

无键联接制造工艺的研究

卫富堂

(焦作工学院 教务处 河南 焦作 454000)

摘要: 论述了等距型面联接正应用和工艺方面的优越性、廓形曲线及其形成方法、制造工艺及其原理. 分析了轨迹法、相切法、展成法的原理, 推导了基本公式, 分析了刀具与工件啮合特性、结构形式及其每一种方法的适用范围, 为在工矿企业推广无键联接的应用提出了工艺途径.

关键词: 无键联接; 等距廓形曲线; 工艺方法; 包络形式

中图分类号: TH 16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7332 (2000) 03-0216-05

0 引言

近年来, 在国内外机械制造中, 出现了广泛采用无键联接代替键和花键联接来传递扭矩, 并在机床、汽车、拖拉机、挖掘机、减速器、造船工业中获得了应用, 它是采用非圆形剖面的柱体或非圆形剖面的锥体的孔轴配合而构成联接传递扭矩(图 1).

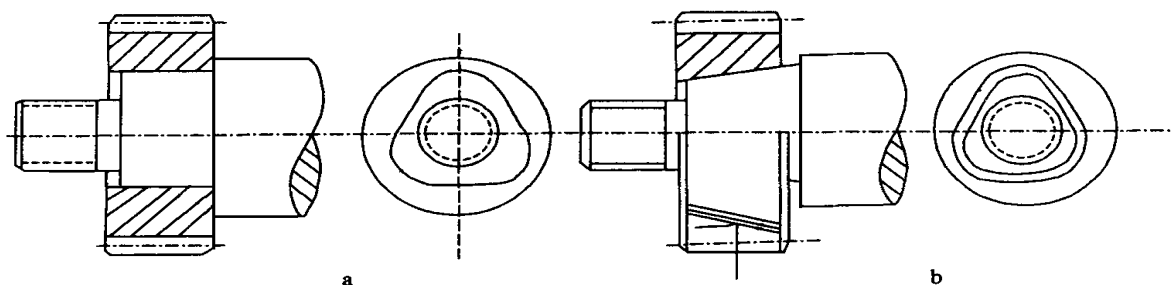


图 1 无键联接

Fig.1 Non-key connection

从纵向剖面看, 可以是圆柱形, 也可以是圆锥形, 可以实现间隙配合、过盈配合及过渡配合. 由于装拆方便, 能保证良好的对中性; 联接面上没有键槽及尖角, 从而减少了应力集中, 可以传递较大的扭矩; 廓形曲线升角较小, 在载荷下自动定心时可发生自动楔紧, 从而以间隙配合装配, 以过盈配合工作, 增大了刚度; 工艺上省去花键铣床和磨床, 因而工序少成本低; 结构简化可以采用强化工艺及喷涂耐磨材料, 使表层产生残余压应力来延长机器寿命. 因此无键联接在结构上和工艺上有独特的优越性, 不但效率高, 而且寿命、可靠性、强度等性能得到明显改善. 但由于对工艺方面研究不够深入, 致使这项新技术不能推广应用, 鉴此, 本文就这方面问题进行了探讨.

1 廓形曲线及其形式

廓形有凸边形、直线形. 廓形曲线有等距曲线 (简称 DG 曲线或 DG 廓形)、正弦廓形、摆线.

收稿日期: 2000-01-06

作者简介: 卫富堂 (1963-), 男, 河南济源人, 工程师, 长期从事机械制造与维修技术工作.

其中以等距曲线应用最广、特别是等距曲线的曲边三角形零件面 (DG-3). 等距曲线参数方程, 以参数 Y 、 Z 表示, 具有下列形式 (见图 2)

$$Y = (R - e \cos N) \cos - e N \sin N \sin \quad (1)$$

$$Z = (R - e \cos N) \sin - e N \sin N \cos \quad (2)$$

式中: R — 廓形平均半径, $R = D_m/2$;
 N — 廓形曲线边数;
 e — 廓形曲线偏心;
 — 见图 2.

分析廓形的几何图形可以看出, 廓形曲线具有凸的形状, 能够由直线族包络形成, 或者由直线 KK 在滚动条件下形成, 从而确定直线 KK 相对于廓形中心 O 一维坐标振动位移规律. 即可以利用刀具一个坐标位移形成轴的廓形曲线. 将刀具切削刃通过直线 KK , 坐标轴旋转角, 进行坐标变换, 得到下列解析式:

$$Y = Y \cos + Z \sin \quad (3)$$

$$Z = - Y \sin + Z \cos \quad (4)$$

式中: Y 、 Z — 在 ZOY 坐标系统中, 点 M 的坐标;

Y 、 Z — 在 ZOY 坐标系统中, 点 M 的坐标.

将方程 (1) 和 (2) 的 Y 值和 Z 值代入方程 (3)、(4), 就得到下述方程:

$$Y = R - e \cos \quad (5)$$

$$Z = Ne \sin N$$

因 M 同时沿 OY 和 OZ 移动, 在坐标系统 ZOY 中完成复杂的封闭曲线运动, 其方程为

$$Y_m = - e \cos N \quad (6)$$

$$Z_m = Ne \sin N \quad (7)$$

将方程 (6) 和 (7) 两边平方, 经整理可得

$$\frac{Y_m^2}{e^2} + \frac{Z_m^2}{N^2 e^2} = 1 \quad (8)$$

它为椭圆的参数方程.

因此直线 KK 与廓形曲线接触点 M 的轨迹描述一个椭圆, 其短轴 $2b = 2e$, 是由直线 KK 一维坐标的谐波位移得到的, 而长轴 $2a = 2Ne$ 是点 M 沿直线 KK 移动得到的 (图 2).

由此可见, 通过在成形平面内实际直线 KK , 平行于被加工轴线, 垂直于刀具切削刃在该平面内谐波振动位移方向, 这样用切削刀具 (或工件) 一维坐标位移代替两维坐标位移, 形成廓形曲线. 根据这个结论, 实际直线 FK 的一维坐标相对于廓形中心 O 的位移, 使刀具切削刃通过直线 KK , 永远置于成形平面内并与被加工轴线成角.

通常, 廓形曲线的边数是奇数, 即 DG-3, DG-5, DG-7 等. 圆周平均直径等于廓形名义直径, 即非圆轴 (孔) 的直径不变, 测量工具与廓形曲线接触位置无关, 是这种廓形曲线的基本性能. 使得检测廓形名义直径时, 便于使用通用、专用测量工具测量和控制圆截面的直径尺寸. 另一个基本特性是孔轴廓形的同轴性能. 双偏心 $2e$ 按下式进行计算

$$\text{对轴: } 2e = D_m - d_1; \quad \text{对孔: } 2e = D_m - d_2.$$

2 工艺方法及其分析

无键联接非圆面的切削加工有多种方案, 主要有: 仿型法、轨迹法、相切法和展成法. 在所有方

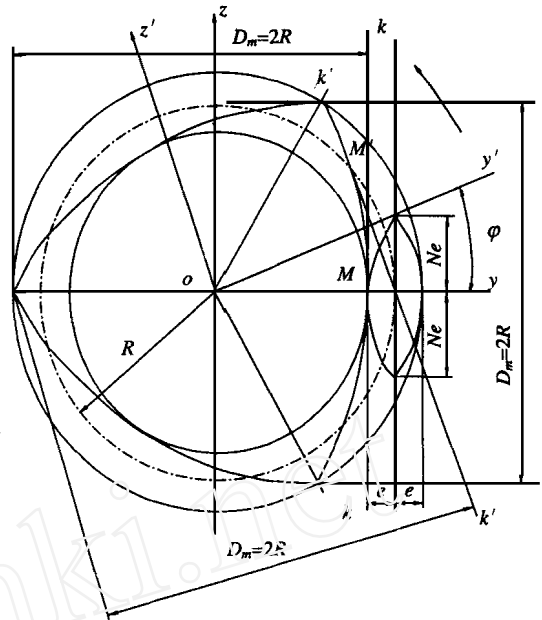


图 2 等距廓形曲线

Fig.2 Equidistant profile curve

法中，刀具母线与工件轴线间的距离是周期性变化的，廓形的成形运动仅仅是几个旋转运动的结合，刀具和工件间相互运动必须能够适应这种变化。由于仿形法与普通仿形区别不大，现仅就其余 3 种方法的原理进行分析。

2.1 轨迹法

轨迹法是切刀和工件运动时所留下的痕迹。它是几个有联系的旋转运动构成的成形运动。

图 3 为旋风车削非圆面的情形。图 3 (a) 为切头加工外型面的情形，图 3 (b) 为切头加工内型

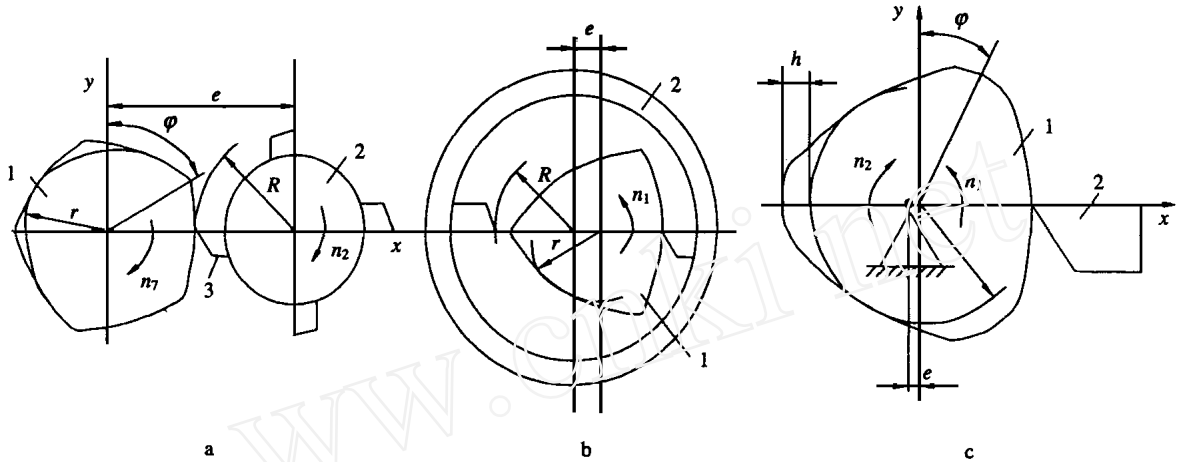


图 3 轨迹法形成原理

Fig.3 The forming principle of the trace method

面的情形。由图被加工廓形可用下列方程描述：

$$X = r [\pm e / r \cos \quad \pm (- e / r \pm 1) \times \cos(i - 1)] \tag{9}$$

$$Y = r [e / r \sin \quad - (e / r \pm 1) \sin(i - 1)] \tag{10}$$

式中：
 r —非圆面廓形内切圆半径；
 i —工件转角；
 e —工件轴线和切刀轴线距离， $e = R \pm r$ ；“ \pm ” —分别用于外切头与内切头；
 i —切刀转速与工件转速的比， $i = n_2 / n_1$ ，亦可写成 $i = N / PZ$ ，其中 Z 为切刀头所安装的刀数， P 决定于廓形加工的连续性，在刀头转过相邻两刀间的角度的同时，工件转过一个曲边， P 为整数。

因此为了形成非圆面的廓形，所要求的 i 值与刀头上安装的刀数有关系，与 P 的选择有关系。对于一定的 N 值，传动比 i 可由不同的 P 值和 Z 值来定，为了减少断续切削并提高生产率，应当采用 Z 值最大的方案。因为 Z 值与生产率成比例。例如，五边的非圆廓形面，在 $i = 5/4$ 时所用的外切头有 3 种方案：

$$Z = 1, P = 4; \quad Z = 2, P = 2; \quad Z = 4, P = 1.$$

可见最后一种方案生产率最高。因为刀具转一转形成廓形四个边，而第一方案仅能得到一个边，所以生产率第三方案比第一方案高 4 倍。

工件轴线和切头轴线平行时改变切刀和工件的相互位置，使形成的廓形形状变化，工件轴线和切头轴线相交时，廓形曲率大，而两者在交叉时曲率比轴线平时小，曲率随着相交角的增大而增大，或者随着交叉角的减少而增大，为了保证后续工序磨削余量均匀，必须修改廓形。

旋风车削时，最大切削速度等于刀尖处和工件圆周处速度的代数和：

$$v = 2 R n \pm 2 r n_i \tag{11}$$

式中“ $+$ ”号用于外切头加工，“ $-$ ”号用于内切头加工，因此工件旋转速度为

$$n_1 = \frac{v}{2(iR \pm r)} \tag{12}$$

由上式得出在切削速度 v 一样时，内切头加工，工件旋转速度比外切头大 $\left(\frac{i+r/R}{i-r/R}\right)$ 倍。

图 3 (c) 为星行式旋风车削，工件以速度 n_1 完成绕自己轴线旋转运动，同时，以 $n_2 = Nn_1$ 的速度绕平行轴线反向旋转。该轴线离工件轴线距离为 e ，凸起高度 $h = 2e$ ，均匀分布，用切刀 2 完成进给运动。行星车削的优点是在一种机床上用同一个成形运动图，既可以加工轴，又可以加工孔。

由上可见，旋风车削头上的刀数与应加工表面的边数有关，其工作中前后角随廓形曲率半径减少和刀尖直径减少而增大。

2.2 相切法

相切法指被加工表面是刀具切削部分母线轨迹的集合。其切削情况如图 4 所示。

按图 4 (a) 加工时，盘形铣刀绕自己轴线旋转 n_2 以及复杂的相对运动，其中包括工件 1 的旋转运动 n_1 和刀具 2 的旋转运动 n_3 。

图 4 (b) 为偏心安装盘形铣刀加工示意图。

刀具 2 的旋转运动与工件 1 的旋转运动用传动比 $n_2/n_1 = N$ 联系，非圆廓形刀具 2 母线用相对运动形成，即方程 $F(x, y, \dots) = 0$ 提供的圆周族形成 (为运动角参数)，被加工表面廓形可用下列方程描述：

$$\begin{cases} F(x, y, \dots) = 0 \\ \frac{\partial F(x, y, \dots)}{\partial \theta} = 0 \end{cases} \tag{13}$$

为了减少棱边，要尽可能增加刀齿数，因又受到角齿距允差的限制，因此比较有效的方法是多次形成非圆面，即在一次走刀时间内每个横截面上沿廓形有多个曲线移动。

图 4 (c) 为廓形棱边的形成图，如果形成非圆面廓形 1 的曲线为一个曲线族的曲线，而且相邻曲线间的距离为 a ，那末棱边的高度

$$l_1 = \frac{a^2}{8} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \tag{14}$$

式中： r_1 —廓形边的曲率半径； r_2 —形成廓形接触区切削轨迹的曲率半径。

第二族曲线形成廓形相对于第一族曲线在数值上偏移 $b < a$ ，棱边的高度减少到

$$l_2 = \frac{b^2}{8} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \tag{15}$$

在工件一转中，刀具进给小于切削部分宽度的条件下，根据上述公式，被加工表面棱边高度可以减少几倍，其精度由切削刀具合理形状来保证。

2.3 展成法

展成法是切削刃一系列连续几何位置的包络。切削刃可以分布在平面上，圆柱面上，螺旋面上和其他表面形状上，展成法形成的非圆面各种简图，造成了成形运动的各种结构，与其它不同的是展成法实现简单。图 5 为偏心安装刀具展成非圆面原理图。

图 5 (a) 为偏心安装圆刀 2 回转车削非圆面的方法。切刀 2 和工件 1 的旋转运动有联系，其旋转速比 $n_2/n_1 = N$ ，并且有相对进给运动，在极坐标系统中被加工廓形用下列方程描述

http://www.lianzhuqi.com.cn

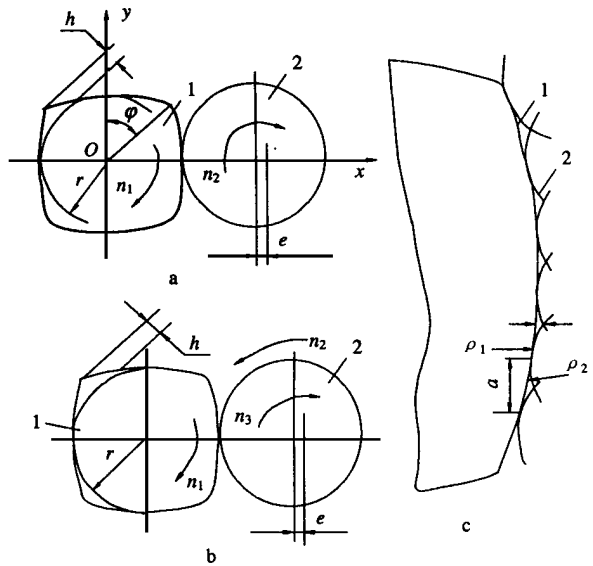


图 4 相切法形成原理

Fig.4 The forming principle of the correlated cutting method

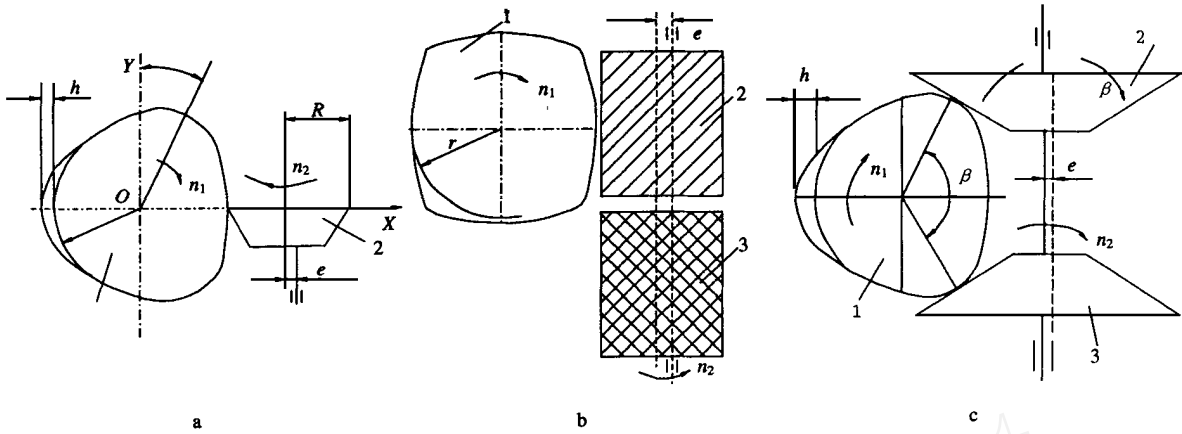


图 5 展成法形成原理

Fig.5 The principle of the generating method

$$= r + e (1 + \cos N) \tag{16}$$

式中： r —廓形圆周上内切圆半径； N —工件旋转角时的廓形半径。
 e —刀具安装偏心；

从公式看出，形成廓形具有正弦形状。车刀在工件旋转平面上完成谐波振动，廓形的几何参数与车刀圆弧半径无关，因此在刃磨时改变刀尖圆弧半径对所形成的非圆面的精度无影响。

为了改善切削条件推荐车刀旋转轴线相对工件旋转平面倾斜角

$$= \arcsin \frac{r + e}{RN} \tag{17}$$

被加工表面廓形亦可由式 (13) 描述，在此方程式中 $F(x, y, z) = 0$ 提供了直线簇廓形曲率半径 $R_2 = \dots$ ，根据式 (14)，曲边高度 $h = a^2 / 8 R_1$ ，即说明展成法的棱边高度总是小于相切法的棱边高度。由于 a 值决定于形成廓形曲线线数，因此尽可能用多齿数刀具加工。

图 5 (b) 分别用两个圆柱铣刀 2 和 3 加工工件 1，两个刀具以一样的偏心 e 安装在普通心轴上，在走刀时，刀具沿心轴自己的轴线移动，实现更换刀具。

图 5 (c) 为偏心安装在普通心轴上两个锥形切削刀具 2 和 3，同时对工件 1 进行强化加工。

通过以上分析可知，轨迹法、相切法、展成法是用两个旋转运动形成非圆面的基本方法，具有广泛的工艺性，可以在机床上实现；切削运动和廓形运动综合成刀具上的成形运动，简化了非圆面加工的传动系统，选择合理的刀具结构和成形运动，用两个刀具进行加工，形成了非圆面的强化加工。

参考文献：

- [1] 濮良贵. 机械零件 [M]. 北京：高等教育出版社，1986.
- [2] Ryffel David. A better Way to make male shaft connections [J]. Machine Design, 1988. 60 (18) : 124 - 127.

Studies on the manufacture technical method of non-key connection

WEI Fu-tang

(The Printing House of JIT, of Henan Prov. Jiaozuo 454000, China)

Abstract : The uses of the equidistance profile connection and its technical advantages, profile curves with its forming method, the manufacture technique and its principle have been stated. The principle methods of trace, correlative cutting and generating have been analyzed. The basic formula are conducted. The engagement properties of the cutting tools and work pieces, the structure forms and the scope of application of these methods have been discussed. Some technical methods of non-key connection which can be widely used in the factories, mines and enterprices are put forward.

Key words : non-key connection ; equidistance profile curve ; technical methods ; envelop forms

http://www.lj.arzhouqi.com.cn (本文责任编辑 宫福满 母爱君)