

互换性与技术测量

HUHUANXING YU JISHU CELIANG

华中工学院标准化与计量测试教研室编

目 录

《互换性与技术测量》教学大纲编制及使用说明——代序	(i)
第 一 章 互换性概论	(1)
1—1 互换性的意义与作用	(1)
1—2 有关公差与配合的基本术语及定义	(2)
1—3 标准化及优先数系	(9)
第 二 章 技术测量基础	(13)
2—1 技术测量的基本知识	(13)
2—2 测量误差与测量数据处理	(18)
2—3 被测的量在测量过程中的变换	(26)
第 三 章 圆柱体的公差与配合	(33)
3—1 概述	(33)
3—2 公差值(公差带大小)的标准化	(34)
3—3 极限偏差(公差带位置)的标准化	(37)
3—4 公差带与配合的标准化	(43)
3—5 公差与配合选择综合分析	(45)
3—6 间隙配合的选择与计算	(54)
3—7 过盈配合的选择与计算	(62)
3—8 过渡配合的选择	(67)
第 四 章 形状和位置公差	(70)
4—1 概述	(70)
4—2 基本概念和术语	(71)
4—3 形状公差	(74)
4—4 位置公差	(75)
4—5 基准的选择	(77)
4—6 形位公差值的选择	(78)
4—7 形状和位置误差的测量	(79)
第 五 章 表面光洁度	(87)
5—1 基本概念	(87)
5—2 表面光洁度标准	(88)
5—3 表面光洁度的测量	(92)
第 六 章 光滑工件尺寸的检测	(95)
6—1 基本概念	(95)
6—2 光滑极限量规	(97)
6—3 用测量器具直接测量	(102)
第 七 章 滚动轴承的公差与配合	(106)

7—1	滚动轴承的精度等级及其应用	(106)
7—2	滚动轴承内径与外径的公差带及其特点	(108)
7—3	滚动轴承与轴和外壳孔的配合及其选择	(109)
第 八 章	键和花键的公差与配合	(115)
8—1	键联结的公差与配合	(115)
8—2	花键联结的公差与配合	(116)
第 九 章	圆锥结合的公差与配合	(122)
9—1	概述	(122)
9—2	圆锥结合各参数之间的关系	(123)
9—3	圆锥标准	(125)
第 十 章	螺纹的公差与配合及检测	(131)
10—1	圆柱形螺纹的主要几何参数	(131)
10—2	螺纹互换性的特点	(132)
10—3	普通螺纹的公差与配合标准	(136)
10—4	圆柱螺纹的测量	(139)
第十一章	圆柱齿轮传动的公差及齿轮测量	(145)
11—1	概述	(145)
11—2	齿轮精度的评定指标	(148)
11—3	圆柱齿轮传动公差标准	(154)
11—4	齿轮测量	(160)
第十二章	尺寸链	(172)
12—1	尺寸链的基本概念	(172)
12—2	直线尺寸链的分析计算	(174)
主要参考书		(185)
编写说明		

第一章 互换性概论

1—1 互换性的意义与作用

什么叫“互换性”？从日常生活中，就可找到回答。例如，规格相同的任何一个灯泡和任何一个灯头，不管它们分别由那一个工厂制成，都可装在一起，自行车、手表和缝纫机等零件坏了，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、灯头以及自行车、手表和缝纫机等零件都具有互换性。

怎样才能使零件具有互换性？假若制成的一批零件的实际参数（尺寸、形状等几何参数及硬度、弹性等其他物理参数）的数值都等于其理论值，即这些零件完全相同，那末，在装配时，从其中任取一件，效果都是一样的。也就是说，这些零件具有互换性。

但是，要获得这样绝对准确和完全一致的零件不仅是不可能的，也是不必要的。现代机器制造业可以制造出高度准确的零件，但仍然有误差。而另一方面，从机器的使用和互换性生产要求看，只要制成零件的实际参数值变动不大，保证零件充分近似即可。所以，要使零件具有互换性，就应按“公差”来制造。公差就是实际参数值允许的最大变动量。

由此，可将互换性（interchangeability）的含义阐述如下：“机械制造中的互换性，是指按规定的几何、物理及其他质量参数的公差，来分别制造机械的各个组成部份，使其在装配与更换时不需辅助加工及修配，便能很好地满足使用和生产上的要求。”

如上所述，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。但本课程主要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。有尺寸公差、形状公差、位置公差及表面光洁度等。公差的大小应根据需要与可能来决定。实际几何参数按其公差是否合格，则通过技术测量来判断。

互换性在机械制造中有什么作用呢？

从使用看，若零件具有互换性，则在磨损或损坏后，可用另一新的备件代替（例如汽车、拖拉机的活塞、活塞环、活塞销等就是这样的备件），使机器修理的时间和费用显著减少，保证了机器工作的连续性和持久性，从而提高了机器的使用价值。

从制造看，可以说：互换性是提高生产水平和文明程度的有力手段。

装配时，由于零件有互换性，不需辅助加工和修配，故能减轻装配工的劳动量，缩短装配周期，并且可以使装配工作按流水作业方式进行，使装配的生产率大大提高。

加工时，由于规定有公差，同一部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还可集中由专门的车间或工厂来单独生产。由于产品单一，数量多，分工细，可采用高生产率的专用设备，乃至采用计算机辅助加工。这样，产量和质量必然会得到提高，成本也会显著降低。由此可见，互换性也是生产专业化与技术协作的一个基本条件。

从设计看，由于采用按互换性原则设计和生产的标准零件和部件，因而可以简化绘图、

计算等工作, 缩短设计周期, 有利于促进计算机辅助设计。这对保证产品品种的多样化和产品结构性能的不断改进都起着重大作用。

综上所述, 在机械制造中, 遵循互换性原则, 不仅能保证又多又快地进行生产, 而且能保证产品质量和降低成本。所以, 互换性是机械制造中贯彻“多、快、好、省”方针的重要技术措施。

但是, 应该指出, 并不是在任何情况下, 互换性都是最有效的生产方式。

由于情况不同, 互换性的形式和程度也有所不同。有时, 可以采用完全互换(绝对互换), 有时则应采用不完全互换(有限互换)。

若零件在装配或更换时, 不仅不需辅助加工与修配, 而且不需选择, 则其互换性为完全互换。当装配精度要求很高时, 采用完全互换将使零件公差很小, 加工困难, 成本很高, 甚至无法加工。这时, 可将零件的制造公差适当地放大, 使之便于加工, 而在零件完工后, 再用测量器具将零件按实际尺寸大小分为若干组, 使每组零件间实际尺寸的差别减小, 装配时按相应组进行(例如, 大孔与大轴装配, 小孔与小轴装配)。这样, 既可保证装配精度和使用要求, 又可解决加工困难, 降低成本。此时, 仅组内零件可以互换, 组与组之间不可互换, 故叫做不完全互换。以滚动轴承为例, 则同时具有上述两种互换性。轴承内圈与轴颈配合, 外圈与外壳孔配合(图7—1、7—8)。为使用方便, 内圈内径与外圈外径应为完全互换。而轴承内、外圈滚道直径与滚珠(滚子)直径之间的互换性, 则因装配精度高, 加工难, 通常均采用分组装配, 为不完全互换。

一般而言, 不完全互换只限于部件或机构的制造厂内装配时用。至于厂外协作, 即使产量不大, 往往也要求完全互换。

此外, 为保证达到机器的装配精度与满足使用和生产上的要求, 在装配时, 也可用补充的机械加工或钳工修刮来获得所需精度; 也可通过移动或更换某些零件, 以改变其位置与尺寸的方法来达到要求的精度。前者称为修配法, 后者称为调整法。通常, 在单件小批生产中, 特别是在重型机器制造中, 修配法与调整法的应用较广。

究竟采用何种方式生产为宜? 采用完全互换, 或不完全互换, 或者修配、调整等, 这要由产品精度、产品复杂程度、生产规模、设备条件、技术水平等一系列因素决定。

1—2 有关公差与配合的基本术语及定义

要实现零部件的互换性, 除统一其结构与基本尺寸外, 还应统一规定公差与配合。公差与配合标准是基本的互换性标准。

为了正确掌握公差与配合标准及其应用, 统一设计、工艺、检验等人员对公差与配合标准的理解, 应明确规定有关公差与配合的基本概念、术语及定义。术语及定义的统一也是国际标准化的重要内容之一。

在公差与配合标准中, 孔与轴这两个术语有其特殊含义, 它关系到公差标准的应用范围(图1—1)。

孔(hole): 主要指圆柱形内表面, 也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴(shaft): 主要指圆柱形外表面, 也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

在键与键槽的结合(图8—1)中, 键槽即孔, 键就是轴。

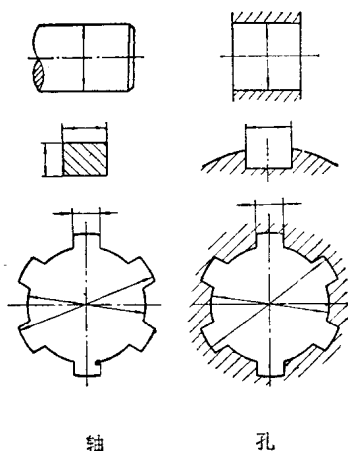


图 1—1 孔与轴

从装配关系讲，孔是包容面，轴是被包容面。从加工过程看，随着余量的切除，孔的尺寸由小变大，轴的尺寸由大变小。此外，孔、轴在测量上也有所不同，例如：测孔用内卡尺，测轴用外卡尺。

在公差与配合标准中的孔、轴都是由单一的主要尺寸构成。例如，圆柱形的直径，键与键槽的宽度等。

尺寸 (size)：用特定单位表示长度值的数字。在技术图样中和在一定范围内，已注明共同单位（如在尺寸标注中，以mm为通用单位）时，均可只写数字，不写单位。

基本尺寸 (basic size)：由设计给定的尺寸。基本尺寸一般应按标准选取，因为基本尺寸的标准化可缩减定值刀具、量具、夹具等的规格数量。

由于有制造误差，由于要满足孔与轴的配合要求，工件加工完成后所得的实际尺寸一般不等于其基本尺寸。

实际尺寸 (actual size)：通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差，实际尺寸并非被测尺寸的真值。例如，测得轴的尺寸为24.965mm，测量的极限误差为 $\pm 0.001\text{mm}$ ，尺寸的真值在 $24.965 \pm 0.001\text{mm}$ 范围内，忽略测量误差，取实际尺寸为24.965mm。允许的测量误差应由专门标准规定。

由于形状误差的存在，工件上各处的实际尺寸可能不完全相同，造成尺寸的“不定性”，且影响孔、轴配合的实际状态。为此，引入作用尺寸 (mating size) 的概念 (图 1—2)

孔的作用尺寸 (mating size for hole)：在配合面全长上，与实际孔内接的最大理想轴的尺寸。

轴的作用尺寸 (mating size for shaft)：在配合面全长上，与实际轴外接的最小理想孔的尺寸。

若工件没有形状误差，则其作用尺寸等于实际尺寸。弯曲轴的作用尺寸大于该轴的最大实际尺寸，弯曲孔的作用尺寸小于该孔的最小实际尺寸。

为了保证使用要求，应对实际尺寸与作用尺寸的变动范围加以限制。为此，规定了极限尺寸 (图 1—3)。

极限尺寸 (limits of size)：允许尺寸变化的两个界限值，它以基本尺寸为基数来确定。

两个界限值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。

孔与轴的极限尺寸，除可按其本身数值大小特征分类外，还可按工件实体大小（占有材料多少）特征、量规检验特征以及加工过程特征等分类。

最大实体状态 (maximum material condition) 和最大实体尺寸 (maximum

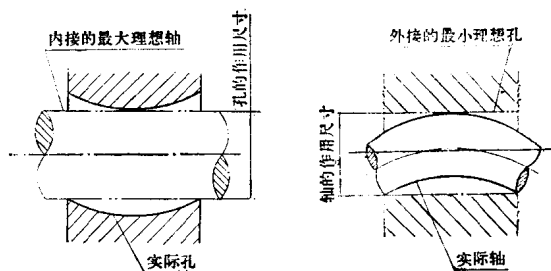


图 1—2 作用尺寸

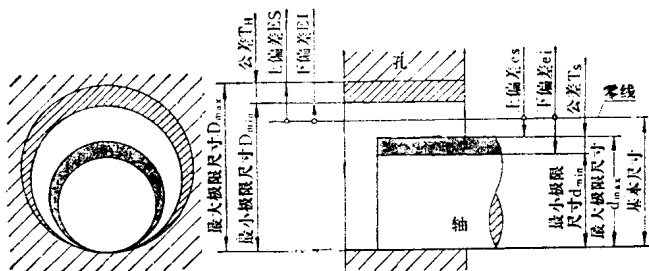


图 1—3 公差与配合的示意图

material size);具有允许的材料量为最多时的理想形体状态,称为最大实体状态(MMC)。在此状态下的极限尺寸,称为最大实体尺寸(MMS),它是孔的最小极限尺寸与轴的最大极限尺寸的统称。例如,轴 $\phi 25_{-0.033}^{+0.000}$ mm 的最大实体尺寸为 24.980 mm,孔 $\phi 25_{+0.021}^{+0.000}$ mm 的最大实体尺寸为 25.000 mm。

最小实体状态 (least material condition) 和最小实体尺寸 (least material size):具有允许的材料量为最少时的理想形体状态,称为最小实体状态(LMC)。在此状态下的极限尺寸,称为最小实体尺寸(LMS),它是孔的最大极限尺寸与轴的最小极限尺寸的统称。例如,轴 $\phi 25_{-0.033}^{+0.000}$ mm 的最小实体尺寸为 24.967 mm,孔 $\phi 25_{+0.021}^{+0.000}$ mm 的最小实体尺寸为 25.021 mm。

按加工过程特征,最大实体尺寸即合格工件的起始尺寸(始限),最小实体尺寸即合格工件的终止尺寸(终限)。

按用极限量规检验特征,最大实体尺寸即通极限(go limit),最小实体尺寸即止极限(not go limit),它们分别由通规与止规控制。

极限尺寸与实际尺寸可用基本尺寸与偏差表示。

尺寸偏差,简称偏差(deviation):某一尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为上偏差(upper deviation),最小极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为下偏差(lower deviation),上偏差与下偏差统称为极限偏差。实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差(actual deviation)。

国际上对孔、轴极限偏差的规定代号为:

ES—孔的上偏差;EI—孔的下偏差;es—轴的上偏差;ei—轴的下偏差。它们分别为法文ecart superieur(上偏差)与ecart interieur(下偏差)的缩写。

尺寸公差,简称公差(tolerance):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之代数差的绝对值。

例 1—1 已知孔的基本尺寸 $D =$ 轴的基本尺寸 $d = 25$ mm,孔的最大极限尺寸 $D_{\max} = 25.021$ mm,孔的最小极限尺寸 $D_{\min} = 25.000$ mm,轴的最大极限尺寸 $d_{\max} = 24.980$ mm,轴的最小极限尺寸 $d_{\min} = 24.967$ mm。求孔与轴的极限偏差及公差。

解 孔的上偏差 $ES = D_{\max} - D = 25.021 - 25 = +0.021$ mm;

孔的下偏差 $EI = D_{\min} - D = 25.000 - 25 = 0$;

轴的上偏差 $es = d_{\max} - d = 24.980 - 25 = -0.020$ mm;

轴的下偏差 $ei = d_{\min} - d = 24.967 - 25 = -0.033$ mm。

孔公差 $T_H = |D_{\max} - D_{\min}| = |25.021 - 25.000| = 0.021$ mm;

轴公差 $T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |24.980 - 24.967| = 0.013$ mm。

或 孔公差 $T_H = |ES - EI| = | +0.021 - 0 | = 0.021\text{mm}$;

轴公差 $T_s = |es - ei| = | -0.020 - (-0.033) | = 0.013\text{mm}$ 。

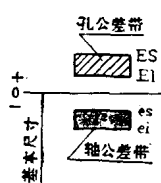
用基本尺寸与极限偏差表示时，可写为：孔 $\phi 25^{+0.021}_0\text{mm}$ ；轴 $\phi 25^{-0.020}_{-0.033}\text{mm}$ 。

由于极限尺寸与实际尺寸都可以大于、小于或等于基本尺寸，所以“偏差”可以为正值、负值或零。而“公差”则是一个没有正、负号的绝对值，且不能为零。“极限偏差”用于限制“实际偏差”，而“公差”用于限制“误差”。对单个工件，只能测出尺寸的“实际偏差”，而对数量足够多的一批工件，才能确定尺寸的“误差”。“偏差”取决于加工时机床的调整（如车削时进刀的位置），不反映加工难易；而“公差”表示制造精度要求，反映加工难易（当基本尺寸一定时）。此外，“极限偏差”主要反映公差带位置，影响配合松紧程度；而“公差”代表公差带大小，影响配合精确程度（当基本尺寸一定时）。

由于公差及偏差的数值与尺寸数值相比，差别甚大，不使用同一比例表示，故采用公差与配合图解（简称公差带图解）。图解中，用“零线”代表基本尺寸，用不同方式区分孔、轴公差带，其相互位置及大小应按协调的比例绘出。

零线（zero line）：在公差带图中，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。

尺寸公差带，简称公差带（tolerance zone）：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（图1—4）。



圆柱体直径尺寸的公差带，本来应是以最大极限尺寸和最小极限尺寸为直径的两个同轴线的理想圆柱面之间的空间，它不仅限制尺寸误差，也限制形状误差。但在图解中，为了简便起见，将公差带集中在轴线的一侧，并以平面区间表示。公差带在垂直于零线方向的宽度代表公差大小，公差带对零线的位置可由上偏差或下偏差确定，而公差带在沿零线方向的长度一般是任意取的，故尺寸公差带图实际上是一维的。

标准公差（standard tolerance）：标准中表列的，用以确定公差带大小的任一公差。

公差单位（tolerance unit，或称公差因子 tolerance factor）：计算标准公差的基本单位（因子），它是基本尺寸的函数。

公差等级（tolerance grade）：确定尺寸精确程度的等级。

属于同一等级的公差，其数值随基本尺寸分段的不同而有差别，但被认为具有同等的精确程度。

基本偏差（fundamental deviation）：标准中表列的，用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般为靠近零线的那个偏差（图1—5）。

配合（fit）：基本尺寸相同的，相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

间隙（clearance）或过盈（interference）：孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时是间隙，为负时是过盈（图1—6）。

间隙配合（clearance fit）：具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上（图1—7）。

间隙配合主要用于孔、轴间的活动联结。间隙的作用在于贮藏润滑油，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。间隙的大小影响孔、轴相对运动的活动程度。

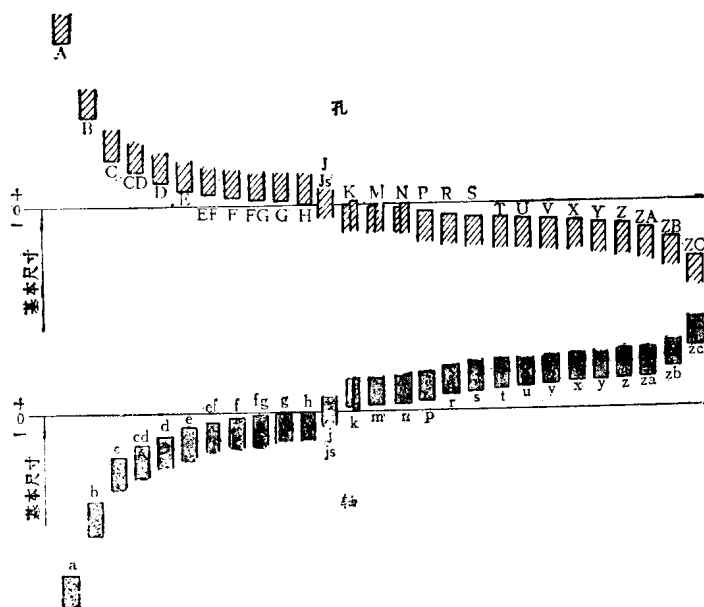
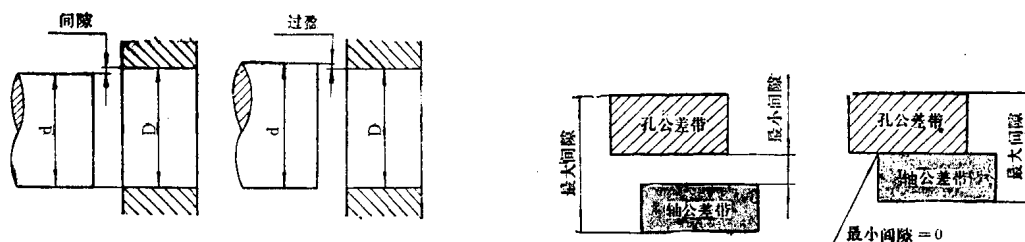


图 1—5 基本偏差系列



$$D-d = \begin{cases} +\dots & \text{为间隙} \\ -\dots & \text{为过盈} \end{cases}$$

图 1—6 间隙或过盈

图 1—7 间隙配合

过盈配合 (interference fit): 具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之下 (图 1—8)。

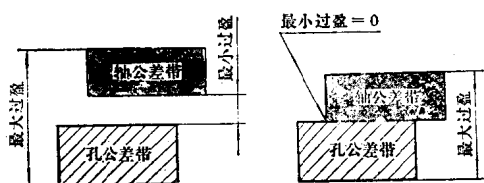


图 1—8 过盈配合

过盈配合用于孔、轴间的紧固联结, 不允许两者之间有相对运动。

过盈配合中, 轴的尺寸比孔的尺寸大。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使轴的温度降低, 即用热胀冷缩方法进行装配。采用过盈配合, 不另加紧固件, 依靠孔、轴表面在结合时的变形, 即可实现紧固联结, 并可承受一定的轴向力和圆周力。

过渡配合 (transition fit): 可能具有间隙或过盈的配合。此时, 孔的公差带与轴的公差带相互交叠 (图 1—9)。

过渡配合主要用于孔、轴间的定位联结。标准中规定的过渡配合的间隙或过盈一般都比较小, 因此可以保证结合零件有很好的对中性 and 同轴度, 并且便于拆卸和装配。

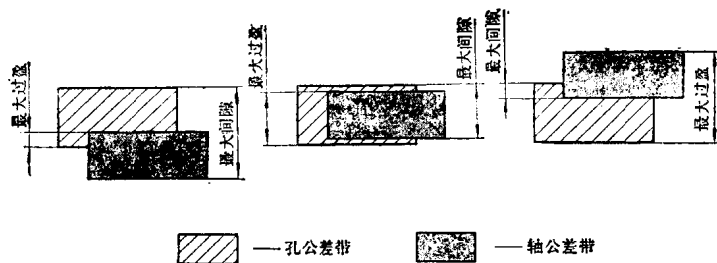


图 1—9 过渡配合

不论对那一类配合, 由于孔、轴尺寸是变动的, 因此间隙或过盈也是变动的, 所以需要确定其变动范围及变动量。

最小间隙 (minimum clearance): 对间隙配合, 孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸所得的代数差 (图 1—7)。

最大间隙 (maximum clearance): 对间隙配合或过渡配合, 孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸所得的代数差 (图 1—7, 图 1—9)。

最小过盈 (minimum interference): 对过盈配合, 孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸所得的代数差 (图 1—8)。

最大过盈 (maximum interference): 对过盈配合或过渡配合, 孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸所得的代数差 (图 1—8, 图 1—9)。

配合公差 (variation of fit): 允许间隙或过盈的变动量。

对间隙配合, 配合公差等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值; 对过盈配合, 配合公差等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值; 对过渡配合, 配合公差等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。

例 1—2 孔 $\phi 25^{+0.021}_{-0} \text{ mm}$ 与轴 $\phi 25^{+0.013}_{-0.002} \text{ mm}$ 组成间隙配合 (图 1—10a)。求其最小间隙、最大间隙及配合公差。

解 最小间隙 $X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 25.000 - 24.980 = +0.02 \text{ mm};$

最大间隙 $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 25.021 - 24.967 = +0.054 \text{ mm}。$

配合公差 $T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = |0.054 - 0.02| = 0.034 \text{ mm}。$

或 $T_f = |(D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max})| = |(D_{\max} - D_{\min}) + (d_{\max} - d_{\min})|$
 $= T_H + T_s$

孔公差 $T_H = 0.021 \text{ mm};$ 轴公差 $T_s = 0.013 \text{ mm};$

配合公差 $T_f = 0.021 + 0.013 = 0.034 \text{ mm}。$

例 1—3 孔 $\phi 25^{+0.021}_{-0} \text{ mm}$ 与轴 $\phi 25^{+0.013}_{-0.002} \text{ mm}$ 组成过盈配合 (图 1—10b)。求其最大过盈、最小过盈及配合公差。

解 最大过盈 $Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = 25.000 - 25.041 = -0.041 \text{ mm}$;
 最小过盈 $Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = 25.021 - 25.028 = -0.007 \text{ mm}$;
 配合公差 $T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = |-0.007 - (-0.041)| = 0.034 \text{ mm}$ 。
 或 $T_f = T_H + T_s = 0.021 + 0.013 = 0.034 \text{ mm}$ 。

例 1—4 孔 $\phi 25^{+0.021}_{+0} \text{ mm}$ 与轴 $\phi 25^{+0.015}_{+0.002} \text{ mm}$ 组成过渡配合 (图 1—10c)。求其最大间隙、最大过盈及配合公差。

解 最大间隙 $X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 25.021 - 25.002 = +0.019 \text{ mm}$;
 最大过盈 $Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = 25.000 - 25.015 = -0.015 \text{ mm}$;
 配合公差 $T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |+0.019 - (-0.015)| = 0.034 \text{ mm}$ 。
 或 $T_f = T_H + T_s = 0.021 + 0.013 = 0.034 \text{ mm}$ 。

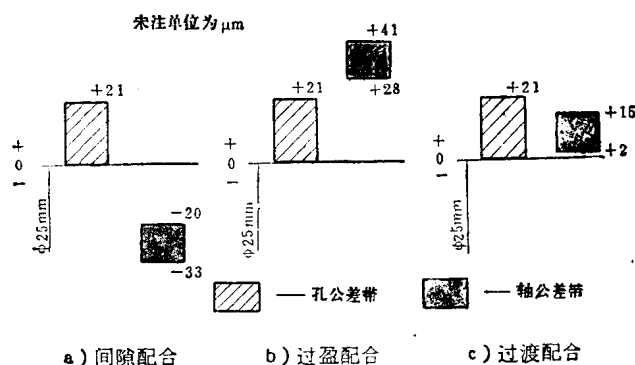


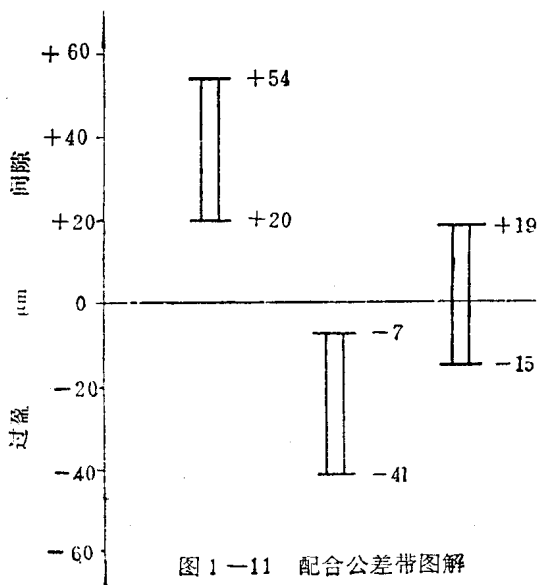
图 1—10 配合举例

不论对间隙配合、过盈配合或过渡配合,配合公差 T_f 都等于孔公差 T_H 与轴公差 T_s 之和,即: $T_f = T_H + T_s$ 。

对上述三例的配合,孔、轴结合的松紧程度是不同的,但结合松紧的变动程度相同,即配合的精确程度相同。

当基本尺寸一定时,配合公差 T_f 表示配合的精确程度,是使用要求,即设计要求;而孔公差 T_H 与轴公差 T_s 分别表示孔、轴加工的精确程度,是制造要求,即工艺要求。通过关系式 $T_f = T_H + T_s$,将这两方面的要求联系在一起。若使用要求或设计要求提高,即 T_f 减小,则 $(T_H + T_s)$ 也要减小,即制造要求或工艺要求提高,加工将更困难,成本也将提高。因此,这个关系式正好说明了“公差”的实质:反映机器零件的使用要求与制造要求之间的矛盾,或设计与工艺的矛盾。

各种配合的特性,也可用配合公差带图解表示 (图 1—11)。



配合公差带，对间隙配合为最大间隙与最小间隙之间的公差带；对过盈配合为最小过盈与最大过盈之间的公差带；对过渡配合为最大间隙与最大过盈之间的公差带。配合公差带同时给出了配合公差的数值和相对于间隙或过盈等于零的直线的位置。

在上述三例间隙配合、过盈配合与过渡配合中，轴的尺寸分别为 $25_{-0.028}^{+0.033}$ mm、 $25_{-0.041}^{+0.015}$ mm 与 $25_{-0.052}^{+0.021}$ mm，而孔的尺寸统一为 $25_{+0.021}^{+0.033}$ mm，故孔可用同一规格的定值刀具和量具加工检验。若将孔的尺寸改为 $25_{+0.033}^{+0.041}$ mm，此时，孔的上偏差改变了，但下偏差未变，即孔的基本偏差一定，则虽然配合公差有所改变，但最小间隙或最大过盈不变，且检验孔的通规仍有可能适用。这种形成配合系列的方法即基孔制。与此相反，也可按基轴制形成配合系列。例如，将轴的尺寸统一为 $25_{-0.013}^{+0.013}$ mm，而取孔的尺寸分别为 $25_{+0.020}^{+0.041}$ mm、 $25_{+0.041}^{+0.020}$ mm 及 $25_{+0.015}^{+0.006}$ mm，仍可得到与以上三例完全相同的配合。

基孔制 (hole basis system)：基本偏差固定不变的孔的公差带，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，其下偏差为零 (图 1—12a)。

基轴制 (shaft basis system)：基本偏差固定不变的轴的公差带，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，其上偏差为零 (图 1—12b)。

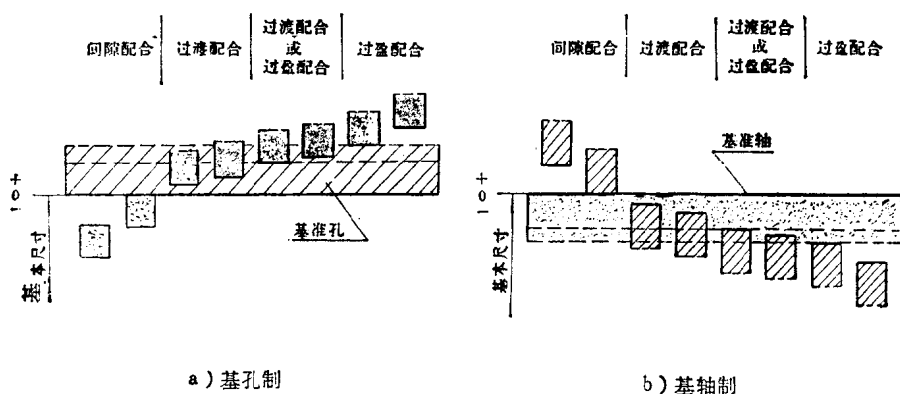


图1—12 基孔制与基轴制

1—3 标准化及优先数系

一、标准化的意义

在机械制造中，标准化是广泛实现互换性生产的前提，而公差与配合等互换性标准都是重要的基础标准。

从概念讲，标准化 (standardization) 是指制订 (修订)、贯彻技术标准，以促进全面发展的整个过程。

技术标准 (简称标准) 是从事生产、建设工作以及商品流通等的一种共同技术依据，它以生产实践、科学试验及可靠经验为基础，由有关方面协调制定，经一定程序批准后，在一定范围内具有约束力。

从内容讲，标准化的范围极其广泛，涉及人类生活的各个方面。因此，技术标准种类繁多，大致可归纳为以下几类：

1、产品标准：以产品及其构成部分为对象的标准。如机电设备、仪器仪表、工艺装备、零部件、毛坯、半成品及原材料等基本产品或辅助产品的标准。产品标准包括产品品种系列标准和产品质量标准，前者规定产品的分类、型式、尺寸和参数等，后者规定产品的质量特征和使用性能指标等。

2、方法标准：以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象的标准。如设计计算方法、工艺规程、测试方法、验收规则及包装运输方法等标准。

3、安全与环境保护标准：专门以安全与环境保护为目的而制订的标准。

4、基础标准：以标准化共性要求和前提条件为对象的标准。如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、公差与配合、零件结构要素等标准。

标准可以按不同级别颁布。我国技术标准分为国家标准，部标准（专业标准），省、市、自治区标准及企业标准等几级。此外，从世界范围看，还有国际标准与区域性标准。

从学科属性讲，标准化也是一门系统工程学，其任务就是设计、组织和建立标准体系，以促进社会生产力的持续高速发展，促进人类物质文明及生活水平的不断提高。标准化又是一门重要的综合性学科，它与许多学科交叉渗透，是技术与管理兼而有之的学科，既有自然科学的特性，也有社会科学的某些特性。

从作用讲，标准化的影响是多方面的。标准化是组织现代化大生产的重要手段，是实现专业化协作生产的必要前提，是科学管理的重要组成部分。标准化同时是联系科研、设计、生产、流通和使用等方面的技术纽带，是使整个社会经济活动合理化的技术基础。标准化也是发展贸易，提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。搞好标准化，对于高速度发展国民经济，提高产品和工程建设质量，提高劳动生产率，搞好环境保护和安全生产，改善人民生活等，都有着重要作用。

世界各国的经济发展过程表明，标准化是实现现代化的一个重要手段，也是反映现代化水平的一个重要标志。现代化的程度越高，对标准化的要求也越高。

英国人认为，美国经济高速发展，超过英国并在世界领先，是由于美国经济有三个“S”作支柱，这三个“S”即简化（simplification）、专业化（specialization）与标准化（standardization）。西德、日本经济发展特快，且赶上并在某些方面超过美国的重要原因之一，是这两个国家的标准化工作搞得好。在1980年，英国有国家标准7,800个。而在1979年，美国已有国家标准10,590个，西德则有国家标准20,000个左右。日本每年就要审查、修政国家标准约3,000个。这些数字可在一定程度上反映这些国家标准化的状况。

从国际上讲，自六十年代末期，特别是自七十年代以来，标准化发生了许多重大变化，进入一个新的历史阶段，这个阶段的最大特点是标准的国际化。国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）编制标准的数量增加很快，质量也有很大提高。除一部分国际标准为协调各国标准的妥协性产物外，大部分国际标准集中了许多国家的经验和现代科学技术的成就。因此，最终出版的国际标准一般被公认为代表先进技术水平国际协议。特别是考虑到从国际贸易和国际间技术交流中能够得到的利益，采用国际标准的国家愈来愈多。大多数国家是参照国际标准制订本国的国家标准。还有一些国家完全采用国际标准，而不订国家标准；或以大部分精力参与国际标准化活动，而只订少量的国家标准。

技术标准本身也是很重要的科学技术情报,且一般具有简明、成熟、实用等特点,因此日益引起各国对搜集、引进技术标准的重视。

二、优先数系

工程上各种技术参数的协调、简化和统一,是标准化的重要内容。

在生产中,当选定一个数值作为某种产品的参数指标后,这个数值就会按照一定的规律,向一切相关的制品、材料等的有关参数指标传播扩散。例如,动力机械的功率和转速的数值确定后,不仅会传播到有关机器的相应参数上,而且必然会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮、联轴节等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上,并将进而传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具、夹具及专用机床等的相应参数上。这种技术参数的传播,在生产实际中是极为普遍的现象,既发生在相同量值之间,也发生在不同量值之间,并且跨越行业和部门的界限。而工程技术上的参数数值,即使只有很小的差别,经过反复传播以后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,以致给组织生产、协作配套及使用维修等带来很大的困难。因此,对于各种技术参数,必须从全局出发,加以协调。

另一方面,从方便设计、制造、使用、维修、管理等来考虑,对技术参数的数值,也应进行适当的简化和统一。

优先数 (preferred numbers) 和优先数系 (series of preferred numbers) 就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。

工程技术上通常采用的优先数系,是一种十进几何级数。即:级数的各项数值中,包括 $1, 10, 100, \dots, 10^N$ 和 $0.1, 0.01, \dots, 1/10^N$ 这些数,其中的指数 N 是整数。为了对这些数进行细分,按 $1 \sim 10, 10 \sim 100, \dots$ 和 $1 \sim 0.1, 0.1 \sim 0.01, \dots$ 划分区间,称为十进段。

设每个十进段内,细分数值的项数为 m , 且每递增 x 项,后项是前项的倍数,即构成一个倍数系列,则此数系的公比 q 应满足下式:

$$q^x = 10^{x/m} = 2。$$

取对数,得: $x/m = \lg 2 \approx 0.301 \approx 3/10$ 。

按此比例,可取 x 与 m 的下列组合:

$x/m = 3/10, 6/20, 12/40, 24/80, \dots$, 即 $m = 10, 20, 40, 80, \dots$, 相应的 $x = 3, 6, 12, 24, \dots$ 。而数系的公比分别是:

$$q = 10^{1/10}, 10^{1/20}, 10^{1/40}, 10^{1/80}, \dots。$$

我国标准 (GB 321) 与国际标准 (ISO 3) 采用的优先数系相同,规定的 m 值有: 5, 10, 20, 40, 80 等五种,分别用 R 5, R 10, R 20, R 40, R 80 表示。采用 R 5 数系是为了满足分级更稀的需要,在 R 5 中不包含倍数系列。

五种优先数系的公比如下:

$$R\ 5\ 的公比\ q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5849 \approx 1.6;$$

$$R\ 10\ 的公比\ q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25;$$

$$R\ 20\ 的公比\ q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12;$$

$$R\ 40\ 的公比\ q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06;$$

$$R\ 80\ 的公比\ q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0292 \approx 1.03。$$

R 5、R 10、R 20和 R 40是常用数值，作为基本系列，而 R 80则作为补充系列。

优先数系中的每一个数值即为优先数。按优先数的理论公比计算所得的优先数的理论值，是无理数，实际上不能应用。取理论值的五位有效数字的近似值作为计算值，其相对误差小于 $1/20000$ ，主要用于精度要求高的计算。对计算值再作圆整，保留三位有效数字的数值，称为常用值，它对计算值的最大相对误差为 $+1.26\%$ 和 -1.01% 。此外，对部分常用值再作进一步的圆整，称为化整值。例如，对 R 10系列中的常用值 3.15，有第一化整值 3.2 和第二化整值 3。对化整值系列，在规定的化整值中，对于计算值的最大相对误差为 $+1.50\%$ 和 -5.36% ，故化整值一般不宜采用。

优先数系的主要优点是：相邻两项的相对差均匀，疏密适中，而且运算方便，简单易记。在同一系列中，优先数（理论值）的积、商、整数（正或负）乘方等仍为优先数。因此，优先数系得到广泛应用，并成为国际上统一的数值制。

I、本章目的、要求、重点及难点

目的：使学生初步了解本门学科的任务与基本内容，调动他们学习本课程的积极性。

要求：1、了解互换性生产的特征、意义及优越性；2、了解公差与配合的基本术语；3、掌握公差带图解。

重点：互换性的意义（优越性）及公差与配合的基本术语（概念要清楚）。

难点：公差与配合基本术语的实质及其相互联系。

II、复习思考题

- 1、什么叫互换性？在机械制造业中，按互换性原则组织生产有什么优越性？实现互换性的基本条件是什么？
- 2、是否在任何情况下，按互换性原则生产都有利？
- 3、完全互换与不完全互换有何区别？
- 4、试判断以下概念是否正确完整？
 - 1) 公差可以说是允许零件尺寸的最大偏差；
 - 2) 公差通常为正值，但在个别情况下也可负值或零；
 - 3) 从制造上讲，基孔制的特点就是先加工孔，基轴制的特点就是先加工轴；
 - 4) 轴与孔的加工精度愈高，则其配合精度也愈高；
 - 5) 过渡配合可能具有间隙，也可能具有过盈，因此，过渡配合可能是间隙配合，也可能是过盈配合。
- 5、如何区分间隙配合、过渡配合和过盈配合？这三种不同性质的配合各用于什么场合？

III、作业

用已知数值，确定下列各项数值，绘出公差带图解并说明配合性质

序 号	配 合 件	基 本 尺 寸 mm	极 限 尺 寸 mm		极 限 偏 差 mm		公 差 T mm	间 隙 X (或 过 盈 Y) mm			基本尺寸 与极限偏 差标注 mm	给公差带图解并说 明配合性质
			max	min	ES(es)	EI(ei)		X _{max} 或 Y _{min}	X _{min} 或 Y _{max}	X _{av} 或 Y _{av}		
1	孔	20	20.033	20								
	轴		19.980	19.959								
2	孔	40	40.025	40								
	轴		40.033	40.017								
3	孔	60	59.979	59.949								
	轴		60	59.981								

注：对间隙配合，过盈配合及过渡配合，平均间隙或平均过盈(X_{av} 或 Y_{av})的数值分别为： $(X_{max} + X_{min})/2$ ； $(Y_{max} + Y_{min})/2$ ； $(X_{max} + Y_{max})/2$ 。

第二章 技术测量基础

2—1 技术测量的基本知识

测量 (measurement) 就是将被测的量 (quantity) 与作为单位或标准的量进行比较, 从而确定二者比值的实验过程。因此, 测量所得量值即用测量单位表示的被测的量的数值。

测量过程包括以下一些因素: 被测对象, 测量单位, 测量方法, 测量器具, 测量者及测量环境等。由于这些因素的缺陷及不稳定性, 测得值与被测的量的真值总有差别, 这就是测量误差。

在机械制造中, 技术测量 (精密测量) 的主要对象是几何量, 包括: 长度、角度、光洁度及形位误差等。对技术测量的基本要求是: 必须将测量误差控制在允许限度内, 以保证所需的准确度。此外, 还要求正确选择测量方法与测量器具, 以保证所需的测量效率, 做到经济合理。

一、长度单位基准及尺寸传递系统

为了保证测量的准确度, 首先需要建立统一、可靠的测量单位基准。

公制的基本长度为米 (m), 机械制造中常用的公制长度单位为毫米 (mm), 一毫米等于千分之一米。精密测量时, 多用微米 (μm) 为单位, 一微米等于千分之一毫米。

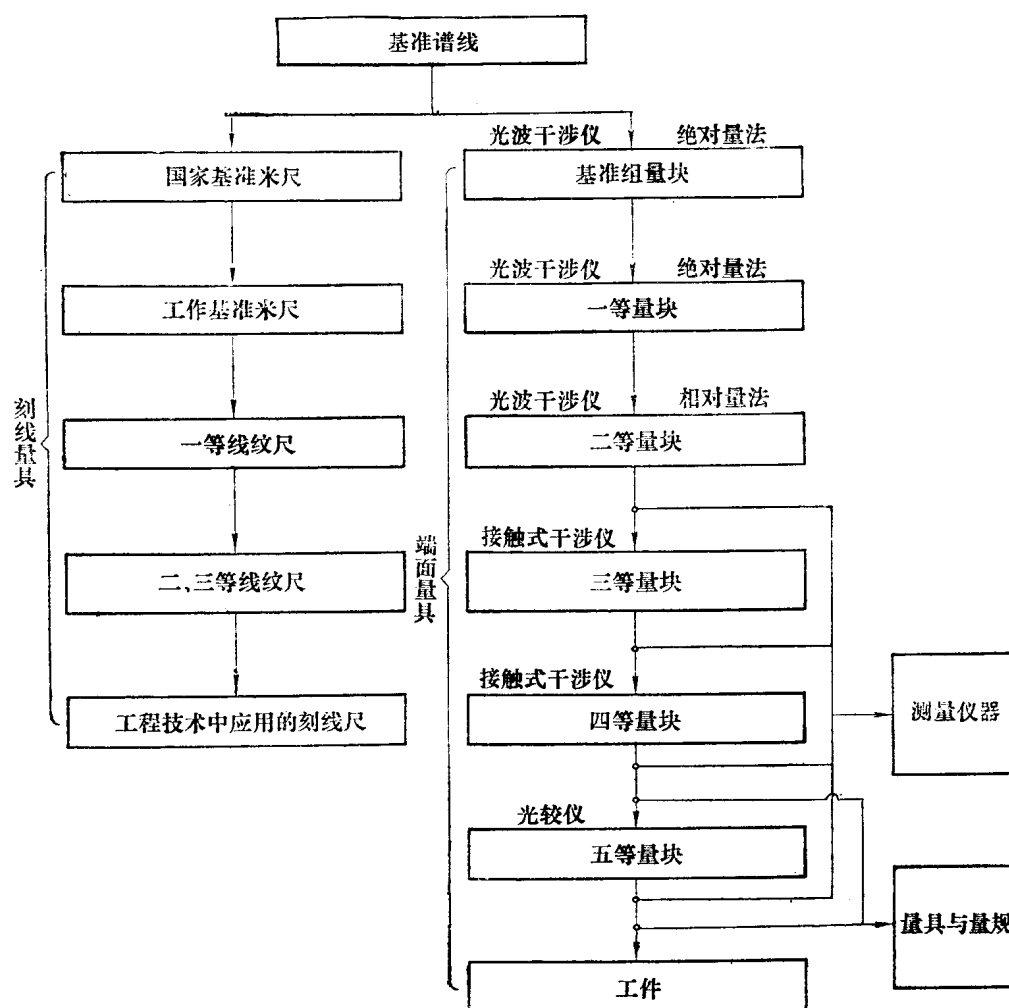
公制基本长度单位原以保存在巴黎的由铂铱合金制成的米原器为基准。由于金属内部的不稳定性, 以及受环境的影响, 国际米原器的可靠性并不理想。此外, 各国要定期将国家基准米尺送往巴黎与国际米原器校对, 亦很不方便。因此, 在1960年召开的第十一届国际计量大会上, 考虑到光波干涉测量技术的发展, 决定正式采用光波波长作为长度单位的基准, 并通过了关于米的定义: “一米是氪86 (Kr^{86}) 原子 $2\text{P}_{1/2}$ 与 $5\text{d}_{5/2}$ 能级之间跃迁辐射在真空中波长的1650763.73倍的长度”。从此, 实现了长度单位由实物基准转换为自然基准的设想。在一定温度、湿度和大气压等条件下, 氪86原子辐射线的波长十分稳定, 其极限不确定度 (uncertainty) 可达 $\pm 4 \times 10^{-9}$, 而且易于复现和使用。因此, 采用光波波长作为长度基准, 是测量技术上的重大进展。

由于稳定激光技术的发展, 能够达到的稳定性 (stability) 和复现性 (reproducibility) 可比氪86基准高100倍以上, 所以国际上从1973年起就考虑采用稳定激光的波长作为长度基准。在1981年, 初步确定米的新定义: “米是平面电磁波在真空中 $1/299792458$ 秒内所行进的距离”。关于米的新定义, 将在1983年的国际计量大会讨论后作出决定。

采用辐射线波长作为长度基准, 不仅可以保证测量单位稳定、可靠和统一, 而且使用方便, 并从本质上提高了测量精度。

为了保证机械制造中长度测量的量值统一, 必须建立从长度基准到生产中使用的各种测量器具 (量具、量仪), 直至工件的尺寸传递系统, 基本情况如表 2—1 所示。

表 2—1 尺寸传递系统



从光波长基准到测量实践之间的尺寸传递媒介，有线纹尺与量块（块规，gauge block）。它们是机械制造中的实用长度基准，而尤以量块的应用为广。

量块是一种平面平行长度端面量具，一般都用铬锰钢，或用线膨胀系数小、性质稳定、耐磨、不易变形的其他材料制成。有长方体与圆柱体两种形状（图 2—1 a、b）。两测量面之间的距离为其工作尺寸，此尺寸非常准确。

量块除作为尺寸传递媒介，用以体现测量单位外，还广泛用来检定和校准量具和量仪；比较测量时用来调整仪器零位；有时允许直接用以检验零件，或者用于机械加工中的精密划线和精密机床调整。

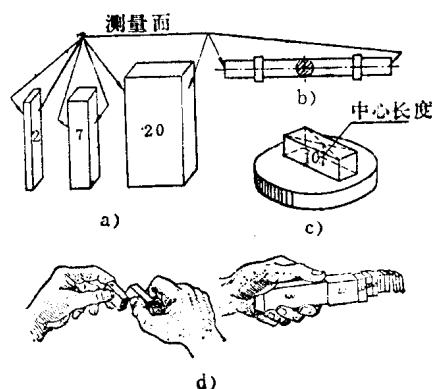


图 2—1 量块