

钟表小模数齿轮 啮合与铣刀的制造

〔苏〕E. O. 别什阔夫 著

轻工业出版社

內 容 簡 介

小模數齒輪是鐘表的重要結構之一，用途很廣，在精密機械儀器中應用很廣，例如在鐘表、壓力表、水、氣和電的計量裝置，計算機等製造工業中均廣泛應用。它的啮合設計原理大部份是與一般機械製造中齒輪啮合的設計原理不相同的。

這本小冊子闡述了設計小模數啮合、檢驗啮合精確度，以及製造適合啮合用的精密迴旋切削器等方法，可供精密機械工業的工程技術人員作參考。

本書根據蘇聯國家機械出版社1934年莫斯科—列寧格勒出版E.O.別什闊夫著“小模數齒輪啮合與銑刀的製造”一書譯出，雖版本較久，但對於我國目前精密儀器工業的發展尚具有一定的實用價值。

ЗАЦЕПЛЕНИЕ С МАЛЫММОДУЛЕМ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ РУЧНЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ

本書系根據蘇聯國家機械出版社莫斯科——列寧格勒1934年版譯出

鐘表小模數齒輪

啮合與銑刀的製造

〔蘇〕E.O.別什闊夫 著

輕工業部輕工業局 譯

★

輕工業出版社出版

（北京市廣安門內白廣路）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

輕工業出版社印刷廠印刷

新華書店發行

★

787×1092 公厘 1/32" $1\frac{30}{32}$ 開張 • 40,000字

1950年4月北京第1版

1950年4月北京第1次印刷

印數：1—3,000 定價：（10）0.29元

統一書號：15042 • 009

鐘表小模數齒輪 啮合与銑刀的制造

〔苏〕E.O 別什闊夫 著

輕工業部輕工業局 譯

輕工業出版社

1959年·北京

目 录

緒言	3
一、齒輪	4
二、輪片	10
三、齒輪啮合的畫法	13
四、啮合正確性的实际檢驗法	37
五、制造小模数齒輪的銑刀	40
六、瑞士薩法格公司的圓弧車刀仿形磨床	45
七、德国肖道夫公司的銑刀剗齒机床	50
八、小模数漸开綫齒輪啮合	55

緒 言

小模数齒輪在精密機械儀器中應用很廣，例如：在鐘表、壓力表、樂器、水、氣和電的計量裝置，計算機等製造業中，有很大部分是和一般機械製造中所用的齒輪嚙合不同。僅就這一點來看，小模數齒輪的嚙合設計原理和大模數齒輪嚙合的設計原理大部分是不相同的。

在這本小冊子中，闡述了小模數齒輪嚙合的設計問題和小模數銑刀的製造問題，對於擺綫齒輪，模數由 0.04 到 1.00；對於漸開綫齒輪，模數由 0.25 到 1.5。

因為在精密機械儀器中大部分用擺綫齒輪，故此小冊子對擺綫齒輪給予了足夠的注意，而漸開綫齒輪注意的稍微差些，在最後一章中有闡述。漸開綫小模數齒輪和一般機械製造業中用的漸開綫齒輪沒有什麼區別，故最後一章也可以用來設計標準的漸開綫齒輪。

首先談一談小模數嚙合的方法，看看用銑刀銑出的大小齒輪應滿足什麼條件。

一、齒 輪

我們知道，齒形的所有尺寸是與節距 t 有關的。節距是在節圓上量出的兩個相鄰齒軸線間的距离（圖 1）。假設採用下列符號： R ——齒輪節圓半徑、 Z ——齒輪齒數、 t ——齒輪節距，則可以寫出公式。

$$2\pi R = Z \cdot t \dots\dots\dots (1)$$

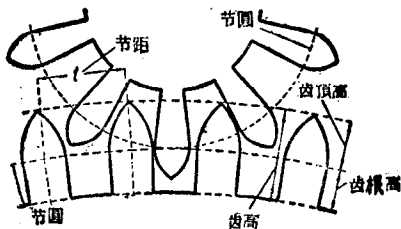


圖 1

由公式 (1) 可以導出下列數據：為了在節圓上所得為整數齒，節距必須為 π 的倍數，即 $t = m\pi$ ，由此：

$$m = \frac{t}{\pi} \dots\dots\dots (2)$$

m 叫做模數或徑節（注 1）。

（注 1）有時在齒輪嚙合計算中，用模數的倒數來計算，以英寸表之，此值叫徑節。徑節是齒數與直徑的比值以英寸表之。例如，模數為 0.04 的嚙合相當於徑節

$$\frac{1 \times 25.4}{0.04} = 635, \text{ 或者模數 } 0.25 \text{ 的嚙合相當於徑節 } \frac{1 \times 25.4}{0.25} = 101.6 \approx 102 \text{ 等等, 用后}$$

面的第 6 表可以把模數換算成徑節，同時還可以找出與模數或徑節相對應的節距。

應當提醒一點，按照工廠標準草案 5 引用的表 6 中的標準模數有：0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 和 1.0，其他模數是一個法國公司用的。

則節圓直徑 D_H 的數值為

$$D_H = 2R = Z \cdot m \dots\dots\dots (3)$$

由公式 (3) 模數 m 等於

$$m = \frac{D_H}{Z} \dots\dots\dots (4)$$

令公式 (2) 和 (4) 的右面相等；得

$$\frac{t}{\pi} = \frac{D_H}{Z}$$

因此

$$t = \frac{D_H \pi}{Z} \dots\dots\dots (4')$$

公式 (1)、(2)、(3)、(4) 和 (4') 不僅可以用來計算齧輪齒，而且也可以用來計算輪片齒。當齧輪和輪片嚙合時，採用下面符號： R_m ——齧輪節圓半徑， Z_m ——齧輪齒數，而 m ——模數，齧輪和輪片都一樣（因為相嚙合的齒應當與模數相同）， R_K ——輪片節圓半徑， Z_K ——輪片齒數，則利用公式 (3) 可以寫出下列公式：

$$2R_m = Z_m \cdot m$$

$$2R_K = Z_K \cdot m$$

把等式兩面相加，得：

$$2(R_m + R_K) = m(Z_m + Z_K)$$

由此

$$m = \frac{2(R_m + R_K)}{Z_m + Z_K}$$

或者

$$m = \frac{R_m + R_K}{(Z_m + Z_K) \times 0.5} \dots\dots\dots (5)$$

公式 (5) 中 $R_m + R_K$ 之值正是嚙合副的中心距。因此可

以說：模數等於啮合副的中心距被齧輪和輪片齒數之和 1/2 來除。

法国的卡尔巴諾 (Карпано) 公司建議採用如圖 2 所示的四種齒頂形狀，齒頂形狀 D，是一個半圓，它在有特殊要求的情況下才用，因為當齧輪齒頂為這種曲綫時，啮合情況非常不好。

齒頂形狀 A 可以用在齧輪為主動輪或用在 6 個齒的被动齧輪中。齒頂形狀 B 用在 7 ~ 8 個齒的被动齧輪中。齒頂形狀 C 用於 10 個齒和 10 個齒以上的被动齧輪中。

如果 D_B 為齧輪的外徑，以公厘表之，則模數可以寫成下面公式：

$$m = \frac{D_B}{A} \dots\dots\dots (6)$$

式中 A —— 經驗係數，列在表 1 中，與齧輪的齒數和齒形有關。看看如何來用表 1 (見 17 頁)。

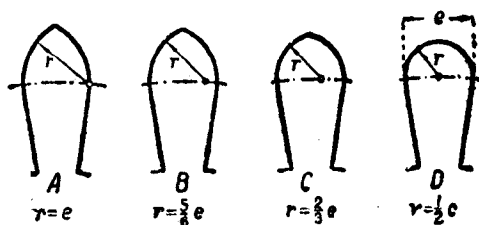


圖 2

例 1：齧輪外徑等於 2.90 公厘，齒數為 9，齒頂形狀為 C 型，求齧輪模數等於多少？利用公式 (6) 可寫：

$$m = \frac{D_B}{A} = \frac{2.90}{10.34} = 0.28$$

公式 (6) 同樣可以寫成：

$$D_B = m \cdot A \dots\dots\dots (7)$$

因此，当知道齧輪齒數和模數與齒頂形狀，利用表1可以求齧輪外徑。

例2：假設齧輪模數等於0.3，齒數為8，齒頂形狀為A型，求外徑尺寸。

按公式(7)可寫：

$$D_B = 0.3 \times 9.74 = 2.922 \text{ 公厘}$$

知道了模數，可按下面公式求齒寬：

$$e = m \cdot B \dots\dots\dots (8)$$

式中 e ——齒寬，用公厘表示，而 B ——與齒形有關的實驗系數，按表2（見17頁）來找。

制訂此表的基础，是按6～9個齒的齧輪齒寬等於1/3節距，10或10個齒以上的齧輪——齒寬等於2/5節距。實際上對6～9個齒的齧輪可以寫。

$$e = \frac{1}{3} t = m \cdot B$$

由此：

$$B = \frac{t}{3m} = \frac{t \cdot \pi}{3 \cdot t} = \frac{3.14}{3} = 1.046$$

對於10和10個齒以上的齧輪：

$$e = \frac{2}{5} t = m \cdot B$$

由此：

$$B = \frac{2 \cdot t \cdot \pi}{5 \cdot t} = \frac{2\pi}{5} = 1.256$$

例3：齧輪模數等於0.3，齒數8。求齧輪齒寬。

按公式(8)可以寫出

$$e = m \cdot B = 0.3 \times 1.046 = 0.314 \text{ 公厘。}$$

齧輪齒根圓 D_c (圖 3), 與齧輪的模數和齒數有關, 用下式表之:

$$D_c = m \cdot C \dots\dots\dots (9)$$

式中 D_c ——直徑, 用公厘表示, 而 C 與齧輪齒數有關的實驗系數, 可按表 3 (見 19 頁) 來找。

例 4: 齧輪齒數等於 9, 模數 0.27; 求齧輪齒根圓直徑。

按公式 (9) 可以寫出

$$D_c = m \cdot C = 0.27 \times 5.20 = 1.40 \text{ 公厘}$$

測量齧輪的外徑, 實際上是用測量鋼絲直徑的卡板來測量, 卡板上兩個相鄰孔的直徑相差 0.05 公厘。

測量偶數齒的齧輪, 是沒有什麼困難的。測量單數齒的齧輪就複雜了, 因此, 量出 D_a 後再按表 4 來找外徑 D_B (圖 4)。

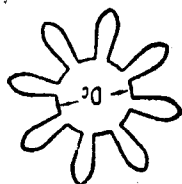


圖 3

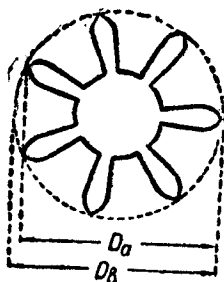


圖 4

上面所列举的公式, 是法国的卡尔巴諾公司所推荐应用的, 他們在銑刀制造方面有很多的經驗。

另外有些公司給出了另外一些数据, 德国克普菲尔公司在計算齧輪中用下列公式:

对齧輪引用了下列一些符号:

D_B ——齧輪外圓直徑;

D_H ——齧輪節圓直徑;

Z ——齧輪齒數;

t ——齧輪節距;

e ——齧輪齒寬;

n —— 齿宽 e 与节距 t 的比值, 即 $n = \frac{e}{t}$;

h_1 —— 齿顶高, 一般等於齿宽。

已知 $n = \frac{e}{t}$, 则可以写出;

$$e = h_1 = nt \dots \dots \dots (10)$$

克普菲尔公司画齿顶曲线有时用 $1/2$ 的齿宽作半径 (齿顶形状为半圆), 或者用 $3/4$ 的齿宽作半径 (齿顶形状为尖形) (图 5a 和 5b)。

齿宽 e 一般等於 0.4 节距,

即 $e = 0.4 t_0$

對於半圓形齿顶的齧輪 (图 5a)

$n = 0.2$; 因为

$$D_6 = D_H + 2nt \dots \dots \dots (11)$$

所以, 對於 $n = 0.2$ 的齧輪, 即對於半圓形齿顶的齧輪, 可以写成:

$$D_B = D_H + 2nt = D_H + 2 \times 0.2, \text{ 即 } D_B = D_H + 0.4t$$

我們知道, 根据公式 (1), 节圓圓周长等於 $\pi D_H = Zt$, 由此节圓直径:

$$D_H = \frac{Zt}{\pi} \dots \dots \dots (12)$$

把 D_H 之值代入公式 (11) 則得:

$$D_B = \frac{Zt}{\pi} + 2nt; \quad D_B = \left(\frac{Z}{\pi} + 2n \right) t;$$

$$t = \frac{D_B}{\frac{Z}{\pi} + 2n}; \quad t = \frac{D_B \pi}{Z + 2n\pi} \dots \dots \dots (13)$$

把 $n = 0.2$ 代入公式 (13) 則半圓形齿顶形状的齧齿的节

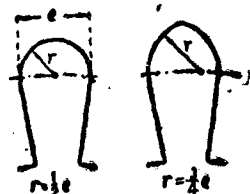


图 5a

5b

距为：

$$t = \frac{D_B \pi}{E + 0.4\pi}$$

對於如图 56 中所画的齿頂形状的齧輪， $n = 0.3$ 把 n 之值代入公式 (11) 得：

$$D_B = D_H + 2nt = D_H + 2 \times 0.3t = D_H + 0.6t$$

把 $n = 0.8$ 代入公式 (13)，得到这种齧輪的节距：

$$t = \frac{D_B \pi}{Z + 0.6\pi}$$

一般对被动齧輪取 $n = 0.4$ ；把此值代入公式 (11) 和 (18) 得：

$$D_B = D_H + 0.8t \text{ 和 } t = \frac{D_B \pi}{Z + 0.8\pi}$$

二、輪 片

輪片的齿頂高 h_1 (图 6) 与齧合的齧輪齿数有关。求齿頂高可用下面公式：

$$h_1 = m \cdot D \dots\dots\dots (14)$$

式中 h ——齿頂高。 m ——齒輪齧合的模数，而 D ——与齧合的齧輪齿数有关的經驗系数。 D 可由表 5 中查出。

例 5：輪片的模数为 0.3，与 9 个齿的齧輪相齧合。求輪片齿高。

按公式 (14) 可以写出。

$$h_1 = m \cdot D = 0.3 \times 1.60 = 0.48 \text{ 公厘。}$$

輪片齿寬 e (图 7) 取为等於节距的一半，即

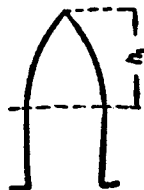


图 6

$$e = 0.5t \dots \dots \dots (15)$$

齿根高取为与齿宽 e 有关，相等於 $h_2 = 0.75e$ ；

$$h_2 = e \text{ 和 } h_2 = 1.25e$$

第一种齿根形状用字母 C 表示，第二用 M 和第三用 L (图 7)。钟表中最常用的齿根高为

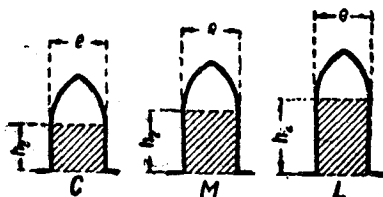


图 7

$$h_2 = e,$$

用求齧輪模数的公式 (2)，(4) 和 (5) 来求輪片的模数。

看看如何来求輪片外徑 D_B ， D_B 和与其齧合齧輪齿数有关。

例 6：輪片齿数为 80，模数为 0.25，和 9 个齿齧輪齧合。

求輪片的外徑。

按公式 (3) 可以写出：

$$D_H = Z \cdot m = 80 \times 0.25 = 20 \text{ 公厘。}$$

輪片的齿頂高 h_1 按公式 (14) 計算。 $h_1 = mD$ ：把 $m = 0.25$ 和 $D = 1.60$ 代入此公式中， $D = 1.60$ ，是从表 5 中取得的，因为和輪片齧合的齧輪为 9 个齿，得；

$$h_1 = 0.25 \times 1.60 = 0.4 \text{ 公厘。}$$

輪片的外徑 D_B 等於节圓直徑与两倍齿頂高的和，即，

$$D_B = D_H + 2h_1 = 20 + 2 \times 0.4 = 20.8 \text{ 公厘。}$$

上面的公式是法国卡尔巴諾公司用来計算輪片的公式，其

他的公司，如德国的克普法尔公司，在有些情况下，用另外一些公式来计算：

引用下面一些符号；

D_B ——輪片外圓直徑；

D_H ——輪片節圓直徑，

Z ——輪片齒數；

t ——輪片節距；

e ——齒寬；

n ——齒寬 e 和節距 t 的比值，即 $n = \frac{e}{t}$ ；

h_1 ——齒頂高，一般等於齒寬 e 。

如果齧輪和輪片相嚙合，則

$$h_1 = e = \frac{t}{2} \dots\dots\dots (16)$$

如果輪片和輪片相嚙合，則

$$h_1 = e = 0.45 \cdot t \dots\dots\dots (17)$$

按公式 (1) 可以寫出

$$\pi D_H = Zt$$

由此

$$D_a = \frac{Zt}{\pi}; \quad Z = \frac{\pi D_H}{t}; \quad t = \frac{\pi D_H}{Z}$$

外徑 D_B 按公式 (11) 計算：

克普法尔公司計算節距 t ，用齧輪的公式 (13)，

按公式 (16) 齒寬 $e = 0.5t$ ，則

$$n = \frac{e}{t} = \frac{0.5 \cdot t}{t} = 0.5$$

按公式 (11) 外徑 D_B 為：

$$D_B = D_H + 2nt = D_H + 2 \times 0.5t = D_H + t$$

按公式 (13) 得:

$$t = \frac{D_B \pi}{Z + 2\pi \cdot n} = \frac{D_B \pi}{Z + \pi}$$

由此:

$$t(Z + \pi) = D_B \cdot \pi, \quad Z + \pi = \frac{D_B \cdot \pi}{t};$$

$$Z = \frac{D_B \cdot \pi}{t} - \pi; \quad Z = \frac{D_B \cdot \pi - \pi \cdot t}{t};$$

$$Z = (D_B - t) \cdot \frac{\pi}{t}.$$

三、齿輪嚙合的画法

齿廓曲线为摆线或者渐开线(渐伸线)。在一般机械制造业中用的齿廓线大部分为渐开线,但在精密机械中,小模数齿廓用摆线是有优点的。在精密机械中,当模数相当大的时候,也有采用渐开线的。

在抗磨损方面,摆线齿比渐开线齿的效果要好。摆线齿輪的中心距有一点改变,就破坏了傳动的准确度,而在渐开线齿輪嚙合中,中心距的改变并不破坏傳动的准确度,在同样大小的节距中,渐开线齿輪的齿根比摆线齿輪要厚,所以前者比后者坚固,渐开线齿輪的缺点如在大多数傳动中齧輪齿数要多(由21到30),否則将在齧輪中产生根切現象。對於第一种情况,我們不得不切出很小的齿,而在第二种情况,由于根切,齧輪齿被削弱以致难以工作。在精密机械中主要用的是摆线小模数齿輪,我們来看一看摆线和它的画法。

注: 關於漸開线參看第貳節, “小模數漸開线嚙合”。

摆线是一圆沿着直线或者另外一圆的外边或里面纯滚动时，其上面一点所画出的曲线。

第一种情况得出的曲线叫普通摆线，第二种叫外摆线，第三种叫内摆线，摆线的尺寸和形状与基圆和滚圆（生成圆）尺寸有关。齿轮齿顶一般是按外摆线画的，看看如何画此曲线。

取一个基圆和滚圆如图8所示。假设把滚圆分成12等份，由0点（0点和滚圆的12相重合）向右沿基圆截取相等份弧长 a_1 、 a_2 、 a_3 等等。

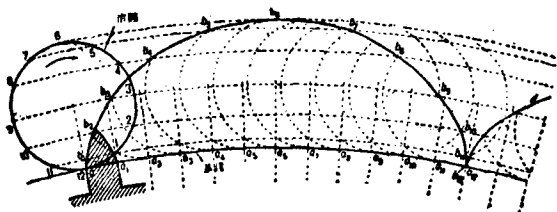


图 8

可以看出，图上画的虚线弧就是滚圆与基圆上的 a_1 、 a_2 、 a_3 ……等点接触时的12个位置，滚圆弧线的端点，相对应地等于基圆的弧长，在圆上为 b_1 、 b_2 、 b_3 ……等等。用一条光滑的曲线把这些点联起来，就得到外摆线（点 a_{12} 和 b_{12} 重合）。

齿根是按内摆线来画的。一般画成径向直线，它是滚圆直径等于节圆半径的特殊情况时的内摆线。我们不准多讲内摆线的这种特殊情况，只把它画在图9中，在我们已经讨论了外摆线的画法以后，画这种摆线是没有什么困难的。需要注意，对于齿数等于30或者大于30的轮片，它的齿根并不是内摆线，而是如图10所示的两条平行线。

实际上齿顶曲线和外摆线也有区别，它是按圆弧画的，而且这条曲线和构成齿根的直线联接时，应当是光滑的。

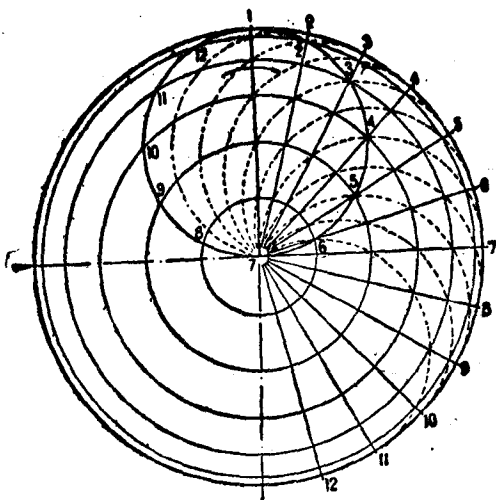


图 9

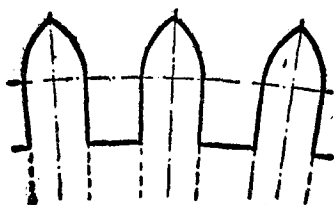


图 10

用下例看一下如何来计算和画出齿轮啮合。

例 7：计算并画出轮片和韶轮的啮合，其中轮片为主动，韶轮为被动。同时轮片转一圈，韶轮应转 7.5 转。两轮中心距为 11 公厘。用 i' 来表示轮片和韶轮的传动比，它等於 $\frac{7.5}{1}$ 。

註 3：传动比 i 是被动轮转数 n_2 （韶轮式轮片）与主动轮转数 n_1 （轮片式韶轮）之比值。在所有的齿轮传动中，转数和齿数成反比： $i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$