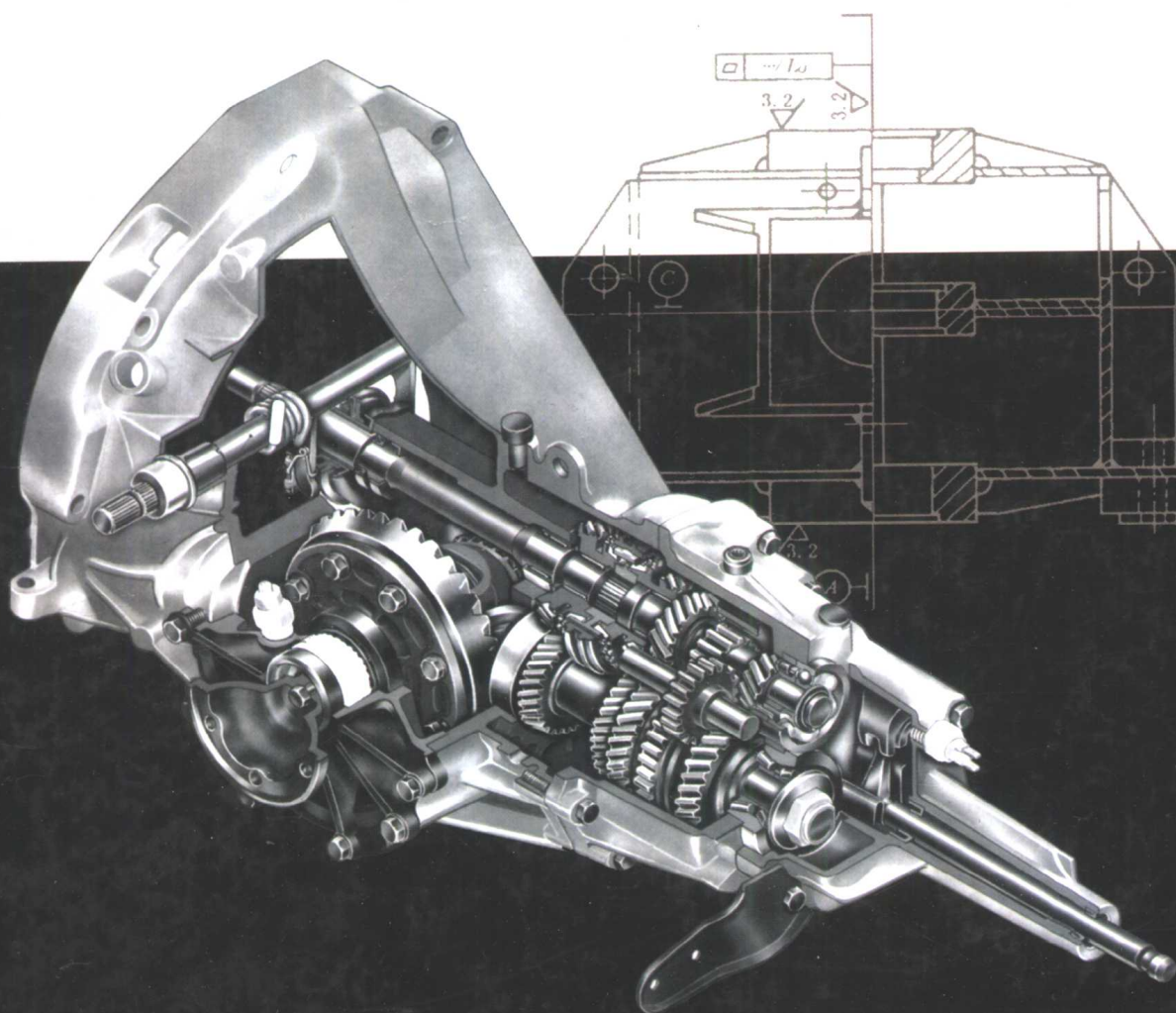


# 减速器设计 选用手册

张展 主编

叶少华 韩为峰 副主编



上海科学技术出版社

# 减 速 器 设 计 选 用 手 册

张 展 主 编

叶少华 副主编

韩为峰

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

本手册分十章进行论述,主要内容为减速器概论、通用定轴轮系减速器、通用行星齿轮减速器、专用定轴轮系减速器、专用行星齿轮减速器、特殊用途行星齿轮减速器、润滑与密封、减速器的技术要求、减速器附件、减速器的合理使用与维护等。本手册列入国家最新的产品标准,以及被替代的标准号,便于设计人员参照选用;同时列入了国内外最新技术,如国内外常用材料对照、国内外齿轮润滑油对照等。由于我国加入了世贸组织(WTO),国际交往日益增多,本手册将起到一定的启迪作用。

### 图书在版编目(CIP)数据

减速器设计选用手册/张展主编;叶少华,韩为峰副  
主编.—上海:上海科学技术出版社,2002.5  
ISBN 7-5323-6213-2

I.减... II.①张... ②叶...③韩... III.减速装  
置—技术手册 IV.TH132.46-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 011663 号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

苏州市望电印刷厂印刷 新华书店上海发行所经销

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 36.75 插页 4 字数 884 000

印数 1-3 200 定价:68.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向本社出版科联系调换

# 前 言

减速器在原动机与工作机之间起匹配转速和传递转矩的作用,在现代机械中应用极为广泛。

当今,世界减速器技术有了很大的发展,总的发展趋势是向六高、两低、两化方向发展。六高即高承载能力、高齿面硬度、高精度、高速度、高可靠性和高传动效率;两低即低噪声、低成本;两化即标准化、多样化。

近年来,我国相继制订了 60 多种齿轮和蜗杆减速器标准,研制了许多新型减速器,这些产品基本都达到了 20 世纪 80 年代的国际水平。目前,我国可设计制造 2 800 kW 的水泥磨减速器、1 700 mm 轧钢机的各种齿轮减速器;最大功率已达 42 000 kW,齿轮圆周速度达 150 m/s 以上。但是,我国大多数已投入生产使用的减速器技术水平并不高,而老产品又不可能立即被取代,新老产品并存过渡会经历一段较长的时间。

我国现有齿轮企业 618 家(其中国有、集体所有的大中型企业 110 家,国有、集体所有的小型企业 435 家,私有企业 48 家,三资企业 25 家)。生产减速器的约有 400 多家,年生产通用减速器 25 万台左右,年生产总值约 250 亿元,为发展我国的机械产品作出了重大的贡献。

本手册为减速器设计提供了选用依据,详细列入最新国家标准和新旧标准的对照,注重科学性、实用性和通用性。

本手册由张展同志担任主编,叶少华、韩为峰任副主编,李运秋、盘振槐、周志立为编委会委员。

在本手册的编写过程中,得到上海交通大学张国瑞、高雪官、马培荪教授,上海大学邓召义、颜思健教授,无锡万向轴厂李荣辉总经理、余铭高级工程师,温州市江南减速机厂叶少华总经理的大力支持。另外,得到林君玉、张弘松、张晓维、陆玲、张志华、张小燕、孟凡惠、陈勇、沈龙法、汤建中、张平、庄勇、蔡洪、钱建平、刘国锦、钱向勇、许国方、张方圆、李颖、李德美、王海雁等同志的支持与合作,谨此表示感谢。

由于编者才疏学浅,实践不够,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2001 年 10 月于上海

EAC47/07

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1	§ 4 NGW-L 型行星齿轮减速器	
§ 1 常用减速器的型式与应用 .....	2	(JB3724—84) .....	268
§ 2 减速器的设计程序 .....	5	§ 5 双排直齿行星减速器	
§ 3 通用圆柱齿轮减速器的主要参数 .....	6	(JB/T6999—93) .....	274
§ 4 通用减速器的选择要点 .....	8	§ 6 摆线针轮减速器(JB/T2982—94) .....	288
<b>第 2 章 通用定轴轮系减速器</b> .....	14	<b>第 4 章 专用定轴轮系减速器</b> .....	303
§ 1 圆柱齿轮减速器的基本参数		§ 1 DB、DC 型圆锥-圆柱齿轮减速器	
(GB10090—88) .....	14	(JB/T9002—1999) .....	303
§ 2 ZY、ZZ 系列圆柱齿轮减速器		§ 2 起重机减速器 .....	324
(JB/T8853—1999) .....	16	§ 2.1 概述 .....	324
§ 3 YN 系列圆柱齿轮减速器		§ 2.2 QJ 型起重机三支点减速器	
(YB/T050—93) .....	31	(JB/T8905.1—1999) .....	325
§ 4 S 系列圆柱齿轮减速器 .....	60	§ 2.3 QJ-D 型起重机底座式减速器	
§ 5 ZQ、ZQH 型圆柱齿轮减速器		(JB/T8905.2—1999) .....	340
(JB1585—75) .....	81	§ 2.4 QJ-L 型起重机立式减速器	
§ 6 圆柱蜗杆传动基本参数		(JB/T8905.3—1999) .....	353
(GB10085—88) .....	93	§ 2.5 QJ-T 型起重机套装式减速器	
§ 7 圆柱蜗杆减速器		(JB/T8905.4—1999) .....	355
(JB/ZQ4390—86) .....	106	§ 3 起重机用三合一减速器	
§ 8 圆弧圆柱蜗杆减速器		(JB/T9003—1999) .....	359
(JB/T7935—1999) .....	115	§ 4 ZQA 型、PJ 型、ZQD 型和 ZQ 型	
§ 9 锥面包络圆柱蜗杆减速器		大速比圆柱齿轮减速器 .....	367
(JB/T5559—91) .....	134	§ 4.1 ZQA 型减速器 .....	367
§ 10 直廓环面蜗杆减速器		§ 4.2 PJ 型减速器 .....	379
(JB/T7936—1999) .....	145	§ 4.3 ZQD 型和 ZQ 型大速比减速器 .....	383
§ 11 平面包络环面蜗杆减速器		§ 5 辊道电机减速器(JB/T5562—91) .....	391
(JB/T9051—1999) .....	158	<b>第 5 章 专用行星齿轮减速器</b> .....	402
<b>第 3 章 通用行星齿轮减速器</b> .....	178	§ 1 ZK 行星齿轮减速器	
§ 1 NGW 型行星齿轮减速器		(JB/T9043.1—1999) .....	402
(JB/T6502—93) .....	178	§ 2 ZZ 行星齿轮减速器	
§ 2 NGW 型行星齿轮减速器		(JB/T9043.2—1999) .....	411
(JB1799—76) .....	216	§ 3 2K-H 型悬浮均载行星齿轮减速器	
§ 3 NGW-S 型行星齿轮减速器		(专利号:ZL95243413·X) .....	437
(JB3723—84) .....	258	§ 4 发酵罐用立式行星齿轮减速器 .....	441

§ 5 船用立式行星减速器 (GB/T3893—1999) .....	444	§ 4 圆锥齿轮减速器箱体形位公差 (JB/ZQ4283—86) .....	508
§ 6 ZJ 系列行星齿轮减速器 (JB/T7681—95) .....	446	§ 5 齿轮传动装置清洁度 (GB11368—89) .....	513
§ 7 NLQ 型冷却塔专用行星齿轮减速器 (JB/T7345—94) .....	449	§ 6 插齿、滚齿退刀槽 (JB/ZQ4239—86) .....	514
<b>第 6 章 特殊用途行星齿轮减速器</b> .....	459	§ 7 齿轮孔与轴的轻热压配合(带键) (JB/ZQ4285—86) .....	514
§ 1 滚柱活齿减速器(JB/T6137—92) .....	459	§ 8 国内外齿轮常用材料 .....	516
§ 2 谐波齿轮减速器(SJ2604—85) .....	462	§ 9 齿轮结构与箱体焊接规范 .....	526
<b>第 7 章 润滑与密封</b> .....	466	§ 10 典型零件工作图 .....	531
§ 1 齿轮传动装置的润滑 .....	466	§ 10.1 渐开线圆柱齿轮图样上应注明的 尺寸数据(GB6443—86) .....	531
§ 2 机械密封用 O 形橡胶圈 (JB/T7757.2—95) .....	473	§ 10.2 圆柱蜗杆、蜗轮图样上应注明的 尺寸数据(GB/T12760—91) .....	535
§ 3 油封 .....	476	§ 10.3 锥齿轮图样上应注明的 尺寸数据(GB/T12371—90) .....	538
§ 4 密封胶 .....	479	§ 11 滚动轴承支座 .....	543
§ 5 润滑油泵 .....	480	§ 12 轴端零件、轴承固定及调整 .....	549
§ 5.1 DCLP 润滑油泵 (专利号:ZL94227981.6) .....	480	<b>第 9 章 减速器附件</b> .....	551
§ 5.2 CB-B 型齿轮泵 .....	481	§ 1 轴承盖、螺塞与通气帽 .....	551
§ 5.3 BB-B 型摆线齿轮油泵 .....	483	§ 2 油杯与油标 .....	556
§ 6 滚动轴承的密封装置 .....	486	§ 3 吊耳 .....	566
<b>第 8 章 减速器的技术要求</b> .....	489	<b>第 10 章 减速器的合理使用与维护</b> .....	573
§ 1 圆柱齿轮减速器通用技术条件 (JB/T9050.1—1999) .....	489	§ 1 减速器的合理安装与调整 .....	573
§ 2 圆柱形与圆锥形轴伸 (GB1569—90、GB1570—90) .....	492	§ 2 减速器的润滑 .....	576
§ 3 圆柱齿轮减速器箱体形位公差 (JB/ZQ4282—86) .....	507	§ 3 维护 .....	579
		<b>参考文献</b> .....	580

# 第 1 章 概 论

减速器在原动机和工作机或执行机构之间起匹配转速和传递转矩的作用,在现代机械中应用极为广泛。

减速器按用途可分为通用减速器和专用减速器两大类,两者的设计、制造和使用特点各不相同。

20 世纪 70~80 年代,世界上减速器技术有了很大的发展,且与新技术革命的发展紧密结合。通用减速器的发展趋势如下:

① 高水平、高性能。圆柱齿轮普遍采用渗碳淬火、磨齿,承载能力提高 4 倍以上,体积小、重量轻、噪声低、效率高、可靠性高。

② 积木式组合设计。基本参数采用优先数,尺寸规格整齐,零件通用性和互换性强,系列容易扩充和花样翻新,利于组织批量生产和降低成本。

③ 型式多样化,变型设计多。摆脱了传统的单一的底座安装方式,增添了空心轴悬挂式、浮动支承底座、电动机与减速器一体式联接,多方位安装面等不同型式,扩大使用范围。

促使减速器水平提高的主要因素有:

① 理论知识的日趋完善,更接近实际(如齿轮强度计算方法、修形技术、变形计算、优化设计方法、齿根圆滑过渡、新结构等)。

② 采用好的材料,普遍采用各种优质合金钢锻件,材料和热处理质量控制水平提高。

③ 结构设计更合理。

④ 加工精度提高到 ISO 5~6 级。

⑤ 轴承质量和寿命提高。

⑥ 润滑油质量提高。

自 20 世纪 60 年代以来,我国先后制订了 JB1130—70《圆柱齿轮减速器》等一批通用减速器的标准,除主机厂自制配套使用外,还形成了一批减速器专业生产厂。目前,全国生产减速器的企业有数百家,年产通用减速器 25 万台左右,对发展我国的机械产品作出了贡献。

20 世纪 60 年代的减速器大多是参照苏联 20 世纪 40~50 年代的技术制造的,后来虽有所发展,但限于当时的设计、工艺水平及装备条件,其总体水平与国际水平有较大差距。

改革开放以来,我国引进一批先进加工装备,通过引进、消化、吸收国外先进技术和科研攻关,逐步掌握了各种高速和低速重载齿轮装置的设计制造技术。材料和热处理质量及齿轮加工精度均有较大提高,通用圆柱齿轮的制造精度可从 JB179—60 的 8~9 级提高到 GB10095—88 的 6 级,高速齿轮的制造精度可稳定在 4~5 级。部分减速器采用硬齿面后,体积和质量明显减小,承载能力、使用寿命、传动效率有了较大的提高,对节能和提高主机的总体水平起到很大的作用。

我国自行设计制造的高速齿轮减(增)速器的功率已达 42 000 kW,齿轮圆周速度达 150 m/s 以上。但是,我国大多数减速器的技术水平还不高,老产品不可能立即被取代,新老产品并

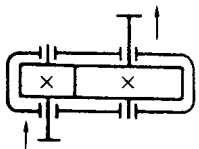
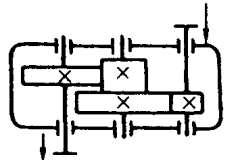
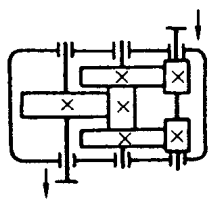
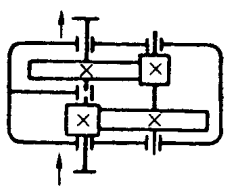
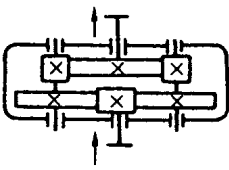
存过渡会经历一段较长的时间。

减速器的种类繁多,按照传动类型可分为齿轮减速器、蜗杆减速器和行星齿轮减速器;按照传动级数不同可分为单级和多级减速器;按照齿轮形状可分为圆柱齿轮减速器、圆锥齿轮减速器和圆锥-圆柱齿轮减速器;按照传动的布置形式又可分为展开式、分流式和同轴式减速器。

## §1 常用减速器的型式与应用

减速器的类型与特点,见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 定轴传动减速器的主要类型与特点

类别	级数	传动简图	推荐传动比范围	特点及应用	
圆 柱 齿 轮 减 速 器	单 级		调质齿轮 $i \leq 7.1$ 淬硬齿轮 $i \leq 6.3$ ( $i \leq 5.6$ 较佳)	应用广泛,结构简单,精度容易保证。齿轮可做直齿、斜齿或人字齿。可用于低速重载,也可用于高速传动	
	二 级	展 开 式		调质齿轮 $i = 7.1 \sim 50$ 淬硬齿轮 $i = 7.1 \sim 31.5$ ( $i = 6.3 \sim 20$ 较佳)	这是二级减速器中最简单、应用最广泛的结构。齿轮相对于轴承位置不对称。当轴产生弯扭变形时,载荷在齿宽上分布不均匀,因此轴应设计得具有较大刚度,并使高速轴齿轮远离输入端。淬硬齿轮大多采用此结构
		分 流 式		$i = 7.1 \sim 50$	高速级为对称左右旋斜齿轮,低速级可为人字齿或直齿。齿轮与轴承对称布置。载荷沿齿宽分布均匀,轴承受载平均,中间轴危险截面上的转矩相当于轴所传递转矩之半。但这种结构不可避免要产生轴向窜动,影响齿面载荷的均匀性。结构上应保证有轴向窜动的可能。通常低速级大齿轮作轴向定位,中间轴齿轮和高速小齿轮可以轴向窜动
		同 轴 线 式		调质齿轮 $i = 7.1 \sim 50$ 淬硬齿轮 $i = 7.1 \sim 31.5$	箱体长度缩小。输入轴和输出轴布置在同一轴线上,使设备布置较为方便、合理。当传动比分配适当时,两对齿轮浸油深度大致相同。但轴向尺寸较大,中间轴较长,其齿轮与轴承不对称布置,刚性差,载荷沿齿宽分布不均匀
		同 轴 分 流 式		$i = 7.1 \sim 50$	从输入轴到输出轴的功率分左右两股传递,因此啮合轮齿仅传递一半载荷。输入轴和输出轴只受转矩,中间轴只受全部载荷的一半。故可缩小小齿轮直径、圆周速度及减速器尺寸。一般用于重载齿轮。关键是要采用合适的均载机构,使左右两股分流功率均衡



(续)

类别	级数	传动简图	推荐传动比范围	特点及应用
圆柱齿轮减速器	三		调质齿轮 $i = 28 \sim 315$ 淬硬齿轮 $i = 28 \sim 180$ ( $i = 22.5 \sim 100$ 较佳)	同二级展开式
	级		$i = 28 \sim 315$	同二级分流式
圆锥、圆锥-圆柱齿轮减速器	单		直齿 $i \leq 5$ 曲线齿、斜齿 $i \leq 8$ (淬硬齿轮 $i \leq 5$ 较佳)	轮齿可制成直齿、斜齿或曲线齿。适用于输入轴和输出轴两轴线垂直相交的传动中。可为水平式或立式。其制造安装复杂,成本高,仅在设备布置必要时才采用
	二		直齿 $i = 6.3 \sim 31.5$ 曲线齿、斜齿 $i = 8 \sim 40$ (淬硬齿轮 $i = 5 \sim 16$ 较佳)	特点与单级圆锥齿轮减速器相似。圆锥齿轮应在高速级,使圆锥齿轮尺寸不致太大,否则加工困难。圆柱齿轮可为直齿或斜齿
	三		$i = 35.5 \sim 160$ (淬硬齿轮 $i = 18 \sim 100$ 较佳)	特点与二级圆锥-圆柱齿轮减速器相似
蜗杆、齿轮-蜗杆减速器	单	蜗杆下置式 	$i = 8 \sim 80$	蜗杆布置在蜗轮的下边,啮合处的冷却和润滑较好,蜗杆轴承润滑也方便。但当蜗杆圆周速度太大时,油的搅动损失较大,一般用于蜗杆圆周速度 $v < 5 \text{ m/s}$
		蜗杆上置式 		蜗杆布置在蜗轮的上边,装拆方便,蜗杆的圆周速度允许高一些,但蜗杆轴承润滑不方便
		蜗杆侧置式 		蜗杆放在蜗轮侧面,蜗轮轴是竖直的

表 1-2 行星齿轮减速器的主要类型与特点

类别	级数	传动简图	推荐传动比范围	特点及应用
渐开线行星齿轮减速器	NGW (2K-H) 型		单级 $i = 2.8 \sim 12.5$ 二级 $i = 14 \sim 160$	体积小、重量轻、承载能力大、效率高、工作平稳。与普通圆柱齿轮减速器比较,体积和重量可减少50%左右、效率提高3%。但制造精度要求高、结构复杂
	N (K-H-V) 型 少齿差		单级 $i = 10 \sim 160$	传动比大,齿形加工容易,装拆方便,结构紧凑,平均效率90%
摆线针轮减速器	单级或二级		单级 $i = 11 \sim 87$ 二级 $i = 121 \sim 7500$	传动比大,传动效率较高,单级传动 $\eta = 90\% \sim 94\%$ 。运转平稳,噪声低,结构紧凑,体积小,重量轻。在相同情况下,它的体积和重量约为普通减速器的50%~80%,过载和耐冲击能力较强,故障少,寿命长。但制造工艺复杂,需用专用机床加工,宜专业化生产
三环减速器	单级或组合多级		单级 $i = 11 \sim 99$ 二级 $i_{max} = 980$	结构紧凑,体积小,重量轻,传动比大,效率单级为92%~98%,噪声低,过载能力强。承载能力高,传递功率不受限制,输出转矩高达400 kN·m。不用输出机构,轴承直径不受限制。使用寿命长。零件种类少,齿轮精度要求不高,无特殊材料且不采用特殊加工方法就能制造,造价低、适应性广、派生系列多
谐波齿轮减速器	单	刚轮固定,波发生器主动,柔轮输出 	单级 当柔轮或刚轮固定,波发生器主动时, $i = 50 \sim 500$ 当波发生器固定,柔轮主动时, $i = 1.002 \sim 1.02$	传动比大,范围宽,元件少,体积小,重量轻。在相同条件下比一般齿轮减速器体积和重量减少20%~25%。双波传动中在受载时同时啮合齿数可达总齿数的20%~40%。承载能力大、传动效率高。 $i = 100$ 时, $\eta = 90\%$ ; $i = 400$ 时; $\eta = 80\%$ 。但制造工艺复杂
	级	波发生器固定,柔轮主动,刚轮输出 		
齿轮减速电动机				它由电动机和二级或三级齿轮减速器直接组合而成。因结构紧凑,体积小,使用方便

## § 2 减速器的设计程序

1) 设计的原始资料和数据。

① 原动机的类型、规格、转速、功率(或转矩)、启动特性、短时过载能力、转动惯量等。

② 工作机械的类型、规格、用途、转速、功率(或转矩)。工作制度:恒定载荷或变载荷,变载荷的载荷图;启、制动与短时过载转矩,启动频率;冲击和振动程度;旋转方向等。

③ 原动机、工作机与减速器的联接方式,轴伸是否有径向力及轴向力。

④ 安装型式(减速器与原动机、工作机的相对位置、立式、卧式)。

⑤ 传动比及其允许误差。

⑥ 对尺寸及重量的要求。

⑦ 对使用寿命、安全程度和可靠性的要求。

⑧ 环境温度、灰尘浓度、气流速度和酸碱度等环境条件;润滑与冷却条件(是否有循环水、润滑站)以及对振动、噪声的限制。

⑨ 对操作、控制的要求。

⑩ 材料、毛坯、标准件来源和库存情况。

⑪ 制造厂的制造能力。

⑫ 对批量、成本和价格的要求。

⑬ 交货期限。

上述前四条是必备条件,其他方面可按常规设计,例如设计寿命一般为 10 年。用于重要场合时,可靠性应较高等。

2) 选定减速器的类型和安装型式。

3) 初定各项工艺方法及参数。

选定性能水平,初定齿轮及主要机件的材料、热处理工艺、精加工方法、润滑方式及润滑油品。

4) 确定传动级数。

按总传动比,确定传动的级数和各级的传动比。

5) 初定几何参数。

初算齿轮传动中心距(或节圆直径)、模数及其他几何参数。

6) 整体方案设计。

确定减速器的结构、轴的尺寸、跨距及轴承型号等。

7) 校核。

校核齿轮、轴、键等负载件的强度,计算轴承寿命。

8) 润滑冷却计算。

9) 确定减速器的附件。

10) 确定齿轮渗碳深度。

必要时还要进行齿形及齿向修形量等工艺数据的计算。

11) 绘制施工图。

在设计中应贯彻国家和行业的有关标准。

### § 3 通用圆柱齿轮减速器的主要参数

#### (1) 基本参数

GB10090—88 标准规定了圆柱齿轮减速器的中心距  $a$ 、公称传动比  $i$  等基本参数的数值,采用 R20 和 R40 系列优先数,致使减速器及其主要零件的尺寸规格简化统一,便于各级间传动比等强度搭配和结构上实现模块组合设计,减少零件、毛坯的品种规格,提高互换性和通用性,易于形成批量、降低成本、扩充系列。

通常传动比范围为:一级  $i = 1.25 \sim 7.1$ , 二级  $i = 6.3 \sim 56$ , 三级  $i = 20 \sim 315$ 。

齿宽系数  $b_a^* = b/a$  ——工作齿宽  $b$  与中心距  $a$  的比值

$b_d^* = b/d$  ——工作齿宽  $b$  与小齿轮分度圆直径  $d$  的比值

$b_m^* = b/m$  ——工作齿宽  $b$  与模数  $m$  的比值

其中  $b_d^* = \frac{b_a^*(1+u)}{2}$ ;

$u = z_2/z_1$  ——齿数比。

#### (2) 齿轮参数

1) 模数 齿轮的模数按 GB1357—87 标准的规定,一般按轮齿的弯曲强度确定。

2) 螺旋角 斜齿轮一般取  $\beta = 6^\circ \sim 20^\circ$ , 以  $\beta = 9^\circ \sim 13^\circ$  较佳,且常取整数度或尾数为  $0.5^\circ$ ,便于加工。同时最好使纵向重合度  $\epsilon_\beta \geq 1 \sim 1.1$ , 传动较平稳。人字齿轮常取  $\beta = 25^\circ \sim 35^\circ$ , 且使  $\epsilon_\beta \geq 2 \sim 2.1$ 。

3) 齿数 在满足轮齿弯曲强度的条件下,应取较多的齿数。软齿面(齿面硬度  $\leq 350$  HBS) 齿轮通常取  $z_1 \geq 18 \sim 30$ , 硬齿面(齿面硬度  $> 350$  HBS) 齿轮可取较少齿数,以增大齿厚,提高轮齿的弯曲强度,通常取  $z_1 \geq 15$ 。

对于直齿圆柱齿轮顶圆直径  $d_a = mz + 2m + 2\chi m$  时,齿数  $z = 8 \sim 20$ , 不产生根切的最小变位系数  $\chi_{\min}$ , 以及齿顶厚  $s_a = 0.4m$  和  $s_a = 0$  时的变位系数  $\chi_{s_a = 0.4m}$ 、 $\chi_{s_a = 0}$ , 如表 1-3 所列。

表 1-3 直齿圆柱齿轮  $\chi_{\min}$ 、 $\chi_{s_a = 0.4m}$  和  $\chi_{s_a = 0}$

$z$	$\chi_{\min}$	$\chi_{s_a = 0.4m}$	$\chi_{s_a = 0}$	$z$	$\chi_{\min}$	$\chi_{s_a = 0.4m}$	$\chi_{s_a = 0}$
8	0.53	0.18	0.56	15	0.12	0.46	0.98
9	0.47	0.22	0.63	16	0.06	0.50	1.03
10	0.42	0.27	0.70	17	0	0.53	1.08
11	0.36	0.31	0.76	18	-0.05	0.56	1.13
12	0.30	0.35	0.82	19	-0.11	0.59	1.18
13	0.24	0.39	0.88	20	-0.17	0.62	1.23
14	0.18	0.43	0.93				

4) 变位系数 通常采用角度变位,大、小齿轮均用正变位。通常取小齿轮的变位系数  $\chi_1 = 0 \sim 0.6$ , 以  $\chi_1 = 0.3 \sim 0.5$  较佳。选取变位系数应以齿轮的失效形式、综合考虑提高轮齿的接触和弯曲强度,减小滑动比进行考虑。

#### (3) 多级减速器传动比的分配

多级减速器各级传动比的分配,直接影响减速器的承载能力和使用寿命,还会影响其体积、质量和润滑。

1) 按等强度分配 因传动比分配不合理造成级间强度不等的现象,在多级减速器的设计中较为普遍。因此,合理分配传动比,使各级强度大致相等,是提高减速器承载能力和使用寿命的有效手段。

按齿面接触强度相等,二级减速器传动比的分配由下式计算

$$i_1 = \frac{i - \frac{a_2}{a_1} \sqrt[3]{ki}}{\frac{a_2}{a_1} \sqrt[3]{ki} - 1}, \quad i_2 = i/i_1$$

式中  $a_1, a_2$ ——减速器高、低速级中心距(mm);  
 $i, i_1, i_2$ ——分别为总传动比和高、低速级的传动比;

$$k = \frac{b_{a_2}^* \sigma_{Hlim II}^2}{b_{a_1}^* \sigma_{Hlim I}^2};$$

$b_{a_1}^*, b_{a_2}^*$ ——高、低速级齿宽系数;

$\sigma_{Hlim I}, \sigma_{Hlim II}$ ——高、低速级齿轮的接触疲劳极限(N/mm<sup>2</sup>)。

若二级减速器各级的齿宽系数  $b_a^*$  和齿轮材料的接触疲劳极限都相等,且  $a_2/a_1 = 1.4$ , 则通用减速器的公称传动比可按表 1-4 搭配。

表 1-4 二级减速器的传动比搭配

$i$	6.3	7.1	8	9	10	11.2	12.5	14	16	18	20	22.4
$i_1$	2.5	2.8	3.15		3.55	4		4.5	5	5.6		6.3
$i_2$	2.5		2.8			3.15			3.55			

对三级传动,无法利用上述公式将结果明确地表示出来,但可以首先适当选定  $i'_1$ , 并计算

$$i'_2 = \frac{\frac{i}{i_1} - \frac{a_3}{a_2} \sqrt[3]{k_{II} i/i'_1}}{\frac{a_3}{a_2} \sqrt[3]{k_{II} i/i'_1} - 1}$$

$$i''_1 = \frac{i'_1 i'_2 - \frac{a_2}{a_1} \sqrt[3]{k_I i'_1 i'_2}}{\frac{a_2}{a_1} \sqrt[3]{k_I i'_1 i'_2} - 1}$$

式中  $k_I = \frac{b_{a_2}^* \sigma_{Hlim II}^2}{b_{a_1}^* \sigma_{Hlim I}^2};$

$$k_{II} = \frac{b_{a_3}^* \sigma_{Hlim III}^2}{b_{a_2}^* \sigma_{Hlim II}^2};$$

$a_1, a_2, a_3$ ——高、中、低速级中心距(mm);

$i, i_1, i_2, i_3$ ——分别为总传动比和高、中、低速级传动比;

$\sigma_{Hlim I}, \sigma_{Hlim II}, \sigma_{Hlim III}$ ——高、中、低速级齿轮的接触疲劳极限(N/mm<sup>2</sup>)。

然后利用  $i_1''$  重复计算。如此收敛的结果得到  $i_1$  和  $i_2$ 。

$$i_3 = i/i_1 i_2$$

2) 按减速器体积最小分配 在中心距及齿宽系数的选择不受结构设计限制时,可按下式分配传动比。

对二级传动  $i_1 = 0.8(i\sigma_{Hlim I} / \sigma_{Hlim II})^{2/3}, i_2 = i/i_1$

对三级齿轮传动

$$i_1 = 0.6i^{4/7}(\sigma_{Hlim I} / \sigma_{Hlim II})^{2/7} \cdot (\sigma_{Hlim I} / \sigma_{Hlim II})^{4/7}$$

$$i_2 = 1.1i^{2/7}(\sigma_{Hlim II} / \sigma_{Hlim III})^{4/7} \cdot (\sigma_{Hlim II} / \sigma_{Hlim III})^{2/7}$$

$$i_3 = i/i_1 i_2$$

由上式求得各级齿轮的传动比后,可按等强度分配传动比的公式算出最佳的中心距和齿宽系数。

在各级齿轮接触疲劳极限相等的情况下,上述传动比公式可大为简化。在给定总传动比的情况下,可以容易地求得各级齿轮的传动比。表 1-5 的数值为按上式算得的二级减速器的传动比。

表 1-5 二级减速器按体积最小的传动比搭配

$i$	6.3	8	10	12.5	16	20
$i_1$	2.7	3.2	3.7	4.31	5.08	5.89
$i_2$	2.33	2.5	2.69	2.9	3.15	3.4

3) 按二级大齿轮浸油深度相近的原则分配 对多级减速器的传动比分配,可按二级三级类推。一般符合以下规律,随着速度由高到低,转矩由小到大,功率流的特点应符合传动比逐级减小的原则,即

$$i_1 \geq i_2 \geq i_3 \geq \dots \geq i_n$$

末级传动比小,能减小末级大齿轮的径向尺寸和质量,相应减小了减速器的体积和质量,同时可增大模数,满足低速大转矩的需要,故末级传动小比较合理。

因影响齿轮强度的因素很复杂,按简化公式计算的结果往往有些偏差,近来常用计算机按 GB/T3480—1997 齿轮强度计算公式进行传动比分配。

## § 4 通用减速器的选择要点

通用减速器的选型包括提出原始条件、选择类型、确定规格等步骤。

相比之下,类型选择比较简单,而准确提供减速器的工况条件,掌握减速器的设计、制造和使用特点是通用减速器正确合理选择规格的关键。

规格选择要满足强度、热平衡、轴伸部位承受径向载荷等条件。

### (1) 按机械功率或转矩选择规格(强度校核)

通用减速器和专用减速器设计选型方法的最大不同在于,前者适用于各个行业,但减速器只能按一种特定的工况条件设计,故选用时用户需根据各自的要求考虑不同的修正系数,

工厂应该按实际选用的电动机功率(不是减速器的额定功率)打铭牌;后者按用户的专用条件设计,该考虑的系数,设计时一般已作考虑,选用时只要满足使用功率小于等于减速器的额定功率即可,方法相对简单。

通用减速器的额定功率一般是按使用(工况)系数  $K_A = 1$  (电动机或汽轮机为原动机,工作机载荷平稳,每天工作 3~10 h,每小时启动次数  $\leq 5$  次,允许启动转矩为工作转矩的 2 倍),接触强度安全系数  $S_H \approx 1$ 、单对齿轮的失效概率  $\approx 1\%$  等条件计算确定的。

所选减速器的额定功率应满足

$$P_C = P_2 K_A K_S K_R \leq P_N$$

式中  $P_C$ ——计算功率(kW);

$P_N$ ——减速器的额定功率(kW);

$P_2$ ——工作机功率(kW);

$K_A$ ——使用系数,考虑使用工况的影响,见表 1-6;

$K_S$ ——启动系数,考虑启动次数的影响,见表 1-7;

$K_R$ ——可靠度系数,考虑不同可靠度要求,见表 1-8。

目前世界各国所用的使用系数基本相同。虽然许多样本上没有反映出  $K_S$ 、 $K_R$  两个系数,但由于知己(对自身的工况要求清楚)、知彼(对减速器的性能特点清楚),国外选型时一般均留有较大的富裕量,相当于已考虑了  $K_R$ 、 $K_S$  的影响。

由于使用场合不同、重要程度不同、损坏后对人身安全及生产造成的损失大小不同、维修难易不同,因而对减速器的可靠度的要求也不相同。系数  $K_R$  就是实际需要的可靠度对原设计的可靠度进行修正。它符合 ISO6336、GB3480 和 AGMA2001—B88(美国齿轮制造者协会标准)对齿轮强度计算方法的规定。目前,国内一些用户对减速器的可靠度尚提不出具体量的要求,可按一般专用减速器的设计规定 ( $S_H \geq 1.25$ , 失效概率  $\leq 1/1000$ ),较重要场合取  $K_R = 1.25^2 = 1.56$  左右。

### (2) 热平衡校核

通用减速器的许用热功率值是在特定工况条件下(一般环境温度 20 °C,每小时 100% 连续运转、功率利用率为 100%),按润滑油允许的最高平衡温度(一般为 85 °C)确定的。条件不同时按相应系数(有时综合成一个系数)进行修正。

所选减速器应满足

$$P_{Ct} = P_2 K_T K_w K_p \leq P_t$$

式中  $P_{Ct}$ ——计算热功率(kW);

$K_T$ ——环境温度系数,见表 1-9;

$K_w$ ——运转周期系数,见表 1-10;

$K_p$ ——功率利用率系数,见表 1-11;

$P_t$ ——减速器许用热功率(kW)。

### (3) 校核轴伸部位承受的径向载荷

通用减速器常常须对输入轴、输出轴轴伸中间部位允许承受的最大径向载荷给予限制,应予校核,超过时应向制造厂提出加粗轴径和加大轴承等要求。工作机械载荷的分类见表 1-12。

表 1-6 使用系数  $K_A$

原 动 机	每天工作小时数	工作机械载荷分类(见表 1-12)		
		U	M	H
		使用系数 $K_A$		
电动机、涡轮机、 液压马达	$\leq 3$	0.8	1	1.5
	$> 3 \sim 10$	1	1.25	1.75
	$> 10$	1.25	1.5	2
4~6缸活塞发动机	$\leq 3$	1	1.25	1.75
	$> 3 \sim 10$	1.25	1.5	2
	$> 10$	1.5	1.75	2.25
1~3缸活塞发动机	$\leq 3$	1.25	1.5	2
	$> 3 \sim 10$	1.5	1.75	2.25
	$> 10$	1.75	2	2.5

表 1-7 启动系数  $K_S$

每小时启动次数	使 用 系 数 $K_A$		
	0.8~1	1.25~1.75	$\geq 2$
	$K_S$		
$\leq 5$	1	1	1
6~25	1.2	1.12	1.06
26~60	1.3	1.2	1.12
61~180	1.5	1.3	1.2
$> 180$	1.7	1.5	1.3

表 1-8 可靠度系数  $K_R$

可靠度要求	一般	较高	高
$K_R$	1	1.56	2.25

表 1-9 环境温度系数  $K_T$

冷 却 方 式	环 境 温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	10	20	30	40	50
	$K_T$				
无冷却措施或用风扇冷却	0.88	1.00	1.15	1.35	1.65
用盘管或用风扇和盘管冷却	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30

表 1-10 运转周期系数  $K_W$

每小时运转周期(%)	100	80	60	40	20
运转周期系数 $K_W$	1.00	0.94	0.86	0.74	0.56



表 1-11 功率利用率系数  $K_P$

减速器类别	功率利用率 (%)								
	20	30	40	50	60	70	80	90~100	
	$K_P$								
ZD(L,S)Y 系列 YN 系列	1.9	1.5	1.25	1.15	1.10	1.05	1	1	
YK 系列	1.7	1.4	1.20	1.10	1.05	1	1	1	
NGW	NAD,NAF	1.9	1.45	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1	1
	NAZD,NAZF	2.5	1.65	1.4	1.3	1.2	1.15	1.1	1
	NBD,NBF	2	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.05	1
	NBZD,NBZF	2.35	1.7	1.4	1.2	1.1	1.1	1.05	1
	NCD,NCF	2.1	1.55	1.3	1.15	1.1	1.05	1	1
	NCZD,NCZF	2.27	1.54	1.33	1.2	1.13	1.07	1	1

表 1-12 工作机械载荷分类

载荷分类	工作机械	载荷分类	工作机械	载荷分类	工作机械	载荷分类	工作机械
U M M M M U	<b>风 机</b>	M	链条输送机	M	甘蔗压榨机 **	H	机械手 **
	鼓风机(轴向和径向)	M	回旋输送机	M	甘蔗切割器 **	H	剪板机 **
	冷却塔风机	M	运货升降机	H	甘蔗碾磨机	M	板材翻转装置
	引风机	H	卷扬机 **	M	捏和机	M	轧辊调整装置
	旋转活塞鼓风机	H	倾斜绞车 **	M	结晶器,搅拌器	M	辊式矫直机 **
	透平鼓风机	M	链条输送机	U	打包机	H	辊道(重型) **
	<b>建筑机械</b>	M	(乘客)电梯	M	甜菜切碎机	M	辊道(轻型) **
	混凝土搅拌机	M	螺旋输送机	M	甜菜清洗机	H	薄板轧机 **
	起重机	M	钢带输送机		<b>发电机、变换器</b>		<b>修边机 **</b>
	筑路机械	M	槽式链条输送机	H	频率变换器	H	焊管机
U M M U U M M M M	<b>化工机械</b>	M	拖泄式绞车	H	发电机	M	绕线机(带材和线材)
	搅拌机(液体物)		<b>起重 机</b>	H	电焊发电机	M	拉线机
	搅拌机(半液状物)	M	摇摆机构		<b>清 洗 机</b>		<b>金属加工机床</b>
	离心机(重型)	U	提升装置	M	干燥机	U	副轴(天轴)
	离心机(轻型)	U	伸缩装置	M	清洗机	H	锻压机
	冷却滚筒 **	M	回转装置		<b>金属轧钢机</b>	H	锻锤 **
	干燥滚筒 **	H	行走装置	H	钢坯剪切机 **	U	机床、辅助传动装置
	搅拌机		<b>挖 掘 机</b>	M	链式输送机 **	M	机床、主传动装置
	<b>压 缩 机</b>	H	斗式提升机	H	冷轧机 **	H	金属刨床
	活塞式压缩机	H	席轮铲	H	连续铸造设备 **	H	板材矫直机
M M M M M H U	涡轮压缩机	H	铲子	M	冷床 **	H	压机
	<b>运输机械</b>	M	机动绞车	H	剪料头机 **	H	冲压机
	板式输送机	M	泵	M	横向输送设备 **	M	剪切机
	压载升降机	M	回转式起重机	H	除磷机 **	M	金属板折弯机
	袋式输送机	H	行走机构(链轨)	H	中型轧板机 **		<b>石油机械</b>
	带式运输机(散状物)	M	行走机构(铁轨)	H	钢锭初轧机	M	管线泵 **
	带式运输机(块状物)		<b>食品机械</b>	H	钢锭装卸机械 **	H	旋转式钻孔设备
	粉料链门提升机	U	灌瓶机和装箱机	H	推锭机 **		