

目录

第二篇 从青铜时代到铁器时代的技术进展

第七章 金属冶铸技术的发展与金属器具使用的推广

第一节 青铜时代与青铜冶铸技术.....	(1)
一、青铜时代的起始与分期.....	(1)
二、青铜的冶铸.....	(6)
第二节 青铜器的种类、作用与演变.....	(23)
一、青铜器的种类与作用.....	(23)
二、青铜器的演变.....	(24)
第三节 铁器冶铸技术的产生、发展与铁器使用的推广.....	(30)
一、铁器时代的到来.....	(30)
二、两种制铁工艺.....	(34)
三、渗碳制钢技术的发明.....	(38)
四、冶铁鼓风炉与铸铁铸造工艺的进步.....	(39)
五、铁器的广泛使用.....	(42)

第八章 城市的发展与建筑技术的提高

- 第一节 中国从夏、商、西周至春秋战国城市的发展…………… (45)
- 第二节 埃及、西亚、印度与古希腊罗马城市的发展…………… (58)
- 第三节 “七大奇观”及其他建筑技术…………… (72)
 - 一、“七大奇观”…………… (72)
 - 二、桥梁建筑与道路的修建…………… (81)
 - 三、水利工程…………… (85)

第九章 农业、手工业与军工生产技术的进展

- 第一节 农业生产技术的持续发展…………… (98)
 - 一、农业生产工具的发展…………… (98)
 - 二、耕作制度的发展…………… (102)
 - 三、牛耕的推广及铁犁铧的创制与使用…………… (104)
- 第二节 手工业的初步繁盛…………… (110)
 - 一、纺织技术的发展…………… (112)
 - 二、染色与油漆技术的发展…………… (118)
 - 三、上古制陶技术的三大突破与原始瓷器的出现…………… (123)
 - 四、玻璃的发明…………… (129)
- 第三节 军工技术的萌芽与进展…………… (131)
 - 一、冷兵器与护具…………… (131)
 - 二、战船与战车…………… (142)

三、攻与守的器械·····	(153)
---------------	---------

第十章 上古时代的地理环境、社会发展对科学技术的影响与作用

第一节 上古时代的地理环境对科学技术的影响 与作用·····	(157)
-----------------------------------	---------

第二节 上古时代的社会发展对科学技术的影响 与作用·····	(159)
-----------------------------------	---------

一、奴隶社会的产生与发展对科学技术的影响 与作用·····	(159)
----------------------------------	---------

二、军事与战争对科学技术的影响与作用·····	(162)
-------------------------	---------

第三节 第三、四次社会大分工对科学技术的影响 与作用·····	(163)
------------------------------------	---------

一、第三次社会大分工——商业与农业、手工 业的分离，促进了奴隶制的发展与科学技 术在各地的传播与交流·····	(163)
---	---------

二、第四次社会大分工——脑力劳动与体力劳 动分工的结果，促进了奴隶社会经济、文 化与科学技术的发展，造成了古代文化与 科学技术的繁荣·····	(167)
--	---------

第三篇 中国实用科学的形成

第十一章 先秦农学、数学与物理学

第一节 初具规模的前秦农学·····	(173)
--------------------	---------

一、重农学说与重农政策的形成·····	(174)
二、天时、地宜、人力观的形成·····	(177)
三、精耕细作理论的奠基与畦种法的创造·····	(184)
四、优良品种的选择·····	(191)
第二节 萌芽状态的先秦数学·····	(194)
一、在计算方法方面,出现了十进位值制记数方法·····	(194)
二、在计算工具方面,发明了算筹·····	(198)
三、以算筹为计算工具的各种运算与九九乘法歌诀·····	(202)
四、太极八卦图与纵横图的创设·····	(208)
五、勾股定理与规矩作图·····	(214)
六、对数与形的概念的认识与论述——《墨经》的几何学定义与《庄子》的极限思想·····	(217)
第三节 初步形成阶段的先秦物理学·····	(226)
一、先秦物理学的萌芽与形成·····	(226)
二、先秦物理学达到形成阶段的标志:《墨经》与《考工记》·····	(227)
三、先秦力学成就·····	(232)
四、先秦声学成就·····	(252)
五、先秦热学、磁学与光学成就·····	(262)

第十二章 先秦天文学、地学、医药学 与其它科学成就

第一节 独具特色的先秦天文学·····	(275)
一、中国古代天文学是从西方传入的,还是独立发展的? ·····	(275)

二、春秋以前的天文学成就·····	(276)
三、春秋战国时代的天文学成就·····	(290)
第二节 先秦时期的地学成就·····	(310)
一、开始了对地理环境与地球形态的观测与认识·····	(310)
二、先秦时期的地理学与制图学成就·····	(312)
三、天地为什么不坠不陷·····	(333)
第三节 先秦时期的医药学与其他科学成就·····	(336)
一、夏商至春秋时期的医药学·····	(336)
二、战国时代的医药学·····	(350)
三、先秦名医·····	(363)
四、内容丰富的《黄帝内经》·····	(366)
五、其它科学成就·····	(382)

第四篇 从科学萌芽到科学繁荣

第十三章 埃及、西亚、印度与中美洲 的科学萌芽

第一节 埃及、巴比伦与印度的天文学·····	(395)
一、天文与历法·····	(395)
二、天文与星占·····	(420)
第二节 埃及、巴比伦与印度的数学·····	(425)
一、古埃及的数学·····	(426)
二、古巴比伦的数学·····	(436)
三、古印度的数学·····	(443)
第三节 中美洲的科学萌芽·····	(445)

一、“新世界的希腊人”……………	(445)
二、玛雅人的建筑与艺术……………	(447)
三、玛雅人的天文与历法……………	(448)
四、玛雅人的数学……………	(455)

第十四章 从东方科学萌芽到古希腊 科学繁荣

第一节 与哲学浑为一体的早期希腊科学…………… (460)

- 一、从东方萌芽状态的科学中，吸取了丰富营
养，而繁荣、发展起来的古希腊理性科学… (460)
- 二、古希腊罗马科学的分期与古希腊科学的基
本特征…………… (461)
- 三、爱奥尼亚的自然哲学家…………… (463)
- 四、毕达哥拉斯及其学派…………… (466)
- 五、爱利亚学派…………… (468)

第二节 充满思辩的雅典科学…………… (471)

- 一、原子论的思想先驱——阿那克萨哥拉与恩
培多克勒…………… (471)
- 二、德谟克利特的原子论…………… (474)
- 三、智者与柏拉图“学园派”…………… (476)
- 四、古希腊自然哲学的集大成者——亚里士多
德…………… (479)

第三节 始从哲学中分化的亚历山大里亚科学… (486)

第十五章 古希腊罗马的数学、物理学、天文 学与地学

第一节 古希腊罗马的数学…………… (490)

一、古典希腊时期的数学.....	(490)
二、亚历山大里亚前期的数学——欧几里得与 阿波罗尼斯的数学成就及其影响.....	(500)
三、阿基米德的数学成就.....	(518)
四、亚历山大里亚后期的数学.....	(523)
第二节 古希腊罗马的具体经验物理学知识.....	(542)
一、力学知识.....	(542)
二、光学知识.....	(547)
三、声学 and 热学知识.....	(551)
四、电与磁的知识.....	(554)
第三节 古希腊罗马的天文学与地学.....	(556)
一、古希腊罗马的占星术.....	(556)
二、古希腊罗马的历法.....	(558)
三、古希腊罗马的数理天文学与朴素宇宙 论.....	(570)
四、古希腊罗马的地学成就.....	(591)

第十六章 古希腊罗马的医药学与其他 科学成就

第一节 从埃及、巴比伦到古希腊罗马的医药学	(600)
一、古埃及、巴比伦与印度的医药学.....	(600)
二、古希腊的医药学.....	(603)
三、古罗马的医药学.....	(616)
第二节 罗马医学的高峰——盖伦的医学思想、 活动及其成就.....	(626)
一、盖伦之前的罗马名医.....	(626)

二、盖伦的生平、思想、活动及其成就·····	(631)
三、与盖伦同时及较盖伦为晚的罗马医家·····	(640)
第三节 古希腊罗马的其它科学成就·····	(642)
一、生物学·····	(642)
二、农学·····	(647)
三、气象学·····	(650)
四、普林尼与《自然史》·····	(651)

第十七章 古罗马的科学衰落与东西方 上古科技的总体比较

第一节 古罗马理性科学的衰落·····	(656)
一、历史根源与社会根源·····	(656)
二、思想根源·····	(659)
三、基督教对希腊科学的摧残·····	(660)
第二节 古罗马实用科学与技术的进展·····	(663)
第三节 东西方上古科技的总体比较·····	(667)

第七章 金属冶铸技术的发展与金属器具使用的推广

第一节 青铜时代与青铜冶铸技术

一、青铜时代的起始与分期

按照传统分期法，上古时代的历史，是根据生产工具的发展来划分阶段的。而上古时代的生产工具则经历了三大发展阶段：石器时代、铜器时代与铁器时代。其中，铜器时代又分为红铜时代(金石并用时代)与青铜时代。青铜是古代劳动人民有意识地将铜与锡或铅配合而熔铸成的合金。因为以铜为主，颜色呈青，故名青铜。青铜作为合金，熔点较纯铜(红铜)低，纯铜的熔点为 1083°C ，若加15%的锡，熔点降低到 960°C ；若加25%的锡，熔点为 800°C 。就硬度来讲，青铜较纯铜高。按布氏硬度计，纯铜为35；若加5—7%的锡，就增高到50—60；若加7—9%的锡，就增高到65—70；若加锡9—10%，硬度则能达到70—100。用铅代替锡，也同样有降低熔点，提高硬度的作用。熔化的青铜在冷凝时的体积略有胀大，所以填充性较好，气孔较少，其铸造性能优于纯铜。在应用上，青铜也较红铜具有更广泛的适应性，采用它制作的工具具有一些红铜工具所不能胜任的功能。因此它能够逐步取代一部分石器、木器、骨器与红铜器，而成为生产工具的重要组成部分。尽管当时青铜器还不能将石器完全淘汰，但它毕竟促使人类社会的生产力发生了一次质的飞跃，在生产力发展史上起了划时代的作用，构成人类物质文化史上的第二个时代——青铜时代；而金石并用时代(红铜时代)则是

由石器时代向青铜时代的过渡阶段。

然而，青铜是怎样发明的？青铜时代始于何时？则是史学界、考古学界尚未解决的重大课题，目前还难查考。

曾经有人将青铜时代划分为早、中、晚三期。认为小亚细亚约从公元前3500年起已进入青铜时代，至公元前3千年代末2千年代初转入青铜时代中期。这种看法虽颇有道理，但缺乏证据。英国冶金史专家泰利柯特认为，世界上最早的青铜来自美索不达米亚，即来自那些依靠安那托利亚与波斯高原的铜矿藏并可能换取所需要的锡的古代城邦。从该地区所有的早期遗址看，首次出现青铜的时间大约在公元前3000—2500年之间，在这以前是纯铜或砷铜。^① 他的这一看法，现已获得史学界不少人的支持。

根据考古发掘，在乌尔的罗亚尔墓葬中（约公元前2800年），已发现有含Sn8—10%的真正的锡青铜。有一把斧头具有典型的 δ -相芯状铸造组织并有气孔。但另一方面，有一支同一时期的短箭，是用经锻打和退火的铜，又经最后的冷加工制造的。在阿塞拜疆乔伊泰佩发现的铜器也不含锡。侯后（约公元前2200年），在乌尔墓葬中出土有经过加工的铜和低锡青铜（含Sn—2.4%）。

从这些情况推测，安那托利亚和波斯高原本身并不属于早期应用青铜之列。即便象乌尔的一些遗址，由于锡的供应中断，也只能返回去生产低锡青铜。

位于安那托利亚高原西边的特洛伊遗址，大约始于公元前3000年，在其I期时，人们已使用锥、针、针状物等砷铜制品。但在此遗址中，除了有一件含Sn10%的青铜制品是属

^① 华觉明等编译：《世界冶金发展史》第52页。

于其Ⅰ期外，直到其Ⅲ、Ⅳ期(公元前2200—1900年)才出现锡青铜，并没有发现返回去生产其它铜的迹象，这说明直到遗址不再存在为止(公元前1190年)，贸易上的往来始终没有中断过。在特洛伊遗址Ⅲ、Ⅳ期，还出土过许多坩埚与石范，绝大部分坩埚都是浅底半球形的，其中有一只坩埚有四条腿并有铜和金的沉积。

史学界有不少学者认为，埃及亦约于公元前3千年左右进入青铜时代。但从考古发掘情况看，直至第四王朝(公元前2600年)，才开始在铜基制品中有大量的锡。至中王国时期(约公元前2133—1786年)，在埃及出现了较多的青铜器。很可能其时所用的大多数金属来源于西奈。在西奈已发现了金石并用时期与其后时期的遗址。这些后期的遗址表明，该地区的铜基原料与若干其它原料当时已经大量开发。

从考古发掘的情况看，印度在摩亨佐达罗各地层中出土的铜器中，青铜器亦占已分析的铜基制品总数的六分之一，其含锡量在3—26.9%之间。考虑到印度靠近缅甸和马来西亚的著名锡矿，其用锡情况，在当时与那些并不靠近锡矿的地区相比本来应是所有不同的；但实际情况却是，其青铜时代在达到兴盛之前，就被铁器时代赶上了。

中国的情况与印度不同。从中国古代冶炼和使用的金属来看，已证实的有铜、金、铅、锡、铁、银、汞、锌八种。在这八种金属中，铜与铁是主要的。由夏至清，约四千年，其间，青铜和铁各领风骚两千年，对中国古代文明的肇建起着重大的作用。在前的约近两千年是青铜的天下，以青铜器铸造为主，发展各种金属技术，创造了灿烂的商周青铜文化；之后的两千多年是铸铁与钢的天下，在生铁冶铸的基础上，形成有特色的中国古代钢铁文化。

从约公元前1900—1600年左右的二里头遗址来看，已发现有炼铜的坩埚片、铜渣与陶范，出土有铜罍、铜爵、铜斚、铜锥、铜刀、铜凿、铜铤等青铜器，这表明我国在二里头文化时期已进入青铜时代。

根据我国冶金史专家华觉明的意见，从新石器晚期到二里头前期为草创期，已能使用敞范、单面范与怀面范铸造生产工具与兵器，但形状较简单、器形较小，技术上尚处于摸索阶段。

从二里头后期到商代前期的郑州二里冈期，是我国青铜冶铸技术的形成期。二里头类型的青铜器，较新石器时代晚期的小件铜器有了很大进步，但与商代中、后期相比，又显然具有早期的特点，其器形属于中型，至今还没有发现大型容器。二里冈类型的青铜器，则不仅分布广，且容器较大，铸造技术亦较二里头时期有显著发展。

到了商代中期，青铜冶铸技术已是相当成熟。大量出土的该时期的青铜器充分说明了这一点。其中最引人注目的是1974年9月在郑州张寨南街出土的两件商代中前期的大铜鼎。一件重84.25公斤；另一件稍小一些，重62.25公斤。经分析，大鼎是用含17%铅和3.5%锡的青铜铸成的。这两个大方鼎是我国所发现的商代中前期青铜器中罕见的重器。它造型大方，制作精致，花纹朴实，表明我国劳动人民已熟练地掌握了熔炼青铜、精工制范和同时大量浇注等工艺技术。

从商代后期到西周前期，是我国青铜冶铸技术的鼎盛期。商朝从汤开始到纣灭亡，共传17代31王。时间约从公元前16世纪至公元前11世纪，共六百年左右。商代的历史，以盘庚迁殷为界限，可划分为前期与后期^①。约在公元

① 上文所讲的中期，界于其前、后期之间，无明确界限。

前13世纪，商王盘庚迁都于殷（今河南安阳）。从安阳殷墟出土的青铜器来看，无论是传世品还是发掘品，数量很多，资料极为丰富。在位于安阳小屯东南的苗圃北地和孝民屯，都发现有规模较大的铸铜作坊遗址，其面积估计在一万平方米以上。有用夯土围筑的工房，堆有大量陶范，最大的鼎范残部边长达1.2米。还有直径约1米的熔铜炉残底，附近有大量炉子残壁、炼渣与木炭。这些都表明其铸铜规模是相当大的。这一时期的冶铸技术，亦较前有了很大的发展。由于分铸法（铸接）的娴熟掌握和普遍推广，得以在不使用失蜡法的情况下，铸造出大量精美复杂的青铜器物，代表性铸件有安阳武官村出土的司母戊鼎与湖南宁乡出土的四羊尊等。

武官村出土的司母戊鼎，是用含84.77%铜、11.64%锡、2.97%铅的青铜铸成的，重达875公斤，带耳，高133厘米，横长110厘米，宽78厘米。这是我国目前为止发掘出的最大的青铜器，也是世界上最大的古青铜器。它造型瑰丽、深厚，鼎外布满花纹。司母戊鼎的铸造，若没有规模巨大和相当高超的采矿、冶炼、制范、熔铸等技术，是不可想象的。它的铸造充分体现了我国古代劳动人民的高度智慧。

西周早期的青铜器制造业基本上因袭了商代的传统，铜器的形制、纹饰、品种等很多方面都与商代晚期类似。中期之后，器形、纹饰翻新，在铸型、铭文制作等方面继续发展了陶范铸造技术，铜剑和编钟的铸作达到很高水平，冶铸业分布范围和生产规模进一步扩大，一直到春秋初期，成为青铜范铸技术的延展期。

从春秋中期到战国，为青铜冶铸技术的转变期。这是由于其时的青铜铸造有一个大的变化，即从原先较为单一的范铸技术转变为综合运用浑铸、铸接、失蜡法、铸焊（锡铸、铜

焊)、红铜镶嵌、错金银以及鍍金、线刻等多种金属技术的新工艺系统,因此称为转变期。代表性铸件有曾侯乙大型钟群和尊、盘等。后期为适应铜器的商品化生产,发展了印模、叠铸等批量生产技术,部分器物壁薄轻巧,质朴无华,适于实用。

总之,青铜器在我国经历了从无到有,从粗到精,从小到大,从少到多,从低级到高级的发展过程。对这一过程的分期,学术界意见不一。我们经过一番比较,觉得华觉明先生在《中国古代铸造史简述》与《世界冶金发展史》第二部分中国古代金属技术中所阐述的观点是颇合乎史实的,因而在上文中有几处引用了他的观点。

二、青铜的冶铸

青铜的冶铸包括采矿、冶炼、配制合金、制范、浇铸等工序,兹分述如下:

(一)古铜矿的开采

炼铜必须先要采矿。在采矿之前,首先要探矿。早期探矿是从矿藏出露入手的。《管子·地数篇》说:“上有丹砂者,下有黄金;上有慈石者,下有铜金;上有陵石者,下有铅、锡、赤铜;上有赭者,下有铁”,这是先秦时期探矿活动的经验总结,揭示了金属矿床垂直分布的某些规律性现象。

铜矿的开采是由浅入深,从矿脉露头逐步向深部拓展,即先露采,后坑采。辽宁林西古铜矿,有露采矿坑40余处,循矿脉采凿。遗址内存留的大量石锤,腰部有凹槽,是用来捶击矿石的,据碳-14测定遗址年代约距今2700—2900年左右。^①湖南麻阳古铜矿,现已发现的矿井有5处,依矿脉走向

^① 辽宁省博物馆文物工作队:《概述辽宁省考古新收获》,《文物考古工作三十年》,文物出版社,1979年版。

开采，井巷高1.5—1.8米，并有圆木支柱、木槌、铁凿、铁锤等，木槌的碳—14测定年代为距今2700—2900年，据此认为是西周到春秋时期的采铜遗存。^①

湖北大冶铜绿山古矿冶遗址，是已知先秦时期规模最大、历时最久，遗存最为丰富的采铜炼铜中心。这里的铜矿物，有的呈孔雀绿，有的呈金红色或土红色，颜色鲜明，易于发现和采选，含铜的品位也很高。从南至北，呈不规则条带状分布于铜绿山的矿井，就是为开采这些铜矿而构筑的。开采的方式，是先凿竖井，在井下用木制砂斗测知矿砂品位，循矿脉走向开凿斜井或平巷，边掘进，边回采，并继续用盲竖井与盲斜井探矿。

从该遗址“12线”矿井的发掘情况看，竖井的井口直径为80厘米左右。井筒的支护结构完全采用“密集法搭口式接头”，即把圆木两端砍出台阶状的搭口榫，四根搭接成一方框，由这种框形支架层层迭压，构成竖井(图7—1—1)。斜井采用“间隔法榫口式接头”支护，即把两根圆木两端剥出圆形榫，把两根方木(或半圆木)两端凿出相应的孔，四根穿接，成一方框。用这种框形支架沿着矿层的倾斜角度，由浅入深，节节伸延，构成斜井井架(图7-1-1)。从该遗址“24线”矿井的发掘情况看，竖井井口较12线的竖井大，一般为110—130厘米，深达50余米。若把矿石与地下水提出地面，把井架支护木送到井下，都必须经过竖井。运送完全靠辘轳、大绳与木钩等工具。50余米深的竖井，又分成几段，即掘一段竖井，挖一段平巷，每一个平巷都装有辘轳，这样逐级提运，接力完成。

根据“12线”与“24线”两处古矿井出土的材料看，12线古

^① 高至喜、熊传新：《楚人在湖南的活动遗址概述——兼论有关楚文化的几个问题》，《文物》1980年第10期。

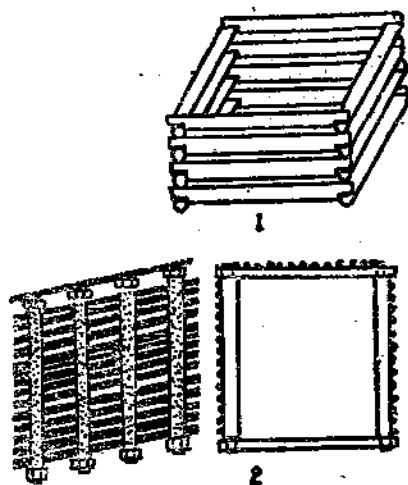


图 7-1-1 筒支护结构图

1. 竖井井筒 2. 斜井井筒

矿井是春秋时代开掘的；24线古矿井的开掘估计时代不会晚于战国中后期。根据该处古铜矿VII号矿体一号点出土的材料看，一号点古矿遗址主要应属春秋时代的遗存，上限则可能到西周。这里是当年楚国的故乡。楚国的冶金生产与兵器制造素有盛名。它写下了我国古代采矿史的灿烂篇章。当时的奴隶与矿工们没有任何动力和金属机械的生产条件下，创造了把矿井开掘到地下五十余米深的奇迹。并有效地采取了竖井、斜井、斜巷、平巷相结合，多中段的开探方式；还初步解决了井下的通风、排水、提升、照明与巷道支护等一系列复杂的技术问题。如在通风方面，他们利用不同井口气压的高低差形成自然风流，并采取密闭已废弃的巷道的办法控制风流沿着采掘方向前进，保证风流到达最深处的工作面。又如在排水方面，他们利用木制水槽等简单工具构成井下

排水系统，把水引向井下积水坑，再用水桶提升出去。在24线古矿井中就发现了一些木水槽、木桶、木撮瓢等。其中，木水槽发现了五件，均为整木凿成。最长的一件全长260厘米。最小的一件长仅65厘米。小的水槽，搬动方便，表面光滑，大概是临时引水用的；笨重的大水槽可能是固定的引水工具，将地下水汇集一处，然后提出矿井。在VII号矿体一号点古矿井中，则发现了比较完整的排水系统。其中，水道有两种：一种是废弃的巷道或开掘较窄的巷道；另一种为铺设的木制水槽。这种水槽，大多用较粗的树干挖空后制成。水槽放置的位置：有的放在平巷的外侧，有的则置于废弃的平巷之中，顺着巷的一侧而通往排水井。当水槽不可避免地通过一个竖井时，为了不影响该竖井在提升矿石、支护用器材等方面的工作，于是将这一段水槽的上部整齐地铺垫了一层木板，使它成为一条暗槽。铜绿山古矿井虽地处岩石破碎带，地下水较多，但当时这里的奴隶与矿工们仍然初步解决了排水问题。

（二）青铜的冶炼

上古时代，用于炼铜的主要矿石是孔雀石 $[\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CuCO}_3]$ 。如在商代的炼铜遗址中，就都发现过孔雀石的碎块。当时，用于炼铜的主要燃料是木炭。在殷墟的土层中，杂有许多木炭，小的呈粉末状，大的直径竟在一寸以上，或二寸左右。木炭不仅是燃料，在冶炼中，还充当还原剂。

冶炼青铜是在冶炼纯铜的基础上发展起来的。有人认为：初始时，是将铜矿石与锡矿石或铅矿石或含多种元素的铜矿石一起冶炼。这样获得的青铜，成分不易控制。而后来则采用先炼出铜，再加锡或铅矿石一起冶炼的方法。这种方法虽然是个进步，但仍未解决根本问题。最后发展到分别先炼