

型面联接制造理论与技术

武良臣 等著

1.9

煤炭工业出版社

型面联接制造理论与技术

武良臣 郑友益 赵俊伟 著
刘志超 张新民 邓 乐

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统地论述了型面联接的基本概念、基本理论、制造的工艺方法、装备设计及加工实例。全书共分七章：绪论；型面联接的有关理论；型面形成的形态学分析；型面联接制造的工艺；型面联接零件的数控加工；型面联接的工艺装备设计；型面联接的应用实例研究。

本书可供从事机械设计及制造的工程技术人员参考，也可作为供高等院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。

图书在版编目 (CIP) 数据

型面联接制造理论与技术/武良臣等著. —北京：煤炭工业出版社，2000. 6

ISBN 7-5020-1899-9

I. 型… II. 武… III. 机械元件-联接, 型面
IV. TH131. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 20771 号

型面联接制造理论与技术

武 良 臣 等 著

责任编辑：向 云 霞

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 11³/₄ 插页 1

字数 275 千字 印数 1—1,000

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

社内编号 4670 定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，本社负责调换

序 言

型面联接是机械传动中无键联接的一种形式。由于型面联接具有装拆方便、传动扭矩大、对中性好等优点，因而广泛应用于工业技术的各个部门。相对机械学科的其他领域，型面联接的研究开展较晚，应用范围尚不十分广泛。但近几年来，研究进展较为迅速，其成果不仅解决了一些重大的工程实际难题；而且推动了型面联接本身的发展；在机械传动中，许多结构采用型面联接代替花键联接或键联接都取得了良好的效果，机器的性能和寿命都大有改善。

《型面联接制造理论与技术》总结了作者们近十多年来的研究成果，是作者们结合多年来发表的 30 多篇论文，培养研究生中的科学实验，现场应用的技术设计经验，精心编写，几经修改补充和完善，数易其稿后完成的。它反映了本学科国内外现代最新成果；它是国内外结合机械类工程实际研究型面联接的专著。

本书的重点在于结合工程实际的应用。书中有丰富的应用实例，与应用有关的各种工艺方法、工艺装备设计、应力计算及技术规范，都叙述的详细透彻。我粗读此书，从内容看有两个突出特点。其一内容丰富，从工程应用角度看，涉及的幅度很宽，不仅包括了型面联接中较成熟的内容，也包括了像“多面联接形态学”这样较新的内容；另一特点是论述型面联接理论重在工程应用，而不深涉数学概念化的推理，引用了多种工艺技术方法的实例，辅以说明方法的实用性，在数学上力求简捷，而又不失其准确性。这对于时间紧、任务紧迫、急需采用型面联接的工程技术人员就可以解决面临的实际问题。虽然本书在数学推导上只花了少量篇幅，但对基本概念和理论结论的说明是通俗而又相当确切的。这使得某些工程技术人员要钻研型面联接某些理论问题时，能顺利的进行转移，为更好地应用与推广型面联接创造条件，对于希望全面掌握型面联接应用的工程技术人员本书是不可不读的难得的好书；对抱有与机械传动有关的其他特殊要求的读者本书也富有参考价值，值得一读。

我是十分支持本书出版的。祝愿作者们在推广与应用型面联接技术方面取得更大成就。

中国科学院院士
华中理工大学教授

熊有伦

2000年10月8日

前 言

本书是国内外研究型面联接制造技术的第一本专著，是原煤炭工业部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）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制）研究成果的一部分。

型面联接是无键（异形截面或非圆截面）联接的一种，由于型面联接（特别是等距型面）装拆方便、传递扭矩大、对中性好等优点，故被广泛应用于工业的各个部门。早在 16 世纪，型面联接就在钟表、印刷机械等行业开始得到应用，但制造工艺的难度较大，又限制了它的应用范围。随着研究的深入，奥地利、德国、美国、前苏联等相继出现了改装车床来加工型面联接的孔轴的方法，大大推进了型面联接的应用。尽管如此，型面加工技术仍处于局部进行研究的状况，方法也不全面，因此研究型面联接加工技术，探索寻求更好的加工方法是非常重要的课题。

焦作工学院型面联接课题组从 80 年代开始，就对型面联接进行了研究，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”，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制”等课题的研究工作，公开发表论文 30 余篇，培养了六届研究生，对型面联接的基本理论及其有关应用进行了深入探索，研究了型面联接的廓形曲线、应力分布规律、设计计算方法及图样技术条件、标注形式和加工方法，设计制造了等距型面的铣削、车削、拉削、插削的工艺装备，为型面联接的应用创造了条件，两项课题分别于 1994 年和 1996 年通过河南省科学技术委员会和统配煤炭总公司的鉴定，为型面联接的推广应用奠定了基础。

本书总结了课题组近 10 多年来的研究成果，特别是制造技术方面的成果。本书是在焦作工学院武良臣教授主持下完成的。具体分工为：邓乐撰写第一章、第二章第七节和第三章；郑友益撰写第二章（第七节除外）；刘志超撰写第四章；张新民撰写第五章和第七章第一节；赵俊伟撰写第六章和第七章第二节。全书由武良臣教授统稿。课题组的王德胜、刘传绍等同志在课题的研究中付出了辛勤的劳动，在此对他们表示衷心的感谢。

本书在撰写过程中得到焦作工学院科研处领导和机械系领导的大力支持，他们对撰写本书的指导思想和内容提出了许多宝贵意见；郑州工业大学夏恒青教授，中国矿业大学沈慧芬教授，湖北工学院胡来容教授等有关专家教授对本书的撰写也给予了大力支持和帮助，在此向他们表示深切的谢意！

由于我们水平有限，加上课题仍处于研究阶段，许多问题都有待于进一步研究与探讨，例如：如何将面向“X”的设计 DFX、DFM 及虚拟现实技术引入研究中都是急待解决的问题，因此书中的谬误与不妥之处望读者不吝指教，我们表示衷心的感谢。

著 者

2000 年 10 月于焦作工学院

目 录

序言

前言

第一章 绪论	1
第一节 型面联接的基本概念及概况.....	1
第二节 型面联接的应用.....	5
第三节 型面联接传动的基本类型.....	7
第四节 几何参数设计.....	9
第二章 型面联接的有关理论	12
第一节 型面联接曲线的方程	12
第二节 摆线曲线型面联接的有关理论	16
第三节 实用等距型面的构成及方程简介	18
第四节 等距型面联接强度的有限元计算研究	21
第五节 等距型面联接接触应力的计算研究	35
第六节 等距型面联接强度的光弹性实验研究	37
第七节 三边型面轴毂联接强度的有限元分析	47
第三章 等距型面成形的形态学分析	50
第一节 制造工艺过程的形态学模型	50
第二节 机械加工中几何形体的可行性分析	52
第三节 等距型面成形的运动学分类	58
第四节 等距型面协调运动的各种组合	61
第五节 等距型面协调运动在机床上的实现及评价	63
第六节 等距型面协调运动精度分析及新方案	67
第四章 型面联接的制造工艺	71
第一节 概述	71
第二节 等距型面轴的加工	78
第三节 等距型面孔的加工	85
第四节 等距型面轴(孔)的检验方法	86
第五节 等距型面(XD)成形过程的误差分析.....	90
第六节 型面误差的辨识与诊断	93
第五章 型面联接件的数控加工	107
第一节 概述.....	107
第二节 插补原理.....	109
第三节 刀具补偿原理.....	118
第四节 数控系统配置的微型内插器.....	124

第五节	非圆零件精密数控车削系统·····	128
第六节	等距型面形成的数控系统·····	132
第七节	等距型面联接孔的数控加工·····	137
第六章	型面联接的工艺装备设计·····	139
第一节	型面轴成形铣刀设计·····	139
第二节	型面孔拉刀设计·····	145
第三节	型面孔插刀设计·····	148
第四节	型面孔珩磨头设计·····	151
第五节	铣削型面轴的装置设计·····	154
第六节	工艺装备设计·····	155
第七节	XD 廓形加工机床调整的专家系统 ·····	161
第七章	型面联接应用实例的研究·····	167
第一节	卧式铣床变速箱设计分析·····	167
第二节	型面轴孔联接在机构设计中的应用研究·····	170
参考文献	·····	178

第一章 绪 论

第一节 型面联接的基本概念及概况

一、型面联接的概念

键（平键或花键）联接有许多优点，因而得到了广泛应用。但又由于存在应力集中现象，削弱了轴的强度，拆装不方便，使得维修性变差，维修费用高和维修时间长等，严重约束了各种机械传递功率和效率的提高，因此对传递大扭矩、大功率、重载荷的矿山机械来说，迫切需要寻求一种新型的联接方式来代替键（或花键）联接，等距型面无键联接就是其中一种（见图 1-1）。

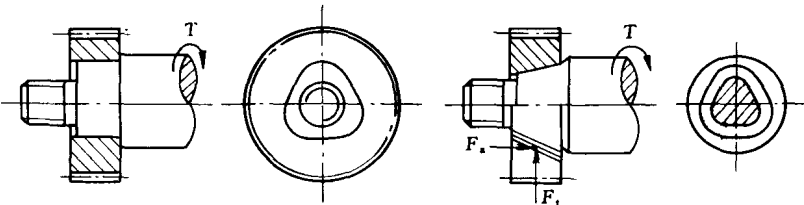


图 1-1 等距型面无键联接示意图

型面联接就是采用非圆异形截面的孔轴配合代替花键和键的结合来传递扭矩的一种联接方式。型面无联接键可以实现间隙配合、过盈配合及过渡配合。异形截面纵向可以是柱状，也可以是锥状，其孔可以是通孔或者是盲孔（见图 1-2）。无论在空载下还是负载下型面联接都可以传递扭矩，而且许可相对轴向移动。由于在结构上和工艺上有独特的优越性，使用上又可以传递大扭矩，因而型面联接在各种机械传动中获得了广泛应用。

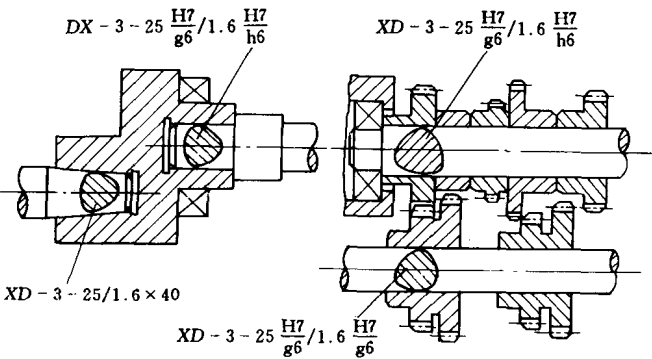


图 1-2 等距型面无键联接示例

二、型面联接的型面曲线及方程

型面联接的型面廓形有凸边形、直线形。廓形曲线有等距曲线（简称 XD 曲线或 XD 廓形）、正弦曲线、摆线，其中以等距廓形应用最广，特别是等距的曲边三角形截面（XD-3）。等距的廓形参数方程，以参数 v 、 z 表示。具有下列形式（见图 1-3、图 1-4）。

$$y = (R - e \cos N\phi) \cos \phi - Ne \sin N\phi \sin \phi \quad (1-1)$$

$$z = (R - e \cos N\varphi) \cos \varphi + N e \sin N\varphi \cos \varphi \quad (1-2)$$

式中 $R = \frac{D_m}{2}$ ——廓形平均半径；

N ——廓形曲线边数;

e ——廓形曲线偏心；

φ ——见图 1—3 和图 1—4。

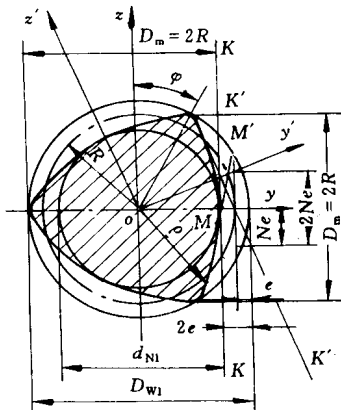


图 1-3 等距型面
联接几何尺寸

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等距廓形曲线。将刀具切削刃通过直线 KK ,坐标轴旋转角 φ ,进行坐标变换,得到下列解析式:

$$y' = y \cos \varphi + z \sin \varphi \quad (1-3)$$

$$z' = -y\sin\varphi + z\cos\varphi \quad (1-4)$$

式中 y, z ——在 zoy 坐标系中, 点 M 的坐标;

 y' 、 z' ——在 $y'oz'$ 坐标系中点 M' 的坐标。

在讨论直线 KK 相对于廓形中心 o 一维坐标位移规律时, 必须遵守下列条件, 即直线 $K'K'$ 与 ox' 轴平行, 与 oy' 轴垂直。

直线 KK 转动一周 (即 φ 从 0° 到 360°) 展成廓形曲线, 点 M' 所描述的廓形曲线就是参数方程 (1-1) 和 (1-2) 坐标系统中的曲线, 将方程 (1-1) 和 (2-2) 的 y 值和 z 值代入方程 (1-3), 就得到下述方程:

$$y' = R - e \cos \varphi \quad (1-5)$$

此方程代表直线 KK 相对于坐标系 $z'oy'$ 中 oy' 的一维坐标移动规律。很显然直线 KK 完成从廓形曲线中心 o 到 R 的距离的谐波振动位移的规律, 其振幅等于偏心 e , 其频率为廓形直线旋转频率的 N 倍。在机械制造中, 谐波振动位移由机械合成器实现。

同理，将方程 (1-1) 和 (1-2) 的 y 值和 z 值代入方程 (1-4)，可得

$$z' = N \sin N\varphi \quad (1-6)$$

此方程代表 M' 点在坐标系统中 $z'oy'$ 沿轴 oz' 移动的规律 (即图 1-3 中沿直线 KK)。

根据直线 KK 具有谐波振动的特性, 动点 M' 的振幅为 Ne , 频率为直线 KK 展成廓形曲线频率的 N 倍。

因此点 M' 同时沿轴 oy' 和 oz' 移动。在坐标系 $z'oy'$ 中完成复杂的封闭曲线运动, 其方程为:

$$Y_m = -e \cos N\varphi \quad (1-7)$$

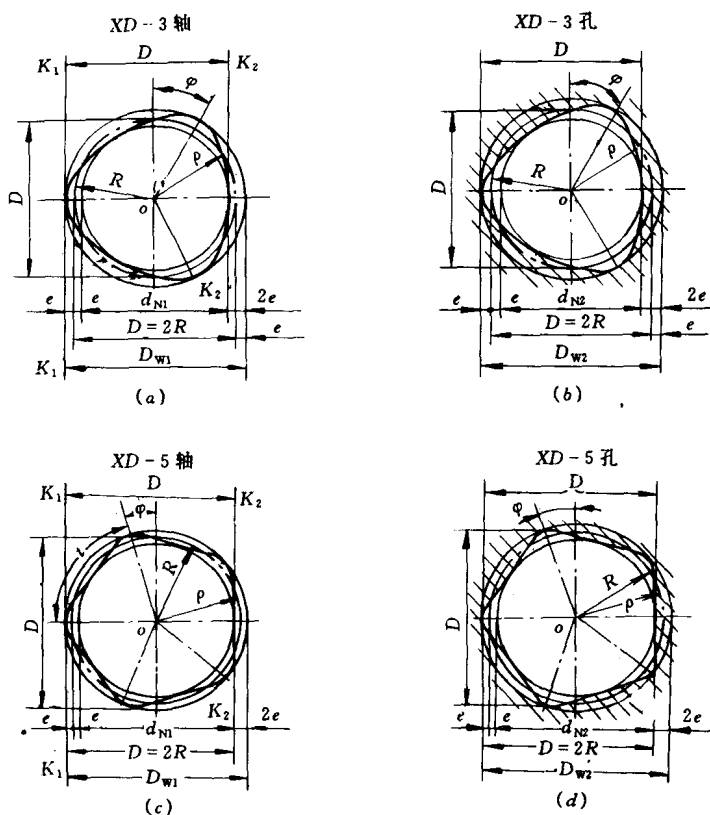


图 1-4 四种类型的等距型面（奇数边）

$$Z_m = Ne \sin N\varphi \quad (1-8)$$

将方程 (1-7) 和 (1-8) 两边平方，经整理可得

$$\frac{Y_m^2}{e^2} + \frac{Z_m^2}{N^2 e^2} = 1 \quad (1-9)$$

此方程为椭圆的参数方程。

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，而长轴是 $2a = 2Ne$ 是点 M 沿直线移动得到的（见图 1-3）。

就是说，直线 KK 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。

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 KK 的一维坐标相对于廓形中心 o 的位移使刀具切削刃经过直线 KK ，永远置于成形平面内并与被加工轴线成 λ 角（见图 1-5）。

由上可见，廓形曲线的边数都是奇数，如 XD-3、XD-5、XD-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曲线的基本特征，使得检测廓形名义直径时，便于使用通用、专用测量工具来测量和控制圆轴截面的直径尺寸。另一个基本特征是孔、轴廓形的同轴性能。双偏心 $2e$ 按下式进行

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),往往因为装卸困难造成零件损坏,等距型面无键联接就能够克服这些缺点。

第二节 型面联接的应用

一、使用型面联接的优越性

使用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简化配合截面形状,装卸方便,疲劳强度比键或花键高 3~5 倍,而且承受负荷能力在间隙配合时高 1.2~1.3 倍,过盈配合时高 2 倍。

(2) 异形截面的轴孔配合在保持相同的负荷能力时,由于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,因而具有比键或花键联接更高的效率,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时,异形截面廓形由于减少横截面面积,转动惯量减少,从而减少轴的长度和箱体的尺寸,进而减少了整个机器的尺寸和重量。如绞车减速器,曲边三角形截面轴孔配合代替键联接整体尺寸可减少 $1/3 \sim 1/5$,成本降低 20%~30%,噪声可降低 3~5dB。

(4) 廓形曲线没有锐边,没有凹处,与键或花键相比,消除了应力集中现象,增长了轴、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性能,甚至在很小的载荷时也能使齿轮在轴上自动定心,因而无键联接的定心精度在大载荷作用下高过花键 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,增大了弯曲刚度,不会发生像花键联接那样轴齿轮分别为单个零件。

(7) 在切削刀具上采用等距型面无键联接增加了刀杆的强度、寿命和扭转刚度,因为它将继续切削的刀具紧固,具有阻力器的性能,是一个很好的扭转缓冲器,如果刀具的柄部采用等距廓形,可以保证刀柄紧固联接,防止刀具损坏,提高生产率。

二、型面联接制造工艺的优越性

与键联接相比,型面联接件的制造工艺有以下优越性:

(1) 制造无键联接的轴(孔),省去了花键铣床、磨床,因而与制造花键相比,成本减少 30%~70%,等距型面轴比花键轴便宜 50%以上,因而减少了金属切削设备数量和占地面积,大大减少机床品种和人员数量。

(2) 无键联接轴孔廓形结构简单,轴孔不存在尖角,因此工艺上可采用强化工艺——淬火滚压、挤压以及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) 由于廓形横截面可以用一个直径 D_m 来代表,因而可采用通用工具控制廓形横截面形状,便于测量非柱状轴孔,消除了测量花键联接时的困难。

(4) 正由于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。

三、应用状况及实例

前苏联生产的 $\Theta\text{III}-6/60$ 掘进机的行走机构及 $\Theta\text{BF}-15$ 绞车等煤矿机械的传动机构中已成功地使用等距型面联接，不但效率高，而且制造成本低，其寿命、可靠性、强度等性能得到明显改善。

德国 Pittler 公司和 Fisher 公司生产的车床、铣床，前苏联生产的 $6\text{Д}82\text{III}$ 型等车床、铣床及瑞士 Schmid 公司生产的压力机上的床头箱、进给箱、挂轮架上的轴与轮毂联接采用了 XD-3 等距型面联接，提高了传动精度，降低了噪声。

美国 Brndix 公司设计的刀杆、刀柄为 XD 圆柱状廓形，利用专用环和螺杆实现工具与刀杆相对转动，使扩孔钻自动定心并楔紧，使刀杆、刀柄配合处产生的预加接触变形，防止了配合面径向移动和磨损，保证了刀具和刀杆的同轴度。

原西德 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 XD-3 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 XD 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，前苏联 $\text{III}X12$ 喷雾机轴带轮采用等距曲线 (XD-3) 三边形廓形联接，与花键联接相比不但工艺简单，而且寿命长， $\text{ДОН}-1500$ 收割机轴带轮采用 XD-5 曲边五边形廓形联接，经试验表明，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。

$\text{T}28 \times 4\text{MA}$ 型拖拉机，两动盘轴采用 XD-3 曲边三边形廓形，经制动试验表明，这种廓形不仅工作正常，而且经 600 小时试验没有磨损。苏联 $\text{УПХ}-1.5\Gamma$ 型棉花机链轮装在 XD-5 曲边五边形廓形轴上，不用防松螺栓，经野外试验表明，工作时链轮自动与链处在一个平面内，不发生脱链现象。此外摘棉花机的摘取器的轴与齿轮采用 XD-5 等距曲线廓形联接，在 1989 年对摘棉花机进行试验，在工作中没有故障，齿轮副磨损及振动噪音比花键联接小，效率高。

由以上可见，用型面联接代替键或花键联接有着广阔的应用前景。

四、应用场合

等距型面无键联接主要用于下列情况：

(1) 传递扭矩：金属切削机床、锻压机、铸造机、矿山机械、农业机械、减速器、工作电机等机械中轴与齿轮的联接。

(2) 用作传动：机械无级啮合、无间隙减速器、纺织机械曲柄、液压马达中的联接。

(3) 用作固定：等距型面卡头、夹紧尺寸范围大的等距型面偏心套、调整导轨和其他情况的自动控制螺纹联接。

(4) 用于对中：金属切削机床头架、尾架的等距型面联接套，机体零件平面和廓形插头的定位。

由于等距型面廓形在载荷作用下，有制动现象，所以在轴与齿轮传递扭矩又同时轴向移动的情况下不允许采用。

第三节 型面联接传动的基本类型

型面无键联接的廓形曲线有等距曲线(XD曲线,见图1-4)、正弦廓形曲线(ZX曲线,见图1-6)、摆线廓形曲线(BX曲线,见图1-7)等,后两种曲线用于造船机械中,廓形曲线可以是连续的(XD廓形和D廓形)和间断的。间断曲线是指沿廓形顶端圆切掉(XD廓形)。

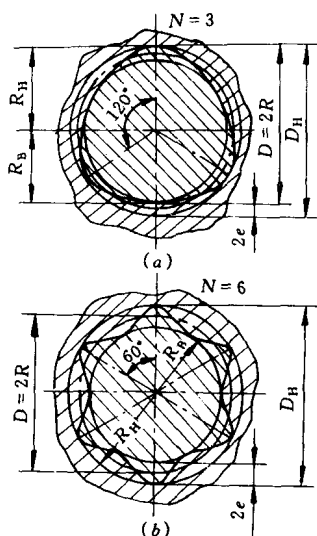


图 1-6 型面联接正弦廓形 (ZX 曲线)

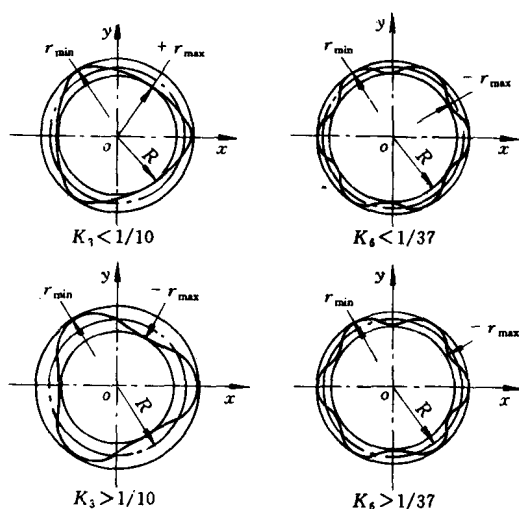


图 1-7 型面联接摆线廓形 (BX 曲线)

各种形式的轮廓曲线的几何形状见图1-4、图1-7,用下列参数代表:

综合参数	径向矢量	ρ
模型参数	廓形平均半径	R
	圆周平均直径	$D_m = 2R$
	廓形偏心	e
	边数(倍数)	N
	步距	$t = 2\pi/N$
参考参数	内切圆直径	d_{N1}, d_{N2}
	外切圆直径	d_{W1}, d_{W2}
	切削圆周直径	d_{1q}, d_{2q}
	廓形角参数	φ

从上面图中可见型面无键联接有三种基本类型:

一、XD 廓形

XD廓形曲线(见图1-4、图1-8)与其他形式的曲线有本质的区别,其边数都是奇数的即XD-3、XD-5、XD-7等;因而具有两个基本特性:

(1) 圆周平均直径 D_m 等于廓形名义直径 XD。这表示非圆轴(孔)直径和廓形相对于

两平行切线间的距离与接触部位无关,是个常量,因而廓形的名义直径便于用通用、专用测量工具来测量和控制圆截面的直径尺寸。

(2) 轴孔配合的同轴性。由于廓形为奇数边,便于定心,同轴性能好,在 e/D 比值达到一定时,具有制动性能。

图样标注包括曲线的形式、基本参数。如 $\text{XD}-3-25-\frac{\text{H}7}{\text{g}6}/1.6 \frac{\text{H}7}{\text{h}6}$ 表示三边的 XD 廓形 (XD-3),

廓形平均直径 $D_m=25$

配合为 $\frac{\text{H}7}{\text{g}6}$

双偏心 $2e=1.6$

偏心上配合为 $\frac{\text{H}7}{\text{g}6}$

单独的轴 (孔) 用一个公差来表示

例如 孔: $\text{XD}-3-25-\text{H}7/1.6\text{H}7$

轴: $\text{XD}-3-25\text{g}6/1.6\text{h}6$

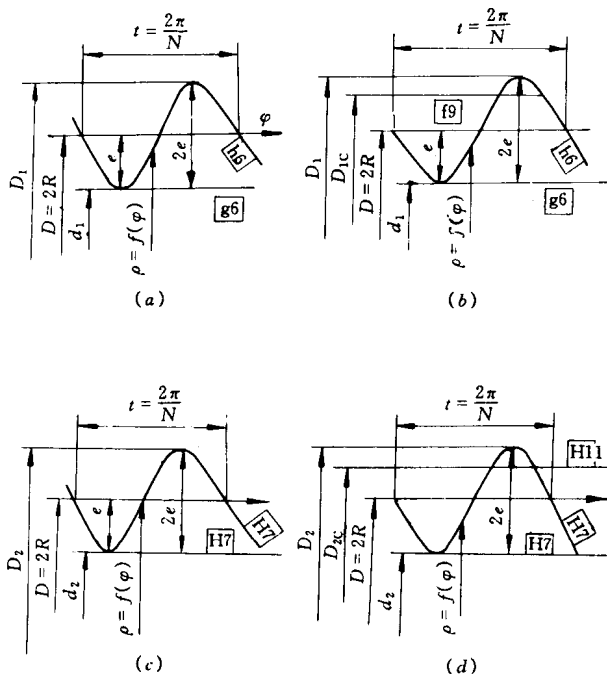


图 1-8 型面联接的尺寸公差带

如

$$\text{XQ}-4-24 \frac{\text{H}7}{\text{g}6}/1.0 \frac{\text{H}7}{\text{h}6} \times 28 \frac{\text{H}11}{\text{f}9}$$

式中 XQ-4——边数为 4;

$24 \frac{\text{H}7}{\text{g}6}$ ——圆周直径与相应配合;

二、D 廓形

D 廓形是图 1-4 所示廓形边数取偶数的情况,因此不具备 XD 廓形上述的两个基本特征。

三、XQ 廓形

XQ 廓形曲线 (见图 1-8、图 1-9) 是断续的,廓形顶端圆被切掉一部分,它的边数可以是偶数也可以是奇数,因此不具有 XD 廓形的两个基本特征,主要用于 XD 廓形不能适应的场合。

(1) 轴套配合联接时又要传递扭矩,又要同时移动的情况 (如果采用 XD 廓形会出现制动现象)。

(2) 轴与薄壁套配合联接,要求采用多边形廓形时,这时可采用 XQ-6、XQ-7 等。

图样标注包括定心尺寸和非定心圆周尺寸以及双偏心尺寸和联接配合。

1.0 $\frac{H7}{h6}$ ——双偏心相应配合；

28 $\frac{H11}{f9}$ ——非定心直径与相应配合。

单独的轴孔标注用一个范围公差来表示

例如 套 XQ-4- (24H7/1.0H7) × 28H11

轴 XQ-4- (24g6/1.0h6) × 28f9

从三种廓形可以看出，XD 廓形具有优良的性能，因此在机械传动中得到广泛应用。

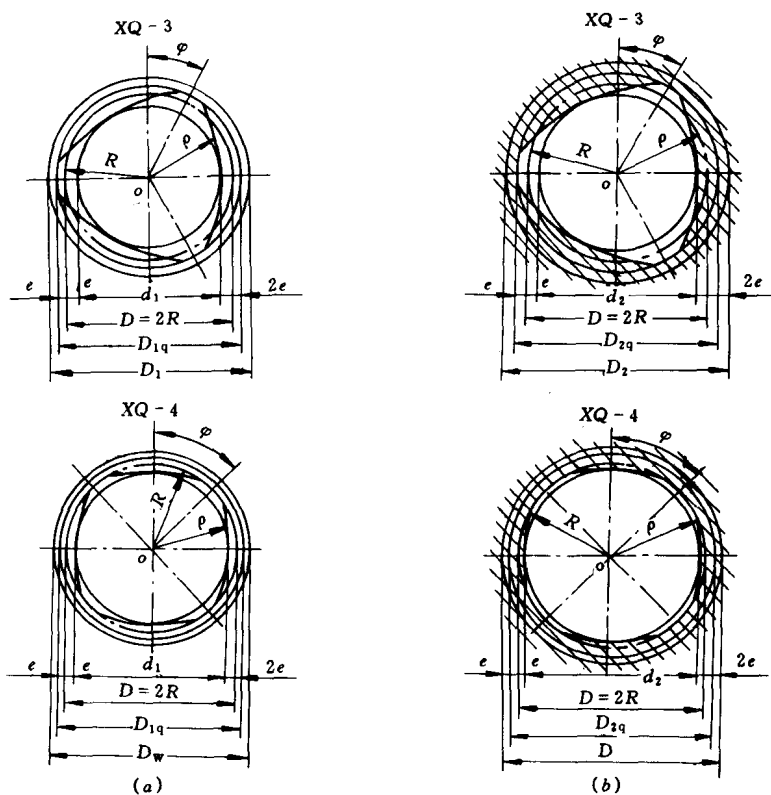


图 1-9 型面联接的 XQ 廓形

第四节 几何参数设计

一、等厚柱面的方程与几何参数

在如图 1-4 所示的坐标系中，等距柱面的参数方程为：

$$\begin{cases} x = (R - e \cos N\varphi) \cos \varphi - N e \sin N\varphi \sin \varphi \\ y = (R - e \cos N\varphi) \sin \varphi + N e \sin N\varphi \cos \varphi \end{cases} \quad (1-10)$$

式中， φ 为角参数， R 、 e 分别为平均半径和偏心量， N 为凸棱数（称面数），应为奇数，可取为 $N=3, 5, 7\cdots$ 。

从解析几何学可知,该柱面的几何形状完全取决于 R 、 e 和 N , 因此 R 、 e 和 N 就是等距型面 (以后称等距型面) 的几何参数。

二、凸棱数 N 的选择

由式 (1-10) 可得:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \frac{dx}{d\varphi} = [(N^2-1)e\cos N\varphi - R]\sin\varphi \\ \dot{y} &= \frac{dy}{d\varphi} = [(N^2-1)e\cos N\varphi - R]\cos\varphi \\ \ddot{x} &= \frac{d^2x}{d\varphi^2} = [(N^2-1)e\cos N\varphi - R]\cos\varphi - N(N^2-1)e\sin N\varphi \sin\varphi \\ \ddot{y} &= \frac{d^2y}{d\varphi^2} = [(N^2-1)e\cos N\varphi - R]\sin\varphi + N(N^2-1)e\sin N\varphi \cos\varphi\end{aligned}$$

故可求出等距型面轴截面圆周上任一点处的曲率半径 ρ 为:

$$\rho = \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}}{|\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}y|} = R - (N^2-1)e\cos N\varphi \quad (1-11)$$

由该式易知, 最小曲率半径 $\rho_{\min}$ 为

$$\rho_{\min} = R - (N^2-1)e \quad (1-12)$$

$\rho_{\min}$ 的大小不仅影响等距型面联接的工作特性, 而且影响毂孔的工艺性。分析可知, 当 $\rho_{\min}$ 过小时, 凸棱变尖, 加工工艺受限, 甚至难以加工, 加工费用也会增加。因此在一般情况下, 应尽量提高 $\rho_{\min}$ 的值。当 R 、 e 一定时, 由式 (1-12) 可知, N 应尽量取小值。常用的等距型面联接, 一般应取 $N=3$ 。

三、偏心量的选择

式 (1-12) 还表明, R 、 N 给定后, e 即成为 $\rho_{\min}$ 的决定因素。为保证等距型面是连续光滑的柱面, 应使 $\rho_{\min} \geq 0$, 即应有

$$R - (N^2-1)e \geq 0 \quad (1-13)$$

由此可得:

$$e \leq \frac{R}{N^2-1} \quad (1-14)$$

当 $N=3$ 时, 有

$$0 \leq e \leq \frac{1}{8}R \quad (1-15)$$

从工艺方面考虑, 当毂孔要磨削时, 所用砂轮的直径 $2r_s$ 直接取决于 $\rho_{\min}$ 。为了提高生产率和表面质量, 要求磨削线速度达到一定值。砂轮直径 $2r_s$ 取较大值对加工有利。但 r_s 必须满足下式:

$$r_s \leq \rho_{\min} \quad (1-16)$$

显然, 欲使 r_s 足够大, 必须使 $\rho_{\min}$ 足够大。若希望 $r_s = \frac{1}{2}R$, 则应用 $\rho_{\min} \geq \frac{1}{2}R$, 在这种条件下, 由式 (1-12) 易知, e 应满足

$$0 \leq e \leq \frac{R}{2(N^2-1)} \quad (1-17)$$

当 $N=3$ 时, 有

$$0 \leq e \leq \frac{1}{16}R \quad (1-18)$$

满足此式的 e 值, 可以保证毂孔能用 $r_s = R/2$ 的砂轮中心的运动轨迹亦为偏心量为 e 的等距曲线。若 e 取值较大, 则 r_s 就减少。对于 $N=3$ 的等距型面。若取 $e = R/8$ (或 e 很