

古中国 失传机械的 复原设计

颜鸿森 著

萧国鸿 张柏春 译

中原出版传媒集团
大地传媒

大家出版社

科技史
学术丛
论

古中国

失传机械的复原设计

颜鸿森 著

萧国鸿 张柏春 译

中原出版传媒集团
大地传媒

大象出版社
· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

古中国失传机械的复原设计 / 颜鸿森著; 萧国鸿, 张柏春
译. — 郑州: 大象出版社, 2016. 12
(科技史学术论丛)
ISBN978-7-5347-8482-8

I. ①古… II. ①颜… ②萧… ③张… III. ①机械设计—中国—
古代 IV. ①TH122-092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 279541 号

备案号:豫著许可备字-2015-A-00000239

Translation from English language edition;

Reconstruction Designs of Lost Ancient Chinese Machinery

by Hong-Sen Yan

Copyright© 2007 Springer Netherlands

Springer Netherlands is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书的中文简体字版由 Springer Science+Business Media 授权大象出版社有限公司出版,
未经大象出版社有限公司书面许可,任何人不得以任何方式复制或抄袭本书的任何内容。

科技史学术论丛

古中国失传机械的复原设计

颜鸿森 著

萧国鸿 张柏春 译

出版人 王刘纯

责任编辑 徐清琪

责任校对 裴红燕 张迎娟

封面设计 付铤铤

出版发行 **大象出版社**(郑州市开元路 16 号 邮政编码 450044)

发行科 0371-63863551 总编室 0371-65597936

网 址 www.daxiang.cn

印 刷 洛阳和众印刷有限公司

经 销 各地新华书店经销

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15.75

字 数 286 千字

版 次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价 42.00 元

若发现印、装质量问题,影响阅读,请与承印厂联系调换。

印厂地址 洛阳市高新区丰华路三号

邮政编码 471003

电话 0379-64606268

“科技史学术论丛”编委会

主 任

张柏春 王刘纯

编 委

(按姓氏笔画排序)

王刘纯	方在庆	田 淼
冯立昇	刘益东	苏荣誉
张九辰	张大庆	张柏春
张前进	罗桂环	董中山
韩 琦	曾雄生	

总 序

科学技术史是随着近现代科学技术发展而兴起的一门横跨自然科学、工程技术与人文社会科学的基础性交叉学科。作为一门学科，它兴起于欧洲和美国，经历了百年左右的发展壮大过程。近三四十年来，国际科技史研究者不断拓展研究视野，除了考释科技知识本身的演进，还研究科学与技术的本质和发展模式，追溯知识的创造与传播，探索科学技术的发展与社会、政治、经济、文化等的复杂关系及相关的科技发展战略问题，从而对学术与社会产生更大影响。

中国的科技史研究兴起于五四运动前后，自 20 世纪 50 年代起开始建制化和职业化，并逐步形成自己的学术传统。20 世纪 70 年代末以来，以中国科学院自然科学史研究所为代表的中国科技史界面向学术前沿与社会需求，着力进行“从传统到现代、从中国到世界”的领域拓展，开辟近现代科技史、传统工艺与科技考古、科技发展战略、科学文化、中外科技发展比较等应用和交叉领域，更加注重探讨新的学术问题，并积极借鉴其他学科的理论与方法，由此形成了越来越多的新论著。

半个多世纪以来，中国科技史学者取得了十分丰硕的研究成果，仅中国科学院自然科学史研究所就出版了数百部学术专著。然而，国内科技史著述的出版仍然比较分散，迄今未能汇聚成一个长期累

续的书系。

大象出版社长期支持科技史学术著作的出版，与自然科学史研究所进行了非常富有成效的合作，曾设立专门的出版基金，出版了52卷本《中国科学技术典籍通汇》、14卷本《中国传统工艺全集》和其他学术力作，有力促进了科学技术史研究及相关学术领域的发展与繁荣。如今，面对学科发展的新态势，自然科学史研究所与大象出版社决定持续编选和出版“科技史学术论丛”，打造汇集、展示优秀科技史学术成果的平台。

“科技史学术论丛”以科学史、技术史、医学史与农学史等著作为主，兼收科技考古、科技哲学与科学社会学等相邻学科的论著。自然科学史研究所与大象出版社邀请部分专家，联合组成丛书编委会，以推荐和评议入选丛书的论著。丛书分为两个系列：一是首次出版的学术专著或文集；二是值得推荐给国内读者的学术译著。丛书突出学术价值，强调内容需有新意，丛书的作者和译者应当来自五湖四海，而不局限于自然科学史研究所的专家学者。我们欢迎专家学者们为丛书贡献学术佳作。

中国科学院自然科学史研究所 张柏春

2013年11月15日

序

15 世纪以前的古中国，在机械领域有着相当的成就，发明了许多精巧的机械。由于古籍文献的不全与实物的失传，大多数的古机械原型是不可考的，并且有不少的发明没有流传下来。

本书乃是根据著者过去二十年的研究与教学经验撰写而成，致力于在机械史学领域提出一套创新的方法，系统化地复原古中国失传机械，其目的是产生所有可能之失传机械的设计概念。若所制定归纳出的设计规范、构造特性及设计限制是妥适的，则原始设计必然是所有复原设计结果的其中之一。此方法为古机械领域的学者提供了一个合理工具，可进一步从史料中判定原始设计。再者，本研究不探讨古机械相关史料的真实性，而是认为失传的机械是存在的，并且试着证明复原失传设计的可行性。

本书的规划与编排可用于教学，也可用于自学。第一章介绍古机械研究、古中国机械的分类及复原设计的程序。第二章说明机构与机器的定义、机械元件与接头的特性、拘束运动的概念、机构的拓扑构造及机构与机器的设计程序。第三章论及古中国机械的历史发展、省力装置及机构类型。第四章提出系统化的复原方法，以获得失传机械所有可能的拓扑构造，这套方法利用颜氏机构概念设计法，将研究零散史料所得到的发散构想，收敛转化至特定领域，并

应用机械演化与变异理论，来产生所有符合史料记载及当代科技与工艺水平的复原设计。第五章、第六章、第七章及第八章则提供失传设计的范例，如张衡的地动仪，苏颂的擒纵调速器、指南车及鲁班的木车马，并按步骤解释第四章所提出之复原设计法的应用。

马尔科·塞克拉里（Marco Cecceralli）教授、陆敬严教授、张柏春教授与著者交往多年，对促成本书帮助甚多，在此表达谢意。著者还要感谢已毕业的研究生，尤其是林聪益博士、陈俊伟博士、洪芝青博士、萧国鸿博士、林宽礼先生、邱正平先生、黄凯先生、陈柏宏先生及沈焕文先生，以其博士论文与硕士论文对本书所做的贡献。此外，王心德博士、屈玉玲小姐及罗伯特·皮尔斯（Robert Pierce）先生对于本书的帮助，亦并此致谢。

古机械的复原，是联结古代机械史与现代机械史的钥匙。随着今日对于更好和更新产品之技术与需求的发展，若能思考过去的成就，撷取过去的知识，进而创造出具体可行的结果，甚至能够温故知新，生出新的想法。著者相信，本书可以满足学术研究与教学中对于失传古机械复原设计及机构与机器创意设计的需求。最后，尚祈各界读者赐予指教，俾得于再版时补正以臻完善。

颜鸿森

2007年5月于台湾台南

目 录

第一章 绪论

- 第一节 古机械研究 1
- 第二节 古中国机械分类 2
 - 一、应用分类 2
 - 二、史料分类 3
- 第三节 古机械复原设计 6
 - 一、史料研究 7
 - 二、复原分析 9
 - 三、复原综合 11
- 第四节 本书范畴 12

第二章 机构与机器

- 第一节 定义 15
- 第二节 机件 17
- 第三节 运动副 / 接头 19
- 第四节 机构与 (杆) 链 22

第五节 拘束运动	24
一、平面机构	24
二、空间机构	26
第六节 拓扑构造	29
第七节 机构与机器设计	30
第八节 机构构造综合	33

第三章 古中国机械

第一节 历史发展	37
一、旧石器时代到新石器时代	37
二、新石器时期到东周	38
三、东周到明朝	38
第二节 省力装置	39
一、尖劈	39
二、斜面	40
三、螺旋	42
四、杠杆	43
五、滑轮	46
第三节 连杆机构	49
第四节 凸轮机构	54
第五节 齿轮机构	57
第六节 绳索传动	60
第七节 链条传动	66

第四章 复原设计方法

第一节 前言	73
第二节 复原设计程序	74
第三节 设计规格	75
第四节 一般化运动链	78
第五节 特殊化链	85

- 一、五杆行星齿轮系 89
- 二、六杆行星齿轮系 90
- 第六节 复原设计 92

第五章 张衡地动仪

- 第一节 早期感震计 95
- 第二节 西方验震器发展 98
- 第三节 张衡生平事略 101
- 第四节 历史纪录 102
- 第五节 中央柱(都柱) 103
- 第六节 设计规格 105
- 第七节 复原设计 109
- 第八节 五杆连杆机构 112
- 第九节 六杆连杆机构 115
- 第十节 六杆绳索与滑轮机构 121
- 第十一节 结语 128

第六章 苏颂擒纵调速器

- 第一节 苏颂天文钟塔(水运仪象台) 131
- 第二节 苏颂生平事略 138
- 第三节 苏颂擒纵调速器(水轮秤漏装置) 139
- 第四节 复原设计 142
 - 一、设计规格 142
 - 二、一般化运动链 144
 - 三、特殊化链 145
 - 四、复原设计 147
- 第五节 擒纵调速器与近代机械钟表 150
- 第六节 结语 153

第七章 指南车

- 第一节 古籍文献 155
- 第二节 历史发展 161
- 第三节 近期发展 164
- 第四节 拓扑构造 168
- 第五节 接头与杆件表示法 185
- 第六节 复原设计 187
- 第七节 四杆差动轮系指南车 188
- 第八节 五杆差动轮系指南车 192
- 第九节 具绳索、滑轮及摩擦轮的差动轮系指南车 196
- 第十节 三杆定轴轮系指南车 198
- 第十一节 二杆定轴轮系指南车 202
- 第十二节 不同机械元件定轴轮系指南车 204

第八章 步行机械

- 第一节 鲁班生平事略 209
- 第二节 木车马相关文献 210
- 第三节 木牛流马相关文献 213
- 第四节 其他步行机械 216
- 第五节 复原设计 216
- 第六节 设计范例 217
- 第七节 结语 234

附录 符号 237

绪论

第一章

本书探讨随时间消逝的古中国机械，并提出一套系统化的方法复原重建失传古机械。本章首先概述古机械研究，接着介绍古中国机械的分类及复原设计的程序，最后说明本书的应用范畴。

第一节 古机械研究

人类发明机械的原始动机是来自生活上的需要，机械的制造增加货品的生产，进而影响人类的生活方式。再者，由于机械的不断发展，社会的架构得到提升。因此，机械的发明与改善，带动社会的进步。

历史长远的古中国文明中，有许多精巧机械的发明，而古机械发展的研究，主要着重在人物、事件、对象及原因^{①-④}。人物是指在机械的发明与设计，曾经做出贡献并有显著影响的人，或是在古机械发展中居于领导地位的人；事件所指的是机械发展的社会背景、工艺水平、政策决定及结果影响；对象所指的是机械的硬件、原理及相关文献；而原因所指的则是机械发展的规则、经验及过程所学。这四类概念，相互之间互有关联。

①张柏春：《中国机械史研究的回顾与前瞻》，《第一届中日机械技术史国际会议论文集》，机械工业出版社，1988年，第4—7页。

②陈全明、陆敬严、李金伯：《复原研究技术的探索》，《第一届中日机械技术史国际会议论文集》，机械工业出版社，1998年，第153—159页。

③陆敬严、虞红根：《古代机械复原研究的几个理论问题》，《第二届中日机械技术史国际会议论文集》，机械工业出版社，2000年，第57—61页。

④林聪益：《古中国擒纵调速器之系统化复原设计》（博士学位论文），2001年。

研究机械的历史发展,能探究机械的发展路径与逻辑,也可以得知机械技术的发展模式。复原古机械的目的,是应用古机械原理、工程及工艺,重建原来的机械,经此方法所重建的机械,可以用来展示当时的机械技术水准。

第二节 古中国机械分类

15 世纪以前的古中国,在机械工程领域有着相当的成就,有许多精巧机械的发明。由于古籍文献记载的不全及实物的失传,大多数的古机械原型是不可考的,并且有不少发明没有流传下来。对于有些设计而言,后人只能将其当成奇器,甚至视为无稽之谈。

一、应用分类

基于应用的考虑,古中国的机械可以分为如下类型^{①②}:

省力器械

典型的省力器械就是简单机械,如尖劈、斜面、滑轮、杠杆(杆或连杆)、轮子(辘轳)及其复合装置。

传动元件

典型的传动元件如轮子、轴承(缸、圆轴)、连杆、杠杆、曲柄、齿轮、棘轮、凸轮、绳索、链条(天梯)、螺杆、弹簧及其复合装置。

汲水器械

古汲水器械如尖底陶瓶、桔槔、戽斗、辘轳、虹吸(渴乌)、水车、筒车、龙骨车、翻车、牛转翻车、水转翻车、龙尾车等。

农业器械

古农业器械如捣槌机械(碓、水碓、勺槌、踏板杵槌、连机碓)、研磨机械(磬、磬磨、兽力连转磨、水转连磨、畜力绳磨)、碾(石碾、碾辊、水碾车)、风扇车(扬扇)、插秧机(秧马)等。

纺织机械

古纺织机械如纺纱机(纺车)、织布机、提花织机等。

矿冶机械

古矿冶机械如钻探机械、磨玉机械、水排鼓风机、双作用活塞

①刘仙洲:《中国机械工程发明史》(第一编),科学出版社,1962 年。

②万迪棣:《中国机械科技之发展》,台湾文物供应社,1983 年。

风箱等。

印刷机械

古印刷机械如转盘排字架、旋转书架等。

军事器械

古军事器械如烟火喷射器、筒管式枪炮、火箭、抛射(石)机、弓弩机(弩机、诸葛弩)等。

航空器械

古航空器械如风筝、飞行器、竹蜻蜓、降落伞、热气球、双翼面机翼等。

水上运输工具

古水上运输工具如轮船、脚踏车船、摇桨轮船、激水轮船、装甲船舶等。

陆地运输工具

古陆地运输工具如战车、戎车、路车、二轮人力车、营地磨车、加帆车、独轮车、指南车、记里鼓车、木车马、木牛流马等。

流体机械

古流体机械如旋转风扇、走马灯、风车等。

天文仪器

古天文仪器如测影表(测影器)、圭影板、石砌仪器、日晷仪、罗盘仪、窥管、简仪、燃烧钟、漏壶、浑天仪、水力浑天仪、水力天文时钟(水运仪象台)、沙漏定时器(五轮沙漏)等。

其他器械

另外有许多其他的发明,如鼓器、地震仪(候风地动仪)、车床、被中香炉、可折叠伞、自动机械人等。

二、史料分类

以复原的观点言之,根据史料,古中国机械可分为有凭有据、无凭有据、有凭无据三类^{①②}。史料包括古籍文献、历史文物、考古资料及现存实物。古籍文献是指正史、别史、杂史及野史等古籍的文字与图形;历史文物包括建筑、器具及绘画等古迹文物;考古资料含出土文物上的图文;现存实物则指出土的古机械及传世的真品等。再者,因文献与文物的图形,大都只反映外形,并无内部构造

① Yan, H.S., *Technology of Ancient Chinese Machines and Mechanisms*, 2004 ASME International DETC & CIE Conferences, 2004.

② 林聪益、颜鸿森:《古机械复原研究的方法与程序》,《广西民族学院学报(自然科学版)》2006年第2期,第37—42页。



图 1.1 被中香炉

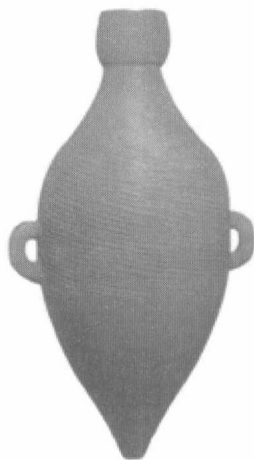


图 1.2 尖底陶瓶

与零件尺寸，更没有制造尺寸，故只能为“凭”，不能为“据”。因此，“凭”是指非实物的史料，“据”则为现存实物，即真品。

第一类：有凭有据

此类是指史料上有记载且有真品传世的古机械，一般是属于应用较普及的古机械。有些是出土的古机械，并可在古籍中找到当代相关文献记载，如河南省三门峡市虢国墓地、新郑市郑韩故城及山西省太原市赵卿墓车马坑出土的东周（前 770—前 256）木车。又如陕西省西安市秦始皇陵兵马俑坑出土的铜铍，可在《考工记》^①及其东汉（25—220）《郑玄注》注释中发现相关的文字记述。

有些机械因实用性高且发展成熟，直到近代仍在使⽤，在史料中常可看到相关的描述，如水车、水碓、龙骨水车、扬扇、纺织机械等，其他如被中香炉与古齿轮等亦是。图 1.1 所示为东汉丁缓约在 180 年所发明的被中香炉。

第二类：无凭有据

此类是指已出土，但尚未在史料中找到相关记载的古机械，如约公元前 210 年的秦陵铜车马及图 1.2 所示的约在公元前 4000 年的仰韶文化遗址出土的尖底陶瓶。另一个不寻常的例子，是图 1.3

①〔汉〕郑玄注，〔唐〕贾公彦疏、阮元校勘：《考工记》，《周礼注疏》（卷四十一），台湾大化出版社，1989 年。

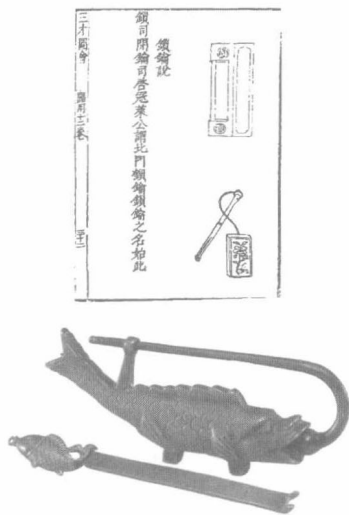


图 1.3 古中国挂锁

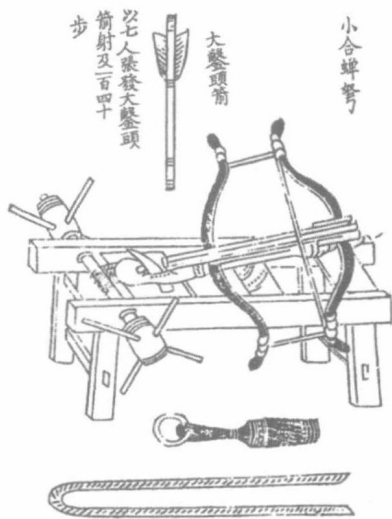


图 1.4 《武经总要》中的小合蟬弩

所示的古中国挂锁^{①②}。

第三类：有凭无据

此类是指没有真品留世，却有史料记载的古机械，又可细分为有文有图、有文无图、无文有图三类。

1. 有文有图

有些著名的历史科技专著，对一些古机械有较详细的文字记述与图形说明。如北宋（960—1127）曾公亮的《武经总要》中有弓弩、抛石机等攻守城池器械的图说^③，如图 1.4 所示；北宋苏颂的《新仪象法要》中有天文钟的图说^④；元朝（1206—1368）王祯的《农书》中有耨、耜等各式农器及纺车、织机等纺织器械的图说^⑤；明朝（1368—1644）宋应星的《天工开物》中有农具、织机、金属冶炼、弓弩等民生器具与生产技术的图说^⑥；明朝沈子由的《南船纪》中有黄船、战巡船、桥船等各种民船与战船的图说^⑦；另外，明朝茅元仪的《武备志》中有火铳、炮车、战车、战船、水陆作战武器装备等各类攻守城池器械的图说^⑧。

2. 有文无图

此类古机械数量不少，如东周鲁班的木车马、东汉张衡的候风

①〔明〕王圻：《三才图会》，台湾庄严文化事业公司，1995 年。

② Yan, H.S., *The Beauty of Ancient Chinese Locks, Ancient Chinese Machinery Cultural Foundation*, 2003.

③〔北宋〕曾公亮：《武经总要》，商务印书馆，1935 年。

④〔北宋〕苏颂：《新仪象法要》，台湾“商务印书馆”，1969 年。

⑤〔元〕王祯：《农书》，台湾“商务印书馆”，1968 年。

⑥〔明〕宋应星：《天工开物》，台湾“商务印书馆”，1983 年。

⑦〔明〕沈子由：《南船纪》，《中国科学技术典籍通汇·技术卷一》，大象出版社，1993 年。

⑧〔明〕茅元仪：《武备志》，海南出版社，2001 年。