

史前玉器大型钻孔技术实验研究*

徐 飞¹ 邓 聪¹ 叶晓红²

1.香港中文大学; 2.中国社会科学院考古研究所, 北京 100710

Abstract: This paper studies drilling techniques on large stone or jade objects. These techniques were likely related to the invention of bearing implements. Through archaeological experiments, this paper aims at reconstructing the wheel and axle set to drill jade and the related power system.

Keywords: jade, to drill stone/jade object, experiment, bearing implement

摘要: 本文探讨对象为玉、石器大型钻孔技术, 此技术很有可能与轱辘轴承器的发明有关, 本文将通过实验考古等方法, 复原古代钻孔技术所使用的轮轴机械及加工动力系统。

关键词: 玉; 石器钻孔; 实验; 轱辘轴承器

钻穿孔技术是史前玉石器加工中的一项很重要的技术。从遗留在玉、石器上的孔洞尺寸来看, 可粗略分为大型钻孔和小型穿孔。本文将孔洞直径在 2.5 厘米以上的钻孔定义为大型钻孔, 小于这一尺寸的钻孔定义为小型钻孔, 本次研究对象为大型钻孔。大型钻孔技术与轱辘轴承器的发明和使用有着密切关系, 钻孔方式可能为旋转装置带动被钻对象(玉、石器)与钻孔工具(如竹管、芦苇或其他有机纤维呈圆孔状), 在旋转力的作用下对被钻对象施加压力完成。本文钻孔实验的开展是基于轱辘轴承实验的成果。

目前发现最早的轱辘轴承器出土于辽宁查海聚落遗址, 位于第二层堆积中, 发掘者命名为“石钻”^[1]。北福地二期、三期的轱辘轴承器有了一定的发展^[2], 到了凌家滩文化^[3]和良渚文化^[4]时期, 东部沿海地区手工业技术得到迅猛发展, 出现了用玉高峰和治玉技术革命, 形成了以长江

以南皖、浙、苏三地为主的治玉中心区域, 代表了史前中国治玉技术水平的顶峰。从这些遗址所出轱辘轴承器形制来看, 大多数为固定轴承。环珠江口地区^[5], 尤其是香港^[6]、澳门^[7]所发现的石质滚柱轱辘轴承器, 对该地区大量环、玦类装饰品的生产提供了极为重要的技术支撑, 同时也是这一地区生产力发展的标志, 在中国史前社会中极具鲜明的时代特色和区域特色。

一 研究背景

自 1995 年澳门黑沙遗址发掘以来, 对当时出土的“砺石”重视程度越来越高, 随着研究的不断深入, 我们最终定其名为“轱辘轴承器”^[8], 从此拉开了轱辘轴承器研究序幕。《环珠江口考古之崛起——玉器饰物作坊研究举隅》^[9]一文中详细论述了石质轱辘轴承与制玦之间的关系。

* 本文系国家社会科学基金项目“新石器时代东亚大陆与岛屿间玉文化的交流与互动研究”(17BKG009)项目成果之一。

段宏振先生就北福地遗址出土的轮轴石器进行了研究,认为石轴器上遗留的旋转痕迹,呈细密的同心圆状,应是用于管钻穿孔旋转机械的实证,为探索史前玉石器加工技术的发展历程提供了重要的证据。方向明先生将东亚玦饰分为辘轳玦饰体系和非辘轳玦饰体系,对于其是“辘轳轴承器”还是“研磨器”,提出很多疑问,并在《轴承还是研孔——澳门黑沙和桐庐方家洲发现的启示》^[10]一文中做了详细论述。朔知先生从玉环、痕迹、石钻三方面进行了探索,认为凌家滩出土的部分石钻器物可能是通过手持或捆绑,或配合旋转机械进行钻孔和打磨作业,并非使用辘轳轴承器^[11]。郭素秋先生综合了台湾各地新石器时期出土资料,提出了新的观点,认为“辘轳轴承器”很可能为“轴心器”,即:轴肩端的外侧,需另外再套上一个大小相符的环形器,以此环形器为轴承器^[12]。孙周勇先生《陕西周原遗址齐家作坊环玦穿孔技术研究》一文讨论了石钻的功能与用途,他认为无论是“环砥石”还是“研磨器”,都与环珠江口地区一带所见“辘轳轴承器”存在着本质区别^[13],与此同时,他还从玉器加工技术问题延伸到生产形态和生态组织问题^[14]。总体来看,辘轳轴承器出土分布范围见于整个东亚,尤其集中于东南沿海地带^[15]。

二 钻孔实验

本次实验轮盘装置除辘轳轴承器为石质外,其余部件均为木质和竹质。通过实验,获得如下认识:固定辘轳轴承器石质硬度的高低对自身旋转摩擦损耗程度起到关键作用,辘轳轴承器旋转摩擦接触面积越小,其石质结构越致密,硬度越高,旋转速度越快。若在辘轳轴承器顶部添加润滑油,其惯性加强、旋转动力增大且运转平稳。在轮盘最外围的边缘处对称部位增加重量,使得轮盘中间位置重量轻,边缘部位重,以增加轮盘旋转惯性,提升轮盘动力,对提高钻孔效率起到了重要作用,同时也更接近真实环境下的快轮工



1

2

图一 实验环境

1. 实验之前轮盘与车桩分离 2. 实验工作场景

作状态。

(一) 实验环境

实验场位于农家小院内,地形平坦,实验工作空间约4平方米。(图一)在实验所处空间的北部和南部分别挖下两个直径约70厘米的土坑,用泥土和碎石砸实固定轮盘实验的车桩,使之固定在土层中。

(二) 实验所用工具材料简介

轮盘装置材料选择泡桐,轮轴车桩材料选择竹子,轮盘和车桩内方体木块材料选择柏木,辘轳轴承器材质为石英砂岩,石材较硬实。选用石英砂岩为辘轳轴承器石材,原因有二:首先,出土的辘轳轴承器有类似石种;其次,此类石料在沿海地区较为普遍,分布广泛且形状和大小种类多样,原料丰富。辘轳轴承器工作过程中使用黄油作为润滑剂,这种黄油是由动物脂肪酸提取而成。

实验选用成功牌红外测速仪:测速仪测试范围:2.5RPM~99999RPM(转/分钟)分辨力;0.1RPM(转/分钟)测量准确度;正负(0.05%+1个字)有效测量距离50mm~200mm(光源),50mm~500mm(激光光源)。

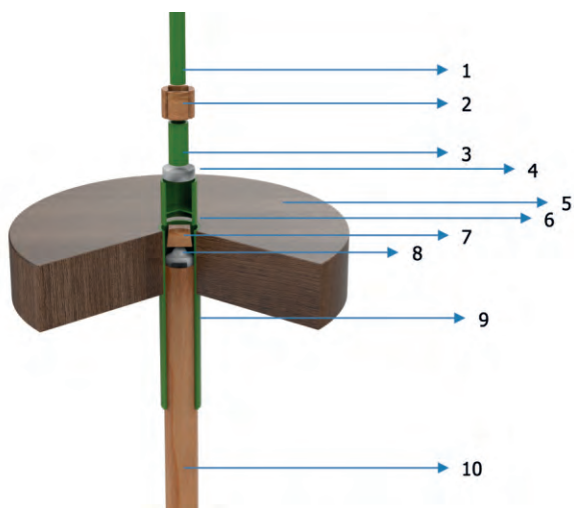
(三) 钻孔实验结构装置

实验装置结构如图二所示:车桩使用陈年老

竹制作,竹纤维韧性强,不容易开裂。车桩罩罩在车桩之上,二者之间预留0.1~0.2厘米的活动空间。车桩底部深埋土中,顶端靠竹节处正好可制成天然竹筒,把轱辘轴承器放入承胚筒塞并通过榫卯固定。承胚筒塞中间有天然竹节把承胚筒塞分成上下两部分,使之自然成为上下两个容器,本文将承胚筒塞上、下两端分别简称“承胚筒塞顶”和“承胚筒塞底”。承胚筒塞底倒插于车桩罩顶端孔洞内,内固定有轱辘轴承器顶盖,与车桩顶端内轱辘轴承器相接触,是整个钻孔实验装置最核心的支撑与旋转磨擦点。承胚筒塞顶内的底端固定玉、石毛胚,设计一个固定竹筒套,并将之放入承胚筒塞顶内,按压在玉、石毛胚上,然后用固定榫卯使之固定于承胚筒塞顶内。最后将钻孔竹管插入固定竹筒套内,完成钻孔工作。

实验结构部件所示从上至下主要由钻孔竹管、固定榫卯、固定竹筒套、蛇纹石玉毛胚、轮盘、承胚筒塞、轱辘轴承器顶盖、轱辘轴承器、车桩罩、车桩十个部件构成。以下对各部分实验装置部件进行分析。

钻孔竹管:长45厘米,孔径4.2厘米,竹管壁厚0.3厘米,是实验钻孔最为直接的工具。此



图二 实验轮盘结构及各部件

1. 钻孔竹管 2. 固定榫卯 3. 固定竹筒套 4. 蛇纹石玉毛胚 5. 轮盘 6. 承胚筒塞 7. 轱辘轴承器顶盖
8. 轱辘轴承器 9. 车桩罩 10. 车桩

次实验的钻孔深度为1.3厘米,钻孔竹管共消耗6.7厘米,随着钻孔深度加深,钻孔竹管消耗速度越快。

固定榫卯:固定榫卯在实验当中主要起两个方面的作用,一是稳固,另一方面则可以在小范围内调整钻孔装置的位置。

固定竹筒套:固定竹筒套高6.5厘米,略高出承胚筒塞顶部2厘米左右,直径4.4厘米,孔径4.1厘米。固定竹筒套是决定玉、石器孔径大小的关键装置,它与钻孔竹管之间缝隙不能过大,也不能太紧,缝隙太大不利于准确定位钻孔位置,钻孔竹管容易跑偏,太紧则影响轮盘旋转速度。

蛇纹石玉毛胚:本次钻孔实验选用蛇纹石玉,俗称岫玉、泰山玉等,其摩氏硬度变化范围在2.5~6之间。此次钻孔实验选用的蛇纹石玉,经中国地质大学(北京)宝石检测实验室检测,其摩氏硬度在4.0~4.2之间,比较接近软玉硬度。所选蛇纹石玉徒手打制而成,最大直径5.5厘米,厚2.2厘米,用榫卯稳固在竹筒塞顶内的底部,以方便竹管配合水和砂顺利完成钻孔。

轮盘:直径52.5厘米,厚7厘米。轮盘中央开有圆孔,圆孔最大直径7.8厘米。开此孔主要是为了固定车桩罩于圆孔内,使之和轮盘合为一体,使整个实验装置在旋转工作中达到稳定。

承胚筒塞:承胚筒塞呈锥形,高17厘米。承胚筒塞顶直径7.6厘米,孔径6.9厘米;承胚筒塞底直径7.1厘米,孔径6.9厘米。承胚筒塞倒插在轮盘中心处,可固定轮盘,与轮盘一体产生旋转动能,也可随意取出,及时观察试验部件的磨损状况。

轱辘轴承器顶盖:设计轱辘轴承器顶盖的主要目的是为了便于观察。轱辘轴承器顶盖呈梯形,高5厘米,顶部5×5厘米,低端7×7厘米,位于竹筒塞底内部,底端处开有0.7厘米深、直径0.5厘米宽小孔,与轱辘轴承器产生旋转磨擦动力。轱辘轴承器顶盖四角紧贴车竹筒塞,抵内壁以固定。由于竹筒塞为圆柱体形状,而轱辘轴

承器顶盖是方形，故辘轳轴承器顶盖在竹筒塞内难以滑动。此部位可以灵活拆卸，便于随时取出，观察记录，也便于更换其他材质部件以及及时添加润滑油。

固定辘轳轴承器：固定辘轳轴承高6.7厘米，呈长条形状，石英砂岩质。轴头形状初步打成山状和尖状。将辘轳轴承器尖部朝上，卡插在车桩圆筒内的顶部位置，四周分别用四个大小合适的木制铆钉进一步加固，使之既牢固，又能方便拆卸与更换。

车桩罩：车桩罩高40厘米，直径7.8厘米，内径7.2厘米。在固定钻孔实验中主要是起稳定、减少摆动的作用，其与车桩之间的缝隙在0.15~0.2毫米左右。既不影响旋转轨迹，又能够减少晃动，可以有效支撑轮盘平稳旋转。轮盘底部和车桩罩交界处分别用四个木制铆钉加固，使之与轮盘固定为一体。

车桩：车桩是整个轮盘实验当中最重要的支撑装置。在民族学考察中，车桩的形状大部分由顶部向底部逐渐变大，呈锥形。因此，民族学中的陶轮车桩都需要在土里挖一个与轮盘大小相当的坑，然后填土填石，深埋地下，以达到稳固的

目的。本次实验设计中车桩选用竹筒，长110厘米左右，大概分成五个竹节，将前面四个竹节捅破，最后一个竹节保留并朝上。另外一端削成尖状，直接捶打于深土中，最后在土层的表面与竹筒交界处用锥形石头卡位固定。

(四) 实验过程与分析

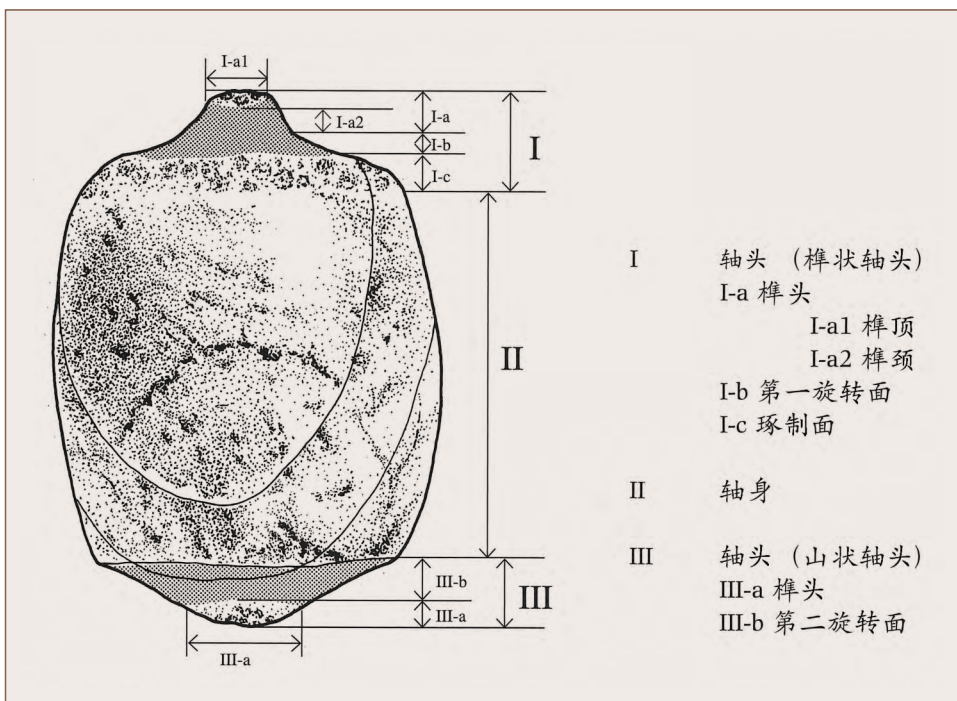
为便于理解和统一专业术语，如图三所示，对辘轳轴承器轴头各部位^[16]分别定名。

在实验过程中，首先将辘轳轴承器顶盖和打制好的辘轳轴承器稳固在轮盘所属部件内，切勿出现倾斜等现象，一旦出现，将会严重影响轮盘旋转的稳定性；其次，在轮盘外缘下方，分别固定四个大小一样的砖头，并且使之相互对称（如果不对称，会影响轮盘在旋转运动中的稳定性），使轮盘中间轻、两边重，以增加轮盘在旋转运动中的惯性；最后，在辘轳轴承器顶端和辘轳轴承器顶盖凹槽内加入适量黄油，使之达到润滑效果，以加快轮盘旋转速度。以下为实验开始之前辘轳轴承器及玉石粗坯的基本形状。（图四）

根据蛇纹石玉钻孔的深浅、轮盘旋转的圈数、旋转时间、辘轳轴承器轴头部位与轮盘内辘轳轴承器顶盖在旋转动力的摩擦下形状的变化，特将实验设计了3000、10000、25000转三个节点观察记录，实验结果显示：

第一节点 3067 转

实验进行完第一节点时，轮盘旋转时速度最快可达118转/分钟，耗时约31分钟。蛇纹石玉表面已经出现明显旋转凹痕，最深处已经达0.32厘米，钻孔竹管消耗4.7厘米。辘轳



图三 辘轳轴承器轴头各部位名称

轴承器榫颈部位出现明显连续性旋转痕。辘轳轴承器顶盖凹槽直径由最初的0.5厘米扩大到0.7厘米，凹槽内可见明显连续性漩涡状旋转痕迹。透过实验第一节点，可以发现：蛇纹石玉上的旋转凹痕迹不够锐利，有滑动迹象；辘轳轴承器和辘轳轴承器顶盖旋转痕迹都呈波浪状，高低不一。这是由于实验之初，轮盘各部件配合不够稳定造成的，但是也有一部分出土钻芯和辘轳轴承器出现类似情况。所以，我们可以根据某遗址出土此类器物的痕迹分析，反推某遗址生产力的发达程度。（图五）

第二个节点 11117 转

实验进行到第二个节点时，轮盘旋转时速最快可达 97 转/分，耗时约 69 分钟。在实验第一节点的基础上，对轮盘重要部件进行了重新调整，发现了中轴偏离问题。中轴一旦偏离轮盘，将出现不同程度的摆动，这将直接影响钻孔痕迹及形状的变化，同时也会对劳动生产率带来不同程度

的影响。经过不断调整，轮盘的稳定性较第一节点有了明显提高，但是随着钻孔深度加深，竹管与砂、蛇纹石玉磨擦力随之增大，钻孔竹管消耗也在加大。劳工工作强度提高，因此旋转速度较第一节点有所下降。此时，蛇纹石玉表面已经出现较深的旋转凹槽，最深处已经达 0.77 厘米，较浅处也达到 0.75 厘米，钻孔竹管消耗 5.1 厘米。旋转凹槽也随之变宽，达到了 0.4 厘米。辘轳轴承器榫颈部位出现明显连续性旋转痕。辘轳轴承器顶盖凹槽直径由最初的 0.5 厘米扩宽至 0.7 厘米，凹槽内可见明显连续性漩涡状旋转痕迹。固定辘轳轴承器轴头部位旋转痕，从轴头自上而下扩宽，痕迹粗细程度也是自上而下逐渐变细。与之对应的辘轳轴承器顶盖凹槽直径由第一节点 0.7 厘米扩宽到 1.1 厘米，凹槽内可见明显连续性漩涡状旋转痕迹。（图六）

第三个节点 25091 转

实验进行到第三节点时，轮盘旋转时速最快



图四 蛇纹石玉、辘轳轴承器、辘轳轴承器顶盖

1. 蛇纹石玉打制毛坯 2. 辘轳轴承器（原石） 3. 实验前辘轳轴承器（打制完成） 4. 实验前辘轳轴承器顶盖



图五 蛇纹石玉、辘轳轴承器、辘轳轴承器顶盖三者旋转磨擦痕迹变化（一）

1. 蛇纹石玉钻孔旋转痕迹 2. 辘轳轴承器榫颈磨擦痕迹 3. 辘轳轴承器顶盖凹槽旋转痕迹



图六 蛇纹石玉、辘轳轴承器、辘轳轴承器顶盖三者旋转磨擦痕迹变化（二）

1. 蛇纹石玉钻孔旋转痕迹 2. 辘轳轴承器榫颈磨擦痕迹 3. 辘轳轴承器顶盖凹槽旋转痕迹



图七 蛇纹石玉、辘轳轴承器、辘轳轴承器顶盖三者旋转磨擦痕迹变化（三）

1. 蛇纹石玉钻孔旋转痕迹 2. 辘轳轴承器榫颈磨擦痕迹 3. 辘轳轴承器顶盖凹槽旋转痕迹

71转/分，耗时117分钟。此时辘轳轴承器轴头部位旋转痕迹发生较大变化，轴头自上而下扩宽，整体呈梯形状。数值变化很小，旋转痕迹逐渐变粗，可能跟旋转速度变慢有很大关系。与之对应的辘轳轴承器顶盖凹槽直径由第二节点的1.1厘米扩宽至1.25厘米。轴头旋转痕迹粗细程度自上而下发生很大变化，旋转痕迹整体变粗，可见11道旋转痕迹。同时，辘轳轴承器顶盖凹槽内可见明显连续性漩涡式阶梯状旋转痕迹。蛇纹石玉变化更大，凹槽最深处达到1.22厘米，凹槽宽度增大到0.89厘米，钻芯完全显现出来，痕迹呈阶梯状，整体呈梯形，与辘轳轴承器顶盖和辘轳轴承器轴头部位变化一致。随着钻孔深度不断加深，对竹管的消耗更快，实验第三节点竹管消耗了接近7厘米。（图七）

（五）与出土辘轳轴承器对比

辽宁查海遗址出土的辘轳轴承器为深灰色石英砂岩材质。轴承器轴头、榫颈部位一部分已经

剥落，但是旋转面可见零星分布圆周状旋转痕迹，肩部旋转面基本为平坦的磨面，旋转面磨损程度极高，大部分旋转痕迹遗留在肩部的第一旋转面。由此可推测，此件辘轳轴承器经过长期使用。

与之对比的固定辘轳轴承器选用此次实验第三节点的辘轳轴承器，也是与出土辘轳轴承最近的一个节点。（图八）

从出土辘轳轴承器和实验辘轳轴承器对比来看，具备了很多共同点：首先，轴头形状一致，都呈山状，具备榫顶、榫颈、肩部；其次，痕迹方面均为榫颈部位痕迹细腻，榫顶部位相对粗糙，痕迹呈圆周状分布；再次，榫颈部位痕迹都比较细腻。根据以上信息，基本可以判断二者的形成规律和受力原理基本一致。

不同之处：实验辘轳轴承器榫顶部位局部有较粗磨痕，榫颈部位的斜坡面角度相对较小，旋转痕迹呈线状和丝状；出土辘轳轴承器榫顶部位

遗留的原始打制痕迹呈颗粒状，旋转面较平缓且面部痕迹玻璃光泽强烈。根据实验规律，随着实验的深入，旋转圈数的增加，旋转面痕迹会逐渐向肩部底端扩散。

(六) 与出土环状玉芯对比

选取香港地区出土的SHP3^[17]未钻透石环(图九:1)与实验未钻透蛇纹石玉环(图九:2)对比分析。香港地区遗址出土石环为深灰色，外圈最大直径6.5厘米，内径3.5厘米，环芯凹槽宽0.8厘米，深0.85厘米，凹槽内旋转痕迹明显，环芯痕迹局部也有阶梯痕迹，大体呈梯状。实验第三节点蛇纹石玉环基本情况在前文已做介绍，在此不再赘述，大致与SHP3石环基本一致，但是由于二者材质不同，所以痕迹的细腻程度也有较大区别，但是它们大部分旋转痕特点很接近，由此可推测，它们所使用加工方式应该十分接近。

从出土石环和实验蛇纹石玉环对比来看，具备了很多共同点：首先，石环芯和蛇纹石玉环芯虽然大小不一，但是二者均呈同心圆形状，并且同心圆外圈干净利索，完全没有犹豫之感。其次，它们的旋转痕迹都呈阶梯状分布，同时还有一定规律，一段细腻的痕迹中间夹杂1~2根较粗痕迹，且都是上窄下宽，环芯痕迹也都是上半部分细腻，下半部分相对粗糙。再次，出土石环芯凹槽和钻孔实验蛇纹石玉环芯凹槽宽度和深度数值非常接近，并且很有规律，出土石环芯凹槽宽度和深度分别是0.8厘米和0.85厘米，钻孔实验蛇纹石玉环芯凹槽宽度和深度分别是0.89厘米和

1.22厘米。根据以上信息，我们可以判断二者的共性绝非偶然，而是符合旋转运动规律的。

三 讨论与结论

通过实验，我们得到如下结论：

钻孔竹管固定问题。尝试方法如下：在轮盘中央正上端约40厘米处横架一根木柱，并将木柱两端分别固定在轮盘旁边的柱子上。选用一根长度45厘米左右的竹竿，竹竿的低端位于轮盘正中心（即钻孔的中心点）钻孔竹管的上端与横架在轮盘之上的木柱相交处，根据钻孔竹竿的大小，用钉子定准其宽度，使钻孔竹管无法左右摆动。其次，在轮盘中央正上端的木柱上，选取与钻孔竹管相交处约10厘米的地方，固定一个点，用绳子链接钻孔竹管与固定点（此两点链接主要是固定钻孔竹管，使之避免螺旋运动）。最后，在钻孔竹管顶端固定一个平台，平台上面可以任意添加重物，使钻孔竹管在管钻工作中具备一定的压力，然后与适当的旋转速度配合，才能有效达到钻孔的目的。

在轮盘旋转速度方面。辘轳轴承器的发明和使用是轮盘旋转动力的源泉。综合来看，轮盘旋转时速主要受四方面影响：(1)轮盘旋转接触摩擦面积越小，旋转时速越快，反之则结果相反；(2)辘轳轴承器相互接触摩擦材料的硬度、密度越高，轮盘旋转时速相对越快；(3)接触摩擦面越小，轮盘惯性越大，轮盘旋转时速越快；(4)轮盘在旋转运动过程中，稳定性越好，钻孔效率



图八 出土辘轳轴承器与实验辘轳轴承器

1. 出土辘轳轴承器 2. 实验第三节点辘轳轴承器



图九 出土石环与实验蛇纹石玉环

1. 出土石环 2. 实验第三节点蛇纹石玉环

越高。

初步实验结果来看, 钻孔实验之初, 钻孔竹管能否准确、稳定开孔是一个极为重要的环节, 因为这直接关系到钻孔机械装置的发达程度, 同时也从侧面反映一个地区的劳动生产率及社会发展程度。另外, 实验未能尝试先徒手开孔, 然后再上轮盘进行钻孔的实验, 相信在一定程度上会减少钻孔难度, 提高钻孔效率。

实验得到了一些阶段性认识, 发现了一些值得深思的问题: 钻孔接触面积大小与受力轻重有关系, 所钻孔洞越大, 磨擦力就越大, 随之带来一系列的劳力、财力消耗问题。根据出土遗物与实验产物的对比, 我们发现它们有着共同规律。根据出土遗物背景资料, 如材质、形状、大小等等, 可尝试更为精确的考古实验, 在历史环境中复原各遗址相关遗物, 建立基本数据库, 以此反证各遗址区域劳动生产组合关系、社会发展等问题。随着实验的不断深入, 一定可以为早期社会生产科技、手工业生产链及迁徙等诸多问题提供重要的基础资料。

(本文所介绍的大型钻孔实验只是阶段性成果, 实验装置和钻孔方式还有很多种方法可以尝
试, 以丰富实验成果与出土遗物对比研究。在此
敬请各位方家指正! 本文在写作过程中得到中国
社会科学院考古研究所赵海涛、李永强、陈国梁
诸位老师的指导, 得到山东大学考古学与博物馆
学系王强老师、香港中文大学邓玲玲同学的帮
助, 特表感谢!)

[1] 辽宁省文物考古研究所. 查海——新石器时代聚落遗址
发掘报告 [M]. 北京: 文物出版社, 2012: 36-37.

[2] 段宏振. 北福地史前遗址的轴承和玉石加工技术 [M] //

澳门黑沙玉石作坊. 2013: 116-117; 河北考古研究所, 保定市文物管理处, 易县文物保管处. 河北易县北福地发掘报告 [J]. 文物, 2006 (9).

[3] [11] 朔知. 凌家滩玉玦环研究——兼论“石钻”功能与
轱辘轴承的演化 [M] // 澳门黑沙玉石作坊. 2013: 220-
221; 张敬国. 安徽含山县凌家滩遗址第五次发掘报的新
发现 [J]. 考古, 2008 (3).

[4] [10] 方向明. 轱辘还是研孔——澳门黑沙和桐庐方家洲
发现的启示 [J]. 南方文物, 2013 (4).

[5] 广东省考古研究所, 珠海博物馆. 珠海宝镜湾——海岛
型史前文化遗址发掘报告 [M]. 北京: 科学出版社,
2004.

[6] 香港古物古迹办事处. 香港涌浪新石器时代遗址发掘简
报 [J]. 考古, 1997 (6).

[7] 邓聪. 澳门黑沙玉作坊遗址 [M]. 澳门特别行政区民政
总署文化康体部, 2013: 302.

[8] 邓聪. 史前玉机械的探讨 [J]. 中国社会科学院古代文
明研究中心通讯, 2002 (3).

[9] 邓聪. 环珠江口考古之崛起——玉器饰物作坊研究举隅
[M] // 珠海文物集粹. 香港: 中国考古艺术研究中心,
2000: 2-59.

[12] 郭素秋. 台湾新石器时代的圆形旋截法及其旋转机械初
探 [M] // 澳门黑沙玉石作坊. 2013: 286-298.

[13] 孙周勇. 陕西周原遗址齐家作坊环玦穿孔技术研究
[M] // 澳门黑沙玉石作坊. 2013: 302-322.

[14] 孙周勇. 西周玉玦的生产形态: 关于原料、技术与生产
组织的探讨——齐家制玦作坊个案研究之二 [J]. 考
古与文物, 2009 (3).

[15] 邓聪. 澳门黑沙玉作坊遗址 [M]. 澳门特别行政区民政
总署文化康体部, 2013.

[16] 邓聪. 澳门黑沙史前轮轴机械——国际会议论文集
[M]. 澳门特别行政区民政总署文化康体部, 2014:
31.

[17] 香港古籍古物办事处提供资料。

(责任编辑: 向 祎)