

A056  
14

GB(参) 020

A056/14

# 形位公差 应用专题报告集

本手册中引用的标准、规范仅作“参考资料”使用，如需采用，必须以现行有效版本的标准、规范为准。  
院总工程师办公室 1997.10

全国形位公差标准化技术委员会

1983

形位公差  
应用专题报告集  
(一九八三年一月)

☆

全国形位公差标准化技术委员会编辑出版  
机械工业标准化技术服务部发行  
(北京清华东路)

☆

国内发行

1.60元

## 前 言

全国形状和位置公差标准化技术委员会于1982年7月召开了第一届年会。在会上，技术委员会委员和特邀代表相继对独立原则、包容原则的建立与应用、未注公差的分析、形位公差的检测、量规设计原理和ISO/TC10/SC5动态等作了专题技术报告。现将其中13篇汇编成册。这些报告中所涉及的内容大都是对形位公差标准的进一步论证及在实践中应用的初步总结，有些则是对形位公差理论的进一步探讨。我们汇编本册的目的是交流情况、沟通情报，供各地从事形位公差标准化工作和从事形位公差理论与应用研究的同志们参考，以推动形位公差标准的贯彻工作。

为了使大家对公差原则的规定有一统一理解，特将由国家标准局发文下达的形位公差和公差与配合两个技术委员会共同作出的“对独立原则、包容原则和最大实体原则的统一解释”附在后面，作为现阶段处理尺寸公差与形位公差之间关系的依据。

# 目 录

公差原则的建立与分析	航空工业部 301 所	王喜力 (1)
公差原则的应用分析	国营 618 厂	张纪真 (11)
独立原则和包容原则应用刍议	上海机械学院	施云鹄 (30)
公差注法的基本原则及包容原则的应用	沈阳国营新乐电工厂	李云庆 (39)
综合公差带概念	上海市轻工业局标准计量所	吕林森
	上海机械学院测试教研室	施云鹄 (45)
《形状和位置公差 检测规定》贯彻试点工作汇报(摘要)		
	长春第一汽车制造厂	
	吉林工业大学	(57)
圆度误差的两点法、三点法测量	吉林工业大学 甘永立 方亚彬	王 宁 (59)
综合量规的设计原理及其应用	上海市轻工业局标准计量所	吕林森 (72)
谈谈未注形位公差	上海市机电一局科技情报研究所 鲍永恭	朱永涵 (82)
A 513 F型细纱机产品试套“标注公差基本原则”的探讨		
	上海第二纺织机械厂	陈志桐 (88)
形位公差方面的国际标准化情况介绍	机械工业部标准化研究所	汪 恺 (96)
圆锥尺寸注法及公差带分析	唐保宁	汪 恺 (101)
国家标准局批转机械工业部标准化研究所		
“对独立原则、包容原则和最大实体原则的统一解释”		(108)

汇编 杨列群 审稿 汪 恺

# 公差原则的建立与分析

航空工业部 301 所 王喜力

工程图样是传递设计信息的重要手段。继尺寸公差之后，形位公差在图样上的出现无疑会大大提高信息质量，使设计要求表达得更加准确合理。但是随着图样上设计信息的不断增加，若不明确规定相互之间的关系，彼此就会产生各种各样的干涉，引起图样的多种解释，反而会造成对设计意图的多种理解。因此，正确地确定形位公差与尺寸公差的关系成为人们关注和研究的课题。ISO/TC10/SC5经过多年的研究，先后提出了最大实体原则、包容原则和独立原则，从而大体上确立了形位公差和尺寸公差相互关系中应遵循的基本原则，新的《形位公差》国家标准引入了上述公差原则，使得我国的技术制图向国际通用化和现代化迈进了一大步。但必须指出，上述公差原则的引进，特别是独立原则的引进，彻底改变了图样解释中墨守的一些传统概念，对设计、工艺和检验均有较大的影响，因此有必要对公差原则的建立作一些讨论和分析。

## 一、为什么要引进独立原则

### 1. 技术发展的需要

工业发展的初期阶段，零件是通过“配作”的方式来实现装配的，这种原始低效的工艺方法显然无法保证产品的互换性。可以设想，当时的工程图样极为简单，只注尺寸，没有建立公差的概念。

随着生产的发展，产品批量的增加，迫切要求按互换性原理制造零件。十九世纪后期出现的极限量规，改变了零件必须按一个确定的尺寸制造的“配作”加工方式，使之可以按两个极限尺寸限定的范围来加工，即按“公差”制造，使互换性生产成为可能。可以认为，极限量规的出现标志着“公差”概念的诞生。为了适应工业发展的需要，二十世纪初开始建立较系统的“公差”与“配合”的概念，于是出现了《公差与配合》标准及后来成为该标准基础的泰勒原则，初步解决了零件的装配互换性问题。这样一来，尺寸公差成为图样上控制零件几何精度的主要手段，即尺寸公差统管零件的尺寸大小、几何形状和几何位置，或者说尺寸公差是控制形位公差的。

但是后来的实践表明，用尺寸公差来解决几何要素的形状和位置的控制问题，一般讲效果是不好的。通过加严尺寸公差来满足零件较高的形位精度要求，从而保证产品性能的做法是很不经济的，有时甚至是不可能的。例如，将两轴 $\phi A$ 和 $\phi B$ 的尺寸公差规定得再严，也无法控制两者的同轴度误差（见图1）。可见尺寸公差的作用是有限的，因此制订独立的形位公差标准是技术制图发展的必然结果。1969年出现的第一个形位公差国际标准 ISO/R1101-1969 标志着形位公差已自成体系。

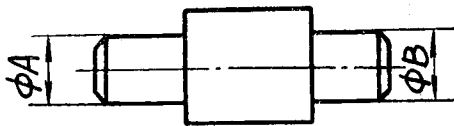


图 1



尽管六十年代和七十年代形位公差有了很大的发展，建立了一系列新概念，但“尺寸公差控制形位公差”这一传统概念并没有发生根本的变化，它一直是世界各国处理形位公差与尺寸公差关系公认的原则。不论在标准中或设计文件中是否明文规定，也不论生产实际中如何检验，人们是按泰勒原则来解释图样的。关于这一点，甚至在ISO/R1101-1969中仍然有所反映。该标准规定：“在只规定尺寸公差的情况下，则该公差控制一定的形状和位置误差（如平面度、平行度）。只要不超出尺寸公差之外，制成工件的实际形状就允许偏离其理想的几何形状。如果要把形状误差限制在另一个界限之内，则应在图样上规定形状公差。”显然，形位公差不论是在图样上注出，还是未注，都要控制在尺寸公差之内。我国《形位公差》试行标准也是按此规定解释图样的，在形状公差中，除轴线的直线度以外，平面度、圆度、圆柱度等项公差均控制在尺寸公差之内。这就产生一个问题：这种控制对某些设计要求是否绝对必要？经济上是否完全合理？

例如，零件上有一个通气或通油孔，尺寸标注如图2所示。按照以往的尺寸解释，当孔的实际尺寸处处做到最大实体尺寸 $\phi 5$ 时，孔轴线的直线度误差只有等于零，该孔才能为量规通过，尺寸才算合格。这意味着孔的实际形状不允许超越MMC边界。但从该孔的功用来看，它只是个通气或通油孔，与其它零件不存在配合关系，只要控制住孔的尺寸大小，就能保证一定的流量要求，而最大实体状态下孔轴线的弯曲并不影响使用要求。可见将该孔硬性控制在MMC理想边界之内在功能上是不必要的。在这种情况下按泰勒原则采用量规判断尺寸无形中加重了设计要求，增加了制造难度，是不经济的。

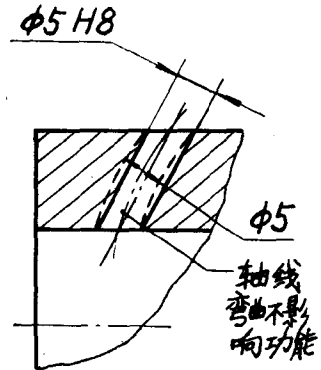


图 2

再如一个测量平板（见图3），其功用是测量时模拟理想平面，形状控制自然是考虑的主要因素，因此对平板表面规定了平面度要求。十分明显，平板平面的功用与该平面是否处在尺寸 $A$ 规定的最大和最小极限边界之内毫无关系，对平面本身的形状要求和平板厚度的尺寸要求是互不相关的两个设计要求，没有必要对“形状”和“尺寸”进行综合控制，即没有必要用尺寸公差来限制平面度误差。

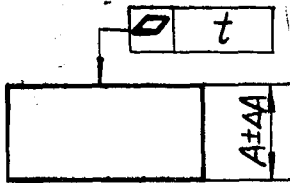


图 3

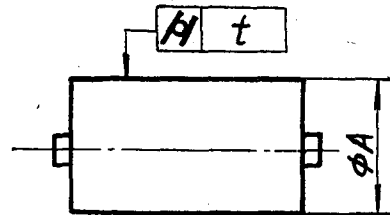


图 4

同样，对于印刷机的滚筒（见图4），重要的是控制其圆柱度误差，以保证接触均匀，印刷清晰，而圆柱体的大小对印刷质量（功能）并无影响。在这种情况下，把圆柱度误差控制在尺寸公差内有什么意义呢？

因此人们有理由怀疑“尺寸公差控制形位公差”这一传统概念是否对每种设计要求都是合理的，有理由怀疑所有尺寸均按泰勒原则判断是否是必要的。从以上几例可以看出，不加任何区别，形位公差一律控制在尺寸公差内的规定是不合理的。从反映功能要求的观点出发，

很多情况并不要求零件的几何要素在最大实体状态下保持理想形状，不要求遵守MMC边界，按泰勒原则判断尺寸，无法反映这类设计要求。因此要准确反映功能要求，获取最佳设计，就必须打破尺寸公差的“控制”，允许那些不该控制的形状和位置公差“独立”出来。于是出现了与泰勒原则完全相反的原则——独立原则。

独立原则是以“两点法测量”为基础的，两点法测得的尺寸是个局部实际尺寸，仅为两测量点之间的距离大小，不能控制整个几何要素的形状和位置，从而保证“尺寸”与“形位”的相互独立性。引出独立原则后，使“尺寸”的概念更加明确，它仅仅是用特定单位表示长度数值的数字，不包含任何形状误差。在研究“尺寸”与“形位”的关系时，这一点应予特别注意。

不难看出，独立原则首先是从反映设计功能要求提出来的。零件的结构型式是多种多样的，功能要求也是多种多样的，想只用一种简单的原则——泰勒原则来处理形位公差与尺寸公差之间的复杂关系，表达各种不同的功能要求是不现实的。为了表达不同的设计要求，就需要在泰勒原则的基础上创建新的制图语言，因此引进独立原则是技术制图发展的必然结果。

## 2. 确保产品质量的需要

如前所述，由于历史的原因，人们普遍接受“尺寸公差控制形位公差”这一概念，即图样上规定的尺寸公差应遵守泰勒原则。尽管这样规定，但在以往的生产实际中却大量采用“两点法测量”来判断尺寸，这种做法显然偏离了传统概念。从现在的观点来看，这种偏离有其合法性的一面，但由于设计上没有明确哪些尺寸应该采用“两点法测量”，哪些部位不应采用，因此“两点法测量”的应用带有很大的盲目性。这样既可能对有配合要求的尺寸，不加分析地采用了“两点法测量”，尺寸判断不合理，影响产品质量；也可能对没有配合要求的部位反而采用量规检验（如图2），加严了设计要求，很不经济。因此必须明确“两点法测量”的应用场合，这就意味着图样上应明确不遵守泰勒原则的公差原则。

实际上“两点法测量”控制尺寸体现的是独立原则，“两点法测量”在生产中广泛使用说明独立原则在实践中早已客观存在，早已广泛使用，问题是过去没有把这种做法上升为理论。显然，为了明确设计要求，统一计量原则，克服“两点法测量”使用的盲目性，保证产品质量，降低成本，标准中也应该引进独立原则。

总之，独立原则是为解决客观实际存在的问题、反映基本设计要求而提出来的，是在总结各国实践经验的基础上提出来的。国际标准化组织为此做了长期的大量的工作，ISO/TC10/SC5于1973年成立了第五工作组（WG5），专门从事形位公差与尺寸公差之间关系的研究，经过1975年4月的伦敦会议、1976年11月的柏林会议、1977年11月的渥太华会议以及1981年5月的巴黎会议的反复讨论，最后确认独立原则作为处理尺寸公差与形位公差关系的基本公差原则，从而使公差理论更趋完善。独立原则的出现标志着现代技术制图发展到一个新阶段，正如在渥太华会议上通过基于加拿大标准的独立原则时，加拿大代表格林所说：“按照实物配作的第一代和按照泰勒原则的第二代过去了，新的第三代开始了。”

## 二、为什么要引进包容原则及符号

包容原则是为解决零件的配合要求而提出的一种公差原则。我们知道，以往零件的配合要求是靠泰勒原则保证的。泰勒原则是从尺寸如何判断的角度提出来的，它实际上是个计量

原则。但尺寸之所以要按泰勒原则判断，目的还是为了满足设计上的配合要求。因此尽管泰勒原则和包容原则是从不同的角度提出来的，解决配合要求的目的一致。《公差与配合》标准中规定的泰勒原则既然可以解决配合问题，《形位公差》标准中为什么还要引进包容原则？是否多余？这是个值得讨论的问题。

### 1. 泰勒原则的局限性

对于轴、孔这类单一要素，按照泰勒原则判断尺寸时，其作用尺寸不允许超过最大实体尺寸，任何位置上的实际尺寸不允许超过最小实体尺寸，如图5所示。

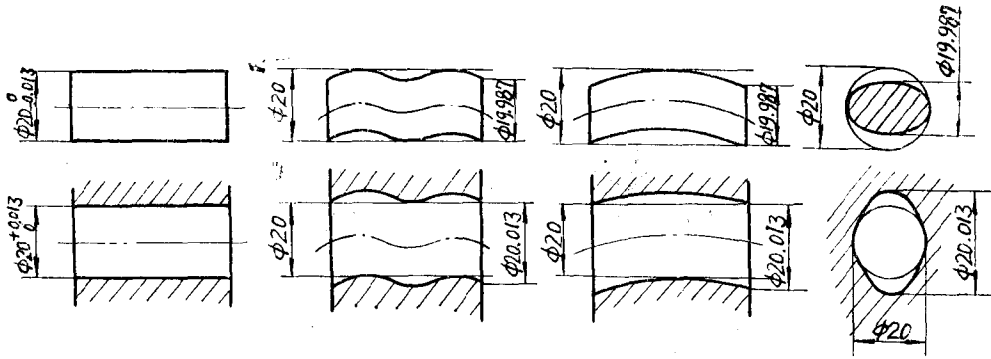


图 5

按照泰勒原则，最大实体尺寸的控制对象是作用尺寸，而单一要素的作用尺寸是实际尺寸和形状误差的综合，就是说，作用尺寸名为尺寸，实际包含了形状，因此控制作用尺寸就意味着对要素的尺寸和形状的综合控制。从图5可以看出，形状误差的允许值完全取决于实际尺寸对MMC尺寸的偏离，各处的实际尺寸越接近MMC尺寸，允许的形位误差越小；若实际尺寸处处做到MMC尺寸，则形位误差必须为零，以保持理想形状，只有这样，才能保证其作用尺寸不超出最大实体边界——MMC边界。十分明显，要素的实际形状是受控于MMC边界的。因此按泰勒原则判断尺寸，实质上包含了对形状的控制，或者说泰勒原则实质上是把尺寸和形状统一控制在一个规定的边界——MMC边界内。这样判断尺寸反映了单一要素在最大实体状态下应保持理想形状的设计要求。由于泰勒原则限定的是MMC边界，而决定配合性质的参数——最小间隙和最大过盈是按MMC边界计算的（孔和轴的MMC尺寸之差），因此泰勒原则完全可以保证单一要素之间确定的配合性质。

上述分析表明，解决单一要素的配合问题，有了泰勒原则就够了，因为影响单一要素配合性质的主要因素是尺寸和形状，泰勒原则恰恰能对两者进行有效的控制。但对关联要素来说，影响配合性质的因素不仅包括尺寸和形状，而且还有位置，在某些情况下，位置误差甚至起着决定性的影响。解决这类配合问题，泰勒原则就显得无能为力了。

如图6所示，设计上要求轴和孔之间形成一个间隙配合。为了说明问题，我们只取出轴来研究，不妨采用图6(b)的标注形式来解决配合问题。按照这种标注，轴两端的配合部分应按泰勒原则控制其尺寸，假如我们用量规分别检验两端轴颈，量规通过，尺寸完全合格（见图6(c)），那么轴与孔装配后是否一定能保证间隙配合要求呢？不一定，因为按泰勒原则进行的尺寸判断没有、也不可能控制两轴颈的同轴度误差。如果同轴度误差较大，装配后就可能产生过盈，甚至无法进行装配，根本不能保证预期的配合性质。显然在这种情况下，要确保



设计要求，必须把两轴颈的实际尺寸、形状误差及位置误差（同轴度误差）统统控制在 MMC 边界内，这就需要引出能综合控制“尺寸”和“形位”的新的公差原则——包容原则，其标注形式如图 6 (d) 所示，检验量规如图 6 (e) 所示。

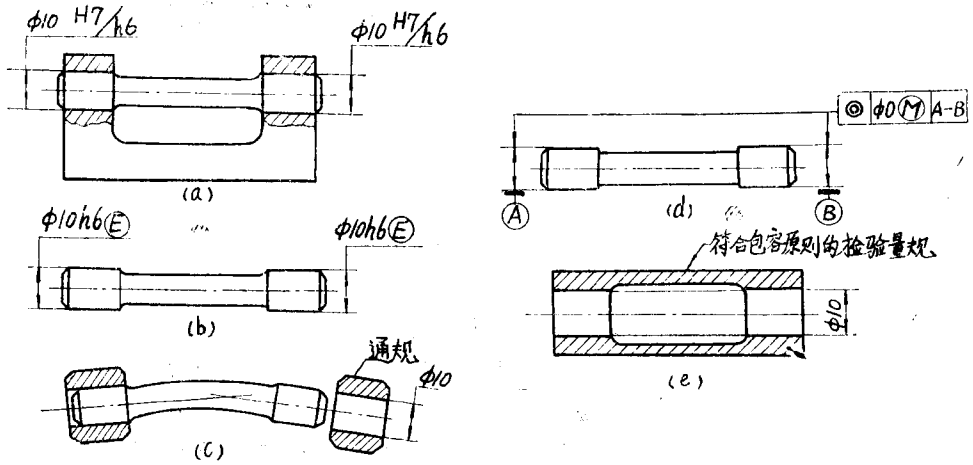


图 6

再如图 7 所示的零件，假如轴孔按泰勒原则检验尺寸均合格，照理保证配合性质应该没有问题，但装配候螺钉一上紧，其垂直度误差对轴孔的配合性质就会产生很大的影响，在区域 A 可能产生过盈。看来要保证轴孔间确定的配合性质，不控制轴孔对端面的垂直度误差是不行的。

类似的例子很多，限于篇幅，不一一列举。这说明位置公差对配合性质的影响是不容忽视的。基于泰勒原则的《公差与配合》标准考虑的仅仅是单一要素的配合，它无力解决关联要素的配合要求。这是由于泰勒原则的职能所限，不能控制位置误差的缘故。实际上，位置误差的控制问题已超出了尺寸公差标准的范畴，在形位公差标准中引进包容原则就是很自然的了。

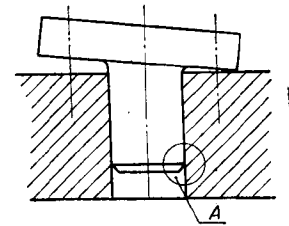


图 7

所谓包容原则，即实际要素处处位于具有理想形状的包容面内的一种公差原则，而该理想形状的尺寸应为最大实体尺寸。这就是说，实际要素必须限定在最大实体边界（MMC 边界）之内。限制的要素既可是单一要素，亦可是关联要素。对于前者，理想包容边界（MMC 边界）综合控制了尺寸和形状，这与泰勒原则的控制效果完全相同；对于后者，理想包容面则综合控制了尺寸、形状和位置。与泰勒原则相比，包容原则的概念更完整、更系统，应用范围更广泛，可以说包容原则是对泰勒原则的补充和发展。

## 2. 采用符号 $\textcircled{E}$ 的原因

形位公差标准规定，单一要素的包容原则 (Envelope Principle) 采用符号  $\textcircled{E}$  (取 Envelope 的字首) 标注，符号  $\textcircled{E}$  直接加注到尺寸公差后面，这样规定原因何在？

我们知道，为反映不同的设计功能要求，引入独立原则和包容原则这对概念相反的公差原则是绝对必要的。这个大的前提条件确定之后，问题就转为如何在图样上正确区分独立和包容原则，即要解决标注问题。标注问题纯属制图规定问题，标注力求简单明了是考虑的主要因素。区分两个原则，出路无非有两条，要么对独立原则规定一个符号，注出符号者符合

独立原则，未注者遵守包容原则；要么对包容原则规定一个符号，注出者遵守包容原则，未注者则表示“尺寸”和“形位”的独立要求。

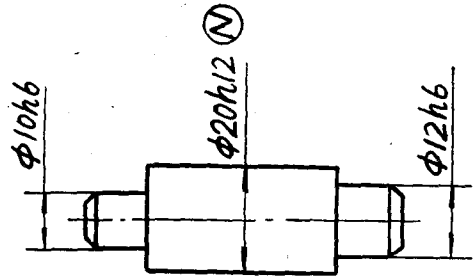


图 8

按照以往的习惯，图样上标注的尺寸公差，如无特殊说明，一般是墨守泰勒原则的，即不注符号，则为泰勒原则。依此看来，对不遵守泰勒原则的独立原则规定一个特定的符号，在图样上标注，似乎是顺理成章的，与目前的《公差与配合》标准也比较协调。最初人们确实考虑过在尺寸公差之后加注符合 $\textcircled{M}$ （见图8），表示该尺寸不遵守泰勒原则，尺寸按“两点法测量”，形位公差独立于尺寸公差。但后来的研究表明，真正有配合要求的尺寸在整个结构尺寸中所占的比例很小。据西德的Kraftunion公司Henzold报告说，该公司产品要求“最大实体状态下保持理想形状”的不超过零件结合部位的5%。国内有的单位统计，配合尺寸只占8.2%。尽管对不同产品的统计数据可能有所不同，但结论是肯定的，从功能上看大多数结构尺寸是不要求遵守包容原则的。面对这种情况，如果引入符号 $\textcircled{M}$ 或别的独立原则符号，势必会使制图复杂化，图样上大部分尺寸之后恐怕都要标注符号 $\textcircled{M}$ 。而采用符合 $\textcircled{E}$ 则具有明显的优点：

①只在少数配合尺寸后面注出，大大简化图样标注；

②配合尺寸是决定产品性质的，是设计上最关键的部位，也是工艺和检验应重点保证的部位，注出符号 $\textcircled{E}$ 使设计要求更明确，重点更突出；

③与 $0\textcircled{M}$ 注法相比，符号 $\textcircled{E}$ 占据空间小，绘制时便于安排，图样清晰。

因此采用符号 $\textcircled{E}$ 的注法获得了ISO/TC10/SC5大多数成员国的赞同。

当然采用什么符合标注只是一种形式，重要的问题在于要明确图样上采用的是独立原则，还是包容原则，在图样的技术要求中注明，在统一的设计文件中规定，或采用其它符号如 $\textcircled{E}$ 都有可能达到正确区分不同公差原则的目的。但作为“工程语言”的符号应力求在大的范围内统一，这样才能更便于识别，便于技术交流。因此统一采用符号 $\textcircled{E}$ 表示单一要素的包容原则是适宜的。

### 三、公差原则的含义及其图样解释

由上述分析可以看出，处理形位公差与尺寸公差关系的公差原则都是为反映某种设计要求建立起来的；从这个意义上讲，公差原则就是设计原则。看来研究和认识公差原则，从设计角度着手比从纯几何概念出发更容易理解。

按照形位公差与尺寸公差是否有关，标准规定了两大原则：独立原则和相关原则。顾名思义，图样上给定的形位公差与尺寸公差相互无关，分别满足要求的公差原则为独立原则；图样上给定的形位公差与尺寸公差相互有关的公差原则则为相关原则，相关原则又分为包容原则和最大实体原则。现分述如下：

#### 1. 包容原则

包容原则的设计出发点是解决配合要求的，设计者对被测要素规定一个最大实体边界——MMC边界，要求被测要素处处位于该边界之内，即要素的尺寸大小、实际形状和实际位

置均不得逾越MMC边界，从而保证确定的配合性质。

当尺寸处处做到了最大实体尺寸时，整个边界被“尺寸”占满，要使被测要素不超出MMC边界，其形状和位置误差只能为零，要素应具有理想形状和理想位置。可见包容原则反映的是被测要素在最大实体状态下要保持理想形状和理想位置这样一种设计要求。被测要素要获得一定的形状和位置公差，只能依赖尺寸对MMC状态的偏离，依赖尺寸的补偿，因此包容原则中形位公差与尺寸公差是密切相关的。

在图样上包容原则的表示方法有两种：

(1) 对单一要素，采用符号 $\textcircled{E}$ 标注，如图9所示。

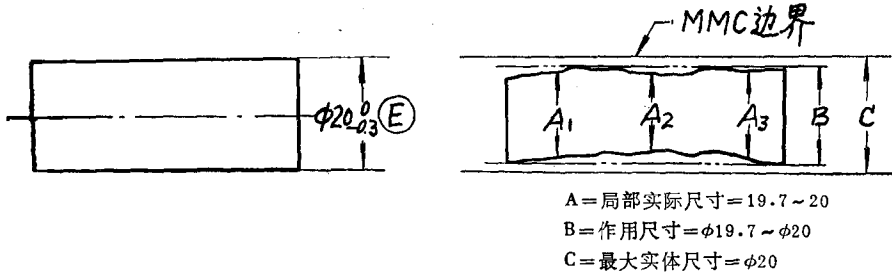


图 9

从标注形式看，图样上只规定了尺寸公差，未直接给出形状公差，因此对单一要素来说，包容原则规定的MMC边界是由尺寸公差的极限边界形成的。

图样上未给出形状公差，不等于不允许有形状误差，实际零件上形状误差总是客观存在的，不可避免的，这就要求在给定的总尺寸公差中拿出一部分为形状误差所用。从这个角度看，规定的尺寸公差并不是“尺寸”专用的，而是“尺寸”和“形状”共用的，尺寸占得多，形状就要用得少一些，反之形状占得多，尺寸则要用得少一些，相互依存，相互补偿。这就是所说的包容原则中存在着形位公差对尺寸公差的反补偿的问题。

但从另一个角度看，图样上只规定了尺寸公差，在最大实体状态下形状误差的允许值为零，这就意味着在最大实体状态下形状的给定值为零。“形状”本身一无所有，允许多大的形状误差完全依赖尺寸公差的补偿，“形状”没有能力对“尺寸”进行反补偿。我们认为，两种理解都有些道理，而后一种理解似乎更能揭示包容原则中形位公差对尺寸公差的依赖关系。

(2) 对关联要素，包容原则需采用 $0 \textcircled{M}$ 标注，如图10所示。

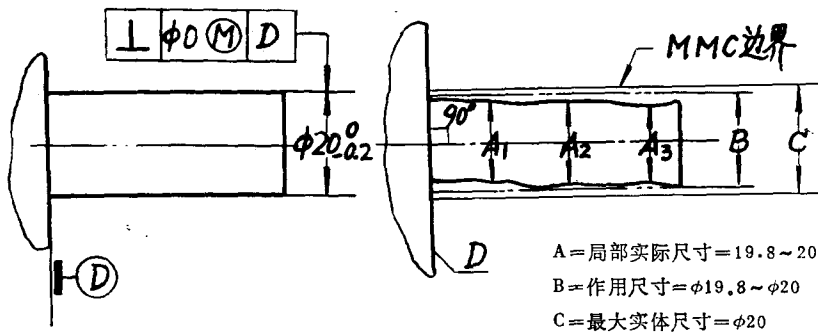


图 10

从标注形式看，图样上既给出了尺寸公差，又给出了形位公差(这里是定向公差)，理想的包容边界是由尺寸公差和形位公差综合形成的。由于形位公差采用 $0 \textcircled{M}$ 标注，最大实体状

态下的给定值为零，因此该边界的直径只取决于极限尺寸，等于最大实体尺寸，该边界的方位则由形位公差框格中规定的几何关系确定。这样就确定了关联要素的包容原则的MMC边界。

这里， $0\text{Ⓜ}$ 标注形式对建立关联要素理想包容边界的作用是十分明显的，离了它，边界的方位无法确定，采用符号 $\text{Ⓜ}$ 是代替不了的。对该要素若采用符号 $\text{Ⓜ}$ 标注，其解释如图11所示，与 $0\text{Ⓜ}$ 标注的解释完全不同。符号 $\text{Ⓜ}$ 确定的MMC边界相对端面可以不垂直，这显然没有反映在MMC下保持理想方向的设计意图。

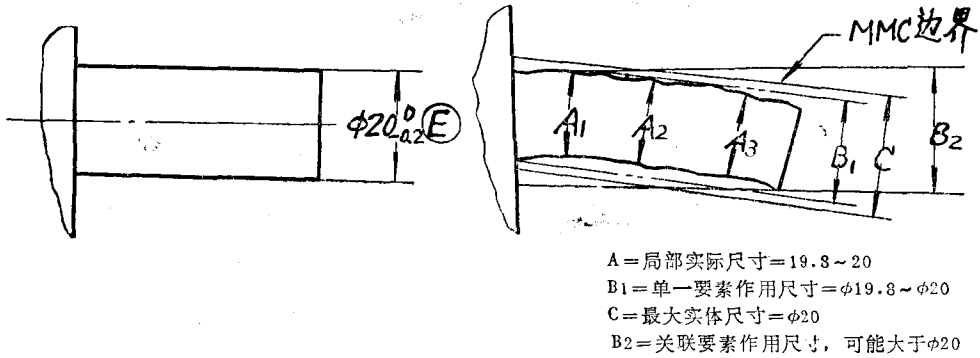


图 11

总之设计上采用包容原则，规定的是一个具有理想形状、理想方向或理想位置的MMC边界，对要素的实际尺寸、实际形状和实际位置进行综合控制，以满足配合要求。检验时，为体现这种控制要求，可直接按MMC边界设计量规，这种检验量规实际就是包容原则规定的理想边界的具体体现。

## 2. 最大实体原则

最大实体原则的设计出发点是解决装配互换性要求的，对被测要素规定一个实效边界——VC边界，要求被测要素处处位于该边界之内，即被测要素的实际尺寸和形位误差的综合不得逾越该边界。

如图12所示，最大实体原则采用符号 $\text{Ⓜ}$ 标注。

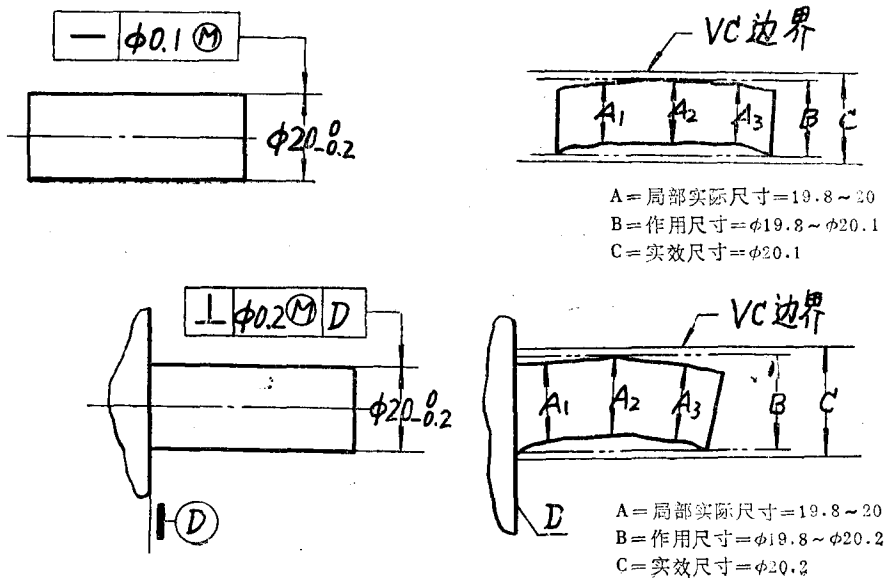


图 11

从标注形式看，图样上既给出了尺寸公差，又给出了形位公差，最大实体原则规定的理想边界（VC边界）是由两者综合形成的。边界的尺寸等于最大实体尺寸与给定的形位公差之和（对于轴）或两者之差（对于孔），边界的方位则由形位公差框格中规定的几何关系确定。

VC边界是决定零件能否进行装配互换的边界条件，只要实际尺寸和形位误差的综合不超越该边界，就不影响装配互换。这样一来，在遵守VC边界的前提下，当实际尺寸偏离最大实体状态时，就允许形位误差增大（大于给定值），即形位公差可以获得尺寸公差的补偿。可见最大实体原则确定了尺寸公差对形位公差的补偿关系，形位公差对尺寸公差的依赖关系，因此图样上规定的形位公差和尺寸公差是相关的。

设计上采用最大实体原则，其形位公差是在最大实体状态下给定的。这就是说，在最大实体状态下，还允许要素有形状和位置误差，可见最大实体原则不要求在最大实体状态下保持理想形状和理想位置。而包容原则要求要素在最大实体状态下保持理想形状和理想位置，这是最大实体原则和包容原则的根本区别，这一区别正是设计要求不同的必然反映。

采用最大实体原则，由于形位公差是在最大实体状态下给定的，是在尺寸公差的基础上规定的，因此形位公差带和尺寸公差带是叠加的，“尺寸”已不控制“形位”，“形位”相对“尺寸”有了一定的独立性。不控制“形位”的“尺寸”显然是个局部实际尺寸，是指各点之间的距离。因此最大实体原则中的尺寸判断不能依据泰勒原则，无论最大极限尺寸，还是最小极限尺寸均应采用两点法测量。最大实体原则与包容原则相比，形位公差已获得一点“独立”，但与独立原则相比这种独立又是不完全的，是有限的，它对尺寸公差仍有依赖关系。

通过最大实体原则的讨论发现，就最大实体状态而言，它本身并不具有理想形状，因为在最大实体状态下还允许有形位误差。这说明最大实体状态只反映在尺寸公差范围内占有材料的多少，不涉及该状态的形状问题，只要实际尺寸处处达到最大实体尺寸，即为最大实体状态，如图13所示。对最大实体状态的形状要求不是由状态本身确定的，而是由公差原则确定的。因此最大实体状态和最大实体边界在概念上是有区别的（通常说到边界均指理想边界）。

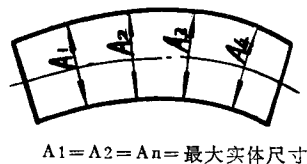


图 13

讨论了最大实体原则还会提出一个问题： $0\text{M}$ 属于不属于最大实体原则？

从标注形式来看， $0\text{M}$ 与最大实体原则的不同点仅在于形位公差的给定值，一个为零，一个不为零。若使最大实体原则中的 $t\text{M}$ 减小为零，就变成了 $0\text{M}$ ，从这个角度讲， $0\text{M}$ 可视为最大实体原则的特例。 $0\text{M}$ 与最大实体原则确有许多共性的东西，例如①两者均给出了理想边界，综合控制尺寸公差和形位公差；②两者都确立了尺寸公差对形位公差的补偿关系。但必须指出，形位公差的给定值由 $t\text{M}$ 变为 $0\text{M}$ ，给定的边界已由VC边界变为MMC边界，由最大实体状态下不要求保持理想形状和理想位置变为要求保持理想形状和理想位置，由满足装配要求变为满足配合要求， $0\text{M}$ 的性质发生了变化，变成了反映配合要求的公差原则。从这一点看， $0\text{M}$ 已超越了最大实体原则的范畴，因此在标准中把 $0\text{M}$ 作为表示关联要素包容原则的符号是确切的。

### 3. 独立原则

所谓独立原则，即图样上给定的形位公差与尺寸公差相互无关，分别满足要求的公差原则。

与包容原则和最大实体原则不同，采用独立原则的设计出发点是为了满足单项（尺寸大

小、形状或位置中某一项) 功能要求或未注尺寸公差和形位公差要求的, 它不是从解决配合和装配互换性角度提出来的, 因此无需对尺寸、形状和位置进行综合控制, 图样上的各项公差单独给定, 互不相关。由此可见, 独立原则不存在控制边界问题, 讨论独立原则遵守什么边界似乎意义不大。

独立原则的图样标注和解释, 见图14。

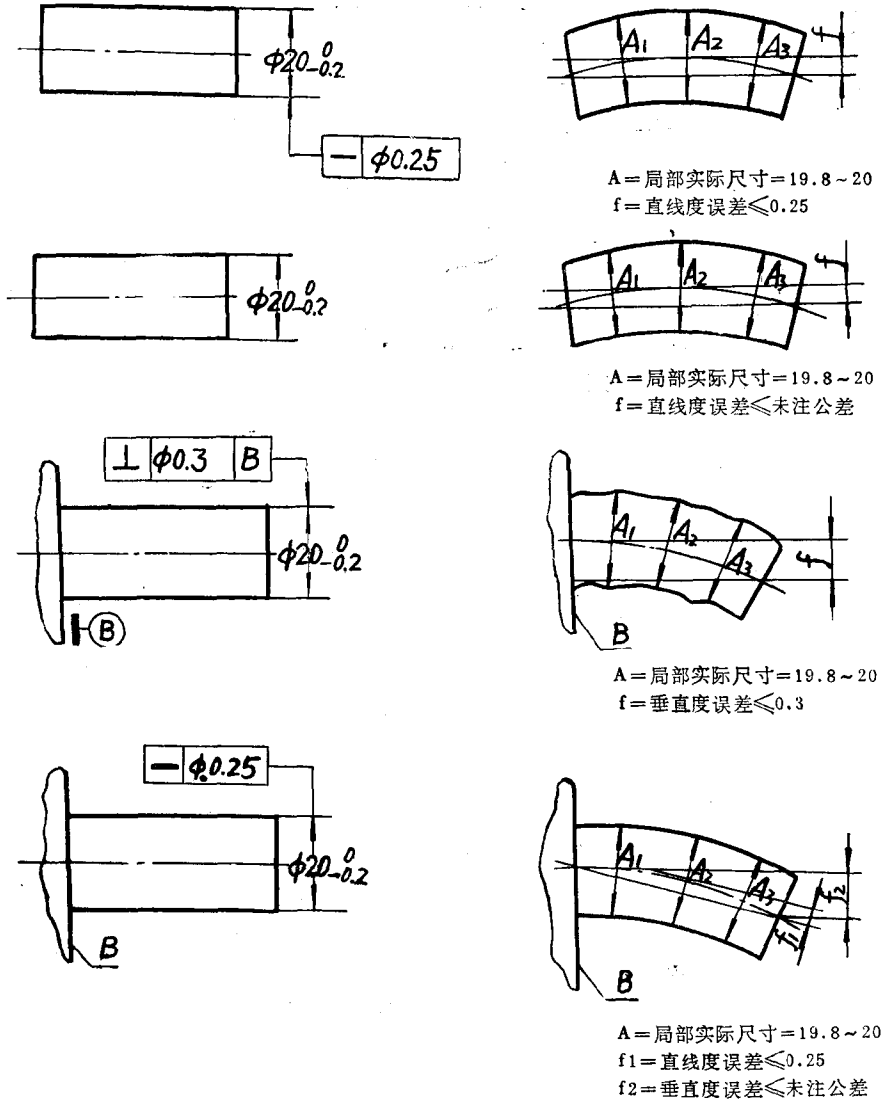


图 14

从标注形式看, 在给定的尺寸公差和形位公差之间未标注任何说明其相互关系的符号, 它们是单独给定的, 形位公差完全独立于尺寸公差, 既不受尺寸公差的控制, 也不依赖尺寸公差的补偿。

独立原则中形位公差从尺寸公差独立出来, 这时的尺寸就不包含任何形状控制, 它仅表示两点之间的距离大小, 对该尺寸规定的公差是控制局部实际尺寸的。因此独立原则中尺寸

(下转第 71 页)



# 公差原则的应用分析

国营618厂 张纪真

确定和处理尺寸公差与形位公差之间的原则称为公差原则。GB1183-80规定，公差原则有独立原则和相关原则。相关原则又分为包容原则和最大实体原则。因此，在公差原则的应用方面，有独立原则、包容原则和最大实体原则等三个原则的应用问题。

公差原则的确定是从功能要求出发的。机械结构中零件的结合具有各种不同的功能要求，有的要求保证单项功能，有的要求确保相互的配合性质，有的则需要保证装配的互换性等等。为了保证特定的设计功能，就要求给定的尺寸公差与形位公差保持特定的关系。因此，不同的功能要求就需要选用不同的公差原则。

## 一、独立原则

### 1. 独立原则的性质

**独立原则：**图样上给定的尺寸，形状和位置等各项要求相互无关。只有当各项要求分别满足时，零件才为合格。

按独立原则标注，零件的误差状态如图1所示。局部实际尺寸处处等于最大实体尺寸时，轴线直线度误差应不超过其公差值 $\phi 0.01$ （图1b）；当局部实际尺寸偏离最大实际尺寸时，直线度误差仍然不得超过给定的公差值（图1c）。

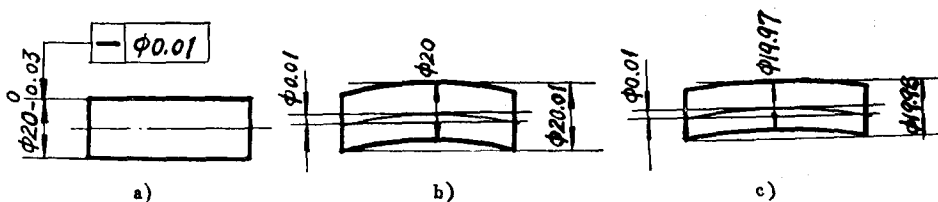


图 1

对于独立原则，合格的被测要素一定不会超出某个综合边界，但不超出边界的被测要素不一定是合格的。因此，不能用边界来控制被测要素的尺寸或（和）形位误差。这种特点表明，独立原则不存在尺寸公差与形位公差形成的功能边界。独立原则的这种尺寸公差与形位公差严格的独立性，恰恰可以满足提出单项功能要求的场合，可以给定与尺寸无关的单独的形位公差要求。

独立原则，要求尺寸公差与形位公差具有严格的独立性。在测量中要求尺寸误差与形位误差严格分离，在测得的尺寸误差中不允许有形位误差存在；同样，在测得的形位误差中也不应包含有尺寸误差。因此，采用独立原则标注的被测要素，尺寸应当用两点法测量局部实际尺寸，而形位误差则必须用通用测量器具进行测量。

独立原则，在尺寸公差和形位公差标注上均无任何附加符号；而采用包容原则或最大实体原则，在尺寸公差或形位公差标注上必须加注规定符号 $\textcircled{E}$ 、 $0\textcircled{M}$ 或 $\textcircled{L}$ 。因此，在图样标注

上独立原则是基本的公差原则。

## 2. 独立原则的应用分析

对于尺寸公差与形位公差需要分别满足要求，两者不发生联系的要素，采用独立原则。

### (1) 要求单项功能的要素

图 2 所示某电解机床方形主轴。该主轴直线度误差直接影响机床主轴进给运动的几何精度。为确保机床运动精度，不仅要求严格控制单项直线度误差，同时不允许主轴（包括主轴导轨）的尺寸误差对机床直线运动精度有任何影响。为消除尺寸误差对机床直线运动精度的影响，机床结构上采用了可调导轨间隙的装置。这里要求主轴的尺寸公差与直线度公差完全独立，不得相关。因此，该主轴的尺寸公差和直线度公差应采用独立原则标注。

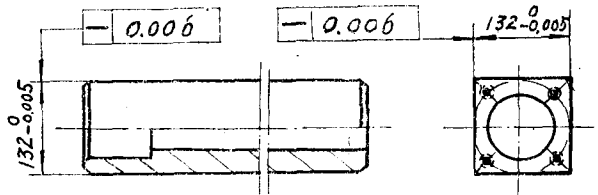


图 2

为了保证产品的使用性能，机械结构中有很多地方需要控制单项功能，要求要素的尺寸误差或形位误差不得影响对单项功能的控制。如：要求有精确运动轨迹的运动连杆，其孔距的位置公差和连杆孔径的尺寸公差不能采用相关原则（如最大实体原则），否则会影响连杆的运动轨迹；又如，齿轮箱中心距的位置公差和齿轮轴孔径的尺寸公差也必须采用独立原则，否则会改变齿轮的侧隙，影响齿轮的啮合质量。诸如上述情况，在图样标注上均应采用独立原则。

### (2) 密封表面

近年来，由于液压，气动技术的迅速发展，气动与油压传动成为工业自动化的有效手段。密封装置的结构、种类日趋完善，密封表面在机器零件中的比例日益扩大。这类表面利用弹性元件的可涨缩性与密封表面致密结合，达到防止气、液流体介质的泄漏。

密封表面的配合具有下列特点。

a. 密封元件均具有弹性，尺寸的可涨缩性，可以随密封表面的实际尺寸改变密封圈工作状态尺寸。

b. 密封元件只在一个截面或一个短圆柱面上接触。因于接触面很短，因此一般可以认为，只是各接触面上的直径大小和圆度误差对密封性能有影响。但是，不同的密封形式，对密封性能有不同的影响特征，有的以尺寸特征表现，有的则以形状特征表现。

下面按不同的密封形式作些简单的分析。

#### a. 挤压型密封（图 3）。

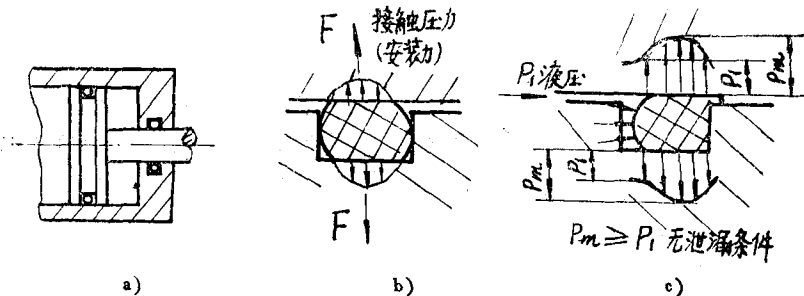


图 3

挤压型密封是由流体压力加上接触面压力产生的密封作用。为了起到自封作用，如果密封表面极精确、极光滑时，压缩余量取0.1毫米或以下就可以了。实际上，表面总存在一定的粗糙度和形状误差，并且当高温引起压缩变形和低温引起收缩时压缩量要改变，所以一般选择大的压缩余量以产生接触面压力，如图3(b)所示。一般作运动密封和圆柱面固定密封时，采用8~23%的压缩量；作为平面固定密封时，压缩量应为运动密封的1.5倍。这类密封元件与密封表面是横截面的线接触，窄圆柱面接触。影响密封作用的是各截面的尺寸大小及其形状误差，而形状误差对密封性的影响是以引起压缩余量改变的尺寸特性表现的。因此，挤压式密封只要密封表面给定与选定的压缩余量相匹配的尺寸精度和形位公差，而尺寸公差和形状公差相互独立，应采用独立原则标注，而不需要采用包容原则。

挤压式密封常用的是O形圈，其它有矩形圈或四角形、H形、N<sub>v</sub>—唇形、D形、梯形、心形以及T形等截面的密封圈。

### b. 自紧型密封 (图4)

图4自紧型密封，凹座朝向被密封的液体，因此液压就通过唇部直接作用于部分密封面上，随着压力的增大就有更大部分的密封表面相接触，图5画出了压力作用下U形密封圈的典型变化率。

正常情况下，影响自紧密封性能的主要因素是图4根部间隙和密封表面的光洁度。当密封圈受到超过规定的压力和温度的作用，或者根部间隙过大，就会使密封圈背部被挤出而导致缺损。

这类密封表面的尺寸精度主要是控制长度很短的根部的径向间隙，只要该接触截面的结合直径均在给定的公差范围内，根部间隙必然获得保证。因此，该密封表面可以采取两点法测量直径公差，按独立原则标注，而不需要采用包容原则。

### c. 活塞环密封 (图6)

图6为传统的断开式活塞环密封。以两只断口错开180°的活塞环装入狭窄的活塞环槽内。金属环以自身的弹力与缸体致密贴合，达到密封的目的。这种密封装置在直径方面的密封性是以形状特征来表现的。要素的形状误差，使活塞环与缸体间产生间隙，造成泄漏。这

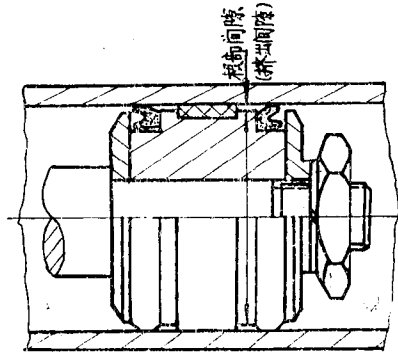


图 4

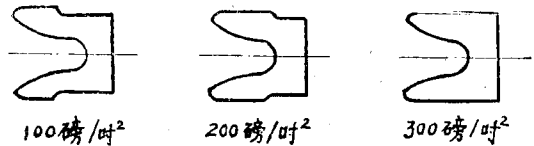


图 5

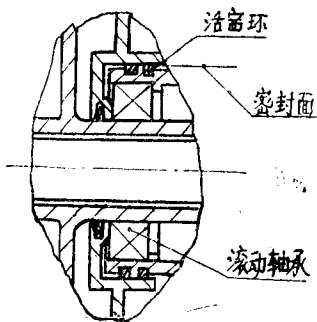


图 6

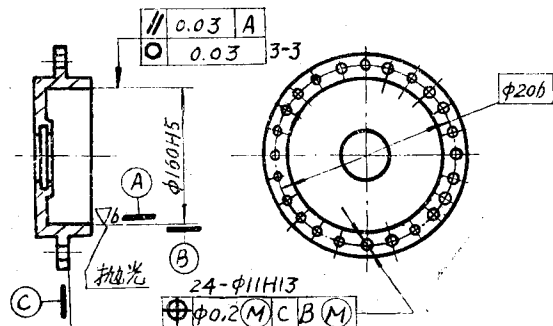


图 7