

王得胜 武良臣 郑友益 著

等距型面无键
联接及其应用

中国矿业大学出版社

TH131.9
W146

等距型面无键联接及其应用

王得胜 武良臣 郑友益 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了等距型面无键联接的基本概念、基本理论、加工方法及应用。全书共分六章:等距型面无键联接的基本概念,等距型面联接基本理论及设计计算,等距型面联接的公差配合与分析,等距型面的加工方法,其他型面联接简介及等距型面无键联接在煤矿机械中的应用等。

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

等距型面无键联接及其应用

王得胜 武良臣 郑友益 著

责任编辑 刘永清

中国矿业大学出版社 出版发行

新华书店经销 北京地质印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 7 字数 182 千字

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

印数:1~500

ISBN 7-81040-850-X/TH·34

定价:13.00 元

前 言

本书是根据前煤炭工业部煤炭自然科学基金项目和河南省科技攻关项目的研究成果撰写的一本专著。

机械传动中的轴和毂孔最初是采用异形截面或非圆截面进行联接(无键联接)的。由于异形(非圆)截面制造工艺难度大,被后来的键联接所代替,并形成了目前的汽车、机床、农业机械、煤矿机械等的机械传动中齿轮与轴、皮带轮与轴之间的联接大都采用键和花键联接的局面。尽管键和花键相配合的表面制造技术比较成熟,但仍存在着许多固有的缺点,如键联接存在尖角(键槽处),易引起应力集中,降低轴的疲劳强度;花键加工过程复杂,要求精度高,如果配合不当,过紧则装配不便,过松会造成早期磨损,降低寿命。据报导,在汽车上的齿轮传动中,由于花键联接表面过早磨损使脱档或换档困难,曾造成汽车落入悬崖以致车毁人亡的大事故。其他机械传动中,在更换传动件(如齿轮、皮带轮等)时,也常常因为联接表面过紧引起装拆困难或破坏,造成不必要的经济损失。因此,国内外许多从事机械设计和制造的学者一直在探索代替键和花键的更好的联接方式。

我们从 80 年代中期开始深入研究无键联接,先后承担了煤炭自然科学基金项目《煤矿机械传动中等距

型面无键联接的研究》(编号 92 机 10818)和河南省科技攻关项目《机械无键联接异形截面轴加工机床研究》(编号 92110113)等课题的研究工作,公开发表研究论文近 30 篇。两项课题已分别于 1996 年和 1994 年通过了前煤炭工业部自然科学基金委员会验收和河南省科学技术委员会鉴定。应用等距型面无键联接理论设计了 JT-0.4 矿用提升绞车减速器,经试验,运转性能良好。因此,该项研究具有重要的理论价值和实际意义。

本书总结了课题组近十年来的研究成果,是集体智慧的结晶。本书由焦作工学院武良臣教授、王得胜副教授、郑友益副教授撰写。具体分工为:武良臣撰写第一章;王得胜撰写第二章第一、二节,第三章,第四章第一、三节,第五章;郑友益撰写第二章第三、四节,第四章第二节,第六章。全书由武良臣教授统稿。

本书在撰写过程中得到了焦作工学院科研处领导和机械工程系领导的大力支持,他们对本书的指导思想和内容提出了许多宝贵意见;同时,也得到了有关专家教授的大力支持和帮助。在此,作者一并表示感谢。

由于我们的水平有限,加上该课题仍处于研究阶段,许多问题都有待于进一步探讨,因此书中不妥之处在所难免,恳请各位读者提出宝贵意见,我们由衷地感谢。

著 者

一九九八年六月于焦作工学院

目 录

第一章 等距型面无键联接的基本概念	1
第一节 概述	1
第二节 等距型面联接应用实例	5
第二章 等距型面联接的基本理论及设计计算	10
第一节 等距型面方程及有关计算	10
第二节 等距型面轴的拉伸、扭转与弯曲	34
第三节 等距型面联接的接触压力	47
第四节 等距型面轮毂壁厚设计计算	63
第三章 等距型面联接的公差配合与分析	70
第一节 概述	70
第二节 等距型面联接的公差与配合	77
第三节 等距型面联接的图样标注与检测	91
第四章 等距型面的加工方法	100
第一节 等距型面的成形运动分析	100
第二节 等距型面轴的加工	130
第三节 等距型面孔的加工	153
第五章 其他型面联接简介	172
第一节 等距柱状面和等距锥面联接加工和设计要点	172
第二节 多弧段等距型面联接	189
第六章 等距型面无键联接在煤矿机械中的应用	211
主要参考文献	215

第一章

等距型面无键联接的基本概念

第一节 概 述

联接是指将两个或两个以上的机器零件按某种方式装配在一起,这是一个广义概念。例如,利用螺纹零件构成的螺纹联接;利用铆钉构成的铆钉联接(简称铆接);借助加热使零件装在一起的焊联接(简称焊接);轴和毂孔通过键(包括平键和花键等)结合在一起的键联接等。本书拟讨论的是轴和毂孔之间不使用键(包括平键或花键等)而组装在一起来传递扭矩和运动的等距型面无键联接的设计计算和制造等问题。

一、无键联接的基本类型

(1) 按相结合的轴和毂孔在工作时相对位置能否变化,可分为滑动联接和固定联接两大类。在滑动联接中,轴和毂孔的相对位置在工作时能够按需要变化。例如,变速箱中的滑移齿轮与轴的联接,为了变速,滑移齿轮要沿传动轴的轴向移动,以获得不同的工作位置,从而实现速度变化。固定联接是相对滑动联接而言的,指轴和毂孔的相互位置不能也不允许变化的一种装配方式,如减速器中固定齿轮与轴之间的联接、蜗轮的齿圈与轮心的联接等。采用滑动联接主要是机器内部的运动规律决定的,而固定联接的采用则是由于结构、制造、装配、运输、安装和维修等方面的要求所决定的。滑动联接

只限制了轴和毂孔之间的周向相对运动,而未实现轴和毂孔之间轴向相对运动的约束。固定联接既限制了轴和毂孔之间的周向相对运动,也限制了轴向相对运动,真正实现了轴和毂孔在工作时相对固定。

(2) 按传递扭矩和运动的工作原理可分为力约束型和几何约束型两大类,亦称为摩擦式和非摩擦式两大类。力约束型无键联接一般是靠联接中配合表面间的摩擦来传递扭矩的,如圆柱面过盈联接,轴的尺寸适当大于毂孔的尺寸,当把轴装入毂孔时,由于材料的弹性,在包容件和被包容件中的配合面间产生压力,工作时,靠与此压力相伴的摩擦力传递扭矩和运动。几何约束型无键联接是采用非圆截面的轴与相应的毂孔结合构成的联接,通常称为型面联接(也称成形联接)。型面联接中轴的横截面(或毂孔)的边界称为型面曲线。常用的型面曲线有等距曲线(在微分几何学中也称等宽曲线、等厚曲线或等轴曲线)、摆线、正(余)弦曲线等。型面曲线为等距曲线的型面联接,称为等距型面无键联接。还有一类边界为折线形的型面,如方形、三角形、六方形和切边圆形的轴孔结合构成的联接,也属于型面联接。

此外,还可从拆开时是否需要把联接零件损坏分为可拆联接与不可拆联接。力约束型和几何约束型无键联接均可根据需要设计制造成为可拆联接和不可拆联接,主要考虑工作性能要求、制造工艺、运输和安装、维修结构等因素而定。

二、无键联接的特点与应用范围

与键联接相比,无键联接最突出的优点是无论是轴还是毂孔,均不需要开键槽,不存在尖角,大大降低了应力集中,明显提高了轴的疲劳强度。不同结构的无键联接,又各有自己的特点。

1. 力约束型无键联接的特点及应用范围

前面已经指出,力约束型无键联接是靠轴孔配合面间的摩擦来传递扭矩和运动的,故配合表面的结构都比较简单,以便实现所要求

的制造精度。常用的有圆柱面过盈联接、圆锥面过盈联接和弹性环联接。

圆柱面过盈联接的优点是配合面结构简单,无需专门机床加工,定心性好,承载能力高,即使在冲击振动的条件下也能可靠地工作;其缺点是配合表面加工精度要求较高,装配压力一般较大,甚至需要专用的装配设备等。

圆锥面过盈联接的优点是装配时配合表面不易损伤,不仅可传递更大的扭矩,而且可承受轴向载荷,尤其适用于大型零件的联接;缺点是对配合面的接触精度要求较高。

弹性环联接是利用以锥面贴合并挤紧在轴毂之间的内外钢环构成的联接。在由拧紧螺纹联接而产生的轴向压紧力作用下,两环抵紧,内环缩小而箍紧轴,外环胀大而撑紧毂,于是在接触面间产生径向压力,同时由此相伴的摩擦力来传递扭矩。弹性环联接的优点是能传递相当大的扭矩和轴向力,它没有应力集中源,定心性好,装拆方便;缺点是在轴与毂孔之间安装有内外弹性环,其应用有时受到结构上的限制,若采用纵向开缝的弹性环,其定心精度难以保证。

总之,力约束型无键联接只能用作固定联接,不能作为滑动联接。

2. 几何约束型无键联接的特点及应用范围

几何约束型无键联接,即型面联接。根据其型面曲线的几何特点又可分成等距型面联接和非等距型面联接两大类。等距型面的型面曲线是等距曲线(卵形线的一种),如图 1-1 所示,它是一条凸曲线,其特点是任意的两条平行切线之间的距离都相等(一般称为平均直径 D)。等距型面联接除具有无键联接的一般优点外,还具有测量和装拆方便、自动定心、制造容易、以间隙配合装配、以过盈配合工作等优点。近十年来,已经成为机械工程中研究的重要课题之一。等距型面联接按照轴和毂孔公差带的不同位置可以实现间隙配合、过渡配合和过盈配合。采用间隙配合时,可实现滑动联接;采用过渡配合或过盈配合时,可实现固定联接。当作为固定联接时,在过盈量

相同的条件下,其承载能力一般比力约束型无键联接更高。等距型面联接按照型面的凸棱数不同又可分为多种,图 1-1 为三凸棱等距型面的型面曲线,习惯上将具有 N 个凸棱的等距型面轴孔结合构成的联接称为 N 棱(或面)等距型面联接。其中,最常用的是三棱和五棱等距型面联接。在把等距型面联接作为滑动联接使用时,为了使毂孔相对型面轴移动轻便省力,常将型面轴的凸棱切顶,如图 1-1b 所示。我们将具有这种特征的等距型面联接称为切顶等距型面联接,图中 D_c 为顶圆直径。如果将等距型面做成锥面,就可构成等距锥面联接,在这种情况下,既可承受扭矩,又可承受轴向力,但制造工艺比等距型面(即柱面)复杂,而且等距锥面联接只能用作固定联接。

非等距型面联接包括型面曲线为摆线、正(余)弦曲线、折线(包括方形、三角形、六方形、切边圆形等)的各种型面联接,它们的共同缺点是测量不方便,但从制造工艺方面看,折线型面容易加工,因此在小功率低速传动系统或机床辅助运动传动系统中得到了应用。

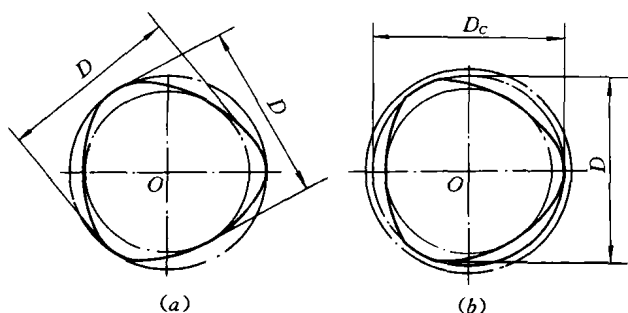


图 1-1

三、无键联接的研究状况

无键联接具有悠久的历史,早在 16 世纪曾在钟表、印刷机械和其他机械中得到应用。由于设计计算和制造工艺技术的限制,后来被键联接所代替。20 世纪中叶,奥地利工程师科拉乌兹提出了摆线

型面联接,并研究了其制造工艺,设计了专用机床,使无键联接的研究与应用向前推进了一大步。之后,前苏联的巴罗威奇研究了等距型面及其几何特性,并深入研究了成形原理。同期,Binder H. J. 用光弹试验研究了等距型面联接在接触区内剪应力的分布规律。从此,人们开始对等距型面联接的设计计算和制造工艺进行比较系统地研究。德国在 80 年代制定了部分设计标准,俄罗斯的工程技术人员研究了等距型面的制造工艺及设备,美国一些制造商研制了专用工装。这方面的研究直到目前仍然是机械工程界的一个热点。我国部分高校的工程技术人员也对等距型面联接进行了研究,并取得一些可喜的成果。

非等距型面联接和力约束型无键联接虽然在制造技术方面比等距型面联接成熟一些,研究的历史也较长,但在近期仍有不少研究成果,说明人们对于无键联接的研究一直是十分关注的。

总之,在机械无键联接的研究方面,等距型面联接的设计计算和制造工艺的研究是人们关注的一个新课题。本书力图能系统地介绍国内外同行的新成就,使人们对等距型面无键联接的研究现状和设计制造有一个较为详细的了解;使等距型面无键联接在机械传动系统中的应用再向前推进一步。

第二节 等距型面联接应用实例

由于等距型面联接有一系列的优点,目前在金属切削机床、汽车、拖拉机的变速箱(图 1-2)以及其他一些机器中逐渐得到了应用。最近,国外的某些组合机床及柔性模块工具系统中,等距型面联接的应用范围被不断推广,并取得了很好的效果。

一、在组合机床上的应用

在组合机床上主轴和夹具(心轴、调节套、接杆等)的柄部的联接通常采用键联接,存在调整件数较多,不能保证足够的联接刚度等缺

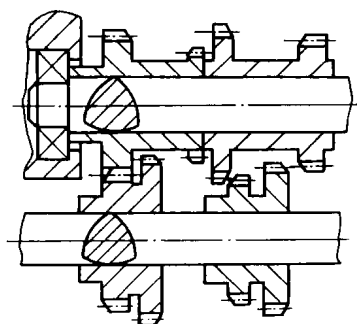


图 1-2

点。采用等距型面联接($N=3$)代替键联接,可提高联接强度 5 倍,联接刚度 1.5 倍,同时能降低制造成本,减少夹具的重量。

1. 钻头接杆

在图 1-3 中,锥柄钻头 1 安装于具有等距型面的接杆 2 上,用螺母 3 调节轴向位置,接杆用螺钉 4 固定于主轴 5 上。螺钉的轴线相对于主轴轴线偏移距离 h ,拧紧螺钉时产生扭矩 $M = Qh$ (Q 为螺钉 4 产生的轴向力)。装配时为间隙配合,在扭矩 M 作用下,接杆柄相对主轴上的等距型面孔转动微小角度,消除了配合间隙,间隙配合变成了过盈配合,配合表面自动定心,联接刚度大大增加。在切削时产生的扭矩,其方向应注意同 M 保持一致。

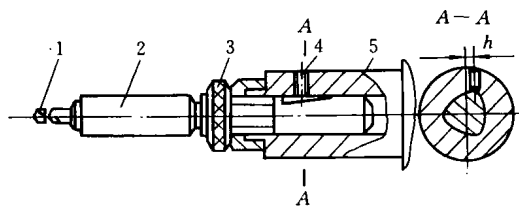


图 1-3

2. 快换卡头

图 1-4 中,等距型面柄的钻头 1 安装在套 2 中,套 2 的等距型面上制有外螺纹,螺钉 12 压紧钻头。套 2 与钻头 1 的伸出量用螺母 4 调整,并用螺母环 3 和螺钉 13 防松。钻头伸出量决定于螺母 4 到钻头顶尖的距离。

在套筒 7(由螺钉 9 定位)上装有套筒 8,其孔内装有钢球 5,弹簧 10 用端盖 11 压住。钢球 5 压入螺母 4 的环槽内时使套 2 固定。

切削时,等距型面联接传递扭矩,轴向力由主轴 6 端面承受。为实现快换钻头,只需要克服弹簧阻力向下压套筒 8,使钢球脱离螺母 4 的环槽,即可抽出套 2 和钻头 1。

上述实例表明,等距型面联接的应用,使刀具更换方便,夹紧可靠,调整简单,提高了工效。

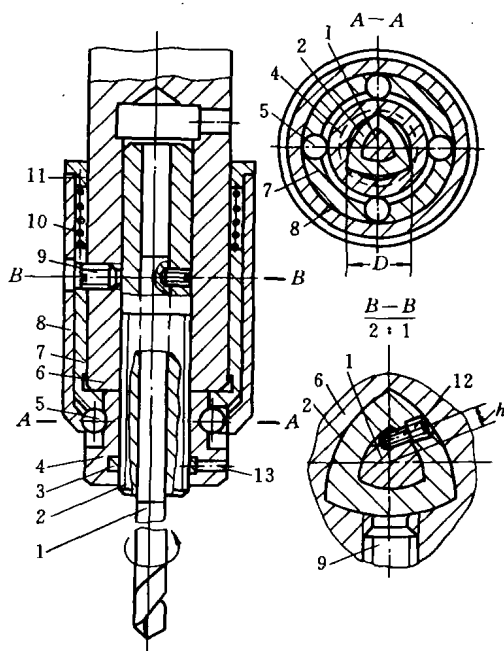


图 1-4

二、在柔性模块工具系统中的应用

柔性模块工具系统(FMTS)是高度自动化金属切削机床的重要组成部分。FMTS 是成套专用的,一般不直接安装在机床主轴上。在改变被加工工件时,使用 FMTS,可改变刀具系统,从而提高机床的柔性。

设计 FMTS 的主要问题之一是选择联接类型。联接的正确与否,在很大程度上影响刀具的可靠性、寿命和耐用度,以及加工精度。联接应保证配合面接触良好,定心精度高,工作可靠,装拆方便,制造容易。

图 1-5 为使用等距型面联接的柔性模块工具系统。其中,包括钻削工具、铣削工具、镗削工具和其他工具等。

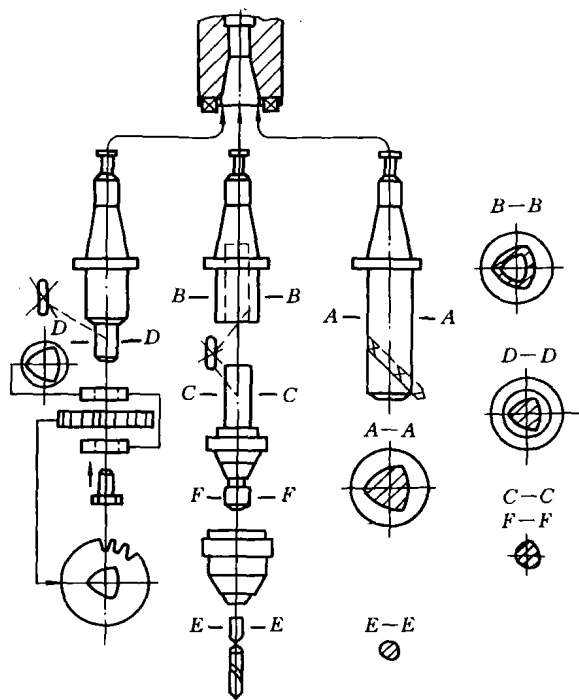


图 1-5

图 1-6 为 FMTS 采用等距型面联接的结构。图 *a* 中模块 1 和 2 利用等距型面联接实现过盈配合,保证了要求的联接刚度。但要使用 200~300 N 的压力装卸模块,拆装中有可能损坏配合表面,导致过盈量不足。为克服这一缺点,可采用图 *b* 的结构,模块 1 和 2 装配时为间隙配合,然后拧紧螺钉,可实现过盈配合。这种结构使用寿

命长,装拆方便。

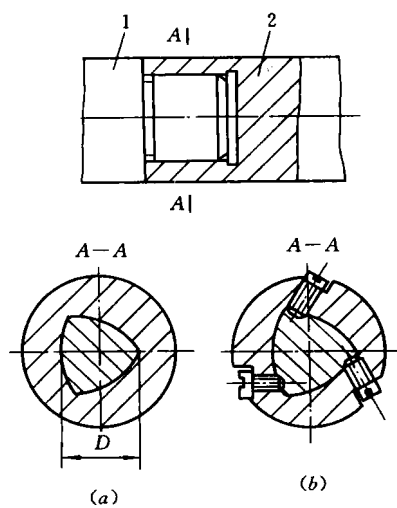


图 1-6

第二章

等距型面联接的基本理论及设计计算

本章首先导出等距型面的方程,并据此分析等距型面的特性,然后导出等距型面轴受拉伸、平面弯曲、扭转以及弯扭组合应力计算公式,最后介绍等距型面联接接触压力和轮毂壁厚的计算方法。

第一节 等距型面方程及有关计算

一、等距曲线的形成与方程

1. 直线的法式方程

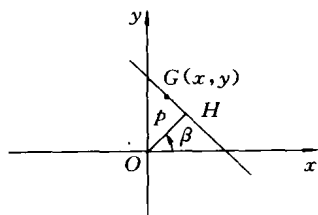


图 2-1

如图 2-1 所示,在 Oxy 坐标系中有一直线 G , 设直线 G 上各点的坐标用 $G(x, y)$ 表示。若过 O 点作直线 G 的垂线 OH 交直线 G 于 H 点, 并设 OH 的长度为 p , 称为法线距, OH 与 x 轴的夹角为 β , 则直线 G 的法式方程为

$$x \cos \beta + y \sin \beta - p = 0 \quad (p \geq 0) \quad (2-1)$$

式中, p, β 称为直线 G 的位置参数。

对于平面直线的一般式方程

$$Ax + By + C = 0 \quad (2-2)$$

可化为法式方程

$$\frac{A}{\pm \sqrt{A^2 + B^2}}x + \frac{B}{\pm \sqrt{A^2 + B^2}}y \pm \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2}} = 0 \quad (2-3)$$

式中, $\pm 1/\sqrt{A^2 + B^2}$ 称为直线的法化因子。当 $C < 0$ (或 $C = 0$ 而 $B > 0$) 时, 取正号“+”; 当 $C > 0$ (或 $C = 0$ 而 $B < 0$) 时, 取负号“-”。

2. 等距曲线的形成与方程

若将式(2-1)中的角度 β 视为变参数, 令 $p = R$ 视为常量, 当 β 从 0 到 2π 连续变化时, 可以得到一个直线族 $F(x, y, \beta) = 0$, 即

$$F(x, y, \beta) = x \cos \beta + y \sin \beta - R = 0 \quad (2-4)$$

设直线族的包络线的方程满足

$$\left. \begin{aligned} F(x, y, \beta) &= 0 \\ \frac{\partial F(x, y, \beta)}{\partial \beta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

$$\text{即应有} \quad \left. \begin{aligned} x \cos \beta + y \sin \beta - R &= 0 \\ -x \sin \beta + y \cos \beta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

从此方程组可解出直线族 $F(x, y, \beta) = 0$ 的包络线的参数方程为

$$\left. \begin{aligned} x &= R \cos \beta \\ y &= R \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (2-7)$$

由于 R 为常数, 所以这是半径为 R 的圆的参数方程。说明当 $p = R$ 为常数时, 直线族 $F(x, y, \beta) = 0$ 的包络线是半径为 R 的圆, 见图 2-2。

如果设法线距 p 是角度参数 β 的函数, 即 $p = p(\beta)$, 则直线族 $F(x, y, \beta) = 0$ 的方程应为

$$F(x, y, \beta) = x \cos \beta + y \sin \beta - p(\beta) = 0 \quad (2-8)$$

此时, 直线族 $F(x, y, \beta) = 0$ 的包络线的方程亦应满足式(2-5), 故有

$$\left. \begin{aligned} x \cos \beta + y \sin \beta - p(\beta) &= 0 \\ -x \sin \beta + y \cos \beta - p'(\beta) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-9)$$

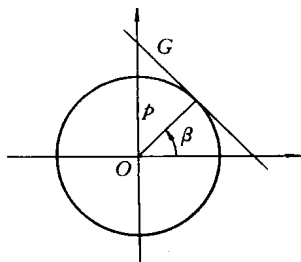


图 2-2