址
1	京兆郑	陕西渭南縣东北
2	左冯翊(郡)夏阳	陕西韩城县南
3	右扶风(郡)雍	陕西凤翔县南
4	右扶风(郡)漆	陕西郿县
5	弘农郡	河南陕县至陕西华阴一带
6	弘农郡宜阳	河南宜县
7	河南郡	河南叶县、内乡、湖北应山、郧县之间
8	颍川(郡)阳城	河南登封县东南
9	沛郡沛	江苏沛县东
10	魏郡武安	河北武安县西南
11	常山(郡)都乡	河北井陘县西
12	涿郡	河北涿县
13	蜀郡临邛	四川邛崃县
14	犍为郡武阳	四川彭山县东
15	犍为(郡)南安	四川乐山县
16	汝南(郡)西平	河南西平县西
17	南阳(郡)宛	河南南阳市(“宛,西通武关,东受江淮,一都之会也”)《汉书·地理志》第八下

续表 4-2

序号	古 称	今 址
18	庐江(郡)皖	安徽安庆市北
19	山阳郡	治所昌邑, 今山东金乡县西北
20	河东(郡)安邑	山西运城东北
21	河东(郡)皮氏	山西河津县
22	河东(郡)绛	山西侯马市西南
23	河东(郡)平阳	山西临汾县西南
24	太原(郡)大凌	山西汾县东北
25	河内(郡)隆虑	河南林州
26	千乘郡	治所千乘, 辖境相当于今山东博兴高青、滨县一带
27	千乘(郡)千乘	山东高青县高苑镇北
28	济南(郡)东平陵	山东济南市东
29	济南(郡)历城	山东济南
30	泰山(郡)嬴	山东莱芜
31	齐郡临淄	山东临淄北
32	东莱(郡)东牟	山东牟平县
33	琅邪郡	辖境今山东半岛东南, 临沂市以北
34	辽东(郡)平郭	辽宁盖州南
35	胶东国都秩	山东平度县
36	东平国	(据考证铁官设在无盐, 今山东东平县)
37	楚国彭城	江苏徐州
38	东海(郡)下邳	江苏宿迁县西北
39	东海(郡)朐	江苏东海县南
40	临淮(郡)盐渎	江苏盐城县
41	临淮(郡)堂邑	江苏六合县北
42	汉中(郡)沔阳	陕西沔阳县
43	陇西郡	甘肃陇西县
44	渔阳(郡)渔阳	北京市密云县
45	右北平(郡)夕阳	河北滦县南
46	中山国北平	河北满城县北
47	成阳国莒	山东莒县
48	鲁国鲁	山东曲阜县
49	广陵国	苏北, 今扬州北(汉时辖广陵、江都、高邮、平安四县)

表 4-3

北宋产铁及冶铁地区^[30]

序号	古 称	治所(古名或今地)
1	徐州	江苏徐州
2	兖州	山东兖州
3	相州	安阳(今河南安阳)[以上三州有“监”四]
4	河南府	今河南洛阳市北
5	凤翔府	天兴(今陕西凤翔)
6	同州	陕西大荔
7	虢州	虢略(今河南灵宝)
8	仪州	甘肃华亭
9	蕲州	蕲(qí)春(今湖北蕲州镇西北)
10	黄州	南安,后改黄冈(今湖北黄冈)
11	袁州	宜春(今江西宜春)
12	英州	英德(今广东英德)[以上州、府有“冶”十二]
13	晋州	山西临汾
14	磁州	河北磁县
15	凤州	陕西凤县
16	澧州	澧阳(今湖南澧县)
17	道州	湖南道县
18	渠州	湖南渠县
19	合州	石照(今四川合川)
20	梅州	广东梅县
21	陕州	陕县(今河南陕县)
22	耀州	陕西耀县
23	坊州	中部(今陕西黄陵、宜君两县)
24	虔州	江西赣州
25	汀州	福建长汀
26	吉州	江西吉安[以上十二州设“务”二十]
27	信州	上饶(今江西上饶)
28	鄂州	江夏(今湖北武昌)
29	连州	广东连县
30	建州	建安(今福建建安)
31	南剑州	福建南平
32	邵武军	福建邵武[以上五州一军设“场”二十五]
33	登州	山东蓬莱
34	莱州	山东掖县
35	邢州	河北邢台
36	泉州	福建泉州
37	韶州	广东曲江

表 4-4

当今我国各省(市、区)重要铁矿^[1]

省(市、区)别	数量	铁 矿 名 称
辽宁	20	齐大山,红旗(胡家庙子),眼前山,东鞍山,西鞍山,大孤山,小岭子,黑石砬子,祁家沟,西大背,弓长岭,大河沿,棉花堡子,歪头山,北台,贾家堡子,南芬,翁泉沟(硼镁铁矿),野猪沟,宝国
河北	15	庞家堡,近北庄,大庙,头沟(铁磷矿),柞栏杖子,石人沟,水厂,孟家沟,马兰庄,大石河,司家营,大贾庄,西石门,符山,玉石洼
湖北	11	铁山(大冶),刘家畈,张福山,铜绿山(铜铁矿),程潮,西山,马鞍山(在黄梅县),龙角坝,官店,火烧坪,官庄
山西	11	山羊坪,柏枝岩,赵村,平型关,白峪里,尖山,袁家村,狐姑山,二峰山半山,塔儿山尖兵村,小寨
安徽	10	南山,凹山,和尚桥,高村,姑山,白象山,桃冲(长龙山),霍丘,罗河,大包庄
山东	10	金岭,黑旺,文登,店子,张家洼,祥山,东平,韩旺,张马屯,苍峰
四川	8	攀枝花,红格,太和,白马,庙沟,矿山梁子,满银沟,泸沽
云南	8	王家滩,八街,牛首山,鹅头厂,上厂,化念,大红山(铁铜矿),惠民
内蒙古	5	白云鄂博,谢尔塔拉(铁锌矿),黄岗,三合明,温都尔庙
湖南	5	祁东,大坪,田湖,洪水坪,后江桥(铁锰矿)
江苏	5	梅山,吉山,凤凰山,冶山,利国
广东	5	大宝山,宝山峰,大顶,藤铁,八乡
江西	5	上林岭,铁坑,七宝山(钴铁矿),良山,杨家桥
吉林	5	塔东,老牛沟,大栗子,七道沟,板石沟
河南	4	铁山,八台,经山寺,许昌
新疆	4	雅满,天湖,微海,莫托沙拉
广西	3	渠香,邕陇,屯秋
福建	3	潘田,马坑,阳山
黑龙江	3	翠宏山(铁、多金属矿),铁力二股(铁、多金属矿),双鸭山
北京	3	沙厂,冯家峪,马圈子
青海	3	肯德可克,元石山,杂林格
陕西	3	鱼洞子,杨家坝,大西沟
甘肃	2	镜铁山,陈家庙(铜铁矿)
浙江	2	漓渚,闲林埠
贵州	2	观音山,苦李井
海南	1	石碌
西藏	1	卡贡

4.5 我国古代的煤炭开采

我国古代对煤的利用可上溯到新石器时代晚期。1973年沈阳新乐遗址下层出土了数十件煤精工艺品，根据检定，系采用抚顺露天煤矿的煤精制作，距今有6800年左右。此外，陕西、山西也出土过西周的煤雕制品。

我国关于煤的记载始见于战国时期。《山海经·西山经》云：“女床之山，其阳多赤铜，其阴多石涅”，此“石涅”即是煤。但煤作为燃料，似在汉代以后。河南古荥镇和铁生沟汉代冶铁遗址发掘出的无烟煤和煤饼，据考证是用于加热炉和退火炉的燃料^[42]（图4-1）^[18]。宋代以后，煤的使用量增大，锻铁、铸钱、陶瓷等许多手工业部门和烹饪方面已较多用煤。坩埚炼铁用煤最迟始于宋代，竖炉炼铁用煤的明确记载则见于明代《天工开物》。在煤的加工方面，唐代发明了炼“熟”技术，“凡以炭炊饭，先烧令熟，谓之炼炭，方可入爨”（唐康骕《剧谈录》），炼炭可先去其烟，当为炼焦的前身。最迟于明代开发出炼焦技术，即将煤“烧熔而闭之成石”，然后用于冶铁。



图4-1 河南巩县铁生沟出土之煤（在西汉炼铁遗址出土）

关于煤炭的开采技术，1959年河南鹤壁市发现一座宋代煤矿

遗址。明清也有些文献记载，现摘要介绍如次^[2]。

(1) 井筒开拓

井筒要打在煤层上，“凡攻炭，必有井干焉，虽深百尺而不挠”，“其井之干，欲其确尔而坚也，否则削”（孙廷铨《颜山杂记》卷四），意即选址要准确且要坚固，鹤壁煤井正是这样。其井筒呈圆形竖井，直径2.5米，井筒深46米，正好凿到煤层中间，井底巷道上下皆有厚6米的自然煤层。

(2) 井下支护

《天工开物》卷十一云：井巷“其上支板，以防压崩耳”。但若巷道不长，顶板较好，亦可不做支护。

(3) 矿井通风

分自然通风和人工通风两种。自然通风又包括单井筒通风和双井筒通风。孙廷铨《颜山杂记》卷四云：“凿井必两，行隧必双，令气交通，以达其阳，攻坚致远，功不可量，以为气井之谓也”。至于人工通风，则是用风车扇之。此外还常见一些人工辅助通风法。如小煤窑出风口处置火炉或吊挂火锅，以使温度升高，空气变轻，加快从窑内往外出风。

为防井下瓦斯，《天工开物》卷十一说：“初见煤端时，毒气灼人，有将巨竹凿去中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上”（图4-2），显然是利用比重差去排除井中有害气体，十分科学。

(4) 提升和排水

提煤借助辘轳和绞车，如图4-2所示。排水之法，习见有三。一用辘轳提；二用唧筒抽，这类唧筒《天工开物》卷五“井盐”条作过描述，清末芜湖一带煤矿仍在使用；三是利用地势砌造泄水巷，清代京西煤窑常用此法。

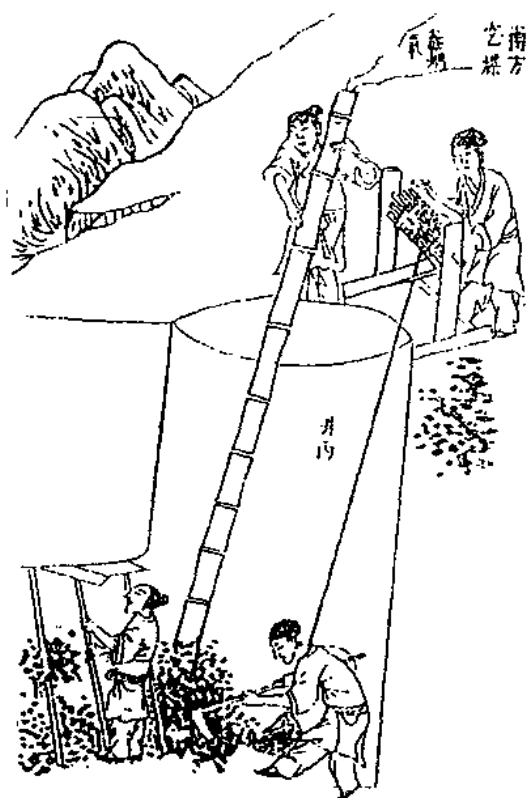


图 4-2 《天工开物》所载“南方挖煤”图

第5章 体制、法规和生产关系

矿产自古以来就被认为是国家的天赋财富而受到国家的重视和保护。铁冶在我国古代封建社会很长时期大放异彩，推动着文化、技术和社会的进步，但囿于封建制度的束缚，未能得到充分发展，并于明代中期以后被迅猛发展的西方各国远远抛在后面。

从东周到清代，两千多年间，我国铁冶的管理体制一直是官营、民营并存条件下向前发展，有时以官营为主，有时民营占优势。总的趋向是随时代前进，官营趋向凋落，民营逐渐发展。

夏商西周，手工业由官府管理。春秋中叶以后，官手工业之外出现了私营手工业。从秦汉到明清，私营手工业者及其从事的手工业生产不断发展，其内部分化出手工业作坊主、小手工业者、雇佣工匠等层次，所经营的门类繁多，包括冶炼、煮盐、纺织、建筑等。历代封建王朝还拥有数量不一的官营手工业工匠，所以私营手工业者和官府手工业工匠是组成从秦汉到明清手工业者的两类身份略有不同的基本成员。两千多年总的发展趋势，是官手工业从业人员逐渐减少，劳动者的社会地位和待遇逐渐有所改善。现将各历史阶段我国冶铁业的体制、法规和生产关系，简要介绍如下^{[61][62]}。

5.1 春秋战国时期^[61]

前已述及，我国最早的铁器生产，可以追溯到西周末年。然从出土发掘来看，春秋晚期到战国早期，铁器的使用还不普遍。使用的铁器还只是些小物件、小农具。但到战国中期，情况就大不相同

了。在战国七雄的全部地区都发现有战国中晚期的铁农具或铁器，到战国中期以后，铁制生产工具在生产中已占主导地位。

列国的变法多在春秋末叶到战国早、中期。铁器的开始使用在列国变法之前，而普遍使用则在变法之后。这表明春秋后期之后，由于铁器使用等因素，使封建性的个体生产成为可能。但只有到战国中期，封建土地所有制已经基本形成，铁农具才能得到进一步推广。

铁农具的普遍使用“使广大面积的田野耕作、开垦广大的森林地域成为可能”，先进铁制农具的推广使耕作技术发生了根本变化，新的生产关系所造成的农业生产的高涨，使较多的人可以脱离农业从事其他劳动。铁器的使用又使手工业者得到新的有效生产工具，所以战国的手工业就在这个基础上飞跃地发展起来。

战国手工业生产关系上的最大变革是私营手工业的兴起，但此阶段官营手工业仍占主导地位。传世和出土的手工业品中带官工标志的普遍性，说明官工业占据着每个生产部门。产品标出督造机构、司造的各级官工和生产者。这种制度是从封建制确定后的战国中期开始的。这些表明，封建国家的官手工业与春秋以前的奴隶制相比，在性质、管理机构组织、生产者的地位各个方面都有了根本的变化。兵器和其他器物上的铭刻表明，这种官手工业属于封建制国家所有，它按封建国家的国、郡、县三级政权组织建立起来，国家一级由中央政府直接经营，其制品多标出代表中央政府的“相邦”、“守相”等官职名称；地方政府经营的有郡、县两级，产品上常有“郡”、“郡守”、“县”、“令”等字样。中央或地方的官工业，有的设置专门的管理机构；有的官工业则依性质的不同分别隶属于有关官府。像与铁冶相关的农具制造属右廩，兵器制造属左、右军。河北兴隆古洞出土的一批铁范上就有“右廩”二字。“廩”是管理和贮藏农产品的机构，也司造农具。

战国时期官手工业已有精细专业分工，其内部组织也很严密，一般分为工师、丞、工三级。长沙和河北易县出土的秦戈上就记有

这种官工的名称。官手工业的生产者和各级管理官吏在产品上共同具名，表明封建社会直接生产者的地位和奴隶社会有所不同，但他们大多仍然是没有人身自由的工奴。上郡武库戈上就有“隶臣”这样的铭刻，“隶臣”就是刑徒。当时，刑徒被大量驱使在官手工业中从事奴隶性质的劳动。

战国时期官手工业中的生产者，除大量官奴、刑徒之外，也有从民间征发来的工匠。这些工匠大约每年3月到8月为官府服役，另外还有来自民间被称“佣客”的雇工。

随着土地私有制的确立而兴起的商人地主阶级经营的手工业和随农业发展而从农业分离出来的小手工业，赋予战国手工业生产关系以新的性质。手工业在生产力方面的发展，首先表现在手工业部门的扩大、生产增长和技术提高上。随冶铁业兴起，产生了铁农具制造业，南方还产生了铁兵器制造业。冶铁往往在某些地区优先发展起来从而形成地区性手工业，如赵国的卓氏、郭氏等，均因铁冶成为巨富，他们经营的冶铁业规模也不小。此外，也有些私人手工业者经营的小型铁冶作坊独立生产少量产品到市上出售。由于工商业受官府控制及政府采取抑商政策，这类作坊难得充分发展。

5.2 秦、汉时期

5.2.1 铁冶官营和铁官的设置^[64]

铁冶是关系国计民生的重要生产部门，故在古代常与盐一起受封建政府的控制，作为增加财政收入和加强封建统治的手段。战国时期，冶铁作为重要的官营手工业，产品供军国需用；但市场上流通的铁器则主要归私人经营，以此致富者不在少数。秦在商鞅变法后置铁官，把冶铁业全部收归官营，司马迁的先人就曾为秦的铁官。现存秦印中有“右冶铁官”印，睡虎地秦墓竹简中亦载有“左采铁”、“右采铁”的官职。汉初开关梁山泽之禁，允许私人采矿冶

铁作器，政府收税，其生产和销售大都操在少数富商豪强手中，蜀（今四川邛崃）卓氏，程郑宛（今河南南阳）孔氏，鲁（今山东）邴氏等就是其中的代表。这些铁商经营铁业。此外，“汉文帝时，以铁铜赐侍郎邓通，通假（转包）民卓王孙，岁取千匹，故王孙货累巨万亿，邓通钱亦尽天下”（《华阳国志》卷三《蜀志》）。这种“转包”法是铁业经营的又一种形式。

但是私人大手工业者发展起来，他们拥有很大势力，对封建政权并没益处。他们财力雄厚却“不佐国家之急”。再者，采矿、鼓铸、煮盐等行业，“一家聚众或至千余人”，且“其势必深居幽谷，人民所罕至”，很易“成奸伪之业”，即容易聚众闹事。汉武帝即位后，连续发动多次对边境各族的战争，其中对匈奴的战争尤其长久激烈。这些战争消耗了大量财富，文景以来的府库积蓄为之一空，富商大贾还乘机居奇牟利，势力大大膨胀，农民却日益贫苦。为了解决财政危机，也为抑制商人势力、稳定农业生产，武帝采取了一系列的经济、财政措施，其中重要的一项即把豪商大贾视为利藪的盐铁业收归官营。

元狩（公元前122—前116）年间，御史大夫张汤秉承武帝意图，“笼天下盐铁”。首先把过去由帝室财政机关少府经营的盐铁收入划归国家财政机关大司农经营，不久又设置盐铁官署，任用各地盐铁官商为吏经营，由此盐铁官营正式施行。

铁的官营在中央由大司农属下的斡官、铁市主管，生产地设铁官主采矿鼓铸，有长、丞。全国共设铁官49处，分布于四十个郡国。三辅地位重要，各设级别高的铁官长、丞。不产铁的地方设小铁官主铸旧铁及经营铁的官卖。各地铁官隶属大司农，民私铸铁要受鈇左趾（左脚带六斤重的铁钳）的刑罚，工具及产品没收入官。官府对铁的官营比盐的官营控制得更紧，包括直接组织开矿、冶炼、铸造器物及销售，即控制了生产和流通的全过程。之所以如此，是因为“铁器兵刃天下之大用也”，又属对外贸易的禁物，“非众庶所宜事”；同时也是考虑到铁冶常在深山穷谷，聚众多，不加

管制易为豪强大家利用。

官营铁冶规模巨大、资金雄厚、材料充足，有统一的制造规格，驱使徒、卒及专门的技术工匠进行采矿、冶炼、铸造，制作农具、工具、用品、兵器，生产较之私营作坊有所改进和提高。已发现的汉代冶铁遗址中，规模巨大的不在少数。如巩县铁生沟遗址发现炼炉、熔炉、锻炉计十几座，附近还有采矿竖井和矿石加工场、配料场。这一时期，炼铁竖炉容积已达 $10\sim 50$ 米³，铸铁柔化技术也已发展成熟，优质韧性铸铁农具的广泛使用，使铁农具在农业生产中的作用越来越大。

在官营的生产部门，劳动的人有徒、卒和工匠三种。徒是被罚做苦工的罪人；卒是定期服徭役的民人；工匠是从民间征发的做工者，其中有一部分是有技术的奴隶，指导徒、卒制造器物。朝廷铸钱及各郡国铁官“皆置吏卒徒，攻山取铜铁，一岁功十万人以上”（《汉书·食货志》）。徒卒被役使像奴隶一样。

铁官营在增加国家财政收入、抑制商人势力、改进和推广先进技术方面起了积极作用。但它也同时带有封建官营事业共有的弊病，不少铁器“作不中程”（不符合规程）、质量低劣，且“多为大器”（多造铁犁、少造耒（lěi，古代农具，状似杈）耜（chā，铁锹）），规格不合需要，“善恶无所择，吏数不在器难得”，农民购买不便，又常因购田器而误农时。铁官为增加收入，强迫农民出高价购买不中用的铁器，还有强征人民作役的弊端。从事铁冶的徒卒劳动艰苦，过着非人的生活，以致在西汉后期曾爆发两次铁官徒的起义。如阳朔三年六月，“颍川铁官徒申屠圣等百八十人杀长吏、盗库兵，自称将军，经历九郡”（《前汉书》卷一〇《成帝纪》）；“山阳铁官徒苏令等二百二十八人攻杀长吏、盗库兵”（同上）。除了铁冶，对盐的专卖，社会上也有类似反映。也就是说，对盐铁官营专卖，朝廷上既有人支持，也有不少人反对，由此导致了“盐铁会议”的召开。

5.2.2 盐铁会议及《盐铁论》

盐铁官营的弊端加剧了农民与封建国家之间的矛盾，致使民间的反抗斗争日益频繁；再者，依靠盐铁官营等政策所聚敛的财货也无法维持战争的长期消耗。因此，至武帝晚年时，已是“海内虚耗，户口减半”；另一方面，经过汉王朝的连年出击，匈奴力量也大大削弱，边患有所缓和。这些客观情况促使武帝晚年的政策发生重大改变，在一定程度上恢复了汉初“与民休息”的政策。

武帝政策上的转变，对稳定汉王朝统治是必要的。但统治集团的内部意见并不一致。武帝死后，继位的昭帝年幼，大权掌握在大将军霍光手里。霍想继续推行“与民休息”政策，但却遭到以桑弘羊为首一批官员的强烈反对。为了解决这一问题，霍决定召开一次对政府这方面政策的大讨论，这就是“盐铁会议”的召开背景。

始元六年（公元前81年），昭帝下诏命丞相田千秋、御史大夫桑弘羊召集各郡国所举荐的贤良文学，询问民间疾苦之所在，讨论国家政策得失。贤良文学与桑弘羊等人意见不一。他们在会议上开宗明义提出自己的看法和主张，谴责盐铁官营等政策是“与民争利”，主张“罢盐铁、酒榷（专卖）、均输”等（《盐铁论·本议》）。他们说，官营作坊使用奴隶和罪犯劳动，这些人消极怠工，且造出的产品质量差，浪费大（“多苦恶、用费不省”）；官吏的官僚作风严重，经营不善，成本高，产品不合乎实际需要；官府独家经营，百姓不能选择，且价格昂贵，有时还强迫购买。另外徭役很重，人民疾苦不堪。桑弘羊一派则说，兴盐铁、设酒榷、置均输，扩大了国家财源，是抗击匈奴、消除边患的经费来源；而且这些政策便于堵塞豪强大家的兼并之路，有益于农民，因此坚持继续推行盐铁官营。在对匈奴政策上，贤良文学主张厚币和亲，桑弘羊等主张通过战争阻止匈奴侵扰。由于贤良文学是来自社会下层的地主阶级知识分子，比较体察社会实况，在朝中有霍光一派支持；同时也由于盐铁官营在实际实行中确实存在很多问题，所以辩论的结局使桑弘羊

在政治上遭到挫败，贤良文学活跃一时。根据他们的意见，停止了酒类专卖，“与民休息”政策得到进一步肯定。元帝初元五年铁官曾和盐官一同废置，但由于事关财政收入，三年后又被恢复。东汉建国后，由太尉属下的金曹主盐铁事，郡县出铁多的地方虽设铁官由郡的金曹掌管、主铸和收税，但除少数地区（如耒阳）外，已不禁民私家冶铁了。章帝中期，因财政困难，又一度实行盐铁官营；和帝即位（公元 89 年）即行废止，直到汉末。

关于这场盐铁之议，西汉桓宽编撰了一部《盐铁论》。现在看来，这次盐铁会议可称得上是我国历史上少有的、高级别的钢铁政策讨论会。《盐铁论》自然成了最早讨论我国钢铁生产体制的著作。盐铁官营这种垄断专营制度，对维护封建专制统治确实起了重大作用；但对社会经济发展，从整体、长期来看则起到阻碍作用。因为它限制民营经济的成长，从而使中国封建社会中新的资本主义生产关系迟迟得不到产生和发展，使中国社会长期停留在落后的封建社会阶段^[61]。

5.3 魏晋南北朝时期^[62]

从东汉末年起，由于战乱和外族入侵，社会经济遭到极大破坏，铁冶也和其他手工业一样衰落下去，专业工人流散各地，使得连兵器及屯田用的农具等也只得由官府设定作坊制造了。在此背景下，汉武帝时创设、在东汉中期废止的官铁冶，到三国魏晋时期又恢复起来了。当然除官铁冶，民间私铁冶也还存在。

曹操平定冀州后，首先在今河北设置了冶铁机构，有司金中郎将、司金都尉、监冶谒者等官负责冶铁事宜。曹操任命王修为司金中郎将，强调“以盐铁之利足贍军国之用”；蜀汉也有司金之官。如《蜀志·张裔传》云：“还为司金中郎将，典作农战之器”；孙吴为了发展冶铁业，在一些发现铁矿的郡县设置了冶铸机构。图 5-1 左为孙吴时期新安铁丞印，当时新安县属会稽郡，治所在今衢州

市。铁丞为冶铸机构负责人。右图为“右尚方令”印。右尚方令为少府属官，官秩六百石，官价七品，主管宫廷冶铸业，副职是右尚方丞。黄武四年（公元225年），孙权采用武昌铜铁造剑千口、刀万口，各长三尺九寸；又丹阳郡（今南京）“山出铜铁，自铸甲兵”。



图 5-1 孙吴时期铁丞及右尚方令印

西晋时，在产铜铁之处皆置冶令；东晋时，冶铸和兵器制造划归少府所属冶令和尚方管理，建康有东、西二冶。

南北朝时期，官铁冶继续存在。南朝梁代时，在巴蜀设冶；而北方的北魏在光州（今河南潢州县）设铁官，“先是州内少铁，器用皆求之他境，挺（指刺史崔挺）表复铁官、公私有赖”（《魏书·崔挺传》）。北周时，铁冶设铁监，“大统中（公元535—551），除司少卿，领同州夏阳县二十屯监，又于夏阳诸山置铁冶，复令善为冶监，每月役八千人，营造军器，善亲自督课，兼加慰抚，甲兵精利，而皆忘其劳苦焉”（《周书·薛善传》）。西魏、北周的手工业发展仍以官营为主，其管理部门是在“冬官”之下设工部及匠师、司金等专业部门。一些工场规模很大。如上已述及的夏阳诸山铁冶，营造兵器的工匠即达八千人之多。

魏晋南北朝时期官手工业中的劳动者首先是由罪犯充任。南朝《宋书·武帝纪》中记载：“反叛、淫、盗三犯补冶士”；“刑二岁以

上为耐罪，言各随技能而任使之也……劫身皆斩，妻子补兵（妻与子补服兵役），遇赦降死者黥（zhān，脸上刺字）面，髡（kūn，剃发）钳（颈间套钳）补冶锁士（锁士为带锁劳动的刑徒）终身。其下又有谪运、配材官、冶士、尚方锁士”（《隋书》卷二一《刑法志》“梁代法律”）。北魏《魏书·武帝纪》中记载：“元赐元年五月……置山东诸冶、发州郡徒（即刑徒）谪造兵甲”，也是说令罪犯充当官手工业劳动者。

官手工业劳动者还有一种是工匠。其身份比刑徒和奴隶稍自由一些，但仍在严格管理下劳动。工匠职业世袭，不得自由迁徙，不得与王公侯伯士民之家为婚。东吴时，周瑜袭皖城，克之，“得袁术百工及鼓吹部曲三万余人……皆徙所得人东诣吴”（《吴书·孙策传》）。这里把“百工”与“鼓吹部曲”等分开提，是因为“百工”是有专门技术的人，但其身份虽高于罪犯和奴隶，仍与一般平民不同。如《史记·李将军传》、《索隐》引如淳云：“良家子，非医巫商贾百工也”。如淳是三国时魏人，可知当时百工是称不上“好人家”的。晋朝代魏后，曾用法律形式规定“百工”的卑下身份，明文规定其服色车舆与士卒相同，不得僭于吏民，可见身份较平民卑微。平素他们在作场“吏”的管理下集中劳作，不能自由生产商品，不能上市自由营业，不能随意被人雇用。他们拥有各自的家庭和独立户籍，其卑微的身份和承担的义务则是世袭的，或称之为“役门”。总之，他们不是独立的小生产者，而是官府支配下农奴化的手工业者。

魏晋南北朝时期官府手工业工匠的大量存在及农奴化、卑微化，是有深刻历史原因的。一是“百工”中相当部分曾经是汉代公、私作坊奴隶的后裔或被解放的奴隶，从而使与之伍的自由手工业者也不能获得与一般平民相同的身份；二是皇帝的无限权力和直接劳动者对国家的依附性而形成的超经济强制，二者的共同作用导致“百工”、“伎作”特有的身份和地位。

除了官府手工业，魏晋南北朝时也有民间手工业。以冶铸为

例，山东济南及兖州一带的豪强就曾设冶鼓铸，“密造兵仗”直到东魏时才被置除。这时私人作坊已有雇工经营存在，如《宋书·郭世道传》说郭因“家贫无产业，佣力以养继母”。再如《宋书·吴遵传》载吴遵“昼则庸赁，夜则伐木烧砖”；《宋书·王彭传》说王彭“兄弟二人，昼则佣力……”这些都是手工业中的雇工生产情况。这一时期，城市手工业中虽有雇佣劳动出现，但其性质仍然是封建性的。

5.4 隋、唐、五代时期^[61]

隋朝手工业仍以官手工业为主。政府设专门机构统一管理官手工作坊、工匠和产品，其最高机构是尚书省的工部，具体管理机关是太府寺。炀帝时又从中分置少府监，再下置掌冶署具体管理铁冶。

官手工业的劳动者主要是官奴、刑徒和服役的工匠（有长、短期之分）。短期番上的工匠每年六番，每番两月，轮流到京师和地方州县服役。工匠地位低下，依附性较强。

唐代手工业的组织，比汉时庞大而整齐。中央设有少府监，掌百工技巧之政，监下设有掌冶署掌冶铸之事，还管理各地的冶监和铸铁监。手工业无论私营、官营都相当发达，构成唐代高度发展的封建经济的重要组成部分。在魏晋南北朝时期，手工业主要为官营，后由北魏历经北齐、北周至隋以至于唐，官手工业虽仍占主要地位，然私人手工业也已有了较大发展。

唐代官府手工业作坊所役使的工匠分为番匠、长上匠、明资匠三种。番匠又称短番匠，指一般工匠，每年在官府作坊服役20天；长匠指工匠服役期满后继续留下代人应役并获得一定报酬者；明资匠即官府出价雇役的工匠。三种使役方式中，番匠属无偿劳役，长上匠和明资匠虽有不同的报酬，但也不是自愿应雇，往往带有强制性。但与魏晋南北朝“百工”、“伎作”终身为官府无偿劳作相比，

唐代官府手工业工匠的境遇还是有所改善。

唐代城市中有不少私人手工业者的聚居区，称为“坊”。坊本义同“里”，从秦汉到隋，城市中有“市”与“里”之分。市为商业区，里是居民区。市、里均以围墙围起。“诸户以百户为里，五里为乡，四家为邻，五家为保。在邑居者为坊，在田野者为村”。这里邑指城市，可见，城市里的坊即相当于里。唐代“里”改称“坊”。按职业身份划分居住区域，有“铜坊”、“官锦坊”、“冶成坊”等名称。手工业者生产居住之地称为“作坊”，所以“作坊”成为手工业区的通称，后来作坊又转化为手工业店铺的专名。

唐代长安及其他城市都有这种作坊手工业。如《太平广记》中“杨元英”条引广异记：“杨元英则天时为太常卿，开元中亡已二十载，其子因至冶成坊削家（铸剑作坊），识其父坟（墓穴）中剑，心异之，问削师何得此剑。”冶成坊就是冶铸作坊聚集之所。

手工业生产是种商品生产，同业者组成“行”，因此同业者互称“同行”；同行者组成“行会”，有自己的行规，有共同供奉的行神和经大家推举的“行头”。“行头”对内掌理本行事务，祭神时任主祭；对外则为该行会的代表，这种行会是在封建政权允许下产生的。

在唐代的私人手工业中，矿冶铸造业也很发达。

5.5 宋代^{[61][62]}

宋代随着农业的发展，手工业也比较发达，特别是民间手工业较唐代有进一步发展，这表现在生产规模扩大、分工明确，工人人数、雇佣劳动、产品尤其是商品性产品增多。

宋代官府作坊所役使的工匠，主要散布在造船、坑冶等行业，数量上仍保持一定规模。工匠分为正匠、兵匠和官户杂户等三部分。正匠系招募来的技术工人和生产人员，是技术骨干；兵匠是从厢兵中调集来的兵卒，主要充当力役及守卫；官户、杂户乃官奴或

贱民身份者，均隶属于工部及少府监、军器监等，平时由监官、检勘、监门、库官等负责管辖监督。正匠的来源是编户齐民中的一般工匠，招募后按应役时间支付工钱，大体类似唐代的明资匠。所付工钱甚为低微，分钱、米两项，大抵每人每年钱几十缗（mín，一串一千文）、米几担。所募工匠一般不入别籍，较唐代长工匠有一定进步；但在铸钱、坑冶等行业，又有强制调发、专门立籍及禁止逃亡之类的规则，工场工匠的劳作定额也较严格。由于强度大、工作苦，工匠时而以逃亡方式进行反抗。对逃亡避役者官府要施以笞、徒等刑罚。

宋代铁冶有官营、“半官营”和民营几种形式^[11]。矿山基本上由民间自由采掘，政府收税。至神宗熙宁年间和元丰初年王安石变法时期，曾有较多地方听任“民营”冶铁业的发展，采用“二八抽分”的税率收税，冶铁业很发达。由于铁冶兴盛，北宋设置了一整套管理机构。重要矿区或冶铸中心设“监”和“务”。“监”是主监官驻在地；“务”是矿冶税务所或矿产地收购站，可见他们是从事管理、收税和征集工作的。生产单位有“场”、“坑”和“冶”。“场”是采矿场；“坑”是矿坑，每个场可管若干个“坑”；“冶”是冶炼工场，一个“冶”所需矿石往往由几个“场”供应。设监之处必有冶，设务之处多有场。北宋时全国铁冶有四监、十二冶、二十务、二十五场（参看表4-3）。

北宋末年，曾对铁实行专卖^[30]。第一次专卖由元丰六年（1083年）开始，至天祐年间终止；第二次是徽宗重和元年（1118年）第二次实行榷卖。《宗史》卷一八六“交易”条有这样记载：“令诸路铁，仿茶盐法榷鬻（yù，卖），置炉冶，收铁给引，召人通市，苗脉微者听民出息承买，以所收中卖于官，私贸易者禁之……铁利尽榷于官，然农具器用，从民铸造”。这显然是把产品铁全部收为官有，课税后再卖与民间，携带着铁引这样的证明便许可行销。

宋代民营铁冶规模也较大，冶户是拥有巨万财富的“大家”，

工人则“多饥寒亡命强力鸷忍之民”（苏轼：《徐州上皇帝疏》）。冶户对工匠的剥削也很残酷，工匠对冶户存在严格的人身依附关系。

宋代由于煤炭广泛用于冶铁，使铁产量大增，铁制品自然也大量增多。由于价格低廉，若放任不管必流向国外。北宋屡受辽和西夏侵扰，铁外流在国防上是危险的，因此宋禁止铁往外输出。《宋史》卷一八五《食货志》“坑冶”条载开宝三年的诏书说：“铜铁不得阑出蕃界及化外”。“蕃”指邻国，“化外”当指“中原文化圈”之外的一些王国。

与宋对峙的辽国，其铁和铸钱业生产实行与盐一样的官府经营，禁止私营。如南京（今北京）盐铁三司就禁止民间经营此业。道宗清宁十年（1064年）十月，“诏南京不得私货铁”（《辽史·道宗纪二》）。早在重熙元年（1032年），“先是南京三司销钱为器皿三斤、持钱出南京十贯及盗火家物五贯者处死。至是，铜愈三斤、持钱（出南京）及盗物二十贯以上者处死”（《辽史·食货下》）。基于与宋同样的考虑，辽对外亦厉行铁禁。

金代手工业有官手工业和民间私人手工业两种。金朝矿冶业比较发达，其辖境内女真旧地及原辽、宋地区冶铁业都有所发展，煤的开采使用更为普遍。

5.6 元代^[62]

蒙古贵族在征服世界和对中国的边界和内地的战争中掳掠了大批工匠，建立起庞大的官手工业，安置工匠进行生产。

元代的官手工业在手工业中占有重要地位，它包括矿冶、制盐、纺织、采煤、酿酒和军器制造等行业。官手工业通常规模大、工匠多，所用工匠最初主要是奴隶，后来是农奴性质的“系官人匠”。这种“系官人匠”的来源，一是由蒙古军队东征西讨时掠夺来的各地工匠；二是元朝政府从内地各省拘集来的民夫匠户。工匠身份低下，对政府依附性强；工匠都有户籍，不得变动。匠户子女

必须世袭应役不得脱籍，甚至婚姻也不自由。

官工匠生活由官府供养，待遇十分低下，等于封建官府豢养的工奴。工匠本人一般每月领米3斗、盐半升，家属只管4口，大人月领米2斗5升，小孩1斗5升（《通制各格·工粮则例》）。因而很多人生活十分贫困，不得不将子女典给别人卖力为生。元代工匠只是到了元朝后期才争取到一点自由，即政府允许在完成定额后和休工期间，可以私下造作。

元代官手工业虽然在生产技术上有一定发展，但就整个手工业体系而言，工匠受到官府的严格控制，缺乏生产积极性，而且官吏贪赃枉法、中饱私囊，再加上生产不计成本、浪费严重等，这些都使得手工业生产不可能有很大发展。所以，到了元朝末期，官手工业就呈现出日益衰落的趋势了。

官手工业虽然垄断了重要的手工业部门，但却不能垄断净尽，民间手工业还有一定程度的发展。元代，在系官人匠数量巨大的同时，属于“不系大数民匠”的私营手工业者仍得以维持其生存，某些情况下他们还可以在诸多官营作坊的夹缝中得到一定的发展。

元代矿冶，有时官办榷买；有时官取税课、听民自采。原阳县令李玉辞官后，“治生教子，三致丰阜，鼓铸煮硃，所居城市，无能佣力而无恒产者，鱼聚水而鸟投林，相率来归”（《紫山集·李公墓志铭》）。庐陵永福人刘宗海“尝业铁炉于金牛大冶，煽役者常千人”（《魏原文集》前集卷三《刘宗海行状》）。这些都表明，元代的私营手工业者的生产规模及经营性质，在南宋的基础上又有所进步。

元代中期以后，矿冶业还在大都附近出现。朝廷允许矿冶业“听民煽冶，官为抽分”。政府还把一些经营不善、成本过高的官营矿山改为民营。元世祖时，大都路蓟阳镇附近原有四个官营铁冶，拥有9950余户匠人，但其产品价值反不如民营纳税收入。于是有人建议“罢去当差，许从诸人治窑冶炼，据官用铁货，给价和买，深是官民两便”（王恽：《秋涧集》卷八九），此建议得到批准。元

初，燕山南北设有官铁冶 17 处，冶炼人户 3 万余；中统二年（1261 年）后“仅存留三五处，依例兴煽”，其余的“许诸人认办课额兴煽小炉，或抽本货；或认办钞数”（王恽：《秋涧集》卷八九）。这样，矿冶业几乎全部变成民营。此外，蓟州的丰山、宛平的颜老清水村、昌平苏家窝都有民营铁冶，甚至不少寺院也经营矿采业。

5.7 明 代^{[19][62]}

明代官手工业总的趋势是逐渐走向衰落，同时官手工业中工匠的身份也发生了变化。

《明太祖实录》卷八八载：洪武七年（1374 年）“命置铁冶所官，凡一十三所。每所置大使一员，秩正八品；副使一员，秩正九品”。洪武十八年，因存铁太多，太祖把各处铁冶都罢了。八年后因需要复开，不久又罢，“诏罢各处铁冶，令民得自采炼，而岁给课程，每三十分取其一。”此后铁冶官办减少、民办增多。永乐年间，顺天府遵化官铁冶所产铁已略足供工部之用。正德四年（1509 年），遵化炼生铁四十八万六千斤，熟铁二十万八千斤，钢铁（即钢）六万二千斤。由于官铁冶在生产组织、管理方面存在诸多弊端，生产成本较高。

明代以前，官手工业中的工匠实行徭役制，工匠身份不自由。宋代已有雇募制出现，但招募的匠人地位很低，许多是由兵转匠的，征匠制后来也有纳资代役的情况。元代手工业者大部分被统治者奴役，其身份处于奴隶或半奴隶状态。明代前期，“匠户”制度依然存在，官手工业中的工匠被编在特定的户籍中，世代承袭不许更改。在这种制度下，全国各地被划入匠籍的工匠分为若干班，轮流到京师服役，叫轮班制匠户。这种制度在洪武二十年（1387 年）曾经进行改革，即按各部门需要，定出五种轮班法（从五年一班到一年一班）。对这种制度，工匠也不满意，纷纷逃亡。后又进行改革，允许工匠以银代役，后又作为制度正式通行全国。与劳役相

比，以银代役是个进步。匠户交银后，人身自由了，成为独立的小生产者，因而大大提高了劳动积极性。以银代役制是商品经济发展的反映，但又反过来促进生产发展和商品经济的发达，为资本主义萌芽的产生创造了条件。

商品经济和民间手工业的发展以及工匠们不断进行的斗争，使官手工业走向衰落和瓦解。正德以后，诏罢各处金银铜铁官矿。万历九年（1581年）工部题准将遵化铁冶（北方最重要冶铁基地）“山场封闭”。此后铁冶主要就靠民营了^[65]。

由于生产技术的改进和商品经济的活跃，尤其是手工业者为官府提供劳役的减少，私营手工业得到了突出的发展，私人作坊主、雇佣工匠及小手工业者的身份、境遇等也均有所变化。

首先看看作坊主。随着官府手工业的衰落，私营手工业的生产条件和扩大再生产的机遇趋于良好。一批富户和以技艺、劳动而略有积蓄的个体手工业者相继经营起各种作坊。如山西潞安苗氏“富于铁冶，业之数世矣”，“椎凿鼓泻担挽，所借而食者常百余人”（唐甄：《潜书》）；广东韶关、惠州一带的“射利奸民号山主矿主”者，“招引福建上杭等县无籍流徙”上千人“在山掘矿，煽铁取利”（《广东通志初稿》卷三〇）。这些作坊的共同之处是雇用工匠多，生产规模大，内部有了一定的分工，作坊主完全脱离劳动，而且一律是私人经营，与官府手工业无涉。此时，作坊主的身份，依其经营和出资雇用工匠的方式而有所不同。如万历时山西五台县矿主张守清雇用矿工达三千人以上，但张对工匠人身有较大的支配权和统辖权，“矿徒不遵约束，立毙杖下”（《明神宗实录》卷二三）。张守清之流显然属于封建作坊主。而在苏州一带，“机户出资、机工出力”作坊内的生产关系就含有资本主义雇佣关系的因素，作坊主就属于早期资本家了。

再看看雇佣工匠。私营手工业的繁荣使明代雇佣工匠的数量和使用范围较前代有明显增加。在具有资本主义生产关系的手工作坊中做工的雇佣工匠，或每晨由“大户”临时雇用，工钱往往以日计

算者当属平民。而在某些封建性质较重的作坊中做工者，对作坊主依附性较强，人身不很自由，甚至出现“不遵约束立毙杖下”的悲惨情景，其地位处于平民与奴婢之间。

明代商业的发展带动了民营铁冶的发展。如广东佛山，起初只少数村落有家庭冶铁。永乐后，由于珠江三角洲经济迅猛发展，大量铁锅被用于煮糖、煮茧、蒸酒等，由此牵动了冶铁业。大量外地冶户集中到佛山来，冶铁产品远销外省甚至海外。“两广铁货所都七省需焉。每岁浙、直（隶）、湖、湘客人，腰缠过梅岭者数十万，皆置铁货而北”（《明经世文编》卷三六八）。到了明末，佛山已是“生齿日繁，四方之舟车日以辐辏”，成为一个真正的“大都会”了（《乾隆佛山忠义乡志》）。

明代中叶以后，社会上（尤其是工商业城市）依靠出卖劳动力为生的人逐渐增多，有的地方还出现了劳动力市场。同时，广东佛山、陕南、山西晋城的制铁业中，也和苏州的丝织、景德镇的制瓷等行业一样，出现了雇佣劳动关系。如佛山镇的炒铁业有数十家，每家有“数十砧，一砧十余人”，即每家业主雇佣工人均达数百甚至上千人（屈大钧《广东新语》十五卷《货语》）。陕西汉中一带“有铁厂、木厂、纸厂……一厂多者恒数百人，少者亦数十人”（严如煜《三省边防备览》十二卷）。万历年间，福建政和的铁矿生产已具有资本主义手工工场的形态。《政和县志》载：“今据炉户何浦、程正大等告，起铁炉二座于东平等处”，“每炉一座，做工者必须数百人，有凿矿者，有烧炭者，有煅炉者，其余巡炉、运炭、运矿、贩米、贩酒等役，亦各数十人，是以一炉常聚数百人。其人果皆良善能奉公守法者乎，必皆游手游食，投充其间，事成则炉首享其利；不成则炉首脱然长往，是数百人将安所税驾乎”、“浦与正大近虽占炉籍，原非土著，又毫无恒产，其去留难稽，里排供给又系诡名”（民国《政和县志》卷九《赋税》引《明万历知县车鸣时申革炉议》）。在这矿场里有“数百人”在矿头指挥下进行生产，有明确的分工，矿主可以自由招募矿夫，而矿夫大多是“游手游食”

者，其真实身份乃“处州流民，少不下百，多或至千”（民国《政和县志》卷九《赋税》引陈恒《民情书》）。两个矿头是有矿籍的商人，带有一定的封建性成分但“毫无恒产”，完全靠经营矿冶而“享其利”，是具有资本主义萌芽性质的矿场主。此外，嘉靖《广东通志初稿》卷十三所载广东韶关、惠州等地的铁矿，也已具有这种资本主义萌芽的性质。

明中叶以后，随民营铁冶的发展，全国产铁地区已增加到一百多处，采矿改铁锤敲击为烧爆，冶铁大部分用煤，焦炭也已开始使用，鼓风由简单的木风箱改为活塞式风箱，冶炉容积也增大了，还发明了生熟铁连续生产法和苏钢法，炼钢效率得到提高。从生产关系方面看，如前所述，不少矿冶已具有资本主义手工工坊的形态，这些都是有利于冶铁继续发展的。但就整个社会而言，耕织结合的自然经济仍占统治地位，国内市场难以拓展，明廷又厉行海禁，《大明律》规定铁货、铜铁“私出境货卖及下海者杖一百”，所以铁冶不论产量还是技术，都难以继续提高和发展。

5.8 清代^{[19][61][62]}

前已述及，明中叶后匠银制的出现使官府手工业因直接役使的工匠人数减少而显著衰落。清顺治二年（公元1645年）正式废除了匠籍制。康熙时，虽宫廷各监局仍役使少量手工业者，然与民间手工业者相比已是数额微小、无足轻重了。

匠籍制的废除是我国手工业史上的一大进步。前已述及，官府手工业作坊在魏晋南北朝、唐前期、元及明前期规模庞大、高度发展，使全国大多数手工业者置于封建政权的役使之下，其劳动时间被强制占有，手工业者甚至近于国家工奴。秦汉、魏晋、元明等王朝还将手工业者编入市籍或匠籍，世代相传，不得变易转业，使手工业者长期受到来自法律和社会等方面的歧视和压抑。匠籍制度废除后，尽管社会上对手工业者的蔑视、抑制态度并没有立即消失，

但匠人从此在法律上的身份地位与一般平民毫无二致，总是对手工业者的一种解放。

我国明中后期出现的资本主义萌芽，在清入主中原初期遭到摧残。清王朝的统治稳定后仍推行“重本抑末”的传统国策，但也不得不顺应社会经济发展的潮流采取一些相对宽松的措施。匠籍制的废除使手工业者脱离了世代承袭的劳役，官营手工业的经营范围和规模又比明代缩小并采取“惠工给值”的措施，这些对资本主义萌芽的成长无疑都是有利的。清初为防“聚众滋事”曾严厉禁矿；乾隆时“天下太平”，又改而采取允许并鼓励开矿等较为宽松的政策，这些都有利于包括铁冶在内的手工业生产的恢复和发展。乾嘉年间，随着社会经济的恢复和发展，资本主义生产方式的萌芽重又生长起来，并逐渐超过明代发展的水平。如江南的丝织业、广东的矿冶业、云南的采铜业、河北的采煤业中，都出现了工场手工业或商人包买主，其中矿冶业雇工尤多。如广东冶铁业，“凡一炉场，环而居者三百家，司炉者二百多人，掘铁矿者三百余人，汲者、烧炭者二百有余，驮者牛二百头，载者舟五十艘，计一铁场之费不下万金”（范端昂《粤中见闻》卷二一）；陕西汉中一带的铁冶工场规模也很大，大铁厂往往两三千人，小厂也有近千人^[31]。

雇工的身份、雇主与雇工之间关系在实际生活中也有变化。《大清律例》规定：“若农民佃户雇请耕种之人，并店铺小郎之类，平日共坐共食，彼此平等相称，不为使唤服役，素无‘主仆名分’者亦无论有无文契、年限，俱依‘凡人’科断”（《大清律例》卷二八）。这种以雇主的身份与雇工的劳动性质来确定主雇关系的属性，显然同明代以“文券”、“年限”定主雇关系的性质有明显区别，是社会上存在着自由雇佣劳动者在法律上的反映。

清政权稳定之后，政府放宽了对民间采冶业的限制。对供鼓铸制钱用的铜、铅、银矿准许各省“任民采取”；对铁矿、煤矿也采取比较放任的政策，一般只征收税课，不直接干涉生产，这就为私人作坊主发展其经济实力提供了较好的客观条件。清代私人作坊主

所经营的作坊或工场，规模普遍较明代大，且与商业资本的结合更为密切。如川陕大巴山铁厂等皆“原资商人”出本，委托厂头雇募工匠劳动。“铁炉高一丈七八尺”，“供给一炉所用人夫须百数十人；如六七炉，则匠作、佣工不下千人。铁既成板，或就近作锅厂，作农器，匠作搬运之人又必数百人”（严如煜《三省边防备览·山艺》）。一般煤窑所用雇工也达数十上百人（同治《长兴县志》卷一七）。

清代采用资本主义经营方式的作坊较明代普遍。如丝织业中“机户业多雇人工织，机户出资经营，机匠计工受值”；矿冶行业情况也与此类似。与此同时，由于千百年来“匠籍制”的影响犹在，某些作坊主则仍保留封建色彩的管理方式。如京西各大煤窑均开设“锅伙”，借此对受雇矿工施以诓骗敲诈、限制自由等压迫；四川铜矿实行工人“皆听治于矿头”，矿头可对工人施以“笞”、“缚”等刑罚（檀萃：《滇海虞衡志·志金石》）。这种私人作坊主及其经营方式上新旧制度的混存交织是资本主义萌芽后艰难成长的表现。

随着较多手工业作坊采用资本主义生产方式，雇佣工匠的早期无产者特性也趋于成熟，其工资待遇和身份地位明晰、稳定。如四川、甘肃一带煤矿主雇工人挖煤，明确议定每月工钱400文或1000文，同桌共食，平等称呼（《刑部钞档》嘉庆七年、十六年），但一般工匠的工值被压得很低，生活贫困。工匠在工钱微薄、不足以养家糊口时也会“挟众叫歇”、“煽惑众匠，齐行增价”，以争取自身的基本生存权利。

如上所述，明清两朝我国已出现资本主义萌芽，但这个萌芽成长却很缓慢，究其原因也是多方面的，简要分析如次^[31]：

首先，是生产力发展水平的限制。明清社会生产力的确达到了封建时代的最高水平，但与宋元相比，生产力提高只是量的扩大，质的变化很小。农业生产力的发展是为适应人口增加，手工业亦如此。以矿冶业为例，与宋元相比，技术发展主要体现在冶炉容积扩大、采掘加深进尺之类，技术革命尚无从谈起；处于乾隆鼎盛时期

的中国社会生产力，从总体上已落在经过“工业革命”的西欧列强之后。当欧洲开始使用蒸汽动力时，中国矿产资源的利用却受人工排水的限制，水力动力利用似乎不如往昔。明清社会生产力虽已为资本主义萌芽的出现提供了历史前提，但还不足以瓦解封建的自然经济。

其次是中国封建社会特有的结构。男耕女织的社会形态对萌芽状态的资本主义手工工场具有巨大排斥能力；“重本抑末”的国策更使本国工商业难得发展。

第三是中国地主制经济特有的“活力”制约资本主义萌芽成长。由于政治、文化诸因素的影响，商人往往是经营手工业“以未致富”；有了钱再购买土地兼做地主，“以本守之”。这样，商人、手工业者也成了地主，就不会像西欧新兴资产阶级那样坚决地对封建地主阶级发动革命。

第四是封建行会制度限制手工业发展和商业竞争。明清之际我国形成的行会，对诸如产品数量、原料采购、销售价格乃至收徒数额、工作年限、技术传授范围之类方方面面都有严格规定。如长沙京刀业行规规定：“一议外来京刀，内行外行毋得发售……如违将货充公”；新宁冶坊行规规定：“铁货出售只准照依定价，不准高抬亦不许减价发买”等。封建行会垄断本地区、本行业业务，排斥外来人竞争，也限制本行业竞争，不利于资本主义萌芽的发展。至于行业内技术交流更无从谈起，甚至有的行业“不得收领学徒，只可父传子业”。在这种保守、封闭式的小生产经营氛围里，就是勉强进入作坊“拜师受教”，学徒期内也是“听命前人，昼夜不能息其劳，寒暑不敢辞其苦”，往往“既不能糊口，徒沾艺人之名”，学不到真正的技术。

正是由于这些因素的交叉作用，使中国资本主义的生产方式直到鸦片战争前夜，仍处于萌芽状态。

第6章 对外传播与交流

人类的历史是各民族相互交流、相互融合的历史，我国自古就通过陆上和海上两条“丝绸之路”与西亚、阿拉伯乃至欧洲相互贸易、交流，更不用说与唇齿相依的朝鲜、越南这样的近邻及“一衣带水”的日本了。

接触就要相互影响，各民族之间互通有无、技术和文化上取长补短，是古今常理。就铁冶而论，中国不是最早使用铁器的国家，但由于华夏民族最早用矿石炼出了铁水，钢铁制品不论品质还是产量，都在世界遥遥领先，所以，从汉代到明代中期，这种交流的主流是中国铁器及冶铁术对外传播。当然，也有一些“引进”，如炼铁技术就是从波斯（今伊朗）、罽（jì）宾（今克什米尔地区）学来的。日本从我国学会“百炼钢”后，青出于蓝，打造出闻名世界的日本刀，从唐宋起又在我国作为名刀流传。

6.1 对朝鲜和越南的影响

中朝两国国土相连、唇齿相依，朝鲜民族和华夏民族也有较近的血缘关系。今朝鲜境内有远在新石器时代遗存下来的“石棚”，即支石墓，其形制分南、北两式，北式做桌形，分布于朝鲜半岛中部，与我国辽南的石棚一致；南式做棋盘形，分布于半岛南部，与我国山东残存的远古石棚一致。文献还告诉人们，渤海、黄海沿岸，上古时为“东夷区”，我国境内的“东夷”在两千年前已成为汉民族的重要组成部分，所以，朝鲜文化与中华文明早就是相通的。在我

国战国时代，辽东和今朝鲜北部同属燕国，秦末战乱，燕、赵、齐多达数万流民成批迁徙到朝鲜半岛，被朝鲜王箕准安置在西部地方。20世纪以来，从辽东及朝鲜北部发掘出的古代铁器，甚至比华北同时代的铁器还多（华北地区出土物以刀剑之类为多；而辽东及朝鲜北部出土物中，连农具及日用品都有铁器，表明当时这一带的冶铁业比内地发达^[8]）。秦末汉初时，朝鲜半岛的南部为韩，包括马韩、辰韩、弁韩三部，故称“三韩”。其中辰韩又称秦韩（古音“辰”、“秦”相同），是六国遗民及秦人逃避苦役流亡到那里与弁韩人融合而成的。秦人主要来自冶铁发达地区，故善冶铁和制铁器。到了汉代，东涉（hui，古族名，今朝鲜族先人）（半岛东部）、倭（日本）、马韩、州朝（济州岛）都依靠辰韩获得铁器，铁在各族交易中当作货币来使用^[66]。西汉初年，燕人卫满被立为朝鲜王，汉武帝时在卫氏朝鲜统治区设置真番、临屯等四郡，朝鲜深受汉王朝经济和文化的影响。唐代时，今半岛北部（平壤以北）曾属唐安东都护府管辖；元代时，中国和朝鲜同在蒙古贵族统治之下。到了明清两代，朝鲜与中国的关系也一直密切，所以它的铁器文化发展与中国内地大体上是同步的。

越南与中国的关系与朝中关系相似。它也是中国的近邻，其民族主要是原居我国南方的住民南迁与北上的马来人相互融合形成的（越南阮、陈、黎三大姓被称为“国姓”，据考证，其陈姓多来自中国陈姓^[67]）。两千年来，不但血缘、地缘上与中国关系密切，且其政治、经济、文化各方面都受到中国的强烈影响。在秦统一全国时，就已进军到今越南北部，秦开发南越，设南海、桂林、象三郡，象即含今越南北部和中部；汉初，又有汉人赵陀任南越王，对该地实行统治。武帝灭赵氏政权后，在越北设置交趾、九真、日南三郡，汉文化当然对越南产生深刻影响。越南出土文物中，铁器、铁兵器及货币等多是从中国内地输入的，即使当地制造的铁器，与中国的同类产品形制也大体相近。就农业而言，中国南北朝时期，今越南境内“始终耕犁，火耨耕艺，法与华同”。唐调露元年（679

年)设安南都护府,安南正式纳入中国版图,形同内地。唐代时,广州、交州(今越南河内一带)经济同步发展,富饶相埒。所以史学家认为,越南先期的历史和文化属于“中华文化圈”,其冶铁技术发展比中国内地略晚,但大体上与中国同步。回顾两千多年来的中越关系史,贯穿整个两国关系的前半期,越南是中国的“徼(jiào,边界)外”、“郡县”;后半期是“藩属”、“邻邦”,充分表现出千丝万缕的特殊性和盘根错节的曲折性^[68],所以古代越南有较先进的冶铁技术是很自然的。

6.2 对日本的影响和相互往来^[69]

公元前3世纪,日本文化发生质的飞跃,由以渔猎、采集的自然经济为主的绳文文化改变为以农耕、畜牧生产经济为主的弥生文化(由于考古发掘出现在东京都文京区弥生町而得名)。一方面继续使用石器;另一方面输入青铜器及铁器,进入金石并用时期,而且其文化发展是从西向东,说明是输入了中国当时周末到汉初的文化。当时中国正处在战国时期,日本列岛上的倭人已与位于今中国东北南部、朝鲜北部的古燕国往来。秦灭燕后,不少中国人逃亡朝鲜,进而又去日本,“徐福东渡说”正是这一时期大批中国人移居日本的反映。公元前108年,汉在朝鲜设四郡,这对中国先进文化传播日本也有积极影响。

进入弥生时代之后,中国铁器经由朝鲜南部传入日本北九州,进而又由输入铁制品到输入铁料。此时,日本人学会了锻造,弥生后期,倭女王卑弥呼向曹魏派遣使者(238年),与中国交往频繁,岛内各部也学会了冶铁,用以制造农具和武器。铁器的使用促进了农耕发展,使日本出现了以米为主流的水稻农业。

从公元3世纪后半期起,日本经历了从分散到统一的过程。到公元4世纪中叶,大和朝廷大体上统一了日本列岛。这段时间,通过与百济交往,间接吸收大陆文化,从朝鲜南部输入了生铁、铁农

具、工具和生铁冶炼及铁器制作技术。

在 4 世纪和 5 世纪之交，住在朝鲜的秦遗民弓月君（自称秦始皇后裔）率大量中原移民去日本，被称为“秦人”；接着，自称汉灵帝三世孙的阿知使主率七姓十七县汉人去日本。二氏带到日本的是“乐浪文化”，其根源则属中国的汉魏文化。其中汉氏主要从事手工业，制造甲冑、弓箭、矛盾等武器及玻璃、金银细工及错金术工艺品，同时也从事冶铁、锻铁，把制铁技术带到了日本。当时日本生产力水平还很低，中国先进的水稻种植、养蚕和冶铁技术在日本的传播对推动日本迅速进入阶级社会起到很大作用。

如上所述，日本的冶铁术是从中国经朝鲜传入的，这一点在日本学术界已成定论。但古代冶铁，日本多采用很矮的箱式炉，而不是中国及欧洲式的竖炉，原料用砂铁（从河滩、海滨收集的含钒钛砂状磁铁矿），而少用块矿石。至于为什么与中国工艺存在较大差别，多数日本学者认为是铁冶技术刚刚传入时，日本人也采用竖炉法，但日本铁矿石少且难采，而砂铁收集容易；另一方面，竖炉法如以砂铁为原料，则会恶化炉内透气性，且因原料含钛，在高温下液渣会因 TiO_2 还原形成高熔点化合物而变得黏稠，不易冶炼。所以，经过约三百年摸索，才因地制宜开发出箱式炉法。也有日本学者认为，就连箱式炉法也是从中国山东或朝鲜传入的，传播路径是先进入北九州，然后扩展到山阴地方，进而推广到全国^[58]。

大约我国南北朝之后，中国的百炼钢技术传到日本（迄今为止发掘的唯一一口中国古代“百炼”钢刀也是在日本出土的）。这项技术一经传入，就很快得到推广，并达到了比中国更高的水平。1968 年，在日本埼玉县发掘出一把嵌有 115 个汉字铭文的古剑（铭文为持剑人的八代家世系谱，持剑人相当于中国南朝宋时人），经鉴定，这柄剑是用中国铁料打造的^[37]。但后来著名的日本刀剑则多属日本自产铁打造。日本刀剑之所以品质优良，一方面是在锻打上狠下功夫，如刀的皮部、心部由多层积叠材料锻合而成，皮部用“玉钢”制作，心部用“庖丁钢”和“玉钢”混合锻打，锻合后

还要折叠10次,即使近世的日本刀也具有上百层金相组织。另一方面是由于所用铁料成分纯净。这是由于砂铁含铜量低(铜会使钢材热脆且使锻接性能变坏),含磷、硫杂质低(磷使钢材冷脆,硫使钢材热脆),几乎不含砷、锡、铅等有害元素,但却含有钒、钛两种有益的合金化元素。此外,直至近代,其冶炼燃料只用木炭。木炭含硫低,对产品质量有益^[8]。

唐宋以后,日本刀流传到中国,很受欢迎。从宋代的欧阳修到明代的唐顺之,在他们的诗文中,对著名的日本刀都给予高度评价。欧阳修《日本刀歌》说:“宝刀近出日本国,越贾得之沧海东”。唐顺之也写《日本刀歌》,说:“有客赠我日本刀,身上龙文杂藻苻”。南宋时,刀剑已成为日本向中国出口的传统美术工艺品。在日本应永十年(明永乐元年),足利将军献给明朝皇帝的礼品中,也有“枪一千支,大刀一百把”^[70]。明代宋应星也曾感叹日本刀“百炼精纯”“不知是何锤法,中国未得其传”(《天工开物》卷十四《五金篇》;卷十《锤锻篇》)。此时,日本的炼钢技术可谓已是“青出于蓝”了。

6.3 对西亚、欧洲的影响与相互往来

中国进入铁器时代比西亚晚,但一开始便炼出生铁,并在西汉时已出现低硅灰口铁和球墨铸铁,开发出块炼铁渗碳钢,进而发明了铸铁脱碳钢和采用生铁炒钢的新工艺。所制铁兵器以锋利著称,骑兵所用长矛和剑具有远近作战的优势,铸铁脱碳钢在当时是世界上独一无二的先进技术。据《汉书·大宛传》记载,大宛(今中亚费尔干纳盆地,王治贵山城,今列宁巴纳德一带)以西到安息(今伊朗)当时还都不懂铸铁器,后来汉的使官和逃兵教会大宛、安息、康居铁工并由中亚进而传入俄国。塔吉克语及俄语中“铸铁”都是中文“铸”的音译就是这种传播的佐证^[71]。

安息从中国输入了钢铁。安息境内的木鹿(Merv,今称马里)

是中国钢铁的集散地。安息骑兵所用兵器是从木鹿获得中国钢铁原料后就地加工的，制得的刀剑十分锋利，在安息与罗马军队作战的年代里发挥很大作用。公元前 50 年前后，中国铁被称做“马尔吉”，表示来自安息东境。差不多同时，罗马史学家普鲁塔克将安息骑兵使用的坚实锋利的武器称做“木鹿武器”，这些武器即从安息流入罗马帝国，而来源实是中国，其中一部分是经南印度的鸡罗运去的^[72]。

远在汉代，中国与罗马就有商贸往来。当时今新疆境内的西域，以天山为界分为南北两部。西汉时，“本三十六国，其后稍分至五十余”（《汉书·西域传》），这些国家分布在塔里木盆地南北边缘，皆在水草丰美的绿洲之上。当时自玉门、阳关出西域有两条路。从鄯善西行莎车为南道，西逾葱岭则出大月氏、安息；自车师奔疏勒为北道，西逾葱岭则出大宛、康居。安息是西亚重要国家，“其属大小数百城，地方数千里，最大国也”，它与汉关系较为密切。自安息，走陆路可达罗马及欧洲各地^[71]。

汉代称古罗马为大秦，该国“人民皆长大，有类中国，故谓之大秦”（《后汉书》八八卷）。除了上述陆上“丝路”，罗马—中国之间还有海路。这条海路形成于公元元年前后。船从罗马所属埃及港口出发，横越阿拉伯湾，经南印度顶端沿岸折向东北，抵达印度河、恒河入海港口，再横越孟加拉湾，经依洛瓦底江与萨尔温江之入海各港口到达苏门答腊与马六甲海峡，最后绕过马来半岛抵达交趾，交趾即今越南河内附近，汉代置交州^[71]。

伊朗冶炼镔铁自古有名。大约在我国南北朝时，这项技术传入我国。《周书》卷五十、《隋书》卷八三对此都有记载。镔铁的“镔”字实译自波斯语 spaina^[72]，实际上镔铁是一种钢，是把钢表面磨光再用腐蚀剂处理得来的，故可见花纹。常用腐蚀剂是金丝矾（又名黄矾，即硫酸铁）。除伊朗外，罽宾、印度等地也生产镔铁。镔铁又称宾铁。元朝我国设有镔铁局，明代新疆、山西等地也产镔铁。古代中远东、南亚这类有花纹的钢器分为两大类：一种以印度

乌兹（wootz）钢为原料制成，一种以高碳钢和熟铁叠打而成。唐代慧琳《一切经音义》卷五五说镔铁“以诸铁和合”当指后者。镔铁主要用来制刀剑，所制刀剑极其锋利，有“吹毛透风”之誉^[73]。镔铁传入我国及这项技术在我国的发展是中国和西亚文化交流的结果。

玉帛与铁器由东而西，古代欧亚草原民族的马术、马具则辗转东来。古代马上文化三要素：马术、马具及依此组织的骑兵队伍，为中国所无，欧亚草原民族独擅。春秋战国时期，与西域接壤的秦国最早接受了单骑重甲，放弃了中国传统的战车和装备，并组织骑兵，大大改善了以后秦对六国的武装突击力量。至赵武灵王，推广胡服骑射，波斯（伊朗）式的铁铠铁甲取代了古代中国笨重的犀皮革甲，秦、晋、赵北方地区率先采用这种单骑战术^[72]，促成了中国古代军事史上的一次重大变革，这也可以看作是古代中西铁器应用方式的一种交流。

6.4 对印度和克什米尔地区的影响与相互往来

上古时代，古印度原始居民不知铁，铁和冶铁技术是大约在公元前1100年（我国商周时期）由来自外高加索一带的雅利安人传入的。传入后迅速发展起来。在古代世界，印度的钢非常著名，然而中国的钢铁还是传到了古印度。梵文中表示钢的词有几个，其一是Cinaja（意为“支那生”），也就是它出产于中国^[74]。既然炼钢术和铁器已在公元前1世纪传到大宛，公元1世纪又见诸罗马人的著作中，那么西汉时在陆路上（一自西域，一自云南）和海路上与中国相通的印度，很早获得中国钢是极有可能的。

克什米尔在我国唐代以前文献上被称为“罽宾”，唐代称“箇失密”（即“克什米尔”又一音译），手工业较发达，善打造金属器物，是佛教大乘派发源地。汉代时从今新疆皮山向西南有交通路通往罽宾和乌戈山离（今阿富汗南部一带），罽宾的镔铁（宾铁）南

北朝以后传入中国，对中国炼钢技术的提高有所帮助。当然，我国古代与罽宾的交往主要还是佛教上的交流。9世纪的阿拉伯旅行家伊本苦尔达巴（Ibn khurdadhbah，约生于公元820—830年间）在游记中记载说，在克什米尔有一座用中国铁建成的观象台，坚不可摧^[74]。

6.5 对其他国家的影响及贸易往来

史学家认为，中国的冶铁技术在越南东山文化（相当于我国汉代）时期由越南东京传入印度尼西亚^[75]。20世纪在婆罗洲北部沙撈越地方发现了唐代人开设的炼铁厂。据当地考古学家认证，铸铁技术从中国传入，对该地区从铜器时代进入铁器时代起到了推动作用^[76]。

我国古代冶铁技术对泰国也有一定影响。除了宋代以后的铁制品输出，从1567年（明隆庆元年）开始，相继流入泰国的闽、粤手工业者，带去了制造铁、木农具，铜、铁器具等技艺。明代时由中国工匠在曼谷生产的日常用品如铁锅、铁盆之类，被1833年访问暹罗（泰国当时的称谓）的美国大使罗伯茨誉为“胜过从欧洲进口的生铁器皿”。明清时，中国手工业者除了在泰国城市里从事手工业生产，还进入山区从事冶炼业生产活动^[77]。

中国清代曾与近邻缅甸发生过战事。清兵随军制造兵器的不少铁匠在战争中被俘，后来滞留缅甸，为农村铸造各种生产工具和日常生活用具。他们使用的工具如铁砧、大铁锤，特别是鼓风的风箱传入缅甸后，促进了缅甸铸造技术的革新，中国铁匠锻造的铁铠在缅甸很有名气^[78]。

通过海上“丝路”，中国与阿拉伯自古就有接触。约在930年成书、托名大炼丹家哈伊延·本·扎比尔的《物品特性详编》一书中就记载了从中国学到的冶铁为铜的各种方法。可见，时至9世纪，中国铁器不仅已为阿拉伯人所用，且制造工艺也已西传^[79]。宋元

以后，随着海上交通的发达，中国与阿拉伯各国之间的交往更为频繁。地区除越南、泰国及南洋诸岛外，最远处达到“天堂”（今沙特阿拉伯之麦加）及“波斯离”（今伊拉克濒临波斯湾的港口巴士拉）。这类记载在比汪大渊稍早的西方地理学者的著作中也可找到。如伊德里西（Edrisi, 1166 年去世）关于阿拉伯半岛的亚丁港，有这样的记载：

“亚丁市街窄小。这个海港因为开往印度和中国的船只都在这里靠岸，特别是铁和刀剑都从中国输入……”

这表明，远在宋代，中国钢铁制品已大量输往阿拉伯国家。

另外，狄马士奇（Dimashki, 1327 年去世）的《世界志》里，有这样的记载：

“铁这种东西，由于拥有铁矿的国家不同，它的硬度和强度也不一样，而最好的铁是中国铁。”

此外，伊本·古达卑（Ibn khnurdabbah, 9 世纪后半叶入土）有这样的记载：

“由占婆行一百法尔散，到达中国最早的海港交州（al-wakm, 今越南北部河内一带），那里有优秀的中国铁、陶器、米等”（引自玉尔和高第（Yule and Cordier）合著《古代中国纪程录丛》第一卷^[80]）。

综上所述，宋元时代中国的钢铁已经由南海一直输出到阿拉伯半岛，为许多国家所使用；而就中国而言，铁也已成为重要的输出品^[80]。

至于明清时期，中国铁制品对南洋输出更多，这一点在雍正年间的官员奏折及皇帝的批语中写得很详尽：

“（雍正九年十二月癸巳）广东布政使杨永斌奏：定例铁器不许出境货卖，而洋船私带，禁止尤严。粤东所产铁锅，每连约重二十觔（jīn, 斤）。查雍正七、八、九年，夹船出口，每船所买铁锅，小者自一百连、二三百连不等，多者至五百连，并有至一千连者。计算每年出洋之锅约一二万觔，诚有关系……”

“得旨。铁觔不许出洋，例有明禁，而广东夷船，每年收买铁锅甚多……杨永斌所奏甚是……粤东既行查禁，则他省洋船出口之处，亦当一体遵行，永著为例”（《清世宗宪皇帝实录》卷一一三）。

由上可见，尽管朝廷明令禁止钢铁输出（其实许多朝代有类似规定），民间贸易实况却是有禁难止。清初，不独广东，沿海各地都有类似情况，可见铁作为输出品，在中国历史上从未长时间间断过。

第7章 铁文化集萃

中华文明博大精深。两千多年的铁器时代，孕育出璀璨耀目的铁文化。限于篇幅，亦囿于见闻，作者只能将中华铁文化的方方面面十赅其一整理成章，奉献给读者。

7.1 山顶洞人与赤铁矿粉

1927年，在北京房山周口店的龙骨山洞穴中发现了北京猿人的头骨。1933年，还是这个周口店，考古学家在龙骨山山顶洞中又发现了人骨化石，其生活年代距今大约1.9万年。在洞穴里除了简单的石制工具、小砾石装饰品，还有用碾碎的赤铁矿粉涂成的红色装饰品，同时赤铁矿粉还被撒在死人尸体旁^[81]。这种行为，可谓是人类与铁矿石的最早接触。

我们的先人对别的矿石不太感兴趣，何以对赤铁矿情有独钟呢？其实这表明，此时先民已有了原始的宗教意识，是出于对血的崇拜^[54]。

社会学家告诉我们，出于敬和畏两种心理，原始人认为血是人的精华，具有一定的魔力。因此，对血的崇拜表现在两个方面：第一，认为血可避邪，即有破除不祥的功能；第二，认为血可以致邪，即有使人招致不祥的作用。《风俗通》说，正月用狗血涂在门上可驱除不祥；《礼记》说，宗庙盖好，用羊血和鸡血涂在台阶上以避不祥。这种仪式，古代叫做“衅”礼。所有的衅礼都取意于此。《论语·乡党》说，不能用红色和紫色布料做内衣，也是对血的

避忌，是血崇拜的一种表现和延伸。古人打胜仗归来，要先祭祖，一是向祖先报捷；同时也为了让祖先保佑子孙免遭血光之害。同样，古代人常以红色东西避邪，即是取意于其色同血。因为血可避邪却来之不易，只好找种代替物，那么，在原始时代，赤铁矿石磨成粉，是最易办到的了。基于这种认识，直到 20 世纪，世界上还有用赤铁矿粉（赭土）绘身的部族。过去我国境内有些少数民族，妇女不得在居室生孩子，也是源于“血崇拜”的避忌。其实民俗学告诉人们，直至现代已作为民俗的居丧“披麻戴孝”，其当初的想法与“山顶洞人”在尸体周围撒矿粉也同出一辙。前者是借更衣改变形象，防止死者灵魂出窍后缠上他（她）的亲人；后者是将死者灵魂限定于红粉圈内，不使其作祟。用现代话来讲，都是一种迷信。

这种“血崇拜”，在我国古代铁冶业也有反映。成书于明末清初的《广东新语》说，粤中冶铁炉通常是“一时（今之两小时）须出一版（炉前铸成板状铁块）”，但若“一时出二版，是曰双钩，则炉太王（旺），炉将伤”。遇到这种情况，“须以白犬血灌炉，乃得无事”（屈大钧《广东新语》卷 15《货语·铁》）。显然，这种做法与山顶洞人的撒矿粉，与《礼记》所载以羊肉、鸡血涂台阶是一脉相承的。

7.2 中西冶神与两种铁文化

人世间有许多行业，各行业都有自己的利益和特殊要求。在社会交往活动中，为了维护本行业的利益，为了加强行业内部的凝聚力，在古代，各行业往往要寻找一位神灵作为本行业的保护神，这点中外皆然。因此，各民族也都有自己的冶神。

先说说国外。在欧洲巴尔干半岛及古希腊铁文化中信仰的冶神，都是一支眼的^[43]；中亚巴比伦文化中的冶神也是“一目神”（图 7-1）。至于何以是“独眼龙”，现在还没有一种权威的解说。西方有人认为是由于古代冶铁用风管吹风，烟熏火燎，易患眼疾甚

至失明，神仙一支眼是古代冶铁条件差的反映；有人认为锻造需“睁只眼，闭只眼”来观察锻件是否平直。看来两种观点都有道理。冶铁与送风密切相关，所以古代土耳其人为祈祷多出铁，祭拜一位性器（其形类竖炉风管）特大的普利阿滂斯神，当然这也是人类上古时代生殖器崇拜的遗风^[43]。



图 7-1 巴尔干地区执锤的银冶神基克罗布斯
(16 世纪 Ecole de Roberti 作画)

据考证，上古时代各民族都敬畏火。因火既可为人驱寒煮食，又能焚房毁物，故信仰火神。金属来自火加热熔炼，所以早期多为火神兼司炉冶之职。后来随社会生产力发展，神也逐步“专业

化”，才出现矿神、铁神之类。但正如前所述，古代西亚和欧洲，几千年一直是“块炼铁”，铁工见不到铁水，只能在锻打上下功夫，所以才产生个掌锤的独眼冶神。

我国的情况则不然。由于上古时代先民是“多神崇拜”，流行华夏两千余年的道教也是多神教，古代又没有全国性机构统管这类事情，所以目前所知的各地冶神并非同一神祇。成书于东晋的《华阳国志》说，四川临邛县有铁矿，“火烧合之成流支铁，甚刚。因置铁官，有铁祖庙祠”（《华阳国志》卷三《蜀志》）。可见，汉晋已有“铁祖”。此外，20世纪50年代曾在河北邢台铁沟冶铁遗址发掘出“大宋重修冶神庙记”石碑。对其内容笔者不详，但肯定宋代也有“冶神”。

元明两朝，作为北方最著名官办钢铁基地的河北遵化铁冶，祭祀“金姑”、“火姑”两位女仙。据说是朝廷命某官员主抓该处铁冶，然炼炉多日“料不下”，此官担心朝廷怪罪竟欲寻死，两个孝顺女儿为成就父亲的事业竟双双跃身入炉，结果炉况转顺，此官员因此得封“康宁侯”，而两个孝女则被铁冶业作为仙姑奉祀^[6]。与此同时，南方冶铁重地粤中一带则祭祀一位“湧铁夫人”，按《广东新语》的说法是“相传有林氏妇，以其夫遭欠官铁，于是投身炉中，以出多铁，今开炉者必祠祀”。至于冶神何以为女性，同书说是由于“铁于五金属水，名曰黑金，乃太阴之精所成，其神女子”（屈大钧《广东新语》卷十五《货语·铁》）。

其实这两个传说就是《吴越春秋》所记一对夫妇在设炉铸剑不成时双双入炉故事的“元明版”或“明清版”，民俗学上将这类故事归纳到《传说》项的“献身制器型”^[82]，当然不足信。但通过这类传说可以看出，一方面，中华铁冶自古深受“阴阳五行说”的影响，奉女性为冶神，除了铁“其神女子”，是否还因按五行说，“水”克“火”、“火”克“金”，所以靠属“水”的女神管好“火”，以令其多炼“金”也未可知。另一方面，也说明我国自古炼铁就是要炼出铁水，所以才奉祀按“五行”属“水”的女性冶神。也就是

说，两类神祇，两种文化——西方的早期铁文化是一种锻铁文化，中国则是一种铸铁文化。

7.3 万里长城与“上帝之鞭”

近读一旅美青年学子写的留生活散记，说某日几个留学生聚会闲聊，一非洲人说中国人在两千年前就修了万里长城，几百年前郑和的船队已远航非洲，真了不起，闻此中国学子沾沾自喜；不想一土耳其留学生却口出惊人之语：“一听谁夸中国人修长城多伟大我就感到自豪”。面对在座“中外人士”不解的眼神，这位“土”籍人士说出了缘由：“你们吃那么多苦修长城，表明你们的祖先怕我们（可能匈奴和今土耳其人均属突厥人吧）。我们老祖宗骑马去你们那儿抢东西，你们无可奈何。”啊，原来如此！

细想起来，这话亦不无道理。但雄才大略的秦始皇能征服六国，何以怕尚处于奴隶制初期的匈奴？还不是尚以铜兵器为主流的秦军，打不胜骁勇剽悍、同样操“美金”兵器的胡骑？

再看看百年后的汉武。还是同一模样的“中原兵”，与前来进犯的匈奴兵交手，胜多败少，最后把匈奴一直赶到了欧洲。没想到这支再难言勇的败军，一到欧陆竟把当时的西洋人打个人仰马翻，惊呼这是“上帝之鞭”，甚至引发了欧洲的民族大迁移！

所以然者何？查查史书，不难找到答案。汉之所以能够打败匈奴这样神出鬼没的马上民族，主要是由于汉武帝时已基本完成“以铁代铜”的兵器换代。《汉书·陈汤传》中记载，陈汤在成帝河平元年（公元前28年）曾对成帝说：“夫胡兵五而当汉兵一。何者？兵刃朴钝，弓弩不利。今闻颇得汉巧，然犹三当一”。另据考证，汉军当时使用的是长钢剑，而匈奴士卒用的是青铜质双刃短剑，在刀光剑影、短兵相接的冷兵器时代，“长”比“短”自然会占些便宜。

当时汉在国境上设关卡防止作为“军用物资”的铁外流。所

以，陈汤所言“颇得汉巧”意味着匈奴或多或少还是从汉境得到些铁或掌握了些许铁冶之术。然这点本钱，已足使欧洲那些城堡国家举国皆惊了。

7.4 皇帝玉玺与王侯金印

史载，公元前 211 年（秦始皇三十六年）东郡地方，白天落下一块陨石来，上刻“始皇帝死而地分”。此外，20 世纪在墨西哥发现一块汉字墓碑，上刻“大齐田人之墓”，推测是我国战国或秦末从山东半岛乘船去美洲的齐国田姓人士埋骨遗迹（李春辉《拉丁美洲史稿》，商务印书馆，1983）。陨石上刻字，显系痛恨秦始皇者所为；石碑文字则肯定是田氏后人刻出来的。两件事都出现在两千年前，尤其是在含铁含铬的硬质陨石上刻字，非硬度既高又抗磨的好钢不可。而且，起码到秦末，这类镡凿工具已被远航的田人带走（自“田氏代齐”，田氏任齐国国君两百多年。秦末田姓贵族又搞过武装复国。作为望族的部分田人，不甘受秦或刘邦统治，为此冒险远航海外合情合理）。这表明战国末期我国的制钢技术（起码在铁冶发达的齐鲁地区）已相当发达。

古代皇帝的大印即“玉玺”是用美玉镡（juān）刻出来的（刻石工具称“镡”），而诸侯王及其他受封的王（如为与外族修好，赐封的少数民族首领）的大印则多为金质。1784 年，在日本九州福岡县志贺岛上出土了东汉赐予日本倭奴国国王的印绶，印为金质，文曰“汉委（倭）奴国王”（图 7-2）。史载这是倭王于东汉建武中元二年（公元 57 年）派使臣来赠送方物时光武帝所赐。据说这块金印秘密深藏的地方与洛阳处于同一纬度，说明当时倭国是很看重这块金印的。

令人振奋的是，20 世纪 50 年代，考古工作者在云南普宁石寨山发现了一颗汉式金印，文曰“滇王之印”，是汉朝皇帝授予当地少数民族首领的，其形制、材质与倭王印完全一样（图 7-2）。



图 7-2 “汉委(倭)奴国王”金印(左)、其外形(中)及“滇王之印”(右)

为什么皇帝的大印为玉质，王印则为金质呢？有人说“黄金有价玉无价”，这只是部分理由，笔者认为主要还是古代镌刻的困难。因为镌刻玉玺不似用鐫凿刻石碑，笔画既细又复杂，非有极锋利耐磨的刀具不可，所以“切玉刀”在古代一直是上层社会所追求的，并有种种传说。如《孔丛子》上说：“秦王得西戎利刀，以之切玉，如割木焉”；《海内十洲记》中说：“周穆王时，西胡献昆吾割玉刀……刀切玉如切泥”；三国时陈王曹植在《辩道论》中载韩世雄的话说：“诸梁时，西域胡来，献番厨腰带、割玉刀”，凡此等等。

但是，还是魏文帝曹丕看得明白，《抱朴子·内篇·论仙》中曾引证他的话。他说：“天下无切玉之刀”。

从现代的角度来看，上面说的西方玉，多指产于我国新疆和田一带及波斯的玉石。和田玉属软玉，波斯玉古称“碧流离”，属绿松石质，由隐晶质至微晶质疏密块状绿松石组成，为含水的铜、铝磷酸盐矿物^[81]。都是很难镌刻的。而金印，古代是用“失蜡法”制作（清代的桂馥说：“汉印多拨蜡”），即用刀在很软的蜡块上刻画成模，放在桶里，经用澄泥浆多次浇淋后，撤去桶板，加敷含有盐和纸筋的细泥和背泥，做成铸型，然后出蜡、浇注。显然用这种方法制印，没有鏊、凿痕迹，要比镂刻容易得多。

作为天下至尊的皇帝，既要“君子比德于玉”（《礼记·聘义》）显出自己的高贵，又不甘与王臣一样用失蜡得来的金印，就只好苦求“切玉刀”，让工匠费大力气为他镌刻玉玺了。

7.5 龟兹与铁冶

龟兹(qiū ci)是中国古代西域城郭王国,唐安西四镇之一,佛教文献中称之为屈茨,清代定名库车。

古龟兹国以库车绿洲为中心,最盛时北枕天山,南临大漠,西占姑墨与疏勒接壤,东抵铁门和焉耆为邻。气候温热,盛产麦麻水果,傍山宜牧产良马,山中更富煤铁黄金。因处“丝路”干道,中转贸易发达。龟兹人能歌善舞,龟兹音乐是唐代“十部乐”之一。

龟兹原为西域小乘佛教中心,中国魏晋南北朝时,这里出了个高僧佛图澄,又出了个高僧鸠摩罗什(是生在这里的天竺人),至今我国通行佛教经卷多出自鸠氏译笔。佛图澄有个著名弟子叫道安,此人原籍常山郡扶柳(今河北冀县),天赋俊才,博览群书,精通阴阳算数,尤精于佛经,连鸠摩罗什也曾称他为“东方圣人”^[83]。

为学佛法,道安曾游龟兹及西域一些地方,写过一部《释氏西域记》。这部记述西域风土的著作有关铁冶的记载不多,但今仅见的寥寥数十语在我国冶金史上却很有分量。他写道:

“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,恒充三十六国。”

这段文字告诉我们几个信息:①据考证,我国西北地区的冶铁术来自中原,而道安为晋人,所以最迟公元4世纪,我国已用煤炼铁。②煤作竖炉炼铁燃料,存在诸多冶炼问题,推想龟兹的冶铁当属坩埚法而非竖炉法。20世纪我国在古龟兹遗址发现汉代冶铁坩埚是为佐证。③西域“三十六国”指塔里木盆地南北边缘绿洲上的城郭国家,这里水草丰美,宜农宜牧。龟兹铁“恒充三十六国”,说明当时新疆地区冶铁尚不普遍。

道安笔下的古龟兹国,当时居民尚属高鼻深目的印欧人种。后回鹘人迁入,人种和语言逐渐回鹘化,进而融合于今维吾尔大家庭

中。

7.6 曹操、嵇康和刘宗敏

古人称铸造为“大冶”，锻造为“小冶”。我国历史上，与“小冶”有些关联的名人，真还有那么几位：文人嵇康，武将刘宗敏，能文能武的是曹操。

魏武帝曹操（图 7-3）最嗜刀剑。他曾造五口百辟刀，给长子丕、陈王植、饶阳侯林各一口，两口自己佩带。陈王植得刀后，曾作《宝刀赋》记述此事。曹丕比曹植更喜刀剑，宝剑之外还造过百辟宝刀、百辟匕首等，就此他在《典论》中说得清楚：

“建安二十四年二月丙午，魏太子丕造百辟宝剑，长四尺二寸，造兹良金，令彼国工，精而炼之，至于百辟，淬以清漳，厉以礪渚（làn zhǔ，攻玉之石），光似流星，名曰飞景。”



图 7-3 曹操

曹氏父子对刀剑的趣味，不只限于命工锻造，还曾亲自掌钳抡锤。曹操起兵之前在襄邑时，就曾与工匠一起锻造卑手刀，为此还曾遭到北海孙宾硕的讥讽。另据梁陶弘景的《刀剑录》，三国时代的名人张飞曾命匠炼赤珠山的铁作成一刀。关羽也曾采五都山的铁打了两把刀，可见爱好刀剑是魏晋时尚。

嵇康是曹操的嫡孙女婿，西晋名士。与嗜酒佯狂的阮籍同在“竹林七贤”之属（图7-4）。他的人生主张叫人触目惊心：“非汤武而薄周孔”，完全不理睬种种传世久远、名目堂堂的教条礼法，彻底厌恶官场仕途，使他心醉神迷的人生境界就是摆脱约束、回归自然。为此他曾隐居乡舍享受悠闲，后来洛阳城外，竟开了个铁匠铺，每天在树下打铁。他给谁锻打个物件，人家送点酒菜他就十分高兴，拉人一起在铁匠铺里开怀畅饮。



图7-4 晋代“竹林七贤”图（拓本）

嵇康打铁时不喜别人相扰。好友、名士向来素知其脾气，有时造访，见他正忙着，就悄悄操起家什帮他打铁。一次，朝廷宠信贵

公子钟会慕名前来拜访，“乘肥衣轻，宾从如云”，嵇康面对远来的车队，竟只扫了一眼，跟钟会连个招呼也没打，抡锤依旧。钟尴尬之余只得扬扬手悻然自去。后来，正是这个钟会向司马昭进了谗言，嵇康竟被判了死刑。临刑前他弹了曲“广陵散”，喊了声“广陵散于今绝矣”，从容赴死，年仅39岁。

说起这段事，今人会觉得奇怪，嵇康这条“卧龙”何以喜欢树下打铁？其实，正如曹操爱打铁一样，是当时的一种时尚，有似时下白领才俊偶尔进“陶吧”玩玩细泥，也是一种精神享受和健身手段。

刘宗敏是明末闯王麾下大将。他不是爱打铁，而是陕西蓝田县正宗铁匠出身，因困苦无着才“投身革命”的。在李自成兵败，只剩十八骑逃进商洛山中时，也有他不离左右。后来南征北战，为起义军立下汗马功劳。令人遗憾的是，甲申年杀进北京城后他犯了不少错误。他搞追赃助饷，收拷明朝大僚小吏一两千人；他造了夹棍五千副散发各营，夹人无不骨碎。据目击者称，刘“庭中三院，夹者几百人”，“每日早将死者用竹筐抬出，每筐三两人”，搞得明朝官僚谈虎色变，以致不能争取更多人拥戴新政权。尤为甚者，他住进了勋戚田弘遇宅，门前每多美妇人出人，面对时政大局茫然无闻。更有甚者，他竟不顾闯王战略部署，占有了明山海关守将吴三桂的爱妾陈圆圆，并抓其父吴襄拷掠，以致吴“冲冠一怒为红颜”，大开城门让清兵长驱直入。吴三桂为一己私情投敌，固然为人所不齿，然刘宗敏革命意志衰退，堕落胡来，以致坏了军国大事的历史教训，则永远值得后人记取。

7.7 试为俄语 чугуn（生铁）寻根

两个民族交往过程，词汇也会相互渗透，在与俄罗斯接壤的我国东北地区，源于俄语的日常用语就有一些。君不闻东北乡下老者把大面包叫“列巴”（хлеб），把乘铁路货车叫坐“瓦罐”（вагон），说

时已没半点“俄”味？更不要说我们早已把琵琶、葡萄这类千年前来自“西土”的词当作汉语词汇了。中国语是这样，那么俄语中也该有来自汉语的词汇吧！

读杨宽先生的《冶金史》，得知我国古人将铁注入型模这一工艺叫“铸金”，由此想到其日文读音是ちやうきん (qukin)，进而联想到俄语中“生铁”是 чугу́н (qugun)，三者何其相似乃尔！日语音读词汇来自汉语，所以对日文不用管它，有趣的是俄文。查查俄汉词典，竟没找到与 чугу́н 同根的词，说明在俄语中它即使古老，也该有如我们的“葡萄”，是外来语吧！如是外来语，那它来自何方？笔者认为来自中国。理由是古俄国和其他欧洲国家一样，15 世纪以前一直搞“块炼铁”，炼不出铁水，所以当初应无相应词（俄语中“铁”为 железо）。然不管通过什么途径，可能也像古罗马市场一样，见到了中国铸铁，那就自然把铸铁依照中国当时的叫法来称呼了。古代英国人把因炉温高偶尔得到的生铁叫 Pig Iron，是因它沉于炉底，黑黝黝的，脆而硬，状如猪，不知何以为用。俄语中“生铁”没用“猪铁”表述，似乎表明俄国入比英国人更先接触到了可用的中国铸铁。

如果上述推论成立，那么 чугу́н (qugun) 和“铸金”（现代读音 zhu jin）之间的语音差别又何以解释呢？笔者认为，чугун 可能比 zhujin 更接近此词西传时的中文读音，其依据如次：

① 北京郊区及河北省，至今仍有“张各庄”、“王各庄”之类地名。语言学家说，其实这是“张家庄”、“王家庄”的通假，即古音“家”（今音 jia）和“各”相同，为“ga”。“家”笔画多，没“各”写起来方便，故习以“各”代“家”（类现今傅姓、萧姓人自写“付”、“肖”），所以古代某一时期，今音“j”这一声母的汉字可能古音声母为“g”；

② “句”今音 (jū)，古音读“勾” (gou)。如高句丽和作为姓氏的句，也表明声母“j”曾读“g”；

③ 角 (jiǎo) 字，在不少南方方言中仍读“ga”（四川人把一

小角、一点点说成“yī gā gā”。接受了中国古音的日语音读汉字“角”读 gaku, 也是“j”在历史上曾读“g”的佐证。

另一方面, 古汉语形声字是由声符和意符两部分组成的, 声符文字表整个字的发声。例如“江河”, 水旁是意符, “工”和“可”是音符。也就是说, “江”的古音应同(或极近)“工”; “河”则应同(或极近)“可”。这点在日语中保留下来了(如“江”、“工”均读こう(kou); “河”、“可”均读か(ka))。但汉语语音变化大, 有些字甚至已看不出古今共同之处。如按此推理, “铸”字古音应同(或接近)于“寿”, 日文“铸”读ちやう(qū), “寿”读じや(jū), 两音相近, 所以笔者认为“qu”可能更近于“铸金”西传时“铸”字的古音。

既然“铸”之古音应与“寿”之古音相近, 那么“qy”则更接近“铸”之古音; 既然“j”声母曾读“g”声母, 那么“金”的今音(jin)在古代某一时期可能被读为 gin 或 gun。这样一来, чугун不只是与“铸金”今音相近, 而是与其古音几乎完全相同了。所以 чугун 理应是来自中国传去的。

按语言学家的说法, 一个民族(或人群)经历的历史变革越多, 其语言变化越快。就现今中国而言, 则闽粤方言比中原方言更接近于中原古音, 最接近中原古音的是山区客家话, 甚至某些日语音读也比相应的汉语词读音更近古音。因为历史上, 闽粤人多是中原移去的, 客家人更是集团性迁去, 后又比较封闭; 而中原地区, 自南北朝以后, 多次融合了许多少数民族。汉语原有平、上、去、入四声, 现“入”声已消失, 只粤、闽方言中有些残留, 但入声在日语中却保留下来了。比如日本一位语言学家指出, 目前我国习惯用“的士”表示 TAXI(出租车), 是由于这两个汉字是香港、广东人士最先采用的, 粤语中有入声残存, “的士”发音近于 TAXI。若是北京人搞音译, 似应写成“台可西”; 而如让日本人音读“的士”, 则恰是 tekisi, 这点正反映了同为汉族的中国人南北方言差别之大, 也从侧面反映了汉音古今发音差异之大。

如中国生铁确曾传到古俄罗斯，那么是何年代、沿哪条路线传去的呢？笔者认为经西域从陆路传去的。前苏联有学者曾撰文指出，俄语 чугу́н 来自塔吉克语 чуян，亦即鞑靼语的 чуен；而 чуян，чуен 本身也来自汉语“铸”字^[85]。另外，古大宛国即今乌兹别克境内的费尔干纳人，在公元前二世纪即从中国学会了铸铁技术，这点俄国人也清楚。这些地方与处于欧洲中部的古俄罗斯是陆上相连的。从长安到欧洲的“丝绸之路”，自古就没有长期中止过。

古俄罗斯不是海上强国，几乎没有从海上来华贸易的可能性；至于陆上其他途径，现今中俄接壤的西伯利亚，直至清初还称“鲜卑地方”（“西伯”源自“鲜卑”）。俄罗斯东扩是16世纪以后的事情。所以当初铸铁西传不可能循这条道路。至于铸铁传入俄罗斯的时间，估计应在唐宋之前。因为尽管斯拉夫语系国家均称中国“契丹”（俄语为 китай）；尽管“辽”的疆土曾“东自海，西至于流沙，北绝大漠，信威万里”，但笔者查过北宋司马光撰写的《类篇》（中华书局，1983年影印版），得知宋代“铸金”的读音已与今音无异（“铸”为“朱戎切”，“金”为“居音切”，“铁”为“徒结切”），与 чугу́н 相差较远，辽国社会交际已多用汉语，“铸金”之发音应同北宋，所以估计“铸金”西传时间应更早些。当然，正确的答案只有请教熟谙俄语的人，中国铸铁应是 чугу́н 这个词首次出现在古俄语辞典稍前一段时间传去的。

笔者对古汉语和俄语均知之甚少，谬误之处尚祈方家指教。

7.8 两首咏剑诗

我国古代诗赋浩如烟海，其中也不乏写刀剑的名篇，如曹植的《宝刀赋》之类。现选两首唐诗与诸君共同欣赏^[86]。

古剑篇

唐·郭震

君不见昆吾铁冶飞炎烟，红光紫气俱赫然；
良工锻炼凡几年，铸得宝剑名龙泉。
龙泉颜色如霜雪，良工咨嗟叹奇绝；
琉璃玉匣吐莲花，错镂金环映明月。
正逢天下无风尘，幸得周防君子身，
精光黯黯青蛇色，文章片片绿龟鳞，
非直结交游侠子，亦曾亲近英雄人。
何言中路遭弃捐，零落飘沦古狱边；
虽复沉埋无所用，犹能夜夜气冲天。

相传这首诗是作者受武则天召见时写的。作者托物言志、抒发怀才不遇的感慨，表露对人才的态度，其见识、胆略、豪气都是极其宝贵的。

开头四句以宝剑的冶铸不凡比喻自己的素质优秀。句中昆吾是古代擅于冶铸的部族，也是传说中的山名。传说其石冶炼成铁、铸出宝剑切玉如泥。吴国干将和越国欧冶子用昆吾精石冶锻多年得龙泉宝剑，后埋没在丰城狱中，直到晋朝宰相张华夜观天象，发现斗、牛两星间有紫气，判断是“宝剑之精上彻于天”才被发掘出来。接着四句赞美宝剑的形制和品格，以自显才华卓萃。据《西京杂记》，高祖斩蛇之剑以五色琉璃为匣。莲花指出匣上镌刻的图案，暗喻宝剑品格高洁，错镂指涂饰、雕刻。“明月”喻意同“莲花”。“正逢”二句，再次称道宝剑在太平时期有幸能为君子防身、助君子行侠来显示自己操守端正、行为侠义。句中“风尘”喻战争。后面八句用宝剑沉沦吐露心中之不平，表明有用之才终究是不会被埋没的，揭示出了诗的主旨：“虽复沉埋无所用，犹能夜夜气冲天”，表明了自己作为有才有识之士，不甘寂寞面愿为世所用的心声。

李都尉古剑

唐·白居易

古剑寒黯黯，铸来几千秋。
白光纳日月，紫气排斗牛。
有客借一观，爱之不敢求。
湛然玉匣中，秋水澄不流。
至宝有本性，精刚无与俦。
可使寸寸折，不能绕指柔。
愿快直士心，将断佞臣头。
不愿报小怨，夜半刺私仇。
劝君慎所用，无作神兵羞。

又是一篇咏剑诗。诗的前两句写古剑年代久远，“白光”两句写古剑的光芒、精气。“有客”二句，用客人借观而不敢求来旁衬古剑之名贵，“湛然”二句极言剑色之澄澈。“至宝”以下四句，就古剑的本性立言，认为它的精刚之气无以伦比。“愿快直士心”四句提出剑的正当使用问题。最后两句，以劝戒语收束，一个“羞”字，活画出一位直士心肠。作者写此诗大约在宪宗元和三四年官左拾遗、翰林学士时。诗中以古剑作比，实指作为谏官，就应像古剑一样用之得当，议论朝政要不怕得罪权贵，决不敷衍塞责。“可使寸寸折，不能绕指柔”，说明为了真理，要像古剑一样，宁折勿柔，要坚持浩然正气。

诗中“可使寸寸折，不能绕指柔”是作者向读者剖白的处事原则。晋代刘琨《重赠卢湛》诗有“何意百炼刚，化为绕指柔”的名句，白居易在这里是反其意而用之。东晋刘琨是一位充满激情的爱国者，也是一位杰出诗人。其诗文处处洋溢着爱国情怀，《重赠卢湛》是他写给老部下卢湛的。在这首诗里，他以物喻人，赞扬卢才质之美，表达自己壮志难酬的忧愤之情。诗之末用“何意百炼刚，化作绕指柔”作结，意思是我原本有千锤百炼得来的刚强，哪

想到如今已软（弱）得可缠在指头上了。其实这是无可奈何的感叹，语似自嘲而意则是劝卢当早树功。这种心态，其实与岳飞因壮志难酬，胸中抑塞而写出的那首有名的《小重山》是一样的。

从冶金学的角度，铁经“百炼”，使其含碳适中又经热处理，可柔若柳枝，类当今之发条钢；反之，如使百炼精钢在烧红后反复锻打，控制条件使之含碳损耗殆尽变成软钢，也可“绕指柔”，但这种钢已无弹性，“绕指”之后就难以复原了。

7.9 冶铁四古人

这里给大家介绍我国冶铁业四位古人：一位是实业家，一位是官员学者，两位是铁匠艺术家。

《史记·货殖列传》记述了炼铁巨商卓王孙的故事。卓氏先祖原是赵国（今河北邯郸一带）人，战国末年靠冶铁致富。秦始皇灭六国后，为抑制地方豪强，强令一些豪强富商迁离故土。由是，卓氏被抓了起来，夫妻两人只得推着小车随队迁移。一些被迁的人有点余财，争着向官员行贿，希望留在今四川广元西南的葭萌。只有卓氏与人不同，他偷偷对妻子说：“这里土地狭小瘠薄，我听说汶山之下土地肥沃，地下有大芋头，到死也不会挨饿。再说那里百姓喜欢交易，易做成买卖。”于是要求继续远行。待走到临邛（今四川邛崃县），卓氏大喜过望，不走了，并立刻在铁山下开矿炼铁，运筹经营，所产铁销售于云南、四川民间，由此又富了起来，富到家有童仆千人，有华丽的住室田园可安享田池射猎之乐，简直可与君王媲美。卓王孙还曾分童仆百人、钱百万给女婿司马相如，使这个穷才子也买田置室成了富人。

卓氏致富，当然是建立在雇佣劳动基础上的。但他“运筹策”搞鼓铸，促进了民营冶铁业的发展，对我国西南地区的经济发展确有很大贡献。考古调查证实，卓王孙等当年搞起的冶铸中心“古石山”，在今蒲江县敦厚乡大同村，现存冶炼遗址三处。蒲江县近年

已发现秦汉冶铁遗址达 57 处之多, 包括冶铁炉 (一般残高 2 米, 炉径 1 米) 和大量残渣 (最厚的有 6 米, 近年用作修公路路面材料), 还发现一批竖井状矿坑、残留的矿石和成堆的矿粉。从残存物可知当时矿石已经过破碎与筛选两道工序, 从伴出的石灰石可知当时已用石灰石做冶炼熔剂^[53]。

自秦代迁卓氏、程郑 (“山东迁虏也, 亦冶铸……富埒卓氏, 俱居临邛”) 到临邛后, 巴蜀地区冶铁业迅猛发展, 铁器不仅供给西南地区, 还远销关中等地, 最远外销到今越南、泰国, 1978 年还在徐州发掘出一柄蜀郡打造的五十炼钢剑。冶铁业的发展对巴蜀地区水利工程和交通孔道的兴修、遍布蜀中的盐井开凿, 都显现出了巨大成效, 所以至今蜀人还忘不了这位靠冶铁发了财的卓王孙, 这位卓见非一般 “王孙” 可比的卓王孙。

官员、学者傅浚, 字汝源, 福建南安人 (图 7-5), 是明弘治年间 DKJ (公元 1488—1505 年) 进士, 官至工部郎中。明正德年间 (公元 1506—1521 年), 他曾亲自主持当时朝廷最重要的官铁冶——遵化铁冶的生产。他钻研冶铁技术、总结冶铁经验, 写成了世界上第一部冶铁专著《铁冶志》二卷。这部专著在明末清初流传很广。

傅浚主持遵化铁冶时期, 遇到很多困难, 最大难题是炉子 “料不下” (现代术语为 “悬料”)。料在炉内不熔不动, 生产必陷停顿。这种故障古已有之, 记录在《汉书·



图 7-5 傅浚 (王今栋作画)

五行志》上的就有两次。为解决这个千古难题, 傅浚通过实践认识到, 在有 “料不下” 征兆时, 将萤石加入炉中会使故障消除。从此,

萤石作为石灰石外的又一种熔剂，广泛用于炼铁炼钢生产中，但傅浚的名字却一直鲜为人知。

资料显示，从成化十九年（1483年）起，遵化铁冶每年向北京运铁三十万斤。而在傅浚主持生产的正德四年（1509年），遵化炼出生铁四十八万六千斤、熟铁二十万八千斤、钢铁（即当今概念的钢）六万两千斤（《明会典》卷一九四·冶课），即年产钢铁计七十五万六千斤，比他上任前增加一倍多，可见傅浚的辛勤劳动和发明创造功不可没。

第三位是我国特有的工艺品——铁画的创始人汤天池。

铁画也称铁花，原产安徽芜湖。相传芜湖铁匠汤天池与画家萧云从结邻而居，他经常观察萧作画并产生了兴趣，回家后就试用铁锤锻打作画。由于得到萧的指点，颇得国画技法精华，从此代代相传，使铁画得到发展。康熙年间，汤因作铁画名声大振，被奉为铁画创始人^[6]。

图7-6展示的铁画山水，是与汤天池同时代的另一位铁画家梁在邦的作品。梁是江南才子，进京赶考路过泰山，发誓将泰山美景



图7-6 铁画山水

留诸丹青以存千载。会考落第后与友人散心解闷中偶然萌生用铁作画以不畏火烧虫蛀的念头，于是留心锤锻，虚心向铁工师傅请教，回家后干脆操起铁工手艺搞起铁画创作来。梁这幅作品，近景巨石重叠，远处寒山凝翠，江中舟帆点点，“大江东去，空阔千古”的境界被他用锤头充分“渲染”出来。

7.10 并州铁剪与济南针铺

说起剪刀，读者可能会想到刻有“杭州张小泉”字样的电镀小物件。不错，这种剪刀玲珑小巧，美观实用，着实讨人喜欢。可您是否知道，在一千三百年前的唐代，名闻天下的剪刀不是出自西湖畔，而是山西太原。

铁剪是常用的生活、生产用具。目前可见到的、最早的铁剪是东汉制品（图 7-7），其形制与现代已大体相同。

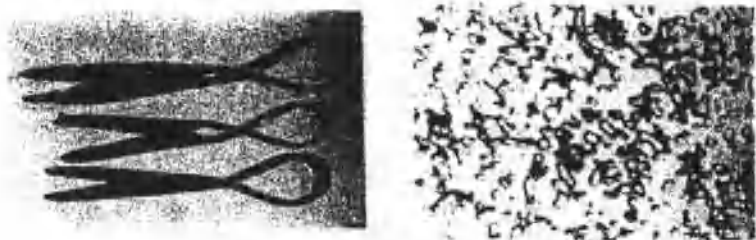


图 7-7 古代铁剪

（郑州东史马东汉墓出土）

右为其金相组织，基质为珠光体，夹杂物很少

唐代并州，治所在今太原。早在汉代，冶铁手工艺已有相当规模。从出土文物看，既有生产工具，又有大量生活用品，例如在太原出土过汉代的铁压袖、铁镜，在太原卧虎沟出土过铁戟等。北齐时，曾在晋阳任监馆的綦母怀文，发明了“锤炼法”与“淬炼法”冶铁成钢，使三晋铁冶获更大进步。到了唐代，冶炼和制造工艺达

到更高水平，出现许多驰名全国的精品，其中尤以并州剪刀风靡全国。大诗人杜甫在《戏题王宰画山水图歌》中云：“焉得并州快剪刀，剪取吴淞半江水”；唐代诗人卢纶也有诗曰：“并刀难销（wǎn）竟何人，每成此物如有神”；还有任华在《怀素上人草书歌》中有云：“锋芒利如欧冶剑，劲直浑是并州铁”，可见并州剪刀在当时被看作是最锋利、最耐用的。这个时期，并州已取代今河北，成为我国铁制刀具中心。在唐代，除了剪刀，并州铁镜、铜镜也很出名，均被列为朝廷贡品。唐代乔琳还专门作过一篇《铁镜赋》赞扬太原铁镜^[23]。唐代，今山西一省的铁产量约占全国的32%，可见当时的冶铁规模。五代时的后唐、后晋、后汉三个朝代之所以能够以并州为根据地而崛起，这里炼铁业发达也是其重要背景。就是到了辽金时期，太原稍北大同府的铁还被列为贡铁；明代全国冶铁业每年要供给国家746万斤铁，今山西一省就占200万斤，其中有名的当属太原府交城县所产的铁，被称为“云子铁”，专门用来制造兵器。“山西交城产云子铁，旧贡十万斤，善治（制造）兵器，他处无有”（《明史·食货志》卷五）。其实，“云子铁”即指云母铁矿，是赤铁矿经变质作用形成的镜铁矿，是鳞片状集合体，有云母状结构。因古人把碎云母叫云子，故得名。较之他处铁矿石，“云子铁”究竟好在哪里，笔者尚不清楚，但既为“贡品”，明代又为“军工专用”，可见其质之优，难怪并州刀剪大有名气。

鸦片战争后，“洋铁”输入，民营铁冶衰落，“并州剪刀”知名度也走下坡。但较之他省，山西铁冶仍较发达，以缝衣针为例，德国人李希霍芬到山西考察后撰文写到：“在欧洲的进口货侵入之前，有几亿人是从凤台县（今晋城）取得铁的……大阳（晋城大阳镇）的针供应这个国家的每个家庭，并且远销中亚一带”（《中国近代手工业资料》卷二）。可见并州钢针在我国中的地位。

由“并州钢针”，笔者不由得想到一块宋代的钢针商标。

中国历史博物馆存有一块“济南刘家功夫针铺”商标铜版（图7-8）。该铜版四周以双线为框。上端阴刻铺名“济南刘家功夫针

铺”；中间白兔图，寓“白兔捣药”意；两边各四字：“认门前白兔儿为记”；下写“收买上等钢条，造功夫细针，不偷工，民便用，若被兴贩，别有加饶，请记白”。



图 7-8 宋代济南刘家功夫针铺商标

作坊产品完全面向市场。许多原料也要从市场购得。这家针铺，为了推广产品、维护铺子信誉，特设计商标，有图有文。请看文字：它不说“原料高级”，而是“收买上等钢条”。干什么？是“造功夫细针”。虽不直说，但已点明“来料确实上等钢材”。下面说“不偷工”，铁料磨成绣花针，一切为了“民便用”。并说若乐于推销、批量购买，则另有优惠，最后提请人们牢记“白兔”商标。

古今广告商标，都得实事求是介绍产品、扩大影响以招徕顾客、尽快销售。如何将广告写得生动而更具魅力，这块商标不无值得借鉴之处。端详这块商标，不尽令人想起宋代画家张择端那幅《清明上河图》。当年的济南府，大概也有似都城开封那样的繁华吧！

7.11 铁钱与铁券

我国古代的金属货币，除了大家熟知的银元宝、铜钱“孔方兄”，还有一种形制与铜钱相同的铁钱。在宋代，这种作为辅助钱币的铁钱曾与铜钱同时流通，但目前在民间可不像“乾隆通宝”那么容易看到了。

图 7-9 示出了宋代的铜钱和铁钱，为什么宋代铸造铁钱，这还

要从铜钱说起。

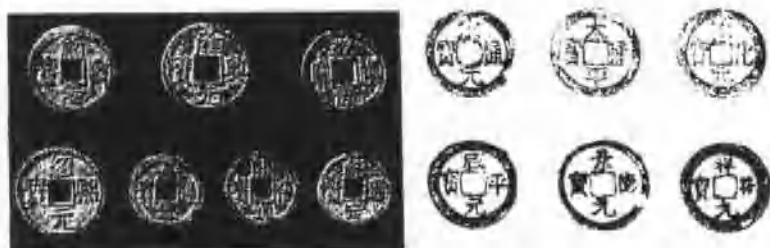


图 7.9 宋代铜钱与铁钱
(左七枚为铜钱, 右六枚为铁钱)

汉代灭亡之后, 我国社会的繁荣开始衰落, 市场上铜钱的流通很少, 商人们经常以绢作为交换媒介, 这种状况直到唐代也没得到根本转变。到了北宋时期, 社会许多方面出现新的面貌, 铁冶的发展、煤的推广使用更促进了商业的繁荣。商业繁荣必然要求更多铜钱在市场上流通。为此, 宋朝铸造了大量铜钱。可以说, 全国产的铜绝大部分消耗在铸钱上了。宋代铜钱的正面铸有历朝皇帝年号, 每年铸造数量也往往载于史册。当时不仅在本国流通, 还流通于邻国。尽管政府严禁, 但大量铜钱还是流出了。特别是南宋时期, 纸币通行国内, 作为正金的铜钱交易用量减少, 使其更迅速地从中国流出。日本在镰仓时代, 常见的通货就是宋朝铜钱。这些铜钱后来被大量挖掘出来。最多一次, 从一个寺院挖出 23.5 万文; 1946 年一个农民发现了 15 万文北宋铜钱。有学者估计, 北宋 170 年间, 发行的铜钱不下 2000 亿文, 相当于 75 万吨^[87]。铸钱消耗大量的铜, 尽管以生铁置换铜的“胆铜工艺”得到发展, 但依此法“大率用铁二斤四两得铜一斤”(《宋史》卷一八〇《食货志》), 似不如直接用铁铸钱划得来, 所以朝廷才决定铸铁钱。当时铜钱为法定货币, 可四川路和陕西、河东路却使用铁钱。每年铸造的数量不同, 例真宗大中祥符七年, 蜀三铁钱监“岁铸总二十一万贯”(《宋史》

卷一八〇《食货志》),铁钱一贯起初是十二斤十两,后改二十五斤八两,因而发生了销熔铁钱的流弊,故后又恢复十二斤十两制度。这种铁钱岁铸额总量达269万斤强,若把铸造时的消耗也计算在内,则铸钱所需之铁可达300万斤,相当于一年产量的三分之一。

宋仁宗时,与西夏开战之后,陕西、河东二路开始使用铁钱,其铸钱额历年也不相同,其总量达一百万贯,消耗铁量约625万斤^[30]。

使用铁钱,虽弥补了铜钱之不足,但也产生了新问题,就是中原铁向西部、北方少数民族地区的扩散。雄锯北方的辽为保持其武力优势,厉行铁禁,严防铁流入西方。“是时诏禁诸路不得货铜铁,以防私铸,又禁铜铁卖入回鹘,法益严矣”(《辽史》卷六〇《食货志》下)。辽亡金兴后,金对铁禁不很热心。在宋代时,河东使用铁钱,金代宋据河东后,改用金国钱币,库存宋铁钱卖给民间,民间商人又转售西夏及北方的蒙古人。其实在金代宋之前,西夏也曾偷偷以盐易陕西大铁钱为用,结果“北方得之,多作军器,甚而有以坚甲利兵与之回易者,爪牙既成,殆不易制矣”(《大金国志》卷十三)。由此可见,西夏、蒙古的兴起都与北宋河东、陕西地方的铁钱外流有一定关系^[80]。

铁钱小而薄,又要铸上文字,在铸造技术上是了个了不起的成就。这样大小的钱币在欧洲从来就是靠冲压法制造的。

下面说说铁券。顾名思义,它是一种铁质证券,但不是现代意义的证券,而是我国古代帝王颁发给功臣的铁制契券,用以证明持有者具有免死或其他特权,取“铁”坚固耐久之意,表示誓约世代相沿,永远遵守。

在绵延几千年的中国封建社会中,有些帝王需要人们为之效力卖命时,大多信誓旦旦,表示愿与功臣共享荣华,万一功臣犯了罪,也可赦免其死罪;有的甚至赐以铁券作为传之子孙的信物。《水浒传》中的小旋风柴进府第里,就藏有赵宋朝廷御赐的铁券,所以每当功臣或其子弟犯罪时,朝廷往往视若无睹,万一罪行太大

了，也会替他化大为小，说什么“念其祖（或父）有功于朕，姑免死罪，着即前往边疆效力”云云。不过这里有个界限，大抵此人之罪止于横行乡里、鱼肉百姓、掳掠民女之类，由于遭殃的是小民，所以皇帝允许马虎了事以显“皇恩浩荡”。如果触犯的是皇家利益，诸如叛逆谋反之类，那就属于“十恶不赦”，虽铁券在身也要罪及妻孥甚至株连九族了。

据文献记载，汉高祖刘邦曾用丹书铁券与功臣定誓，铁券剖为两件，可以合契。右半藏之帝室，左半付予功臣保管。如果功臣及其后代犯罪，可取券相合验证。根据功劳对其罪行予以赦减。自汉代至南北朝，封建帝王均以铁券作为一种对功臣的特殊奖励。隋唐时期铁券用得更为普遍。隋太祖曾赐李穆铁券，恕其十死。至唐代晚期，藩镇割据，帝室更大赐铁券以讨好拥兵将领。宋代以后，铁券颁发有所减少，但在明代仍有赏赐铁券现象。

我国现存铁券有两个。一是唐乾宁四年（897年）赐钱镠（即后来五代十国时的吴越王）铁券，一是明代会川伯赵安铁券。钱氏铁券长52厘米，宽29.8厘米，厚0.4厘米，券呈复瓦形，上嵌金字333个，券文说：“卿恕九死，子孙三死。或犯常刑，有司不得加责”。该券在元朝曾一度失落水中，被一渔夫捞出，钱氏后人重金购回；1951年当代的钱氏后人将它捐献国家。赵氏铁券是明英宗赐给镇守陇右的土司会川伯赵安的，此券厚0.2厘米，嵌金字213字，至今保存甚佳。

封建朝廷实行的是“家天下”制度，所以才搞出“铁券”这种“法外之法”。其实，这对封建帝王也是顾小而失大的。试想有人罪大恶极，不能绳之以法，甚至连子孙都可“免三死”，其后果必是官逼民反，他的封建王朝还会长治久安吗？

7.12 千年沧桑说铁塔

塔是佛教建筑物，是用于供奉或收藏佛舍利（佛骨）、佛像、

佛经的，又称佛塔、宝塔、浮屠。我国最早的塔建于汉末。塔从印度传入后，衍化出多种类型。两千年来，塔已成为我国古代建筑中数量极大、形式最多的建筑类型。

我国民间受佛教影响，相信塔有震慑邪鬼的功用，因此遇到恶疫流行、灾荒洪水等祸患时，有集资建塔的习俗，所以现存各地的宝塔，多已很难说清当初建造时究竟出于何意。

古塔通常 5~13 层，故有“救人一命胜造十三级浮屠”这句俗语。塔多砖石结构，个别为木结构（如山西应县木塔）。下面介绍的是不太多见的铁塔。

我国现存最早的铁塔是广州光孝寺内的东西两座铁塔^[89]，是五代时铸造的。

唐末天下大乱，广州刺史刘隐攻据广东各地，在宋州建大越国，自封为王，改国号为大汉，史称南汉。汉大宝六年（963 年）始建光孝寺塔，即今之西塔。塔平面呈四方形。原七级，清末寺内房屋倒塌压坏了四层，因此，现只存三层。现存塔身遍铸千体小佛，每面正中铸一大龕，内供坐佛，塔身下有巨型莲瓣承记，其下有双层须弥座，全部用铁铸制。塔檐下和须弥座上铸有飞天、力士和各种图案花纹，极为精美。

东铁塔铸于南汉大宝十年，塔为四方形，七级总高 7.69 米。塔下为石刻须弥座，塔身全部用铁铸，高 6.35 米。塔刹已残。塔身上共铸九百多个佛龕，龕内均有小佛像，铸工非常精致。铸成之初全部贴金，故称涂金千佛塔。塔身下有铁铸莲花须弥座，上刻行龙火珠、升降龙火焰宝珠装饰，造型优美生动。

与光孝寺铁塔同时期的铁塔，在广东还有始建于南汉大宝 8 年的梅县千佛塔（图 7-10）。原塔建于修慧寺，后寺毁，清乾隆初年移塔于东山，铁塔高 7 米，四角七层，各层每一面合起来共有 250 尊佛，故四面共计一千个佛像，现亦作为省级重点文物保护单位。

古代铁塔中雕饰最美年代又早的当属浙江义乌铁塔^[89]。按建筑形制和艺术风格分析，此塔系北宋早期建筑。塔为八角形楼阁式，

基础呈三层台式，表面铸满波涛海兽一样的花纹，塔身四面辟门和假窗，在没窗处铸有佛像花纹，檐下出斗拱，阑额铸有“七朱八白”彩画痕迹，与虎丘塔相似。最为突出的是塔全身满布雕饰，就连角柱也布满卷草花纹，卷草花纹中铸出天真活泼的儿童形象，如此精美的雕饰全国尚无二处。现在塔已残散，但仍不失为珍贵文物。



图 7-10 梅县铁塔（千佛塔寺）

我国最高、至今保存最为完好的铁塔为当阳铁塔(图 7-11)^[90]。该塔位于湖北当阳县玉泉寺山门外。据塔身铭文记载，建于宋嘉祐六年（公元 1061 年），耗铁 76600 斤，塔高 17.9 米，塔底座和 13 层塔身是宋代铸成，铜塔刹是清代后铸的，现塔身稍向东北倾斜。

当阳铁塔为八角形仿木结构，外为铁壳，内为砖墙，塔心中空，底座基部周长 9.6 米，塔身从下至上逐渐缩小，底座和塔壁铸有花纹和仪态不同的大小佛像，有八尊铁金刚（现存六尊）铸接在底座的八个拐角处，铁金刚的头顶有钢柱插入上面铸件中。铁塔共由 44 块铸铁组成，顶为莲花盆和塔刹。化学分析表明，塔系麻口铁铸成，化学成分为 C 3.66%，Si 0.05%，Mn 0.05%，S 0.022%，P 0.29%。

当阳铁塔经历千年风雨，至今巍然屹立，充分显示了我们祖先

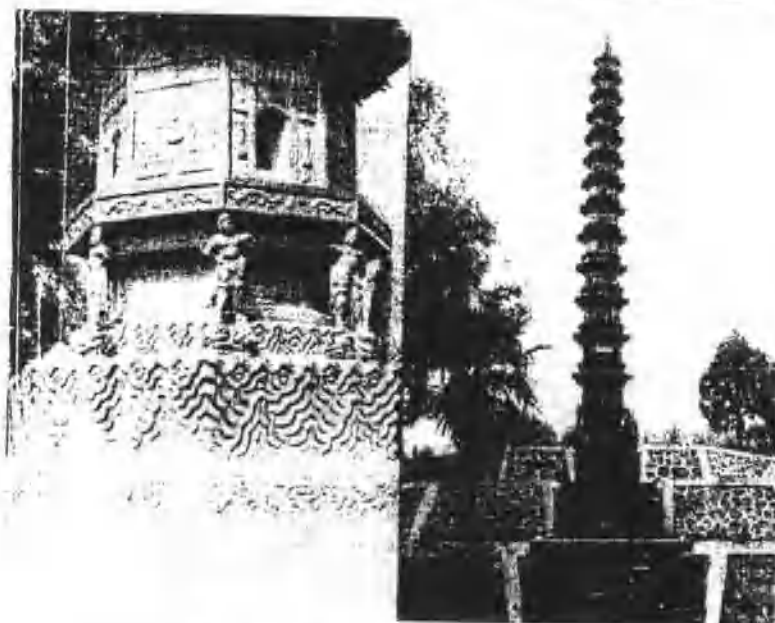


图 7-11 当阳铁塔 (左: 基座; 右: 全塔)

的聪明才智。正如英国冶金史学者考格兰所说:“中国人是世界上第一个生产堪称规模宏大的重型铸件的民族。”

在镇江市北、长江之滨,临江一侧山壁陡峭如坚固的屏障,这就是被梁武帝称为“天下第一江山”的北固山。著名的甘露寺屹立于山巅,寺前有座塔,就是有名的北宋铁塔^[91]。

铁塔原为 9 层,由生铁铸成,高约 13 米,系在唐代石塔旧址上建成的,明代毁于海啸,后复制成 7 层,清代又遭雷击,残存须弥座和一二层。建国后彻底整修,加固塔基,并将弃置他处的两层塔壁安装复原。塔现为楼阁式,每层高约 1.7 米,径 2.7 米,内中空。塔身八面四门,每面铸有精致的飞天和佛像,铁铸莲花上镂有龙珠纹和云水纹。在维修时对塔基和地宫进行发掘,出土了唐、宋两代文物 2000 余件,主要是金棺、银椁、碑刻等。此塔现为省级

重点文物。

作为附笔，还要说说“徒有其名而无其实”的著名开封“铁塔”。这座塔建于北宋，高55米，因其外表用黑色（铁色）琉璃瓦砌筑，故被人称为铁塔。

7.13 挂一漏二话铁桥

“一桥飞架南北，天堑变通途”，这是毛泽东的咏桥名句。但这里吟歌的是现代化的长江大铁桥，百年前的古人可没有散步这样江上彩虹的福气。我国西南地区，川多流急，难以在水中立墩架桥，所以常常是对岸相见、呼声相闻，只因一水一壑之隔便咫尺天涯而“老死不相往来”。后来，古人因地制宜，利用藤条、竹蔑（miè）创造了索桥，即“用木筒贯以藤索，人过则缚以筒，游索往来，相牵以渡”。过这种桥甚为惊险。唐代僧人智猛在《笮桥赞》中说：“冰崖皓然，百千余仞，飞缁（gēng，粗绳索）为桥，乘虚而过，窥不见底，仰不见天，寒气惨酷，影战魂栗”，确是对援索渡河艰难情状的生动描绘。后来单索改为多索，情况略有改观。

据文献记载，我国渡桥由藤竹改为铁索始于西汉。明代所置陕西樊河桥碑文记述，刘邦大将樊哙于汉高祖元年（公元前206年）在陕西褒城马道驿寒溪上修建了一座铁索桥，即后来的樊河桥。又据《旧唐书》、《新唐书》记载，南诏王牟寻联合唐将韦皋大战吐蕃兵时（公元779年），曾靠切断铁桥取胜（欧洲最早铁链吊桥建于1741年，可见比我国晚得多^[92]）。

所谓铁索桥，是在河的两岸立墩，铁索悬于河面之上，铁索上再铺以木板，铁索两侧置护链。这样，人畜和轻便车辆就可渡河了。人行铁索桥上，虽无“胜似闲庭信步”的闲适，但与“空中飞人”相比，总不那么心惊胆战了。

说起铁索桥，人们自然又会想起毛泽东《长征》诗中“大渡桥横铁索寒”的名句，那就先从大渡河上的铁索桥讲起吧！

这座著名的铁索桥架设在四川省泸定县大渡河上^[89](图 7-12)。这里当年白云缭绕, 巉岩狰狞可怖, 河水湍急漩多, 据说鹅毛投入也要沉底。古代根本无法在水中立墩, 因此, 在清代才架起这座铁索桥。



图 7-12 泸定铁索桥

泸定桥全长 103 米, 宽 2.8 米, 高近 16 米。桥面共有 9 根铁链, 左右则各有两根铁链做扶手。铁链粗如碗口, 长 130 米, 桥面上铺有木板以便行人。东西桥台均有桥亭, 并在桥东铸造铁牛一头, 桥西铸造铁蜈蚣一条。一首吟咏泸定桥的古诗写道: “蜀疆多尚竹索桥, 松维茂保跨江饶; 几年频涉竟忘险, 微躯一任轻风飘。斯桥熔铁做坚链, 一十三条牵两岸; 巨木盘根系铁重, 桥亭对峙高云汉。左冶犀牛右蜈蚣, 怪物镇水骇龙宫, 洪涛奔浪走其下, 迢迢

波际飞长虹……”由此可见，这座桥原来是用“巨木”系链，但现存的系链方法是在石砌的桥台里开上宽2米、长5米、深6米的落井4个，近井底部放上生铁铸成的直径20厘米的铁桩8根，每根重1800斤；另用同样直径的4米铁桩一根横于8根铁桩之下，用于系铁链。诗中所说的镇水铁牛、蜈蚣、怪兽至今尚存放在泸定税务局内。说起来古人也很有意思，由蜀郡守李冰演化来的犀牛乃至铁牛总还有点力气，寸把长的蜈蚣能奈龙王何！

泸定桥的桥链每根重达两千斤，当年是怎样从这边拉到对岸的呢（当年面对大渡河，毛泽东也曾这样问过战士）？据考证，是先用细绳拴上锤或箭，或甩或射到对岸，由细绳自对岸拉回一根较粗的麻绳，再用粗绳拉着套有圈环的蔑索悬挂于两岸，最后将铁链吊在圈环上，一端固定后，于对岸逐个拉动圈环，使链随蔑索移动，架于两岸。

桥头重达1800市斤的铁桩，桩上铸有铭文，注明是陕西汉中府马之常铸造。铁链用扁环扣联而成，全桥需万余个扁环，几乎个个都刻有制造工人的代号。据说一旦哪个断裂就对号是问，先打二百大板再说^[92]。

泸定桥之有名，不仅因为结构宏大，还由于它在历史上有重要的纪念意义。桥建成于清康熙四十五年（公元1706年）。当时清廷镇压了“打箭炉”（今四川康定地区，昔诸葛亮南征曾设炉打箭于此）少数民族“造反”之后，出于军事目的造了这座桥。而自1935年中国工农红军长征强渡大渡河后，它的名字便和“英雄”二字联结在一起了。一提到它，就令人忆起那中国革命的峥嵘岁月。

再说说我国现存最古老的铁桥，它就是云南保山、水平两县交界处的澜沧江上的霁虹桥^[89]（图7-13）。

霁虹桥的位置是西汉时的兰津古渡。早在战国时代，从今四川西昌起，经云南保山进入缅甸、印度（古称身毒）等国的“蜀身毒道”，即所谓“西南丝绸之路”形成时，霁虹桥就是这条古道上的咽喉。此处古为舟筏渡口，东汉时架起藤篾桥，元代改架木桥，得

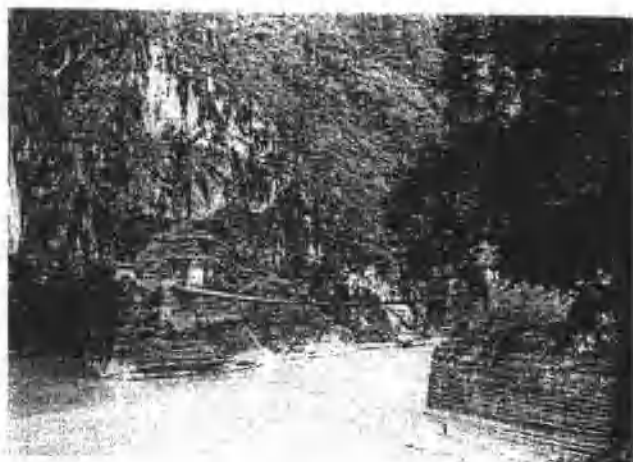


图 7-13 云南铁索桥——霁虹桥

名霁虹桥，明代改建成铁索桥，清康熙年间又得重修。

霁虹桥跨度 57.3 米，宽 4 米，由 18 根铁索链悬吊两岸，上铺木板。两侧桥头均有古朴典雅的桥堡，其名分别为“武侯祠”和“观音庙”。

霁虹桥两岸绝壁上刻有历代文人墨客书写的“西南第一桥”、“悬崖奇渡”、“金齿咽喉”等题字。明代著名地理学家徐霞客、清康熙皇帝，还有意大利旅行家马可·波罗都曾到过这座桥。霁虹桥在历史上曾是历代派将卒、使臣去西南必经之关隘要道，在地理位置上有极其重要的意义。

除了上述两座，我国西南地区还有一些铁索古桥。如泸定桥下游约 150 公里石棉县还有一座，当年石达开受洪秀全猜忌排挤，担心洪有谋害之意，自带一二十万人远走四川，正是在此全军覆灭的，其遗骨就葬在桥头不远的地方。四川屏山县西北杨村乡杨溪河上有铁索桥，“两岸悬崖，绳以铁索，上置板长二十余丈”；四川崇庆县也有两座，皆跨文井江，各长十余丈；四川马边县北有一

座，这里溪水陡急、两岸石壁高十余丈，铁索桥路通峨眉。在云南墨江县阿墨江上，旧无渡船，清同治时于两岸砌石拽以铁索，索上布板，长三十八丈，宽丈余。在云南大姚县有一座，为金沙江各渡要路，宽丈余，长十余丈，系清道光二十八年（公元1848年）所建。其余铁索桥大同小异，恕不一一详述。

还有一座古代的“准”铁桥值得一提，它就是卢沟桥这座天下名桥^[93]。

卢沟桥卧虹千尺，建于金代。它不是铁桥，但桥墩、拱券等关键部位石与石之间都嵌以呈带棱带角的“8”字形的腰铁，把两口紧紧地联在一起。近年又发现，桥墩迎水面的楔劈形分水尖上，安装有边长约26厘米的三角铁柱，这就有效地维护了桥墩，大大增强了桥体抗御洪水、冰凌冲击的能力。几百年前就传说卢沟桥上有“斩龙剑”，说人们在大雨滂沱的洪水季节，看见有恶龙簇拥着洪水汹涌而至，可一到桥下就不见了，于是人们认定恶龙是被桥上的“斩龙剑”制服了。其实“斩龙剑”就是三角铁柱这个几百年前特别设计的分水尖。腰铁、三角铁柱的运用，在当时的确是了不起的创造。

讲完古代铁桥，再说说清末出现的“洋”铁桥^[89]。

位于甘肃兰州白塔山下的黄河铁桥是我国在黄河修建的第一座桥梁。黄河铁桥的前身是由24只大船连贯而成的浮桥，叫镇远桥，建于明洪武年间。清光绪三十三年（公元1907年）改浮桥为铁桥。桥长230多米，宽7.5米，桥下设4墩，下用水泥铁柱，上用石块。其中河南第二墩最深，墩底到水面5.7米。浮桥改成铁桥，对黄河南北畅通无疑功不可没。建国后于1954年对这座铁桥进行了加固，并在其上面架设了弧形钢架拱梁，使其气势更加雄伟壮观。

在我国云南昆河线（昆明—河口）南段戈姑站与渡箐站间有座我国最早建造的铁路人字桥。该桥架设在南溪河上，建成于1908年；桥面离河底100多米，桥下河流湍急，两边悬崖绝壁高不可攀。在两面石壁上各开进去一条弯曲的隧道，71米长桥身的两端

放在隧道口上，下面用一个人字形钢架支撑。人字头顶在桥的中间，其两腿架在两边绝壁上。站在河岸仰望，人字桥有似飞架于云间，极为奇险。

限于篇幅，就百年前古桥先谈到这里吧！

7.14 铁狮、铁牛、铁剑与铁柱

除了以塔镇邪，我国民间自古还相信吉兽、凶兽或灵兽有震慑邪鬼的功用。譬如传说狮能镇山更能镇宅，雕个“镇宅狮”就能庇佑祖产家宅，因此地不分南北，过去殷实人家多有庭院门前立石狮的习俗。在陕北，连普通人家也习惯摆个小巧玲珑的炕头石狮借以“保镇娃娃”。但要保佑千家万户的平安，这样的小物件显然无能为力。著名的河北沧州铁狮，似乎正是寄托了许多古人这种避邪求吉的愿望。

当你到沧州时，你会在站前看到一个巨大的铁狮。可这只是个模型，真正的铁狮比它还大三倍。

这只铁狮在旧州城内开元寺前（图 7-14），是五代后周广顺三年（公元 953 年）由山东铁匠李云参照佛教传说中文殊菩萨的坐骑，使用了 600 多块约 30 厘米见方的铁块用分节叠铸法铸造的。狮高 5.3 米，宽 3 米，长 6.5 米，重约 40 吨。这只狮子姿态雄伟、气势非凡。它尾北面南，背驮莲座、昂首瞋目，四条腿像四根大柱子，头顶铸有“狮子王”三字，腹内还有很多字迹已难辨认，有人说是金刚经文。另外，有史籍说距此不远的东光县有一铁菩萨，推想可能是铁狮背驮上那尊，不知哪个朝代被人搬走了。沧州铁狮充分显示了中国古代铸造工艺的高超水平，上世纪被列为国家重点文物，每年吸引着众多游人。

有关部门曾对沧州铁狮进行过化学分析。表明其背部的化学成分是 C 4.10%，Si 0.04%，Mn 0.03%，S 0.015%，P 0.135%；金相检验显示腿部是灰口铁，头部和莲花座都是白口铁，其间有麻



图 7-14 河北沧州铁狮

口铁。狮体内在颈部和背部铸有加强筋，以承负重量，整个狮子是采用泥范明注式浇铸法整体铸成的。其外范多数为长方形，内范则布满圆头铁钉，头部和背部均垫有铁片，以控制内外范间的距离。外范拼接处用熟铁条联接借之提高其强度^[94]。我国的巨型铸件举世闻名，这头铁狮经历千年沧桑，至今完好无损。

我国古代有江河桥头置铁牛的习俗。著名的黄河蒲津关铁牛是其中一例，陆游《大雪歌》有“黄河铁牛僵不动，承露金盘冻将折”句，说的就是这里的铁牛。唐开元十二年，玄宗李隆基降旨架黄河桥沟通秦晋，于是，在黄河东西两岸，构筑了两组铁牛、铁山、铁人、铁柱连体黄河桥墩，用船连成一座浮桥，耗铁数万斤（图 7-15），成为当时的交通要道。经千年岁月，黄河不断改道，古蒲津桥今已全在晋（山西）境（永济市古蒲州城西门外黄河岸），清代后桥墩被黄河泥沙埋没。1989 年，经挖掘，才使一组铁牛重见天日。除这组铁牛，河南陕县黄河中还有座铁牛庙。《明一统志》说，铁牛在陕州城外黄河中；头在河南，尾在河北，世传禹铸以镇



图 7-15 开元黄河铁牛

河意。唐诗人贾至曾作过《铁牛颂》；清代在大渡河泸定桥头也立有铁牛、巨犀和蜈蚣；再如北京颐和园昆明湖东堤那只望月铜牛，

其“职能”也和铁牛一样。

关于铁牛，唐代名相张说的《蒲津桥赞》说：“牛以系缆，亦将压水物，莫浮梁”。可见蒲津关铁牛有“系缆”的实用功效，但多数还是祈望它镇水。牛里刚外柔，堪称瑞兽；但性情温驯，何能镇水？据说这与治水名人李冰有些关系^[83]。

大家知道，巴蜀地区河流纵横，有丰富的水利资源，但水灾也特别严重。战国时代秦昭王时，蜀郡守李冰父子在前人治水基础上，访察水脉，总结出“深淘滩、低作堰”的六字治水箴言，并因地制宜、因势利导，成功地完成了都江堰这一举世著名的水利工程，致使成都平原“沃野千里，号为陆海”（《华阳国志》），李冰父子也被尊为“二王”奉祠祭祀，享誉千载。

一项成功的历史事实往往会衍化为多种多样的文化传说。这样的传说又加上传奇和神话的色彩而形成新的历史事实。自秦汉以后，镇水往往以石犀或铁牛，就是沿着这样的途径发展变化而来的。相传李冰曾为根绝“河神娶妇”而跳入水中与江神搏斗，他变化成犀牛杀死了江神。人们不忘他的好处，为防今后的水患，就特地刻李冰的化身——石犀在江河边上镇守，这种传说逐渐在各地传布正是后来堤坝或桥头放置石犀或铁牛的缘由。

铁牛果真能“镇水”吗？不尽然。这些“牛”，有的栉风沐雨，千百年厮守河岸；有的则不甚尽心尽力甚至开了小差，广东潮州韩江广济桥头那只铁牛就是如此。

广济桥建于宋代，因民间传说为八仙之一的韩湘子所建，故民间多称其为湘桥。它是一座综合性桥梁，古有“一里桥长一里市”之说，即除可通人走车，桥上还建有楼台亭阁，桥上木屋鳞次，商贩汇集，桥头居住不少水上渔家。所以，桥上倚楼即可眺望梭船往来、渔歌唱晚的美景。除了渔家，桥头还有两头镇水铁牛。千百年来，骚入墨客留下不少咏桥诗，但给人留下印象最深的，却是一首民谣：

潮州湘桥好风流，十八梭船廿四洲；
廿四楼台廿四样，两只铁牛一只溜。

诗中“洲”指桥墩，其余文字其意自明。但“两只铁牛”何以有一只“溜”即“开小差”了呢？原来是广济桥一直承受严重的洪水、台风和地震之灾，地方官无计可施，于清雍正六年铸造两只铁牛安置于两个桥墩上，以“镇桥御水”。不料道光二十二年（1842年），东岸桥墩又被洪水冲毁，一只铁牛跌入河中。过了几年，人们竟然在离桥较远的上游将它找到（图 7-16）。原来铁牛入水后，由于上游方向的河沙冲淘较深，河心与岸边水流又存在速度差，致使铁牛不断缓缓逆水滚动，反而翻到上游去了。这只铁牛“溜走”倒也幸运；另只铁牛于 1939 年被日寇的飞机炸去一角，可见“铁牛镇水”是靠不住的^[92]。



图 7-16 湘桥铁牛

除了铁牛“镇水”，我国古代还有用铁宝剑及铁柱镇水的事例。1988年9月，在山东兖州县出土一口“镇水宝剑”，这口巨剑长7.5米，宽27厘米，重约3000斤，系清代康熙年间所铸。当时是作为降妖伏龙的宗教法器埋在泗河南大桥下，现存于兖州市博物

馆^[89]。

在江西旧南昌县西南广澜门内，有个铁柱宫。宫内有一铁柱，相传为晋代旌阳令许逊所铸，是用以镇蛟螭之害的^[95]，明嘉靖年后改名妙济万寿宫。寺庙里立根铁柱不算稀奇，印度德里附近一个寺院还立着一个高8米重6.5吨、从公元3世纪左右一直立到当今尚未生锈的铁柱。但兖州那支七八米长的超长巨剑，可能会是人类史上的空前绝后吧！

7.15 铁佛、铁人与铁釜

如果说青铜器的辉光放射出典雅富丽的贵族之气，那么作为“恶金”的铁则更体现出质朴无华的平民风格。在我国古代，青铜主要用来铸造“明尊卑、别上下”的礼器^[18]。受人尊崇的神佛形象自然也多用青铜铸就，铁器则始终广泛应用于最基本的社会生产和社会生活之中。由于价廉易得，随铸造技术的进步，使铁在汉代以后，几乎步入了平民生活的各个领域。

铁用于铸佛，不知始于何年。据《太平广记》卷一一四记载，隋开皇年间（公元581—600年），僧人澄空曾在山西晋阳集资铸造一尊铁佛，其高竟达70尺。见于记载的还有隋开皇年间山西沁源县五凤村三官庙中的铁佛；临汾县大云寺中铸的铁佛等。图7-17是在陕西富平县觅子乡发现的金代铁佛^[18]，这个铁佛形体高大，表情端庄，衣饰纹



图 7-17 金代铁佛
（陕西富平县）

理自然，铸造工艺和模具制作要求十分严格和复杂，表现了千年前古人的高超技艺和艺术水准。

除了铸佛，铁还用于铸“人”。现存“铁人”以宋代居多，其中尤以河南嵩山和山西晋祠的铁人更为精美。去过晋祠的人都会记得，在圣母殿前莲花台上有四个铁人，其中三个是北宋铸造的。这几个铁人比真人还高，是用几块铁焊接在一起的。其中北宋绍圣四年（公元1097年）铸的那个铁人（图7-18）至今已历九百多年，仍神态威武，英姿勃勃，气概不凡，铠明甲亮，其腹部铸有109个字，可见当时冶炼、浇铸、焊接工艺均已达到相当水平。这位“铁人”脚趾上有三处刀痕，民间传说是他难耐寂寞偷着去汾河边散心，被圣母发现后派员砍的，以作为对他不守戒律的惩罚^[96]。传说自不足信，但反映出铁人形象的传神。



图7-18 晋祠金人台铁人

同是山西，还有四位“铁人”在地下深埋了上千年，直到1989年才被挖出重见天日，这就是唐代蒲津关渡口（今山西永济市古蒲州城西黄河岸）策牛的铁牛郎（图7-19）。这四位与“黄河铁牛”一起出土，被列为“国家重点文物”展出。且不说眼下风光，千年深藏地下，虽没像晋祠铁人那样沾圣母的光受人香火四时奉祀，日子过得倒也清静，命运还算可以。

最倒霉的“铁人”也有四个，那就是四百年来一直被反剪双手跪在民族英雄岳飞墓前的“铁”秦桧、王氏、万俟卨和张俊



图 7-19 唐代蒲津关桥头策牛四铁人

(图 7-20)。岳飞父子被害，举国为之喊冤，南宋百姓甚至“开发”出“炸双批油条”来发泄对秦、王二贼的痛恨。明万历二十二年(1594 年)，浙江按察司副使范涑铸此四贼铁人，双手反绑跪岳坟前。后巡抚王汝驯觉得王氏丑态有辱王氏家门，便把王氏和张俊铁像偷偷丢进西湖。明万历三十年(1602 年)，范又到浙作官，看铁

像缺二，便捐自己俸银重铸补上，即现在看到的常年身上唾迹斑斑，不时遭人投石击面的四个铸铁像。真是“正邪自古同冰炭，毁誉于今判为真”“青山有幸埋忠骨，白铁无辜铸佞臣”。



图 7-20 秦桧等四个古罪人铸铁像（矗立杭州岳飞墓前）

说完铁佛、铁人，再说说铁釜。

釜是古代的炊事用具，近代称为锅。“民以食为天”，毋庸置疑，人类学会用火后就有锅。初是陶质，后为铜质，进入铁器时代就用铁锅了。铁锅用了两千多年，明清两朝广东佛山是我国著名铸锅中心，锅的形式多种多样，畅销国内外。

说到铁锅，参观过沈阳故宫的朋友看到那口可供几十人煮饭炖肉的满族大铁锅都会惊讶不已。但你可曾想到，那口锅还只是“较大”，在全国谈不上“最大”。最大的铁锅是名副其实的“万人锅”，其“户籍”在甘肃拉卜楞寺。这口锅直径 3.45 米，深 1.2 米，是 20 世纪 20 年代印度赠送的。这么大的锅，当然无法整体运送，是分为许多瓣，靠牦牛翻山越岭运来，然后用铆钉拼合而成的。用这个锅煮粥，要从下午 5 时动手，翌日中午开饭。当时这个寺有喇嘛 4000 多人，所以只熬半锅就够了^[89]。

7.16 铁农具缘何铸铭文

20 世纪 50 年代以来,我国各地陆续出土不少汉代铁农具,其中很多带有铁官标志铭文。如河南郑州古荥镇汉代冶铸遗址出土的犁铧模上,铸有隶体“河一”两字(图 7-21);陕西陇县出土的铁铧冠和裤形铲上铸有“河二”;河南巩县铁生沟出土铁铲、铁铧上铸有“河三”;河南南阳瓦房出土的犁铧泥模上有“阳一”两字。经考证,铭文中“河”是河南郡的简称,铭文中“一、二、三”等数字则是该铁官所管辖的多座冶铸作坊的编号。除了“河”、“阳”,带有铭文的农具还有“东二”、“东三”、“山阳二”、“淮一”、“巨野二”、“中山”、“宜”等,云南鲁甸出土铁铧上铸有隶体“蜀郡成都”等字。

上述这些都是汉代铁农具。以后历代出土的铁器(及其他一些手工器物)上,也常见类似铭文。器物上缘何铸铭文?其实生产机构不同,其意图亦不完全一样。

先说说官铁冶。秦汉时代,我国冶铁技术有很大发展。汉武帝为了巩固封建国家的中央集权、反击匈奴侵扰,实行盐铁专卖官营。较之原有大大小小的民营铁冶,官铁冶不论设备规模还是技术条件都有明显优势,在增加国家税收、打击地方豪强等方面也有所成就。但官铁冶也存在不少问题。原来的冶铁富商摇身登上铁官宝座。生产第一线的劳动者,无论徒、卒,还是工匠,都处在受压迫、被剥削的地位,因此劳动积极性和责任心不会很强。“作不中程”即不严格按照要求生产的事屡屡发生;铁官、吏为完成定额,制品“多为大器”;也存在经办官吏“中饱”、偷工减料等弊端,有时还高价强卖,所以民间怨言颇多。此外,官手工业中的世代传袭制,根绝了技术上的竞争,也妨碍生产技术发展。官手工业束缚生产力发展的种种制度,无疑也要促成对抗性的阶级斗争。在官手工业内部,劳动者故意压低质量就是一种消极的斗争方法。为防止



图 7-21 汉代铁农具上的铭文

“作不中程”，汉唐各代均规定“物勒工名”。北宋中叶以后，制军器的工匠因不愿费力气，所作衣甲常是软的，不能抵挡矢石；明中叶以后，官手工业中质量低下的情形更为严重。明万历三十六年（公元 1608 年），何士晋奏称：

“且臣查每岁修戊字库盔甲三万副、腰刀三万把，预造盔甲二千五百副，所费不下二万四五千金；而各省直所造解（jiě，押送），堆积库中，至不可胜数。钅（jù，岂）不称有备无患？然而布衬稀疏、铁叶易锈，修者与解者并属不堪。解者积之逾年而后修，修者积之逾年而改造，总归无用……设一旦有意外之虞（yú，忧），势不得不更造以应。是今之修造，不徒糜费，兼类销兵（兵器）……今查戊字库所贮弓不下数十万，箭不下数百万，亦既称多

矣。乃为外解验收之时，固已剥羽脱金，裂弦反角，藏之浹（jiā，透）岁，使京军关领而出，彼只换钱数十文，于敌忾（对敌人的愤恨）毫无当也！近读工部议行省直，刻官匠姓名于上，似乎振刷（振作）。然解官越数千里解至，即不合式……合无（不）自今以后，行令各省直，将弓箭弦条折色解部，遇兑换之年，径以价给军，俾（bǐ，使）采其精者置用，实为两便。”（明《工部厂库须知》卷二）

这份奏疏可谓道出当时官制军器质量低下的严重情况。低劣原因复杂，但劳动者故意压低质量总是一个重要原因，所以工部也要采用旧办法，“刻官匠姓名于上”。这时劳动者对于压低质量的技术似已相当熟练，所以能瞒过解官的眼，运到数千里外才开始露出毛病来。连“军工产品”尚且如此，何况一般民品、农具？官手工业到了这步田地，已步入非解体不可的阶段了，这样的现实迫使明王朝对官手工业不得不做了些改革。如把物料征收变为现银折色，变成就地召买，把某些劳动力的轮输变为就地招募^[97]。其实官手工业在主观上不想变，但客观上不能不变。有明一朝，官手工业逐步走向衰落，是自秦汉以来官手工业存在的诸多体制问题发展的必然结果。

至于私营冶铸坊的产品上有类似铭文，其目的又是一回事了。在私营作坊，制作者可能就是小作坊主。即使是雇来的工匠，主、匠之间亦并非主奴、主仆关系，劳动者的生产积极性要比官营劳动者高得多。如果说官铁冶在农具上留字是按“上级”要求不得已而为之，那么，私营作坊在产品上打印记则是出于自卫和商业竞争的考虑。近年出土不少古代手工业品，上面只有姓氏或姓名印记，表明其标示的是产品的制作者或作坊主。打印记多半是出于对自己产品的自信，是靠质量争取更多买主的行为，其目的正如宋代济南“刘记功夫针铺”做出的广告一样。

就铁冶而言，明朝人丘濬说：“山泽之利，官取之则不足，民

取之则有余”。“官取”之所以“不足”，正是官营的种种弊端造成的，所以尽管它是皇家统治集团廉价役使劳动力的有力手段，这种制度还是逐代走向衰落了。

7.17 诗人笔下的冶铸与冶铸中的哲理

欧洲的技术史学者说，产业革命时期，继焦炭及热风用于高炉冶炼之后，搅炼炉开发成功及搅炼炉冶炼与蒸汽机驱动的轧钢机相结合，使已延续两三千年的田园牧歌式的铁工生产成为过去。

从表现上看，将传统的冶铸生产说成“田园牧歌”式，似也有道理。冶炉多设置在有山有水的乡下，甚或采用水力鼓风，生产节奏不快，工匠哼着小曲干活是情理中事。不但欧洲，东方也是这样。日本的古代民歌集中，就有描写山阴地方冶铁工人“莺啼时节忙鼓铸，吉备山中不知春”的歌咏^[43]。《广东新语》写明清时佛山冶户锻铁场面是“一人钳之，二三人锤之，旁十余童子扇之，童子必唱歌不辍”。

其实冶铸劳动者不分冬夏昼夜守着洪炉，个中辛苦唯自知而已。其歌正如烈日下船工拉纤时的低声哼唱，是苦中求乐，是在单调的劳作中减轻困倦的手段。描写明清时期佛山冶铸业铁匠生活的竹枝词为他们道出了辛苦：“铸锅烟接铸锅烟，村畔红光夜烛天；最是辛勤怜铁匠，拥炉挥汗几曾眠”（梅曙枢：《汾江竹枝词》，见民国《佛山忠义乡志》卷15《艺文》三）。

我国最早讴歌冶炼工匠的诗歌，是诗仙李白写的那首《秋浦歌》：“炉火照天地，红星乱紫烟；赧郎明月夜，歌曲动寒川”。炉火熊熊，红星四溅，紫烟蒸腾，广袤的天地被照得通明，诗仙把我们带入了千年前的冶铸场地。在这月明之夜，被炉火映红脸膛的少年郎在辛勤劳作，他们热情豪放的歌声一直传到寒冷的江河。一千多年过去了，这首正面描写冶炼工人的短歌，至今令人难以忘怀。

有的古人还从洪炉化铁过程悟出了人生哲理。明代理学家湛若

水（字元明，号甘泉）曾说过：“观洪炉之铸金，则知天地之终始矣。在炉而熔，生之也；出炉而结，成之也。溶也者水，始之事也；结也者土，终之事也。其溶也，人以为屈，而不知生之始也，信（伸）孰大焉。其结也，人以为信（伸），而不知成之终也，屈孰大焉”（清·屈大钧《广东新语》卷15《货语·铁》）。他认为，铁块受热而熔，是其生之始（先成滴，滴聚而成流，再向下淌入炉缸），这个“生”的过程，虽受尽“委屈”，实是最大的“伸”；聚于炉缸流出洪炉铸成铁块，虽得到最大的“伸”，但如此而已，再没发展前途了，这种过程的结束实为最大的“屈”。由此引申出来的意思是，人在逆境时不应气馁，事业有成时也不该得意忘形。这种比喻值得我们今人借鉴。

7.18 炒钢、灌钢与转炉炼钢

我国传统的钢铁生产工艺，是先利用竖炉从矿石炼得生铁，炉前铸块；为进而得到钢，再将铁块加热到半熔态将其搅动，利用空气把铁中碳氧化掉，此过程谓之“炒钢”。当然，炒钢“炒”到尚存一定量碳为好。但古代没有化学分析，适中含碳量不易控制，所以多索性先将铁中碳全氧化掉，令脆性生铁“化为绕指柔”，成为现代概念的软钢（古代亦称“黄铁”）。待打造铁制品时再根据性能要求在锻打加热过程渗碳。如是，冷凝—加热—再冷凝—再加热，不但费时费力、消耗热能，更重要的是造成铁的大量损耗（炒炼过程一部分铁也被氧化），而这点往往不被人注意。

写于唐代的《夏侯阳算经》中有两道涉及炼钢的算题，现录之如次^[6]：

“今有生铁六千二百八十一斤，欲炼为黄铁，每斤耗五两，问为黄铁几何？答曰：黄铁四千三百一十八斤三两”（《夏侯阳算经》卷中第25题）。

“今有黄铁四千三百一十八斤三两，欲炼为钢铁，每斤耗三两，问钢铁几何？答曰：钢铁三千五百八斤八两一十铢五菴”（同上，第26题）。

由上不难看出，将生铁“炒”成软钢其损失为 $6281 \times (5/16)/6281 = 31\%$ ；同理可求将软钢变为渗碳钢损耗软钢 19% ，故从生铁算起，则铁的收得率为 $3508.56/6281 = 55.86\%$ ，即有 $100\% - 55.86\% = 44.14\%$ 的铁白白损耗了。（古制 1 斤 = 16 两，故上计算中有“16”）

正是这种损耗，推动了“灌钢”技术的开发。灌钢法搞“刚柔合”，多数场合下是使生铁中多余的碳转移到熟铁中，这样较之炒钢，铁损失小多了。

相形之下，明代开发出来的串联炒钢法——竖炉铁水流入方塘（临时性盛铁容器），人工搅动使之部分氧化得钢的方法最为科学。这种方法可将生铁中碳部分而不是全部脱掉，其产品含碳可接近于最终制品含碳要求，更不要说它省时省力、节省能耗了。

在世界炼钢史上，1856 年贝塞麦发明转炉炼钢法，1864 年马丁发明平炉炼钢法，1879 年托马斯发明碱性转炉炼钢法，这些都是有划时代意义的大事件。但是，在 1847 年，美国人凯莱就提出过转炉炼钢的设想，并于 1859 年建造了他的第一座空气吹炼炉。冶金学者对凯莱在世界转炉技术发展过程中的历史作用，都予以充分肯定。但据认为，凯莱在发明转炉炼钢前，曾观看过中国工匠在肯塔基州用空气流吹炼生铁的实际操作并从中得到启发。最先记述这一事实的是 W.B. Phillips，他曾在肯塔基州西部研究这一地区的地方传说，于 1898 年发表了题为“中国工人的精炼技术可能是转炉炼钢法的来源”一文。这四名中国工匠是 1845 年来到这个州的，凯莱曾在操作现场看过他们操作，而于 1847 年提出了转炉炼钢的设想^[1]。

就我国古代钢铁技术和现代钢铁技术的历史联系，也有西方学

者指出：“(中国人)把生铁和熟铁放在一起炼出钢来，这正是后来平炉炼钢的先声”。可以这样说，任何科学技术，就其实质和总的历史联系来说，都是人民群众的共同创造物。

7.19 细说锻铁业行规、行俗

锻铁业是与普通民众生活极为密切的手工业，在古代可说是凡有市井处皆有洪炉。尽管与西方比较，我国在铁冶中有“铸”的内容，然最终成器仍多赖锻造。尤其是魏晋以后，随炒钢技术的推广，“以锻代铸”已成铁冶主流。也就是说，竖炉先炼出铁水，铁水铸成板块，铁块加热至半熔，经“炒”降低碳含量成为“熟铁”，熟铁再在铁匠铺的“洪炉”里加热、渗碳，经锻打、热处理才得最终制品。

我国锻铁业的职司神是太上老君(图7-22)及尉迟恭，而以奉祀太上老君更为普遍。尉迟恭(敬德)是唐太宗李世民手下大将，还与秦琼一起在我国当过一千多年的门神；太上老君则是道家对李老君即春秋时期大思想家老子李耳的尊称。老子因著有《道德经》被五百年后产生的道教奉为始祖。道家多炼丹修道，民间又把这点强加给老子，说他有个“炼丹炉”，而后世匠人就把他们认为曾守炉炼丹的李老君，奉为自己的祖师爷了。老子与“圣人”孔子是同时期人(比孔子年龄稍大，据说孔子还向他问过“道”)，在民间信仰中地位很高。

铁匠营业的地方叫“铁匠铺”、“铁匠炉”，这是有固定加工点的。至于流动营业者，三人一辆独轮车，载一炉一砧一风箱并行李炊具，行行止止，一年半载才能回家一次。

铁匠行规、行俗多而严。下面介绍的是江苏海州地区近代的行规行俗^[98]，由于我国手工业部门特有的保守性，估计大体上也能反映明清时的情形。

铁匠铺洪炉都支在门的左前方，俗称“上首”，以示对李老君



图 7-22 唐代石刻老君造像（存陕西省西安碑林）

炼丹炉的尊重。另外，铁匠打铁时不得呼唤人，只要师傅拿小锤在砧子上连敲两下，徒工就要跑到炉前。干活时，师傅或大铁匠执小锤，打在哪里徒弟抡的大锤就跟着打在那里（“竹林七贤”向秀去看望嵇康，嵇正打铁，向秀悄悄操起家什帮着打，看来很懂锻冶行规；阔公子钟会拜访嵇康，嵇、向二人忙着打铁没理他，看来这也是严守行规，没料到为此轻慢了阔公子后竟遭到人头落地的报复）。

铁匠特别珍爱自己的手艺，所打造的产品多打上印记，平时不准别人坐在砧上，尤忌女人坐砧。农历除夕晚上及正月初一到初五，每天要在炉内烧三次香。炉子上要贴方红纸写的“黄金万两”；风箱上则贴对联，文曰“风吹炉中火，铁红变黄金”；每件工具上也放些钱，俗称“压钱”。正月初五开炉，海州铁匠这天只打两颗

钉子，俗称“元宝钉”。若正巧有修船人来买，是铁匠最高兴的：“开炉就见元宝钱”，不仅两颗钉只象征性收点钱，还要对买钉人酒菜招待。出售铁制品对第一个顾客也十分客气，价格要得低。只要做成一笔生意“开门大吉”了，就高兴地收摊回家喝酒；没人到摊前买东西则是一年生意不好的兆头。铁匠最喜有人买钉棺材的钉子，此时无需讨价还价，便宜也卖。因为卖出这种钉意味着“发财”。

铁匠的交往习俗，行业内讲究“人不亲艺亲，艺不亲锤把子亲”，对行内人十分义气。按行俗，不相识的同行来到铁匠铺里，开始不能说话。待打铁时，外来人拿起锤帮着打两三锤，表示是同行来此投师访友，直到“一火”打完（铁烧一次打到一定程度不能再打，叫“一火”），放下工具，主方热情问候，互叙师谱，再叙年龄，按师亲道友的长幼尊卑相称，留下酒饭招待。外来人无论在家闲住几天均不得慢待，临行还要送些盘缠。若有外来铁匠不事先拜访当地同行并征得同意就随便支炉开业，当地铁匠便呼其为“野驴”，轻则打跑，重则没收工具。按行俗，同行间不得私自看别人打造的产品，除了师傅和师叔外，无论相识不相识的同行，只准本人拿着产品主动请别人看，要求指教；有礼貌懂行俗的人，就是别人请自己看产品，也要婉言谢绝，这点显现出我国封建手工业的保守性。由于不论尚方宝剑还是农家刀镰，都要经铁匠之手才能成器，所以锻造这个行业在手工业中比较受人尊重，地位高于与其经常共事的其他行业。比如铁匠、木匠、瓦匠一起干活，吃饭时铁匠会毫不谦虚地坐上席，别行工匠也不计较。但铁匠坐上席必须不洗手、不洗脸。

在与道士的关系上，由于两者都奉祀李老君，还传说铁匠是师兄、道士是师弟，所以道士化缘到铁匠门前，或平时经过铁匠铺前，要主动向铁匠问好；铁匠也要十分热情友好，不但主动给钱，还要招待吃饭。

锻铁行业有祭祀活动。海州地区每年农历二月十五日，铁匠在

同业会堂为太上老君祝寿，为此要前后停业三天。正式会期又叫“正会”，全行业老老少少站在李老君画像供桌前，由会头或辈分最高、年龄最大、手艺最好的“老师爹”讲话，说明为祖师祝寿要不忘祖师恩德和祖师遗风，不得违犯行规，要尊敬师傅、师叔，师兄弟间要和气，师亲道友要讲义气，等等。有的重新讲行规行俗，叫做“立规矩”。参拜结束，全体入席，边饮酒边谈心，有的尊师训徒，有的交流技术，有的赌个不是解除旧痕、搞好团结，直至兴尽而散。有时“做会”期间举办技术比赛，事先支好洪炉，由会头主持，统一打造某一器具，比速度、比造型、比淬火（俗称“钢火”），优胜者会得到很高的荣誉。

7.20 漫话古代铁兵器

部落、族群、国家之间的战争，自古以来就没有停止过。所以武器装备总是与生产力发展水平相一致的。

在我国，约从公元前 21 世纪到公元 10 世纪，为冷兵器时代^[99]。最先是石兵器，夏朝进入青铜时代；战国中期，青铜兵器制作达到高峰。至于铁兵器，商朝即出现了利用天然陨铁制作兵器刃部的技术，但陨铁难求，所以实用意义不大。春秋时期，随着冶铁发展，出现了铁兵器，这点有近年长沙出土的春秋铜剑为证。战国末期，钢铁兵器已正式装备军队。南方的楚国、北方的燕国由于冶铁业发达，使用铁兵器较多；三晋地区也生产出许多锋利的铁兵器，经秦到西汉，铁兵器获得了全面发展。

汉代经过汉初的文景之治，社会经济获得恢复；武帝时实行盐铁专卖，冶铁业得到进一步发展。这个时期出现了早期的百炼钢技术，还出现了铸铁固体脱碳成钢法等新工艺及局部淬火技术，为铁兵器生产提供了物质基础和技术手段。近年在西汉都城长安遗址发掘出汉高祖刘邦时的武库，发掘出刀、剑、戟、矛、斧等多种铁兵器，仅铁镞就达 1000 多件。还有已络结成块的铁铠甲；但同时出

土的青铜兵器极少，且主要是镞，其量也仅为铁镞的十分之一。说明汉初铁兵器已基本上取代了铜兵器（图 7-23）。关于这点，不独有考古为证，在常见古诗文中也不难找到。如《李陵答苏武书》中，李陵讲自己“疲兵再战，一以当千”，最后“兵（兵器）尽矢穷，人无尺铁”不免被俘，说明汉军所用为铁兵器。“一以当千”虽属夸张，但还是从侧面反映汉家的铁兵器比匈奴的铜兵器优越。此外，南北朝时北朝乐府《木兰辞》中也有“朔气传金柝，寒光照铁衣”之句，说明在汉及南北朝时，将士已遍着铁铠。

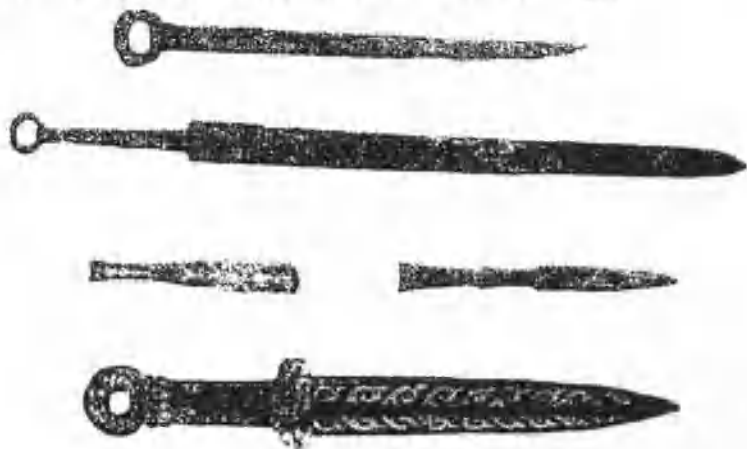


图 7-23 汉代铁兵器

自上而下：(1) 铁刀；(2) 铁剑（河南辉县汉墓出土）；
(3) 铁矛（附：错金铜墩）；(4) 错金铁匕首（河北满城汉墓出土）

由于铁兵器比铜兵器锋利且有良好韧性，加之骑兵和步兵的战术需要，使兵器类型也有新的变化。进攻性兵器中，钢铁制造的戟、矛取代了商周时的主要格斗兵器青铜戈和青铜戟，青铜剑让位于钢铁剑，剑体日益窄长且更加锋利，并开始使用环首长铁刀。此外，前已述及，防护装备除了盾牌还穿上了铁铠（铠、甲都是防身

具，古用皮革谓之甲，后用金属谓之铠。参看图 7-24。



图 7-24 贴身铁铠（清乾隆年间，铁丝编织）

两晋以后，特别是南北朝时期，军队主力重装骑兵，兵器发展重点放在改进骑兵装备方面，特别注意人与马的防护。人铠、马具装都以铁质为主、皮质为辅。

北宋时期，我国发明了火药，随之出现了火器，从此进入火器与冷兵器并用时代。这种状态此后经南宋、元、明、清到第一次鸦片战争，一直延续了 9 个世纪。值得提及的是，南宋时期火药性能有显著改善，金和南宋都使用了“铁火炮”这种铁壳爆炸性火器。金军在进攻蕲州（今湖北蕲春）时，使用了生铁铸成、壳厚 2 寸的铁火炮。绍定 5 年，蒙古军进攻金南京（今开封），士兵在大型活动掩体“牛皮洞子”遮挡下掘城，守城金兵用铁索悬吊爆炸威力更大的铁火炮“震天雷”，至掘城处爆炸，其声震天，闻之百里，强烈的燃烧和四散的铁壳碎片毁坏了蒙古军的铁甲和牛皮洞子。景炎二年，元军攻今广西桂林，宋军守将在城陷粮绝情况下，率部下 250 名点燃一具大铁火炮集体殉国。这些记载表明铁火炮具有很大杀伤力。

南宋时期，宋军又使用了长竹杆火枪，在火药中掺杂铁滓、磁

末等，与火焰同时喷出，有一定杀伤作用。铁火炮及火枪问世后，宋、金及蒙军争相添制。南宋都城临安火器作坊规模远远超过北宋汴京；军事重镇江陵府（今湖北江陵）一个月就造出铁火炮一两千尊。蒙古军攻陷宋、金城池后，特别注意搜罗工匠为之制造火器。

元代发明了火铳，明代开始铸造铁炮（图 7-25）。永乐年间创建了专习枪炮的“神机营”，成为我国最早专用火器的新兵种。

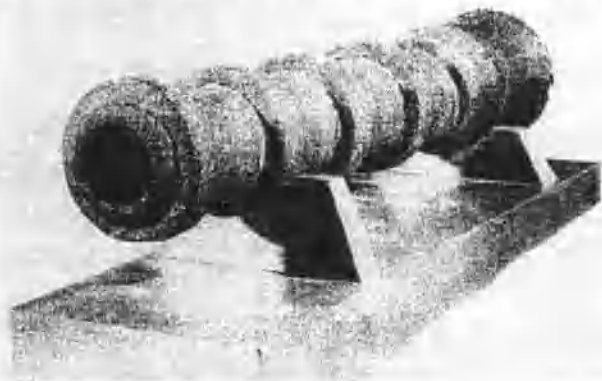


图 7-25 明代铁炮（萨尔浒大战遗物）

从西汉到清朝中叶，刀一直是中国军队的劈砍格斗兵器（图 7-26）。西汉的军刀，直体长身，薄刃厚脊、短柄，柄首加有扁圆状的环，故称“环首刀”。百炼钢和灌钢技术用于造刀后，适用劈砍的短柄钢刀成为步兵和骑兵的主要兵器。

有趣的是，除了铁质兵器，铁锁链在古代战事中似也得到过应用，但就笔者所知而言，几个用铁链的战例，均以使用者的失败告终。众所周知的赤壁之战，曹操下令在长江北岸屯兵，战船用铁环连起来以使北方士兵免遭乘船颠簸之苦，不想周瑜乘东风之便以火攻使曹军大败。另一次是此后 71 年，晋调六路大军伐吴，“吴人于江险碛（qì，沙石堆成之浅滩）要害处，并以铁锁横江截之，又作铁锥长丈余，暗置江中，逆拒舟舰”。没想到，“浚乃作大筏数十，



图 7-26 明清军刀（努尔哈赤宝刀）

令善水者以筏先行，筏遇铁锥，锥辄著筏出；又作火炬长十余丈，大数十围，灌以麻油，在船前。遇锁，燃炬烧之须臾，融液断绝，于是船无所碍”。于是，龙骧将军王浚的水师一鼓作气打到建业的石头城（今南京市清凉山），吴帝孙皓被迫投降。有感于这段“铁锁横江”，唐代刘禹锡写过《金陵怀古》，内有“千寻铁锁沉江底，一片降旗出石头”之句。

再一个战例是宋、金之间的“郾城之战”（郾，yǎn，在河南）。完颜兀术出动重甲骑兵“铁浮屠”作正面进攻，另以骑兵为左右翼。重甲骑兵的战马三匹一组用铁环连在一起，号称“拐子马”。面对这种颇具威慑力的战法，没想到“（岳）飞以步卒持麻札刀，入阵，勿仰见，第斫（zhuó）马足，一马仆，二马不能行，遂大败”（《宋史·岳飞传》）。从此在金兵中传出“撼山易，撼岳家军难”的说法。

7.21 涉“铁”地名古今谈

“铁”作为地名，我国古今只有一处，是今河南省濮阳县北一块丘地，春秋时属卫国。《春秋·哀公二年》载晋赵鞅及郑罕达曾战于铁；《五代史》载，晋开运二年曾阅马于铁丘。居者以地名为姓，是今日我国铁姓的由来。“铁”为较常见姓，在我国分布较广。

涉铁地名，大体有三类：一是该地蕴藏铁矿；二是曾设炉冶铁；三是其地山石黝黑似铁，或极险峻为咽喉要地而获“铁门、铁关”之类称谓。现简要介绍如次^[95]。

在我国，名为“铁山”的地方有几处。一在江苏铜山县利国驿附近，山高约 25 米，面积约 7000 米²，周围为石炭岩，铁矿苗较旺，有露出山面者。浅者深至五六尺即可见铁层，是个有名的铁矿；二是湖北大冶，唐宋时即在此置炉炼铜铁；三在四川荣县西 40 公里，矿脉从仁寿县来，横亘井研、犍为、威远、荣县数百里，《元和志》载，诸葛亮曾取之为兵器，其铁刚利，古时堪充贡品；四在今内蒙古阴山北，唐贞观四年（公元 630 年）李靖等败突厥颉利可汗于此；五在山东邹县城西北，这里铁山气势磅礴，有我国北朝摩崖刻经，被康有为誉为“榜书之宗”，这里 1988 年被公布为全国重点文物保护单位。

除“铁山”之外，产铁的涉铁地名有：四川省冕宁县有“铁石山”，《华阳国志》载，此处山有磐石，火烧成铁，极为刚利；在四川江北县有“铁坪山”，绵延抵长江铜锣峡，山上有梵音寺，此山昔产铁。辽宁省盖州市东北约 30 公里处，辽代曾置“铁州”。除置铁州外，辽代还曾置“铁利州”，故址在今沈阳市西南 35 公里。在辽宁北部有铁岭市，为周秦时肃慎地，汉晋时属挹娄，隋属越喜，唐时渤海取越喜地改为富州，辽改为银州富国军，金改新兴县，明洪武中置铁岭卫于铁岭城，康熙年间置铁岭县。铁岭市附近古代产铁产银。在湖北大冶县有“铁门坎”；在江西九江县有“铁门槛”，这些地方均有铁矿蕴藏。

第二类，即确有冶铁遗址可寻的地名也有不少。如在四川昭觉县西南安宁河岸，近会理、盐源二县交界处的“铁匠房”；在河北丰宁县有“铁匠营”；在福建永春县有“铁水坑”，产铁；在河北遵化县东 30 公里处有“铁厂”，元明时曾在此设炉冶铁，亦称“铁冶镇”。在湖南衡阳县南湘水西岸有“铁矿铺”，产铁矿，唐宋时曾开采，亦名“铁公铺”；在山东济阳县有“铁匠庄”；在河南荥阳县、

孟津县、林县皆有“铁炉村”；荥阳县另有“铁炉庄”及“铁炉寨”；在湖南零陵县有“铁炉步”（江边有舟可縻（拴住）而上下者曰步），在唐代以前即有锻铁者居此。类似的涉“铁”地名还有不少。这些地方均以古代曾设炉冶铁得名，如在河南林州有“铁牛沟”，1976年在此发掘出古代炼铁炉11座，炉子沿沟坡分布。河南巩县（今巩义市）有“铁生沟”，1958年发掘古矿井3处，有经过筛选的铁矿石、圆形炼铁炉、炒钢炉、退火炉、锻铁炉，各式窑炉计十几座，还有大量炼渣、风管、陶范和铁器，部分铁器有“河三”铭文，是汉代河南郡官营冶铁作坊的标记。发掘的退碳退火炉结构合理，烟道分布均匀，是古代最佳热处理炉。

属于第三类的地名更多，如四川达县西北有“铁山关”，其山石色如铁；山东利津县北，依山据河有“铁门关”，其地形势雄伟，明代宋讷诗云“汉军已过铁门关”即指此处；湖北汉阳东北亦有“铁门关”，三国时吴、魏对峙，用兵沔口，曾于此设关为险。新疆库尔勒城北亦有铁门关（图7-27），是古代丝绸之路由焉耆进入塔里木盆地的必经之地，扼孔雀河上游。关在长达十四公里的峡谷出口处，西边高山对峙，危崖深沟，形势险要，有一夫当关万夫难攻之势，故得名。在河南遂平县西有地曰“铁城”，唐元和十一年，节度使高霞寓征讨淮西时曾大败于此。此域以其坚不可破，故谓之铁城。在辽宁抚顺东南浑河之滨有“铁背山”，清太祖努尔哈赤以五百人破明四路兵数万众，歼明将杜松于此。在云南陇川县西有“铁壁关”，为腾越八关之一，明万历二十二年建。在湖南浏阳县有“铁树关”，该处外夷内峻，为湘赣交通要隘。在四川涪陵县北有“铁柜山”，山屹立如柜，相传诸葛亮曾屯兵于此。在江苏镇江古有“铁瓮城”，为吴大帝所筑，以其坚固如金城而得名。在甘肃庆阳县北有“铁边山”，其山顶平麓险，川流萦绕，宋代范仲淹曾置寨于上。在四川巫溪县有“铁关山”，山形如龙，高百余丈，左通奉节，右达巫山，为三县交界要隘。在甘肃礼县有“铁笼山”，相传三国时姜维曾屯兵其上。在云南昆阳县有“铁炉关”，旧多林木，岭上

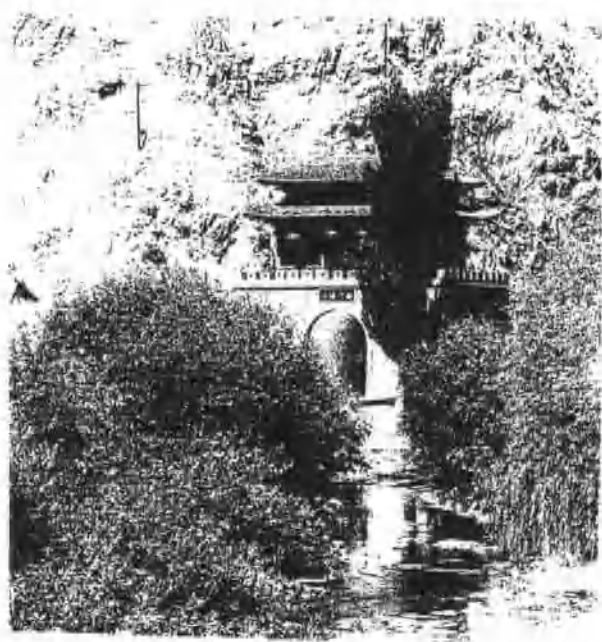


图 7-27 新疆铁门关

为昆阳地，岭下为玉溪地。在陕西宁羌县有“铁锁关”。在湖南浏阳县界有“铁岩关”，此关接江西万载、宜春二县界，为湘赣交通要隘。此外，甘肃徽县南 15 公里有“铁山”，亦名巾子山，悬壁万仞，石色如铁，其下 10 公里即虞关，在古代是通蜀重要关隘，宋朝人称“蜀国有铁山栈道之隘”当指的就是这里。

7.22 含“铁”词语何其多

两千多年的铁器时代，使铁成为我国各族人民生产、生活的重要组成部分，因之至今带有“铁”字的成语不胜枚举。譬如，喻一集体完全一致、无隙可乘，说“铁板一块”；形容军旅威武雄姿用

“金戈铁马”；喻城池防守严密、牢不可破用“铁壁铜墙”；形容说话办事坚决果断用“斩钉截铁”；形容刚强不屈用“铁骨铮铮”；形容勇士英武健壮用“铜头铁额”；喻秉公办事、不徇私情为“铁面无私”；喻意志坚定、不为感情所动用“铁石心肠”；喻事情非常罕见、愿望极难实现而实现了用“铁树开花”；喻学习精神顽强不懈说“铁砚磨穿”；喻功到自然成用“铁杵磨针”；喻来自大人物的信誓旦旦为“铁券丹书”；喻解释文句最具权威性用“铁板注脚”；喻证据确凿、定罪结论不可动摇为“铁案如山”；喻牢狱生活为“铁窗风味”。除了这些四言成语，现代口语中还有喻职业位置牢靠为“铁饭碗”；喻某人地位稳固为“铁椅子”；喻某人吝啬异常用“铁公鸡”，等等。如果再扩展到“钢”、“铸”之类广义的铁冶范畴，则更是举不胜举了。

除了成语，还有许多含铁词语，像古代诗文中称铁质铠甲为“铁衣”，唐代王昌龄《从军行》有“长风金鼓动，白露铁衣湿”句；王维《老将行》有“试拂铁衣如雪色，聊将宝剑动星文”句；李华《奉使朔方赠郭都护诗》有“铁衣山月冷，金鼓朔风悲”之句，等等。

两千多年来，铁除了用来制造刀、剑、戟、矛、斧、钺之类兵器，还大量用于制造生产工具和生活用品。除了常见的铁犁铧刀剪之类，还有“铁尺”，即度量衡器中的标准度器。《隋书》记载，“冀州多奸诈，置铜斗铁尺于肆，人便之”。看来远在隋唐，公平秤、标准尺之类已用于市场方便群众了。此外还有“铁瓦”，即铁制之瓦。《明一统志》说，铁瓦用在“庐山天池寺，洪武年间敕建。殿皆铁瓦”，故李梦阳诗有“庐山绝顶天池寺，铁瓦为堂石为柱”句。古代称铁屑为铁洛（落），《黄帝素问》中《注》曰：“铁洛，味辛，微温平。主治下气方，俗或呼为铁浆，非是生铁液也”，看来铁屑还是一味中药。此外，武术界中有“铁布衫”、“铁沙掌”等武功。铁布衫是拳术之一种，为避兵刃之术。《易筋经》说：“大力方有铁布衫、金钟罩诸名”；铁沙掌则为武术界所练武功之一，练

时置铁沙袋于凳上，重七八斤，摆马步，以左右掌轮击之，以沙袋摔开为度。相传功深者用于交手可碎人骨。还有一些古代所用而现在基本不用的词语，如“铁君”指铁杖，“铁兵”指铁兵器，“铁室”谓浑身均着铁甲，等等。至于铁牛、铁塔之类其义自明词语，就不再一一列举了。

第8章 明代以后我国科技何以落后于西方之探析

8.1 几种因素对科技发展的负面影响

在两千多年漫长的历史时期内，我国的铁冶技术以及许多其他领域的技术，在世界上一直处于领先地位。可以认为，直到明代中期以前，我国在技术上仍然保持自己的优势，但其后逐渐落后，以致到19世纪已经无法与欧美抗衡。关于落后的原因，许多学者作过专门论述，譬如明清两代严酷的特务统治及大兴文字狱使知识分子思想窒息；“八股取士”令士人皓首穷经无暇过问科技发展；官僚制度腐朽压制技术进步；“强本抑末”国策影响工商发展，闭关锁国使人思想禁锢，等等。笔者认为，这些论述无疑都是正确的，但诸多因素中有些是根本，有些则是表象。下面讨论的四点则对千百年来的科技发展一直显现负面影响。

8.1.1 儒学和科举

谈到我国的文化传统，自然会联想到两千年来在中国占支配地位的儒家学说。

儒学（抑或说儒教）的创始者孔子，在世时不过是春秋时代小诸侯国——鲁国——的一个不算大的官员——司寇，居官阶段政治上并未得充分施展，晚年专事教书育人，“有教无类”，以至弟子三

千。说孔子是个大教育家，他确实受之无愧。可他却受到历代统治者的尊崇，头上光环越来越大，到了元代竟成了“大成至圣文宣王”，即成了“圣人”。其实不要说后世，就在孔子和稍后他的继承人孟子时代，这二位的老老家鲁国墨守成规，紧抱着“周礼”不放，论国力增长也远远不及多年有“改革开放”意识的近邻齐国。历代统治者让人尊孔，不外乎孔孟的基本思想对统治阶级的支配地位有利。比如儒家的重要说教“三纲”，即“君为臣纲、父为子纲、夫为妻纲”，就是要让平民百姓老老实实，不得“犯上作乱”，这显然对维护帝王官宦的既得利益有利。所以正如鲁迅先生所说，“孔夫子在中国是权势者们捧起来的”（《在现代中国的孔夫子》，鲁迅全集第6卷，315页）。

经孔子删订六经、聚徒讲学，不仅形成了整套的思想体系，而且培养了大批的儒学传播者。孔子死后儒家地位继续上升，到了汉武帝时，又出现个《公羊》学大师董仲舒，他把战国以来各家学说及儒家各派在孔子名义下、在《春秋公羊》名义下统一起来。经这一巨大加工，向来被看作“不达时宜，好是古非今”的儒学，一变而成之合于汉代制度的儒学。孔子不谈神怪，所以迷信成分在原始儒学里不占重要地位，董仲舒用战国以来盛行的“阴阳五行说”附会经义，使经学增加了迷信成分，变得既繁琐又迷信。这种被加工过的儒学，发展到宋代又成为程朱理学，朱熹进一步把封建社会的“三纲五常”视为“天理”，提出“存天理、灭人欲”、“理在气先”的客观唯心论，这是对儒家学说的重大歪曲篡改。自孔子以来，儒学是承认“人欲”的，主张予以节制、纳入“礼”的轨道，所谓“发乎情”和“止乎礼义”；朱熹则把“天理”和“人欲”对立起来，认为人欲是一切罪恶的根源，欲存天理必须克服人欲，否则就会在行为上违背封建道德。他还认为每个人都禀受有“理”和“气”，人有贵贱贫富贤愚之分。这一套，实际是为封建等级秩序辩护，要劳动人民安于现状、忍受统治。他的学说迎合了封建后期统治阶级维护和加强统治的需要，所以特别受到重视和推崇，明清时

期更被尊为儒学正宗，成为官方哲学。

不管原始儒学也好，经加工、篡改后的儒学也好，如果只作为一种哲学学说，那它对自然科学技术的发展，不见得会有多大直接影响。问题是自隋唐以来，它已与“科举”这种国家机构的用人制度发生直接关系，其影响就远非学术思想了。

“科举”是我国从隋唐直到清末近 1300 年的国家官员资格认定考试制度。“科举”本意是“分科举荐”，即分文、武两科选拔人才。文科考试最初除当今概念的“语文”、“政治”之外，还有算学、医学、天文历算之类。与只重门第阀阅的旧举荐办法相比，这种凭成绩取士的考试制度无疑是一种进步，问题是考试内容和它所引导的方向。就作为“科举”主体的文科考试而言，大体上到了宋代，考试科目就只限于“作文”且内容只限于儒学经典了。到了明代，科举专取“四书”和“五经”命题：“命题试士，盖太祖与刘基所定。其文略仿宋经义，然代古人语气为之，使用排偶，谓之‘八股’”（《明史·选举志二》）。宋末的理学凭借科举制度再加上明代特务统治造成的恐怖气氛，把当时知识分子的思想限制在一个越来越窄的死胡同里，没有丝毫生气可言。明代创用的“八股”，在清初曾一度废除，但到了康熙年间，虽然明明知道它对文化发展毫无用处，康熙帝却又把它作为束缚思想的重要方式恢复起来，着重加以提倡，用以抵制各种革命思想和任何革新创造精神。同时，清封建统治者入关后，“知汉族之不可以武治也，乃用儒术以束缚之”（《满清兴亡史》第二章），根据这个策略，清统治者从上到下尊孔崇儒，大力提倡程朱理学，目的就是要麻痹人民思想、瓦解人民斗志。这种“用儒术束缚”的结果，使中国失去了一切生机^[100]。在科举制度下，大量士人皓首穷经，非此难以“中举”，当然也就无法升官发财光宗耀祖。中国知识界自古就有鄙视自然科学技术的风气，即使是热心科技的人，其研究也只能作为全心钻研儒家经典之后的业余爱好或茶余饭后的消遣；即使搞出成果，在社会上也可能被认作“奇技淫巧”，不会受到多大尊崇或在经济上得多大益处。

这样一来，占人口比率本来就少得可怜的知识界无心致力于自然科学技术，科技发展又何从谈起！

朝廷上下对自然科学技术发展几乎无人闻问，“八股取士”制度为知识界带来的是孤陋寡闻。这点正如鲁迅先生所说：“政府对于读书的人们，使读一定的书，即《四书》和《五经》；使遵守一定的注释；使写一定的文章，即所谓‘八股文’；并且使发一定的议论。然而这些千篇一律的儒者们，倘是四方的大地，那是很知道的。但一到圆形的地球，却什么也不知道。于是和《四书》上并无记载的法兰西和英吉利打仗而失败了”（《在现代中国的孔夫子》，载《鲁迅全集》第六卷，313～314页）。

在这样社会大环境下，自然科学著作成了凤毛麟角。好不容易成书付梓也难以广为流传。作为造纸术和印刷术的故乡，我国古代许多自然科学著作竟有不少是“手抄本”，手抄既费时，流传面又窄，更难免鲁鱼亥豕失却原意，更严重的是有许多著作稍历一些年代便湮没无闻了。譬如与铁冶关系密切的《天工开物》，是科学技术史上“百科全书”式的著作，清初出版后不久就传入日本和欧洲，备受外国人的重视，可在我国竟然于清代失传。直到清末，在日本的中国留学生发现后才带回国重印^[101]。明代傅浚撰《铁冶志》，堪称世界冶金史上第一部钢铁冶金专著，可惜后来竟也失传了。

到了清末，科举制度的误国害人本质已为更多的人所看清。1903年，朝廷得到一份奏折，说“科举一日不废，即学校一日不能大兴，士子永远无实在之学问，国家永无救时之人才，中国永远不能进于富强，即永远不能争衡各国”，这样慷慨陈词的人不是反清志士，竟是朝廷重臣、同治年进士张之洞^[102]！

在这样的背景下，1905年清廷才被迫下谕废除科举。

8.1.2 阴阳五行说与天人合一论

五行学说是中国哲学与文化史上具有广泛影响的大课题。最初的朴素五行说，是一种解释物质世界的科学思想，发端于商、周之

际。它把物质区分为水、火、木、金、土五种，各有其性质、功用和气味，是构成万物的五种要素。这是认识世界的唯物主义方法，原无任何神秘意味。到了春秋战国时代，五行学说才逐步构成庞杂的体系而走向神秘化。阴、阳是作为世界万事万物的两种相反属性，共存于宇宙这统一体中，相互作用、运动，推动自然界和人类社会的发展变化。具体、集中的表现是为《易》（即《易经》、《周易》），所谓“《易》以道阴阳”，其形成当在商末周初。它原本是朴素的，有粗疏之处，有机械划分和人为安排与规整化，还表现为运动的循环论。战国时，邹衍将“五行”与“阴阳”两种思想结合成为阴阳五行学。他把“德”（五行的性）当作本体，“运”（阴阳变化）当作作用，以德运为出发点，推断自然变化和社会的命运。这样本属唯物论的原始五行论、阴阳论就被改造成了唯心论的阴阳五行学。到了西汉，大儒董仲舒又把起于先秦的“天人同一”思想和邹衍的阴阳五行说发展成“天人感应论”。所谓“天人合一”的自然观，就是说自然与人事是相关相应的，甚至水乳交融、浑然一体；或者说天人不二，天道与人道都是整体的大道中的部分，而万事万物都是一体而同根，大道无所不容。董仲舒说：“天有阴阳，人亦有阴阳。天地之阴气起，而人之阴气应之而起；人之阴气起，而天地之阴气应之”。又说：“国家将有天道之败，而天乃先出灾害以谴告之；不知自省，又出怪异以警惧之；尚不知变，而伤败乃至”（董仲舒《春秋繁露》，《同类相动篇》）。

阴阳五行说与天人感应论对我国古代思想界、知识界乃至整个国家政治、民众日常生活都有重大影响。譬如说，自唐以来，明黄（淡黄）色成为皇帝的专用颜色，就是出自“五行说”以中心为土，色尚黄的理论。北方民间“地秧歌”中多人穿插走行的队形则源于道教“阴阳鱼”图案。明天启六年，京师（北京）发生不明大爆炸，天落“木石人禽雨”，石狮吹到百里外，朝廷惊骇，皇帝也认为是上天谴告，还特意下了“罪己诏”。

产生于东汉、由黄老学说和巫术结合而形成的道教，也接受了

阴阳五行与天人合一这套理论。我国这个固有的宗教，与侧重追求来世福祿而“积德行善”的佛教相比，道教更重视现世的福寿。“炼丹”是道家的主要信仰活动之一，按道家的丹道理论，炼丹术又分“内丹”和“外丹”。外丹术指用汞、铅、砷的氧化物、硫化物及汞的氯化物作为原料制取“仙丹”服用，以求长生；内丹术则是通过调息、导引、房中术等修炼手段来健体强身。除了“炼丹”，道家还要学些符咒之类以求福避祸。人不分尊卑都望长生，所以两千年来，道教虽时盛时衰，对中国的社会生活和科技发展却一直予以很大影响，在历代帝王豪门及士大夫中不乏信徒。譬如秦始皇笃信道教（否则不会有“徐福东渡”）；汉武帝曾因迷信道士妄言迫使太子自杀（即有名的“巫蛊事件”）；一代名君唐太宗虽然曾指责秦始皇求仙药是虚妄行为，但最后竟也由于长期服丹慢性中毒而死；宪宗、穆宗、敬宗、武宗、宣宗也都死于丹药中毒^[104]。据考证，清雍正帝也是死于服丹。史上英名的君主尚且如此，更不要说那些昏君了。

中国士大夫中，历代有人迷信道教，像晋代有名的“竹林七贤”，“初唐四杰”中的王勃、卢照邻及同时期的名诗人陈子昂、以描写山水隐逸之情见长的孟浩然、王维。尤其是大诗人李白，一面漫游天下名山，一面探寻成仙之道，最后终于在齐州紫极宫正式入道^[104]。宋、元、明、清各朝修道的士大夫更不胜枚举。

帝王显宦及士大夫那么多人迷信道教、炼丹，热心自然科学的人自然减少。退一步说，即使热心科技，其思维方式也难以摆脱丹道家（其实不止丹道家，甚至可说是整个知识界）阴阳五行说和“天人感应说”的负面影响。

阴阳五行说认为宇宙间存在阴、阳两气及木、火、土、金、水五种基本要素，此五要素（“五行”）按上顺序相生，而按木、金、火、水、土顺序相克（胜）。这种学说原本有些朴素的唯物思想，但用于解释复杂的自然现象和技术发展中出现的问题就难免牵强附会，尤其是与“天人感应论”结合起来，将人世间活动和天体现象

(如日蚀、彗星)及自然现象(如地震、旱涝)扯在一起就更显得荒谬。可是在古代,这些对文官武将的决策、行动都有影响。在古代,阴阳五行说被广泛用于各个自然科学领域,对后世产生深远影响。这种运用,普遍存在以哲学结论代替具体科学原理的倾向,不能披露具体事物所包含的具体科学原理^[105]。古代许多著作,如《左传》、《黄帝内经》、《淮南子》等,或记述五行与五方气候的关系;或记述五行与土壤及五方矿物的关系。这些记述虽有一定事实基础,但牵强附会,在一定程度上对科学发展起阻碍作用。更值得一提的是,二十四史中,从《汉书》到《明史》,有十四部史书写了《五行志》(《魏书》称《灵征志》),内容包含各种各样的自然现象或自然灾害,为后人提供了不少信息,但其解释不是从现象寻找规律,而是在天人合一思想影响下,把社会与自然现象扯在一起。一千多年的《五行志》都停留在这个水平上。

下面就与铁冶关系密切的一些古代著述来看看阴阳五行论和天人合一论的负面影响。

汉征和二年,涿郡炼铁炉发生爆炸事故,“料不下,隆隆如雷声,又如鼓音。工十三人惊走,音止还视地,地陷数尺,炉分为十。一炉中销铁如流星,皆上去……”(《汉书》卷二十《五行志》)。作为有名的史籍,《汉书》对炼铁事故作了如此详尽的记述,难能可贵。可是,作者随后把这些与此前后宫廷内的斗争及地震、洪水等联系起来,用“五行”的生、胜理论作以解释,显然是错误的。

北宋的著名自然科学著作《梦溪笔谈》仍重复类似论述。例如,该书卷二十五第6条说:

“信州铅山县有苦泉,流以为涧,挹其水热之,则成胆矾。烹胆矾则成铜。热胆矾铁釜,久之亦化为铜。水能为铜,物之变化固不可测。按《黄帝素问》,有天五行,有地五行,土之金在天为湿,土能生金石,湿亦能生金石,此其验也。”

作者把硫酸铜(胆矾)溶液加入铁而得到铜这一简单置换反应($\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$)用“五行说”加以解释,因而得出

错误结论。

写于明末的《天工开物》，是我国古代科学史上一部里程碑式的名著。遗憾的是，该书对我国“四大发明”之一的火药，作者是这样解释其爆炸机理的：

“硝性至阴，硫性至阳。阴阳两物相遇于无隙可容之间，其出也，人物膺（承受）之，魂散惊而魄童粉”。

清初的《广东新语》，记述粤中竖炉炼铁，说“凡开炉始于秋、终于春。以天气寒凉，铁乃多水。金为水之源，水盛于冬，故铁水以寒而生也”；“铁于五金属水，名曰黑金，乃太阴之精所成，其神女子”，又说炼炉出铁过频，炉体将伤，此时“须以白犬血灌炉，乃得无事”（屈大钧《广东新语》卷十五《货语·铁》）。显然，“五行说”至此仍原模原样地被运用，外加上其认识更为原始的“血崇拜”。

从《汉书》到《梦溪笔谈》大约 1000 年，《梦溪笔谈》到《天工开物》大约 600 年，《天工开物》到《广东新语》也经过了几十年。历史前进了一千六七百年，而我国古人对自然现象和化学反应的认识却始终未能摆脱阴阳五行的框框，仍未触及事物的本质。

应该说明，古代的丹道家们也常搞些理化试验，甚至在与炼丹术相近的冶金技术发展方面还有所成就（如开发“灌钢法”的綦母怀文就是北齐丹道家；关于铁冶多有论述的陶弘景则是个上清道士，南朝齐梁时代的有名丹道家），但阴阳五行相生相胜理论限制了他们对事物内部关系的正确认识。中国比西欧早 2000 年用竖炉炼出了铁水，但直到明清，有关论述还只能用“蒸”、“煮”、“炒”、“烹”这类做饭烧菜术语来描述冶金过程，认为矿石是岩石包裹着小金属颗粒，其认识与化合、分解、氧化、还原、置换这些化工冶金的原始概念也相去甚远。17 世纪，欧洲的伽利略已经用望远镜观察到了太阳黑子、木星卫星，可我国的知识界还在议论“金生水，水生木”，还在大谈天人感应。认识如此肤浅，即使政治环境宽松一些，在中国也难以爆发欧洲那样的科技革命。

8.1.3 妄自尊大与闭关锁国

我国西面北面是高原大漠，东面是茫茫大海，以黄河文明为基础的汉族，从殷商起在中原构筑了先进的社会结构。中原的统治者历来藐视周边民族，把他们称为夷、戎、蛮、狄，或泛称之夷或番。历代的统治阶级（包括入主中原、汉化了了的少数民族帝王）和士大夫们内心深处普遍存在一种“唯我独尊”的心理。他们认为中国就是一个世界，就是“天下”。“天下”之外属“化外”（教化之外），全是野蛮、落后的。距中国越远越落后，因之没有向“外番”学习的必要。所以，中国的封建帝王对远方国家知之甚少，也漠不关心，这种妄自尊大的心态使中国在外交上多次吃亏。元末以来，我国东部沿海已有倭寇猖獗活动。14世纪，幕府将军足利义满统一日本后，迫切需要与中国贸易，因为他需要中国的物产与铜钱。明永乐二年，他派使臣来南京呈递国书并献出贡物，永乐帝高兴异常，与日建立了勘合贸易关系，并封足利为日本国王，仿汉魏旧例，赐予“日本王之印”。此后，日本逐渐坐大，屡犯我海疆并在朝鲜制造事端；可到了万历二十三年（1595年），万历皇帝还照样封日本关白丰臣秀吉为日本国王。明朝皇帝就这样陶醉在“天朝大国”的虚荣里。再以清为例，康熙帝14岁亲政，16岁时干净利落地除掉了鳌拜集团，可谓英雄盖世。他不但比明朝历代皇帝更热爱和精通汉族传统文化，还认真研究过欧几里得几何，学识不可谓不渊博。可是当正处于扩张阶段的欧洲大国沙俄为探中国虚实，于1654年派人来华时，康熙以为俄为化外之邦，只有称臣纳贡的份儿。为此，世祖致俄皇书有云：“今尔诚心向化，遣使贡方物，朕实嘉之”；又说：“尔其钦承，永效忠顺，以世守恩宠”。完全是君对臣、主对仆的口气^[106]，后来对俄外交还是吃了大亏。

继康熙登上皇位的雍正帝，在位期间驱逐了来华的外国传教士，使中国与西方本来就少得可怜的接触几近于无。接续他的乾隆皇帝，治国有一套章法，诗词歌赋也无所不精，但对中华之外的世

界变化所知甚少。乾隆五十八年（公元1793年），英国首次派使节来华，要求扩大贸易。英使节在为谒见时行不行跪礼好生交涉之后，好不容易被接见，得到的回答是：“天朝物产丰盈，无所不有，原不借外夷货物以通有无”，全面拒绝了通商要求。其实，当时中西在科技水平上的差距已相当明显，实有互通有无之必要。此次双方互赠礼物的鲜明对比充分说明了这一点。当时英方带来送给乾隆皇帝的礼品中，有一部分“代表着欧洲天文学和机械技术结合的最新成就”，有的能形象地描述“太阳及其周围行星的运行”和“表明日月星辰的全蚀和偏蚀、行星的交会或相冲现象”，如天球仪、地球仪等；有的能“随时报告月份、日期和钟点”；有的“可以预报气象”，还有一只由牛顿发明、经天文学家赫胥尔改进的天文望远镜。除了天文仪器外，还有用于抽真空的仪器，“借以在真空地方做种种有趣的试验，说明空气对于动物生命以及一切物质运动的作用”。礼品中还有铜炮、榴弹炮、毛瑟枪、连珠炮等，还有当时英国最大军舰的模型，各种各样的玻璃制品、钢铁制品以及羊毛、棉织品。而乾隆皇帝回赠的大宗礼品，仅仅是玉器、瓷器、漆器、大量的绸缎丝罗以及香、茶、瓜干之类，甚至毫无实用价值的“白玉如意”也列为上品^[107]。赠品反映出两国君主之所想不在一个层面上；两相对比也显现出乾隆盛世也不过是“金玉其外，败絮其中”，已显露出百年后“挨打”的端倪。

明清两代对外采取闭关锁国政策是这种妄自尊大的必然结果。明初洪武年间，曾严格实行海禁，规定“片板不许下海”。《大明律附律》规定：“擅造二桅以上违式木船，将带违禁货物下海前往番国买卖，潜通海贼、同谋结聚及为向导劫掠良民者，正犯比照谋叛已行律处斩，仍枭首示众、全家发边卫充军”。隆庆初以后，虽允许海外通商，但仍“止通东、西两洋，不得往日本倭国”。康熙二十四年（公元1685年）曾一度放松，但康熙五十年（公元1711年）复重申海禁，到乾隆二十二年（公元1757年），规定对外贸易只限广州一地，且对外国人有诸多限制，甚至有不准学中国话之类

可笑规定。明清政府搞闭关锁国是封建社会经济基础的自给自足经济结构在政治上的反映。明朝海禁有防止倭寇抢掠的客观因素，清代海禁的主要目的则是为了防止国内人民与海外华侨及外洋接触起来造反。这种锁国政策固然对外国不利，但损失最大的还是自身。因为搞海禁也禁止了中国对海外市场的开拓，限制了从海外赚回巨额利润的机会。尤其是在科技方面，当时西方科技已比较发达，海禁限制了近代科学知识的传入，也就限制了近代科技和社会生产力的发展，使中国长期处于愚昧落后状态。

8.1.4 手工行业的陈规陋习

中国古代统治者不重视自然科学，与中国人观念中缺乏对系统理论科学的追求和研究有关。在中国的传统观念里，一直崇尚实用，重视事物的实际功用而对于其中蕴含的科学的、理论的东西却不愿作系统的、追根求源的探索；加上阴阳五行、“天人合一”迷信思想的介入，使技术科学只能在带有迷信色彩的圈子里打转，不能深入和扩展到科学意义的层面上。这既是我国古代科技发展的通病，也是中国近代科学落后的一个重要原因^[103]。但即使是在“实用”的层面上，由于“万般皆下品，唯有读书高”与“士农工商”这种传统认识上的排序，知识分子多不屑与常年在第一线从事生产和技术活动的工匠为伍。工匠社会地位低下，多数生活困苦，又受文化水准限制，亦不可能为技术发展作出很大贡献。除此而外，手工业行业的陈规陋习也是阻碍技术进步的绊脚石。

手工业技术的世代传袭就是陋习之一。为了推行重农抑商政策和便于官府的征发奴役，在秦汉、魏晋、元明等朝代，手工业者被编入市籍或匠籍且世代相传，不得变易转业。编入市籍或匠籍的手工业者，长期受到来自法律和社会等方面的歧视与压抑，匠户永受劳役之累，除非皇帝特许，不得脱籍，不得人仕做官。清初，随着匠籍制的废除，小手工业者在法律上的身份与一般平民同样，然因长久为人服役及匠籍制的遗风，社会上对匠人依然歧视如故。在这

种状态下,手工业者缺乏生产和技术革新的积极性。

另一陋习是技术上的保守性。有些小手工业者,为了在商品生产的竞争中处于有利地位,常将自家的技术机密世代相传,“誓不传他姓”,甚至采用传男不传女、传媳不传婿等做法,使某些行业的技术诀窍世代代掌握在某个家族之中^[62];即使招徒,徒弟也难以及时地从师傅那里得到毫无保留的传授。此外,我国手工行业乃至技术界内,向来缺乏内部技术交流的风习,同时按行规,同辈间尤其是对辈分高者的技艺不宜评头论足,对别人的请教也多予婉拒。这些貌似有助行业稳定的积习当然不利于技术进步,个人传授和行会陋规使技术的传播和发展极为缓慢。例如早在南北朝以前就已经发明的“灌钢”后来发展为“苏钢”,由于技术保守等原因,迟至清代才传入四川;就是历来以冶铁著称的三晋地区,迄至清代,所用钢条也每由汉口、芜湖购入^[1]。

8.2 15 世纪以后中西科技发展的不同路径

我国向来以悠久的文明历史著称世界。在人类科技发展的过程中,不少成就来自中华民族的贡献。自古中国是丝之国、瓷之国,古代四大发明对人类社会进步的贡献更永远令我们自豪;至今以少量耕地供养众多人口则表明我国农业有着优良的传统。对于历史上的成就,英国科学史家李约瑟教授这样评价:“中国的这些发明和发现往往超过同时代的欧洲,特别是在 15 世纪之前更是如此。”他还说,“中国的科学技术”在公元 3 世纪到 13 世纪之间保持了一个西方望尘莫及的水平^[108]。这确是比较公正的论断。

但是,15 世纪以后,我国的科学技术落后了。在欧洲资本主义已经兴起并在气势磅礴地进行工业革命时,我国封建社会内部混乱,加上列强欺辱侵略,结果在蒸汽机、内燃机、电能利用等重大技术革命方面落后了,以致在 1840 年被“船坚炮利”的英国人打得晕头转向。

温故而知新。下面让我们对照西洋，回顾一下15世纪以后我国的科技发展历程。

西方的近代自然科学，是从“文艺复兴”即从15世纪下半叶开始的，相当于中国的明代中叶。而到了哥白尼《天体运行论》出版（1543）时，“自然科学便开始从神学中解放出来”，且“从此便大踏步地前进了”（恩格斯《自然辩证法》导言）。

再看看我国。14世纪末，明太祖朱元璋于1395年颁布《皇明祖训》，告诫其子孙“后世有言更祖制者，以奸臣论”（《明史·刑法志二》），这是朱元璋总结历代亡国教训而得出的结论。用封建主义标准衡量，《祖训》堪称一部杰作，所以清一入关，即“译《洪武宝训》成，颁布中外”，足见满族统治者对《宝训》的重视。

两个朝代的最高统治者采取各种措施来延续自己的统治，使新的制度无法从封建制度内部产生，因之代表新制度、推翻旧制度并给科学技术开辟良好发展条件的社会力量，同样也无从产生。

仅从生产技术水平来看，至迟在南宋末年，我国已经具备了产生资本主义萌芽的条件。那时不但有相当发达的对外贸易，而且南宋政府对发明采取奖励政策，这时的资本主义萌芽没有发展起来显然与蒙古的南侵有关。我国是个农业国，从汉以来历代政府认为“农为邦本”，实行“强本抑末”、“重农抑商”政策。这些本来就对资本主义发展不利，《皇明祖训》对资本主义萌芽的产生、发展以及对科技发展更带来了严重影响。

明代的特务统治和政治腐败严重遏抑科技发展。朱元璋登基不久，为防夺权，就杀戮功臣，仅胡惟庸、蓝玉两案，“株连蔓引，迄数年未靖”，被杀的人数据《明史》记载在四万五千人左右。在正式司法之外，明代设立东厂、西厂、锦衣卫等直属皇帝的特务机构。永乐以后，皇帝大抵皆庸碌昏暴之辈，特务机关更成了宦官专横跋扈的得力工具，诬陷告密之风盛行，朝野上下人人自危，统治阶级已不可能有所作为；依附于统治阶级的“士”，思想被窒息到麻木不仁状态，不可能像在封建社会初期、中期那样作出什么贡

献。

明代官僚制度腐朽不堪。1506年武宗登基，这位皇帝到处游山玩水，痴迷于喇嘛教的房中术修炼，政事全交宦官处理。1514年葡萄牙人在广东登陆（比葡人在日本登陆还早29年），但对葡人使用的杀伤力很大的洋枪，早为“北虏南倭”所苦的朝廷，对推广这种先进武器并不积极。武帝后面的几个皇帝更是个个昏庸。世宗崇信道教，长期不理朝政；神宗吸食鸦片，常年不见朝臣；熹宗深居宫中以做木工为乐；最后一位思宗倒不昏庸，但内忧外患，王朝的崩溃已无可挽回。这样的朝廷当然没有可能去振兴科学技术^[109]。

还有一事足以说明明廷的腐朽。对一个农业大国而言，为了“使民以时”地进行生产，颁行和修订历法具有重要意义；同时，历法也是政权权威的象征。朱元璋登基时已发现历法不准并责有司修正，然终明之世历276年，竟连历代王朝都要做的颁布一部新历法都没做到。我国早在南北朝时，祖冲之已求得圆周率在3.1415926与3.1415927之间，这比欧洲早1000多年。可到了崇祯年间，出来个叫魏文魁的“满城布衣”著《历元》、《历测》两书，使其子象乾进《历元》于朝，计算圆周长竟用“径一围三”古法。这样保守无知却因有宦官做后台，竟然能在京师立局为朝廷搞历法修正^[70]，可见封建社会后期腐朽的官僚统治多么严重地阻碍着科学事业的发展。

清代在加强封建统治方面，继承了明代的种种措施。从顺治到乾隆，几代皇帝都比较能干，政绩也十分突出；但清代虽不像明代那样特务机关林立，却屡兴文字狱，思想禁锢尤甚于明。且不说多少冤魂死于牢狱，有清一朝，单单流放到今东北地区的“流人”即在150万人以上。普通百姓很少会被流放，因而其间“名士”、“佳人”比例不低，搞得“南国佳人多塞北、中原名士半辽阳”（康熙时诗人丁介作）^[110]。士人为科举所苦又加上思想禁锢，这对科技发展的阻碍之大可想而知。

就科学研究组织和文教政策、制度进行中西对比，更会找到明、清两代科技明显落后的原因。16世纪以后，西方各国和各个地区相继成立学会和科学院，如1560年，在拿破里成立了自然科学院，1603年罗马成立科学院；著名的英国皇家学会创建于1662年，法国科学院创立于1666年，德国于1700年成立柏林科学院，俄国于1725年成立彼得堡科学院。可当时在中国，虽然清初康熙帝的周围也召集了一些人学习、研究西方科学和技术，但与西方的科学院之类组织完全不同，且康熙死后那帮人就散了。而西方科学院不但一直存在下去，还有很大发展，这些组织对下阶段西方科学的发展发挥了很大作用^[108]。

在教育方面，法国早在1684年就于巴黎开设了最早的师范学院，开始注意初等教育的发展。资产阶级看到了培养军事和科技人才的重要性，于1794年又着手建立各种工艺学校，募聘国内外人才进行教学和科研工作，收录各地优秀青年学习。19世纪上半叶，大量世界一流的优秀科学家如盖·吕萨克和泊松等均出自这类学校。被恩格斯称为“非凡人物”的拿破仑的执政时期大约相当于我国清代嘉庆时期。当时嘉庆帝只一味固守祖业，维护腐朽的封建制度；而拿破仑的一系列措施则是进一步摧毁封建势力、巩固建立不久的资产阶级专政。拿破仑极为重视科技和教育发展，善于调动科技人员的积极性，甚至连“敌国”——英国——的科学家也予以一定奖励。由于法国资产阶级采取了种种进步措施，使其科学迅速赶上了英国水平，成为当时欧洲大陆科学研究中心^[100]。

科学发展离不开书刊。就书籍编纂而言，我国同西方也存在原则的差别。清代康、雍、乾三帝在大兴文字狱、扼杀任何创见从而把读书人引向考订古籍的同时，还集中全国大批文人儒生编纂书籍，数量大得惊人，甚至比同时期欧洲各国总和还多。且不说《康熙字典》、《古今图书集成》之类，单乾隆时编纂的《四库全书》就动员了大小官员和文人儒生三百五十多人，花了十多年时间，把自古以来诸子百家的各种文稿、言论、诗词歌赋都汇集起来，“卷帙

浩博，亘古所无”。这些对研究历史、发展文化固然有一定积极作用，但清统治者的目的则完全是为宣传封建道德观念，以便加强思想控制、维护封建制度。因此在编纂中篡改、删除和焚毁了大量具有进步思想的书籍，所辑内容均以文史为主，对科技方面很少涉及，甚至有意贬低某些科技书籍的科学价值。例如对明末王征编译的具有科学价值的《奇器图说》大加贬抑，诬为“其法之神妙，大都荒诞恣肆，不足诂究”。

而与《四库全书》的编纂差不多同时，欧洲也在编书。内容上与中国却有根本性区别。如英国的《技术词典》、《工艺与科学词典》、《英国百科全书》以及法国的《历史与批判词典》、《法国大百科全书》等等包罗大量科学技术内容。其中狄德罗主编的《法国大百科全书》从1751年到1777年出版了22巨册，这部巨著是组织了哲学家、科学家、工程师、军事家等100多人花了30多年搞完的，他们批判了过去只重视文学而轻视科技的倾向，强调科技的重要性，并在全书中把科技放在主要地位。全书收集了从16世纪到18世纪前半叶的所有最新科技成果，对当时的科学普及和科技发展起到很大推动作用^[100]。

同是编书，法国人对科技予以优先重视；中国却为“定千载之是非，决百家之疑似”。一个是从资产阶级民主革命的根本利益出发，适应社会生产力蓬勃发展的需要，总结过去，为了现在和将来的发展；一个是妄图扼杀任何革命思想和创新精神，厘正古籍为了让古老而腐朽的封建关系千年永垂。一个竭力为今，一个重在求古。这样一来，西方科技怎能不蒸蒸日上，清代学术界又怎能不死气沉沉？

面对科学技术的落后，一些有远见的清代知识分子也提出了改革的愿望，这当然受到了来自皇帝和既得利益者的压制。此外，以孔孟之道、纲常名教为核心，重文轻利、重本抑末、重儒学而轻科技的传统观念；自我封闭、自我陶醉的文化自大主义；斥科学技术为“奇技淫巧”，非难和排斥西学种种制约因素，同样不利于近代

科技萌芽的发展。

科学技术是第一生产力，科技发达与否直接影响一国的国力。产业革命后的欧洲，国民经济产值飙升。清初，我国国民经济生产总值比欧洲各国总和还高，到乾隆年间，就下降为欧洲总值的34%；到1900年，则降到了6%。欧洲许多国家在制度和科技上的进步使其国力增强，中国则逐渐变得虚弱。落后就要挨打，这个沉痛的历史教训，值得我们永远记取。

参 考 文 献

- [1] 华觉明. 中国古代钢铁技术的特色及其形成. 见: 科技史文集 (第3辑). 上海: 上海科学技术出版社, 1980, 100~118
- [2] 何堂坤, 赵丰. 纺织与矿冶志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [3] 齐文心, 王贵民. 商西周文化志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [4] 王景辉. 甘肃冶金成就. 见: 甘肃省冶金科学技术志. 兰州: 甘肃人民出版社, 1997
- [5] 华觉明. 中国古代钢铁冶炼技术. 金属学报, 1976 (2), 222~231
- [6] 刘云彩. 中国古代冶金史话. 天津: 天津教育出版社, 1991
- [7] 王恩田. 齐鲁文化志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [8] 黑岩俊郎. たたら——日本古来の製鉄技術. 東京: 玉川大学出版部, 1976
- [9] 新疆维吾尔自治区文化厅文物处等. 新疆哈密焉木拉克墓地. 考古学报, 1989 (3)
- [10] 丘亮辉, 李京华. 中国古代冶铸遗址. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [11] 杜春林. 中国铁矿业开发简史. 见: 姚培慧主编. 中国铁矿志. 北京: 冶金工业出版社, 1993
- [12] 杨宽. 中国古代冶铁技术发展史. 上海: 上海人民出版社, 1982
- [13] 陈绍棣. 春秋. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [14] 张传玺. 中国古代史纲. 北京: 北京大学出版社, 1985
- [15] 陈绍棣. 战国. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [16] 李京華著, 田口勇訳. 中国古西平製鉄遺跡の研究 (戦国時代の名剣製作地の探索). 見: 日本舞草刀研究会編. 舞草刀研究紀要 (第8

- 号, 14~19). 日本岩手県: (株)一関プリソト社, 1999
- [17] 陈绍棣. 秦代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [18] 陈高华主编. 中华古文明大图集: 铸鼎. 北京: 人民日报出版社
- [19] 陈树森, 陈振江主编. 新编中国通史: 第一册. 福州: 福建人民出版社, 1998
- [20] 周嘉华, 王治浩. 化学与化工志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [21] 梁满仓, 罗齐曾. 魏晋南北朝. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [22] 乔志强, 李书吉. 晋文化志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [23] 孙学雷, 张连城. 隋代·唐代·五代十国. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [24] 张正明. 荆楚文化志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [25] 徐卫东, 许文继. 宋代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [26] 李锡原. 辽代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [27] 郑树东. 金代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [28] 任崇岳. 元代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [29] 夏湘蓉. 中国古代矿业. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [30] 宫崎市定. 宋代的煤和铁. 见: 宫崎市定论文选集(上卷). 中国科学院历史研究所译. 北京: 商务印书馆, 1963
- [31] 蔡美彪. 中国通史(第6册). 北京: 人民出版社, 1979
- [32] 李小钢. 含氟铁精矿烧结工艺优化理论研究: [学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2004
- [33] 丁琮. 明代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999
- [34] 王道瑞. 清代. 见: 朱大渭主编. 中国通史图说. 北京: 九州图书出版社, 1999

- [35] 丘亮辉. 中国近代冶金工业. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [36] 辽宁省地方志编纂委员会办公室主编. 辽宁省志 (黑色冶金工业志、有色金属工业志、黄金工业志). 沈阳: 辽宁民族出版社, 2001
- [37] 田口勇. 鉄の歴史と化学. 東京: 裳華房, 1988
- [38] И. Соломович Лешкин. Как рождается сталь. Москва: ДЕГТЦЗ, 1995
- [39] 戴念祖. 物理与机械志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [40] 金秋鹏. 一百项中华发明. 北京: 中国青年出版社, 1995
- [41] 赵承泽. 汉代冶铁遗址. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [42] 柯俊. 冶金史. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [43] 窪田藏郎. 鉄の民俗史. 東京: 雄山閣, 1986
- [44] 靳树梁. 小型炼铁炉炉缸冷凝之特征及炉底防湿新法之采用. 钢铁专刊 (经济部矿冶研究所), 1945 (9): 35~36
- [45] 谢家兰. 坩埚炼钢. 钢铁专刊 (经济部矿冶研究所): 1945 (9): 37~44
- [46] 谢家兰. 坩埚及工具钢试验简报: 矿冶. 中国矿冶工程学会会刊, 1943 (复刊号第三期): 48~52
- [47] 李文博. 天下未解之谜. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 2001
- [48] 何堂坤. 中国古代冶炼技术的两个问题. 见: 自然科学史研究所编. 中国古代科技成就. 北京: 中国青年出版社, 1978
- [49] 何堂坤. 关于明代炼钢技术的两个问题. 自然科学史研究, 1988 (1)
- [50] 华觉明. 中国古代三大铸造技术. 见: 自然科学史研究所编. 中国古代科技成就. 北京: 中国青年出版社, 1978
- [51] 杜荣泉. 燕赵文化志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [52] 北京钢铁学院压力加工专业. 易县燕下都 44 号墓铁器金相考察初步报告. 考古, 1975 (4)
- [53] 袁庭林. 巴蜀文化志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [54] 赵建伟. 中国古代的禁忌习俗. 见: 阴法鲁主编. 中国古代文化史 (3). 北京: 北京大学出版社, 1991

- [55] 吴军. 选矿技术的进步. 见: 周传典主编. 鞍钢炼铁技术的形成和发展. 北京: 冶金工业出版社, 1998, 38~39
- [56] 车传仁译. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 1981
- [57] 车传仁. 中国の古代铸造と日本のたたら炉の誕生 (中国冶金教授の一意見). ふえらむ, 2000, 5 (3): 31~35
- [58] 川原業三. 鉄鉱石からうみた製鉄技術の誕生. 見: 日本舞草刀研究会編. 舞草刀研究紀要 (第8号). 日本岩手県: (株)一関プリソト社, 1999, 38~53
- [59] 杨文衡. 地学志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [60] 李京华. 汉代铁农器铭文试释. 考古, 1974 (1): 61~66
- [61] 孙健. 中国经济通史. 北京: 中国人民大学出版社, 2000
- [62] 李治安, 孙立群. 社会阶层制度志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [63] 杨根. 战国两汉铁器的金相学考察初步报告. 考古学报, 1960 (1)
- [64] 宁可. 秦汉铁官. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [65] 白寿彝. 明代矿业的发展. 见: 学步集. 北京: 三联书店, 1962: 74~114
- [66] 范文澜. 中国通史 (第二册). 第6版. 北京: 人民出版社, 1978
- [67] 何光岳. 中华姓氏通书: 陈姓. 北京: 三环出版社, 1991
- [68] 陈玉龙. 中国与越南·柬埔寨·老挝的文化交流. 见: 周一良主编. 中外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987
- [69] 夏应元. 相互影响两千年的中日文化交流. 见: 周一良主编. 中外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987
- [70] 包孝和. 自然科学史简编. 北京: 北京出版社, 1988, 261
- [71] 朱学勤, 王丽娜. 中国与欧洲文化交流志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [72] 沈福伟. 中国与西亚非洲文化交流志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [73] 何堂坤. 炼铁. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [74] 季羨林. 中印智慧的汇流. 见: 周一良主编. 中外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987
- [75] 周南京. 历史上中国与印度尼西亚的文化交流. 见: 周一良主编. 中

外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987

- [76] 范文澜. 中国通史(第三册). 第6版. 北京: 人民出版社, 1978
- [77] 葛治伦. 1949年以前的中泰文化交流. 见: 周一良主编. 中外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987
- [78] 陈炎. 中缅文化交流两千年. 见: 周一良主编. 中外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987
- [79] 张广达. 海舶来天方, 丝路通大食. 见: 周一良主编. 中外文化交流史. 郑州: 河南人民出版社, 1987
- [80] 宫崎市定. 中国的铁. 见: 宫崎市定论文选集(上卷). 中国科学院历史研究所译. 北京: 商务印书馆, 1963
- [81] 宋叔和, 李章大, 季克俭等. 中国矿业、矿床地质发展简史. 见: 中国矿床编委会编著. 中国矿床. 北京: 地质出版社, 1989
- [82] 高丙中. 民间风俗志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [83] 李勤德. 中国区域文化. 太原: 山西高校联合出版社, 1995
- [84] 唐作藩. 学点音韵学. 见: 王力等著. 中国古代文化史讲座. 北京: 中国广播电视大学出版社, 1984
- [85] А. А. Рубцов. Происхождении Термина 'чугун'. Литейное Производство, 1957 (8)
- [86] 姜葆夫, 韦良成, 李善奎注析. 常用古诗五百首. 北京: 明程出版社, 2000
- [87] 宫崎市定. 宋代中国文明的新局面. 见: 宫崎市定论文选集(上卷). 中国科学院历史研究所译. 北京: 商务印书馆, 1963
- [88] 赵超. 铁券. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [89] 张国臣, 张天定主编. 中国文化之最. 北京: 中国旅游出版社, 1991
- [90] 孙淑云. 当阳铁塔. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [91] 王立纲主编. 中国旅游大全(华东上册). 北京: 中国青年出版社, 1988
- [92] 张恒平, 郭永琛. 中国古今桥梁觅胜. 北京: 中国展望出版社, 1984
- [93] 张崇友. 中华名胜古迹趣闻录. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1984
- [94] 丘亮辉. 沧州铁狮. 见: 中国大百科全书: 矿冶. 北京、上海: 中国

大百科全书出版社, 1992

- [95] 臧励和. 中国古今地名大辞典. 北京: 商务印书馆, 1921
- [96] 李彬. 山西之旅. 广州: 广东旅游出版社, 2000
- [97] 白寿彝, 王毓铨. 说秦汉到明末手工业和封建制度的关系. 见: 学步集. 北京: 三联书店, 1962
- [98] 高丙中. 民间风俗志. 上海: 上海人民出版社, 1998
- [99] 许淦, 杨泓, 王兆春. 中国古代兵器. 见: 中国大百科全书: 军事(II). 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- [100] 林文照. 清中期的中国科学技术. 见: 科技史文集: 第3辑. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- [101] 洪万生主编. 格物与成器. 台北: 联经出版公司, 1982
- [102] 余秋雨. 十万进士. 见: 山居笔记. 上海: 文汇报出版社, 2001
- [103] 唐得阳. 中国文化的源流. 济南: 山东人民出版社, 1993
- [104] 陈明. 中国传统文化中的人道主义. 北京: 华夏出版社, 1996
- [105] 唐锡仁. 中国古代阴阳说对天气现象的解释. 中国哲学史研究. 1981(2)
- [106] 张达钧. 四十年动乱新疆. 香港: 亚洲出版有限公司, 1957
- [107] 斯丹东. 英使谒见乾隆纪实. 见: 林文照. 清中期的中国科技技术: 科技史文集: 第三辑. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- [108] 秉航. 试论明末清初中国科学技术史的若干问题. 科技史文集: 第3辑. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- [109] 陈舜臣. 日本人与中国人. 东京: 集英社, 1974
- [110] 余秋雨. 一个王朝的背影. 见: 山居笔记. 上海: 文汇报出版社, 2001

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 中华铁冶志

作者 =

页数 = 234

SS号 = 11603833

出版日期 =