

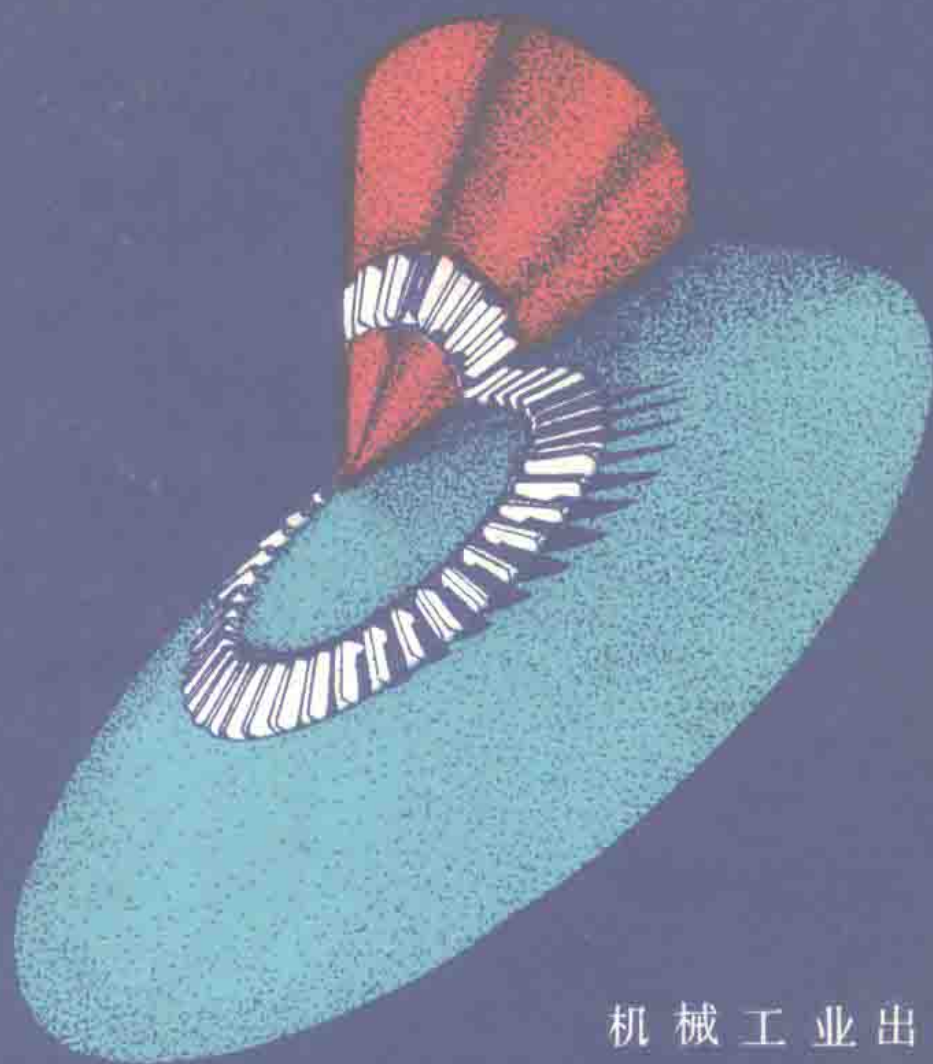
格利森锥齿轮技术资料

译文集

第三分册

格利森锥齿轮强度分析及计算

北京齿轮厂 编译



机械工业出版社

格利森锥齿轮技术资料

译文集

第三分册

格利森锥齿轮强度分析及计算

北京齿轮厂 编译

机械工业出版社

格利森锥齿轮技术资料

译文集

第三分册

格利森锥齿轮强度分析及计算

北京齿轮厂 编译

*

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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $12 \frac{3}{4}$ · 字数 310 千字

1984 年 3 月北京第一版·1984 年 3 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,440 · 定价 1.65 元

*

统一书号: 15033·5569

译者的话

一九七三年以来,我国引进了美国格利森公司的锥齿轮加工成套设备,附带了一些技术资料,以后该公司又陆续提供了一些资料。此外,美国1978年出版了B.A.施蒂佩尔曼(B.A. Shtipelman)所著《准双曲面齿轮的设计与制造》(Design and Manufacture of Hypoid Gears)一书。为了发挥这些资料和图书的作用,由天津齿轮机床研究所、北京齿轮厂和西安交通大学三个单位联合将这些资料有选择地进行编译,以译文集的形式出版,以便于从事锥齿轮及锥齿轮机床的设计、制造、基础理论研究的广大读者参考,满足科研、设计和生产的需要。

本译文集共有六个分册:第一分册为锥齿轮啮合及加工原理;第二分册为格利森锥齿轮设计及计算;第三分册为格利森锥齿轮强度分析及计算;第四分册为格利森锥齿轮加工机床及刀具;第五分册为格利森锥齿轮加工方法及轮齿接触分析;第六分册为格利森锥齿轮的检验及安装。

本册是第三分册,主要内容为锥齿轮和准双曲面齿轮的强度、点蚀、胶合、疲劳等的理论分析和计算公式,并给出了锥齿轮和准双曲面齿轮的许用应力值。

在本书编译过程中,许多同志曾给予热情支持和帮助,在此一并致谢。由于编译者水平所限,错误和不当之处,恳请读者批评指正。

目 录

锥齿轮和准双曲面齿轮的强度.....	1
锥齿轮轮齿的弯曲应力.....	33
锥齿轮轮齿表面耐久性——点蚀公式.....	54
锥齿轮轮齿抗胶合性能.....	75
锥齿轮和准双曲面齿轮的表面耐久性——点蚀和胶合.....	97
准双曲面齿轮轮齿的弯曲应力和接触应力.....	112
锥齿轮和准双曲面齿轮轮齿的胶合公式.....	129
估算锥齿轮和准双曲面齿轮疲劳寿命的格利森方法.....	149
锥齿轮轮齿强度的新展望.....	176
锥齿轮和准双曲面齿轮的许用应力值.....	188
准双曲面齿轮轮齿的接触压力与滑动速度.....	193

锥齿轮和准双曲面齿轮的强度

(一) 引言

为了改进以前确定锥齿轮和准双曲面齿轮强度的方法，格利森公司曾致力寻求一种更好和更通用的方法来估量此类齿轮的疲劳寿命。

现述之分析是新颖的，并在某些方面有所差异，列举如下：

1. 齿的强度在法向截面上衡量，而不是在横向截面上衡量。
2. 确定载荷施加点的位置，不仅考虑到理论的接触线，而且还考虑到“失配”和某些试验数据。
3. 根据“失配量”和重合度，以合理的方式估算由一个齿承担的载荷量。
4. 考虑到法向载荷的径向分力。
5. 采用根据试验数据确定的应力集中系数。
6. 因为齿根上的应力在靠近载荷作用点上为最大，将应力均匀分配到整个齿宽上是不合理的。因此引进了“有效齿宽”的概念。
7. 根据许用应力是随轮齿尺寸而变的试验数据引进了尺寸系数。
8. 包括了考虑到齿轮支承变形的载荷分配系数。
9. 不采用速度系数，而用过载系数、冲击系数、惯性系数和温度系数来代替。这些系数考虑到原动机及其载荷的特性，齿轮精度，重合度，以及由于温度上升造成许用应力的下降的特性。

在理想的工作条件下，锥齿轮和准双曲面齿轮应有这样一种轮齿接触，即它的工作齿面全部参与工作而且在任何区域都没有载荷集中现象，同时轮齿的接触斑点在齿顶和齿端逐渐隐没。在此条件下，齿轮具有最大的承载能力，并且运转起来最平稳和无噪声。

但是，实际上在所有的工作状况中，这种理想的轮齿接触是不可能得到的。假如齿轮在载荷、速度、温度等条件都非常狭窄的范围内工作，则它有可能接近这种理想状态。一般来说，齿轮都要满足广泛的工作条件，并且支承和齿轮两者的设计和制造必须得到兼顾，制造和装配的允差限制了有效的接触斑点长度和宽度。重量、成本和空间的考虑，常常影响到齿轮和支承的设计。

因为跨式支承的轴承负荷较小，它可以使整体设计轻巧而具有相同的刚性。对于具体的设备常常因位置的限制而确定了它的支承方式。有时在一对齿轮中只有一个能够用跨式支承，要两个齿轮都用跨式支承就不一定容易办到。一般地说，悬臂支承可能和跨式支承一样好，或许更好一些。不过对于这两种支承，支承刚性和足够的承载能力，两者都是需要的。

将支承良好，表面渗碳的圆锥齿轮和准双曲面齿轮疲劳试验的结果绘成曲线，就可得出应力—循环图。假如将置信度为95%的耐久极限作为一个给定值填入图中，把其它应力值除以耐久极限应力，就可得出寿命系数（图1）的曲线。置信度为50%和5%的值也列于该图之中。因此，所有损坏件的90%将发生在图形的上线和下线之间。

但是任何一种齿轮和支承的设计都不会离散地占据整个区间。在图上，水平线代表其值

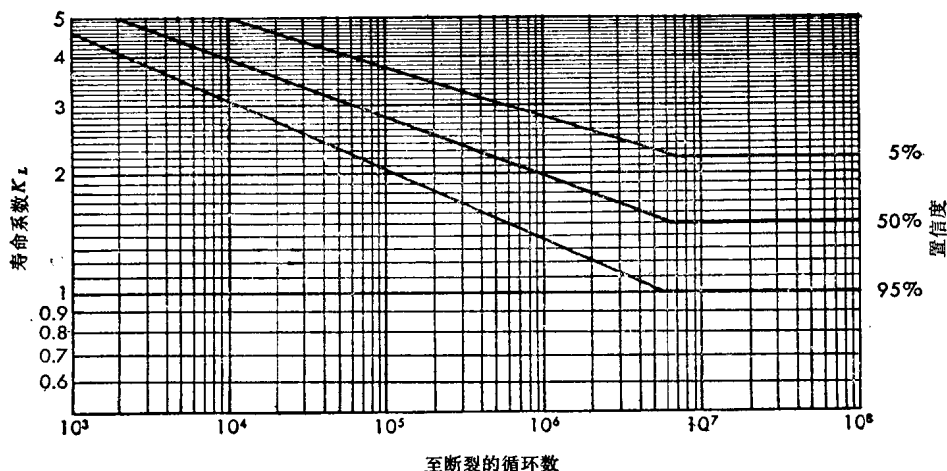


图 1

为2.5的寿命系数,疲劳寿命大致在30000循环至2500000循环之间变化。一种设计可能在30000循环和300000循环之间,而第二种设计可能落在200000循环和2000000循环数之间。一种设计的离散情况很少会超过10与1之比。

对设计者来说,这是意味着假如按95%置信度的线来设计,他认为该齿轮在安全上是合理的。在某一场合,他选用的安全系数是宽裕的,可是用在另一场合实际上并不宽裕。只有通过特定设计的广泛的运转试验才能评定齿轮在更高的载荷下是否安全。

从图中可以看出,耐久极限对应的寿命系数值为1,该值应当用作一般用途齿轮装置的极限值(对表面渗碳齿轮,它相当于30000磅/英寸²的耐久应力值)。对于要求寿命小于6000000循环的有限寿命的应用场合,设计者要用大于1的寿命系数,在这种情况下,许用工作应力值将比耐久极限值高。

(二) 绘制锥齿轮图的程序

1. 绘图所需的数据 着手绘图之前必须从尺寸卡,齿轮零件图或综合计算卡中取得确切的资料。将这些数据填入名为“锥齿轮的弯曲应力和疲劳寿命”的计算卡BLD 1中。在此卡片中算出用来绘制大齿轮和小齿轮齿宽中部法向平面上的齿形放大图所需的尺寸。

下列括号内的序号相应于计算卡BLD 1上的项目。计算卡上附在项号后边的角注R和L代表右边和左边的一行。

(1) n , N ——分别为小齿轮和大齿轮的齿数。当分析两侧齿轮为不等的差速器或行星轮系时,作图时应画出两种不同情况。

(2) γ , Γ ——分别为小齿轮和大齿轮的节锥角。

(4) γ_o , Γ_o ——分别为小齿轮和大齿轮的面锥角。

(5) γ_R , Γ_R ——分别为小齿轮和大齿轮的根锥角。

(10) a_{oP} , a_{oG} ——分别为小齿轮和大齿轮大端上的齿顶高。

(11) b_{oP} , b_{oG} ——分别为小齿轮和大齿轮大端上的齿根高。

(12) F ——小齿轮和大齿轮的齿面宽,对零度齿锥齿轮,齿面宽应不超过外锥距的25%。而对直齿和螺旋齿锥齿轮则不超过外锥距的30%。

(13) P_d ——外锥距上的径节。

(14) A_o ——外锥距。

(15) A ——中点锥距。通常等于 (14) $-0.5(12)_x$ 。

(17) ϕ_c ——大齿轮刀盘的名义压力角。

(20) ψ ——齿宽中点上的名义螺旋角。

(25) P_m ——齿宽中点上的径节。

(26) P_n ——中点上的法向径节。

(27) a ——齿宽中点上的齿顶高。

(28) b ——齿宽中点上的齿根高。

(29) r_r ——刀具或刀盘刀尖上的圆角半径。除非需用最大的圆角半径，一般用 $0.12/P_d$ 英寸。当需用最大的圆角半径时，必须根据加工齿轮所用的切削方法而定。最大的圆角半径大致上可按 $0.24/P_d$ 英寸。如果有切削调整卡可参照，则直接从卡片中取其相同的值。

(30) W_o ——大齿轮双面切削刀盘的刀顶距。当双面切削的刀顶距为已知，则可把它填入本项目中。

(31) t_{or} ——小齿轮大端弧齿厚。如果大齿轮双面切削刀盘的刀顶距（项目(30)）为已知，本项目可略去。如果大齿轮刀盘刀顶距和小齿轮的弧齿厚均为未知数，则可假定一个值。作为第一个近似值可用：

$$t_{or} = 1.5708/P_d + (a_{or} - a_{oc}) \tan \phi_c / \cos \psi$$

(32) t_r ——小齿轮中点上的法向弧齿厚。当 W_o 为已知，则用上式，当 t_{or} 为已知，则用下式。

(33) t_o ——大齿轮中点上的法向弧齿厚。

(34) a_1 ——齿顶高。

(35) b_1 ——齿根高。

(36) t_1 ——弧齿厚。左边公式内的常数0.04是径节为1时所假定齿侧隙的平均值。除直齿锥齿轮外，此值用于小齿轮。对于直齿锥齿轮应在两公式中都减去0.02。

(37) r_1 ——刀尖上的圆角半径。

(38) W_{o1} ——双面切削大齿轮的刀顶距。

(39) R_1 ——端面背锥半径。

(40) R_{N1} ——法向背锥半径。

(41) $\Delta\phi$ ——成形法 (Formate) 大齿轮压力角的修正值 (以分计)。

(42) ϕ ——法向压力角。成形法的齿轮副用上方的公式，而滚切法的齿轮副用下方的公式。

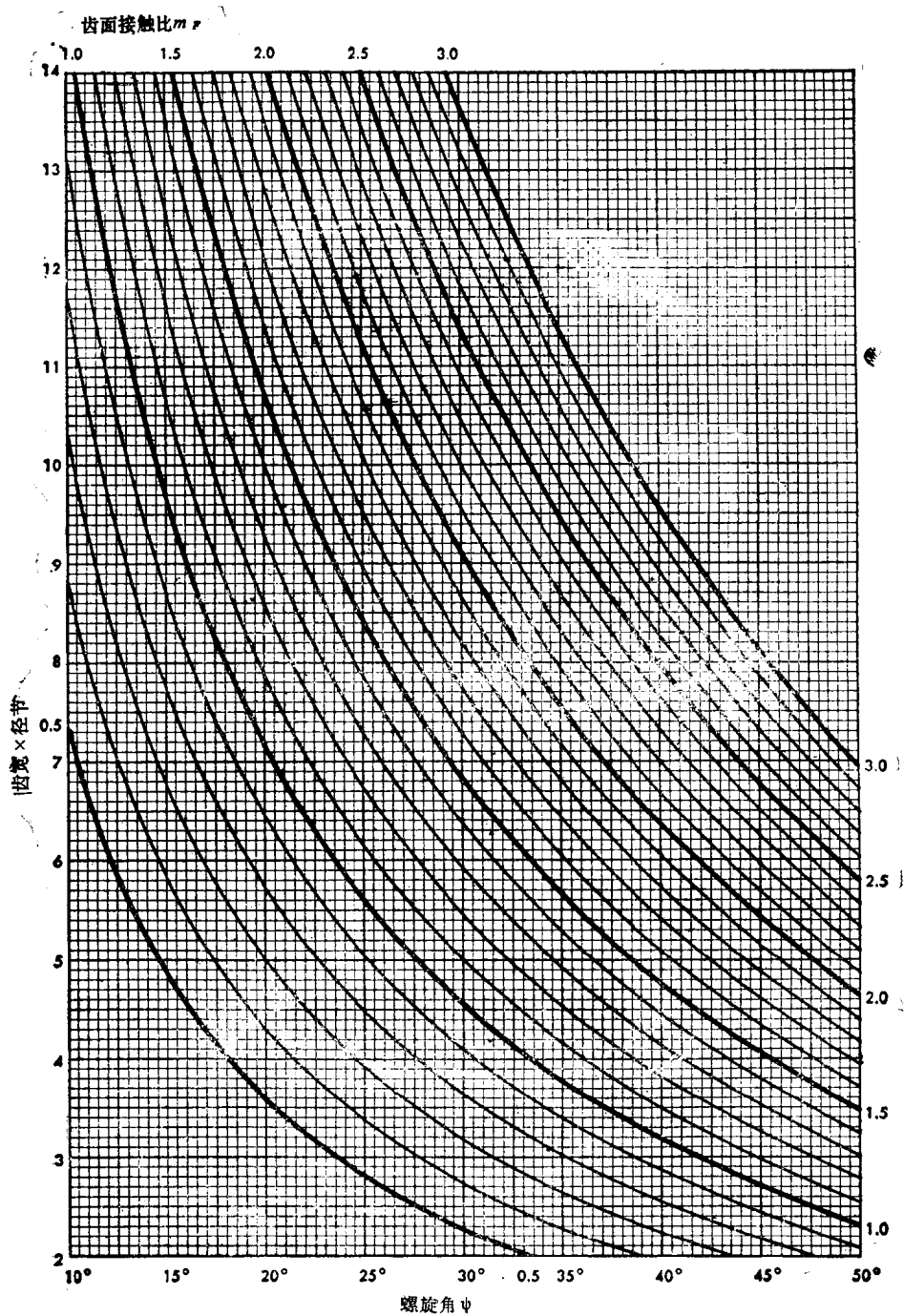
(48) ΔR_{bN1} ——图中法向平面上节圆和基圆之间的距离。

(50) m_x ——纵向重合度。可从图2中得到。齿宽和径节的乘积从项目(49)中求出。螺旋角在项目(20)中给出。纵向重合度对直齿锥齿轮和零度锥齿轮为零。齿轮的齿宽小于外锥距十分之三的不能使用图2。此时应用图2下端的公式。

2. 绘图程序

图3

用于画齿形的所有数值都是以齿大端径节等于1的比例定的。



$$K_4 = \frac{F}{A_o} \left[\frac{2 - \frac{F}{A_o}}{2 \left(1 - \frac{F}{A_o} \right)} \right]$$

$$m_F = \frac{\left(K_4 \tan \psi - \frac{K_4^3}{3} \tan^3 \psi \right) A_o P_d}{\pi}$$

图 2

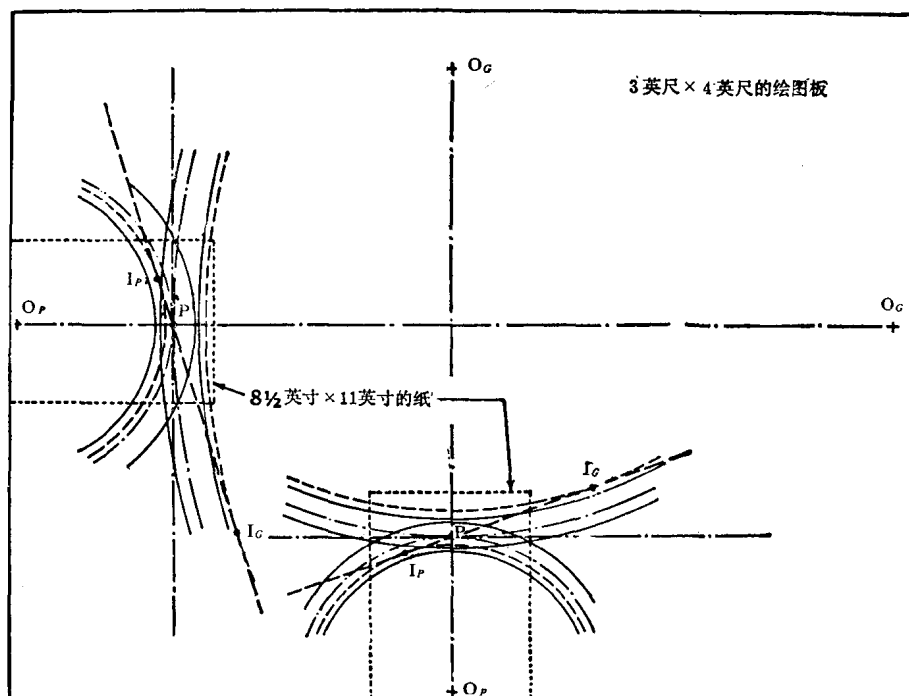


图 3

1. 在绘图桌上铺一张 $8\frac{1}{2}'' \times 11''$ 的纸, 如图 1 虚线所示。纸应当是这样安放在桌子上: 将节点 P 标在离纸一端大约 $3\frac{1}{2}''$ 的位置上, 而使小齿轮和大齿轮各自的中心 O_P 和 O_G 都能落在桌面上。如果中心距 $O_P O_G$ 大于桌子的长度, 中心 O_G 则可省略。

$$O_P O_G = (40)_L + (40)_R$$

图 4

2. 画一条垂直的中心线通过 $8\frac{1}{2}'' \times 11''$ 纸张的中心(图 2)。这就是图 3 上的中心线 $O_P O_G$ 。
3. 从这张纸的顶端大约 $3''$ 到 $3\frac{1}{2}''$ 的地方画一条水平节线。
4. 这两条线的交点就是节点 P。
5. 从 P 点沿垂直的中心线量出小齿轮和大齿轮(项目 40)的法向背锥距, 定出 O_P 和 O_G 点。这些点分别为小齿轮和大齿轮的中心(中心 O_P 和 O_G 不一定落在 $8\frac{1}{2}'' \times 11''$ 的纸上)。
6. 其次列出下列尺寸:

小齿轮	大齿轮
$P_a = \text{项目}(35)_L$	$P_A = \text{项目}(35)_R$
$P_b = \text{项目}(48)_L$	$P_B \ominus = \text{项目}(48)_R$
$P_c = \text{项目}(34)_L$	$P_C = \text{项目}(34)_R$

7. 以 $O_P a$, $O_P b$ 和 $O_P c$ 为半径在圆心 O_P 上画出各圆。这些圆分别为小齿轮的齿根圆, 基圆, 节圆和齿顶圆。

8. 以同样的方式取 $O_G B$, $O_G A$, $O_G P$ 和 $O_G C$ 为半径, 以圆心 O_G 画出各圆。这些圆分别为大齿轮的基圆(在图形上未表示)、齿根圆、节圆和齿顶圆。当大齿轮的半径大于 100 英寸

⊖ 图中未示出 B 点。——译者注

图 5

13. 当圆的曲率中心不能定在绘图板上时, 则需要先在圆上描出几个点。利用下列的曲率公式描点画出图 5 所示的图形。

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

一般假定 x 值等于 2 英寸或 4 英寸为适当值。

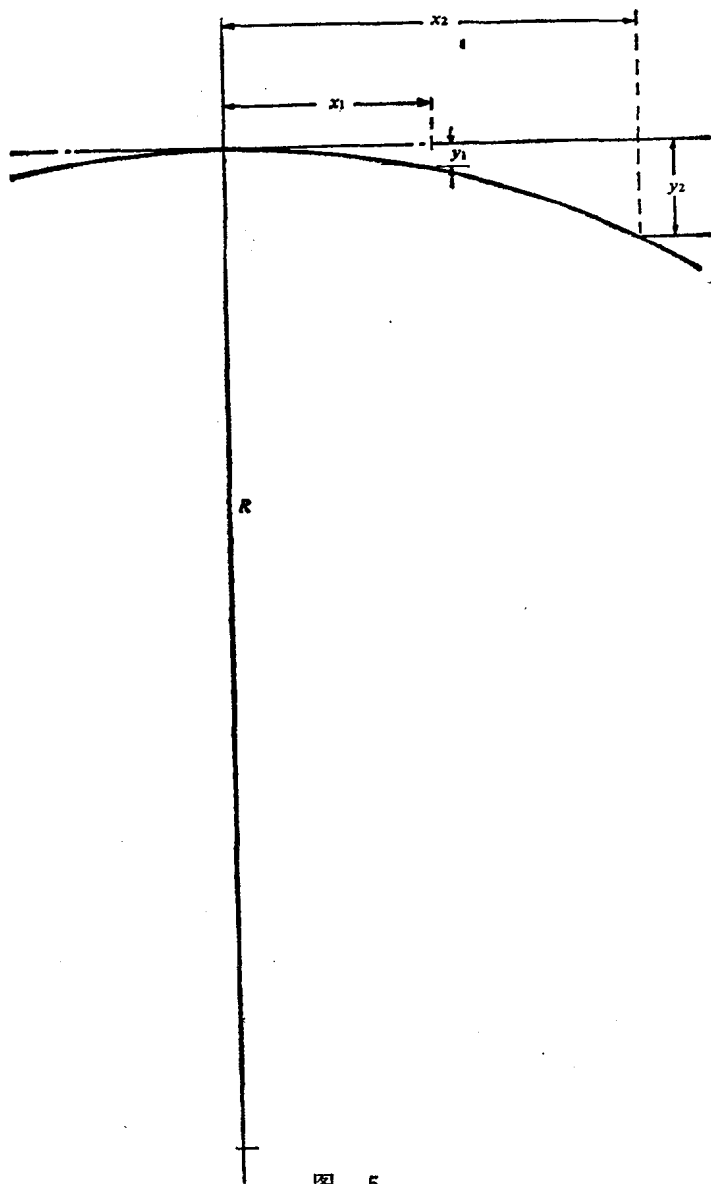


图 5

图 6

14. 此外, 取一条大约 0.008" 厚, 3" 宽, 12" 至 15" 长的赛璐珞片。把它置于如图 6 所示的位置上。

15. 对于滚切法的齿轮, 在赛璐珞片上画一条直的水平节线通过点 P。这就是齿条形滚切刀具的节线。

对成形法的齿轮，在赛璐珞片上画出成形法大齿轮的节圆。

16. 现在便可按上面步骤2、1、10所述在赛璐珞片上画出滚切刀具的侧刃。按步骤2、1、11所述将圆角半径也画出来。将赛璐珞片由板上拿下，切去中间的部分留下刀具的侧刃和圆角的样板如图6所示。

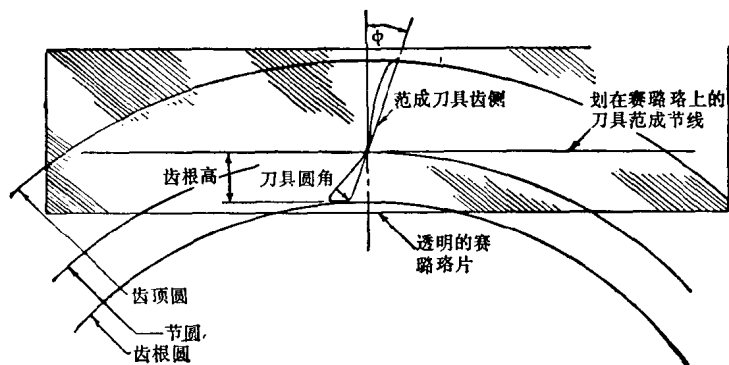


图 6

图 7

17. 对滚切法的齿轮将齿条刀具的节线在短的间隔内在小齿轮(或大齿轮)的节圆上作滚动。在滚动运动中，使赛璐珞片以相邻的切点为中心转动。在样板每一个连续的位置用尖的铅笔描下刀具的轮廓线轨迹。对成形法的小齿轮，将成形法的大齿轮的节圆放在小齿轮的节圆上滚动。因为成形法的大齿轮不是滚切的，它的齿形的形状就是步骤2、1、10所述的滚切刀具的形状。它的齿根圆角半径等于刀具刀尖圆角半径（项目37之右项）如步骤2、1、11所述。

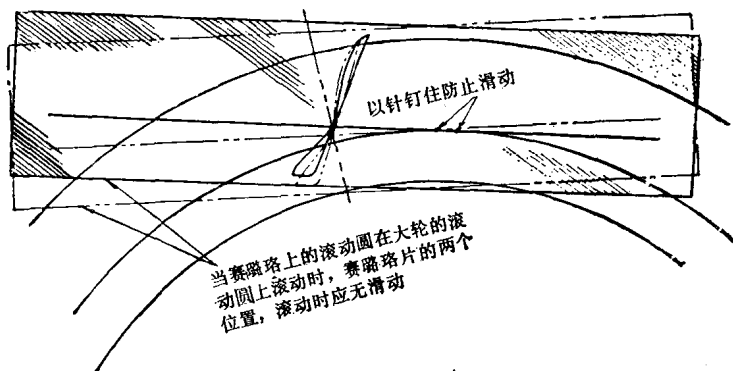


图 7

图 8

18. 由上述滚动所形成的轨迹产生出齿形和齿根圆角的包络线。如步骤2、1、8所述，假如大齿轮的半径大于100英寸，大齿轮可用齿条来代替。假如是成形法的大齿轮，它的齿将和刀具的形状相同。

在进一步画图之前需要计算应力为最大值时的载荷的位置。

首先沿作用线（成形法齿轮的接触轨迹）量出 d 点和 D 点间的距离，该线分别通过大齿

轮和小齿轮的齿顶圆（图4）。此距离为 Z_{N1} ，并填入计算卡 LD2 上，即项目（51）。

计算卡 LD2〔项目（51）至（65）〕：

（51） Z_{N1} 为在中点法向截面上作用线的长度。在图上 $Z_{N1} = dD$ 。

（52） m_p 为齿廓重合度。

（56） m_o 为修正重合度。

当 m_o 大于 2.0，则至少总有两齿接触。当 m_o 小于 2.0，则有时只有一个齿承受载荷。

（61）当 m_o 小于 2.0，采用左侧的公式；当 m_o 大于 2.0，则取零。

（63）当 m_o 小于 2.0 而大于 1.0，采用左侧的公式；当 m_o 大于 2.0，用项目（56）；当 m_o 小于 1.0，项目（63）为零。

（64）小齿轮一行用正号（+），大齿轮一行用负号（-），以表示顺时针传动的左旋小齿轮或者是反时针传动的右旋小齿轮，旋向相反则符号也相反。

（65） p_s 在中点法向截面上沿作用线（接触轨迹）从相配件的齿顶圆至载荷作用点的距离。如果由公式算出的 p_s 值超过 Z_{N1} 〔项目（51）〕，令 $p_s = Z_{N1}$ 。

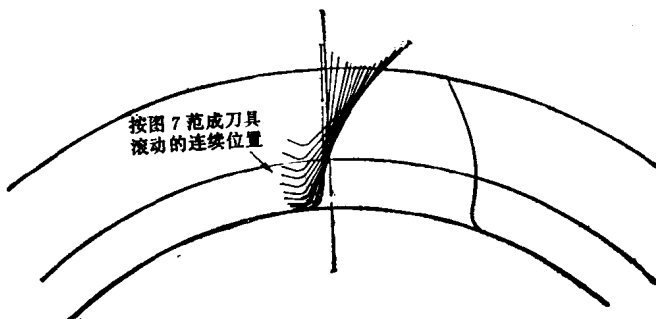


图 8

图 9

19. 沿小齿轮节圆上的 P 点量出 $PI = \frac{(36)_L}{2}$ 的距离。然后画出小齿轮轮齿的中心线 $O_r I_r$ 。

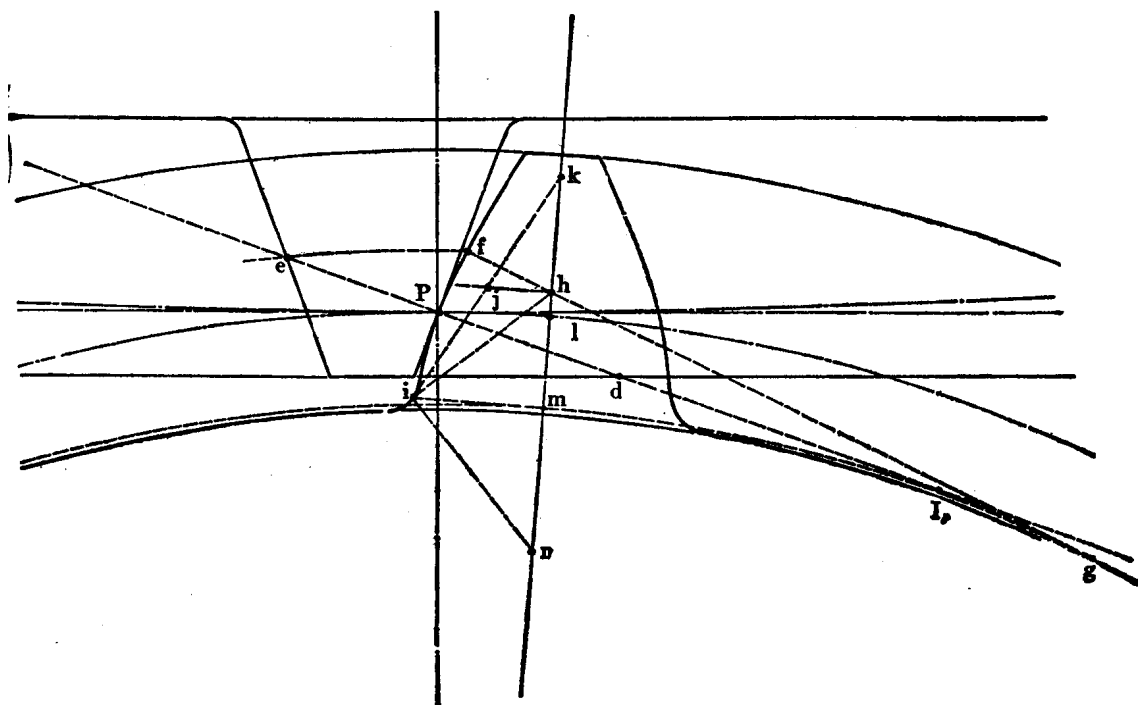


图 9

20. 其次, 在小齿轮的作用线 (接触轨迹) 上定一点 e 。距离 de 应和小齿轮的 p_s 值相等。此值是计算卡项目 (65) L 中给的。

21. 以 O_p 为中心, $O_p e$ 为半径, 画一圆弧 ef 割小齿轮的齿形于 f (如图 9)。点 f 就是小齿轮上的载荷作用点。

22. 通过 f 点画一条线 fg 与小齿轮的基圆相切于 g 。此线与小齿轮轮齿的中心线相交于 h 。

23. 在点 h 画一条垂直于小齿轮轮齿中心线的线 hj 。

找最弱断面就需要定出顶点为 h 的内接抛物线和齿廓线之间的切点。其作法如下:

24. 用直尺和两脚规找出直尺与齿根圆角切于某点 i 的位置。令 $ij = jK$, 点 i 是齿廓线与抛物线的切点, 这就是最弱断面的位置。

25. 画 ih 线。

26. 从点 i 作一条垂直于 ih 的直线。

27. 作一直线 (im) 垂直于齿中心线 $O_p I_0$ 。

28. 从图形中仔细量出小齿轮的如下各值:

$\Delta R_{LN1} = hI$ 。如果点 h 落在小齿轮节圆以内, ΔR_{LN1} 将为负值。

$$X_{LN1} = mn$$

$$t_{LN1} = im$$

$$h_{LN1} = hm$$

$$\phi_{LN} = fhi \text{ 夹角。}$$

图10

29. 大齿轮用相同的步骤, 先在作用线上定出点 E , 同时在大齿轮轮齿上定出载荷作用

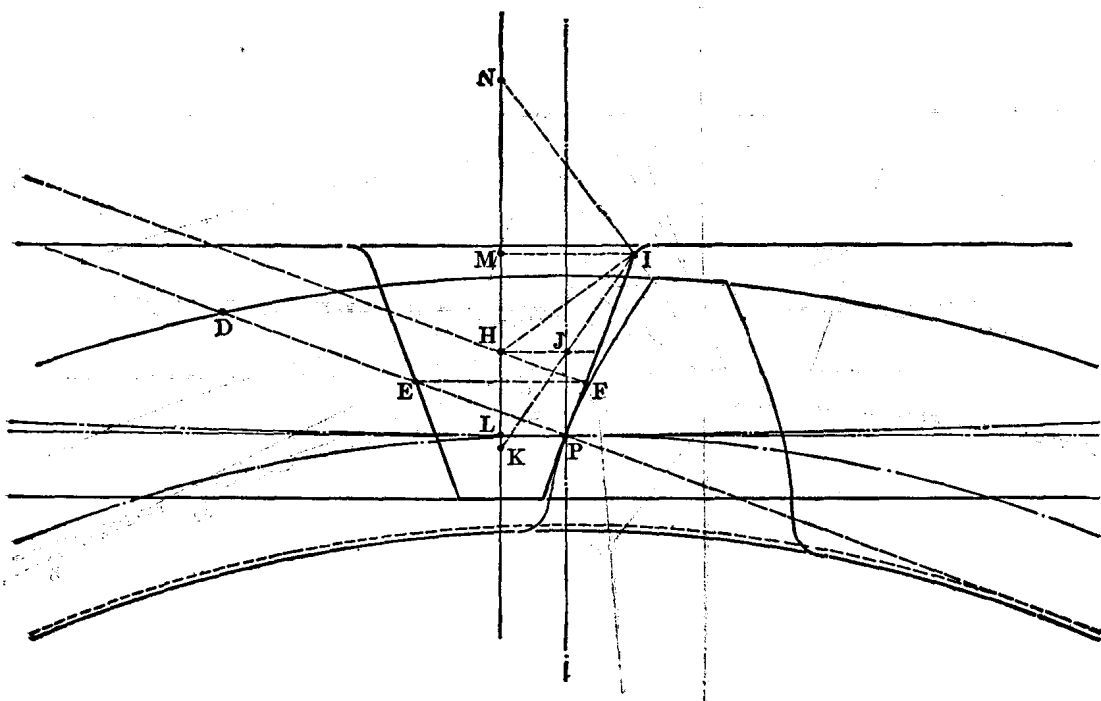


图 10

点 F (如图10)。

(三) 绘制成形法准双曲面齿轮图的程序

着手绘图之前必须从准双曲面齿轮的计算卡中取得一定的资料。因此, 需要用到准双曲面齿轮的卡片 H1, H2, H3, H4 和 HF5 (或者 H1A, H2A, H3, H4 和 HF5)。从这些卡片中获得的数据转移到名为“准双曲面齿轮弯曲应力和疲劳寿命”的计算卡 HLD1 内。在此卡片上算出大齿轮和小齿轮用于绘制在齿宽中部法向平面上的齿形放大图所需的尺寸。

下列括号内的序号相应于卡片 HLD1 上的项目。附在项目号后边的角注 R 和 L 代表计算卡片上右边和左边的一行。序号前加一个字母 H 是相应上面提到的准双曲面齿轮卡片的项目。

- (1) n, N ——分别为小齿轮和大齿轮的齿数。
- (2) r_r, Γ_1 ——分别为小齿轮的根锥角和大齿轮的节锥角。
- (4) R_p, R ——分别为小齿轮和大齿轮中点上的半径。
- (10) ϕ_o ——齿根上的极限压力角。
- (11) ϕ_1, ϕ_2 ——分别为大齿轮轮齿凸面和凹面上的齿根压力角。
- (12) F ——分别为小齿轮和大齿轮的齿宽。大齿轮的齿宽不应超过在项目 (14) 中规定的外锥距的百分之三十。
- (13) P_d ——大齿轮外锥距上的径节。
- (14) A_o ——大齿轮的外锥距。
- (15) A ——大齿轮的中点锥距。
- (17) ϕ'_1, ϕ'_2 ——分别为大齿轮轮齿凸面和凹面节线上的压力角。
- (18) ϕ'_o ——节圆上的极限压力角。
- (19) $\phi_i/2$ ——轮齿两侧面的平均压力角。
- (20) ψ_p, ψ_o ——分别为小齿轮和大齿轮齿宽中点处的螺旋角。
- (24) p_n ——中点处的法向周节。
- (25) P_m ——齿宽中点处的径节。
- (27) a ——齿宽中点处的齿顶高。
- (28) b ——齿宽中点处的齿根高。
- (29) r_r ——刀盘刀尖上的圆角半径。此值在准双曲面齿轮计算卡 HF5 中的项目 (H222) 和 (H223) 中给出。用本项目中的精加工的值。
- (30) W_o ——双面切削大齿轮刀盘的刀顶距。
- (32) t_p ——小齿轮中点上的法向弧齿厚。
- (33) t_o ——大齿轮中点上的法向弧齿厚。
- (34) a_i ——齿顶高。
- (35) b_i ——齿根高。
- (36) t_1 ——弧齿厚。左边公式内的常数 0.04 是假定径节为 1 时齿隙的平均值。
- (37) r_1 ——刀尖上的圆角半径。
- (38) W_{o1} ——双面切削大齿轮的刀顶距。
- (39) R_1 ——端面的背锥半径。
- (40) R_{n1} ——法向的背锥半径。

用于画齿形图的所有数值都是以齿大端径节等于 1 的比例定的。

- (41) $\Delta\phi$ ——成形法大齿轮压力角的修正值（以分计）。
 (42) ϕ ——准双曲面齿轮接触轨迹的方向角。此角不是压力角。
 (48) $\Delta\phi'_2$ ——（此公式求出的角度以分计）。
 (50) m_r ——纵向重合度。

图 3

1. 在绘图桌上铺一张 $8\frac{1}{2}'' \times 11''$ 的纸，如图 3 虚线所示。纸应当是这样安放在桌子上的，将节点 P 标在离纸长一端大约 $3\frac{1}{2}''$ 的位置上，而使小齿轮和大齿轮各自的中心 O_s 和 O_o 都能落在桌面上。如中心距 $O_s O_o$ 超过桌子长度，中心 O_o 则可省略。 $O_s O_o = (40)_L + (40)_s$ 。

图 11

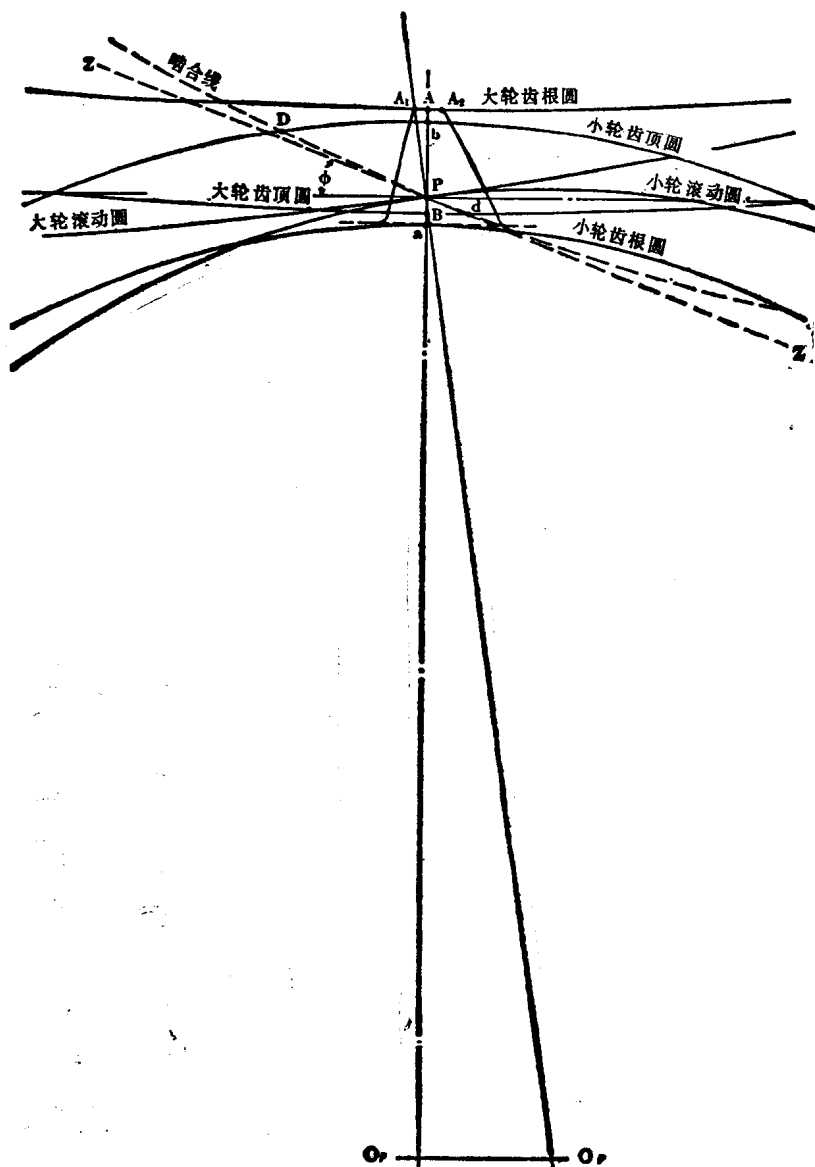


图 11