

598953

机械工人学习材料

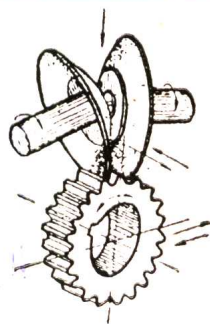
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

球面蜗轮副加工

王思泽 编著



轮工



机械工业出版社

内容提要 本书概述了球面蜗轮副的啮合原理以及对称修型的适用性。以对称修型加工为例,介绍和分析了机床的选择与调整、工装卡具的种类和使用、切削刀具的选择与刃磨、工艺参数的确定与规范。按加工流程逐一阐述了装卡、找正、粗切、精切、跑合、研齿、装配检验等工序的操作要点和技术要求,并推荐了典型工艺。书中还分析了加工过程中产生误差的原因,提出了消除办法和改进措施。

本书既有理论,又有操作实例。可供齿轮工学习使用,也可供车工、磨工、钳工学习参考。

球面蜗轮副加工

王恩泽 编著

责任编辑 应华炎

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)

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

开本 787×1092 1/32·印张 4·字数 95 千字

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数 0,001—3,200·定价 0.82 元

科技新书目: 129-97

统一书号: 15033·6376

目 次

一 球面蜗轮副概述	1
1 传动特点(1)——2 齿型及啮合原理(3)——3 加工工艺的发展(5)	
二 球面蜗轮副的全修形及其近似修形	8
1 全修型球面蜗杆的修形特点(8)——2 全修型的近似修形法(9)——3 对称修形法加工的要点(12)	
三 球面蜗轮副加工的工艺装备	14
1 机床的选择(14)——2 机床的减速装置(19)——3 有关刀架的常用尺寸(23)——4 刀台(25)——5 刀具的种类、结构及其刃磨参数(27)——6 刀具的材料选择及刃磨要点(51)	
四 球面蜗杆的加工	54
1 毛坯准备及其加工(54)——2 在滚齿机上安装蜗杆(55)——3 精车蜗杆圆弧面(62)——4 粗切蜗杆螺牙(64)——5 精切蜗杆螺牙(75)——6 二次倒坡及其近似加工方法(80)——7 蜗杆螺牙的光磨加工(84)——8 球面蜗杆的制造公差(86)——9 国外拉削蜗杆的工艺(88)	
五 球面蜗轮的加工	91
1 球面蜗轮的齿坯准备(91)——2 将蜗轮在工作台上找正把紧(92)——3 安装刀具并将刀杆调整定位(95)——4 挂轮(98)——5 粗切蜗轮(98)——6 精切蜗轮(100)——7 电解研齿新工艺(102)——8 球面蜗轮制造公差(104)	
六 球面蜗轮副的质量检验及误差分析	105
1 固定弦齿厚的检验(106)——2 啮合检验(107)——3 装配检验及其调整(108)——4 接触斑点的位置和面积的检验(112)——5 装配检验规范(114)——6 误差分析及消除措施(116)	

--- 球面蜗轮副概述

随着我国机械工业的发展,球面蜗轮副在传动机构中,逐渐为人们所熟知。它是蜗杆螺牙包容蜗轮齿较多的一种传动副。与普通蜗轮副比较,它传递功率大,构件重量轻,整机体积小。所以,在重型机械、矿山机械、航空、动力、汽车和船舶制造中,得到了越来越广泛的应用。

但是,球面蜗轮副是一种空间线接触曲面共轭副,传动原理和加工工艺,远比一般蜗轮副复杂,致使生产出来的球面蜗轮副,不容易达到设计指标。为了保证和提高球面蜗轮副的质量,必须了解球面蜗轮副的啮合原理,掌握它的加工工艺和装配工艺。

1 传动特点

一般的蜗轮副,蜗杆的节圆面是一个圆柱面。而球面蜗轮副,其蜗杆节圆面是一段圆弧绕蜗杆轴线 O_1-O_1 回转所得的圆弧回转体(见图1)。因此,这种蜗杆俗称球面蜗杆,也叫曲面蜗杆或圆弧面蜗杆。

从图1可以看出,在中间平面内,蜗杆螺牙的剖面,是直线齿廓的弧形齿条,该齿条齿间两侧夹角为 α_1 ,其延长线与蜗轮上半径为 r_o 的圆相切,该圆叫做形成圆。形成圆是切制蜗杆时装配刀具的主要依据,其半径 r_o 是加工的重要参数。

对各种蜗轮副分析的结果表明:圆柱形蜗杆和标准蜗轮副或修正蜗轮副,在啮合传动时,其接触线的方向,几乎与滑动速度的方向平行(见图2的a和b)。这样就没有条件形成高压动力

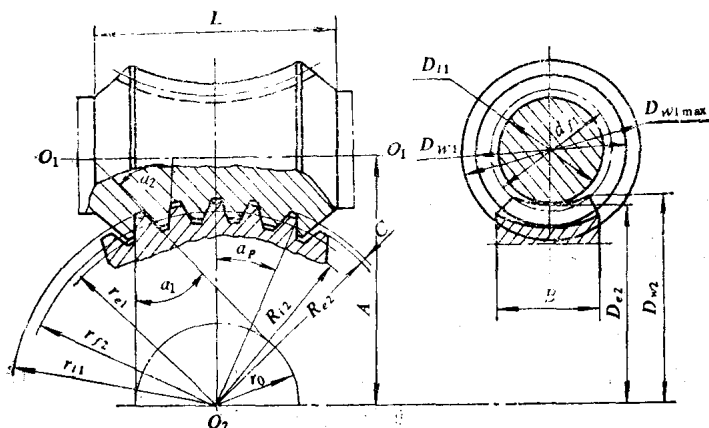


图1 球面蜗轮副传动啮合图

r_0 ——形成圆半径 C ——齿顶间隙 r_{e1} ——中间平面内，蜗杆齿顶圆半径
 r_{f1} ——中间平面内，蜗杆齿根圆半径 L ——沿螺牙根部度量的蜗杆长度
 I_{w1} ——中垂面内蜗杆喉径 L_{wmax} ——蜗杆最大外径 a_1 ——蜗杆齿槽的轮廓角
 a_p ——中间平面内，蜗杆包围蜗轮的工作半角 d_{f1} ——在蜗杆喉部截面内，蜗杆分度圆直径
 D_{t1} ——在喉部截面内，蜗杆齿根圆直径 r_{f2} ——中间平面内，蜗轮分度圆半径
 D_{w2} ——蜗轮最大直径 R_{e2} ——中间平面内，蜗轮的齿顶圆半径 R_{f2} ——中间平面内，蜗轮的齿根圆半径
 B ——蜗轮的轮缘厚度 a_2 ——蜗轮齿槽的轮廓角 D_{e2} ——中间平面内，蜗轮的齿顶圆直径，即喉径

油膜，造成了金属面直接接触的干磨擦，容易胶蚀剥伤，不宜承受重载。

球面蜗轮副与此相反，它在啮合传动中，接触线与滑动速度方向几乎垂直（图 2 c），而且成双线接触，在轮齿上有一个包络曲面共扼区——洼坑，这样，高压动力油膜易于形成，而且，同时啮合的齿数多，所以，球面蜗轮副磨损小，载荷大，抗冲击，使用寿命长。

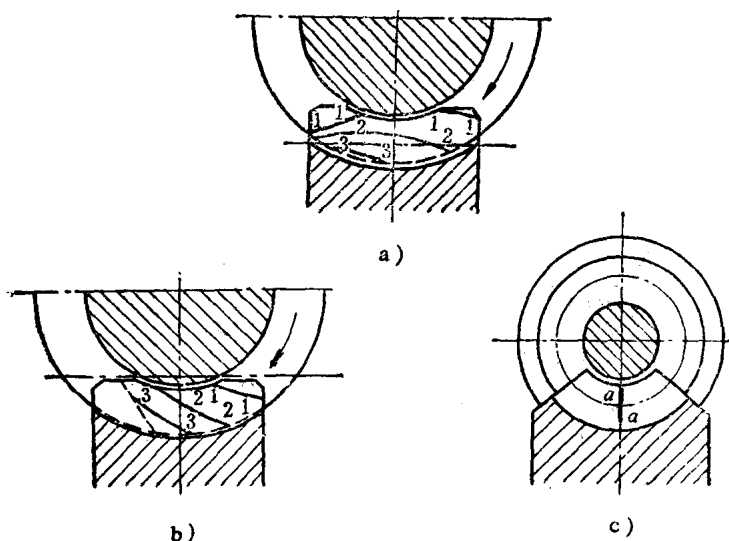


图2 蜗轮传动的接触线

a) 标准蜗轮副 b) 修正蜗轮副 c) 球面蜗轮副

2 齿型及啮合原理

从图 3 可见,与形成圆相切的刀具直线刃延长线,按图示运动关系,绕 O_2 轴旋转,就可以切制出形成螺牙齿面的空间曲面。所以,直刃刀具及其延长线,就叫做蜗杆螺牙的母线。

通过大量的试验和研究,得出结论:与蜗杆螺牙齿面对应的蜗轮齿面分为 $A B C$ 三个区域(图 4 a),其中 A 区和 B 区是蜗杆螺牙第一条母线运动的轨迹,为直纹曲面。它们分别处于轮齿进入啮合端和退

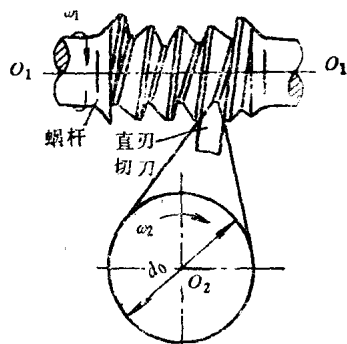


图3 球面蜗杆的母线

出啮合端,称其为切削表面。而C区是蜗杆螺牙相对于蜗轮轮齿运动时,共轭形成的表面,称其为共轭表面。共轭表面相对于切削表面是下凹的,该表面俗称洼坑。

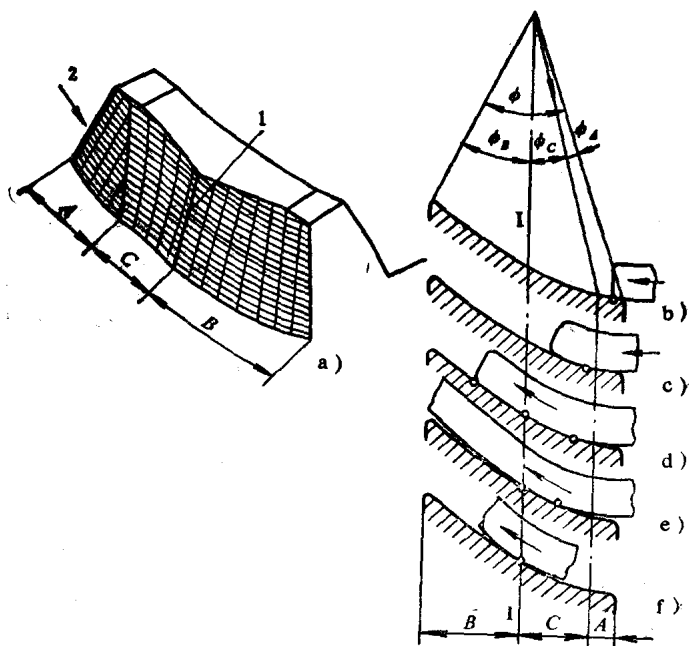


图4 球面蜗轮副啮合过程

a) 蜗轮齿型 b) ~f) 啮合时接触线的位置 1—转折线 2—啮合时螺牙的进入方向

通过图4,可以进一步分析球面蜗轮副的啮合过程。

当蜗杆螺牙进入啮合时,它的第一条母线,沿着轮齿的切削区A运动短暂的时间(图4b),这时蜗杆转过角度 ϕ_A , ϕ_A 约为几度。运动到洼坑C区之后,第一条母线好像悬在它上面一样,悬空而不接触(图4c),形成了一个楔形间隙,该间隙不断地向蜗杆

螺牙运动相反方向收缩。此时,接触线位于洼坑区内,靠进入啮合端,其分布几乎与螺牙运动方向相垂直。这样,就能在蜗轮齿面和蜗杆螺牙齿面之间,较多地保存润滑油,形成一个高压动力油膜。

再继续运动时,螺牙的第一条母线到达转折线 $I-I$, 同时,接触线也从进入啮合端向转折线转移。通过转折线后,第一条母线沿着退出啮合端的切削区 B 滑动。而在轮齿上,最先出现了两条接触线,一条在转折线,另一条在向转折线靠拢的洼坑区(图 4 d)。

在 ϕ_b 的角度里,蜗杆继续运转,此时,在轮齿上将有三条接触线,但是,螺牙第一条母线和切削区 B 的接触,基本上不承受任何载荷,所以实际上仍然是双线接触。继上述三线接触发生之后,蜗杆螺牙和轮齿表面沿两条线接触(图 4 e)。

在蜗轮的喉径处,假想有一个与蜗杆轴线相垂直并通过蜗轮轴线的中垂面。蜗轮轮齿从转过这一中垂面直至啮合终了,仅在转折线处有单线接触。处在洼坑区的另一条接触线,在轮齿转至中垂面前,逐渐向它靠拢,并和它相重合(图 4 f)。

实际传动负荷时,上述 $A B C$ 三个区域是看不明显的。实验的结果是,蜗轮齿面的瞬时接触痕迹是分离的条纹(图 5)。位于进入啮合端的头两个轮齿 1 和 2 各有两条接触条纹;位于蜗杆喉径附近的轮齿 3 上,两条条纹融合成一条宽条纹;位于退出啮合端的轮齿 4, 5, 6, 仅在它们中部转折处有窄的接触条纹。

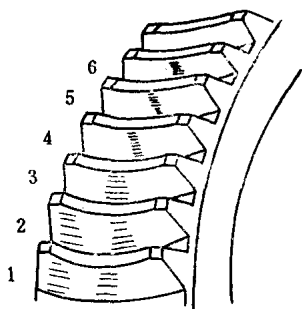


图5 蜗轮齿面瞬时啮合痕迹

3 加工工艺的发展

球面蜗轮副的加工,大体上经历了三个阶段:原始型、倒坡

修形和对称修形。

一、原始型：这种蜗轮副没有考虑油楔和修形，所以蜗杆进入啮合端在开始和蜗轮齿接触时，是相当紧密的，以致妨碍润滑油的渗入，并会在蜗杆的工作区造成极为不利的半干摩擦。所以，这种蜗轮副必须经过逐渐加载的长时间跑合，才能改善它的传动性能。总之，这种球面传动是不稳定的，不理想的。所以，它逐渐被倒坡修形的加工工艺所取代。

二、倒坡修形：就是在蜗杆螺牙的进入啮合端和退出啮合端切制倒坡，人为地削瘦齿形，以改善球面传动的啮合状态。蜗杆螺牙进入啮合端的倒坡，可以减少制造误差的影响，防止干涉，更主要的是可以改善进入啮合端的润滑条件。退出啮合端的倒坡，也能减少制造误差的影响。

但是倒坡修形加工，要进行四次机床的辅助调整，即蜗杆螺牙每个侧面各两次，这套工艺十分复杂。而且，倒坡后，沿蜗杆螺牙长度上有限的啮合，必须经过分级加载逐步跑合后才能使用，这样一来随着负载下跑合和实际使用，还会变成沿蜗杆螺牙全长啮合的全共轭传动，使螺牙的进入啮合端与退出啮合端，与轮齿齿面没有任何间隙，从而失去了形成油楔的条件。显然，这种加工工艺也不理想，在我国大多数工厂，基本把它淘汰了。

三、对称修形加工：原始型球面蜗轮副的啮合是不稳定的，分析重载下长期使用，或在试验台上长期跑合之后蜗轮形状的改变，发现蜗轮轮齿的共轭区向两边扩大，特别是向转折线后边扩大，向轮齿齿面退出啮合端的切削区B过渡。经过一定时间之后，这种改变了的啮合的几何形状，保持稳定状态，不随蜗轮副的磨损而变化。这种蜗杆螺牙自然磨损的螺旋线与原始型的偏离曲线见图6。从图6可以看出，曲线2除了坡度特征之外，它在

蜗杆螺牙进入啮合端大大偏离了原始型，并且偏向蜗杆螺牙体内，在退出啮合端，也有较小程度的偏移。

于是，人们就用另一种加工的方法来保证螺牙螺旋线，使其具有曲线2的几何形状，这种加工方法叫做全修型加工。

全修型加工和原始型加工的主要区别，从啮合原理来看，就是共轭区C的不同。

从图7可以看出，全修型加工的轮齿上（图7a）。有深而宽的共轭区：深度为0.21毫米，宽度为12毫米，并且共轭区超过了转折线。而原始型加工轮齿的共轭区（图7b）又浅又窄，深度仅有0.0135毫米，宽度只有5毫米，并且偏在转折线一侧。毫无疑问，全修型加工的蜗轮副比原始型要优越得多。

目前，我国大都以对称修形加工来代替全修型加工，所以，

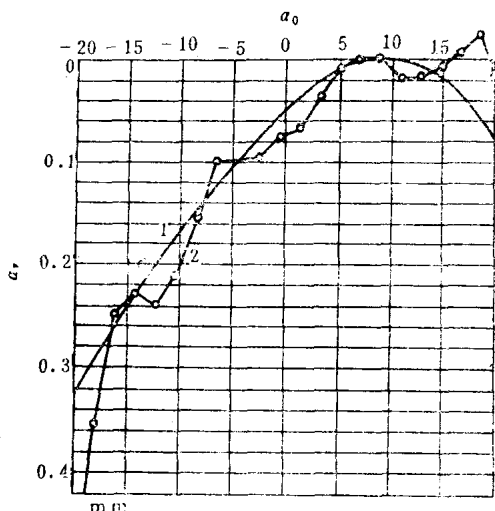


图6 蜗杆螺牙螺旋线对原始型的偏离曲线 $\ominus$
(中心矩 $A=250$ 传动比 $i=38$)

1—原始型切削后的曲线 2—一在负载下跑合后的曲线

$\ominus$ 该曲线中 a_v 和 a_0 的含义： a_0 表示蜗杆齿面上各点相对于喉部为起点所对的蜗轮中心角，从喉部中点0计量。当计量方向同蜗杆由啮入端到啮出端方向一致时， a_0 取正值，反之取负值。 a_v 表示蜗杆齿面位于蜗轮分度圆上各点的磨损量。

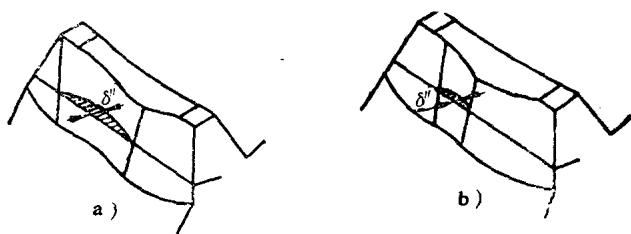


图7 全修型与原始型的轮齿共轭区($A=150, i=30$)

a) 全修型轮齿共轭区 b) 原始型轮齿共轭区

对称修形加工是目前和今后一段长时间内, 加工球面蜗轮副的主要方法。

二 球面蜗轮副的全修形及其近似修形

球面蜗轮副的加工, 说到底, 就是蜗杆螺牙及蜗轮轮齿的切削方法, 以及它们的修形方法。加工工艺的发展主要是修形方法的发展, 提高球面蜗轮副传动质量的重要途径就是选择最先进的修形方法。因此, 我们必须掌握全修形球面蜗杆的修形特点, 及其近似修形法。在近似修形法中要掌握对称修形加工的要点。

1 全修型球面蜗杆的修形特点

人们对在试车台上长期跑合, 或者长期使用的蜗杆, 进行了大量的数据测量, 然后进行统计计算, 得出结论: 蜗杆螺牙的修形曲线, 是一条自然磨损曲线, 近似为二次抛物线。该曲线的极值点位于距蜗杆工作始点 $1.4a_p$ 的螺牙上, 蜗杆的工作始点和蜗杆的中垂面相距 a_p 。全修型蜗杆的修形曲线方程可用下式表示:

$$a_{\psi} = c \left(0.3 \sim 0.7 \frac{\psi}{a_p} \right)^2$$

其图象如图8所示。公式中, ψ 为蜗杆螺牙母线的角坐标,

也就是在蜗轮的中间平面内，中心距连线为一条边，蜗轮中心与蜗轮分度圆上的螺旋线对应点的连线为另一条边，这两边所夹的中心角。其取值为 $-\alpha_p \leq \psi \leq \alpha_p$ ，在蜗杆进入啮合端取 α_p 为负，在退出啮合端取 α_p 为正。

a 为蜗杆螺牙起始点的修形量，它是中心距 A 和传动比 i 的函数， $a = (0.0003 + 0.000034 i) A$ 。

α_p 为蜗杆包围蜗轮的工作半角。

V_c 为蜗杆螺牙进入啮合的方向。

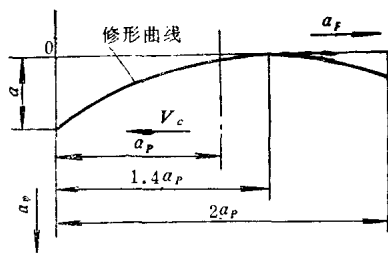


图8 全修型蜗杆的修形曲线

要想获得符合上述条件的修形曲线，必须采取不同于原始型加工的全修型加工工艺。

全修型加工的切削原理：当蜗杆毛坯以等速回转时，刀具不是等速回转，而是变速回转，和切刀转速的改变相对应的蜗杆螺牙的角齿距也改变；当切刀的转速比切削原始型蜗杆下降时，蜗杆螺牙的角齿距比原始型的减小。而当其增加时，角齿距就比原始型的增大。这样，就能得到变角齿距的蜗杆，其修形曲线符合二次抛物线方程。这样切出的蜗杆，就是全修型蜗杆。

2 全修型的近似修形法

为了排除全修型加工的复杂性，人们探索到了一种全修型的近似修形法。这种方法不用修形机构，不改变机床—工件—刀具等工艺系统的刚性，只是事先改变机床的调整参数，改变刀具安装参数的计算。具体说来，就是在加工中，使切刀在传动中平面偏移；改变中心距；使刀具沿蜗杆轴线移动等等。采取这些工艺手段能得到与全修型加工极为近似的效果，得到一条近似的，实

际上是足够精确的蜗杆螺牙全修型修形曲线。因此，这种近似的加工方法可以代替全修型加工方法。

为了弄清这个问题，我们必须分析一下，在近似加工方法中，调整参数单一变化时，对修形曲线的影响（见图9）。

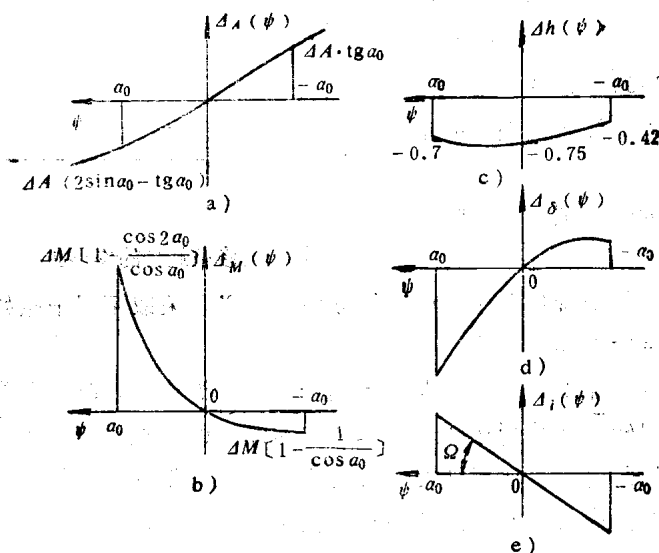


图9 调整参数单一变化时的修形曲线

- a) 中心距变化时(ΔA); b) 蜗杆轴向移动时(ΔM); c) 刀具切刃由传动的中间平面升降时(Δh); d) 切刃旋转平面对传动中平面水平转动时($\Delta \delta$); e) 按不同于传动比的假想传动比来调整机床分齿链时(Δi)。

从上面的图形可以看出，a)~e)五种调整参数单一变化或偏差时，都不能得出与全修型修形曲线相一致的修形规律。但是，同时变化上述某几项调整偏差，就可以得到复合的修形规律，而且，它与全修型修形曲线相接近，这种加工方法，叫做复合近似修形法。

复合近似修形法有两种：一种是非对称修形法；另一种是对称修形法。

一、非对称修形法：在复合近似修形法中，同时调整 ΔM 和 Δh ，或其中之一，这种方法就叫做非对称修形法。这是因为蜗杆两侧螺旋面的修形效果是不对称的。也就是说，与蜗杆喉部等距的螺牙相异侧表面的各对应点，按这种方法修形，当移动 ΔA 时，所得到的修形量是不同的。

为了在螺牙相异两侧得到同样的修形量，采用非对称修形法加工时，必须两次调整机床。粗加工时，绝对不许采用非对称修形法，因为在螺牙相异侧面引起的偏差值不同，结果，在两侧留下的加工余量相差很大。

鉴于非对称修形法的上述情况，在一般的加工工艺中，很少有人采用它。

二、对称修形法：在上面所讨论的各种修形方法中， ΔA 、 Δi 和 $\Delta \delta$ 给出了对称的修形规律。人们把只调整 ΔA 、 Δi 和 $\Delta \delta$ 的复合近似修形法叫做对称修形法。这是因为，蜗杆两侧螺旋面的修形效果是对称的。这种情况的出现，是由于当移动 ΔA 时，距蜗杆喉部等距的螺牙相异侧面的对应点所得到的偏差是相同的。

采用对称修形法，只要一次调整机床，就可以同时加工出蜗杆螺牙的两侧面，而且具有足够的精度。这种加工方法可以用于粗加工，也可以用于精加工，调整方便，精度可靠。所以，大多数工厂都采用对称修形法来加工球面蜗轮副。

对称修形加工和全修型加工相比较，其近似的程度和误差大小可通过图10来进行分析。图10给出了 $A=150$ 毫米， $i=59$ ，以及入口端修形量 $a=0.35$ 毫米的全修型计算曲线，以及实际加工的曲线，实际加工时，粗加工和精加工都是根据 $\Delta A=11.57$ ， $i_p=64$ ， $d_{o,p}=104.64$ 的对称修形法加工的。在螺牙的两侧面，其加工的

实际值与全修型理论计算值,误差均不超过0.04毫米(见图10),这是完全允许的。就是说,对称修形法加工,近似于全修型加工的精度,是足够高的。两者的误差很小。所以,对称修形加工完全可以满足传动要求。由此看来,对称修形法不仅是当前球面蜗轮副的主要修形方法,而且,展望今后,它仍然有生命力,因此,我们必须深入学习它,并熟练掌握它。

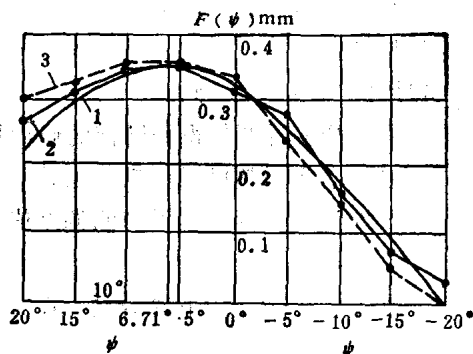


图10 修形曲线的比较

1—全修型计算曲线 2—实际加工的螺牙右侧曲线 3—实际加工的螺牙左侧曲线

3 对称修形法加工的要

对称修形法加工,要求操作工人必须掌握四项参数及其调整:

- (1) 在滚齿机上按假想挂轮齿数比 i_g 挂轮;
- (2) 按增大了的中心距 $A_g = A + \Delta A$ 调整机床;
- (3) 按假想的形成圆 $d_{o.g}$ 来安装调整刀具;
- (4) 按修形后的喉径螺牙法向齿齿厚 s_g 加工成活。

除了上述四项参数及其调整以外,切削加工就和加工原始型蜗杆一样简单,不需要再对机床进行调整。

为了方便操作工人和检验人员验收,工艺技术人员往往在设计图纸的基础上,重新绘出对称修形加工工艺简图作为工艺规程。简图中必须标出对称修形加工的四项主要参数(见图11)。当调整机床时和加工完毕后,四项主要参数应交检验员检验。

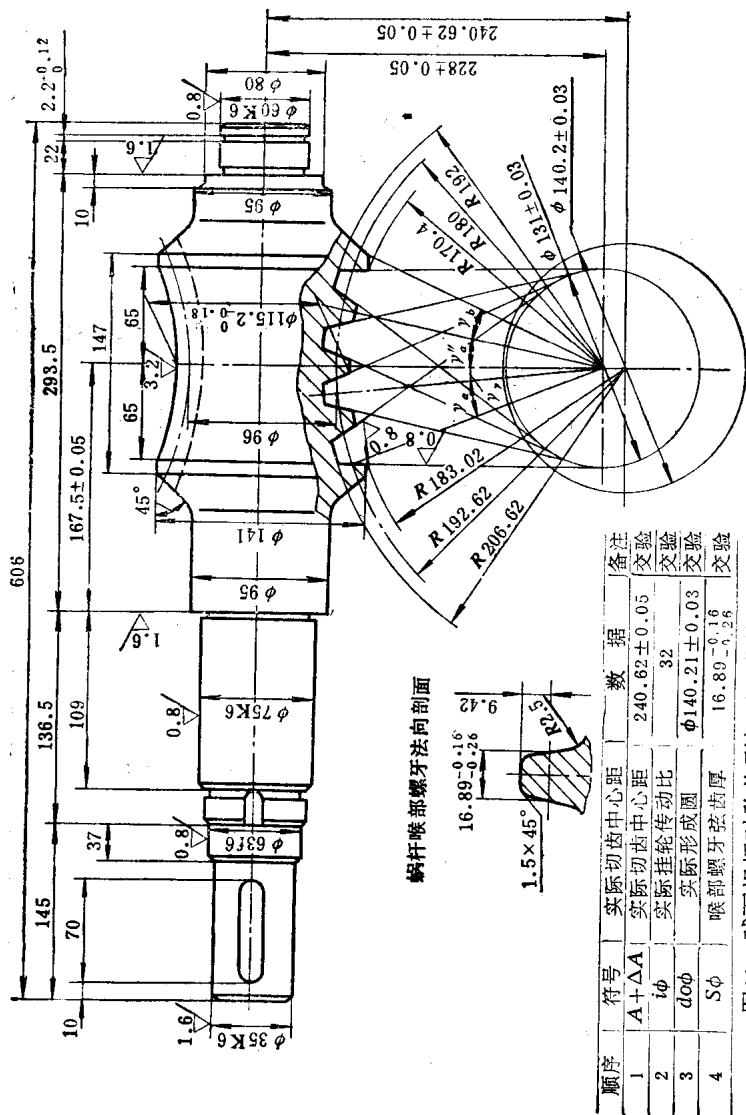


图11 球面蜗杆对称修形加工工艺简图

(图中 $\gamma_a = 15^\circ 15' 30''$, $\gamma_b = 13^\circ 32' 30''$, $\gamma_r = 6^\circ 20' 10''$, $\gamma_e = 12^\circ 51' 50''$)

三 球面蜗轮副加工的工艺装备

球面蜗轮副是一种特殊的球面传动装置。它有独特的参数和区别于一般蜗轮副的加工要求，所以在制造中，必须有相应的工艺装备，诸如切削机床、刀台、刀具、样板和量具等。

1 机床的选择

一、加工球面蜗轮副的机床，必须具备如下几个条件：

(1) 具有两个互相垂直的主旋转运动，即刀杆绕水平轴的回转运动和工作台大盘绕垂直轴的回转运动；

(2) 传动链具有较好的刚性，特别是刀架的刚性要好，不允许有大的冲击和振动；

(3) 具有较高的几何精度和传动精度；

(4) 具有分度链和差动链；

(5) 刀架能够横向移动。

满足上述条件的机床，是具有切向刀架的滚齿机。单件小批生产和专业化批量生产时，其机床的选择是不同的。

二、单件小批生产的机床选择：单件小批生产时，一般都采用带切向刀架的通用滚齿机，蜗轮和蜗杆在同一台滚齿机上加工成活。

一般是按模数大小选择滚齿机，所选机床是否合适，主要看蜗杆毛坯能否在机床刀架中安装；还要考虑工作台大盘直径、切削力、中心距等参数。通常按蜗轮副的模数和中心距大小选择规格不同的滚齿机。

当模数 $m \leq 6$ ，中心距 $A \leq 240$ 时，可选用 J315G 滚齿机，它带有切向进给刀架，无支架时最大加工直径 $D = 1500$ 毫米，加工最大模数 $m_{\max} = 10$ ，刀架尺寸、切削功率及各项参数，完全满足