

中国古代早期的精确复合机械

陆述义

中国古代精品玉器(1)上精巧的雕刻装饰,一向被认为主要是靠手工和利用简单机械制成的(2).在此笔者提供证据表明,在春秋时代(公元前771-475年)一些陪葬玉环上雕刻的装饰螺旋线纹是由某种精确复合机械刻制的.

最古老而又出处可靠的玉环,是河南浙川下寺春秋楚墓(公元前552年)出土的M1:7(图1A)(1,3,4).这个玉环上的十条纹路可以很好地用阿基米德(公元前287-212年)螺线(5,6), $r = \alpha * \theta$,来表示(极坐标, r 为半径, θ 为极角, α 为常量).将玉环的照片从直角坐标转换成极坐标(图1B),则玉环上的螺线将成为斜率为 α 的直线.从这十条螺旋线中,笔者获得 $\alpha = 6.51 \pm 0.10$ 毫米/弧度(十条拟合线的平均 \pm 标准方差).所有的螺线具有一个共同的原点(即 $r=0$),并与玉环的几何中心重合.而且每条雕刻线与拟合螺线间的差距均在200微米以内(图1A).

其他春秋时代具有精确螺纹曲线的出土玉环还有:安徽寿县蔡侯墓(公元前491年)出土的M102:1和M102:2(3,7),江苏吴县出土的J2:31(1,8),和陕西西安沙浮托.出土的一个玉环(9);及曾经鉴验并在西方收藏集(2,10)发表过的文物(照片与测量数据见网上的支持材料).这些均匀而精确的纹路有力地说明它们是由某种机械刻制的,与同时代的典型精巧玉饰,其纹路的弯曲,方向,宽度有所变更,形成鲜明的对照.为了造出这些阿基米德螺线,用来绘制或直接雕刻这些纹路的机械必须能把转动和线性移动精确地联系起来.一种复原应当存在于公元前550年这种技术的机械可能如图1C所示.虽然一个更简单的设计,诸如拴在一根卷轴上的细绳在绷紧展开时也可以产生一种螺线,但其数学表达与实际的雕刻纹路不符.

在春秋时代之前已经使用了仅用一种运动形式的简单机械,如陶工的旋盘.然而,直到公元一世纪才出现第一个记录能够联系不同运动方式的精确复式机械的历史文献——亚历山大海洛(公元一世纪)或普鲁塔克(公元45-125年)有关阿基米德的文献(11).下寺的玉环对中国古代已存在精确复合机械的年代提供了至少提早三个世纪的证据,说明中国春秋时代机械的复杂程度要比先前所知道的要高得多.可能在汉代(公元前206-公元220年)的碾磨及扬砂(12,13)等多种机械化农业工具中也已使用了这种在玉环上雕刻螺旋线纹的精确复合机械(可能是曲柄的锥形).

图1: (A)河南浙川下寺楚丞相(公元前552年)一墓的玉环M1:7,直径27毫米(1).红色斑线代表的阿基米德螺旋线纹由相同的方程表示,有共同的中心点,仅旋转角度不同.

(B)从直角坐标转换到极坐标后,玉环(M1:7)的图像,其中阿基米德螺线被转换为斜率为 α 的直线.在玉环轮廓稍有变形的边沿,所有线条都是平行的直线.

(C)绘制阿基米德螺线的简单机械的原理图.一条细线(红色)紧缠在一个转盘(灰色)的旋转轴(蓝色)上,其两端固定在一根棍棒(黄色)上.棍棒上的梭子(紫色)使得描绘针(绿色)只能沿半径运动.棍棒的位移将使转盘定量转动,产生 $r = \alpha * \theta$ 的阿基米德螺线(黑色).