

中国矿冶考古

铜绿山古铜矿遗址

考古发现与研究

(下)

◇ 大冶市铜绿山古铜矿遗址保护管理委员会 编



科学出版社

中国矿冶考古

铜绿山古铜矿遗址考古 发现与研究

(下)

大冶市铜绿山古铜矿遗址保护管理委员会 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

铜绿山古铜矿遗址的考古发掘，是中国古代青铜器研究的一个新领域，也是中国考古学新开辟的一个领域，还为中国考古学开创了一个学科分支——矿冶考古学。

中国的矿冶考古诞生 40 年来，多学科的学者、专家们对铜绿山古铜矿遗址及相关内容和学科进行了深入的研究、探讨和解读，并涉及考古学、历史学、地矿学、冶金学等诸多社会科学与自然科学学科。本文集中收录了 40 年来诸位大家、学者的研究成果，是中国矿冶考古研究比较全面的一次展示，也是对中国矿冶考古继续深入研究的一个推动。

本书可供从事考古学、历史学、地矿学、冶金学等学科研究的学者及大专院校相关专业师生阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铜绿山古铜矿遗址考古发现与研究/大冶市铜绿山古铜矿遗址保护管理委员会编. —北京: 科学出版社, 2013. 10

(中国矿冶考古)

ISBN 978-7-03-038852-0

I. ①铜… II. ①大… III. ①铜矿床-古矿井遗址-考古发现-大冶市-文集 IV. ①K878. 54-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 243805 号

责任编辑: 王光明 孙 莉 / 责任校对: 韩 杨 郭瑞芝

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 谭 硕 姜自萍

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 10 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2013 年 10 月第一次印刷 印张: 77 3/4 插页: 6

字数: 1 800 000

定价: 458.00 元 (上、下册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

大家论坛

湖北铜绿山古铜矿

夏 鼐 殷玮璋

从前在中国，青铜器的研究和青铜器铭文的研究几乎是同义词。自北宋时代（公元11世纪）以来，中国有许多学者研究古代青铜器，写下了一些著作，其中有些还流传到今天。自20世纪20年代起，中国引入了田野考古学，青铜器的研究便起了很大的变化。

田野考古学被引入以后不久，就显示了它的影响，青铜器的研究范围扩大了。从此，不仅青铜器的铭文要加以研究，并且它们的形态、用途、花纹、成分、铸造法等，都要加以研究。田野考古学根据出土物的共存关系（地层学的研究和墓葬中器物组合的研究）和型式学的分析，将青铜器的研究提高到一个新的水平。今天，我们不仅研究青铜器本身的来源，即它的出土地点，还要研究它们的原料来源，包括对古铜矿的调查、发掘和研究。这是中国古代青铜器研究的一个新领域，也是中国考古学新开辟的一个领域。这篇文章便是介绍在湖北省黄石市大冶县铜绿山古铜矿进行的发掘工作。

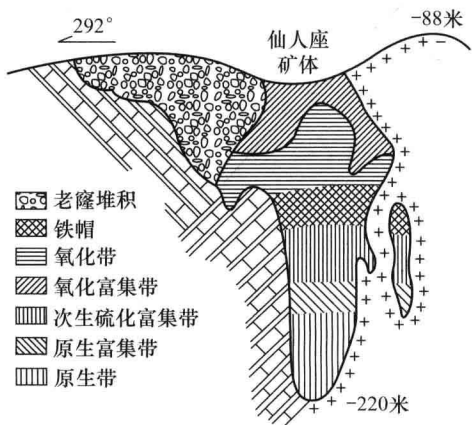
铜绿山是“铜绿色的山丘”的意思。这里蕴藏着丰富的铜铁矿床，并与金、银、钴等有色金属共生。现今仍是我国一处重要的产铜矿区。这里发现古代采矿的遗迹和遗物，至少可以追溯到1965年该矿重新开采的时候，但一直到1973年发现铜斧（现认为是斧形铜凿，因为它的装柄办法和使用法都是与凿相同）以后，才引起人们的重视。1974年配合矿山生产，在I号矿体的12号勘探线和24号勘探线清理了两处古矿井，有简报发表于《考古》1974年第4期和《文物》1975年第2期。1979年冬，我们考古研究所派了一个考古工作队和地方的考古队一起，在几个地点同时进行发掘。我们发掘的地点在VII号矿体的1号点，有简报发表于《考古》1981年第1期。1980年除在VII号矿体1号点继续工作外，还在XI号矿体发掘冶炼遗址，清理了炼铜炉一座。在发掘的同时，进行了一次炼铜炉的模拟试验。关于发掘冶炼遗址和进行模拟试验的简报，将在《考古》1981年第1期上发表。

铜绿山古矿区的范围南北约2千米，东西约1千米（图一）。古矿井的附近还有古炼炉遗址，因被炉渣掩埋而保留下来。许多地点的表面，覆盖有一米多厚的古代炉渣，总量估计达40万吨左右。样品经过化验，平均含铜品位为0.7%，但含铁达50%上下，知道是炼铜后弃置的炉渣。从古矿中挖出的“黄泥巴”的分析结果，知道含铜品位在12%~20%，含铁30%左右。块状的孔雀石的含铜品位可达20%~57%。就炼渣40万

吨来计算，估计古代提炼的红铜当在 8 万吨左右。我们可以设想，这么多的红铜，可以铸造出多少件青铜器！



图一 铜绿山矿床地形图地质略图



图二 含铜磁铁矿的氧化次生富集垂直分带

根据我们的调查和发掘，矿区里的古矿井大多集中在大理岩和火成岩（花岗闪长斑岩）的接触带上（图二）。这里，矿体上部的铜已经氧化流失，变为富铁矿石，即所谓“铁帽”。在它的下面，则因淋滤作用而使铜含量自上而下逐渐变富。至氧化富集带中，铜一般含量在 5% ~ 6%，局部可达 15% ~ 20% 以上，包含有磁铁矿、孔雀石、硅孔雀石、赤铜矿和自然铜等。接触带中，因岩石破碎，容易开采。采掘过程中仅需解决的一项技术是设置矿井支架，以防止四壁围岩塌

落，影响采掘。发掘中见到的“老窿”就设有这样一种木构方框支架。

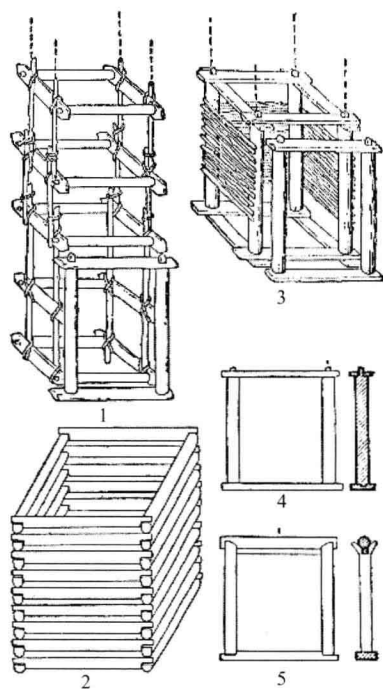
我们的发掘工作是在采矿单位密切配合下进行的。发掘地点上部 40 多米岩石，由采矿单位挖掘和移运。矿山原计划进行露天开采。我们发现的古代矿井，是由当年矿山的地面垂直地向下开拓的，深达 40~50 米。这些竖井挖到含有富铜矿的地方，便向侧壁开拓横巷。一组组的井巷的揭露，使我们仿佛看到古采场真实的活动情景。下面根据考古所工作队的发掘情况，并利用已公布的资料，对铜绿山古铜矿的采掘方法和冶炼方面的一些问题作一些探讨。

我们知道，未掘动的整体岩层是处于一种平衡状态下的。但当人们从地下深处挖取矿石而开拓巷道时，这种平衡就遭到破坏，在巷道的周围发生应力集中，使岩层出现裂缝、滑动或崩塌等情况。为了防止这种危险的变形，就要使用矿井支架。

我们在发掘中看到的竖井的木构支架，基本上有两种：早期的在Ⅶ号矿体Ⅰ号点见到的方形框架，是由四根木料用榫卯法互相穿接而成（图三，1）。在凿有榫卯的两根木料的两端还削成尖端，以便楔入井壁而使框架固定下来。相邻两副框架之间约有 40 厘米的间距。竖井的四壁还衬以席子等物，并用细木棍别住。这个地点的框架，规格较小，内径约为 60 厘米。在Ⅰ号矿体 12 线发现的一个斜井中所用的框架，形制与此种基本相同。晚期老窿中发现的主要是所谓“密集法搭口式”框架（图三，2）。它是把圆木的两端砍出台阶状搭口榫，由四根搭接成一副方框；整个竖井用这样的方框层层叠压而成。这种框架在Ⅰ号矿体 12 线发现的有八座竖井。这里的矿井年代比Ⅶ号矿体Ⅰ号点的要稍晚一些；直径约 80 厘米。24 线发现的则比较大，井口长宽约 110~130 厘米，所用的木料也较前一种粗大。

有些竖井在挖到一定深度，发现没有理想的矿脉或因技术原因不再继续挖掘时就一走了之，竖井随之废弃。但当挖到矿脉或高品位矿层时，便向旁侧开拓横巷（或称平巷）。这些与横巷连接的竖井，它的底部都有“马头门”结构（图三，3）。这是由四根竖立着的圆木或方木用榫卯法穿接两副平放的方形框架而构成的立方形框架。早期竖井马头门所用木料较细，用圆木，晚期的用料粗大，出现方形木柱。它的高度与横巷的高度一致。在与横巷连接的一边或两边留作通道口，其余的都衬以横向的圆木棍或木板作为背板。

横巷有的接近水平，有的则有一定倾斜度。这种情形既与矿脉的走向有关，也跟排



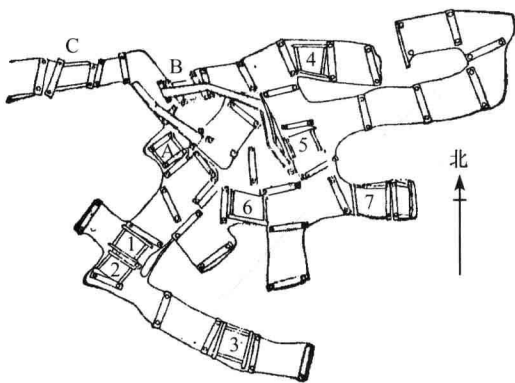
图三 铜绿山古铜矿遗址井、巷及马头门结构示意图

1. 早期竖井井架
2. 晚期竖井井架
3. 马头门
4. 早期横巷框架
5. 晚期横巷框架

水等设施相联系。一般地说，较厚矿层中的横巷，以接近水平走向的居多。但无论横巷或斜巷，往往在它的一侧或两侧还分出若干条横巷。在这些巷中，为了防止四周围岩塌落，危及采掘过程，也用木料构作支架。早期的支架也用榫卯法构成方形框架，两侧的立柱为圆木，圆木的两端有圆柱形榫卯法同上面的横梁和下面的地袱相连接。地袱和横梁都是方木或半圆木。在横巷中，每隔1米左右就竖立这样一副方框。方柱的外侧，一般用三五根横向的细木棍作背板；横梁的上面，排列有整齐の木棍构成顶板，木棍的方向与横巷的走向一致。在横巷拐弯或两条横巷连接的地方，顶板往往作十字交错排列。在24线看到的晚期横巷中的框架，不用榫卯法结合。两侧立柱的上端为支杈形，横梁柱放在两侧顶部的支杈中。为了不使立柱内倾，在横梁的下面紧贴一根“内撑木”，两端撑住木柱。地袱的两端则用搭口式接头与立柱相接（图三，5），至于立柱的外侧，除用木棍或木板作背板外，有的板外再加席子。横梁的上面，在排列整齐的细木棍的上面再铺木板。

把框架做成方形或接近方形，从力学的角度来说是最为合理的。晚期的框架变高变大，表明井巷的净采掘面增大了，矿井支架在承受压力方面的要求也更高了，因此是采掘工艺进步的反映。同时，从发掘的情况看到，无论是早期的，还是晚期的矿井支架，都没有塌毁伤人的现象，说明当时采取的这些支护措施，已经有效地承受了四周的压力，在采掘过程中较好地发挥了作用，基本满足了生产过程中的安全要求。

在横巷的底部，常常发现有向下挖掘的竖井。由于这些竖井的井口并不直通地面，所以称为盲竖井，简称盲井。这种井在Ⅶ号矿体Ⅰ号点的发掘中发现很多，有时在一条不足10米长的横巷中发现三口。这些盲井大多用于向深部采掘矿石，但其中有些当亦不排除作为储水仓的可能。因为有的盲井还没有挖到底，所以有的盲井或许是连接下层横巷的通道。不过，这还有待将来继续发掘时证明。



图四 Ⅶ号矿体一组完整的井巷平面图

A~C. 竖井 1~7. 盲井

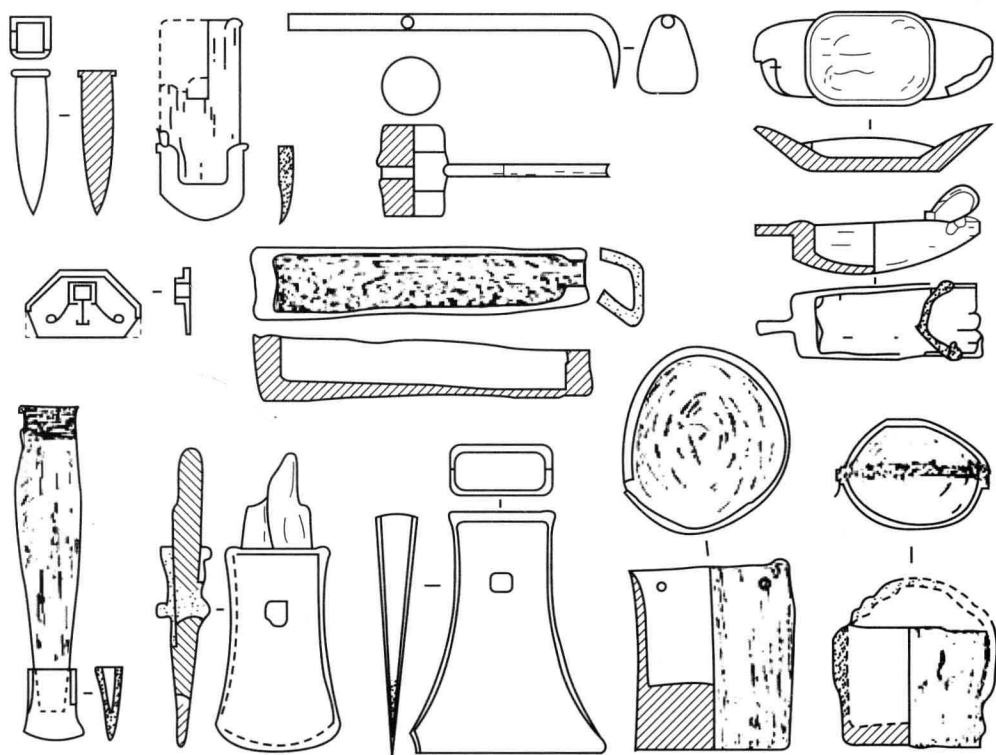
我们在发掘过程中特别注意井巷之间的组合关系。Ⅶ号矿体Ⅰ号点的发掘中发现了这样的组合，如有一组是七条横巷围绕三口竖井作扇面形展开的，横巷的底部还有7个盲井（图四）。就在这一组中，还发现了相当完整的排水系统。从竖井的底部连接的交错而有序的横巷以及横巷底部挖有盲井的情形，我们自然而然地联想起由竖井→横巷→盲井掘取矿石的过程以及采掘矿石而在提升、排水、通风等方面采取的相应措施。显然这种组合的被揭

露，为探讨当时的采掘工艺提供了有说服力的、具有典型性的资料。

在发掘时，竖井底部和横巷中均出土了一些采矿时留下的器具。这些物品使我们可

以推想当年矿工们进行采掘工作的情况。

采掘的工具发现有金属的斧形凿（原报告中作“斧”，下同；早期的青铜器，晚期的铁器），此外，晚期巷道还出有铁制的锤、四棱凿、锄（图五，1、3~6、8、9）。铜制斧形凿重3.5千克，安装方法和四棱凿一样，是将柄部直插入它的空套内，刃部与木柄垂直，这种装柄方法和武器中的斧子或木匠用的斧子，都不相同。斧子的刃部与木柄平行，斧身与木柄垂直。铁锤重6千克。有一件铁制斧形凿的木柄上端仍保留四道（竹）篾箍，显然是为防止柄端开裂而套上去的。也有的木柄上因冲击而使木质纤维外翻，表明它们在剥离矿石时，是一种有效的工具。几件铁锄和一件残铜锄的锄板都很单薄，大概是用来扒取剥下的矿石或废石的，发现的木铲（锹）也可作同样用途。这些矿石用竹簸箕倾入竹筐或藤篓中，然后再提升至地面。12线的古矿井中，就曾见到装满孔雀石的竹篮（筐）。当然，这些筐、篓也可以搬运泥土和碎石。



图五 铜绿山古铜矿遗址出土的各类采矿工具

1. 四棱铁凿 2. 凹字形铁凿 3. 铁锄 4. 铁斧 5. 铁耙 6. 铁锤
7. 木槽 8、9. 斧形凿 10. 船形木斗 11. 木瓢 12、13. 木桶

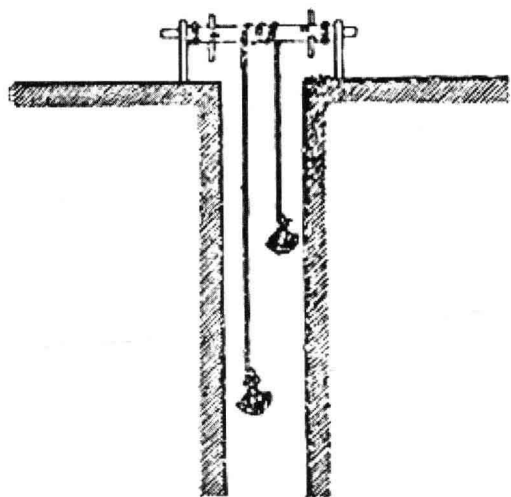
在发掘过程中，还见到有的横巷在最后废弃之前已经人为地用红色黏土、废石、铁矿石等充填，并用木棍和青灰膏泥（高岭土）加以堵封。这些废弃的杂物应是在坑下选别后就近加以处理的。这样做的目的，首先是为了减轻工作面上采空区的压力，增强

采掘工作的安全系数。同时也利于控制风流，使风流达到深部的作业面上。在坑下选出富矿运走，把贫矿和废土就近充填废巷，这也是减少搬运的一项措施。

从矿区的水文地质情况看，古矿井大多都挖在潜水面以上，但是雨雪水（尤其是在多雨季节）的渗透及其他因素，使坑下采掘也不可避免地碰到排水问题。我们发现一些横巷的一侧贴背板的地方，往往铺有排水用的木槽（图五，7）。每节木槽的长度65~260厘米。各节木槽互相连接，置于地袱之上，以一定的高差向水仓或排水井流去。每两节木槽连接的地方都涂有一层青灰膏泥以防渗漏。当木槽不可避免地通过提升矿石的竖井或主巷时，就在这一段木槽的上面铺垫一层木板，使之成为一条暗槽。我们曾对一组水槽作了一次排水试验，发现它们仍能让水通过弯弯曲曲的木槽而流向排水井方向。同时，我们发现十几件装有提梁的木桶和木瓢（图五，11~13），木瓢可用来戽水，木桶则在装水以后，像前面所说的，可由竖井提升到地面。此外，还发现有专门用于排水的泄水巷道。

把矿石提升到地面的方法，也可以根据发现的遗物而推知其大概。最重要的发现是两根辘轳轴。一根是采集的；另一根出于晚期的24线10号巷中。全长250厘米，可以横架在井口之上。轴木的两端砍成较小的轴头，以便安放在井口两侧支架的立柱上面。轴木本身，近轴头处两端各有两排环绕一圈的长方孔，孔眼可以插入长方形木条。这两排孔眼的疏密并不相同，外圈密而孔眼浅小，内圈稀疏而孔眼深大。据原发现人的推测，内圈孔眼上安插的木条，如果加以扳动，便可启动绕于轴木中心的绳索，以提升或下放悬挂于木钩上的竹筐或藤篓。外圈密孔上安插的木条，可能起到“制动闸”的作用。当辘轳需要停止转动时，可以推上支架的“插销”，即可制止轴木转动（图六）。我们认为这种复原是不合理的，密圈的孔眼既密又浅（孔深2~3厘米，孔距1~2厘米），所插之木条恐难以起到“制动闸”的作用。实际上，矿井上的辘轳，并不需要“制动闸”。明人宋应星《天工开物》中矿井上的辘轳就没有设置“制动闸”。16世纪德国学者阿格利科拉的《金属》一书中的插图，也是如此。从明崇祯十年刊本《天工开物》所绘宝井取矿的辘轳图形看，密圈的孔眼是为加粗辘轳直径而插入如车轮辐条那样的木棍的（图七）。我们曾按原轴的规格制作了这样一个辘轳，证明在加了辐条式的木棍和车辘式的一圈木条之后，比原来的辘轳轴的直径增大了一倍，则同样绕绳一圈，绳索的长度也增加了一倍。这样，既可减轻辘轳的重量（比同样直径的实心轴要轻），操作时又可省去一半的时间，应是提高功效的一种措施。至于疏圈的孔眼，深为6~7厘米，作按把和启动用的推测是合理的。铜绿山的这种辘轳设置按把是由于这里的矿井口径较《天工开物》插图中的为大，工人站在口沿上伸手到辘轳轴上是困难的。这样的辘轳将能够胜任从深井中提升矿石的功能（图八）。

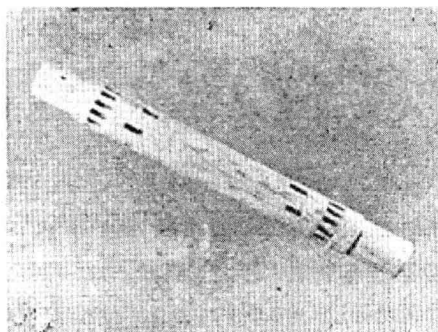
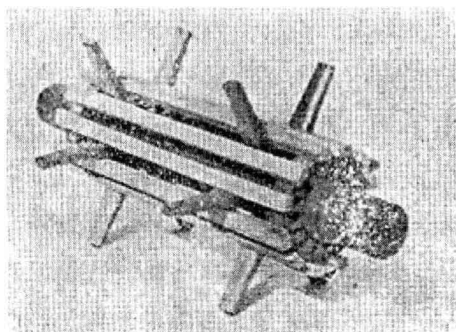
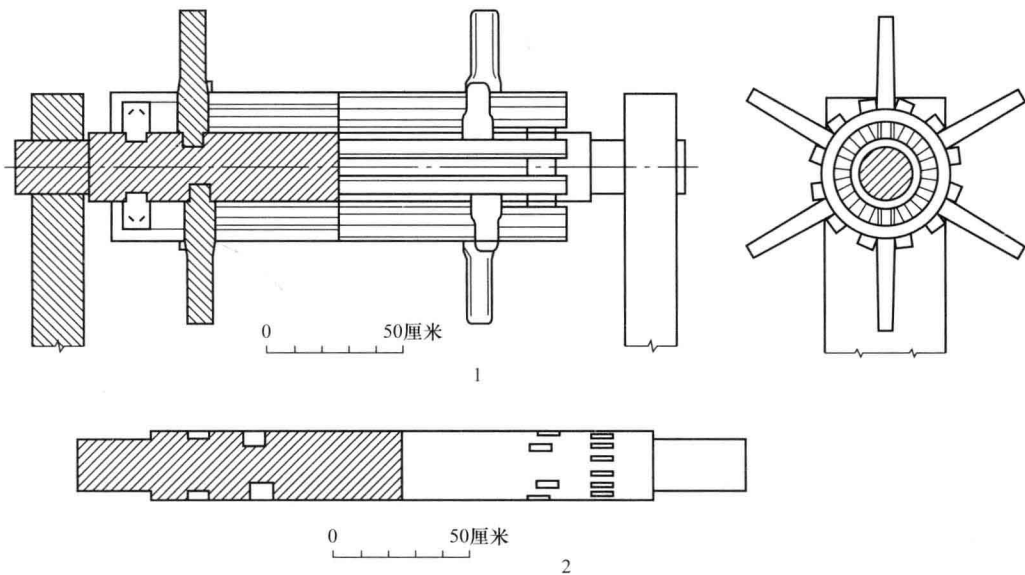
在Ⅶ号矿体的发掘中，我们没有发现辘轳。早期是否已经使用辘轳，还需在今后的工作中证明。不过，木钩在早晚期的井巷中发现不少。有的钩柄上刻有浅槽，以便扎绑绳索。发现的绳索中，最长的一条残存8米。这些绳索系由植物纤维绞成，即先绞成直



图六 使用辘轳提升的一种设想图



图七 《天工开物》（明崇祯十年刊本）
所绘辘轳使用情况



图八 辘轳复原图

径1厘米的单股，再由三条单股的绞合而成，所以它们可以承受相当的重量。在晚期的竖井中，当年的矿工们已经知道使用辘轳，可能在绳索的两端各绑缚一件木构，一上一下地来回提升或下放盛有矿石和支护用构件等东西的箩筐。前面已经提到，在矿体中开拓井巷是由竖井—横巷—盲井。提升的过程则应是盲井—横巷—竖井而达于地面的，而且可能是用分段提升的方法提升矿石的。

在巷道的充填物中，还曾出土一些竹签，一般都很短，一端有火烧的痕迹。这些竹签可能是矿工们在矿下用于照明的残余。不过，考虑到当时的通风情况，巷道又很窄小，在坑下长时间燃竹签照明的可能性并不大。

我们知道：氧气在一般空气中所占的体积为21%。当空气中的氧气下降至17%，或二氧化碳达到3%以上时，矿工就失去长时间从事繁重劳动的能力。当时没有机械通风，只能靠井口高低不同产生的气压差所形成的自然风流来调节坑下的空气，确保氧气的供给。为此，如上面提到的，及早关闭废巷也是促使新鲜空气顺利通向深处采掘面的措施之一。但从总的情况来看，当年矿工们在坑下采掘矿石，所处的劳动条件还是相当差的。

在发掘过程中，我们注意了选矿问题。因为古矿井所在的范围内，矿石的含铜品位是不平衡的。舍贫矿、取富矿，这是古今矿工们采掘时的基本原则。在发掘中曾见到一些类似“淘金斗”那样的船形木斗（图五，10）。这种木斗体积较小，装上矿石，在水中淘洗，比重较大的矿物就沉在底部，借以进行“重力选矿”，可以用来鉴定矿石品位高低以确定采掘方向。对于冶铜所需的、数量较大的矿石如何选矿？有理由认为，凭经验进行目力选矿（人工挑选）是可能的，同时，对“泥巴矿”用竹簸箕一类工具用水淘洗也是一个有效的办法而可能已被采用。我们在模拟实验时曾用这种淘洗的方法，结果泥土冲掉了，含铜品位可以提高一倍多。这方面的问题，应在今后的发掘工作中继续探索。

在巷道中还发现了一些生活用具，如木制耳杯、葫芦瓢、竹篮和陶器碎片等等。其中以竹篮为常见，竹篾削得很细，编织相当精致，当为盛置食物而被带进巷道的。矿井是采掘矿石的场所，矿工们的居住遗址亦相去不远。Ⅶ号矿体所在的大岩阴山南坡，地表就有很多陶片。可惜因地貌有较大改变，原来的地层被扰乱殆尽，已无法弄清其原貌了。

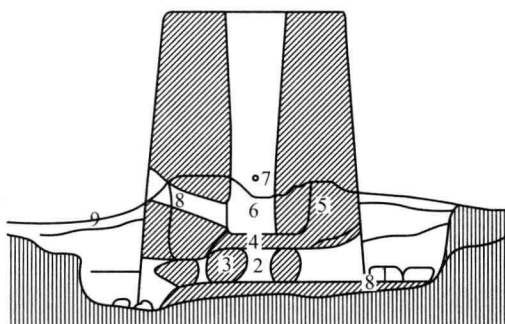
关于这些矿井的年代，我们曾经根据出土物而推定Ⅰ号矿体的12线老窿为春秋晚期，24线老窿则属战国年代。由Ⅱ号矿体古矿井中一件遗物（铜制工具的木柄）作¹⁴C测定，是距今 2485 ± 75 年（ZK297），树轮校正后为距今 2530 ± 85 年，如果换算为公元年代，它是公元前 465 ± 75 年，校正后为公元前 580 ± 85 年，与我们最初的估计可说是相当符合的。

最近又作了几个¹⁴C测定（见附表），其中Ⅶ号矿体1号点所测的数据，有的与12线的时代接近，有的则稍早，这与该地点矿体支架的规格较小，具备某些早期特征是一

致的。至于 24 线老窿的¹⁴C 测定为距今 2600 ± 130 年 (W. B. 79-36)、 2575 ± 175 年 (W. B. 79-37) 和 2075 ± 80 年 (ZK561)，当属战国至西汉时代。这与巷道出土的其他遗物一致，与原先估计的年代也相去不远。¹⁴C 测定中 ZK559 的距今 3205 年这个数据，其标准误差为 400 年，与出土物的时代不合，恐有问题。不过，有迹象表明（如 ZK758 的数值），古矿区可能还有较春秋时代更早的矿井。

虽然岩石是人类最早进行加工的对象，被制成粗陋的石器，但是从岩石中识别可以利用的矿物，经过冶炼、提取金属，制成器具则只有几千年的历史。从矿石中提取金属的工艺，比起加工石材、制作石器来无疑要复杂得多。过去，对于我国古代的金属冶炼业（包括冶铜业）的了解很少，研究工作由于缺乏采矿和冶炼的实物资料，无法探入。因此，发掘古代的冶炼遗址，对古代冶铜工艺进行探索，是我们在铜绿山工作时要研究的又一个课题。

在铜绿山发现的早期古炉，主要是在 XI 号矿体。那里地表面覆盖有一米多厚的炉渣，下面埋有不少古代炼炉；前几年，地方考古队在该地清理了六座炼炉，有简报发表于《文物》1981 年第 8 期。我们清理的 10 号炉与他们清理的古炉的炉型和结构都很一致。10 号炉的热释光年代为 2895 ± 305 年、 3014 ± 320 年，从地层和出土物推定，古炉的时代均属春秋时期。这几座古炉的炉型为炼铜竖炉，它包括炉基、炉缸和炉身三部分（图九）。炉基在当时的地表之下，内设“一”字形或“T”字形风沟（又称防潮沟）。风沟沟壁经过烘烤，质地坚硬，有的沟底还有木炭或灰烬。后经模拟实验证明，风沟的设置对确保炼炉的炉温和防止炉缸冻结确实是有有效的。



图九 第 10 号炼铜竖炉结构复原图（剖面）

1. 炉基 2. 风沟 3. 风沟垫石 4. 炉缸底 5. 炉壁
6. 炉缸 7. 风口 8. 金门 9. 工作面

炉缸筑在炉基的上面，炉缸的截面有的为椭圆形，也有长方形的。炉缸内径，长轴约 70 厘米，短轴为 40 厘米。炉缸的侧壁上筑有金门。金门的形状是内宽外窄、内低外高、顶呈拱形。在炉缸内壁和金门内口区一段，都加衬耐火材料；鼓风口由于炉缸残破，只发现一个，但很可能是一对，分别布置于长轴两端。4 号炉风口的内口呈鸭嘴形，口径分别为 5 厘米和 7 厘米。

炉缸筑在炉基的上面，炉缸的截面有的为椭圆形，也有长方形的。炉缸内径，长轴约 70 厘米，短轴为 40 厘米。炉缸的侧壁上筑有金门。金门的形状是内宽外窄、内低外高、顶呈拱形。在炉缸内壁和金门内口区一段，都加衬耐火材料；鼓风口由于炉缸残破，只发现一个，但很可能是一对，分别布置于长轴两端。4 号炉风口的内口呈鸭嘴形，口径分别为 5 厘米和 7 厘米。

古炼炉周围的工作台面上还发现了不少遗迹。如有当年搭盖棚架时留下的柱穴，有碎矿用的石砧和石球。石砧长约 45 ~ 70 厘米，有凹面；石球直径 6 ~ 8 厘米，有凹窝，适于手握。石砧的旁边还有大小不等的浅坑，坑内堆放有粒度一致、直径为 3 ~ 4 厘米的铜铁矿石。此外，有陶罐、铜铤、铜块、炉渣、铁矿粉和高岭土等。这些遗迹现象，使我们有可能推知当时炼铜生产的一些情形。

我们知道，古老的冶铜业，由于冶铜的技术水平不高，冶铜的原料只能是孔雀石和自然铜等含铜品位很高的矿石。铜绿山3号炉内清理出一块孔雀石和木炭的熔合物，说明孔雀石仍是当时炼铜的原料。可是，春秋时代的冶铜业是否仍然以富矿为原料？从古矿井采掘面上所取矿样的分析表明，很多矿样的古铜品位低于4%，而且多是矿粉，虽然低品位的矿石经过选矿，可提高其品位，但这些低品位的数据使我们不得不考虑：当时除了用高品位铜矿石进行冶炼外，是否也用较低品位的矿石进行冶铜呢？在用块矿冶炼的同时，是否也兼用粉矿作为冶铜的原料呢？此外，古炉周围发现的炉渣大多冷凝成薄片状，表面有水波纹样，说明古炉渣排放时的流动性很好，但是古代工匠在冶铜时掌握配矿技术到了什么程度呢？就炼炉来说，古炉的炉缸底比金门口低，放铜时铜液必然不能放尽，那么古炉的这种设计是为“杀鸡取卵”似地破炉取铜呢？还是为连续进行冶炼而特意设置的呢？用这种炼铜竖炉进行正常的冶铜生产，需要具备哪些条件？古炼炉的性能如何？春秋时代的冶铜业达到了怎样的水平？……带着这样一些问题，我们组织进行了一次炼铜模拟试验。

这次实验是在对古炉进行仔细的解剖，搞清其形制、结构的基础上进行的。首先提出了春秋时代炼铜竖炉的复原设想和仿古实验炉的筑砌方案。在同时提出的两个方案中，凡是古炼炉已经提供的数值一概加以采用，不予变动；未知的部分（如炉身高度、风口的数量等）则在允许的范围内作尽可能合理的推测和假设，在实验中检验假说的合理性。

春秋炼铜竖炉的炉身是怎样的？这是我们在复原研究时着重考虑的一个方面。为便于比较，两个实验炉的炉身是不同的。一号炉作为口小腹大的正截体形；二号炉则在中腹向上短轴方向的一段炉壁，筑出7°的炉复角（长轴方向的内壁仍保持垂直），炉口部分的内壁则上下垂直。对古炉复原方案中所作的上述考虑，是基于前者的炉壁与料柱之间缺乏摩擦力，不易控制物料的下降速度。二号炉炉身的设计则可避免这种情况。实验的结果证明，上述考虑并不是多余的。

作为模拟试验，如何使实验的全过程都力求仿古，不使失真，是我们特别关注的另一个问题。为此，在筑炉的材料、筑砌的方法、冶炼用的燃料和原料等方面，都尽可能地创造与古代冶铜生产时比较接近的条件。为使实验炉的炉缸、金门、风沟等部位的形制与古炉保持一致，这些部位在夯筑时用木、竹等材料做了模具，筑入炉中。

二号实验炉的冶炼过程是在阴雨有微风的条件下进行的。二号炉的炉身高1.5米，在短轴方向的对应部位设置两个风口，使用一台小型电动鼓风机同时向两个风口鼓风。冶炼时持续地投入批料，间断地排放炼渣和铜液。整个冶炼过程相当顺利。在十余小时的冶炼过程中，共投入矿石等物料1300余千克，木炭600余千克，先后排渣14次，放铜2次，炼出红铜100多千克。经化验：红铜中铜含量为94%~97%，炉渣平均含铜为0.837%。实验取得预期的结果。

冶炼的过程是通过化学和物理化学方法使原料中主要的金属与其他金属或非金属的

元素化合物分开、从矿石中提取金属的过程。这次模拟实验提供的资料，使我们对春秋时代的炼铜工艺技术有了初步的了解。

这次实验所用的原料和燃料与冶炼遗址中见到的燃料基本上是一致的，所以实验的结果，证明了铜绿山发现的炼铜竖炉，其冶炼工艺是铜的氧化矿的还原熔炼。使用这种竖炉炼铜，只要保证必要的风压、风量，使炉内木炭燃烧充分，就能进行正常的冶炼过程。诚然，所用风压、风量的大小，则跟炉身的高矮和炉腔的大小有关，确切地说，跟投入炉内物料的粒度及由这些物料形成的料柱的粗细高矮直接有关。古炉没有专门的排渣孔和放铜口。实验证明，渣和铜的排放都通过金门。由于渣、铜的比重不同，铜液沉在炉缸下部，渣则浮在上部。排放时只需在金门的上部或下部分别开口，即可渣和铜分别排入炉外。用这种竖炉冶炼，操作的方法也比较简便。

冶炼过程中，我们投入的原料有含铜20%以上的高品位矿石，也有含铜仅7%或更低的矿石，并有一部分粉矿（冶炼前用人工团成直径3~4厘米的泥团）。实验结果证明，用这种竖炉炼铜，只要炼炉熔化带中保持足够的温度，那么无论是高品位的还是低品位的矿石，也不论块矿还是粉矿，都可以炼出红铜。这种情况说明，春秋竖炉具有较高的冶炼能力。

由于发现的几座古炉，它们的缸都低于金门口，因而使人们对当时的冶炼方法提出种种推测。这次实验的重要收获之一还在于证明了这种竖炉并非每炉只炼一次，便要破炉取铜。而是可以连续投料、连续排渣、间断放铜，持续地进行冶炼的。古炼炉的这种设计，正是为确保炉缸内的温度在排渣放铜时不致骤然下降，影响持续冶炼而在实践中总结出来的有效措施。这种设计，使竖炉的生产效率大为提高。若按实验的情况推算：如果一天投入炼炉的物料为3000千克，矿石的含铜品位平均12%，在正常情况下一天一炉约可熔炼红铜300千克。而且，这种炼炉的炉龄可能比较长，检修也比较简单。3号古炉清理时曾发现有补炉痕迹，说明炼炉经检修以后还可进行冶炼。

春秋时代配矿技术达到什么程度？我们在实验过程中还作了以下试验：有的未加熔剂，有的则加了熔剂。从排渣情况看，未加熔剂时，渣稠、流动性很差；加配熔剂以后，炉渣的流动性明显改善，并冷凝成薄片状，表面有水波纹样，与古炉渣十分接近。根据这种情况，或可以推测古代工匠在冶铜时，已经掌握了较好的配矿技术。这个问题，准备在今后的工作中作进一步的探索。

虽然模拟试验的情况还不能完全说明春秋时代的炼铜技术，但是通过这次实验，使我们对古炼炉的性能和冶炼技术的很多方面有了比过去远为具体、深刻的认识。实验告诉我们，由于这种炼铜竖炉的结构合理，炉衬材料选用能适应高温熔炼的不同耐火材料，因而使古炉具有生产效率高、炉龄较长、操作比较简便等优点。在对古炉所作的解剖过程中，古代工匠的筑炉技术给我们留下了很深的印象。据分析，古炉渣的含铜量为0.7%，其他化学成分也相当稳定，酸度适宜，渣型合理，这是当时冶铜技术达到较高水平的又一佐证。所有这一切，说明两千多年前的工匠们在筑砌技术和冶炼技术方面都

掌握了较高的工艺。他们为创造灿烂的古代文明作出了杰出的贡献。

铜绿山古铜矿所在的地点，交通也很便利。矿山脚下的大冶湖与长江相通，从水路可以抵达沿江各地。从调查知道，在离铜绿山不远的一些地点有东周时期的铸造遗址，不过有理由认为，当时铜绿山矿生产的红铜一般并不在当地铸造青铜器，而是分运各地的。矿山脚下多次采集重约 1.5 千克的圆饼形铜锭，可能就是古代外运时遗失所致。

铜绿山古铜矿的发现和发掘，对了解我国古代的社会生产，尤其是青铜业的生产具有重要意义。它证实了我国商周时代青铜器铸造业与采矿、冶炼业是分地进行的，并在采矿、冶炼和铸造业之间，甚至它们的内部都已有了分工。从铜绿山古铜矿获得的丰富资料，还说明东周时期的楚国在铜矿的开采和冶炼方面都已达到较高的水平，从而对于像曾侯乙墓出土的青铜器具，总重量达到 10 吨之多的惊人数字也就有了更深的理解。

夏鼐附记：1980 年 6 月 2 日，我在纽约大都会博物馆召开的中国古代青铜器学术讨论会上宣读了《铜绿山古铜矿的发掘》的论文。这次发表的便是那篇论文的增订稿。矿山部分，增入 1980 年下半年及 1981 年发表的简报及论文的一些内容。木辘轳的复原，是我与友人王振铎同志的谈话中受到了他的启发后设计的。复原的模型由我所白金同志依照我的复原方案做成的。炼炉部分由我所主持发掘和模拟试验的殷玮璋同志重新写过，然后我们二人共同商量定稿。插图由我所绘图室描绘。对于协助我们的各位同志，都敬致谢意。这篇文章曾以我们的名义在 1981 年 10 月 13 日在北京召开的中国古代冶金史会议上宣读过。

参 考 文 献

- [1] 湖北省博物馆：《湖北古矿冶遗址调查》，《考古》1974 年第 4 期，第 251～254 页。
- [2] 铜绿山考古发掘队：《湖北铜绿山春秋战国古矿井遗址发掘简报》，《文物》1975 年第 2 期，第 1～12 页。
- [3] 中国社会科学院考古研究所铜绿山工作队：《湖北铜绿山东周铜矿遗址发掘》，《考古》1981 年第 1 期，第 19～23 页。
- [4] 中国社会科学院考古研究所铜绿山工作队：《湖北铜绿山古铜矿再次发掘》，《考古》1981 年第 1 期。
- [5] 杜发清、高武勋：《战国以前我国有色金属矿开采概述》，《有色金属》1980 年第 2 期，第 93～97 页。
- [6] 杨永光、李庆元、赵守忠：《铜绿山古铜矿开采方法研究》，《有色金属》1980 年第 4 期，第 84～92 页；《有色金属》1981 年第 1 期，第 82～86 页。
- [7] 黄石博物馆：《湖北铜绿山春秋时期炼铜遗址发掘简报》，《文物》1981 年第 8 期，第 30～39 页。
- [8] 卢本珊、华觉明：《铜绿山春秋炼铜竖炉的复原研究》，《文物》1981 年第 8 期，第 40～45 页。
- [9] 周保权、杨永光等：《从铜绿山矿冶遗址看我国古代矿冶技术的成就》，铅印稿。