

记者 张向阳

15节琮每节误差0.1毫米

玉璧、玉琮、玉钺……四五千年前的良渚文明以出土大量玉器著称。在良渚，仅反山、瑶山两处遗址就出土玉器2000多组，若以单件计则超过6000件。考古发现，良渚玉器的制作工艺大致有切割、打样、钻孔、琢纹、研磨、抛光等工序，已经具备了后世玉器加工所有的技法。

良渚玉器上纹饰雕刻十分精细，有浅浮雕、镂雕、微雕等多种方式，玉匠们已经能十分熟练的运用这些技法。镇江出土的一件良渚玉器上，兽面的眼睛直径与圆珠笔芯相当，用放大镜观察，竟然是由16根切线组成的。汇观山出土的一件玉镯，在3.5毫米宽的凸棱上刻有14条细密的凹弦纹，要用高倍放大镜才能看清线条之间的界限。江苏武进寺墩3号墓出土了32件复式节高琮，最多的有15节，器形最高的33.5厘米，各琮节高的误差在0.1毫米左右，极其精准。考古人员分析，“当时已经完全具备了精细测量的几何工具和大家认可的原始度量衡。”

值得一提的是良渚琢玉的阴线微雕刻工艺。在余杭反山遗址12号墓坑中发现的玉琮重达6.5公斤，堪称“玉琮之王”。琮上刻有八个完整的神人兽面图案，这些又被称为“神徽”的图案面积仅有火柴盒大小，上面竟有上千条细密的刻纹。神人兽面图案的阴线构图繁密，线条之间密不容针，最细的地方1毫米竟刻了五六条纹路，比头发丝还细，而且雕线互不重叠，在坚硬的玉石上雕刻如此精密的线条，令人惊叹。

良渚玉匠是用什么方法加工出数量庞大、制作精美的玉器？

玉器加工，首先要将大块玉料切割成毛坯，从大型玉璧表面的切痕可知，良渚人已经能熟练解剖大件玉料。考古人员对良渚玉器上的痕迹分析发现，当时切割主要有两种技术：一种是砂绳切割，又称线切割，另一种是片切割。所谓线切割，就是以绳子或筋条附带解玉砂来回运动进行切割；片切割是用竹片一类的工具粘上解玉砂来回纵向切割，以保证平直的切割方向。这两种切割方法运用的材料都是高硬度、颗粒细小的解玉砂（石英砂）。

砂绳切割技术，最早出现在9000年前黑龙江饶河县的小南山遗址，这里玉器上多见砂绳切割技术留下的弯曲条形痕迹，为目前世界发现最早的砂绳切割痕迹。这项技术影响深远，此后几千年间新石器时代的玉器，像著名的兴隆洼——查海、红山、凌家滩和良渚玉器，玉匠均大量采用砂绳切割技术。

5毫米弧面刻了50条线

早于良渚的安徽凌家滩遗址（距今5800—5300年）出土的玉器，在制作工艺上也充满神秘色彩。凌家滩玉器雕琢精美异常，展示了高超的技术水平，自1985年发现以来凌家滩遗址先后出土玉器1200多件。

安徽省文物考古研究所研



在中国近万年的玉文化发展史上，先民制作了大量精美华贵的玉器，品种丰富，刻纹神秘而绚丽，从技术到工艺都令人叹为观止。令人不解的是，在生产力极低下的石器时代，没有金属、没有现代加工机械，用什么方法才能将坚硬的玉石雕琢成如此精美的传世之宝？

0.17毫米的微型管钻，8000年前的轮轴机械 神奇“黑科技”， 史前玉器的千古之谜

究员张敬国等挑选了不同质地的凌家滩玉器，利用特制的偏光显微镜对玉器制作过程中的痕迹进行分析，探究其制作的工艺技术。考古人员对87号墓出土的一件7°水晶耳珥进行观察，器呈扁球状，放大至120倍，球体表面平整光滑，放大200倍观察仍没有毛糙感；对耳珥上的凹槽研究发现，要在坚硬的水晶上琢磨出凹槽，工具的硬度则必须大于7°，如此高硬度的工具是什么材料的？而凹槽磨擦线肉眼根本就看不到，说明是用极细的粉状琢玉砂固定在高速旋转的琢玉工具上琢磨的。按照现代人的理解，凹槽部位的琢制离不开“车床”和工夹具一类的装置。先民们到底用了什么“先进”设备还是个谜。

还有一件石英玉镯，内壁有二道斜弧面，在显微镜20倍下观察，每道斜弧面的宽度约5毫米，斜弧面非常平直流畅，如同现代车床车过一样。在显微镜下放大30倍，可见5毫米宽的弧面上整齐排列着约50条发丝一样的细线，这些细线平行排列，纹丝不乱。这样高的技术，令考古人员感到吃惊，在石器时代怎么会有如此高度的文明？

98号墓出土的玛瑙斧，放大60倍观察，斧面十分光滑平整，不仔细看根本看不到细微的磨痕。肉眼观察玛瑙斧的刃口，像现代车床车刀车过一样整齐。60倍镜下，发现刃口的磨制是由外部向里琢磨，即便是在斧刃弧处，琢磨的刃口宽度也与直线处宽度一致，而且弧刃的曲线非常流畅，如何掌握弧刃口的琢磨是难度较大的技术，而且不论是琢磨工具砣或是被琢磨的玉料，必须固定在一个牢固的位置，这应该是最早的原始车床。琢磨的工具

砣必须高速平稳，这也是难度较大的机械技术。这说明五千多年前的凌家滩人已掌握了数学、几何、力学、机械学的基本原理，而且可以非常熟练地运用。考古人员发现，凌家滩斧钺一类的玉器都有共同的特点，其刃口部位有一道相当于今天所说的刀具开口线，像用车刀车出来的一样，而且连圆弧形的刃部也是如此，即使现在用电动砂轮打磨，没有一定的技术也难以办到。

经过研究还发现，凌家滩玉器的制作似乎有一套规范的制作程式，如琢磨纹线，一般皆由玉器外缘“进刀”内里“收刀”，且一刀琢成，表面磨光也是如此，就像一个师傅教出来的一样，手法相同。这说明凌家滩玉器制作技术可能已经出现规律性传承。

有学者认为良渚、凌家滩可能有类似车床的原始加工机械，故宫博物院原副院长、著名玉器专家杨伯达先生曾经指出，红山文化、良渚文化和凌家滩文化玉器上复杂的花样纹饰，都是用原始的砣机制作的。但也有学者通过良渚玉器表面痕迹分析，否定砣具存在。

登峰造极的管钻技术

玉琮、玉璧都要在玉料中心打孔，良渚、凌家滩玉匠已经熟练掌握穿孔技术。当时玉器钻孔主要有两种方式，一种实心钻，即用石钻等钻具带动解玉砂完成钻孔；一种为空心钻，即用中空的管状器加解玉砂蘸水进行钻孔。

玉器制作离不开穿孔技术，考古发现早在约四万年前旧石器时代晚期就已经出现了。从钻孔痕迹来看，9000年前的饶河小南山玉器存在成熟的钻孔技术，

使用的是实心钻，可能存在加速钻孔的弓钻。研究发现辽宁查海遗址出土的距今七八千年前的块饰出现管钻加工痕迹，说明在当时已经被用于玉器加工。几千年后，长江流域的崧泽文化（距今约6000—5300年）、凌家滩以至良渚遗址中，玉器管钻技术已达到登峰造极的水平。

良渚遗址出土的玉璧、玉琮、玉管、玉钺、玉三叉形器和玉冠状器等，都有穿孔。这一时期管钻法已普遍运用到钻孔技术中，墓中就曾发现有管钻剩下的棕芯。目前已经发现的良渚玉器中最大的管钻芯是反山20号墓出土的璧形器，外径10.5—10.6厘米。良渚玉器神人兽面像的神人和兽面眼睛，则多用小口径管钻，外径小至0.2—0.3厘米。在多处良渚遗址发现中心有圆窝、周边密集同心圆旋痕的玉钻芯，这类玉钻芯在陕西和青海的新石器遗址也发现过。考古人员认为，这类管钻在下钻过程中，钻具内壁有极大的向下支撑力装置，应该是相对复杂的组合管钻机械所为。

研究发现，良渚玉器打孔形式比较单一，且各个时期的特征变化不大，可见有一套十分完整的打孔工艺流程。

凌家滩98号墓也出土了玉钻芯111件，最小的外径仅0.2厘米，最大的1.5厘米。最神奇的是一件透闪石玉人，玉人背后有一牛鼻隧孔，在50倍显微镜下放大观察发现孔里有一个管芯，残留的管钻芯顶端直径0.15毫米。经推算，管钻直径加上琢玉砂应该是0.17毫米，玉匠用直径不超过0.17毫米的钻管钻出了直径0.15毫米的管孔芯，比人的头发还细，这是迄今为止发现最早的微型管钻工艺技术。这在没有金属钻头的

时代如何完成，成为一个千古之谜。

研究还发现，这个隧孔运用对穿工艺，先在一侧用钻管垂直钻孔，再斜钻两孔；随后在另一侧同样进行3个相同的工序，然后再贯通，一个小小的隧孔用了7道工序，先后钻了7次孔。有趣的是，这种先在隧孔两端打竖钻然后再斜钻贯通的隧孔钻法，在现代过江过河隧道的施工中能找到它的踪迹。

钻孔技术的发达促成了玉器掏膛的工艺，也就是把玉器腹腔内的玉料掏出，它对工具和技术要求都很高。凌家滩出土的一件煤精材质的钮，膛孔中心部位有管钻的痕迹，研究发现是用管钻法将内部掏成空腔。远在北方的红山文化牛河梁遗址（距今5500—5000年）出土的玉龟甲也是用管钻掏出腹部空腔等做法，已开钻孔掏膛之先河。

轮轴机械技术遥遥领先

新石器时代玉环、玉玦、玉璧类饰物，在制造和钻孔过程中都要用到旋转技术，但具体设备和过程却是个谜。

史前玉工辘轳轴承的考古发现，破解了这一谜题。山东大学文化遗产研究院特聘教授邓聪认为，在管钻技术中，辘轳机械管钻具有很悠久的工艺传统，辘轳机械能向同一方不停运转，是真正旋转运动的先进穿孔工艺，轮轴机械无疑是史前机械中的王牌，使大量生产各种玉器变成可能。

在查海遗址（距今9000—7000年）一共出土六件早先被称作“石钻”的石器，邓聪研究发现，其中一些可能是辘轳轴承，他通过详实的实验考古数据分析认证，其中编号为T04082:1的“石钻”是木质辘轳机械中的轴承。这意味着，在七八千年前木石构造的辘轳机械已经存在，已经出现更成熟、更复杂的制玉技术。以石质轴承构成水平旋转的轮轴机械重大发明，使得大型玉器穿孔旋截成为可能。

史前中国辘轳机械具，在甘肃大地湾遗址和浙江都有发现，黄河、长江流域可能早于7000年前就使用了辘轳机械。6000年前，辘轳机械可能已经应用到了玉器制作上，马家浜文化时期的遗址，发现了玉珥胎件和一件辘轳轴承器。距今5000年前后，凌家滩及良渚玉器上精良的管钻技术，是延续了此地区二三千年前管钻技术悠久的传统，良渚玉琮对钻的穿孔深度竟达约50厘米，显示了史前管钻技术的高超水平。珠江三角洲4000多年前的玉器管钻技术，则是受到了长江流域的影响。

邓聪在澳门黑沙玉作坊遗址的考古发掘中，发现了几件4000多年前治玉的石轴承，比古罗马帝国出现的轴承还早2000余年。他带领学生利用人力推动木石制轮轴机械，复原了古人的玉器钻孔工艺，竹筒钻具结合沙与水旋转摩擦所造成的磨痕，也揭示了玉琮钻孔同心圆痕迹和微痕的形成原因。可以说，早在七八千年前，中国史前轮轴机械技术在上已遥遥领先，使用轮轴技术生产的玉珥礼器，开创了史前东方独特的玉文化。