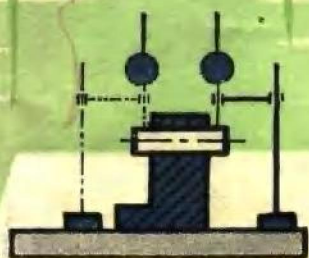


线值计量技术之一

# 线值计量技术基本知识



上海科学技术出版社

线值计量技术之一  
线值计量技术基本知识  
《线值计量技术》编写组  
上海科学技术出版社出版  
(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.125 字数 154,000

1978年5月第1版 1978年5月第1次印刷

书号. 13119·720 定价: 0.59 元

## 出版说明

线值计量技术是保证提高产品质量的一项不可缺少的措施。在一九七三年前上海市科学技术交流站曾举办了关于线值计量技术的讲座,在此讲座的基础上组织了有工人、干部、技术人员和教师参加的编写组,编写了这套《线值计量技术》,内容包括:线值计量技术基本知识、光学和气动计量仪器、齿轮测量、螺纹测量、滚刀测量、表面光洁度测量、角度测量、平直度和圆度测量等,按分册陆续出版,供广大从事计量工作的工人、干部和技术人员及有关的同志们参考。本书在编写过程中,得到了上海市计量测试管理局、上海交通大学、上海机械制造工艺研究所、上海机械学院、新中动力机厂、上海汽轮机厂、上海工具厂、上海光学仪器厂等单位大力支持,在此深表感谢!

由于我们水平有限,书中内容难免有错误和不妥之处,希望读者指正。

《线值计量技术》编写组

---

# 前 言

线值计量是对机械产品零部件的几何参数进行正确测定的一项重要工作。产品零部件的几何参数包括长度、角度、表面光洁度、相互位置误差以及几何形状误差等。在制造产品零部件时,由于工艺、温度等各种因素的影响,使其几何参数不可能做得绝对准确,一批相同的零部件也不可能做得完全一致,因此需要进行测量和检验,以判定是否合格。

另一方面,在现代工业生产中为了便于组织专业生产、提高生产率和产品质量、降低成本和便于修配,产品零部件必须具有互换性。为了保证零部件具有互换性,在设计时根据产品的实际需要和加工的可能性对零部件的各个几何参数规定了一定的允差,制成产品以后,对有关参数还必须进行测量和检验,以便判别其合格与否。因此,线值计量是检查产品质量、监督生产过程和保证互换性所不可缺少的一项工作。

随着工业水平的提高,产品不断向高精尖方向发展,对计量精度要求亦不断提高,因此如何正确的拟定测量方案,选择测量仪器、分析可能产生误差的种类和原因,最后对测得值的精确程度即测量误差做到胸中有数并恰当处理,是非常必要的。为此,我们在举办技术交流讲座的基础上编写了本书,供广大计量工作者参考。

本书由上海交通大学原 620 教研组同志执笔。由于编者的水平有限,书中难免会有一些错误和不当之处,恳切希望读者批评指正。

《线值计量技术基本知识》编写组

1977 年 4 月

# 目 录

第一章 互换性基本概念 .....	1
第一节 机械制造中的互换性 .....	1
一、互换性的含义和作用 .....	1
二、完全互换性和不完全互换性 .....	2
第二节 互换性问题中的一些基本概念和术语 .....	3
一、有关零件方面的术语 .....	3
二、有关结合方面的术语 .....	7
三、配合的类型 .....	12
第三节 实现互换性的条件 .....	14
第二章 零件几何参数精度 .....	16
第一节 加工精度概念 .....	16
一、尺寸精度 .....	17
二、表面形状和位置精度 .....	17
三、表面粗糙度 .....	18
四、表面波度 .....	18
第二节 圆柱结合公差与配合(介绍 GB 159-59~174-59) .....	18
一、公差数值的确定和精度等级的划分 .....	19
二、基孔制与基轴制 .....	21
三、尺寸分段 .....	23
四、配合种类 .....	25
五、公差与配合表格的使用 .....	43
第三节 表面光洁度 .....	43
一、平均方根偏差 $H_{ff}$ .....	43
二、平均高度 $H_{fg}$ .....	44
三、算术平均偏差 $R_a$ .....	45
四、不平度高度 $R_z$ .....	45
第四节 表面形状与位置公差(介绍国家标准 GB 1183-75~ 1184-75) .....	46

一、术语及定义(介绍 GB 1183-75 部分)	48
二、表面形状与位置公差表(介绍 GB 1184-75 部分)	67
三、相关公差简介	79
<b>第三章 技术测量基础</b>	<b>88</b>
第一节 技术测量的基本概念	88
第二节 长度标准单位和基准	89
一、长度单位基准	89
二、块规	91
第三节 测量器具	96
一、标准量具	96
二、万能测量器具	97
三、量规	102
四、专用量具和检验自动机	102
第四节 测量方法	103
一、直接测量和间接测量	103
二、绝对测量和相对测量	103
三、接触测量与不接触测量	104
四、综合测量和单项测量	104
五、主动测量和被动测量	104
六、等精度测量与不等精度测量	104
第五节 测量误差的概念和分类	105
一、系统误差(规律误差)	106
二、偶然误差(随机误差)	106
三、过失误差(粗误差)	107
第六节 测量器具的选择	107
一、测量器具的基本度量学指标	107
二、测量器具的选择原则	110
<b>第四章 测量误差计算</b>	<b>116</b>
第一节 近似计算及其误差	116
一、误差的表达形式	117
二、近似值的类型	121

三、微量的等级 .....	121
四、有效位数 .....	122
第二节 概率论简单介绍 .....	132
一、随机现象与随机事件 .....	132
二、概率的含义 .....	133
三、概率加法定理 .....	135
四、概率乘法定理 .....	136
第三节 误差的正态分布(高斯误差定律) .....	137
一、正态分布曲线的引出 .....	137
二、算术平均值与剩余误差 .....	140
三、偶然误差分布规律和精度参数 .....	146
四、概率积分 .....	151
第四节 测量精度的研究 .....	158
一、直接、等精度计量的精度参数 .....	158
二、多次计量的精度参数——算术平均值的精度参数 .....	165
第五节 置信概率与 $t$ -分布的应用 .....	173
一、抽样的概念 .....	173
二、置信区间与置信概率的概念 .....	174
三、 $t$ -分布 .....	177
第六节 测量结果的数据处理 .....	181
一、系统误差及其处理 .....	181
二、过失误差的剔除 .....	195
三、直接测量结果的计算 .....	197
四、间接测量误差的计算 .....	202

# 第一章 互换性基本概念

## 第一节 机械制造中的互换性

### 一、互换性的含义和作用

互换性的意义,是指对于产品的零件、部件所具有几何参数和其他性质,在装配或修理换配中不需再行修整或辅助加工,即可直接装配,且能达到产品的技术要求。

众所周知,一台机器或仪器是由许多部件组成的,而部件又由若干零件组成,装配完成后的机器或仪器,是否能正常工作,是否符合原设计的技术要求,这不仅与装配过程是否正确有关,与零件或部件之间的相互联系正确与否有关,而且与零件的制造精度如何也有很大关系。因此,在设计时,对零件或部件都规定了有关的技术条件和要求,以保证机器或仪器的工作性能。此外,从制造观点来看,一台机器内的所有零件,并不全是由一个车间生产的,而是从几个车间甚至在不同的工厂里制造,然后集中到装配车间装配。这样由不同车间制造出来的零件不需经过任何辅助加工或修配即可直接装配,并且能满足使用要求,这就必须建立在零部件互换性的基础上。概括来说:以同一类型的一个零件或部件去代换另一形状相同的零件或部件时,不需任何补充加工或修配即能装配,且能完全符合规定的质量要求,这样的零件或部件谓之具有互换性。具有互换性的物品在日常生活中是很多的。例如电



灯泡、自行车零件、缝纫机零件、机器或仪器上常用的螺钉、螺帽等；较精密的机器零件如内燃机的火花塞、滚动轴承、显微镜内的目镜等等都是具有互换性的。

现代工业的发展——特别是大量生产类型的机器制造业——总是向着机械化和自动化方向发展的。而高度机械化和自动化生产，更要求组成机器的零件或部件能够具备互换性，这样才能正确地定出生产时间和节拍。如果没有互换性，大量生产就难于进行。

互换性虽是工业发展的产物，而合理的互换性制度的订立与推行又反过来对工业进一步发展起了很大的推动作用，这是由于互换性的推广便于厂际协作生产，在修理时配件易于取得，能提高劳动生产率，保证和提高产品质量，降低产品成本。此外，还能使很多标准零件的生产有可能专业分工生产，使很多刀具量具有可能标准化，从而将目前的生产可以进一步向机械化自动化推进。

## 二、完全互换性和不完全互换性

一批同类型的零件或部件，在装配时不需选择、调整或修配，装配好后能满足预定的质量要求，这样的一批零件或部件谓之具有完全互换性。

在各种工业产品中，符合完全互换性的有很多。例如电灯泡，不论哪个工厂生产的灯泡，都可装在其他任何工厂生产出来的规格相同的灯头上，满足照明要求。此外如自行车、手表、汽车、拖拉机等有不少零件也都具有完全互换性。

一批零件或部件必须经过选择，按照其实际尺寸大小，将相配件分成若干组，在同名组内的零件或部件进行装配后，不作任何调整或修配，能满足预定的质量要求，这样的零件或部

件谓之具有不完全互换性,不完全互换也叫做有限互换,常用于对零件的精密度要求高而工艺不能适应(如加工困难或成本太高)的情况下。

一般在大量生产或成批生产时,往往采用完全互换性。但在有些情况下,例如零件的形状比较复杂;尺寸较大或较小;精度要求很高,如果采用完全互换性,就要求有关零件必须制造得特别精确,从而增加了车间的加工困难,或使成本显著提高。这种情况可采用不完全互换性,如采用分组装配,或调整修配的措施。但这种方法一般只用在厂内生产和装配的零部件中为降低生产成本和保证产品质量时采用。而对厂际协作产品,或为使用部门供应的备用品,均应保证完全互换性。例如滚动轴承制造,轴承的内、外圈和滚珠的结合是按不完全互换性原则设计制造的;而轴承在使用时其内圈和轴,外圈和壳体孔的结合,则应具有完全互换性。

总之,采用完全互换性还是不完全互换性,须视产量、精度及工艺条件等一系列技术及经济条件而定。

## 第二节 互换性问题中的一些基本概念和术语

为了了解互换性问题中的有关概念,以及在所有的工作图纸中统一起见,在国家标准中规定了基本术语及定义,下面介绍有关这方面的内容。

### 一、有关零件方面的术语

#### 1. 公称尺寸 $A$

图纸上标出的尺寸,称为公称尺寸。它是在设计时按照机器性能对零件的要求,根据材料的强度或刚度计算,或根据

试验结果而确定一个数据,根据此数据,再圆整到和此数据相近的标准直径或标准长度的尺寸,即为公称尺寸。

相配合的一对结合面的公称尺寸是相同的。

公称尺寸的数目(即各种不同的尺寸)在理论上是无限多的,但是公称尺寸的数目太多,将大量增加制造和检验工具及原材料供应的品种。因此,必须制订出标准的尺寸系列,以限制尺寸的数目,设计计算所得的数据应圆整到(或尽量选用)系列中的标准直径或尺寸。

机标(JB)176-60和177-60分别规定了直径和长度的标准系列。这些尺寸系列,按相邻尺寸的公比大小分为四种: $R_5$ 、 $R_{10}$ 、 $R_{20}$ 、 $R_{40}$ 。即在1毫米与10毫米或在10毫米与100毫米之间,按等比级数,分别插入4个,9个,19个,或39个尺寸(见表1-1),相邻尺寸的公比如下式:

$$\text{系列 } R_5 \text{ 的公比——}\sqrt[5]{10}=1.5849\approx 1.6$$

$$\text{系列 } R_{10} \text{ 的公比——}\sqrt[10]{10}=1.2589\approx 1.26$$

$$\text{系列 } R_{20} \text{ 的公比——}\sqrt[20]{10}=1.1220\approx 1.12$$

$$\text{系列 } R_{40} \text{ 的公比——}\sqrt[40]{10}=1.0593\approx 1.06$$

尺寸系列——标准直径或标准长度见表1-1,选用标准尺寸时,应优先在公比较大的系列中选用。

## 2. 实际尺寸

对制成零件量得的尺寸称为实际尺寸。实际尺寸的测量读数精度,依所用的测量工具而定,精度高的零件,必须用精密的测量器具去测它的尺寸。在通常情况下,由于加工的误差,实际尺寸与公称尺寸是不相等的。

## 3. 最大极限尺寸 $A_{\max}$ 和最小极限尺寸 $A_{\min}$

零件加工后不可能准确地做到指定的尺寸,所以规定一

表 1-1 摘录机标(JB)176-60 直径系列和 177-60  
长度系列 1~500 毫米部分

5 系列	10系列比 5系列增 加的尺寸	20 系列比 10 系 列增加的尺寸		40 系列比 20 系列增加的尺寸			
1	1.2	1.1	1.4	1.05	1.15	1.3	1.5
1.6	2	1.8	2.2	1.7	1.9	2.1	2.4
2.5	3.2	2.8	3.6	2.6	3	3.4	3.8
4	5	4.5	5.5	4.2	4.8	5.2	5.8
6	8	7	9	6.5	7.5	8.5	9.5
10	12	11	14	10.5	11.5	13	15
16	20	18	22	17	19	21	24
25	32	28	35	26	30	34	38
40	50	45	55	42	48	52	58
60	80	70	90	65	75	85	95
100	120*	110	140	105	115	130	150
160	200	180	220	170	190	210	240
250	320	280	360	260	300	340	380
400	500	450		420	480		

\* 标准长度为 125。

个最大极限尺寸和一个最小极限尺寸。合格零件的实际尺寸,应在最大极限尺寸和最小极限尺寸之间,也就是说,实际尺寸不能大于最大极限尺寸,也不得小于最小极限尺寸。

#### 4. 上偏差 $B_s$ 和下偏差 $B_x$

极限尺寸和公称尺寸之差叫极限偏差,简称偏差。偏差又分上偏差  $B_s$  和下偏差  $B_x$ ,前者指最大极限尺寸与公称尺

寸之差,后者是指最小极限尺寸与公称尺寸之差。

孔和轴的公称尺寸  $A$  的上偏差和下偏差分别用式子表示如下:

孔的上偏差

$$KB_s = KA_{\max} - A \quad (1-1)$$

孔的下偏差

$$KB_x = KA_{\min} - A \quad (1-2)$$

轴的上偏差

$$ZB_s = ZA_{\max} - A \quad (1-3)$$

轴的下偏差

$$ZB_x = ZA_{\min} - A \quad (1-4)$$

图 1 表示极限偏差与极限尺寸和公称尺寸之间的关系。

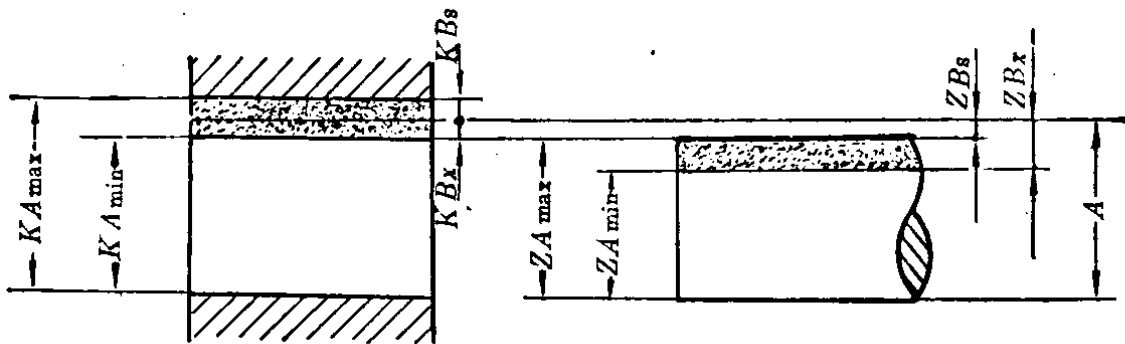


图 1

偏差可以是正值、负值或零。极限尺寸大于公称尺寸时,偏差是正值,极限尺寸小于公称尺寸时,偏差是负值,极限尺寸等于公称尺寸时,偏差等于零。

### 5. 公差 $\delta$

公差为尺寸允许变动范围的绝对值,即最大极限尺寸和最小极限尺寸之差,或上偏差和下偏差之差,代号以  $\delta$  表示。

孔的公差

$$\delta K = KA_{\max} - KA_{\min} = KB_s - KB_x \quad (1-5)$$

轴的公差

$$\delta Z = Z A_{\max} - Z A_{\min} = Z B_s - Z B_x \quad (1-6)$$

根据上式,公差恒为正值,无负值。

图 2 表示极限偏差与极限尺寸和公差之间的关系。

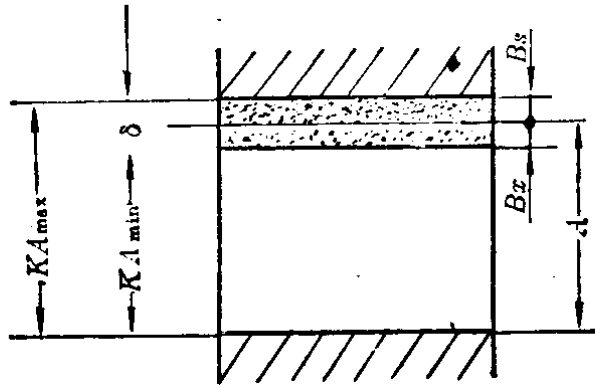


图 2

## 二、有关结合方面的术语

### 1. 包容面与被包容面

当两个零件结合在一起时,接触面叫结合面,位于外部的表面叫包容面,位于内部的表面叫被包容面。如轴和孔的结合,孔的内表面为包容面,轴的外表面叫被包容面。又如滑块和槽的结合,槽的内表面为包容面,而滑块的外表面为被包容面。

### 2. 配合

一定公称尺寸的轴和孔联接在一起,在结合中具有一定的松紧的性质,称为配合。

### 3. 间隙 X

在轴和孔配合中,由于轴和孔的实际尺寸的不同,装入后具有不同的配合性质,当孔径的实际尺寸大于轴的实际尺寸时,两者之差称为间隙。间隙的代号用 X 表示。这样的配合称为动配合。孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸之差称

为最大间隙  $X_{\max}$ ; 孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸之差称为最小间隙  $X_{\min}$ 。极限间隙也可以用轴和孔的极限偏差来表示。以式子分别表示如下:

最大间隙

$$X_{\max} = K A_{\max} - Z A_{\min} = K B_s - Z B_x \quad (1-7)$$

最小间隙

$$X_{\min} = K A_{\min} - Z A_{\max} = K B_x - Z B_s \quad (1-8)$$

最大间隙与最小间隙之和的一半称为平均间隙, 平均间隙用  $X_{\text{平均}}$  表示。即

$$X_{\text{平均}} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad (1-9)$$

图 3 表示极限尺寸和间隙之间的关系。

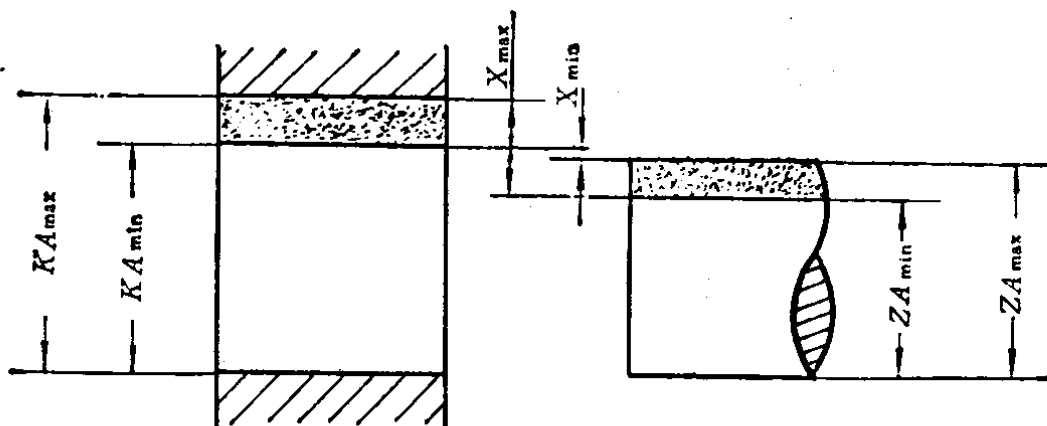


图 3

例: 孔和轴的公称尺寸  $A = 50$  毫米

孔的最大极限尺寸  $K A_{\max} = 50.027$  毫米

孔的最小极限尺寸  $K A_{\min} = 50$  毫米

孔的上偏差  $K B_s = 50.027 - 50$   
 $= +0.027$  毫米

孔的下偏差  $K B_x = 50 - 50 = 0$

轴的最大极限尺寸  $Z A_{\max} = 49.990$  毫米

轴的最小极限尺寸  $Z A_{\min} = 49.973$  毫米

$$\begin{aligned} \text{轴的上偏差 } Z B_s &= 49.990 - 50 \\ &= -0.010 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{轴的下偏差 } Z B_x &= 49.973 - 50 \\ &= -0.027 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

最大间隙: 以极限尺寸计算

$$X_{\max} = K A_{\max} - Z A_{\min} = 50.027 - 49.973 = 0.054 \text{ 毫米}$$

若用上、下偏差计算, 同样可得

$$X_{\max} = K B_s - Z B_x = +0.027 - (-0.027) = 0.054 \text{ 毫米}$$

最小间隙: 以极限尺寸计算

$$X_{\min} = K A_{\min} - Z A_{\max} = 50 - 49.990 = 0.010 \text{ 毫米}$$

用上、下偏差计算, 同样可得

$$X_{\min} = K B_x - Z B_s = 0 - (-0.10) = +0.010 \text{ 毫米}$$

平均间隙

$$X_{\text{平均}} = \frac{0.054 + 0.010}{2} = 0.032 \text{ 毫米}$$

#### 4. 过盈 $Y$

孔的实际尺寸小于轴的实际尺寸, 二者之差称为过盈。轴装入孔时, 孔胀大而轴缩小, 这样的配合称为静配合。

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  $Y_{\max}$ , 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  $Y_{\min}$ 。极限过盈亦可用轴和孔的极限偏差来表示, 用式子分别表示如下:

最大过盈

$$Y_{\max} = Z A_{\max} - K A_{\min} = Z B_s - K B_x \quad (1-10)$$

最小过盈



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

最大过盈与最小过盈之和的一半称为平均过盈，用  $Y_{\text{平均}}$  表示：

$$Y_{\text{平均}} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad (1-12)$$

图 4 表示极限尺寸和过盈之间关系。

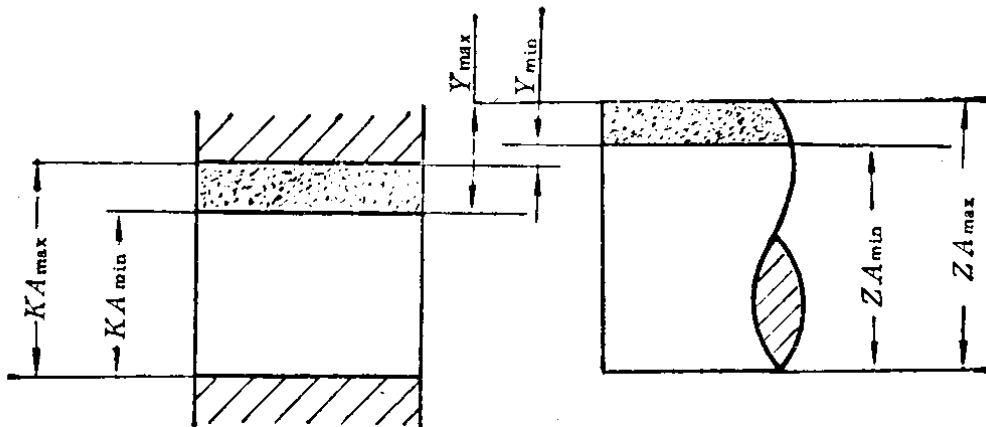


图 4

例：孔和轴的公称尺寸  $A = 50$  毫米

孔的最大极限尺寸  $KA_{\max} = 50.015$  毫米

孔的最小极限尺寸  $KA_{\min} = 50$  毫米

孔的上偏差

$$KB_s = KA_{\max} - A = 50.015 - 50 = +0.015 \text{ 毫米}$$

孔的下偏差

$$KB_x = KA_{\min} - A = 50 - 50 = 0$$

轴的最大极限尺寸  $ZA_{\max} = 50.045$  毫米

轴的最小极限尺寸  $ZA_{\min} = 50.034$  毫米

轴的上偏差

$$ZB_s = ZA_{\max} - A = 50.045 - 50 = +0.045 \text{ 毫米}$$

轴的下偏差

$$ZB_x = ZA_{\min} - A = 50.034 - 50 = +0.034 \text{ 毫米}$$