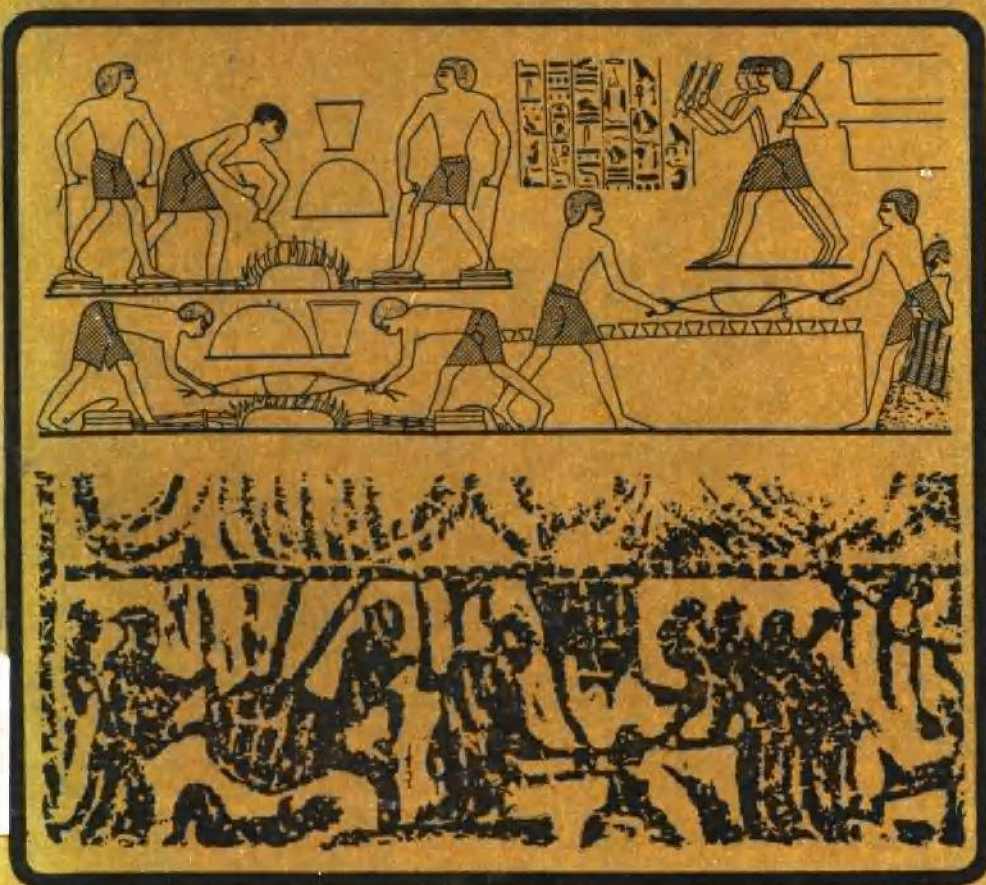


SHIJIE YEJIN FAZHANSHI

世界冶金 发展史



世界冶金发展史

华觉明等 编、译

科学技术文献出版社

1985



B

131625

内 容 简 介

本书由两个部份组成。第一部份是冶金史，其内容综述了世界各主要地区自上古到中世纪的冶金技术以及工业革命以来现代冶金业和金属科学的发展。第二部份是中国古代金属技术，这一部份总结了前人和近年来金属史的研究成果，结合文献考证、实物考查和复原以及对传统工艺的实地调查，较全面地介绍了中国古代金属开采、冶炼和加工工艺的历史发展与技术成就。同时也是对冶金史中有关中国的论述作必要的补充，可供读者参考。

本书可供化学、物理、冶金、机械、科技史、文物、考古等学科的科技人员、管理人员，以及高中、大学的学生阅读。

R. F. Tyieccote

A HISTORY OF METALLURGY

The Metals Society, 1976

世界冶金发展史

华觉明等 编、译

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：21.25 字数：546千字

1985年7月北京第一版第一次印刷

印数：1—3,450册

科技新书目：99—33

统一书号：15176·619 定价：5.45元

出版说明

金属的冶炼和加工对人类历史发展起着极为重要的作用。在社会主义建设的新时期，为了提高全民族的科学文化素养和促进我国金属工业与金属科学更好的发展，学一点冶金史很有必要。

为此，我们特邀中国科学院自然科学研究所副研究员华觉明和北京钢铁学院讲师周曾雄翻译了英国冶金史学者泰利柯特教授著的《冶金史》一书，由北京钢铁学院副教授程毓徵等审校。鉴于该书有关中国古代金属技术的份量较少，故又请华觉明同志撰写《中国古代金属技术》，作为全书的第二部份。这样的编排，是我们的一次尝试，恳切期望读者提出宝贵意见，以便在今后修订时，使之更臻于完善。

本书取材广泛，内容丰富，并且附有不少图表和彩色照片，很有助于读者系统地了解世界冶金发展的历史过程，从中获得这方面的基本知识。

导 言

本书介绍了从最早到晚近时期金属冶炼的历史发展。涉及世界上众多国度的这类研究，是很难用一本书表述清楚的。我本来准备再经过一段时间的努力，写出多卷本的冶金史以概括其丰富的内涵。但我们还是感觉到，攻读冶金学和考古学的学生，以及比这多得多的对一般技术史研究感兴趣的人，还是要求有一部单卷本的冶金史。

作者先前曾对早期以迄公元1600年特别是不列颠诸岛的冶金史，作过仔细的研究。本书还将述及诸如近东冶金术的兴起和西欧的工业革命等重要论题。

本书仍按作者从前著作中的方式，对物证予以最大的重视，其次才是文献的证据。这绝非无视后者的价值，而只是承认这一事实，即文献资料经常忽略诸如炉的图样、所炼金属的成份等细节，而这类细节对冶金工作者来说，却是非常重要的。我们也从文献中发现了中世纪及中世纪之后所用技术的详细描述，并充分地利用了这些资料。

冶金学在今天被看作是金属科学，但直至十八世纪，只存在着由金属熔炼、熔化、加工等传统工艺组成的冶金术的实践。这类知识的传播在全世界并不一致，而是取决于各种文明发明新技术与开发已知技术的能力。

我们发现地球上的广大地区，存在着可明确识别的金属发展系列。这一事实表明，我们研究的是一种传播过程。例如纯铜-砷铜-锡青铜这一金属系列就发生于不同地区，在若干地区其时间间隔在两千年以上。但是，完整的系列不是经常能见到的，非洲的部分地区就从新石器时代制作燧石工具及陶器的技术，直接过渡到早期铁器文明。当然，出现这种情形是有许多原因的，新石器文明并不总

能达到能据以建立铜器时代的那种技术水准，也不一定总有贸易往来，从而促进技术传播的势头。

但是，地质学却指出了金属系列发生另一种可能的原因。世界上多数原生铜矿床是风化成若干矿层的，从顶部至底部依次为含自然铜及氧化铜矿（例如孔雀石）的氧化层，其下是富集的硫化矿层，其中砷等杂质相当集中。这可以说明前述金属系列中第二项砷铜之普遍存在。俟后，可能在青铜时代后期，冶炼者不得不像我们今天这样，使用位于矿床底部的较低品位的硫化矿。

长期以来，技术与观念的传播理论已为考古学家们普遍接受。但时至今日，随着我们认识的增加与深化，这种通常的传播理论已大成问题。然而，就冶金术而论，仍然有理由认为，这一理论是有确实根据的。与此同时，既然自然铜能为任何人所用，许多民族当能在冶金术发展方面独立地迈出最初的几步。但很可能，某些民族在还没来得及发展自己的冶金术之前，就被技术进步的主流所席卷了。

放射性碳断代技术已订正了从前为某些遗址所定的年代，从而也订正了工业生产的开始年限，由放射性碳所测定的年代与某些地区习用的历史年代有相当大的出入，这种测定技术本身也是处于不断改进的过程中，目前测定的碳-14年代比先前根据宇宙射线活力持续性和碳-14半衰期的估定值计算的年代要早些。

安纳托利亚或伊朗可能早自公元前第六千纪就发展了炼铜技术，并于公元前第二千纪之初，传至不列颠诸岛和中国。公元第一千纪初出现于南美和中美地区的炼铜技术，有可能是一种独立的发展。安纳托利亚的铁器时代始于公元前1500年到1000年之间，约于公元前400年传到中国、不列颠和尼日利亚。北美、南美和澳大利亚是从公元十五世纪起即当欧洲人移居那里之后，才有冶铁技术的（参见附录4）。

本书前半部按考古年代编排，直至铁器时代为止。所以，读者们请勿为在论述纪元前六千纪近东用铜文明等早期章节中，发现有

关公元十四世纪美洲土著印第安人用铜的资料而感到惊奇。同理，尼日利亚和日本的早期铁器文化也与欧洲早期铁器时代一并论述。但在罗马时期以后，特别是涉及欧洲冶金技术的发展时，我们就必须按历史年代予以阐述了。

为便于考古学家和历史学家们理解专门性的冶金用语，作者编写了术语简释（附录1），一般技术用语请查阅常用的技术辞典。

目 录

第一部份 冶 金 史

导言	(I)
第一章 新石器时代的金属和矿物	(1)
第二章 早期炼铜技术及其发展	(11)
第三章 早期青铜时代	(36)
第四章 青铜器的全盛时期	(76)
第五章 早期铁器时代	(102)
第六章 罗马的铁器时代	(136)
第七章 民族大迁徙时期及中世纪	(164)
第八章 中世纪之后的冶金术	(207)
第九章 工业革命时期(公元1720—1850年)	(267)
第十章 晚近时期(公元1850—1950年)	(364)
第十一章 科学家们的贡献	(392)
附录	(417)
术语简释	(417)
关于重量、应力和硬度等单位的说明	(422)
元素表	(423)
金属时代的大略起始年限	(425)
中国历史年表	(426)
本书引用的期刊及其简称	(427)
主要参考书目	(432)
地名对照表	(434)

第二部份 中国古代金属技术

绪言	(461)
第一章 金属技术的萌生和铜石并用时代	(463)

第二章 青铜时代.....	(467)
第一节 夏代已进入青铜时代.....	(467)
第二节 商周时期的青铜冶铸业.....	(468)
第三节 早期采铜、炼铜技术.....	(475)
第四节 青铜器的范铸技术.....	(481)
第五节 失蜡法、铸焊和青铜装饰工艺.....	(500)
第六节 编钟的设计制作.....	(507)
第七节 “六齐”和青铜器的合金配制.....	(511)
第三章 从早期铁器时代到完全的铁器时代.....	(514)
第一节 冶铁术在中国的起源和发展分期.....	(514)
第二节 封建社会前期的金属手工业.....	(517)
第三节 竖炉炼铁和鼓风装置.....	(528)
第四节 生铁的范铸技术、铁范.....	(534)
第五节 铸铁柔化术、球状石墨铸铁.....	(540)
第六节 块炼铁和块炼渗碳钢.....	(547)
第七节 炒铁.....	(550)
第八节 百炼钢、铸铁脱碳成钢.....	(551)
第九节 宿铁法和双液淬火.....	(555)
第十节 叠铸、镜的铸作.....	(558)
第四章 金属技术全面、持续和缓慢发展的时代.....	(565)
第一节 封建社会后期的金属手工业.....	(565)
第二节 竖炉炼铁、坩埚炼铁.....	(576)
第三节 炒铁和制钢技术.....	(583)
第四节 钢铁的锻造和热处理工艺.....	(589)
第五节 铜和铜合金.....	(598)
第六节 其它有色金属的冶炼和加工工艺.....	(605)
第七节 大型铸件和传统铸造工艺.....	(616)
结语——中国古代金属技术的历史作用, 它的起源、特 点和未能向现代金属技术转化的原因.....	(628)

第一章 新石器时代的金属和矿物

在探讨冶金术的起源时，必须对石器社会日常所用的特定技术进行研究，因为金属的应用来源于该时期人们使用金属材料 的经验。从远古时代起，广大地区都熟知在宗教和丧葬仪式中使用红色的赤铁矿。新石器时代的人们还用它来粉刷墙壁。大约公元前4000年，埃里杜和苏沙曾将赤铁矿用于打磨好的陶器上。绿色的和蓝色的铜矿石曾大受欢迎。业已证明，在埃及和美索不达米亚，它们都曾用作化妆品。在克里特岛上，在公元前约6000年的居住层中，曾发现有小块的蓝铜矿^{〔1〕}。

基本上可以肯定，当进入新石器陶器时期，绿色的矿物已用来装饰陶器；不过很快就发现它们是不稳定的，因为和红色氧化铁不同，铜基矿物在氧化条件下加热时会发黑。

大家都很熟悉在铅釉烘烤过程中还原性条件对产生金属铅液滴的作用，但不知金属熔炼是不是由此而发现的，现在还没有这方面的证据；但铜器时代以前还没有足以造成还原性条件的封闭式窑，据此可以推测，这种偶然情况是炼铜技术的起源。

人们知道釉料比玻璃早，而上釉的滑石（皂石），从埃及古代公元前约5000年的巴达里人时期，就被应用了，不过没有资料说明在上述釉料中用过铜^{〔2〕}。但是，在上釉的石英玻璃料即上彩釉的陶器中，已经测知有铜，不过这不会早于第十八王朝（公元前1600—1300年）。在底格里斯河地区，发现了一块约公元前1600年的陶土片，它包括了两种绿釉制法，无论哪一种方法都含有大量的铜。

铜

现在我们转到金属本身上来。大家都知道有自然铜和陨铁，不过发现自然铜的机率可能比通常所认为的要高。所有大、小铜矿藏

表1-1 若干低纯度自然铜的成份 %

元 素	塔 尔 梅 西 (伊 朗) ^{〔4〕}	罗 得 西 亚 ^{〔7〕}	阿 兰 莫 尔 (多 尼 戈 尔) ^{〔7〕}	阿 纳 拉 克 (伊 朗) ^{〔10〕}	塔 赫 图 尔 恰 尔 根 (苏 联) ^{〔8〕}	安 卡 拉 (土 耳 其) ^{〔16〕}	埃 尔 加 尼 (土 耳 其) ^{〔16〕}
Ag	0.023	0.004	0.005	~0.1	0.6	—	—
Au	0.014	—	—	tr.	无	—	—
As	0.08	ND	0.002	0.1—1.0	无	—	—
Sb	—	ND	ND	ND	0.4	—	—
Pb	<0.0001	0.0005	0.0005	—	0.3	—	—
Ni	ND	ND	0.0003	ND	0.5	—	0.03
Co	—	0.1	ND	—	—	—	—
Hg	0.001—0.01	—	—	—	—	—	—
Fe	0.005	0.1	~0.2	有	0.02	0.17	2.13
Bi	0.00005	0.0006	0.0003	ND	0.003	—	—
Sn	—	—	—	—	—	tr.	0.27
Zn	ND	—	—	—	0.1	—	—
S	—	—	—	—	—	—	0.49

ND: 未测出; —: 未测定; tr. 痕量

测量的限值随方法而异, 用精密技术测量, 通常<0.0001

看来都生成一定比例的自然铜。在伊朗西部的阿里喀什^{〔4〕}和安纳托利亚靠近埃尔加尼的卡约努泰佩舍^{〔5〕}都零星发现过约公元前第九千纪到第二千纪期间的小型铜器件如小珠、小针和小锥等。

要区分熔化的自然铜和用纯净的铜矿石冶炼的铜是不可能的；但没有经过熔化的自然铜是可以识别的。人们曾一度认为自然铜要比由纯净的铜矿石炼出的铜纯得多。最近的研究表明，这种区分方法很不可靠。有许多分析结果已经发表了^{〔7〕}，表1-1就是若干纯度较低的自然铜的最新鉴定。

自然铜的主要问题在于它很不均匀。有些铜块含有很大的晶粒，而另一些则含有小的角状晶体，它们或者有大的空穴，或者在隙缝中沉积着杂质（一些不需要的矿物，如方解石）。因此，从表1-1的分析来看，有些元素如钙、铝、镁和硅，由于它们几乎总是以散粒状夹杂存在而没有包括在内。显微研究也表明存在着侵蚀程度不同的不均匀区域，一般认为这些区域是与成份（多半为砷和银）的局部变化相一致的。据报道，在同一铜块中具有分别为0.052%、0.042%、0.116%和0.024%的不同含银量。

当含银量高达0.6%时，含金量一般就测不出来或者没有，砷、镍、铅、锑和铁的含量则可能相当高，虽然其中锑很少见到。前面这四种金属是判别早期金属制品产地的主要元素。看来，自然铜的成份基本上反映了它所由生成的矿床的情况。

当然，多数自然铜的纯度要比表1-1列出的高得多，而铜矿石的纯度一般比较低。因此如果发现纯度很高的早期制品，它很可能是用自然铜制造的。

假如制品用经过锤打的自然铜制作，那么只要它未曾加热到某一温度之上，自然铜的某些特性仍将保持下来。在退火过程中，晶界夹杂必然会使晶界固定，而且只要温度大致保持在600℃以下，可溶性偏析也不会扩散开来。毫无疑问，含银是使自然铜再结晶温度升高的主要原因，经过锻打的自然铜，其硬度一般介于63—102HV（维氏硬度计读数）之间。

实验表明，自然铜不经过中间性的退火就不能大幅度进行加工^[6]。这在很大程度上取决于原生晶粒的大小和沿晶界开裂的可能性。业已证明，只要初始的裂纹能在锻打时迅速消除掉，密执安和伊朗的铜块的厚度可以降低96%，从而可以制成小珠乃至斧子。

伊朗阿里喀什发现的公元第七千纪的一颗小铜珠，现已完全锈蚀，经过检验，确认是用约0.4毫米厚的铜片卷起来制成的，其多边形的式样与实验复制的一模一样，而且可以肯定它是用自然铜制造的。对锡亚尔克北山发现的一枚铜针也进行了检验，此针保存得较为完好，经测定为公元前第五千纪中期的制品。显微组织表明它是经过大量加工的自然铜，与最近用伊朗铜加工出来的相同。化学成份也很近似，其硬度为109HV。

自然铜在熔化时，夹杂物被分离出来而漂走，可溶性偏析则溶解在金属中使质地变得均匀，具有典型的芯状铸造结构和较低的硬度，有时从84HV降低到37HV。

我们对自然铜制品的知识多半来自西半球。公元前3000年到公元1400年之间，在北美洲的苏必利尔湖地区，曾用未经熔化的自然铜大量制作造型优美的器件^[11、12]。曾对属于旧铜器文化（公元前3000—1500年）的矛头作了检验^[4]。有时这些矛头是带柄脚（用以装长柄）的，有时柄脚被仔细地加工成半釜形的。所有矛头都具有大范围的加工硬化，单个制品的平均硬度介于59—108HV之间。由于所观察到的组织是属于退火材质，已经或未经最后的冷加工。因此可以确定，常规的工艺过程是锻打和退火，直到使铜件近似于成品形状，然后经局部或全面的冷加工制成产品。在个别情况下，铜件被置于完全退火的条件下。这表明石器文明能达到比单纯锻打自然铜更前进的程度，并懂得用火加热自然铜使之软化以便进一步加工的知识。虽然退火温度经常高达800℃，但仍不能使铜溶化，因为必需用强制通风才能达到熔点（1084℃）。

铁

陨铁也能为石器时代的人们所用。它们通常含有约10%的镍，

因此比铜要硬得多而且难于加工。陨铁的含镍量介于 4—26% 之间，因而很容易鉴别，因为没有哪种矿石能够经由直接熔炼提供这么多量而且质地均匀的镍。

据估算，地球上至少有250吨陨铁，其中99.4%是可锻的^{〔13〕}。但是陨铁的问题和自然铜差不多，冷锻时沿着明显的晶面破裂。要是处理得谨慎小心，采用退火或热锻，则可制成小件制品，居住在西格陵兰约克角地区的石器时代的人们，一直用含镍 8 %左右的陨铁制造工具。延长高温热处理的时间最后会破坏陨铁的结构，但根据其成份，陨铁总是能分辨出来的。

在北格陵兰发现了一把爱斯基摩人的小刀，它由一些装在海象牙上的陨铁片组成。薄铁片可以用石锤敲击陨铁的边缘或隆起部分使之开裂，然后取下，曾对其中的一片做了检验，发现晶体组织已变形，具有原始的诺埃曼带状组织，但非金属夹杂如陨硫铁 (FeS) 则极少，硬度为227HV，显然仍保持着它的初始状态，未经过任何退火处理。把小块陨铁锻打成薄刃是可能的。锻打时，由于脆性的陨碳铁 (Fe-Ni 的碳化物) 大晶粒的脆化效应，有一小片剥落下来。

已经发现了不少属于铁器时代以前的铁制品，经过分析，其中的许多件含有镍。有关情况列于表1-2，但有些制品并不含镍，因而就产生了一个问题，或者是这些制品偶然混入了更早的地层并被错

表1-2 陨铁制品的成份

制品	出 处	年 代	成 份 %				参考文献
			Fe	Ni	CO	Cu	
匕首	乌 尔	公元前3000年	89.1	10.9	—	—	Desch〔16〕
小珠	格 尔 策	公元前3500年	92.5	7.5	—	—	Desch〔16〕
小刀	爱斯基摩	近 代	91.47	7.78	0.53	0.016	Rickard〔15〕
小刀	德尔巴哈里	公元前2000年	—	10.0	—	—	Lucas〔2〕
小刀	爱斯基摩	公 元1818年	88.0	11.83	痕量	痕量	Loughlan〔14〕

误地判定了年代，或者如果它们是在属于红铜或青铜时代的地层中发现的话，那么有可能铁是在炼铜时从含铁熔剂或炉渣中还原出来的。这种可能性将与铁器时代的起始一起加以探讨。

陨铁可能不自觉地一直用到铁器时代初期甚至更晚一些时候^{〔17〕}。霍尔斯塔脱时期（公元前800—300年）的一把带銎铁斧，经测定镍的平均含量为4%。含镍量按层次而不同，铁斧中心的含镍量达8—10%，正好在陨铁的含镍范围内。该时期的铁匠经常把不同来源的铁片锻接在一起，看来上述各层铁片中有一片是陨铁。但是，某些铁片的含镍量高，也可能是锻前预热时锻铁的易氧化部分发生氧化使镍在表面富集而形成的。高镍片层可由叠合，即将同一工件多次弯折、敲击和锻接来达到。

金

另外两种自然金属是金和铂。金几乎全部以自然金的形式存在。但是，除非发现较大的金块，否则在其原始状态下很难应用，因为冲积于河床中的微小金粒不容易被人们看到，而且难于熔合。鉴于现在仍能在地表找到天然金块，这在古代应该是更寻常之事。天然金块的成份与从地下深处采掘的金块本质上是相同的，因此不可能把早期的天然金块与地下采掘的金块区分开来。从表1-3的分析结果看，还没有一种可靠的方法，可以从成份来判断金块的产地。所有的自然金都是不纯的，据测定，通常含有10%左右的银和多达1%的铜，对一组欧洲金制品的鉴定^{〔19〕}表明，它们至少可分为两类。一类被认为与威克洛山脉出产的黄金相似；另一类占多数，来自其它的一些产地，但不会是爱尔兰。还有一组金制品是来自匈牙利-罗马尼亚，鉴定结果与上述第一类相似^{〔20〕}。自然金杂质含量的变化，无疑是相当大的，但并不因此具有考古学的意义。

令人颇感兴趣的一个事实是，没有一件金制品是属于公元前第五千纪末以前的，虽然金块必定已为石器时代人们所注意，而且由于具有延展性而得到应用。唯一可能的假设是，对于早期人们来说，黄金是太珍贵了，以至舍不得随葬入墓，或者是刚埋入就被盗

表1-3 自然金的成份

出 处	形状或产地	成 份 %		
		Ag	Cu	其 它
乌拉尔山脉	水 金	0.16	0.35	Fe, 0.05
乌拉尔山脉	晶 体	4.34	▷0.33	SiO ₂ ; 0.08
恩. 塔吉尔	晶 体	8.35	▷0.29	
阿尔汉格尔	不 明	9.45	0.35	SiO ₂ ; 0.08
顿涅茨	不 明	14.71	▷0.08	
乌拉尔山脉	晶 体	20.34	▷0.66	
乌拉尔山脉	晶 体	28.30	▷0.84	
阿尔泰	脉 金	38.38	▷0.31	Fe, 0.033
乌拉尔山脉	块 状	5.78	▷0.21	
乌拉尔山脉	块 状	3.9	▷0.12	
捷克斯洛伐克		26.36	▷0.2	
捷克斯洛伐克	脉 金	14.68	0.04	Fe, 0.13
捷克斯洛伐克		20.90	▷1.0	
捷克斯洛伐克		29.40	▷1.0	
捷克斯洛伐克	片 状	27.6	无	
捷克斯洛伐克	片 状	33.2	无	SiO ₂ ; 0.42
捷克斯洛伐克	片 状	38.74	▷0.77	
德 国	片 状	6.60	无	Pt, 0.007
德 国		8.42	0.02	Pt, 0.16
意大利, 波	砂 金	4.69	—	
意大利, 波	砂 金	6.40	—	
意大利, 波	块 状	6.37	—	
意大利, 热那亚		10.30	1.4	
芬 兰	水 金	1.79	▷0.21	
芬 兰	水 金	9.61	▷0.89	
芬 兰	水 金	21.90	▷1.0	
匈 牙 利		38.27	<0.02	
哥伦比亚	水 金	9.3	未测定	

续 表

出 处	形状或产地	成 份 %		
		Ag	Cu	其 它
哥伦比亚	矿 山	16.9	未测定	
爱尔兰	块 状	5.1	>2.9*	2.9
爱尔兰	水 金	6.17	>0.73*	Fe, 0.78
爱尔兰	水 金	8.85	无	SiO ₂ ; 0.14
爱尔兰	水 金	8.1	痕量	Fe, 2.1
英格兰, 德文	树 枝 状	1.89	无	无
英格兰, 德文	树 枝 状	7.47	无	无
英格兰, 德文	树 枝 状	8.41	无	无
英格兰, 康沃尔	水 金	9.05	无*	SiO ₂ + Fe ₂ O ₃
				0.83
威尔士, 克洛高	脉 金	9.26	痕量	0.58
威尔士, 克洛高	脉 金	9.24	<0.02*	0.91
威尔士, 多尔格莱	—	13.99	痕量	1.12
苏格兰, 旺洛克赫德	—	12.39	<0.66*	Fe, 0.35
苏格兰, 萨瑟兰	“粉末”	18.47	无*	SiO ₂ ; 0.26
苏格兰, 萨瑟兰	“粉末”	19.86	无*	Fe, 0.12
苏格兰, 萨瑟兰	—	20.78	无*	无
苏格兰, 萨瑟兰	—	18.45	<0.44*	—
苏格兰, 萨瑟兰	—	18.68	<0.21*	—
苏格兰, 朗克莱芝	—	11.80	<0.47*	Fe, 0.41

*: 百分含量余额

走, 重返轮迴之中。这给人们以启示, 即许多公元前第三、四千纪的金器是重复使用的材质。

铂

和黄金一样, 铂也以水生颗粒状态存在于冲积砂砾中。这类颗粒含有50—80%的铂, 其它为铂类金属和少量贱金属。

铂的已知产地多数分布于美洲, 特别是哥伦比亚和厄瓜多