

公差及机械制造工艺

(机械化专业用)

中国矿业学院机械制造教研室编

一九八〇年四月

第二分册* 《公差与机器制造工艺》

第一部分 公差及测量

绪言	(1)
一 互换性生产和公差配合标准的关系	(1)
二 我国公差配合标准和计量工作的发展概况	(2)
三 公差及测量工作对煤矿机械生产的意义	(4)
第一章 光滑圆柱体公差和配合标准	(6)
一 基本定义和术语	(6)
二 公差与配合图解	(9)
三 光滑圆柱体公差与配合国家标准 (GB) 的构成	(9)
四 公差与配合的选用	(18)
五 国际公差与配合制度 (ISO 制) 简介	(33)
第二章 形位公差及表面光洁度	(37)
一 基本定义和术语	(37)
二 形状误差	(38)
三 位置误差	(41)
四 表面光洁度	(46)
第三章 其他等件的公差与配合	(53)
一 滚动轴承的公差与配合	(53)
二 螺纹结合公差	(56)
三 单键的公差与配合	(62)
四 花键的公差与配合	(64)
第四章 圆柱齿轮传动公差	(68)
一 对齿轮传动的要求	(68)
二 圆柱齿轮传动公差标准及其选择应用	(70)
三 齿轮各项精度规范的指标及公差的确定	(71)
四 齿坯公差	(76)
五 齿轮的测量	(77)
第五章 尺寸链	(85)
一 尺寸链的基本概念	(85)
二 极大极小法	(86)
三 概率法	(93)

第二部分 机械制造工艺

第一章	机械加工工艺规程的制订	(99)
一	概述	(99)
二	基准的选择	(101)
三	加工顺序的合理安排	(104)
四	加工余量, 工序尺寸和公差	(107)
五	机械加工的生产率	(108)
第二章	典型零件的加工	(113)
一	轴的加工	(113)
二	缸体加工	(126)
三	箱体加工	(134)
第三章	齿轮加工	(150)
一	园柱齿轮加工工艺过程的拟定	(150)
二	齿形加工	(156)
三	滚齿及插齿加工质量的分析	(178)
四	直齿园锥齿轮加工	(185)
第四章	装配精度	(191)
一	基本概念	(191)
二	装配尺寸链的建立	(191)
三	保证装配精度的几种方法	(193)
第五章	机床夹具	(203)
一	机床夹具概述	(203)
二	工件的定位	(206)
三	工件定位形式与定位元件	(209)
四	夹紧机构	(225)
五	各类机床夹具实例	(241)
附录	光滑圆柱体结合的公差与配合, 59年标准与新的国家标准对照	(253)

*注: 本讲义是根据 1978年10月 煤炭院校教材会议 (在福州召开) 拟订的大纲编写而成。第一分册是《金属材料及热处理》。

第一部分 公差及技术测量

绪 言

一、互换性生产和公差配合标准的关系

互换性原理已经广泛应用于工业部门及日常生活之中。例如：任何一个灯泡或灯管和任何规格相同的灯头，不管他们分别由那一个工厂制成，都可以方便地装在一起，又如自行车或手表的零件坏了，也可以迅速换上一个新的。并且在装配或更换后，能很好地满足使用要求。其所以能这样方便，就是因为灯泡、灯管、灯头、自行车和手表的零件等都具有互换性。

现代机器中，大部分零件、部件都可以互换。举二个常见的例子：图 0—1 表示搬子套到螺帽上螺帽旋在螺栓上的情况，搬子、螺帽和螺栓是由不同车间或者由不同工厂制造的，要求搬子应能方便地套到规格相同的任何螺帽上而没有太大的间隙，螺帽应能自然地旋到螺纹规格相同的任何螺栓上，工作才能顺利地进行，这就是搬子和螺帽、螺栓都具有互换性的缘故。图 0—2 表示一个滚动轴承装在机器里，滚动轴承是由专门工厂大量制造的，只要规格相同就能用上，为了使轴和机体孔能跟滚动轴承互配，轴和机体孔必须根据规定的尺寸来制造，以保证装配后得到合适的结合性质，满足互换性要求。

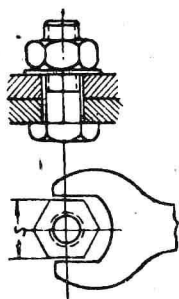


图 0—1

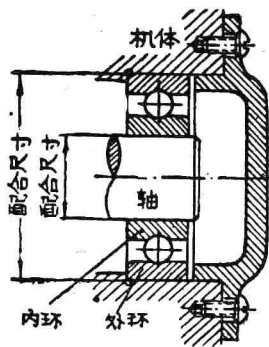


图 0—2

怎样才能使零件具有互换性？要求一批已经加工完的零件具有完全相同的形状、尺寸及性能，即每个零件的尺寸、形状等（几何参数）和硬度、弹性等（物理参数）的数值都完全和设计要求相一致，那么，这批零件在装配时，从其中任取一件，效果都是一样的。也就是说，这一批零件具有互换性。但是，要将同一批零件都加工得完全一致和绝对准确，这不仅是不可能的，也是不必要的。现代机器制造业可以做出高度准确的零件，但仍然有误差。另

一方面，从机器的使用和互换性的要求来看，只要成品零件的实际参数值（尺寸、形状等）变动不大，保证零件充分近似就可以。这个近似程度就是要把零件实际参数的误差限制在指定的范围内，通常所谓的“公差”就是指这个范围而言。也就是说：要使零件具有互换性，就应按它的给定“公差”来制造。“公差”就是实际参数值允许的最大变动量。

可以这样说：机械制造中的互换性：就是按规定的几何、物理和其他质量参数的公差，来分别制造机械的各个部分，使成品在装配或更换时，不需要辅助加工或修配，便能很好地满足使用要求和生产上的要求。互换性不仅决定于尺寸、形状等几何参数，也决定于其他一系列的物理参数。但本篇仅讨论几何参数的互换性。几何参数的互换性用几何参数的公差来保证；它们是尺寸公差，几何形状公差和表面相互位置公差。公差的大小是根据互换性的要求与制造的可能来决定的。现代机器零件的公差通常都较小，有时只有若干微米（千分之一毫米），因此须经过测量器具的测量，才能感觉出互换性零件之间存在差别。

互换性的发展对于促进我国社会主义经济发展有着重大的意义。它的作用主要表现在生产（包括设计和制造）和使用（包括维护和修理）两方面。在制造上：因零件规定有公差，同一台机器上的各个零件可以同时分别加工。用得极多的螺钉螺母和滚动轴承等标准件可集中由专门的车间或工厂单独生产。由于产品单一、数量多、分工细，可采用高生产率的专用设备，从而提高产量和质量，降低成本。到装配时，因零件有互换性，互配零件不需要人工修配，减轻了装配工的劳动量，因而可以节省工时，提高劳动生产率。在修理时，可以直接以新零件替换旧零件，不必个别修配，使机器修理的时间和费用减少，保证了机器工作的连续性和持久性，提高了机器的使用价值。此外，在机构上还可以大量采用标准零件和附件，这样不但便利设计而且对于企业间的大规模合作和协调生产，提供了良好的条件。

现在，互换性的应用已经超出了机械加工的范围，对半成品、毛坯等也要求互换性。当半成品或毛坯有了互换性，就可以迅速地装在机床夹具中，在一个机床上加工完毕后，沿传送装置自动送入另一调整好了的机床，继续进行加工直至完工。在我国机械工业中出现的许多自动生产线与自动化车间及至工艺过程的生产自动化，都要遵守互换性的原则，在工业现代化的新形势下，大搞三化（系列化、标准化、规格化）已成为生产实践中的客观需要，各类产品分别编成系列，再按不同类型和尺寸适当统一标准，规定统一的制造方法和质量标准，从而简化设计与制造工作。互换性是标准化工作的一部分，而标准化工作，又扩大了互换性的范围。标准化工作是国家统一制订的，各种技术标准都是在总结科学技术成果和制造、使用经验的基础上，根据生产发展的需要统一制定的，经过国家规定程序批准后，有关单位共同遵守执行。机械工业中的技术标准很多，目前大体上可分为六类：1. 基础标准；2. 产品标准；3. 零件与部件标准；4. 毛坯和原材料标准；5. 工艺装备标准；6. 工艺标准。本篇将介绍的公差配合标准则为基础标准中的一部分。可见，标准化的范围很广，在煤矿机械制造中，公差配合标准是实现煤矿机械互换性生产的前提。

二、我国公差配合标准和计量工作的发展概况：

最初的机械制造业，在互配零件的图纸上只注一个没有公差的尺寸，工人在制造时，尽量使孔和轴接近这个尺寸，然后进行试装和修配，直到符合要求为止。后来，在实践中，机

械装配工发现具有某一间隙的活动配合工作情况很好，为了继续得到这种间隙的配合，就把这个轴和孔当做标准，按它的尺寸制造精确的卡规和塞规。如图 0—3 所示。这样的卡规和塞规叫做标准验规或量规。但标准验规有一个明显的缺点，即对零件的要求过高，验规要恰好紧密地通过零件。以后经验说明，这样高的精度要求不必要。很多配合零件即使间隙略有

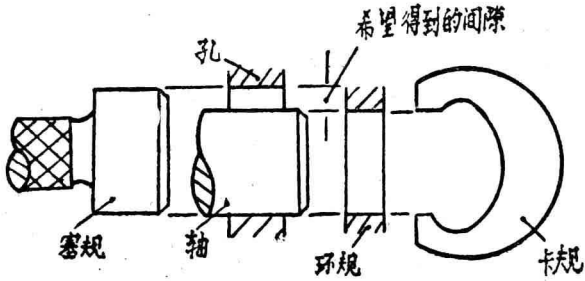


图 0—3

变动，工作情况也很好，这允许的间隙变动范围就是孔与轴的实际尺寸在一定范围内变动，如图 0—4 所示。这种按孔、轴允许的最大和最小尺寸做成的两套验规，叫做极限验规，每套极限验规中，一个叫作“过规”，所有合格零件均能被它通过。另一个叫做“止规”，所有合格零件均不能被它通过。经过这种极限验规检验过的合格件，都具有互换性。

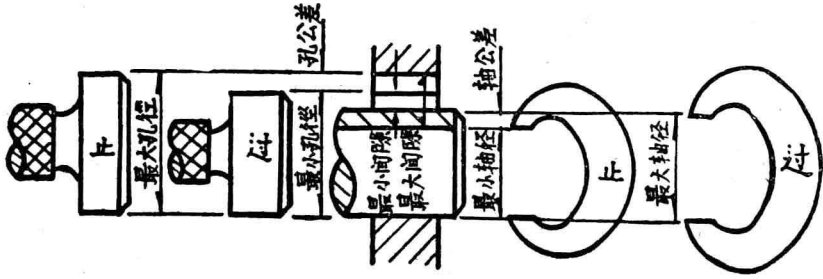


图 0—4

极限验规的出现，标志着零件是按公差范围进行加工的，因此对零件的精度就有了合理的要求。这在当时促使互换性生产蓬勃地向前发展。在我国，1931 年的沈阳兵工厂和 1937 年的金陵兵工厂在制造枪械过程中，已采用极限验规，零件能全部或部分互换。

公差配合制度在旧中国一直没有统一。德国标准 (DIN)、日本标准 (JIS)、美国标准 (ASA) 和国际标准 (ISA) 等在当时都有采用。新中国成立后，机械工业得到巨大发展，1955 年一机部根据苏联标准 (OCT) 制订了我国的部颁标准，在此基础上，国家科学技术委员会于 1959 年颁布了公差与配合国家标准 (GB)，这对我国的机械工业具有重大意义。

互换性的发展与测量技术和精密测量仪器生产的发展是分不开的。我国已经拥有一批制造量具和测量仪器的近代企业，象哈尔滨量具刀具厂、成都量具刀具厂、上海光学仪器厂等。目前已经试制或生产出了不少精密量具量仪，象立式接触干涉仪，万能显微镜、大型丁

具显微镜、光学比较仪、双管显微镜及万能测齿仪等。技术测量工作也在相应的新水平上建立起来，最主要的是保证准确度，现在我国大多数地区和工厂都已建立严格的计量检定系统，规定了长度基准和尺寸传递系统，以保证全国范围内量值的统一。

公制的基本长度单位为米（ m ），机械制造中用的公制长度单位为毫米（ mm ），精密测量时常用的单位为微米（ μ ）。

$$1m = 1000mm, 1mm = 1000\mu$$

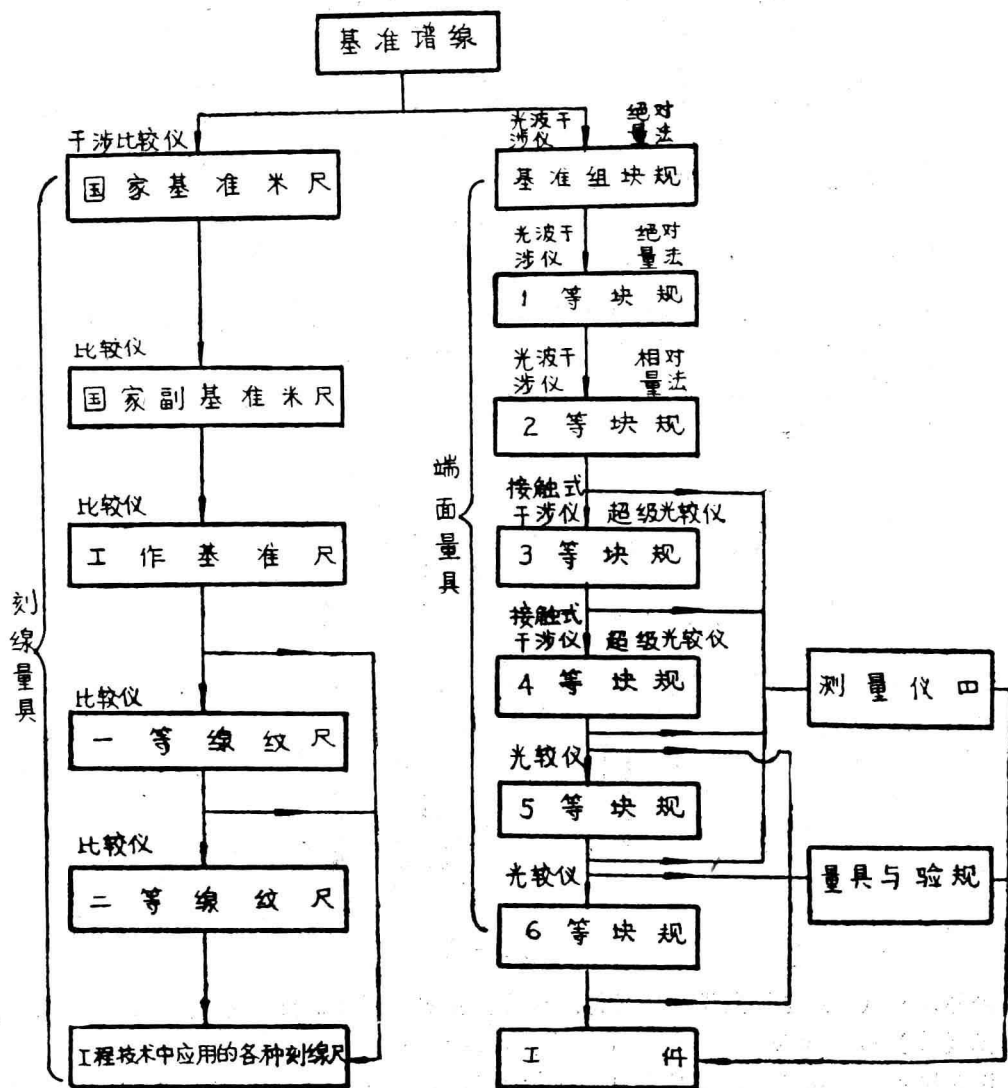
公制长度单位原来以巴黎保存的国际基准米尺作为基准，1889年确定为国际米原尺，各国要定期将国家基准米尺送往巴黎与国际基准米尺校对，也很不方便。科学技术的发展，光波干涉测量技术已达到一定水平，1960年在巴黎召开的第十一届权度大会，决定正式采用光波波长作为长度基准，通过米的新定义：米的长度等于在真空中，氪86($kr86$)原子从能级 $2p_{10}$ 至 $5d_5$ 过渡时，辐射线波长的 $1,650,763.73$ 倍。”采用光波波长作为长度基准，保证了测量单位的可靠和统一，而且光波干涉量法的测量误差可以很小，所以测量精度高。

从长度基准到生产中使用的量具、量仪等各种测量器具的尺寸传递系统，见表0—1。工件的尺寸由量具或仪器测量，或经过验规检验。这就是为保证量值统一的计量网。

三、公差及测量工作对煤矿机械生产的意义：

煤矿机械生产是整个机械制造业的一个分支，也是煤炭工业的重要组成部分，在当前新时期总任务面前，煤炭工业的现代化有着光荣的任务，要改变煤炭生产技术落后的现况，首要问题是努力提高机械化程度，为实现机械化而斗争，并按照客观经济规律进行改革。在党的十一大路线指引下，煤炭系统发动群众，调查研究，制订了机械化初步规划，以采掘机械化为主攻方向，以综合机械化采煤设备的使用、管理、制造为重点开展各项工作。采掘机械的零件及至部件都按给定的公差来制造，即零件的长度、角度、螺纹、齿轮；表面光洁度以及平面性、平行性和各种几何形状精度、相互位置精度等均需要达到设计要求；对完工零件要进行测量，需要用卡规、塞规等专用量具或千分尺、卡尺、块规、角度块规等万能量具以及光学仪器等检查零件合格与否；可见公差与测量工作是决定着煤矿机械的质量的，不是可有可无，而是必须健全，如果不按公差标准做，或是测量工具不准，就要发生问题，就不好按装，即使勉强装上了也不能开动；或者是开动了，效果也不能达到设计要求。公差与测量工作做得完善，就必然推动煤炭工业生产的机械化向前发展。

表 0-1 尺寸传递系统



第一章 光滑圆柱体公差和配合标准

机器或机构当中的轴和孔都是光滑圆柱体。为了清楚、正确地理解公差与配合制度的内容，首先要了解有关的基本概念、名词和定义。在生产中这些名词的统一很重要，大部分名词都在国家标准中作了规定。

一、基本定义和术语：

两个相互配合在一起的零件，都叫配合件，其相配处的尺寸叫配合尺寸，配合处的表面叫配合表面。按照配合表面的相互位置，又可分为包容面和被包容面。如图 1—1 所示：齿轮孔表面为包容面，轴上键槽为包容面，轴表面和键表面为被包容面。包容面可统称为孔，被包容面可统称为轴。

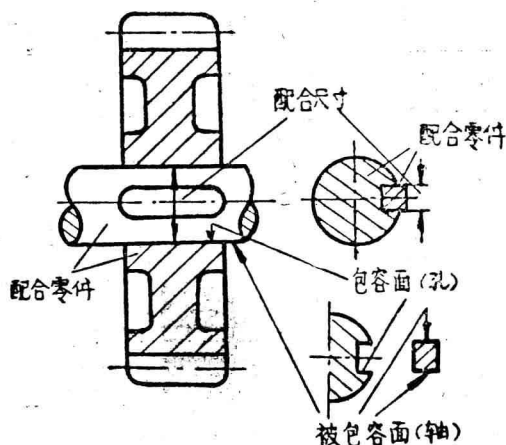


图 1—1

公称尺寸 (A) 是根据设计计算得的或经验指定的尺寸。此尺寸须按标准选取。(标准直径见 (JB) 176—660, 标准长度见 (JB) 177—60)。

极限尺寸：孔和轴在制造时不可能绝对准确，故规定一个最大极限尺寸 (A_{max}) 和一个最小极限尺寸 (A_{min})，零件的实际尺寸只要在这两个尺寸之间就算合格。在图纸上极限尺寸以用公称尺寸和极限偏差来表示比较方便。最大极限尺寸和公称尺寸之差称为上偏差 (Δ_s)；最小极限尺寸和公称尺寸之差称为下偏差 (Δ_x)。如图 1—2 所示。

$$\Delta_s = A_{max} - A \quad (1-1)$$

$$\Delta_x = A_{min} - A \quad (1-2)$$

极限尺寸可以大于、小于或等于公称尺寸，因此上偏差和下偏差可以是正值、负值或零。

公差 (δ)：最大极限尺寸和最小极限尺寸之差称为尺寸公差 δ ：

$$\delta = A_{max} - A_{min} \quad (1-3)$$

因为最大极限尺寸总是大于最小极限尺寸的，所以：公差是正值，公差值永远是正的。显然公差也是上下偏差之差：

$$\delta = \Delta_s - \Delta_x \quad (1-4)$$

例 1—1 已知零件的公称尺寸 $A = 50$ 毫米，上偏差 $\Delta_s = +0.008$ 毫米，下偏差 $\Delta_x = -0.008$ 毫米，求最大极限尺寸 A_{max} ，最小极限尺寸 A_{min} 及公差 δ 。如若有一零件的实际尺寸为 49.995 毫米，问是否合格？

解：求极限尺寸：

$$A_{max} = A + \Delta_s = 50 + 0.008 = 50.008 \text{ 毫米}$$

$$A_{min} = A + \Delta_x = 50 + (-0.008) = 49.992 \text{ 毫米}$$

而 $49.995 > 50.008$ 且 $49.995 < 49.992$ ，故该零件合格。

求公差： $\delta = A_{max} - A_{min} = 50.008 - 49.992 = 0.016$ 毫米

或 $\delta = \Delta_s - \Delta_x = 0.008 - (-0.008) = 0.016$ 毫米

配合：一定公称尺寸的轴装入相同尺寸的孔称为配合。由于轴和孔的尺寸不同，装入后表现出不同的松紧程度，称为配合性质。孔的实际尺寸大于轴的实际尺寸时，装入后必定出现间隙 (X)，这样的间隙配合称为动配合，如图 1—3 所示。

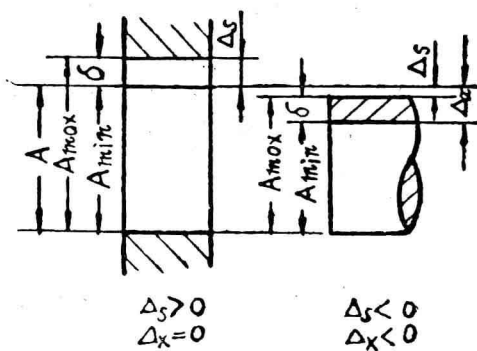


图 1—2

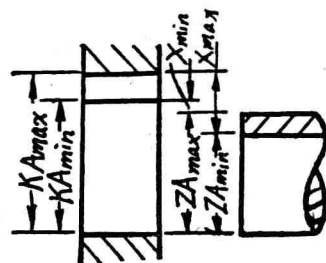


图 1—3 动配合

在动配合中，必然有间隙，间隙的作用在于：贮存润滑油，补偿温度引起的尺寸变化，补偿弹性变形及制造与安装误差等。间隙的大小影响动配合的配合性质、影响配合件相对运动的活动程度。

由于孔和轴的实际尺寸是变动的，装配后所得实际间隙有大有小。孔的最大极限尺寸 (KA_{max}) 和轴的最小极限尺寸 (ZA_{min}) 相配合时，得到最大间隙 X_{max} ：

$$X_{max} = KA_{max} - ZA_{min} \quad (1-5)$$

孔的最小极限尺寸 (KA_{min}) 和轴的最大极限尺寸 (ZA_{max}) 相配合时，得到最小间隙 (X_{min})

$$X_{min} = KA_{min} - ZA_{max} \quad (1-6)$$

间隙公差 (δX)：是间隙的变动范围，即最大间隙与最小间隙之差称为间隙公差。

$$\delta X = X_{max} - X_{min} \quad (1-7)$$

$$\begin{aligned} \delta X &= (KA_{max} - ZA_{min}) - (KA_{min} - ZA_{max}) \\ &= (KA_{max} - KA_{min}) + (ZA_{max} - ZA_{min}) \\ &= \delta K + \delta Z \end{aligned}$$

$$\therefore \delta X = \delta K + \delta Z \quad (1-8)$$

对一定的公称尺寸来说, 间隙公差 δX 表示配合精度, 是设计要求; 孔公差 δK 和轴公差 δZ 分别表示孔和轴的加工精度, 是工艺要求, 通过公式 (1-8) 就把设计要求和工艺要求联系了起来。设计要求高时, δX 越小, 则 $(\delta K + \delta Z)$ 也要越小, 即孔与轴的加工要求越难。

例 1-2 已知 $A = 50$ 毫米, $KA_{max} = 50.027$ 毫米, $KA_{min} = 50$ 毫米

$ZA_{max} = 49.975$ 毫米, $ZA_{min} = 49.950$ 毫米

求: X_{max} , X_{min} , δK , δZ 及 δX

解: $X_{max} = KA_{max} - ZA_{min} = 50.027 - 49.950 = 0.077$ 毫米

$X_{min} = KA_{min} - ZA_{max} = 50 - 49.975 = 0.025$ 毫米

$\delta K = KA_{max} - KA_{min} = 50.027 - 50 = 0.027$ 毫米

$\delta Z = ZA_{max} - ZA_{min} = 49.975 - 49.950 = 0.025$ 毫米

$\delta X = X_{max} - X_{min} = 0.077 - 0.025 = 0.052$ 毫米

而 $\delta K + \delta Z = 0.027 + 0.025 = 0.052$ 毫米。

计算结果是符合 (1-8) 式的。

在成批与大量生产中, 配合出现得最多的间隙不是最大间隙, 也不是最小间隙, 而往往是平均间隙 ($X_{平均}$), 设计动配合时, 考虑的依据是平均间隙的大小。

$$\begin{aligned} X_{平均} &= \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = X_{max} - \frac{\delta K + \delta Z}{2} \\ &= X_{min} + \frac{\delta K + \delta Z}{2} \end{aligned} \quad (1-9)$$

轴的实际尺寸大于孔的实际尺寸时 (相差的量是很有限的), 还是可以装配在一起, 轴与孔实际尺寸之差称为过盈 (Y), 这样的过盈配合称为静配合。如图 1-4 所示。

静配合用于零件的紧固连接, 不允许配合零件之间有相对运动。静配合的配合性质由过盈大小确定, 过盈大, 则配合的紧固程度大, 可承受较大的扭转力矩或轴向推力。在静配合中, 轴的尺寸总是大于孔的尺寸, 故装配时要加压力才能使轴进入孔中; 也可使孔的温度升高或轴的温度降低, 即用热胀或冷缩的方法使轴进入孔中。装配后所得过盈也是有大有小。轴的最大极限尺寸和孔的最小极限尺寸之差, 称为最大过盈 (Y_{max}):

$$Y_{max} = ZA_{max} - KA_{min} \quad (1-10)$$

轴的最小极限尺寸和孔的最大极限尺寸之差, 称为最小过盈 (Y_{min}):

$$Y_{min} = ZA_{min} - KA_{max} \quad (1-11)$$

过盈公差 (δY): 是过盈的变动范围, 即最大过盈与最小过盈之差

$$\delta Y = Y_{\max} - Y_{\min} \quad (1-12)$$

从公式 (1-10), (1-11), (1-12) 可得

$$\delta Y = \delta Z + \delta K \quad (1-13)$$

过盈公差与间隙公差一样, 都是孔公差与轴公差之和, 通常间隙公差或过盈公差统称为配合公差。

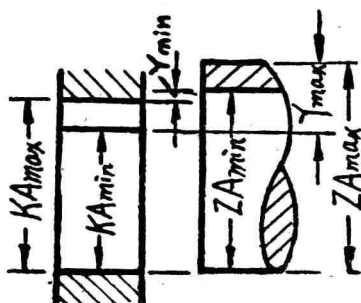


图 1-4 静配合

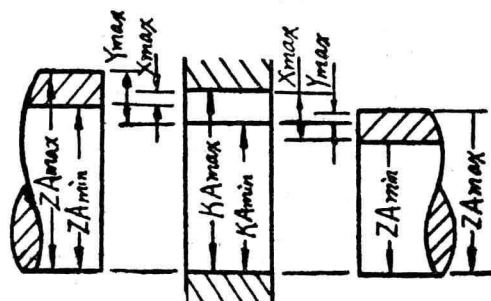


图 1-5 过渡配合

配合公差就等于孔公差与轴公差之和。

在成批、大量生产中, 可能出现最多的是平均过盈 ($Y_{\text{平均}}$);

$$Y_{\text{平均}} = Y_{\max} - \frac{\delta K + \delta Z}{2} = Y_{\min} + \frac{\delta K + \delta Z}{2} \quad (1-14)$$

除上述动配合和静配合外, 还有一种介于这两种配合之间的过渡配合。如图 1-5 所示: 这时轴的最大极限尺寸大于孔的最小极限尺寸, 或轴的最小极限尺寸小于孔的最大极限尺寸, 轴的实际尺寸可能大于、也可能小于孔的实际尺寸, 装配后可能得到动配合, 也可能得到静配合, 但是它的间隙或过盈量都比较小的。因此, 过渡配合能保证配合零件有很好的同心度, 并且拆卸和装配都比较静配合方便。

二、公差与配合图解:

图 1-3, 图 1-4, 及图 1-5 是各类配合的示意图, 实际上, 公差数值与尺寸数值的大小比较, 相差很远, 不使用同一比例表示。为了清楚说明孔与轴的配合性质, 通常只绘出轴和孔的偏差, 称为公差与配合图解, (简称公差带图)。图解中, 偏差等于零的位置为零线, 它相当于公称尺寸的一根尺寸界线。上偏差和下偏差之间的范围就是公差带, 放在相应的位置。如图 1-6 所示。是三种具体的配合, 公称尺寸是 50 毫米, 孔的偏差大小及位置都相同, 但轴的偏差与位置变了, 得到的配合性质就不相同, 从图中明显看出各种配合的特点。

三、光滑圆柱体公差与配合国家标准 (GB) 的构成:

光滑圆柱体是配件中最基本和应用最广泛的。影响圆柱体互换性的最主要基素是直径。为保证零件的互换性, 必须根据配件在使用上的要求和工艺上的可能对配件直径给定公差大

小和公差带的位置，这须要一套公差与配合制度，以免随意确定公差配合引起的混乱。大多数工业国都有本国的公差与配合标准，有些国家则采用国际标准。

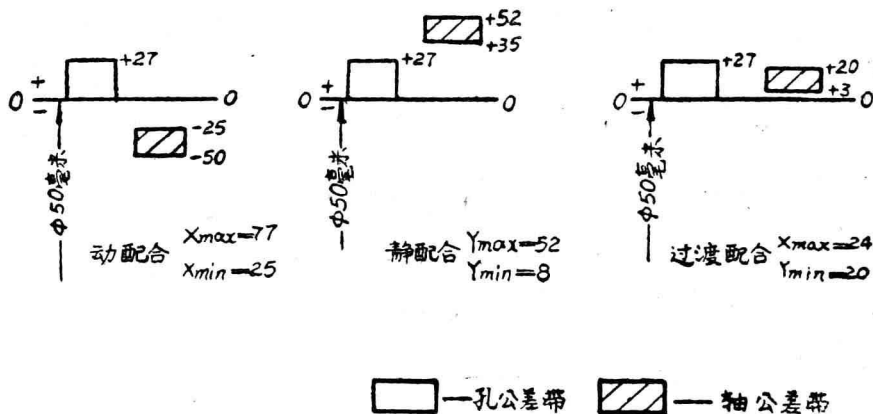


图 1—6 公差与配合图解（未注明的单位为微米）

公差配合标准中规定的公差大小和公差带位置是按一定规律确定的，是积累了许多实际经验，在生产实践、试验和理论研究综合基础上拟定的。有了公差与配合标准，使孔加工刀具及不可调整量具相应标准化。我国的公差与配合标准（GB），是以苏联标准及有关资料为基础制定的于 1960 年开始在我国实行，标准的大多数内容都和世界各国公差与配合标准特别是和苏联标准相同。现将我国公差与配合标准（GB）分为下述三个方面：

（一）公差值的确定及其标准化：

1. 公差单位

为了评定零件精度的高低与合理确定公差值，首先应建立公差单位。

举例：有二轴，一轴的公称尺寸 $ZA_1 = 65$ 毫米，其公差 $\delta_1 = 20$ 微米，另一轴的公称尺寸 $ZA_2 = 150$ 毫米，其公差 $\delta_2 = 40$ 微米，那一根轴的精度高些呢？很难立即回答。

根据许多次实验研究结果，发现公差数值是随零件直径的大小不同而改变的，图 1—17 表示在不同加工方法下，公差数值随直径大小而变化的关系曲线，此关系可用下式表示：

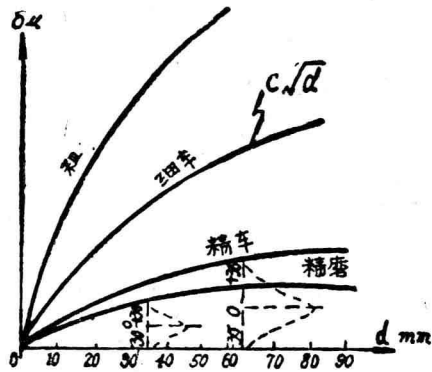


图 1—7

$$\delta = C \cdot \sqrt[3]{d} \tag{1-15}$$

式中： δ ——公差，毫米
 d ——直径，毫米
 c ——随加工精度变化的系数

加工精度愈高则加工误差愈小，例如外国磨加工的 $C \approx 0.005$ ；外国精车加工的 $C \approx 10$ ，

0.015, 则其相应的公差大小应为:

$$\delta_{\text{磨}} = 0.005\sqrt[3]{d} \text{ 毫米} = 5\sqrt[3]{d} \text{ 微米}$$

$$\delta_{\text{精车}} = 0.015\sqrt[3]{d} \text{ 毫米} = 15\sqrt[3]{d} \text{ 微米}$$

为便于和国际公差制度比较, 将上述式子写为:

$$\delta_{\text{磨}} = 5\sqrt[3]{d} \text{ 微米} = 10 \times 0.5\sqrt[3]{d} \text{ 微米}$$

$$\delta_{\text{精车}} = 15\sqrt[3]{d} \text{ 微米} = 30 \times 0.5\sqrt[3]{d} \text{ 微米}$$

现将各种加工方法的关系写成一个通式:

$$\delta = C \cdot \sqrt[3]{d} = a \times 0.5\sqrt[3]{d} = a \times i \quad (1-16)$$

式中: δ ——公差、微米

$i = 0.5\sqrt[3]{d}$ ——公差单位。(直径范围 1~500 毫米)

a ——公差单位数, 随加工方法变更。

公式 (1-16) 表示将公差单位乘上相应的公差单位数, 就可得到零件的公差数值, 公差单位数 a 也叫精度系数。

前面的举例中, 二轴的精度系数分别为:

$$a_1 = \frac{\delta_1}{i_1} = \frac{20}{0.5\sqrt[3]{65}} \doteq 10 \text{ 公差单位}$$

$$a_2 = \frac{\delta_2}{i_2} = \frac{40}{0.5\sqrt[3]{150}} \doteq 16 \text{ 公差单位}$$

∴ 第一轴要精确些, 因为它的公差中包含的公差单位数较小。

2. 精度等级:

在直径相同的情况下, 精度越高则公差越小, 而制造这样的零件需要费用就越大。因此, 只要满足零件的使用要求, 应尽可能规定较大的公差。零件的使用要求不同, 则规定不同的精度。由公式 (1-16) 可知, 加工精度不同, “ a ” 值也不同, 因此就根据 “ a ” 的大小作为精度分级的基础。国家标准依次把 1~500 毫米直径范围的尺寸精度划分为十级, >500~10,000 毫米直径范围的尺寸精度划分为十二级, 它们是:

1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12
配合尺寸用	非配合尺寸用

各级精度的精度系数 “ a ” 值见表 1-1

每一精度等级基本上与一定的加工方法相适应。如 1~500 毫米直径范围的 2 级精度相当于精磨轴所得到的精度, 以此作为基本精度级, 将 2 级轴的精度系数定为 10, 比较其他加工方法的精度, 得到各级精度系数 (表 1-1), 大体上接近 R5 优先数系。同为 1 级、2 级或 3 级精度的孔与轴规定了不同的精度系数 a , 孔的精度系数约为轴的精度系数的 1.5 倍。这是因为加工高精度孔比加工高精度轴要困难一些, 故规定较大的公差, 使同级精度的孔和轴在技术和经济指标上趋近一致。

表 1—1 精度系数 (近似值)

精度等级		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸范围		由 1~10000 毫米											>500 10000 毫米
精度系数 $\alpha \approx \frac{\delta}{i}$	孔	10 ^①	16 ^③	25	30 ^⑥	64	100 ^⑦	200	400	640	1000	1600	2500
	轴	7 ^②	10 ^④	16 ^⑤									

注 ① 孔 $D_{c1}(a=16)$ 除外。

② 轴 $d_{c1}(a=10)$ 除外。

③ 孔 J_d 和 $D_e(a=21)$, 孔 $D_d(a=27)$ 和 $D_e(a=30)$ 除外。

④ 轴 j_d 和 $d_c(a=16)$, 轴 $d_d(a=21)$ 和 d_e 及 $d_f(a=25)$ 除外。

⑤ 轴 j_{b2} 和 $d_{c3}(a=25)$ 除外。

⑥ 孔 $D_{c4}(a=40)$ 和 $D_{e4}(a=50)$, 轴 $d_{c4}(a=40)$ 和 $d_{e4}(a=50)$ 除外。

⑦ 轴 $j_{e8}(a=30)$ 除外。

3. 直径分段 (尺寸分段)

由公式 (1—16) 看: 对同一精度等级, 每有一个直径, 就有一个公差。而机器制造中应用到的公称直径是很多的 (虽然已经标准化), 按此计算出来的公差表格将非常庞大, 实用上无此必要, 当直径差别不大时, 算出的公差很相近。因此, 采用直径分段的方法, 将全部直径划分为若干段, 在每一分段范围内, 对所有直径均规定相同的公差单位, 计算时直径数值按每一分段的首尾两界限直径的算术平均值计算。

GB 制中, 1~500 毫米范围内直径分段为 12 段, >500~10,000 毫米范围内直径分段为 13 段, 见表 1—2

表 1—2

尺寸范围 (单位: 毫米)	尺寸范围 (单位: 毫米)
由 1 至 3	> 500 至 630
> 3 至 6	> 630 至 800
> 6 至 10	> 800 至 1000
> 10 至 18	> 1000 至 1250
> 18 至 30	> 1250 至 1600
> 30 至 50	> 1600 至 2000
> 50 至 80	> 2000 至 2500
> 80 至 120	> 2500 至 3150
> 120 至 180	> 3150 至 4000
> 180 至 260	> 4000 至 5000
> 260 至 360	> 5000 至 6300
> 360 至 500	> 6300 至 8000
	> 8000 至 10000

注: 压配合类自 30~500 毫米范围内分段较细, 详见标准。

对静配合, 因过盈变动对配合性质影响大, 直径分段间隔应较小, 故在 1~500 毫米和 >500~10000 毫米范围内直径, 按表 1—2 分段的基础上再加细分。对个别动配合, 分段间隔也较小, 1~500 毫米范围的直径, 分别为 19 段。

这样分段, 若按每一个分段的首尾二界限直径分别计算公差, 与按二界限直径的算术平均值计算出来的公差相比较, 相对误差不会过大, 对于大多数直径分段, 相对误差约为 (5 ~ 8)%。

例 1—3 已知公称直径 $D=10$ 毫米, 精度为 4 级, 求零件公差 $\delta=?$

解: 所给直径在 >6 至 10 毫米分段内, 由查表 1—1 得精度系数 $a=30$,

$$\delta = a \times i = 30 \times 0.5 \sqrt[3]{\frac{6+10}{2}} = 30 \text{ 微米}$$

根据以上原则和方法, 各类公差值都算出列表。实际应用时就直接查表。

(二) 配合性质的确定及其标准化

1. 基准制:

当公称尺寸与精度等级确定后, 公差与配合制度还要规定出足够应用的许多不同性质的配合, 可以用孔、轴公差带的相对位置的变化来得到不同的配合要求, 为了得到不同性质的配合, 不须将孔、轴公差带同时移动, 而将其中一个公差带固定, 将另一个公差带作相对移动, 就能达到目的。

固定孔的公差带, 改变轴的公差带位置这个方案之外, 同样可以轴的公差带位置不动, 改变孔的公差带位置来得到不同的配合; 因此公差与配合制度分为两个平行的系统——基孔制和基轴制。

孔的极限尺寸为一定, 与不同极限尺寸的轴配合, 以得到一系列各种配合性质的, 称为基孔制配合 (图 1—8a)。轴的极限尺寸为一定, 与不同极限尺寸的孔配合, 以得到一系列各种配合性质的, 称为基轴制配合 (图 1—8b)。

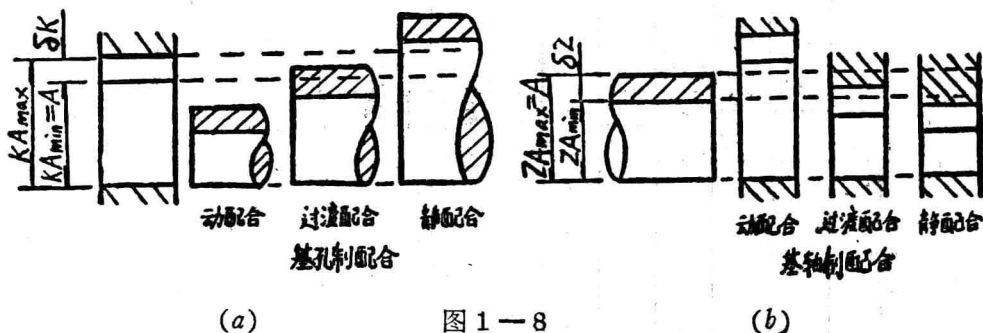


图 1—8

GB 制中规定在基孔制与基轴制中具有同样性质的各种配合 (基孔制的配合数目稍多于基轴制的)。两种基制的配合, 由于具体情况不同, 同一性质的配合, 有时按基孔制配合制造要经济合理些, 有时按基轴制配合制造要经济合理些, 按合理的选用。

2. 基准件公差带位置的确定:

在基孔制中孔是基准件, 称为基准孔, 在基轴制中轴是基准件, 称为基准轴。基准件的公差带大小取决于公称尺寸与精度等级, 和配合性质无关。公差带的位置靠在零线上, 并在本体内, 即基准孔的公差带放在零线上侧, 取其下偏差为零 ($\Delta_s = 0$); 基准轴公差带放在零线下侧, 取其上偏差为零 ($\Delta_s = 0$)。这样就使基准件两个极限尺寸中的一个 (基准

孔的 KA_{min} ，基准轴的 ZA_{max} ）正好等于公称尺寸。（图 1—9）。通常把这种基准件公差带布置在零线一侧称为单向制。单向制的优点是计算简便。

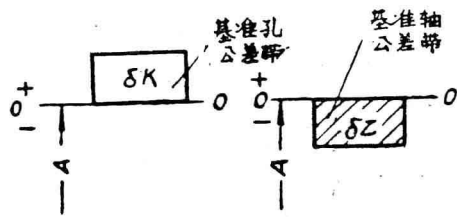


图 1—9 单向制分布

3. 配合的划分与非基准件公差带位置的确定：基孔制中的轴与基轴制中的孔均为非基准件，它们的公差带位置与配合性质有关。

在 GB 制中，对基孔制和基轴制各规定有三类配合，每一类配合又按松紧程度细分为若干种，表 1—3 列出各种配合的名称及代号，这些配合，在总体上满足了机器制造中各方面的需要，由于应用上的宽广不同，各级精度的配合数目并不相等。其中以基孔制 2 级精度应用最广，所以它的配合也最齐全。现以公称尺寸 60 毫米基孔制 2 级精度为例，画出它的各类配合的公差带图，如图 1—10 所示，图的下面列出了轴的极限尺寸，最大和最小间隙或过盈。由此图可比较各种配合的特性。

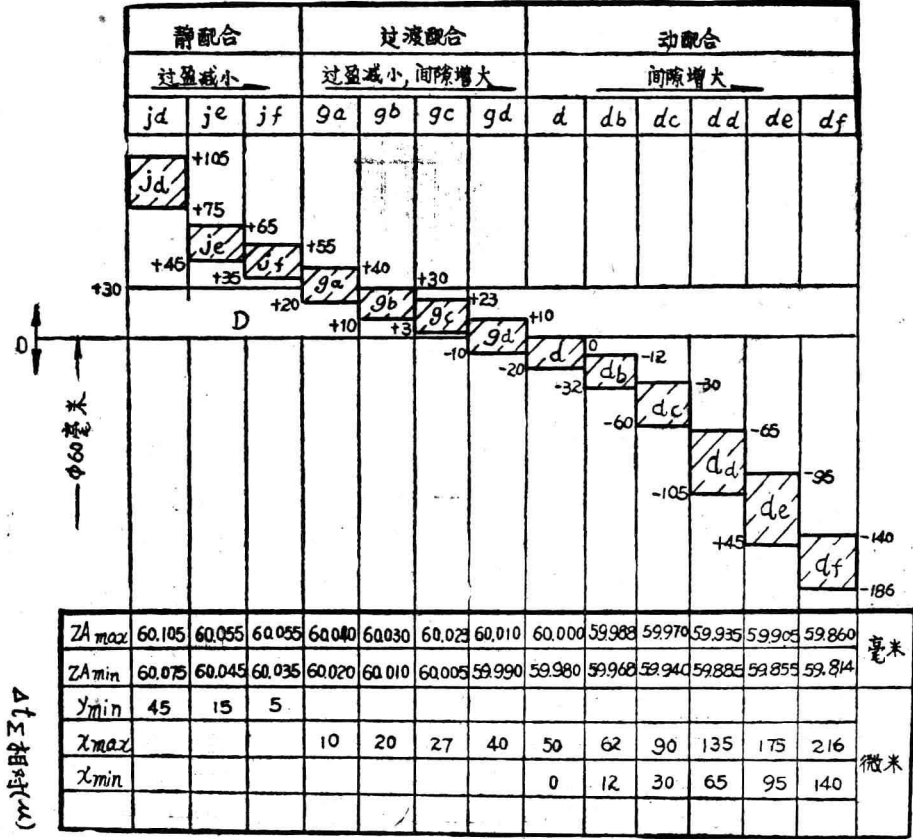


图 1—10 基孔制 2 级精度配合图解