

和田玉研究的关键问题

廖宗廷^{1,2}, 景 瑾^{1,2}, 李 平^{2,3}, 沈俊逸⁴, 金雪萍¹

(1. 同济大学 人文学院, 上海 200092; 2. 上海宝石及材料工艺工程技术研究中心, 上海 200092;

3. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092; 4. 上海市发展与改革委员会, 上海 200003)

摘要: 简要分析了和田玉研究中的一些关键问题, 涉及和田玉自然属性和社会属性中的众多领域, 包括矿床成因机理、找矿勘探、开发利用、玉与石的分化、古玉溯源及加工工艺、玉的历史作用等方面。有关问题的解决寄希望于相关自然科学与社会科学的深化与发展, 更寄希望于自然科学与社会科学的交叉与融合。

关键词: 和田玉; 关键问题; 自然属性; 社会属性

中图分类号: P611; K876

文献标志码: A

Key Problems in Nephrite Research

LIAO Zongting^{1,2}, JING Cui^{1,2}, LI Ping^{2,3}, SHEN Junyi⁴, JIN Xueping¹

(1. School of Humanities, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Engineering and Technology Research Center for Gem and Materials Technics, Shanghai 200092, China; 3. School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China; 4. Shanghai Municipal Development & Reform Commission, Shanghai 200003, China)

Abstract: This paper briefly analyses some typical problems in studies of nephrite, including many fields of natural attribute and social attribute, such as the genetic mechanism of nephrite deposit, prospecting, exploitation, utilization, the differentiation between jade and rock, the traceability and processing technology of ancient jades, and the importance of jade in Chinese history. The solution to these problems not only depends on the deepening and development of related natural and social sciences, but also depends on the intersection and the integration of natural and social sciences.

Key words: nephrite; typical problems; natural attribute; social attribute

国珠宝玉石产业和中华优秀传统文化中的地位崇高。由于它同时具有自然和社会双重属性, 其研究不但长期受到诸如地质学、宝石学等自然科学的高度重视, 而且是诸如考古学、艺术学等社会科学感兴趣的重要内容。党的十八大以来, 随着建立在 5 000 多年中华文明传承基础上的文化自信不断深入人心, 以及中华文明探源工程不断取得新突破, 对和田玉研究的深度和广度也在不断取得新进展, 但由于受主客观因素的制约, 和田玉的研究还存在许多问题, 本文对其中一些关键问题和解决途径作简要讨论。

1 和田玉的自然属性

和田玉的自然属性涉及材料的基本性质、矿物岩石学特征、鉴定评价、加工工艺、矿产分布规律、矿床成因机理、找矿勘探和开发利用等方面, 各方面都存在值得进一步深化研究的问题, 但从行业的可持续发展角度, 成因机理、找矿勘探和开发利用是其中的关键问题。

1.1 矿床成因机理

1.1.1 原生矿床分类

矿床分类是对矿床认识的总体概括, 对于系统了解具体矿床的成矿作用过程, 研究和总结成矿条件, 分析成矿规律, 指导找矿勘探等均具有重要意义。至今为止, 对于和田玉原生矿床分类的认识还较肤浅, 近年来, 不少学者将原生和田玉矿床分为两大类: 白云岩型(dolomite rock-related type)和蛇纹岩型(serpentinite-related type)^[1-4]。关于蛇纹岩型(简称 S 型)的争议较小, 但白云岩型(简称 D 型)的争议较大, 因为 D 型和田玉会给读者造成一种错觉: “只有当围岩为白云岩时才能形成和田玉”。但实际上, 贵州罗甸、广西大化等地发现的和田玉矿床的围岩

和田玉(也称软玉)作为珍贵的玉石材料, 在中

收稿日期: 2022-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(411400231); 上海市科学技术委员会科技计划(12DZ2251100)

第一作者: 廖宗廷(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 理学博士, 主要研究方向为系统宝石学、中国玉文化。

E-mail: liaozt@tongji.edu.cn



论文
拓展
介绍

为灰岩,而不是白云岩。因此本文提出了一个改进方案,将原来的白云岩型替换成碳酸盐岩型(简称C型)(carbonate rock-related type)(表1),因为碳酸盐岩这一地质术语具有更丰富的内容,既包括白云岩、白云质大理岩,也囊括了灰岩,从而化解了原生和田玉矿床分类方案的争议。

表1 原生和田玉矿床分类
Tab.1 Classification of primary nephrite deposits

S型和和田玉矿床	典型矿床	
	C型和和田玉矿床	
	CI型和和田玉矿床	CM型和和田玉矿床
北美和田玉成矿带 ^[3, 5] , 台湾丰田矿床 ^[6] , 新疆玛纳斯矿床 ^[7] , 俄罗斯East Sayan、Dzhida、Paramskii矿床 ^[8] , 新西兰矿床 ^[9] 等	塔里木盆地南缘和田玉成矿带 ^[10-13] , 青海格尔木矿床 ^[14-15] , 广西大化矿床 ^[1] , 贵州罗甸矿床 ^[16] , 江苏小梅岭矿床 ^[17] , 韩国春川矿床 ^[18] , 俄罗斯 Vitim 矿床 ^[8] 等	辽宁岫岩矿床 ^[19] , 四川龙溪矿床 ^[20] , 河南栾川矿床 ^[21] , 意大利 Val Malenco 矿床 ^[22] , 瑞士 Scortaseo 矿床 ^[23] 等

C型和田玉可根据成矿过程分为两个亚类,一类是由碳酸盐岩与侵入岩(intrusive rock)之间的接触交代或是由侵入岩衍生的热液引发的热液交代形成(CI-type),这里的侵入岩既包括中酸性的岩浆岩^[3, 11, 13],也涉及贫Si的基性岩^[15, 24]。矿体常以似层状、透镜状、巢状、脉状分布在侵入岩与碳酸盐岩的接触带内或其附近,塔里木盆地南缘^[11-13]、青海格尔木^[14-15]、贵州罗甸^[16]、广西大化^[24]、甘肃马衔山^[25]、江苏小梅岭^[26]、俄罗斯 Vitim^[8]、韩国春川^[18, 27]等地所产的和和田玉均属于这一类型。

另一亚类是碳酸盐岩在区域变质(regional metamorphism)过程中与富Si热液发生交代形成的(CM-type),矿体主要以透镜状和不规则的带状赋存于中低温蚀变的碳酸盐岩中。辽东半岛的岫岩和田玉则是该类型的典型代表,该地区亦是我国菱镁矿、滑石矿最重要的产区,矿区内常见滑石-菱镁矿-透闪石矿床组合与滑石-菱镁矿-水镁石-蛇纹石矿床组合^[28-29]。这与意大利北部 Val Malenco^[22, 30]、瑞士 Scortaseo^[23]及河南栾川等地的和田玉赋存状态十分接近,前两者呈带状和透镜状赋存于滑石矿的核部,而栾川和田玉多产于蛇纹岩的内部且产量较小,为蛇纹石的伴生矿^[21]。

1.1.2 成矿物质来源

成矿物质来源对研究矿床成因、成矿模式及确定找矿方向、指导找矿勘探等具有重要的意义^[31-32]。和田玉的成矿与热液介质下成矿物质如Si、Mg、Ca等的迁移和组合密切相关。对于C型和和田玉,如果围岩是富Mg的白云岩或白云质灰岩,侵入岩为富Si的中酸性岩浆岩,和田玉中Si、Mg、Ca的来源较好解释,如新疆和田玉^[33]。但如果围岩为Mg缺乏的灰岩,侵入岩为缺乏Si的基性岩,和田玉中Mg和Si的

来源则有待斟酌,如青海三岔口和田玉^[15]、贵州罗甸玉^[34]等。

S型和和田玉一般认为是先由超基性岩经强烈的自变质作用形成蛇纹石(提供Mg的来源),后经富Ca、Si的热液交代蚀变而成。但由于矿床的围岩类型以及其与侵入岩关系存在差异,如四川和田玉猫眼的深灰色结晶灰岩或大理岩围岩以捕虏体的形式被超基性岩体包裹^[35],而玛纳斯碧玉的超基性岩体则侵入到围岩基性火山岩中^[36],因此S型和和田玉中Ca和Si的来源十分复杂。

传统的地质学研究在和田玉成矿物质来源较明确且充足的情况下,解释和田玉矿的成因机理存在的歧义较少。但随着青海三岔口、贵州罗甸、广西大化等新型和田玉矿的出现,对传统的和田玉成矿理论造成了巨大的冲击。因此,成矿物质来源成为和田玉成因机理研究的关键问题。解决问题的关键在于新理论和新方法的应用。目前,Si同位素^[37]、Mg同位素^[38]、Ca同位素^[39]等检测方法不断成熟,探索将这些方法应用到和田玉矿物质来源研究中,有望成为解决相关问题的突破口。

1.1.3 和田玉成矿年代

成矿年代既是矿床基本特征的一个重要内容,也是从地质学角度分析矿床形成、发展和演化规律的重要科学根据。目前精确的成矿年代研究方法是基于同位素测年,而应用这种方法的一个前提条件是,矿床中必须找到适宜的测试对象(如锆石、榍石等),并要符合同位素测年的限制。地质学家已经意识到成矿年代对于和田玉矿床研究的重要性,并为此做出了不少努力^[4, 40]。一般认为,CI型和和田玉的成矿年代与侵入岩相关,侵入岩的成岩年代可代表和田玉的成矿年代;CM型和S型和和田玉矿则与变质

作用发生的时代相关。即目前只能以侵入岩的年代或变质作用的年代来代表和田玉的成矿年代,而事实上这种方法是不准确的。迄今为止,和田玉成矿年代(特别是成玉年代)的研究仍是一个难题。

1.1.4 成矿物理化学条件

矿床在各种地质作用中形成,往往是各种有利条件相互耦合的结果,包括温度、压力、组分浓度、介质酸碱度、氧化还原电位等。至今为止的各种成矿物理化学条件研究方法中,流体包裹体法是研究成矿理化条件行之有效的常用方法,但与成矿年代研究的同位素方法一样,流体包裹体研究的前提条件是必须存在适宜的测试对象。由于和田玉的结构细腻,组成矿物微细,难以找到适宜的分析对象,为此,和田玉成矿物化条件的研究仍是一个难题。下面以成矿温度和流体为例对这一问题的复杂性作进一步讨论。

不论是S型还是C型和田玉都包括两个重要的形成阶段:成岩阶段和成玉阶段^[1-2, 11, 41-44]。成岩阶段的温度较高,形成的透闪石粒径较大,由它们组成的透闪石岩还不是合格的玉料;成玉阶段的特点是早期形成的粗粒透闪石被晚期的微晶透闪石所取代,从而实现了由岩石向玉的关键转变。这两个阶段揭示了和田玉的形成很可能跨越了一个从高到低的温度区间。如CI型和田玉的形成清楚地显示了对侵入体温度、流体和部分成矿物质的依赖。新疆的阿拉玛斯^[11, 45]、皮山县379^[10]等地的和田玉矿床出现了高温到低温、无水到含水的矿物分带现象,矿区内常见橄榄石化带、透辉石化带、透闪石化带和蛇纹石化带等。而产于辉绿岩与灰岩接触带的大化墨玉则保留了钙铁榴石、透辉石等高温无水矿物^[24]。

目前,前人关于利用氢氧同位素反演和田玉成矿流体的讨论首先是基于透闪石与成矿流体已达同位素分馏平衡的理想状态,然后通过间接计算的方法获得成矿流体的氢氧同位素特征。在氧同位素反演过程中,除了需获得透闪石氧同位素这一参数外,透闪石的形成温度也是影响反演和田玉成矿流体氧同位素的重要参数。形成温度越高,计算得到的流体氧同位素值也越高。另一方面,和田玉氢氧同位素表征还会受和田玉矿床的围岩特征的影响。各个地质历史时期形成的碳酸盐岩和硅质岩都具有较高的氧同位素值^[46],在岩浆流体与其接触时会发生氧同位素交换,交换后的流体获得了偏高的氧同位素值,这导致了青海三岔口、广西大化、贵州罗甸等地所产的和田玉具有了偏高的氧同位素值,而不是变

质水参与了它们的形成。然而,偏高的氧同位素值也无法排除大气水的参与,关键还在于大气水参与混合的量。因此在研究和和田玉成矿流体的来源时,需结合和田玉的形成温度、围岩特征、形成过程、氢氧同位素等多方面线索综合讨论流体的来源,否则可能会得出似是而非的结果。

1.2 找矿勘探及开采方法

1.2.1 和田玉找矿

由于和田玉成矿机理研究还有若干问题有待深化,导致多数和田玉矿是在还未建立系统的矿床成因模式、找矿勘探理论和方法等情况下偶然发现的,或靠牧民报矿、或依据古人采矿的遗迹寻找、或是在其他矿产中偶然发现的。

即使是偶然发现了和田玉矿床,由于和田玉矿体规模一般较小,产状极不规则,多呈团块状、脉状、透镜状、鸡窝状、巢状、囊状等分布,更重要的是缺乏正确的理论和方法作指导,因此,要想找到具体的矿体仍然十分困难。至今的找矿方法仍主要依靠经验。对原生矿床而言,线索往往是矿床中的和田质“玉线”,犹如农人地里西瓜的“藤蔓”,找矿体时要通过和田玉矿反映在围岩上的痕迹,综合分析出有无“藤蔓”,再进一步分析判断有无可能存在“西瓜”。“西瓜”在哪里?是大“西瓜”?还是小“西瓜”?一根好的“藤蔓”会结出几个“西瓜”?分支“藤蔓”会不会有“西瓜”?一切有待研究。对于和田玉次生矿床,找矿就更加艰难了,很大程度上也是凭经验,甚至是碰运气。总之,和田玉的找矿至今尚缺乏科学理论作指导,也缺乏行之有效的方法,这种状况如果不能得到根本性的改变,必将不利于和田玉产业的发展。

1.2.2 和田玉矿的开采

和田玉矿的利用,还须借助科学合理的开采方法,才能将原材料从矿床中取出。和田玉矿有籽料、山流水料、戈壁料和山料之分,开采方法也有很大的不同。数千年来,和田玉开采的方法随着时代的变化,经历了较为复杂的发展历程。最初人们可能在河滩上就可捡到美丽的和田玉籽料,以后又在河流中捞取籽料,再后来开始在河谷中的台地沙砾中挖取早期河流冲积物中的籽料和残坡中的山流水料,最后发展到沿河追溯继而发现了赋存在岩石中的原生矿。因此采玉方法有捡籽料、捞籽料、挖籽料、挖山流水料和攻山料等多种方法。

对于山料的开采,由于和田玉矿一般产出于条件十分艰苦的高寒偏远地区,交通条件差,往矿山运送机械设备十分困难,并且和田玉矿体一般规模较

小、分布不规则,开采大多在空间较为狭小的矿洞中进行,即使现代已经制造出用于大理岩和花岗岩开采的大型机械,也难以用于和田玉的开采,因此和田玉山料的开采仍普遍采用炸药爆破、风钻打孔加膨胀剂等方法,这些方法不但会将完整的玉料炸(震)碎,而且还会使看似完整的玉料中出现各种裂隙,从而造成材料的极大破坏和浪费,这也是和田玉开发利用中急需解决的问题之一。

2 和田玉的社会属性

中国是世界四大文明古国之一,是唯一一个文明没有中断过的国家,有着近万年的文明史。中华文明起源的重要特征之一就是玉器,其中最主要的是和田玉器。和田玉器和玉文化是中华民族文化的基石之一,是区别于世界其他文明起源最重要的标志。在距今4 000年前的中华上古时期,越来越多的文化遗址被发掘出来,如处于距今10 000至距今4 000年之间的贾湖文化、小南山文化、兴隆洼文化、裴李岗文化、仰韶文化、城头山文化、大溪文化、红山文化、马家浜文化、崧泽文化、凌家滩文化、良渚文化、龙山文化、齐家文化等。这些文化遗址出土的器物中大多以和田玉的器物为主,通过对这些器物的研究,使主要根据神话传说记录下来的中华上古历史变得越来越清晰,而且在没有青铜器和文字出土的情况下,冲破了“文明三要素”(冶金术、文字、城市)的桎梏,其中距今5 300至距今4 300年的良渚文化被世界认可为文明,使得中华文明上下5 000年之说名符其实,这其中和田玉的贡献是巨大的,并由此兴起了和田玉社会属性研究的新热潮。但上古时期出土的和田玉器研究属于新领域,而且涉及考古、历史、艺术、文化、宗教、哲学以及自然科学等相关学科,因此研究也面临一系列问题,特别是在需要社会科学与自然科学综合研究的领域,如玉与石的分化、玉料的溯源、玉的加工工艺、玉器的使用、玉的历史地位、玉美学等。

2.1 玉与石的分化

玉与石的分化问题,说到底就是玉的起源问题^[47],也是美与俗、灵与顽、神与凡、玉器与石器的概念分化问题。至今为止,何谓玉?何谓石?何谓玉石?何谓玉器?何谓玉石器?何谓石器?等,均还在争论中。如著名考古学家夏鼐指出:“只有和田玉和翡翠制成的器物,才可以称为玉器”^[48]。由于翡翠在中国的使用主要始于明末清初,按照夏鼐的观点,中国

上古时期的玉器主要就是指和田玉器了。

据考证,在旧石器时代早期就发现了原始人类用和田玉打制的石器,但这并不代表玉的概念已经形成。从理论角度,玉质石器的出现与玉器的出现是完全不同的两个概念。在旧石器时代的远古人类眼中,用玉打制的石器与用其他材料打制的石器没有任何质的区别,这可以从当时的石器种类和用途上得到验证。旧石器时代晚期虽然出现了部分“美石”玉做成的装饰品,但在大致相同的时期内仍然存在着大量非“美石”材料制成的类装饰品。目前还难以看出两者在功能和含义上的确切差异。从工艺流程的角度说,陶器、铜器、铁器等在其成形之前必须经过陶土选配锻烧或矿石开采、冶炼等过程,所以当最初的陶器、青铜器或铁器被发现时,因其材料本身已蕴含着人类智慧的结晶,可以毫不含糊地称此类器物起源于某时。玉器则不然,由于玉料本身具有不可再塑的特性,玉器本身又是一种特殊材质的岩石制品,是自然材料的直接人文化。所以,只有当人们在理念上形成了玉的概念,玉制品才能成为完全意义上的玉器。那么,玉的概念是在什么时候形成的?和田玉与普通岩石是如何分开的?或者说人类自何时开始把和田玉当作玉来看待的?导致玉、石分化的因素是多方面的,除了材料性质和工艺技术等因素外,人文因素是最重要的因素。因此,玉与石分化的问题需要自然科学与社会科学交叉融合才能得到全面解决。

2.2 古玉的溯源及加工工艺

2.2.1 古玉的溯源

古玉可用来探究早期文明的分布、迁移、规模、手工业水平等诸多方面^[26, 49-52],其中古玉的溯源也日益受到国内外学者的关注。古玉作为重要的溯源材料具有以下优势:①不论是原生还是次生和田玉矿床,其位置是长期固定的,是不以意志为转移的客观存在;②玉石作为一种耐久的材料,其自然属性连同人类在玉器上留下的社会属性能够一并被长久地保存;③中国及许多其他国家都有大量的玉器出土,为研究提供了大量的实物材料;④地球科学对玉石矿床的研究为古玉溯源提供了大量的对比数据。

在古玉溯源的实践中,仍有一些问题需要深入讨论:①溯源的根本方法在于比较玉器与已知产地玉料之间的相似性,但在实际操作中无法一一对比玉器携带的所有信息,更多则是利用玉器的典型特征来溯源。②目前还没有一套标准用于评价古玉发生的次生变化,大多只是通过肉眼观察到的物理变

化来定性地判定,但这并不意味着看似未蚀变的玉器实际没有发生变化。③化学成分不是古玉溯源的唯一指标,应尽可能地结合其他方面的证据综合讨论古玉的出处,包括但不限于玉石的矿物组合、岩石结构、颜色等方面的特征。首先,玉石中的活动性元素会因风化而流失,而不活动元素则会集中于残余相中和/或被次生矿物所吸附^[53],那么在利用化学元素对古玉器进行溯源时,应谨慎选择判别元素并讨论次生蚀变对元素造成的影响。其次,埋藏环境中的成分也会进入玉器的风化层中,比如土壤中的Fe质组分、Al质组分、有机质等^[54-55],这将造成较大的测试误差和分析误差。④测试方法之间的差异也是引起误差的重要因素,在分析时也应纳入到考量范围内。

2.2.2 加工工艺

在距今4 000年前的上古时期,中华先民在没有金属工具及生产力较为落后的情况下,是如何将硬度超过现代钢材的和田玉加工成精美玉器的,至今在学术界仍无定论。如良渚玉器的表面刻满了神秘的纹饰,一些纹饰在毫米的间距上竟整齐地雕刻着4~6道平行的细阴线,即使用现代玉器工艺制作也是相当困难的。古人究竟是用什么办法来加工玉器的,为寻找答案,前人已经提出了一些设想,如鲨鱼牙齿说、玛瑙说、燧石说、钻石说(他山之石)、绳类混合砂粒说。古语:“他山之石,可以攻玉”,常被用以叙述中国上古时期的玉器加工工艺。围绕这句话所作的各种论述已不少,可至今仍无令人信服的答案。为了认识中华上古先民们的智慧,为了揭示当时的社会状况和生产力发展水平,为了给当时人们制作玉器的动机提供答案,古人的玉器加工工艺值得进一步深入研究。

2.3 玉的历史作用

通过对玉器和玉文化的研究,中华文明史既不是过去人们说的4 000年,也不是现在认可的5 000年,而可能是被近代考古发现所揭示的大约10 000年。在距今10 000至距今4 000年间,中华文明以天文历法、文字初始、八卦文明、河洛文明、农耕文明、玉器文明、图腾文明等为重要支柱,其中玉器文明是最显著的特征之一^[56]。在中华文明的发展进程中,可在被传统历史学普遍认可的石器时代和青铜器时代中划分一个独特的玉器时代^[57]。考古研究证明,玉器时代的鼎盛期大约在距今6 000至距今4 000年^[58],但这个时代有着更加漫长的孕育期和成长期^[58-59]。因此,在构建中华上古文明时,和田玉有着

不可替代的重要作用。

但由于缺乏文字记载,中华上古时期玉器的价值和功能并不完全清楚。根据东汉许慎《说文解字》中的惊鸿一笔:“玉,石之美者”,一个“美”字,使玉具有了让众人倾倒的特质。但这个“美”的特质又过于含糊,到底是什么让众人倾倒?颜色?质地?形状?感觉?并没有说明白。至今为止,中国对玉美学的研究还处于起步阶段,还没有一本系统的玉美学著作,急需填补空白。

在许多关于玉器的论著中,从玉器的用途出发,一般将古代玉器分为礼乐器类、仪仗器类、丧葬器类、佩饰器类、工具器类、生活用器类、陈设器类、杂器类等,这在某种程度上反映了古玉器的价值和功能。但从历史发展的角度看,这种观念可能在周代(特别是春秋战国)以后是适用的。但在距今4 000年前的中华上古时期,“仰则观象于天,俯则观法于地”是其主要文化背景;巫术、神鬼、图腾崇拜盛行是其主要社会背景,观天法地类玉器、祭天祭神鬼类玉器、图腾崇拜类玉器等当时应占据显著地位,但至今尚未完全证明。这在很大程度上阻碍了世人对上古玉器的了解,从而妨碍了对中华上古历史和文化的认识。

3 结语

目前,关于和田玉的研究还存在许多问题,一些问题是由于和田玉材料的特殊性以及当前先进的理论和技术未能在研究中得到充分应用导致的,但关键的问题则是由于和田玉的研究被人为地分裂成自然科学和社会科学两部分造成的。对和田玉的探索、理解和描述本应是自然科学与社会科学的共同责任,但由于历史的原因,在相当长的时期内,自然科学和社会科学对和田玉的研究是相互分裂和缺乏交流的,之间存在很大的鸿沟,这严重阻碍了对许多重大问题的探索 and 解决。和田玉研究中存在的一些问题可能会随着自然科学和社会科学的新发展而有望逐步得到解决,而关键问题的解决则寄希望于自然科学和社会科学的交叉融合。我国有数以百计现存和田玉矿有待深化研究和开发利用,有许多潜在的和田玉矿等待查明,有数以千万计的古玉器存放在博物馆中或分散于各类收藏者手中,或许还有更多的古玉器深埋地下等待着人们去发现。只有坚持多学科、多角度、多层次、全方位路线,结合自然科学与社会科学进行联合攻关,努力解决好与和田

玉研究相关的关键问题,才能为我国和田玉和玉文化产业的可持续发展,为中华文明探源作出新贡献。

作者贡献声明:

廖宗廷:构思并撰写全文。

景 瑾:提供资料和润色文章。

李 平:提供资料和润色文章。

沈俊逸:提出意见并润色文章。

金雪萍:提出意见并润色文章。

参考文献:

- [1] BAI F, DU J, LI J, *et al.* Mineralogy, geochemistry, and petrogenesis of green nephrite from Dahua, Guangxi, Southern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2020, 118: 103362.
- [2] NICHOL D. Two contrasting nephrite jade types [J]. *The Journal of Gemmology*, 2000, 27(4): 193.
- [3] HARLOW G E, SORENSEN S S. Jade (nephrite and jadeite) and serpentinite: metasomatic connections [J]. *International Geology Review*, 2005, 47(2): 113.
- [4] LIU Y, ZHANG R, ABUDUWAYITI M, *et al.* SHRIMP U-Pb zircon ages, mineral compositions and geochemistry of placer nephrite in the Yurungkash and Karakash River deposits, West Kunlun, Xinjiang, Northwest China: implication for a magnesium skarn[J]. *Ore Geology Reviews*, 2016, 72: 699.
- [5] LEAMING S F. Jade in Canada [J]. *Geological Survey of Canada Papers*, 1978, 19: 1.
- [6] YUI T F, USUKI T, CHEN C Y, *et al.* Dating thin zircon rims by NanoSIMS: the Fengtien nephrite (Taiwan) is the youngest jade on Earth [J]. *International Geology Review*, 2014, 56(16): 1932.
- [7] 唐延龄, 刘德权, 周汝洪. 新疆玛纳斯碧玉的成矿地质特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(S1): 22.
TANG Yanling, LIU Dequan, ZHOU Ruhong. Geological characteristics of Manasi green jade in Xinjiang [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 21(S1): 22.
- [8] BURTSEVA M V, RIPP G S, POSOKHOV V F, *et al.* Nephrites of East Siberia: geochemical features and problems of genesis [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2015, 56(3): 402.
- [9] GRAPES R H, YUN S T. Geochemistry of a New Zealand nephrite weathering rind [J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 2010, 53(4): 413.
- [10] 田广印. 新疆皮山县 379 和田玉矿床地质特征及找矿方向 [J]. *新疆有色金属*, 2005, 28(4): 10.
TIAN Guangyin. Geological characteristics and prospecting direction of 379 Hetian jade deposit in Pishan County, Xinjiang [J]. *Xinjiang Youse Jinshu*, 2005, 28(4): 10.
- [11] LIU Y, ZHANG R Q, ZHANG Z Y, *et al.* Mineral inclusions and SHRIMP U-Pb dating of zircons from the Alamas nephrite and granodiorite: implications for the genesis of a magnesian skarn deposit [J]. *Lithos*, 2015, 212/215: 128.
- [12] JIANG Y, SHI G, XU L, *et al.* Mineralogy and geochemistry of nephrite jade from Yinggelike deposit, Altyn Tagh (Xinjiang, NW China) [J]. *Minerals*, 2020, 10: 418.
- [13] GAO K, SHI G, WANG M, *et al.* The Tashisayi nephrite deposit from South Altyn Tagh, Xinjiang, Northwest China [J]. *Geoscience Frontiers*, 2019, 10(4): 1597.
- [14] 雷成, 杨明星, 钟增球. 东昆仑小灶火软玉中热液锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征: 对成矿时代的制约 [J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(1): 108.
LEI Cheng, YANG Mingxing, ZHONG Zengqiu. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of the Xiaozhaohuo nephrite, Eastern Kunlun orogenic belt: constraints on its ore-forming age [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(1): 108.
- [15] 周征宇, 廖宗廷, 马婷婷, 等. 青海三岔口软玉成矿类型及成矿机制探讨 [J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(9): 1191.
ZHOU Zhengyu, LIAO Zongting, MA Tingting, *et al.* Study on ore-forming type and genetic mechanism of Sanchakou nephrite deposit in Qinghai Province [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2005, 33(9): 1191.
- [16] 杨林, 林金辉, 王雷, 等. 贵州罗甸玉岩石化学特征及成因意义 [J]. *矿物岩石*, 2012, 32(2): 12.
YANG Lin, LIN Jinhui, WANG Lei, *et al.* Petrochemical characteristics and genesis significance of Luodian jade from Guizhou [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2012, 32(2): 12.
- [17] 钟华邦. 梅岭玉地质特征及成因探讨 [J]. *宝石和宝石学杂志*, 2000, 2(1): 39.
ZHONG Huabang. Study on the geological characteristics and genesis of Meiling jade [J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 2000, 2(1): 39.
- [18] YUI T F, KWON S T. Origin of a dolomite-related jade deposit at Chuncheon, Korea [J]. *Economic Geology*, 2002, 97(3): 593.
- [19] ZHANG C, YU X, JIANG T. Mineral association and graphite inclusions in nephrite jade from Liaoning, Northeast China: implications for metamorphic conditions and ore genesis [J]. *Geoscience Frontiers*, 2019, 10: 425.
- [20] 王春云. 龙溪软玉矿床地质及物化特征 [J]. *矿产与地质*, 1993, 3: 201.
WANG Chunyun. Geological and physicochemical characteristics of Longxi nephrite deposit [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1993, 3: 201.
- [21] 阴江宁. 河南栾川玉石的岩石学和矿床学研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
YIN Jiangning. Petrology and deposit research on nephrite and serpentine of Luanchuan, Henan Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.
- [22] NICHOL D, GIESS H. Nephrite jade from Mastabia in Val Malenco, Italy [J]. *The Journal of Gemmology*, 2005, 29(5/6): 305.

- [23] NICHOL D, GIESS H. Nephrite jade from Scortaseo, Switzerland [J]. *The Journal of Gemmology*, 2005, 29 (7/8): 467.
- [24] ZHONG Q, LIAO Z, QI L, *et al.* Black nephrite jade from Guangxi, Southern China [J]. *Gems & Gemology*, 2019, 55 (2): 198.
- [25] 张钰岩, 丘志力, 杨江南, 等. 甘肃马街山软玉成矿及玉料产地来源地质地球化学特征分析[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2018, 57(2): 1.
ZHANG Yuyan, QIU Zhili, YANG Jiangnan, *et al.* The geological and geochemical characteristics of nephrites in Maxianshan, Gansu Province and their implication for raw material source of the Qijia Culture jade-ware [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2018, 57 (2): 1.
- [26] LI P, LIAO Z, ZHOU Z, *et al.* Evidences from infrared and Raman spectra: Xiaomeiling is one reasonable provenance of nephrite materials used in Liangzhu Culture [J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2021, 261: 120012.
- [27] KIM W S. Nephrite from Chuncheon, Korea [J]. *The Journal of Gemmology*, 1995, 24(8): 547.
- [28] 陈从喜, 蔡克勤. 辽东镁质碳酸盐岩建造沉积变质镁质非金属矿床及成矿作用研究[J]. *矿床地质*, 1998, 17(3): 465.
CHEN Congxi, CAI Keqin. Study on sedimentary metamorphic magnesian nonmetallic deposit and mineralization of magnesian carbonate formation in Eastern Liaoning [J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17(3): 465.
- [29] 孙厚江, 吴春林. 辽河群镁质碳酸盐建造及其非金属矿产 [J]. *矿产与地质*, 1996, 1: 60.
SUN Houjiang, WU Chunlin. Magnesian carbonate formation and nonmetallic mineral resources in the Liaohu Group [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1996, 1: 60.
- [30] ADAMO I, BOCCHIO R. Nephrite jade from Val Malenco, Italy: review and update [J]. *Gems & Gemology*, 2013, 49 (2): 98.
- [31] 薛春纪, 祁思敬, 隗合明. 基础矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
XUE Chunji, QI Sijin, WEI Heming. Basic mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [32] 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
ZHAI Yusheng, YAO Shuzhen, CAI Keqin. Mineral deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [33] 唐延龄, 陈葆章, 蒋壬华. 中国和田玉[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994.
TANG Yanling, CHEN Baozhang, JIANG Renhua. China Hotan jade [M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 1994.
- [34] 廖宗廷, 支颖雪. 贵州罗甸玉研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2017.
LIAO Zongting, ZHI Yingxue. Study on Luodian jade from Guizhou [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2017.
- [35] 卢保奇, 亓利剑, 夏义本, 等. 四川软玉(透闪石玉)猫眼的矿物学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2004, 23(3): 268.
LU Baoqi, QI Lijian, XIA Yiben, *et al.* Mineralogy of nephrite (tremolite) cat's eye from Sichuan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2004, 23(3): 268.
- [36] 张雪梅. 新疆玛纳斯地区西段碧玉的矿物学及矿床成因研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
ZHANG Xuemei. Mineralogy and genesis of green nephrite in the western section of Manas region, Xinjiang [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [37] JIANG S Y, PALMER M R, DING T P, *et al.* Silicon isotope geochemistry of the Sullivan Pb-Zn deposit, Canada: a preliminary study [J]. *Economic Geology*, 1994, 89(7): 1623.
- [38] 葛璐, 蒋少涌. 镁同位素地球化学研究进展[J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27(4): 367.
GE Lu, JIANG Shaoyong. Recent advances in research on magnesium isotope geochemistry [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2008, 27(4): 367.
- [39] 李亮, 蒋少涌. 钙同位素地球化学研究进展[J]. *中国地质*, 2008, 35(6): 1088.
LI Liang, JIANG Shaoyong. Advance in calcium isotope geochemistry [J]. *Geology in China*, 2008, 35(6): 1088.
- [40] LING X X, SCHMÄDICKE E, LI Q L, *et al.* Age determination of nephrite by in-situ SIMS U - Pb dating syngenetic titanite: a case study of the nephrite deposit from Luanchuan, Henan, China [J]. *Lithos*, 2015, 220/223: 289.
- [41] COOPER A F. Nephrite and metagabbro in the Haast Schist at Muddy Creek, Northwest Otago, New Zealand [J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1995, 38 (3): 325.
- [42] XU H, BAI F, JIANG D. Geochemical characteristics and composition changes of tremolite at various stages in the mineralization process of nephrite from Tieli, Heilongjiang, Northeastern China [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, 14: 204.
- [43] 任成明, 张良钊, 张杰. 台湾软玉的矿物成分、显微结构特征及形成世代[J]. *桂林理工大学学报*, 2012, 32(1): 36.
REN Shuming, ZHANG Liangjiu, ZHANG Jie. Mineral composition, microstructure characteristics and generation of Taiwan nephrite [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2012, 32(1): 36.
- [44] 刘喜峰, 张红清, 刘琰, 等. 世界范围内代表性碧玉的矿物特征和成因研究[J]. *岩矿测试*, 2018, 37(5): 479.
LIU Xifeng, ZHANG Hongqing, LIU Yan, *et al.* Mineralogical characteristics and genesis of green nephrite from the world [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2018, 37(5): 479.
- [45] 刘琰, 何明跃, 买托乎提·阿不都瓦衣提, 等. 新疆和田阿拉玛斯软玉成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, 30(S1): 39.
LIU Yan, HE Mingyue, MAITUOGUTI Abuduwayiti, *et al.* Genesis of the nephrite from the Alamas in Hetian, Xinjiang

- [J], *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 30(S1): 39.
- [46] DEGENS E T, EPSTEIN S. Relationship between O^{18}/O^{16} ratios in coexisting carbonates, cherts and diatomites[J]. *The Journal of Geology*, 1962, 66(4): 534.
- [47] 袁永明. “玉石分化”说辨证——兼论玉器的起源问题[J]. *中原文化*, 2003, 4: 26.
- YUAN Yongming. The discrimination of “jade and rock differentiation” —on the origin of jade [J]. *Cultural Relics of Central China*, 2003, 4: 26.
- [48] 夏鼐. *中国文明的起源*[M]. 北京: 中国文物出版社, 1985.
- XIA Nai. *The origins of Chinese civilization* [M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 1985.
- [49] TSYDENOVA N, MOROZOV M V, RAMPILOVA M V, *et al.* Chemical and spectroscopic study of nephrite artifacts from Transbaikalia, Russia: geological sources and possible transportation routes [J]. *Quaternary International*, 2015, 355 (12): 114.
- [50] MORIN J. The Salish nephrite/jade industry: ground stone celt production in British Columbia, Canada [J]. *Lithic Technology*, 2016, 41(1): 39.
- [51] GAN F X, CAO J Y, CHENG H S, *et al.* The non-destructive analysis of ancient jade artifacts unearthed from the Liangzhu sites at Yuhang, Zhejiang [J]. *Science China Technological Sciences*, 2010, 53(12): 3404.
- [52] HUNG H C, IIZUKA Y, BELLWOOD P, *et al.* Ancient jades map 3,000 years of prehistoric exchange in Southeast Asia [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(50): 19745.
- [53] MIDDELBURG J J, VAN DER WEIJDEN C H, WOITTEZ J R W. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks[J]. *Chemical Geology*, 1988, 68(3/4): 253.
- [54] 冯敏, 张敬国, 王荣, 等. 凌家滩古玉受沁过程分析[J]. *文物保护与考古科学*, 2005, 17(1): 22.
- FENG Min, ZHANG Jingguo, WANG Rong, *et al.* Alteration process of the ancient jade in Lingjatan site [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2005, 17(1): 22.
- [55] HUANG X, CHEN M, YANG Q, *et al.* Natural reinforcing effect of inorganic colloids on excavated ancient jades [J]. *Journal of Cultural Heritage*, 2020, 46: 52.
- [56] 廖宗廷, 廖冠琳. *玉说中华上古史*[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2018.
- LIAO Zongting, LIAO Guanlin. *Jades record ancient Chinese history* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2018.
- [57] 曲石. *中国玉器时代*[M]. 太原: 山西人民出版社, 1991.
- QU Shi. *Chinese jade age* [M]. Taiyuan: Shanxi People's Publishing House, 1991.
- [58] 汪久文. *中国玉器时代与玉文化*[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- WANG Jiuwen. *Chinese jade age and jade culture* [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [59] 叶舒宪. 东亚玉文化的发生与玉器时代分期[J]. *河南社会科学*, 2014, 22(9): 74.
- YE Shuxian. The occurrence of jade culture in East Asia and the stages of jade age [J]. *Henan Social Science*, 2014, 22 (9): 74.