

中国冶铸史论集

华觉明等著

此管
流出
鐵成
生

墮子
鋼

文物出版社

中国冶铸史论集

华觉明等 著

文物出版社

封面设计: 仇德虎

责任编辑: 赵志军

中国冶铸史论集

华觉明 等

文物出版社出版

北京五四大街29号

北京百花印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 1/32开 印张: 19 插页: 6

1986年8月第一版 1986年8月第一次印刷

统一书号: 11068·1345 定价: 4.80元

目次

前言.....	1
中国古代钢铁技术的特色及其形成.....	3
战国两汉铁器的金相学考查初步报告.....	21
汉魏高强度铸铁的探讨.....	37
两千年前有球状石墨的铸铁.....	59
汉魏铸铁中球状石墨形貌及组织的研究.....	65
商代青铜器试铸简报.....	71
殷墟出土商代青铜觚铸造工艺的复原研究.....	76
司母戊鼎铸造工艺的再研究.....	90
妇好墓青铜器群铸造技术的研究.....	96
铜绿山春秋炼铜竖炉的复原研究.....	136
曾侯乙青铜器红铜纹饰铸镶法的研究.....	144
商周青铜容器合金成分的考察 ——兼论“钟鼎之齐”的形成.....	149
广东省出土青铜器冶铸技术的研究.....	166
钟欹钟隧新考.....	190
先秦编钟设计制作的探讨.....	196
曾侯乙编钟的振动模式.....	208

曾侯乙编钟结构的探讨·····	211
拨蜡法的调查和复原试制·····	217
失蜡法在中国的起源和发展·····	226
中国古代的叠铸技术·····	247
附文一：陨铁、陨铁器和冶铁术的发生·····	278
附文二：关于金属型的札记三则·····	286
附文三：古代范铸术语考订·····	291
编后记·····	295

前 言

当代科学的一个重要发展趋向，是学科间的联合、融合，由此产生出许多新的学科分支或边缘科学，推动科学技术向新的领域拓展，向更深更广的层次开掘。这是科学技术进步的客观要求，是历史的必然，对于考古学和科技史也是同样。

夏鼐先生在《考古学和科技史》一书的编后记中，着重指出考古资料对于科技史研究工作的重要性，同时也提出考古工作者应设法取得科技工作者的协作，以解决考古学研究中与科技史有关的问题。

对于考古学来说，无论出土的金属器物或冶铸遗存都是多信息的载体。为着从技术发展的角度，探明这些遗物、遗存所携带的工艺信息及其科学价值，就有必要运用现代金属科学理论、检测手段和金属史的学术成果来作专门的研究。

对于金属史来说，由于古代文献记载的局限性，许多卓越的技术创造长期湮没无闻，发展线索茫无头绪。在这种情况下，考古发掘所提供的实物资料、金属文物的分析鉴定和冶铸遗址的考察研究，就往往具有决定性的意义，成为研究工作中的一个突破口。由此出发，和文献考据、传统工艺调查、古器物复原试制相印证，就有可能得到较为真切和具有系统性的认识，进而探讨其发展规律性。

近些年来，诸如对封建社会前期钢铁冶炼技术的探讨，秦俑坑青铜剑、剑表面含铬层的确认、铜绿山早期采铜、炼铜技术水平的判定、编钟双音发声机制的揭示等重要发现，无一不是文物考古工作者和有关的科技工作者通力合作的结果。一些出土多年的金属器物，例如河南巩县铁生沟西汉冶铁遗址所出铁镢，一经用金相、光谱、电子显微镜等科学手段检验，证实其具有典型的球状石墨，立即显现了重要价值，引起学术界的重视。而“冶金考古学”、“金属考古”等用语的出现，也正表明了考古学和金属史这两个学科互相渗透、加强合作的态势和现实。

和上述趋势相适应，在科学研究的组织方式上也提出了更高的要求，探索着新的结合形式。经验表明，具有不同专业学识、技能的研究人员在同一课题要求下组织起来，分工协作，交流切磋，取长补短，将形成一种新的综合的学术优势，这是提高研究水平，加快研究进度，扩大研究成果的有效措施。特别是作为社会主义国家，我们的社会

制度、科研体制、工作方法和道德规范，都应是有利于实行多学科协作的。自觉地去发挥这种优越性，促进文物考古界和科技界的良好合作，有许多工作要做，有待我们共同探索和努力。

金属史是金属科学和历史科学相结合的产物，同时又是科学技术史的一个重要分支。

作为社会主义科学文化事业的一项基本建设，金属史研究对于继承、发扬中华民族灿烂的金属文化，提高人民群众的文化素养，进行爱国主义、历史唯物主义教育和国际文化交流，提高工程技术人员的素质和识见，促进金属科学和相关学科的发展，都有着不可替代的重要作用。中国古代青铜器和传统技术在国外展出所获得的巨大成功，曾侯乙编钟复制研究在音乐界和广大群众中引起的热烈反响，便都是明显的例证。

金属史研究在中国已有半个世纪以上的历史。章鸿钊、张子高、王璠、陈梦家、郭宝钧、夏鼐、王振铎、柯俊、杨宽等前辈学者曾从不同方面为这一学科的建立，做了开创性的工作。而近些年来，这一领域所取得的进展，在很大程度上更是文物考古部门和全国各地文物考古工作者大力支持和帮助的结果。与此同时，我们也清楚地看到，从总体来说，这一学科毕竟还处于草创的阶段，大量课题有待深入，许多空白需要填补。例如我们一个时期来是侧重于技术性研究，和社会历史的研究没有很好结合起来；即就技术研究来说，更多地是集中于前期，对唐宋以后重视不够，工作做得很少。这些缺点在本论集中也明显地反映出来了。至于一些基础性工作，如史料整理、工具书编集、传统工艺调查以及断代史和比较研究等，那是更为薄弱和欠缺的。这种情形正说明，要把金属史研究工作做好，必须向文物考古以及历史学、文献学、文字学等相关学科的专家同行们学习请教，也说明这些相关学科的结合是势在必行和大有可为的。

固步自封是做学问的大忌，广采博取才有学术的繁荣。在科学的春天里，学科结合之花已初绽蓓蕾，我们有理由期待获得更丰硕的果实。

华觉明

中国古代钢铁技术的特色及其形成

我国古代的钢铁技术，在人类物质文明总的发展进程上，有着重要的历史地位。作为曾在长达两千多年的时间内，为世界上人口最多的国家提供生产工具和各类铁器件的中国古代冶铁生产，对于社会所作的贡献是十分巨大的，在技术上也有自己的特色。其中最突出的是生铁的早期出现和广泛应用，以及在这基础上建立起来的钢铁冶炼加工的技术体系。它的形成和发展，大体经过了四个阶段。

从春秋战国到西汉中期，是生、熟铁并用、平行发展的早期铁器时代

早在公元前十三、四世纪，我国人民就已识别和使用了铁。1972年河北藁城出土的商代中期铁刃铜钺（图版一，1），经检验，铁刃的含镍量至少在8%以上，是用含镍较高的陨铁经加热锻打成形后，和青铜钺体铸接的（图版一，1）^①。和它同类的还有最近北京市平谷出土的商代中期铁刃铜钺和传说于1931年在河南浚县出土的铁刃铜钺、铁援铜戈^②。陨铁的外表和某些铁矿石相象。它的屡被使用，有可能成为人们寻找更多铁蕴藏，探索其冶炼加工方法，导致冶铁术发生的一个动因。

目前所知的我国最早经人工冶炼的铁，是江苏六合所出春秋晚期铁条和铁块。经检验，铁条由块炼铁锻成，铁块是白口铸铁^③。这个事实，再次说明，块炼铁和生铁这两种冶铁技术，在我国可能大体是在同一历史时期发展起来的^④。殷周时期高度发达的青铜冶铸技术，从矿石、燃料、筑炉、熔炼、鼓风和范铸技术等各个方面，为生铁的早期出现作了准备。在我国冶金技术发展的具体历史条件下，冶铁术是从冶铜术内部产生的，并且一开始就有着自己的特点^⑤。欧洲十四世纪才有生铁。在这之前，主要是使用块炼铁^⑥。而我国从铁器时代初期起，就是生、熟铁并用。我国古代钢铁生产特别发达，在技术发展上别具一格、绚烂多彩，和这个特点是紧密地联系在一起的。

铁器作为新的生产力在春秋后期出现，具有划时代的意义，它加速了奴隶制的崩溃，而新的生产关系的建立，又反过来促使冶铁业进一步发展。春秋战国之交，铁器还

不算很多，大都出自三晋、徐楚地区。战国中期以后，铁器代替铜器和木、石、骨、蚌器成为主要的生产工具，在七国普遍使用，数量、种类都大为增加^⑦。战国时期社会生产力显著提高，社会学术思想出现百家争鸣的局面，是以铁工具的普及为其物质前提的。

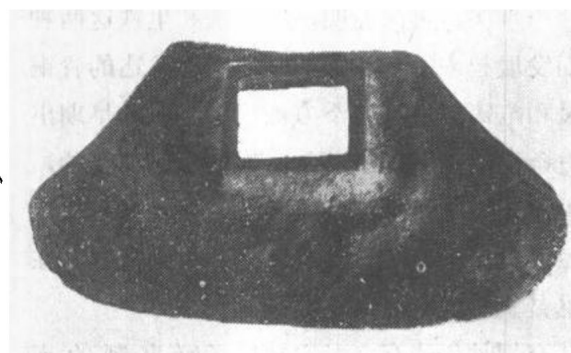
秦统一六国后，采取的建铁官、筑驰道、统一度量衡等措施，都有利于冶铁技术的发展。把孔氏、卓氏等大冶铁商从邢台、邯郸地区迁到南阳、蜀郡，使冶铁生产更加发展，铁器的使用进一步推广^⑧。

西汉三大手工业，冶铁业是最重要的，煮盐的牢盆也靠它供应^⑨，这时出现了规模巨大、分成多个作业区、占地达数万平方米的冶铁作坊，如1959年发掘出的河南巩县铁生沟汉代冶铁遗址，面积达一万多平方米，出有大量炼炉、铁料、炼渣和矿石^⑩。全国四十九处铁官，役使大量卒徒工匠劳作，铁的年产量已相当可观^⑪。

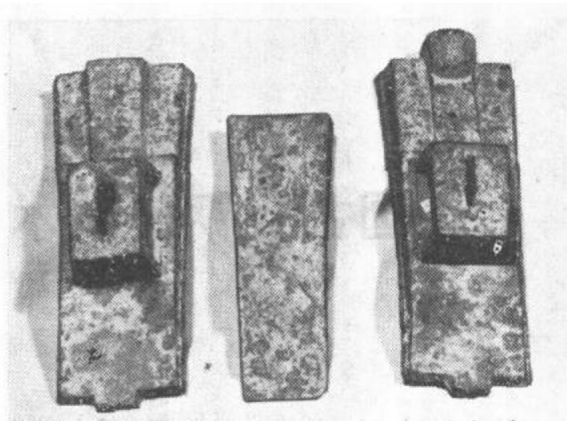
这一时期钢铁技术的主要成就，是铸铁柔化术和块炼渗碳钢的发明。

据不完全统计，在三十件战国初期铁器中，至少有二十三是铸铁件^⑫。战国中期以后，锻铁工具和兵器逐渐增多，但铸铁件仍占多数，秦汉两代大体保持这个局面。为适应社会对铸铁器的大量需求，先进的高效率的铁范技术，从战国起就有很大的发展（图一）。

早期的铸铁都是高碳低硅的白口铁，碳在铁中以碳化铁的形式存在，性极脆硬，使用时很容易崩裂。因此，早在战国初期就发明了铸铁柔化术，在高温下将白口铁坯件进行脱碳处理或韧化处理，前者以碳的氧化为主，得到铸铁脱碳件，由于脱碳不完全，内层常保存生铁的组织（图版二，1；图二），后者以碳的石墨化为主，得到白心或黑心的韧性铸铁件^⑬。

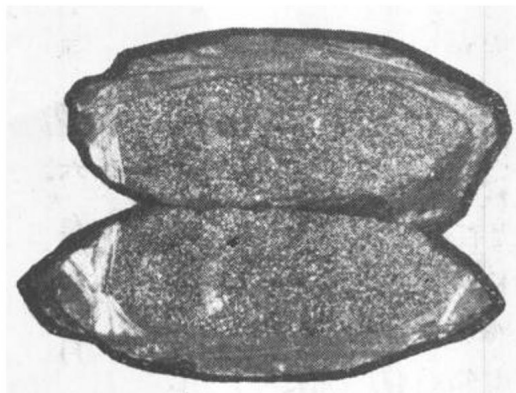


图二 大冶铜绿山古代铁锄



图一 兴隆战国铁范（斧范和铁芯）

实物检验表明，战国、西汉的铁工具，大都经过柔化处理，有的经有控制的脱碳，从铸铁完全变成钢的组织，有的韧化良好，石墨呈团块状或球状，和现在的球墨铸铁相近（图版二，2、5）^⑭。可以毫不夸张地说，没有铸铁柔化术的发明与推广，生铁在我国古代的广泛使用是全然不可能的^⑮。同时，随着炉温的升高和熔铸技术的改进，西汉前期



图三 南阳瓦房庄东汉高磷灰口铸铁断口

已能生产灰口铸铁，用来铸造车用轴承等机械构件（图版二，3、6；图三）^⑥。由于灰口铁中的碳以片状石墨析出，具有一定的韧性和较好的耐磨性、吸震性，目前仍是应用最广的铸铁材质，它的发明和铁范、铸铁柔化有着同等重要的意义。

经过韧化的铸铁件，仍保有缩孔、气孔等特征性铸造缺陷，不能锻造，用作韧性和耐冲击性能要求较高的手工工具特别是刀、剑一类砍劈式武器是不适宜的^⑦。早期的块

炼铁很软，只能做削、锥等小件工具。至迟到战国晚期，发明了渗碳制钢术，把块炼铁放到炽热的木炭中长期加热，反复锻打使碳份渗入表层成为钢的组织，有的还经淬火，以提高工件的硬度和强度。河北易县燕下都钢剑、钢戟就是这样制成的（图版二，4）^⑧。

从西汉后期进入完全的铁器时代到 魏晋南北朝，是制钢术大发展的时期

熟铁柔软，生铁脆硬，钢则刚柔兼备，且可淬硬，只有钢铁才能最终取代青铜。先秦诸子不乏有关铁兵的记述，但一直到西汉前期，兵刃仍主要用铜^⑨。从西汉后期起，铁兵逐渐代替了铜兵，进入完全的铁器时代，关键在于制钢术取得了重大的突破。

恩格斯说：“最初的铁往往比青铜软。”^⑩这个铁，是指块炼铁。在欧洲古代，钢多由块炼铁经渗碳得到^⑪。我国古代则除块炼钢外，主要地是以生铁为原料，发展了脱碳制钢、百炼成钢^⑫和匀碳制钢等多种制钢技术：

脱碳制钢 由铸铁件的脱碳处理，进而将成形铁板经脱碳成为成形钢板（图版一，3、4），这种新颖的制钢技术是出现在西汉时期。它的进一步发展，导致有意识地在高温下炒炼生铁料，使之氧化脱碳，成为熟铁或钢。这样，就产生了一个飞跃，即从铸铁脱碳处理的范畴转变成为生铁炒炼成钢（或熟铁）的新技术^⑬。巩县铁生沟汉代冶铁遗址所出地炉式炒铁炉和含碳量不同的铁料，说明在汉代生产规模扩大和军事需要的推动下，这一技术在西汉后期已经产生。由于它操作简便，生产率高，原料易得，因而具有很大优越性，能向社会提供大量廉价、优质的钢料^⑭。这样，在炒铁（炒钢）出现后，到了东汉，铁兵便全部代替铜兵（图版一，5、6），较大的锻铁农具如长达30厘米多的镰和镰也较前增多^⑮。优质钢工具的充分供应，使石刻艺术迅速发展了起来。刘勰《文心雕龙》说：“自后汉以来，碑碣云起”，东汉雕刻精细的石碑、石像、石阙、石室大

量涌现，以及魏晋时期大规模石方工程的兴建，确从一个侧面反映了这一发明的巨大影响^⑥。

百炼成钢 百炼钢是在块炼铁的基础上发展起来的一种制钢方法，块炼铁在高温下经过反复折叠多次锻打，进一步渗碳就成为原始的百炼钢。西汉前期刘胜墓书刀、钢剑就是用百炼钢制成的。这是百炼钢的初期阶段。炒铁发明后，用这种方法炒成的熟铁或钢作原料，质量更加提高，并逐渐发展成为有一定操作规程的完整工艺。由于原料都是生铁炒成的，因而炒铁发明后，百炼钢的原料是生铁而不是块炼铁。山东苍山东汉钢刀是用接近共析成份的炒钢经约三十次的锻炼制成的，刀身刻有“永初六年五月丙午造卅涑大刀”的铭文（图四），比它更早的有永元十六年（公元104年）广汉郡工官所造错金书刀，著录于《汉金文录》。到公元二世纪末叶东汉中平年间，又出现有“百炼清刚”（刚，即钢。钢是后起字）铭文的百炼钢刀^⑦。

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”，“理似坚冰”，称作“华锋”、“清刚”。西晋刘愔所制刀、剑，能削断悬挂在发丝上的十三根稻芒而丝不绝。《太平御览》引陶弘景说，齐梁时号称“中国绝手”的谢平，所作“神剑”能削十五芒。陈琳《武军赋》：“铠则东胡阙巩，百炼精钢”以及《晋书·赫连勃勃载记》关于大夏制百炼钢刀的记述^⑧，说明少数民族地区也已掌握这种技术。自从晋人刘琨写下“何意百炼钢，化作绕指柔”这一脍炙人口的诗句，“百炼成钢”，“千锤百炼”遂成为我国人民和文学创作常用的谚语和题材^⑨。

图四

苍山东汉
钢刀铭文

匀碳制钢 刀、剑、工具的锋刃，要求用硬度较高、淬透性好的中、高碳钢。脱碳制钢，碳份不易控制，经常是得到熟铁或低碳钢。渗碳制钢，费时费工，效率很低。这就须得探索一种新的制钢方法以满足对刃钢^⑩的需求。《重修政和经史证类备用本草》引陶弘景语：“钢铁是杂炼生铁作刀镰者”，《北齐书》讲慕容怀文造宿铁刀，“其法烧生铁精，以重柔铤，数宿则成钢”，都是在高温下把生、熟铁放到一起冶炼使生铁中的碳份向熟铁扩散，又通过碳和氧化夹杂的作用，促使渣铁分离，得到质地较为纯净、含碳较高的钢铁。《北史》还提到慕容怀文宿铁法“今襄国治家用之”。说明这个方法已经推广。它的发明还可以追溯到更早一些时候。东汉王粲《刀铭》：“灌辟以数”，灌、辟又见于晋张协《七命》：“销逾羊头，鑊以锻成，乃炼乃炼，万辟千灌。”“销”、“鑊”指生铁和熟铁，“辟”、“灌”就是折叠和灌注^⑪，“万辟千灌”虽是艺术的夸张，却包含着客观的真实，和宿铁法是很相象的，可见，当时对这一炼钢技术已具相当的认识。到了北齐，技术有所进步，得以减少灌注的次数，数宿即成，已

接近宋代“灌钢”的做法，可以说当时已出现早期形式的灌钢。

炼铁和铸铁技术在这一时期也有很大发展。东汉已有高5—6米、容积约40立方米的大型高炉^②，矿石经破碎筛分入炉，加入石灰石作熔剂，并发明了冶金史、机械史上有重大意义、“用力少见功多”的水排^③。在铸造技术方面，金属型铸造有了进一步发展，还发展了一次可铸几十件铸件的叠铸范技术^④。梁武帝时用数千万斤铁器堵浮山堰决口^⑤，表明南北朝时期长江流域冶铁业已具相当规模。所有这些，特别是灌钢的发明，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^⑥，下一阶段所面临的主要任务，将是巩固和扩大既有成果，在普遍的发展中求得提高。

从唐宋到明中叶，是我国古代钢铁 技术全面发展和趋于定型的时期

经过南北朝长期分裂和隋末农民大起义，随着多民族统一国家和社会经济、文化的进一步发展，冶铁技术也进入一个新的历史时期。长江、珠江流域和闽浙等地冶铁业的迅速成长，使全国冶铁生产的面貌发生了巨大变化。唐代后期，南方产铁量开始超过北方，宋代四监，十二冶、二十务、二十五场，半数以上是在江南。与此同时，辽、金地区也都建立了较为发达的冶铁业^⑦。元代仅燕南、燕北即有铁冶十七所、冶炼户三万多^⑧，到明代湖广铁税占全国总额的三分之一以上，后起的广铁、闽铁誉满天下，快剪刀再也不象杜甫所说，只著称于并州一地了^⑨。

生产的大发展，带来了技术的大普及。安徽繁昌、黑龙江阿城所出宋、金炼铁炉，内径都在1米左右，炉型渐趋一致^⑩。用煤炼铁系我国首创，到宋代更为普遍。徐州利国监发现煤矿，苏轼特作《石炭行》说：“根苗一发浩无际，万人鼓舞千人看，投泥拔火愈光明，烁玉流金是精焊，南山栗林渐可息，北山顽矿何劳锻，为君铸作百炼刀，要折长鲸为万段。”说明开发煤矿后，用煤炼铁，代替用木炭炼铁。陆游《老学庵笔记》说：“北方多石炭，南方多木炭，而蜀又有竹炭，烧巨竹为之，易燃，无烟，耐久，亦奇物。邛州出铁，烹炼利于竹炭，皆用牛车载以入城，予亲见之。”这些都是炼铁业因地制宜、努力开辟新的燃料来源的真实写照。《天工开物·五金》也说：“（炼铁）或用硬木柴，或用煤炭，或用木炭，南北各从利便。”

钢铁技术的普及，突出表现于农具的制作。唐以前铸铁农具仍占相当比例(图五)，其后，特别到了宋代，铲、镰、镰、耙等无不改为锻制，形制已和目前所用同类小农具相近(图六)^⑪。这个意义十分重大的转变，关键就在唐宋以还炒铁技术的成熟与普及。这一时期的文人著述对苗、偃、黎、羌炼剑、锻甲的技术备加推崇，这方面的记载

显著增多，如《独醒杂志》所记“黄钢刀”、《梦溪笔谈》所记青堂羌瘃子甲等，说明在汉族影响下，许多兄弟民族学到了冶铁技术并有所发明，使我国古代钢铁技术更加丰富多彩^③。

通过钢铁技术的全面发展，涌现出一系列重要的发明创造：

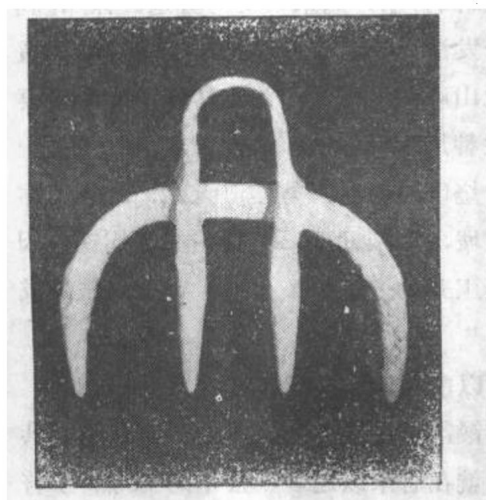
据说，隋澄空铸铁像高七十尺，唐代的“天枢”高一百尺^④。现存的沧州五代铁狮和当阳北宋铁塔都约重十万斤（图七）^④。英国冶金史家考格兰在《旧大陆史前和早期的铁》一书中曾指出：“中国人是世界上第一个生产堪称规模宏大的重型铸铁件的民族”，“在铸作具有巨大尺寸的铸铁件方面，显示了伟大的技术和能力”。这些世界上少有的特大型铸铁件，

糜费了大量人力、物力，是为维护封建统治、宣扬宗教迷信而铸作的，但也确实显示了该时期炼铁生产的发达和技术的精湛，为隋唐以前所未见。就是在现代，要成功地熔铸这么大的铁件也不是轻而易举的事情。

有风就有铁，宋代可能已使用能连续鼓风的鼓风设备（木风箱）。我国独有的坩埚炼铁法，据说也是这一时期的发明。它是把矿石、煤和用作熔剂的“黑土”按一定比例配合装



图五 三门峡唐代铁耬和铁钺



图六 扬州宋代铁耙



图七 沧州五代铁狮

中国冶金史论集

在坩埚内，入炉熔炼，得到生铁。后来曾推广到山东、河南等地，并一直沿用至今^④。

随着对炉气控制和锻打技术的提高，五代时荆州、徐州已能制造“九炼钢”的宝刀、宝剑。到了明代，“钢铁由熟铁九炼而成”成为常规的制钢工艺^⑤。

宿铁法到宋、明发展为“抹钢”^⑥，用熟铁片代替屈盘的“柔铁”，可以增加生、熟铁接触面积，有利碳的扩散和渣、铁分离。“擦而入之”的抹钢法用于小农具制造，便是著名的“生铁淋注”或称“擦生”^⑦。根据沈括《梦溪笔谈》的记述说明灌钢在北宋时已是习见的钢铁技术。抹钢在明代才见诸记载，时间可能迟一些。

在炒铁、灌钢的基础上，广泛使用“夹钢”、“贴钢”这类刚柔兼备的钢铁复合材料，用来制作刀剪、斧凿。钢铁表面处理也有很大发展^⑧。

这一时期钢铁技术最重要的成就，是具有我国自己风格的古代钢铁技术体系的形成。

我国早期铁器时代钢铁技术的主要特征是，低温固态还原和高温液态还原两种炼铁技术与块炼铁锻造和生铁铸造两种加工工艺的同时并用和平行发展（以后者为主）。西汉中期炒铁的发明，打破了铁和钢的界限，把炼铁和制钢这两个原来多少是分开的领域沟通了起来，产生了巨大的推动力。汉魏以后，以生铁为原料的各种制钢技术的兴起，进一步发扬了我国钢铁发展中早期使用生铁这一特点与优点。唐宋时期在前已形成的技术格局的基础上，经过长期探索、鉴别，逐步建立起以蒸石取铁、炒生为熟、“生熟相和，炼成则钢”^⑨为主干，辅以坩埚炼铁、渗碳制钢、夹钢、贴钢等熔炼、加工工艺的完备的钢铁技术体系。这个体系经过将近两千年的发展，具有鲜明的民族特色，和欧洲古代所用以块炼铁为主要原料、钢由块炼铁渗碳制成的钢铁冶炼系统迥然有别。从中外古代铁器也可以看出来，欧洲早期铁犁用熟铁锻制，而汉代铁器用生铁铸成，有的还经过热处理。

明中叶到鸦片战争时期，传统钢铁技术继续缓慢地发展，
但由于帝国主义的侵略而未能向现代钢铁技术转化

明初允许民营坑冶，又减低税率（从二八分成改为十五抽一），冶铁业的规模超过以往任何朝代。但是，在封建生产关系的桎梏下，工农业生产和科学技术的发展都极其缓慢^⑩。这样，当着西欧一些国家向资本主义过渡后，我国的经济、文化便逐步落到了后面。尽管如此，到了明代中叶，资本主义萌芽也在我国——首先是在纺织业和矿业中产生了。云南、陕西、福建、广东等地的矿山、炉场，许多是由“厚资商人”、“大户”出资，通过“硐头”、“厂头”雇募工匠、破产农民采炼的，大的厂矿常聚集数千到上万名工人^⑪。明代四大镇之一的佛山，在明末清初有铸铁、炒铁炉百余座，“昼夜

烹炼，火光烛天”，所产锅等物大量向东南亚出口^⑤。安徽芜湖和湖南宝庆(邵阳)、湘潭的钢坊在嘉庆、咸丰年间，分别发展到十八家和四十余家，出产的钢条行销全国。有的钢坊自设旅舍，招揽过往客商，款项由专门的票号汇划^⑥。这样的作坊虽仍带有浓厚的封建性，但它的进一步发展将转变为资本主义手工工场是无疑义的。

从技术的发展来看，明清时期遵化、汉中、四川、佛山等处的炼铁炉都已高6米以上，大型风箱需四到六人同时拉拽。熔剂除石灰石外，还使用萤石^⑦。方以智《物理小识》说：“煤则各处产之，臭者烧熔而闭之成石，再凿而入炉曰礁，可五日不灭火，煎矿煮石，殊为省力”。欧洲在十八世纪才开始炼焦。我国使用焦炭比欧洲至少要早百余年。过去用木炭炼铁，炼出的生铁，质量很好，但由于木炭机械强度低，炉子不可能太高，从而容量和产量都受到限制。在用焦炭炼铁后，就使炉子的高度增高。随着高炉的增高、加大，必然要提出装料机械化的问题。清初屈大均《广东新语》记炼铁“下铁矿时，与坚炭相杂，以机车从山上飞掷以入炉”，就是使用了装料机械。炼铁用焦炭和“机车”，是明清时期传统钢铁技术出现向现代钢铁技术转变趋势的两个重要标志，也是实现这种转变已具有可能性的明证。总的来说，在产业革命前后一段时间内，我国钢铁业无论从生产规模还是技术水平，和西欧一些国家相比并不逊色。德国人李希霍芬在《中



图八 《天工开物》生熟炼铁炉图

国》一书中承认，直到十九世纪中叶，欧洲生产的钢仍比不上中国的钢条，由于它们比较脆，必须和软铁搀合着使用^⑤。明宋应星的《天工开物》系统阐述我国固有的生产技术，《天工开物》中与金属冶炼、加工技术有关篇幅，接近全书四分之一；王征的《远西奇器图说》介绍国外“实有益于民生日用国家兴作甚急”的器械。这两本书都是社会生产力和科学技术不断发展这一客观要求的现实反映。《天工开物》所载用铁水直接炒炼熟铁的串联法，其工艺思想是十分先进的（图八）^⑥，同书所述人工冷拔技术到清代可能已改为使用简易的拉丝机械^⑦。

综上所述，我们可以得出结论说，由于我国封建社会自身的发展，即或没有外部的影响，也必将逐步过渡到资本主义制度。与此相应，传统的钢铁技术也必定会经由自己的途径，转化为现代钢铁技术。这个过程是被帝国主义的侵略和本国反动派的腐朽统治所打断的。前述芜湖、邵阳、湘潭钢坊在洋钢倾销的打击下，到十九世纪末叶相继倒闭，1909年，最后一家山西票号撤离芜湖。郑观应《盛世危言》说：“洋铁、洋针、洋钉入中国，……华民生计皆为所夺矣。”佛山本有炒铁铺、铁线行各十余家，针行二、三十家，到二十世纪初也几乎全部停业^⑧。在资本主义发展到帝国主义阶段后，我国的经济命脉更进一步被帝国主义列强所控制，根本没有可能建立自己的钢铁工业^⑨。

中国人民有能力自立于世界民族之林

在旧中国湮没不闻的古代钢铁技术，它的丰富内涵，只是在解放后，才逐步被揭示出来，为世所公认^⑩。它的许多发明创造，如生铁冶铸、铸铁柔化、炒铁、灌钢，分别比西方要早一千多年到两千多年，有些还是我国所独有的。在古代和中世纪一个相当长的历史时期内，我国钢铁生产一直位于世界的前列^⑪，公元九世纪初，唐元和年间，铁的年产量约为五万吨，到了十一世纪后期宋治平年间达到二万吨，十五世纪初明永乐年间增至四万五千多吨（英国1740年生铁产量约为两万吨）^⑫。一个重要原因，就是在长期的发展中，形成了一条自己钢铁技术的发展途径，尽管在当时的社会条件下，这一过程是非常缓慢和不自觉，并且经历了许多曲折和痛苦^⑬。特别是生铁和炒铁的发明，使我国钢铁技术在古代长期处于领先的地位，可以说是关键性的两个技术先着^⑭。所有这些，对于我们当前发展钢铁工业、实现钢铁技术现代化，都是有重要启发的。

自古以来，在科学文化方面，我国和其他民族就有友好的交流往来，钢铁技术也是这样。三国时期，魏明帝曾赠给倭国女王卑弥呼五尺刀两口，上文所说中平钢刀也是在日本发现的。其后，日本人民进一步发展了这种技术，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，都曾给予高度的评价^⑮。在近代，据认为美国人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,从中得到启发^⑥。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,中国人民在世界钢铁技术发展中作出了伟大的贡献。

为行文方便起见,若干具体资料和论证放到注释中,供专门的研究者和有兴趣的读者参考。

注 释

- ① 藁城铁刀铜钺是近年来考古学和冶金史上具有重大意义的发现。《考古》1973年第5期,河北省博物馆、文物管理处:《河北藁城台西村的商代遗址》一文报道了这件器物的出土情况。在该文附录中,冶金部钢铁研究院就铁刀断口表面取样观察,鉴于铁锈有分层现象,表层有含硅和钙的包含物,后者呈条状,认为有可能是经人工冶炼而成的古代熟铁。夏鼐在编后记中指出,铁刀也可能是由陨铁制成的。其后,经北京钢铁学院和有关单位再次取样检验,确证铁刀中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;表层含硅、含钙包含物具有复杂的变化的成份,是铁刀锈蚀、风化过程中外来的沉积物,而不是内部夹杂,说明铁刀的原材料确为陨铁,不是人工冶炼所成。详见李众:《关于藁城商代铜钺铁刀的分析》,《考古学报》1976年第2期。

- ② 北京市文物管理处:《北京市平谷县发现商代墓葬》,《文物》1977年第11期。铁刀包入铜钺内部,残存约1厘米,经光谱定性分析含有镍,估计也是陨铁锻成的。

传于1931年在河南浚县出土的铁刀铜钺和铁援铜戈,系西周初年物,后流入美国,藏华盛顿弗里尔博物馆。铁刀经电子探针测定,由含镍较高的陨铁制成,见R.J.Gettens, R.S.Clarke, Jr. and W.T. Chase, Two Early Chinese Bronze Weapons with Meteorite Iron Blades, 1971年。

- ③ 南京博物院:《江苏六合程桥东周墓》,《考古》1965年第3期;《江苏六合程桥二号东周墓》,《考古》1974年第2期。

块炼铁条的检验见李众:《中国封建社会前期钢铁冶炼技术发展的探讨》,《考古学报》1975年第2期。铁块的检验,参见黄展岳《关于中国开始冶铁和使用铁器的问题》一文中的注^⑤,《文物》1976年第8期。

- ④ 铁有“生”、“熟”之分,这种提法是中国所特有的。这个事实也从一个侧面反映着我国古代钢铁技术的独特发展——熟铁由生铁炒成,并且出现很早。作者在《战国两汉铁器的金相学考查初步报告》一文(见《考古学报》1960年第1期)中曾提出,由于我国商周时期青铜冶铸技术的高度发达,铸铁和锻铁同时产生、平行发展是有可能的。1962年,作者在《中国古代铸造技术的发展》一文中,又提出:铸铁、锻铁有可能在若干地区同时或稍有先后地产生(大体在同一历史时期)。迄今为止,考古发掘和实物检验似乎是进一步证实着这种看法,但总的来说,这一问题仍有待更多实物资料的出土并结合文献资料进行系统的研究。

- ⑤ 例如矿石的精选,对于冶铁生产具有重大的意义。赵晔《吴越春秋》:“采五山之铁精,六合之金英”,就说的这个事。早在青铜时代,人们对这一点已有充分的认识,大冶铜绿山许多古矿井就是循着富矿脉掘进的,品位高的孔雀石含铜量达百分之五、六十。

再就青铜范铸技术来说,郑州张寨方鼎、安阳小屯司母辛方鼎都重100公斤左右,著名的司母戊大方鼎更重达875公斤,加上烧损、飞边、飞边等,所用铜料不下千斤。熔铸这样的大型铸件,必须要有较大的熔炉、鼓风机和较高的炉温。至迟到殷商晚期,已能得到1200°C以上的高温,这就从技术上具备了将铁矿石还原为液态生铁的可能性。

长期来,国外有些学者不是从我国冶金技术的自身发展及其内在联系,来探讨冶铁技术的发生、发展及其特点。他们有的把生铁在我国早期出现,看成是一个难解的谜,如美国人T.T.Read即写有Chinese Iron—a puzzle一文(Harvard Journal of Asiatic Studies, 1937),并认为中国很早能冶铸生铁,是由于使用了高磷矿物。虽然由M.A.Pinel, T.A.Wright和Read本人对据说是公元六世纪至十一世纪的六件中国铸铁器所作分析,并没能证明这一论断(铁器含磷量为0.13%—0.23%,仅一件稍高,为