

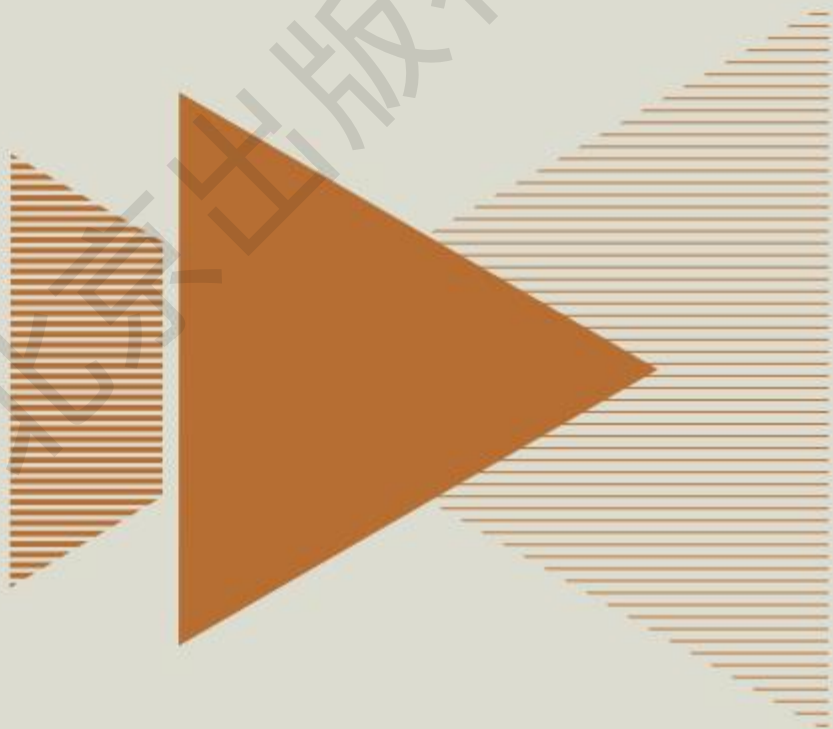


“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 互换性与测量技术

HUHUANXING  
YU CELIANG JISHU

主 编 徐奎照



互换性与测量技术

主 编 徐奎照

北京出版集团公司  
北京出版社

北京出版集团公司  
北 京 出 版 社

## 内容简介

教材编写以职业能力培养为重点,进行基于工作过程的开发和设计。教材内容的选取与职业岗位工作任务高度吻合,达到教学过程与工作过程的结合,做到了学生学习过程与行动过程的一体化。

全书以项目为载体构建教学内容,分两大部分 12 个项目:通用零件和典型零件的标准和技术测量,体现职业性、实践性和开放性的课程特点。项目一介绍了我国标准化历程,互换性与合格的条件和实现的意义;项目二介绍了图纸中的尺寸、偏差、公差的含义;项目三介绍了装配图中孔、轴二者之间的装配关系的分析方法;项目四介绍了公差配合标准的应用;项目五介绍了尺寸测量的方法;项目六介绍了形状和位置公差及其误差的测量;项目七介绍了表面粗糙度和测量;项目八介绍了键与花键的公差配合及测量;项目九介绍了轴承的公差配合;项目十介绍了螺纹的公差与配合;项目十一介绍了圆锥的公差配合及测量;项目十二介绍了齿轮零件图中齿轮的公差配合及测量。

本书是高职高专数控加工、模具、汽车、计算机辅助设计、港口机械技术、物流机械与自动控制 and 机电一体化等专业的必修课教材,配套实验指导书供学习者培养测量技能使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术 / 徐奎照主编. -- 北京:北京出版社, 2014.5 (2022 重印)

ISBN 978-7-200-10702-9

I. ①互… II. ①徐… III. ①零部件—互换性—高等教育—教材②零部件—测量技术—高等教育—教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 114114 号

## 互换性与测量技术

HUHUANXING YU CELIANG JISHU

主 编: 徐奎照

出 版: 北京出版集团公司

北 京 出 版 社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: [www.bph.com.cn](http://www.bph.com.cn)

总发行: 北京出版集团公司

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版 次: 2014 年 5 月第 1 版 2020 年 5 月修订 2022 年 1 月第 6 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 13

字 数: 300 千字

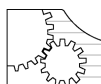
书 号: ISBN 978-7-200-10702-9

定 价: 39.80 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

# 目 录

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 项目一 合格与互换性 .....                                          | 1   |
| 项目二 看懂图纸中的尺寸、偏差、公差 .....                                  | 7   |
| 任务一 认识有偏差要求的尺寸 .....                                      | 7   |
| 任务二 认识偏差 .....                                            | 8   |
| 任务三 认识尺寸公差 .....                                          | 10  |
| 任务四 一般公差——线性尺寸的未注公差 .....                                 | 11  |
| 任务五 轴、孔基本偏差数值的查表和另一极限偏差确定 .....                           | 12  |
| 项目三 看懂装配图中孔、轴二者之间的装配关系 .....                              | 18  |
| 任务一 看明白图中的配合关系 .....                                      | 18  |
| 任务二 学会公差配合在图样上的标注方法 .....                                 | 22  |
| 项目四 公差配合标准的应用 .....                                       | 27  |
| 项目五 尺寸的测量 .....                                           | 40  |
| 任务一 长度测量的基本概念 .....                                       | 40  |
| 任务二 熟悉常用测量器具的测微原理及基本结构 .....                              | 45  |
| 任务三 测量误差及数据处理 .....                                       | 50  |
| 项目六 形状和位置公差及其误差的测量 .....                                  | 63  |
| 任务一 术语与定义 .....                                           | 63  |
| 任务二 形位公差的符号及其标注(GB/T1958-2017) .....                      | 64  |
| 任务三 形状公差项目公差带的定义、标注、解释(GB/T1958-2017)及形状误差的<br>检测方法 ..... | 70  |
| 任务四 位置公差带的定义、标注、解释(GB/T1182-1996)及位置误差的检测方法<br>.....      | 80  |
| 任务五 公差原则 .....                                            | 90  |
| 任务六 形位公差的选择 .....                                         | 93  |
| 项目七 表面粗糙度和测量 .....                                        | 101 |
| 任务一 熟悉表面粗糙度的术语 .....                                      | 101 |
| 任务二 表面粗糙度的选用及标注 .....                                     | 103 |
| 任务三 表面粗糙度检测 .....                                         | 108 |



|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 项目八 键和花键的公差配合及测量                 | 110 |
| 任务一 熟悉键和花键的作用与分类                 | 110 |
| 任务二 学会键的公差与配合及测量                 | 110 |
| 项目九 轴承的公差与配合                     | 115 |
| 任务一 轴承的作用、分类及组成                  | 115 |
| 任务二 学会滚动轴承的公差配合                  | 116 |
| 项目十 螺纹的公差与配合                     | 123 |
| 任务一 熟悉螺纹的参数及用途                   | 123 |
| 任务二 熟悉螺纹几何参数偏差对互换性的影响            | 125 |
| 任务三 掌握螺纹公差带的特点                   | 128 |
| 任务四 学会螺纹的测量                      | 130 |
| 项目十一 学会圆锥的公差配合及测量                | 133 |
| 任务一 掌握圆锥公差的术语及标注(GB/T11334-1989) | 133 |
| 任务二 掌握角度和锥度的测量                   | 138 |
| 项目十二 看懂齿轮零件图中齿轮的公差配合并能熟练地进行测量    | 144 |
| 任务一 熟悉对齿轮传动的基本要求                 | 144 |
| 任务二 掌握齿轮精度的评定指标及检测               | 145 |
| 任务三 掌握齿轮副和齿坯的精度                  | 152 |
| 任务四 学会齿轮零件图中的参数表的填写              | 153 |
| 附录1 实验指导                         | 157 |
| 实验(训)守则                          | 157 |
| 实验(训)报告包含的内容                     | 157 |
| 一、孔、轴径的测量                        | 158 |
| 二、形状位置误差的检测                      | 160 |
| 三、表面粗糙度检测                        | 181 |
| 四、角度的检测                          | 184 |
| 五、螺纹的检测                          | 189 |
| 六、齿轮的检测                          | 191 |
| 附录2                              | 196 |
| 参考文献                             | 202 |

# 项目一 合格与互换性

## 能力目标

### 一、知识要求

1. 熟悉我国标准化的历程;
2. 理解互换性的概念。

### 二、技能要求

1. 熟悉文字的录入,排版的技能;
2. 能列举出日常生活中的互换性的案例。

## 项目的任务和要求

### 合格与互换性

合格是指零件的误差在零件的公差范围内。只有合格的零件才有互换性。

在机械工业中,互换性是指制成的同一规格的零(部)件,在装配或更换时,不作任何选择、附加调整或修配就能达到预定使用性能的要求。这样的零(部)件称为具有互换性的零件。能够保证零(部)件具有互换性的生产,就称为遵循互换性原则的生产。

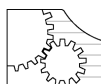
互换性是现代化生产的基本技术经济原则。它普遍应用于机床、拖拉机、家用电器、自行车和缝纫机等产品的零件生产中,在使用、维修方面也被广泛采用。例如:自行车或缝纫机的零(部)件坏了,可以迅速更换一个新的,更换后仍能满足使用要求。之所以这样方便,是因为这些零(部)件都具有互相替换的性能。

为实现互换性生产,必须对机器零件的有关尺寸等几何参数,规定出合适的公差和配合标准,即制定可行的标准是实现互换性的基础。

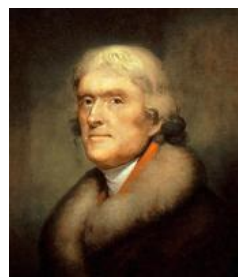
为实现互换性生产,必须保证长度计量单位的统一,这就需要在全国范围内规定严密的尺寸传递系统。所以,必要的检测也是实现互换性的手段。

### 标准化、互换性的问世

美国南北战争期间,政府急需大批军火。伊莱·惠特曼与副总统杰弗逊签订了两年内为政府提供 10 000 支来复枪的合同,可由于当时制枪方法落后,每支枪的全部零部件均出自同一个熟练工匠之手,由于熟练工匠人数有限,导致枪支的生产效率极低,第一年仅生产了 500 支,受到政府责备。惠特曼急得像热锅上的蚂蚁一样,数日彻夜难眠,



猛然间想出一个好主意：既然一支枪的零部件与其他枪的零部件是一样的，多次重复出现的技术问题也是相似的，为什么非要一个人造一支枪而不是一个人制造一个零件，然后再进行组装呢？他为此高兴得发疯。不久惠特曼的兵工厂改为流水作业，批量生产。整个造枪工作统一简化为若干工序：每一组成员只负责整个进程中的一道工序，每个零件都按一支选定的标准枪进行仿制，可彼此互换。结果，效率和质量大为提高，成本急剧下降，惠特曼因此如期完成了合同，而且因为首创标准化、互换性原则，促进了美国工业的迅速发展，被称为“美国的标准化之父”。



### 互换性的种类

互换性按其程度可分为完全互换性和不完全互换性。

#### 一、完全互换性

当零(部)件在装配或更换前，不作任何选择；装配或更换时，不作调整或修配；装配或更换后，能满足预定的使用要求。这样的零(部)件属于完全互换性或称绝对互换性。

#### 二、不完全互换性

零(部)件在装配前，允许有附加的选择；装配时允许有附加的调整但不允许修配；装配后能满足预定使用要求。这样的零(部)件属于不完全互换性或称有限互换性。

分组装配法即属于不完全互换性。例如：当装配精度要求很高时，若采用完全互换将使相配零件的尺寸公差很小，导致加工困难，成本提高，甚至无法加工。为此，生产中往往把零件的尺寸公差适当放大，以便加工。而在加工后再根据实测尺寸的大小，将制成的相配零件各分成若干组，使同组的尺寸差别比较小。然后，按对应组进行装配，这样既保证了装配精度的要求，又解决了零件的加工困难。此时，仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换，故称不完全互换性。

上述两种互换性的使用场合不同。一般来说，不完全互换性常用于部件或机构的制造厂内部的装配。至于厂际协作，往往要求完全互换性。例如：滚动轴承内、外圈滚道直径与滚珠直径的配合，由于精度要求高，加工困难，采用分组装配，所以是不完全互换性；滚动轴承内圈内径与轴的配合，外圈外径与轴承座孔的配合，为完全互换性。

## 实现互换性的意义

互换性原则被广泛采用,因为它不仅仅对生产过程产生影响,而且还涉及产品的设计、使用、维修等各个方面。

在设计方面,由于采用具有互换性的标准件、通用件,可使设计工作简化,缩短设计周期,并便于用计算机辅助设计。

在制造方面,若零件具有互换性,可以采用分散加工、集中装配。这样有利于组织专业化协作生产,有利于使用现代化的工艺装备,有利于组织流水线和自动线等先进的生产方式。装配时,不需辅助加工和修配,既减轻工人的劳动强度,又缩短装配周期,还可使装配工作按流水作业方式进行。从而保证产品质量,提高劳动生产率和经济效益。

在使用、维修方面,互换性也有其重要意义。当机器的零件突然损坏或按计划定期更换时,便可在最短时间内用备件加以替换,从而提高了机器的利用率和延长机器的使用寿命。

在某些方面,例如战场上使用的武器,保证零部件的互换性是绝对必要的。在这些场合,互换性所起的作用很难用价值来衡量。

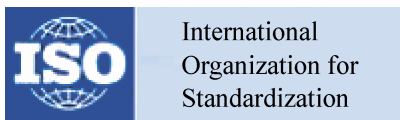
综上所述,在机械工业中,遵循互换性原则,对产品的设计、制造、使用和维修具有重要的技术经济意义。



### 小知识

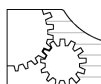
#### 一、标准化组织的含义

国际标准化组织(International Organization for Standardization)简称 ISO,是一个全球性的非政府组织,是国际标准化领域中一个十分重要的组织。许多人会注意到,ISO 与国际标准化组织全称(International Organization for Standardization)的缩写并不相同,为什么不是 IOS 呢?其实,ISO 并不是其全称首字母的缩写,而是一个词,它来源于希腊语,意为“相等”,现在有一系列用它做前缀的词,诸如 isometric(意为“尺寸相等”),isonomy(意为“法律平等”)。从“相等”到“标准”,内涵上的联系使 ISO 成为组织的名称。



#### 二、ISO 的主要功能

ISO 的主要功能是为人们制定国际标准达成一致意见提供一种机制。其主要机构及运作规则都在一本名为 ISO/IEC 技术工作守则的文件中予以规定,其技术结构在 ISO 由技术委员会和分委员会组成,它们各有一个主席和一个秘书处,秘书处由各成员团体分别担任,各秘书处与位于日内瓦的 ISO 中央秘书处保持直接联系。



## 我国标准化和计量工作的发展

采用互换性原则的生产要靠标准化与计量工作来保证。

标准简言之即技术上的法规。标准一经主管机关颁布生效后,即具有一定的法制性,不得擅自修改或拒不执行。我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。标准化是指制订标准和贯彻标准的全部活动过程。公差与配合的标准化是标准化的一个重要组成部分。

新中国成立前,我国是半封建半殖民地的经济,生产落后,没有也无法实现统一的国家标准。新中国成立后,随着社会主义建设的不断发展,我国建立起了各种机器制造工业。1955 年成立了国家计量局,1959 年统一了全国的计量制度,还颁布了光滑圆柱体结合的公差与配合国家标准。随后又陆续制定了各种结合件如螺纹、齿轮、键和花键等国家标准和行业标准,表面光洁度的国家标准,表面形状和位置公差的国家标准,基本上适应了国民经济发展的需要。另外还建立了全国的各种计量基准器及其传递系统,保证了全国长度计量单位的统一。1977 年 5 月国务院又颁布了《中华人民共和国计量管理条例》,1984 年颁布了中华人民共和国法定计量单位。1985 年颁布了《中华人民共和国计量法》。这为全国计量单位的统一提供了良好的保证,从而进一步促进了各种产品质量的提高。同时随着生产的发展,我国逐步建立起了独立的计量测试仪器制造工业。近年来还利用激光、光栅等新技术制成了进行精密测试的多种测量仪。在齿轮测量中,我国首创了齿轮整体误差测量新技术,为发展齿轮误差理论提供了新手段。

现在虽然我国已经制定了不少国家标准和行业标准,这些已建立的标准不论从数量上还是质量上,都还不能满足生产发展的需要,因此,我国正在对一些原有标准进行修订。例如很重要的“公差与配合”国家标准,已经修改成新的国家标准。有的已拟订出草案,正在征求各方面意见,以便最后定稿。考虑到今后我国和国际上技术交流的日益增多,以及 1978 年我国已正式参加国际标准化组织(简称 ISO),所以今后修订的标准一般都采用 ISO 相应标准中的原则和内容。因此,学习公差理论和有关标准,掌握几何量测量的基本知识,对从事机械工程方面的研究、设计、制造和管理的人员都具有重要意义。

### 什么叫 ISO9000?

ISO 标准由技术委员会(Technical Committees, 简称 TC)制定。ISO9000 是指质量管理体系标准,它不是指一个标准,而是一族标准的统称。ISO9000 是由 TC176(TC176 指质量管理体系技术委员会)制定的所有国际标准。ISO9000 是 ISO 发布的 12000 多个标准中应用最广泛的标准。ISO 对 9000 族系列标准进行“有限修改”后,于 1994 年正式颁布实施,即 94 版。在广泛征求意见的基础上,又启动了修订战略的第二阶段,即“彻底修改”。1999 年 11 月提出了 2000 版 ISO / DIS9000、ISO / DIS9001 和 ISO / DIS9004 国际标准草案。此草案经充分讨论并修改后,于 2000 年 12 月 15 日正式发布实施。ISO 规定自正式发布之日起三年内,94 版标准和 2000 版标准将同步执行,同时鼓励需要认证的企业现在按 2000 版申请认证。



### 什么叫认证?

“认证”一词的英文原意是一种出具证明文件的行动。ISO 对“认证”的定义是：“由可以充分信任的第三方证实某一经鉴定的产品或服务符合特定标准或规范性文件的活动。”

举例来说，对第一方(供方或卖方)提供的产品或服务，第二方(需方或买方)无法判定其品质是否合格，而由第三方来判定。第三方既要对第一方负责，又要对第二方负责，不偏不倚，出具的证明要能获得双方的信任，这样的活动就叫做“认证”。



### 知识拓展——优先数和优先数系

优先数和优先数系标准是重要的基础标准。由于工程上的技术参数值具有传播特性，如造纸机械的规格和参数值会影响印刷机械、书刊、报纸、复印机、文件柜等的规格和参数值，因此，对各种技术参数值协调、简化和统一是标准化的重要内容。优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的科学数值制度。

国家标准(GB321-2005)规定的优先数系是公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$ ，且项值中含10的整数幂的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用符号R5、R10、R20、R40、R80表示，称为R5系列、R10系列……R5、R10、R20、R40四个系列是优先数系中的常用系列，称为基本系列(见表1-1)。

表 1-1 优先数系的基本系列

| R5   | R10  | R20  | R40  | R5   | R10  | R20  | R40  | R5    | R10   | R20   | R40   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |      |      | 2.24 | 2.24 |       | 5.00  | 5.00  | 5.00  |
|      |      |      | 1.06 |      |      |      | 2.36 |       |       |       | 5.30  |
|      |      | 1.12 | 1.12 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 |       |       | 5.60  | 5.60  |
|      |      |      | 1.18 |      |      |      | 2.65 |       |       |       | 6.00  |
|      | 1.25 | 1.25 | 1.25 |      |      | 2.80 | 2.80 | 6.30  | 6.30  | 6.30  | 6.30  |
|      |      |      | 1.32 |      |      |      | 3.00 |       |       |       | 6.70  |
|      |      | 1.40 | 1.40 |      | 3.15 | 3.15 | 3.15 |       |       | 7.10  | 7.10  |
|      |      |      | 1.50 |      |      |      | 3.35 |       |       |       | 7.50  |
| 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.60 |      |      | 3.55 | 3.55 |       | 8.00  | 8.00  | 8.00  |
|      |      |      | 1.70 |      |      |      | 3.75 |       |       |       | 8.50  |
|      |      | 1.80 | 1.80 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |       |       | 9.00  | 9.00  |
|      |      |      | 1.90 |      |      |      | 4.25 |       |       |       | 9.50  |
|      | 2.00 | 2.00 | 2.00 |      |      | 4.50 | 4.50 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
|      |      |      | 2.12 |      |      |      | 4.75 |       |       |       |       |

优先数系中的任一个项值称为优先数。

采用等比数列作为优先数系可使相邻两个优先数的相对差相同，且运算方便，简单



易记。在同一系列中, 优先数的积、商、整数幂仍为优先数。因此, 这种优先数系已成为国际上统一的数值分级制度。

### 附: 本课程的研究对象及要达到的目标

本课程是高等职业院校机械类、机电类各专业必修的主干技术基础课程。它包含几何量公差与误差检测两大方面的内容, 把标准化和计量学两个领域的有关部分有机地结合在一起, 与机械设计、机械制造、质量控制等多方面密切相关, 是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识技能。

本课程的研究对象就是几何参数的互换性。即研究如何通过规定公差合理解决机器使用要求与制造要求之间的矛盾, 及如何运用技术测量手段保证国家公差标准的贯彻实施。通过本课程的学习, 学生应达到以下知识目标和技能目标:

#### 知识目标:

1. 建立互换性的基本概念, 掌握各有关公差标准的基本内容、特点和表格的使用;
2. 建立技术测量的基本概念, 了解常用测量方法与测量器具的工作原理。

#### 技能目标:

1. 能根据零件的使用要求, 选用其公差等级、配合种类、形位公差及表面质量参数值等。并能在图样上进行正确的标注。
2. 学会测量操作技能, 并分析测量误差与处理测量结果。

总之, 本课程的任务是使学生获得互换性与测量技术的基本理论、基本知识和基本技能, 了解互换性和测量技术学科的现状和发展, 具有继续自学并结合工程实践应用、扩展的能力。



#### 想一想、议一议

1. 请举出日常生活中使用互换性的例子。
2. 互换性原则有何重要的技术和经济意义?
3. 实现互换性的基本条件是什么?

## 项目二 看懂图纸中的尺寸、偏差、公差

### 能力目标

#### 一、知识要求

1. 熟悉各种和尺寸有关的术语。
2. 熟悉各种和偏差有关的术语。
3. 熟悉各种和尺寸公差有关的术语。
4. 熟悉标准公差的符号及含义。
5. 熟悉尺寸未注公差的术语。
6. 熟悉偏差、公差之间的换算方法。

#### 二、技能要求

1. 能读懂图纸中的所有尺寸。
2. 能读懂图纸中的各种偏差。
3. 能读懂图纸中的尺寸公差。
4. 能读懂图纸中的未注公差尺寸，并能确定未注公差尺寸的未注公差。
5. 会公差表、基本偏差的查表方法。
6. 会极限偏差的确定方法及步骤。

### 任务一 认识有偏差要求的尺寸

例 2-1:  $\phi 14_{-0.011}^0$

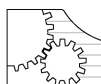
结论: 14 是基本尺寸;

14 是最大极限尺寸; 13.989 是最小极限尺寸。

过程如下:

#### 一、尺寸

尺寸是指用特定单位表示长度值的数字。从尺寸的定义可知, 尺寸由数字和特定单位所组成。在机械零件上, 长度值通常是两点之间的距离, 如直径、长度、中心距、圆弧半径、高度、深度等(不包括角度)。在机械制图中, 尺寸的单位明确用 mm。所以标准规定图样上的尺寸仅标数字, mm 省略不标, 而当采用其他单位时, 则必须标出单位。



## 二、基本尺寸( $D$ 、 $d$ )

(标准规定: 大写字母表示孔的有关代号, 小写字母表示轴的有关代号, 后同)由设计给定的尺寸, 一般要求符合标准的尺寸系列。如 14 就是基本尺寸。

## 三、实际尺寸

通过测量所得的尺寸。包含测量误差, 且同一表面不同部位的实际尺寸往往也不相同。用  $D_a$ 、 $d_a$  表示。

还应指出, 同一零件的相同部位用同一量具重复测量多次, 由于测量误差的随机性, 其测得的实际尺寸也不一定完全相同。

## 四、极限尺寸

允许尺寸变化的两个界限值。两者中大的称为最大极限尺寸, 小的称为最小极限尺寸。孔和轴的最大、最小极限尺寸分别为  $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$  和  $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ 。

如尺寸 14 是最大极限尺寸, 13.989 是最小极限尺寸。

注: 最大极限尺寸=基本尺寸+上偏差

最小极限尺寸=基本尺寸+下偏差

上述尺寸中, 基本尺寸和极限尺寸是设计给定的。如前所述, 几何测量误差客观存在, 任何尺寸不可能也没有必要作为绝对准确的唯一数值, 所以设计时必须根据零件的使用要求和加工经济性, 以基本尺寸为基数确定其尺寸允许的变化范围。这个变化范围以两个极限尺寸为界限。由此可知, 基本尺寸不能理解为加工后要获得的最理想的尺寸。加工完后的零件通过测量获得的实际尺寸, 若不计形状误差的影响, 实际尺寸在两极限尺寸所确定的范围之内, 则零件合格。所以极限尺寸是用来控制实际尺寸的。

# 任务二 认识偏差

例 2-2:  $\phi 14_{-0.011}^0$

结论: 0 是上偏差; -0.011 是下偏差。

过程如下:

## 一、尺寸偏差

尺寸偏差(简称偏差): 是指某一尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。

1. 实际偏差: 实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。

2. 极限偏差: 最大极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为上偏差(ES, es); 最小极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为下偏差(EI, ei)。上、下偏差统称为极限偏差。极限偏差用以控制实际偏差。



根据定义，上、下偏差用公式：

$$\text{对孔：} ES = D_{\max} - D$$

$$EI = D_{\min} - D$$

$$\text{对轴：} es = d_{\max} - d$$

$$ei = d_{\min} - d$$

偏差可以为正、负或零，分别表示其尺寸大于、小于或等于基本尺寸。所以不等于零的偏差值，在其值前必须标上相应的“+”或“-”号，偏差值为零时，“0”也不能省略。如例 2-2 轴的尺寸中的上偏差=0，下偏差=-0.011。

技术文件上标注极限偏差时，标准规定：上偏差标在基本尺寸右上角；下偏差标在基本尺寸右下角。如当上、下偏差数值相等符号相反时，则标注如  $14 \pm 0.011$ 。

## 二、基本偏差

基本偏差是指用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般是靠近零线或位于零线的那个极限偏差(有个别公差带例外)。如基轴制中轴的直径尺寸中的极限偏差是上偏差 0。

如前所述，基本偏差是确定公差带的位置参数，原则与公差等级无关。为了满足各种不同配合的需要，必须将孔和轴的公差带位置标准化，为此，对应不同的基本尺寸，标准对孔和轴分别规定了 28 个公差带位置，分别由 28 个基本偏差来确定。

### 1. 代号

基本偏差代号用拉丁字母表示。小写代表轴，大写代表孔。以轴为例，它的基本偏差代号排列顺序基本上从 a 依次到 z，拉丁字母中，除去与其他代号易混淆的 5 个字母 i、l、o、q、w，增加了 7 个双写字母代号 cd、ef、fg、js、za、zb、zc 共 28 个。其排列顺序见图 2-1。孔的 28 个基本偏差代号，除大写外，其余与轴完全相同。

### 2. 基本偏差系列图及其特征

图 2-1 是基本偏差系列图，它表示基本尺寸相同的 28 种轴、孔基本偏差相对零线的位置。图中画的基本偏差是“开口”公差带，这是因为基本偏差只表示公差带的位置，而不表示公差带的大小。图中只画出公差带的基本偏差的一端，另一端开口则表示将由公差等级来决定。

由此图可以看出，轴、孔的基本偏差图形是基本对称的。

### 3. 基本偏差数值

#### (1) 轴的基本偏差数值的确定

轴的基本偏差数值是以基孔制配合为基础，按照各种配合要求，再根据生产实践经验和统计分析结果得出的一系列公式经计算后圆整成尾数而得出的列表值。轴的基本偏差数值见附表 A。

(2) 孔的基本偏差数值的确定

孔的基本偏差是按一定规则换算后得到的，见附表 B。

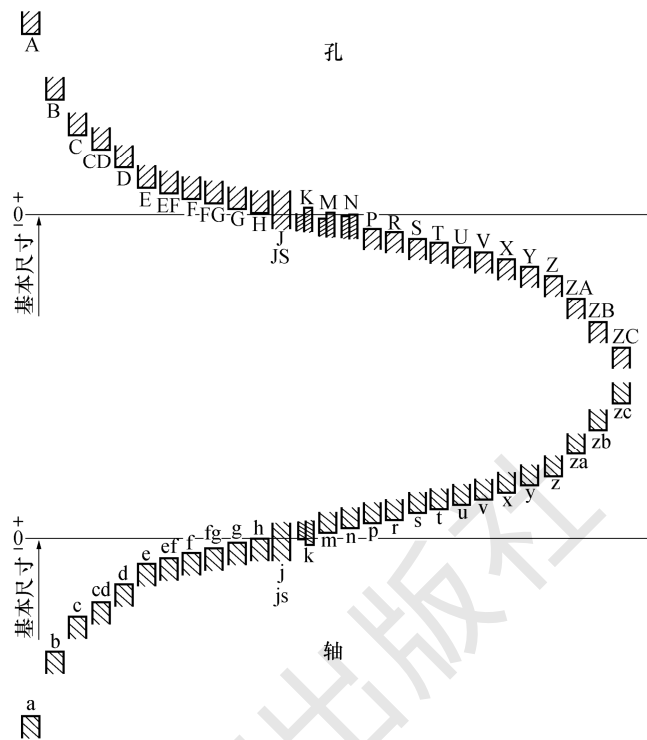


图 2-1 基本偏差系列图

### 任务三 认识尺寸公差

例 2-3:  $\phi 14_{-0.011}^0$

结论: 尺寸公差是 0.011;

过程如下:

#### 一、定义

尺寸公差(简称公差)是指允许尺寸的变动量。孔和轴的公差分别以  $T_D$  和  $T_d$  表示。

#### 二、大小

公差数值等于最大极限尺寸与最小极限尺寸的代数差的绝对值，也等于上偏差与下偏差的代数差的绝对值。用公式表示为:

$$T_D = | D_{\max} - D_{\min} | = | ES - EI |$$
$$T_d = | d_{\max} - d_{\min} | = | es - ei |$$



### 三、公差与极限偏差的区别与联系

公差和极限偏差是两个既有联系又有区别的重要概念。两者都是设计时给定的。在数值上,极限偏差是代数值,正、负或零是有意义的;而公差是允许尺寸的变动范围,所以是没有正负号的绝对值,也不能取零值(零值意味着加工误差不存在,是不可能的)。实际计算时,由于最大极限尺寸大于最小极限尺寸(上偏差大于下偏差),故可省去绝对值符号。

从作用上看,极限偏差用于控制实际偏差,是判断完工零件尺寸是否合格的根据;而公差则用于控制一批零件实际尺寸的差异程度。

从工艺上看,对某一具体尺寸,公差大小反映的是加工难易程度,即加工精度的高低。它是制定加工工艺、选择机床、刀具、夹具、量具的主要依据;而极限偏差则是调整机床时决定切削工具与工件相对位置的依据。

应当指出:由于公差是上、下偏差之代数差的绝对值,所以确定了两极限偏差也就确定了公差。

### 四、标准公差系列

公差带大小进行标准化后,确定了一系列标准公差值并列成表格。如附表 C 所列。表列中任一公差都称为标准公差,用以确定公差带的大小。设计时,在满足使用要求的前提下,尽量采用标准公差。

#### 1. 公差等级

公差等级是指确定尺寸精确程度的等级。由于不同零件和零件上不同部位的尺寸,对精确程度的要求往往不相同,为了满足生产的需要,国家标准设置了 18 个公差等级,因 IT01、IT0 精度很高,很难实现,现已不被采用。各级标准的代号为 IT1 至 IT18,其中 IT1 精度最高,其余依次降低,IT18 精度最低。其相应的标准公差在基本尺寸相同的条件下,随公差等级的降低而依次增大,见附表 C。

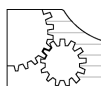
#### 2. 尺寸公差带代号

基本偏差代号+公差等级代号,如 H6 等。

## 任务四 一般公差——线性尺寸的未注公差

在车间普通工艺条件下,机床设备一般加工能力可保证的公差称为一般公差。

对机器零件上各要素提出的尺寸、形状或各要素间的位置等要求,取决于它们的功能。无功能要求的要素是不存在的。因此,零件在图样上表达的所有要素都有一定的公差要求。但是,对某些在功能上无特殊要求的要素,则给出一般的公差。新颁布的 GB/T1804-2000《一般公差、线性尺寸的未注公差》用以代替 GB1804-79《公差与配合 未注公差尺寸的极限偏差》。新标准所规定的一般公差可应用于线性尺寸、角度尺寸、形



状和位置等几何要素。

国家标准 GB/T1804-2000 对线性尺寸的一般公差规定了 4 个公差等级, 它们分别是精密级 f、中等级 m、粗糙级 c、最粗级 v。

f、m、c、v 四个等级分别相当于 IT12、IT14、IT16、IT17。偏差可以粗略地取为  $\pm \frac{IT}{2}$ 。

当零件上的要素采用一般公差时, 在图样上不单独注出公差, 而是在图样上、技术文件或标准中作出总的说明。

## 任务五 轴、孔基本偏差数值的查表和另一极限偏差确定

例 2-4: 查表确定  $\phi 35j6$ 、 $\phi 72K8$ 、 $\phi 90R7$  的基本偏差与另一极限偏差。

解:

$\phi 35j6$ : 查附表 C IT6 时  $T_d=16 \mu\text{m}$   
 查附表 A  $ei=-5 \mu\text{m}$ , 则  $es=ei+T_d=11 \mu\text{m}$   
 即  $\phi 35j6$ —— $35_{-0.005}^{+0.011} \text{ mm}$

$\phi 72K8$ : 查附表 C IT8 时  $T_D=46 \mu\text{m}$   
 查附表 B  $ES=-2+\Delta=(-2+16) \mu\text{m}=14 \mu\text{m}$   
 $EI=ES-T_D=(14-46) \mu\text{m}=-32 \mu\text{m}$   
 即  $\phi 72K8$ —— $\phi 72_{-0.032}^{+0.014} \text{ mm}$

$\phi 90R7$ : 查附表 C IT7 时  $T_D=35 \mu\text{m}$   
 查附表 B  $ES=-51+\Delta=(-51+13) \mu\text{m}=-38 \mu\text{m}$   
 $EI=ES-T_D=(-38-35) \mu\text{m}=-73 \mu\text{m}$   
 即  $\phi 90R7$ —— $\phi 90_{-0.073}^{-0.038} \text{ mm}$



### 知识拓展

#### 拓展一 尺寸公差带图

为了清晰地表示上述术语及其相互关系, 我们作尺寸公差带示意图。由于零件的基本尺寸和公差、极限偏差相比较, 其值相差悬殊, 所以示意图中仅将公差与极限偏差部分放大, 且不考虑形状误差的影响, 如图 2-2 所示。从图上可以直观地分析、推导上述计算关系式。

为了方便起见, 实用时对尺寸公差带图进行简化, 不画孔和轴的全形且仅取纵截面视图的一部分, 称尺寸公差带图, 简称公差带图。

(1) 零线: 在公差带图中, 代表基本尺寸并确定偏差坐标位置的一条基准直线, 即零偏差线。

通常将零线画成水平位置的线段, 正偏差位于零线上方, 负偏差位于零线下方, 零

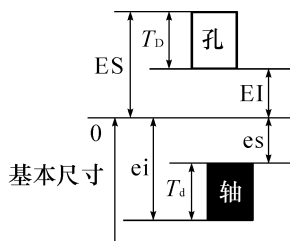


图 2-2 尺寸公差带图

偏差重合于零线。公差带图中的偏差用 mm 为单位时,可省略不标;如用  $\mu\text{m}$  为单位,则必须注明。

(2) 尺寸公差带:在公差带图中,表示上、下偏差的两条直线所限定的一个区域,简称为公差带。公差带沿零线方向的长度可适当任取。

**例 2-5:**画出基本尺寸为  $\phi 50$ ,最大极限尺寸为  $\phi 50.025$ 、最小极限尺寸为  $\phi 50$  mm 的孔与最大极限尺寸为  $\phi 49.975$ 、最小极限尺寸为  $\phi 49.959$  mm 的轴的公差带图。

**解:**作图步骤如下

(1) 作零线,并在零线左端标上“0”和“+”“-”号,在其左下方画出单箭头的尺寸线并标上基本尺寸 50 mm。

(2) 选择合适比例,一般可选 500:1(偏差值较小时可选 1 000:1),按选定放大比例画出公差带。为了区别孔和轴的公差带。孔的公差带应画上剖面线;而轴的公差带应是全黑,标上公差带代号。一般将极限偏差值直接标在公差带的附近,如图 2-3 所示。

从公差带图上可清楚地看出,一个具体的公差带是由两个要素构成:一个是“公差带大小”,即公差带在零线垂直方向的宽度;另一个是“公差带位置”,即公差带相对于零线的坐标位置。只有既给定公差值以确定公差带大小,同时又给出一个极限偏差(上偏差或下偏差),才能完全确定一个公差带。

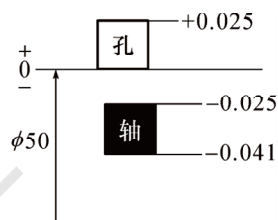


图 2-3

《公差与配合》标准对构成孔、轴公差带的两个要素——公差带大小和公差带位置,分别进行标准化,建立了标准公差和基本偏差两个系列,两者原则上彼此独立,使这项标准具有比较先进、比较科学的基本结构。

### 拓展二 作用尺寸( $D_f$ , $d_f$ )

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 2-4 所示。

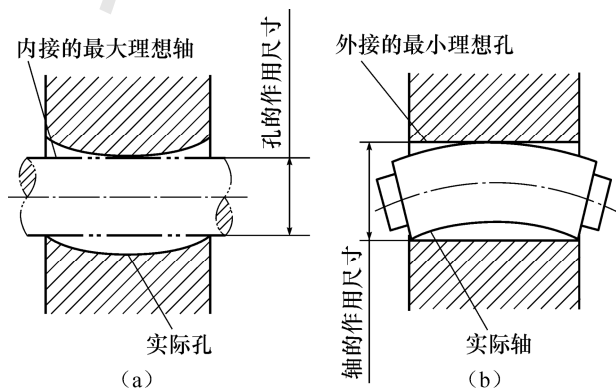


图 2-4 作用尺寸

### 拓展三 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其最大实体尺寸,且在任何位置上的实际尺寸不允许



超过其最小实体尺寸。即用极限尺寸判断原则判断合格的孔或轴，其尺寸应符合：

对于孔： $D_f \geq D_{\min}$ ； $D_a \leq D_{\max}$

对于轴： $d_f \leq d_{\max}$ ； $d_a \geq d_{\min}$

#### 拓展四 标准公差确定

##### 1. 标准公差因子的确定

标准公差因子：为了评定零件尺寸公差等级的高低，合理地规定标准公差数值，国家标准建立了标准公差因子的概念。它是随基本尺寸而变化用来计算标准公差的一个基本单位。

当尺寸小于等于 500 mm 时，标准公差因子的计算公式为：

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

当基本尺寸大于 500~3 150 mm 时，标准公差因子的计算公式为：

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

##### 2. 标准公差的计算及规律

GB/T1800.3-1998 中各个公差等级的标准公差值，在基本尺寸  $\leq 500$  mm 时的计算公式见表 2-1。可见对 IT5~IT18 标准公差  $IT = ai$ 。其中  $a$  为公差等级系数，它采用 R5 优先数系，即公比  $q = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$  的等比数列。从 IT6 开始，每隔 5 级，公差数值增加 10 倍。

对高精度 IT01、IT0、IT1 级，主要考虑测量误差，所以标准公差与基本尺寸呈线性关系，且三个公差等级之间的常数和系数均采用优先数系的派生系列 R10/2。

IT2~IT4 是在 IT1~IT5 之间插入三级，使之成等比数列，公比  $q = (IT5/IT1)^{1/4}$ 。

由此可见，标准公差数值计算的规律性很强，便于标准的发展和扩大使用。

表 2-1 基本尺寸  $\leq 500$  mm 的标准公差计算式

| 公差等级 | IT01           |       |       | IT0            |       |       | IT1            |        | IT2                                                |        | IT3                                                |         | IT4                                                |         |
|------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|--------|----------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------|---------|
| 公差值  | $0.3 + 0.008D$ |       |       | $0.5 + 0.012D$ |       |       | $0.8 + 0.020D$ |        | $IT1 \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{1}{4}}$ |        | $IT1 \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{1}{2}}$ |         | $IT1 \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{3}{4}}$ |         |
| 公差等级 | IT5            | IT6   | IT7   | IT8            | IT9   | IT10  | IT11           | IT12   | IT13                                               | IT14   | IT15                                               | IT16    | IT17                                               | IT18    |
| 公差值  | $7i$           | $10i$ | $16i$ | $25i$          | $40i$ | $64i$ | $100i$         | $160i$ | $250i$                                             | $400i$ | $640i$                                             | $1000i$ | $1600i$                                            | $2500i$ |

基本尺寸大于 500~3 150 mm 时，可按  $T = aI$  式计算标准公差。

##### 3. 尺寸分段

为了减少公差数目和简化公差值表，以便于实际应用，对基本尺寸进行了分段。国际将 3 150 mm 以下的基本尺寸分为 21 个主段，同一尺寸段的公差值按尺寸段的计算值  $D$  计算，即： $D = (D_1 \cdot D_2)/2$



表 2-2 基本尺寸≤500 mm 的尺寸分段

| 主段落 |    | 中间段落     |          | 主段落 |     | 中间段落              |                   | 主段落 |     | 中间段落       |            |
|-----|----|----------|----------|-----|-----|-------------------|-------------------|-----|-----|------------|------------|
| 大于  | 至  | 大于       | 至        | 大于  | 至   | 大于                | 至                 | 大于  | 至   | 大于         | 至          |
| —   | 3  |          |          | 30  | 50  | 30<br>40          | 40<br>50          | 180 | 250 | 180        | 200        |
|     |    |          |          |     |     |                   |                   |     |     | 200        | 225        |
| 3   | 6  |          |          |     |     |                   |                   |     |     | 225        | 250        |
|     |    |          |          | 50  | 80  | 50<br>65          | 65<br>80          | 250 | 315 | 250        | 280        |
|     |    |          |          |     |     |                   |                   |     |     | 280        | 315        |
| 6   | 10 |          |          |     |     |                   |                   |     |     |            |            |
| 10  | 18 | 10<br>14 | 14<br>18 | 80  | 120 | 80<br>100         | 100<br>120        | 315 | 400 | 315<br>355 | 355<br>400 |
|     |    |          |          |     |     |                   |                   |     |     |            |            |
| 18  | 30 | 18<br>24 | 24<br>30 | 120 | 180 | 120<br>140<br>160 | 140<br>160<br>180 | 400 | 500 | 400<br>450 | 450<br>500 |

## 拓展五 基本偏差的计算与换算

## 1. 轴的基本偏差数值

轴的基本偏差数值是以基孔制为基础, 根据各种配合的要求, 在生产实践和大量试验的基础上, 依据统计分析的结果整理出一系列公式而计算出来的。轴的基本偏差计算公式如表 2-3 所示。

表 2-3 基本尺寸≤500 mm 的轴的基本偏差计算公式

(μm)

| 代 号 | 适用范围                    | 基本偏差为上偏差(es)   | 代 号 | 适用范围                                  | 基本偏差为下偏差(ei)             |
|-----|-------------------------|----------------|-----|---------------------------------------|--------------------------|
| a   | $D \leq 120 \text{ mm}$ | $-(265+1.3D)$  | j   | IT5~IT8                               | 经验数据                     |
|     | $D > 120 \text{ mm}$    | $-3.5D$        | k   | $\leq \text{IT3}$ 及 $\geq \text{IT8}$ | 0                        |
| b   | $D \leq 160 \text{ mm}$ | $-(140+0.85D)$ |     | IT4~IT7                               | $+0.6 \sqrt[3]{D}$       |
|     | $D > 160 \text{ mm}$    | $-1.8D$        | m   |                                       | $+\text{IT7}-\text{IT6}$ |
| c   | $D \leq 40 \text{ mm}$  | $-52D^{0.2}$   | n   |                                       | $+5D^{0.34}$             |
|     | $D > 40 \text{ mm}$     | $-(95+0.8D)$   | p   |                                       | $+\text{IT7}+(0\sim5)$   |
| cd  |                         | $-\sqrt{cd}$   | r   |                                       | $+\sqrt{ps}$             |
| d   |                         | $-16D^{0.44}$  | s   | $D \leq 500 \text{ mm}$               | $+\text{IT8}+(1\sim4)$   |
| e   |                         | $-11D^{0.41}$  |     | $D > 500 \text{ mm}$                  | $+\text{IT7}+0.4D$       |
| ef  |                         | $-\sqrt{ef}$   | t   |                                       | $+\text{IT7}+0.63D$      |
| f   |                         | $-5.5D^{0.41}$ | u   |                                       | $+\text{IT7}+D$          |
| fg  |                         | $-\sqrt{fg}$   | v   |                                       | $+\text{IT7}+1.25D$      |
| g   |                         | $-2.5D^{0.34}$ | x   |                                       | $+\text{IT7}+1.6D$       |
| h   |                         | 0              | y   |                                       | $+\text{IT7}+2D$         |
|     |                         |                | z   |                                       | $+\text{IT7}+2.5D$       |
|     |                         |                | za  |                                       | $+\text{IT8}+3.15D$      |
|     |                         |                | zb  |                                       | $+\text{IT9}+4D$         |
|     |                         |                | zc  |                                       | $+\text{IT10}+5D$        |

js=±IT/2



为了方便使用,标准将各尺寸段的基本偏差按表 2-3 计算公式进行计算,并按一定规则圆整尾数后,列成轴的基本偏差数值表,见附表 A 所示。

## 2. 孔的基本偏差数值

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

换算的原则是:同名代号的孔、轴的基本偏差(如 E 与 e、T 与 t),在孔、轴同一公差等级或孔比轴低一级的配合条件下,按基孔制形成的配合(如 $\phi 40H7/g6$ )与按基轴制形成的配合(如 $\phi 40G7/h6$ )性质(极限间隙或极限过盈)相同。据此有两种换算规则:

**通用规则:**同一字母表示的孔、轴基本偏差的绝对值相等,而符号相反,即:

对于 A~H  $EI = -es$

对于 K~ZC  $ES = -ei$

**特殊规则:**对于标准公差 $\leq IT8$ 的 K、M、N 和 $\leq IT7$ 的 P~ZC,孔的基本偏差 ES 与同字母的轴的基本偏差 ei 的符号相反,而绝对值相差一个  $\Delta$  值。即:

$$ES = -ei + \Delta$$

$$\Delta = IT_n - IT_{(n-1)}$$

式中:  $IT_n$  为孔的标准公差,  $IT_{(n-1)}$  为比孔高一级的轴的标准公差。

换算得到的孔的基本偏差值列于附表 B。实际应用时可直接查附表 B。



### 小知识

#### 知识一 国家标准的构成

圆柱体结合通常指孔与轴的结合,是机器中最广泛采用的一种结合形式,为使加工后的孔与轴能满足互换性要求,必须在设计中采用公差与配合标准。圆柱结合的公差与配合标准是最早建立的,也是最基本的标准,是机械制造中的基础标准。

公差与配合的标准化不仅可以防止任意规定公差与配合数值的混乱现象,保证了零、部件的互换性和质量,而且还有利于刀具、量具的标准化,有利于广泛组织专业化协作生产和国际上的技术交流。我国 1959 年参照苏联公差制颁布了《公差与配合》国家标准 GB159~174-59(以下简称旧国标)。随着科学技术的发展,旧国标中存在没有检验标准、精度等级偏低、配合种类偏少、大尺寸公差不尽合理、与国际标准不一致等问题,故旧国家标准已不能满足目前生产与技术发展的需要。1999 年我国参照了国际标准(ISO),结合我国的生产实际情况对旧国标进行了修订,颁布了新的公差与配合国家标准。新国标的构成共分三个部分:

第一部分 GB/T1800.1-1997、GB/T1800.2-1998、GB/T1800.3-1998、GB/T1800.4-1999 (旧标准 GB1800-79)包括总论、标准公差与基本偏差。

第二部分 GB/T1801-1999(旧标准 GB1801-79)为尺寸 0 至 500 mm 孔、轴公差带与配合; GB/T1802-1999(旧标准 GB1802-79)为尺寸 500~3 150 mm 常用孔、轴公差带; GB/T1803-2003(旧标准 GB1803-79)为尺寸 0 至 18 mm 孔、轴公差带; GB/T1804-2000(旧标准 GB1804-79)为未注公差尺寸的极限偏差。

第三部分 GB1957-81 为光滑极限量规。GB3177-82 为光滑工件尺寸的检验。

## 知识二 孔和轴

在满足互换性的配合中，孔和轴具有广泛的含义，即：

1. 孔指圆柱形内表面及其他内表面中，由单一尺寸确定的部分，其尺寸由  $D$  表示；
2. 轴指圆柱形的外表面及其他外表面中由单一尺寸确定的部分，其尺寸由  $d$  表示。

从装配关系讲，孔是包容面，在它之内没有材料；轴是被包容面，在它之外没有材料。

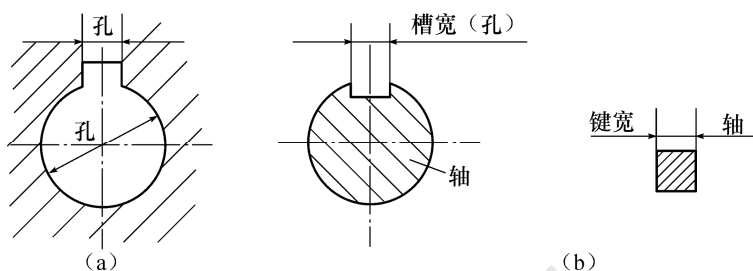


图 2-5 孔、轴定义



想一想 练一练

### 判断题

1. 现代科学技术虽然很发达，但要把两个尺寸做得完全相同是不可能的。
2. 实际尺寸就是真实的尺寸，简称真值。
3. 一般说来，测量误差总是小于加工误差。
4. 同一公差等级的孔和轴的标准公差数值一定相等。
5. 某一孔或轴的直径正好加工到基本尺寸，则此孔或轴必然是合格件。
6. 零件的实际尺寸越接近其基本尺寸就越好。
7. 公差是极限尺寸代数差的绝对值。
8.  $\phi 10f6$ 、 $\phi 10f7$  和  $\phi 10f8$  的上偏差是相等的，只是它们的下偏差各不相同。
9. 实际尺寸等于基本尺寸的零件必定合格。
10. 若已知  $\phi 30f7$  的基本偏差为  $-0.02 \text{ mm}$ ，则  $\phi 30F8$  的基本偏差一定是  $+0.02 \text{ mm}$ 。