

内部刊物

# 科技与情报

精密分度元件

—端齿盘设计、加工与检验

1975

3

第三机械工业部三〇三研究所



# 毛主席语录

无产阶级必须在上层建筑其中包括各个文化领域中对资产阶级实行全面的专政。

我们要保持过去革命战争时期的那么一股劲，那么一股革命热情，那么一种拚命精神，把革命工作做到底。

我国人民应该有一个远大的规划，要在几十年内，努力改变我国在经济上和科学文化上的落后状况，迅速达到世界上的先进水平。

# 科技与情报

第三期 (总第十期)

1975年10月

## 目 录

### 前 言

#### 一、概述

- (一)名称和分类.....(2)
- (二)特性及用途.....(4)
- (三)国内外研制和应用简况.....(6)

#### 二、端齿盘的设计和计算

- (一)端齿盘的分度原理.....(10)
- (二)端齿盘基本参数的选择和计算.....(10)
  - 1.外径、齿数和齿宽的选定
  - 2.齿形和齿面光洁度的要求
  - 3.理论齿底线与节平面夹角的计算
  - 4.差动齿盘齿数的确定
  - 5.精度项目和允差
- (三)端齿盘材料及热处理要求.....(16)
- (四)端齿盘的细分装置和起落旋转机构.....(17)
- (五)端齿盘零件图的绘制.....(19)

#### 三、端齿盘的加工

- (一)鼓形齿盘的加工.....(23)
- (二)直齿端齿盘的加工.....(24)
- (三)端齿盘的研磨加工.....(27)

#### 四、端齿盘的检验

- (一)啮合时的轴向尺寸.....(29)
- (二)径向和轴向跳动.....(29)
- (三)齿面接触斑点.....(30)
- (四)分度精度的检验.....(30)

### 结 语

### 参考资料

# 前 言

“端齿盘”是一种高精度精密分度元件。它具有分度精度高、自动定中心、使用寿命长和分度精度不受正反转影响等特点。由于它多齿连续啮合，经过合理对研，分度精度可以达到0.1~0.2秒，定位重复性能够达到0.02秒。

端齿盘的使用过程是一个自然的对研过程。它可以逐渐减少残余分度误差，不断提高分度精度（当然是在一定限度内），这是其它分度装置所不能相比的。

端齿盘分度装置，操作简单方便，容易实现自动分度。它结构紧凑小巧，加工制造不需要特殊设备，几乎所有工厂都有条件制造。这对大搞技术改造，提高生产效率和不断提高分度装置的准确度都是非常有利的。

端齿盘是美国 A. A. Gage Inc. 的技术专利，从国外高价引进政治上是不利的经济上是吃亏的。遵照毛主席“独立自主、自力更生”的伟大方针研制高精度端齿盘，对赶超世界先进水平和解决科研生产关键都有一定的现实意义。它可以用于检验圆转台（光学或机械式）和多面棱体等高精度分度零件，其测量精度高、测量速度快。端齿盘也可以作为精密加工中的分度装置的准器。它是一种用途广泛的精密分度元件。

目前关于介绍端齿盘的资料较少，我们把在试制和使用端齿盘中的一些粗浅体会进行了一些整理，同时把有关资料作了一些汇集，供有关同志参考。由于我们工作刚刚开始进行，水平又很低所以谬误之处一定不少，恳请阅后提出宝贵意见。



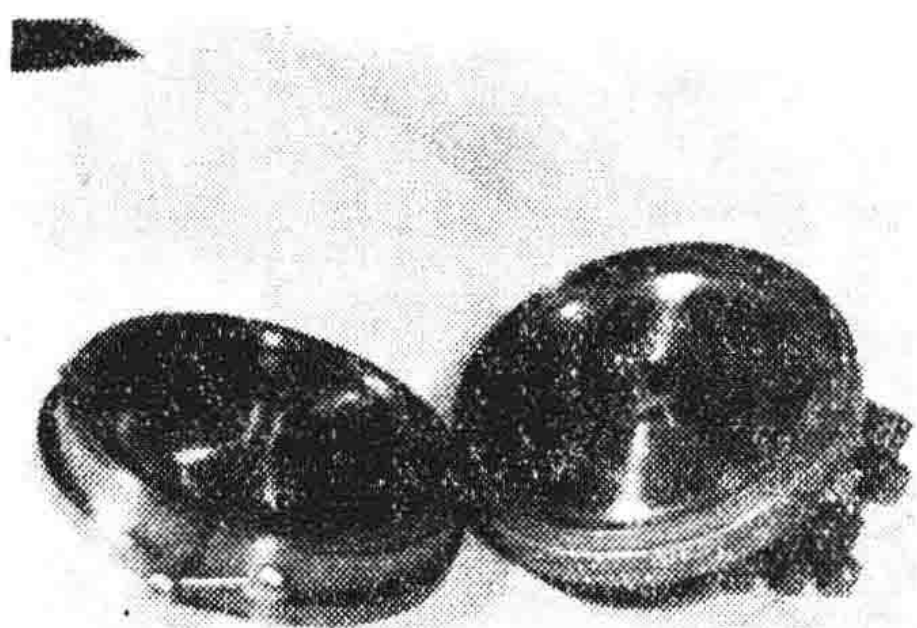
# 一、概 述

## (一) 名称和分类

“端齿盘”按其形状特征、结构形式、工作性质和用途等有各种分类方法，名称也很不统一。为了便于查阅资料和叙述的方便，首先将经常使用的名称和分类简介如下：

端齿盘的形状和端面上带齿的多齿端面离合器完全相同，所以端齿盘亦称“多齿盘”或“细齿盘”。在一定宽度和高度的环形圆周端面，沿半径方向加工若干间隔相等的齿牙，其中任何一牙均可以作为起始牙也可以作为最后一牙，同时齿牙数等于指定的齿数总称为端齿盘（端面齿分度盘）。

端齿盘的齿形多设计为 $60^\circ$ 或 $90^\circ$ 的尖牙，为了防止端齿盘啮合时齿尖被碰坏，常把齿尖加工成圆弧形或把齿形加工成梯形牙。根据端齿盘齿形的特征也形象的称端齿盘为“鼠牙盘”或“端面直齿牙盘”。图(一)为带起落轴的一对端齿盘。



图(一)

国外有些资料，因为端齿盘可以作定位连接器使用，所以也称端齿盘为“直齿连接器”或“弯曲连接器”(即鼓形齿盘)。端齿盘的形状与节锥半角为 $90^\circ$ 的冕状锥齿轮或

齿向加修正的冕状锥齿轮相似，所以也有些资料称端齿盘为“锥形端面齿轮”。

端齿盘按照其工作性质和用途可以分为两大类：

- 1 用于精密分度装置的端齿盘。
- 2 用于连接器的端齿盘。

1. 用于精密分度装置的端齿盘：

用于精密分度装置的端齿盘，又可以按照其结构形式和使用范围的不同、齿牙根部切槽深度的不同、齿向的不同形式和使用的自动化程度以及分度精度的不同进行分类。

(1) 按结构形式和使用范围可以分为：

a. 整数分度的端齿盘，是由一对齿数相等的齿盘构成。上齿盘和下齿盘很精确的啮合，其啮合圆有很高的同心性。上齿盘和下齿盘脱开后，可以将上齿盘旋转一个角度，该角度可以为齿牙间隔的任意整数倍。这种整数分度的端齿盘，分度精度可以达到 $\pm 0.1$ 秒，重复性可以达到0.02秒。

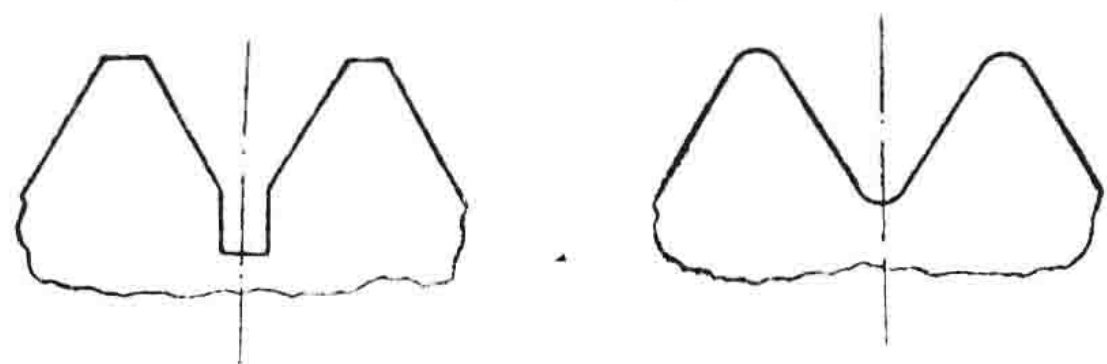
b. 带细分装置的端齿盘，装有附加的正弦尺等细分装置，它能进行分和秒的分度。细分装置可以直接读至0.1秒，它与 $\pm 0.1$ 秒的整数分度的端齿盘联用，在整周范围内的分度精度可以达到 $\pm 0.25$ 秒。

c. 差动端齿盘，是用两对齿数不等的端齿盘叠合在一起进行差动分度。齿数为1440和1441的两对齿盘叠合在一起，最小分度间隔可以达到0.625秒，分度精度不低于 $\pm 0.25$ 秒。

(2) 按齿牙根部切槽深度的不同可以分为：

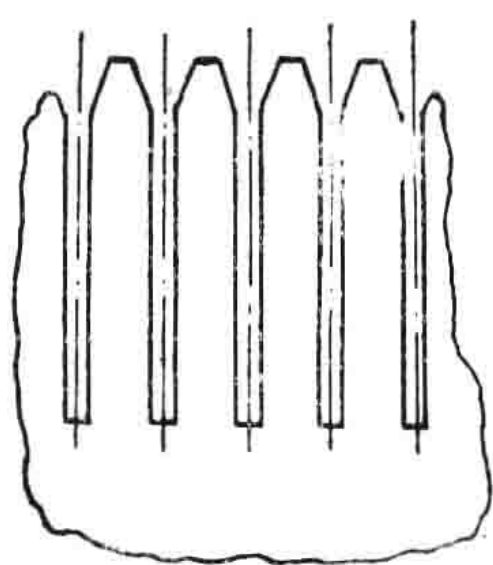
a. 刚性端齿盘，为了保证齿盘工作时能很好的啮合，根据齿牙尺寸的大小在齿底

加工一定宽度和深度的槽或把齿底加工为圆弧形。(刚性端齿盘的齿形如图(二)所示)



图(二)

b. 弹性端齿盘的齿槽深度为齿厚的4~6倍或更深。弹性端齿盘的齿形如图(三)所示。



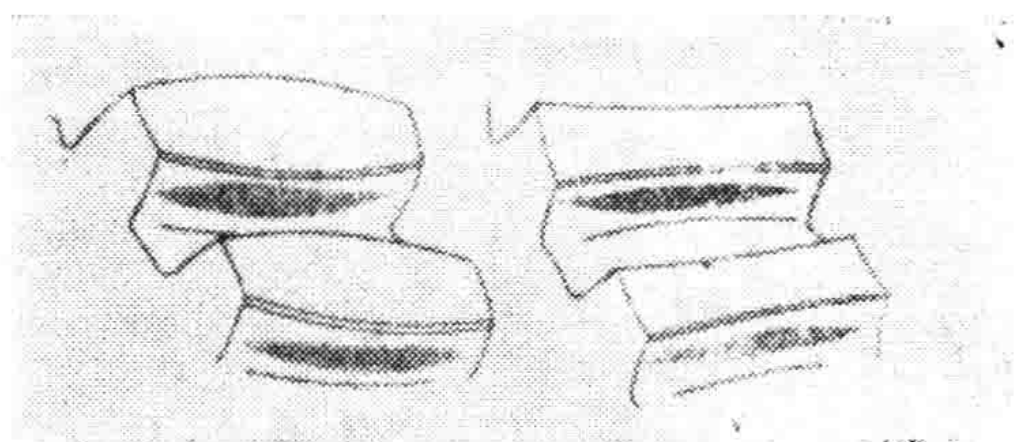
图(三)

c. 半弹性端齿盘, 其齿槽深度介于刚性和弹性齿盘之间, 齿槽深度比弹性齿盘浅而又比刚性齿盘深。

(3) 按齿向的不同形式可以分为:

a. 直齿端齿盘齿形是以圆心为中心呈辐射形, 齿向为一直线。国外某些资料称直齿端齿盘的齿形为 Has 齿形。

b. 鼓形齿端齿盘, 这种齿盘强度高、刚性好, 所以用于连接器的齿盘和用于重型机床分度装置的齿盘, 多设计为鼓形齿端齿盘。这种齿盘的齿向如图(四)所示, 上齿盘和下齿盘其中一个为凹形另一个为凸形。根据鼓形齿盘齿向的特征, 也称鼓形齿盘为“圆



图(四)

弧端齿盘”或“弯曲连接器”。

(4) 按使用的自动化程度和万能性可以分为:

a. 手动型端齿盘。上齿盘的升降和旋转作用凸轮、偏心轴、螺旋升降槽等简单的手动机构来实现所以称手动型端齿盘。

b. 自动分度端齿盘。

c. 半自动分度端齿盘。

上齿盘的升降和旋转可以用马达、气压、液压和各种自动分度及控制装置实现自动或半自动分度。这类端齿盘称自动分度端齿盘和半自动分度端齿盘。

d. 水平使用的端齿盘, 它只能在水平状态下使用。

e. 万能型端齿盘, 是利用弯板和其它机构来实现端齿盘可以在垂直、倾斜等各种位置使用, 这类端齿盘习惯称为万能型端齿盘。

(5) 按分度精度和应用范围可以分为:

a. 用于测量的端齿盘。

b. 用于加工的端齿盘。

c. 高精度端齿盘。

d. 一般精度端齿盘。

端齿盘还可以根据其外径、齿数等规格的不同进行分类。关于端齿盘的名称和分类方法目前尚无统一规定。为了便于查阅资料, 下面把端齿盘常见的几个英文名称转抄附后以供参考。

a. Optical polygon

b. Serrated tooth Circle divide

c. Indexind tables With Meshing radial serrations

d. ultradex

2. 用于连接器的端齿盘:

用于连接器的端齿盘主要用来联接不同机构的两根轴以传递扭矩或运动, 也可以作多支点的长轴连接还可以作为一种安全装置

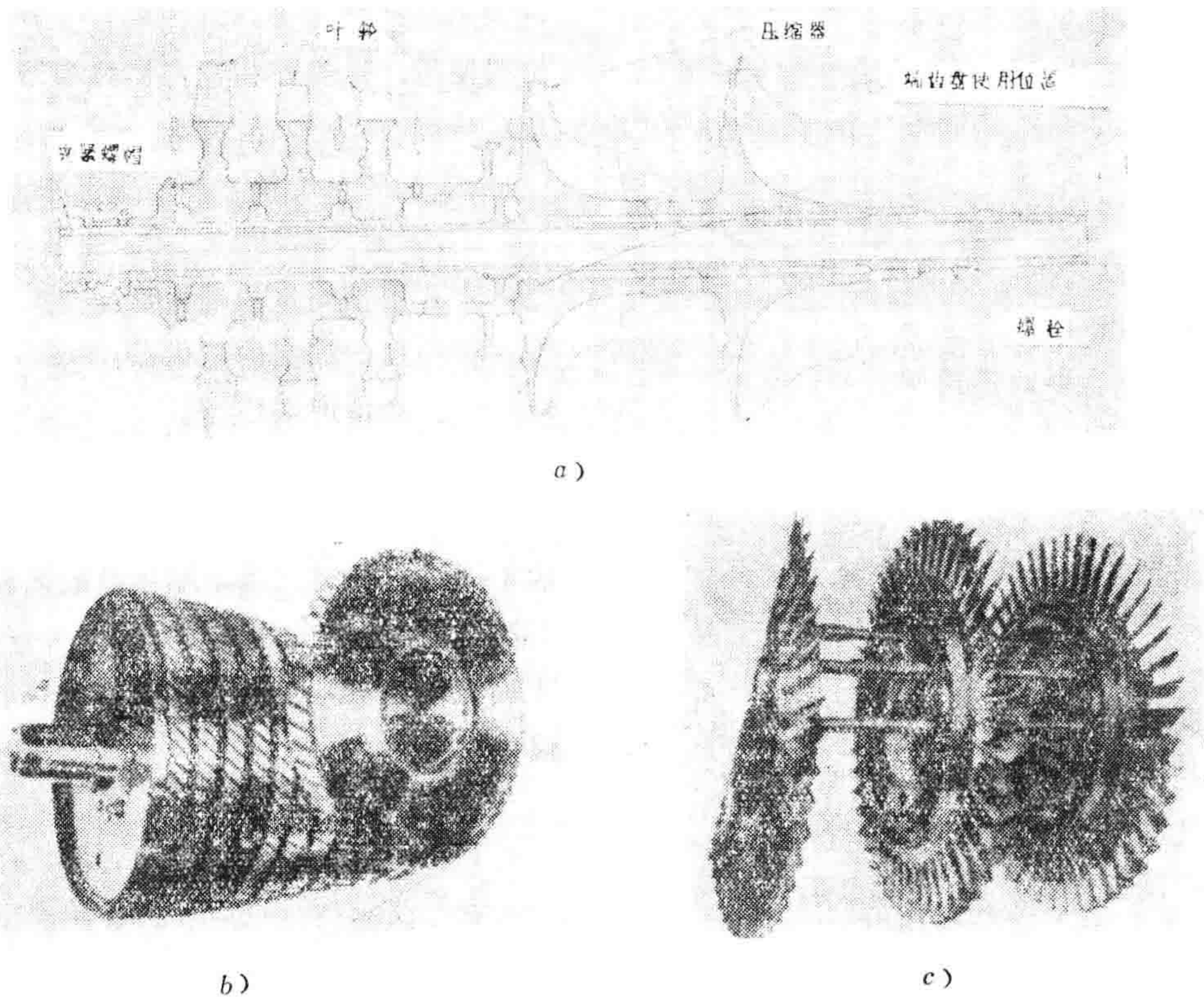


防止过载损坏。端齿盘很早就被广泛的用作联轴器、离合器来获得正反方向的旋转运动、变换旋转速度和用来达到启动和停止的动作。早在1898年德国就建立了制造离合器的专门工厂。

近代，端齿盘成功的应用于飞机、雷达部件和曲轴……等，作为连接件端齿盘是一种理想的高效率的机械连接器。其优点是，易于安装拆卸、结构简单紧凑、具有互换性。使用端齿盘连接只要更换一下已损坏的或磨损的零件，这样可以减少安装工时，便于维修检查。整体结构复杂的机构使用端齿盘，可以把整体结构分为几个部件，这样制造容易、工艺性好。

端齿盘具有自动定中心和传递负荷大的

特点，在航空工业中端齿盘作为连接器广泛地用于喷气发动机的压缩机转子、涡轮机转子及直升飞机螺旋翼的动力转动系统。优点是，易于安装拆卸具有互换性、能够把适当的材料用于适当的地方，对发动机的高温部分，对各截面的温度可以采用适当的材料。飞机的发动机转子，转速一般为10000~40000转/分，涡轮机转子部分温度高达1000℃，要求易于安装拆卸、具有互换性，所以使用端齿盘作连接器是一种理想的高效率连接器。对于小于1000马力的小型燃气轮机，使用端齿盘连接最为适宜。美国F86喷气式发动机的压缩机转子是由12个端齿盘连接，在高温下可以通过端齿盘顶隙送给冷却空气。图(五)是端齿盘作为连接器在飞



图(五)

机发动机的应用举例。

有关用于连接器的端齿盘的详细内容另有专文介绍，本文主要介绍用于精密分度装置的端齿盘的有关问题。

## (二) 特性及用途

端齿盘的主要特性有以下几点：

1. 分度精度高。



2. 自动定中心、能传递大负荷。
3. 使用寿命长。
4. 分度精度不受正反转影响。
5. 使用方便、容易实现分度自动化。
6. 结构紧凑小巧、设计和制造简单。

端齿盘由于是多齿连续啮合，因而具有分度精度高、自动定中心的特点。在不断的使用过程中由于上齿盘和下齿盘不断脱开、移位、啮合，而形成一个自然的对研过程，这样就可以不断改进啮合质量（接触斑点）并逐渐减少残余的分度误差。端齿盘的使用过程也是分度精度不断提高的过程（当然是在一定限度内），这一特点是其它分度装置所不能相比的，其它分度装置由于不断使用磨损和其它原因，使分度精度会逐渐降低。

端齿盘作为分度机构，其精度可以比以往的分度机构提高一个数量级，而且比其它分度机构具有能够长期维持其精度和使用寿命长的特点。目前分度精度能够达到 $\pm 0.1$ 秒的其它分度装置是很少的，它们与端齿盘比较其设计、制造和使用维护都要复杂得多。

端齿盘在工作过程中不存在回转间隙，上齿盘和下齿盘成为一个刚性好的整体，因而它具有分度精度不受正反转影响和能传递大负荷的特点。端齿盘机构简单、结构紧凑小巧、容易实现分度自动化，这些特点也是它迅速引起人们重视的原因之一。

端齿盘作为机床的精密分度装置获得了最为广泛的应用，目前普遍应用于六角车床回转头、铣床和镗床分度装置、各种专用机床分度台，特别是用于数控机床后其价值得到了人们的公认。端齿盘用于精密角度测量，可以检验圆转台（光学或机械式），多面棱体、角度块规、和各种光学校镜等高精度分度零件。我们使用端齿盘在 $\phi 300$ 圆转台（精密蜗轮付分度其分度精度10秒、读数精度2秒）的调装、检验工作中进行了生产试用。比过去使用经纬仪和平行光管的检验方法提

高效率近一倍，同时大大减少了测量人员的劳动强度，其测量数据稳定可靠，初步体现了端齿盘用于精密角度测量的优点。使用端齿盘检定滚齿机、插齿机等齿轮机床可以求得机床的分度误差，通过修正机构进行修正后能够提高机床的加工精度。

端齿盘还可以用于精密测角仪、度盘检查仪、齿轮周节检查仪和精密圆刻线机……等设备内的分度准器。因为端齿盘具有自动定中心的特点，因而不需要设计和制造其它分度装置所必须的精密轴系。若要保证 $\pm 0.1$ 秒的分度精度，轴系的摇晃误差必需小于0.05秒，而要达到这一要求对设计或加工都将是一项十分困难的工作。

端齿盘是一种有发展前途的高精度精密分度元件，作为精密分度装置的准器必然获得愈来愈广泛的应用。当然它也存在一些缺陷和有待解决的问题，很好的掌握这些特点对正确使用端齿盘和进一步扩大其使用范围，都是十分有意义的。通过使用我们感到端齿盘的主要缺点有以下几点：

1. 端齿盘作为分度装置，分度时必须将上齿盘提高一个齿高（需要起落机构），在起落过程既不允许零件相对工作台移动又不能因为夹紧力而产生零件变形，这就要求操作必需十分仔细。

2. 端齿盘只有啮合时才具有很高的自动定心特点，这就给调整零件和端齿盘旋转中心一致带来一些困难。

3. 上齿盘在起落时易产生冲击力，必须考虑啮合速度。同时应保证啮合时不要进入灰尘和油污。

4. 由于转矩的作用要产生轴向力，因此需要夹紧装置。

5. 有关端齿盘的防锈和使用维护等问题，目前也还缺少这方面的经验。

6. 端齿盘还有一个需要解决的问题，是如何用来旋转任意角度。

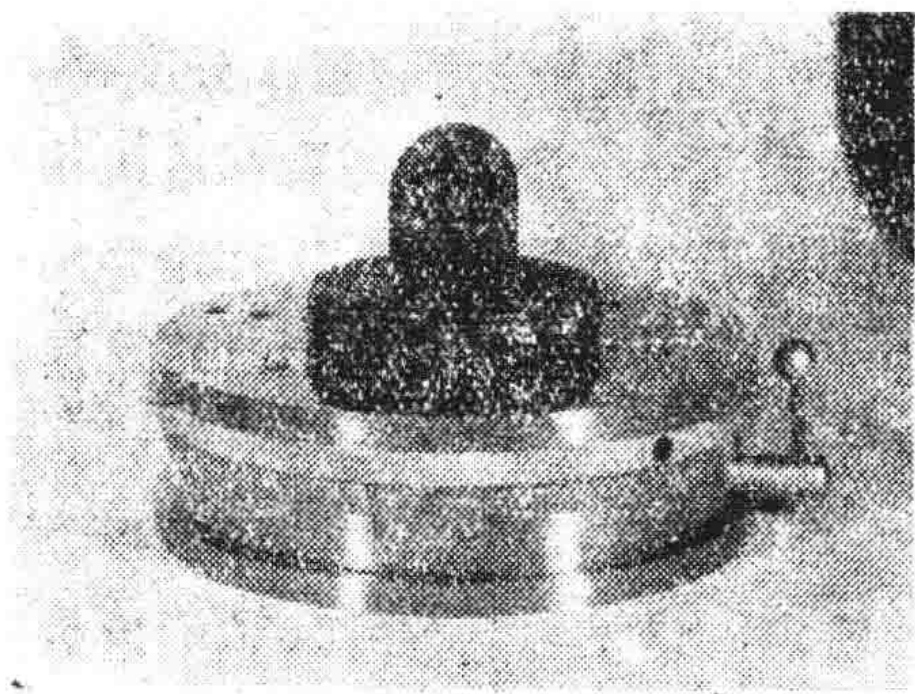


随着端齿盘的设计不断完善，只要合理的安装、使用和维护，端齿盘的上述缺点是可以不同程度的得到克服。例如：设计细分装置可以使端齿盘旋转任意角度、增设辅助基准径可以解决调整中心的困难、全自动和半自动端齿盘可以使上齿盘的起落动作比较平稳。

### (三) 国内外研制和应用简况

端齿盘用来提高分度装置的分度精度，是很早就被人们所认识的。早在30年代国内就有工厂利用端齿盘提高分度装置的精度，当然当时还没有现在的认识。

端齿盘作为高精度的分度装置，是在1956年由美国 A. A. Gage Inc. 研制成功分度精度  $\pm 0.25$  秒的端齿盘后引起了人们的重视。(英文名称为 Optical polygon<光学多边形体>、齿数  $Z=360$  专利编号 No606499、专利索引号 2.921.487) 图(六)是试制的这种端齿盘外观。



图(六)

1961年美国杂志《Tooling and product》(工具制造与生产) Vol27 No8介绍了这种端齿盘的型号(Mox-3600)、规格及用途。1962年美国杂志《Machinery》(机械) Vol68 No5介绍，该端齿盘经干涉法检定，分度精度为  $\pm 0.25$  秒。1964年日本杂志《精密机械》No7“角度标准”一文指出，端齿盘分度精度  $\pm 0.25$  秒是经过美国国家标准

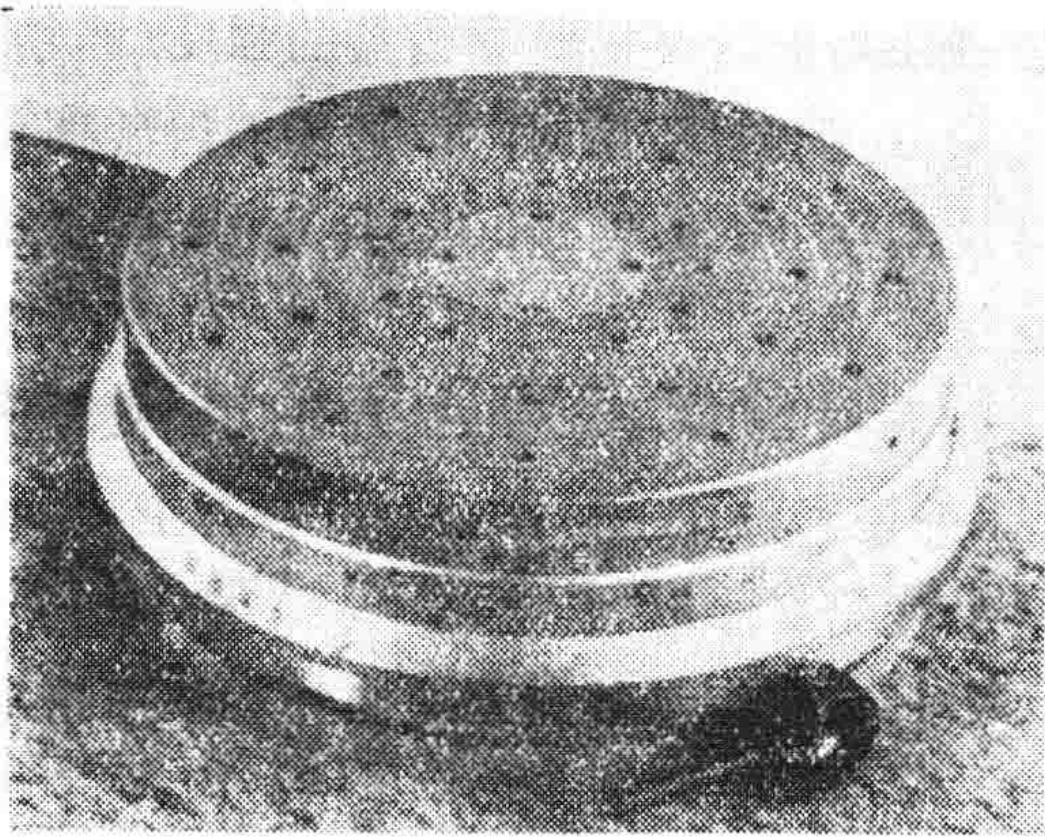
局(NBS)检定通过的。

在这期间美国关于端齿盘的研制得到了较大的发展，除 A. A. Gage Industries Inc 外 Michigan tool Co. 和 Moore tool Co. 也生产了各种规格的端齿盘，并作为产品销售给英国、西德、日本和瑞士等国家。端齿盘被用于精密角度的测量和作为精密加工中的分度装置使用。

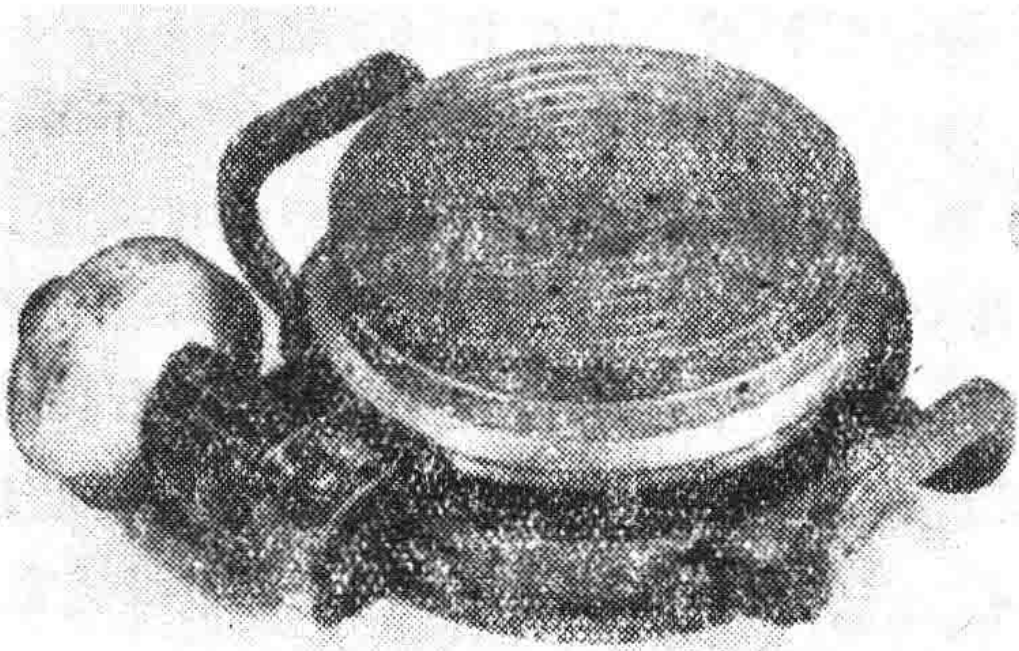
1967年西德杂志《Industrie anzeiger》(工业通讯) No10介绍了端齿盘的分度精度能够达到  $\pm 0.1$  秒。1968年瑞士杂志《Microtecnic》(精密技术) No2介绍了 Moore tool Co. 使用分度精度  $\pm 0.1$  秒、齿数  $Z=1440$  的端齿盘，检验精密圆转台的情况。1968年美国出版的《Handbook of dimensional Measurement》(尺寸测量手册) 1968 USA 一书，介绍了高精度端齿盘的分度精度可以达到  $\pm 0.1$  秒。1970年美国 Moore tool Co. 出版的《The foundation of Machanical accuracy》(机械制造的精度基础) 一书，介绍了  $\pm 0.1$  秒端齿盘最早的检定证书签发日期是1964年10月。书中指出，分度精度  $\pm 0.1$  秒的计量理论和方法是同英国物理研究所(NPL)、美国国家标准局(NBS)、和西德物理技术研究院(PTB)所使用的计量方法完全一致。 $\pm 0.1$  秒端齿盘经过 NPL、NBS 和 PTB 检定，证明分度精度不低于  $\pm 0.1$  秒。1972年英国杂志《Machinery and production engineering》(机械和产品加工) 26 Januarg 1972介绍了 Moore1440 端齿盘的研制过程和  $\pm 0.1$  秒分度精度的检定方法及细分装置的检定方法。图(七)所示为  $\pm 0.1$  秒、1440 端齿盘外观及带细分装置的 1440 端齿盘外观。

1970年苏联杂志《Машпностритель》(机械师) No3 简介了美国 Michigan tool Co. 设计制造的齿数为 1440 和 1441 的自动分度端齿盘。这种端齿盘最小分度





a)



b)

图(七)

可以达到 0.625 秒、分度精度可以达到  $\pm 0.25$  秒。日本杂志《应用机械工学》1970 No 8、《机械与工具》1972 年 No 4、《机械设计》1973 年 No 7 等都先后对端齿盘进行了专文介绍。综上所述可以看出，端齿盘用于精密分度装置是有很大的潜力的，各国都给予了足够的重视。

国内关于端齿盘的研制和应用，近年来也得到了迅速的发展。1965 年第一机械工业部机床研究所引进了 A. A. Gage Inc 生产的 Mox-3600 型端齿盘和可作水平、垂直方向使用的  $\phi 300$  端面齿分度台。

1965 年机床研究所对引进样机进行了测绘，并进行了磨齿工艺的研究。为国内端齿盘的研制和推广起到了应有的作用。

在机床研究所之后，京字 106 部队又引进了 Michigan tool Co 的 Mox-3600-5 型端齿盘。其外径、齿数、精度规格与 Mox-

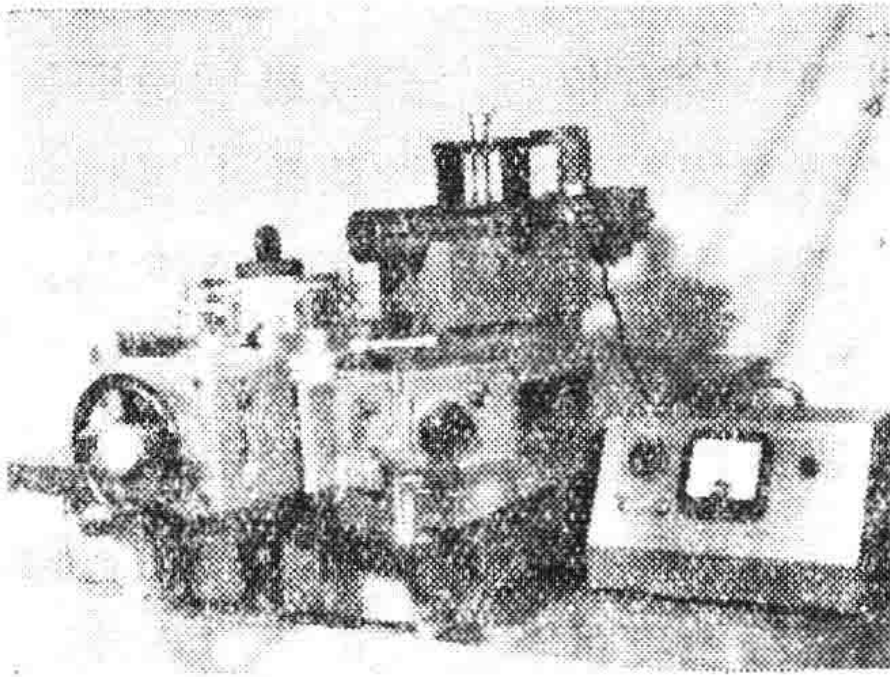
3600 相同。其不同点是采用螺旋槽机构代替偏心轴起落、锁紧。另外高度比 Mox-3600 增加约一倍，提高了齿盘强度。

1965 年以后，国内不少单位进行了端齿盘的试制和研究工作。积累了许多宝贵经验，在生产中发挥了一定效益。上海机床厂用端齿盘代替磨齿机的分度板；上海工具厂用端齿盘测量 3A 级插齿刀并设计了 3A 级插齿刀自动周节检查仪。上海仪表厂用端齿盘测量 3 级精密蜗轮、在螺纹磨床上用作分度夹具还使用端齿盘作为高精度移位夹具。庆安公司 11 分厂，为不少单位加工了不同规格的用于机床的端齿盘。（外径由  $\phi 150 \sim 610$  mm 齿数  $Z = 120 \sim 180$ ）北京齿轮厂设计研制可测三级精度的半自动周节检查仪，1974 年齿盘分度精度达到了  $\pm 0.5$  秒。沈阳第三机床厂研制了，用于六角车床的磨制端齿盘。北京第三机床厂、大连组合机床厂、烟台机床附件厂、无锡柴油机厂、六院九所……等不少单位先后进行了端齿盘的研制及试用。

我所 1972 年试制了五台用于程控机床的气动自动分度回转台（端齿盘外径  $\phi = 480$   $Z = 180$ ）分度精度要求六个工作位置相邻位置允差 5 秒、任意位置允差 10 秒。同年试制了用于双面车床刀架、主轴的端齿盘（ $\phi = 180$   $Z = 180$ ），要求主轴  $90^\circ$  分度误差小于 5 秒。刀盘有四个工作位置，定位重复性允差 0.5 秒。通过检验和试用都达到了设计要求。1973 年我们试制了三台外径  $\phi 127$  齿数  $Z = 360$  的供整数分度用的端面齿多边形棱体。定位重复性稳定到 0.1 秒以内，分度精度达到 1 秒。1974 年我们对端齿盘的使用性能、测试条件进行了一些实验工作。并对多面棱体、经纬仪和弹性齿盘作了一些对比试验。还使用端齿盘试刻了  $\phi 100$  的玻璃度盘和感应同步器的定子和转子。在加工液压马达缸体时，使用端齿盘定位保证了产品质量。通过实践我们对端齿盘分度有了一定认



识。1975年正式用于生产，在10秒精密圆转台的调装、检验中发挥了作用。同时对10台产品的分度精度与经纬仪检定结果进行了对比。图（八）所示为使用端面齿多边形体检验圆转台的情况在转台分度精度要求较低时，可以使用普通1秒自动准直光管代替光电自动准直光管。



图（八）

国内对端齿盘的研制。从分度精度、加工效率及使用推广等方面都还有很大潜力。由于我们对兄弟单位的宝贵经验学习不够，了解的情况大部分是从资料和展览会转抄得来的，必然不准确不全面仅供有关同志在了解国内情况时作为参考。

下面就鼓形齿端齿盘和弹性齿端齿盘的研制和应用情况作一些简单介绍。

鼓形齿端齿盘是由美国格里森（Gleason）公司在1942年试制成功的。三十多年来得到了很大的发展，鼓形齿端齿盘首先用作连接器，以后用于机床的分度装置，近来在各种新型数控机床的分度机构中，与磁分度、感应同步器一样获得了广泛的应用。

鼓形齿端齿盘比直齿端齿盘强度可提高0.5至1.5倍，具有足够的刚性。在齿面接触良好时同一根空心轴的 $\frac{1}{2}$ 强度相似。作连接器使用，其强度与端齿盘齿数无关，主要决定于齿宽、接触面积、齿形角等因素。国外某飞机发动机作连接用的鼓形齿盘，其外径约为 $\phi 285\text{mm}$ 、齿宽约 $3\text{mm}$ 。在作

连接器使用时，必需计算齿盘的强度。一般作机床分度装置使用时，鼓形齿端齿盘具有足够的刚性（300至1000公斤）。日本三井精机工业东京工厂在H5B型数控机床分度台上轴向加2000至2500公斤压力分度精度在72个任意位置上可保证1.9秒、空载时分度精度为2.4秒。

鼓形齿端齿盘的加工，国外均使用格里森（Gleason）专用磨床，生产效率和自动化程度都很高。随着需求量的不断迅速增加，齿盘规格已日趋系列化和标准化。

国内鼓形齿端齿盘的研制单位还不多。天津第一机床厂磨制的鼓形齿盘分度精度达到7"。天津组合夹具组装站于1972年用组合夹具元件拼装成鼓形齿铣床，试制了12台鼓形齿端齿盘，外径 $\phi 240\text{mm}$ 、分度精度达到30秒。1973年该站加工的13台鼓形齿盘，分度精度又有提高，可以保证10秒。

随着数控机床和航空工业的不断发展，鼓形齿端齿盘必然得到迅速发展和广泛应用。

弹性端齿盘，是一机部机械科学研究所由1965年至1967年期间，研制成功的一种高精度精密分度端齿盘。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，对弹性端齿盘的一般原理、试验过程，精度测定结果和分析，都作了较详细的叙述。

弹性端齿盘的优点是，可以减小工艺误差对齿盘分度精度的影响。可以克服定位面（齿面）间，微小灰尘对分度精度的影响。弹性端齿盘与刚性齿端齿盘的区别，是在每个齿的根部加工一条很深的槽，每个齿根部形成一个悬臂弹簧。在理论上，当材料为虎克弹性体，加上的压力使每个齿都接触时，则不管加工误差大小，齿盘分度误差均为零。

机械研究院使用分度精度120秒的圆转台加工外径 $\phi 200\text{mm}$ 、齿数 $Z=180$ 的有



机玻璃弹性齿盘加压 120 公斤时，用 36 面棱体比较测量，端齿盘分度误差为 16 秒。在一个齿盘有十个齿牙脱落的情况下分度误差为 20 秒。

使用 45# 钢加工的弹性齿盘研磨前最高分度精度达到 6 秒。经过对研加工后，测量结果的最大分度误差为 0.2 秒，接近于计量方法的误差。

试验在弹性齿盘的一对齿面间，加 1~5 层厚度为 0.014 mm 铝箔，观测上齿盘角度位移，当厚度在 0.042 mm 以内，看不出上齿盘位置有旋转位移。

京字 106 部队七〇工厂，从 1972 年 2 月开始对弹性齿端齿盘进行研制（齿盘外径  $\phi 190\text{ mm}$   $Z=360$ ），1972 年底调装出精度为 0.2 秒的分度台。经计量科学研究院等十四个单位于 1973 年 5 月检定会抽查，分度误差小于 0.2 秒。

京字 106 部队在弹性齿端齿盘的研制中，进行了大量的测试工作。对其中一台弹性齿端齿盘，用十二面体全组合法测量，数据达 84 组读数三万余次。对高精度端齿盘的检定方法，使用性能，积累了许多宝贵的经验。他们总结了《弹性齿精密分度台的设计》《弹性齿精密分度台主要制造工艺》《弹性齿精密分度台分度精度检验总结》等

（上接第 18 页）

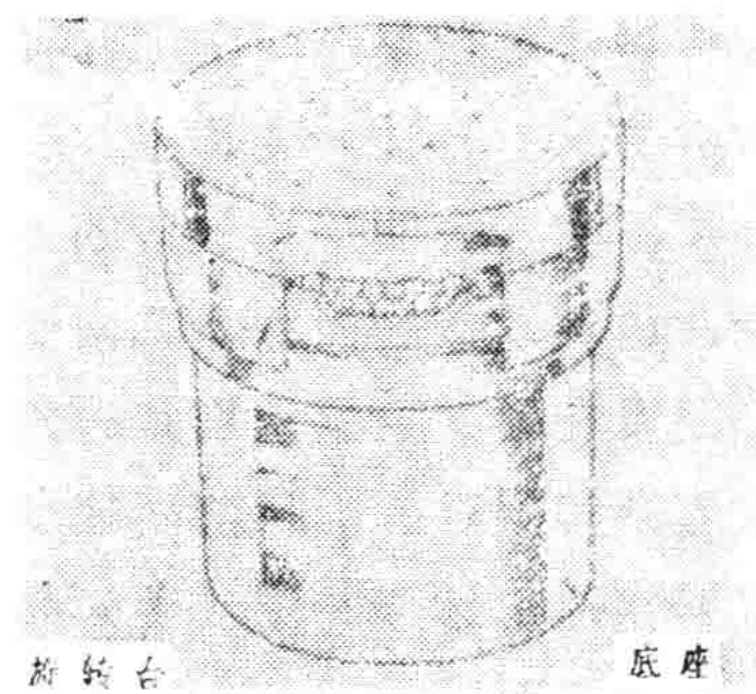
不干涉齿盘啮合的条件下，轴系的配合间隙应该尽可能小，特别是用于垂直使用的齿盘和手动型测量齿盘更是如此。垂直使用齿盘，在上齿盘外圆增加辅助支承有利于齿盘起落旋转的平稳性。同样辅助支承不应干涉齿盘的啮合。

齿盘分度装置的设计，还应充分考虑减轻重量和安装搬运的方便。

有关资料。1974 年在“全国长度计量与精密测试技术交流会”介绍了《0.2 秒分度台的检定和存在问题》。

弹性齿端齿盘的缺点，是使用中必需在轴向加一足够大的压力。其压力的变化将影响齿盘的分度精度。这对在精密测量中要求平稳、灵活和稳定是一个不利的因素。另外弹性齿盘的设计对齿盘的模数（外径与齿数比）有一定范围，比刚性齿盘范围小。弹性齿盘不能作连接器使用，只适用于作分度装置。弹性齿盘的加工比刚性齿盘要复杂一些。

图(九)所示，滚珠装配型分度台。它比上述任何一种齿盘的工艺性都好。Moore tool Co 的这种分度台分度精度可以保证  $\pm 1$  秒。同样它只适用作分度装置，模数也受到一定限制。但由于它的工艺性好，仍然是一种有推广价值的分度装置。



图(九)

## （五）端齿盘零件图的绘制

端齿盘零件图中各项基本参数的选择和技术要求可以参照介绍端齿盘的设计和加工时所提到的原则而决定，也可以根据使用要求和工艺可能性来制定。绘制端齿盘零件图可以参考图(二十)和图(二十一)的图例。图(二十)为直齿刚性端齿盘零件图；图(二十一)为弹性齿端齿盘的零件图。



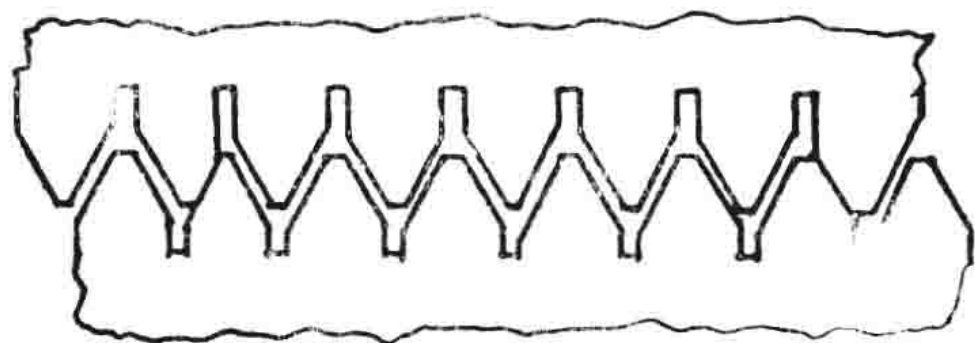
## 二、端齿盘的设计和计算

### (一) 端齿盘的分度原理

端齿盘的分度精度，大大高于齿盘齿牙位置的分度精度。这一极其重要的特性，使得有可能使用低精度的分度装置加工出较高精度的端齿盘。

这个道理可以简单的理解为，由于端齿盘是多齿连续啮合，啮合时总是最凸出的齿面接触，其余齿的定位面都不接触，与最低下的齿面接触几乎是不可能的，因为在接触之前其它比较凸出的齿面已经相接触了。未接触齿面的间隙代表了端齿盘分度误差比齿牙位置误差减小的数量。

端齿盘的这一特性，暂称为端齿盘的“平均效应”。实践表明平均效应的大小与齿盘的直径、齿数、接触面积、轴向受力的大小……等因素有关。定量地细致讨论这一问题是非常复杂和困难的，目前尚缺少这方面的实验数据和理论计算。图(十)为啮合时平均效应的示意图。



图(十)

端齿盘的分度精度与啮合时上齿盘的轴向和径向跳动(不包括基准径、基准面与啮合圆的偏心和不平行误差)有着密切的关系。同样齿牙的齿形角、齿面的接触面积等因素与齿盘的分度精度关系也很密切，关于这方面的研究是端齿分度技术研究工作的薄弱环节。研究单项要素与分度精度的对应关系，

对指导端齿盘的设计、加工都有一定意义。

弹性齿端齿盘的分度原理是，当端齿盘的材料为虎克弹性体(变形和受力成线性比例)，加上的压力使之每个齿都接触时，各个齿都有一个弹性变形。因为每个齿都有回复原来位置的趋势，因而都给于上齿盘一个围绕它自己中心旋转的力矩。每个齿产生的力矩，和齿牙的弹性变形成正比。各个齿给于上齿盘的力矩的总和必然是零。因此，当上齿盘相对下齿盘移动一个齿时，上齿盘移动的角度永远是圆周的 $\frac{1}{z}$ ，而不受加工误差的影响( $z$ :表示端齿盘齿数)。

### (二) 基本参数的选择和计算

#### 1. 齿数( $z$ ) 外径( $D$ ) 和齿宽( $B$ ) 的选择

端齿盘齿数( $z$ )，决定了齿盘可进行的最小分度间隔。齿盘外径尺寸的选定，主要根据分度装置结构的大小和齿数的多少而定。模数(外径与齿数比 $m = \frac{D}{z}$ )过大或过小会给加工带来一定困难。

齿宽( $B$ )的大小及外径( $D$ )决定了作连接器使用时端齿盘承受扭矩能力的大小。其负荷能力与齿数无关。鼓形齿端齿盘的负荷约为一根空心轴的一半。于用连接器的端齿盘要求齿高方向接触必须充分，齿宽方向不小于50%。不允许相邻齿牙同时不接触。齿宽过大，容易引起磨削裂纹、刀具磨损。因此在满足强度的条件下齿宽应尽可能小一些。

关于齿数( $z$ ) 外径( $D$ ) 和齿宽( $B$ ) 的选择目前尚无统一标准。现将三菱〔日〕鼓

形齿系列和部分使用中的端齿盘规格汇集如下。供设计端齿盘时参考。三菱〔日〕鼓形齿端齿盘系列：

外径 (mm)	齿数	齿宽 (mm)	外径 (mm)	齿数	齿宽 (mm)
150	36	10	320	72	16
200	36	16	350	48	25
200	48	16	350	72	20
240	36	16	420	72	20
240	48	16	460	72	20
270	72	16	520	72	20
320	48	16			

大隈铁工所〔日〕鼓形齿盘规格：

外径(mm)	120	200	250	260	320	380	520
齿数	30	36	60	48	72	72	72
工作位置	6	4	4	6	4	6	8
用途	NC车床						MDB-NT NC镗床

使用端齿盘作机床分度装置，工作台尺寸可以大于齿盘外径。“丰田工机”使用外径17吋( $\phi 431.8\text{mm}$ ) $z=72$ 的齿盘作CHN 350、DTN350和ASN50-D的分度台。工作台外径分别为 $\phi 500$ 、 $\phi 630$ 、 $\phi 800$ 和 $\phi 1120$ 。三井·东京工厂，使用外径不大于 $\phi 520$ 的齿盘作H5B、H6B分度台，工作台尺寸为 $\phi 850$ 和 $700 \times 700$ 。鼓形齿端齿盘研磨后三井精机·东京工厂，达到了0.9秒的分度精度。三菱〔日〕端齿盘出厂的鼓形齿端齿盘分度精度标准是 $\pm 3$ 秒、 $\pm 7$ 秒和 $\pm 10$ 秒。

下面将直齿端齿盘部分用例和规格附表如下：

外径 mm	齿数	精度及用途
124	360	$\pm 0.25$ 秒 多边形体〔美〕
203	1440	$\pm 0.1$ 秒多边形体〔美〕
300	360	$\pm 0.25$ 秒 分度台〔美〕

(续)

外径 (mm)	齿数	精度及用途
200	180	0.2秒弹性齿 分度台〔机械院〕
190	360	0.2秒弹性 齿分度台〔七〇工厂〕
$\approx 300$	360	$\pm 0.5$ 秒 〔北京齿轮厂〕
$\approx 300$	120	钻镗床用分 度台〔北京三机床〕
180	180	双面车床刀架 主轴
480	180	程控机床回转台
60~520	30~120	三菱〔日〕 $\pm 3$ 秒 $\pm 7$ 秒 $\pm 10$ 秒

## 2. 齿形和齿面光洁度的要求

端齿盘齿形角最多使用的为 $60^\circ$ ，也可以选用 $40^\circ$ 、 $50^\circ$ 和 $55^\circ$ 等各种齿形角。对于相同的分度精度，其齿形角愈小则啮合圆的轴向跳动愈大（可测量上齿盘的轴向跳动），对同样大小的轴向跳动，齿形角愈小分度精度愈高，但齿形角过小则引起齿部刚性太弱和变形。所以对负荷很大的端齿盘齿形角也有设计成 $90^\circ$ 。

上齿盘和下齿盘，齿形角和半角的对称性是非常重要的，直接影响齿盘的啮合质量。研磨前最好保证在 $\pm 3'$ 范围内。齿形角与名义值的偏差意义并不十分明显。但是一般计算理论齿底线与节平面的夹角都是根据齿形角名义值计算，所以当齿形角与名义值的偏差过大会影响齿盘的啮合质量。

直齿端齿盘，在齿宽方向的啮合质量与理论齿底线和节平面的夹角准确度有关。鼓形齿端齿盘齿宽方向的啮合质量，通过调整刀具与齿盘中心距或改变刀具回转半径可以达到要求。刀具回转半径是根据齿盘直径和齿数选择。为了加工方便大齿盘选刀具回转半径应小一些。而小齿盘刀具回转半径应选择大一些。刀具回转半径愈大，其内圆夹角



$\beta$  就愈大。 $\beta$  角一般可选用  $30^\circ$  或  $45^\circ$ 。

由图 (十一) 可推导出刀具回转半径 ( $r$ )、齿盘平均半径 ( $A$ )、刀具内圆夹角 ( $\beta$ )、刀具回转中心与齿盘回转中心 ( $x$ )、它们的关系式如下:

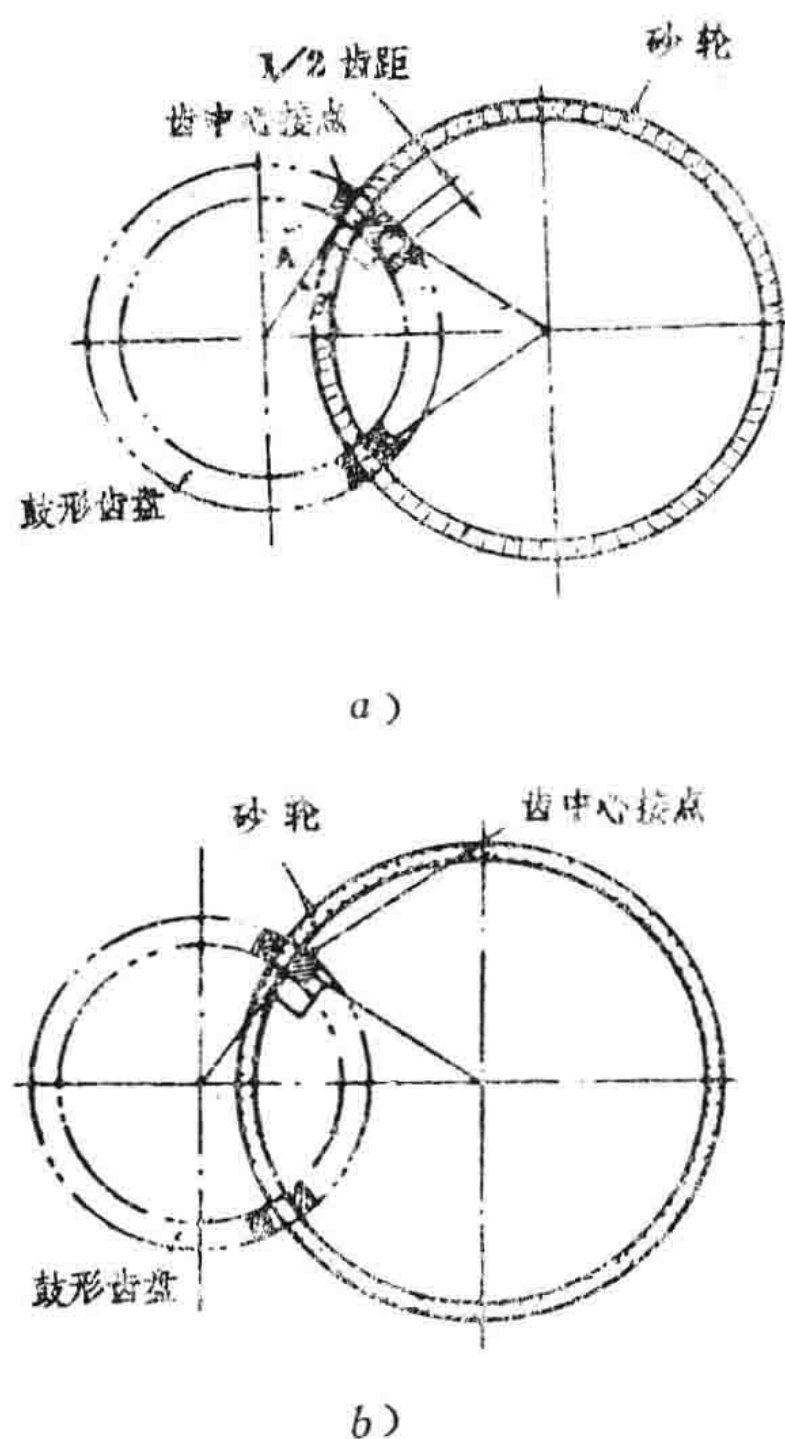


图 (十一)

$$x = \frac{A}{\cos \beta}$$

$$r = A \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$\beta = \frac{90^\circ \times n_x}{N}$$

式中

$n_x$ : 刀具加工面间的  $\frac{1}{2}$  齿距数;

$N$ : 端齿盘齿数。

直齿端齿盘为了保证工作时能很好啮合, 根据齿牙尺寸的大小, 在齿底开有一定宽度和深度的槽。对于齿距很小的端齿盘, 为了得到良好的啮合性能, 齿顶和齿根可以设计为圆弧形, 其圆弧半径要求尽可能小。1440 端齿盘要求齿顶和齿根圆弧小于  $0.0015$  吋 ( $0.038 \text{ mm}$ )。

弹性齿端齿盘在每个齿根部都切有一个

很深的槽 (其槽深为齿厚的  $4 \sim 6$  倍)。机械院外径  $\phi 200$ 、齿数  $z = 180$  的弹性齿盘, 其槽宽选用  $0.88 \text{ mm}$  齿全高为  $15 \text{ mm}$ 。七〇工厂的弹性齿端齿盘, 其外径  $\phi 190$ 、齿数  $z = 360$ 、齿槽宽为  $0.3 \text{ mm}$ 、齿全高为  $6 \text{ mm}$ 。

鼓形齿端齿盘为了减少加工应力的影响, 齿根常设计成圆弧形, 齿根圆弧在不干涉的条件下应尽可能加大。鼓形齿的齿形如图 (十二) 所示。在齿宽方向如前所述, 上齿盘和下齿盘其中一个为凸形另一个为凹形。

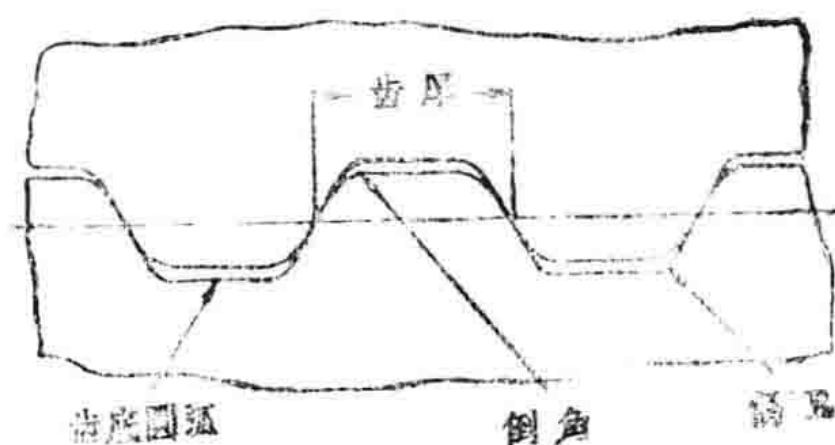


图 (十二)

端齿盘齿面光洁度的高低, 对齿盘的使用寿命, 分度精度有着密切的关系。对高精度端齿盘齿面光洁度一般要求  $\nabla 10$  以上, 磨制鼓形齿盘的齿面光洁度一般要求  $\nabla 9$  以上。对不同精度的端齿盘可以提出对齿面光洁度的不同要求。对于端齿盘的齿顶和齿根等非工作面可以适当降低对光洁度的要求。

### 3. 理论齿底线与节平面夹角的计算

对直齿端齿盘, 为了保证正确啮合。必须正确计算理论齿底线与节平面夹角 ( $\beta$ )。即加工时调整分度台回转中心线和工作台面的倾斜角。以保证齿盘外径部分和靠近中心的内圈部分在节平面上, 齿厚与齿槽宽度相等。

当分度台中心线与工作台面相互垂直时。由于刀具轨迹在垂直于齿盘的截面上宽度不变。因而加工成的齿形只有在齿盘外径的圆周上, 齿厚与齿槽的宽度相等。而靠近中心的圆周上由于半径减小, 圆周长则减小, 齿厚也就随着减小, 而所用加工刀具 (双面

角度铣刀或成型砂轮), 是不可能在加工中缩小的, 因而愈靠近中心的齿顶就愈低于外径部分的齿顶。这样, 上齿盘和下齿盘啮合时其接触情况就不好, 仅在靠近外径一圈上相互接触。

要保证上齿盘和下齿盘很好啮合, 则要求通过  $\frac{1}{2}$  齿高截面 (节平面) 的任意同心圆上, 其齿厚与齿槽的宽度相等。为了达到这一要求, 应该使齿形以圆心  $O$  点为中心呈辐射形如图 (十三)。即加工时要把分度台回转中心线和工作台面倾斜  $\alpha$  角, 理论齿底线与节平面夹角:

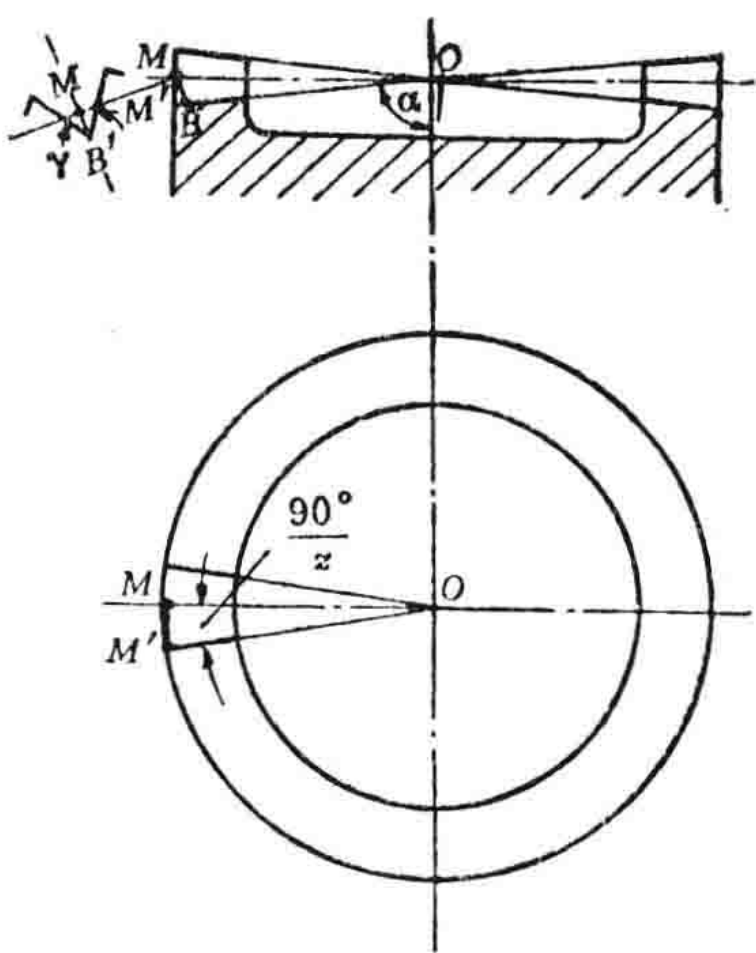


图 (十三)

$$\beta^\circ = 90^\circ - \alpha$$

$\alpha$  角是根据齿形角  $\gamma$  和齿数  $z$  求出, 几何推导如下:

在三角形  $MB'O$  内,  $\angle B'MO = \alpha$  因此

$$MB' = MO \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

在三角形  $MM'B'$  中

$$MB' = MM' \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \quad (2)$$

在三角形  $OMM'$  中

$$MM' = MO \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z} \quad (3)$$

故将 (3) 式代入 (2) 式得:

$$MB' = MO \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \quad (4)$$

由于 (4) 式和 (1) 式右边相等, 即:

$$MO \cdot \cos \alpha = MO \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}$$

消去等式两边的  $MO$ , 即得:

$$\cos \alpha = \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}$$

理论齿底线与节平面的夹角 ( $\beta$ ), 还可以通过计算齿盘外圆周齿距 ( $b$ ) 和内圆周齿距 ( $b'$ ), 求刀具在齿宽 ( $B$ ) 内的相对抬高距离 ( $H$ ), 导出  $\beta$  角的计算式:

在图 (十四) 中

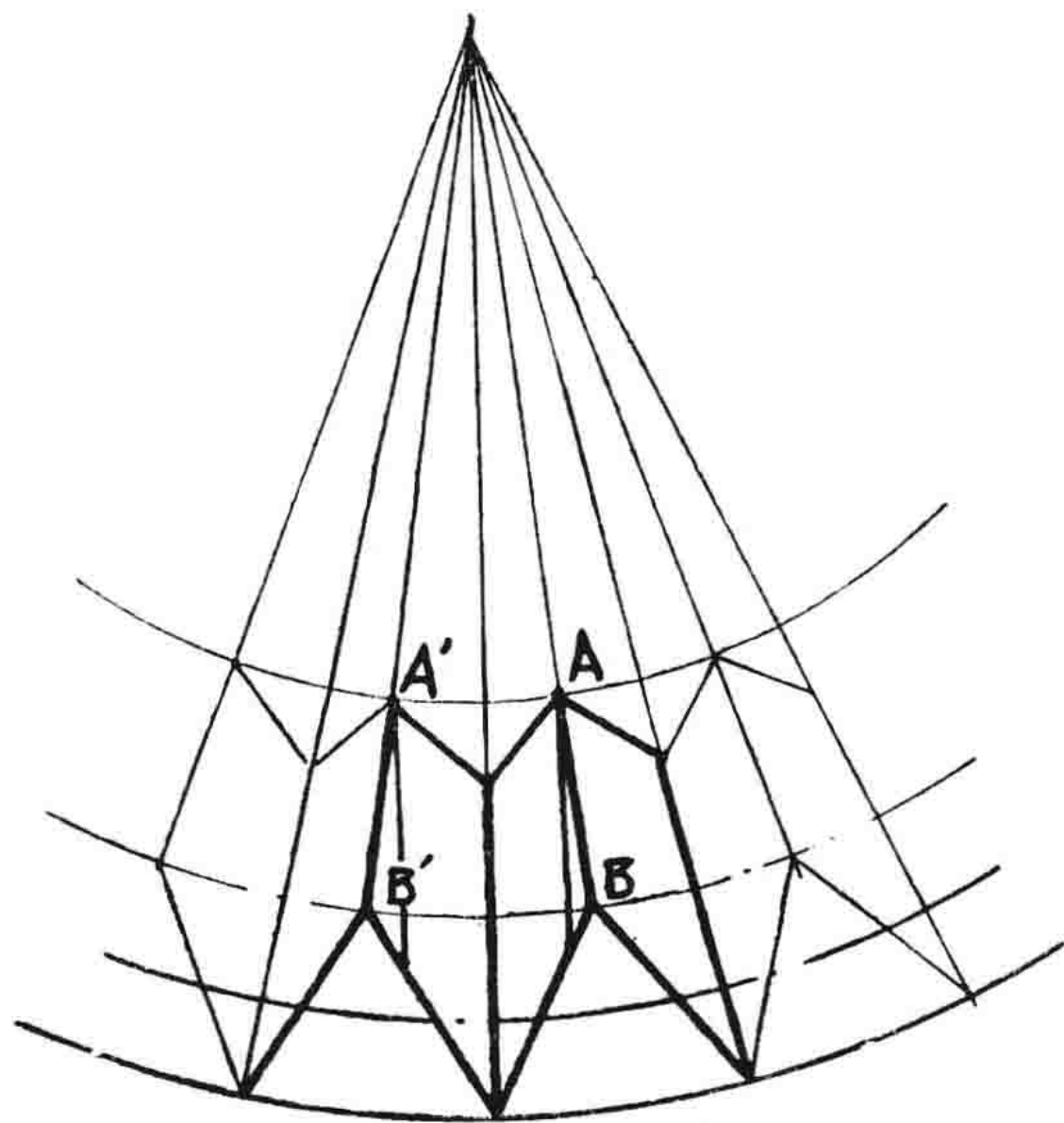


图 (十四)

$$BB' = b = \frac{\pi \cdot D_{\text{外}}}{z}$$

$$AA' = b' = \frac{\pi \cdot (D_{\text{外}} - 2B)}{z}$$

$$H = \frac{b - b'}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{B}$$

应当指出以上  $\alpha$  和  $\beta$  角的推导, 其中齿形角 ( $\gamma$ ) 为刀具齿形角  $\gamma_{(刀)}$ , 与工件齿形角  $\gamma_{(工)}$  的关系式为:

$$\operatorname{tg} \gamma_{(工)} = \operatorname{tg} \frac{\gamma_{(刀)}}{2} \cdot \cos \beta$$

当  $\beta$  角很小的情况下,  $\gamma_{(工)} \approx \gamma_{(刀)}$ ; 当  $\beta$



较大时如：当齿形角为 $60^\circ$ ， $z = 8$ 时， $\beta = 20^\circ 9'$ 。这时要保证 $\gamma_{\text{工}}$ 应根据下式选用 $\gamma_{\text{刀}}$

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{刀}}}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{工}}}{2}}{\sin \alpha}$$

也可以由 $\gamma_{\text{工}}$ 按下式计算 $\alpha$ 角

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \frac{\gamma_{\text{工}}}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{90^\circ}{z}$$

(推导从略)

$\alpha$ 角的计算还应满足

$$\alpha \geq 70^\circ$$

齿顶与节平面的夹角可设计为等于 $\beta$ 或稍小于 $\beta$ 角。满足啮合时不产生干涉，啮合性能好即可，允差可以适当放宽。

对鼓形齿盘不需要计算 $\alpha$ 角。只需要调整刀具回转中心使之垂直于工作台面即可。

#### 4. 差动齿盘齿数的确定

差动齿盘是采用二组齿盘，叠合在一起。工作时先使上组齿盘随下组齿盘转过一个 $j\alpha_1$ 角，然后上组齿盘单独反向转过一个 $i\alpha_2$ 角度。两个转角的差值，就是上组的上齿盘，相对于下组的下齿盘转过的角度。这就是差动分度的原理。差动分度原理可以用下列数学式表示：

$$\alpha_d = j\alpha_1 - i\alpha_2$$

$$\frac{360^\circ}{N_d} = \frac{360^\circ}{N_1} \cdot j - \frac{360^\circ}{N_2} \cdot i$$

上式简化后得：

$$\frac{1}{N_d} = \frac{j}{N_1} - \frac{i}{N_2}$$

$$N_d = \frac{N_1 - N_2}{N_2 j - N_1 i}$$

式中：

$N_1$ ——下组齿盘的齿数

$N_2$ ——上组齿盘一个齿相对应的角度

$\alpha_1$ ——下组齿盘一个齿相对应的角度

$\alpha_2$ ——上组齿盘一个齿相对应的角度

$\alpha_d$ ——差动分度角度

$N_d$ ——等值齿数

$j$ ——下组齿盘转过的齿数

$i$ ——上组齿盘转过的齿数

如果 $\alpha_d$ 已确定，就可以很容易求出 $N_d$ 。但求 $N_1$ 、 $N_2$ 和 $j$ 、 $i$ 需要进行较复杂的计算。现举例说明：

例如：要求 $\alpha_d = 15'$ 求 $N_d$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ 和 $j$ 、 $i$

a：确定 $N_d$ 、 $N_1$ 、 $N_2$

$$N_d = \frac{360^\circ}{\alpha_d} = 1440 \text{ 牙}$$

首先把 $N_d$ 分解为两个互质的因子

$$2440 = 2^5 \times 3^2 \times 5 = 32 \times 45$$

即  $N_1$ ——=32牙  $N_2$ ——=45牙

b：确定 $j$ 、 $i$

由于：

$$N_d = \frac{N_1 \cdot N_2}{N_2 \cdot j - N_1 \cdot i}$$

$$N_d = N_1 \cdot N_2$$

所以

$$N_2 i - N_1 j = 1$$

由上式可求得：

$$j = 5 \quad i = 7$$

差动齿盘适于要求精度高，但不要求分到任意角度，而只要求分得很密时使用。例如制造高精度经纬仪度盘时，要求每 $4'$ 刻一条线。这要求必须用5400齿盘才能达到，但是制造5400齿盘又比较困难。然而采用400和432两组差动齿盘解决就比较容易。差动齿盘作为精密测量用时，当差动分度角度很小时，与光电自动准直光管联用，可以解决任意角度的测量。

下面将差动角度为0.625秒、1秒、 $4'$ 、 $6'$ 和 $10'$ 的几组差动齿盘的选用齿数和转过齿数，推荐如下，供设计差动齿盘参考。

$\alpha_d$	0.625"	1"	$4'$	$6'$	$10'$
$N_1$	1441	128	432	400	432
$N_2$		125			
$N_3$	1440	162	400	360	360
$j$	1	59	1	1	1
$i$		18			
$K$	1	98	1	1	1