



型面无键联接 及制造

XINGMIAN WUJIAN

LIANJIE JI ZHIZAO

杜新宇 杜太生◎著



华中科技大学出版社

<http://www.hztp.com>

XINGMIAN WUJIANLIANJIE JI ZHIZAO

型面无键联接及制造

杜新宇 杜太生 著
武良臣 审

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

型面联接方式是无键联接方式中的一种,具有装拆方便、传递扭矩大、对中性好等优点,被广泛应用于工业的各个领域。本书对型面联接的基本理论及其有关应用进行了总结和介绍,结合工程实际,对有关的各种工艺方法、工艺装备设计、应力计算及技术规范作了较详细的叙述,为型面联接的应用和推广提供了理论和实践基础。本书共分7章,主要内容有型面联接的有关理论、等距型面成形的形态学分析、型面联接的制造工艺、型面联接的工艺装备设计、型面联接应用实例的研究、型面联接件的数控加工等。

本书可供从事机械设计及制造的工程技术人员阅读,也可作为高等学校机械类专业的教学参考书,或高年级本科生、研究生选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

型面无键联接及制造/杜新宇,杜太生著. —武汉:华中科技大学出版社,2016.3

ISBN 978-7-5680-0245-5

I. ①型… II. ①杜… ②杜… III. ①键联接-制造 IV. ①TH131.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 155096 号

型面无键联接及制造

杜新宇 杜太生 著

策划编辑:俞道凯

责任编辑:徐正达

封面设计:原色设计

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:湖北翰之林传媒有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:14.5

字 数:309千字

版 次:2016年3月第1版第1次印刷

定 价:78.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

键联接是实现轴与轮毂之间动力和运动传递的最常见的联接方式之一。长期以来,键联接因其结构简单、尺寸紧凑、制造方便而得到了广泛的应用。然而在一些特殊的场合,如需经常正反转、冲击载荷较大等情况下,键联接就不能很好地发挥作用。普通键联接存在着强度低、尖角处应力集中等缺点。另外,轴与孔之间存在间隙时,轮毂不能准确定心,这使得质心偏离回转轴线,运转过程中出现离心力,产生振动。这一缺点对高速运转或精密机械是致命的。花键联接可避免普通键联接的一些缺点,但仍存在着花键轴不能消除应力集中、不能定心和需要在专用机床上加工等不足。针对这些情况,在不同场合下,无键联接方式得到了不同应用。

在机械设计中,某些本应用键联接的相关零件,因某些特殊的原因或为了某些特殊的目的,采用了无键联接。用无键联接取代键联接后,同样具备键联接的功能,即在轴与轴上装配的零件之间能够传递速度和功率(扭矩)。广义上讲,无键联接包括销联接、螺栓联接、摩擦盘联接、电磁力联接、锥面摩擦联接、弹性环联接、紧配合联接、型面联接等多种方式,它们各具特点。对传递大扭矩、大功率、重载荷的机械传动与联接来说,等距型面无键联接是广泛用来代替键(包括花键)联接的一种方式。型面联接具有装拆方便、传动力矩大、传递效率高、应力集中小、定心度高等特点,尤其是在数控技术的发展使型面联接件的制造得以实现后,近年来在一些机械学科领域得到广泛应用。

型面联接 16 世纪就应用在钟表、印刷机械等行业,但因制造工艺复杂和当时制造条件的限制而逐渐被平键和花键联接所取代。20 世纪中期,奥地利和苏联提出了三凸边摆线及等距型面联接,研究了曲线的几何特性及制造工艺,随后美国、英国、瑞士、日本也对等距型面联接展开了研究。60 年代,世界各国的工程技术人员对等距型面的加工工艺进行了深入研究,提出了许多有效的加工方法,因此,等距型面联接的应用日趋广泛。

型面轴毂联接的应用研究在我国起步较晚。20 世纪 70 年代,北京第六机床厂等单位曾研究过等距型面联接的原理,试制了万能多型面磨床。80 年代,焦作矿业学院(现河南理工大学)承担了“煤矿机械传动中等距型面无键联接的研究”“机械无键联接异形截面轴加工机床的研制”等科研课题,对型面联接的基本理论及其有关应用进行了深入的探索。90 年代,清华大学对非圆柱面的应用与车削加工等问题开始进行研究。此后,浙江大学现代制造工程研究所、济南大学机械工程学院、湛江海洋

大学机械系等单位进一步完善了等距曲线型面联接的设计途径和方法,为型面联接的推广应用提供了理论依据。

近年来,型面无键联接的研究集中在等距三边型面联接方面。本书旨在通过对等距三边型面联接的特点、受力状况及强度的分析,建立设计原则及图样技术条件、标注形式及加工方法,设计等距型面的铣削、车削、拉削、插削的工艺装备,为该类型面联接的推广应用奠定基础。

本书共分7章。第1章介绍了型面联接的基本情况、应用、传动的基本类型及型面的参数;第2章介绍了型面联接理论方程、接触应力及联接强度计算;第3章从形态学角度分析了等距型面成形的运动学分类、各种组合及等距型面协调运动在机床上的实现及评价;第4章介绍了型面联接的制造工艺,主要包括型面轴、孔的加工,检验方法,加工误差的分析;第5章介绍了型面联接的加工方法及应用,主要包括铣削、拉削、插削、磨削等刀具的设计及加工装置;第6章举出了两个型面联接的应用实例;第7章介绍了型面联接的数控加工。

本书第1、3、4、5、6、7章和第2章第1、2、3、6节由杜新宇撰写,第2章第4、5、7节由杜太生撰写,全书由杜新宇统稿。河南理工大学武良臣教授担任本书的主审。笔者在校读研和工作期间,曾得到赵俊伟、王德胜、刘传绍及相关老师的辅导、支持。本书在写作过程中参考了济南大学郭培全教授、浙江大学郭嘉博士的研究成果,在本书付印之际,向他们表示衷心的感谢。同时,也向已参考的国内外的有关著作和资料的作者深表谢意。

由于笔者的阅历、经验及学术水平有限,书中的不足、缺点甚至错误之处在所难免,恳请专家同行和读者朋友批评指正。

杜新宇

2016年2月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 型面联接概论	(1)
1.2 型面联接的应用	(9)
1.3 型面联接传动的的基本类型	(11)
1.4 几何参数设计	(15)
第 2 章 型面联接的有关理论	(17)
2.1 型面联接曲线的方程	(17)
2.2 摆线曲线型面联接的有关理论	(22)
2.3 实用等距型面的构成及方程简介	(24)
2.4 等距型面联接强度的有限元计算研究	(27)
2.5 等距型面联接接触应力的计算	(44)
2.6 等距型面联接强度的光弹性实验研究	(47)
2.7 三边型面联接强度的二维有限元静态分析	(58)
2.8 三边型面联接强度的接触冲击特性分析	(60)
第 3 章 等距型面成形的形态学分析	(70)
3.1 制造工艺过程的形态学模型	(70)
3.2 机械加工中几何形体的可行性分析	(72)
3.3 等距型面成形的运动学分类	(79)
3.4 等距型面协调运动的各种组合	(82)
3.5 等距型面协调运动在机床上的实现及评价	(86)
3.6 等距型面协调运动精度分析及新方案	(90)
第 4 章 型面联接的制造工艺	(95)
4.1 概述	(95)
4.2 等距型面轴的加工	(103)
4.3 等距型面孔的加工	(111)
4.4 等距型面轴、孔的检验方法	(113)
4.5 等距型面成形过程的误差分析	(117)

4.6	型面误差的辨识与诊断	(120)
第5章	型面联接的工艺装备设计	(137)
5.1	型面轴成形铣刀设计	(137)
5.2	型面孔拉刀设计	(145)
5.3	型面孔插刀设计	(147)
5.4	型面孔珩磨头的设计	(151)
5.5	铣削型面轴的装置设计	(154)
5.6	工艺装备设计	(156)
5.7	等距型面廓形加工机床调整的专家系统	(163)
第6章	型面联接应用实例的研究	(169)
6.1	卧式铣床变速箱设计分析	(169)
6.2	型面轴毂联接在机构设计中的应用研究	(172)
第7章	型面联接件的数控加工	(182)
7.1	概述	(182)
7.2	插补原理	(185)
7.3	刀具补偿原理	(196)
7.4	数控系统配置的微型内插器	(203)
7.5	非圆截面零件精密数控车削系统	(208)
7.6	等距型面形成的数控系统	(213)
7.7	等距型面孔的数控加工	(218)
参考文献		(223)

第 1 章 绪 论

1.1 型面联接概论

1.1.1 键联接及其他联接方式

1. 键联接及其存在的问题

轴与轮毂之间动力和运动的传递广泛采用键联接方式。随着对机械运转性能、精度、传递扭矩和转速的要求不断提高,键联接这一经典结构和动力传递方式受到了挑战。现代制造技术的发展为曲面加工及轴与轮毂之间的非圆配合提供了可行性,这使得无键联接尤其是曲面轴式联接方式的应用成为可能。

机械联接通常分为键联接和无键联接。键联接又可分为平键联接和花键联接等。键联接主要用来实现轴和轴上零件的周向固定以传递扭矩,也用来实现零件的轴向固定或导向移动,如图 1-1 所示。

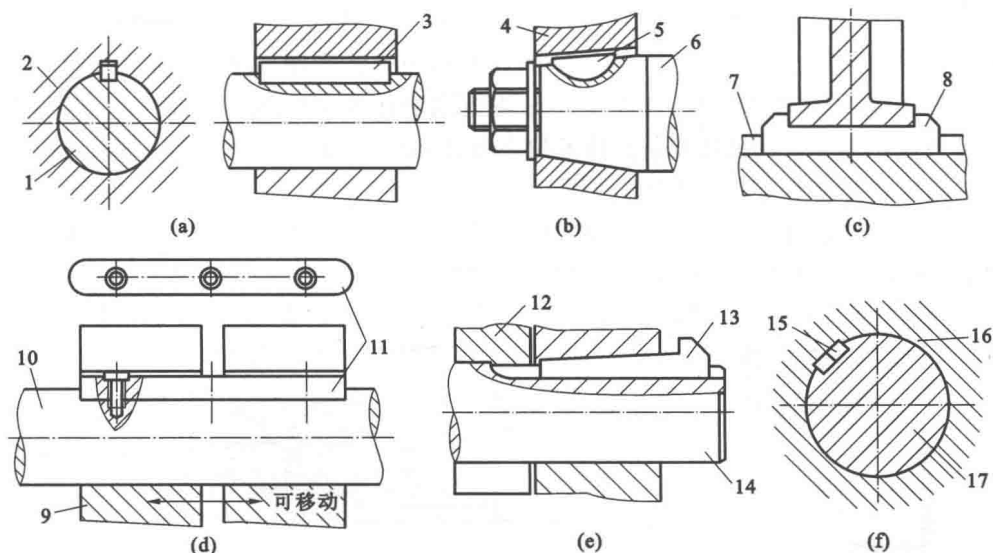


图 1-1 键联接的形式

(a) 普通平键 (b) 半圆键 (c) 滑键 (d) 导键 (e) 楔键 (f) 切向键

1、6、10、14、17—轴 2、4、9、12、16—轮毂 3—普通平键 5—半圆键 7—轴上键槽

8—滑键(装在轮毂上) 11—导键(用螺钉紧固在轴上) 13—楔键 15—切向键

键(平键或花键)联接具有结构简单,对中性好,装拆、维护方便等许多优点,因而得到了广泛应用。采用键联接时,为了装配方便,轴与轮毂之间通常采用间隙配合或较松的过渡配合,轴与轮毂上分别加工有键槽,这种结构的装配形式存在着以下不足:

(1) 联接件会产生切口效应,键槽在一定程度上削弱了轴及轮毂的强度,影响联接件的承载能力和使用寿命。

(2) 键槽带来的截面突然变化和尖角会产生应力集中,应力集中不仅降低机械的使用寿命,严重时会使零件开裂甚至报废。

(3) 间隙使得轮毂不能准确定心,从而使得重心偏离回转轴线,运转过程中出现离心力,产生振动,这对高速运转或精密机械是致命的。

花键可视为键的特例,与其他键不同的是,键与轴为一体。花键根部及花键槽根部的过渡部分能有效地减轻但不能完全消除应力集中。对矩形花键来讲,由于加工尺寸、形状精度和位置精度的原因,采用小径定心方式能解决键联接难以解决的定心问题。花键轴需要在专用机床上加工,花键孔通常需要拉削加工,其刀具费用高,因此,花键联接仅适用于大批量生产,没有平键联接应用普遍。

2. 无键联接及圆弧三角形

为了适应不同传动及联接的要求,出现了各种不同形式的无键联接。在机械设计中,某些本应用键联接的相关零件,因某些特殊的原因或为了某些特殊的目的,采用了无键联接。无键联接同样具备键联接的功能,即在轴与轴上装配的零件之间能够传递速度和功率(扭矩)。广义上讲,无键联接包括销联接、螺栓联接、摩擦盘联接、电磁力联接、锥面摩擦联接、弹性环联接、紧配合联接等多种方式,它们各具特点。随着传动或联接要求的提高和制造技术的发展,出现了不少新的无键联接方式,胀紧联接和型面联接就是其中的两种。

胀紧联接也称为弹性联接,是在轴与轮毂之间装入胀紧联接套,利用锥面贴合并挤紧,在轴与轮毂之间用摩擦力传递扭矩(见图 1-2)。胀紧联接可传递较大扭矩和轴向力,无应力集中,对中性好,但要求内、外环锥面配合良好,加工要求较高。

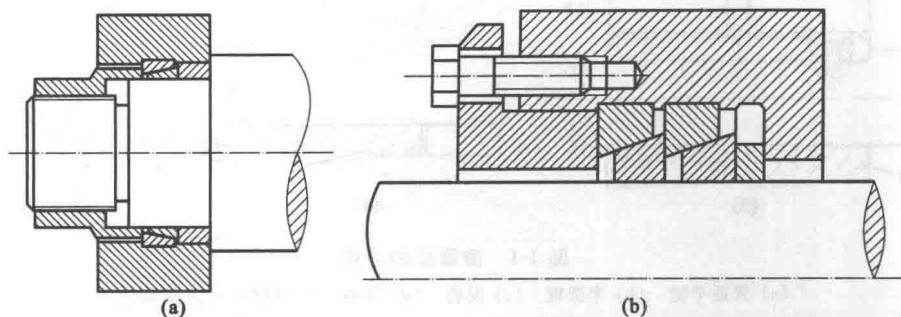


图 1-2 胀紧联接

(a) 加装一个胀紧套的结构 (b) 加装两个胀紧套的结构

把联接段的轴与轮毂加工成非圆廓形的轴与孔的配合联接称为型面联接,图 1-3(a) 所示的尖角正方形、尖角正六边形和尖角正三角形均可作为轴颈的截面形状。为了解决应力集中问题,可将轴颈的截面形状改进成图 1-3(b) 所示的圆角正方形、圆角正六边形、圆角正三角形。

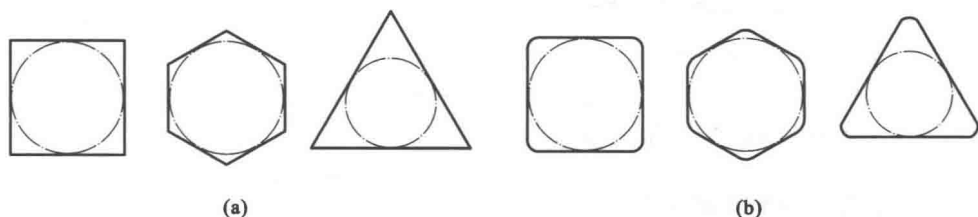


图 1-3 轴颈的截面形状

(a) 尖角 (b) 圆角

在图 1-3 所示的截面形状中,只有三角形具有自动定心的特性,在扭矩的作用下,由于受力和几何形状的对称性,轴的轴线自动处于某一位置,不受配合间隙及扭矩大小的影响。圆角正三角形解决了应力集中和定心问题,对轴和轮毂强度的影响取决于圆角半径的大小。圆角正三角形的加工可在数控机床上完成,但其尺寸和形状误差的检测较麻烦。

若将正多边形的直线边改为曲线边,则其较直线多边形联接的强度更高,并能很好地消除应力集中。理想型面联接的截面形状最好能满足下列要求:

- (1) 能够自动定心;
- (2) 无应力集中;
- (3) 轴、轮毂及动力传递部分的强度高;
- (4) 各方向具有等尺寸性,测量方便;
- (5) 廓形曲线能用函数表示,最好为二次曲线,圆弧最理想,以便于加工。

假设图 1-4 所示的由圆滑曲线围成的图形能满足上述要求。利用图形的对称性,可将封闭图形分为图中的 AB、BC、CD、DE、EF 和 FA 六段曲线。AB 与 FA 在点 A 相接,由于各段曲线圆滑连接,所以在该点具有一条公法线,两段曲线的曲率中心都在公法线上,公法线与对称轴的交点分别为 o_1 、 o_2 ,两曲线在该点的曲率半径分别为 o_1A 和 o_2A 。CD 与 DE 在点 D 相接,由于各段曲线圆滑连接,所以在该点具有一条公法线,两段曲线的曲率中心都在公法线上,公法线与对称轴的交点分别为 o'_1 、 o'_2 ,两曲线在该点的曲率半径分别为 o'_1D 、 o'_2D 。测量时无论是用游标卡尺还是用千分尺,所测量的都是切线的距离。三角轴也不例外,测量对应曲线段 AB、DE 上对应点的距离时,只有对应点的切线平行,才能用常用量具方便准确

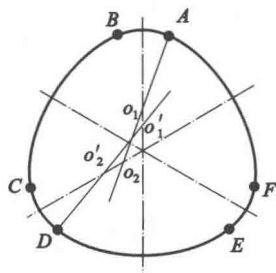


图 1-4 曲线段接点处的曲率中心

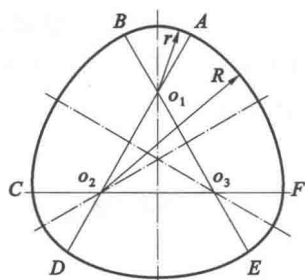


图 1-5 圆弧三角形

的测量。因此,要求点 A 和点 D 的切线平行,此时两点的公法线重合于点 A 与点 D 的连线上,点 o'_1 重合于 o_1 ,点 o'_2 重合于 o_2 ,如图 1-5 所示。

现在可以发现,能满足对应点距离为定值且便于加工和测量的曲线就是圆弧,圆心分别位于对称轴上的点 o_1 、 o_2 和 o_3 ,半径分别为 r 和 R 的六段圆弧围成了满足要求的廓形曲线,这种曲边三角形称为圆弧三角形,这种廓形的轴称为等距三边型面轴。

3. 圆弧三角形的几何性质

圆弧三角形除了具有正三角形和圆弧的某些几何性质外,还具有自身独特的几何性质。

(1) 对称性。圆弧三角形具有对称性,且有三条互成 120° 的对称轴。

(2) 焦点与焦距。图 1-5 所示的圆弧三角形具有三个焦点,分别位于三条对称轴之上。圆弧三角形上任意一点的法线必通过焦点。焦点至几何中心的距离称为焦距,用 c 表示,且

$$c = \frac{R-r}{\sqrt{3}} \quad (1-1)$$

(3) 等尺寸性及名义直径。圆弧三角形上任意一点与其对应点的连线必通过焦点,并与两点的切线垂直,距离均为 r 与 R 之和,即在任意位置测量圆弧三角形的尺寸相等。记圆弧三角形的名义直径为 D ,且 $D=R+r$ 。

应当指出,圆弧三角形的名义直径并不是连线通过几何中心的两点之间的距离,而是连线通过焦点的两点之间的距离。

(4) 近圆率 A 。 r/R 描述了圆弧三角形与圆的近似程度,将其称为近圆率 A ,即

$$A = \frac{r}{R}$$

A 越大,圆弧三角形越近似于圆,当 $A \rightarrow 1$ 时,圆弧三角形无限接近于圆。 A 的大小直接影响到三边型面的齿高、齿厚及截面惯性矩,同时影响到传递动力的挤压接触面积。因此, A 的大小决定了圆弧三角形截面轴传递扭矩的能力。

(5) 外切圆与内切圆。由图 1-6 可以看出,圆弧三角形的图形完全处于内切圆和外切圆之间,外切圆和内切圆的半径分别为 R_1 、 R_2 ,且满足

$$R_1 = \frac{R + (\sqrt{3} - 1)r}{\sqrt{3}} \quad (1-2)$$

$$R_2 = \frac{r + (\sqrt{3} - 1)R}{\sqrt{3}} \quad (1-3)$$

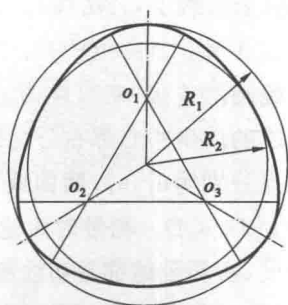


图 1-6 外切圆与内切圆

(6) 圆心角。由图 1-6 可清楚地看到,无论圆弧三角形的参数取何值,各段圆弧所对应的圆心角总是相等的,且为 60° 。圆弧三角形的这一几何性质使得数控加工程序的基点计算非常方便。

1.1.2 型面联接概述

把安装轮毂的那一段轴(轴颈)加工成表面光滑的非圆形截面的柱体(见图 1-7(a))或非圆形截面的锥体(见图 1-7(b))成相应的孔。这种轴与轮毂的孔相配合而构成的联接常称为型面联接。非圆形截面柱体的型面联接只能传递扭矩,非圆形截面锥体的型面联接不但能传递扭矩,还能传递单向轴向力。

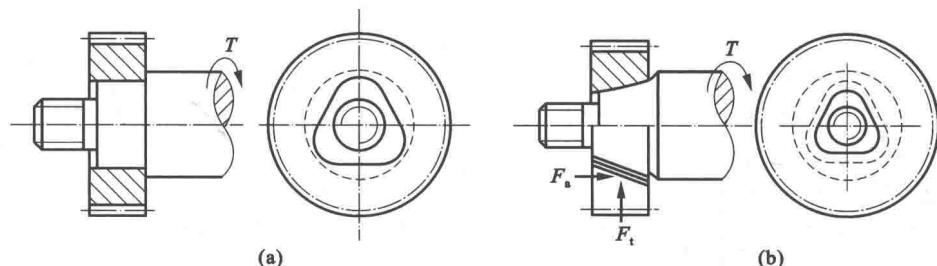


图 1-7 等距型面联接示意图

(a) 非圆形截面的柱体 (b) 非圆形截面的锥体

型面无键联接可以实现间隙配合、过盈配合和过渡配合。型面截面纵向可以是柱状,也可以是锥状;其孔可以是通孔,也可以是盲孔(见图 1-8)。型面联接可以传递扭矩,也可以实现相对轴向移动。型面联接在结构上和工艺上有独特的优越性,可以传递大扭矩,因而在各种机械传动中获得了广泛应用。

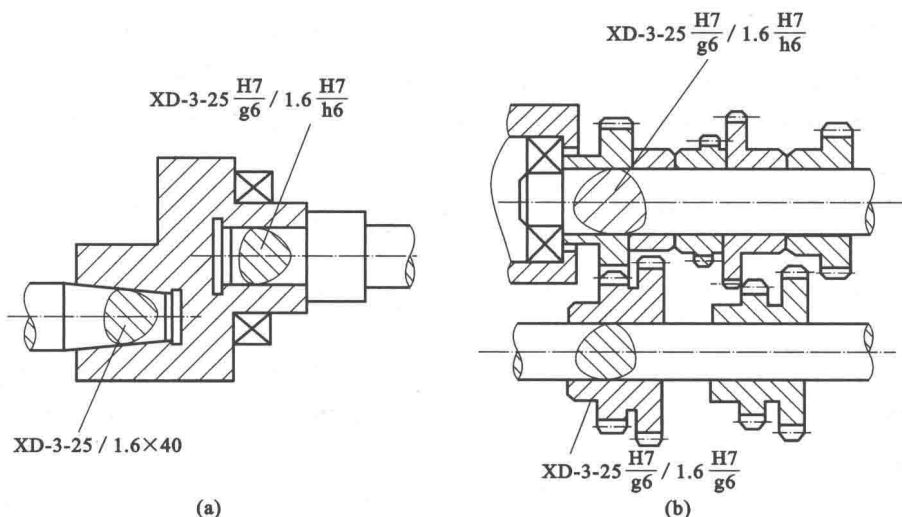


图 1-8 等距型面无键联接示例

(a) 盲孔 (b) 通孔

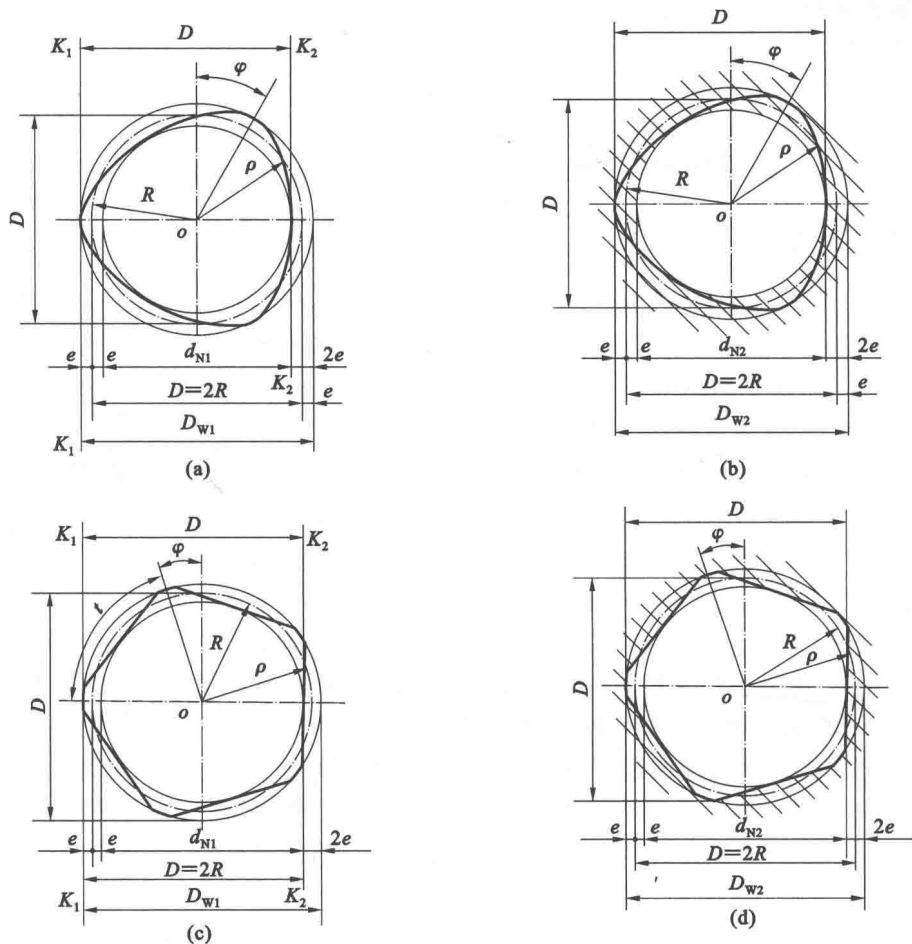


图 1-10 四种类型的等距型面(奇数边)

(a) XD-3 轴 (b) XD-3 孔 (c) XD-5 轴 (d) XD-5 孔

将方程(1-10)和方程(1-11)两边取二次方,整理,得

$$\frac{Y_m^2}{e^2} + \frac{Z_m^2}{N^2 e^2} = 1 \quad (1-12)$$

从形式上看,方程(1-12)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(见图 1-9)。也就是说,直线 KK 沿一维坐标谐波移动和点 M 沿直线 KK 移动就形成了廓形曲线。

假定廓形曲线的边数都是奇数,如 XD-3、XD-5、XD-7 等,那么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曲线的基本特征,这使得检测廓形名义直径时,便于使用通用或专用测量工具来

测量和控制圆轴截面的直径尺寸。其另一个基本特征是孔、轴廓形的同轴性能。轴的双偏心量的计算方法为

$$2e_{\text{轴}} = D_m - d_1$$

孔的双偏心量的计算方法为

$$2e_{\text{孔}} = D_m - d_2$$

1.1.4 国内外研究概况

使用非圆截面轴传递扭矩始于 16 世纪。它首先在钟表机械上得到应用,随后应用于印刷机械等。在当时制造条件下,由于制造工艺难度大,它曾一度被键联接传动所代替。17 世纪中期,这种传动机构虽在多棱面车床上实现加工,但是未曾被工业部门所掌握,因此并未得到应用。

20 世纪中期,奥地利工程师科拉乌兹提出了三凸边摆线廓形的几何形状及其制造工艺,并设计制造了专用廓形机床,大大推进了型面无键联接的应用。接着,奥地利工程师莫尤西梁又研制出新的廓形及其制造工艺。与此同时,苏联的巴罗威奇研究出等距型面廓形,因为该廓形具有一系列优越性,所以在各种工业中获得了应用。美国、联邦德国、英国、瑞士、日本等也在这一期间开始应用无键联接。

1948 年,联邦德国研制的双轴机床,既可以加工廓形轴又可以加工廓形孔,并在瑞典和日本取得了专利。同一时期,美国研制的 Fortuna 机械采用正弦机构合成器,可以磨削廓形孔(轴);英国设计的 AFD630-2500P 型机床既可加工柱状型面无键联接轴(孔),又可以加工锥状型面无键联接轴(孔)。此外,苏联还对 IK62 型机床和 6P815F 型机床进行了改造,用来加工型面无键联接的轴(孔)。这些加工设备的研制成功为推广无键联接的应用创造了条件。

根据无键联接的同轴性能,美国、英国、日本等国将型面联接主要用于机床主轴孔与刀柄的固定,侧重于几何特性和工艺方面的研究。苏联在 3ИИ-6/60 型掘进机行走机构及 3БГ-15 型绞车等煤矿机械的传动机械中已成功地使用等距型面联接,并在绞车 LI2y-125 型减速器中将 $\phi 45H7/r6$ 配合键联接改为等距型面联接,使其性能大为改善,疲劳强度提高了 2.7 倍,减速器整体尺寸减小了 1/5,传动扭矩增大了 30%,侧面摩擦和能源消耗明显减少。1975 年,莫斯科大学机床研究所把等距型面联接的设计与制造联系起来进行研究,将一个往复直线运动与一个旋转运动结合起来,把所拟定的廓形形成过程变为现实,并由此提出许多加工方法,研制出生产效率、精度和可靠性都很高的设备。

型面轴毂联接的应用研究在我国起步较晚。北京第六机床厂等单位曾在 20 世纪 70 年代研究过等距型面的原理,试制了 M8910 型万能多面磨床,它利用砂轮自作椭圆轨迹运动来磨削椭圆或多面轴、孔的轮廓,但因对等距型面的成形原理研究不够深入,其加工精度和生产效率不够理想,因此这种磨床未能进一步推广应用。90 年代,清华大学等高校科研人员对非圆柱面的应用与车削加工等问题开始进行研究。

焦作矿业学院(现河南理工大学)从80年代开始先后承担了“煤矿机械传动中等距型面无键联接的研究”“机械无键联接异形截面轴加工机床的研制”等科研课题,公开发表研究论文60余篇,对型面联接的基本理论及应用进行了深入的探索。浙江大学现代制造工程研究所、济南大学机械工程学院、湛江海洋大学机械系等单位进一步完善了等距曲线型面联接的设计途径和方法,为型面联接的推广应用提供了理论依据。

研究等距型面在工业中的应用,特别是在煤矿机械中的应用已成为非常重要的课题。许多煤矿机械在检修过程中,需要更换传动件(如带轮)或支承件(如轴承),往往因装拆困难而造成零件损坏。等距型面无键联接就可以较好地克服这些缺点。

1.2 型面联接的应用

1.2.1 型面联接的优点

型面联接有以下几方面的优点:

(1) 井下煤矿机械采用异形截面廓形联接,简化了配合截面形状,装拆方便,其疲劳强度比键联接的高3~5倍,而且承受的负荷能力在间隙配合时的高1.2~1.3倍,比过盈配合时的高2倍。

(2) 异形截面的轴孔配合在保持相同负荷能力的同时,减少了在载荷作用下的侧面摩擦,在传递相同扭矩的情况下,能源消耗少,因而无键联接具有比键联接更高的效率。矿山机械动力功率较大,使用无键联接效益更加明显。

(3) 在保持相同负荷能力的同时,异形截面廓形由于减小了横截面面积和转动惯量,从而减小了轴的长度和箱体的尺寸,进而减小了整个机器的尺寸和重量。如绞车减速器,用曲边三角形截面轴孔配合代替键联接后,整体尺寸可减小 $1/3 \sim 1/5$,成本可降低20%~30%,噪声可降低3~5 dB。

(4) 廓形曲线没有锐边,没有凹处,与键联接相比,型面联接消除了应力集中现象,延长了轴与轮毂的寿命。

(5) 奇数边的异形截面在传递载荷时具有自动定心的特性,甚至在很小的载荷时也能使齿轮在轴上自动定心,因而在大载荷作用下,无键联接的定心精度比花键联接的高3级,提高了整个机器的传动精度。

(6) 对于 $e/D_m = 1/32$ 的无键联接,在载荷下自动定心时,齿轮轮毂相对于异形截面轴发生自动制动现象,从间隙装配到过盈联接,使轴和齿轮转化成一个整体机械系统,不是像花键联接那样轴、齿轮分别为单个零件,因而减小了弯曲刚度。

(7) 在切削刀具上采用等距型面无键联接,增加了刀柄的强度和扭转刚度,延长了刀柄的使用寿命,因为它能将切削刀具紧固,具有阻力器的性能,相当于一个很好的扭转缓冲器。如果刀具的柄部采用等距廓形,还可以保证刀柄紧固联接,防止刀具损坏,提高生产效率。

1.2.2 型面联接制造工艺的优越性

型面联接件的制造工艺的优越性主要体现在以下方面:

(1) 制造无键联接的轴(孔)不需要花键铣床、磨床,因而与制造花键相比,成本降低了 30%~70%,等距型面轴比花键轴便宜 50%以上,从而减少了金属切削设备数目和占地面积,大大减少了机床品种和操作人员。

(2) 无键联接廓形结构简单,轴孔不存在尖角,因此可采用淬火滚压、挤压等强化工艺,并可在后续工序中在廓形面喷涂耐磨材料,这样大大提高了表面质量,使表层产生残余压应力,延长了机器寿命。

(3) 无键联接廓形截面可以用一个直径 D_m 来表示,因而可采用通用工具控制廓形截面形状,便于测量非柱状轴与孔,测量方便。

(4) 正由于无键联接廓形几何形状特征是非柱状轴的直径不变,所以在加工廓形时可采用同步电子控制装置和自适应控制系统,比较方便地实现了自动化加工。

1.2.3 应用状况及实例

苏联生产的 3ИИ-6/60 型掘进机的行走机构及 3БГ-15 型绞车等煤矿机械的传动机构中已成功地使用了等距型面联接,不但效率高,而且制造成本低,其使用寿命、可靠性、强度等性能得到明显改善。

联邦德国 Pittler 公司和 Fisher 公司生产的车床、铣床,苏联生产的 6Д82ИИ 型车床、铣床及瑞士 Schmid 公司生产的压力机上的主轴箱、进给箱、挂轮架上的轴与轮毂联接,采用了等距三边型面联接,提高了传动精度,降低了噪声。

美国 Brndim 公司设计的刀柄为圆柱状型面廓形,利用专用环和螺杆实现工具与刀柄相对转动,使护孔钻自动定心并楔紧,使刀柄配合处产生预加接触变形,防止了配合面径向移动和磨损,保证了刀具和刀柄的同轴度。

联邦德国 Stizmann 公司和 Heinlein 公司的柔性模块式刀具系统,刀具模块的标准刀柄及其中间轴辅助元件都为等距三边廓形,装配后用中央螺栓夹紧,在扭矩作用下,联接的径向间隙自动定心,配合面楔紧,保证刀具模块所需要的刚度。

国外在机械制造中应用型面廓形螺纹联接,无须使用防松垫圈就能保证螺纹联接的牢固性,即使在交变载荷作用、有振动的情况下都不会松脱,消除了螺纹联接中的间隙,提高了旋入的定心精度、疲劳强度和密封性能。

在农业机械中,苏联制造的 ИХ12 型喷雾机轴带轮采用等距三边型面联接,与花键联接相比,它不但工艺简单,而且使用寿命长;ДОН-1500 型收割机轴带轮采用等距五边型面联接,经试验表明,它不但能够承受需要的载荷,而且在工作中,由于振动作用产生残余楔紧,增加附加扭矩,无须增加紧固件就能使轴上零件固定。

经制动试验表明,Т28Х4МА 型拖拉机两动盘轴采用等距三边型面,不仅工作正常,而且经 600 h 试验没有磨损。苏联制造的 УИХ-1.5Г 型棉花机链轮装在等距五