

齿轮精加工

格·依·柯 岗 著

沈阳矿山机器厂

1965·6

齿 輪 精 加 工

格·依·柯 岗 著

李光华 杨宏柯 译
伍应节

江苏工业学院图书馆
藏书章

沈阳矿山机器厂

出版者的話

本书根据原文 Библиотечка зубореза, выпуск 7
《Отделка зубчатых колес》Г.И. Коган, 1962年
修改再版翻譯。

本书研究了圓柱齒輪工作齒型的剃削、磨削及精磨(研磨)等精加工的基本問題,闡明了齒精加工的現代方法,齒輪精加工机床的現有類型和它們的調整方法,以及为了消除檢查中發現的加工缺陷而进行小調整的方法。

本书是以切齒工人、切齒机床調整工和工长为对象的,齒輪制造工艺師們也可参考应用。

全书共分七章,参加譯校工作的有:第一章、第二章李光華;代号、第三章、第四章楊宏柯;前言、第五章、第六章、第七章趙奎杰、伍应节;技术校对趙奎杰;全书最后由趙奎杰、楊宏柯統一整理;在第一章和第二章的翻譯中,聞敏同志在技术上曾給予大力帮助。由于水平所限,錯誤在所难免,敬希使用本书的同志們多加批評指正。

一九六五年六月

前 言

为提高現代机器的傳动功率与速度和縮小机器的外形尺寸及減輕重量，則需采用更加坚固而精确的齒輪，首先是圓柱齒輪。因此，目前用滲炭鋼或淬火鋼制造的圓柱齒輪得到广泛应用。

一般精度的齒輪制造（不高于6—7級，按ГОСТ 1643—56），通常在热处理前进行剃齿，而在热处理后常进行研磨。

由于热处理齿圈要变形，故此种齒輪在热处理前的剃齿应提高精度以补偿热处理中出現的誤差。但是，在不能利用上述方法来保証热处理后齒輪的精度要求时（特别是热处理中变形大的合金鋼齒輪），齿的精加工只能用磨削法进行。

剃齿同样可以用于制造精密的不淬火的齒輪。另外，剃齿还可以降低对切齿刀具的精度要求，首先是对生产力最高的齒輪滾刀的要求。

由于剃齿的机动工时較少，故这种精加工的过程可使圓柱齒輪的輪齿制造工艺更为合理（縮短切齿的时间），特别是在大批和大量生产当中。

齒輪在傳动中跑合、未淬火齒輪的滾光和淬火齒輪的研磨都能改善齿的接触，消除某些齿形誤差和齿的凹痕，以及降低傳动噪音，但是整个来讲对齒輪精度并没有本质影响。

最近几年出現利用自由旋轉的研磨輪来精加工淬火輪齿的方法（即所謂珩磨齿），其結果与研磨齿类似，但

是，齿的工作表面有較大的修正。

剃齿和研磨齿的啮合特性以及磨齿法的特点說明为实现上述的齿精加工过程有許多方法和多种类型及结构的齿精加工机床。

在齿精加工时，为达到齿圈的精度应当根据被加工齿輪的檢查数据对机床进行定期的小調整。这时应考虑到，采用不同的齿精加工方法和不同类型的机床，所产生的齿圈誤差的表现形式也是不同的。

本书介紹了有关选择圆柱齿輪齿的精加工方法，齿圈精加工工序前的加工精度以及剃齿、磨齿和研齿等机床的調整問題。齿的工作表面上的精加工余量是很小的，因此，下面我們对切齿的精度上給予很大的注意。

本书特別注意齿圈在齿精加工工序中产生誤差的原因，以及在我国机器制造工厂內使用最为广泛的各种类型尺寸的齿精加工机床上针对齿型的形成特征来消除这些誤差的方法。

——作 者

代 号

- α_{π} — 齒輪的齒形角（原始齒形）。
- $\alpha_{\pi s}$ — 斜齒輪端面的齒形角。
- $\alpha_{\text{ш}}$ — 磨削齒形角（砂輪修正角）。
- $\alpha_{\text{шs}}$ — 齒輪端面的磨削齒形角。
- α_{Φ} — 在原始齒形上修齒頂（齒腹）的齒形角。
- $\alpha_{\Phi \text{ш}}$ — 齒腹的磨削齒形角（砂輪的修正角）。
- α_{u} — 剃齒嚙合角（齒的法向平面內）。
- α_s — 剃齒嚙合角（齒輪端面）。
- β_{π} — 分度圓柱上輪齒的斜角。
- β_o — 基圓柱上輪齒的斜角。
- β — 加工時節圓柱上的輪齒斜角。
- $\beta_{\pi u}$ — 剃齒刀齒在其分度圓柱上的斜角。
- β_u — 加工時剃齒刀齒在節圓柱上的斜角。
- $\beta_{\text{ш}}$ — 磨削時發生圓柱上輪齒的斜角。
- γ_c — 加工時齒輪和剃齒刀軸綫的交叉角。
- ΔA — 箱體內傳動中心距的偏差。
- Δt_o — 輪齒的基齒距偏差。
- Δs_6 — 桶形輪齒對中心的端面變薄（按弦長）。
- $\Delta_{\text{B}} s$ — 為形成與共軛齒輪嚙合中的側面間隙所必需的齒的變薄值。
- ξ — 齒輪原始齒形的修正係數（修正嚙合）。
- ζ — 計算中的輔助量，砂輪的旋轉角。
- ψ — 磨削桶形齒時平面砂輪的錐角。
- ρ_a — 輪齒起始工作部分漸開綫齒形的曲率半徑（在

傳動中與共軛齒輪的嚙合)。

ρ_o — 切齒時輪齒漸開綫齒型的起始曲率半徑(剃齒或磨齒以前的)。

ρ_u — 精加工後漸開綫齒型的起始曲率半徑(剃齒或磨齒時)。

σ — 斜齒輪基圓柱上的螺旋綫升角。

σ_u — 剃齒刀基圓柱上斜齒螺旋綫升角。

ω — 剃齒時縱向進給的方向與齒輪軸綫之間的夾角。

A — 在箱體內的傳動中心距。

A_o — 剃齒時公稱軸間距離。

A_1 — 剃齒時起始軸間距離。

a — 帶封閉齒圈的齒輪的退刀槽寬度。

$A, B, C, D, a, b,$

c 和 d — 機床掛輪架的配換齒輪(齒數)。

B — 齒圈的寬度。

B_u — 剃齒刀寬度。

c — 剃齒刀退出到齒圈端面以外的寬度。

D_e — 齒輪的頂圓直徑(外徑)。

D_{eu} — 剃齒刀的齒頂圓直徑。

D_ϕ — 帶封閉齒圈的齒輪法蘭盤(軸肩)的直徑。

D_i — 齒輪的底圓直徑。

D_ϕ — 滾切卷筒直徑。

D — 磨輪直徑。

d_n — 齒輪分度圓直徑。

d_o — 齒輪基圓直徑。

d — 加工時齒輪節圓直徑。

- $d_{\text{ш}}$ — 磨削时齿輪的发生圓直徑。
 $d_{\text{ду}}$ — 剃齿刀, 标准齿輪的分度圓直徑。
 d_u — 加工时剃齿刀的节圓直徑。
 h' — 齿輪的齿頂高 (由分度圓算起)。
 h_{Φ} — 輪齿修齿腹段的 (齿頂断面) 始点高度 (由齿頂圓算起)。
 $h_{\Phi\text{ш}}$ — 磨輪修齿腹段的始点高度 [由发生直綫 (齿輪的发生圓) 算起]。
 K, M — 輔助計算值。
 k — 走刀次数 (粗或精)。
 L_n — 纵向行程长度。
 L_B — 砂輪沿齿輪軸綫的退出长度 (分度前)。
 m_n — 法向模数。
 m — 直齿輪模数。
 m' — 蜗杆砂輪的假想模数。
 n — 工作主軸 (齿輪) 的轉数, 磨头的往复行程次数。
 n_u — 工具主軸的轉数。
 n_o — 滾切行程次数。
 s_d — 图紙上的輪齿弦厚 (分度圓上的)。
 s_n — 纵向进給量 (沿齿輪的軸綫或齿的母綫)。
 s_o — 滾切进給量 (垂直于齿輪軸綫的方向)。
 s_p — 徑向进給量 (齿輪与刀具軸綫的移近)。
 s_1 — 《出屑》进給量 (沿齿廓的法綫)。
 W — 滾切行程长度。
 z — 齿輪齿数。
 z_u — 分度盘、剃齿刀、标准齿輪的齿数。
 z_i — 齿輪分度旋轉的齿数 (齿距)。

目 录

前 言

代 号

第一章	圓柱齒輪精加工法·····	1
第二章	圓柱齒輪的剃齒·····	20
第三章	在按滾切法工作的機床上磨齒·····	59
第四章	在蝸杆砂輪機床上磨齒·····	112
第五章	在按仿型法工作的機床上磨齒·····	122
第六章	內齒的磨削·····	137
第七章	圓柱齒輪工作齒形的精磨·····	142

第 一 章

圆柱齿轮精加工法

在制造精加工圆柱齿轮时，为了保证精加工余量小和图纸要求的齿轮精度，因此编制加工工艺过程时必须考虑到切齿时的精度要求。

1 剃齿

剃齿是从齿的工作面上切下薄薄的金属屑，使整个齿形得到修整。剃齿有二种方法（图1）：

一种用齿条式剃齿刀，运动时它和齿轮中心线形成一个角度（图1，a），另一种用盘形剃齿刀，它的中心线

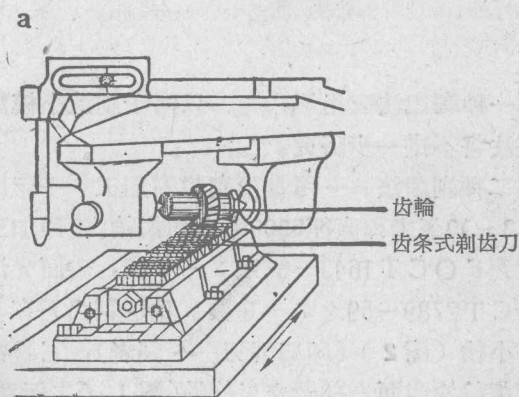


图1 圆柱齿轮剃齿的基本方法：a—齿条式剃齿刀

和齒輪中心綫相互交叉 (圖 1, 6)。

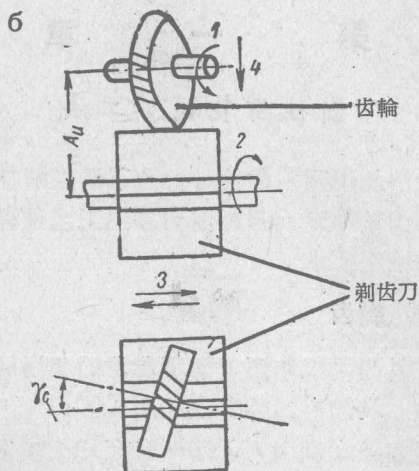


圖 1 6—盤形剃齒刀

第一種剃齒法應用不廣——只用于制造小模數齒輪，因此該法將不進一步研究。

第二種剃齒法——用盤形剃齒刀加工——应用于加工模數0.3~10毫米和直徑5000毫米的齒輪。這種加工方法精度可達到ГОСТ 1643—56之5—6級，表面光潔度可達到ГОСТ 2789—59之7—8級。盤形剃齒刀在其表面上有許多小槽 (圖 2) (即切削刃——譯者)，它緊密嚙合在被加工齒輪的齒面上并做交叉旋轉 (圖 1, 6之運動 1和 2；做傳動的可能是剃齒刀)也可能是齒輪)。由于兩中心綫交

又形成一个角度 γ_c , 则沿齿面就产生了一个分速度, 这个分速度在齿面滑动的同时就形成了切削运动。

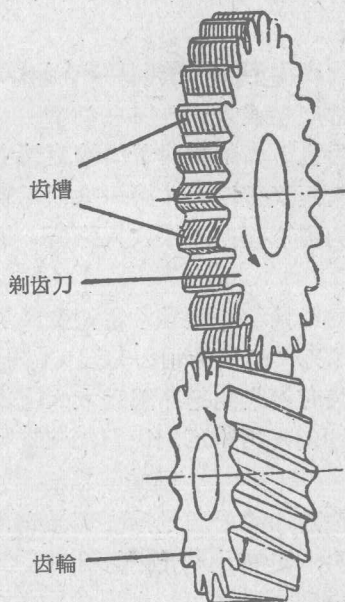


图2 盘形剃齿刀和被加工齿輪啮合情形

由于剃齿刀和齿輪在側面进行理論点啮合的結果, 于是在它們齿表面間接触点处, 存在一个間隙, 即切削后角。这样剃齿刀齿上的切削刃就切下一些薄薄的金屬屑, 結果齿輪的齿形在和剃齿刀啮合的过程中形成偶合齿輪; 它的精度和表面光洁度也就得到提高。

在加工过程中剃齿刀或齿輪沿后者的中心綫移动 (运动3, 图1, 6), 从而使全齿得到加工。每一个纵向行程后剃

齿刀和齿輪的中心綫相互接近（徑向进刀——运动4），于是金屬层在下一个行程中就被切下来。剃齿刀和齿輪中心綫間的距离，符合給定的齿輪齿厚 s_d 时（公称軸間距 A_0 ）則加工結束。

由于在机床內剃齿刀和齿輪間并非絕對剛性联接，从而剃齿的精度經常产生誤差：

1) 但在剃齿机上齿圈相对于齿輪旋轉中心綫产生的徑向振摆常常使齿距誤差增大（第一次积累誤差），虽然被剃完齿的齿輪的齿形徑向振摆大大降低，但也会产生这样情况。

2) 剃齿前的齿輪齿距誤差常常使金屬屑切削条件恶化，結果剃齿时齿形产生变形。

3) 虽然剃齿时斜齿的循环誤差大大降低，但是齿向偏差修整不大，特別是用窄形剃齿刀加工較寬的齿輪更是如此。

据上述，剃齿前的輪齿切削精度和被剃齿的齿輪給定精度有密切关系。切削出的齿輪就齿輪工作平稳性（ГОСТ 1643—56）来讲可較剃出齿的齿輪低一級。

按运动誤差及齿接触标准，在切削时应保証給定的齿輪精度，因为剃齿时不能提高运动精度和齿接触标准。

往剛性心軸上装配的齿輪配合孔应加工成二級精度，而心軸本身的直徑，若为六級精度应为 H_1 配合，若为七級精度应为 H_1 配合，若为八級精度应为 X 配合。当使用 X 配合的脹式心軸时，齿輪孔应按 A_{23} 或 A_3 級公差加工。

齿輪剃齿时，特別是加工里孔較大的齿輪时，可使用切齿机和剃齿机上的帶有脹式心軸或可脹軸套的調整裝置。剃齿适用于加工全齿厚都是固定的齿，以及齿端相对

于中心逐渐变薄的齿（桶形的）；同时也可剃内齿。用适当改变外形的剃齿刀进行修整剃的齿。

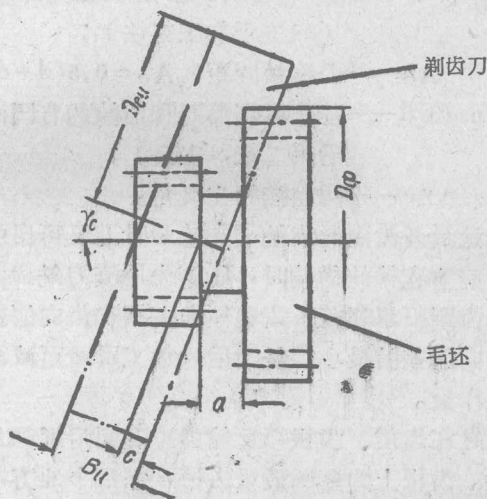


图3 剃削带有封闭齿圈的齿轮的示意图（刀具在齿圈端部的活动范围）

剃削带有封闭齿圈的齿轮（在齿圈附近带有轴肩或法兰，图3）时，槽宽 a 必须保证刀具能自由移动到齿圈端部极限外，其移出尺寸大约为该剃齿刀宽度的一半。槽宽 a 应大于下式值

$$a > \sqrt{\frac{D_{\phi} + D_{eu}}{2} - A_0} \cdot \frac{D_{\phi} D_{eu}}{D_{eu} \cos^2 \gamma_c + D_{\phi}} \sin \gamma_c + \frac{c}{\cos \gamma_c} (1 - 0,5 \sin^2 \gamma_c), \quad (I.1)$$

где D_{eu} и D_{ϕ}

該处 D_{eu} 和 D_{Φ} ——分別表示为剃齿刀 齿頂圆及和齿圈相連的法兰（軸肩）的直徑；

c ——剃齿刀移动到齿輪 齿圈端部以外的值（取决于加工方法）；

A_o ——公称軸間距； $A_o = 0.5(d + d_u)$ ；

d_u 和 d ——加工时剃齿刀和齿輪的节圆直徑（見后第二章，表 8）；

γ_c ——两軸綫的交叉角。

在制造敞开齿圈的齿輪（加工齿时刀具可自由移动）或軸肩以前有寬槽的齿輪时，建議先用滾刀銑齿。这样能保証圓周齿距积累誤差、齿圈徑向振摆和齿向偏差，特別是斜齿齿向偏差值最小；銑齿后的加工质量可減輕剃齿时的切削工作量。

剃齿时在齿頂、齿根以及輪齿分度圓附近都有不同的切削条件。齿根上的金屬最难去掉，在那个地方，在加工过程中会形成阶梯；齿頂在切削負荷的作用下可产生挤偏現象，因此金屬不能全部切下，而在分度圓区域内却切下大量金屬。

为了改善剃齿时的切削条件，特別是剃削齿数在三十个以內的齿輪时，建議使用修整齿型的刀具（图 4）。这

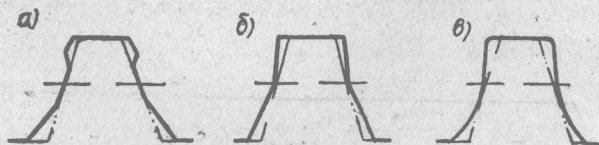


图 4 切削剃齿齿輪用的刀具齿形修整示意图；

a — 带有凸头和修整区域的原始齿形；

b — 带有双角的原始齿形；

c — 平滑修整的原始齿形。

种刀具可减少齿根和齿顶的加工余量。图4, a 的刀具形状可改善剃齿刀齿顶尖端在齿轮齿根部的切削条件, 以及可减少齿轮齿顶修整部分的余量。图4, б和в的修整齿形就起到如此作用。这些修整的切齿刀具应用在大量成批生产齿轮的工作中。

在切齿时用减小原始齿形角的刀具尚可降低剃齿的齿轮齿根的余量。

在选择剃齿用的切齿刀具齿的尺寸时应考虑到剃齿时留下的加工余量, 这些余量应在表1和表2所列的范围内; 当加工齿斜角 $\beta_n > 15^\circ$ 的斜齿轮时应把余量值增大到10—15%。在成批生产中剃齿余量可由试验确定。

圆柱齿轮剃齿余量 (按齿厚)

表 1

齿轮模数 (毫米)	齿 轮 直 径 (毫米)				
	100以内	100—200	200—500	500—1000	1000以上
3 以内	0.06— 0.10	0.08— 0.12	0.10— 0.15	—	—
3—5	0.08— 0.12	0.10— 0.15	0.12— 0.18	0.12— 0.18	0.15— 0.20
5—7	0.10— 0.14	0.12— 0.16	0.15— 0.18	0.15— 0.18	0.16— 0.20
7—10	0.12— 0.16	0.15— 0.18	0.18— 0.20	0.18— 0.22	0.18— 0.22

剃齿的齿轮齿厚必须保证在极准确的窄小范围内。考虑到一般零件图上给的齿轮齿厚公差值较大, 建议剃齿时使用一部分齿厚公差作为加工余量。这在加工比较大的齿轮时特别有利。剃齿前齿端必须去毛刺和倒稜, 以便减少剃

齿次数及防止剃齿刀齿折断。

2 磨 齿^①

磨齿用于制造带有敞开齿圈或带有宽槽(到轴肩距离)的圆柱齿轮(主要是淬过火的)。宽槽大小应保证砂轮能自由移出到齿圈端面以外。磨齿方法有很多种。

1) 滚切法磨齿。其方法是用一个砂轮或两个砂轮的侧面修整一个齿,这可假想为和齿轮相啮合的齿条(图5,

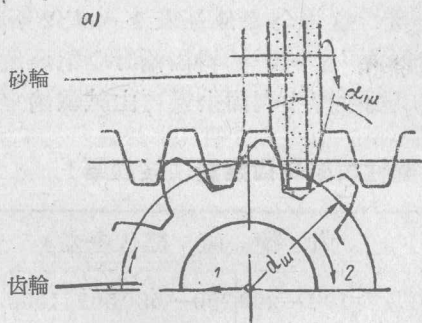


图5 a—用锥形砂轮,按滚切法

a)。在加工过程中齿轮或砂轮架做垂直于齿轮中心线的往返运动(运动1),同时齿轮转动,即齿轮按所谓发生齿条滚动(运动2)。除此,砂轮沿着齿轮中心线或斜齿的母线作相对运动(运动3,图上未表示),结果整个轮齿就得到加工。

余量公差(对于一个整齿)可按表2确定之。

① 磨齿机的磨齿,结构及调整等问题详述于格·依·柯崗的书内:
《Изготовление цилиндрических колес со шлифованными зубьями》, Машгиз, 1962 г.