

JIANKAIXIAN YUANZHU CHILUN CHUANDONG

渐开线圆柱 齿轮传动

张展 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



渐开线圆柱齿轮传动

张展 编著

机械工业出版社

本书主要介绍渐开线圆柱齿轮传动的知识,内容包括齿轮的啮合原理、传动的几何计算、合理变位系数的选择、测量参数的计算、传动质量指标的计算,以及圆柱齿轮的滚、插、珩、磨等加工工艺,同时分析了齿轮加工过程中常见的缺陷及其对策,具有很强的实用性。

本书适合从事齿轮设计及制造的工程技术人员参考,也可作为齿轮设计生产企业提高员工素质的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

渐开线圆柱齿轮传动/张展编著. —北京:机械工业出版社, 2011. 8
ISBN 978 - 7 - 111 - 36079 - 7

I. ①渐… II. ①张… III. ①渐开线齿轮:圆柱齿轮—
齿轮传动 IV. ①TH132.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第207521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:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

版式设计:张世琴 责任校对:刘秀丽 吴美英

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2012年1月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·28.25印张·548千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 36079 - 7

定价:56.00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

策划编辑:(010) 88379770

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

齿轮是使用量大面广的传动件，而传动技术是将各种形式的能量进行传递、分配、控制和变化形态的一种技术，其中机械传动技术是其主要的组成部分。传动技术的发展水平是机电产品能否向自动化、高效化、高速化、多样化、轻量化、高精度和高可靠性方向发展的主要因素之一，所以传动技术是装备制造业关键的基础性技术，大力推进传动技术的发展意义重大。

随着我国工业的发展，引进设备和技术与日俱增，如何“吃透”和消化引进的产品技术，进而创新成为有中国特色的产品至关重要。创新包括两个方面的内容：①博采众长；②自主独创。没有创新就谈不上赶超，就会永远跟在人家后面爬行。为此，应不断地加强学习，不断地积极探索，不断地完善与提高。

我国是齿轮制造大国，至2010年年底我国齿轮行业总产值已超过1600亿元。制造业是国民经济的主要支柱，如何使我国成为世界齿轮制造强国，有待于设计者具有先进的设计水平，操作者具有扎实的齿轮理论基础和高超的操作技能。

为了适应科学技术的发展，满足教学、科研、生产的需要，我们编写了《渐开线圆柱齿轮传动》，书中有齿轮的啮合原理、齿轮传动的几何计算、合理的变位系数选择、测量参数的计算、传动质量指标的计算，以及圆柱齿轮的滚、插、剃、珩、磨的加工工艺，同时分析了加工过程中常见的缺陷及其对策。我们坚持“技以新为贵，商以信为重，业以人为本，人以德为先”的原则，编写时注重实用性、科学性和先进性。

本书在编写过程中，得到上海交通大学张国瑞教授、同济大学归正副教授的支持，以及孔霞、蔡云龙、鲁娟、张焰庆、张弘松、张鹏飞、曾建峰、马凯、李运秋、李秋武、陈智辉等业内专家的大力协助，深表感谢！

由于本人才疏学浅，实践不够，其中不妥之处，恳请广大专家学者批评指正！

张 展

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 齿轮传动在工业领域中的地位	1
1.2 齿轮传动的特点	3
1.3 齿轮传动的分类	4
第2章 圆柱齿轮啮合的基本原理	10
2.1 渐开线及其传动特性	10
2.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数	14
2.3 渐开线标准齿轮传动	18
2.4 渐开线齿形的计算	22
第3章 齿条型刀具加工外啮合圆柱齿轮传动	25
3.1 基本齿廓及模数系列	25
3.2 标准圆柱齿轮传动的几何尺寸计算	30
3.3 齿轮与齿条传动	34
3.4 变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算	35
第4章 插齿刀加工的圆柱齿轮传动	53
4.1 插齿刀及其齿形	53
4.2 插齿刀加工的齿轮及其计算	61
4.3 插齿刀加工的齿轮的根切和顶切	63
4.4 插齿刀加工的齿轮啮合时的干涉	66
第5章 渐开线圆柱齿轮传动的质量指标	70
5.1 渐开线齿轮传动的重合度	70
5.2 渐开线齿轮传动的滑动率	77
5.3 渐开线齿廓的几何压力系数	85
第6章 变位系数的合理选择	89
6.1 变位系数选择的基本原则	89
6.2 变位系数选择的限制条件	90

6.3 外啮合圆柱齿轮变位系数的选择方法	93
第7章 斜齿圆柱齿轮传动	103
7.1 斜齿轮的形成原理	103
7.2 斜齿轮传动的几何计算	106
7.3 斜齿轮的法向齿廓	112
7.4 斜齿轮传动的特点	114
第8章 内啮合圆柱齿轮传动	118
8.1 概述	118
8.2 内啮合变位齿轮传动及变位系数的选择	120
8.3 用图表法计算变位齿轮的几何参数	127
8.4 内啮合传动的几何计算	136
第9章 内齿轮的加工	145
9.1 直齿、斜齿内齿轮的加工	145
9.2 插齿的工作原理	148
9.3 插制内齿的最少齿数	148
9.4 插齿时齿轮的最小空刀槽	152
9.5 刀辅具有关尺寸	152
9.6 内齿轮加工出现的缺陷及其对策	156
第10章 圆柱齿轮精度制	160
10.1 齿轮精度标准适用范围	160
10.2 齿轮偏差的定义及代号	161
10.3 齿轮精度等级及选择	165
10.4 齿轮检验	167
10.5 齿轮坯	196
10.6 表面结构的影响	200
10.7 轴中心距和轴线平行度	203
10.8 轮齿接触斑点	205
10.9 侧隙	207
10.10 各国齿轮精度等级对照	222
10.11 行星齿轮减速器的齿轮精度等级	222
第11章 圆柱齿轮齿厚的测量与计算	229
11.1 齿厚的测量方法	229
11.2 公法线长度的计算	230
11.3 分度圆弦齿厚	248
11.4 固定弦齿厚	253

11.5 量柱距尺寸的计算	255
第12章 齿轮常用材料	258
12.1 齿轮常用材料	258
12.2 常用齿轮材料的力学性能	260
12.3 各国常用齿轮材料对照	269
第13章 圆柱齿轮加工	270
13.1 齿轮加工工艺	270
13.2 齿轮加工对装备的要求及发展趋势	271
13.3 滚齿加工	273
13.3.1 概述	273
13.3.2 滚齿机夹具及齿轮的安装	279
13.3.3 滚刀的选择及使用	283
13.3.4 滚刀心轴和滚刀安装的要求	293
13.3.5 滚齿加工工艺参数的选择	298
13.3.6 切齿深度差值 Δh 的确定	303
13.3.7 短齿齿轮的滚切	304
13.3.8 剃前滚齿	307
13.3.9 干切滚齿技术	308
13.3.10 滚齿加工常见的缺陷及其对策	309
13.3.11 滚齿工艺守则	314
13.4 插齿加工	317
13.4.1 常用插齿机连接尺寸	317
13.4.2 插齿刀的装夹和调整	318
13.4.3 插齿用夹具和调整	320
13.4.4 常用插齿机交换齿轮计算	327
13.4.5 插削余量和插削用量的选择	328
13.4.6 用标准插齿刀插制短齿	331
13.4.7 干切插齿技术	334
13.4.8 插削加工中常出现的缺陷及其对策	335
13.5 剃齿加工	341
13.5.1 剃齿的基本原理和方法	341
13.5.2 剃齿机与工具	345
13.5.3 剃齿工艺守则	352
13.5.4 剃齿切削用量	352
13.5.5 剃齿操作调整	355
13.5.6 剃齿加工	357
13.5.7 剃齿误差分析	360

13.6 珩齿加工	362
13.6.1 珩齿的原理与加工方法	362
13.6.2 珩齿机与工具	365
13.6.3 珩齿切削用量	367
13.6.4 珩齿操作调整	367
13.6.5 强力珩齿	370
13.6.6 珩齿误差分析	371
13.7 磨齿加工	373
13.7.1 磨齿切削余量	374
13.7.2 磨齿切削用量	376
13.7.3 磨齿精度等级	380
13.7.4 磨齿用夹具	383
13.7.5 磨齿砂轮材料的选择	389
13.7.6 磨齿常见缺陷及其对策	400
第14章 齿轮加工余量及齿轮的简易工艺	407
14.1 齿轮加工余量	407
14.2 齿轮的简易工艺过程	413
参考文献	442

第 1 章 概 论

1.1 齿轮传动在工业领域中的地位

齿轮是使用量大面广的传动件，齿轮作为工业的象征，被镶嵌在国徽上。齿轮传动行业是机械工业基础件中最大的行业。齿轮产品广泛应用在汽车、工程机械、农机、摩托车、矿山、冶金、石油、化工、煤碳、电力、铁道、交通、航空、船舶、轻工、纺织等行业。

目前应用的齿轮大多为硬齿面齿轮，通常以齿面硬度 $\leq 280\text{HBW}$ 者为软齿面齿轮，齿面硬度在 $280 \sim 380\text{HBW}$ 者为中硬齿面齿轮，齿面硬度在 $45 \sim 62\text{HRC}$ 者为硬齿面齿轮。

进行齿轮副设计时，小、大齿轮硬度组合，可采用以下多种形式：

- 1) 大、小齿轮均用软齿面，调质对调质，要有一定硬度差 $\text{HBW1}-\text{HBW2} > 50 \sim 70\text{HBW}$ ，否则，易产生胶合。通常以调质处理对正火处理为佳。
- 2) 大齿轮为软齿面，小轮用中硬齿面。
- 3) 大、小齿轮都用中硬齿面。
- 4) 大齿轮用中硬齿面，小齿轮用中硬齿面调质后氮化。
- 5) 大、小齿轮均用调质后氮化。
- 6) 大齿轮用中硬齿面，小齿轮用渗碳淬火。
- 7) 大、小齿轮均用渗碳淬火的硬齿面齿轮。

图 1-1 为德国一些公司技术发展情况的比较。按输出单位转矩所需齿轮装置的质量 $G/T[\text{kg}/(\text{N} \cdot \text{m})]$ 或 $T/G(\text{kN} \cdot \text{m}/\text{t})$ 估算，1950 年采用调质齿轮为 0.096 ($10\text{kN} \cdot \text{m}/\text{t}$)，1964 年采用氮化齿轮为 0.04 ($25\text{kN} \cdot \text{m}/\text{t}$)，1983 年采用渗碳淬火齿轮普通结构为 0.02 ($50\text{kN} \cdot \text{m}/\text{t}$)，行星齿轮传动可达 0.0087 ($115\text{kN} \cdot \text{m}/\text{t}$)。如果非常粗略地估计一下，输出转矩 $T = 100\text{N} \cdot \text{m}$ 需要齿轮装置的质量，1950 年时为 10kg，到了 1983 年可达到仅约 1kg。

图 1-2 为德国弗兰德 (Flender) 齿轮公司不同时期生产的传递同样功率的通用减速器的体积对比。我国发展状况与此相仿，但要滞后一拍。

影响减速器承载能力提高的几个直接因素为：

- 1) 选择最佳的变位系数，承载能力可提高 10% ~ 15%。

2 渐开线圆柱齿轮传动

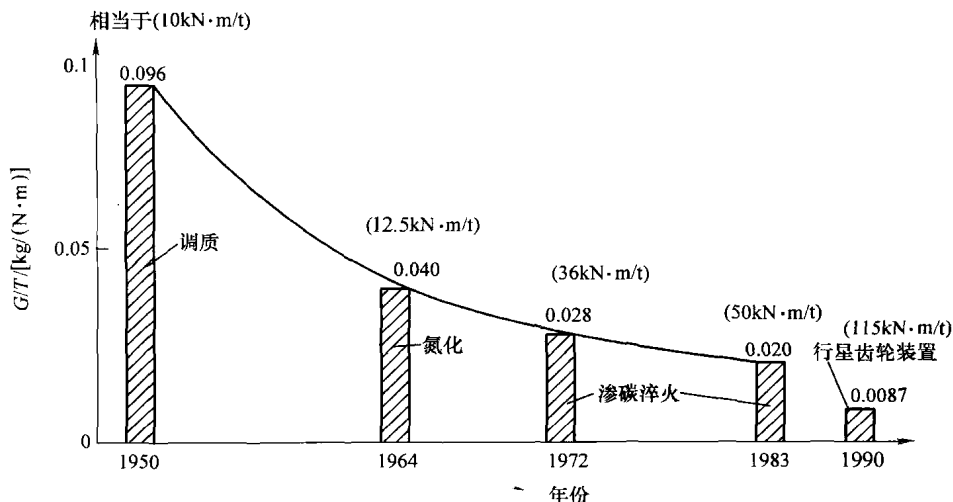


图 1-1 不同时期减速器的重量 G 和输出转矩 T 的比值

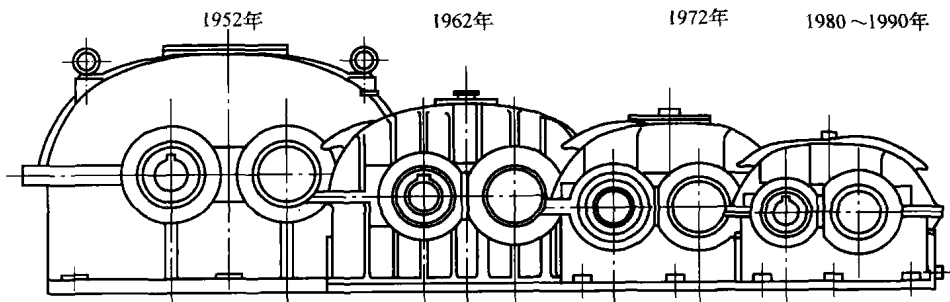


图 1-2 德国 (Flender) 弗兰德公司减速器发展情况
(我国与此相仿, 但要滞后一拍)

- 2) 采用渗碳淬火磨齿的硬齿面齿轮, 承载能力可提高到 400%。
- 3) 采用功率分流, 如行星齿轮传动, 承载能力可提高到 200% 或 300%。
- 4) 齿根强力喷丸, 弯曲强度可提高 15%, 接触强度可提高 30%。
- 5) 齿形或齿向修形, 使载荷呈理想状态分布, 承载能力提高程度也较大, 具体数值, 因情况而异。
- 6) 对于 7~9 级齿轮, 精度每提高一级, 承载能力可提高 10% 左右。

随着传动技术的不断发展, 如强度计算方法、修形技术、变形计算、优化设计等现代方法的应用, 新齿形、新结构、新技术的应用, 使齿轮传动的设计更完善, 更接近实际。

对于引进的技术, 始终要抓住几个核心问题: 首先要“吃透”, 这是消化吸

收引进技术的基础；第二要结合国情，这是产品赖以生存，占领市场的条件；第三要创新，这是能够赶超国外先进水平的关键，是引进技术的灵魂。三者相辅相成，缺一不可，贯穿于整个过程的始终。

创新包括两方面的内容：①博采众长。②自己独创。没有创新就谈不上赶超，就会永远跟在人家后面爬行。为此，应不断地学习，不断地探索。齿轮设计者和制造者尽快地掌握世界上的最新技术，以及操作技能，勇于攀登科学技术的新高峰。

近年来，我国相继制订了齿轮和减速器许多新标准，新产品、新技术不断涌现。齿轮和减速器行业的年产值超过 1600 亿元人民币，为我国机械产品的发展作出了重大的贡献。

现代，世界齿轮与减速器技术发展总的趋势是向“六高、两低、两化”方向发展。“六高”是指高承载能力、高齿面硬度、高精度、高速度、高可靠性和高传动效率；“两低”是指低噪声、低成本；“两化”是指标准化、模块化（多样化）。

1.2 齿轮传动的特点

（1）优点

1) 传动比准确。对于固定传动比的齿轮传动，其瞬时传动比是恒定的，工作平稳性较高；对于可变传动比齿轮传动，可采用各种差动式行星传动；对于要求按精确的非匀传动比规律或要求再现的运动函数的传动，可采用非圆齿轮传动。

2) 传动比变化范围大，适用于减速或增速传动。一般单级圆柱齿轮传动为 1~7，普通行星齿轮传动为 2.8~12.5，蜗杆传动为 5~100，少齿差传动为 10~200，谐波传动为 80~320。

3) 圆周速度范围大。一般齿轮的节线速度为 0.1~200m/s，当今世界上最高速度已达 300m/s，而转速为 1~20000r/min。

4) 传动功率范围大，承载能力高。高速齿轮传动功率可达 50000kW 以上，低速重载齿轮的转矩可达 $14 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 以上。

5) 传动效率高。一般精度较高的圆柱齿轮副，其效率可达 98%~99%。

6) 使用寿命长。设计合理的齿轮，在适当材料与热处理工艺条件下，且具有足够的齿轮制造精度，保证在正常的工况下运转工作，可取得较长的使用寿命，一般为 5~10 年，较好的情况可达 20~30 年。

7) 结构紧凑。齿轮与其他机械传动形式如带、链条、摩擦、液压等传动比较，其传动结构较紧凑。有些齿轮传动，特别是行星齿轮传动、摆线针轮行星传动、谐波齿轮传动等可使传动部件更小型化。

(2) 缺点

1) 运转时, 有振动和噪声, 会产生一定的动载荷。

2) 无过载保护作用。

3) 对于要求较高精度的齿轮或使用特殊齿廓的齿轮时, 需要高精度切齿机床或特种刀具, 以及较精密的测量仪器, 制造工艺较复杂, 成本较高。

1.3 齿轮传动的分类

1. 齿轮的分类

1) 按分度面 (Reference Surface) 的形状分为:

圆柱齿轮 (Cylindrical Gear)。

锥齿轮 (Bevel Gear)。

2) 按齿廓的形状 (Definitions by Profile Forms) 分为:

渐开线圆柱齿轮 (Involute Cylindrical Gear)。

摆线圆柱齿轮 (Cycloidal Gear)。

圆弧圆柱齿轮 (Circular-arc Gear)。

双圆弧齿轮 (Double-circulararc Gear) 等。

2. 齿轮传动的分类

通常按轴线的相对位置分为:

平行轴齿轮副 (Gear Pair with Parallel Axes)。

相交轴齿轮副 (Gear Pair with Intersecting Axes)。

交错轴齿轮副 (Gear Pair with Non-parallel Non-intersecting Axes)。

而平行轴齿轮副 (即圆柱齿轮传动) 中又有:

直齿轮 (Spur Gear)。

内齿轮 (Internal Gear)。

齿轮齿条 (Pinion Gear-rack)。

斜齿轮 (Helical Gear)。

人字齿轮 (Double Helical Gear) 等。

相交轴齿轮副 (即锥齿轮传动) 中又有:

直齿锥齿轮 (Straight Bevel Gear)。

斜齿斜齿轮 (Helical Bevel Gear)。

曲线齿锥齿轮 (Spiral Bevel Gear) 等。

交错轴齿轮副中有:

交错轴斜齿轮 (旧称螺旋齿轮) (Spiral Helical Gear)。

准双曲面齿轮 (Hypoid Gear) 等。

具体可见图 1-3 所示的齿轮传动的分类。至于达德利 (Dudley) 所著的齿轮手册《Gear Handbook》中的齿轮分类见表 1-1。

表 1-1 齿轮按齿轮轴线相互位置分类

齿轮的种类	效率 η (%)	一般使用的 最大齿宽 b	齿数 比 u	最大圆周速度 /(m/s)		加 工 方 法		
				精密级	一般	大小齿轮	切齿方法	精加工方法
平 行 轴								
直齿外 齿轮	97 ~ 99.5	$b = d$	1 ~ 5	100	20	同上	滚齿、插齿、铣齿、 拉齿	磨齿、剃齿、研齿、珩 齿
直齿内 齿轮	97 ~ 99.5	决定于相 啮合齿轮	1.5 ~ 7	100	20		插齿、铣齿、拉齿	磨齿、剃齿、研齿、珩 齿
斜齿外 齿轮	97 ~ 99.5	$b = d$	1 ~ 10	200	20	同上	滚齿、插齿、铣齿	磨齿、剃齿、研齿、珩 齿
斜齿内 齿轮	97 ~ 99.5	决定于相 啮合齿轮	1.5 ~ 10	100	20		插齿、铣齿	磨齿、剃齿、研齿、珩 齿
人字齿内 齿轮	97 ~ 99.5	决定于相 啮合齿轮	2 ~ 20	100	20		插齿	磨齿、剃齿、研齿、珩 齿
人字齿外 齿轮	97 ~ 99.5	$b = 2d$	1 ~ 20	200	20	同上	滚齿、插齿、铣齿	磨齿、剃齿、研齿、珩 齿
相 交 轴								
直齿锥 齿轮	97 ~ 99.5	1/3 锥距	1 ~ 8	50	5	同上	展成、成形	磨齿
零度锥 齿轮	97 ~ 99.5	1/3 锥距	1 ~ 8	50	5	同上	展成	磨齿
						大齿轮	成形	
曲线齿锥 齿轮	97 ~ 99.5	1/3 锥距	1 ~ 8	125	20	同上	展成	磨齿、剃齿
						大齿轮	成形	
面齿轮	95 ~ 99.5	$0.2d \sim d$	3 ~ 8	25	20	小齿轮	同直齿外齿轮	研齿、磨齿、剃齿、珩齿
						大齿轮	插齿	研齿
准圆锥 齿轮	95 ~ 99.5	$5/p_n$	1 ~ 8	25	20	同上	滚齿	研齿、磨齿

6 渐开线圆柱齿轮传动

(续)

齿轮的种类	效率 η (%)	一般使用的 最大齿宽 b	齿数 比 u	最大圆周速度 /(m/s)		加工方法		
				精密级	一般	大小齿轮	切齿方法	精加工方法
交 错 轴								
螺旋齿轮	50 ~ 95	$b_1 = 4p_n \sin \beta_1$ $b_2 = 4p_n \sin \beta_2$	1 ~ 100	50	20	同上	滚齿、插齿、铣齿	磨齿、研齿、剃齿
圆柱蜗杆	50 ~ 90	$b_w = 5p_n \cos \gamma$ $b_g = 0.67d$	3 ~ 100	50	25	蜗杆	铣齿、滚齿	磨齿
						蜗轮	滚齿	研齿
圆弧面蜗杆	50 ~ 98	$b_w = 0.9D$ $b_g = 0.9d$	3 ~ 100	50	20	蜗杆	插齿、滚齿	研齿、磨齿
						蜗轮	滚齿、铣齿	
准双曲面齿轮	90 ~ 98	$b_g = 1/3$ 锥距	1 ~ 10	50	20	同上	展成	磨齿、研齿
						大齿轮	成形	
高减速比准双曲面齿轮	50 ~ 90	$b_g = 0.15D$	10 ~ 50	50	20	小齿轮	展成	磨齿、研齿
						大齿轮	成形	
锥蜗杆	50 ~ 97	$b_p = 0.24D$ $b_g = 0.14D$	9 ~ 100	50	30	小齿轮	铣齿、滚齿	磨齿
						大齿轮	滚齿、铸造	
准平面齿轮	90 ~ 98	$b = 1/3$ 锥距	1.5 ~ 10	50	20	小齿轮	滚齿	研齿、磨齿
						大齿轮	铣齿、拉齿	磨齿
面齿轮	95 ~ 99.5	$0.2d \sim d$	3 ~ 8	50	20	小齿轮	同直齿外齿轮	同直齿外齿轮
						大齿轮	插齿	研齿
准圆锥齿轮	50 ~ 95	$5/p_n$	1 ~ 100	50	20	同上	滚齿、展成	磨齿、研齿

注：1. 表中物理量含义： d —小齿轮分度圆直径， D —大齿轮分度圆直径， γ —导程角， β_1 ， β_2 —螺旋角， p_n —法向齿距。

2. 由于加工技术不断提高，有些参数有所变化，如齿宽系数 $b_d^* = b/d$ ，一般硬齿面齿轮 $b_d^* = b/d \leq 1.2$ ，则 $b \leq 1.2d$ ，调质齿轮 $b_d^* = b/d \leq 1.5$ ，则 $b \leq 1.5d$ ；渐开线圆柱齿轮传动的齿数比 u ，单级传动软齿面 $u = z_2/z_1 = 7.1$ ，硬齿面 $u = 6.3$ 。因此，本表仅供参考使用。

按轴线相互位置的分类,如图 1-3 所示。

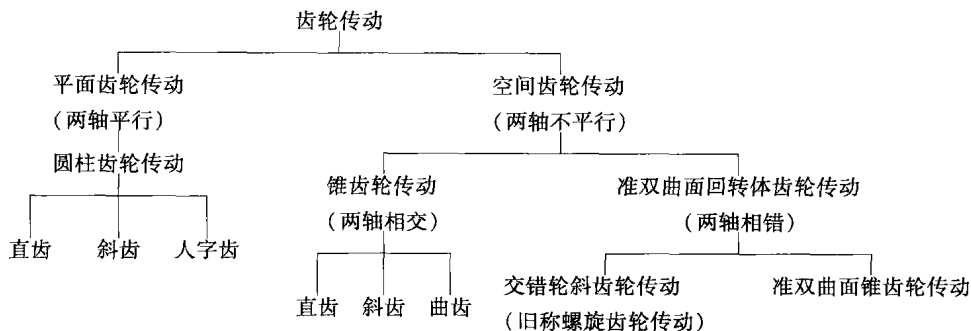


图 1-3 齿轮传动的分类

各种机械传动效率的概略值见表 1-2, 各种硬度的对照表见表 1-3。

表 1-2 各种机械传动效率的概略值

类 别	传 动 形 式	效率 η (%)
圆柱齿轮传动	很好跑合的 6 级精度和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	98 ~ 99.5
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	97
	9 级精度的齿轮传动(稀油润滑)	96
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	94 ~ 96
	铸造齿的开式齿轮传动	88 ~ 92
锥齿轮传动	很好跑合的 6 级精度和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	97 ~ 98
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	94 ~ 97
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	92 ~ 95
	铸造齿的开式齿轮传动	88 ~ 92
蜗杆传动	自锁蜗杆	40 ~ 45
	单头蜗杆	70 ~ 75
	双头蜗杆	75 ~ 82
	三头和四头蜗杆	82 ~ 92
	环面蜗杆传动	85 ~ 95
带传动	平带无压紧轮的开式传动	98
	平带有压紧轮的开式传动	97
	平带交叉传动	90
	V 带传动	95

8 渐开线圆柱齿轮传动

(续)

类 别	传动形式	效率 η (%)
链轮传动	焊接链	93
	片式关节链	95
	滚子链	96
	无声链	98
滑动轴承	润滑不良	94
	润滑正常	97
	润滑特好(压力润滑)	98
	液体摩擦	99
滚动轴承	滚珠轴承(稀油润滑)	99
	滚子轴承(稀油润滑)	98
摩擦传动	平摩擦传动	85 ~ 96
	槽摩擦传动	88 ~ 90
	卷绳轮	95
联轴器	浮动联轴器	97 ~ 99
	齿式联轴器	99
	弹性联轴器	99 ~ 99.5
	万向联轴器($\alpha \leq 3^\circ$)	97 ~ 98
	万向联轴器($\alpha > 3^\circ$)	95 ~ 97
	梅花联轴器	97 ~ 98
复合轮组	滑动轴承($i = 2 \sim 6$)	90 ~ 98
	滚动轴承($i = 2 \sim 6$)	95 ~ 99
减(变)速器 ^①	单级圆柱齿轮减速器	97 ~ 98
	二级圆柱齿轮减速器	95 ~ 96
	单级行星圆柱齿轮减速器(NGW 类型负号机构)	96 ~ 98
	单级行星摆线针轮减速器	80 ~ 92
	单级锥齿轮减速器	95 ~ 96
	二级圆锥-圆柱齿轮减速器	94 ~ 95
	无级变速器	92 ~ 95
丝杠传动	滑动丝杠	30 ~ 60
	滚动丝杠	85 ~ 95

① 滚动轴承的损耗考虑在内。

表 1-3 各种硬度值对照表

洛氏 HRC	肖氏 HS	维氏 HV	布氏		洛氏 HRC	肖氏 HS	维氏 HV	布氏	
			HBW 30D ²	d/mm 10/3000				HBW 30D ²	d/mm 10/3000
70		1037	—	—	43	57.1	411	401	3.05
69		997	—	—	42	55.9	399	391	3.09
68	96.6	959	—	—	41	54.7	388	380	3.13
67	94.6	923	—	—	40	53.5	377	370	3.17
66	92.6	889	—	—	39	52.3	367	360	3.21
65	90.5	856	—	—	38	51.1	357	350	3.26
64	88.4	825	—	—	37	50	347	341	3.30
63	86.5	795	—	—	36	48.8	338	332	3.34
62	84.8	766	—	—	35	47.8	329	323	3.39
61	83.1	739	—	—	34	46.6	320	314	3.43
60	81.4	713	—	—	33	45.6	312	306	3.48
59	79.7	688	—	—	32	44.5	304	298	3.52
58	78.1	664	—	—	31	43.5	296	291	3.56
57	76.5	642	—	—	30	42.5	289	283	3.61
56	74.9	620	—	—	29	41.6	281	276	3.65
55	73.5	599	—	—	28	40.6	274	269	3.70
54	71.9	579	—	—	27	39.7	268	263	3.74
53	70.5	561	—	—	26	38.8	261	257	3.78
52	69.1	543	—	—	25	37.9	255	251	3.83
51	67.7	525	501	2.73	24	37	249	245	3.87
50	66.3	500	488	2.77	23	36.3	243	240	3.91
49	65	493	474	2.81	22	35.5	237	234	3.95
48	63.7	478	461	2.85	21	34.7	231	229	4.00
47	62.3	463	449	2.89	20	34	226	225	4.03
46	61	449	436	2.93	19	33.2	221	220	4.07
45	59.7	436	424	2.97	18	32.6	216	216	4.11
44	58.4	423	413	3.01	17	31.9	211	211	4.15