

# 第一编 总论

钢铁生产由手工业转向大规模的机器生产，是从十八世纪开始的。

中国的近代钢铁工业是从一八九〇年张之洞兴建汉阳铁厂开始的。但是在旧中国，钢铁工业基础是很薄弱的，生产能力低下，一九四三年是旧中国产钢最多的一年，产量也只有 92.3 万吨。

新中国成立后，中国的钢铁工业进入了一个崭新的历史时期。人民政府从国民党手中接管来的钢铁工业是一个烂摊子，一九四九年只生产了 15.8 万吨钢。在中国共产党的领导下，钢铁工业战线的广大职工，发挥聪明才智，经过四十多年的不懈努力，使钢铁工业迅速发展起来，一九九四年生产钢 9261 万吨，正向年产一亿吨钢的目标前进。

新中国钢铁工业的发展道路是艰难曲折的。一九四九年建国后到一九五七年，钢铁工业出现了一个黄金时期，钢产量由一九四九年的 15.8 万吨猛增到一九五七年的 535 万吨。一九五八年至一九六〇年“大跃进”时期，国民经济和钢铁工业内部的比例失调，使钢铁生产出现三年大起，两年大落的局面。一九六三年至一九六五年，钢铁工业经过调整、巩固、充实、提高，生产逐渐恢复，一九六六年钢产量达到 1532 万吨的新水平。一九六六年中到一九七六年的“文化大革命”，又使钢铁工业陷入十年徘徊之中。一九七六年打倒“四人帮”之后，钢铁工业又得以恢复和发展。一九七八年十二月中共十一届三中全会以后，钢铁工业在改革开放的大好形势下，得到了突飞猛进的发展，一九九三年钢产量达到 8954 万吨，居世界第二位，为国民经济建设做出了重大贡献。

新中国的钢铁工业经过广大职工的艰苦奋斗，逐步形成了一个以大为主，大中小企业相结合，品种比较齐全，质量、效益和新技术比重不断提高，地区布局渐趋合理，具有中国社会主义特

色的完整的钢铁工业体系，并正在进一步建立社会主义市场经济，实现钢铁工业的现代化。中国钢铁工业将在跨越二十一世纪的历史过程中，对国民经济发挥更大的作用。

# 第一章

## 中国钢铁工业概况

### 第一节 钢铁和钢材的生产过程

铁，化学符号是 Fe，原子序数为 26，原子量为 55.847。

纯铁是银白色金属，熔点为 1535℃ 沸点为 2750℃ 比重为 7.85。铁在室温时富有延展性，可锻性好，硬度达莫氏硬标 4.5，是铁磁性物质，磁化和去磁都很快。铁的丰度（即在地壳中的含量比例）为 5.63%，在已知化学元素中仅次于氧（46.4%）、硅（28.15%）、铝（8.23%），而居第四位。铁主要存在于地核中，故其在整个地球中的含量约占 35%。

铁的化学性质较活泼，在潮湿的空气中极易氧化。在地球表面上和地壳中除了铁陨石和少量地表铁以金属状态存在外，纯净的金属铁很少见，绝大部分都同其他元素形成化合物。地壳中的含铁矿物有 300 多种。其中最主要的铁矿物有：磁铁矿（ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ），铁黑色，具有磁性；赤铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ），赭红色，或铁黑至钢灰色；褐铁矿（ $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ），黄褐色至褐黄色；菱铁矿（ $\text{FeCO}_3$ ），钢灰色；黄铁矿（ $\text{FeS}_2$ ），淡金黄色。黄铁矿含硫过高不适于炼铁，而磁铁矿等都是钢铁工业的主要炼铁原料。磁铁矿的最高理论品位

为 72.36%。铁矿品位（即矿石中含铁量的百分比）在 45% 以下的一般称为贫矿，在 45% 以上的称为富矿。中国的铁矿资源，富矿很少，绝大多数为品位 30% 以上的贫矿。

人们通常讲的钢铁工业中的钢和铁，是一种以铁元素为主而同时含有其他元素组成的铁—碳等合金。“生铁”和“钢”，通常是根据含碳量的多少来划分的。一般地说，含碳 2% 以上的称为生铁，含碳 2% 以下的称为钢。含碳小于 0.1% 的称为熟铁，含碳小于 0.02% 的称为工业纯铁。由于含碳量的不同，生铁和钢的性能有所不同。生铁坚硬耐磨，性脆，缺乏延展性，不能锻打或塑性加工，但可以浇铸成型，亦称铸铁。含碳在 6.67% 以上的生铁由于过脆而无法使用。同生铁相比，钢不但具有良好的韧性，也有较高的机械强度，用途十分广泛。钢因含碳量的高低而分为高碳钢 ( $C > 0.60\%$ )，中碳钢 ( $C = 0.25\% - 0.60\%$ )，低碳钢 ( $C < 0.25\%$ )。一般说，碳含量增加时钢的强度也增强，但韧性、塑性减弱；碳含量低时则有较好的韧性与塑性。

钢铁除含有碳元素外，还含有微量残余元素和杂质，最常见的有硅、锰、磷、硫等。在一般的钢中，磷、硫是有害元素。含磷较高的钢在冷加工时发生脆裂，冶金学上称之为“冷脆”，而含硫较高的钢在热加工时发生开裂，冶金学上称之为“热脆”。因此，钢铁产品的磷、硫含量都必需严加控制。含磷、硫低的才称为优质钢铁。因此，中国钢铁工业的产品标准规定：普通钢的硫应低于 0.055%，磷应低于 0.045%；而优质钢的硫、磷含量应在 0.035% 以下；为了进一步提高钢的质量，要求高级优质钢的磷、硫含量应低于 0.01%，甚至更低。

为了改善钢的性能或使之获得某种新的性能，人们有意在炼钢过程中加入适量的一种或多种元素，以炼出具有各种高性能的

钢，称为合金钢。与此相对应，新加入的元素称为合金元素，通常有锰、铬、镍、钼、钨、钒、钛、锆、铌、钴、铜、铝、稀土等金属和硅、硼等非金属元素。加入合金钢中的合金元素的总含量在 5% 以下的称为低合金钢，5% 以上的称为合金钢，而合金元素总量超过 50% 的，则称为合金，如高温合金、精密合金等。各种不同性能的合金钢比起碳素钢来，具有较高的强度、韧性、耐磨性、耐疲劳性、耐腐蚀性、耐热性、耐低温性、焊接性、易加工性，或高的使用寿命等性能。比如加入一定量的铬和镍，可以成为不锈钢。各发达国家的钢产量中合金钢约有 10%，还有低合金钢 15—20%。而以含碳为主的钢则称为碳素钢，碳素钢的产量一般占 70%。

史学家曾经以制作生产工具的主要材料来划分时代，即石器时代、青铜时代、铁器时代。人类大约在公元前一千年开始进入铁器时代，至今仍处在这个时代的鼎盛时期。古代早期炼出的铁，是在较低的冶炼温度下，以铁矿石固态还原的方法获得的。这种铁块被称为块炼铁，也叫锻铁，最早发源于亚洲西部地区，公元前五百年传到英国。在欧洲地区，直到十四世纪炼出生铁之前，主要采用低温固态还原的块炼铁法来生产铁器。中国大约在春秋末年（公元前六世纪），开始冶铁，较欧洲早两千年生产和应用生铁，并在公元前一、二世纪用生铁炼钢，在技术上曾长期居于世界领先地位。在人类的历史发展中，铁器时代曾被恩格斯称为一切文明民族的“英雄时代”。他说：从铁矿的冶炼开始，人类由“野蛮时代”过渡到“文明时代”。他还认为，铁是“历史上起过革命作用的各种原料中最后和最重要的一种原料。”<sup>①</sup> 手工业冶炼的钢铁

① 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1972 年版，第 21 页、159 页。

材料，曾对世界古代文明起过极大的推动作用。

但是，钢铁生产在世界范围内从手工业普遍转向用大规模的近代技术和机器生产，并使钢铁工业本身成为各国工业化的基础与支柱，则是 18 世纪英国产业革命以后，近几百年以来的事。

十五世纪初，欧洲发展了用高炉冶炼生铁。一七〇九年，英国的达比（A. Darby）用焦炭代替木炭炼铁成功。十八世纪八十年代，蒸汽机的发明和采用，又大大改善了高炉的鼓风设备。一八二八年，英国煤气工程师尼尔森（J·B·Neilson）发明用热空气代替冷空气鼓风，使高炉炼铁的燃料消耗大为降低。这一连串技术进步，使欧洲的近代炼铁工业在十九世纪上半叶得到了惊人的发展。高炉生铁的品种分三类：一类是炼钢生铁，含硅量约 0.6%—1.75%，占生铁产量的 80%—90%；第二类是铸造生铁，含硅量大于 1.75%，占生铁产量的 10%左右；第三类是铁合金，如锰铁、镍铁、含钒生铁等。

一八五六年，英国贝塞麦（H·Bessemer）向转炉的铁水中吹入空气炼钢成功，发明了空气转炉炼钢法。这样可使铁中的硅、锰、碳等元素迅速降低，并产生大量热能，可以把液态的生铁吹炼成液态的钢。这使钢铁冶炼进入一个新时期。但它不能吹炼高磷铁水，未能推广。一八七七年托马斯（S·G·Thomas）又发明了碱性炉（代替酸性炉）和碱性造渣法炼钢，可以大量去磷，提高了转炉的生产水平，有利于西欧高磷铁矿的利用。

一八五六年，英国工程师西门子（K·W·Siemens）取得了蓄热式炉的专利，随后利用气体燃料将蓄热室用于反射炉炼钢成功（用生铁——矿石作原料）。一八六四年，法国工程师马丁（P·E·Martin）利用这一原理，发明了西门子——马丁炉即平炉，同空气转炉相比，平炉的炉温可以显著提高，并能多用废钢作原

料。

一八九九年，法国的埃鲁（P·L·T·Heroult）创造了工业性直接加热电弧炉，利用电极端部和炉料之间发生的电弧的高温进行炼钢，适用于炼优质钢和合金钢。

这一时期，用带有孔型的轧辊轧制热钢锭的轧钢机也相继问世。一七二八年，英国设计了生产圆棒材的轧机。一七六六年，英国有了串列式小型轧机。十九世纪中叶，第一台可逆式板材轧机在英国投产，并轧出了船用钢板。一八四八年，德国发明了万能式轧机。一八五三年，美国开始用三辊式型材轧机，接着出现了劳特式轧机。二十世纪初，美国制成半连续式轧板机。

这样，世界特别是欧洲和美国的钢铁工业就进入了近代化大生产阶段，推动了欧美各国的工业化。

二十世纪下半叶，钢铁生产技术又出现了革命性发展。首先，是炼铁高炉使用了还原性能好，强度和含铁品位都高的烧结矿或球团矿作原料，并将热风温度从 300—500℃ 提高到 1000—1200℃ 采用 0.2—0.25 兆帕的高压炉顶操作，采用富氧鼓风、喷吹煤粉、无料钟炉顶等新技术，在七十年代、八十年代还采用了电子计算机控制生产过程，使炼铁效率大大提高。

随着制造氧气的工业化，氧气的价格大幅度降低。一九五二年，奥地利的林茨（Linz）钢厂和多纳维茨（Donawitz）钢厂运用了德国人杜雷尔（R·Durrer）等人用氧气代替空气的原理，建成了氧气顶吹转炉，改变了过去从转炉底部向炉中吹入空气炼钢的老方法，而从转炉顶部将高压氧气（纯度 99.5%）通过水冷喷枪，以超音速直接喷入铁水炼钢。

这种方法充分利用了当地高锰低磷的铁水，而且投资省、效率高、耗能少，炼出的钢质量也好，很快风行各国，取代了空气

转炉和平炉而成为现代占主导地位的炼钢方法（工业上叫氧气顶吹转炉炼钢法。又称 LD 法，以林茨厂和多纳维茨厂的第一个字母命名）。后来，也有将氧气从底部吹入炼钢的转炉，可起搅拌和稳定的作用。七十年代以后，吸取上述两种吹氧方式的优点，又对 LD 法转炉从底部吹入其他气体（如氩、氮、二氧化碳、氧气等），称为顶底复合吹炼，改善了钢质，提高了效率。

在铸钢方法上，五十年代开始将用钢锭模铸钢改为连续铸钢，使钢水连续不断地通过水冷结晶器，凝成硬壳后从下方出口直接拉成所需的坯型（方坯、圆坯或板坯）。同模铸相比，可以提高钢材的综合收得率 10% 左右，提高钢坯质量，改善劳动条件，还可节省能源。这一方法在 60 年代得到大规模推广，到八十年代一些发达产钢国已基本上实现了连铸化（80—90% 以上）。

在轧钢生产方面，则向高速化、连续化、电脑化和产品高精度方向发展，如连续热轧带钢轧机的速度可达 30 米/秒，45° 无扭线材轧机的终轧速度可达 70—90 米/秒。无论是粗轧或精轧，都已由横列式或往复式轧制改为多机架连续轧制，大大提高了轧钢机的效率。更为重要的是，无论是板、管轧机或型材轧机，都在产品的多品种、高精度和高档次方面有了很大的进步。电镀锌、电镀锡的薄板、涂层钢板、冷轧硅钢片等高精度产品的大量上市，推动了高档机械、电气工业的发展。

与此同时，还出现了不用高炉的“直接还原”炼铁法（制得的是海绵铁或金属化球团，可用作炼钢原料）；在电炉方面，也出现了超高功率电炉或直流电弧炉，大大提高了生产效率；在炼钢厂出现的铁水预处理和炉外二次精炼等先进工艺，为实行精料操作和改善钢的纯净度，创造了条件；八十年代进行的“熔融还原”工业化试验可以用煤制得熔融的铁水；近年来薄板坯连铸机

的试验和投产，也可使钢板只经过连铸而毋需进一步开坯，大大减少了随后的轧制工作量，节省了投资，简化了设备，提高了生产率。七十年代以来从冶炼到轧制，还逐步采用了电脑控制生产过程，使钢铁工业进入了高度自动化的新阶段。

总之，经过五十到八十年代以来的新的技术发展，钢铁工业从采矿、选矿、烧结、球团、炼焦、炼铁、炼钢、铸钢，一直到轧钢，还包括铁合金、炭素制品、耐火材料等原材料的生产，已基本形成了一套系统的、相当现代化的生产技术，使钢铁工业的生产发展到了一个崭新的水平。一九八九年，全世界共生产粗钢 7.85 亿吨，再创历史最高纪录。但从此以后，至九十年代初期全世界粗钢产量呈下降趋势：一九九〇年为 7.70 亿吨，一九九一年为 7.37 亿吨，一九九二年为 7.22 亿吨，一九九四年为 7.23 亿吨。而中国的粗钢产量却逐年增加；钢产量排序由一九八九年居世界第四位（位于苏联、日本、美国之后）跃居到一九九三年仅次于日本而居第二位。

根据上述生产技术的发展简况，七十、八十年代钢铁工业的一般生产流程大体可以概述如下。

（一）采矿、选矿、烧结（或球团）的原料生产系统。采矿实际上是对岩矿实行初步分离的过程。即根据自然矿产资源在地壳里的埋藏状况，分别选择露天或地下开采方式，通过凿岩、爆破、装运和破碎等工序，将需用的矿物进行采出的过程。选矿实际上是对贫矿实行“富集”并对含有有害或其他成分的矿石进行“选别”的过程，即将矿石粉碎、磨细后，再通过重力选矿、磁力选矿、浮游选矿或电力选矿等多种工艺，除去有害杂质，富集出高品位的精矿粉。烧结则是将精矿粉同有关熔剂烧结成块（或制成球团），使矿粉固结为有较好透气性和一定强度的、适于冶炼的块

状或球状物。这一过程是为炼铁准备“精料”的过程。

(二) 高炉炼铁生产系统。高炉生产的过程，实际上是用焦炭（包括煤粉、油、气等燃料）对铁矿（主要是含铁的氧化矿物）进行“还原”的过程。焦炭和铁原料（烧结矿或球团矿或富铁矿），配上熔剂等从炉顶布入炉内，高温热风从炉缸上部鼓入，经过还原反应，铁原料被还原并熔化为铁水，其他物质形成渣水，与铁水分开。高炉采用富氧鼓风、高压操作、高风温、喷吹煤粉或富氧，实行精料和自动控制等多种新技术后，单位容积的日产量（也称利用系数）大幅度提高。吨铁燃料和焦炭消耗（称综合燃料比和焦比）显著下降。

(三) 炼钢和铸钢生产系统。炼钢实际上是将废钢和熔融铁水，加上熔剂（石灰、石灰石、萤石等），在炼钢炉中使铁水的杂质元素氧化并加入合金元素的过程。通过炼钢，铁水中的部分碳氧化成一氧化碳或二氧化碳逸出，其他杂质元素以氧化物或其他化合物状态进入炉渣，使钢达到预定的化学成分。炼钢除已广泛采用氧气顶吹转炉或转炉复合吹炼外，电炉生产也高效化了。为了提高钢的质量，减少炼钢炉负担，已普遍在炉前加了铁水预处理（去硫、去磷、去硅）装置，在炉后加了各种炉外精炼的设备以降低钢中含气（氢、氧、氮等）量，消除有害杂质，提高钢的纯净度和质量。铸钢过程的连续化，即以连续铸钢代替模铸，是铸钢生产技术的重大革命。

(四) 轧制生产系统。钢锭或钢坯加热后，经过轧钢机轧成所需的钢材，实际上是一种塑性加工变形和改善钢的内部结构的过程。轧机轧出的钢材，不仅使原来粗大不均匀的铸造结构变成均匀的细晶组织，得以提高机械性能，而且可以变成型钢、线材、钢轨、钢板、钢管、车轮、轮箍等各种形状和规格的钢材，以供应

有不同用途和不同性能要求的用户除热轧外，在常温下经冷轧机轧制的钢材，具有更好的精度、机械性能、表面光洁度和内部组织。连轧技术、冷轧技术、高速轧制和控制轧制、控制冷却，以及高刚度轧机、高精度轧制等新技术的发展和应⤿用，为扩大钢材品种，提高钢材质量，开辟了广阔的前景。

以上钢铁产品的联合生产流程，有如图 1 所示。七十、八十年代，除上述的采、选、烧、焦—高炉炼铁—转炉（电炉）炼钢—（连铸）—连续轧钢的传统联合生产流程（也称长流程）以外，还有废钢（或海绵铁、或熔融还原铁水、或氧化球团）—电炉（或转炉）—连铸（或近终形连铸）—轧钢这种不用高炉的短联合生产流程。

## 第二节 古代和近代中国钢铁工业的盛衰

中国很早就掌握了冶铁制钢的技术，是首先使用铸铁和用生铁炼钢的文明古国，在钢铁冶炼技术上有着悠久而灿烂的历史。

早在距今二千五百年前的春秋战国之交，中国人就⤿已能生产和使用铁器。人类早期从矿石中炼得的通常是“块炼铁”。这是在 800—1000℃ 的高温条件下，由木炭还原直接得到的一种含有大量非金属夹杂的海绵状的固体铁块，需要经过锻造除渣成型。而生铁则是在 1150—1300℃ 的更高温度条件下冶炼出来的，出炉的时候产品呈液态，非金属夹杂少，可连续生产，也可浇铸成型，生产效率和质量都大大优于块炼铁。国外很早就可以生产“块炼铁”，但一直到十四世纪末、十五世纪初才能生产液态的可铸成型的生铁。从文物中已证实，中国的近代炼铁时间虽比国外为晚，但已出土的春秋、战国之交的铁器，不少却是生铁铸成的。如江苏

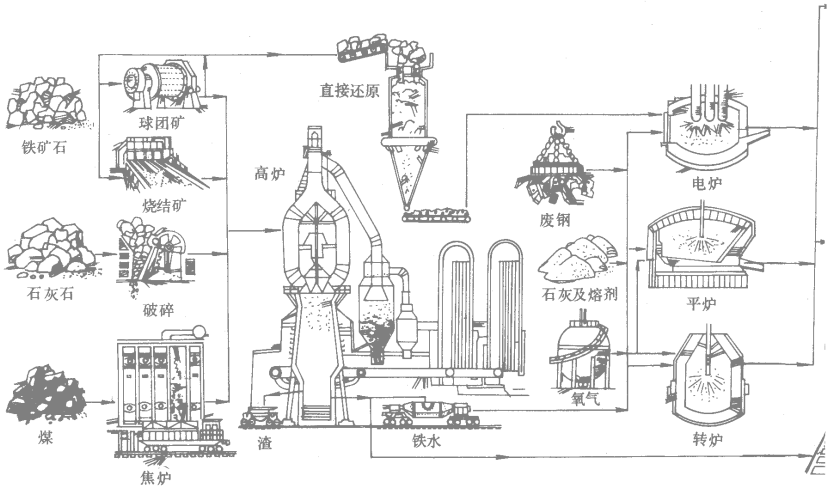
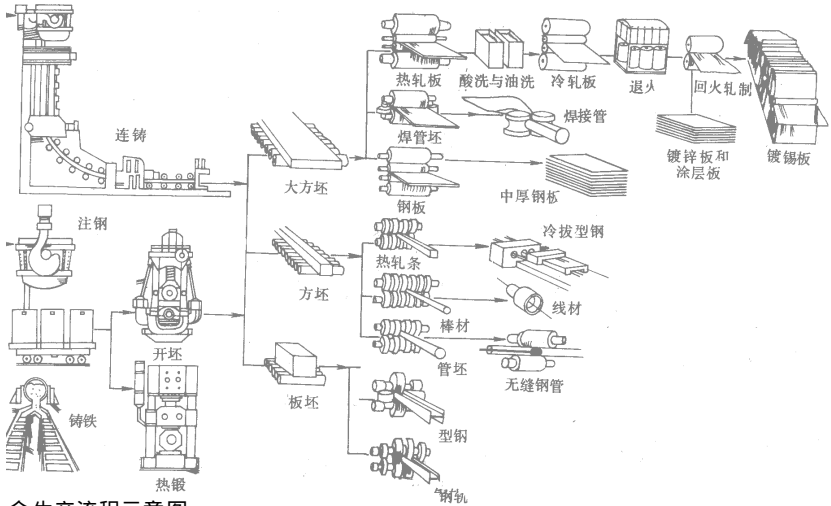


图1 钢铁产品的联



合生产流程示意图

六合程桥出土的春秋晚期的 — 件铁块经分析是中国出土的最早的生铁实物，也可说是世界上出土最早的生铁实物。出土的战国早期铁器，也多是生铁的。出土的战国中晚期生产工具，如铁锄头、铁锄、铁镰、铁口犁等，也大多是铸铁经过热处理的，块炼铁较少。这说明中国在战国时期冶铸生铁的技术已在世界遥遥领先。究其原因，可能是继承了中国高超的青铜冶铸技术，有了较强力的鼓风系统（皮囊），对原料经过一定的选矿处理，并较早地发明了较高的竖炉。

中国早在春秋战国时就有冶炼、铸造并使用生铁的历史，这已被大量出土文物所证明。如河南辉县固围村的战国墓中，就出土过铁锄、铁斧等农具、工具 90 余件。而且从古籍中，也不断可找到当时已进入铁器时代的记载。一九五三年长沙出土的战国楚竹简，就有“铁箕一十二箕”的简文。《荀子·议兵篇》说：“宛巨铁铍，惨若蜂虿”。《孟子·滕文公》也记载过孟轲对许行的问话：“许子以釜甑<sub>平</sub>，以铁耕乎？”中国大史学家、文学家司马迁在《太史公自序》中述说自己的身世时，也谈到过他祖父的祖父司马昌，在战国时“为秦主铁官”，说明那时秦国已任命专门的官职来掌管官营的炼铁生产。

司马迁还在《史记·货殖列传》中记述了战国晚期中国炼铁业的盛况和几个有名的炼铁巨子。他说：当时中国“铜铁则千里，往往山出棋置”，意思上铜铁之山在千里之内，如棋子一般分布着。他记载的炼铁巨商大贾有：邯郸的郭纵、蜀的卓氏、临邛的程郑、南阳的孔氏、鲁的曹邴氏等人。如说：“邯郸郭纵以铁冶成业，与王者埒富”；又说：“蜀卓氏之先，赵人也，用铁冶富”。秦破赵后，卓氏被迁徙到四川临邛（即邛崃）后，“即铁山鼓铸，运筹策，倾滇蜀之民，富至僮千人。田池射猎之乐，拟于人君”。可见卓氏当

时已是一个善于筹划管理冶铁业的巨子，他就是西汉著名文学家司马相如的夫人卓文君的祖先。至于程郑，也是从山东迁居临邛冶铸的，富埒卓氏。而南阳的孔氏、山东的曹邠氏，都是因冶铸而富至巨万的。由这些人冶铁积累财富的规模，可见战国晚期中国冶铸业的盛况。

到了汉代，中国冶铁业实行官营，冶炼技术和炼铁点的分布，都有了很大的进展。据《汉书·地理志》记载：汉武帝时（公元一一九年）已在全国设立了 48 个铁官，下面设有炼铁场。这 48 个铁官分布的地点是：郑（陕西华县）、夏阳（陕西韩城县）、雍（陕西凤翔县）、漆（陕西彬县）、宜阳（河南宜阳县）、澠池（河南澠池县）、安邑（山西夏县）、皮氏（山西河津县）、平阳（山西临汾县）、绛（山西曲沃县）、大陵（山西文水县）、隆慮（河南林县）、雒阳（河南洛阳市）、阳城（河南登封县）、西平（河南西平县）、宛（河南南阳市）、皖（安徽潜山县）、昌邑（山东金乡县）、沛（江苏沛县）、武安（河北武安县）、都乡（可能是河北井陘县，待考）、涿（河北涿县）、千乘（山东高青县）、东平陵（山东章丘县）、历城（山东济南市）、嬴（山东莱芜县）、临淄（山东淄博市）、东牟（山东牟平县）、东武（山东诸城）、下邳（江苏睢宁县）、朐（江苏连云港市）、盐渑（江苏盐城）、堂邑（江苏六合县）、沔阳（陕西勉县）、临邛（四川邛崃县）、武阳（四川彭山县）、南安（四川乐山）、狄道（甘肃临洮县）、渔阳（北京市密云县）、夕阳（河北迁西县）、平郭（辽宁盖县）、北平（河北满城县）、郁秩（山东平度县）、莒（山东莒县）、无盐（山东东平县）、鲁（山东曲阜县）、彭城（江苏徐州）、广陵（江苏扬州市）。这 48 个铁官当时分布大河上下和长江南北的 39 个郡内，区域辽阔，足见汉武帝时炼铁规模之宏大。汉武帝时还起用过南阳孔氏后代孔

谨，以及桑弘羊等人当大司农，主管全国铁官的生产。著名的《盐铁论》就是记载桑弘羊同诸贤良辩论当时盐铁政策的著作。已经发掘的河南汉代冶铁遗址，占地约 6 万平方米，有 2 座炼铁炉的遗迹，每座炉缸面积 8.5 平方米，残留积铁重达 20 余吨。

汉代在冶铁、铸铁的同时，还发展了制钢技术和锻钢技术，到东汉末年成为有名的“百炼钢”技术。百炼钢技术是中国古代的一种锻钢工艺，其主要特点是将生铁熔化炒炼脱碳成钢。再经过反复加热锻打成钢刀。反复折叠锻打，可以去除夹杂，细化晶粒，致密组织，提高韧性。所谓百炼，是形容其锻打次数之多。这种炼钢技术在东汉时不断提高，到二世纪末叶，正式出现了“百炼”之称。一九六一年，日本大和栎本东大寺古墓曾出土过一把中国东汉中平年间（公元一八四—一八九年）的钢刀，上有错金铭文“百练清刚”等字；“练”即“炼”；“刚”即“钢”。一九七四年，山东临沂地区苍山县还出土过一把三十炼的钢刀。上有错金铭文“卅炼大刀”，是东汉永初六年（公元一一二年）造的，刀长 111.5 厘米。经化验，钢的组织较均匀，含碳量较高（0.6—0.7%），刃部经过淬火。这说明东汉时期中国就掌握了比较高的生铁炼钢和锻造技术，热处理技术也达到一定的水平。东汉时，南阳太守杜诗还推行了以水力代替人力鼓风（公元三十一年后），用来炼铁并铸造农器，这也推动了钢铁生产技术的发展。《后汉书》说：杜诗“造水排铸造农器，用力少，见功多，百姓便之”。到三国和晋朝时，百炼钢技术比较成熟，曹植在《宝刀赋》中称赞这种百炼钢刀可以“陆斩犀革，水断龙舟”。曹操、孙权、刘备为了争夺中原，争相炼制这类钢刀和钢剑。百炼钢的原料主要是“炒钢”。“炒钢”技术发展于西汉末年。“炒钢”的原料是生铁。把生铁加热到液态并不断地加以搅拌，靠鼓风或加入精矿粉，使铁中