

### 第3章 今天的「蓝图」—工程图样和图纸的处理技术

工程技术上把用以按图加工、按图施工的图叫工程图样。工程图样能完整、清晰地表达出构件、零部件、元件等的形状、大小、相对位置、材料和在制造、装配、施工、安装、检验等方面的技术要求。因此，工程图样是人们在生产活动中表达和交流设计思想的一种重要工具；是现代生产建设和科学技术上必不可少的技术文件；是工程界共同的技术语言。

在大工业生产中为了节约制图人力和及时供应图纸，需要对工程图纸进行复制。我们把设计或原有的图纸称为原图。在进行图纸复制时，首先需把原图用墨汁描绘在透明的描图纸上作为复制的底图，然后将底图铺在重氮盐感光纸上，用玻璃晒图板夹紧，在阳光或强灯光下暴光，然后用氨水熏制成白底褐线图，也有用其他化学感光纸复印成蓝底白线的，称为“蓝图”。随着人类社会从工业社会进入信息时代，生产流程中的传统媒介—工程图样正逐渐被磁带、磁盘等信息储存介质所取代。原图、底图、白底褐线、蓝底白线这些词都已成为历史性名词了。

传统的工程设计是由设计人员人工进行的，人们根据生产和生活的多种需要，通过设计对工程技术系统进行构思、分析，把设想通过图纸的形式记录下来。蒸汽机的发明及其应用，开始了近代工业革命，而蒸汽机制造的关键技术是汽缸的加工，加工汽缸需要车床，无论是汽缸的加工还是机床的制造，都需要工程图纸

作为产品信息的载体。到了二十世纪初，美国由于采用互换性和公差配合，使得汽车制造中心由欧洲转移到美国，汽车工业的生产效率大大提高，由于成批生产，汽车的价格大大下降，汽车进入了每一个家庭，使整个美国社会成为“轮子社会”，而“轮子”是依靠图纸生产出来的。所以人们把“蓝图”作为是美好思想或规划的代称。

### 3.1 新的处理技术

计算机的问世及广泛应用促进了现代图形技术的形成与发展，计算机绘图技术逐渐取代了传统的制图，它将传统的图纸数字化，用数据文件定义产品并建立完备的数据库。同时设计和计算相结合，设计结果实时显示，产生了全新的图形处理技术。

图样的生成、存储、复制都已能通过电子手段完成。我们知道，以前的工程图纸，都是由工程设计人员先用铅笔画在图纸上，然后晒成蓝图。这种方法不但使设计人员修改设计费时费力，而且要保存大量成堆的的图纸，携带和保存以及查找都不方便。采用新的图形处理技术，设计和修改都可以在 CAD 系统中完成，不但修改方便迅速，还可以充分利用以前的设计成果，省去重复的部分和绘制标准件的麻烦。同时，设计的结果可以存储在存储器当中，以数据文件的形式保存，需要时可以直接送绘图仪绘制，而图形的复制仅仅是文件的拷贝而已。

而且，现在的很多 CAD 系统都支持三维造型的功能，且发展的趋势是越来越多的采用三维设计。工作对象越复杂，采用三维设计的优越性就越突出。设计人员可以直接在屏幕上看

到设计的三维立体效果，通过旋转等可以在各个方向进行观察，并进行动态的修改。这是手工绘图所根本不能及的。在建筑上，设计人员可以在屏幕上提前看到大楼建成后的模样，甚至可以进入建筑物的内部进行观察，寻找不满意的地方并立即改正。避免建成后的遗憾或返工。

另外，现代 CAD 系统所提供的结构设计和计算相结合的功能，是手工设计所根本无法比拟的。现代设计由于其设计对象的复杂性，常常涉及到大量的计算工作，例如，零件的应力应变计算，建筑物地基的有限元分析等。这些工作必须在设计时加以考虑，也就是说，设计必须和计算相结合，只有这样才能保证设计的可行性和有效性。而一些设计中所涉及到的巨大的计算量是人工计算所无法完成的，必须依靠现代 CAD 技术才能够得以解决。

最后，利用现代 CAD 系统，可以保障设计信息的完备性和共享。利用现代图形技术的工程设计中，涉及到大量的数据，对这些数据的管理也已有数据库管理系统来代替原来的文件管理系统，以保证数据的统一性和完备性。

### 3.2 对设计工作的支持

随着现代图形技术的发展，以现代图形技术为核心的计算机辅助设计技术得到了广泛的应用。计算机辅助设计就是建立起某种模式和算法、支撑及应用软件，使计算机按设计工程师的意图，去进行科学分析和计算，作出判断和选择，最后输出满意的设计结果和生产图纸。它是由设计者向系统输入根据设计要求建立起

来的数学模型和设计参数，然后让计算机去检索有关的资料，并根据相应的公式和标准规范进行计算、优化并显示出设计结果；还可以在屏幕上对设计结果进行放大、缩小、旋转、平移等变换，如果用户不满意，还可以对设计图形作出修改、剪切、拼接等处理，直到获得满意的结果，最后由绘图机输出图样。它把人类的聪明才智和创造能力与计算机的高速运算功能结合起来。大大提高了设计效率，缩短了设计周期，而且提高了设计质量，节约了原材料和提高了产品的一次合格率，加快了产品更新换代的速度。

计算机辅助设计（CAD）本身包含非常广泛的内容，它已经可以应用于工程设计的各个阶段，如产品规划、方案设计阶段、技术设计阶段、施工设计阶段以及模拟制造。产品规划阶段的主要工作有市场调研、预测及设计任务书的拟定。计算机预测系统就是将人的主观经验与计算机的数据处理能力结合起来，对已知的信息和数据（来源于市场调查、同类产品的统计等）进行加工、反馈、分析、判断，从而输出对未来预测的决定。方案设计阶段的主要任务是探求实现设计目标的尽可能多的原理（功能）方案，并进行综合比较，评价决策出较优或最优的方案。这一阶段既是发挥设计人员创造能力的重要阶段，也常常是决定设计质量的关键阶段。技术设计阶段包括结构设计、确定零件尺寸及强度、刚度计算等（含有限元分析、参数优化及可靠性），包括总体结构、人机工程、工业造型等方面的分析和设计，进行价值优化分析，完成总体图和外形图。施工设计阶段主要是生成零件图、装配图以及有关技术文件，这是目前实用 CAD

系统的主要内容。模拟制造阶段为在实际加工前，在计算机上模拟加工过程。例如基于二维数据的线切割模拟，基于三维数据的注塑过程模拟等等。

高水平的 CAD 软件必然以三维模型为基础、以统一的数据库为核心，将设计、分析测试和数控等多种功能集于一体，并具有数据库管理系统和多种应用接口，为产品开发提供良好的、有效的并行工程开发环境。它的基本功能包括：实体造型功能，有限元分析模块，系统动力分析模块，优化设计模块，测试信号分析模块，数控编程模块，绘图模块。实体造型是用实体模型描述零件的形状特征，因此实体造型是 CAD 系统最基本的功能，造型功能的强弱和造型的效率直接影响产品开发的速度。有限元分析方法是目前机械结构强度、刚度、热特性及动力特性计算中最常用、最有效的方法之一。它不仅能处理具有复杂结构形状、边界条件和材料特性的线性问题、静力学问题，还能处理非线性、动态等其它问题。系统动力分析模块可以对单一零件的动力特性进行分析计算，但实际产品总是由一定数量的零件通过各种方式连接而成的机械系统。系统动态分析模块的作用就是分析计算机械系统的动力特性，以提高整个产品的动态性能。一个产品或零件往往有多种设计方案，优化设计的目的就是在众多的设计方案中选择一个最佳方案，使得选定的目标达到最优。对于一些结构或工况复杂的机械产品，单纯根据理论方法进行设计是比较困难的，这些产品分析模型的建立、模态参数和工况载荷的识别等往往需要对现有产品或产品模型进行实验，因此产品测试数据的分

析处理是产品开发的一个重要手段。产品设计经结构设计、外观设计、分析模拟和优化设计等环节后，如果其设计性能已达到规定的设计指标，则可由数控编程模块产生零件的数控加工程序。一般采用交互式图形编程方式，它直接引用前端的设计信息进行编码，无须重新描述零件的几何形状和大小。数控程序经后置处理生成特定机床的加工代码，这些代码指令可以直接或间接地传送到数控机床进行加工。绘图模块的主要作用是生成产品的加工图样。各种二维视图可由绘图模块直接绘制，也可由三维模型向二维平面投影而成，然后由绘图模块完成尺寸、形位公差、表面粗糙度和各种注释的标注，以及绘制剖面线，进行图形编辑和变换等。

计算机辅助设计（CAD）技术，作为电子信息技术的—个重要组成部分，是促进科研成果的开发和转化，促进传统产业和学科的更新和改造，实现设计自动化，增强企业及其产品在市场—上的竞争能力，加强国民经济发展和国防现代化的一项关键性高技术。CAD 技术的使用使产品和工程设计、制造的工作内容和方式发生了根本性的变革，这一技术成为工业发达国家制造业保持竞争优势、开拓市场的重要手段。1990 年美国国家工程科学院将 CAD 技术评为当代十项最杰出的工程技术成就之一。目前，CAD 技术日趋成熟、应用日益广泛，有力地促进了全球高新技术的发展和新产品的迅速更新换代。现在，随着计算机性能成数量级的提高，其价格成倍地下降；随着“网络通讯的普及化”、“信息处理的智能化”、“多媒体技术的实用化”，随着 CAD 技术的普及应用越来越广泛，越来越深入；

CAD 技术正向着开放、并行、集成、智能和标准化的方向发展。

CAD 系统只能帮助设计人员设计、产生工程图纸及其有关的技术说明，只有把 CAD 和生产制造结合成一体，才能进一步提高生产力和加工精度。这就需要实现计算机辅助设计 (CAD) /计算机辅助加工工艺规程设计 (CAPP) /计算机辅助制造 (CAM) 的集成，即 CAD/CAPP/CAM 的一体化，才能实现设计生产的自动化。进一步发展的趋势是计算机集成制造系统，用以真正实现无人化加工工厂 (或车间)。

### 3.3 机器是怎样绘图的

机器的绘图是从最基础的绘图单元：直线、圆和圆弧，以及由它们组成的符号、数字、字母和文字开始的。一般的绘图机画笔的动作对纸面来讲有上、下、左、右四个基本方向，这四个基本方向加上四个合成方向，共八个运动方向，可写成：+X；+Y；-X；-Y；+X，+Y；-X，+Y；-X，-Y；+X，-Y。如图 3-3-1

所示。除此之外画笔还有抬笔、落笔二个动作。这样，绘图机画笔可以有十个动作方向。这些动作都是根据计算机计算结果，由插补器 (控制器) 发出电脉冲 (简称脉冲) 指令，经过电压放大使伺服系统 (步进电机或伺服电机) 动作，通过机械传动系统进而驱动画笔绘图。一个脉冲使画笔走过的距离称为一个步

长，一般绘图机的步长为  $0.1 \sim 0.2$  毫米；

而速度一般为每秒  $300 \sim 12000$  步。

因为画笔对纸面只有八个运动方向和  
(抬笔、落笔)二个动作，所以绘图机也只能发出八个方向的运动指令和二二个动作指令。这十个指令可以用编码表示，例如 Benson 绘图机的指令编码如下：

指令	画笔移动方向
1	+X
2	-X
4	+Y
8	-Y
5	+X, +Y
9	+X, -Y
6	-X, +Y
10	-X, -Y
3	抬 笔
7	落 笔

如果直接用 Benson 绘图机这十个动作指令编程(也称手工编程),可使绘图机绘出简单的图形。例如:根据 Benson 绘图机的功能编码指令编写“5”字。设:字高为 6 毫米、宽 4 毫米,从“5”字左下角开始画。把字放在  $6 \times 6$  的方格中,每一小格为 1 毫



米×1 毫米。步长为 0.1 毫米。则绘图程序的指令编码清单见图 3-3-2。

由图 3-3-3 可知：“5”字是用一些小的线段表示的，而这些线段的方向是画笔所能动作的方向，因此用编码指令控制画笔是能实现的。可是如果给定与水平线成 30 度角的线段或给定一个圆、各种曲线等等，则画笔不能沿这些线的方向运动或者说画笔本身是不能实现的。这时采用直线近似逼近的方法，即插补原理的方法才能完成。

画笔绘制直线的逼近方法，如图 3-3-4 所示。

AB 为一般的斜线，因为 AB 方向不是绘图机画笔动作方向，因此画笔不可能直接从 A 点画到 B 点，而只能按八个方向去近似的逼近 AB 直线，其逼近的结果为锯齿状的折线。但是由于绘图机的步长很小（只有 0.1~0.02 毫米），则锯齿状的线条就会隐藏在画笔墨水的粗细里（墨水粗细为 0.2 毫米以上），其绘图结果，我们用眼睛是分辨不出来的，因此可以满足工程上的要求。例如：飞机模线的绘图精度为 0.1 毫米，而绘图机绘出来的图，高于这个精度。

以图 3-3-4 为例，具体说明绘图机的插补绘图原理。设：直线 AB 在第一象限内，从 A 画到 B。

计算机根据已知直线 AB 的数学方程，从 A 点开始发出画笔走第一步的脉冲指令。根据绘图机的功能，在第一象限内画笔只有三个动作方向（即：+X；+Y；+X，+Y），究竟画笔走

那个方向，这需要计算机通过分析、比较、计算后才能确定的。其原则是：选定画笔走完一步后，终点的坐标位置距 AB 直线最近。如图 3-3-4 所示，从 A 点应该同时发出+X，+Y 的合成方向的脉冲指令，即 45° 方向。因为这一方向走完一步后距 AB 直线最近。同样道理，第二步应发出+X 方向的脉冲指令；第三步……；一直画到终点 B 停止。在从 A 到 B 的过程中，每走一步计算机都是逐点比较后确定的。所以插补原理也叫逐点比较插补计算原理。从笔的运动轨迹来看，由 A 到 B 不是一条直线，而是一条折线。

综上所述，计算机绘图可以绘制任何图形，但绘出的实际结果是若干个微小的折线的集合，如图 3-3-5 所示。由于整个过程是由计算机控制的，所以计算的速度高、准确，使得绘图机能够画出比较理想的图形。

### 3.4 图形变换

图形变换一般是指对图形的几何信息经过几何变换后产生新的几何图形。图形变换既可以看作是坐标系不动而图形变动，变动后的图形在坐标系中的坐标值发生变化；也可以看作图形不动而坐标系变动，变动后，该图形在新的坐标系下具有新的坐标值，这两种情况本质上是一样的。图形变换归结为对组成图形的点集坐标的变换。

#### 3.4.1 二维图形的几何变换

对于平面上的一点  $P(x,y)$ ，对  $P$  进行平移、缩放和旋转变换后的结果  $P^*(x^*,y^*)$  分别为：

平移变换见图 3-4-1a 它使图形移动到另一个位置，而图形大小和形状不发生变化。比例变换见图 3-4-1b、c 它有多种用途，当  $s_x$

$= s_y$  时，可将图形放大或缩小，当  $s_x \neq s_y$  时，图形将在缩放同时改变长宽比，从而发生变形，当  $s_x = -1$  或  $s_y =$

$-1$  时，产生沿  $y$  轴或  $x$  轴的镜像图形。旋转变换见图 3-4-1d，它相当于将图形绕原点逆时针方向旋转给定的角度产生新的图形。

在实际应用中，图形变换通常不是孤立地起作用，而是连续地发生作用，例如将图形某给定点旋转时，需要先将该点平移到原点，作旋转变换后再重新平移到给定点处，上述的变换公式无法将平移和旋转变换组合成统一的描述来表示这一连续的变换。用齐次矩阵表示几何变换为解决这一问题提供了方便。

将二维坐标  $P(x, y)$  表示成齐次坐标  $P(x, y, 1)$ ，经几何变换后的齐次坐标为  $P^*(x^*, y^*, 1)$ ，

1), 二维坐标的齐次变换为：

这样，相应的变换矩阵可表示如下：

基本的对称变换指沿  $x$  轴和  $y$  轴的镜像和相对于坐标原点的中心对称，也可以通过比例变换矩阵来表示。特殊的对称变换有相对于直线  $x$

$$+ y = 0 \text{ 或 } x - y =$$

$0$  的对称，它们也可以通过镜像和旋转的复合变换得到。对称变换不改变图形的大小，只改变位置和姿态。在上式中：

(1)  $b = c = 0, a = -1, d = 1$  时，生成与  $y$  轴对称的图形，如图 3-4-1e 所示；

(2)  $b = c = 0, a = 1, d = -1$  时，生成与  $x$  轴对称的图形，如图 3-4-1c 所示；

(3)  $b = c = 0, a = -1, d = -1$  时，生成与坐标原点中心对称的图形；

(4)  $b = c = 1, a = d = 0$  时，生成与直线  $x - y = 0$  对称的图形；

(5)  $b = c = -1, a = d = 0$  时，生成与直线  $x + y = 0$  对称的图形，如图 3-4-1f 所示。

对于旋转变换  $T =$

旋转变换不改变图形的大小和形状，只改变位置和姿态，如图 3-4-1d 所示

错切变换的含义是将坐标沿某一坐标轴方向按比例错移，它将一个坐标方向的值按比例叠加到另一个坐标轴上。

(1) 当  $b = 0$  时，此时图形的  $y$  坐标不变， $c > 0$  时  $x$  坐标沿  $+x$  方向作错切位移， $c < 0$  时  $x$  坐标沿

$-x$  方向作错切位移，如图 2-4-1g 所示；

(2) 当  $c = 0$  时，此时图形的  $x$  坐标不变， $b > 0$  时  $y$  坐标沿  $+y$  方向作错切位移， $b < 0$  时  $y$  坐标沿

$-y$  方向作错切位移，如图 2-4-1h 所示；

有时需要对图形连续进行多次基本变换，称为组合变换或级联变换。组合变换的目的是将一个变换序列表示为一个变换矩阵，当需同时变换的图形较复杂时，这种统一将避免对大量坐标进行多次变换计算。设坐标  $P$  经过  $n$  次变换  $T_1, T_2, \dots, T_n$  到  $P^*$ ，则变换结果为：

$$P^* = P T_1 T_2 \cdots T_n = P T$$

式中， $T = T_1 T_2 \cdots T_n$  为总的变换矩阵。

另外，就是在作比例变换和旋转变换时，都要选一个固定的参考点来进行，一般选为坐标原点。所以，通常是先把图形进行平移到原点，然后进行比例或旋转，比例或旋转变换完成以后，再进行逆向的平移，实际上就是乘一个由平移、比例或旋转、再平移三个矩阵组成的级联矩阵。

### 3.4.2 三维图形的几何变换

将二维齐次变换推广到三维坐标的齐次变换，就可以实现三维图形的几何变换。设三维坐标  $P(x, y, z)$ ，用齐次坐标表示为  $P_w(xw, yw, zw, w)$ ，三维坐标的齐次变换可表示为以下矩阵：

(1) 一般情况下， $s_x, s_y, s_z > 0$  时，图形沿三个坐标轴方向作缩放变换；

(2) 当  $s_x = 1, s_y = s_z = -1$  时，图形相对于  $x$  轴中心对称，其余类推；

(3) 当  $s_x = -1, s_y = s_z = 1$  时，图形相对于  $yOz$  平面对称，其余类推；

(4) 当  $s_x = s_y = s_z = -1$  时，图形相对于原点中心对称。

对于旋转变换，基本的旋转变换矩阵有：

绕  $x$  轴旋转：

图形绕  $x$  轴旋转，可以理解为  $x$  坐标不变，在  $yOz$  平面内的二维变换。旋转变换后，图形的大小、形状不变，而姿态发生变化。

### 3.4.3 投影变换

将三维图形向二维平面上投影生成二维图形表示的过程称为投影变换。根据视点的远近，投影分为平行投影和

透视投影。当投影中心（观察点）与投影平面之间的距离为无穷远时，为平行投影，否则为透视投影。

投影方向垂直于投影平面时称为正平行投影，常用于生成工程图的三视图。三视图(正视图、俯视图、侧视图)的生成就是把  $x$ 、 $y$ 、 $z$  坐标下的形体分别投影到  $y=0$ 、 $z=0$ 、 $x=0$  的平面，然后把  $x=0$  平面上的图绕  $z$  轴逆时针旋转  $90^\circ$ ，把  $z=0$  平面上的图绕  $x$  轴顺时针旋转  $90^\circ$ ，这样，在  $y=0$  的平面上得到一个平面的三视图。如图 3-4-2 所示。当然，在实际使用中，为了标注尺寸的需要，三个视图离开原点一定的距离。

工程上应用最广泛的图样是多面正投影图，即三视图，如图 3-4-3 所示。它通常能够比较完整地、确切地表达零件各部分的形状，且作图简便、度量性好；但它的缺点是立体感不强，直观性较差。如采用轴测投影图来表达同一物体（如图 3-4-4 所示），则立体感强，直观性好，缺乏读图基础的人也能看懂。可是轴测图不易反映物体各表面的实形，因而度量性差，同时作图较正投影图复杂，因此轴测投影图在工程上一般用来作为辅助图样，帮助人们读懂正投影图，以弥补正投影图的不足。

当我们用三视图来表达物体的形状和大小时，为了使作图简单，通常都将物体的某些面处于特殊位置，使其具有实用性。此时一个投影图只反映物体一个面的形状，没有立体感(如

图 3-4-5a), 若此时将物体绕 Z 轴旋转一个角度, 投影就可能反映两个面的性质(如图 3-4-5b), 如再将物体向前倾斜一个角度, 则投影图就可能反映三个面的形状(如图 3-4-5c), 就有一定的立体感了。这种将物体连同确定其空间位置的直角坐标系, 按平行投影法一并投影到单一投影面 P 上所得的图形, 成为轴测投影图, 简称轴测图。

### 3.5 工程图样的形成

任何机器或部件都是由若干零件按一定的装配关系和技术要求装配而成的。零件不仅仅是理论上的几何体, 它也是机器或部件不可再拆分的基本单元。表示零件装配关系的图叫做装配图。进一步来看, 实际中的零件与理论上的组合体的最大区别在于两点: 其一, 零件是按工艺要求加工产生的; 其二, 零件必然在机器或部件中工作。零件必然通过一定的方式加工而成, 不可加工的零件或加工成本很高的零件是无法接受的, 即零件已不仅仅是纸上谈兵; 零件在机器或部件中工作产生的功能往往取决于两个方面, 一是零件自身的结构特点, 二是零件在机器或部件中的安装位置。

不管组成机器或部件的零件如何复杂, 一般可以根据零件的结构形状, 大致分为四大类零件: (1) 轴套类零件; (2) 盘盖类零件; (3)

叉架类零件; (4) 箱体类零件。分类是分析问题、解决问题的一个基本方法, 经分类后, 零件的视图表达就有了各自的特点。



零件图是生产中指导制造和检验该零件的主要图样，它不仅仅是把零件的内、外结构形状和大小表达清楚，还需要对零件的材料、加工、检验、测量提出必要的技术要求。因此，一张完整的零件工作图应具备如下内容：

#### 1) 一组视图

用于正确、完整、清晰和简便地表达出零件内外形状的图形信息，其中包括机件的各种表达方法，如视图、剖视图、剖面图、局部放大图和简化画法等。

#### 2) 完整尺寸

零件图中应正确、完整、清晰、合理地注出制造零件所需的全部尺寸信息。

#### 3) 技术要求

零件图中必须用规定的代号、数字、字母和文字注解说明制造和检验零件时在技术指标上应达到的要求。如表面粗糙度，尺寸公差，形位公差，材料和热处理，检验方法以及其它特殊要求等。

#### 4) 标题栏

标题栏应配置在图框的右下角。它一般由更改区、签名区、其它区、名称以及代号区组成。填写的内容主要有零件的名称、材料、数量、比例、图样代码以及设计、审核、批准者的姓名、日期等。标题栏的尺寸和格式已经标准化，可参见图 3-5-1；

如图 3-5-2 所示是一个凸轮的零件图。用两个视图表达，主视图为全剖，左视图为视图；一共标注了十个尺寸，包括线性尺寸、直径尺寸、倒角尺寸等；标注了表面粗糙度和尺寸公差；标题栏也填写了主要内容。

为什么该零件是凸轮而不是圆柱？其功能主要是由  $\phi 15H7$  轴孔与  $\phi 38$  圆柱面之间的偏心决定的，偏心距离是 5mm，5mm 是重要尺寸必须直接标注在视图上；从凸轮转动的动力考虑，设计了键槽结构，即宽为 5H9 的通槽；从装配角度考虑，设计了两个  $1 \times 450$  倒角；因为  $\phi 38$  圆柱表面要与其它零件动态接触摩擦，故在技术要求中提出了表面硬度的要求 HRC55-60。

零件图在选择视图时，要结合零件的工作位置或加工位置来考虑零件的安放位置。选择最能反映零件形状特征的视图，作为主视图，并选择好其它视图。包括运用各种表达方法，如剖视、剖面、局部放大图等，要根据零件的复杂程度和结构特征来选取。选择视图的原则是：在完整、清晰地表达零件内、外形状的前提下，尽量减少图形数量，以方便画图和看图。

在零件图上标注尺寸，除了要符合前面所述的完整、正确、清晰的要求外，在可能范围内，还要注得合理。所谓合理，即标注的尺寸能满足设计和加工工艺的要求。也就是使零件能在部件（或机器）中很好地工作，又能使零件便于制造、测量和检验。

为了能够做到合理,在标注尺寸时,应该对零件进行必要的形体分析、结构分析和工艺分析,恰当地选择好尺寸的基准,选择合理的标注形式。在标注零件的长、宽、高三个方向的尺寸时,每个方向至少要确定一个尺寸基准,从基准出发先标注定位尺寸,然后再标注定形尺寸。通常可选取的基准有:基准面—底板的安装面,重要的端面,装配结合面,零件的对称面等;基准线—回转体的轴线。

标注尺寸时还需注意:对零件间有配合关系的尺寸,例如孔和轴的配合,应分别注出相同的定形尺寸。

要做到尺寸注得合理,需要较多的机械设计和实际加工经验方面的知识。下面就以轴套类零件为例来分析视图的选择和尺寸的标注。

这类零件一般有轴、衬套等零件。在视图表达时,只要画出一个基本视图,再加上适当的剖面图和尺寸标注,就可以把它的主要形状特征以及局部结构表达出来了。如图 3-5-3 所示的某轴类零件,它的形状特征是同轴回转体,中间有带键槽的轴颈,与传动齿轮孔配合,轴类零件主要在车床上加工。为了便于加工时看图,轴线一般按水平放置进行投影,该轴的主视图的投影方向,可以有两个:一个为水平放置的投影,一个为沿轴端方向的投影。所得的视图,显然以水平方向作为主视图的投影方向,能反映该轴的形状特征,比轴端方向的投影好得多。

在图 3-5-3 中,由于轴套类零件基本上是同

轴回转体，因此，采用一个基本视图加上一系列直径尺寸，就能表达它的主要形状。对于轴上的销孔、键槽等，可采用移出剖面。这样，既表达了它们的形状，也便于标注尺寸。另外，对于有些轴上存在的局部结构，如砂轮越程槽、螺纹退刀槽等，则可采用局部放大图表达。

轴套类零件在标注尺寸时，都以水平放置的轴线作为径向尺寸基准（也是高度与宽度方向的尺寸基准）。由此注出如图所示的  $\phi 75$ 、 $\phi 62$ （见 A—A 剖面）等。这样就把设计上的要求和加工时的工艺基准（轴类零件在车床上加工时，两端用顶针顶住轴的中心孔）统一起来了。

轴套类零件长度方向的尺寸基准，常选用重要的端面、接触面（轴肩）或加工面等。如图 3-5-3 中所示的  $\phi 75$  的轴肩，选为长度方向的尺寸基准。由此注出 152 和 85 等尺寸。以右轴端为长度辅助基准从而注出总长 263。

### 3.6 视图间及其与技术数据间的自动协调

传统的 CAD 绘图技术都用固定的尺寸值定义几何元素，输入的每一条线都有确定的位置。要想修改图面内容，只有删除原有线条后重画。而新产品的打样设计不可避免地要多次反复修改，进行零件形状和尺寸的综合协调、优化。对于定型的产品设计，需要形成系列，以便针对用户的生产特点提供不同吨位、功率、规格的产品型号。因此，新的 CAD 系统都增加了参数化和变量化设计模

块,使得产品的设计图可以随着某些结构尺寸的修改和使用环境的变化而自动修改图形。

参数化设计一般是指设计对象的结构形状比较定型,可以用一组参数来约定尺寸关系,参数的求解比较简单,参数与设计对象的控制尺寸有显式的对应,设计结果的修改受到尺寸驱动。生产中最常用的系列化标准化就是属于这一类型。

变量化设计是指设计对象的修改需要更大的自由度,通过求解一组约束方程组来确定产品的尺寸和形状。约束方程驱动可以是几何关系,也可以是工程计算条件。约束结果的修改受到约束方程驱动。变量化设计可以应用于公差分析,运动机构协调,设计优化,初步方案设计选型等。

变量化设计一词是美国麻省理工学院 Gossard 教授发展了英国剑桥大学 R C

Hillyard 等的研究成果而创建的。他用一组特征点定义欧氏空间中的一个形体。在三维空间中每个特征点有 3 个自由度,即  $(x, y, z)$  坐标值。用  $N$  个特征点定义的形体共有  $3N$  个自由度,相应需要建立  $3N$  个独立的约束方程才能唯一确定形体的形状和位置。工程图上的一个设计对象必须满足的约束条件可以分成两类:隐式的和显式的。隐式约束在图纸上不作标注, Gossard 列举了以下 14 种:刚体无平移;刚体无旋转;4 点共平面; $m$  点 ( $m > 4$ ) 共平面;竖线是铅垂面;横线是水平面;直角表示两平面垂直;平行线

表示两平面平行，或一条线平行于一平面，或两条线平行；平行面上的对应点之间有相同的  $x$  距离或  $y$  距离或  $z$  距离；一组对应点之间有相同的直线距离。显式约束在图纸上用尺寸标明，有以下 12 种：两点之间的  $x$ ， $y$  或  $z$  距离；两点之间的直线距离；一点到一平面的距离；一点到一直线的距离；两平行线之间距离；直线到平面之间距离；两平面之间距离；两直线之间夹角；直线与平面间夹角；两平面间夹角。简单的二次曲面，如圆柱面、圆锥面、球面等用圆心、圆弧的起点、终点等和半径值限定。

将所有特征点的未知分量写成矢量：

$x = \{x_1, y_1, z_1, \dots, x_N, y_N, z_N\}^T$ ,  $N = \text{特征点个数}$ ;

或  $x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-2}, x_{n-1}, x_n\}^T$ ,  $n = 3N$ , 表示形体的总自由度。

同样，将已知的尺寸标注约束方程的值，包含隐式条件在内，也写成矢量

$$d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}^T$$

于是，变量几何的一个实例就是求解以下一组非线性约束方程组的一个具体解：

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = d_1$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = d_2$$

$$f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = d_n$$

或写成一般形式  $F_i(x, d) = 0$

$i=1, 2, \dots, n$

约束方程中有 6 个约束用来阻止刚体的平移和旋转，剩下的 (n-6) 个约束取决于具体的尺寸标注方法。只有当尺寸标注合理，既无多余的重复，又无疏漏时，方程才有唯一解。求解非线性方程组的最基本方法是牛顿迭代，即  $x_{n+1} = x_n - [F'(x_n)]^{-1} F(x_n)$  经过反复迭代，直到  $|\Delta x| \leq \varepsilon$ ，其中

$$\Delta x = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n\}^T$$

就得到满足方程组的解。

变量几何方法发表后，在 80 年代初虽然 CV 和 Applicon 两大 CAD 公司，都作了研究，但并未重视。其他 CAD 公司也反应迟缓。直到 1987 年底 Parametric

Technology 公司推出了以参数化、特征设计为基础的新一代实体造型技术后，CAD 界才真正认识到变量化设计的巨大威力，纷纷仿效。同年，从麻省理工学院毕业的几位博士创办了 Premise 公司，在微机和 Windows 环境下着手开发变量化设计软件，1989 年秋进入市场，称作 Design

View。随后 CV 公司将 Design View 纳入自己的

产品系列，作为初步设计的打样工具推荐给用户。

### 图 3-6-1 Design View 的变量化设计操作

#### 图 3-6-1 说明 Design

**View** 的基本操作过程。设计人员首先勾划水平和垂直辅助线，然后拾取两辅助线的交点确定零件的轮廓线。这时可以根据设计意图给出必要的尺寸标注，如图 3-6-1 中所示。尺寸值由系统自己计算。如果需要修改某些尺寸可以用光标指点该尺寸值后用键盘输入新的数字。系统自动作出响应，同步修改图形及尺寸标注值。如果需要根据某些计算结果生成图形，可以进入字符编辑方式，在这些受计算结果控制的尺寸前加注变量名，如图 3-6-1 中的 **A** 和 **B**，然后送入约束关系，例如  $B=1.2*A$ ， $A=8$ ，图形和尺寸标注值同样得到自动修改。图中没有加注变量名的尺寸在修改图形时保持不变。因此，**A** 和 **B** 的变化只能依靠两者间的斜连线的伸缩来实现，每次尺寸的修改量不宜太大。

#### Design

**View** 附有应用库，可以联机检索工程设计中的常用计算公式，以便将产品方案设计中的静力和动力学分析、热传导、运动方程、质量计算等约束条件与结构打样结合在一起考虑，及早定量对比各种方案的利弊得失。

为了处理多视图的联动，人们提出了许多方法。北航在 **VCAD** 系统中，采用了辅助线作图法，如图 3-6-2 所示。



主视图与侧视图之间共用辅助线 H1、H2 与 H3，故 m1 与 d1 相等，m2 与 d2 相等。自然满足高相等原则。主视图与俯视图之间共用辅助线 V1、V2 与 V3，故而 m3 与 d3 相等，m4 与 d4 相等，自然满足宽相等原则。

系统还提供了检取相同尺寸的功能。按视图之间的对应规则，m5 应与 d5 相等，因而作 H5 时检取相同尺寸 d5 即可。这样再连接轮廓线即可作出此三视图。对于更多的视图照此办理，只是应根据视图之间的对应关系，把各视图安放到合适的位置上，使其尽可能共用辅助线，同时利用检取相同尺寸的功能即可。

### 图 3-6-2 三视图实例

参数化设计是一个复杂的课题，真正能对任何图形都实行参数化的应用软件还没有出现，各国的专家学者还在为此不懈的努力。

## 3.7 图档系统

### 3.7.1 图样的数字化

随着几何造型技术的发展。70 年代后期各种 CAD 系统逐步得到广泛应用。因而，在大型企业中各种信息交换量，特别是所制造产品的定义（描述）数据量都很大，通过蓝图这一传统

手段进行交换，其效率远远不能满足计算机辅助技术的需要。于是人们开始提出了希望通过计算机进行高效率、高正确率的数据交换，以及制定数据交换标准的要求。

产品数据交换标准的制定工作，最初是由设在美国的 CAM-I 公司开始的。它委托 McAuto 公司于 1979 年制订了实体造型（包括 CSG 表示和 B-Rep 表示）数据文件规范 FS，又委托 Shape Data Ltd.公司于 1980 年制订了实体造型的应用接口规范 AIS。

差不多在同时，美国政府部门及工业界人士在美军 ICAM 程序的基础上，由美国国家标准局 NBS 协调，开发了一个数据交换方法，即著名的初始图形交换规范 IGES。IGES 在开发中，还吸收了波音公司的 CAD/CAM 集成信息网和通用电气公司的中性数据库的思想。IGES1.0 的（草案）于 1980 年 1 月发表，适用的范围最初仅限于画蓝图所需要的典型几何、图形和标注实体。随后，美国国家标准研究所 ANSI 的 Y14.26 委员会将 IGES1.0 的内容与 McAuto 公司的 FS 合并，于 1981 年 1 月发表了 IGES1.0 产品数据交换标准的正式版本。其后，IGES 规范维护委员会致力于它的应用领域的扩展及所支持造型方法的扩充，先后发表了 IGES2.0、3.0、4.0 版本。IGES 是目前世界上最著名的标准之一，许多著名的计算机硬件/软件产品厂商都声称在产品中支持它。

为了克服 IGES 的缺点和不足（如文件太长，有

些数据不能表达等), 在世界范围内出现了其它一些著名的标准。例如, 法国于 1983 年发表了数据交换规范 SET。SET 采用了 IGES 的数据模型, 但文件格式完全不同。德国于 1984 年发表了产品数据交换的德国国家标准 VDAFS, 即 DIN66301。VDAFS 的特色是应用领域较窄, 只处理自由曲面数据的交换。此外, 美国空军还组织制订了产品定义数据接口 PDDI, 于 1985 年发表。PDDI 定义了一些数据结构来改进 IGES 表达能力的不足, 并且还首次提出了产品定义数据和产品生命周期数据等概念。

1984 年, IGES 组织设置了一个研究计划称为 PDES。PDES 计划的目标是为产品数据交换规范的建立开发一种方法论, 并运用这套方法论开发一个新的产品数据交换标准, 以便从根本上克服 IGES 的弱点。它的显著特点是着重于产品模型信息的交换, 而不仅是几何和图形数据的传递。这种产品模型的信息应能直接为 CAD/CAM 系统所理解, 除了几何数据, 还应包括许多非几何数据, 例如制造特征、公差、材料特征、表面处理要求等。PDES 支持的产品数据交换方式除了文件交换外, 还有共享数据库, 这在实现方式上比以前的标准前进了一大步。PDES 的开发方法基于一个三层的体系结构(应用层、逻辑层、物理层)、参考模型及形式化语言(EXPRESS), 消除了定义中的二义性, 提高了计算机可实现的程度。所以, 无论是开发标准的方法论还是标准的结构和内容方面, PDES 计划都有重大的突破和创新, 为 STEP 标准的制订奠定了基础。

与 PDES 计划在美国开始实施的同时，1984 年 11 月，欧洲共同体的 ESPRIT 计划中专设了计算机辅助设计接口研究计划 CAD\*I。它的主要研究课题是开发一种几何模型描述语言，并在商品化的 CAD 和 FEM 系统上设计和实现相应的前后处理器。CAD\*I 在 STEP 国际标准的制订中有很影响，特别是在几何和形状信息、有限元接口和绘图信息等方面。

1983 年 12 月，国际标准化组织 ISO 设立了 TC184 工业自动化系统技术委员会，下设第四分委员会 SC4，即产品数据表达与交换分委员会。ISO

TC184/SC4 负责制订 STEP 国际性产品模型数据交换标准，它以 PDES 计划为基础，也吸收欧洲国家几种标准的长处。1988 年 ISO 把美国的

PDES 文本作为 STEP 标准的建议草案公布，而 PDES 计划的制订工作也并入 STEP 计划，PDES 的工作则转向 STEP 标准的应用，并将 PDES 的含义改为“应用 STEP 进行产品数据交换”。

STEP 标准在 ISO 中的正式代号为 ISO

10303，是一个关于产品数据的计算机可理解的表现和交换国际标准。其目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制，能够描述产品整个生命周期中的产品数据。这种描述本质上不仅

适合于中性文件交换，而且是实现和共享产品数据库以及存档的基础。产品生命周期包括产品的设计、制造、使用、维护、报废等。产品在各个过程产生的信息既多又复杂，而且分散在不同的部分和地方。这就要求这些产品信息以计算机能理解的形式表示，而且在不同的计算机系统之间进行交换时保持一致和完整。产品信息的交换包括信息的存储、传输、获取、存档。产品数据的表达和交换，构成了STEP标准。

产品数据交换标准的发展概况可见图 3-7-1

由于信息技术的发展迅速，标准化工作与技术的发展几乎是并行进行的，两者相互补充，相互促进。所以STEP的正式版本颁布过程中仍要不断修改和补充。很多CAD软件公司为了争取时间，已经着手开发基于STEP标准的新一代CAD/CAPP/CAM集成系统。STEP标准总结了前一阶段各个工业发达国家在产品信息建模技术上取得的研究成果，同时又为下一轮CAD集成软件的产品竞争设立了新的起跑线。

CAD技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、凭图纸组织整个生产过程的技术管理方式，将它变为图形工作站上交互设计，用数据文件发送产品定义，在统一的数据化产品模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺计划、工艺装备设计、数控加

工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等等。建立一种新的设计和生产技术管理体制。

对设计好的数字化的工程图样，可以直接送绘图仪绘图，然后采用复印技术进行复印。

这从根本上改变了过去的那种繁琐的工作方式，避免了描图的重复劳动和晒图的麻烦。同时，对已有的数字化文档可以方便的采用数据库图纸管理系统，

### 3.7.2 旧蓝图的数字化

工程设计图是设计院和工厂的宝贵财富，可以在新的设计项目中部分重复使用和参考。当 CAD 技术在一个单位内应用到相当规模后，就有迫切的愿望将过去存档的几万张以至几十万张手工绘制的图纸与用 CAD 系统新生成的绘图文件汇总一起，形成计算机管理的统一数字化图库。从 80 年代中期起，很多工业发达国家开始从事这一工作。最简单的方法是请人用某一 CAD 系统重画一遍过去的蓝图。这样可以使图面美观统一，尺寸比例准确。这种手工输图的价格，取决于图纸的复杂度和所用的 CAD 环境。大体一张 A4 幅面为 8~12 美元；A0 幅面是 A4 的 16 倍，即每张 128~200 美元。这笔费用相当可观。人们自然要努力研制高效的图纸自动扫描输入系统。最简单的扫描输入处理是用 CCD 摄像头将图纸上的线条和字符变换成二值的点阵记录，空白地区用 0 表示，线条和字符的笔划部分用 1 表示。图像数据经过压缩后仍以点阵的形式存储和显示到屏幕上。用户可以交互修改图面，例如擦去多余的象素，将线条修光或者

增删某些线条和标注等，然后用点阵式静电绘图机绘出新的图纸。这类系统的主要缺点是仍旧不能与用 CAD 系统新画的图纸作到完全兼容，而且仅仅是用图像表示的工程图，没有几何上的意义。

更高一级的处理是将图像变成矢量，即进行矢量化，用笔式绘图机输出绘图。这时在屏幕上对图面进行编辑修改可以使用通用的 CAD 绘图系统。某些功能强的扫描输入装置还能进一步识别字母、数字、汉字以及标准符号，象电路图中的元件等。处理功能再上升一级，就是引入人工智能技术，使系统带有一定的智能，能在某种程度上理解图纸的内容。这方面的最终目标是希望自动找出图面上的尺寸标注与被标注的几何元素间的一一对应关系，并且建立几何图形的拓扑结构，让软件根据尺寸标注值重建整幅画面，以此达到人工输入图中重画一遍图纸的同样效果。

图纸扫描输入和识别重建的基本处理步骤是：

- 1) 利用光电元件逐行扫描线画图（原工程图），扫描的点阵密度可以从每英寸 200~300 点到 500 甚至 1000 点。扫描的灰度等级最简单的只有两级，低于设定的分界值取为 0，否则取 1。这样一张图纸经过扫描输入后变成由 0 和 1 组成的图像文件。

- 2) 去除噪音，即图纸上的污点、线条上的毛刺和断裂等，对线条进行细化，将多点宽度的线条通过侵蚀算法缩减到一个点宽，获得图形的骨架。这样可以在几何特征基本保持不变的前

提下大量减少处理数据，使得几何关系更加明朗化；但缺点是会引起变形，并且失去了线宽信息。线条粗细对工程图是有意义的，因此有的系统不做细化处理，或在细化过程中同时提取线宽信息。

3) 矢量化，即从图像中找出所有线段，然后根据各线段之间的连接关系生成直线、圆弧、虚线和曲线等。矢量化可以将原始扫描图像的数据量压缩到 1/100 以下。

4) 识别箭头、字符和图形符号等。

5) 最后进一步校正图形，修补线条，生成某一 CAD 系统格式的绘图文件。

图纸扫描识别技术为人们利用原有设计资料实现新的工程设计提供了有效的手段。

### 3.7.3 图档管理系统

图档的计算机管理是 CAD 技术发展的必然结果，并成为 CAD 技术的重要组成部分，同时也是产品信息管理的基础。由于产品图纸的技术文档具有量大复杂的特点，所以利用磁盘目录结构和特定命名规则进行管理已难以适应这种要求，数据库管理系统 (DBMS) 有效的解决了这一问题。同时也极大得出了 CAD 技术的发展，提高了工作效率和经济效益。

图纸管理系统主要是对产品图纸和相应的技术文档进行计算机管理。图纸管理系统包括对产品类型、名称、图纸信



息的添加、删除和修改操作。同时，

现在的很多 CAD 系统直接带有图纸管理系统，这样可以方便的对图形打开和编辑，对产品的信息进行统计查询，形成各种报表和技术文档等。

图纸管理系统一般都具有以下功能：

1) 图纸选择。这包括产品选择、部件选择和零件选择等，选择可以从上到下进行，即先选择产品，再选择部件，

然后选择你所要查看的零件图。一个具体产品的全套图纸是整个树状结构中的一颗子树，它以总装图为根结点，以部件图为枝结点，以零件图为叶结点。如图 3-7-2 所示：

2) 图纸添加。往数据库中添加图纸，即把新的需要保存的图纸加到系统当中，以备以后检索和调用。

3) 图纸删除。从数据库当中删除不再需要的图纸，对数据的有效性进行维护。

4) 图纸编辑。对所选择的图纸进行修改和编辑，这一般要借助 CAD 系统来完成。利用现有 CAD 系统的图形处理功能来实现对图形的增、删、改。

5) 图纸查询。利用系统的检索功能，可以很方便的查找到你所需要的图形。

另外，一般系统还具有统计的功能，如标准件统计等。