

朱孝录 主编

齿轮传动 设计手册

HANDBOOK
OF
GEAR
DESIGN

第二版



化学工业出版社

朱孝录 主编

齿轮传动 设计手册

HANDBOOK
OF
GEAR
DESIGN

第二版



化学工业出版社

·北京·

本手册立足于齿轮及其传动装置设计的全局，将通用机械和重型机械齿轮（一般工业齿轮）的设计作为重点，内容包括渐开线圆柱齿轮、圆弧圆柱齿轮、锥齿轮和准双曲面齿轮、蜗杆蜗轮、动轴轮系齿轮传动以及减（增）速器的设计等。此外，齿轮的润滑和内在品质（材料和热处理）设计以及齿轮工程图样中的技术要求等都分别单独成章，详细阐述。手册编者均有数十年齿轮设计和研究的实践经验，内容实用可靠，资料完整、准确，所有设计实例均经过实践检验；标准新，均采用了最新的国家和行业标准；表格化的编排风格，简明便查。

本手册为机械常规设计工具书，适用于机械设计人员查阅和参考，也可作为高等院校机械工程专业学生进行毕业设计和课程设计的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

齿轮传动设计手册/朱孝录主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2010. 3
ISBN 978-7-122-05421-0

I. 齿… II. 朱… III. 齿轮传动-机械设计-技术手册 IV. TH132.41-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 062695 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 蒋 宇

文字编辑: 闫 敏
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 51 $\frac{3}{4}$ 字数 1510 千字 2010 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 140.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《齿轮传动设计手册》在 2005 年出版以后，广大读者普遍认为这是一册内容实用、可靠、标准新、资料全、查阅方便的工具书，2007 年获得了第九届中国石油和化学工业优秀科技图书奖。

《齿轮传动设计手册》第一版出版已 5 年多，新的标准和资料更新很快，为了便于查阅，手册的编写形式也要有所改进，因此及时修订本手册就很有必要。手册第二版的修订要点如下。

1. 保持第一版的架构（各章的顺序和主要内容）、特色和读者对象不变。
2. 采用最新（至 2009 年）的我国国家标准（GB）和行业标准（JB）。
3. 删除和更新了第一版中部分重复、过时和过于理论性的内容，使手册的字数减少五分之一，内容更趋实用。
4. 全手册的内容尽可能表格化，便于读者查阅。

本手册由朱孝录（北京科技大学）任主编。参加各章编写的人员如下：第 1 章，朱孝录；第 2 章，朱孝录、李威、王小群、邱丽芳（均为北京科技大学）、张民安（郑州机械研究所）、杨福兴（北京邮电大学）；第 3 章，张光辉（重庆大学）、樊智敏（青岛科技大学）、厉海祥（武汉理工大学）；第 4 章，王铁（太原理工大学）；第 5 章，董学朱（中国农业大学）；第 6 章，沈蕴方（北京科技大学）；第 7 章，李力行、何卫东（均为大连交通大学）、李欣（美国马里兰大学）、叶庆泰（上海交通大学）；第 8 章，王培榭（西安重型机械研究所）、蒋玉滨（东风汽车制造厂）、王永建（陕西航信机械设备制造有限公司）；第 9 章，吴晓铃（郑州大学）、袁丽娟（华北水利学院）；第 10 章，陈国民、张照智、顾敏（均为郑州机械研究所）；第 11 章，朱孝录；第 12 章，陈键、洪华、赵军（均为北京科技大学）。

本手册的编写和修订，虽然编者作了最大的努力，但由于编者的能力和水平有限，手册中难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝指正为盼。

主编 朱孝录

第一版前言

齿轮及其传动装置（以下简称齿轮）是机械工业中一大类重要的基础件。这类基础件的设计和制造质量直接影响机械工业的技术水平。齿轮的设计（构思与表达）是组织该类机械产品生产的依据和头道工序，因而是决定该产品技术性能和经济效益的重要环节。

一个好的、高效的齿轮产品设计，除了设计者要有好的创新构思和丰富的经验外，还必须有一册内容实用、可靠，标准新、资料全，查阅、携带方便的工具书。本手册正是为这种需求而编写的。

本手册有以下主要特色：

1. 立足于齿轮及其传动装置设计的全局，保证常规设计内容、资料的完整、正确和实用。

2. 采用最新（至2003年）的国际标准化组织（ISO）标准和我国国家标准（GB）及行业标准（JB）。

3. 将通用机械和重型机械齿轮（一般工业齿轮）的设计作为本手册的重点。例如，标准基本齿条齿廓（GB/T 1356—2001）、圆柱齿轮承载能力计算方法（ISO 9085：2002）、锥齿轮承载能力计算方法（ISO 10300：2001）和胶合承载能力计算方法（ISO/TR 13989：2000）（以上ISO标准我国均等同采用）等，都是按此要求编入手册的最新资料。

4. 补足一般机械设计手册中缺乏，而对提高齿轮设计和制造质量有很大影响的资料。例如，齿轮工程图样中技术要求的拟定和有关技术条件方面的内容，以及齿轮传动装置的艺术造型设计，均单独成章。使设计者在编写技术条件时，有据可查；在设计箱体时，考虑更为全面。

5. 齿轮技术是不断发展的，因此本手册除了编入常规设计资料外，也编入了一部分新的传动形式的设计资料，如点线啮合齿轮传动、分阶式渐开线齿轮传动和圆弧齿廓弧齿锥齿轮传动等，以开阔设计眼界。

本手册由朱孝录（北京科技大学）任主编。参加各章编写的人员如下：第1章，朱孝录；第2章，朱孝录、李威、王小群、邱丽芳（均为北京科技大学）、张民安（郑州机械研究所）、杨福兴（北京邮电大学）；第3章，张光辉（重庆大学）、樊智敏（青岛科技大学）、厉海祥（武汉理工大学）；第4章，王铁（太原理工大学）；第5章，董学朱（中国农业大学）；第6章，沈蕴方（北京科技大学）；第7章，李力行、何卫东（均为大连交通大学）、李欣（美国马里兰大学）、叶庆泰（上海交通大学）；第8章，王培榭（西安重型机械研究所）、蒋玉滨（东风汽车制造厂）；第9章，吴晓铃（郑州大学）、戚文正（郑州机械研究所）；第10章，张照智、陈国民、顾敏（均为郑州机械研究所）；第11章，朱孝录、顾淑媛（均为北京科技大学）；第12章，陈键、洪华、赵军（均为北京科技大学）。参加审稿的有：秦大同、徐永年、沈水福、朱孝录、王培榭、张少名、钱振霞、王均荣、陈亚文。

本手册的编写，虽然编者作了最大的努力，但由于编者的能力和水平有限，因此手册中难免有遗漏甚至错误之处，敬请广大手册使用者不吝指正为盼。

主编 朱孝录

目 录

齿轮的几何要素代号标记法	1
旋转运动常用关系式	2
第 1 章 齿轮传动设计总论	3
1.1 齿轮传动的分类	3
1.2 各类齿轮传动的特点、性能和选用原则	4
1.2.1 各类齿轮传动的特点、性能和应用	4
1.2.2 齿轮传动类型的选用原则	5
1.3 齿轮轮齿加工	6
1.3.1 轮齿加工原理和方法	6
1.3.2 各种加工方法的应用范围及特点	8
1.4 影响齿轮承载能力诸因素的量级估计	10
1.5 安全系数的选择	12
1.6 齿轮传动设计步骤与设计任务书	13
1.6.1 传动装置的参数设计	13
1.6.2 齿轮传动设计任务书	13
1.7 齿轮及其传动装置的标准化	14
附录	15
1. 齿轮及其传动装置国家标准和行业标准	15
2. 齿轮及其传动装置国际标准化组织 (ISO) 标准	18
3. 齿轮及其传动装置美国齿轮制造商协会 (AGMA) 标准 (即美国国家标准, ANSI)	20
参考文献	22
第 2 章 渐开线圆柱齿轮传动设计	23
2.1 基本齿廓及模数系列	27
2.1.1 通用机械和重型机械用圆柱齿轮标准基本齿条齿廓	27
2.1.2 通用机械和重型机械用圆柱齿轮模数	29
2.2 渐开线圆柱齿轮传动的几何尺寸和特性参数计算	30
2.2.1 标准圆柱齿轮传动的几何尺寸计算	30
2.2.2 变位圆柱齿轮传动概述和变位系数的选择	31
2.2.3 外啮合变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算	48
2.2.4 内啮合变位圆柱齿轮传动的几何尺寸计算	48
2.2.5 渐开线圆柱齿轮的齿厚测量计算	54
2.2.6 渐开线圆柱齿轮传动几何尺寸计算实例	68
2.3 齿轮的损伤与失效	70
2.3.1 齿轮损伤、失效与齿轮设计	70
2.3.2 齿轮失效判据	71
2.4 渐开线圆柱齿轮承载能力计算	76
2.4.1 轮齿受力计算	76
2.4.2 齿轮传动设计参数的选择	76
2.4.3 齿轮材料选择概要	80
2.4.4 齿轮传动主要尺寸参数的初步确定	84
2.4.5 渐开线圆柱齿轮疲劳承载能力计算	86
2.4.6 在变载荷下工作的齿轮强度计算	118
2.4.7 齿轮静强度校核计算	120
2.4.8 开式齿轮强度计算的特点	121
2.5 渐开线齿轮齿面胶合承载能力计算	122
2.5.1 胶合承载能力校核计算基本公式	122
2.5.2 各计算参数确定	122
2.5.3 胶合承载能力计算示例	129
2.5.4 锥齿轮胶合承载能力的计算特点	129
2.6 圆柱齿轮的结构设计	131
2.7 高速齿轮传动及轮齿修形	137
2.7.1 高速齿轮传动设计特点	137
2.7.2 轮齿修形	143
2.8 齿轮精度设计	153
2.8.1 齿轮精度标准适用范围	154
2.8.2 齿轮偏差的定义及代号	154
2.8.3 齿轮精度等级及其选择	156
2.8.4 齿轮检验	159
2.8.5 齿轮坯	166
2.8.6 表面结构的影响	168
2.8.7 轴中心距和轴线平行度	170
2.8.8 轮齿接触斑点	172
2.8.9 侧隙	173
2.8.10 图样标注	177
2.8.11 采用 GB/T 10095.1 与 GB/T 10095.2 两项新标准应注意的问题	178
2.8.12 新旧标准的差异	181
参考文献	184

第3章 其他渐开线圆柱齿轮传动设计	185
3.1 齿轮齿条传动	185
3.1.1 齿轮齿条传动特点	185
3.1.2 齿轮齿条传动的限制条件	186
3.1.3 齿轮齿条传动的几何尺寸计算	187
3.1.4 齿条精度	188
3.2 交错轴斜齿轮传动	194
3.2.1 交错轴斜齿轮传动	195
3.2.2 交错轴斜齿轮传动的特点及最紧密啮合	195
3.2.3 交错轴斜齿轮传动的重合度	196
3.2.4 交错轴斜齿轮传动的设计及几何计算	197
3.2.5 交错轴斜齿轮传动的干涉	200
3.3 分阶式双渐开线齿轮传动	200
3.3.1 双渐开线齿轮齿廓及其基本齿廓	200
3.3.2 双渐开线齿轮传动的啮合特性	201
3.3.3 双渐开线齿轮传动的几何尺寸计算	203
3.3.4 双渐开线齿轮传动强度计算	203
3.4 点线啮合圆柱齿轮传动	205
3.4.1 点线啮合齿轮传动的类别、特点和应用	205
3.4.2 点线啮合齿轮传动的几何尺寸计算	206
3.4.3 点线啮合齿轮传动的参数选择及封闭图	207
3.4.4 点线啮合齿轮传动的齿轮精度与公差	212
3.4.5 点线啮合齿轮传动的齿轮零件工作图	217
参考文献	217
第4章 圆弧齿圆柱齿轮传动设计	218
4.1 概述	219
4.1.1 圆弧齿轮传动的特点	219
4.1.2 圆弧齿轮传动的类型	220
4.2 圆弧齿圆柱齿轮传动的基本齿廓	220
4.2.1 圆弧齿圆柱齿轮传动的基本原理	220
4.2.2 双圆弧齿轮基本齿廓	220
4.2.3 圆弧齿轮传动的啮合特性	222
4.3 圆弧齿圆柱齿轮传动几何参数的设计计算	223
4.3.1 模数系列	223
4.3.2 圆弧齿轮传动的几何参数的设计计算	223
4.4 圆弧齿圆柱齿轮传动的参数选择	223
4.4.1 模数 m_n 和齿数 z_1	225
4.4.2 重合度 ε_β	225
4.4.3 螺旋角 β	225
4.4.4 齿宽系数 φ_a	225
4.5 圆弧齿圆柱齿轮的损伤形式及其防止措施	226
4.5.1 齿端崩角	226
4.5.2 轮齿折断	226
4.5.3 齿面疲劳点蚀	226
4.5.4 齿面塑性变形	227
4.5.5 齿面胶合	227
4.5.6 齿面磨损	227
4.6 圆弧齿轮传动的承载能力计算	227
4.6.1 强度计算公式	227
4.6.2 强度计算公式中各系数的确定方法	227
4.7 圆弧齿圆柱齿轮的测量尺寸计算、精度和检验	234
4.7.1 圆弧齿圆柱齿轮传动测量尺寸计算	234
4.7.2 圆弧齿轮精度等级和传动侧隙	236
4.7.3 齿轮、齿轮副误差及侧隙的定义和代号	236
4.7.4 圆弧齿轮各项精度指标的分组和选用	238
4.7.5 各检验项目的公差数值	239
4.7.6 圆弧齿轮齿轮公差关系式与计算式	243
4.8 圆弧齿圆柱齿轮图样标注及应注明的尺寸数据	244
4.8.1 齿轮工作图中应标注的一般尺寸和数据参数	244
4.8.2 齿轮精度等级和侧隙系数的标注方式	244
4.9 设计计算实例	245
参考文献	249
第5章 锥齿轮和准双曲面齿轮传动设计	250
5.1 概述	250
5.1.1 锥齿轮及准双曲面齿轮的特点和用途	250
5.1.2 齿面的形成	250
5.1.3 锥齿轮的当量圆柱齿轮	254
5.1.4 锥齿轮几何参数的名称	255
5.1.5 锥齿轮和准双曲面齿轮的3种齿制	255
5.2 锥齿轮及准双曲面齿轮主要参数选择	257
5.2.1 锥齿轮及准双曲面齿轮的基本齿廓	257
5.2.2 锥齿轮的大端分度圆直径	259
5.2.3 准双曲面齿轮的偏置距 E	261
5.2.4 齿数、模数、齿宽和螺旋角	261
5.2.5 锥齿轮和准双曲面齿轮的变位	263
5.2.6 齿面受力分析和齿的螺旋方向选择	263

5.3 直齿锥齿轮几何设计	264	5.10 弧齿锥齿轮的强度校核	316
5.3.1 直齿锥齿轮主要参数初算	264	5.10.1 按格利森法校核弧齿锥齿轮的 强度	317
5.3.2 直齿锥齿轮几何计算	265	5.10.2 按 GB/T 10062 的 B2 与 C 混合法 校核弧齿锥齿轮的强度	321
5.3.3 直齿锥齿轮的当量齿轮和重合度	267	5.11 摆线齿锥齿轮的强度校核	327
5.4 格利森制弧齿锥齿轮几何设计	268	5.11.1 摆线齿锥齿轮强度校核的原始 参数	327
5.4.1 弧齿锥齿轮的主要参数初算	268	5.11.2 摆线齿锥齿轮的切向力及载荷 系数	328
5.4.2 弧齿锥齿轮几何参数计算	268	5.11.3 摆线齿锥齿轮的接触强度校核	330
5.4.3 弧齿锥齿轮的当量齿轮和重合度	272	5.11.4 摆线齿锥齿轮的弯曲强度校核	331
5.5 ANSI/AGMA 2005-D03 锥齿轮的几何 设计	272	5.11.5 摆线齿锥齿轮的胶合承载能力 计算	332
5.5.1 直齿、零度齿和弧齿锥齿轮的变位	272	5.12 弧齿准双曲面齿轮强度校核	335
5.5.2 齿高的收缩	273	5.12.1 接触强度校核	335
5.5.3 锥齿轮的最小和最大法向侧隙	273	5.12.2 弯曲强度校核	337
5.5.4 直齿、零度齿和弧齿锥齿轮主要参数 初算	274	5.12.3 弧齿准双曲面齿轮强度校核算例	337
5.5.5 直齿、零度齿和弧齿锥齿轮的几何参 数计算	274	5.13 摆线齿准双曲面齿轮的强度校核	343
5.6 摆线齿锥齿轮几何设计	275	5.13.1 摆线齿准双曲面齿轮强度校核的 原始参数	343
5.6.1 摆线齿锥齿轮主要参数初算	276	5.13.2 摆线齿准双曲面齿轮的切向力及 载荷系数	344
5.6.2 摆线齿锥齿轮几何参数计算	276	5.13.3 摆线齿准双曲面齿轮的接触强度 校核	346
5.6.3 摆线齿锥齿轮的当量齿轮和重合度 计算	286	5.13.4 摆线齿准双曲面齿轮的弯曲强度 校核	346
5.6.4 摆线齿锥齿轮的齿形系数和切向变位 系数	286	5.13.5 摆线齿准双曲面齿轮的胶合承载 能力计算	346
5.7 弧齿准双曲面齿轮几何设计	287	5.14 锥齿轮的精度	352
5.7.1 弧齿准双曲面齿轮的初步设计	287	5.14.1 锥齿轮精度标准 GB/T 11365—1989	352
5.7.2 弧齿准双曲面齿轮几何参数计算	289	5.14.2 美国的 AGMA 锥齿轮和准双曲面齿轮 精度简介	352
5.8 摆线齿准双曲面齿轮的几何设计	293	5.15 曲线齿锥齿轮齿面接触区的调整	355
5.8.1 摆线齿准双曲面齿轮主要参数初算	293	5.16 齿轮安装形式	357
5.8.2 摆线齿准双曲面齿轮几何计算	294	5.17 锥齿轮的结构和工作图	357
5.8.3 摆线齿准双曲面齿轮的当量齿轮和 重合度	304	5.17.1 锥齿轮结构	357
5.8.4 摆线齿准双曲面齿轮的齿形系数和 切向变位系数	306	5.17.2 锥齿轮和准双曲面齿轮的工作图	358
5.9 直齿锥齿轮强度校核	307	参考文献	363
5.9.1 直齿锥齿轮强度校核的原始参数	307		
5.9.2 直齿锥齿轮的切向力及载荷系数	307		
5.9.3 直齿锥齿轮的齿面接触强度校核	310		
5.9.4 直齿锥齿轮弯曲强度校核	311		
5.9.5 直齿锥齿轮的胶合承载能力计算	314		

第 6 章 蜗杆传动设计	364	6.5.1 失效形式	368
6.1 蜗杆传动的组成、特点和应用	366	6.5.2 选材原则	369
6.2 蜗杆传动的类型	366	6.6 普通圆柱蜗杆传动	370
6.3 蜗杆传动的传动比	367	6.6.1 分类	370
6.4 蜗杆传动的效率	367	6.6.2 普通圆柱蜗杆传动的基本参数	372
6.4.1 蜗杆传动齿面间的相对滑动速度	367	6.6.3 普通圆柱蜗杆传动承载能力计算	383
6.4.2 蜗杆传动的接触线和润滑角	367	6.6.4 热平衡计算	385
6.4.3 蜗杆传动的效率	367	6.6.5 蜗杆和蜗轮的结构	387
6.5 蜗杆传动的失效形式和选材原则	368		

6.6.6 圆柱蜗杆传动的精度	387	尺寸计算	417
6.6.7 计算示例 1	394	6.8.2 直廓环面蜗杆的修形	417
6.7 圆弧圆柱蜗杆传动	407	6.8.3 直廓环面蜗杆传动承载能力计算	420
6.7.1 圆弧圆柱蜗杆传动类型	407	6.8.4 直廓环面蜗杆、蜗轮精度	424
6.7.2 圆弧圆柱蜗杆传动特性	407	6.8.5 计算示例 3	424
6.7.3 轴向圆弧齿圆柱蜗杆传动的几何参数 和尺寸计算	407	6.9 平面包络环面蜗杆传动	426
6.7.4 圆弧圆柱蜗杆传动承载能力计算	416	6.9.1 平面一次包络环面蜗杆传动	426
6.7.5 计算示例 2	416	6.9.2 平面二次包络环面蜗杆传动	431
6.8 直廓环面蜗杆传动	417	6.9.3 计算示例 4	439
6.8.1 直廓环面蜗杆传动的参数选择及几何		参考文献	451

第 7 章 动轴轮系齿轮传动设计

7.1 轮系概述	455	7.3.7 摆线针轮行星传动的技术要求	570
7.1.1 轮系的分类及应用	455	7.3.8 设计计算公式与示例	574
7.1.2 定轴轮系的传动比	456	7.3.9 主要零件的工作图	576
7.1.3 常用行星齿轮传动的传动形式与 特点	457	7.3.10 大型摆线针轮行星传动的 简介	581
7.1.4 行星齿轮传动的传动比	459	7.3.11 RV 减速器	581
7.1.5 行星齿轮传动的效率	462	7.4 谐波齿轮传动	585
7.2 渐开线齿轮行星传动	463	7.4.1 谐波齿轮传动的主要特点及其基本 原理	585
7.2.1 主要参数的确定	463	7.4.2 谐波齿轮传动的分类	586
7.2.2 行星齿轮传动的受力分析	487	7.4.3 谐波齿轮传动的传动比计算	587
7.2.3 行星传动齿轮强度计算要点	489	7.4.4 谐波齿轮传动主要构件的结构形式	588
7.2.4 行星齿轮传动的结构设计及计算	493	7.4.5 谐波齿轮传动的设计计算与基本参数 的确定	588
7.2.5 少齿差行星齿轮传动	514	7.4.6 谐波齿轮传动的效率、发热、润滑与 增速	600
7.3 摆线针轮传动	543	7.4.7 动力谐波齿轮传动工作过程中的跳齿 问题	602
7.3.1 概述	543	7.4.8 谐波齿轮传动的常规试验	602
7.3.2 摆线针轮传动的啮合原理	545	参考文献	603
7.3.3 摆线针轮行星传动的 基本参数和几何 尺寸计算	555		
7.3.4 摆线针轮行星传动的受力分析	559		
7.3.5 主要件的强度计算	566		
7.3.6 摆线针轮传动的优化设计	566		

第 8 章 减(增)速器设计

8.1 概述	605	8.3.3 齿轮结构设计	623
8.1.1 适用范围	605	8.3.4 初定轴直径、轴与齿轮的配合	628
8.1.2 基础标准、特殊术语与定义	606	8.3.5 初选轴承型号、轴承配置与轴承 偏心套	632
8.1.3 发展趋势	606	8.3.6 机体、机盖与整机结构设计	634
8.2 各类减(增)速器的设计程序、主参数	607	8.3.7 主要零部件强度校核	636
8.2.1 一般单机设计程序	607	8.4 减(增)速器附件	644
8.2.2 标准系列减(增)速器设计程序	607	8.5 机械功率计算	646
8.2.3 设计原始条件、数据	608	8.5.1 机械功率的应用与计算依据	646
8.2.4 选型——传动类型、装配形式、安装 形式	608	8.5.2 计算公式	646
8.2.5 减(增)速器的主参数	614	8.5.3 机械功率的选用	647
8.3 渐开线圆柱齿轮减(增)速器设计	619	8.6 热功率的测定与计算	651
8.3.1 选定性能水平——齿轮按性能分类	619	8.6.1 热功率的试验测定	652
8.3.2 齿轮参数初算	619	8.6.2 热功率计算	652

8.6.3 损耗功率(功率损失) P_v 计算	653	8.9.3 试运转	666
8.6.4 热散发功率 P_o 计算	655	8.9.4 使用维护	667
8.6.5 热功率的修正	656	8.10 通用标准、系列减速器及其选用	667
8.7 润滑、冷却、加热与密封	657	8.10.1 圆柱齿轮减速器(摘自	
8.7.1 润滑和冷却的方式	658	JB/T 8853—2001)	667
8.7.2 加热器及其安装	662	8.10.2 模块式圆柱齿轮减速器与模块式圆锥-	
8.7.3 密封	664	圆柱齿轮减速器(摘自	
8.7.4 润滑油油品与选用	665	JB/ZQ 6101—2002)	679
8.8 出厂检验与试验	665	8.10.3 NGW 型行星齿轮减速器(摘自	
8.8.1 整机出厂检验	665	JB/T 6502—1993)	685
8.8.2 试验	665	8.10.4 圆弧圆柱蜗杆减速器(摘自	
8.9 储运、安装、试运转、维护	666	JB/T 7935—1999)	690
8.9.1 储藏、运输	666	8.10.5 典型通用标准齿轮减速器简介	693
8.9.2 安装	666	参考文献	695
第9章 齿轮传动装置的润滑设计	696		
9.1 概述	696	9.4 齿轮传动装置的润滑方式	720
9.1.1 齿轮润滑的特点及润滑剂的作用	696	9.4.1 油浴润滑	720
9.1.2 齿轮的润滑状态	697	9.4.2 循环喷油润滑	721
9.1.3 润滑对齿轮传动的的影响及其策略	698	9.4.3 油雾润滑	721
9.2 齿轮润滑油(脂)和添加剂	699	9.4.4 离心润滑	722
9.2.1 工业齿轮油的分类	699	9.4.5 润滑脂润滑	722
9.2.2 车辆齿轮油的分类	701	9.4.6 固体润滑	722
9.2.3 工业齿轮油的规格标准	701	附录	722
9.2.4 车辆齿轮油的规格标准	702	1. 工业润滑油 ISO 黏度分类	
9.2.5 润滑油添加剂	711	(GB/T 3141—1994)	722
9.3 齿轮传动装置的润滑油选用方法	711	2. 齿轮油常用黏度级的换算	723
9.3.1 工业齿轮润滑油的使用要求	711	3. 国内外(部分公司)抗氧防锈工业齿轮油	
9.3.2 工业闭式齿轮的润滑油选用方法		产品牌号对照	723
(包括高速齿轮的润滑)	712	4. 国内外(部分公司)中负荷工业齿轮油产	
9.3.3 蜗轮蜗杆传动的润滑油选用方法	714	品牌号对照	723
9.3.4 工业开式齿轮传动的润滑油(脂)		5. 国内外(部分公司)重负荷工业齿轮油产	
选用方法	715	品牌号对照	724
9.3.5 车辆齿轮润滑油的选用方法	716	参考文献	724
9.3.6 齿轮润滑油的质量监控和换油指标	717		
第10章 齿轮内在品质设计	725		
10.1 齿轮强度设计中的材料热处理	725	10.3 齿轮热处理工艺	752
10.1.1 齿轮疲劳强度与材料热处理质量		10.3.1 齿轮热处理工艺的选择	752
等级	725	10.3.2 齿轮的热处理工艺	754
10.1.2 软硬齿面齿轮应用的选择	732	10.4 齿轮热处理缺陷及质量控制	770
10.2 齿轮材料的选择	732	10.4.1 齿轮热处理质量检验	770
10.2.1 齿轮用钢材	732	10.4.2 齿轮热处理质量控制	770
10.2.2 齿轮用铸铁	734	参考文献	773
10.2.3 齿轮用有色金属	750		
第11章 齿轮传动工程图样中的技术要求和条件	774		
11.1 概述	774	11.2.1 齿轮零件工作图上的技术要求	774
11.2 技术要求的内容和示例	774	11.2.2 齿轮传动装置装配图上的技术	

要求	775	平衡量	789
11.2.3 齿轮技术要求示例	775	11.6.5 许用剩余不平衡量向允差平面的分配	791
11.3 锻件的技术条件	775	11.6.6 平衡允差向校正平面的分配	791
11.3.1 锻件的技术条件和一般要求	775	11.6.7 组装转子	792
11.3.2 锻件材料的化学成分	776	11.6.8 平衡计算示例	793
11.3.3 锻件的力学性能	777	11.6.9 按支承力的限值确定平衡允差	793
11.3.4 有关齿轮毛坯制造的技术条件标准	778	11.6.10 平衡误差和剩余不平衡的检验	794
11.4 锻钢件无损探伤技术条件	778	11.6.11 转子平衡品质等级在图样上的标注方法	794
11.4.1 锻钢件无损探伤技术条件和一般要求	778	11.7 齿轮装置的噪声验收规范	794
11.4.2 超声波探伤及其质量等级	778	11.7.1 概述	794
11.4.3 磁粉探伤及其质量等级	779	11.7.2 声功率级的确定	795
11.4.4 渗透探伤及其质量等级	779	11.7.3 辐射声压级的确定	798
11.4.5 质量验收等级的选择	780	11.7.4 透平齿轮传动装置噪声声压级规范	800
11.4.6 有关无损探伤的技术条件标准	780	11.7.5 德国 VDI 2159 标准中的噪声评价	800
11.5 热处理技术要求在零件工作图上的表示方法	781	11.8 齿轮装置的振动验收规范	801
11.5.1 表示方法的一般规定	781	11.8.1 机械振动中的位移、速度和加速度	801
11.5.2 正火、退火及淬火回火(含调质)零件的标注	781	11.8.2 振动测量方式和测量单位	802
11.5.3 表面淬火零件的标注	781	11.8.3 齿轮装置试验条件	802
11.5.4 渗碳和碳氮共渗零件的标注	784	11.8.4 验收值(等级)	802
11.5.5 渗氮零件的标注	785	11.8.5 振动的主观评价	803
11.6 刚性转子的平衡与许用不平衡	786	11.8.6 透平齿轮传动装置的振动规范	803
11.6.1 转子的不平衡与平衡	786	11.9 齿轮传动装置的清洁度	804
11.6.2 转子质量与许用剩余不平衡量	787	附录	805
11.6.3 平衡品质等级与工作转速和许用剩余不平衡度的关系	788	1. 各种硬度测试方法的适用范围	805
11.6.4 平衡品质的确定和许用剩余不		2. 硬度符号表示方法和举例说明	806
		参考文献	806
第 12 章 齿轮传动装置的艺术造型设计	807		
12.1 齿轮传动装置箱体设计基本要求	807	12.4 齿轮传动装置造型设计的评价标准	811
12.2 齿轮传动装置艺术造型设计的特殊性	808	12.4.1 列项记分评价法	811
12.3 齿轮传动装置造型设计的主要美学因素	808	12.4.2 模糊评价法	812
12.3.1 齿轮传动装置形式美特征	808	12.5 齿轮传动装置造型设计的一般程序	813
12.3.2 构成形式美的因素(形态、色彩、材质、结构)	809	12.6 齿轮传动装置造型设计实例	814
		参考文献	814

齿轮的几何要素代号标记法

1998年,国际标准化组织正式发布了ISO 701:1998 International gear notation—Symbols for geometrical data 英文版标准,我国等同采用这个标准(即GB/T 2821—2003),只把标准名称改为《齿轮几何要素代号》。这个标准用来替代GB/T 2821—1992《齿轮几何要素代号》。

GB/T 2821—2003中给出的标准代号由主代号和下标两部分组成:

主代号——由单个基本字母组成(见表I);

下标——用来限定主代号(见表II、表III和表IV)。

几何要素代号组合的主要规则如下。

- ① 代号由主代号组成。主代号可有一个或多个下标,或有一个上标。
- ② 主代号可以是单独的大写字母或小写字母。字母应是拉丁文或斜体的希腊字母。
- ③ 数字下标为整数、小数或罗马数字。一个代号仅能有一个数字下标。
- ④ 所有下标均应标在同一线上,并低于主代号。
- ⑤ 划了线条的代号(上面或下面划了线条),除指数外的上标、前置下标、前置上标、二次下标、二次上标以及破折号均应避免使用。

作为下标的同一字母可以有不同的含义,根据下标定义的符号而定。表II给出了常用下标;表III给出了两个或三个字母的缩写下标;表IV给出了数字下标。下标与主代号一起使用作为一个代号。

当使用一个以上的下标符号时,推荐用表V给出的顺序。

表VI给出了齿轮几何要素代号示例。

表 I 主要几何要素代号

代号	意义	代号	意义	代号	意义
<i>a</i>	中心距	<i>p</i>	齿距,导程	β	螺旋角
<i>b</i>	齿宽	<i>q</i>	蜗杆的直径系数	γ	导程角
<i>c</i>	顶隙和根隙	<i>R</i>	锥距	δ	锥角
<i>d</i>	直径,分度圆直径	<i>r</i>	半径	ϵ	重合度
<i>e</i>	齿槽宽	<i>s</i>	齿厚	η	槽宽半角
<i>g</i>	接触轨迹长度	<i>u</i>	齿数比	θ	锥齿轮的齿形角
<i>h</i>	齿高(全齿高、齿顶高、齿根高)	<i>W</i>	跨 <i>K</i> 个齿的公法线长度	ρ	曲率半径
<i>i</i>	总传动比	<i>x</i>	径向变位系数	Σ	轴交角
<i>j</i>	侧隙	<i>y</i>	中心距变动系数	Ψ	齿厚半角
<i>M</i>	量柱或量球的测量距	<i>z</i>	齿数		
<i>m</i>	模数	<i>a</i>	压力角		

表 II 主要下标

代号	意义	代号	意义	代号	意义
<i>a</i>	顶	<i>n</i>	法向	<i>y</i>	任意点
<i>b</i>	基圆	<i>P</i>	基本齿条齿廓	<i>z</i>	导程
<i>e</i>	外	<i>r</i>	半径的	α	齿廓
<i>f</i>	根	<i>t</i>	端面	β	螺旋方向上(齿向)
<i>i</i>	内	<i>u</i>	有效的	γ	总的
<i>k</i>	跨齿数	<i>w</i>	啮合状态		
<i>m</i>	平均	<i>x</i>	轴向		

表 III 缩写下标

下标	意义	下标	意义
act	实际的	min	最小的
max	最大的	pr	突台

表 IV 数字下标

下 标	意 义	下 标	意 义
0	刀具	3	标准齿轮
1	小轮	其他齿轮
2	大轮		

表 V 下标顺序

下 标	意 义	下 标	意 义
a, b, m, f	圆柱或圆锥	n, r, t, x	平面或方向
e, i	外、内	max, min	缩写
pr	突起	0, 1, 2, 3, ...	齿轮

表 VI 代号示例

代 号	含 义	代 号	含 义
u	齿数比	d_1	小轮的分度圆直径
m_n	法向模数	d_{w2}	大轮的节圆直径
α_{wt}	端面啮合角	R_2	大轮的锥距

旋转运动常用关系式

序号	参数名称	代号	单位	关系式	备 注
1	转速	n	r/min	$n=30\omega/\pi=60v/d\pi$	ω 见 3; v 见 2
2	圆周速度	v	m/s	$v=\pi dn/60=\omega d/2$	n 见 1; ω 见 3
3	角速度	ω	s ⁻¹	$\omega=2\pi n/60=n/9.549$	n 见 1
4	转矩	T	N·m	$T=9549P/n=1000P/\omega=F_t d/2$	P 见 6; n 见 1; F_t 见 5; ω 见 3
5	圆周力	F_t	N	$F_t=1000P/v=2T/d$	P 见 6; v 见 2; T 见 4
6	功率	P	kW	$P=T\omega/1000=F_t v/1000=Tn/9549$	ω 见 3; T 见 4; F_t 见 5; v 见 2; n 见 1
7	加速度	a	m/s ²	$a=\epsilon d/2$	ϵ 见 8
8	角加速度	ϵ	s ⁻²	$\epsilon=2a/d$	a 见 7
9	加速转矩	T_a	N·m	$T_a=J\epsilon$	J 见 12; ϵ 见 8
10	加速功率	P_a	W	$P_a=J\epsilon\omega$	J 见 12; ϵ 见 8; ω 见 3
11	质量(重量) ^①	m	kg	$m=\text{体积}\times\rho^{\text{②}}$	
12	转动惯量	J	kg·m ²	$J=md^2/4$	m 见 11
13	飞轮矩	GD^2	N·m ²	$GD^2=4gJ$	J 见 12
14	动能	E_k	J	$E_k=mv^2/2=J\omega^2/2=2\pi^2 J(n/60)^2$	m 见 11; J 见 12; ω 见 3; v 见 2; n 见 1
15	径向加速度	a_r	m/s ²	$a_r=2v^2/d=\omega^2 d/2=2\pi^2 d(n/60)^2$	v 见 2; ω 见 3; n 见 1
16	离心力	F_c	N	$F_c=2mv^2/d=m\omega^2 d/2=2\pi^2 md(n/60)^2$	m 见 11; ω 见 3; n 见 1

① GB 3102.1~8—1993 规定：“重量”一词按照习惯仍可用于表示质量，但应注意全书统一，避免质量和重量交替使用的现象。

② ρ 为密度：钢， $\rho\approx 7.85\text{kg/dm}^3$ ；青铜， $\rho\approx 8.8\text{kg/dm}^3$ ；铝合金， $\rho\approx 2.7\text{kg/dm}^3$ 。

注：表中代号 d 是参考圆直径，单位为 m。 g 为重力加速度， $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

第 1 章 齿轮传动设计总论

齿轮传动具有传动比准确，可用的传动比、圆周速度和传递功率的范围都很大，以及传动效率高，使用寿命长，结构紧凑，工作可靠等一系列优点。因此，齿轮传动是各种机器中应用最广的机械传动形式之一；齿轮是机械工业中重要的基础件。

齿轮传动在使用上也受某些条件的限制：如制造工艺较复杂，成本较高，特别是高精度齿轮；是一种轮齿啮合传动，无过载自保护功能（同带传动比较）；中心距通常不能调整，并且可用的范围小（同带传动、链传动比较）；单纯的齿轮传动无法组成无级变速传动（同带传动、摩擦传动比较）；使用和维护的要求高。齿轮传动虽然存在这些局限性，但只要选用适当，考虑周到，齿轮传动总是不失为一种最可靠、最经济、用得最多的传动形式。

1.1 齿轮传动的分类

齿轮传动的种类很多，目前还没有一种统一的分类方法，图 1-1 所示的分类可供参考。

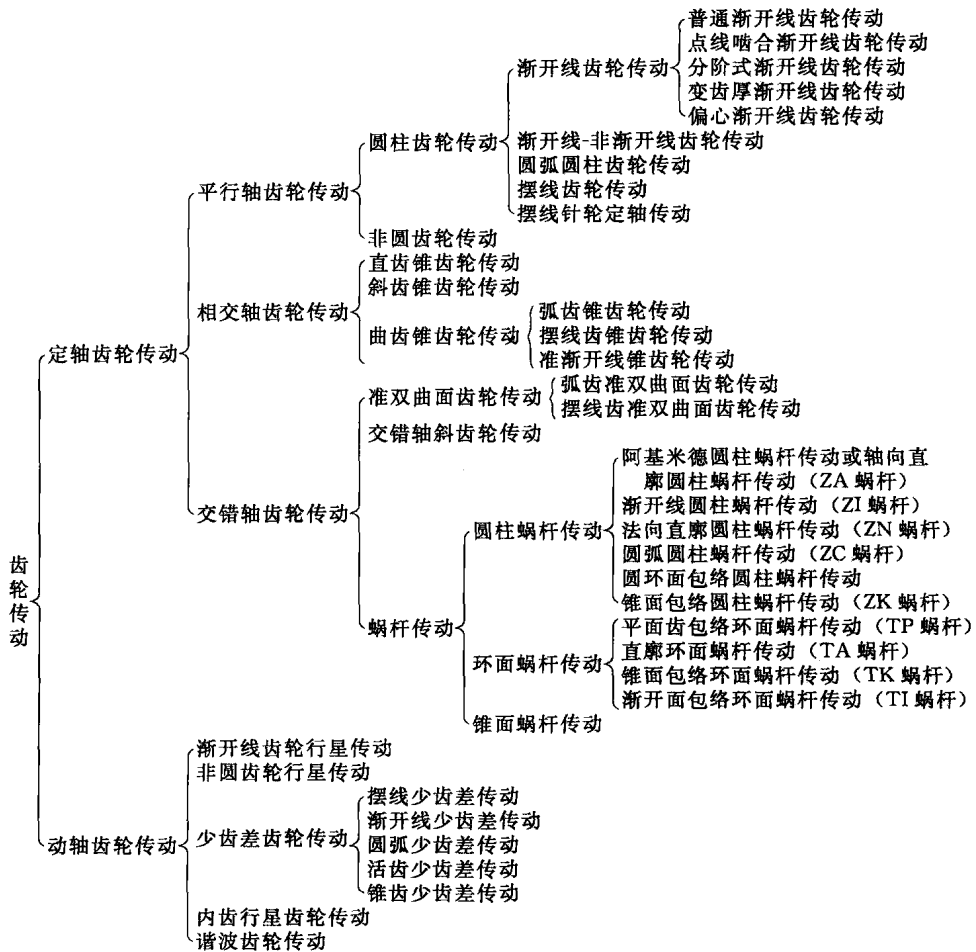


图 1-1 齿轮传动的分类

1.2 各类齿轮传动的特点、性能和选用原则

1.2.1 各类齿轮传动的特点、性能和应用

常用的齿轮传动形式的特点、性能和应用举例见表 1-1。

表 1-1 常用齿轮传动的特点、性能和应用举例

名称	主要特点	功率 P /kW	速度 v /m·s ⁻¹	效率 η	单级传动比 i	应用举例	
渐开线圆柱齿轮传动	传动的功率和速度可以很大,效率高;对中心距的敏感性小;装配维修方便;可进行变位、修形、修缘和精密加工;易得到高质量的传动	已达 65000, 一般 < 3000	已达 210, 实验室 已达 300	与制造精度有关,一般 0.97~0.99, 最高 0.995	一般软齿面 ≤ 7.1 , 硬齿面 ≤ 6.3 , 最大 10	可在绝大多数机器中使用,如机床、汽车、汽轮机、工程机械等	
圆弧圆柱齿轮	单圆弧齿轮	已达 6000	一般 < 100 最大 140	比渐开线齿轮稍高	大致与渐开线圆柱齿轮相同	轧钢机、矿井卷扬机、鼓风机、制氧机、压缩机增速器和汽轮机等,目前已很少用	
	双圆弧齿轮	已达 6000					比渐开线齿轮稍高
锥齿轮传动	直齿锥齿轮	比曲线齿锥齿轮的轴向力小,制造也容易	已达 373	< 5	0.97~0.995	< 8	汽车、拖拉机和其 他轴线相交的中低速 传动
	斜齿锥齿轮	比直齿锥齿轮总重合度大,提高平稳性	比直齿锥齿轮稍大	比直齿锥齿轮高	0.97~0.995	< 8	
	曲线齿锥齿轮	比直齿锥齿轮传动平稳,噪声小,承载能力大;支承部分要考虑较大的轴向力和方向	已达 4000, 一般 < 500	> 5,磨齿 可达 50	0.97~0.995	< 8	
准双曲面齿轮传动	比曲线齿锥齿轮传动更平稳;利用偏置距增大小轮直径,因而可增加小轮刚性,实现两端支承;沿齿长方向有滑动,传动效率比直齿锥齿轮低	已达 1000, 一般 < 300	< 30, 最大 50	0.90~0.98	< 10	广泛用于越野车、小客车和卡车,以提高或降低车辆重心;经特殊设计和加工,可代替蜗杆传动	
蜗杆传动	普通圆柱蜗杆(包括 ZA 型、ZI 型、ZN 型蜗杆)	传动比大,运转平稳,噪声小,结构紧凑,可实现自锁	< 200	一般 < 15	一般 0.7~0.9	一般 8~80	多用于中小载荷间歇运转的情况,如轧钢机压下装置、慢动提升机等
	圆弧圆柱蜗杆(ZC 型蜗杆)	主平面共轭齿面为凹凸齿啮合,接触线形状有利于形成油膜,传动效率和承载能力均高于普通圆柱蜗杆传动	< 200	一般 < 15	比普通圆柱蜗杆高	8~80	可代替普通圆柱蜗杆传动
	环面蜗杆传动(包括平面齿包络、锥面齿包络、渐开面齿包络和直廓环面蜗杆)	接触线和相对速度夹角接近于 90°,有利于形成油膜;接触齿数多,当量曲率半径大,其承载能力比普通圆柱蜗杆传动可以大 2~3 倍。但制造工艺要复杂一些	< 4500	一般 < 15	比普通圆柱蜗杆高	5~100	轧钢机压下装置、各种提升机、转炉倾动装置、冷挤压机等
普通渐开线齿轮行星传动	体积小,重量轻,承载能力大,效率高,工作平稳、可靠,但结构比较复杂,制造成本较高	NGW 型, 一般 < 6500, 个别可达 10 ⁵	高低速均可	与渐开线圆柱齿轮大致相同	NGW 型 3~12	NGW 型主要用于冶金、矿山、起重运输等低速重载机械设备;也用于压缩机、制氧机、船舶等高速大功率传动	

续表

名称	主要特点	功率 P /kW	速度 v / $m \cdot s^{-1}$	效率 η	单级传动比 i	应用举例
少齿差传动	渐开线少齿差	一般 ≤ 55 , 最大达 100	一般高速轴转速 ≤ 1800 r/min	一般 0.8~0.9	10~100	起重、运输、轻工、化工、食品、农机、机床等机械
	摆线少齿差	一般 < 100 , 最大达 220	一般高速轴转速 ≤ 1800 r/min	0.9~0.98	11~87	冶金、石油、化工、轻工、食品、纺织、工程、起重、运输等机械
	圆弧少齿差	< 30	一般高速轴转速 ≤ 1800 r/min		11~71	矿山运输、轻工、纺织、印染机械
	活齿少齿差	< 18	一般高速轴转速 ≤ 1800 r/min	0.86~0.87	20~80	矿山、冶金机械
谐波齿轮传动	传动比大、范围宽, 元件少、体积小、重量轻; 同时啮合的齿数多, 故承载能力高; 运动精度高、运转平稳、噪声低; 传动效率也较高; 柔轮的制造工艺较复杂	已达 370, 一般 < 50	一般高速轴转速 ≤ 3000 r/min, 最高 10^5 r/min	0.7~0.9	一般 40~300, 已达 1.25×10^5 (采用复波)	航空、航天飞行器, 原子能、雷达系统, 汽车、坦克、机床、医疗器械, 光学机械精密传动, 高压、高真空密封传动, 工业机器人和无线电跟踪系统等
内齿行星齿轮传动(三环减速器)	可双轴或单轴输入; 多对内外齿轮啮合, 承载能力大, 轴承寿命长; 能得到大传动比; 轴向尺寸小, 径向尺寸大; 三片内齿轮误差可相互补偿, 整机精度高; 还不能用于高速传动	已达 2000	一般高速轴转速 ≤ 1500 r/min	0.94~0.96	11~99	冶金、起重运输机械, 替代普通圆柱齿轮减速器

1.2.2 齿轮传动类型的选用原则

在选用齿轮传动类型时, 原则上要考虑以下几方面的因素。

(1) 齿轮传动轴线的方位

在机器中, 齿轮传动装置通常都位于动力机和工作机之间, 因此齿轮传动输入、输出的轴线取决于动力机和工作机的轴线方位, 即平面平行轴线、平面相交轴线或空间交错轴线。据此, 就基本上确定了可选用的齿轮传动大类别: 平行轴齿轮传动、相交轴齿轮传动或交错轴齿轮传动。

(2) 功率范围

各类齿轮传动都有各自合理的功率范围(见表 1-1), 如圆柱齿轮传动传递的功率可达数万千瓦, 而活齿少齿差齿轮传动目前的技术水平最多只能传递数十千瓦。不按合理的功率范围选用齿轮传动类型往往会出现许多技术上的困难, 而且其经济性也很难保证。

(3) 传动比范围

单级齿轮传动的传动比范围差别很大(见表 1-1), 这是由齿轮传动结构条件不同所决定的, 例如单级圆柱齿轮传动的传动比一般不大于 8, 而单级谐波齿轮传动的传动比一般大于 50, 最大可达 500。因此, 如果要将圆柱齿轮传动应用到传动比要求等于 50 的机器中, 只有采用二级圆柱齿轮传动才有可能; 然而这样必然要增大齿轮传动装置的外廓尺寸。按合理的传动比范围来选用齿轮传动的类型是重要的。

(4) 速度

由于技术的进步, 虽然各类齿轮传动的圆周速度(或转速)不断提高, 但是受运转时振动、噪声、发热或制造精度等条件的限制, 其合理的速度范围还是存在的(见表 1-1)。圆周速度 150m/s 左右的高速圆柱齿轮在制氧机、汽轮机和压缩机中已很常见, 而其他种类的齿轮传动, 如锥齿轮、少齿差齿轮传动的允许圆周

速度要比前者低得多。因此,如要选用高速齿轮传动,则非圆柱齿轮莫属。

(5) 传动效率

对于小功率、间隙运转的齿轮传动,其传动效率的高低一般不太被人注意;但对于大功率、连续运转的齿轮传动,其传动效率对能源的消耗和运转费用的影响就举足轻重了。此外,传动效率低,传动装置的发热量就大,温度就高,这对齿轮传动装置的正常运转非常不利。蜗杆减速器和硬齿面齿轮减速器的热功率往往限制了齿轮传动装置承载能力的充分发挥。因此,传动效率的高低在选用齿轮传动装置时必须注意。

(6) 外廓尺寸(重量)

在相同的传动功率、速度和传动比的条件下,采用不同类型的齿轮传动装置,其外廓尺寸(重量)可以相差很大。单级的行星齿轮传动,由于有多对齿啮合传动,因此其外廓尺寸(重量)要比单级外啮合圆柱齿轮传动减小30%~50%;而谐波齿轮传动也是各类齿轮传动中外廓尺寸(重量)较小的一种齿轮传动形式。

(7) 环境条件

齿轮传动是一种轮齿啮合传动,即使在理想的齿轮制造精度条件下,由于运转时不可避免的轮齿变形和轴、支承的变形的影响,齿轮传动仍会出现污染环境的振动和噪声。但是,各类齿轮传动由于结构上的特点,在相同的条件下,产生振动、噪声的强弱有很大的差别。例如锥齿轮传动和蜗杆传动同为角度传动,但在相同条件(功率、速度和传动比等)下,蜗杆传动要比锥齿轮传动安静得多。采用高精度的锥齿轮传动,虽然可以降低振动和噪声,但其经济性将大打折扣。

(8) 经济性

齿轮传动装置的初始费用主要决定于价格,这是在选用齿轮传动类型时必须考虑的经济因素。通常,结构简单、易于加工的齿轮传动类型其制造成本必然较低,如渐开线圆柱齿轮、直齿锥齿轮、普通圆柱蜗杆等。而动轴轮系齿轮传动,如行星齿轮传动、少齿差齿轮传动、谐波齿轮传动等,虽然具有一系列优点,但由于结构复杂,或要使用专用加工机床等,因而其制造费用必然较高。因此,在选用齿轮传动类型时,要仔细衡量技术指标和经济性指标的合理统一。

在实际的齿轮传动类型选用过程中,以上几方面要求都同时得到满足是不容易的,因为有些要求可能相互矛盾、相互制约。例如要求结构紧凑,外廓尺寸小,则选用动轴齿轮传动(行星齿轮传动、少齿差齿轮传动、谐波齿轮传动等)比较合适,但其制造费用要比定轴齿轮传动高得多。再如选用蜗杆传动能减少振动和噪声,制造费用也低,但其传动效率低,能源消耗大,日常运转费用高。因此,在选择齿轮传动类型时,要根据机器工况、技术要求,考虑技术、经济的合理性,对可能适用的多种齿轮传动类型,从以上各方面进行细致的分析对比,必要时还要进行优化计算处理,以期选择最佳的齿轮传动类型。

1.3 齿轮轮齿加工

1.3.1 轮齿加工原理和方法

齿轮轮齿的加工原理和加工方法可分为三大类:滚切法、成形法和空间成形法。三类方法的具体实施见表1-2。

1.3.1.1 滚切法(包络切削法)

滚切法的刀具除了作切削运动(滚、插、铣、剃、磨等运动)和进给运动以外,还相对于被加工的齿轮 Z_1 作滚动(范成运动),其情况如同一个与 Z_1 啮合的齿轮 Z_2 (例如一个齿条)。因此,刀具必须相应地具有 Z_2 的齿廓形状,在极端的情况下,可以只具有 Z_2 的一个齿的齿廓形状。而 Z_1 的齿廓就是由刀具齿廓的包络而形成的。滚切法的主要优点是:只要一把刀具,就可以加工出模数相同的任意齿数和任意变位量的齿轮。当分开加工左侧齿廓和右侧齿廓时,例如在用Maag机床磨削轮齿或加工锥齿轮时,甚至只用一把刀具,就可以在一定的模数范围内加工任意齿数的齿轮。

滚切法可分为连续滚切法和分度滚切法,各有不同特点。

① 连续滚切法 这种方法可以通过分度过程使范成运动连续进行。所用的刀具为刨齿刀、剃齿刀、滚齿刀,或用蜗杆形铣刀、蜗杆形剃刀,或蜗杆形砂轮。其优点是可以不间断地加工,不必一个齿一个齿进行分度。其缺点是啮合精度取决于昂贵的齿轮机床的中介齿轮、分度蜗轮和进给丝杠。因为这些传动件会产生周期性误差。