

端齿盘分度装置

金令波 编写

国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

端齿盘分度装置/金令诚编著. —北京:国防工业出版社,1995.9

ISBN 7-118-01394-3

I. 端… II. 金… III. 分度圆盘-分度-基本知识 IV. TH712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 14073 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 214 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:13.10 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。

4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是:负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图

书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金

第一届评审委员会组成人员

主任委员： 邓佑生

副主任委员： 金朱德 太史瑞

委员： 尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘书长： 刘琯德

前 言

端齿盘分度装置是一种新颖的高精度的分度装置。它在精密测角和分度领域中的重要地位和作用已得到了人们的公认。随着端齿盘分度装置研究的深入和发展,应用范围不断地扩大,至今已逐渐完善,日趋成熟。为了使端齿盘分度装置在四化建设中更好地发挥出它应有的作用;为了进一步促进端齿盘分度装置深入研究和开发应用;为了弥补目前这方面技术资料稀少的欠缺,将近几年来端齿盘分度装置的设计、工艺、应用等方面的研究成果和实践经验进行了整理,并尽可能将我国这方面的先进技术和成果总结进去,较全面地反应出来,力求有一个比较系统的论述,以供有关同志参考。

本书共分七章,第一章简要地介绍了端齿盘分度装置的特点、分类、国内外研制概况;第二章对端齿盘的工作原理和精确度理论进行了探讨;第三章端齿盘的设计;第四章比较详细地论述了端齿盘的工艺理论和实践;第五章,各种类型端齿盘分度台的典型结构;第六章,端齿盘分度装置精度检测方法和检测误差分析;第七章,端齿盘分度装置在角度检测、仪器、专用测试设备、机床、精密机械加工中的应用技术。

本书以研究成果、实验分析、实践经验为主,理论与实践结合,力求简明扼要,便于应用。

在撰稿过程中,得到了陈在礼、姚继文、张祖武教授、朱松年副审编、杨文昇主任、付展堂副总,以及六三五四所、705所西安分部、新华机器厂领导的热情支持、指导和帮助,在此表示衷心感谢。

向为我国端齿盘分度技术发展作出贡献的同志,向为本书付出辛勤劳动的同志,以及陶国梁、季国定、张瑶珍、闻光萍、戴达聪、

林美玉、张文彬、倪竟文、陈瑞兴等许许多多同志,致以敬意和谢意。

本稿经金文凯、吴佳常同志审阅。

由于本人学识有限,时间匆促,书中缺点和错误在所难免,恳请有关专家及广大读者批评指正。

目 录

第一章 诸论	1
§ 1 端齿盘分度装置的特点	1
§ 2 端齿盘分度装置主要结构组成及其作用	3
§ 3 端齿盘分度装置的分类	4
§ 4 端齿盘分度装置国内外研制概况	5
第二章 端齿盘分度原理和精确度理论	9
§ 1 端齿盘	9
§ 2 端齿盘分度原理	11
§ 3 端齿盘分度精确度理论	12
§ 4 弹性齿端齿盘和刚性齿端齿盘分度精度	16
第三章 端齿盘的设计	21
§ 1 端齿盘的精度项目与技术要求	21
§ 2 端齿盘材料选用与热处理要求	24
§ 3 端齿盘主要结构参数的确定	26
§ 4 差动端齿盘的设计方法	34
第四章 端齿盘工艺理论与实践	40
§ 1 齿盘加工误差和分度精度的理论分析	40
§ 2 齿盘典型工艺过程	45
§ 3 直齿齿盘铣齿工艺及加工误差分析	50
§ 4 鼓形齿齿盘齿形的连续铣削加工	72
§ 5 齿形磨削工艺	77
§ 6 端齿盘齿面易位对研理论与实践	85
§ 7 啮合高度与齿面研磨过程中的精度测量	98
§ 8 端齿盘热处理工艺分析	102
第五章 精密端齿盘分度装置——端齿盘分度台	111
§ 1 精密端齿盘分度台	111

§ 2 工作台不需抬起的端齿盘分度台	119
§ 3 差动端齿盘分度台	123
§ 4 带细分装置的端齿盘分度台	127
§ 5 精密端齿盘分度台的装配和调整	144
第六章 端齿盘分度装置误差检测方法及其测量误差分析	148
§ 1 检测方法及检测装置	148
§ 2 分度精度的测量方法	158
§ 3 细分精度的测量方法	177
§ 4 影响检测精度的因素	182
§ 5 端齿盘分度装置其他性能的测试	187
第七章 端齿盘分度装置应用技术	193
§ 1 精密端齿盘分度装置在角度检测中的应用	194
§ 2 精密端齿盘分度装置在数显精密测角仪中的应用	204
§ 3 利用精密端齿盘作为惯性器件测试设备的测角元件	212
§ 4 端齿盘分度装置在精密机械加工中的应用技术	226
§ 5 机床上的端齿盘分度装置	240
§ 6 端齿盘连接器	250
附录	251
附录一	251
附录二	252
附录三	253
主要参考文献	254

第一章 绪 论

§ 1 端齿盘分度装置的特点

随着我国工业生产、国防建设和科学技术的发展,度盘、正多面棱体等圆分度器件,无论在精度、使用范围和使用效果等方面,都已不能满足发展的需要。因而出现了圆感应同步器、圆光栅、光学轴角编码器、环形激光器、电磁分度盘、电容分度以及端齿盘分度等新技术,为圆分度技术和圆分度的检测提供了新的手段,从而使分度精度和使用效率大为提高,使用范围进一步扩大。

端齿盘分度装置是较为年轻的一门技术,由于它独特的优点而引起了人们浓厚的兴趣和密切的关注,并迅速得到了应用和推广。目前,它已成为重要的分度技术之一,广泛应用于国防工业和机械工业等各个领域。

端齿盘分度装置以分度准确,重复定位精度高,能自动定心(有固定的啮合中心),无角位移空程,分度精度不受正反转影响,使用寿命长等其他分度装置很难具有的独特优点,在精密测角和分度领域中占有特殊重要的地位。国外一些权威的计量机构将端齿盘分度装置(精密端齿盘分度台)作为角度的实物基准。国内也广泛应用于检测转台、各种分度台、圆感应同步器、多面棱体、角度块规、精密度盘和各种光学校镜等。

端齿盘分度装置的上齿盘和下齿盘啮合时,由于全部齿牙同时参与啮合定位,多齿啮合的“平均效应”和“弹性过约束原理”,使端齿盘的啮合分度精度大大地高于齿盘的加工分度精度。端齿盘分度装置较以往各种分度装置,其精度提高了一个数量级(目前分度精度已达到 $0.1''$)。由于齿盘在任意同心圆上的齿厚和齿槽宽

度相等,因此啮合时没有齿侧间隙存在,其分度精度也就不受正反转的影响。齿牙的向心性使啮合端齿盘具有固定的啮合圆中心。这也是导致端齿盘分度装置具有很高重复定位精度的主要原因之一(重复定位精度为 $0.02''$)。端齿盘分度装置的使用过程恰似端齿盘的对研加工过程,正确的良好的使用可以不断地改变端齿盘啮合齿面的接触精度,逐渐减小啮合分度误差(在一定范围内),磨损不但不会使精度降低,反而可能有所提高,这是其他分度装置不可能具备的独特优点。

端齿盘分度装置还具有结构简单、紧凑,体积小,工艺性好,易实现自动分度等特点。在精密测角仪器、机床、伺服位置转台、专用测试设备、专用分度夹具、特殊连接器、精密圆刻线机以及其他精密圆分度装置中得到了广泛应用。

端齿盘分度装置的设计、制造、使用、维护较其他分度装置简单,加工制造不需要特殊设备,几乎所有的工厂都能制造。这对大搞技术改造,提高劳动生产率和分度准确度是十分有利的。

此外,端齿盘分度装置还具有承载能力强,刚性好,分度速度快,操作简单,使用方便,对环境要求不高,价格低廉等优点。近来在精密机械加工中的应用日益广泛。

端齿盘分度装置的上齿盘和下齿盘啮合时,齿牙彼此相嵌,接触面积大,尤如一个整体。当齿盘刚度足够时,可以承受很大的载荷和机械加工中的切削力。特别是鼓形齿端齿盘分度装置其刚性相当好。

可见,端齿盘分度装置是一种用途广泛又有发展前途的高精度分度装置,积极推广、深入研究、努力开发端齿盘分度装置,对赶超世界先进水平,解决科研生产关键都有一定的现实意义。

但端齿盘分度装置也存在着一些缺陷:

不能进行任意连续分度,分度时至少要转过一个齿,所以一般只能将圆周分成有限的等分角。

端齿盘分度装置只有在上下齿盘啮合时才具有自动定心作用,而在脱开和分度过程中没有一个固定的回转轴线,这就给被测

件(或被加工件)与端齿盘啮合圆的同轴度调整带来困难。

利用端齿盘分度装置分度时,必须将上齿盘抬起一个齿高使其脱离啮合位置,这不利于使用。同时,上齿盘在起落过程中,应保证安装在工作台上的被测件(或加工零件)不产生移动,又不能因夹紧力过大而引起变形。

端齿盘一般需要一个轴向啮合力,以保证上下齿盘的啮合精度。这个轴向力的大小影响端齿盘分度装置的工作精度,而且还有可能引起变形。这对精密测量是一个不利的因素。

此外,上齿盘起落过程中易产生冲击力,必须考虑啮合速度,这影响端齿盘分度装置的工作效率。

随着端齿盘分度装置研究的不断深入和发展,这些缺点都得到了不同程度的克服。例如,采用差动端齿盘,附加细分装置,解决了不能任意分度问题,使分度值达到很小($0.1''$ 、 $0.625''$);利用基准圆和基准平面,解决了使用过程中的调整问题;设计全自动和半自动端齿盘分度装置,可以使轴向啮合力恒定,起落运动较为平稳;工作台不需抬起端齿盘分度装置的出现,改变了端齿盘分度装置的使用特性。

§2 端齿盘分度装置主要结构组成及其作用

虽然,端齿盘分度装置的结构形式很多,使用要求也各不相同,但从工作原理上分析,其结构一般由端齿盘、起落旋转机构、基座三个主要部分组成。

端齿盘是端齿盘分度装置的“心脏”,起标准角度输出和精密圆分度作用。它的结构设计和加工精度直接决定了端齿盘分度装置的工作精度和使用性能。

起落旋转机构的主要作用:①将上齿盘抬起一定的高度,保证上齿盘和下齿盘能进行相对旋转运动,分度转动结束后又能带动上齿盘平稳地下降;②为啮合端齿盘提供合适的、均匀的、恒定的轴向啮合力;③根据分度角使上齿盘相对下齿盘进行旋转分度。起

落旋转机构设计是否合理影响端齿盘分度装置的使用性能。当起落旋转机构不干涉上、下齿盘自由啮合时,它不影响端齿盘分度装置的工作精度。

基座是端齿盘的安装基准,连接各个部分的纽带,同时也是端齿盘分度装置使用时的安装基准。通常,它的结构根据起落旋转机构的形式和端齿盘分度装置的使用要求进行设计。

此外,端齿盘分度装置按照不同的使用要求,有时还有传动系统、液压(或气动)系统、控制系统、联锁保护装置等。

§ 3 端齿盘分度装置的分类

端齿盘分度装置通常按照工作性质、应用范围、结构形式、使用特点进行分类。

按端齿盘分度装置的工作性质和应用范围可分为

- (1)精密端齿盘分度台;
- (2)端齿盘分度回转工作台;
- (3)端齿盘定位装置;
- (4)端齿盘连接器。

按端齿盘分度装置的分度方式可分为

- (1)按齿盘齿数分度的端齿盘分度装置;
- (2)差动端齿盘分度装置,按差动的齿数又可分为:一齿差动端齿盘分度装置和多齿差动端齿盘分度装置;
- (3)带细分装置的端齿盘分度装置,又可分为机械细分端齿盘分度装置和激光干涉细分端齿盘分度装置。

按端齿盘分度装置起落旋转机构的结构形式可分为

- (1)偏心轴式端齿盘分度装置;
- (2)凸轮式端齿盘分度装置;
- (3)杠杆式端齿盘分度装置;
- (4)螺旋槽式端齿盘分度装置;
- (5)多头螺旋式端齿盘分度装置;

(6) 活塞油缸(气缸)式端齿盘分度装置;

(7) 电磁式端齿盘分度装置。

按端齿盘分度装置的自动化程度可分为

(1) 手动端齿盘分度装置;

(2) 半自动端齿盘分度装置;

(3) 全自动端齿盘分度装置。

按端齿盘分度装置的使用状态可分为

(1) 水平式端齿盘分度装置(工作台处于水平状态);

(2) 垂直式端齿盘分度装置(工作台处于垂直或倾斜状态)。

按端齿盘分度装置工作台的运动可分为

(1) 抬起式端齿盘分度装置;

(2) 不抬起式端齿盘分度装置,它还可细分为双齿圈不抬起式端齿盘分度装置、导柱不抬起式端齿盘分度装置和凸耳不抬起式端齿盘分度装置。

§ 4 端齿盘分度装置国内外研制概况

端齿盘分度装置的历史可追溯到 20 世纪 30 年代。那时,我国已有工厂试图利用端齿盘提高分度装置的精度。由于当时历史和客观条件的局限未能得到进一步的发展。

1956 年,美国 A. A 量规公司(A. A. Gage Inc.)研制成功 $z=360$,分度精度为 $\pm 0.25''$ 的刚性齿端齿盘分度台后,端齿盘作为高精度分度装置而引起了人们的重视。

60 年代初期,该端齿盘分度台经美国国家标准局(NBS)检定确认分度精度为 $\pm 0.25''$ 。在这期间,美国的端齿盘分度装置的研制得到了较大的发展。除 A. A 量规公司外,密执安工具公司(Michigan tool Co.)和穆尔工具公司(Moore tool Co.)也生产各种规格的端齿盘分度台,并作为产品销售到英国、前联邦德国、日本、瑞士等国家。

同时,美国对端齿盘加工系统进行了精化,采用立方氮化硼砂

轮磨削端齿盘齿形,然后用逐齿易位对研的加工工艺,研制出 $z=1440$,分度精度为 $\pm 0.1''$ 的端齿盘分度台。经英国物理研究所(NPL)、美国国家标准局、前联邦德国物理技术研究院(PTB)检定,分度精度不低于 $\pm 0.1''$ 。端齿盘分度台分度精度为 $\pm 0.1''$ 检定证书的最早签发日期是 1964 年 10 月。美国利用 1440 齿、分度精度为 $\pm 0.1''$ 的端齿盘分度台检验精密转台。端齿盘分度装置开始应用于精密角度测量和精密机械加工。

60 年代末,国外开始进行端齿盘细分度的研究。1969 年美国穆尔工具公司研制成功 1440 齿小角度分度器。美国生产的齿数为 360、720、1440、2160 的各种规格端齿盘分度台均备有正弦尺细分装置。目前,美国端齿盘细分装置的最小分度值为 $0.1''$,分度精度为 $\pm 0.5''$ 。同时,美国还设计制造了 1440、1441 齿自动分度差动端齿盘分度台,其最小分度值为 $0.625''$,分度精度为 $\pm 0.25''$ 。

日本三井精机 H5B 和 H6B 鼓形齿端齿盘分度台,用 $\pm 0.25''$ 端齿盘和自准直仪检定,分度精度在 $\pm 1''$ 以内。日本安田工业鼓形齿端齿盘分度台,用美国穆尔工具公司 $\pm 0.1''$ 端齿盘和自准直仪检定,最大分度误差为 $1.7''$ 。日本津田驹工业分度台分度精度实测为 $2''$ 。日本广岛精制作所 MPA-10 型分度工作台,分度精度在 $\pm 0.25''$ 以内。

1967 年,前联邦德国《工业消息》(Industrie anzeiger);1968 年,瑞士《精密技术》(Microtecnic)杂志;1970 年,前苏联《机械制造师》(Машиностроитель)杂志;日本《应用机械工程》(応用機械工学),《机械与工具》(機械と工具)杂志;1972 年,英国《机械与生产工程》(Machinery and production engineering)杂志;1973 年,日本《机械设计》(機械設計)杂志;……都先后对端齿盘分度装置进行了专文介绍。

由此可见,各国对端齿盘分度装置是十分重视的。虽然,生产端齿盘的国家不少,但生产水平较高批量较大的是美国三个公司,穆尔工具公司端齿盘的加工水平处于领先地位。

1965 年,我国引进了 A. A. 量规公司生产的 MOX-3600 型端

齿盘,以及可作水平、垂直方向使用的 $\phi 300$ 端齿盘分度台。尔后又引进了密执安工具公司 MOX-3600-5 型端齿盘分度台。与此同时开始研制精密端齿盘分度台,并对端齿盘的加工工艺进行了研究,研制出分度精度为 $\pm 0.1''$ 刚性齿端齿盘分度台,为我国端齿盘分度装置的研制、推广、应用起到了促进作用。

60 年代末 70 年代初,我国端齿盘分度装置的研究试制工作普遍展开。首先在机床、工具行业取得了十分可喜的成果。端齿盘分度装置成功地应用于齿轮磨床代替了磨齿机的分度板;应用于螺纹磨床上的分度夹具,高精度移位夹具;并利用端齿盘测量插齿刀、精密蜗轮,设计研制成功 3A 级插齿刀自动周节检查仪、3 级精度齿轮半自动周节检查仪(分度精度为 $\pm 0.5''$)。

弹性齿端齿盘是我国发展的一种新型端齿盘。1965 年~1967 年期间,原一机部机械科学研究院对端齿盘的设计进行了大胆创新,研制成功高精度弹性齿端齿盘分度工作台。该院在《高精度分度工作台高精度齿盘部分试验结果中间报告》一文中,对弹性齿端齿盘的一般原理、试验过程、精度都作了较为详细的叙述分析。弹性齿端齿盘的产生推动了我国端齿盘分度技术的迅速发展。

1972 年,我国研制成功外径 $d = \phi 180\text{mm}$,齿数 $z = 360$ 的弹性齿端齿盘分度台,并经中国计量科学研究院等单位抽查,分度精度小于 $0.2''$ 。同时,对高精度弹性齿端齿盘的检定方法、测试条件、使用性能进行了研究,积累了许多宝贵经验。1974 年,在“全国长度计量与精密测试技术交流会”上介绍了《 $0.2''$ 分度台的检定和存在问题》一文。

70 年代,我国的端齿盘分度装置得到了普遍应用。端齿盘用于程控机床的气动自动分度回转台,双面车床刀架及主轴,以及其他自动机床、专用机床、机床通用回转工作台、专用夹具、位置转台、精密测角仪器。并用端齿盘分度装置刻制玻璃度盘、圆感应同步器,加工液压马达缸体、框架,装调检测精密圆转台。开始生产用于机床的不同规格的端齿盘(外径 $d = \phi 150 \sim 1250\text{mm}$,齿数 $z = 120 \sim 180$)。 $\phi 800\text{mm}$ 端齿盘磨齿后分度精度为 $\pm 1.2'' \sim \pm 2.5''$ 。齿

盘啮合圆中心和基准孔轴线的同轴度误差 $0.01 \sim 0.04\text{mm}$, 研齿后分度精度达到 $\pm 1''$ 。

目前, 我国的端齿盘加工技术已达到国际先进水平, 已能生产 360 齿、391 齿、420 齿、421 齿、720 齿、1440 齿系列精密端齿盘分度台, 最高分度精度达到 $0.1'' (\pm 0.05'')$ 。1440 齿分度精度为 $0.2''$ 磨制端齿盘试制成功, 使齿形磨削工艺又有了新的突破。

随着端齿盘分度装置的发展和应用范围的扩大, 端齿盘细分度的研究不断深入和完善。已能生产 360 齿与 400 齿、400 齿与 432 齿、……各种差动分度值多种结构形式的差动端齿盘分度台。研制成功最小分度值为 $0.1''$, 分度精度为 $0.53''$ 的纯机械细分端齿盘分度台和最小显示值为 $0.01''$, 分度误差不大于 $\pm 0.5''$ 的带微机测量系统的激光干涉细分端齿盘分度台。

1972 年, 我国用组合夹具元件拼装成鼓形齿铣齿装置, 试制成功 $\phi 240$ 的鼓形齿端齿盘, 其分度精度为 $30''$, 1973 年分度精度达到 $10''$ 。磨削鼓形齿端齿盘的分度精度达到 $7''$ 。

随着航空工业和数控机床的发展, 鼓形齿端齿盘必然得到广泛应用和迅速发展。