

实用机械传动装置 设计手册

主编 张 展

参编 刘述斌 厉海祥 陈 明 张弘松
张晓维 曾建峰 马 凯 邵钰钊
温成珍 张汉明



机械工业出版社

本手册列入各种类型的机械传动装置,主要包括圆柱齿轮传动、锥齿轮传动、蜗杆传动、行星齿轮传动、3K型行星传动、少齿差行星传动、摆线针轮传动、销齿传动、滚子活齿行星传动、起重机传动、工程机械齿轮传动、齿轮联轴器、谐波齿轮传动、高速齿轮传动、星形齿轮传动、航空齿轮传动、船用齿轮传动、冶金矿山机械齿轮传动、水泥机械齿轮传动、煤矿机械齿轮传动、石油化工机械齿轮传动、铁道机车动车传动、风力发电齿轮传动、点线啮合齿轮传动、螺旋传动、带传动、链传动和摩擦传动,并介绍了齿轮传动装置的安装与调试、齿轮常用材料及其性能以及润滑与密封等。每一章均有设计要点、技术要求并附有典型结构图和零件图,图文并茂,有很强的实用性。

本手册主要供机械传动装置设计者参考使用,也可供大专院校师生从事相关设计时参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用机械传动装置设计手册/张展主编. —北京:机械工业出版社, 2012.6

ISBN 978-7-111-38462-5

I. ①实… II. ①张… III. ①机械传动装置-设计-手册
IV. ①TH13-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第105336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:霍永明

责任校对:陈延翔 张晓蓉 封面设计:陈沛 责任印制:乔宇
三河市宏达印刷有限公司印刷

2012年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm 65.75印张·3插页·2215千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38462-5

定价:228.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010) 88379720

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

传动技术是将各种形式的能量进行传递、分配、控制和变化运动形态的一种技术。主要包括机械传动技术、电气传动技术、气体传动技术、液体传动技术等。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的基础性关键技术,大力推动传动技术的发展意义重大。

机械传动装置是传动技术的主体部分,其使用量大面广。众所周知,任何一台机器通常由三个基本部分组成,即原动机、传动装置和工作机构,其中机械传动装置应用于机械设备的各个领域。机械传动装置的主要功能为:①改变输出速度,减速、增速或变速,以适应工作机构的需求;②改变输出转矩,以满足使用要求;③改变运动方式,由回转运动变成直线运动或反之;④功率分流;⑤实现差速,满足特殊要求等。目前,齿轮和机械传动装置的发展趋势是六高、二低、二化。六高即为高承载能力、高硬度、高精度、高速度、高传动效率和高可靠性;二低即低成本、低噪声;二化即标准化、模块化(多样化)。

如何使我国从齿轮生产大国,走向世界齿轮制造强国,这就需要博采众长,吸取别人的精益部分,进而不断创新。创新是一个民族的灵魂。我们要不断改进,不断提高,形成有中国特色的民族品牌。只会“克隆”、“照搬”,则永远落后于人家。

为了适应科学技术的发展,满足教学、生产和科学研究的需求,我们编写了《实用机械传动装置设计手册》。本书的宗旨是“博采众长、荟萃精华、启迪思维、开阔视野”,坚持“技以新为贵,商以信为重,业以人为本,人以德为先”的精神,在编写时注重实用性、先进性和科学性。

本书列入各种类型的机械传动装置,主要包括圆柱齿轮传动、锥齿轮传动、蜗杆传动、行星齿轮传动、3K型行星传动、少齿差行星传动、摆线针轮传动、销齿传动、滚子活齿行星传动、起重机械传动、工程机械传动、谐波齿轮传动、高速齿轮传动、星形齿轮传动、船用齿轮传动、水泥机械传动、石化机械传动、风力发电传动、点线啮合传动、润滑与密封、螺旋传动、带传动、链传动和摩擦传动等。每一章均有设计要点、技术要求,附有典型结构图和零件图,图文并茂,供机械传动装置设计者参考。

本书由张展任主编,参编者有刘述斌、厉海祥、陈明、张弘松、张晓维、曾建峰、马凯、邵钰钊、温成珍、张汉明。全书由张展统编和统稿。

本书在编写过程中得到上海交通大学张国瑞教授,同济大学归正教授,上海理工大学崔建昆、麦云飞教授,哈尔滨工业大学焦映厚教授,江苏上齿集团董事长张焰庆,以及李运秋、陈智辉、李秋武等诸位专家的大力支持,在此深表谢意!

本书各作者虽然长期从事齿轮传动装置的研发、设计和制造工作,书中融入了他们的工作体会和实践经验,但限于水平,书中难免有不当之处,敬请广大读者批评指正。

张 展

目 录

前言

第 1 章 概论 1

- 1.1 机械传动装置的作用与分类 1
- 1.2 机械传动装置的设计 1
- 1.3 摩擦轮传动、带传动和链传动的特点与性能 3
- 1.4 各类齿轮传动的特点、性能与应用 4
- 1.5 齿轮减速器 6
- 1.6 齿轮传动术语 13
- 1.7 常用有关资料 15

第 2 章 圆柱齿轮传动装置的设计 24

- 2.1 基本齿廓及模数系列 24
- 2.2 圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 30
- 2.3 变位齿轮传动与变位系数选择 37
- 2.4 用图表法计算变位齿轮的几何参数 45
- 2.5 圆柱齿轮齿厚的测量与计算 63
- 2.6 圆柱齿轮减速器 (JB/T 8853—2001) ... 94
- 2.7 各系列圆柱齿轮减速器的特点与结构图 101
- 2.8 减速器载荷分类 105
- 2.9 减速器输入、输出轴的径向力与轴向力计算 107
- 2.10 圆柱齿轮减速器典型结构图与零件图 107
- 2.11 齿轮传动装置的设计思路 126

第 3 章 锥齿轮传动装置的设计 127

- 3.1 锥齿轮基本参数 127
- 3.2 锥齿轮传动的几何计算 133
- 3.3 锥齿轮传动的设计计算 150
- 3.4 锥齿轮结构 159
- 3.5 锥齿轮工作图上应注明的尺寸数据 160
- 3.6 锥齿轮传动装置合理安装与调整 160
- 3.7 锥齿轮传动装置典型结构图与零件图 162
- 3.8 T 系列弧齿锥齿轮传动装置 165

第 4 章 圆锥-圆柱齿轮传动装置的设计 166

- 4.1 减速器的设计程序 166
- 4.2 通用圆柱齿轮减速器的主要参数 166
- 4.3 减速器的结构与零部件设计 172
- 4.4 工业用直齿轮和斜齿轮接触强度与

弯曲强度计算方法 (GB/T 19406—2003/ISO 9085: 2002) 180

- 4.5 AGMA 直齿轮和斜齿轮接触强度与弯曲强度计算方法 (AGMA 2101—D04) 199
- 4.6 圆锥-圆柱齿轮传动装置典型结构图与零件图 210

第 5 章 蜗杆传动装置的设计 217

- 5.1 概述 217
- 5.2 圆柱蜗杆传动的主要参数 218
- 5.3 几种典型蜗杆减速器 233
- 5.4 蜗杆传动装置的铭牌、中心距与用户提供给制造者的参数 241
- 5.5 平面二次包络环面蜗杆传动的设计及其测试 243
- 5.6 蜗杆减速器附件 250
- 5.7 蜗杆传动减速器典型结构图与零件图 256

第 6 章 行星齿轮传动装置的设计 269

- 6.1 行星齿轮传动的类型 269
- 6.2 传动比的计算 272
- 6.3 行星齿轮传动齿数的选配 284
- 6.4 行星齿轮传动的变位系数选择与几何计算 304
- 6.5 均载机构 307
- 6.6 典型零件的设计与计算 320
- 6.7 行星齿轮传动的效率与测试 339
- 6.8 NGW 型行星齿轮减速器 (JB/T 6502—1993) 347
- 6.9 双排直齿行星减速器 (JB/T 6999—1993) 360
- 6.10 派生系列行星减速器 367
- 6.11 大功率、大转矩行星减速器 373
- 6.12 行星传动装置典型结构图 381
- 6.13 P 系列行星齿轮减速器 400

第 7 章 行星差动传动装置的设计 409

- 7.1 概述 409
- 7.2 四卷筒机构行星差动装置 409
- 7.3 行星差动调速的传动方式 418
- 7.4 差速器的设计特点 419
- 7.5 差速器的结构特点 420
- 7.6 行星齿轮传动的简化计算 423

7.7 根据 GB/T 19406—2003 进行的简化 计算	425	第 12 章 滚子活齿行星传动装置的设计	556
7.8 40t 卸船机四卷筒机构行星差动减速器 的设计计算	434	12.1 滚子活齿行星传动装置的传动原理、 结构形式与传动比计算	556
7.9 行星差动传动装置典型结构图与 零件图	445	12.2 滚子活齿行星传动的啮合齿廓	558
第 8 章 3K (NGWN) 型行星齿轮 传动装置的设计	453	12.3 滚子活齿行星传动的参数计算	560
8.1 3K 型行星齿轮传动的传动比计算	453	12.4 滚子活齿行星传动中作用力的分析	563
8.2 3K 型行星齿轮传动齿数的选配	454	12.5 滚子活齿行星减速装置的强度计算	564
8.3 3K 型行星齿轮传动的强度计算	462	12.6 滚子活齿行星减速器的效率测定	566
8.4 3K 型行星齿轮传动的效率	464	12.7 主要零件的加工工艺与工作图	567
8.5 3K 型行星齿轮传动典型结构图	470	12.8 滚子活齿行星传动的典型结构图	568
第 9 章 渐开线少齿差行星传动装置的 设计	472	第 13 章 起重机传动装置的设计	571
9.1 概述	472	13.1 类型、特点及应用	571
9.2 传动形式及其传动比计算	472	13.2 设计原则与依据	571
9.3 少齿差内啮合齿轮副的干涉与变位系数 的选择	481	13.3 起重机用底座式硬齿面减速器 (JB/T 10816—2007)	575
9.4 零齿差输出机构的设计与制造	485	13.4 起重机用三支点硬齿面减速器 (JB/T 10817—2007)	585
9.5 齿轮几何参数及尺寸选用表	491	13.5 起重机用三合一减速器 (JB/T 9003—2004)	590
9.6 少齿差行星齿轮传动的强度 计算	494	13.6 运输机械用减速器 (JB/T 9002—1999)	592
9.7 少齿差行星传动的主要零件图	499	13.7 起重机的起升装置	596
9.8 渐开线少齿差行星减速器设计	501	13.8 起重机典型传动装置结构图	599
9.9 少齿差典型传动结构图	508	第 14 章 工程机械齿轮传动装置的 设计	604
第 10 章 摆线针轮传动装置的设计	524	14.1 工程机械齿轮产品的概况	604
10.1 概述	524	14.2 工程机械齿轮技术的发展趋势	606
10.2 我国摆线针轮行星减速器制造工作的 进展及标准的制定	525	14.3 国内工程机械齿轮传动技术与国外的 差距	606
10.3 摆线针轮行星传动技术在我国 的发展	526	14.4 轮边减速器的设计	607
10.4 机器人用 RV 传动	529	14.5 立式行星回转减速器	622
10.5 摆线针轮行星传动的技术要求	531	14.6 动力换挡变速器	626
10.6 摆线针轮行星减速器的装配	536	14.7 行星齿轮传动在工程上的应用	632
10.7 摆线针轮行星减速器的典型结构及 主要零件工作图	537	第 15 章 齿轮联轴器的设计	635
第 11 章 销齿传动装置的设计	545	15.1 中、低速鼓形齿联轴器的设计	635
11.1 销齿传动的特点与应用	545	15.2 高速齿轮联轴器的设计	644
11.2 销齿传动的工作原理	545	15.3 典型产品介绍	648
11.3 销齿传动的几何计算	546	15.4 花键连接	651
11.4 销齿传动的强度计算	548	15.5 胀套连接	668
11.5 销齿传动公差	549	第 16 章 谐波齿轮传动装置	673
11.6 销轮轮缘的结构形式	550	16.1 谐波齿轮传动的工作原理	673
11.7 齿轮齿形的绘制	550	16.2 谐波齿轮减速器的应用	674
11.8 设计实例与典型工作图	551	16.3 主要加工生产企业及产品	674
		16.4 国外谐波齿轮减速器发展状况	674
		16.5 谐波齿轮减速器的研究方向与发展	

趋势	675	22.2 产品的技术水平分析	768
第 17 章 高速齿轮传动装置的设计	676	22.3 齿轮传动技术的发展趋势	768
17.1 我国高速齿轮发展的概况	676	22.4 水泥磨行星齿轮减速器	768
17.2 产品水平分析	677	22.5 功率分流辊轴传动水泥磨减速器	772
17.3 产品与市场展望	677	第 23 章 煤矿机械齿轮传动装置的设计	776
17.4 高速齿轮传动的基本形式	678	23.1 煤矿机械齿轮传动装置的特点	776
17.5 高速齿轮传动的主要用途	680	23.2 采煤机齿轮传动装置	776
17.6 高速渐开线圆柱齿轮箱 (JB/T 7514—1994)	686	23.3 煤巷掘进机齿轮传动装置	778
17.7 GY 型高速圆弧圆柱齿轮增(减)速器	691	23.4 输送机齿轮传动装置	781
17.8 齿轮喷油设计	694	23.5 目前我国水平与差距	782
17.9 电厂用运行中汽轮机油质量标准 (GB/T 7596—2008)	696	23.6 矿用刮板输送机减速器的设计	782
17.10 高速齿轮运行质量评价	698	第 24 章 石油化工机械齿轮传动装置的设计	785
17.11 液体动压润滑轴承的设计	699	24.1 透平压缩机用齿轮装置	785
第 18 章 星形齿轮传动装置的设计	719	24.2 石化泵用齿轮装置及备件	786
18.1 星形齿轮传动形式及其特点	719	24.3 搅拌釜用立式减速器	786
18.2 浮动均载机构	720	24.4 石油钻机、抽油机用齿轮减速器	787
第 19 章 航空齿轮传动装置	730	24.5 沉降离心机用齿轮差速器	788
19.1 发展概况	730	24.6 离心行星差速器	789
19.2 现有水平	730	24.7 双螺杆挤出机的传动装置	791
19.3 硬件资源	731	24.8 釜用减速器	796
19.4 端面齿轮传动在直升机上的应用	731	24.9 NLQ 型冷却塔专用行星齿轮减速器 (JB/T 7345—1994)	801
19.5 Cylkro 面齿轮传动	732	24.10 碱厂澄清桶搅拌机上的蜗杆-齿轮 行星减速器	803
19.6 行星齿轮传动在航空中的应用	733	第 25 章 铁道机车动车传动装置	807
第 20 章 船用齿轮传动装置的设计	735	25.1 和谐型大功率机车齿轮传动装置	807
20.1 产品概况及传动技术的发展	735	25.2 CRH 动车组齿轮传动装置	808
20.2 船用齿轮传动装置的形式	737	25.3 机车动车齿轮的设计与制造	809
20.3 船用减速器的一般要求	739	25.4 机车分动箱传动图	810
20.4 船用柴油机减速器	740	第 26 章 风力发电齿轮传动装置的设计	811
20.5 船用涡轮机减速器	743	26.1 我国风电技术的发展概况	811
20.6 船用燃气轮机与柴油机联合动力传动 装置	746	26.2 风电技术的发展趋势	811
20.7 多分支齿轮传动装置	747	26.3 风电齿轮增速器的技术水平	812
20.8 船用低噪声减速器设计	749	26.4 风力发电机组的传动装置	813
20.9 船舶主推进系统减速齿轮	750	26.5 几种风电传动装置介绍	813
第 21 章 冶金矿山机械齿轮传动装置的设计	754	26.6 设计中的几个问题	815
21.1 目前产品的技术水平	754	26.7 制造中的几个问题	818
21.2 产品的应用及其发展趋势	756	26.8 试验与测试	819
21.3 矿井提升机齿轮传动装置	756	26.9 风电齿轮增速器的结构图	819
21.4 单绳缠绕式提升机用减速器	757	26.10 风力发电机组传动装置应用实例	826
21.5 多绳摩擦式提升机用减速器	761	第 27 章 点线啮合齿轮传动装置的设计	827
第 22 章 水泥机械齿轮传动装置的设计	765		
22.1 现有产品的概况	765		

27.1 概述	827	30.4 稀油集中润滑系统	910
27.2 点线啮合齿轮传动的几何参数和 主要尺寸计算	830	30.5 润滑与冷却	940
27.3 点线啮合齿轮传动的参数选择及 封闭图	832	30.6 密封件	952
27.4 点线啮合齿轮的强度计算	833	30.7 润滑系统的管路附件	966
27.5 减速器计算实例	835	第31章 螺旋传动的设计	977
27.6 点线啮合齿轮传动典型结构图与 零件图	838	31.1 螺旋传动的类型及应用	977
第28章 齿轮传动装置的安装与调试	841	31.2 滑动螺旋传动	979
28.1 齿轮传动装置的装配与调整	841	31.3 螺旋传动的强度计算	988
28.2 减速器加载试验方法	845	第32章 带传动的设计	990
28.3 齿轮装置的验收规范	853	32.1 带传动的类型、特点与应用	990
28.4 齿轮噪声及其控制	869	32.2 V带传动的设计	992
28.5 液力偶合器的合理安装与调整	872	32.3 带轮及典型工作图	1013
28.6 减速器的润滑	874	第33章 链传动的设计	1015
28.7 安装与使用及维护	876	33.1 常用传动链的类型、结构特点与 应用	1015
第29章 齿轮常用材料及其性能	878	33.2 滚子链传动的设计	1016
29.1 齿轮常用钢	878	33.3 滚子链链轮	1026
29.2 常用调质齿轮钢截面与力学性能	888	33.4 链传动的布置及其维护	1034
29.3 中外钢号对照	890	33.5 链传动中所产生的故障及其对策	1035
29.4 合金元素对钢的性能影响	893	第34章 摩擦传动的设计	1036
第30章 润滑方式与装置	895	34.1 概述	1036
30.1 润滑方法与装置及原理	895	34.2 摩擦传动的设计	1036
30.2 一般润滑件	897	34.3 摩擦传动在工业上的应用——无级 变速传动	1039
30.3 集中润滑系统的分类与图形符号	907	参考文献	1042

第1章 概 论

传动技术是将各种形式的能量进行传递、分配、控制和变化运动形态的一种技术。它主要包括机械传动技术、电气传动技术、气体传动技术、液体传动技术等。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的基础性关键技术，大力推动传动技术的发展意义重大。

1.1 机械传动装置的作用与分类

众所周知，一台机器通常由三个基本部分组成，即动力机、传动装置和工作机构。此外，根据机器工作需要，可能还有控制系统和润滑、照明等辅助系统。机械传动装置是指将动力机产生的机械能以机械的方式传送到工作机构上去的中间装置。机械传动装置能分别起以下作用：

- 1) 改变动力机的输出速度（减速、增速或变速），以适合工作机构的工作需要。
- 2) 改变动力机输出的转矩，以满足工作机构的要求。

要求。

3) 把动力机输出的运动形式转变为工作机构所需的运动形式（如将旋转运动改变为直线运动，或反之）。

4) 将一个动力机的机械能传送到数个工作机构，或将数个动力机的机械能传递到一个工作机构。

5) 其他的特殊作用，如有利于机器的装配、安装、维护和安全等而采用机械传动装置。

机械传动装置是机械传动机构的具体产品。机械传动的种类很多，并可从不同角度将其分类。常用的机械传动分类如图 1-1 所示。图 1-1 的各种机械传动形式还可按不同特征细分，如按齿廓曲线不同，可将齿轮传动分为渐开线、圆弧、摆线齿轮等。此外，也可以从其他角度将机械传动分类，例如按能量的流动路线分为单流传动和多流传动等。

机械传动装置主要是由传动元件（齿轮、带、链等）、轴、轴承和机体等组成。此外，联轴器、离合器、制动器等组件在完成机械能的传送和停止等方面起到了重要的作用。

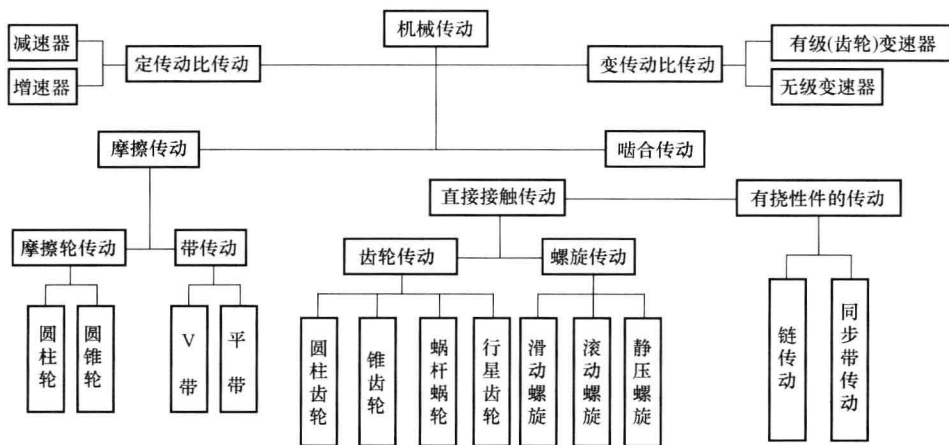


图 1-1 机械传动的分类

1.2 机械传动装置的设计

机械传动装置的选用是比较复杂的工作，它需要考虑从动力机到工作机多方面的因素，经细致分析对比后才能作出合理的选择。通常以下几方面是选择机械传动装置类型的基本依据：

- 1) 工作机构的工况和性能参数。
- 2) 动力机的性能及与动力机匹配对传动装置的要求。

要求。

3) 综合分析不同类型传动装置的初始费用、运转费用和维修费用，使所选的传动装置具有良好的经济性。

4) 能符合安全和环境保护（减振、降噪等）方面的要求。

5) 对传动装置的参数进行优化，结构优化，传动元件（如齿轮、带、链、轴、轴承和机体）满足

强度、刚度、稳定性的要求，使产品性能满足使用功能的需求。

6) 使用和控制方便、可靠。

在现代的机器设计中，为了优化机器的最佳设计方案，传动方案的选定都是同动力机的选择、工作机构的确定通盘考虑的。传动装置的选用并没有一成不变的程序，而要根据不同机器的具体条件和复杂程度，经多方案的分析比较才能确定。

以下几方面是在选定传动装置时必须考虑的：

1) 功率范围。各种机械传动都有各自最合理的功率范围，例如摩擦轮传动不适于传递大功率，而圆柱齿轮传动传递的功率可达数万千瓦。因此，要在最合理的功率范围内来选择传动装置的类型。

2) 速度。受运转时发热、振动、噪声或制造精度等条件的限制，各种传动装置的极限速度（转速）虽然在不断提高，但考虑经济性后，其合理的速度范围还是存在的。例如 V 带传动受带与带轮间产生的气垫、带体发热和离心力的限制，其最高的带速为 $25 \sim 30 \text{ m/s}$ ；如果带速过低，带的根数将增加过多，这也是不可取的。圆柱齿轮的允许圆周速度要比锥齿轮的高得多（详见表 1-3）。

3) 传动比范围。各种机械传动单级传动比的合理范围差别很大，这是由于传动装置的结构条件有很大不同引起的。例如，圆柱齿轮传动，通常其传动比 $i \leq 10$ ，而单级谐波传动，其传动比 i 可达 500。因此，按合理的传动比范围来选用传动装置类型是重要的。

4) 传动效率。对于小功率传动，其传动效率的高低一般不太引人注意；但对于大功率的传动，其传动效率对能源的消耗和运转费用的影响举足轻重。因此在这种情况下，传动效率高的传动类型就应该是首选的。表 1-1 给出了各种机械传动效率的概略值。

5) 寿命。机械传动装置的寿命主要表现在疲劳寿命和磨损寿命两方面，在设计机械传动装置时，一般都作了详细的考虑和计算，但由于各种传动装置受本身的结构条件和制造水平的限制，其寿命仍有较大差别。例如，一般的滑动螺旋传动就比滚动螺旋磨损快、寿命短；低速的蜗杆传动，由于不能形成较好的油膜，所以传动件磨损快、寿命短。

6) 外廓尺寸。在相同的传动功率和速度下，采用不同种类的传动装置，其外廓尺寸可以相差很大（质量也可以相差很大）。图 1-2 为功率 $P = 135 \text{ kW}$ ，传动比 $i = 4$ （转速相同）的不同种类传动的大致外廓尺寸比较情况。由图可见，如果受安装空间限制，要求结构紧凑时，就不宜采用带传动和链传动。相反，如果由于布置上的原因，要求主、从动轴之间的距离较大时，就应该采用带传动或链传动，而不宜采用齿轮传动。

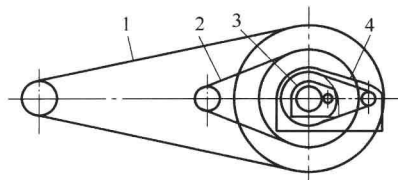


图 1-2 几种传动类型外廓尺寸比较

1—平带传动 2—V 带传动 3—齿轮传动 4—链传动

7) 变速要求。通常采用有级变速或无级变速传动装置可以满足机器的变速要求。有级变速常采用圆柱齿轮传动，或采用带、链的塔轮机构来实现有级变速。无级变速最常用的是摩擦式无级变速器，它有结构紧凑、传动平稳、噪声低等优点，但传递的功率不能太大，寿命也较短。

8) 价格。传动装置的初始费用主要决定于价格，这是在选用传动装置类型时必须考虑的经济因素。例如，在生产水平与给定的传动类型制造要求相适应的条件下，齿轮传动和蜗杆传动的价格较高，带传动约为齿轮传动价格的 $60\% \sim 70\%$ ，而摩擦传动的价格较低。同为齿轮传动，采用硬齿面的传动装置要比软齿面的价格高得多。

在实际的传动装置选用过程中，以上几方面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，要求传动效率高的传动装置，其制造精度就要高，其价格必然不低；要求外廓尺寸紧凑的传动装置，一般都采用优质材料制造，其价格必然较高。因此，在选择传动装置类型时，要根据机器的工况、技术要求，考虑技术经济的合理性，对可能适用的多种传动类型，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，以期设计最佳的机械传动装置类型。

表 1-1 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	很好磨合的 6 级精度和 7 级精度齿轮传动(稀油润滑)	0.98 ~ 0.995
	8 级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	0.97
	9 级精度的齿轮传动(稀油润滑)	0.96
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	0.94 ~ 0.96
	铸造齿的开式齿轮传动	0.88 ~ 0.92

(续)

类 别	传 动 形 式	效率 η
锥齿轮传动	很好磨合的6级精度和7级精度齿轮传动(稀油润滑)	0.97 ~ 0.98
	8级精度的一般齿轮传动(稀油润滑)	0.94 ~ 0.97
	加工齿的开式齿轮传动(干油润滑)	0.92 ~ 0.95
	铸造齿的开式齿轮传动	0.88 ~ 0.92
蜗杆传动	自锁蜗杆	0.40 ~ 0.45
	单头蜗杆	0.70 ~ 0.75
	双头蜗杆	0.75 ~ 0.82
	三头和四头蜗杆	0.82 ~ 0.92
	环面蜗杆传动	0.85 ~ 0.95
带传动	平带无压紧轮的开式传动	0.98
	平带有压紧轮的开式传动	0.97
	平带交叉传动	0.90
	V带传动	0.95
链轮传动	焊接链	0.93
	片式关节链	0.95
	滚子链	0.96
	无声链	0.98
滑动轴承	润滑不良	0.94
	润滑正常	0.97
	润滑特好(压力润滑)	0.98
	液体摩擦	0.99
滚动轴承	球轴承(稀油润滑)	0.99
	滚子轴承(稀油润滑)	0.98
摩擦传动	平摩擦传动	0.85 ~ 0.96
	槽摩擦传动	0.88 ~ 0.90
	卷绳轮	0.95
联轴器	浮动联轴器	0.97 ~ 0.99
	齿式联轴器	0.99
	弹性联轴器	0.99 ~ 0.995
	万向联轴器($\alpha \leq 3^\circ$)	0.97 ~ 0.98
	万向联轴器($\alpha > 3^\circ$)	0.95 ~ 0.97
	梅花接轴	0.97 ~ 0.98
复合轮组	滑动轴承($i=2 \sim 6$)	0.90 ~ 0.98
	滚动轴承($i=2 \sim 6$)	0.95 ~ 0.99
减(变)速器 ^①	单级圆柱齿轮减速器	0.97 ~ 0.98
	二级圆柱齿轮减速器	0.95 ~ 0.96
	单级行星圆柱齿轮减速器(NGW类型负号机构)	0.96 ~ 0.98
	单级行星摆线针轮减速器	0.90 ~ 0.97
	单级锥齿轮减速器	0.95 ~ 0.96
	二级圆锥-圆柱齿轮减速器	0.94 ~ 0.95
丝杠传动	滑动丝杠	0.30 ~ 0.60
	滚动丝杠	0.85 ~ 0.95

① 滚动轴承的损耗考虑在内。

1.3 摩擦轮传动、带传动和链传动的特点与性能

表1-2所列的摩擦轮传动、带传动和链传动的

特点(优缺点)和性能可供选用传动装置类型时参考。这些传动,目前尚无完整的、标准化的产品系列,因此在设计机器时,都是在选定传动类型后再进行具体的传动装置设计,以满足机器传动的要求。

表 1-2 摩擦轮传动、带传动和链传动的特点和性能

类别	特 点	功率 P /kW	速度 v /(m/s)	效率 η	单级传 动比 i	寿命 /h	应用 举例
摩擦 轮传 动	结构简单,运转平稳、噪声小,可用作无级变速传动,有过载保护作用。接触作用力大,有滑动,磨损较快	一般 ≤ 20 最大 200	一般 ≤ 25 最高 50	0.85 ~ 0.92	一般 ≤ 7 有卸载装 置 ≤ 15	取决于接 触 强度和抗磨 损 能力	摩 擦 压 力 机、机械无级 变速器及某些 仪器等
带 传 动	结构简单,轴间距范围大,运转平稳、噪声小,能缓和冲击,有过载保护作用(同步带除外),安装、维护要求不高,成本低。外廓尺寸大,摩擦型带有滑动,易摩擦起电,作用在轴上的力大,带的寿命较短	平带 ≤ 3500 V 带 ≤ 4000 同步带 ≤ 400	平带 ≤ 120 V 带 ≤ 40 同步带 ≤ 100	平带 0.94 ~ 0.98 V 带 0.90 ~ 0.94 同步带 0.96 ~ 0.98	平带 ≤ 5 V 带 ≤ 8 同步带 ≤ 8	一般 V 带 3500 ~ 5000 优质 V 带 可达 20000	金属切削机 床、输送机、通 风机、纺织和 办公机械等
链 传 动	结构简单,轴间距范围大,传动比恒定,能在恶劣环境下工作,工作可靠,作用在轴上的力小。瞬时速度不均匀,不如带传动平稳,链磨损伸长后易产生振动、掉链	一般 ≤ 200 最大 4000	一般 ≤ 20 最大 40	0.92 ~ 0.98	一般 ≤ 8 最大 10	5000 ~ 15000	农 业 机 械、 石油、矿山、运 输、起重和纺 织等机械

1.4 各类齿轮传动的特点、性能与应用

齿轮传动的种类很多,常用齿轮传动的特点、性能和应用举例见表 1-3。

表 1-3 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)	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	已达 210, 实 验 室 已 达 300	0.98 ~ 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	接触强度高于渐开线齿轮,而弯曲强度稍差;没有根切现象;只能做成斜齿;对中心距的敏感性比渐开线齿轮大;噪声稍大	已达 6000	已达 110	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
	除具有单圆弧齿轮的优点外,弯曲强度比单圆弧齿轮高;可用一把滚刀加工相同模数的齿轮;传动质量比单圆弧齿轮好	已达 6000	已达 110	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
锥 齿 轮 传 动	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
	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	
	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 746	> 5 ,磨齿 可达 50	0.97 ~ 0.995	< 8	汽车、拖拉机 驱动桥、通用圆 锥圆柱齿轮减 速器

(续)

名 称		主要特点	功率 P /kW	速度 v /(m/s)	效率 η	单级传动比 i	应用举例
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	<30	0.9 ~ 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 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、锥面包络,渐开面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。制造工艺要复杂一些	<4500	一般 <15	比普通圆柱蜗杆高	5 ~ 100	轧机压下装置、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,质量轻,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	与渐开圆柱齿轮大致相同,但高于定轴传动	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
少齿差传动	渐开线少齿差	结构简单,齿轮加工容易,价格较低,但转臂轴承承受径向力较大。能承受过载冲击的能力较强,寿命较长	一般 ≤ 55 ,最大达 100	一般高速轴转速小于 1800r/min	一般 0.7 ~ 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	多齿啮合,承载能力高,运转平稳,故障少,寿命长,结构紧凑,但制造成本较高。主要零部件加工精度要求高,齿形检测困难,大直径摆线轮加工困难	一般 < 100,最大达 220		0.85 ~ 0.92	常用 11 ~ 87 通常为 6 ~ 119 三级传动可达 10^5	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	其结构形式与摆线少齿差传动基本相同,其特点在于:行星轮的齿廓曲线改为凹圆弧,它与针齿的曲率半径相差很小,从而提高了接触强度	<30			11 ~ 71	矿山运输、轻工、纺织、印染机械

(续)

名 称		主要 特点	功率 P /kW	速度 v /(m/s)	效率 η	单级传 动比 i	应用 举例
少 齿 差 传 动	活齿少齿差	固定齿圈上的齿形制成圆弧或其他曲线,行星轮上的各轮齿改用单个的活动构件(如滚珠),当主动偏心盘驱动时,它们将在输出盘上的径向槽孔中活动,形成输出轴运转	<18		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、质量轻;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		0.7 ~ 0.9	<500	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		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

1.5 齿轮减速器

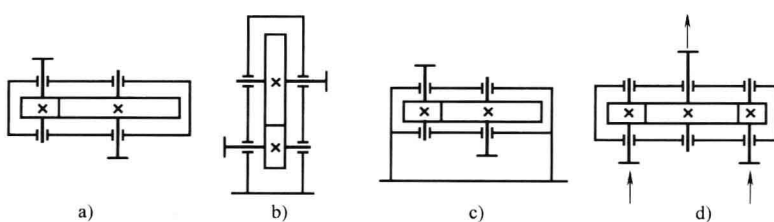
1. 齿轮减速器的主要类型和特点

各类齿轮传动(见表 1-3)的产品化就成为不同类型的齿轮传动装置,其中最常用的是齿轮减速器。由于减速器的齿轮传动件装在刚性较好且封闭的箱体中,可以保证轴有较精确的相对位置、良好

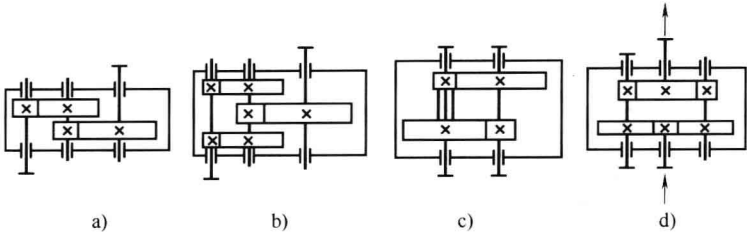
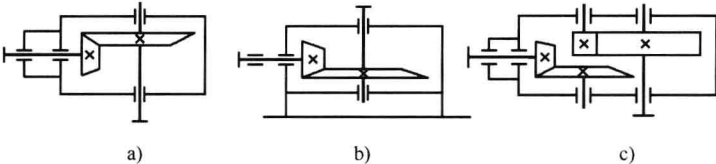
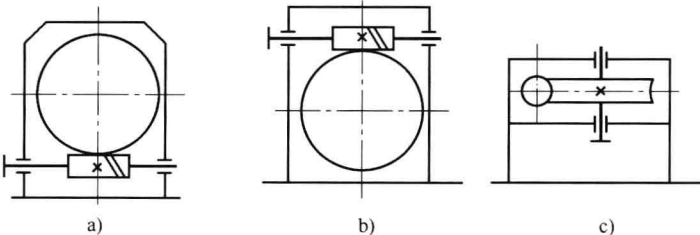
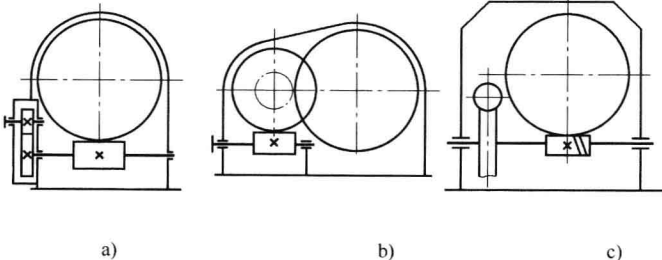
的润滑条件,因此齿轮传动的寿命和工作的可靠性就容易得到满足。

减速器的类型很多,常用的类型和特点如表 1-4 所列。本手册中的大部分减速器都已有系列标准可供选用;但在设计减速器时,必须比较不同类型减速器的传动效率、外廓尺寸、质(重)量和成本等。只有经过仔细的分析对比,才可能设计出最适用的减速器。

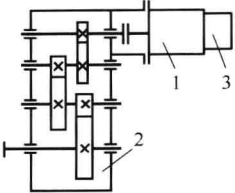
表 1-4 减速器的主要类型和特点

类型	机构简图和特点
一级圆柱齿轮减速器	 a) 水平轴卧式 b) 水平轴立式 c) 立轴式 d) 汇流式 齿轮可用直齿、斜齿或人字齿,一般 $i < 7$。大小功率、高低速传动均适用。制造精度易保证,传动效率高。汇流式常用于大功率设备,如水泥磨、船用减速器等

(续)

类型	机构简图和特点
二级圆柱齿 轮减速器	 a) 展开式 b) 分流式 c) 同轴式 d) 同轴分流式 可用直齿、斜齿或人字齿轮,一般总传动比 $i=7\sim 50$,展开式结构简单,应用最广,但齿轮非对称布置,易产生轮齿偏载。分流式由于齿轮对称布置,一定程度上减轻了轮齿偏载,故适用于大功率的传动。同轴式的输入和输出轴在同一轴线上,缩小了减速器的长度,但轴向宽度有所增加,中间轴的刚度较差。同轴分流式由于功率分左右两股力流传递,减小了啮合轮齿上的载荷,并且输入轴和输出轴只受转矩作用,因此可缩小减速器的尺寸,但要有合适的均载机构
一级圆锥和 二级圆锥- 圆柱齿轮 减速器	 a) 一级圆锥 b) 一级圆锥 c) 二级圆锥-圆柱 水平轴式 立轴式 水平轴式 锥齿轮可用直齿、斜齿和曲线齿,其传动比一般小于5。圆柱齿轮可用直齿、斜齿。一般总传动比 $i=6\sim 40$。锥齿轮制造和装配较复杂,成本高。通常都将锥齿轮配置在高速级,以便减小锥齿轮的尺寸。它们用于要求输入轴与输出轴相互垂直的场合
一级蜗杆 减速器	 a) 蜗杆下置式 b) 蜗杆上置式 c) 蜗杆侧置式 蜗杆减速器结构简单、紧凑,但传动效率较低,适用于中小功率、间歇运转的场合。下置式对蜗杆和轴承的润滑和冷却都较好,但搅油损失较大,适用于蜗杆圆周速度 $v<5\text{m/s}$ 的场合。上置式可用于 $v>5\text{m/s}$ 的场合,但蜗杆轴承润滑不方便。侧置式的蜗轮轴是垂直的,能满足特殊的需要,但密封要求高
齿轮-蜗杆 和双蜗杆 减速器	 a) 齿轮-蜗杆式 b) 蜗杆-齿轮式 c) 双蜗杆式 这种减速器的结构复杂、但能得到较大的传动比,a)、b)两种形式,传动比 $i=60\sim 90$;双蜗杆的传动比可以更大,但传动效率低。a)、b)两种形式中,齿轮置于高速级,结构比较紧凑,蜗杆置于高速级,则传动效率较高

(续)

类型	机构简图和特点	
行星齿轮类减速器	这类减速器(包括普通行星齿轮减速器、各种小齿差减速器、谐波齿轮减速器和三环减速器等)可以做成单级、双级和多级的,其传动比范围大,结构紧凑,外廓尺小,质量轻,承载能力大;但是结构复杂,制造精度要求高,装配和检修较困难,价格较高	
三合一减速器		这种减速器集齿轮减速器 1、电动机 2 和制动器 3 于一体,结构紧凑。采用特殊的异步电动机,在切断电源后,电动机能产生制动力矩,使机器迅速停转。减速器可制成三级、二级或垂直轴布置。其常用于起重机的运行机构中
专用减速器	专用减速器都是为满足某些行业特殊要求而设计制造的,因此其结构形式多种多样,没有规定,可以减速、增速、分流、汇流、水平、垂直等;传动比、传动功率和转速范围都有很大差别。一般都单件生产,因此其价格比成批生产的通用减速器高。本手册中的专用减速器有水泥磨减速器、矿井提升机减速器、冶金设备减速器和甘蔗压榨机减速器等	

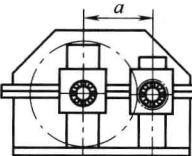
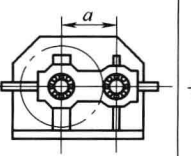
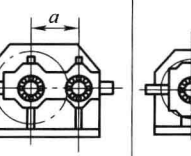
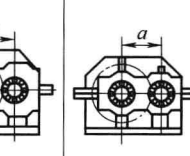
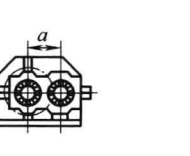
2. 不同材质齿轮减速器的比较

减速器的承载能力主要决定于齿轮的几何尺寸参数和齿轮的材质(材料种类和热处理工艺)。制造齿轮的常用材料有球墨铸铁、优质碳钢和合金钢等;热处理工艺主要有正火、调质、表面淬火、渗碳淬火和氮化等。齿轮减速器通常按齿面硬度不同分为软齿面(齿面硬度一般小于 300HBW)、中硬齿面(齿面硬度一般为 300~350HBW)和硬齿面(齿面硬度大于 350HBW)三种类型,其承载能力和价格差别很大(在齿轮几何尺寸相同时)。其中合金钢渗碳淬火硬齿面齿轮(齿面硬度为 58~62HRC)可以说是当今齿轮减速器技术的重要发展方向之一。渗碳淬火齿轮由于抗齿面疲劳(点蚀、剥落)的强度高,齿根弯曲强度也高,因此齿轮的结构尺寸和质量都比软齿面(正火、调质)齿轮小,随之箱体的

尺寸和质量也相应减小(但轴承的尺寸和质量不减小)。虽然渗碳淬火齿轮通常都采用较昂贵的材料(一般都采用合金钢)、成本较高的硬化工艺和加工方法(如磨齿等),但由于有上述一系列的优点,目前在新设计的换代减速器产品中,已得到广泛的应用。

不同材质齿轮减速器的对比见表 1-5。该表中,设计减速器的基本参数如下:小齿轮公称转矩 $T_1=21400\text{N}\cdot\text{m}$, 转速 $n_1=500\text{r/min}$, 传动比 $i=3$, 使用系数 $K_A=1.25$, 点蚀最小安全系数 $S_{H\min}=1.3$, 弯曲最小安全系数 $S_{F\min}=2.3$ 。表 1-5 中的材料牌号和价格百分比等与我国情况均有不同,但其对比的各项,如中心距、结构尺寸、轴承质(重)量和总质(重)量等,对减速器选用者来说都有很好的参考价值。

表 1-5 不同材质齿轮减速器的对比

材料 ^①	大、小齿轮: C45	大、小齿轮: 42CrMo4	小齿轮:20MnCr5 大齿轮:42CrMo4	大、小齿轮: 31CrMoV9	大、小齿轮: 34CrMo4	大、小齿轮: 20MnCr5
热处理	正火	调质处理	小齿轮:渗碳硬化 大齿轮:调质处理	气体氮化	齿廓感应硬化	渗碳硬化
加工	滚切	滚切	小齿轮:磨削 大齿轮:滚切	精铣	铣削,研磨	磨削
中心距 a/mm 模数 m/mm	$\frac{830}{10}$	$\frac{650}{10}$	$\frac{585}{10}$	$\frac{490}{10}$	$\frac{470}{14}$	$\frac{390}{10}$
结构尺寸 (焊接箱体)						
滚动轴承 质量/kg	95	95	95	105	105	120

(续)

材料 ^①	大、小齿轮： C45	大、小齿轮： 42CrMo4	小齿轮：20MnCr5 大齿轮：42CrMo4	大、小齿轮： 31CrMoV9	大、小齿轮： 34CrMo4	大、小齿轮： 20MnCr5
总质量/kg	8505	4860	3465	2620	2390	1581
总质量百分比	174%	100%	71%	54%	49%	33%
价格百分比	132%	100%	85%	78%	66%	63%
点蚀安全系数 S_H	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6
弯曲安全系数 S_F	6.1	5.7	3.9	2.3	2.3	2.3

注：表中材料对应我国牌号为：C45-45 钢，42CrMo4-42CrMo，20MnCr5-20CrMn，31CrMoV9-35CrMoV，34CrMo4-35CrMo。

3. 减速器的发展概况

不同时期减速器的质量 G 和输出转矩 T_2 的比值，如图 1-3 所示，反过来也可理解为每吨质量 G 可传递的转矩大小。

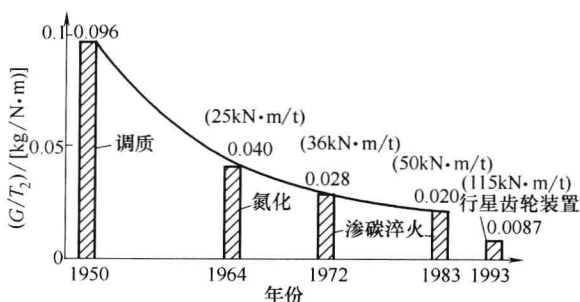


图 1-3 不同时期减速器的质量 G 和输出转矩 T_2 的比值

注：括号内的值是 T_2/G ，余同。

我国 2K-H（NGW）型行星齿轮减速器的水平：JB/T 6502—1993 标准的 NGW 型行星齿轮减速器承载能力为 $60kN \cdot m/t$ 。

弗兰德公司通用减速器的发展概况如图 1-4 所示。我国发展情况与此相仿，但还滞后一些。

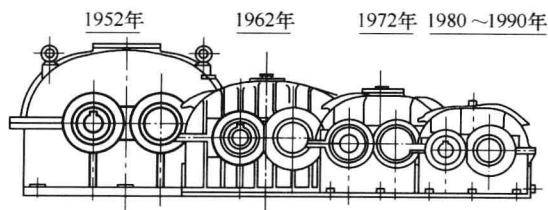


图 1-4 弗兰德（Flender）公司通用减速器的发展情况

4. 行星齿轮传动的发展概况

我国是发明齿轮和应用齿轮传动最早的国家。早在西汉时代（约 1 世纪）已应用了铸铜齿轮；东汉时代（公元 78 ~ 139 年）张衡已用了较复杂的齿

轮系。特别是在行星差动传动方面，我国早在南北朝时代（公元 429 ~ 500 年），世界闻名的伟大科学家祖冲之就发明了具有锥齿轮行星差动传动的指南车，如图 1-5 所示。这种由锥齿轮组成的行星差动传动能保证“圆转不穷，而司方如一”。因此，我国行星差动传动的应用比欧美各国早一千三百多年。

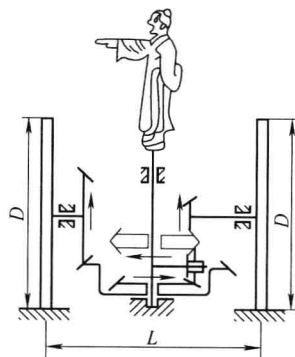


图 1-5 具有锥齿轮行星差动传动的指南车

1880 年，德国出现了第一个行星齿轮传动装置的专利。19 世纪以来，机械工业特别是汽车和飞机工业的发展，对行星齿轮传动的发展有很大影响。1920 年，首次成功制造出行星差动传动装置，并首先用作汽车的差速器。从 1938 年开始，集中发展汽车用的行星差动传动装置。第二次世界大战后，高速大功率船舶、透平发电机组、透平压缩机组、航空发动机及工程机械的发展，促进了行星齿轮传动的发展。

高速大功率行星齿轮传动的实际应用，于 1951 年首先在德国获得成功。1958 年后，英、意、日、美、前苏联、瑞士等国亦获得成功，均有系列产品，并已成批生产，普遍应用，见表 1-6 世界各国行星减速器基本特性。英国 Allen 齿轮公司生产的压缩机用行星齿轮减速器，功率 $P = 25740kW$ ；德国 Renk 公司生产的船用行星减速器，功率 $P = 11030kW$ 。