

《日》近畿齿轮县语会 会田俊大 主编

齿轮的设计和制造

第三卷

圆锥齿轮 与蜗轮

中国农业机械出版社

2.41

かさ歯車とウォームギヤ

歯車の設計・製作③

近畿歯車懇話会編

會田俊夫監修

大河出版社，1979年初版 1刷発行

★ ★ ★

圓錐齒輪与蜗輪

◀ 齒輪的设计和制造 ▶ 第三卷

[日]近畿齒輪懇話会

會田俊夫 主编

金公望 馬燮璋 译

*

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

850×1168 32开 8 $\frac{1}{2}$ 印张 217千字

1984年7月北京第一版 · 1984年7月北京第一次印刷

印数：9,001—8,600 定价：1.25元

统一书号：15216·178

目 录[⊖]

第七章 圆锥齿轮的设计和制造	1
7.1 圆锥齿轮的种类和特点	1
7.1.1 直齿锥齿轮	1
7.1.2 曲线齿锥齿轮	2
7.1.3 零度锥齿轮	4
7.1.4 准双曲面齿轮	5
7.2 圆锥齿轮齿形	7
7.2.1 齿形	8
7.2.2 齿线曲线	9
7.3 圆锥齿轮的设计	9
7.3.1 圆锥齿轮概略设计	9
7.3.2 圆锥齿轮许用功率	18
7.3.3 圆锥齿轮齿部尺寸	39
7.3.4 安装设计	49
7.3.5 圆锥齿轮轮坯设计	56
7.3.6 机械加工公差	59
7.3.7 圆锥齿轮的材料	66
7.3.8 圆锥齿轮制造图	74
7.4 圆锥齿轮接触区	75
7.4.1 圆锥齿轮接触区分类	75
7.4.2 安装距与接触区的关系	77
7.4.3 齿轮箱体偏距误差或齿轮轴挠度对 接触区的影响	77
7.4.4 热处理对接触区的影响	77
7.4.5 安装试车注意事项	77

⊖ 本书是《齿轮的设计和制造》这套书共四卷中的第三卷，章次接第二卷第六章排列。按照原文，本书从第七章开始。——译注

7.5	圆锥齿轮的制造	79
7.5.1	圆锥齿轮制造工艺	79
7.5.2	直齿锥齿轮成形切齿法	82
7.5.3	直齿锥齿轮范成切齿法	88
7.5.4	曲线齿锥齿轮的切齿	94
7.5.5	格利森制曲线齿锥齿轮切齿	103
7.5.6	圆锥齿轮精加工和接触区调整	119
第八章	蜗轮的设计和制造	127
8.1	概述	127
8.1.1	蜗轮蜗杆传动的优点和缺点	127
8.1.2	蜗轮蜗杆传动的种类	129
8.1.3	蜗轮蜗杆减速器的种类	133
8.2	蜗轮蜗杆传动的设计	134
8.2.1	齿形	135
8.2.2	各部分尺寸	139
8.2.3	材料和热处理	153
8.2.4	蜗轮蜗杆传动的强度计算	160
8.2.5	蜗轮蜗杆传动装置的强度计算	174
8.2.6	效率	180
8.3	蜗轮蜗杆的制造	184
8.3.1	制造工艺	184
8.3.2	切齿法	193
8.4	蜗轮蜗杆传动的检验	211
8.4.1	各部分的精度	211
8.4.2	接触检验	212
8.4.3	运转检验	214
第九章	非切削加工齿轮的制造和特性	217
9.1	非切削加工齿轮的种类和特征	217
9.2	铸造齿轮的制造和特性	221
9.2.1	普通铸造齿轮	221
9.2.2	精铸齿轮	223
9.2.3	压铸齿轮	225
9.3	粉末冶金齿轮的制造和特性	226

9.4 锻造齿轮的制造和特性	231
9.4.1 热精锻法	231
9.4.2 冷精锻法	234
9.5 齿轮的冲压和拉拔加工法	238
9.5.1 齿轮的冲压加工	238
9.5.2 齿轮的拉拔加工	239
9.6 轧制齿轮的制造和特性	240
9.6.1 齿轮轧制概述	240
9.6.2 轧制方法	241
9.6.3 轧制齿轮的特性	249
9.7 塑料成形齿轮的制造和特性	252
9.7.1 塑料成形齿轮的制造	252
9.7.2 塑料齿轮的特性和强度设计	254

第七章 圆锥齿轮的设计和制造

圆锥齿轮 (bevel gears) 是在相交的两轴之间传递运动的圆锥形齿轮。按其齿线形状和方向可分为直齿锥齿轮 (straight bevel gears)、斜齿锥齿轮 (skew bevel gears)、零度锥齿轮 (zero bevel gears) 及曲线齿锥齿轮 (spiral bevel gears) 等。准双曲面齿轮 (hypoid gears) 是在相错的两轴间传递运动的圆锥形齿轮, 虽然不是圆锥齿轮, 但是它们在设计制造方面有许多类似之处, 因此与圆锥齿轮一起论述。

圆锥齿轮设计和切齿方式有几种, 但目前应用最广的是格利森公司 (Gleason Works) 方式。该公司从设计、切齿、热处理、研齿、磨齿到检验拥有整套完善的体系, 采用多种切齿机床和切齿方法, 可以适应不同用途和不同批量的生产。本章以格利森公司方式为主进行讨论, 并根据需要兼述其它方式。

7.1 圆锥齿轮的种类和特点

7.1.1 直齿锥齿轮

直齿锥齿轮是形状最简单的圆锥齿轮, 其轮齿为纯直齿。若将其齿线向小端延长, 则交于轴线上一点。

这种直齿锥齿轮通常用于速度较低的情况 (圆周速度低于 2 米/秒)。在最新的锥齿轮切齿机或锥齿轮磨齿机上用范成法加工的直齿锥齿轮, 对轮齿进行鼓形加工, 可任意控制接触区。格利森公司把这种锥齿轮称为鼓形直齿锥齿轮 (coniflex gears, 参见第一章图1-34)。鼓形直齿锥齿轮的优点, 如图7-1A所示, 即使存在装配误差或因载荷引起位置变化, 也不会 在轮齿端部产生应力集中, 因而不 易折断。

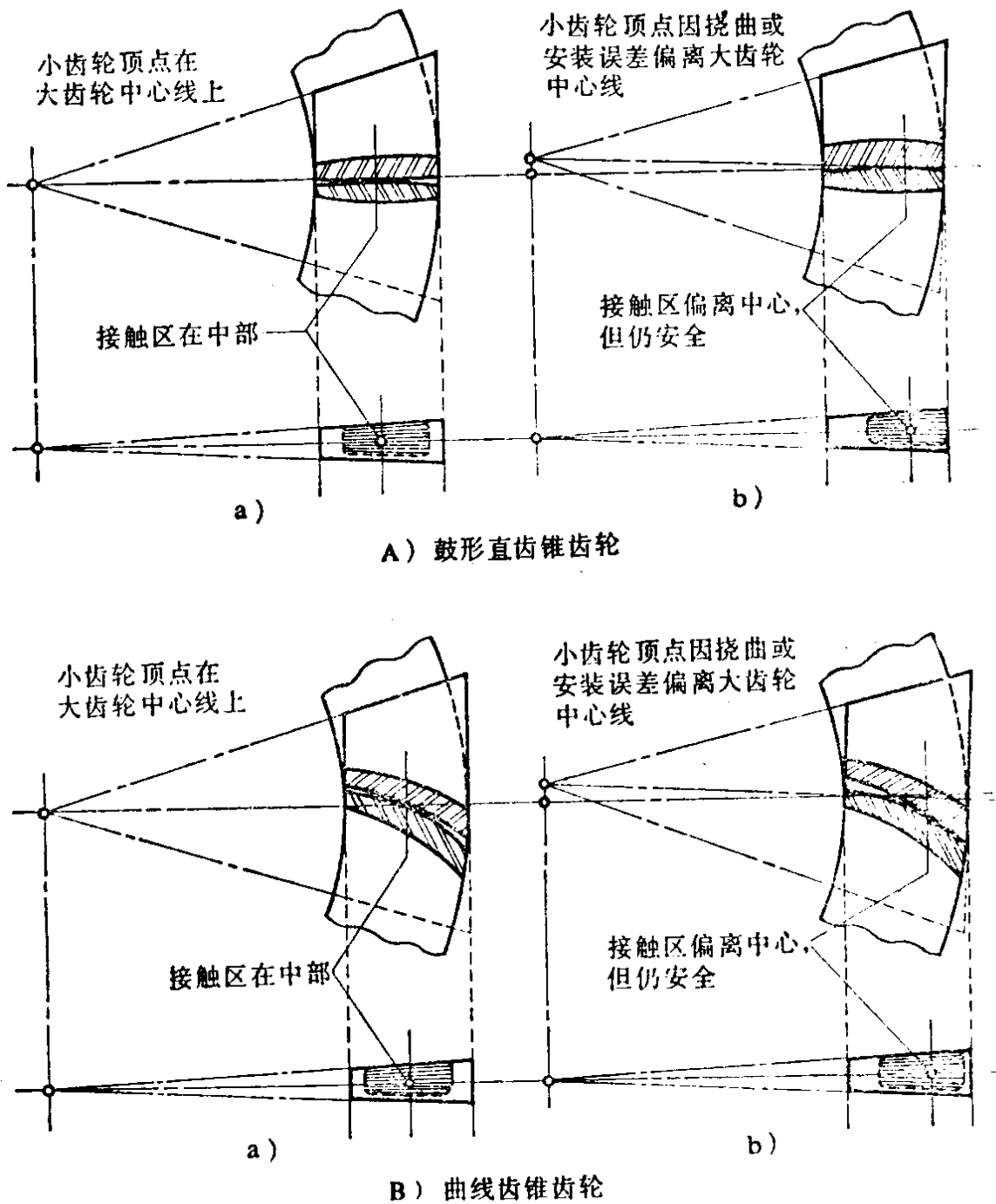


图 7-1 鼓形直齿锥齿轮和曲线齿锥齿轮接触区对微小位置变化的补偿作用

7.1.2 曲线齿锥齿轮

曲线齿锥齿轮（见图7-1B和图7-2），在节圆锥上齿线为曲线，轮齿啮合缓慢地开始，从一端到另一端连续平稳地进行。与直齿锥齿轮一样，轮齿啮合是节圆锥面的滚动接触。由于轮齿啮合的重迭作用，曲线齿锥齿轮比直齿锥齿轮和零度锥齿轮运转平

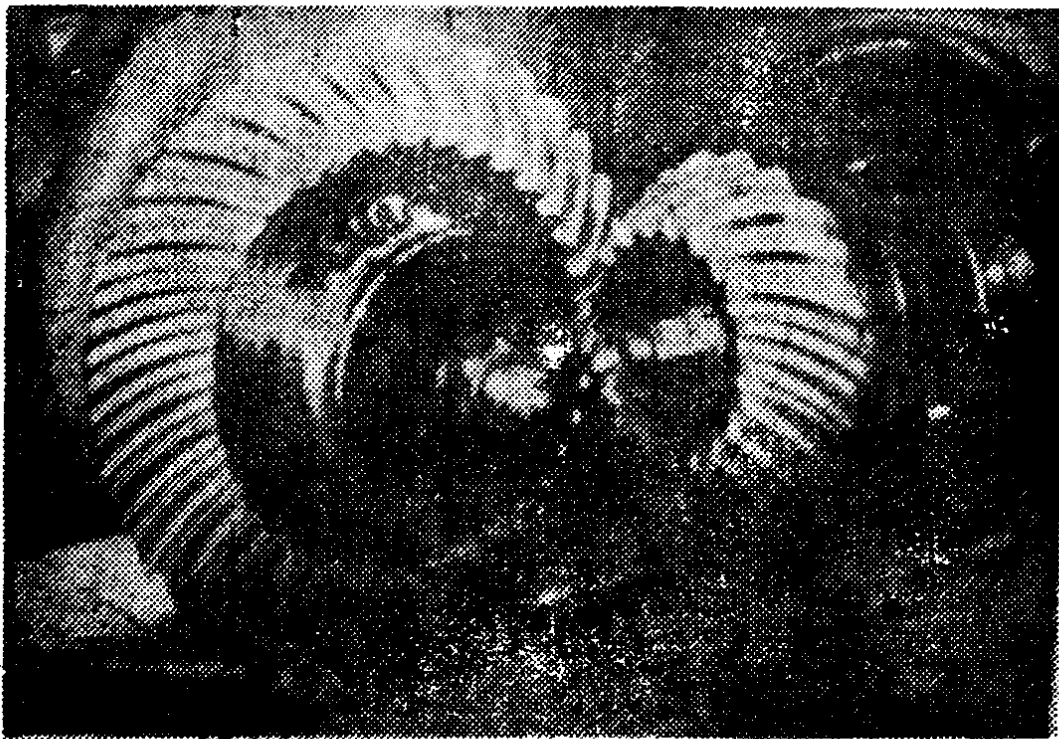


图 7-2 曲线齿锥齿轮

稳得多。因此，高速运转（超过 10 米/秒）时噪音和振动显著减少。

按照齿线形状和切齿方法，曲线齿锥齿轮有格利森制、克林根堡制及菲亚特制等。齿线曲线变成直线时就成为斜齿锥齿轮，其切齿方法还有雷内克制或皮尔格兰姆制等（见图7-3）。最近，世界各国绝大多数工厂都采用格利森制，但西德还坚持采用克林根堡制。

1. 格利森制曲线齿锥齿轮(Gleason spiral bevel gears)

格利森制有两种方式：中小型齿轮使用圆弧铣刀盘（见图7-3C）加工；大型齿轮是由刨刀往复刨削运动与摇台摇摆修正运动合成而得的特种曲线齿锥齿轮（见图7-3E）。

格利森制曲线齿锥齿轮的主要特点是轮齿接触区位置和面积可以任意控制，实现局部接触区承载（localized tooth bearing）。这个特点有以下效果：与鼓形直齿锥齿轮一样具有传动平稳、噪音小的运转特性；即使存在一些装配误差和载荷引起的变形、位置变化等，也可避免在轮齿端部、齿顶或齿根附近产生危

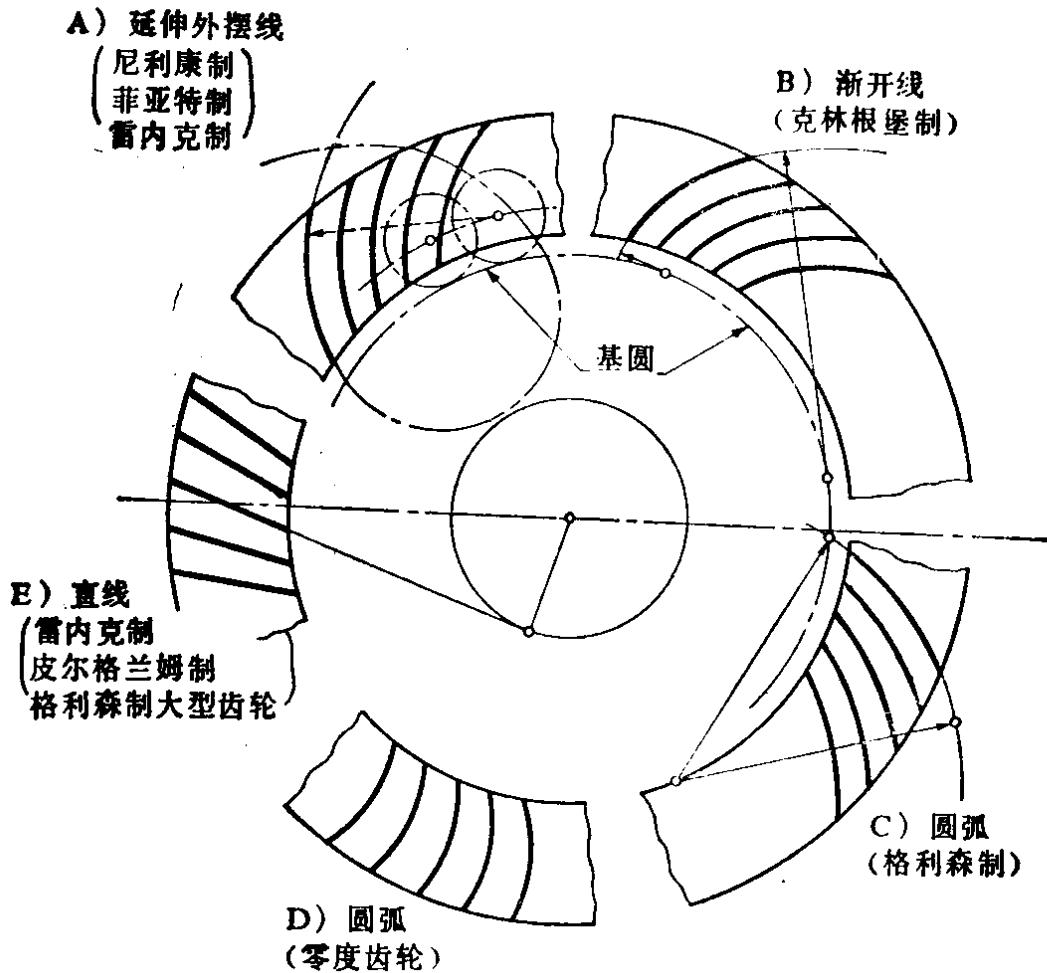


图 7-3 曲线齿锥齿轮的种类 (冠轮齿线曲线)

注：格里森制大型曲线齿锥齿轮齿线是近似的直线，由于修正滚动，变成略呈螺旋形的齿线

险的集中载荷。

2. 克林根堡制曲线齿锥齿轮 (Klingenberg spiral bevel gears)

这是用锥形滚刀范成的曲线齿锥齿轮，其齿形曲线和齿线曲线均为渐开线 (见图7-3B)，大端和小端的齿高相等，即所谓等高齿。

7.1.3 零度锥齿轮 (zero bevel gears)

零度锥齿轮是平均螺旋角为零度的曲线齿锥齿轮。其特点是：轴承所承受的轴向力与直齿锥齿轮相同，因而可以在装配情况及轴承结构不变的情况下与直齿锥齿轮替换使用；可以进行鼓

形加工，具有曲线齿锥齿轮的优点，所以可以做到运转平稳及噪音小（见图7-3D）。

7.1.4 准双曲面齿轮 (hypoid gears)

如图7-4所示，准双曲面齿轮除了小齿轮轴相对大齿轮轴偏置 (offset) 以外，在很多方面与曲线齿锥齿轮是相似的。如果给予适当的偏置量，小齿轮轴就不会与大齿轮轴相碰，所以可采用刚性好的鞍式支承。

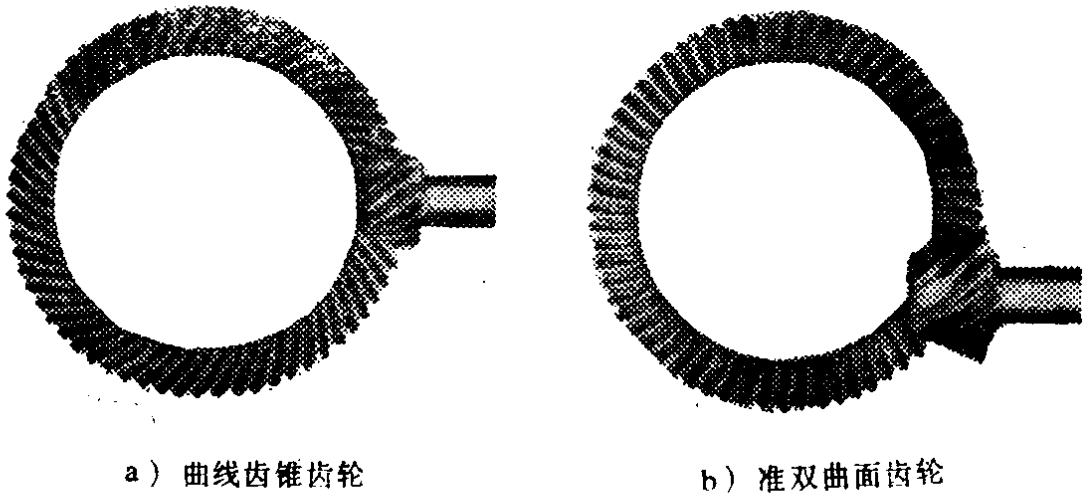


图 7-4 曲线齿锥齿轮与准双曲面齿轮

如图7-5所示，曲线齿锥齿轮的大小齿轮具有左右齿面压力角相等的对称齿形；准双曲面齿轮的大齿轮具有左右两齿面压力角相等的对称齿形，而小齿轮为了与大齿轮正确啮合，必须具有

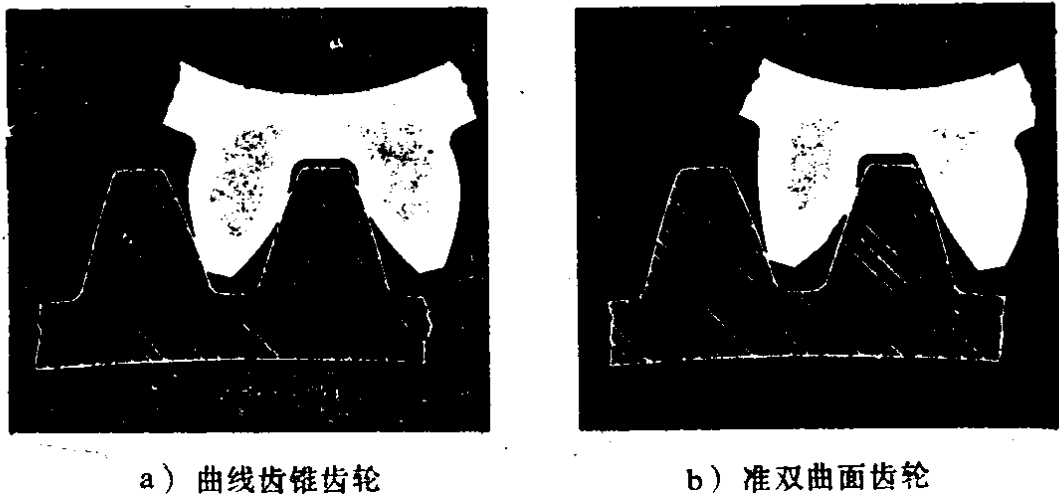


图 7-5 曲线齿锥齿轮与准双曲面齿轮的端面齿形

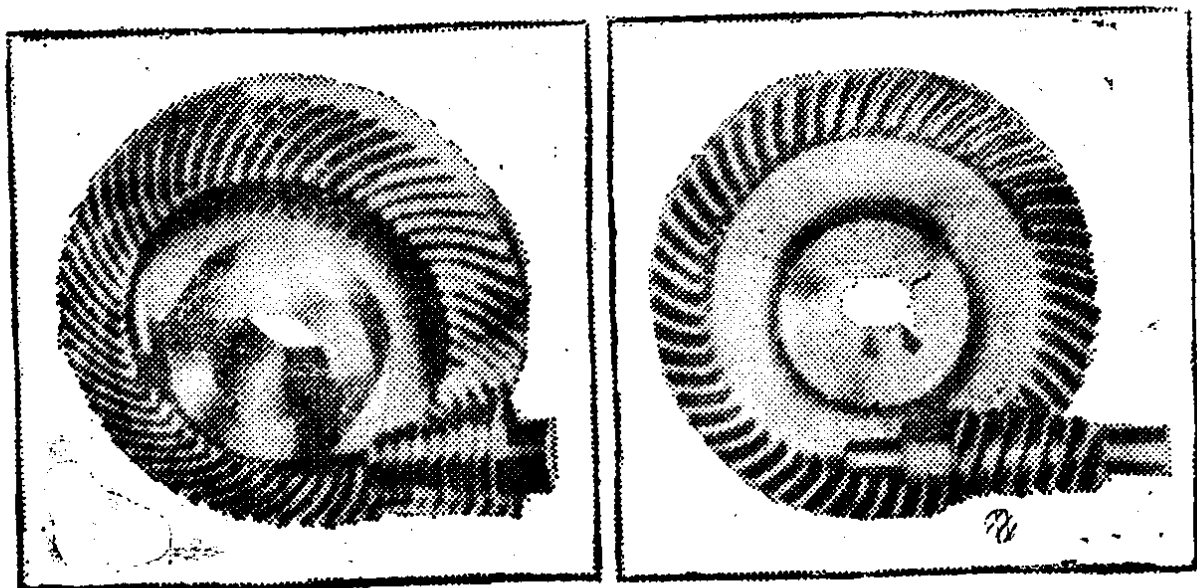
非对称的齿形曲线。另外，设计准双曲面齿轮时为了获得相等的接触弧，也必须采用左右齿面不相等的压力角。

圆锥齿轮和准双曲面齿轮的螺旋角是指齿线和节锥母线的夹角，但通常用齿宽中点（平均锥距）的螺旋角即中点螺旋角表示。圆锥齿轮的大小齿轮螺旋角大小相等，旋向相反、准双曲面齿轮者则大小不等，通常设计成小齿轮的螺旋角大于大齿轮的螺旋角。

对于啮合的齿轮副，其法面基节应相等，由于准双曲面小齿轮的螺旋角大，端面周节大于大齿轮。因此，准双曲面小齿轮直径可比相当的曲线齿小齿轮大，强度也较高。所以有孔小齿轮可以有足够大的孔径，轴形小齿轮可以有足够大的轴部尺寸，从而可选用较大的传动比。

此外，准双曲面齿轮的另一个特点是沿齿线方向存在滑动作用，其滑动量决定于小齿轮与大齿轮的螺旋角之差。

普通准双曲面齿轮的齿数比在10:1以下，必要时可设计制造齿数比高达100:1~400:1的齿轮副，经常使用于需要精密齿轮的机床。圆地制作所与伊利诺斯工具厂合作制造的锥度蜗杆副和海力根齿轮副（见图7-6）也是准双曲面齿轮的一种，两者的不同



a) 锥度蜗杆副

b) 海力根齿轮副

图 7-6 锥度蜗杆副和海力根齿轮副

是小齿轮圆锥角分别为 10° （标准值）和 0° 。齿轮材料为耐磨性好的渗碳淬火钢，可以在专用机床上磨齿，所以能制造出精度最高、抗疲劳性能最好的齿轮。

7.2 圆锥齿轮齿形

以定角速比 ω_2/ω_1 旋转的圆锥齿轮副，可以看成为一对相互无滑动地滚动的圆锥面。这个圆锥面就是圆锥齿轮的节圆锥。在图7-7中，设轴角为 Σ ，节锥角为 δ_1 、 δ_2 ，作辅助线，则成立以下关系：

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} \quad (7-1)$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\sin \Sigma}{\frac{z_2}{z_1} + \cos \Sigma} \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\sin \Sigma}{\frac{z_1}{z_2} + \cos \Sigma} \quad (7-2)$$

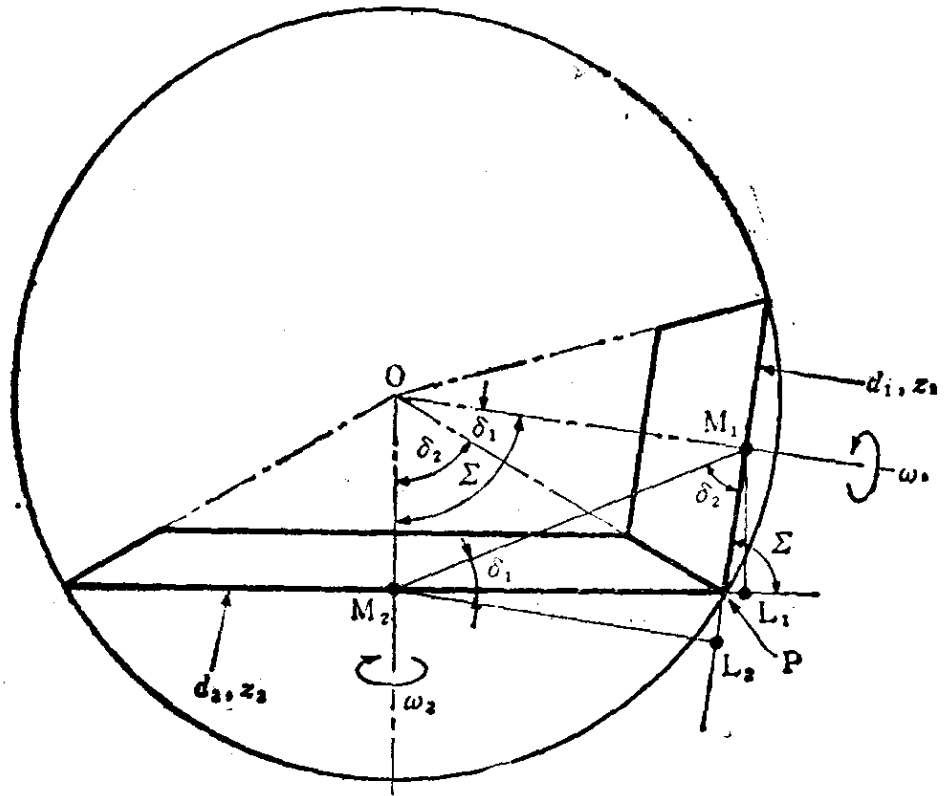


图 7-7 圆锥齿轮的节圆锥

当轴角 $\Sigma = 90^\circ$ 时

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{z_1}{z_2} \qquad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{z_2}{z_1} \qquad (7-3)$$

7.2.1 齿形

1. 球面渐开线齿形 (spherical involute tooth)

如图 7-8a 所示, 以齿轮轴交点 O 为中心的球面来分析轮齿的剖面。在基圆锥上把纸卷成 OAB 的样子, OA 长度为球的半径, 当纸从 A 点一面拉平一面剥离基圆锥时, A 点绘出的轨迹总是在球面上, 此轨迹称为球面渐开线。

若用球面渐开线作为齿形曲线, 与平面渐开线齿形相同, 可得到互换性锥齿轮。但是, 与平面渐开线的齿条不同, 其冠轮 (crown gear, 节锥角为 90° 的圆锥齿轮) 的齿形不是球面大圆 \ominus 的一部分 (见图 7-8b), 因此难以获得正确的刀具齿形, 从而几乎不能用作圆锥齿轮的齿形。

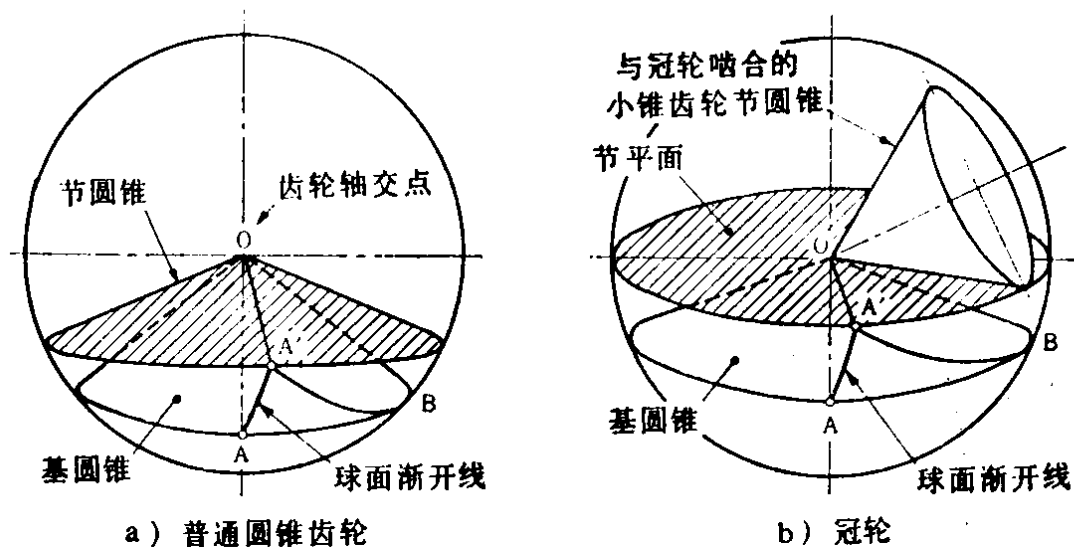


图 7-8 球面渐开线

2. 8 字齿形 (octoid tooth)

冠轮齿形为大圆一部分的齿形称为 8 字齿形, 这是因为其接触点轨迹为 8 字形, 如图 7-9 所示。

\ominus 通过球心的平面和球面相交的圆。——译注

这种齿形能用直线刃的刀具进行范成法切齿，并且具有互换性；在节点附近的啮合点轨迹也与大圆近似，能进行近似变位切齿，因此可以成为范成圆锥齿轮的齿形基础（雷内克制或皮尔格兰姆制圆锥齿轮切齿机）。由于范成运动的关系，实际齿形不是理论上的8字齿形，而是它的近似齿形（格利森制）。

7.2.2 齿线曲线

圆锥齿轮齿面与节圆锥的交线称为齿线曲线，通常用冠轮齿线曲线表示，有直线、圆弧、渐开线、对数螺旋线、阿基米德螺旋线、准正弦曲线、变态准正弦曲线、长短副摆线及延伸内摆线等。

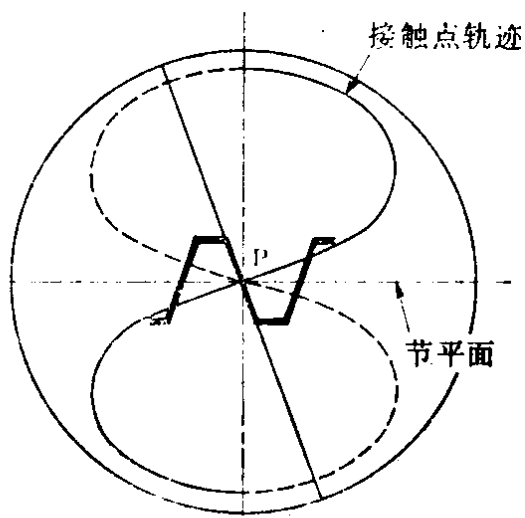


图 7-9 8字齿形

7.3 圆锥齿轮的设计

圆锥齿轮设计计算式虽然有 BS、AGMA、DIN 等各国的标准，但是这里论述的是格利森制的设计方法。

7.3.1 圆锥齿轮概略设计

设计圆锥齿轮首先必须知道齿轮运转的必要条件，即额定功率、启动扭矩、载荷作用方式、过载和冲击条件、润滑方式、运转温度、速比、转速及所要求的运转精度等一切与运转有关的数据。

根据这些条件，可以按以下程序概算齿轮尺寸，再计算许用功率，验算是否适合给定的载荷条件。

1. 计算功率

设计给定用途的圆锥齿轮副，首先应确定计算功率（service horsepower）。

可以从下列数值或给定条件中选择其最大值决定计算功率；

(1) 额定传递功率 P_0 乘以过载系数(overload factor) C_0 。(见表7-1)或考虑齿轮特殊用途由经验决定的工作系数(service factor)。

表 7-1 过载系数 C_0 、 K_0 。

原 动 机	从 动 机 的 载 荷 性 质		
	稳 定 载 荷	轻 度 冲 击	强 烈 冲 击
稳 定 工 作	1.00	1.25	1.75
轻 度 冲 击	1.25	1.50	2.00
中 等 冲 击	1.50	1.75	2.25

注：1.此表适用于减速装置。

2.对于增速装置，表中系数应增加 $0.01(z_2/z_1)^2$ ，式中 z_1 为小齿轮齿数， z_2 为大齿轮齿数。

(2) 原动机能够输出的最大瞬时功率。

(3) 带制动器电动机的制动额定功率。

(4) 最大扭矩或启动扭矩的1/2。

对于存在反复强烈冲击的情况，需要特别考虑失速时释放出存在于飞轮中的能量，此时表7-1的过载系数已不能使用。

2. 齿轮尺寸

根据上述方法求得计算功率，其后可由图7-10求得齿轮概略尺寸。

根据此图，可在各种速比的曲线上求得与小齿轮每100转/分的计算功率相应的小齿轮最小分度圆直径。此图虽然是根据通用传动装置的轮齿接触强度绘成的，但是也适用于轴角为 90° 的渗碳淬火大小齿轮。它不适用于载荷特别高的齿轮及飞机、船舶或汽车等特殊用途齿轮。在本图内所列出的公式中：

材料系数 $C_M=1.00$

重合度系数 $C_S=1.00$ 曲线齿锥齿轮

$=0.775$ 直齿锥齿轮、零度锥齿轮

分度圆速度 $V=2500$ (英尺/分) 曲线齿锥齿轮

=900 (英尺/分) 直齿锥齿轮、零度锥齿轮

小齿轮齿数 z_1

大齿轮齿数 z_2

小齿轮分度圆直径 d (英寸)

非渗碳淬火的圆锥齿轮, 应将小齿轮每100转/分的计算功率除以由表7-2求得的 C_M 值, 再由图7-10 求出小齿轮分度圆直径 d 。

轴角非 90° (60° 或 120°) 的情况, 先用上法按轴角 90° 进行第一次试算, 再对许用功率乘以下列系数, 进行修正。此修正系数可用下法求出: 由图7-20中轴角为 60° 或 120° 的图7-20g 或7-20h 求得的接触强度几何系数, 除以条件相同 (齿形角和螺旋角相同) 而在图7-20c中求得的轴角为 90° 的几何系数。

对于轴角非 90° 的曲线齿锥齿轮的弯曲强度, 也可用与接触强度同样的方法, 利用弯曲强度的几何系数求出 (见图7-15)。

表 7-2 材料系数 C_M

大 齿 轮			小 齿 轮			材料系数 C_M
材 料	硬 度		材 料	硬 度		
	(HB)	(HRC)		(HB)	(HRC)	
铸 铁			铸 铁			0.30
铸 铁			退 火 钢	160~200		0.30
铸 铁			火焰淬火钢		50 ^①	0.40
铸 铁			渗碳淬火钢		55 ^①	0.40
调质钢	210~245		调质钢	245~280		0.35
调质钢	250~300		渗碳淬火钢		55 ^①	0.50
油淬火钢	375~425		油淬火钢	375~425		0.70
火焰淬火钢		50 ^①	火焰淬火钢		50 ^①	1.00
火焰淬火钢		50 ^①	渗碳淬火钢		55 ^①	1.00
渗碳淬火钢		55 ^①	渗碳淬火钢		55 ^①	1.00
渗碳淬火钢		58 ^①	渗碳淬火钢		58 ^①	1.33 ^②

① 最小值。

② 大小齿轮用锉刀都锉不动的硬度。

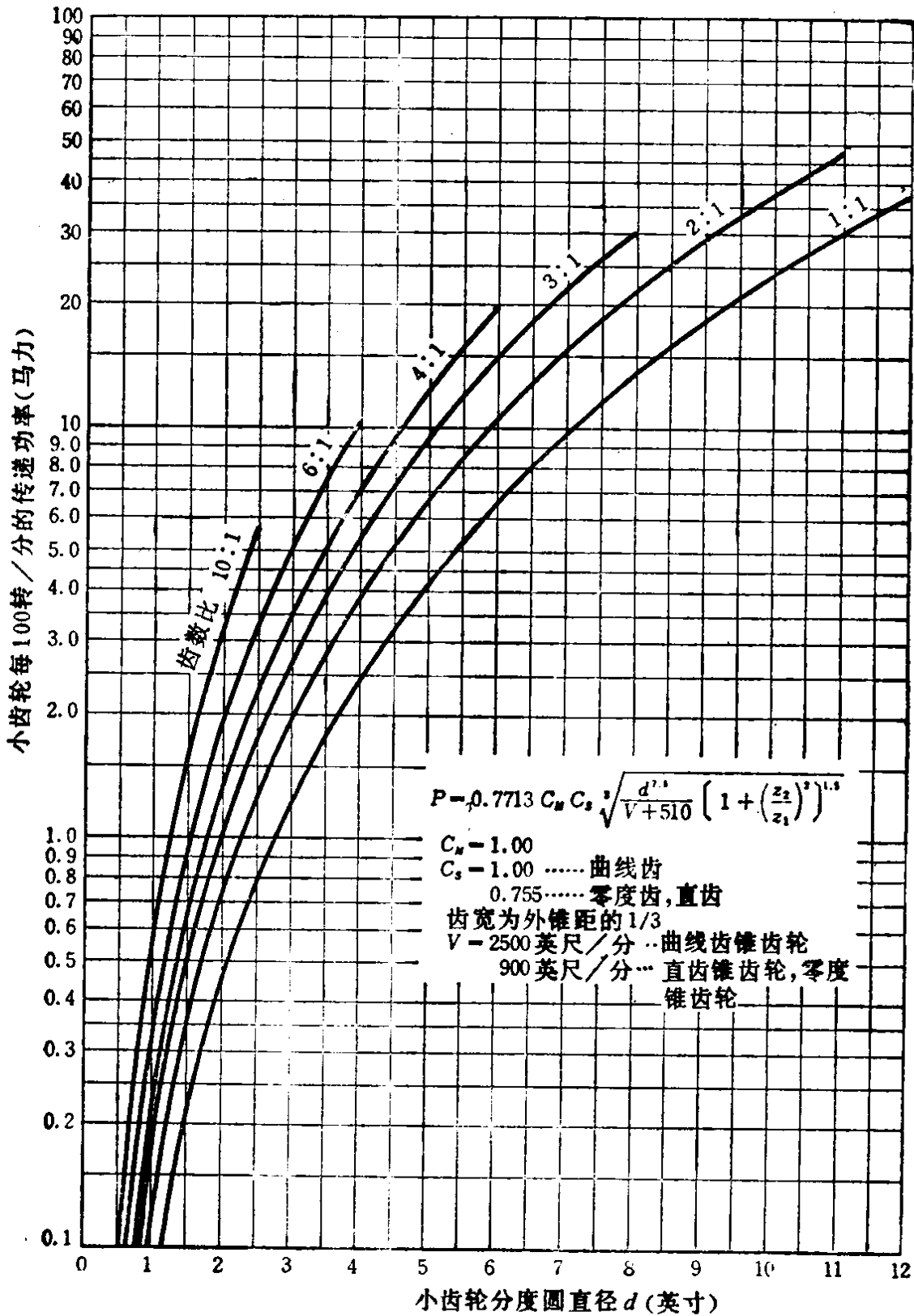


图 7-10 设计图 A, 轴角为 90° 的渗碳淬火圆锥齿轮承载能力