

记者 张向阳

## 东周王城的战国棘轮

西安霸陵汉文帝刘恒墓中出土的这件汉代青铜齿轮,制作精细,齿轮表面平滑,中间为圆孔,排列规整,锯齿分布均匀,极有穿越感,让考古人员叹为观止,很难想象这是手工业时代制造的产品。

其实,这还不是最早的青铜齿轮,据考古学家研究,早在战国时期,我国就已经开始使用齿轮了。洛阳博物馆珍藏的青铜齿轮就是战国时期的产品。这件青铜器1976年出土于洛阳东周王城战国粮仓遗址,距今已有2300多年的历史,虽然这件文物年代久远,但是制作工艺非常精湛。它是目前考古发现最早制作并使用、具有制动功能的棘轮装置。

这套青铜机械构件由齿轮、钩卡组成,机械学上叫做棘轮、棘爪。棘轮为圆形,分布40个斜齿,齿距均匀,中间方孔,轮径4.2厘米、方孔边长2.5厘米;棘爪呈弓状,一端有用来安装圆轴的圆孔,另一端有钩爪,背部有小圆鼻,长5.9厘米。考古人员认为,二者搭配完全吻合,显然是机械上相当精密的制动零件——棘轮机构。棘轮的实际作用是一经转动,便不能再倒回,可在水车、辘轳、原始吊车等机具上用于制动。比如,在吊取重物时,需要手摇卷筒和棘轮配合使用,在吊运途中可以停车休息或防止事故,是具有典型结构的齿轮传动机件。

作为一种低速传动的机械构件,棘轮机构有其精准的工作原理和机械构件,说明先民在长期实践中已经掌握了滑轮、齿轮等的性能或力学原理,制成了用来提举、搬运重物的简单机械。

考古人员认为,青铜齿轮构件虽然出土于战国晚期的粮仓废弃层中,但这只能证明战国晚期仅为青铜构件的废弃年代,而不是它的制作年代与使用年代,实际“年龄”应该更早。

## 晋国遗址的齿轮陶范

山西侯马东周晋国铸铜遗址,年代为春秋中期偏晚到战国早期(公元前600年—前380年)。这里出土陶范、陶模达十余万件,完整或者成套的近千件,陶范器型有容器类、乐器类、工具类、兵器类、车马器类等。令人惊奇的是,这里发现了成套的齿轮陶范,有不同规格的4套,齿轮8个齿,中间有孔,这是迄今所知最早的齿轮陶范。战国时期金属冶铸技术的进步,为较复杂、较精密的机械构件的铸造提供了前提,这些陶范说明在至少2400年前,已经开始生产齿轮了。

新中国成立以前,也曾发现过西汉古齿轮范。著名甲骨文学者罗振玉在所著《雪堂所藏古器物图说》中载:“古机轮土范一,有文字曰东二。以书势考之,乃西汉之物”。这件“古机轮土范”残件,复原后为十六齿,齿呈斜形,应该是制作棘轮的陶范,现保存在沈阳博物馆。

穿越了!  
2400年前齿轮已经转动

西安白鹿原上的霸陵,是西汉文帝刘恒的陵寝,这里曾经出土一件极具穿越感的青铜齿轮。说起齿轮,人们最容易联想到工业和机械,它是大机器时代的标志与象征,然而,诸多考古遗址出土的齿轮,却改变了人们这一认知:早在两千多年前,与齿轮有关的机械已经广泛应用到生产生活的各个方面。



在山西省博物馆珍藏着上世纪50年代在永济县薛家崖遗址出土的秦汉齿轮,包括几种不同形式的齿轮。值得注意的是,同时还出土了几件同现代汽车轮上的滚珠架一样的东西,这是一种铜质的环形槽子,内分四或八格,格中都有铁粒的残余。有学者研究认为,这是中国最古老的具有现代滚动轴承结构雏形的轴承,在中国古籍中,关于车轴轴承的构造早有记载,这说明中国是世界上较早发明滚动轴承的国家之一。一千多年后的13世纪,元代科学家郭守敬主持改革历法,需要进行精确的天文观测,为减少固定的百刻环与游轮的赤道环之间的摩擦阻力,他在两环之间安装了4个小圆柱体,这种结构与近代滚柱轴承的原理相同。

考古资料显示,在银川兵沟汉墓曾出土秦汉青铜齿轮构件;1956年陕西长安洪庆村汉墓出土了人字形齿轮2件,器身中间各有一个方孔,通体刻有凹进去的人字形齿纹,两轮都为26齿,两个齿轮并在一起,可以磨擦行动,说明当时已经懂得了用齿轮传动力。宁夏盐池县出土了两件汉代人字形铜齿轮。在现代机械传动系统中,人字形齿轮具有承载能力高、传动平稳和轴向载荷小等优点,这些出土文物反映了较高的工艺水平。

湖南省博物馆珍藏着衡阳出土的一套东汉青铜齿轮装置。齿轮分别有25齿、20齿、12齿三

种,当时出土的三件齿轮黏合在一起,似乎能互相扣接,疑为一种离合装置的齿轮结构,代表了汉代制作精密构件的水平。

除此之外,江苏邗江杨寿乡汉墓出土了3组人字纹的铜“齿轮”及锁形器,该文物齿轮有6件3组,第一组26齿,第二组41齿,第三组44齿,每组有主动轮、被动轮,齿为“人”字状,咬合紧密。锁形器略呈长方体,底上方上圆。研究人员推测这可能是汉代的铜“密码锁”。

## 午汲古城的铁质棘轮

除了青铜材质的齿轮,还有大量铁质齿轮在考古中陆续被发现。位于河北邯郸武安市的午汲古城是一座自春秋、战国至东汉时代的古城遗址,遗址发掘中出土了许多战国时期的铁器。上世纪50年代,考古人员对一座战国至汉代的灰坑进行了清理发掘,出土了一批铁质的生产工具,其中最重要的是出土了一只残缺的铁质“棘齿轮”。

这件棘齿轮是用单模铸成的,一面平,一面略凸,表面锈蚀程度不太严重,与同时出土的其他铁器比较,质料较为精良。武安由于富产铁矿,战国时冶铁业就非常兴盛,这是目前国内发现最早的铁质齿轮。

汉代的冶炼设备有了较大改进,扩大了高炉的容积,提高

了炉温;还使用了耐火材料和鼓风装置,动力设施即鼓风技术有了改进发展。工艺上,在前代工艺基础上发展了退火技术,自主发明了新工艺,像炒钢和百炼钢都是当时位居世界前列的冶炼工艺。由于冶炼技术的提高,铸造工艺的改善,产品能够成批生产,生产效率提高,促进了铁器的普及。在保定壁阳城址发掘中,也出土了汉代单模铁齿轮;河南郑州博物馆有直径7.0厘米、厚1.2厘米的十六齿棘轮;洛阳文物考古研究院也珍藏有出土的汉代铁质齿轮;上世纪80年代,在西安千户村也出土了汉代铁质棘轮。

陕西曾经出土多件汉代铁质齿轮,有研究人员进行了梳理。仅在上世纪六七十年代,在陕西礼泉县、兰田、岐山、华阴、长武、永寿县等县,就出土了6批汉代铁齿轮共17件。1964年,在礼泉县,出土1件16齿齿轮,孔为正方形,齿呈斜形;1972年,岐山出土了3件西汉铁齿轮,均为正方形孔,共16齿,齿呈斜形,同时有一批铁穿出土,有六棱八棱圆形等种类;在长武县出土8件铁齿轮,均为正方形孔,其中7件为16齿,齿呈斜形,一件为48齿,为直齿;永寿县发现西汉铁齿轮3件,一件为直齿,有48齿,另两件为斜齿,16齿;华阴也出土了铁齿轮一对,都是16齿,齿呈斜形。这些齿轮不但数量多,而且分布地区广泛,有利于研究古代机械的发

展历程。

研究发现,17件齿轮中,2件是48个直齿的正齿轮,在齿轮上可以看到啮合磨损痕迹,在机械工程中被称为传动齿轮,有两个以上组合在一起的可以组成齿轮系。另外15件,都是16齿的“棘轮”。研究人员还注意到,这6批出土的齿轮虽然出土地各不相同,但其大小形制是统一的,通径、厚度相差甚微,尤其是棘轮。可见,西汉时齿轮和棘轮的制造,一定有统一的规格。西汉自武帝开始盐铁官营,全国重要产铁地区都设有铁官,所冶铸器物都有统一的规格和标准。

众多考古资料可以说明,至少在汉代时期,齿轮就已经分为很多种类了,轮齿有直齿、斜齿、人字齿,说明齿轮制造已经多样化,并广泛应用在生产生活的很多领域。

## 澠池铁器遗址的轴承

汉魏之际出土的文物中,也发现了早期工业文明中的齿轮和轴承。1974年春,在河南澠池出土一批窖藏的汉魏至南北朝的铁器,共六十余种,四千余件。其中一件铁齿轮,周边16个斜齿,有4个斜齿因为磨损残缺较重,圆心部位有方孔,应该是一件棘轮。

澠池遗址还出土了480件铁质轴承,包括六角轴承、圆轴承和凹字形轴承三种。其中最多的六角轴承有445件,这种轴承径长每相差0.5厘米成为一种规格,共有17种规格,轴孔上可见不同程度的磨损痕迹;圆形承32件,轴孔已磨损,可分为大、中、小3型。大型外面铸有3个等距离的子榫,中、小型外面铸有两个等对称的子榫;凹字形轴承3件,外面铸有子榫,轴孔呈半圆形,内壁有磨损痕迹。

考古人员认为,澠池铁器显示了早期的产品规格化和系列化:不同作坊生产的轴承,器型相同,化学成分也很相近,同一产品还有不同规格,反映出当时使用机械的多样性,以及产品的规格化、系列化。轴承是当时车辆和各种机械的重要零件,应用广泛,磨损后需要及时更换,因而需要相应的统一规格,才能有效地进行生产和分配。从秦始皇统一中国,实行“车同轨”和统一度量衡,到汉魏时期产品规格化的出现,完全是符合规律的历史发展。

此外,研究人员对其中32号六角轴承金属组织进行了分析检验,发现其最外层为硬度高,但韧性较差、耐磨性较好的白口铸铁,中间为麻口铸铁,内部为耐磨性好的灰口铸铁,这是因为在铸造时使用了铁范,铸件层和内层冷却的速度不同而形成,从而使内层有了较好的耐磨性能。

虽然在古代文献中难以见到关于齿轮的专门记载,但是应用齿轮的机械装置和设备却有相应记录。像古籍中记载的记里鼓车和指南车、计时器漏壶等,这些仪器设备均需要齿轮。从战国到汉魏时期诸多铜、铁齿轮、轴承的出土,为研究古代工程技术的发展提供了宝贵的实物资料。