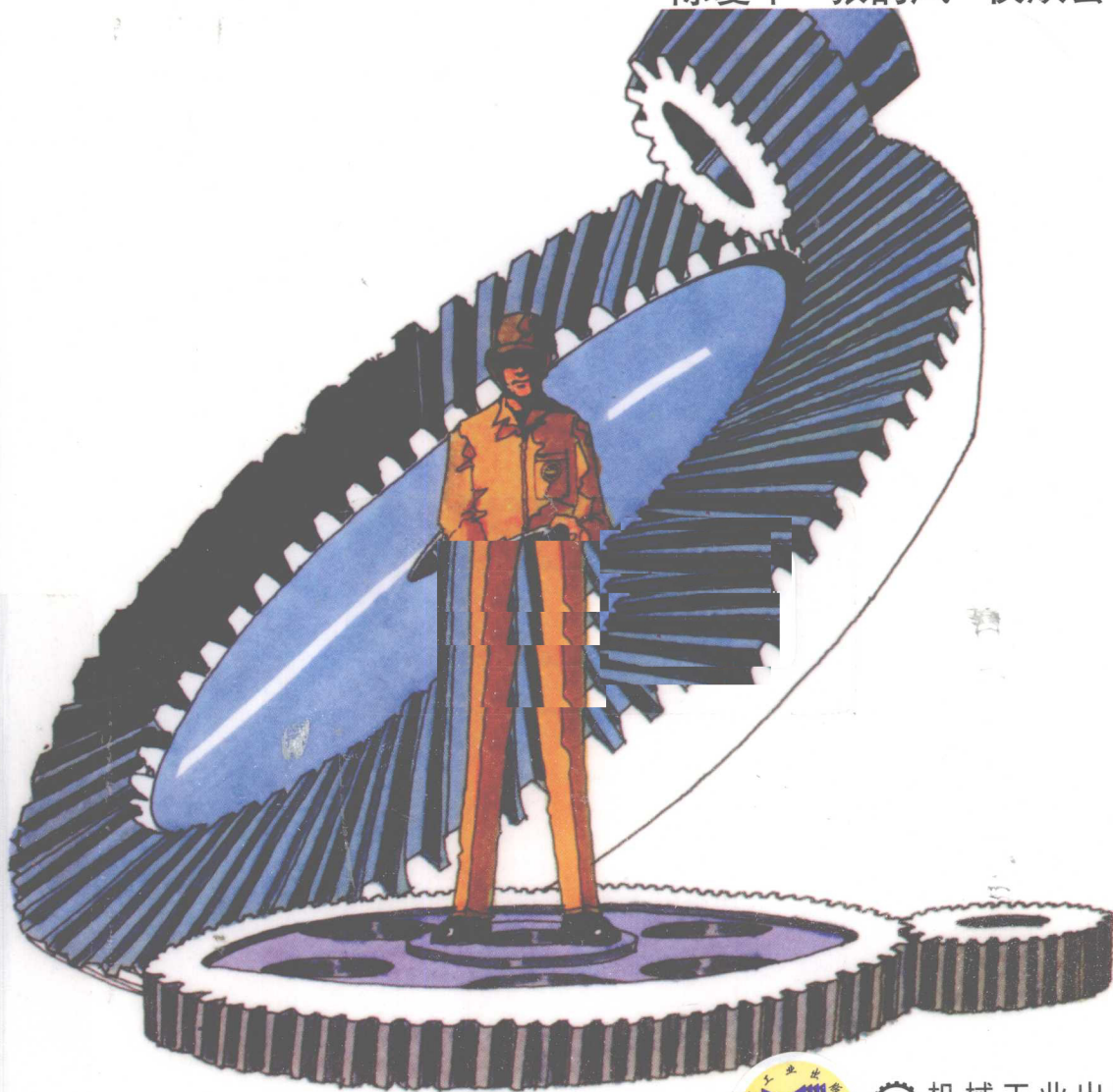


日本经典
技能系列丛书

齿轮的功用及加工

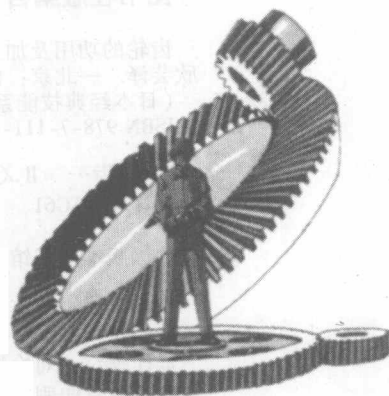
(日) 技能士の友編集部 编著
陈爱平 张韵风 侯欣芸 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

日本经典技能系列丛书

齿轮的功用及加工



机械工业出版社

对于经常接触机械的人来说, 齿轮是非常重要的零件。本书主要内容
包括: 齿轮的理论、类型、用途、应用、制图方法等基础知识, 毛坯加
工、齿廓加工、测量等基本操作, 齿轮损伤处理、润滑等保养知识。

本书可供磨工及机械加工工人入门培训使用。

“GINO BOOKS 13: HAGURUMA NO HATARAKI”

written and compiled by GINOSHI NO TOMO HENSHUBU

Copyright © Taiga Shuppan, 1973

All rights reserved.

First published in Japan in 1973 by Taiga Shuppan, Tokyo

This Simplified Chinese edition is published by arrangement with Taiga
Shuppan, Tokyo in care of Tuttle-Mori Agency, Inc., Tokyo

本书中文简体字版由机械工业出版社出版, 未经出版者书面允许, 本
书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有, 翻印必究。

本书版权登记号: 图字: 01-2007-2337 号

图书在版编目 (CIP) 数据

齿轮的功用及加工/(日) 技能士の友編集部编著; 陈爱平, 张韵风, 侯
欣芸译. —北京: 机械工业出版社, 2010.3

(日本经典技能系列丛书)

ISBN 978-7-111-30062-5

I. ①齿… II. ①技…②陈…③张…④侯… III. ①齿轮加工—基本知
识 IV. ①TG61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 041891 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王晓洁 责任编辑: 王晓洁 版式设计: 霍永明

责任校对: 刘怡丹 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

182mm×206mm·6.833 印张·195 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-30062-5

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

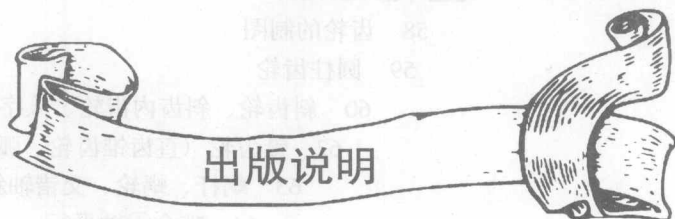
销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版



为了吸收发达国家职业技能培训在教学内容和方式上的成功经验，我们引进了日本大河出版社的这套“技能系列丛书”，共 17 本。

该丛书主要针对实际生产的需要和疑难问题，通过大量操作实例、正反对比形象地介绍了每个领域最重要的知识和技能。该丛书为日本机电类的长期畅销图书，也是工人入门培训的经典用书，适合初级工人自学和培训，从 20 世纪 70 年代出版以来，已经多次再版。在翻译成中文时，我们力求保持原版图书的精华和风格，图书版式基本与原版图书一致，将涉及日本技术标准的部分按照中国的标准及习惯进行了适当改造，并按照中国现行标准、术语进行了注解，以方便中国读者阅读、使用。

历史·术语

- 6 齿轮的历史
- 8 齿廓的变化
- 10 齿轮制作方法的改进
- 12 木制齿轮
- 14 定义
- 16 术语①
- 18 术语②
- 20 齿轮代号

齿轮画法

- 58 齿轮的制图
- 59 圆柱齿轮
- 60 斜齿轮、斜齿内齿轮、人字齿轮
- 62 锥齿轮（直齿锥齿轮、弧齿锥齿轮、准双曲面齿轮）
- 63 蜗杆、蜗轮、交错轴斜齿轮
- 64 啮合①轴平行
- 66 啮合②轴不平行
- 68 齿的位置

基础知识

- 22 从摩擦轮到齿轮
- 23 滚动与滑动
- 24 角速度
- 26 齿廓的概念
- 28 渐开线曲线
- 30 摆线曲线
- 31 圆弧·其他
- 32 渐开线齿廓
- 34 模数
- 36 齿轮的径节
- 38 变位齿轮
- 40 变位齿轮的作用
- 42 齿的干涉和最少齿数
- 44 压力角
- 46 轮齿的受力
- 48 啮合率
- 50 1个齿的齿轮
- 52 斜齿——人字齿——交错轴斜齿
- 54 锥齿轮
- 56 齿的修形

种类·用途

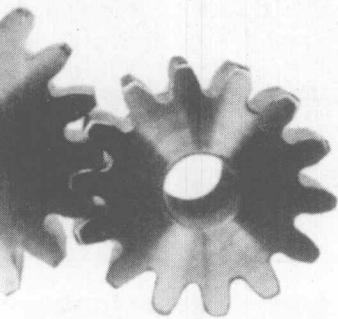
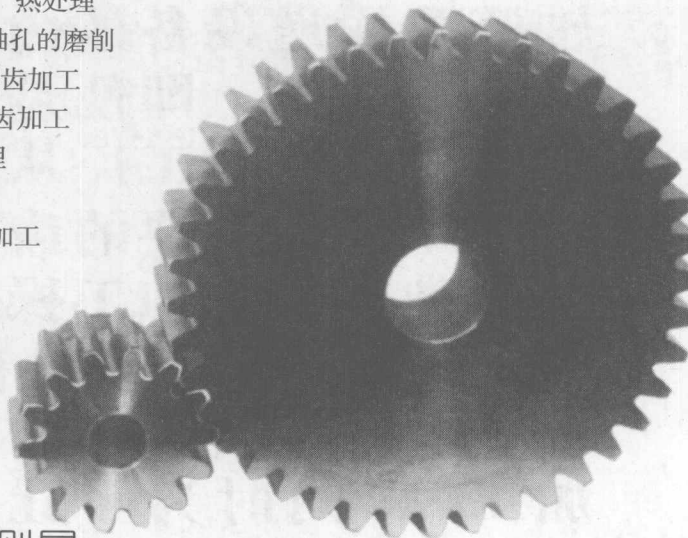
- 70 齿轮的种类①圆柱齿轮
- 72 齿轮的种类②锥齿轮
- 74 齿轮的种类③交错轴齿轮
- 76 力的传递和运动的传递
- 78 旋转的减速和加速
- 80 方向和运动的变换
- 82 齿轮减速装置
- 84 行星齿轮装置
- 86 行星齿轮装置的应用
- 88 差动齿轮装置
- 90 蜗杆减速器
- 92 变形齿轮减速装置
- 94 齿轮泵
- 96 非圆齿轮
- 98 大齿轮·小齿轮
- 100 间歇齿轮

制作方法

- 102 毛坯加工
- 104 热处理
- 105 轴孔的磨削
- 106 成形齿加工
- 108 展成式齿加工
- 110 滚齿的原理
- 112 滚刀的齿加工
- 114 齿条式刀具的齿加工
- 116 插齿刀具的齿加工
- 118 G型刀具的齿加工
- 120 弧齿锥齿轮的齿加工
- 122 蜗轮的齿加工
- 123 蜗杆的齿加工
- 124 剃齿
- 126 齿面的磨削
- 128 滚轧成形
- 129 锻造
- 130 其他制作方法
- 132 塑料齿轮

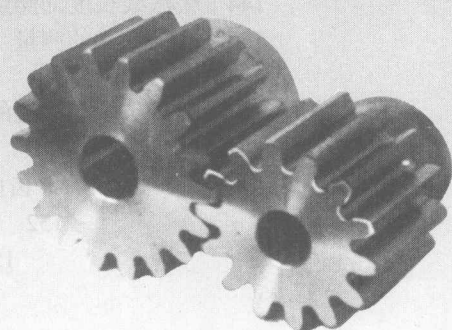
精度·测量

- 134 齿轮的精度
- 136 齿廓偏差的测量
- 138 螺旋线偏差的测量
- 140 齿距偏差的测量
- 142 弦齿厚的测量
- 144 公法线长度的测量
- 146 径向跳动的测量
- 147 啮合试验
- 148 轮齿接触的检查
- 150 侧隙
- 151 齿面的损伤
- 152 轮齿的折断、缺损
- 154 磨损·变形
- 156 保养和润滑
- 158 齿轮的相关知识

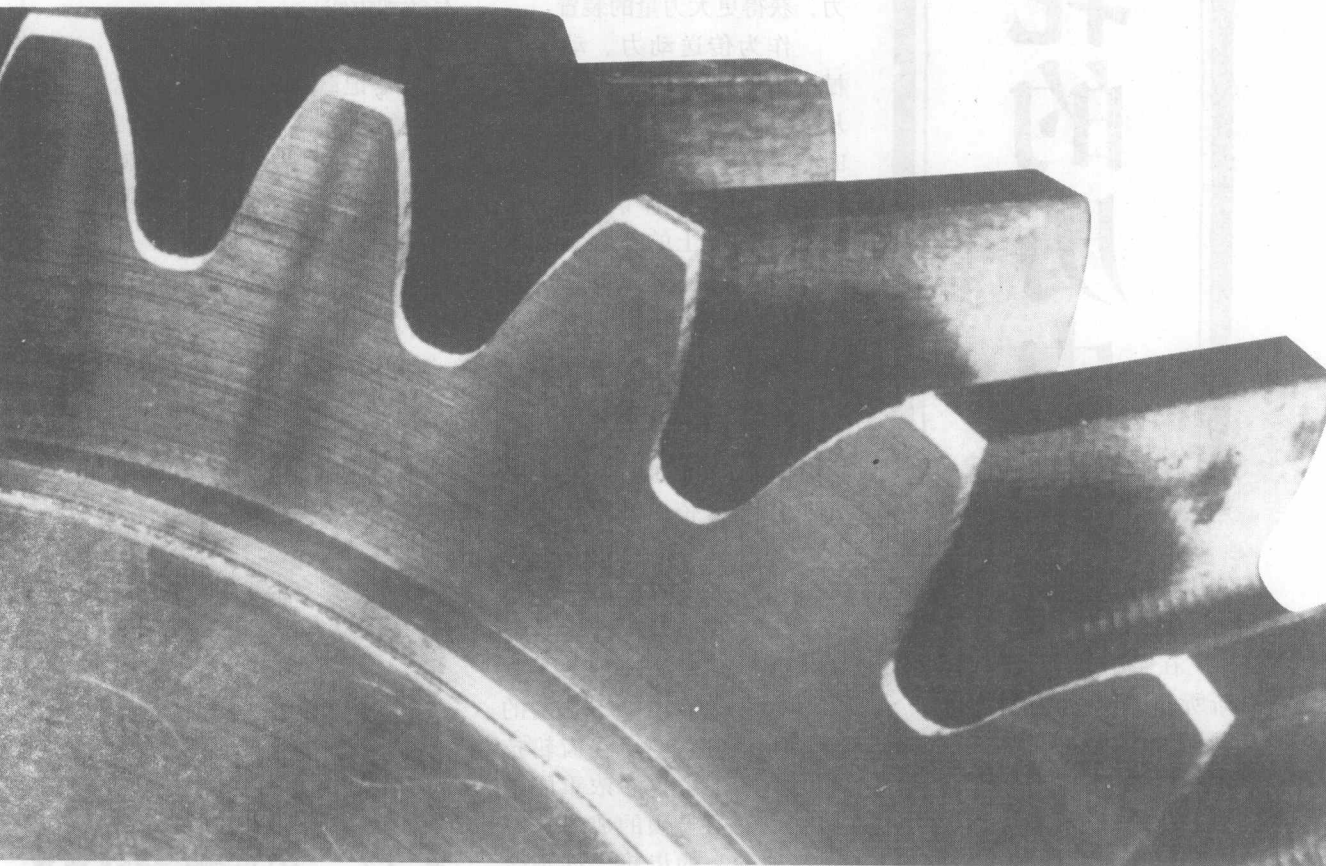


一般来说，凡是与机械相关的产品，大都离不开齿轮。特别是在运转设备主轴箱及输送设备的内部，总是会有几个齿轮在工作。即便是齿轮的制造中，大部分的机械加工厂从毛坯加工的车床加工开始，到主要的齿形加工过程中，包括各种各样的加工操作内容，在这些加工过程中，都有齿轮在起着不同的作用。

本书主要讲述的是“齿轮的功用及加工”，同时为了让大家更好地理解，也对与齿轮的相关知识进行了详细地讲解……这是一本很全面的书。



历史·术语



齿轮与人类的渊源非常久远。长久以来，齿轮的历史和漫长的人类历史一起在地不断地前进，并且在不断地变化着。另一方面，我们在提到齿轮时，如果各种名称也就是术语不同，就会很麻烦。因此，将同一种事物用统一的术语表示就会很方便。

齿轮的历史

人类是从什么时候开始使用齿轮的呢，准确的时间已无从考察了。

在希腊的阿里斯特·特雷斯所著的《机械的问题》一书里，保留着青铜、铁质齿轮的记载。我们认为这不是阿里斯特·特雷斯想象出来的齿轮，而是当时金属齿轮已经在被使用的证明，这是大约 2300 年前的事情。

希腊的阿基米德也有关于齿轮的记载。在他的文章中，

提到了阿里斯特·特雷斯没有提到过的蜗杆，以及利用蜗杆传动的绞车，这个记载比阿里斯特·特雷斯大约晚了 100 年。

在这之后，又有两三个人用图形的形式表示出了更先进的机械。这些都是以人力为动力，获得更大力量的装置。

作为传送动力、动能机械的齿轮是在稍晚时出现的。从实物的出现来说，有罗马时代遗迹出土的铁质灯笼形齿轮、印度的棉核抽取机、瑞典古城出土的石制斜齿轮等。此外，还有其他各种各样的文献和形形色色的学说。

中世纪时，齿轮开始用于钟表，这已经与当代的齿轮非常接近了。13~14 世纪，欧洲各地在制作自鸣摆钟时，也采用了齿轮。但像这样使用齿轮还只是一种特殊的现象，齿轮真正的普及是在 15 世纪。尽管如此，齿轮与普通家庭生活还是有很大距离。

15 世纪后半叶，著名的莱昂纳多·达·芬奇在齿轮技术史上写下了色彩浓重的一笔，留下了丰硕的成果。例如各种种类的齿轮，即现今社会使用的齿轮的原型，都被达·芬奇用图例的方式集中表示出来。这里面有交错轴斜齿轮、锥齿轮、蜗杆、环

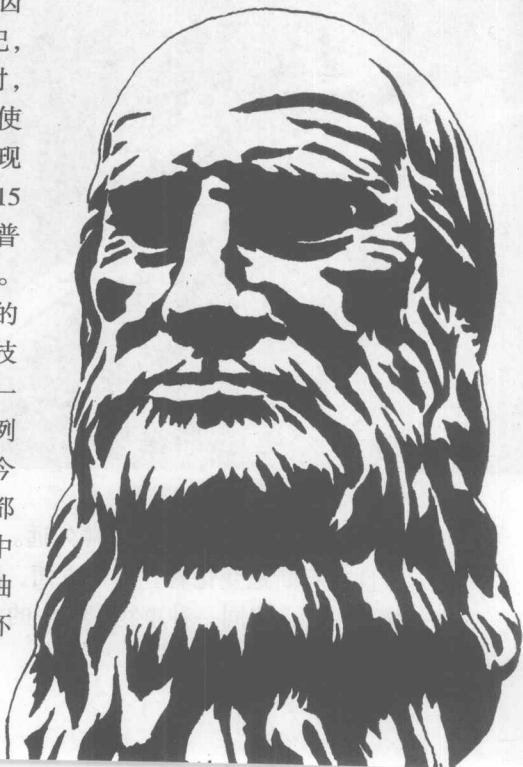
面蜗杆、端面齿轮、准双曲面齿轮等。

此外，由左右摆动转变为向同一方向旋转运动的机械、利用水力旋转的轧辊机等机械图样中，都用到了齿轮。在螺旋钻机械上，也装有转动齿轮。

进入 16 世纪后，出现了好几本记载着各种装有齿轮机械的书籍。

要保证钟表的精确性，就必须保证齿轮的精确性。要达到这个目标就必须研究齿廓

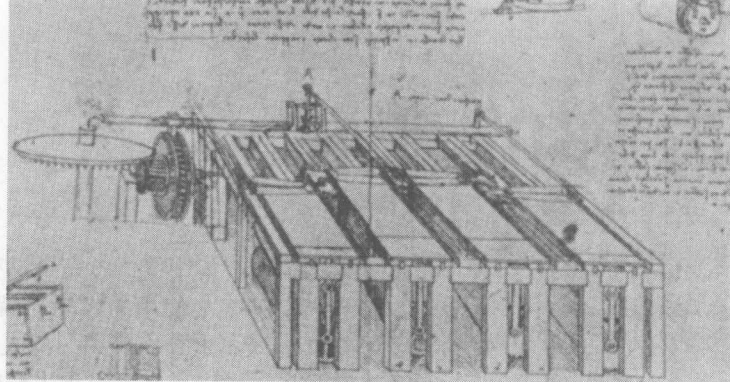
▼天才的艺术家、科学家莱昂纳多·达·芬奇（LEONARDO DA VINCI）对齿轮的各种构想



(齿形)。因此，从 17 世纪起，人们开始了对齿形的理论研究。

进入 18 世纪后，机械工业日益发达。经过工业革命，近代真正的机械工业也成长了起来，这一切都离不开齿轮制作方法的的发展。

在日本，齿轮的发展历史在各种各样的文献上都有记载，但是都不确切。较准确的事实是：它是通过基督教传教士以贸易的方式进口或送给日本的欧洲钟表上计时有零件……因此在日本，最早的齿轮是舶来品。当然，与此同时也出现了各种维修

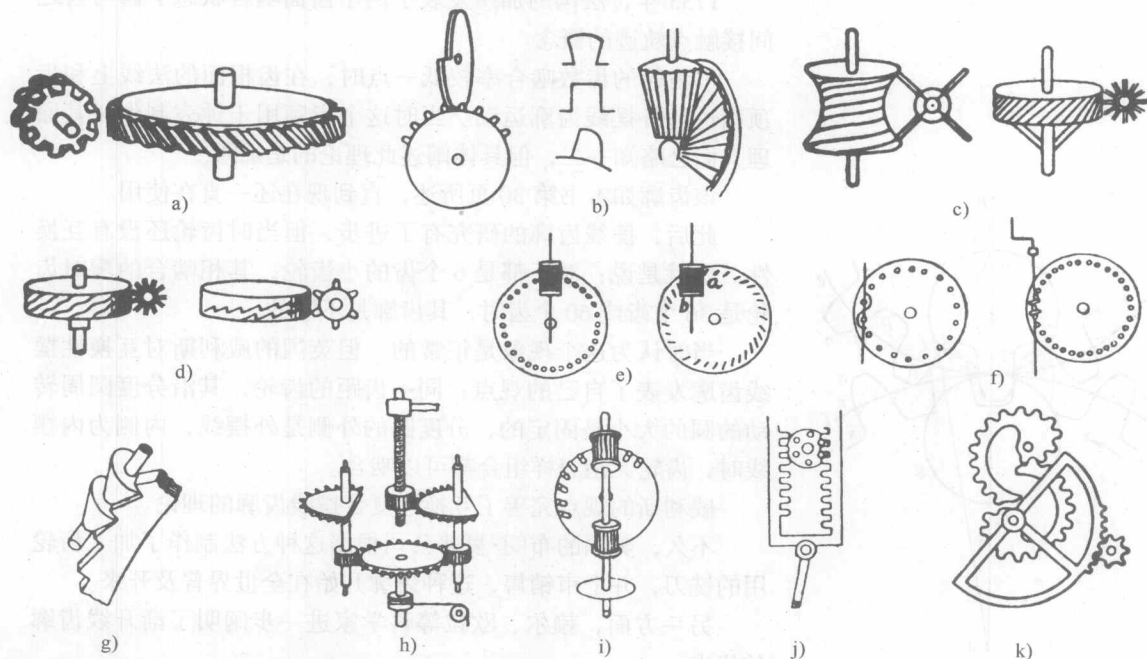


▲莱昂纳多·达·芬奇绘制的断线机的草图

的工作。金属齿轮的制作出现在元禄 3 年（1690 年）出版的书籍里，书有钟表师用锉刀锉削齿轮的图样。

其他方面，日本好像也能独立制作木制齿轮，将它用于

制作钟表、12 叶的水车、自动装置。根据记载伴随水车发展出现了木制齿轮的文献，故可推想日本的齿轮历史或许更早于钟表进口的时代，但是这个推想已无法证实了。



▲莱昂纳多·达·芬奇的草图上所画的各种齿轮装置

齿廓的变化

在齿轮发展的初期，人们并没有考虑过齿廓的问题。那时候的齿轮只是通过齿与齿的啮合来传递转动的一种零件。

所谓齿廓、齿距等概念完全没有被考虑。

在钟表上使用的齿轮，就必需能进行精确的传动。这样，虽然还谈不上什么理论，但人们根据经验进行思考，对齿廓有了认识，并能用其进行相当精确地传动。

最早人们研究的是圆销状齿的啮合，是用普通、同一角速度转动的齿廓。由此，演变出摆线曲线的外摆线（见第 30 页）。其后 17 世纪丹麦的奥拉夫·雷玛、法国的菲利普·赖尔又发表了各种各样的见解。

相对等角速度运动（见第 24 页）的齿廓而言，摆线作为齿廓曲线是最适合的，但这个认识还只停留在理论上。

1733 年，法国的加缪发表了两个齿面啮合状态下齿与齿之间接触点轨迹的概念。

小齿轮的齿数啮合率较低一点时，在齿根面的法线上和齿顶面进行外摆线齿廓运动。当时这个齿廓用于钟表制作，其原理人们已略知一二，但具体阐述此理论的是加缪。

该齿廓如本书第 30 页所述，直到现在还一直在使用。

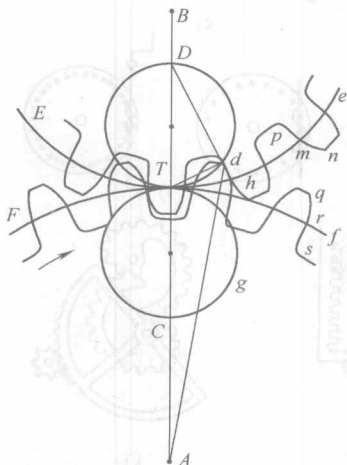
此后，摆线齿廓的研究有了进步，但当时齿轮还没有互换性。也就是说：对于都是 6 个齿的小齿轮，其相啮合的配对齿轮是 36 个齿或 60 个齿时，其齿廓是不同的。

当时认为这个现象是正常的，但英国的威利斯对互换性摆线齿廓发表了自己的观点：同一齿距的齿轮，其沿分度圆转动的圆的大小是固定的，分度圆的外侧是外摆线，内侧为内摆线时，齿轮无论怎样组合都可以啮合。

威利斯的观点完善了互换性复合摆线齿廓的理论。

不久，美国的布朗·夏普公司根据这种方法制作了加工齿轮用的铣刀，并上市销售，这种齿廓开始在全世界普及开来。

另一方面，赖尔、欧拉等科学家进一步阐明了渐开线齿廓的优点。



▲ 互换性摆线齿廓（威利斯）

尤其是威利斯发表了“即使中心距离有细微变化，传动比依然不会改变”这一有利于互换性齿轮制作的观点后，布朗·夏普公司根据这个原理发明了成形铣刀。

渐开线铣刀就如本书第 106 页所描述的那样，从 12 个齿到无限多齿的齿条用 8 把铣刀就可以加工。而摆线铣刀要做同样的工作则需要 24 把，这个差距是很大的。

威利斯还考虑并整理出了有关压力角（见第 44 页）、齿轮的径节[⊙]（见第 36 页）的概念。

压力角按照 $\sin 14.5^\circ = 1/4$ 来计算非常方便，蜗杆和梯形螺纹的角度都同为 29° 等结论都是以此为理论根据。

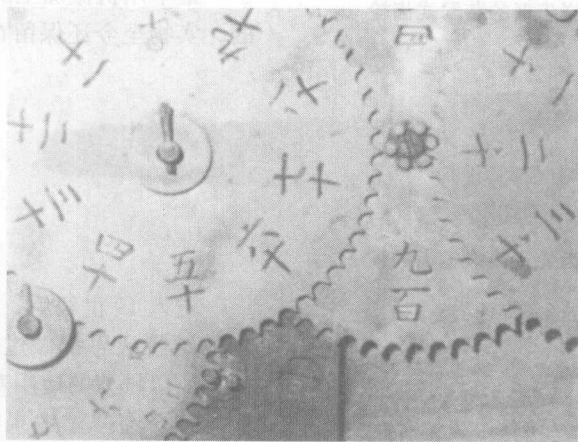
从与径节的关系来看，为了避免分度圆直径变为无理数，作为轮齿的大小基准，齿轮的径节取得了 3、4、5、6、7 等数值。

相对于摆线齿廓，渐开线齿廓有更多的优点，随着展成式齿加工的发展（见第 108 页），进入 20 世纪后，渐开线曲线可以用直线切削刃准确加工成形。

对于日本历史上的木制齿轮，对齿廓并没有特别的研究记载，只是单纯地用于水车等与动力相关的装置上。

而用在自动装置上的木制齿轮渐渐演变成了三角形的齿。

此后，伊能忠敬发明的测距仪——测距轮内部的齿轮变化为针状和半圆状（大约是半圆）。这种形状的齿轮的耐磨性比三角形齿轮大大增强了。

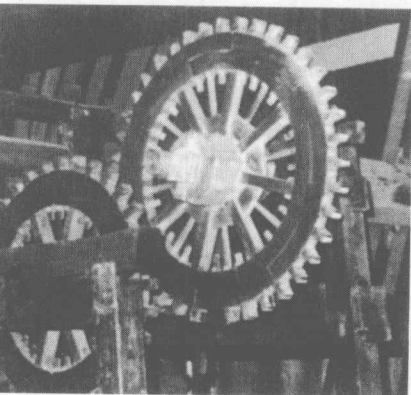


▲齿廓是针状和半圆状（测距轮）

⊙ 径节为 π 与齿距的比值，单位为 1/in。——译者注

齿轮制作方法的改进

制作齿轮时，最大的问题是齿的制作方法。如本书第6页所提到的那



▲嵌齿形的装配式齿轮

些古代的例子，当时的人们是怎样制作齿轮的，现在也难以想象。

在钟表、自动装置等物件上使用的小型木制齿轮，应该是用一片片的木板切削制作而成的。而用于水车等物件上，与动力有关的木制齿轮因为要承受载荷，就要有强度上的要求，齿轮的齿发生磨损时，也需要进行修补。

这方面欧洲和日本一样，全都是利用可装配式单齿传动，采用可换的构造。而在12叶水车上的齿轮一个钉子都没有使用，这类工作一般是由水车工匠来完成的。

金属齿轮最初在欧洲全是用手工加工，但是随着8叶齿廓的变化，作图的难度也加大了。

最早用机械加工的齿轮是钟表用齿轮，它是18世纪初加工成形的，实物至今还保留在瑞典斯德哥尔摩博物馆。其加工方式是在齿槽形状的截面，通过锉刀上下运动，将一个一个个的齿锉削加工形成的。其制作者是瑞典的博尔哈姆。

在这之后，法国的沙克·多·巴桑松发明了旋转加工齿槽形状的工具，它是一种比锉削效果更好，类似于旋转锉刀的工具。

进入19世纪后，开始使用铣刀加工齿轮。瑞士的博德默尔、英国的维特沃思都做过这方面的记载。因为当时还没有发明铲齿铣刀，所以铣刀的使用寿命一般都不长。

有研磨修整效果的铲齿铣刀是由布朗·夏普公司制作出来的，这种铲齿铣刀直到现在仍然被人们使用着。

在布朗·夏普公司研制出万能铣床和成形铣刀后，成形齿加工的方式（见第106页）大致形成了。

不久，很多生产厂家都陆陆续续开发出了各种各样的可以称之为自动切割设备的切齿机（也就是切齿专用的铣床）。

其后，开发出了展成式切齿法（见第108页）。



▲齿轮上镶嵌轮齿的楔子

刚开始是利用滚刀进行蜗轮的齿加工,这种方式是在蜗杆上加工齿廓。19世纪中叶,产生了与现代滚齿机相同的构思,使这种滚刀与齿轮毛坯间进行一定关系的强制运动,进行齿的加工。

本世纪初,莱尼卡、弗尔达、齐默尔曼、皮尔纳齐等公司进行了各种改进,形成了现代各类形态加工方式。

19世纪后半叶,在滚刀加工方式之后,开发出了各种利用齿条式刀具加工齿的方法。所谓齿条式刀具,最初是一种在分度圆的齿槽上有2个等宽切削刃的刀具,它只能切削齿条齿顶的宽度。

20世纪初,费罗兹、波利法朗士、桑德兰等公司完善了齿条式刀具的齿加工方法。特别是桑德兰公司,该公司在1908年取得了现在人字齿轮齿加工方法的专利。

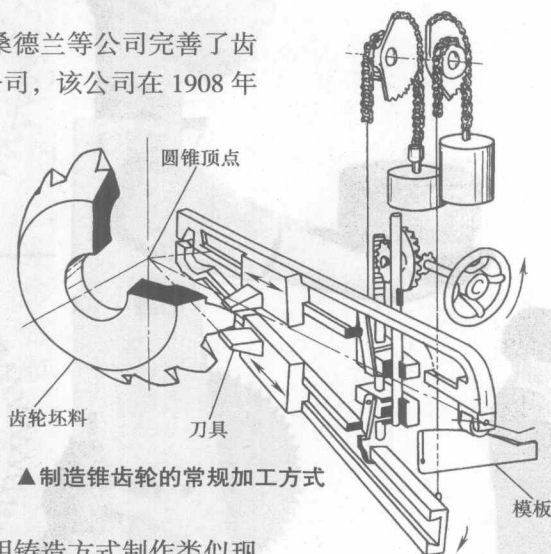
1911年,马格公司开发出了变位齿轮的加工方法。

圆柱齿轮、斜齿轮的齿加工磨削方法也是在20世纪初成形的,当时还有关于展成式双向加工方法的记载,但真正的实物据说最早是在1913年由马格公司研制出来的。

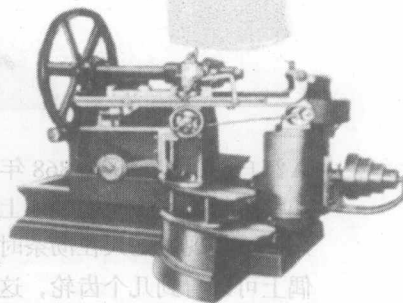
转动轴方向改变的齿轮加工难度很大,与此比较接近的是针轮,而锥齿轮是何时研发出来的,历史上并没有书面的记载。18世纪后半叶,用铸造方式制作类似现代锥齿轮那样的齿轮开始普及。

19世纪后半叶,用成形铣刀进行齿加工并不能加工出精确的齿廓,当时这种加工方法难以加工圆柱齿轮,但在较长的一段时间里,将它用在了锥齿轮的加工上。这是由格里森公司研制出来的。

锥齿轮的展成式加工方法最早发表于1872年。20世纪初,由莱尼卡公司初步完善。可是,现在大部分的锥齿轮加工都沿用的是其后开发出来的格里森公司方法。



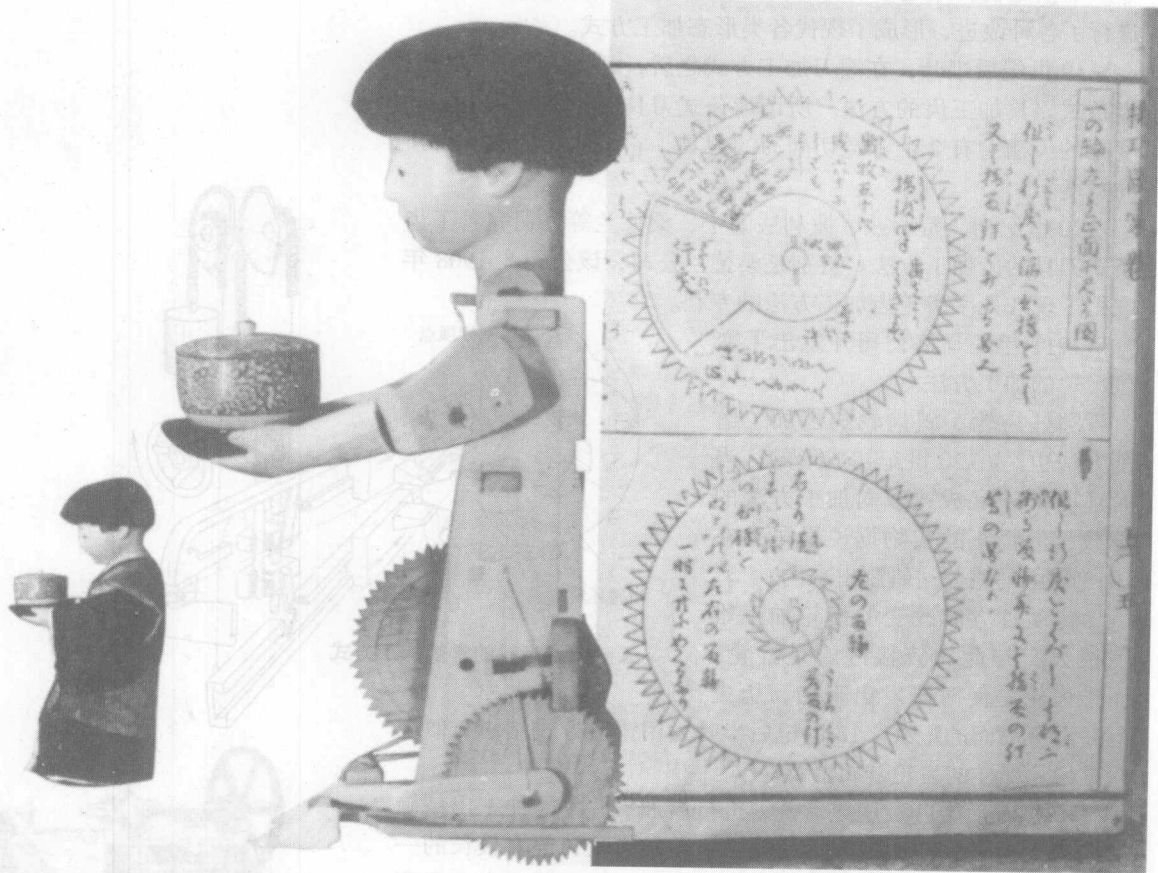
▲制造锥齿轮的常规加工方式



▲格里森公司生产锥齿形的刨床1号机

在能像现在这样自由加工金属材料之前，各种各样的机械零件大部分都使用木材为原材料。而日本，由于受德川幕府的锁国政策的影响，机械、金属技术的发展非常缓慢，所以制作出了各式各样的木制机械。

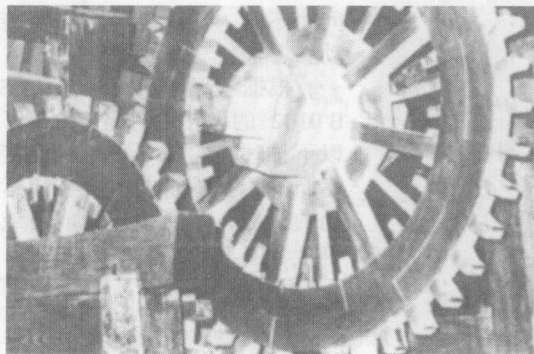
木制齿轮



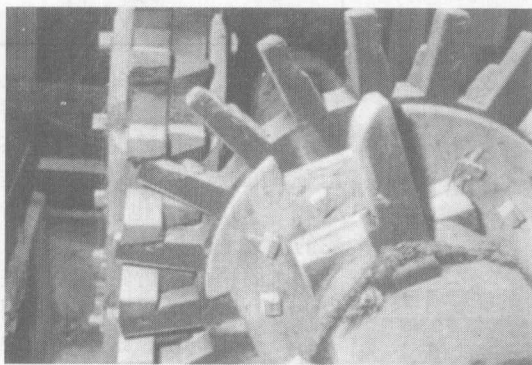
▲江户时代（1603~1868年）中期，自动装置非常流行。其中有一种如上面照片所示的木制人偶，表现的是人在沏茶时的形态。在这个人偶上可以看到几个齿轮，这是根据当时的资料复原的。

从江户时代中期的资料来看，宽政8年（1796年）出版了一本名为《机关图册》的书。在这本书上，并没有使用“齿轮”这个词，而是使用的“齿”这个文字，齿廓就如上面照片所看到的那样，是三角形的。

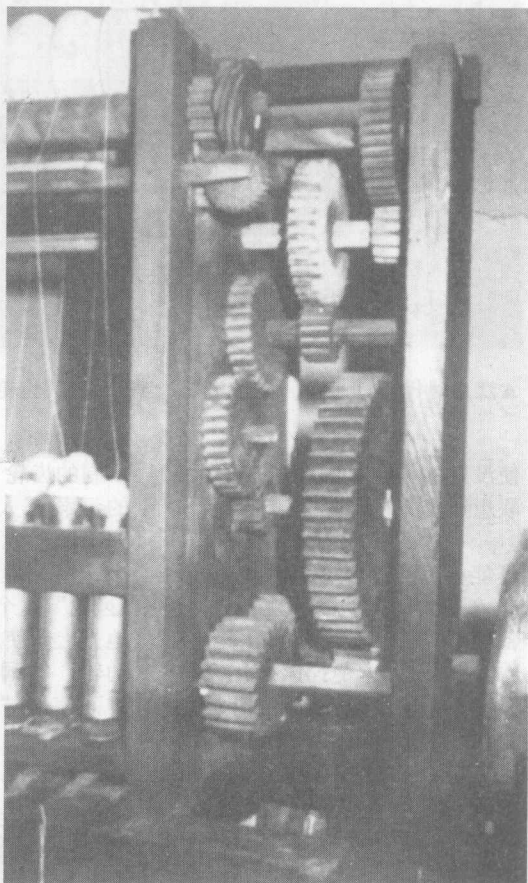
作为机械的一部分，即使是用木材制作的，也可以将其称为齿轮。但是，正因为是木材制作的，非常容易磨损、腐蚀、破坏，能保留到现在的实物极其稀少。这一页所展示的照片，只是一部分极其特殊的例子。



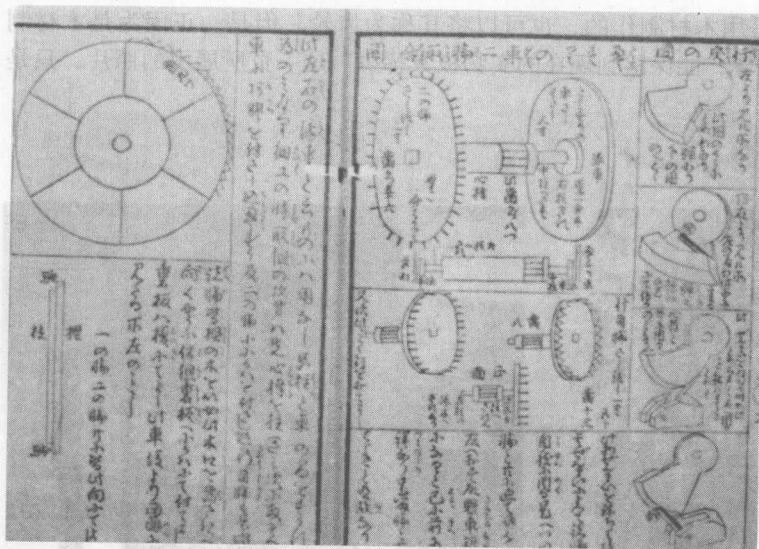
▲上面是滋贺县栗东町江戸时代制药工厂的齿轮，被指定为重要文化遗产。装配式、镶嵌齿是这个木制齿轮的特点。现在人们将这个齿轮的滑动齿线相对，且修复到了新品状态。



▲上面是目前保存在东京三鹰市，160年前的制粉厂内部机构上的齿轮。这个齿轮的齿镶嵌的是方形木棒。使用时，滑动曲线接近渐开线曲线。大小两个齿轮组合配套使用，可以称得上是锥形齿制作的完美锥形。



▲上面是保存在爱知县犬山市明治村的纺织机的一部分。该纺织机的动力是水车，原材料是橡木。它制作于明治时期，是先画出渐开线曲线再加工而成的，也可以把它看成是木制的蜗杆。



▲江户时代，有“齿”这个说法，但是没有“齿轮”这个词

对于“齿轮”这个词，即使没见过实物，也能根据词义而联想到实物形状的词语或文字。

一般不了解机械原理的人可能会理解为“带齿的轮子，应该是大部分机械设备上都配备的部件吧。”

“齿轮”这个词是什么时候出现的，好像还不曾出版过专门对这方面进行研究的书。也许是在明治维新前后，当时的发达国家将机械进口到日本时，日本人看到了实物后创造出来的吧。

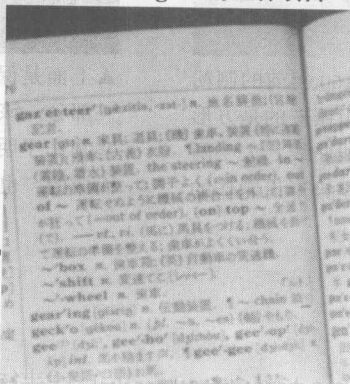
江户时代初期，钟表进口到日本的时候，相关人员应该见到过齿轮的实物。到了江户

○ 对应中国标准为 GB/T

3374-1992。——译者注

时代中期，机械师们制作出了木制的齿轮。本书第 12 页提到的记载有人偶设计图的书籍，如上图所示，使用了“齿”这个文字，但是还没有开始使用“齿轮”这个词，而在不同的地方上却使用了“两轮”、“传动轮”等词替代。在这里，一方面使用“齿”这个词，另一方面又使用“轮”这个词，也许在这之后不久，就创造出

▼辞典中关于 gear 的注释项目



了“齿轮”这个词吧。

《辞海》上对“齿轮”做出了如下注释：齿轮是一种在轮子的周边加工出齿状，通过相互啮合，从一个轴向另一个轴传递动力的装置。它两轴间的间距不远，使用于确实需要传动的场合。

根据《辞海》的注释，JIS B 0102^①的齿轮术语上，做出了以下描述：它是一种通过连接不断的相互啮合的齿，传递运动的机械，主要表现为成对或单个个体。

定

齿轮的形状，机械相关人员都知道并认可，也许并不需要《辞海》的注释说明。应该记住的是其中“成对”或是“单个”的说法。也就是说，齿轮的定义是：两个为一组。

人们稍微对齿轮熟悉一些以后，大部分人开始使用“gear”这个词，这是英语中齿轮的名称。

英语中齿轮其实也有很多不同的词。一般来说，通用的是“gear”这个单词。不用说，它的使用频率是最高的。但是也有其他的，如“toothed wheel”