



齿轮设计
丛书

CHILUN SHEJI
CONGSHU

高速齿轮传动设计

2.41

萨本佑 编著

机械工业出版社

本书介绍高速齿轮传动装置的设计与结构等基本问题,并扼要地介绍国内外在这个领域的应用情况。主要内容包括高速齿轮的设计理论基础与设计方法;装置中主要部件如锥面止推装置、轴承及联轴器等结构与计算方法;齿轮润滑及其系统中主要部件的设计特点和高速齿轮产品安装、试车技术要求等。此外还就高速圆弧齿轮的设计方法、试验和工业运行经验等方面作了简要介绍。

本书可供从事高速齿轮设计、制造的工程技术人员使用,亦可供有关大专院校师生参考。

高速齿轮传动设计

萨本信 编著

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 12 1/8·字数 272 千字

1986 年 2 月北京第一版·1986 年 2 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,870·定价 2.90 元

*

统一书号: 15033·5959

《齿轮设计丛书》

出 版 说 明

齿轮是应用非常广泛的重要传动元件。随着科学技术的飞跃发展,对齿轮传动提出了越来越高的要求。为适应形势的需要,总结、介绍国内外先进经验与技术,特决定组织出版这套《齿轮设计丛书》,以利提高我国齿轮设计、生产水平。

本丛书内容包括:齿轮啮合原理、齿轮传动的精度、各类齿轮传动(包括特种齿轮)和各类蜗杆传动的设计、齿轮的试验技术与设备等等。内容着重于介绍设计的理论基础、设计方法、设计参数以及数据的分析选择等,力图满足齿轮传动设计者的需要。因此,本丛书主要供从事齿轮设计、制造工作的工程技术人员参考。丛书将分若干分册陆续出版。

由于水平有限,书中难免有错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

前 言

自 1765 年欧拉 (L. Euler) 创立渐开线圆柱齿轮以来,迄今已有二百余年历史。但高速齿轮最早是在十九世纪初期出现的,当时由于船舶汽轮机取代蒸汽机,需要在汽轮机与螺旋桨之间采用齿轮来减速并传递动力。1892 年地拉伐尔 (G. Delavel) 首先在一台 15 马力船舶推进装置上使用减速齿轮,随后于 1897 年英国派生司 (C. A. Parsons) 制作了 10 马力透平齿轮试验机组,1910 年他又安装了一台 1095 马力,转速由 1450rpm 降为 73rpm,用于带动螺旋桨的齿轮箱。到第一次世界大战时期,由于生产与军事的需要,高速齿轮有了较大的发展,其传动由普通单级减速而发展为双级复杂减速等多种形式,同时在发电、冶金、化工、石油等部门得到了广泛的应用。

迄今高速齿轮最大功率已达 10 万马力、最高转速达 10 万 rpm、最高圆周速度约 300m/s,而不少齿轮的圆周速度保持在 165~220m/s 之间。近年来在发展大功率及小型化方面取得了不少进展,高速行星传动、功率分枝式传动等新型传动已获得成功应用。随着速度的提高,对齿轮制造精度的要求也不断提高,高速齿轮一般要求达到 ISO 的 4~6 级,特殊情况下要求 2~3 级。

高速齿轮在国民经济的各个部门都用于较关键的设备,其可靠性是极为重要的,任何损坏事故常常会造成严重的损失,为此设计与制造时必须慎重。

本书内容包括高速齿轮传动装置中的齿轮、齿轮箱、轴承

及联轴器等基本零部件设计的方法,润滑油系统及其主要部件的基本设计要求以及试车和运转性能的测试等基础知识。此外本书还介绍了我国在高速圆弧齿轮方面的试验研究、设计及运行的经验。

本书第五章中的轴承及联轴器部分由上海汽轮机厂殷振淦工程师编写。本书在编写过程中曾得到一些工厂、研究部门和高等院校有关同志的热情帮助,特别是上海汽轮机厂研究所的同志给予了大力支持,为本书提供了一些资料并描绘插图,在此对这些同志谨表示衷心感谢。本书请陕西机械学院潘佑麟教授进行了全面审阅,并提出了许多宝贵意见,甚表感激。

由于本人水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

作 者
1983年6月

目 录

第一章 高速齿轮传动的的基本型式	1
一、高速齿轮传动的的基本型式	1
1. 一般平行轴传动	1
2. 内齿轮传动	2
3. 行星齿轮传动	5
二、高速齿轮传动的主要用途	6
1. 发电用透平齿轮传动	6
2. 冶金、化学、石油工业中动力拖动用增速齿轮传动	15
3. 船舶主推进系统减速齿轮	22
第二章 高速齿轮的几何计算和啮合参数的选择	31
一、齿轮几何尺寸计算	31
二、重合度和滑动率	52
1. 重合度	52
2. 滑动率	57
三、高速齿轮啮合参数的选择	60
1. 齿形压力角	60
2. 模数 m_n	61
3. 螺旋角 β	62
4. 齿宽系数 $\phi_b = b/d_1$	62
5. 变位系数 x_1, x_2	63
6. 齿数和传动比	68
7. 齿轮形式 单斜齿和人字齿传动的比较	68
第三章 高速齿轮的失效和承载能力	71
一、齿轮的破坏形式	71
1. 断齿	71
2. 齿面塑性变形	73

3. 齿面磨损	73
4. 齿面点蚀	75
5. 齿面胶合	77
6. 其他损伤	77
二、齿轮受力计算	78
三、高速齿轮承载能力的设计准则	79
1. 齿面接触疲劳强度计算	80
2. 轮齿弯曲强度计算	80
3. 胶合估算	80
4. 齿轮强度安全系数选择	80
四、计算载荷	81
1. 使用系数 K_A	82
2. 动载系数 K_v	82
3. 齿向载荷分布系数 K_β	93
4. 端面载荷分配系数 K_α	94
五、齿面接触强度	96
1. 齿面接触应力	96
2. 齿面接触的许用应力	106
3. 接触强度计算的其他表达形式	107
六、轮齿弯曲强度	110
1. 轮齿弯曲应力	110
2. 轮齿许用弯曲应力	111
七、计算举例	119
八、高速齿轮胶合强度估算	131
1. 齿面瞬间温度	133
2. 齿轮胶合极限的基准值 $w^* \frac{\sqrt[4]{v}}{\sqrt{a}}$	136
3. AGMA 航空动力直齿轮和斜齿轮胶合设计方法	137
4. 胶合基准数 SI (Scoring Index)	142
第四章 高速齿轮修形	145

一、渐开线齿形修整	145
1.基本原理	145
2.齿形修整量的确定	149
3.渐开线齿形修整的实际应用	151
二、齿向修整	158
1.影响齿宽方向上载荷分布不均匀的主要因素	158
2.齿向修整原理简述	160
3.轴齿轮的受力变形计算	161
4.最大载荷倍率数 K_3	169
5.轴心线偏差对载荷分布的影响	171
6.热变形影响	178
7.齿向修整举例及实验经验介绍	180
第五章 高速齿轮传动装置主要部件的结构与 强度计算	183
一、齿轮零部件强度计算	183
1.轴的强度	183
2.齿轮轴的稳定性计算	187
3.小齿轮	188
4.大齿轮	190
5.齿轮箱	197
6.轴承固定形式	198
二、锥面止推装置	203
1.用途及工作原理	203
2.流体动力润滑计算	205
3.锥面接触强度	208
4.锥面止推圈强度	208
5.结构介绍	214
三、高速齿轮箱径向滑动轴承	216
1.高速齿轮箱用径向滑动轴承的工作特点	216
2.齿轮箱径向滑动轴承的形式	217

3. 设计滑动轴承时应注意的问题	233
4. 轴承损坏形式简介	239
四、高速推力轴承	240
1. 参数选择	241
2. 斜一平面推力轴承	242
3. 可倾瓦推力轴承	244
五、联轴器	250
1. 齿轮联轴器的结构和工作特点	250
2. 齿轮联轴器参数选择及强度计算	252
3. 齿轮联轴器润滑方式与冷却润滑油量的计算	267
4. 齿轮联轴器高速稳定性计算	271
5. 金属膜板式联轴器简介	275
六、离合器	276
1. S. S. S 离合器的工作原理和特点	277
2. 自动同步离合器的特点	278
第六章 齿轮润滑及润滑油系统	281
一、齿轮润滑	281
1. 齿轮润滑的基本原理	281
2. 齿间油膜厚度计算	283
3. 齿轮喷油设计	290
二、润滑油系统及其主要部件简介	295
1. 润滑油系统的基本要求	295
2. 齿轮油泵	297
3. 油箱	305
4. 冷油器	307
5. 滤油器	309
6. 管道	310
第七章 高速齿轮箱的安装、试验及运行	311
一、安装技术要求	311
1. 齿轮	311

2. 轴承	316
3. 齿轮箱	316
4. 齿轮联轴器	317
5. 机组安装时转轴中心借偏量的确定	317
二、产品试验方法	325
1. 跟随主机一起试车	325
2. 封闭试验(背靠背试验, back to back).....	326
三、高速齿轮运转质量评价	327
1. 齿轮噪声	327
2. 齿轮振动	330
第八章 高速圆弧齿轮的设计与实践.....	332
一、概述	332
二、高速单圆弧齿轮	333
1. 高速圆弧齿轮应用的特点	333
2. 圆弧齿轮的基准齿形及几何尺寸计算	342
3. 高速圆弧齿轮强度计算	342
4. 高速圆弧齿轮传动基本参数选择	351
5. 高速圆弧齿轮的实践	353
三、高速双圆弧齿轮	359
1. 双圆弧齿轮的齿形及几何尺寸计算	359
2. 高速双圆弧齿轮的强度计算	363
3. 高速双圆弧齿轮的试验研究	364
4. 对发展高速双圆弧齿轮的一些看法	371
参考文献	373

第一章 高速齿轮传动的基本型式

齿轮传动主要是通过轮齿的啮合作用来传递动力及实现减速、增速或换向的目的。通常将圆周速度大于 25m/s 的齿轮称为高速齿轮,它广泛应用于透平机械及其他机械中,如:

(1) 中等功率的透平发电机组中,由于追求较高的热效率及较小的体积,要求将透平转速取得比发电机高得多,为此在其间需采用减速齿轮。

(2) 透平压缩机和高速旋转泵机组中,原动机(多用电动机或透平)和被拖动的压缩机、泵之间需采用增速齿轮。

(3) 在船舶主推进装置中,动力透平通过齿轮装置的减速后,再带动螺旋桨。

(4) 其它用途,如在航空发动机中,采用行星齿轮减速装置带动螺旋推进器;各类发动机的泵前传动箱中,主轴通过齿轮传动装置减速或增速之后,带动润滑油泵、燃料泵及空气泵等辅助设备。

本书主要针对透平齿轮传动进行论述。

一、高速齿轮传动的基本型式

1. 一般平行轴传动^[1]

(1) 一级传动(图 1-1a)

由一对齿轮相啮合所组成的传动是最简单的传动形式。常用传动比范围为 $1:8$, 最大可达 $1:10$ 。这种传动普遍用在透平发电机组的减速装置、电动机拖带压缩机及泵的增速装置中。此外在船用中速柴油机中也通过齿轮减速来带动螺旋

桨。

(2) 一级分流式传动(图 1-1b)

由二个小齿轮分别与同一个大齿轮相啮合所组成的传动。这种传动型式从动力传递的路线来看,它可实现功率分流或功率合并的目的。例如用于船舶柴油机的并车齿轮箱,就是采用这种型式实现减速并使两台柴油机功率合并以带动螺旋桨的。图 1-1c 为小齿轮轴支承在三个轴承上,这样使得齿轮轴弯曲变形减小,相对地可取较大齿宽,适用于传递更大的功率。

(3) 两级传动

这类传动的形式较多,图 1-1d 为两级传动、双输入的链式布置。这种传动在船用透平主减速齿轮装置中比较常见。它由高、低压蒸汽透平分别带动两个第一级小齿轮,经与之相啮合的第一级大齿轮分别串联第二级小齿轮,再与同一个第二级大齿轮相啮合输出后,连接尾轴和带动螺旋桨。图 1-1e 为两级传动、双输入的分流式布置(又称嵌套式布置),它的第一级大齿轮嵌在第二级小齿轮的中间,布置较紧凑,但中间轴同时承担两级传动的啮合作用力,使轴和轴承的负载都相应增加。这种传动在舰用透平主减速齿轮装置中可以见到。两级传动的传动比通常为 30~50,最大可达 70~80。

此外还有两级分流式传动(图 1-1f 和 1-1g)。这种传动能实现功率分流,使轮齿上载荷明显减低,在较大功率的船用透平主减速齿轮传动中采用。这种型式在船用齿轮传动中又称为闭锁式传动。

2. 内齿轮传动(图 1-1h)

由小齿轮和内齿圈相啮合而组成的齿轮传动。这种传动的优点是内啮合特性使得齿面抗点蚀能力大幅度提高,

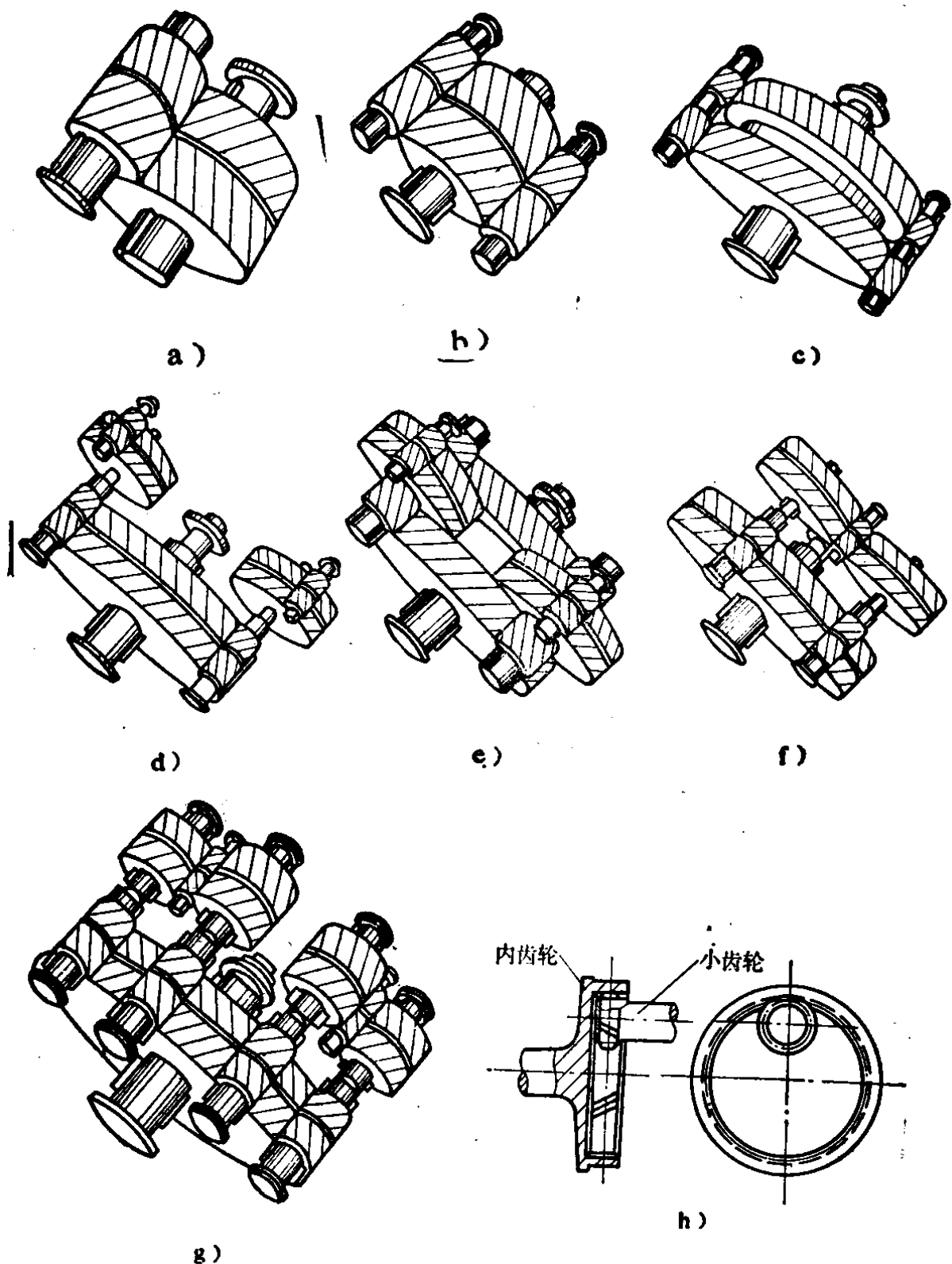


图 1-1 齿轮传动布置的基本型式

a) 一级传动 b) 一级分流式传动 c) 一级分流式传动, 小齿轮由三个轴承支承 d) 两级减速、双输入、链式布置 e) 两级减速、双输入、分流式布置(又称嵌套式布置) f) 两级减速、一级分流式传动、闭锁式布置 g) 两级减速、双输入、一级分流式传动、闭锁式布置 h) 内齿轮传动

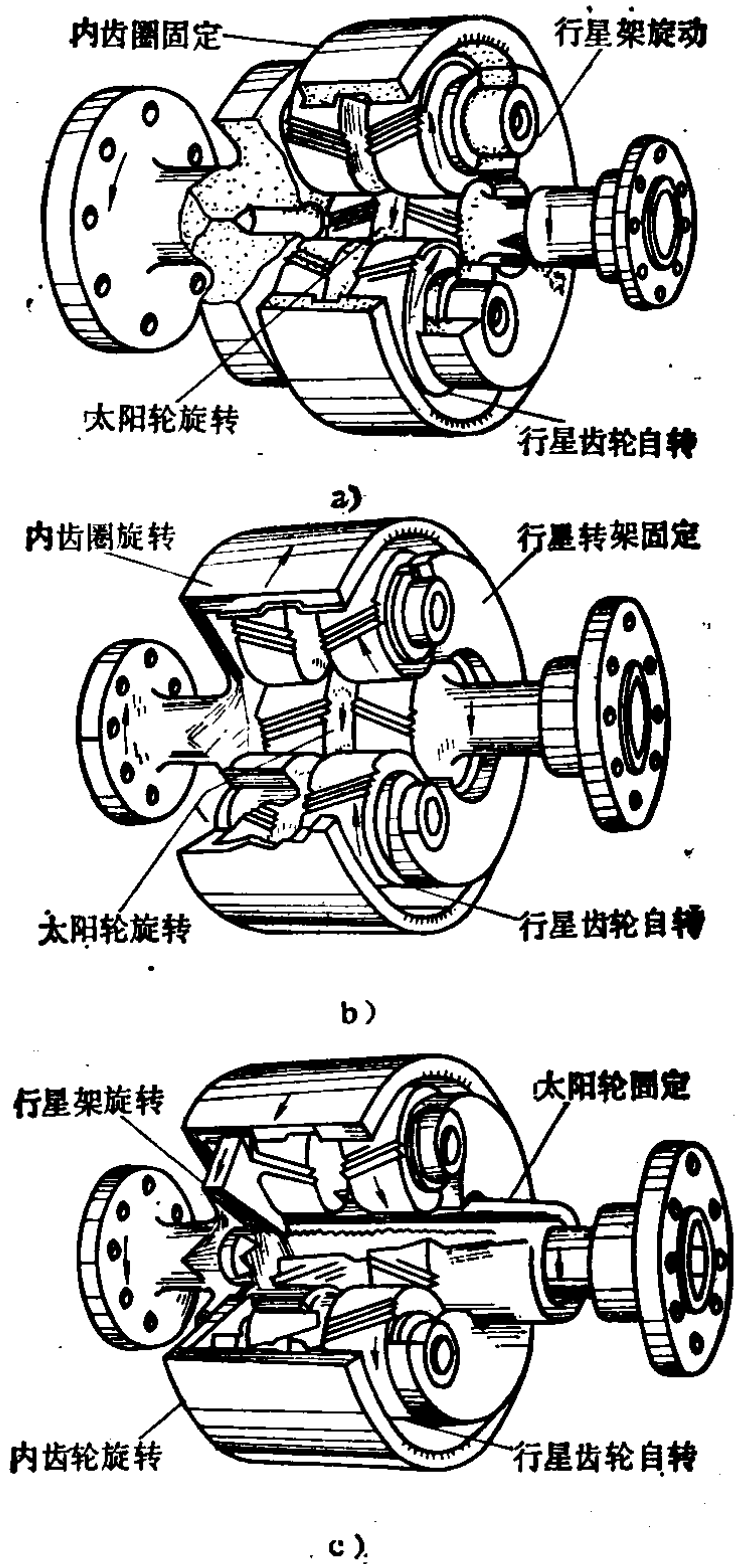


图 1-2 行星齿轮传动

a) 内齿圈固定 b) 行星转架固定 c) 太阳轮固定

传动尺寸较紧凑,但由于结构上只能为悬臂形式,受力条件较为恶劣,因此只在功率较小的机器中应用,如在船用小功率柴油机传动中可以见到。

3. 行星齿轮传动

在动力传动中常见到的行星齿轮传动有三种型式,它们布置形式都归属于典型的 NGW 型一类,基本构件是由两个中心轮(太阳轮和内齿轮),若干个行星轮和转臂等组成。通常有以下三种传动方式。

(1) 内齿圈固定的行星齿轮传动(图 1-2a)

这种传动中内齿圈固定,而太阳轮和行星转架各自作同向旋转。太阳轮为高速轴,行星转架为低速轴。这种传动的传动比适用范围在 3:1 和 12:1 之间。

(2) 行星转架固定的行星齿轮传动(图 1-2b)

这种传动是把行星转架固定,而太阳轮和内齿圈各自作反向转动。太阳轮为高速轴,内齿圈连接轴为低速轴。这种传动的传动比适用范围在 2:1 和 11:1 之间。

(3) 太阳轮固定的行星齿轮传动(图 1-2c)

这种传动是把太阳轮固定,行星转架和内齿圈各自作同向转动。内齿圈连接轴为高速轴,行星转架为低速轴。这种传动的传动比范围在 1.1:1 和 1.7:1 之间。

以上三种 NGW 型行星齿轮传动的传动比计算见表 1-1。

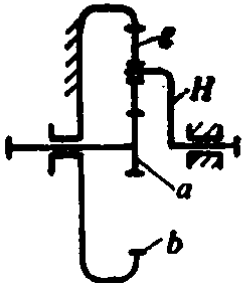
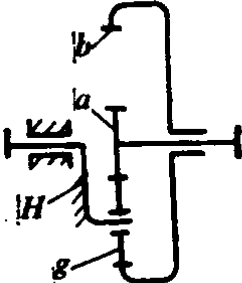
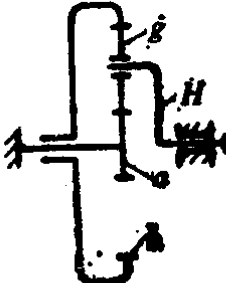
在设计行星齿轮传动时应注意以下问题:

1) 要求各行星齿轮能保证同时与太阳轮及内齿轮相啮合,且受载较均匀。

2) 对于行星转架转动的传动,要注意由于旋转产生的离心力而使行星齿轮轴承负载增加的影响因素。在高速行星传

动中，通常由于离心力所加给行星齿轮轴承的载荷占其总载荷的 80% 左右,故对转架的转速确定应予以慎重考虑。工程实践证明，行星转架的转速一般限制在 1800rpm 之内，过高的转速将引起转架鼓风摩擦和搅拌润滑油的损耗增加，使传动装置的效率下降。

表 1-1 行星齿轮传动比计算

传动形式	图示结构	传 动 比	输出、输入轴 旋转方向
内齿圈固定		$i = \frac{z_b}{z_a} + 1$	同方向
行星转架固定		$i = \frac{z_b}{z_a}$	反方向
太阳轮固定		$i = \frac{z_a}{z_b} + 1$	同方向

二、高速齿轮传动的主要用途

1. 发电用透平齿轮传动

从透平热力性能分析指出,为使机组具有较高的热效率,

要求各级通流部分保持较高的热效率。通常衡量级效率的高低主要采用 u/c_0 值 (级的平均直径处圆周速度 u 和级的焓降 c_0)，例如对于冲动级叶片，当 u/c_0 保持在 0.5 左右时，可获得较高的级效率。从上述关系看出，为了保持较佳的 u/c_0 值，当选取的级圆周速度 u 愈高时，相应地可选取级的焓降也愈大，结果使透平的级数减少。要获得较大的级圆周速度，通常有两种途径：一种是将叶轮直径增大，但对于功率不太大的机组，由于有限的蒸汽流量，在保持叶片通流部份的截面不变前提下，叶轮直径增大，将使叶片高度相应降低，这样由于相对间隙增加，使漏汽损失增大，造成级效率降低。另外一种途径是将透平转速提高来实现较大的级圆周速度，这样使叶轮直径减小，叶片相对高度增加，对提高级效率有好处(见图1-3)。透平转速提高多少，还要考虑到转子等旋转部件的强度及气动性能中临界音速马赫数对效率的影响等因素。

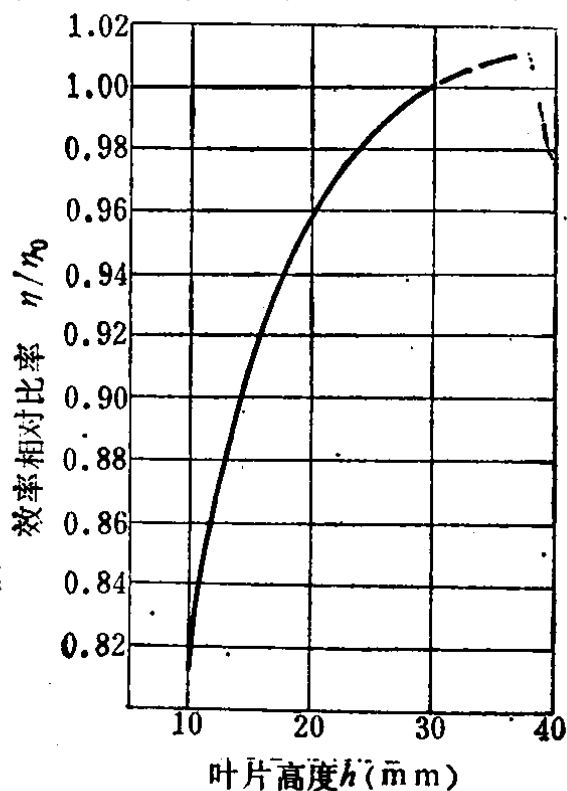


图 1-3 叶片高度与热效率的关系^[2]