



大众机械技术史

○ 史晓雷 著

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学院自然科学史研究所 策划

丛书主编 郭书春



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

大众机械技术史



○ 史晓雷 著

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学院自然科学史研究所 策划

丛书主编 郭书春

● 山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

大众机械技术史/史晓雷著. — 济南: 山东科学技术出版社, 2015

(大众科学技术史丛书)

ISBN 978-7-5331-7667-9

I. ①大… II. ①史… III. ①机械—技术史—世界—普及读物 IV. ①TH-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 292346 号

大众科学技术史丛书 大众机械技术史

史晓雷 著

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)82098071

印 刷 者: 山东德州新华印务有限责任公司

地址: 德州经济开发区晶华大道 2306 号

邮编: 253074 电话: (0534)2671209

开本: 720mm×1000mm 1/16

印张: 14

版次: 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-7667-9

定价: 27.00 元

英国哲学家培根说,读史使人明智,科学使人深刻。科学技术史图书可以给读者提供一举数得的精神食粮,而科学技术史的普及读物对社会的影响常常比专著还要大。了解科学技术进步的历史不仅有利于掌握知识,更有利于认识科技发展的规律,学会科学发现和技术发明的方法,提高国民特别是青少年学生的素质。因此,向读者提供高质量的科学技术史普及读物,是科学技术史学者和出版机构责无旁贷的使命。

为了充分利用科学技术史传播科学知识,弘扬科学精神,培养青少年学科学、爱科学的良好素质,学术界有必要撰写系统阐述科学技术不同学科发展历史的普及读物。为此,中国科学院自然科学史研究所与山东科学技术出版社合作撰写、出版一套《大众科学技术史丛书》。该课题得到有关部门的大力支持,并列入《“十二五”国家重点图书、音像、电子出版物出版规划》增补项目。

本丛书展现历史上的科学技术知识以及科学技术专家的生平、科学活动和科学思想,兼具科学性和人文性,反映科学技术发展与人文思想演进的关系。本丛书力求具有科学性、系统性和通俗可读性。

所谓科学性就是科学准确地表述各学科史的内容,并尽可能汲取最新的研究成果。各册所述内容必须是学术界公认的,经得起时间考验的。对学术界尚有争论的内容,或者以一家为主,兼及别家,或者并列诸家之说。主要学术观点力求有原始文献或转引自权威著作的文献作依据,避免粗制滥造、以讹传讹。

所谓系统性一方面指在书目设置上既有基础学科,又有应用学科,覆盖数学、

物理学、化学化工、天文学、地学、生物学、医学、农学、建筑、机械技术、纺织技术、军事技术等科学技术史的各个主要分支学科；另一方面指每一学科的篇章设置能够涵盖该学科的重要成就、著作和科学家、重大事件和科学技术机构等，要使读者能够比较完整地了解该学科由低到高的不同发展阶段及其在不同文化传统中的特点。

所谓通俗可读性就是既要使用规范的汉语语言和标准汉字，又要做到通俗易懂，雅俗共赏，老少咸宜。在确保科学性的同时，要尽量采用便于大众理解的表述方式，并对历史上出现的、今天已经不再使用的重要术语用现代术语加以解释。

我们希望，广大读者特别是青少年学生通过本丛书既可以领略科学技术的严谨，又能理解它们对经济社会发展的巨大作用，受到科学精神的熏陶，激发对科学技术的兴趣，树立钻研科学技术的志向。

本丛书各分册的作者都是科学技术史学科有较深造诣的专家，有的是学科的领军人物，有的是成绩突出的中青年骨干。当然，任何工作都是阶段性的，每位学者的知识都有局限性，即使是术有专攻的专家也不例外，因此本丛书也可能有明显的疏漏和错误之处，恳请读者们不吝赐教，以便再版时修正。

中国科学院自然科学史研究所所长、研究员

张柏春

前言

Preface

《大众机械技术史》这本书的体量不大,但写起来颇费力气。丛书编委会和出版社的意见大致有两条:首先中外兼顾,并且是通史,就要从古代写到现代;其次雅俗共赏,学术性与通俗性交融。这真不是一个轻松的任务。

本书的用意,是希望大众能对古今中外的机械技术有大体的了解,但随着机械技术的不断进展,机器本身也变得复杂、庞大,而且与相关技术(比如冶金技术、材料技术、能源技术、自动化技术等)的关系愈来愈密切,这就加大了普及的难度。本书尽可能用浅显的语言,辅以故事、诗歌、小说以及插入的“延伸阅读”、“思考题”等栏目,降低理解的难度,增加可读性。此外,笔者搜集和绘制了大量插图,它们对理解相关机械技术大有裨益,相信读者能体会到。

下面对本书史料的选取做一些说明。

首先是我国古代部分的史料选取。刘仙洲从上世纪前半叶就搜集整理我国古代的机械技术史料,于1935年完成了《中国机械工程史料》,又于1962年完成了《中国机械工程发明史(第一编)》,勾画了我国古代机械技术的轮廓。1965年,英国李约瑟的皇皇巨著《中国科学技术史》中的《机械工程分册》出版,该书写得很精到,而且中外对比详细,但是该书至今已经出版半个世纪,有的史料已经陈旧,有的限于当时条件存在误解,有必要予以补充、纠正。再后来陆敬严、华觉明主编的《中国科学技术史·机械卷》问世,该书吸收了李约瑟的学术成果,在国内史料

的挖掘上有新的进展,但在国外史料的运用上则逊色一些。此后,清华大学几位学者扩充了刘仙洲之前的工作,完成了《中国机械工程发明史(第二编)》;陆敬严又独立完成了《中国古代机械文明史》;张柏春等完成了关于传统机械的调查研究工作。本书古代篇部分,体例上主要参考了李约瑟的机械分册和陆敬严、华觉明主编的上述著作,材料上遴选了前人发掘的史料以及本人近些年的一些研究成果。

至于近代部分,读者可能会感觉我国的内容偏少,这是由实际的机械技术发展情况决定的。对我国而言,近代基本是西方技术引进、消化的过程,很难找到古代那种独立于西方的对等技术,因此笔者所写的近代篇主要集中于西方的技术革命,中西兼顾时我国内容也远未达到古代篇的分量,特此说明。

关于西方史料的选取,主要依靠三种途径:首先是李约瑟《机械工程分册》中的西方部分,英国辛格七卷本《技术史》;其次是手头有限的几本英文技术史通史著作及参考文献所列译书;然后是网络资料,包括利用 Wiki 对部分资料的核实等。

现代篇部分,视角和前两篇有所不同,希望从“技术与社会”视角管窥机械技术对现代社会的影响和塑造。但写作该部分时,因为临近书稿交付期,对 20 世纪后半叶以来的新型机械技术未能涉猎,留下了遗憾。有关三峡水轮发电机组的相关材料,得益于笔者参加的中国科协老科学家采集工程项目(梁维燕院士小组),特此致谢。

最后,感谢丛书主编郭书春老师的信任,感谢中国科学院自然科学史研究所张柏春老师的支持。

著 者

目录

Contents

古代篇

认识机械技术

古代篇 认识机械技术

一、简单机械	2
斜面	2
杠杆	7
滑轮	16
轮轴	23
螺旋	30
二、机构	45
曲柄连杆机构	45
凸轮机构	52
绳带传动	58
链传动	66
齿轮传动	77

近代篇 机械技术引发的技术革命

三、第一次技术革命时期的机械技术	89
棉纺织机械	90
蒸汽机	98
蒸汽机车	112
蒸汽机船	117
机床	122
四、第二次技术革命时期的机械技术	133
发电机和电动机	133
水轮机和汽轮机	145
内燃机	155
飞机	165

现代篇 机械技术与社会

五、福特和他的汽车王国	187
早期创业史	187
T 型车与流水线	193
六、三峡国产水轮发电机组之路	199
高峡出平湖	199
师夷长技	202
再立新功	205
参考文献	209



古代篇

认识机械技术



2013 年的一天,美国亚利桑那州立大学人类起源研究所的研究人员在东非埃塞俄比亚北部地区发现了一块含有 5 颗牙齿的人类下颌骨化石。经过两年的研究,2015 年 3 月,他们发表了研究成果:这块化石已经有 280 万年的历史,是迄今所知最早的人类留下的。

自从人类诞生,便与机械产生了解之缘。尽管原始人使用的机械不过是一些简单的工具,但是正是依靠它们,人类才能与野兽搏斗、攫取食物。一方面原始人利用这些简单的工具谋生,另一方面制造和使用这些简单的工具也训练着他们的思维,最终演化成为现代人,创造出灿烂辉煌的人类文明,包括发达的机械文明。

在古代篇部分,我们将讲述从远古一直到近代技术革命(工业革命)之前的机械技术。这段历史实在太长了,但人类在这一时期发明、使用的机械技术比较简单,不过是一些非常简单或者稍微复杂一点的机械。为了便于讲述,我们从介绍常见的五种简单机械开始,然后讲五种基本的机械传动,围绕它们把古代的大部分机械串起来。

一、简单机械



一开始讲“简单机械”，你肯定要问了：什么是机械呢？这可难倒我了，因为我本来觉得我很清楚的，你这么一问，反而不知道怎么回答了。我先讲一个小故事。古希腊时，大哲学柏拉图(Plato, 约前 427—约前 347)曾给“人”下了一个定义，说浑身无毛的两足动物就是人。另一位哲学家第欧根尼(Diogenes, 约前 404—前 323)很不服气，他拿了一只被拔光了毛的鸡放在柏拉图面前问他，这就是你说的“人”吗？柏拉图也不知道说什么好了。看来柏拉图的定义并不靠谱。有的人可能会说，我知道人与其他动物的区别，人是会制造动物的动物。不过这种说法已经过时了，英国动物学家珍·古道尔(Jane Goodall, 1934—)于上世纪 60 年代已经在非洲坦桑尼亚发现，黑猩猩会用植物的茎秆插到蚁穴中提取白蚁，甚至有时在插入前会把茎秆上的叶片去除掉。因此，把“会制造工具”作为人的判据也不可靠。

可见，对一个名词下定义要很慎重，或者说很困难。机械，通俗的理解就是一些“工具”，人们利用这些“工具”可以实现省力、省距离或者把能量转换为有用功。这里把“工具”加上引号的意思是工具可大可小，比如一把螺丝刀就是一件简单机械，它利用了轮轴原理达到了省力的目的；同样，一列动车也是一部机械，它可以把化学能(内燃机动车)或者电能(电机动车)转换为动车的动能。

那么简单机械有哪几种呢？古希腊亚历山大城的希罗(Heron of Alexandria, 约 10~约 70)认为复杂的机械都是由以下五种简单机械(原理)的一种或多种构成的，它们是斜面、杠杆、滑轮、轮轴和螺旋。下面就分别介绍它们。

斜面

在人类利用的五种简单机械中，恐怕要数对斜面的认识和利用最早，但由于斜面太平常了，以致于往往忽视了它。人类自出现以来，大部分时间是在漫长的旧石器时代度过的，只是到了大约 1 万年前，才过渡到新石器时代。超过两百万

年的旧石器时代,陪伴人类的工具大部分就是一些斜面机械,通俗地说就是一些带有楔形或者棱角的石制品、木制品和骨制品。毛泽东(1893—1976)写过一首词叫《贺新郎·读史》,开头两句是“人猿相揖别。只有几个石头磨过,小儿时节。”在这首词中毛泽东试图用他一贯的革命豪情把人类历史的阶段加以概括,他首先形象地把人类区别于动物而产生比喻为作揖分别,然后说人类最初的历史不过是磨几块石头罢了。不过显然这是文学的描述,不是事实,因为考古学的研究发现,人类在漫长的旧石器时期使用的工具主要是打制石器,而非磨制石器。

旧石器时代最早的石制工具是在非洲坦桑尼亚奥杜韦峡谷(Olduvai Gorge)发现的,它们的年代为 260 万到 170 万年前。在这些石器中,大部分由砾石或石英岩制成,其中的砍砸器一般有拳头大小,刃口比较粗厚而且曲折,多数是从两面交互打击而成,如图 1-1 所示。这些砍砸器主要用于敲击、分割食物。

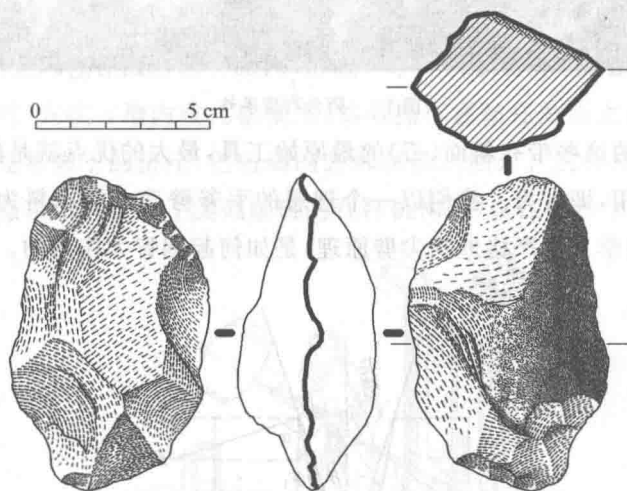


图 1-1 奥杜韦峡谷发现的砍砸器

请注意,我们并没有偏离谈论的主题——斜面,因为这些旧石器时代石器的刃口便是斜面原理的运用。

紧接着奥杜韦石器出现的是阿舍利石器,这类石器因最早在法国城市圣-阿舍利(Saint-Acheul)发现而被命名,年代为距今 170 万到 10 万年间。阿舍利石器要比奥杜韦石器技术先进,其典型器形为左右对称的手斧,形状呈椭圆或水滴形,较尖的一端有两面打磨的痕迹,因此在中间会形成锐利的刃口。图 1-2 是在英国发掘的一件距今 35 万到 30 万年的阿舍利型手斧。它们主要用于做什么呢?当时的人类主要是用它们挖掘可食用植物的根茎或其他食物(不过,有时需要捆绑

起来与动物的骨头、角或者木棍配合使用)。近几年,我国的考古学家和古人类学家在陕西等地也发现了阿舍利类型的石器,相关研究正在进行。

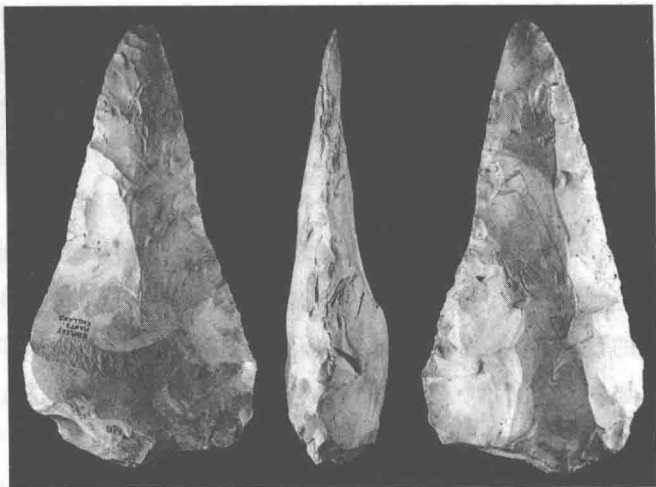


图 1-2 阿舍利型手斧

上面所谈的这些带有斜面(刃)的最原始工具,最大的优点就是能够起到以小力发大力的作用,即省力。我们以一个理想的手斧劈砍一根木料为例,说明下斜面原理(在物理学上更严格地叫尖劈原理)是如何起到省力作用的。

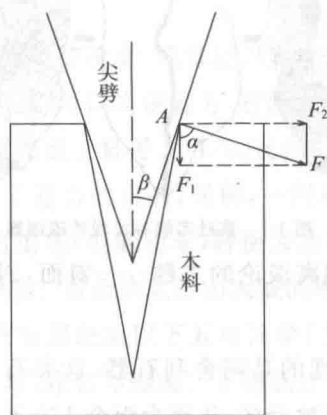


图 1-3 尖劈原理示意图

图 1-3 中 A 点是尖劈与木料的接触点(实际是一条线), F_1 是手斧劈砍木料用力的一半(左侧还有另一半,未绘出),这样在垂直于尖劈右侧端面方向上会产生一个合力 F 。根据力的合成法则, F_1 要小于 F , 且 $\angle \beta$ 越小, 就是尖劈越尖, $\angle \alpha$

越大, F/F_1 也就会越大, 而正是两侧的力 F 使得木料裂开, 也即小力会产生大力。这便是尖劈省力的原因。

可别小看了尖劈, 器件虽小, 但有时可以扶“楼阁”之将倾。再讲一个故事, 话说唐代开元到长庆年间, 即公元 713 到 824 年, 苏州重元寺楼阁一角有些倾塌, 寺里的僧人估计要维修的话会花掉一大笔钱, 正好寺里临时住着位云游四方的和尚, 他说不是什么大事, 只要找个人帮我砍些木楔就能解决问题。寺院的方丈依照他说的办了, 结果他每天吃完饭就手持一把斧子, 带上几十个木楔, 登到阁楼上敲敲打打, 不到一个月, 阁楼竟然恢复了原状。

木楔不但可以扶正楼阁, 还可以榨取油脂, 此话怎讲? 这不得不提到我国古代的榨油技术。元代农学家王祜(约 1245—约 1313)在《农书》中描绘了一种榨取芝麻油的方法(图 1-4), 先在地上用巨木做成卧床, 平行的两根巨木间对应开两个方槽, 卧床后方就是榨槽, 榨槽的下方开有小口, 通到底部的容器中。榨油的时候, 把蒸透的芝麻包在圆形的竹圈内, 形成一个个饼状物, 然后逐个堆放在卧床的右方。榨油时, 先在方槽内放几根横木, 然后操作者站在卧床上向横木间打纵向的楔子。正是靠楔子的挤压, 把后端的芝麻饼榨出油来。这种榨法很费气力, 从图上可看到敲击木楔时用了类似踏碓的杠杆机构(后面杠杆部分会讲踏碓)。

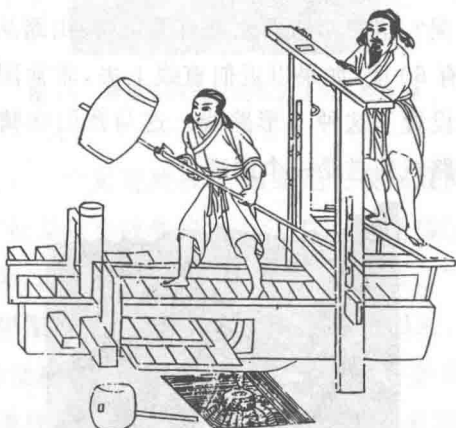


图 1-4 《农书》油榨

到了明末《天工开物》中出现了改进型的油榨(图 1-5), 用一根巨大的樟木或檀木, 中间挖空形成圆柱形的空腔, 横置地上, 水平方向挖有矩形的开口——以便放入油饼。榨油的方式依然靠击入木楔, 不同于王祜《农书》的是, 击锤是从屋梁吊下的一根撞杆(撞击端用铁圈包住, 以免披散), 操作者挥动撞杆横向击打木楔。

为了防止木楔反弹,《天工开物》明确说到,砍斫木楔所用的工具不能用刨,而要用铤。这种榨油的方式如今在我国南方一些老油坊中还能看到。

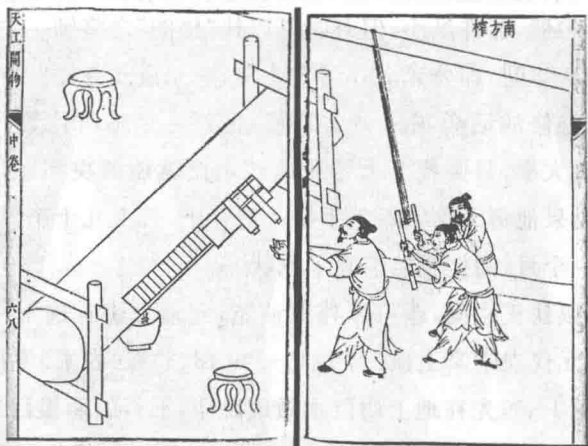


图 1-5 《天工开物》南方榨

图 1-6 是一张著名的老照片,它的名字叫“24 道拐”,它把我们带到了硝烟弥漫的抗战年代。这是贵州晴隆县一段蜿蜒曲折的山路,拍摄年代是抗战时期的 1944 年。这条公路是当时美国援华物资到达昆明后再转运至陪都重庆的必经之路,如果仔细看照片的话,还能发现路上正行驶着美军的运输卡车。那么为什么要设置如此多的拐弯呢?这便与斜面原理有关,这段山路从山脚第 1 拐到山顶第 24 拐坡的倾角很大,有 60 度,如果以近似直线上去,非常困难,而且也危险,因此美军在修建公路时就设置了这种 S 形路线。这与我们在骑自行车上比较陡的坡路时习惯沿“之”字形路线前进是一个道理。



图 1-6 24 道拐

梯子就是这类虽费路程但省力的机械。浙江萧山的跨湖桥遗址出土了距今 8 000~7 000 年的一段独木梯残件。该残件由圆木柱制成,直径 15 厘米,长 52 厘米。正面斜砍斫成一踩踏平台,仅存的两台面间距为 21 厘米,台面径深 9 厘米。这种独木梯是当时楼层架空的干栏式建筑存在的证据。你可能会说,我还没见过独木梯呢,见到的都是双脚、横向有脚踏板的木梯。但独木梯真的不仅当时已经使用,而且现在还有使用,图 1-7 是西藏察隅县阿丙村现在仍使用的独木梯,你是不是有了穿越的感觉?



图 1-7 察隅县阿丙村现在仍使用的独木梯

· 杠杆

说到杠杆,我们先讲一个寓言故事,该故事出自我国战国时期的《庄子·汉阴丈人》篇。“汉阴丈人”便是这个故事的主人公,“汉阴”是指汉水(即汉江)的南岸。我国古代称山之南为阳,山之北为阴;对水而言正好相反。“丈人”就是老者、老头的意思。故事说大思想家孔子的爱徒子贡从楚国游历回来,在返回晋国时路过汉水南岸,结果遇到一位浇灌菜园子的老人。老人挖了一条沟渠通到井边,然后抱着一个瓦罐井下井上地取水、浇地。子贡看到老人非常辛苦,上前问:“老人家,你怎么不用一种效率很高的机械呢?用它一天就可以浇灌一百多畦的菜地。”老人抬起头来看看子贡说:“那是怎么做到的呢?”子贡回答:“它是用木头做成的一种机械,后端重、前端轻,用它提水就像把水吸上来一样方便,一会儿菜园里就像泉水涌溢一样。这种机械叫桔槔。”没想到老人听后,不但没向子贡致谢,还生气得变了脸色,他反而讥笑子贡说:“我听我老师说,有机械的人必有投机取巧的事;投

机取巧之人必有机巧诡诈之心……”总之，老人反而向子贡上了一堂“政治课”，最后他还说并不是他不知道桔槔这种机械，而是因为若使用它会以之为耻，所以不用。

如今“汉阴丈人”已经成了一个成语，用来讽刺那些因循守旧，用旧的道德标准拒绝接受新事物的人。但从《庄子》中的这则史料记载，我们知道了“桔槔”这种提水器械在战国时代已经出现了，它利用的便是杠杆原理。在汉代画像石中，我们能发现许多桔槔的形象(图 1-8)。



图 1-8 山东嘉祥汉画像石上的桔槔汲水图

到了元代，王祯的《农书》也记载了这种器具(图 1-9)，它一直沿用到了现在。如今在一些穷乡僻壤仍能看到它的身影，其形态一如它两千多年前的样子。



图 1-9 王祯《农书》桔槔