

丝路王国之冶金术：汉佉二体钱的科技分析

郁田园

（河南博物院，河南省郑州市，450002；durendal525@outlook.com）

摘 要：本文通过对十件汉佉二体钱进行元素分析，旨在揭示古代于阗国的铸币冶金技术。研究发现其材质存在显著异质性，可分为高纯度红铜币与高含铁量的铜铁合金币两大类。后者证明了一种不完全共冶炼工艺的存在，说明于阗的铸币体系呈现出一种复杂的、依赖本地矿产资源的生产模式。这种技术是对本地丰富的铜铁共生矿的一种适应，而所有样品中锡元素的缺乏，也解释了于阗为何未采用中原主流的青铜铸币工艺。这种冶金技术在同时代的汉、贵霜及罗马货币体系中表现出鲜明的地域性，是理解其经济自主性与文化适应性的关键。

关键词：于阗；汉佉二体钱；和田马钱；合金成分

引言

汉佉二体钱，又称和田马钱，是公元1-3世纪丝绸之路南道于阗国发行的货币（图1），是东西方文明在塔里木盆地交融的标志性产物[1]。其形制、铭文与制造工艺的二元性，长期以来都是钱币学与文化史研究的焦点。形制上，它采用西方贵霜帝国流行的圆形无孔打压法制造[2]；铭文上，则兼用源自古印度的佉卢文与中原通行的汉文篆书，将本地王号与汉朝的“铢”重量单位体系相结合[3]。这种独特的文化融合现象，Cribb等学者已经对其进行了深入的研究与阐释[1, 4]。



图1 汉佉二体钱拓片[5]

然而，若将汉佉二体钱不仅视为文化符号，更视作一件冶金考古的标本，其研究价值将得到极大拓展[6]。尽管已有学者对新疆地区的钱币开展过成分分析，并指出冶金分析对于摸清其经济状况至关重要，但针对汉佉二体钱的系统性、公开发表的成分数据依然非常有限。本研究旨在通过对十件汉佉二体钱样品的元素成分进行科学分析，并与目前已有的少量研究成果进行对比，尝试从冶金考古学的角度，更全面地探讨古代于阗国的铸币能力及其在欧亚古代货币世界中的独特定位。

1. 钱币合金成分分析与数据解读

本研究使用pXRF对十件汉佉二体钱样品进行了元素成分分析，仪器型号为奥林巴斯DELTA Professional，分析模式为合金+。如表1所示，依据其主要合金成分，可将样品分为三个具有显著差异的组别。

表1 十件汉佉二体钱样品的合金成分（wt%）

样品编号	组别	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Sn	Sb	Co	Ti
1	B	77.39	22.33	0.24	0.03	-	-	-	-	-
2	B	80.71	19.09	0.20	-	-	-	-	-	-
3	C	95.72	4.12	0.12	-	0.03	-	-	-	-
4	B	38.52	60.47	0.95	0.06	-	-	-	-	-
5	B	73.64	24.13	1.76	0.04	0.05	0.30	-	-	-
6	C	85.53	11.97	0.10	-	0.25	-	0.90	0.12	-
7	A	98.60	1.36	-	-	0.04	-	-	-	-
8	A	97.86	1.76	0.03	0.06	-	-	-	-	0.30
9	A	97.82	1.42	0.55	-	-	-	-	-	0.20
10	A	98.82	0.79	-	-	0.06	-	-	-	-

注：- 表示元素含量低于仪器检测限

1.1. A组：红铜合金

该组样品（样品7、8、9、10）的铜含量均高于97%，在冶金考古学中可定义为“红铜”或“纯铜”。获得如此高纯度的铜，在当时的技术条件下主要有两种可能途径：一是直接利用自然界中存在的自然铜；二是掌握了较为成熟的冶炼与精炼技术，能够从氧化铜矿中有效去除杂质。值得注意的是，在公元1-3世纪，使用近乎纯铜的材质制造货币并不寻常。铜合金，尤其是铜锡青铜因其更优越的物理性能已成为主流选择[7]。于阗工匠选择使用红铜，可能反映了本地金属锡资源的匮乏，所有十个样品中锡含量的普遍缺失也支持了这一推论。

1.2. B组：铜铁及高铁合金

B组样品（样品1、2、4、5）呈现出极具考古学意义的成分构成。样品1、2、5的铁含量分别高达22.33%、19.09%和24.13%，可界定为铜铁合金。样品4则更为特殊，其铁含量达到60.47%，铜反而成为次要成分，本质上是一枚铁基合金钱币。从冶金学原理分析，这种成分组合极不可能通过精确配比有意制造的。铁与铜在液态下的互溶性有限，且物理性质差异巨大。因此，其成分最有力地指向了一种不完全的共冶炼工艺。最可能的解释是，于阗工匠冶炼的是一种铜铁共生的多金属矿石，如黄铜矿，在冶炼过程中，炉温足以还原矿石中的铜和部分铁，但未能达到实现铜液与铁质完全分离所需的更高温度，或缺乏有效的造渣剂。这种技术的产物是铜和铁的机械混合物，而非均匀合金。这可能是一种基于和田地区本地矿产资源为富含铜铁共生矿的务实选择，通过简化工艺流程，直接从矿石中产出可用的金属材料[8]。

1.3. C组：含特殊微量元素的合金

C组样品（样品3、6）因其独特的元素构成，为探究于阗的冶金原料来源提供了重要线索。首先在多个样品中检测到不同含量的铅，其中样品5达到1.76%。在古代铜合金铸造中，适量加入铅可以增加铜液的流动性，使其更易充满币模的细节，并降低熔点[9]。和田马钱作为打压币，对材料的延展性有一定要求，过高的铅含量会使金属变软。因此，样品中普遍较低的铅含量，可能是在铸造性能与使用性能之间寻求的一种技术平衡。样品6中0.90%的锑和0.12%的钴含量较为少见。这两种元素可以说是作为“示踪元素”随矿石进入合金的，而非有意添加。它们的存在如同一枚独特的地球化学指纹，暗示制造该币的金属原料来自某个富含锑和钴的特定矿床。同时，在三组的多个样品中（样品3、5、6、7、10）均检测到微量镍。镍同样是铜铁矿床中常见的伴生元素，其普遍存在进一步加强了和田马钱使用本地多金属矿产的推论。

1.4. 与既有研究的比较分析

尽管针对汉佉二体钱的系统性成分分析研究尚不多见，但零星的报告和描述为我们提供了宝贵的参照系。首先，本次研究中A组高纯度红铜币的发现，与部分学者的研究结果和传统认知相符。Fang等人的一篇对三枚汉佉二体钱进行分析的报告中，明确指出其材质为红铜和青铜[10]。许多钱币学文献在描述时，也笼统地称其为“红铜质”[2]。这表明，使用高纯度铜制造马钱，是于阗铸币的一个重要且被认可的传统。然而，Fang等人的研究也提到其中一枚钱币为“青铜”，另一枚含有4.2%的银[10]。这与本次分析的样品有所不同：我们的十个样品中均未检测到显著的锡，因此严格意义上不能称为“青铜”；同时，也没有发现银含

量如此之高的样品。这种差异性恰恰揭示了于阗铸币材质的复杂性远超预期。高银含量的出现，与C组样品中的锑、钴一样，进一步佐证了于阗工匠使用的是成分复杂多样的本地多金属矿产，而非标准化的进口金属原料。

其次，本次研究中B组铜铁合金，特别是铁含量超过60%的样品4，是迄今为止最为特别的发现。以往的研究从未明确报道过铁含量如此之高的汉佉二体钱。这不仅突破了将其简单归类为“铜币”的传统认知，也为理解于阗的冶金技术提供了全新的视角。虽然有研究提及新疆后期的“红钱”中存在铅、铁等劣金属铸币，并将其作为研究课题，但将这种现象追溯至公元1-3世纪的于阗，并发现如此高比例的铁铜合金，尚属首次。这有力地证明了上文所推测的“不完全共冶炼”工艺的实际存在，并将于阗的冶铁技术史与铜冶金史紧密地联系在了一起。

综上所述，本研究的发现与前人研究既有吻合，更有重要的补充和突破。吻合之处在于确认了高纯度红铜币的存在；突破之处在于首次系统性地揭示了高含量铜铁合金币的存在，并以此为基础，提出了于阗国并行存在两种截然不同的冶炼体系：精炼提纯与共冶炼的假设。这使得我们对这个丝路王国的冶金术的认识，从单一走向了二元，从标准化走向了地方适应性。

2. 于阗冶金技术体系的成因探析

汉佉二体钱所呈现的独特冶金面貌，并非偶然的技术偏差，而是由地理环境、技术条件与社会经济需求三者共同作用下形成的必然产物。深入剖析这些驱动因素，可以揭示于阗国在技术选择背后的内在逻辑。

于阗冶金技术的首要决定性因素，是其独特的本地矿产资源结构。这种结构在很大程度上预设了其技术发展的路径。首先，丰富的铜铁共生矿是形成“铜铁合金”技术的基础。现代地质勘探已证实，于阗背靠的西昆仑山脉是一个世界的多金属成矿带，其显著特征是铜、铁矿产常常紧密共生。对于古代的于阗工匠而言，这意味着他们最容易获取的铜矿，本质上是一种铜铁复合矿石，极有可能就是黄铜矿。面对这种原料，最直接、最经济的冶炼方式，不是追求铜与铁的完全分离，而是将两者一同还原，形成一种可直接使用的金属材料。因此，十件样品中B组样品高含量的铁，与其说是杂质，不如说是矿石本身的直接体现，是于阗工匠对本地资源最务实的适应。其次，关键合金元素的匮乏限制了技术选择。在本次分析的所有样品中，几乎都检测不到锡。锡是制造青铜的关键元素，能够显著改善铜的硬度和铸造性能[7]。锡的普遍缺失，强烈暗示了于阗本地缺乏易于开采的锡矿资源。这一短板使得于阗无法像中原地区那样，发展出成熟的、以铅锡青铜为基础的范铸技术体系。面对这一资源限制，于阗工匠并未选择依赖外部输入锡锭，而是另辟蹊径，利用本地丰富的铜铁矿，使其冶金技术走上了一条与主流青铜文明截然不同的道路。因此，于阗国的冶金体系，是在一种特定的资源禀赋下形成的路径依赖。丰富的铜铁共生矿使其可以发展共冶炼技术，而锡资源的匮乏则使其不得不放弃青铜技术。

在既定的资源条件下，于阗工匠展现了高超的适应能力和技术上的务实主义，其技术体系是“有所为，有所不为”的智慧结晶。从现代冶金学看，B组的铜铁合金是一种不完美的产物。但在古代生产条件下，这恰恰可能是一种更高效的方式。要将铜与铁在冶炼中彻底分离，需要更高的炉温和有效的助熔剂，这在技术和燃料消耗上都提出了更高要求。于阗工匠采用的共冶炼技术，虽然在一定程度上牺牲了产品的纯度，却大大简化了工艺流程，降低了生产成本。这是一种在技术能力范围内，以“够用就好”为原则的务实选择，旨在以最低成本满足大量的货币生产需求。此外，高纯度红铜币（A组）与铜铁合金币（B组）的同时存在，反映了于阗冶金体系的灵活性。这两种技术很可能并行不悖，分别用于处理不同品位的矿石。当获得品位较高、杂质较少的氧化铜矿或天然铜时，工匠们有能力生产出高纯度的红铜币；而当面对储量更丰富但成分更复杂的铜铁共生矿时，则启动共冶炼工艺。这种双轨并行的生产模式，使得于阗能够最大限度地利用所有可及的矿产资源，无论优矿还是劣矿，都能转化为流通的货币。

最后，于阗的冶金产品必须满足其在丝绸之路十字路口上的独特社会经济需求。于阗地处东西方两大文明的交会地带，其货币必须具备跨文化交流的属性。因此，汉佉二体钱在形制上借鉴了西方贵霜帝国的打压技术和圆形无孔的样式，使其在向西的贸易中易于被接受。而在价值体系上，则明确标注汉朝的“铢”为单位，以便与东方强大的汉帝国经济圈对接[11]。这种西式面孔，中式内核的设计，要求其生产技术必须能够支持打压工艺，同时对金属的重量有精确的控制。在借鉴东西方的同时，于阗国通过在钱币上铭刻本地国王的佉卢文名号，强调了自身的独立与主权。这表明铸币活动本身是一项重要的国家行为。无论是生产高纯度的红铜币，还是成分复杂的铜铁合金币，都是在王权主导下，为满足国家经济运转和政治宣示双重目的而进行的。

综上所述，于阗国独特的冶金技术体系，是其在特定的地理资源、技术水平和社会需求三重压力下，进行创造性适应的产物。这是一种由资源禀赋奠定基础、由技术能力框定边界、由社会经济需求指引方向的、高度地方化的技术体系。它不仅是古代冶金史上的一个独特案例，更是丝路王国坚韧生存智慧的生动体现。

3. 结论

对汉佉二体钱的科技分析,并结合既有研究成果进行对比,揭示了古代于阗国冶金技术体系的核心特征:材质的显著异质性(高纯度红铜与铜铁合金并存)与对本地矿产资源的深度依赖。钱币中的微量元素组合,如钴、铋、镍,以及前人研究中发现的高含量银,共同为矿料的本地来源和多样性提供了地球化学证据;而本研究首次系统性确认的高含量铁,则直接反映了一种不彻底的共冶炼工艺的实际应用。

这些发现表明,于阗国建立了一套具有高度自主性和地方适应性的冶金工业。该体系在技术路径上既不同于中原汉朝的范铸青铜传统,也区别于贵霜、罗马等西方政权的标准金属或合金货币。这种在物质生产层面的独特性,是于阗能够在东西方文明之间维持其经济独立与文化认同的重要基础。因此,汉佉二体钱不仅是文化符号的融合体,其金属本身亦是技术选择与资源环境相互作用的产物,为研究丝绸之路上的技术传播与地方化创新提供了关键的冶金学案例。

参考文献

- [1] CRIBB J. The Sino-Kharosthi Coins of Khotan: Their Attribution and Relevance to Kushan Chronolog: PART 1 [J]. The Numismatic Chronicle (1966-). 1984: 128-152.
- [2] 月氏. 汉佉二体钱(和田马钱)研究概况 [J]. 中国钱币. 1987(2): 41-47.
- [3] WANG H K. Money on the Silk Road: the evidence from Eastern Central Asia to c. AD 800 [M]: University of London, University College London (United Kingdom), 2002.
- [4] CRIBB J. The Sino-Kharosthi coins of Khotan: Their attribution and relevance to Kushan chronology: Part 2 [J]. The Numismatic Chronicle (1966-). 1985: 136-149.
- [5] 王仲殊. 论汉唐时代铜钱在边境及国外的流传——从开元通宝的出土看琉球与中国在历史上的关系 [J]. 考古. 1998(12): 58-76.
- [6] REHREN T, PERNICKA E. Coins, artefacts and isotopes—archaeometallurgy and archaeometry [J]. Archaeometry, 2008, 50(2): 232-248.
- [7] POLLARD A M, LIU R. Bronze alloying practice in ancient China—evidence from pre-Qin coin analyses [J]. Journal of Archaeological Science, 2021, 126: 105322.
- [8] 李文渊,董福辰,姜寒冰,等. 西北地区重要金属矿产成矿特征及其找矿潜力 [J]. 西北地质, 2006, 39(2): 1-16.
- [9] 周文丽,刘思然,刘海峰,等. 中国传统坩埚炼铅技术初探 [J]. 南方文物, 2014(3): 156-162.
- [10] FANG J N, YU B S, CHEN C H, et al. Sino-Kharosthi and Sino-Brahmi coins from the silk road of western China identified with stylistic and mineralogical evidence [J]. Geoarchaeology. 2011. 26(2): 245-268.
- [11] 刘文锁. 安迪尔新出汉佉二体钱考 [J]. 中国钱币. 1991(3): 3-7.