



“十二五”

国家重点图书出版规划项目

中国 机械史

HISTORY OF
MACHINERY IN
CHINA

技术卷



中国机械工程学会 编著
CHINESE MECHANICAL ENGINEERING SOCIETY



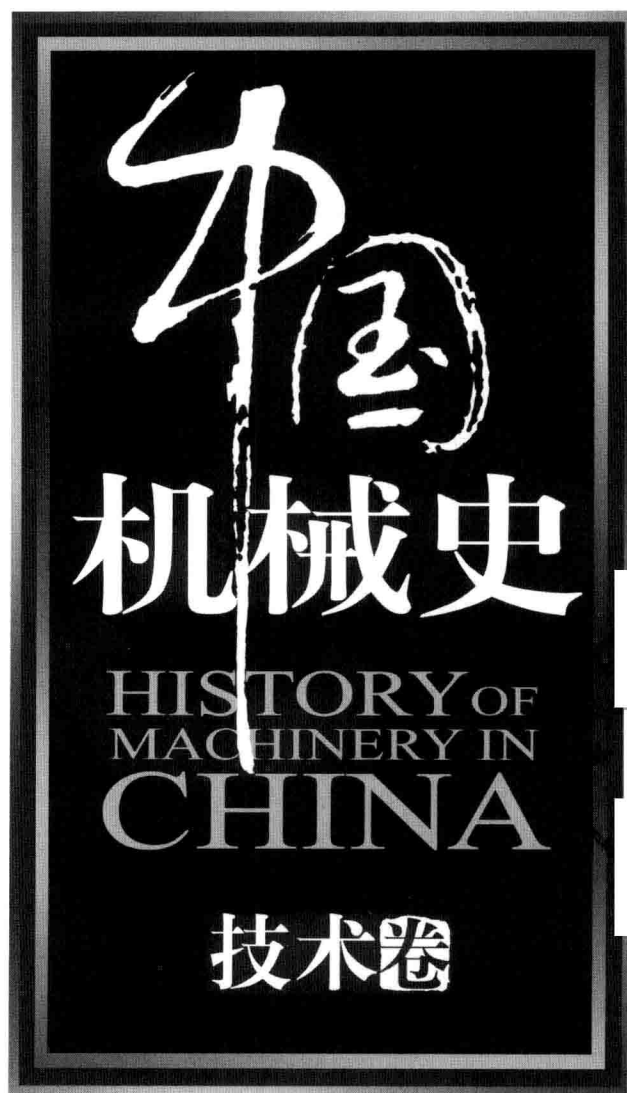
中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FUNDING

“十二五”

国家重点图书出版规划项目



中国机械工程学会
CHINESE MECHANICAL ENGINEERING SOCIETY

编著

中国科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国机械史. 技术卷 / 中国机械工程学会编. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.11

ISBN 978-7-5046-6226-2

I. ①中… II. ①中… III. ①机械工业—工业技术—技术史—中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 237245 号

策划编辑 吕建华 许 英 赵 晖
责任编辑 赵 晖 夏凤金 赵 佳
装帧设计 中文天地
责任校对 刘洪岩
责任印制 李春利 徐 飞

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编 100081
发行电话 010-62173865
传 真 010-62179148
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 889mm × 1194mm 1/16
字 数 745千字
印 张 29.25
版 次 2014年11月第1版
印 次 2014年11月第1次印刷
印 刷 北京华联印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6226-2/F · 753
定 价 188.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



中国机械史

顾	问	路甬祥	何光远	陆燕荪
主	编	黄开亮	郭可谦	
策	划	宋天虎	陈超志	
编	审	柳乃复		
责任编辑	陈秀敏			
特约编辑	黄 慧			

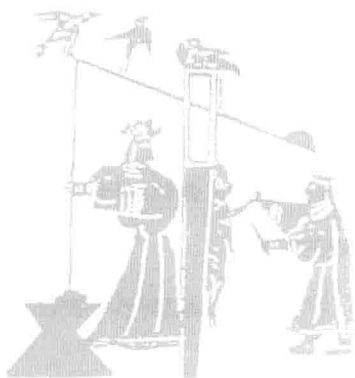


技术卷 编撰人员

主 编 黄开亮

撰 稿 人 第一章 陆明炯 瞿家骅 严阿龙
第二章 汪德涛
第三章 王至尧 徐均良 楚振斌 高亨德
第四章 李维镕 苏仕方 丁宏升 苗治全
第五章 蔡 壖
第六章 何丽君
第七章 樊东黎 唐 电
第八章 刘世参 朱绍华 何 实 张 伟 许 一
第九章 郭可谦
第十章 王家善
第十一章 王玉铨 郭再凤 依英奇
第十二章 赵中浚
第十三章 王先逵
第十四章 王 豫 唐 粲

审 稿 柳乃复 许 英 吕建华



总序

中国是世界上使用与发展机械最早的国家之一。中国古代机械的发明与应用，曾长时间领先世界。在机械原理、结构设计、材料开发、动力应用和工艺技术等方面都取得了极高成就；许多古代机械制品的先进构思、精湛工艺至今尤令西方人折服；许多重要发明创造曾引领世界文明的进程。但由于种种原因，明、清两代 300 年以来，中国的机械制造停滞不前；在中华人民共和国成立时，已经远远落后于时代。针对中国机械工业的落后，毛泽东同志在 1954 年有过一段形象的描述：“现在我们能制造什么？能造桌子、椅子，能造茶壶、茶碗，能种粮食还能磨成面粉，还能造纸，但是一辆汽车、一架飞机、一辆坦克、一辆拖拉机都不能制造。”

中华人民共和国成立后，特别是 21 世纪以来，中国机械工业的高速发展震惊世界。2009 年，中国机械工业总量居世界第一位，汽车、机床、发电设备、拖拉机、船舶、轨道车辆等许多重要机械产品产量已居世界第一位。不仅研制了三峡 700MW 水电机组、超超临界 1000MW 火电机组、1000kV 交流和 $\pm 800\text{kV}$ 直流等特高压输变电设备、大型液化天然气运输船、350km/h 动车组等世界领先机械装备，还有卫星上天、神舟飞船等尖端技术装备系统的自主研制并发射成功。中国正由机械大国向世界机械强国奋进。

几千年来，中国机械制造的发展，经历了领先于世界—落后于时代—再度崛起这一兴衰过程，其中的成败教训和复兴历程，对中国机械现在与未来的发展，极富历史借鉴价值和现实意义。中国机械工业的历史还在继续，为了中国机械工业的未来，中国机械工程学会义不容辞地为中国机械制造的发展历程编撰一部较为完整的《中国机械史》。《中国机械史》还可能是中国工业界的第一部行业史，不仅开工业行业史之先河，而且对促进中国机械工业新的跨越发展也极富意义。

在中国古代、近代机械的发展过程中，已产生了不少专著。在此基础上，《中国机械史》传承已有研究成果，重点放在对现代机械史的研究上，为此，约请了一批知名的专家、学者撰稿，比较全面地介绍中国现代机械工业发展的全过程，记录了机械工业不同时期的体制改革、技术进步、产品发展、经济社会效益、时代背景等，图文并茂。回顾历史，发人深省，催人奋进；以史为鉴，指导现实，开创未来。

《中国机械史》的编撰构思始于 21 世纪初，2003 年开始部署，2013 年全部完成。全书共分：图志卷、通史卷、技术卷和行业卷 4 卷。

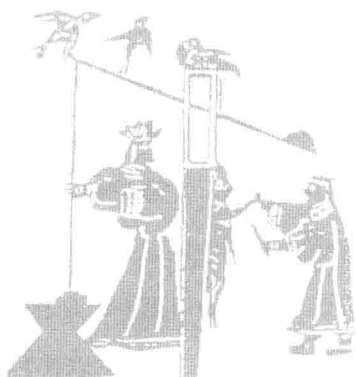
我们相信，《中国机械史》将对 21 世纪中国加快工业化进程，以信息化推动工业化，自主创新，促进以绿色、智能为特征的机械产品的研发、设计、制造和应用发挥积极的影响。

《中国机械史》是百余位长期从事机械工业各方面工作的著名专家、学者、教授辛勤劳动的成果，谨向撰稿、编辑出版者表示衷心感谢！

是为序。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '杨觉' (Yang Jue), written in a cursive style.

2013年5月



前言

《中国机械史》记载着中国机械从石器时代的简单工具，发展到现代化复杂机器的全过程，是记载中国古代、近代和现代机械发展的全书。编撰构思始于 2003 年，全部完成于 2013 年，历时 10 年。

中国是世界上使用与发展机械最早的国家之一。几千年来，中国机械经济与技术成就很多，为人类文明和社会进步作出了重要贡献。长期以来，对于古代机械，众多专家、学者通过众多古籍及考古发现进行了深入细致的研究，积累了大量有关信息和数据，其中也包括许多外国学者的出色工作成果；本书古代机械史部分的撰写，作者们已经尽力而为，虽未敢轻言超越，但已足以彰显中华的古代文明。从 1840 年鸦片战争开始到 1949 年中华人民共和国成立是中国近代机械工业诞生和发展时期；1949 年以后开创了中国现代机械工业。这两个时期是中国机械工业发展史实最丰富的时期。但随着时代的远去，20 世纪的渐行渐远，搜求这百余年的机械工业发展相关史料，也是十分繁细和浩瀚的工程；触其尾，仿佛就在昨天，而望其首，已感遥不可及。担负此次撰稿的作者，大多是亲身经历过 20 世纪机械工业发展，且作出过贡献的专家、学者，他们多数已属高龄。这些阅历丰富的老专家、老学者，听说过洋务运动，经历过旧中国近代机械工业的艰难困顿；更多的是在新中国的建设事业中，施展了他们的才华、奉献了青春岁月。由他们来撰写近现代机械工业史最为合适。这是本书的重大特点，更可以说是一部中华人民共和国成立以来最真实最详尽的现代机械工业史。

中华人民共和国成立 60 余年来，机械工业经历了曲折发展的过程。本书作者用大量事实说明到 21 世纪初，我国机械工业已取得了巨大成就，已能基本满足国民经济生产和人民生活提出的各种要求；机械工业中的不少产品，如机床、发电设备、汽车、工程机械等在产量上已居世界前列，已可称为机械大国，给了我们自豪感，增强了我们的民族自信心。但同时，本书作者也明确指出了我们的差距，包括关键技术上的落后、现代管理上的不足、政策法规上的缺失等，这又给了我们紧迫感，要我们更加发奋图强。本书集成了中国机械工业古今发展方方面面的史实。总体看，本书的编著，

具有四大特色：一是不仅汇集了大量古代史、近代史的史实，而且用了大量的篇幅，更多地着眼于现代机械工业的发展史实；二是突破了行业、学科界线，既有民用机械，也有军用武器；既有资本货物类机械装备，也有轻工日用机械和文化机械；既讲制造技术，也说产品成就；三是主要叙说中国的机械工业，也有港台地区的有关资料；四是突破了经济、技术的界线，全方位地记载了中国机械的发展。本书是研究中国机械发展的重要参考书籍。《中国机械史》，全书约 800 万字，分卷出版。除《图志卷》是以图片直观和文字提要互补的缩写本外，其他按内容分三卷，即《通史卷》、《技术卷》、《行业卷》。为方便国外读者阅读，《图志卷》还以中英文双语形式出版，已于 2011 年问世。

《通史卷》，以技术领域为分章，以年代为序，勾画出中国机械发展的脉络和发展概貌，翔实阐述有关的人、事、物。包括机械产品和机械技术，以及影响其发展的因素。根据具体的情况，按时期、按时代或按阶段叙述。文字力求做到时代背景与机械学科的融合，展现了当时的人文哲理思想，提高著作的思想性。按顺序分为古代、近代、现代三篇机械发展史，还设专题篇，专文介绍台湾、香港机械发展情况。内容上除产品、技术外，还包括经济建设、体制改革、对外开放，以及机械工程教育发展等情况。《技术卷》，重点介绍机械制造技术的发展，还包括制造工艺、冷热加工、标准化、机械设计、工厂设计、企业管理、机器人等内容。《行业卷》，涉及机械工业的各个行业、门类。按照《国民经济行业分类与代码》的分类，中国机械工业拥有包括金属制品业，普通机械制造业，专用设备制造业，交通运输设备制造业，电气机械及器材制造业，仪器仪表及文化、办公用机械制造业等 6 个大类、37 个中类和 159 个小类；联合国产业分类中所列的全部机械工业门类，中国都有。

由于《中国机械史》涵盖的内容多，时间跨度长，编写工作量大，虽然参与编纂人员已竭力而为，但因水平有限，难免存在错误和不妥之处，诚望读者不吝指正。

编 者

2013年12月

目录

CONTENTS

第一章 机械工程材料 1

第一节 中国古代用材史 1

第二节 中国近代用材史 4

第三节 中国现代用材史 6

第二章 切削加工技术 20

第一节 中国古代的切削加工技术 20

第二节 近代中国切削加工技术简况 31

第三节 中华人民共和国成立初期的切削加工技术 35

第四节 中国现代切削加工技术的发展历程 39

第五节 面向21世纪企业制造技术的发展趋势与对策 98

第三章 特种加工技术 108

第一节 启蒙创业时期(1951—1960) 108

第二节 初步形成时期(1961—1965) 110

第三节 曲折发展时期(1966—1976) 111

第四节 改革开放初期(1977—1989) 112

第五节 开拓发展时期(1990年以后) 115

第四章 铸造技术 122

第一节 综述 122

第二节 合金与熔炼 125

第三节 造型材料与砂型铸造 129

第四节 特种铸造 131

第五节 计算机技术在铸造中的应用 134

第六节 铸造质量控制与测试 137



目录

CONTENTS

第五章 锻压技术 145

- 第一节 中国古代锻压工业发展简介 145
- 第二节 中国近代锻压工业发展简介 147
- 第三节 中国现代锻压工业的发展 149
- 第四节 中国锻造工业的水平 160
- 第五节 冲压加工行业的生产和发展 185
- 第六节 中国拥有大型锻压设备的品种和等级 190
- 第七节 国家给部分锻压企业的优惠政策及其作用 191
- 第八节 中国锻压行业在开展技术交流方面的成就 195
- 第九节 中国锻压工业存在的主要问题 197
- 第十节 中国锻压行业今后发展方向 201

第六章 焊接技术 207

- 第一节 综述 207
- 第二节 焊接材料 213
- 第三节 焊接设备 215
- 第四节 焊接工艺及焊接机器人 218

第七章 热处理 227

- 第一节 中国古代的热处理 227
- 第二节 中国现代热处理进展 233

第八章 表面技术与表面工程 242

- 第一节 主要表面技术的发展 242
- 第二节 由表面技术到表面工程 256

第九章 机械设计 261

- 第一节 中国古代机械设计 261
- 第二节 清朝末期的机械设计 264
- 第三节 民国时期抗日战争前的机械设计 264
- 第四节 民国时期抗日战争期间的机械设计 266
- 第五节 抗日战争胜利到中华人民共和国成立的中国机械设计 267
- 第六节 中华人民共和国成立后的机械设计工作 268

目录

CONTENTS

第十章 工厂设计技术 284

- 第一节 机械工厂设计的特性与作用 284
- 第二节 创建队伍,模仿设计(1949—1957) 286
- 第三节 在曲折中前进(1958—1977) 294
- 第四节 改革创新,开拓发展(1978年后) 303

第十一章 标准化技术 325

- 第一节 机械工业标准化的发展历程 325
- 第二节 机械工业标准化的主要成就与作用 330
- 第三节 机械工业标准化的基本做法 335

第十二章 企业管理 346

- 第一节 中华人民共和国成立前的机械工业企业管理 346
- 第二节 中华人民共和国成立后中国机械工业企业
管理的发展 351

第十三章 机械制造自动化技术 393

- 第一节 机械制造自动化技术概述 393
- 第二节 机械制造的刚性自动化 394
- 第三节 机床的数字控制 398
- 第四节 机器人 405
- 第五节 柔性制造系统 408
- 第六节 集成制造系统和并行工程 409
- 第七节 计算机辅助工程 413

第十四章 机器人技术 420

- 第一节 机器人的产生 420
- 第二节 机器人的几种形态 421
- 第三节 工业机器人 424
- 第四节 特种作业机器人 439
- 第五节 著名企业以及典型产品 447

第一章 机械工程材料

自古以来，材料是人类生存和从事劳动生产活动不可缺少的要素，材料也是社会发展的物质基础和先导。历史上每一次重大新材料的发现和利用推动着工业革命：钢铁工业的发展、18 世纪蒸汽机的发明和应用，为第一次工业革命奠定了基础；20 世纪硅单晶和半导体材料的发明，对以电子技术（特别是微电子技术）为代表的第二次工业革命起着先导和核心作用。

原材料工业和机械工业是相互依存相互促进的关系。材料技术作为机械工业的共性基础技术之一，总是与机械工业产品同步发展的。本文将从中国材料技术发展史与机械发展史的紧密联系中，揭示材料技术对制造业发展的重要支撑作用。材料技术的不断创新，必将进一步发挥其在提升传统制造业、发展先进制造业中的重要作用。

第一节 中国古代用材史

中国古代的用材史可分为三个阶段，即石器时代、铜器时代和铁器时代，前后已有近 300 万年历史。

一、石器时代

中国在更新世的早期进入石器时代。石器时代的特征是人类主要使用天然的工具或以天然材料加工简单的工具。例如，早期人类在捕获猎物后，学会用锐缘的石块切割猎物，有时会用以石击石的方法使石块具有锐缘，这就是人造工具的起源。到了旧石器时代晚期，不但有石器，而且有骨器、角器等，并学会使用多种天然材料。这些材料，除作工具外，也用作装饰品、艺术品和原始的复合工具。

大约在公元前 1 万年开始进入新石器时代。这个时代的石器已经能精细加工或有明显人造痕迹，并开始出现陶器。作为新石器时代标志的一项突出成就为人工取火的技能。中国古代文献中就有燧人氏“钻燧取火”的记载。期间，人类祖先采用自然界的泥土（黏土坯），经所获得的能源（柴火）加热，焙烧成坚硬的陶器。这样就在人与自然界之间，通过材料和能源这个纽带，建立了一种新的相互关系，人类由被动适应大自然进展到主动改造大自然，材料对人类文明的进步因而具有非凡的意义。

考古发现，中国从原始社会新石器时代出现了陶器，发展到奴隶社会晚期秦始皇陪葬的兵马俑，反映出中国的制陶业已发展到空前规模，其工艺达到高超水平。其时，陶器烧制技术已有较大



提高, 陶窑的构造有很大改进, 从陶制品估计炉温已提高到 $950 \sim 1050^{\circ}\text{C}$, 而且可以控制炉内气氛, 制作初级彩陶。中国古代制陶技术的高度发达, 客观上已为铜的熔炼技术提供了条件。

与古代陶器一样, 中国早在商周时代已有了原始的瓷器, 以后历代均有代表性的瓷器保存下来。如浙江绍兴战国墓中出土的青釉器, 器形规整, 胎质坚实。进入两汉时代, 烧制出青瓷, 质地致密, 透光性好, 吸水率低。这个时期瓷器的烧制成功是中国陶瓷史上的一项重大成就。再进一步到魏、晋、唐、宋, 陶瓷业达很高水平, 元明两代已具盛名, 明清瓷器更是世界著名。至今, 景德镇的陶瓷业, 历经中国陶瓷技术的发展过程, 其质量仍闻名海内外。

二、铜器时代

中国是世界上最早发展和使用金属的国家之一。早在新石器时代晚期, 在黄河流域和长江流域, 根据资源的不同, 就发现有青铜、红铜, 甚至黄铜。在甘肃发现距今 5000 多年的青铜刀; 发现的红铜、铜刀和铜锥距今已有 4000 多年。到了商代 (前 16 世纪) 铸铜技术有了突破, 已能用铜和锡、铅等原料冶炼铜 - 锡 - 铅三元合金, 性能大幅度提高。青铜器由简单工具发展到商、周、春秋、战国的生活器具、兵器、礼仪祭祀用品和生产工具等器件, 构成长达 2000 年的青铜时代。

中国古代青铜技术是走“陶冶”的技术道路, 即青铜技术源于制陶技术, 并很快进入有意识、控制配方的青铜冶铸时代。从炉型、温度和气氛控制分析, 起点较高。到西周青铜技术已进入成熟期, 发展迅速, 青铜器的品种增多, 从生活上使用的烹煮用鼎、鬲, 盛食用簋, 酒具的樽、爵等, 生产上的刀、斧、铲、凿、锯等, 兵器如戈、矛、戟以及乐器钟、铙等, 均已大量地采用青铜铸造。目前发现最大的古代青铜器之一后母戊鼎, 重达 832.84kg , 在造型上已发展到多块范、芯组装的复合范浇注而成的大型复杂铸件。其造型雄伟, 修饰美观。另外, 出现了失蜡铸造法, 铸造出精巧复杂的铸件, 并出现精雕细刻的图案, 达到十分高超的水平。古代青铜器的应用已十分广泛, 包括容器类、兵器类、乐器类、生活用具类、生产用具类和社会用器类等。

中国不仅使用金属的历史悠久, 而且积累了丰富的科学知识。先秦文献《考工记》中有“金有六齐”一段记载^①, 说明已能人工地控制合金成分配比, 总结出“六齐”规律。文中“金”指铜, “齐”即合金, 意思是: 含锡较少 ($1/6$) 的铜合金较韧, 色泽橙黄, 适合制造钟鼎; 而含锡较多 ($2/5$) 的铜合金较硬, 适合制造刀斧; …… 当锡达半 ($1/2$) 时, 呈银白色金属光泽, 性较脆易磨削, 适合磨光制作铜镜。这段记载充分反映了 2000 多年前中国劳动人民已科学地掌握了青铜合金成分与性能之间的关系, 并制定了最合理的材料使用方法。这在世界冶金史、用材史上均是最早的科学记载。

中国古代炼铜法除火法外, 还有湿法。湿法炼铜起源于中国, 又称胆铜法, 开世界湿法冶金之先河。西汉《淮南万毕术》书中就有铁湿法置换铜的记载。胆铜法炼铜易于操作, 成本低, 很快就大批量生产, 自唐代起, 该法就成为主要产铜方法之一。到了南宋时期 (1208—1244) 已开始采用淘洗后得精矿的炼铜法, 以及开发出铜 - 铅共生矿的冶炼技术, 这对共生矿的冶炼和共生金属的分离很有借鉴意义。

^① 原文为“金有六齐, 六分其金而锡居一, 谓之钟鼎之齐; 五分其金而锡居一, 谓之斧斤之齐; 四分其金而锡居一, 谓之戈戟之齐; 三分其金而锡居一, 谓之大刀之齐; 五分其金而锡居二, 谓之削杀矢之齐; 金锡半, 谓之鉴燧之齐。”

三、铁器时代

中国用铁的历史最早可追溯到商代，河北藁城商代遗址中出土一件铁刃铜钺，尽管对铁刃分析系由陨铁锻成，但至少说明当时对铁已有认识，并能实现青铜与铁的结合。

青铜时代末期有一个铜铁交叉时期，直到春秋战国时代，中国才普遍应用铁器。所以，中国的铁器时代从春秋初期开始，一直延续到近代，铁器时代的历史同样有 2000 年之久。

中国进入铁器时代虽然较西亚晚五六六个世纪，但由于承袭了青铜时代的很多技术传统，因而发展迅速，在制造铁器的技术上很有特色。其中最突出的技术成就之一是铸铁的发明与应用。较早用液态成形的生铁铸造法，劳动生产率比固体还原的块炼铁法成倍提高，而且可以满足形状比较复杂产品的要求，并且扩大了金属材料的使用范围。如从河南辉县的一个战国冶铁遗址中，一次就发掘出“铁范”达 87 件之多。“范”本身是铸件，又是生产铸件的金属模型，是用以制作镰、铍、斧、锄、凿和车具等工具。说明早在 2000 多年前中国的冶铁和铁器应用技术已达到相当惊人的水平。

中国冶铁技术的另一突出成就是“两步法”。即先由铁矿石炼成生铁，再由生铁炼成钢。直到现代，仍然沿用“两步法”的炼钢技术。到两汉已有了生铁“炒钢”技术，即把生铁在炒炉内加热至半熔，鼓入空气进入炒搅，使其氧化脱碳，取出后趁高温锻打成形。到东汉时又有了生铁和熟铁杂炼的“灌钢技术”，如生铁较多熟铁较少则含碳量较高，硬度强度高，用作斧、凿一类铁器；而熟铁量较多、生铁较少、含碳量较低，可制成韧性较好的刀、剑等铁器，说明中国很早就掌握了铁-碳平衡与性能之间的某些科学关系。另外，也较早掌握了铸铁的改性技术，如在河南洛阳出土的铁铤，属战国早期的铁器，经鉴定基体为铁素体，有团絮状退火石墨，这是比较典型的黑心可锻铸铁；湖南长沙出土的铁铤，属战国晚期产物，壁厚仅 1~2mm，外形规整，亦为黑心可锻铸铁。中国不仅是世界上发明可锻铸铁最早的国家，而且在应用技术方面也有卓越的成就。

中国古代冶铁技术所以能得到迅速发展，有其社会原因。从春秋战国开始进入封建社会，到秦汉统一，实行中央集权制，为了发展生产，建立了铁官。到汉武帝时冶铁业“收归国有”，实行官营冶铁，每个铁官下设若干作坊。汉朝的冶铁业已相当发达，冶铁作坊规模较大，如南阳瓦房庄遗址有残炉 17 座，遗址面积达 12 万 m^2 ；郑州古荥遗址发掘出两座椭圆形炼铁炉，其容积达 50 m^3 ，这在 2000 多年前属于世界上最大的炼铁炉之列。行政上的组织保证，再加上冶铁技术的进步，迅速扩大了铁器的应用。从用材方面考察，在青铜时代，农业生产工具实际都是石器制品或石木混合结构，青铜器由于强度不够或受资源限制并未大量使用。进入铁器时代，由于铁制品的强度大大提高，农具开始大量采用铁器，用牛耕和铁犁相结合，取代了远古的刀耕火种，极大地提高了农业生产力；同时，铁制兵器也更优于铜器。此外，兴修水利的工具也大量采用铁制品，著名的都江堰、灵渠、郑国渠等水利工程都在铁器时代的前期兴建，对促进经济发展有重要意义。至汉代，铁器已成为社会生产、生活的主角，铁器的应用推动了封建社会的经济发展。

在发展铸铁的同时，炼钢技术也在不断进步。中国最初的钢是以海绵状的块炼铁为原料，再经加热渗碳，碳由表面向内渗透，然后进行反复锻打，这样就成了渗碳钢，著名的“干将”“莫邪”剑大致属于此类。钢的出现，对一些性能要求高的器物，技术上是一个重大突破。因为生铁只能铸造，除了较好的强度、硬度外，韧性不足，只能用于农具及一般器具。而钢的出现，适宜于制作兵器及要求高的加工工具，钢同时兼有强、硬、韧三方面的性能，对铁器的扩大应用具有划时代的意义。

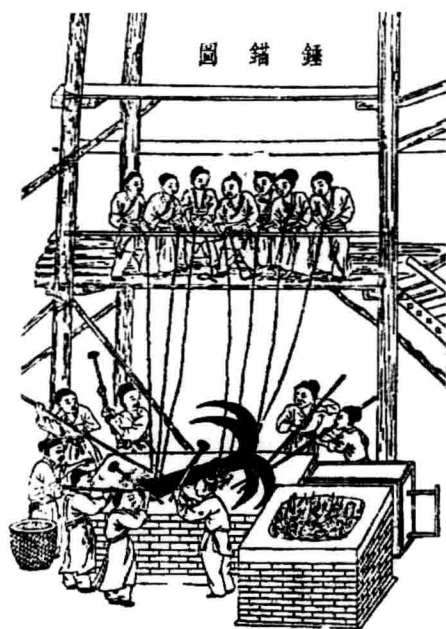


图 1-1 “千钧锚”的锻造

(选自《天工开物》)

百炼钢从东汉到魏晋南北朝有很大发展。百炼钢以炒钢做原料，经反复加热锻打而成。元朝初已能生产 456kg 的四爪大铁锚（图 1-1）。至明代郑和下西洋时，已能生产数吨重的大铁锚，不仅是炼钢之最，还运用了锻接技术，先锻成四爪，以次逐节接身而成，表明中国最晚至明代已掌握了生产大型锻件的初级技术。同时，铁制工具和铁制构件的应用，也促进了木构技术的发展，为制造大型木结构器械奠定了基础。

到明清时代，在长江下游一带兴起“苏钢”。改进了灌钢工艺，随着炉温的进一步提高，生铁熔化后能均匀地淋入熟铁内，高温加速了碳的扩散，而且能使熟铁中的渣铁分离，因此质地更优。值得一提的是，在苏钢技术上又创新了生铁淋口技术。以生铁液作为熟铁的渗碳剂，有控制地淋在刀、剪等利器的锋刃上，使其组织钢化，这对提高工具和兵器的刃口性能有重要意义。这一技术一直沿用到抗日战争时期，是民间制作工具和小兵器的重要方法。

铁器的出现，尤其是钢的实际应用，大大地改进了工具的性能，对石材、木材和铜材等的加工技术大大提高，也促进了各类材料的扩大应用。值得指出的是，从加工材料考察，中国古代也取得显著成就。如在西汉（前 206—公元 25）就会用杆钻或管钻（估计钻头系青铜），用加砂研磨的方法，在“金缕玉衣” 54658 块玉片上钻了 18000 多个直径 1~2mm 的小孔，钻孔后还对玉片进行抛光。这在材料的加工技术方面是一种新的创造，也是古代材料应用方面的一项重大成就。

第二节 中国近代用材史

进入 18 世纪，欧洲人发明转炉炼钢和平炉炼钢技术，大规模炼钢工业兴起，钢铁材料逐渐成为现代意义上的工程材料，同时，对世界范围内工业革命产生巨大影响。然而处于半封建半殖民地的中国，民族工业受到外国列强商品倾销和封建制度的束缚，发展极为缓慢。这一时期，民间流传的土法冶铁技术，主要有土高炉、坩埚法以及炒钢、焖钢、苏钢等。土高炉的高度从 2m 左右到 10m 左右不等，容积很小，从 1~10m³，大致可日产生铁数百斤，甚至达到 1~2t。由于采用鼓风，富铁矿，燃用木炭、无烟煤或土焦炭，能顺利炼出质量较好的灰口生铁，用于铸造。另外，坩埚法炼铁也相当流行，据 1916 年地质调查所统计，全国年产土铁 170850t，其中山西坩埚法炼铁约 70000t，占全国总产量的 41.2%。坩埚法每次炼成一个铁块，取出后锻打成小铁锭，能为小农具生产提供小批量锻件，所以一直流传下来。

当时的土法炼钢技术也有进步，一种是比较简单的炒钢炉，把风从熔池顶上直接吹入，边吹边炒，炒成后取出钢块在铁砧上锻打，挤出夹杂物。另一种是改进了的反射炉类型的炒钢炉，其燃烧的炉灶与炒钢的熔池分开，但又相互联通，燃烧的火焰反射到熔池，加热钢料，燃料与钢料不直接

接触，熔池温度较高，钢的质量有所提高。湖南邵阳一带自古以来生产炒钢，称为“宝庆大条钢”，清朝同治年间（1862—1874）年产约1万余担，行销汉口、长沙、山西、河南、河北等处。至光绪年间（1875—1908），外国钢条进口日盛，质地虽不及炒钢条，但因价廉造成“宝庆大条钢”销路大衰。总之，鸦片战争后的中国，腐败落后的政治制度阻碍了经济的发展，工业滞后，在古代曾经领先的土法治铁技术不可能有突破性的进步，材料史的发展也从辉煌跌落低谷。

随着洋务运动的推进，铁路、造船和枪炮制造等对钢铁材料产生需求。在近代工业发展的刺激下，中国从19世纪末开始引入近代钢铁冶炼加工技术。1871年福州船政局建锤铁厂（锻造厂）和拉铁厂（轧钢厂）用气锤生产大车轴，能轧制厚15mm以下的钢板和直径6~120mm的圆钢和相应边尺寸的方钢。1890年江南机器制造总局增设了炼钢厂设置15t酸性平炉一座及卷枪筒机一座，日产钢3t，枪管100支。这是中国最早的新式钢铁厂和第一座炼钢平炉。1893年汉阳铁厂建成，有两座100t高炉，两座8t转炉和一座10t酸性平炉，以及“造钢轨”厂和“造铁货”厂。1896年汉阳铁厂改为“官督商办”，改建成4座碱性平炉，新建1座150t混铁炉，还建立轧钢厂，有直径800mm的轧钢机和钢板轧机各1套；1905年又开始兴建250t高炉1座。1908年2月，汉阳铁厂、大冶铁矿、萍乡煤矿合并为汉冶萍煤铁厂矿公司，设备有100t高炉2座、250t高炉1座、30t平炉6座，各种轧钢机4套。当时也称得上远东一流的钢铁联合企业，但总体规模不大。

第一次世界大战后期，战争需要大量钢铁，价格猛涨10倍以上，外国暂时减少了对中国的钢铁倾销，中国钢铁产量有所上升。1917年和兴铁厂建立（上海第三钢铁厂的前身），最初有12t高炉1座，后来增设35t高炉1座，40t平炉2座，年产钢3万t。同年山西保晋公司建立阳泉铁厂，有20t高炉1座，每天产铁15~20t。1918年扬子机器公司在武汉谏家矶建立100t高炉1座，年产生铁36000t。1926年江南制造局炼钢部分改成上海钢铁机器有限公司，有30t平炉2座，年产钢万吨左右。1933年上海大鑫钢厂建年产1t电炉2座，这是中国最早的炼钢电炉，中国炼钢业开始向钢种多元化迈进。1896—1937年全国钢铁年产量见表1-1。

表 1-1 1896—1937 年全国钢铁年产量表

年 份	产 量 (t)		年 份	产 量 (t)	
	生铁	钢		生铁	钢
1896	10532	—	1907	62184	8538
1897	23432	—	1908	66410	22626
1898	22436	—	1909	74405	39000
1899	24028	—	1910	119396	50113
1900	25890	—	1911	83337	38640
1901	28805	—	1912	177989	2521
1902	15800	—	1913	267513	42637
1903	38875	—	1914	300000	55850
1904	38771	—	1915	336649	48367
1905	32314	—	1916	369815	45043
1906	50622	—	1917	358315	42651