

# 互换性与技术测量

(修订版)

重庆大学 廖念钊 古莹菴 莫雨松 李硕根 杨兴骏 编

计量出版社

1985·北京

## 内 容 提 要

本书包括绪言、光滑圆柱体结合的公差与配合、长度测量基础、形状和位置公差及检测、表面粗糙度及检测、光滑极限量规、滚动轴承的公差与配合、尺寸链、圆锥和角度公差及检测、螺纹公差及检测、键和花键的公差及检测以及圆柱内轮公差及检测等共十一章。

本书系统地论述了“互换性与技术测量”的基本知识，分析介绍了我国公差与配合方面的新标准，阐述了技术测量的基本原理，反映了一些新的测试技术。本书可供高等院校机械类各专业“互换性与技术测量”的教学之用，也可供机械制造工程技术人员及计量、检验人员参考。

## 互 换 性 与 技 术 测 量

(修 订 本)

廖念钊 古莹菴 莫雨松 李硕根 杨兴骏 编

✻

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

✻

开本 787×1092 1/16 印张 16 1/2

字数 397 千字 印数 1—42000

1985年6月第一版 1985年6月第一次印刷

统一书号 15210·440

定价 2.60 元

# 目 录

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 绪言                              | ( i )   |
| 1. 互换性概述                        | ( i )   |
| 2. 公差与配合标准发展简介                  | ( i )   |
| 3. 计量技术发展简介                     | ( ii )  |
| 4. 优先数和优先数系                     | ( iii ) |
| 第一章 光滑圆柱体结合的公差与配合               | ( 1 )   |
| 1.1 概述                          | ( 1 )   |
| 1.2 公差与配合的基本术语及定义               | ( 1 )   |
| 1.3 公差与配合新国标                    | ( 6 )   |
| 1.4 新国标规定的公差带与配合                | ( 19 )  |
| 1.5 公差与配合的选用                    | ( 24 )  |
| 1.6 公差与配合旧国标概述                  | ( 28 )  |
| 第二章 长度测量基础                      | ( 35 )  |
| 2.1 测量的基本概念                     | ( 35 )  |
| 2.2 尺寸传递                        | ( 35 )  |
| 2.3 测量方法与计量器具的分类                | ( 38 )  |
| 2.4 计量器具与测量方法的常用术语              | ( 40 )  |
| 2.5 仪器读数装置                      | ( 40 )  |
| 2.6 常用长度计量仪器                    | ( 45 )  |
| 2.7 新技术在长度计量中的应用——坐标测量机中常用的检测元件 | ( 53 )  |
| 2.8 测量误差和数据处理                   | ( 59 )  |
| 2.9 测量误差的来源及其防止                 | ( 69 )  |
| 2.10 计量器具的选择                    | ( 72 )  |
| 第三章 形状和位置公差及检测                  | ( 76 )  |
| 3.1 概述                          | ( 76 )  |
| 3.2 形状公差和误差                     | ( 76 )  |
| 3.3 位置公差和误差                     | ( 86 )  |
| 3.4 形位公差与尺寸公差的关系                | ( 95 )  |
| 3.5 形位公差值的选择                    | ( 99 )  |
| 3.6 形位误差检测原则                    | ( 101 ) |
| 第四章 表面粗糙度及检测                    | ( 108 ) |
| 4.1 表面粗糙度的国家标准                  | ( 108 ) |
| 4.2 零件表面粗糙度参数值的选择               | ( 113 ) |

|             |                         |              |
|-------------|-------------------------|--------------|
| 4.3         | 表面粗糙度的测量                | (114)        |
| <b>第五章</b>  | <b>光滑极限量规</b>           | <b>(119)</b> |
| 5.1         | 基本概念                    | (119)        |
| 5.2         | 泰勒原则                    | (120)        |
| 5.3         | 量规公差带                   | (121)        |
| 5.4         | 量规设计                    | (124)        |
| <b>第六章</b>  | <b>滚动轴承的公差与配合</b>       | <b>(127)</b> |
| 6.1         | 概述                      | (127)        |
| 6.2         | 滚动轴承的精度等级               | (127)        |
| 6.3         | 滚动轴承内径与外径的公差带及其特点       | (130)        |
| 6.4         | 滚动轴承与轴和壳体孔的配合及其选择       | (132)        |
| <b>第七章</b>  | <b>尺寸链</b>              | <b>(140)</b> |
| 7.1         | 概述                      | (140)        |
| 7.2         | 完全互换法解尺寸链               | (143)        |
| 7.3         | 概率法解尺寸链                 | (148)        |
| 7.4         | 解尺寸链的其他方法               | (150)        |
| <b>第八章</b>  | <b>圆锥和角度公差及检测</b>       | <b>(152)</b> |
| 8.1         | 圆锥与圆锥公差                 | (152)        |
| 8.2         | 角度及角度公差                 | (159)        |
| 8.3         | 角度和锥度的测量                | (162)        |
| <b>第九章</b>  | <b>螺纹公差及检测</b>          | <b>(168)</b> |
| 9.1         | 概述                      | (168)        |
| 9.2         | 螺纹几何要素误差对螺纹互换性的影响       | (170)        |
| 9.3         | 普通螺纹的公差与配合              | (174)        |
| 9.4         | 机床丝杆、螺母公差               | (180)        |
| 9.5         | 螺纹测量                    | (185)        |
| <b>第十章</b>  | <b>键和花键的公差及检测</b>       | <b>(193)</b> |
| 10.1        | 键联结                     | (193)        |
| 10.2        | 花键联结                    | (197)        |
| 10.3        | 键和花键的检测                 | (202)        |
| <b>第十一章</b> | <b>圆柱齿轮传动公差及检测</b>      | <b>(205)</b> |
| 11.1        | 概述                      | (205)        |
| 11.2        | 齿轮加工误差                  | (205)        |
| 11.3        | 齿轮副误差及其评定指标             | (213)        |
| 11.4        | 渐开线圆柱齿轮精度 (JB 179—83)   | (215)        |
| 11.5        | 齿轮测量                    | (227)        |
| 11.6        | 圆柱齿轮传动公差 (JB 179—60) 简介 | (240)        |
|             | <b>习题</b>               | <b>(243)</b> |

# 第一章 光滑圆柱体结合的公差与配合

## 1.1 概 述

圆柱体零件的“公差与配合”是一项应用广泛、涉及面大的重要基础标准。

在机器制造业中，“公差”是用于协调机器零件的使用要求与制造经济性之间的矛盾；“配合”是反映机器零件之间有关功能要求的相互关系。“公差与配合”的标准化，有利于机器的设计、制造、使用和维修，直接影响产品的精度、性能和使用寿命，是评定产品质量的重要技术指标。“公差与配合”标准不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制订其它标准的基础，而且是广泛组织协作和专业化生产的重要依据。“公差与配合”标准几乎涉及国民经济的各个部门，在机械工业中具有重要的作用。

1959年我国颁布了“公差与配合”国家标准（GB159~174—59以下简称旧标准），这个标准是参照苏联标准制订的。

由于科学技术飞跃发展，产品的精度不断提高，国际技术交流日益扩大，旧国标存在精度等级偏低、配合种类较少、大尺寸标准不符合生产实际以及规律性差等缺点，已不适应生产技术发展的要求。根据国家标准总局的安排，对该标准进行了修订，并于1979年批准颁布了公差与配合新的国家标准（GB1800~1804—79）。

这个标准是参照国际标准（ISO）制订的。它包括五个标准。第一个标准“总论、标准公差与基本偏差”，对公差制作了全面的、系统的规定和阐述。后四个标准是以前者为基础制订的，实际上是第一个标准的应用。结合我国生产实际，针对各行各业使用情况，提出了孔和轴的一般、常用和优先公差带，以及常用、优先配合。本章主要阐述公差与配合新国标（GB1800~1804—79）的构成规律和特征。

## 1.2 公差与配合的基本术语及定义

为了正确理解和应用公差配合标准，必须了解以下术语和定义。

### 1.2.1 有关“尺寸”的术语和定义

#### 1. 尺 寸

用特定单位表示长度值的数字。

#### 2. 基本尺寸

基本尺寸是设计给定的尺寸。

基本尺寸是设计零件时，根据使用要求，通过刚度、强度计算或结构等方面的考虑，并按标准直径或标准长度圆整后所给定的尺寸。它是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸。孔、轴配合的基本尺寸相同。

### 3. 实际尺寸

实际尺寸是通过测量获得的尺寸。

由于存在测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。同时，由于形状误差等影响，零件同一表面不同部位的实际尺寸往往是不等的。

### 4. 极限尺寸

极限尺寸是指允许尺寸变化的两个极限值。两个极限尺寸中较大的一个称为最大极限尺寸；较小的一个称为最小极限尺寸（图1—1）。

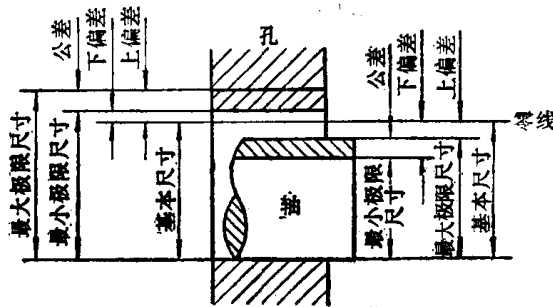


图 1—1 公差与配合示意图

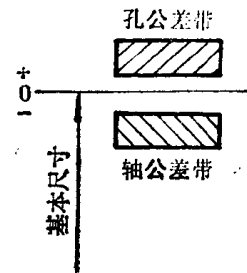


图 1—2 公差带图

### 5. 最大实体状态（简称MMC）和最大实体尺寸

最大实体状态系指孔或轴在尺寸公差范围内，具有材料量最多时的状态。在此状态下的尺寸，称为最大实体尺寸，它是孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸的统称。

### 6. 最小实体状态（简称LMC）和最小实体尺寸

最小实体状态系指孔或轴在尺寸公差范围内，具有材料量最少时的状态。在此状态下的尺寸，称为最小实体尺寸，它是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸的统称。

例如：孔为  $\phi 50^{+0.039}$ ，轴为  $\phi 50_{-0.050}^0$

最大实体尺寸：孔为  $\phi 50\text{mm}$ ，轴为  $\phi 49.975\text{mm}$ ；

最小实体尺寸：孔为  $\phi 50.039\text{mm}$ ，轴为  $\phi 49.950\text{mm}$ 。

### 7. 作用尺寸

在配合面的全长上，与实际孔内接的最大理想轴的尺寸，称为孔的作用尺寸。与实际轴外接的最小理想孔的尺寸，称为轴的作用尺寸。如图1—3所示。

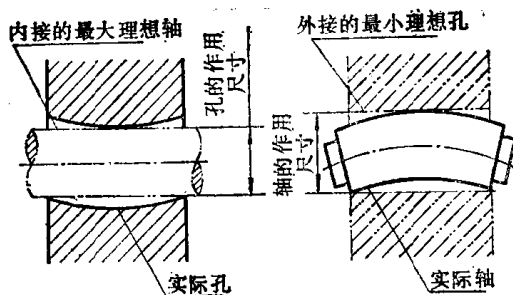


图 1—3 孔或轴的作用尺寸

任何孔、轴，都有形状误差，新国标对如何根据极限尺寸来判断孔、轴是否合格，作了原则的规定，称为极限尺寸判断原则（即泰勒原则）。

“极限尺寸判断原则”（泰勒原则）：

孔或轴的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸。即对于孔，其作用尺寸应不小于最小极限尺寸；对于轴应不大于最大极限尺寸。

在任何位置上的实际尺寸，不允许超过最小实体尺寸，即对于孔，其实际尺寸应不大于最大极限尺寸；对于轴，则应不小于最小极限尺寸。

由此可见，孔或轴的最大实体尺寸是控制其作用尺寸的；孔或轴的最小实体尺寸是控制其实际尺寸的。

## 1.2.2 有关“公差与偏差”的术语和定义

### 1. 尺寸偏差（简称偏差）

尺寸偏差是指某一个尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为上偏差；最小极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为下偏差；上偏差和下偏差统称为极限偏差。实际尺寸减其基本尺寸的代数差称为实际偏差。偏差可以为正值、负值或零值。合格零件的实际偏差应在规定的极限偏差范围内。

### 2. 尺寸公差（简称公差）

尺寸公差是指允许尺寸的变动量。

公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值；也等于上偏差与下偏差的代数差的绝对值。

例1：基本尺寸为  $\phi 50$  mm，最大极限尺寸为  $\phi 50.008$  mm，最小极限尺寸为  $\phi 49.992$  mm，试计算偏差和公差。

解：上偏差 = 最大极限尺寸 - 基本尺寸

$$= 50.008 - 50 = 0.008\text{mm}$$

下偏差 = 最小极限尺寸 - 基本尺寸

$$= 49.992 - 50 = -0.008\text{mm}$$

公差 = 最大极限尺寸 - 最小极限尺寸

$$= 50.008 - 49.992 = 0.016\text{mm}$$

公差 = 上偏差 - 下偏差

$$= 0.008 - (-0.008) = 0.016\text{mm}$$

### 3. 零线与公差带

图1—1是公差与配合的一个示意图，它表明了两个相互结合的孔、轴的基本尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系。在实用中，为简单起见，一般以公差与配合图解（图1—2）来表示。

零线：在公差与配合图解（简称公差带图）中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常零线表示基本尺寸。正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方。

公差带：在公差带图中，由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域，叫公差带。

在国标中，公差带包括了“公差带大小”与“公差带位置”两个参数。前者由标准公差确定，后者由基本偏差确定。

### 4. 基本偏差

基本偏差是用来确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般指靠近零线的那个偏差。当公差带位于零线上方时，其基本偏差为下偏差；位于零线下方时，其基本偏差为上偏差（图1—4）。

注：极限尺寸的判断原则（即泰勒原则）是在1905年由W·泰勒（William Taylor）提出，见1905英国专利6900。

## 5. 标准公差

国标规定的，用以确定公差带大小的任一公差，称为标准公差。

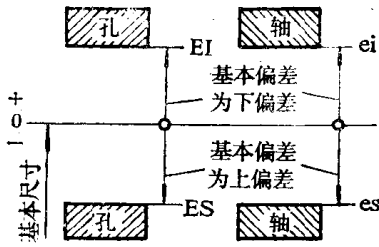


图 1—4 基本偏差示意图

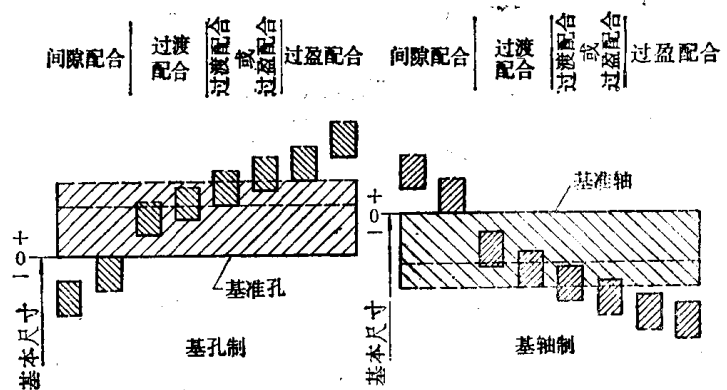


图 1—5 基孔制配合与基轴制配合

### 1.2.3 有关“配合”的术语及定义

#### 1. 配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

国标对配合规定有两种基准制，即基孔制与基轴制。

**基孔制：**是基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。

基孔制的孔为基准孔。标准规定基准孔的下偏差为零，基准孔的代号为“H”。

**基轴制：**是基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。

基轴制的轴为基准轴。标准规定基准轴的上偏差为零，基准轴的代号为“h”。

按照孔、轴公差带相对位置的不同，两种基准制都可形成间隙配合、过渡配合和过盈配合三类。如图1—5所示。

#### 2. 间隙配合

在孔与轴配合中，孔的尺寸减去相配合轴的尺寸，其差值为正时是间隙。

由于孔、轴是有公差的，所以实际间隙的大小将随着孔和轴的实际尺寸而变化。孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差，称为最大间隙 ( $X_{max}$ )。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差，称为最小间隙 ( $X_{min}$ )。

**配合公差（或间隙公差）：**是允许间隙的变动量，它等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值，也等于相互配合的孔公差与轴公差之和。

**间隙配合：**孔的公差带完全在轴的公差带之上，即具有间隙的配合（包括最小间隙等于零的配合）。

例 2： $\phi 50^{+0.039}_0$  的孔与  $\phi 50^{+0.025}_{-0.050}$  的轴相配是基孔制间隙配合。

公差带图如图1—6所示，各种计算见表1—1。

#### 3. 过盈配合

在孔与轴配合中，孔的尺寸减去相配合轴的尺寸，其差值为负时是过盈。



表 1-1

(mm)

|        | 孔                                   | 轴                    |
|--------|-------------------------------------|----------------------|
| 基本尺寸   | 50                                  | 50                   |
| 上偏差    | $ES = +0.039$                       | $es = -0.025$ (基本偏差) |
| 下偏差    | $EI = 0$ (基本偏差)                     | $ei = -0.050$        |
| 标准公差   | 0.039                               | 0.025                |
| 最大极限尺寸 | 50.039                              | 49.975               |
| 最小极限尺寸 | 50.000                              | 49.950               |
| 最大间隙   | $X_{max} = 50.039 - 49.950 = 0.089$ |                      |
| 最小间隙   | $X_{min} = 50.000 - 49.975 = 0.025$ |                      |
| 配合公差   | 0.089 - 0.025 = 0.064               |                      |
| (间隙公差) | 或 $0.039 + 0.025 = 0.064$           |                      |

同理, 实际过盈也随着孔和轴的实际尺寸而变化。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差, 称为最大过盈 ( $Y_{max}$ ); 孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差, 称为最小过盈 ( $Y_{min}$ )。

配合公差 (或过盈公差): 是允许过盈的变动量。它等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值, 也等于相互配合的孔公差与轴公差之和。

表 1-2

(mm)

|        | 孔                                    | 轴                    |
|--------|--------------------------------------|----------------------|
| 基本尺寸   | 50                                   | 50                   |
| 上偏差    | $ES = +0.025$                        | $es = +0.059$        |
| 下偏差    | $EI = 0$ (基本偏差)                      | $ei = +0.043$ (基本偏差) |
| 标准公差   | 0.025                                | 0.016                |
| 最大极限尺寸 | 50.025                               | 50.059               |
| 最小极限尺寸 | 50.000                               | 50.043               |
| 最大过盈   | $Y_{max} = 50.000 - 50.059 = -0.059$ |                      |
| 最小过盈   | $Y_{min} = 50.025 - 50.043 = -0.018$ |                      |
| 配合公差   | $-0.018 - (-0.059) = 0.041$          |                      |
| (过盈公差) | 或 $0.025 + 0.016 = 0.041$            |                      |

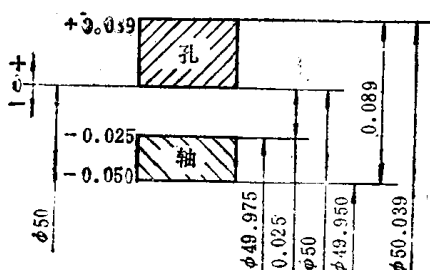


图 1-6 间隙配合公差带

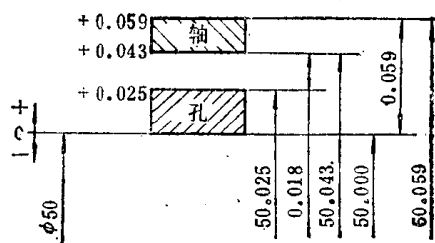


图 1-7 过盈配合公差带

过盈配合：孔的公差带完全在轴的公差带之下，即具有过盈的配合（包括最小过盈等于零的配合）。

例3： $\phi 50^{+0.025}_0$  的孔与  $\phi 50^{+0.018}_{+0.002}$  的轴相配是基孔制过盈配合。公差带图如图 1—7 所示，各种计算见表 1—2。

#### 4. 过渡配合

在孔与轴配合中，孔与轴的公差带相互交迭，任取其中一对孔和轴相配，可能具有间隙，也可能具有过盈的配合。

在过渡配合中，其配合的极限情况是最大间隙 ( $X_{max}$ ) 与最大过盈 ( $Y_{max}$ )。

配合公差等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。也等于相互配合的孔与轴公差之和。

例4： $\phi 50^{+0.025}_0$  的孔与  $\phi 50^{+0.018}_{+0.002}$  的轴相配是基孔制过渡配合。

公差带图如图 1—8 所示，各种计算见表 1—3。

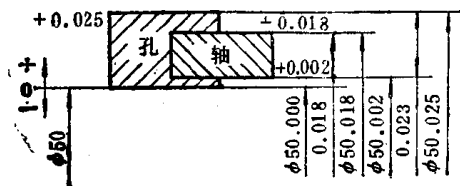


图 1—8 过渡配合公差带

表 1—3

(mm)

|        | 孔  | 轴                  |
|--------|--|--------------------|
| 基本尺寸   | 50   | 50                 |
| 上偏差    | ES = +0.025                                  | es = +0.018        |
| 下偏差    | EI = 0 (基本偏差)                                | ei = +0.002 (基本偏差) |
| 最大极限尺寸 | 50.025                                       | 50.018             |
| 最小极限尺寸 | 50.000                                       | 50.002             |
| 标准公差   | 0.025  | 0.016              |
| 最大间隙   | $X_{max} = 50.025 - 50.002 = 0.023$          |                    |
| 最小间隙   | $X_{min} = 50.000 - 50.018 = -0.018$ (即最大过盈) |                    |
| 配合公差   | $0.023 - (-0.018) = 0.041$                   |                    |
|        | 或 $0.025 + 0.016 = 0.041$                    |                    |

## 1.3 公差与配合新国标

GB 1800~1804—79 是我国 1979 年制订的公差与配合的新国家标准。这个标准是确定光滑圆柱体零件或长度单一尺寸的公差与配合的依据，也适用于其它光滑表面和相应结合尺寸的公差，以及由它们组成的配合。

新国标是按标准公差系列（公差带大小或公差数值）标准化和基本偏差系列（公差带位置）标准化的原则制订的。下面阐述构成规则及特征。

### 1.3.1 标准公差系列

标准公差是国标规定的用以确定公差带大小的任一公差值。它是由下列原则制订的。

## 1. 公差单位 (公差因子)

零件的制造误差不仅与加工方法有关, 而且与基本尺寸的大小有关, 为了便于评定零件尺寸公差等级的高低, 规定了公差单位。

公差单位是计算标准公差的基本单位, 是制订标准公差系列表的基础。公差单位与基本尺寸之间呈一定的相关关系。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时, 新国标的公差单位  $i$  按下式计算:

$$i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (\mu\text{m}) \quad (1-1)$$

式中  $D$ ——基本尺寸分段的计算尺寸, 单位为  $\text{mm}$ 。

在公差单位公式中包括两项: 第一项主要反映加工误差, 根据生产实际经验和统计分析, 它是呈抛物线的规律; 第二项用于补偿与直径成正比的误差, 包括由于测量偏离标准温度时以及量规的变形等引起的测量误差。

当直径很小时, 第二项所占比重很小; 当直径较大时, 公差单位随直径的增加而加快, 公差值相应增大。

对尺寸 $> 500 \sim 3150\text{mm}$ 范围时, 新国标的公差单位  $I$  按下式计算:

$$I = 0.004D + 2.1 \quad (\mu\text{m}) \quad (1-2)$$

对大尺寸而言, 与直径成正比的误差因素, 其影响增长很快, 特别是温度变化影响大, 而温度变化引起的误差随直径的加大呈线性关系, 所以, 国标规定的大尺寸公差单位采用线性关系。

实践证明, 当尺寸 $> 3150\text{mm}$ 时, 以  $I = 0.004D + 2.1$  为基础来计算标准公差, 也不能完全反映实际出现的误差规律。但目前尚未确定出合理的计算公式, 只能暂按直线关系式计算, 列于国标附录供参考使用。更合理的计算公式有待进一步在生产中加以总结。

## 2. 公差等级

新国标规定的标准公差是用公差等级系数和公差单位的乘积值来决定的。

在基本尺寸一定的情况下, 公差等级系数是决定标准公差大小的唯一参数。

根据公差等级系数不同, 新国标将标准公差分为 20 级, 即 IT01, IT0, IT1, IT2……IT18。IT 表示标准公差, 即国际公差 (ISO Tolerance) 的缩写代号, 公差等级代号用阿拉伯数字表示。如 IT7 表示标准公差 7 级或 7 级标准公差。从 IT01 至 IT18, 等级依次降低, 而相应的标准公差值依次增大。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时, IT5 以下各级标准公差按表 1-4 计算。

表 1-4 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的 IT5 至 IT18 级标准公差计算表

| 公差等级                     | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16  | IT17  | IT18  |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 公差值<br>( $\mu\text{m}$ ) | 7i  | 10i | 16i | 25i | 40i | 64i  | 100i | 160i | 250i | 400i | 640i | 1000i | 1800i | 2500i |

每一公差等级有一个确定的公差等级系数, 如表 1-4 中的 7、10、16……等数值, 由该表可以看出, 从 IT6~IT18 级, 公差等级系数按 R5 优先数系增加, 公比为  $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$ , 即每隔 5 个等级公差值增加 10 倍。

对尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的更高等级, 主要考虑测量误差, 公差计算采用线性关系式。如表 1-5 所示。

表 1-5 尺寸≤500mm的IT01至IT1标准公差计算表

| 公差等级        | IT01         | IT0          | IT1          |
|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 公差值<br>(μm) | $0.3+0.008D$ | $0.5+0.012D$ | $0.8+0.020D$ |

标准公差 IT2~IT4 的数值, 大约在 IT1~IT5 数值之间近似呈几何级数, 比值为  $\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{1}{4}}$ , 即 IT2、IT3、IT4 的标准公差分别为

$$IT2\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{1}{4}}, IT3\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{2}{4}}, IT4\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{3}{4}}$$

从上述情况可以看出, 新国标各级之间的公差分布规律性强, 便于向高、低等级延伸, 例如 IT17 和 IT18 就是在 ISO 公差制基础上延伸的。若需更高精度的公差, 例如, 常用尺寸段需要 IT02, 亦可延伸。因为, IT01 至 IT1 的公差计算式中的系数均采用了优先数系 R 10/2, 由此可推出 IT02 的公差计算式为

$$IT02 = 0.2 + 0.005 D$$

当有需要时, 还可插入中间等级, 例如  $IT6.5 = 1.25 \times IT6 = 12.5 i$ ,  $IT7.5 = 1.25 \times IT7 = 20 i$ ,  $IT8.5 = 31.5 i$  等等, 即按优先数系 R10 插入, 以满足广泛和特殊的需要。而旧国标精度等级的划分没有这样严格的公比, 相邻精度等级间公差的比值约在 1.4 至 2.1 之间变动。

对于尺寸 > 500 mm 时, IT5 以下各级标准公差同样以公差等级系数和公差单位的乘积来计算, 如表 1-6 所示。

表 1-6 尺寸>500mmIT5至IT18标准公差计算表

| 公差等级        | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16  | IT17  | IT18  |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 公差值<br>(μm) | 7I  | 10I | 16I | 25I | 40I | 64I  | 100I | 160I | 250I | 400I | 640I | 1000I | 1600I | 2500I |

新国标对尺寸 > 500 mm 的更高等级的标准公差 IT01、IT0、IT1, 分别按  $1I$ 、 $\sqrt{2}I$ 、 $2I$  计算。标准公差 IT2~IT4, 同样也在 IT1~IT5 数值之间近似呈几何级数, 比值为  $\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{1}{4}}$ 。

### 3. 基本尺寸分段

根据标准公差计算公式, 每有一个基本尺寸就应该有一个相对应的公差值。但在生产实践中基本尺寸很多, 这样就会形成一个庞大的公差数值表, 给生产带来很多困难。为了减少公差数目, 统一公差值, 简化公差表格, 特别考虑到便于应用, 新国标对基本尺寸进行了分段。尺寸分段后, 对同一尺寸分段内的所有基本尺寸, 在相同公差等级的情况下, 规定相同的标准公差。新国标基本尺寸主段落的分段如表 1-8 所示。

在公差表格中, 一般使用主段落, 对过盈或间隙比较敏感的一些配合, 使用分段较密的中间段落 (参看表 1-10 和表 1-11)。

在标准公差及基本偏差的计算公式中, 基本尺寸  $D$  一律以所属尺寸分段内, 首、尾两个尺寸的几何平均值来进行计算 (在 ≤ 3mm 这一尺寸分段中, 是用 1 和 3 的几何平均值)。

例如80~120 mm 基本尺寸分段的计算直径为 $\sqrt{80 \times 120} = 97.98$  mm, 只要是属于这一尺寸分段的基本尺寸, 其标准公差和基本偏差一律以 97.98 mm 进行计算。

在尺寸分段方法上, 对 $\leq 180$  mm 尺寸分段, 考虑到与国际公差 (ISO) 的一致, 仍保留不均匀递增数系, 对 $> 180$  mm 以上尺寸分段, 采用十进几何数系——优先数系, 主段落按优先数系 R 10 分段, 中间段落按优先数系 R 20 分段。在 $> 500 \sim 10000$  mm 的尺寸范围, 也采用优先数系分段。

表 1-7 标准公差数值

| 基本尺寸        | 公差等级 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | IT01 | IT0 | IT1 | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9  | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |
|             | (μm) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      | (mm) |      |      |      |      |      |      |
| ≤3          | 0.3  | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 4   | 6   | 10  | 14  | 25   | 40   | 60   | 100  | 0.14 | 0.25 | 0.40 | 0.60 | 1.0  | 1.4  |
| >3~6        | 0.4  | 0.6 | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 5   | 8   | 12  | 18  | 30   | 48   | 75   | 120  | 0.18 | 0.30 | 0.48 | 0.75 | 1.2  | 1.8  |
| >6~10       | 0.4  | 0.6 | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 6   | 9   | 15  | 22  | 36   | 58   | 90   | 150  | 0.22 | 0.36 | 0.58 | 0.90 | 1.5  | 2.2  |
| >10~18      | 0.5  | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8   | 11  | 18  | 27  | 43   | 70   | 110  | 180  | 0.27 | 0.43 | 0.70 | 1.10 | 1.8  | 2.7  |
| >18~30      | 0.6  | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 6   | 9   | 13  | 21  | 33  | 52   | 84   | 130  | 210  | 0.33 | 0.52 | 0.84 | 1.30 | 2.1  | 3.3  |
| >30~50      | 0.6  | 1   | 1.5 | 2.5 | 4   | 7   | 11  | 16  | 25  | 39  | 62   | 100  | 160  | 250  | 0.39 | 0.62 | 1.00 | 1.60 | 2.5  | 3.9  |
| >50~80      | 0.8  | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8   | 13  | 19  | 30  | 46  | 74   | 120  | 190  | 300  | 0.46 | 0.74 | 1.20 | 1.90 | 3.0  | 4.6  |
| >80~120     | 1    | 1.5 | 2.5 | 4   | 6   | 10  | 15  | 22  | 35  | 54  | 87   | 140  | 220  | 350  | 0.54 | 0.87 | 1.40 | 2.20 | 3.5  | 5.4  |
| >120~180    | 1.2  | 2   | 3.5 | 5   | 8   | 12  | 18  | 25  | 40  | 63  | 100  | 160  | 250  | 400  | 0.63 | 1.00 | 1.60 | 2.50 | 4.0  | 6.3  |
| >180~250    | 2    | 3   | 4.5 | 7   | 10  | 14  | 20  | 29  | 46  | 72  | 115  | 185  | 290  | 460  | 0.72 | 1.15 | 1.85 | 2.90 | 4.6  | 7.2  |
| >250~315    | 2.5  | 4   | 6   | 8   | 12  | 16  | 23  | 32  | 52  | 81  | 130  | 210  | 320  | 520  | 0.81 | 1.30 | 2.10 | 3.20 | 5.2  | 8.1  |
| >315~400    | 3    | 5   | 7   | 9   | 13  | 18  | 25  | 36  | 57  | 89  | 140  | 230  | 360  | 570  | 0.89 | 1.40 | 2.30 | 3.60 | 5.7  | 8.9  |
| >400~500    | 4    | 6   | 8   | 10  | 15  | 20  | 27  | 40  | 63  | 97  | 155  | 250  | 400  | 630  | 0.97 | 1.55 | 2.50 | 4.00 | 6.3  | 9.7  |
| >500~630    | 4.5  | 6   | 9   | 11  | 16  | 22  | 30  | 44  | 70  | 110 | 175  | 280  | 440  | 700  | 1.10 | 1.75 | 2.8  | 4.4  | 7.0  | 11.0 |
| >630~800    | 5    | 7   | 10  | 13  | 18  | 25  | 35  | 50  | 80  | 125 | 200  | 320  | 500  | 800  | 1.25 | 2.0  | 3.2  | 5.0  | 8.0  | 12.5 |
| >800~1000   | 5.5  | 8   | 11  | 15  | 21  | 29  | 40  | 56  | 90  | 140 | 230  | 360  | 560  | 900  | 1.40 | 2.3  | 3.6  | 5.6  | 9.0  | 14.0 |
| >1000~1250  | 6.5  | 9   | 13  | 18  | 24  | 34  | 46  | 66  | 105 | 165 | 260  | 420  | 660  | 1050 | 1.65 | 2.6  | 4.2  | 6.6  | 10.5 | 16.5 |
| >1250~1600  | 8    | 11  | 15  | 21  | 29  | 40  | 54  | 78  | 125 | 195 | 310  | 500  | 780  | 1250 | 1.95 | 3.1  | 5.0  | 7.8  | 12.5 | 19.5 |
| >1600~2000  | 9    | 13  | 18  | 25  | 35  | 48  | 65  | 92  | 150 | 230 | 370  | 600  | 920  | 1500 | 2.30 | 3.7  | 6.0  | 9.2  | 15.0 | 23.0 |
| >2000~2500  | 11   | 15  | 22  | 30  | 41  | 57  | 77  | 110 | 175 | 280 | 440  | 700  | 1100 | 1750 | 2.80 | 4.4  | 7.0  | 11.0 | 17.5 | 28.0 |
| >2500~3150  | 13   | 18  | 26  | 36  | 50  | 69  | 93  | 135 | 210 | 330 | 540  | 860  | 1350 | 2100 | 3.30 | 5.4  | 8.0  | 13.5 | 21.0 | 33.0 |
| >3150~4000  | 16   | 23  | 33  | 45  | 60  | 84  | 115 | 165 | 260 | 410 | 660  | 1050 | 1650 | 2600 | 4.10 | 6.6  | 10.5 | 16.5 | 26.0 | 41.0 |
| >4000~5000  | 20   | 28  | 40  | 55  | 74  | 100 | 140 | 200 | 320 | 500 | 800  | 1300 | 2000 | 3200 | 5.00 | 8.0  | 13.0 | 20.0 | 32.0 | 50.0 |
| >5000~6300  | 25   | 35  | 49  | 67  | 92  | 125 | 170 | 250 | 400 | 620 | 980  | 1550 | 2500 | 4000 | 6.20 | 9.8  | 15.0 | 25.0 | 40.0 | 62.0 |
| >6300~8000  | 31   | 43  | 62  | 84  | 115 | 155 | 215 | 310 | 490 | 760 | 1200 | 1950 | 3100 | 4900 | 7.60 | 12.0 | 19.5 | 31.0 | 49.0 | 76.0 |
| >8000~10000 | 38   | 53  | 76  | 105 | 140 | 195 | 270 | 380 | 600 | 960 | 1500 | 2400 | 3800 | 6000 | 9.40 | 15.0 | 24.0 | 38.0 | 60.0 | 94.0 |

注: 基本尺寸小于1mm时, 无IT14至IT18。

新国标的标准公差计算举例如下。

例 5: 基本尺寸  $\phi 25$  mm, 求 IT6 = ? IT7 = ?

解：25 mm 属于 18~30mm 尺寸分段

几何平均值： $D = \sqrt{18 \times 30} \approx 23.24 \text{ mm}$

公差单位： $i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001 D$   
 $= 0.45 \sqrt[3]{23.24} + 0.001 \times 23.24$   
 $\approx 1.31 \mu\text{m}$

$IT 6 = 10 i = 10 \times 1.31 = 13.1 \approx 13 \mu\text{m}$

$IT 7 = 16 i = 16 \times 1.31 = 20.96 \approx 21 \mu\text{m}$

按上例计算的公差值，必须按国标规定的尾数化整规则进行圆整。表 1—7 所列的标准公差，即为圆整后的标准值。

表 1—8 基本尺寸分段

(mm)

| 尺寸范围         | 主段落尺寸分段 |      |      |      |      |       |
|--------------|---------|------|------|------|------|-------|
|              | 大于      | 到    | 大于   | 到    | 大于   | 到     |
| ~500         |         | 3    | 30   | 50   | 250  | 315   |
|              | 3       | 6    | 50   | 80   | 315  | 400   |
|              | 6       | 10   | 80   | 120  | 400  | 500   |
|              | 10      | 18   | 120  | 180  |      |       |
|              | 18      | 30   | 180  | 250  |      |       |
| 大于500到3150   | 500     | 630  | 1000 | 1250 | 2000 | 2500  |
|              | 630     | 800  | 1250 | 1600 | 2500 | 3150  |
|              | 800     | 1000 | 1600 | 2000 |      |       |
| 大于3150到10000 | 3150    | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 |
|              | 4000    | 5000 | 6300 | 8000 |      |       |

注：大于 3150~10000 mm 的尺寸分段，列于国标附录中，供必要时参考使用。

### 1.3.2 基本偏差系列

根据前述，基本偏差是用来确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般指靠近零线的那个偏差。当公差带位于零线上方时，其基本偏差为下偏差；当公差带位于零线下方时，其基本偏差为上偏差。基本偏差是国标使公差带位置标准化的唯一指标。

基本偏差系列见图 1—9，基本偏差的代号用拉丁字母表示，大写代表孔，小写代表轴。在 26 个字母中，除去易与其它混淆的 I、L、O、Q、W (i, l, o, q, w) 5 个字母外，采用 21 个。再加上用两个字母 CD、EF、FG、ZA、ZB、ZC、JS、(cd、ef、fg、za、zb、zc、js) 表示的 7 个，共有 28 个代号，即孔和轴各有 28 个基本偏差。其中 Js 和 js 在各个公差等级中完全对称，因此，基本偏差可为上偏差 (+IT/2)，也可为下偏差 (-IT/2)。Js 和 js 将逐渐取代近似对称偏差 J 和 j，故在新国标中，孔仅保留了 J6、J7、J8，轴仅保留了 j5、j6、j7、j8 等几种。

对轴 a~h 的基本偏差为上偏差 es，其绝对值依次逐渐减小；对 j~zc 为下偏差 ei。H 和 h 的基本偏差为零，H 为基准孔，h 为基准轴。在基本偏差系列图中，仅绘出了公差带的

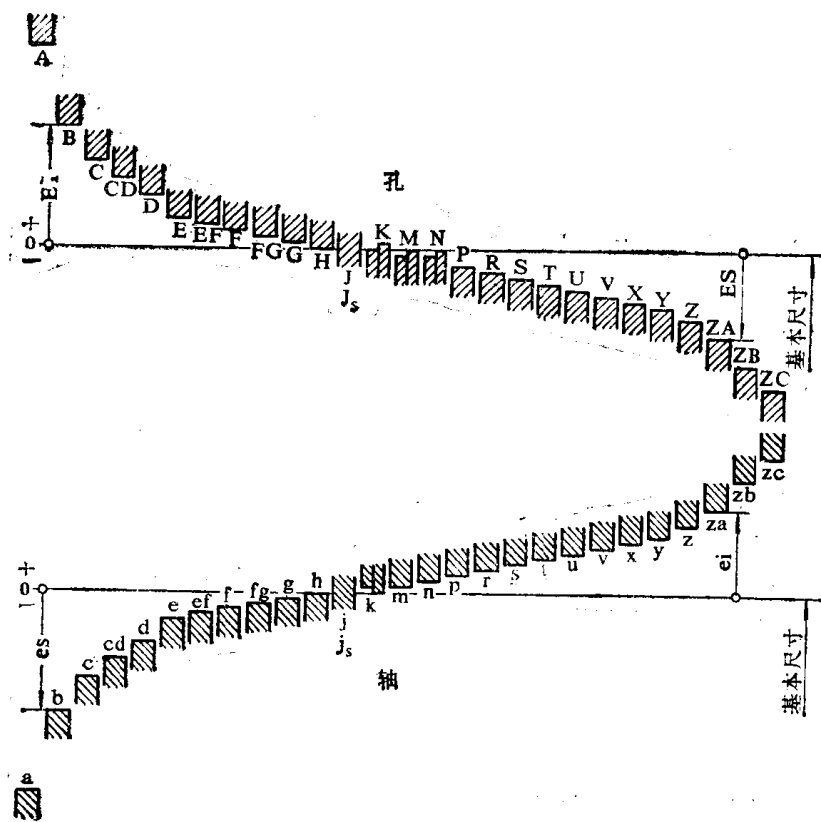


图 1—9 基本偏差系列

一端。对公差带的另一端未绘出，因为它取决于公差等级和这个基本偏差的组合。

### 1. 轴的基本偏差

基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时，轴的基本偏差计算公式见表 1—9。它是基孔制配合为基础来考虑的。a~h 用于间隙配合，基本偏差的绝对值等于最小间隙。其中 a、b、c 用于大间隙和热动配合，考虑发热膨胀的影响，采用与直径成正比关系的公式计算（其中 c 适用于直径大于 40 mm 时）。d、e、f 主要用于旋转运动，为了保证良好的液体摩擦，最小间隙应与直径成平方根关系，但考虑到表面粗糙度的影响，间隙应适当减小，故 d、e、f 的计算公式是按此要求确定的。g 主要用于滑动和半液体摩擦，或用于定位配合，间隙要小，所以直径的指数有所减小。基本偏差 cd、ef、fg 的绝对值，分别按 c 与 d、e 与 f、f 与 g 绝对值的几何平均值确定，适用于尺寸较小的旋转运动件。

j~n 主要用于过渡配合。其中 j，主要用于和轴承相配的孔和轴，其数值纯属经验数据。对于 k，规定 k4~k7 的基本偏差  $ei = +0.6\sqrt[3]{D}$ ，其值很小，只有 1~5 $\mu\text{m}$ ，对于其余的公差等级，均取  $ei = 0$ 。对于 m，是按 m6 的上偏差与 H7（最常用的基准孔）的上偏差相当来确定的。所以 m 的基本偏差  $ei = +(IT7 - IT6)$ 。对于 n，按它与 H6 配合为过盈配合，而与 H7 配合时为过渡配合来考虑的，所以，n 的数值大于 IT6 而小于 IT7，取  $ei = +5D^{0.84}$ 。

p~zc 按过盈配合来规定，从保证配合的主要特性——最小过盈来考虑，而且大多数按它们与最常用的基准孔 H7 相配合为基础来考虑。p 与 H7 配合时要求有几个微米的最小过

盈, 所以  $ei = IT7 + (0 \sim 5\mu m)$ 。基本偏差  $r$  按  $p$  与  $s$  的几何平均值确定。对于  $s$ , 当  $D \leq 50mm$  时, 要求与  $H8$  配合有几个微米的最小过盈, 故  $ei = +IT8 + (1 \sim 4\mu m)$ 。从  $D > 50mm$  的  $s$  起, 包括  $t, u, v, x, y, z$  等, 要求它们与  $H7$  配合时, 最小过盈依次为  $0.4D, 0.63D, D, 1.25D, 1.6D, 2D, 2.5D$ , 而  $za, zb, zc$  分别与  $H8, H9, H10$  配合时, 最小过盈依次为  $3.15D, 4D$  和  $5D$ , 以上最小过盈的系数符合优先数系, 规律性较好, 便于应用。

轴的另一个偏差 (上偏差或下偏差) 根据轴的基本偏差和标准公差, 按下列关系式计算:

$$ei = es - IT \quad (1-3)$$

$$es = ei + IT \quad (1-4)$$

## 2. 孔的基本偏差

基本尺寸  $\leq 500mm$  时, 孔的基本偏差是从轴的基本偏差换算得来的。

表 1-9 基本尺寸  $\leq 500mm$  轴的基本偏差公式

| 基本偏差代号 | 适用范围           | 基本偏差为上偏差 $es (\mu m)$ | 基本偏差代号     | 适用范围           | 基本偏差为下偏差 $ei (\mu m)$ |
|--------|----------------|-----------------------|------------|----------------|-----------------------|
| a      | $D \leq 120mm$ | $-(265 + 1.3D)$       | j          | $IT5 \sim IT8$ | 没有公式                  |
|        | $D > 120mm$    | $-3.5D$               | k          | $\leq IT3$     | 0                     |
| b      | $D \leq 160mm$ | $-(140 + 0.85D)$      |            | $IT4 \sim IT7$ | $+0.6\sqrt{D}$        |
|        | $D > 160mm$    | $-1.8D$               | $\geq IT8$ | 0              |                       |
| c      | $D \leq 40mm$  | $-52D^{0.2}$          | m          |                | $+(IT7 - IT6)$        |
|        | $D > 40mm$     | $-(95 + 0.8D)$        | n          |                | $+5D^{0.34}$          |
| cd     |                | $-\sqrt{c \cdot d}$   | p          |                | $+IT7 + (0 \sim 5)$   |
|        |                | $-16D^{0.44}$         | r          |                | $+\sqrt{p \cdot s}$   |
| d      |                | $-11D^{0.41}$         | s          | $D \leq 50mm$  | $+IT8 + (1 \sim 4)$   |
|        |                | $-\sqrt{e \cdot f}$   |            | $D > 50mm$     | $+IT7 + 0.4D$         |
| ef     |                | $-5.5D^{0.41}$        | t          |                | $+IT7 + 0.63D$        |
|        |                | $-\sqrt{f \cdot g}$   | u          |                | $+IT7 + D$            |
| fg     |                | $-2.5D^{0.34}$        | v          |                | $+IT7 + 1.25D$        |
|        |                | 0                     | x          |                | $+IT7 + 1.6D$         |
| g      |                |                       | y          |                | $+IT7 + 2D$           |
|        |                |                       | z          |                | $+IT7 + 2.5D$         |
| h      |                |                       | za         |                | $+IT8 + 3.15D$        |
|        |                |                       | zb         |                | $+IT9 + 4D$           |
|        |                |                       | zc         |                | $+IT10 + 5D$          |

$$js: \quad \pm \frac{IT}{2}$$

注: (1)式中:  $D$  为基本尺寸的分段计算值, 单位为毫米;

(2)除  $j$  和  $Js$  外, 表中所列公式与公差等级无关。

孔与轴基本偏差换算的前提是: 在孔、轴为同一公差等级或孔比轴低一级配合的条件下, 当基轴制中孔的基本偏差代号与基孔制中轴的基本偏差代号相当 (例如  $\phi 25 F8/h8$  中孔的  $F$  对应于  $\phi 25 H8/f8$  中轴的  $f$ ) 时, 其基本偏差的对应关系, 应保证按基轴制形成的



配合 (例如  $\phi 25 F 7/h 6$ ) 与按基孔制形成的配合 (例如  $\phi 25 H 7/f 6$ ) 相同。

根据上述前提, 孔的基本偏差按以下两种规则换算:

(1) 通用规则

用同一字母表示的孔、轴基本偏差的绝对值相等, 而符号相反。也就是, 孔的基本偏差是轴的基本偏差相对于零线的倒影 (反射关系), 见图 1-11。

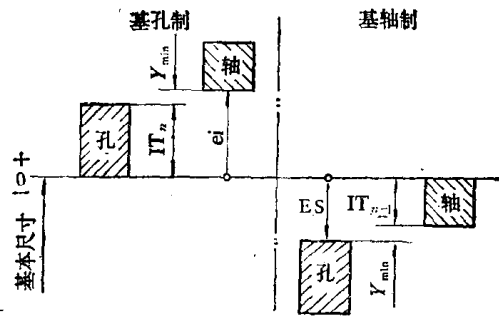


图 1-10 特殊规则、基本偏差的计算

表 1-10 基本尺寸至500mm、国标轴的基本偏差

( $\mu\text{m}$ )

| 基本偏差      |     | 上 偏 差 (es) |      |      |     |      |      |     |     |    |     |   | js  | 下 偏 差 (ei) |    |     |                   |  |
|-----------|-----|------------|------|------|-----|------|------|-----|-----|----|-----|---|-----|------------|----|-----|-------------------|--|
|           |     | a①         | b①   | c    | cd  | d    | e    | ef  | f   | fg | g   | h |     | j          | k  |     |                   |  |
| 基本尺寸 (mm) |     | 公 差 等 级    |      |      |     |      |      |     |     |    |     |   |     |            |    |     |                   |  |
| 大于        | 至   | 所 有 的 级    |      |      |     |      |      |     |     |    |     |   | 5、6 | 7          | 8  | 4~7 | $\leq 3$<br>$> 7$ |  |
| —         | 3   | -270       | -140 | -60  | -34 | -20  | -14  | -10 | -6  | -4 | -2  | 0 | -2  | -4         | -6 | 0   | 0                 |  |
| 3         | 6   | -270       | -140 | -70  | -46 | -30  | -20  | -14 | 10  | -6 | -4  | 0 | -2  | -4         | -  | +1  | 0                 |  |
| 6         | 10  | -280       | -150 | -80  | -56 | -40  | -25  | -18 | -13 | -8 | -5  | 0 | -2  | -5         | -  | +1  | 0                 |  |
| 10        | 18  | -290       | -150 | -95  | -   | -50  | -32  | -   | -16 | -  | -6  | 0 | -3  | -6         | -  | +1  | 0                 |  |
| 18        | 30  | -300       | -160 | -110 | -   | -65  | -40  | -   | -20 | -  | -7  | 0 | -4  | -8         | -  | +2  | 0                 |  |
| 30        | 40  | -310       | -170 | -120 | -   | -80  | -50  | -   | -25 | -  | -9  | 0 | -5  | -10        | -  | +2  | 0                 |  |
| 40        | 50  | -320       | -180 | -130 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 50        | 65  | -340       | -190 | -140 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 65        | 80  | -360       | -200 | -150 | -   | -100 | -60  | -   | -30 | -  | -10 | 0 | -7  | -12        | -  | +2  | 0                 |  |
| 80        | 100 | -380       | -220 | -170 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 100       | 120 | -410       | -240 | -180 | -   | -120 | -72  | -   | -36 | -  | -12 | 0 | -9  | -15        | -  | +3  | 0                 |  |
| 120       | 140 | -460       | -260 | -200 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 140       | 160 | -520       | -280 | -210 | -   | -145 | -85  | -   | -43 | -  | -14 | 0 | -11 | -18        | -  | +3  | 0                 |  |
| 160       | 180 | -580       | -310 | -230 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 180       | 200 | -660       | -340 | -240 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 200       | 225 | -740       | -380 | -260 | -   | -170 | -100 | -   | -50 | -  | -15 | 0 | -13 | -21        | -  | +4  | 0                 |  |
| 225       | 250 | -820       | -420 | -280 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 250       | 280 | -920       | -480 | -300 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 280       | 315 | -1050      | -540 | -330 | -   | -190 | -110 | -   | -56 | -  | -17 | 0 | -16 | -26        | -  | +4  | 0                 |  |
| 315       | 355 | -1200      | -600 | -360 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 355       | 400 | -1350      | -680 | -400 | -   | -210 | -125 | -   | -62 | -  | -18 | 0 | -18 | -28        | -  | +4  | 0                 |  |
| 400       | 450 | -1500      | -760 | -440 | -   | -    | -    | -   | -   | -  | -   | 0 | -   | -          | -  | -   | -                 |  |
| 450       | 500 | -1650      | -840 | -480 | -   | -230 | -135 | -   | -68 | -  | -20 | 0 | -20 | -32        | -  | +5  | 0                 |  |

① 1mm以下各级 a 和 b 均不采用。