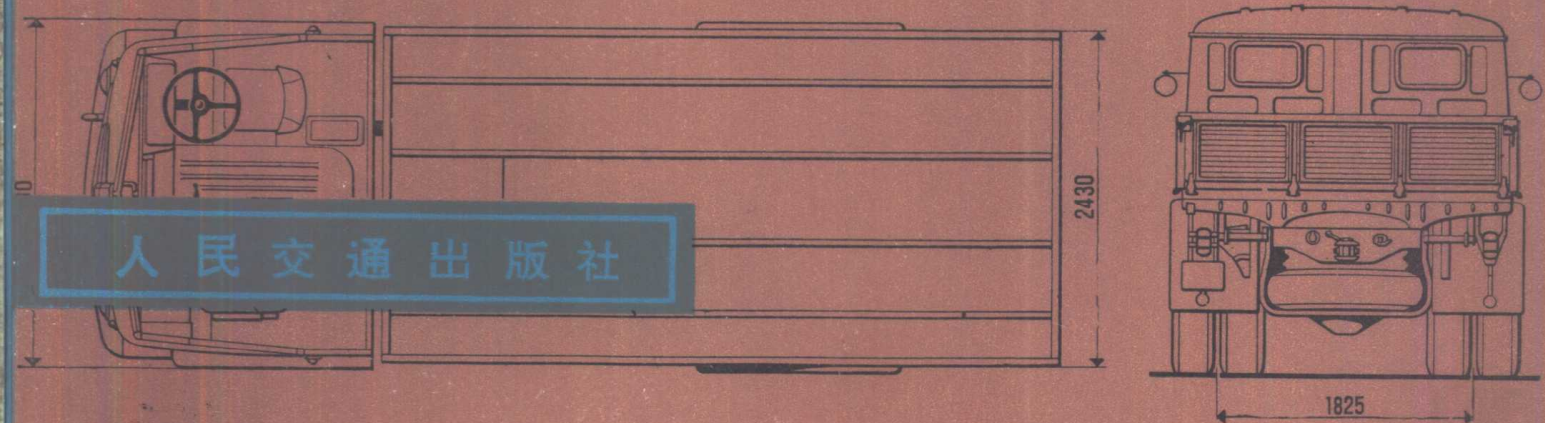
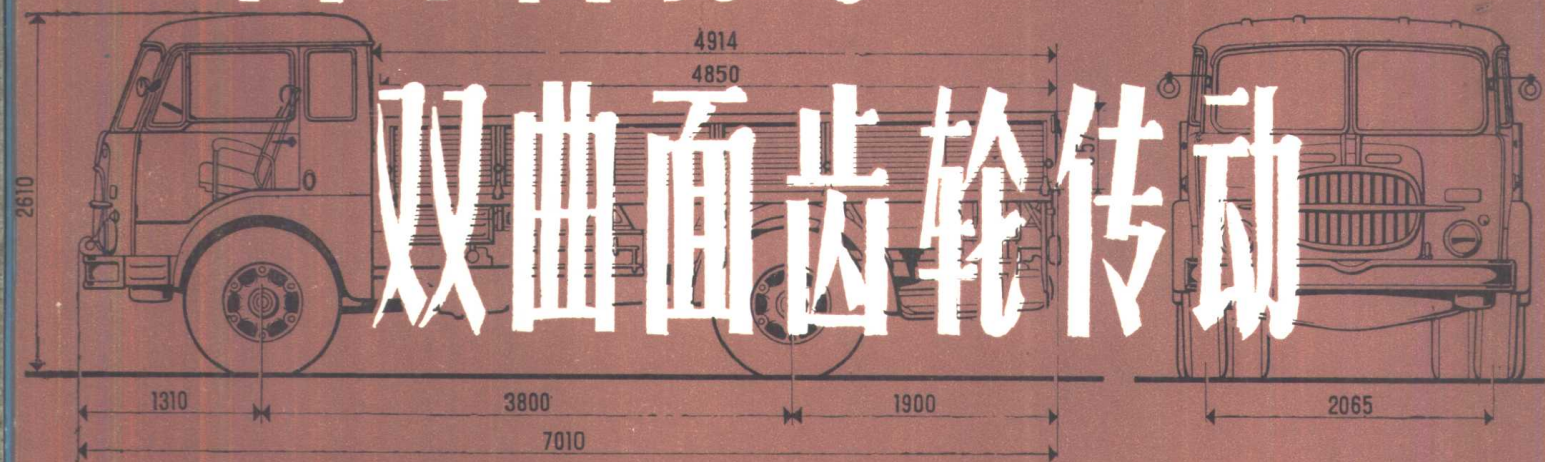


汽车设计丛书

圆锥齿轮与

双曲面齿轮传动



人民交通出版社

汽车设计丛书

圆锥齿轮与双曲面齿轮传动

刘惟信 编

人民交通出版社

汽车设计丛书

圆锥齿轮与双曲面齿轮传动

刘惟信 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

西安新华印刷厂印

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.5 字数: 370

1980年12月 第1版

1980年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,700册 定价: 2.70元

内 容 提 要

本书主要包括：圆锥齿轮与双曲面齿轮的一般介绍、圆锥齿轮的传动原理、圆锥齿轮与双曲面齿轮的基本参数选择与几何尺寸计算、圆锥齿轮与双曲面齿轮的强度计算及工作寿命计算、圆锥齿轮与双曲面齿轮的加工和支承设计及安装调整等，可供从事汽车设计工作的技术人员参考，亦可作为大专院校师生的阅读参考资料。

前 言

本书是《汽车设计丛书》之一，由齿轮原理开始，重点介绍了汽车驱动桥（主减速器和差速器）各种圆锥齿轮与双曲面齿轮的设计计算方法以及“格里森”圆锥齿轮与双曲面齿轮的最新资料，并列入了较多的设计数据和图表供查阅，附有计算例题供参考。同时还简述了加工方法、测绘方法等。考虑到一般机械设计的需要，还给出了一般工业用锥齿轮的设计计算方法。

在编写过程中，得到了清华大学金之垣、张世民及北京齿轮厂张思蒲等许多同志的帮助和其他齿轮加工厂（如北京齿轮厂、陕西齿轮厂、北京汽车制造厂等）的指导和提供资料，在此表示衷心感谢。

刘 惟 信

一九八〇年十二月

主要代号及名称

A_i	小端锥距	i_0	主减速器速比
A_m	中点锥距	J	齿轮强度计算用的综合系数(几何系数)
A_0	节锥距(外锥距)	K	主动齿轮放大系数, 见图3-67
A_p	参考锥距	K_{40}	差速器齿轮节锥距系数
B	齿侧间隙	K_a	齿顶高系数
C	径向间隙	K_{d_2}	从动齿轮直径系数
C'	刀轴倾角, 见图3-60~3-63	K_f	表面质量系数
C_c	综合系数, 见图4-38	K_H	表面硬度系数
C_M	材料系数, 见表3-5	K_L	寿命系数
C_p	材料的弹性系数, 见表4-5	K_m	载荷分配系数, 见表4-3; 模数系数, 见式(3-19)
C_s	重叠系数	K_o	超载系数, 见表3-1
d	齿轮节圆直径	K_p	接触计算用材料系数, 见表3-4
d_0	外圆直径	K_R	安全储备系数
E	双曲面齿轮偏移距	K_S	尺寸系数, 见图4-3
E_b	滚动圆半径	K_t	温度系数
E_x	偏心距	K_u	润滑系数
E_y	摆线基圆半径	K_v	质量系数(动载系数), 见图4-2
F	齿面宽	$K_{球}$	行星齿轮球面半径系数
f_H	汽车正常使用的平均爬坡能力系数, 见表3-3	L	安装距
f_p	性能系数, 见式(3-3)	$L_{c.p}$	小齿轮在最大扭矩下的当量循环次数
f_R	道路滚动阻力系数, 见表3-2	L_H	工作寿命(小时)
f_v	速度系数	M	扭矩
G_0	汽车满载总重	$M_{e,max}$	发动机最大扭矩
G_2	驱动桥称重	$M_{计}$	计算扭矩
h	齿全高	$M_{计均}$	平均计算扭矩
h'	齿顶高	$M_{计发}$	按发动机最大扭矩的计算扭矩
h''	齿根高	$M_{计附}$	按最大附着力的计算扭矩
h_g	齿工作高	$M_{计主}$	主动齿轮计算扭矩
h_x	分度圆端面弦齿高	m	大端端面模数
h_{x_n}	分度圆法向弦齿高	m_F	齿面(纵向)重叠系数, 见图3-32
$h_{1' max}$	不产生根切时主动齿轮允许的最大齿根高	$m_{n,m}$	中点法向模数
Δh	高度变位置	$m_{n,p}$	参考点法向模数
i	速比	m_p	端面重叠系数, 见表4-8
i_F	分动器速比	m_p'	齿高模数
i_k	变速器速比	N_e	功率

P 圆周力
 P_m 齿面宽中点的圆周力
 p_{mi} 齿面宽中点处的极限弯曲载荷
 p_x 轴向力
 p_r' 齿轮的径向力
 单位齿长上的圆周力
 $p[p]$ 许用单位齿长上的圆周力, 见表 4—2
 $R_{球}$ 行星齿轮球面半径
 r_b 刀盘切线半径
 r_d 刀盘名义半径
 r_h 轮胎的滚动半径
 r_m 齿面宽中点处的分度圆半径
 r_w 刀盘上刀片平均形成半径
 S 分度圆(端面)理论弧齿厚
 S_{np} 参考点分度圆法向理论弧齿厚
 S_{in} 轮齿根部危险截面齿厚
 S_x 分度圆端面弦齿厚
 S_{xn} 分度圆法向弦齿厚
 ΔS 切向变位量
 t (大端)周节
 x_0 节锥顶点至齿轮外缘距离
 Y 齿形系数
 Z 齿数

$Z_{当}$ 当量圆柱齿轮齿数
 Z_p 平面齿轮齿数
 Z_w 刀盘上刀片组数
 α 法向压力角
 α_e 外刀齿的齿形角
 α_i 内刀齿的齿形角
 β 螺旋角
 β_m 中点螺旋角
 β_p 参考点螺旋角
 r 节锥角
 r_0 面锥角
 r_R 根锥角
 δ 齿根角
 Σ 轴间夹角
 τ 切向修正系数(弧齿厚系数)
 ξ 高度修正系数
 σ_b 材料的抗拉强度极限
 σ_j 齿面计算接触应力
 $[\sigma_j]$ 许用接触应力
 σ_{j0} 基本许用接触应力, 见表 4—6
 σ_{L0} 基本许用拉伸应力, 见表 4—4
 σ_w 轮齿根部的计算弯曲应力
 $[\sigma_w]$ 许用弯曲应力
 φ 轮胎与地面的附着系数

目 录

主要代号及名称	(5)
第一章 圆锥齿轮与双曲面齿轮的一般介绍	(1)
第一节 圆锥齿轮的分类	(1)
一、节锥齿线的类型	(1)
二、圆锥齿轮的分类	(2)
第二节 双曲面齿轮	(4)
第三节 各种圆锥齿轮和双曲面齿轮的应用范围	(5)
第二章 圆锥齿轮的传动原理	(7)
第一节 相对运动的瞬时回转轴及其与齿轮传动的关系	(7)
第二节 节锥、节锥母线和节圆,圆锥齿轮的基本要素	(9)
第三节 圆锥齿轮的啮合原理	(11)
第四节 圆锥齿轮齿形的近似构形法和近似分析法	(15)
第五节 球面渐开线啮合的基本公式	(17)
一、球面渐开线锥表面的方程式	(17)
二、球面渐开线方程式	(18)
三、基锥角的求法	(18)
第六节 平面锥齿轮、平顶锥齿轮与圆锥齿轮的切齿原理及刀刃形状	(19)
一、平面锥齿轮	(19)
二、圆锥齿轮的切齿原理	(20)
三、平面锥齿轮的齿廓方程式及刀具的刀刃形状	(22)
四、“8字线”啮合	(23)
五、圆锥齿轮的齿制。渐缩齿和等高齿。平顶锥齿轮	(23)
第七节 圆弧齿锥齿轮及延伸外摆线齿锥齿轮齿线形成的原理	(26)
第八节 双曲面齿轮传动原理	(28)
一、一对作相对纯滚动的双曲面的形成原理	(28)
二、双曲面齿轮传动的几何关系	(28)
第九节 圆锥齿轮的修正	(29)
第三章 圆锥齿轮与双曲面齿轮的基本参数选择与几何尺寸计算	(31)
第一节 圆锥齿轮与双曲面齿轮计算载荷的确定	(31)
一、一般工业用锥齿轮计算载荷的确定	(31)
二、汽车驱动桥圆锥齿轮与双曲面齿轮计算载荷的确定	(32)
第二节 圆锥齿轮与双曲面齿轮的基本参数选择	(36)
一、一般工业用锥齿轮的节圆直径及齿数的选择	(36)
二、汽车差速器齿轮的基本参数选择	(40)

三、汽车主减速器螺旋锥齿轮与双曲面齿轮传动型式的比较和选择·····	(46)
四、汽车主减速器螺旋锥齿轮与双曲面齿轮的齿数、模数和节圆直径的选择·····	(51)
五、齿面宽 F 的选择·····	(57)
六、双曲面小齿轮偏移距 E 的选择·····	(69)
七、螺旋角 β 的选择·····	(70)
八、螺旋方向的选择·····	(74)
九、法向压力角 α 的选择·····	(75)
十、圆弧齿锥齿轮铣刀盘名义直径 $2r_a$ 的选择·····	(75)
第三节 渐缩齿圆锥齿轮与双曲面齿轮的几何尺寸计算 ·····	(77)
一、直齿锥齿轮的几何尺寸计算·····	(77)
二、圆弧齿零度螺旋锥齿轮的几何尺寸计算·····	(90)
三、圆弧齿螺旋锥齿轮的几何尺寸计算·····	(93)
四、圆弧齿双曲面齿轮的几何尺寸计算·····	(105)
第四节 等高齿圆锥齿轮与双曲面齿轮的几何尺寸计算 ·····	(121)
一、普通型(N 型)延伸外摆线齿螺旋锥齿轮的几何尺寸计算·····	(123)
二、特型(G 型)延伸外摆线齿螺旋锥齿轮的几何尺寸计算·····	(136)
三、 HN 型延伸外摆线齿双曲面齿轮的几何尺寸计算·····	(136)
四、 HG 型延伸外摆线齿双曲面齿轮的几何尺寸计算·····	(136)
第四章 圆锥齿轮与双曲面齿轮的强度计算及工作寿命计算 ·····	(167)
第一节 齿轮的损坏形式及寿命 ·····	(167)
第二节 渐缩齿圆锥齿轮与双曲面齿轮的强度计算及工作寿命计算 ·····	(169)
一、单位齿长上的圆周力·····	(169)
二、轮齿的弯曲强度计算·····	(170)
三、轮齿的齿面接触强度计算·····	(183)
四、强度计算后齿轮尺寸的调整·····	(193)
五、齿轮的工作寿命计算·····	(193)
第三节 延伸外摆线等高齿圆锥齿轮与双曲面齿轮的强度计算及工作寿命计算 ·····	(195)
一、轮齿的弯曲强度计算·····	(195)
二、轮齿的齿面接触强度计算及工作寿命计算·····	(199)
第五章 圆锥齿轮与双曲面齿轮的加工 ·····	(201)
第一节 直齿锥齿轮的加工方法 ·····	(201)
一、用成对刨刀刨削加工·····	(201)
二、用成对圆盘铣刀铣削加工·····	(201)
三、用圆盘拉刀拉削加工·····	(202)
第二节 圆弧齿锥齿轮的加工方法 ·····	(203)
第三节 圆弧齿锥齿轮加工中的特点 ·····	(206)
一、圆弧齿锥齿轮铣刀盘的刀齿齿形角与刀号的选择·····	(206)
二、对角线接触·····	(209)

三、接触区长度的校正·····	(210)
第四节 延伸外摆线等高齿锥齿轮的加工方法·····	(210)
第六章 圆锥齿轮与双曲面齿轮的支承设计及安装调整·····	(212)
第一节 齿轮轴承载荷的确定·····	(212)
一、齿面宽中点处的圆周力 P_m 的确定·····	(212)
二、圆锥齿轮与双曲面齿轮的轴向力·····	(213)
三、圆锥齿轮与双曲面齿轮的径向力·····	(213)
四、齿轮的轴承载荷·····	(216)
第二节 齿轮的支承形式及安装·····	(217)
第三节 齿面接触区和齿侧间隙在安装时的调整·····	(222)
第七章 圆锥齿轮与双曲面齿轮材料及热处理的选择·····	(225)
第八章 齿轮的结构设计、精度选择、生产图纸及技术要求·····	(230)
第一节 齿轮的结构设计·····	(230)
第二节 圆锥齿轮与双曲面齿轮的精度·····	(231)
一、齿部精度·····	(231)
二、齿轮坯公差·····	(235)
第三节 齿轮的生产图纸及技术要求·····	(240)
一、汽车差速器直齿锥齿轮的生产图纸及技术要求·····	(240)
二、汽车主减速器螺旋锥齿轮及双曲面齿轮的生产图纸及技术要求·····	(250)
第九章 锥齿轮的简易测绘·····	(269)

第一章 圆锥齿轮与双曲面 齿轮的一般介绍

圆锥齿轮与双曲面齿轮传动，是机械传动的一种重要型式，在汽车、拖拉机、机床和其它许多机械制造产品上，以及许多动力传递装置上，得到了广泛的应用。在汽车、拖拉机的驱动桥上，最常采用的传动型式，就是圆锥齿轮或双曲面齿轮传动。

圆锥齿轮与双曲面齿轮传动也和其它型式的机械传动一样，要求传动平稳及承载能力强。圆锥齿轮用于传递相交两轴之间的回转运动，且交角可以是任意的，但大多数为 90° 。双曲面齿轮用于传递空间交叉的两轴之间的回转运动，夹角也可以是任意的，但除了极特殊的情况外，都是采用 90° 夹角。

下面，先一般地介绍一下圆锥齿轮和双曲面齿轮的概况。

第一节 圆锥齿轮的分类

一、节锥齿线的类型

在第二章中，我们将了解到：一对圆锥齿轮的啮合，相当于两个圆锥体之间的相对纯（无滑动）滚动，这些圆锥称为圆锥齿轮的节锥。节锥表面和轮齿表面的交线，称为节锥齿线（或称齿面节线）。在节锥表面的展开图中，节锥齿线主要有以下几种类型：

1. 直线形的

它又分为径向直线形（图1—1a）和切向直线形（图1—1b）两种。

2. 曲线形的

它又包括圆弧形（图1—1c）、准渐开线（延长渐开线）形（图1—1d）和延伸外摆线形（图1—1e）三种。

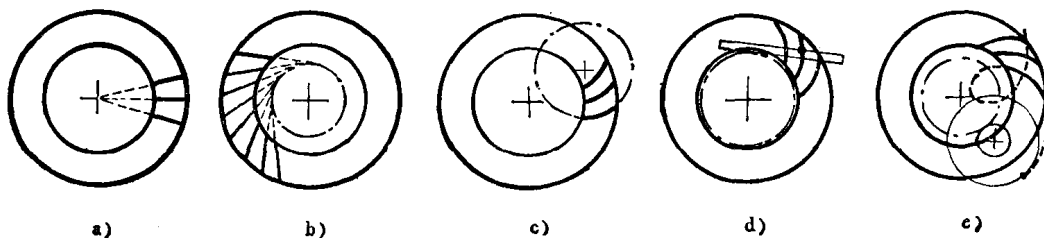


图1—1 圆锥齿轮节锥齿线的主要类型

如（图1—1d）所示，当一个直尺沿基圆作纯滚动时，直尺内侧（与基圆相切的一边）上任一点的轨迹是渐开线，直尺外侧上任一点的轨迹是延长渐开线，直尺内侧以内任一点的轨迹为缩短渐开线，延长渐开线与缩短渐开线都是近似渐开线，称为准渐开线。

这里再介绍一下什么是延伸外摆线，如图1—2所示。如果在外摆线滚动圆的半径延长线上取一点 K ，则当滚动圆在基圆上作纯滚动时， K 点所走的轨迹就叫做延伸外摆线。

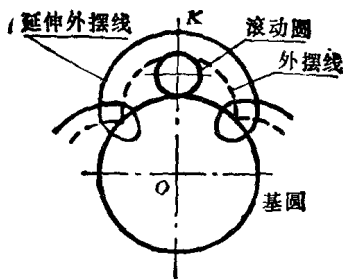


图 1-2 延伸外摆线

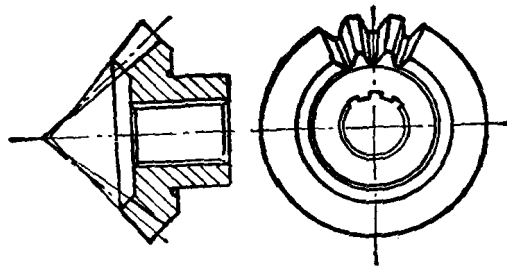


图 1-3 直齿锥齿轮

二、圆锥齿轮的分类

根据节锥表面展开图中齿线形状的不同，圆锥齿轮可分为：

1. 直齿锥齿轮

直齿锥齿轮是圆锥齿轮中最简单的一种。其节锥齿线为径向直线形，各齿线都通过节锥锥尖（图 1-1a）。如图 1-3 所示，它的轮齿走向是沿圆锥母线方向，并逐渐地由齿轮截锥体的大端向小端按比例收缩，最后在空间交于两相啮合齿轮轴线的交点处。

2. 斜齿锥齿轮

如图 1-1b 所示，在斜齿锥齿轮的节锥表面展开图中，其节锥齿线都和一个与节锥轴线同心的圆相切，故又称为切线齿锥齿轮。它相对于直齿锥齿轮的优点，和斜齿圆柱齿轮相对于直齿圆柱齿轮的优点一样：冲击载荷小一些，运转得更平稳一些。但由于这种齿轮的加工生产率低，性能又不如能用专门高效能机床可大量生产的螺旋锥齿轮，因此逐渐被后者所代替，目前已很少使用。

3. 零度螺旋锥齿轮

在介绍零度螺旋锥齿轮以前，先介绍一下什么是螺旋角。

如图 1-4 所示，在节锥表面的展开图上，当节锥齿线是曲线时，曲线上任一点 C 的切线 T 与该点和节锥顶点连线 OL 之间的夹角 β ，称为该点处的螺旋角。节锥齿线在齿圈中点（即节锥齿线在齿面宽的长度范围内的中点）处的螺旋角，称为中点螺旋角。通常如不特别指出位置，则螺旋角系指中点螺旋角。

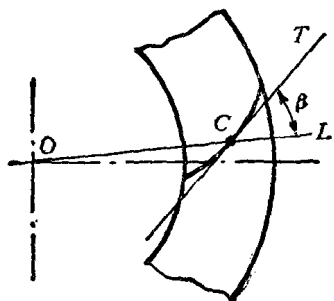


图 1-4 螺旋角（在节锥表面展开图上）

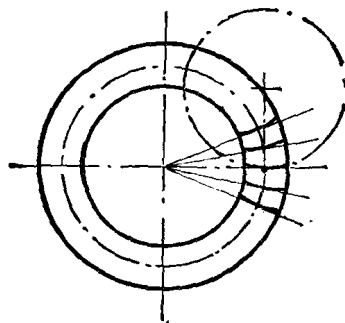


图 1-5 零度螺旋锥齿轮

零度螺旋锥齿轮，是指中点螺旋角为零度的螺旋锥齿轮。如图 1-5 及图 1-6 所示，它具有和直齿锥齿轮走向相同但弯曲的轮齿。这种齿轮是在加工中点螺旋角不是零度的普通的螺旋锥齿轮（即圆弧齿锥齿轮）的机床上加工，因此和普通的螺旋锥齿轮一样，它可以具有局部（点）接触的齿面（见图 1-7），这是零度螺旋锥齿轮优于一般的直齿锥齿轮的地

方。因为一般的（在锥齿轮刨齿机上加工的）直齿锥齿轮在啮合时，一对相啮合的轮齿是沿全长接触的，当啮合不正确时容易引起仅由齿的一端接触而产生应力集中。带有局部齿面接触（点接触）的齿轮啮合，在装配时是可以调节的。对于带有局部（点）接触的齿轮，当发生由于载荷作用而引起的变形或者发生由于装配位置不准、加工时位置有误差等原因所引起的不大的轴线移位时，将不会引起啮合齿面的应力集中（见图 1—7b）。

零度螺旋锥齿轮与直齿锥齿轮产生相同的支承负荷。因此，当它们的支承相同时，这两种齿轮传动副是可以互换的。

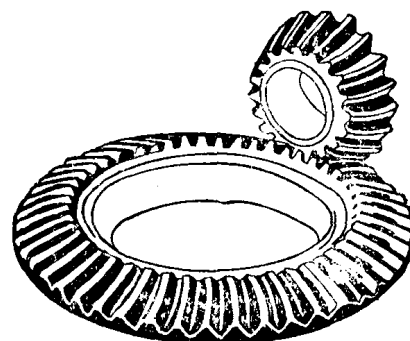


图 1—6 零度螺旋锥齿轮传动

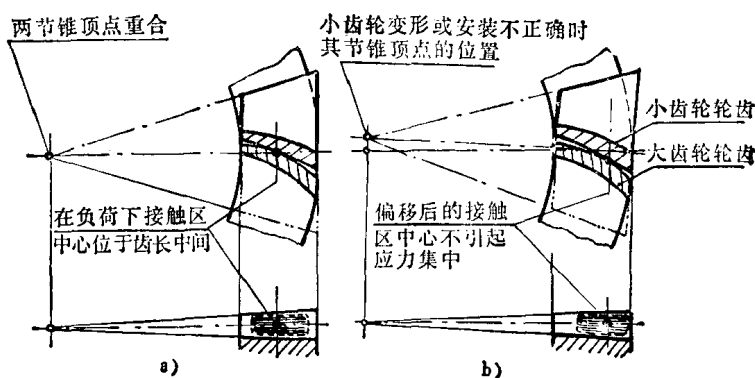


图 1—7 螺旋锥齿轮齿面的局部（点）接触，允许齿轮有某些相对位移
a) 齿轮位置正确； b) 齿轮位移

4. 螺旋锥齿轮

螺旋锥齿轮具有弯曲的节锥齿线（图1-1c, d, e和图 1—8）。可以想象，将一直齿锥齿轮沿齿长切成无数“小段”，并将各“小段”相对向同一方向转一小角度，于是便形成了具有弯曲轮齿的锥齿轮（图 1—9），每一“小段”各与其相啮合齿轮的相应“小段”相互啮合而无沿齿长方向的滑动。因而轮齿不是在其全长上同时啮合，而是逐渐地从一端连续平稳地转向另一端。也就是说，齿面接触区由齿的一端开始，逐渐地移向另一端。和直齿锥齿轮的啮合过程一样，其啮合伴随着接触斑点沿着齿廓表面的齿高方向移动。由于轮齿端面重叠（同时有几对齿进入啮合）的影响，至少有两对以上的轮齿同时啮合，因此螺旋锥齿轮较之同样大小（相同模数）的直齿锥齿轮和零度螺旋锥齿轮能传递更大的负荷，而且工作得更平稳。尤其在高速运转时，其噪音和震动比另两种齿轮显著减小。螺旋锥齿轮的最少齿数可减少到 6 个甚至 5 个，



图 1—8 螺旋锥齿轮传动

因而较之直齿锥齿轮可提高传动比。

齿面局部接触区的可以控制是螺旋锥齿轮的主要特点之一。在切齿时，通过对配对齿轮相啮合齿表面的曲率半径的不大改变，可以获得在给定工作条件下最好的齿面接触区的位置和大小。接触的局部性，显著地提高了螺旋锥齿轮工作的平稳性、降低了噪音，提高了齿轮寿

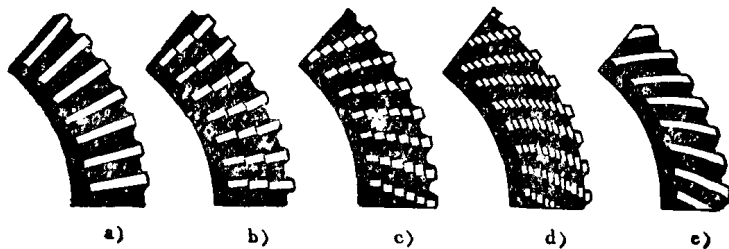


图 1—9

命，并且使在制造和装配的过程中所产生的不大的位移不会引起齿轮有应力集中的危险（见图 1—7）。由于螺旋锥齿轮的轮齿具有螺旋角，在传动中产生轴向力，在采用时应选择适当的轴承。对螺旋锥齿轮在热处理后进行配对研磨，可改善接触区、提高齿面光洁度以及降低噪音。

第二节 双曲面齿轮

从外观上看，双曲面齿轮与螺旋锥齿轮很相似。表面看去，两者（见图 1—10）之间的区别仅在于：在双曲面齿轮传动中，主动齿轮轴相对于从动齿轮轴有向上或向下的偏移，称

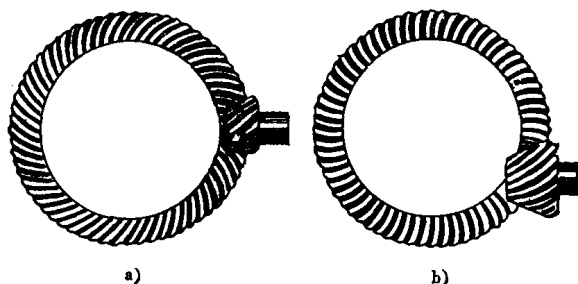


图 1—10 主、从动齿轮齿数分别相同的螺旋锥齿轮和双曲面齿轮的比较
a) 螺旋锥齿轮； b) 双曲面齿轮

为上偏置或下偏置。这个偏移量称之为偏移距。如果偏移距足够大时，则可使一个齿轮轴从另一个齿轮轴的上面通过。这样就使得在每个齿轮的两边能布置尺寸紧凑的支承。这对于增强支承刚度，保证齿轮正确啮合从而提高齿轮寿命大有好处。

螺旋锥齿轮传动的大小齿轮同一轮齿的两侧齿面具有对称的法向齿面形状，也就是说，它们具有相同的啮合角和相同的法向齿面轮廓线的曲率（图 1—11a）。而对双曲面传动来说，虽然大齿轮的法向齿面形状是对称的，但与其相啮合的小齿轮的法向齿面形状是不对称的。即其同一个轮齿的两个法向齿面轮廓线具有不同的曲率和不同的啮合角（图 1—11b）。

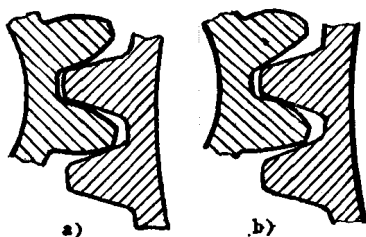


图 1—11 螺旋锥齿轮与双曲面齿轮小齿轮法向齿面形状的比较

通常，双曲面传动小齿轮的螺旋角大于大齿轮的螺旋角。因此一对相啮合的双曲面齿轮的法向模数虽相等，但端面模数是不等的，小齿轮的端面模数大于大齿轮的端面模数。这一情况就使得双曲面传动的小齿轮比相应的螺旋

锥齿轮传动的小齿轮，有更大一些的直径和更大的强度和刚度（图 1—10）。

在汽车驱动桥主减速器的设计中，采用双曲面齿轮传动，由于其主、从动齿轮轴的相对偏移，可给汽车总布置带来方便。例如采用下偏置的双曲面齿轮时，可降低小轿车传动轴的高度，从而降低了车厢内地板的高度，或减小了因设置传动轴通道而引起的地板凸起的高度，使小轿车的外形高度减小。

双曲面齿轮在啮合过程中，其接触点除了有沿着齿廓表面的移动外，尚有沿着齿长方向的滑动，因而在运转过程中较螺旋锥齿轮更为寂静平滑，而且还有利于磨合过程。但因有沿齿长方向的滑动且压力极大，故需要应用专门的双曲面齿轮润滑油来润滑。另外双曲面齿轮传动对安装误差较敏感，设计时应注意其有足够的安装刚度。在热处理后进行配对研磨，可改善接触区，提高齿面光洁度和降低噪音。

第三节 各种圆锥齿轮和双曲面齿轮的应用范围

各种圆锥齿轮传动，可以用在各种交角的两轴间。双曲面传动可用在各种夹角的空间交叉两轴间。

直齿锥齿轮：正因为齿是直的，所以啮合时每对轮齿都是在其全长上突然啮合，在高速传动中会产生冲击载荷并且运转不平稳，噪音也比较大，因此只被广泛地应用于齿轮节圆切线速度不大于5米/秒的轻负荷（当对齿面磨损要求不严时，也可用于高的静负荷）并且在平稳和噪音方面没有特别要求的传动中。转速再高时，会有较大的噪音。虽然新式切齿机可以控制轮齿的接触面，但因其重叠系数较小，故仍不能改善工作的平稳性，所以应用范围仍有一定限制。但用低碳合金钢制造、在精加工后经渗碳淬火热处理的直齿锥齿轮，非常广泛地应用在汽车驱动桥的差速器上，做为半轴齿轮和行星齿轮。在这些情况下，由于安装空间的限制，为了承受径向和轴向负荷通常都是使用滑动轴承（虽然滚动轴承在结构上允许的情况下总是受欢迎的）。当使用滑动轴承时，重量会轻些结构可更紧凑些和便宜些。这也是直齿锥齿轮广泛地用在差速器上的原因之一。

直齿锥齿轮在计算、调整机床和加工方面都比其它型式的圆锥齿轮简单，对品种多而批量小的生产也能适应。

零度螺旋锥齿轮：用于齿轮节圆切线速度不大于5米/秒的传动中。经过磨齿的零度螺旋锥齿轮成功地用于速度至75米/秒时的飞机行星齿轮箱中，当然该处对噪音是没有严格的要求的。当在某些结构上需安装螺旋锥齿轮，而又无法采用能承受螺旋锥齿轮所产生的那样大的轴向力的支承装置时，则可用零度螺旋锥齿轮代替螺旋锥齿轮。同时在不能采用螺旋锥齿轮，但需要齿形极精确并承受较大负荷的地方，用以代替直齿锥齿轮，因为零度螺旋锥齿轮啮合时，重叠系数比直齿锥齿轮大，工作亦较其平稳，且在需极精密处，轮齿表面可以磨光，以消除热处理变形，提高齿轮寿命。用零度螺旋锥齿轮代替直齿锥齿轮，有些是出于生产管理上的理由。例如，当已具备弧齿锥齿轮铣齿机或准备生产圆弧齿锥齿轮或双曲面齿轮时。因为零度螺旋锥齿轮是在加工圆弧齿锥齿轮和双曲面齿轮的机床上按同样方法加工，当生产批量不大时，通用一个机床不但可以节省设备，而且制造成本较直齿锥齿轮低、生产率高。

以零度螺旋锥齿轮代替直齿锥齿轮时，可以完全不改变原有轴承装置，因为和直齿锥齿轮一样，此式齿轮不论正转或反转，所产生的轴向力总是促使两齿轮互相斥离。

螺旋锥齿轮：用于需要寂静、平稳、负荷大及齿轮节圆切线速度大于5米/秒或转速高于1000转/分的传动中，例如汽车的主减速器。在不少的情况下，也利于用在较小转速但要求平稳、无噪音的传动中。当圆周速度超过40米/秒时，则必须采用热处理后经过磨齿的螺旋锥齿轮。对于淬硬后要求极端精密的齿轮，在热处理后可进行齿表面磨光，以提高质量。由于对齿面、齿底以及齿根圆角都可磨光，故可消除加工刀痕避免应力集中。

双曲面齿轮：由于其运转过程比螺旋锥齿轮更为平稳，所以凡是具有螺旋锥齿轮工作要求的地方，都可使用双曲面齿轮，然而两轴是交叉的。

双曲面齿轮多用于要求传动特别平稳无声、负荷大、速比大和要求紧凑的结构中。

由于其工作的平稳、无噪音和布置上的方便、双曲面齿轮几乎用在所有的小轿车上。近年来在载重汽车上迅速推广采用双曲面齿轮传动的的原因，是由于双曲面传动与螺旋锥齿轮传动比较，其主动齿轮可具有更大的直径和更高的强度，这样就可能在不减小主动齿轮支承轴径的情况下，加大传动比。

在精密机床制造中，当要求采用特别高精度的齿轮时，往往用大速比（在10以上）的双曲面传动代替蜗轮蜗杆传动，因为前者的主、从动齿轮在热处理后可以磨削。

由于螺旋锥齿轮和双曲面齿轮传递的负荷大，因此它们要求有更好的支承刚度，并要求按装滚动轴承来承受高的轴向负荷。

螺旋锥齿轮和双曲面齿轮传动通常只用于减速。经验证明用于增速时其速比必须很小，而小齿轮的支承必须采用滚动轴承，否则轴承中的磨擦会引起传动咬死。

在速比大而要求有小的轮廓尺寸时，常常采用螺旋锥齿轮和双曲面齿轮代替直齿锥齿轮和零度螺旋锥齿轮。

所有上述齿轮的耐磨性均随其齿数的增加而提高。在一般的机械传动中，直齿锥齿轮的齿数应不少于13个，当速比为1:1时应不少于16个，零度螺旋锥齿轮的齿数应不少于14个，螺旋锥齿轮和双曲面齿轮可有较少的齿数，例如在普通的应用范围内当速比等于6和以上时，齿轮的齿数建议采用8或更大些。除大速比的传动外，螺旋锥齿轮和双曲面齿轮的最少齿数等于6应是实际上的极限。在汽车行业中，差速器行星齿轮（直齿锥齿轮）的最小齿数为10，半轴齿轮（直齿锥齿轮）为14，而主减速器主动齿轮（螺旋锥齿轮或双曲面齿轮）的最少齿数可取5。

在圆锥齿轮——圆柱齿轮的两级减速中（例如汽车非贯通式驱动桥双级主减速器），建议将圆锥齿轮作为第一级减速用。这样圆锥齿轮的尺寸可以小些，而大尺寸的圆锥齿轮在加工中比小尺寸的难于达到足够的精度，且加工大尺寸圆锥齿轮的机床也不如加工较小的一般尺寸的用的广泛。

关于圆锥齿轮和双曲面齿轮的传动效率：

在整个传动系中，传动效率除与齿轮副有关外还与轴承的型式、润滑方式、制造精度和调整精度有关。在通常的速度范围内，直齿锥齿轮、零度螺旋锥齿轮和螺旋锥齿轮的传动效率实际上是一样的。试验表明，精加工出来的圆锥齿轮在正确调整下其传动效率为98%。在双曲面传动中，齿轮的啮合伴随着附加的齿面沿纵向的滑动，因此它们的传动效率低于圆锥齿轮，当速比小于10时，其传动效率为96~98%。

第二章 圆锥齿轮的传动原理

我们也可以象把圆柱齿轮传动看成是一对圆柱体的相对纯（无滑动）滚动那样，来把圆锥齿轮看成是一对圆锥体的相对纯滚动。那么在给定齿轮轴夹角及它们的转速的情况下，怎样才能求出这一对纯滚动的锥体呢？为此，我们首先应了解什么是瞬时回转轴以及由它所形成的瞬轴面。

第一节 相对运动的瞬时回转轴及其与齿轮传动的关系

由运动学得知，瞬时回转中心是固定平面（即两构件所在的平面）中的这样一个点，在该处两构件的相对运动速度等于零；而瞬时回转轴是两构件所在空间的这样一直线，在该线上两构件的相对运动速度等于零。例如，我们将两圆柱齿轮间的运动看成是半径等于它们的节圆半径 r_1 、 r_2 的两个圆柱体（节圆柱）摩擦轮之间的相对纯滚动（图 2—1）。这时它们在公共母线 $P-P$ 上的任一点处的切线速度 \bar{v}_1 、 \bar{v}_2 都是相等的，所以在 $P-P$ 线上任一点处它们的相对运动速度为零，即 $\bar{v}_{12} = \bar{v}_1 - \bar{v}_2 = 0$ ，所以 $P-P$ 为它们相对运动的瞬时回转轴。又因 $\bar{v}_1 = r_1\bar{\omega}_1$ ； $\bar{v}_2 = r_2\bar{\omega}_2$ 故 $r_1\bar{\omega}_1 = r_2\bar{\omega}_2$

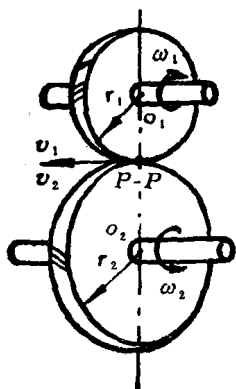


图 2—1 圆柱齿轮传动的瞬时回转轴

$$\text{得} \quad i_{12} = \frac{\bar{\omega}_1}{\bar{\omega}_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

由此可见，在平行轴之间的传动中，构件 1 和构件 2 相对运动的瞬时回转中心 P （瞬时回转轴在垂直于圆柱齿轮轴线的平面上的投影）位于固定平面中的联心线 O_1O_2 上，而且把中心距分成两段，这两段的长度和齿轮的瞬时角速度成反比。因此，在平行轴间的传动中，只要我们先求出两构件相对运动的瞬时回转中心 P 的位置（即求出 O_1P 或 O_2P ），则可求得它们的

传动比。而且当 $\frac{O_2P}{O_1P}$ 的数值保持不变时，则可得到稳定不变的传动比，这是齿轮传动的基本要求。

圆锥齿轮是用来传递相交轴之间定传动比的回转运动。设要把回转运动从 OO_1 轴传到 OO_2 轴（图 2—2），而两轴线之间的夹角为 Σ ，如果 ω_1 、 ω_2 分别为构件 1 绕 OO_1 轴和构件 2 绕 OO_2 轴回转的角速度，则传动的角速比为 $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ 。

很显然，在上述各项中，两轴交角 Σ 是根据机械传动系的布置来确定的， ω_1 是驱动轴的角