



把科技馆带回家

丛书主编 / 徐延豪

丛书副主编 / 杨文志 束为 殷皓 苏青

# 华夏之光

## 中国古代机械

常 铨 袁 辉 陈 康 / 编著



科学普及出版社  
· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国古代机械 / 常铨, 袁辉, 陈康编著. — 北京 : 科学普及出版社, 2021. 2

(把科技馆带回家)

ISBN 978-7-110-10155-1

I. ①中… II. ①常… ②袁… ③陈… III. ①机械—技术史—中国—古代—青少年读物 IV. ①TH-092

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第177631号

---

策划编辑	郑洪炜 牛 奕
责任编辑	郑洪炜
封面设计	佳木水轩
正文设计	金彩恒通
责任校对	焦 宁
责任印制	马宇晨

---

出 版	科学普及出版社
发 行	中国科学技术出版社有限公司发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62173081
网 址	<a href="http://www.cspbooks.com.cn">http://www.cspbooks.com.cn</a>

---

开 本	710mm×1000mm 1/16
字 数	80 千字
印 张	6.5
印 数	1—5000 册
版 次	2021 年 2 月第 1 版
印 次	2021 年 2 月第 1 次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-110-10155-1/TH·100
定 价	39.80 元

---

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

# 编委会

## 《把科技馆带回家》丛书编委会

顾 问 齐 让 程东红

主 任 徐延豪

副 主 任 杨文志 束 为 殷 皓 苏 青

成 员 (按姓氏笔画排序)

吕建华 苏 青 李其震 杨文志 杨虚杰 束 为

辛 兵 陈明晖 纳 翔 欧建成 郑洪炜 赵有利

徐延豪 殷 皓 黄体茂 隗京花 颜 实

丛 书 主 编 徐延豪

丛 书 副 主 编 杨文志 束 为 殷 皓 苏 青

统 筹 策 划 郑洪炜

## 《华夏之光》系列编委会

主 编 赵 洋

副 主 编 崔希栋 张 瑶

成 员 王 爽 张文娟 马若涵 戴天心 陈 康 常 铖

张 瑶 安 娜 赵 洋 王学志 袁 辉 李广进

张梓雍 苏文轩

## 《中国古代机械》

作 者 名 单 常 铖 袁 辉 陈 康

# 主编的话

亲爱的读者朋友，现代科技馆为您营造了体验科学、启迪创新的绝美情境，在这里，您不仅可以学习科学原理和科学结论，还可以了解科学研究的方法和科学推演的过程；您不仅可以领略科技给日常生活带来的舒适和便利，还可以展望科技对未来社会产生的影响和愿景；您不仅可以体会科学的严谨和艰辛，还可以欣赏科学的美妙和浪漫……当您参观完中国科学技术馆等科技场馆，想必依然意犹未尽，渴望把参观的内容沉淀下来，带回家好好咀嚼、反复回味。

《把科技馆带回家》就是为了满足您的这个愿望而专门编辑出版的一套大型科普丛书。这套丛书以中国科学技术馆等大型科技场馆中的经典展项和品牌展教活动为切入点，充分发挥科普图书载体的呈现优势，立足场馆，超越场馆，既充分展示并深度开发了科技场馆中的优质科普资源，又对科技场馆中已有科普资源予以了积极拓展和有效延伸，可谓带回家的一个书本科科技馆。

根据《全民科学素质行动计划纲要》要求，我国城区常住人口100万以上的大城市至少应拥有1座科技类博物馆。未来，科技场馆凭借其科普资源独特的整合、呈现优势，必将在提高全民科学素质工作中发挥更加重要的作用，《把科技馆带回家》丛书由此也将为全民科学素质提升作出更加积极的贡献。

亲爱的读者朋友，我们希望通过编辑出版《把科技馆带回家》丛书，把科技场馆中精彩纷呈的科普内容不断呈现给您，和您一道开启体验科学、启迪创新的探索之旅，共同分享科学与人文结合给我们心智成长带来的精神滋养。我们更希望通过这套丛书的出版，听取您对繁荣中国原创科普图书出版的更多中肯意见，共同把《把科技馆带回家》打造成为广大读者喜爱的精品科普图书。

中国科学技术协会书记处书记

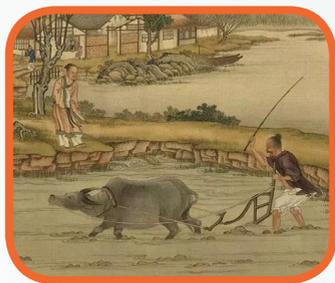
徐延豪

2020年8月

# 目录

## 民以食为天

<b>耕犁、耨车助农耕</b> .....	2
《耕织图》中见耕犁 .....	2
不断发展的耕犁 .....	2
促进一方强盛的耕犁技术 .....	5
《耨播图》中的耨车 .....	6
开沟、播种又施肥 .....	7
现代播种机的始祖 .....	8



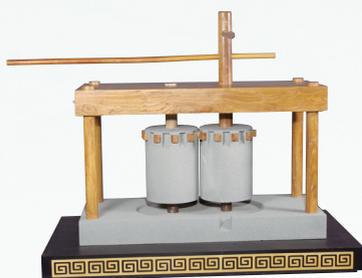
<b>令人惊叹的立轴式风车</b> .....	9
中式风车惊艳外国使节 .....	9
“农耕智慧”之“能量转化” .....	9
机械设计巧用风能 .....	11
立轴式风车的搭档——龙骨水车 .....	14

<b>舂捣粮食靠自然的连机水碓</b> .....	16
祖冲之设计的水碓磨 .....	16
连机水碓的发展历史 .....	17
独立发展的东西方水力机械 .....	20



<b>省时省力的水转连磨</b> .....	21
现存的九转连磨——水力捻茶机 .....	21
水力促农业的标志——水转连磨 .....	22
水力应用的始与终 .....	25
中国古代科学全才——杜预 .....	25
三位一体的屯溪磨坊 .....	26

<b>高效制糖的榨糖机</b> .....	27
小村庄里的“旧石器” .....	27
省时省力，制糖专用 .....	27
影响广泛，濒临失传 .....	30
榨糖机的前身——轧棉机 .....	31



## 奇妙的机械古车

<b>一里一响的记里鼓车</b> .....	34
木人击鼓示行程 .....	34
数次失传，复而重现 .....	35
古代科学家智慧巧思的体现 .....	36
世界上最早出现的计程车 .....	38

<b>结构精密的指南车</b> .....	40
指南车决定了逐鹿之战的胜负吗 .....	40
鲜有记载的重要机密 .....	41
古代机械制造的卓越成就 .....	42
千年前早已出现的巧妙技术 .....	43



<b>精湛华丽的铜车马</b> .....	45
“青铜之冠”国宝现世 .....	45
御用车驾的古今风采 .....	46
技术之先进与工艺之繁复 .....	47
中国的文化瑰宝，世界的辉煌成就 .....	50



<b>方便灵活的独轮车</b> .....	52
重见天日的独轮车石刻 .....	52
能工巧匠造鹿车 .....	52
掌握力学原理，设计科学机械 .....	54
领先发明，领先技术 .....	55





## 精准的测量工具

<b>减灾防难的地动仪</b> .....	58
古人为大地制作的“听诊器” .....	58
“神奇”复活 .....	60
地动仪与地震仪 .....	63

<b>“网红仪器”铜卡尺</b> .....	64
“穿越皇帝”的奇思异想 .....	64
王莽的“量器” .....	65
穿越千年的华丽变身——游标卡尺 .....	67



<b>测风瑞鸟“相风铜鸟”</b> .....	69
独特的气象邮票 .....	69
古气象仪——相风铜鸟的大家族 .....	69
中国古代空气动力学的应用 .....	72

## 威武的军事武器

<b>威力巨大的抛石机</b> .....	76
官渡之战中的“霹雳车” .....	76
投掷武器的演化 .....	77
形形色色的抛石机 .....	79
从“火砲”到“火炮” .....	80



<b>克敌制胜的巢车</b> .....	81
古代战争专用侦察车 .....	81
战争机器——古代机械战车 .....	82
巢车技术的延续与发展 .....	84

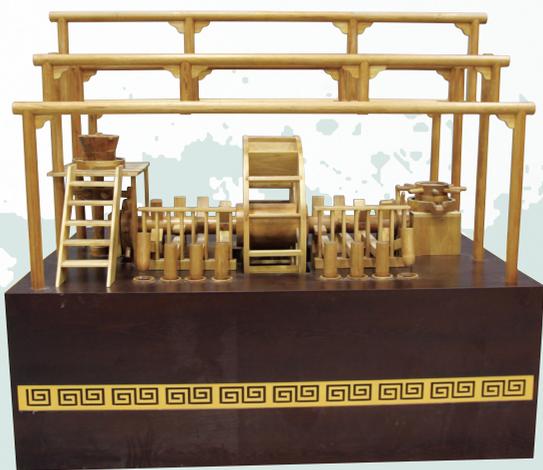
性能卓越的弩	88
连弩屠“巨兽”	88
弩中科技	89
弩的传播与发展	91
更大、更远、更强	92



参考文献	94
------	----

# 民以食为天

袁 辉 / 文





# 耕犁、耒车助农耕

## 《耕织图》中见耕犁



清《耕织图》（局部）

南宋绍兴年间，高宗皇帝偶得《耕织图》一幅，里面的牛耕图以生动形象的方式宣传和倡导了牛耕。清代，皇帝命画师在其基础上重新绘制。《耕织图》是我国古代一本有关耕织方面最早以诗配图供普及用的图册，回顾了古代耕种方式，图中的耕犁作为农耕工具的代表，

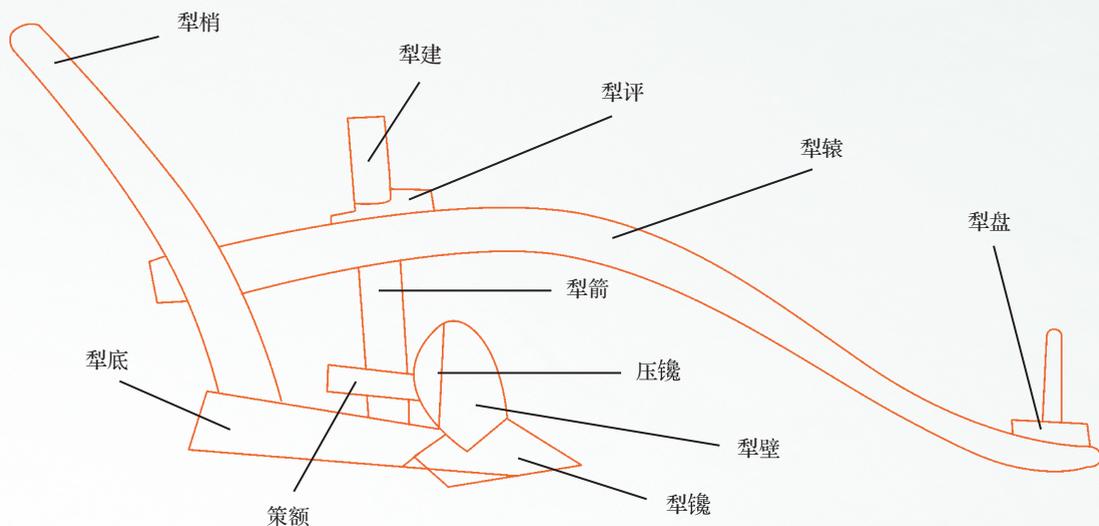
在中外农业种植的历史长河中有着不可磨灭的作用。

## 不断发展的耕犁

在漫长岁月中，伴随着古人劳作需求的变化，耕犁的形制和功能不断演变和完善，一共出现了原始石犁、畜力犁、金属犁、蒸汽犁四种形式。



耕犁、耒车 VR 体验



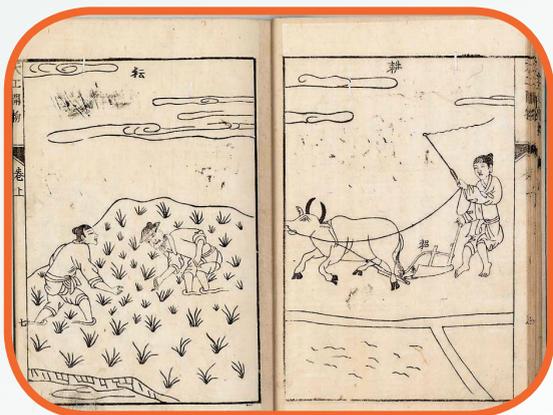
耕犁结构图

**原始石犁：**我国是最早发明石片石器且以使用石片石器为主的国家。中国最早的石犁出现于约 6000 年前，器型有舌形、双刃三角形、单刃三角形几种。其中舌形及双刃三角形可被称为“石犁”，单刃三角形一般被学者称为“破土器”或“石刀”。石犁和破土器的功用都是开沟，但前者较后者出现的时间更早。

**畜力犁：**中国劳动人民很早以前已经懂得用牛、马来拉车了。中国耕犁的役畜以牛为主。春秋战国以后，牛耕已经在我国迅速推广，而耕犁的框架构造在汉代基本形成，



江东犁



《天工开物》中的畜力犁

并随着生产的需要不断完善。

唐代，在二牛抬杠及二牛三人耦犁的基础上，出现了曲辕犁，该犁只需一牛牵引，且结构完善、轻便灵活，能够调节深浅。曲辕犁是唐代中国劳动人民发明的耕犁，因其首先在苏州等地推广应用，所以又被称为“江东犁”，

由 11 个部件组成。曲辕犁和以前的耕犁相比，有两大特点：首先是将直辕、长辕改为曲辕、短辕，并在辕头安装可以自由转动的犁盘，这样不仅使犁架变小、变轻，而且便于调头和转弯，操作灵活，节省人力和畜力。其次是增加了犁评和犁箭，如推进犁评，可使犁箭向下，犁铧入土则深，若提起犁评，使犁箭向上，犁铧入土则浅，将曲辕犁的犁评、犁箭和犁铧三者有机地结合使用，便可适应深耕或浅耕的不同要求，便于精耕细作。曲辕犁的发明是我国古代犁耕史上的里程碑。

明代，牛耕技术从内陆传到了中国台湾地区。郑成功收复台湾后，与其子郑经努力大兴屯田、发展农业，农作物产量迅速提高，牛耕技术也被传授给了高山族人民。到了清代，用于耕地所需的野牛被当地居民大量诱捕，由此可见，明清时期，农业耕犁技术已普遍发展到全国各地。

**金属犁：**商周时期，我国进入青铜器时代，延续前代石犁形制的铜犁出现，战国、秦汉时期流行铁犁，经过改进的金属犁不仅抗荷强度大大增加，而且能锻造出隆起中脊，实现了犁翻土的功能，较原始石犁提高了耕作效



率。当铁犁替代了石犁，成为经久耐用的垦耕工具，犁耕才得到了普及推广。

蒸汽犁：内燃机的出现使蒸汽犁随之产生。人们将内燃发动机加在车犁上，使它的曳力更加强大，便出现了拖拉机耕犁。拖拉机耕犁目前在农业生产中被普遍应用，也代表了现代耕犁业的最高峰，极大地提高了耕种的效率和面积，使粮食产量激增。

## 促进一方强盛的耕犁技术

放眼世界，如果追溯其他国家耕犁的起源，会发现在 5500 年前，美索不达米亚和埃及的农民就已经开始尝试使用犁。早期的犁构造较简单，但功能已显，由“Y”形的木段制作而成，下面主干处削成尖头，上面的两个分枝做成两个把手。耕地时，牛通过绳子拉动犁前行，下面的尖头就会在泥土里划出一道狭小的浅沟。在前 3500 年，人们正式制造出第一批犁。到前 3000 年，犁的构造有了改进，犁的尖头变成了划地更深、效果更好的犁铧，并且增加了一个具有推土功能的底板，将刨起来的土推向两侧，极大地提高了耕地的效率。在埃及和西亚地区干旱、多沙的土地上，犁的作用充分发挥出来，人们用它来开垦荒地、耕犁农田、



耕犁

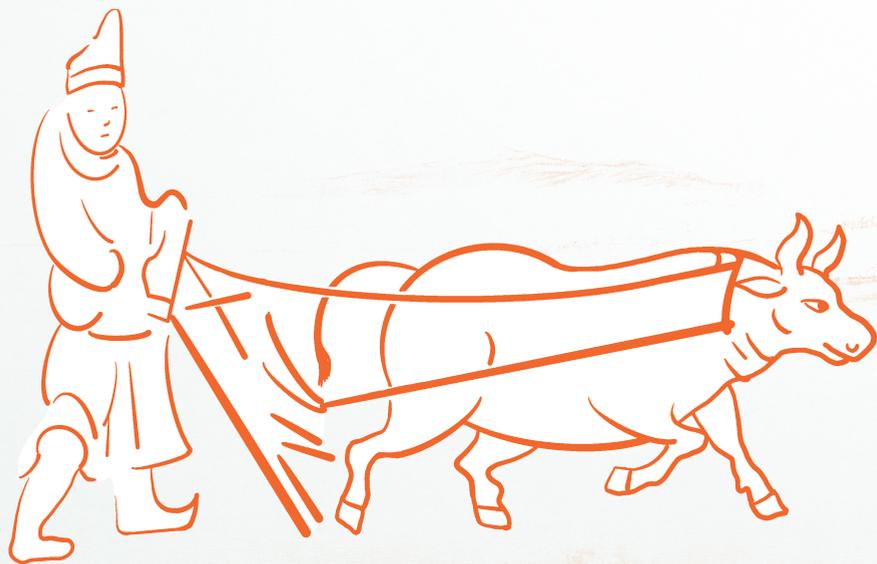


种植庄稼，收成得到了极大的提高，解决了温饱问题，埃及与美索不达米亚自然发展起来、日益强大。

我国的耕犁技术对世界其他国家也曾起到过或轻或重的影响，东亚及东南亚国家都有我国传统耕犁的身影，近代欧洲犁的轻便框架和弯曲铁犁壁也是直接受到中国犁的启发。牛拉的木制犁在世界上许多地方仍在使用，尤其是在轻质的沙土地区。

## 《耒播图》中的耒车

1959年，在山西省平陆县张店镇枣园村以南的一座汉代墓室西端北侧，人们发现了我国最早的《耒播图》壁画，该壁画描绘了在山野田间，农夫驾驶牛耕、操作耒车耕田播种的场景。图中的耒车正是本文要提及的“三脚耒”。



《耒播图》壁画（描摹图）



## 开沟、播种又施肥

耨的发展经历了只能开沟的耨犁及具有开沟、播种功能的耨车两个阶段。



耕犁、耨车 VR 体验



耨车

耨车是我国古代的畜力条播机，由耨杆、耨斗、耨脚和耨铧等部分组成，各个部件巧妙连接，耨铧为铁制，在田间穿行自动勾勒出条垄，其余为木制，耨斗与耨脚相连，种子从耨斗漏入中空的耨脚，随后落入田地播种，故耨车同时具有开沟及播种两种功能。耨脚最多可达7只，数量不同，耨车的叫法也有差异，最初的耨车一次只能播种1行，被称为“一脚耨”。随着播种技术的发展，出现了两脚耨。汉武帝时期，赵过进一步创造发明



了可同时播种三行的三脚耩，三脚耩在很大程度上借鉴了一脚耩和两脚耩的原理构造，不同的是需要两人配合操作，一人在前面牵牛带动耩车，另一人手扶耩杆摇动耩车，因为可多行并行，极大地提高了播种效率，所以这种播种机被广泛推广使用。

粪耩是对耩车的一种改良。据王祯《农书》描述，在原来播种用的耩车上加个斗，斗中装有筛过的细粪或拌过的蚕沙，便形成了“粪耩”，播种时，细粪会随种子落下，覆盖其上。使用粪耩，除了能完成平常的开沟、播种功能外，还可同时完成施肥，多道工序一起进行。

## 现代播种机的始祖

耩车是现代播种机的始祖，西方的第一部种子条播机就是人们受到耩车的启示而创造的，但实际上耩车的实物并未真正到过欧洲。在中国，农耕以北方为主，其地理位置远离港口码头，外输困难，欧洲人也只是阅读过关于它的相关文字描述，才得以受到启发。西方人在使用条播机之前，是用手点播种子的，这既是一项繁重的劳动，同时也存在极大的浪费：每年要把收成的一半谷物留作翌年播种，而无次序播撒的种子落地发芽后，常常聚集成堆，互相争夺水分和养料，影响生长。在3500年前，美索不达米亚的苏米尔人使用过单管种子条播机。直到1566年，卡米罗·托雷洛发明的欧洲最早的条播机获得了专利，欧洲的条播机才开始了漫长的发展道路。20世纪70—80年代，在我国北方家庭中仍可见耩车。



# 令人惊叹的立轴式风车

## 中式风车惊艳外国使节

1656年，来华的荷兰使节在苏北见到河岸两侧林立着大片的借助于风力提水的立轴式风车，这一极具特色的技术景色吸引了他，他作了一幅画，描绘了江苏使用立轴式风车的场面。

## “农耕智慧”之“能量转化”

中国很早就开始借助于风力使用风车，风车按其风轮轴的方向不同，可分为卧轴式风车及立轴式风车两种。

立轴式风车主要应用于我国江河湖海风力资源较丰



立轴式风车



走马灯

富的地区。立轴式风车体积庞大，用木制成，形状似走马灯，风帆的构造原理与中国式船帆相同，采用多面中国式硬质平衡纵帆来设计风车。外面有个固定的方框架，风轮是一个八棱柱，中间有根垂直轴，轴上装有八根棱柱，每根棱柱上挂有风帆，以棱柱为轴心随风偏转，轴下装有一个横向大齿轮，与立轴齿轮啮合，与风帆联动。当风作用于立轴风轮时，带动风帆连同立轴一起转动，并通过齿轮将力横向传递，从而启动连接的提水工具，将风能转化为机械能。

与卧轴式风车相比，立轴式风车的巧妙之处在于风帆的自动调节功能：一是不受风向变化的影响，各帆由帆索巧妙地控制风帆的方位，使风轮在顺风一侧受风面积尽可能最大，而在逆风一侧受力面积尽可能最小，甚至为零，克服了卧轴式风车易受风影响的弊端。二是风力变化时，可通过改变风帆的高度、调节其受力面积保持稳定。三是立轴式风车因体积庞大，安装时往往会架得很高，既节省了空间，又不受自身重力影响，有效地利用了风能。正是由于有以上的优点，立轴式风车曾在中国东南沿海和沿渤海地区被广泛应用于农业灌溉和制盐生产中，成为提水用的龙骨水车的动力。

20世纪60年代末，随着现代机械化设备在农业生产中的应用，大风车逐渐被淘汰，甚至绝迹。众多学者为重现我国古代机械农具原貌，开展了长期的复原工作。1985年，陆敬严先生在对苏北风车遗存考察及大量走



访相关技术人员的基础上，领导同济大学的中国古代机械制作室为中国科学技术馆制作了一部比例为1:7的“小型立轴式风车带动龙骨水车”的展品，同时他也进行了相关研究。立轴式大风车在我国沿海的天津塘沽地区和江苏阜宁地区都曾出现过，这两种风车的风帆调节原理相同，但风帆张挂方式不同，操作情况也不完全相同。在绳拉紧时，两者的风帆帆面与风轮半径的夹角不同。另据对大风车的受力进行科学分析，人们发现阜宁风车风帆的效率较塘沽风车高。

## 机械设计巧用风能



走马灯

关于立轴式风车的设计起源无史料可证实。不过人们根据其原理有以下两种推测：一是走马灯，通过燃烛或灯产生热气，

上升带动叶轮旋转。二是中国古代玩具风车，南宋光宗、宁宗、理宗（1190—1264年）时，画院待诏李嵩绘有一幅《货郎图》，图中货担前端的筐上所插四叶形物很像玩具风车。从时间上看，立轴式风车的发明应晚于玩具风车。



《货郎图》（局部）



中国风车与波斯风车和荷兰风车有不小的差异。有文献研究表明，风车出现最早的地区是波斯。波斯的风磨风车为立轴式，风轮外围护墙的每面墙一侧都有一个风口，立轴直接驱动风轮上方或下方的磨盘。波斯风车与中国风车的形制及构造差异都很大，且无明确的文献记载两者是否有借鉴，故相通性不大。荷兰风车是利用风能产生动力并用于碾谷物、磨米、



发电、排水灌溉等的工具。荷兰风车最早从德国引进，最初仅用于碾谷物、磨米粉等农作物处理。16—17世纪，随着荷兰在世界商业格局中作用的提升，各个领域的物资都开始利用风车加工，人们建造了很多风车磨坊、风车锯木厂和风车造纸厂等风车加工工厂。



荷兰风车



中国立轴式大风车相比于立轴的波斯风车与水平轴的荷兰风车有两大优点：一是受八面来风的作用。二是可通过调节风帆的高度实现转速的调节。立轴式风车的巧妙设计至今在机械领域仍有很大的借鉴意义，同时进一步说明：在古代，我国水力机械的设计已经有了相当高的水平，并对世界有着深远的影响。

从古代风车至现今的风力发电装置，人们一直对风能进行着无尽的开发和利用，早在 20 世纪 30 年代，一些小型风力发电装置就已经应用在了丹麦等国的旋翼技术中，由于其耗能低的优点，它还被广泛应用在贫瘠多风的地区。

现在，在我国风力资源极为丰富的地区，也有不少成功的中小型风力发电装置在运转着。

## 立轴式风车的搭档——龙骨水车



水转翻车

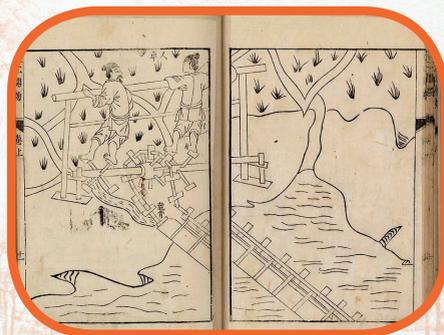
在制盐生产中，立轴式风车经常与龙骨水车协同作业，为后者提供动力。

龙骨水车最早由三国时期的马钧发明建造。据传，马钧发现当时农业采水困难，特别是位于高处的农田无法引水灌溉，于是他在前人的基础上研制出了一种新型提水工具——翻车，也是“龙骨水车”的雏形，它采用了链轮传动原理，因为木链形状犹如根根龙骨，故名“龙骨水车”，其整个车身是一个大的盛水木槽，两端装上轮轴，木槽里装满一排平行放置的刮板，在外力的带



龙骨水车(中国科学技术馆馆内展品)

动下，水车轮式循环转动起来，中间的刮板随着转动从低处提水上升到高处进行灌溉。根据不同外力，龙骨水车被分为水力龙骨水车、畜力龙骨水车及人力龙骨水车等。



《天工开物》中的人力龙骨水车