

971909

T0332
0031

金

高等学校教学用书

计算机辅助 孔型设计



冶金工业出版社

PPDG

高等学校教学用书

计算机辅助孔型设计

北京科技大学 鹿守理 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等学校教学用书

计算机辅助孔型设计

北京科技大学 鹿守理 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷28号)

新华书店总店科技发行所发行

河北香河县第二印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 12.75 字数 306 千字

1993 年11月第一版 1993 年11月第一次印刷

印数 1~3100册

ISBN 7-5024-1226-3

TP·45(课) 定价6.10元

前 言

近年来随着计算机应用技术和塑性加工理论的发展,计算机辅助设计(CAD)技术已逐步引进轧辊孔型设计,形成了计算机辅助孔型设计(CARD),使孔型设计技术发展到一个新水平。

与孔型设计技术的这一发展相适应,近年来有关院校的金属压力加工专业已将《计算机辅助孔型设计》列入了教学计划,先后开设了《计算机辅助孔型设计》课或与之密切相关的选修课,并为工厂技术人员举办过多次计算机辅助孔型设计培训班。因此,编写一本反映孔型设计这一技术进步的新教材已成为客观需要。《计算机辅助孔型设计》一书就是在教学实践基础上的一次尝试。

本教材为金属压力加工专业的教学用书,按40学时教学大纲编写。因为本课程设置是在《轧辊孔型设计》课之后,所以在本书中不再重复有关孔型设计的一般理论和方法,仅介绍适用于简单断面和异型断面孔型计算机辅助设计的模型和算法,以及用计算机辅助进行孔型设计的方法、步骤、计算程序和程序框图,此外还介绍计算机辅助孔型设计所必需的图形技术和优化方法。

本书第一章和第三章由鹿守理执笔,第二章和第四章由吴迪执笔,第五章由唐文林执笔,全书由鹿守理担任主编。

初稿完成后曾邀请中南工业大学徐则礼、武汉钢铁学院张耘田和华东工业大学周军等老师参加审议,他们给初稿提出了许多宝贵意见,编者在此向他们表示衷心的感谢。

由于本书是这方面教材的第一次尝试,书中一定存在不当之处,编者真诚欢迎读者批评指正。

编 者

一九九二.十一

EAC 66/05

目 录

1 概论	1
1.1 计算机应用在轧钢技术进步中的意义	1
1.2 计算机辅助孔型设计的意义	1
1.3 计算机辅助孔型设计的发展概况	2
2 计算机辅助孔型设计中的图形技术	8
2.1 计算机绘图的基本知识	8
2.2 高级语言绘图指令绘图	11
2.3 图形软件—Auto CAD 软件包绘图	24
3 轧制简单断面型钢的轧辊孔型计算机辅助设计	61
3.1 程序系统结构和功能举例	61
3.2 各道次变形系数分配模型	69
3.3 孔型中金属变形模型和算法	70
3.4 轧制力和温度模型	111
3.5 计算机辅助孔型设计的算法和程序框图	113
4 轧制异型断面型钢的轧辊孔型计算机辅助设计	118
4.1 异型断面型钢孔型设计的特点	118
4.2 系统的组成和流程图举例	118
4.3 工字钢孔型计算机辅助设计	121
4.4 H型钢孔型计算机辅助设计	141
5 计算机辅助孔型设计的优化	150
5.1 最优化设计的预备知识	150
5.2 最优化方法简介	162
参考文献	199

1 概 论

1.1 计算机应用在轧钢技术进步中的意义

当今轧钢技术正由以经验和知识为依据,以试错(trial and error)为基本方法的工艺技术阶段向以模型化(modeling)、最优化(optimization)、柔性化(flexibility)为特征的工程科学阶段过渡。计算机的应用对这一过渡具有决定性的意义。回顾轧钢生产发展的过程可以看出:在最初阶段,轧钢生产完全是一门手艺,全靠个人经验和生产技艺;后来工业化导致形成了独立的轧钢工业部门。虽然轧制理论有了一定的发展,但主要是以现场或实验室实验研究的经验为依据,以试验法为基本方法;当前由于计算机在轧钢中的应用,使轧钢生产技术正在向一个崭新的工程科学(engineering science)阶段过渡,这一阶段是以计算机为工具对生产进行过程模拟、系统优化、自动控制与监测,取代传统的试验法,在生产和制造之前使用计算机对生产过程、工艺参数以及结果进行模拟并从整个系统进行优化,实现超前规划和设计,并在生产过程中由计算机进行准确控制和严格监测,这样就使轧钢生产技术向前跨了一大步,并带来巨大的经济效益。

可以看出,计算机不仅仅是一个计算工具,更重要的是它的应用改变了人们在解决问题中的传统思维和方法。因此有人把计算机比作现代社会进步金字塔的顶端。

今天各行各业的技术进步都离不开计算机应用,轧钢生产的技术进步则更加如此,因为轧钢生产是以其多阶段和多因素交互影响为特征的。这样的复杂过程的产品结构优化、工艺优化和设备优化要求有可靠的、定量的依据。而对轧钢这样的多阶段、多交叉影响因素的复杂过程来说,靠手工进行优化计算是不可能的,这种可靠的定量依据只有应用计算机模拟和优化才能获得。

计算机在轧钢生产技术方面的应用可以归纳为两个方面:轧钢技术决策支持系统和自动化控制系统(见图1-1)。这里我们把诸如轧钢厂设计和改造方案的优化,轧机产品方案的优化,生产计划的编制,企业上下车间及车间内各工段、各工序之间生产过程及工艺参数的模拟与协调,变形过程及参数的模拟与优化,工具优化设计(包括孔型设计),轧机调整及故障诊断专家系统等等,归结为技术决策问题,而把工艺过程及参数的控制与监测归入自动化控制系统。简言之,前者是提出决策或为决策提供依据的系统,后者是实现决策的执行系统。国外计算机在轧钢技术决策方面的应用已很普遍,遍及各方面,并取得了巨大的经济效益。我国近几年也开始重视这方面的开发。

1.2 计算机辅助孔型设计的意义

计算机辅助孔型设计是轧钢技术决策支持系统的组成部分。

孔型设计在型钢生产中非常重要,它关系到轧机生产的产量、质量、消耗和工人的操作条件等等。最早孔型设计完全是一种手艺,依靠设计者的经验和技巧。随着轧钢理论基础特别是塑性加工力学的发展,人们逐步试图建立有科学根据的孔型设计方法,使孔型设

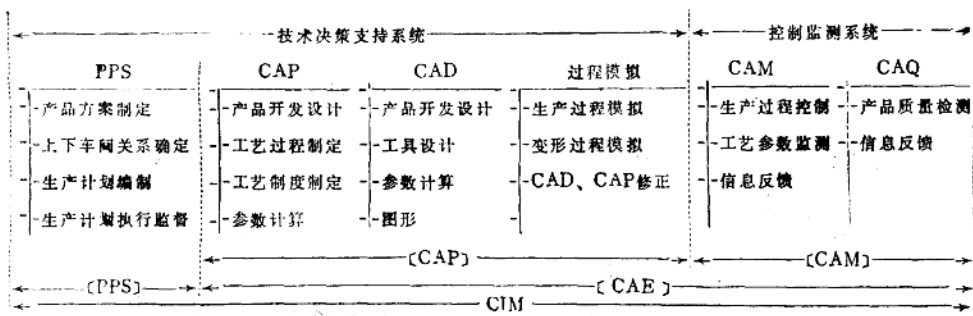


图 1-1 轧钢生产的 CIM 方案

计成为一门建立在可靠科学基础上的工程技术。因此出现了计算在孔型中轧制的金属变形、力能参数、温度等各重要参数的理论公式。但由于金属在孔型中轧制时变形的复杂性，在推导这些理论公式时不得不对研究的情况做大量简化处理，从而影响了相应公式的计算精度。另外在手工计算中由于理论公式复杂和轧制道次多，计算量大，使用不便，所以人们长期以来还是借助于简单的经验公式进行计算。一方面由于经验公式只适用于一定的条件，当条件变化时计算精度降低，另一方面为了简化计算工作，往往只计算个别参数和验算个别限制条件，这样就使设计结果的可靠性大受影响。因此设计出的孔型往往要经过试轧、修正、甚至多次试轧、修正才能成功地轧制。这样影响正常生产过程，浪费大量人力、物力和资金，而且设计周期长。即使能轧制成功，也并不一定是最优方案，在使用中还会不断地出现问题。这样的孔型设计仍然没有脱离依靠设计者的经验的方法。

随着计算机应用技术的发展，给孔型设计的发展提供了新的可能，即把 CAD 技术引入孔型设计。在计算机辅助孔型设计中，由于计算机巨大的计算能力和图形显示能力，在孔型设计中可以使用考虑各种影响因素的精确计算模型，可以计算一切必要的参数和检验一切必要的限制条件，把孔型设计看成是在满足咬入条件、满足轧件在孔型中的稳定条件及设备 and 电机负荷条件等一系列限制条件下的，既达到产品几何形状、尺寸、表面质量、组织性能等要求，又达到高生产率和低消耗的系统工程，采用优化技术，获得最优化设计方案。设计之后还可以根据设计结果进行计算机模拟，根据模拟结果再对设计方案进行必要的修改，即用计算机模拟代替或减少试轧过程。这样，可以大大减少试轧对正常生产的影响，缩短设计周期，提高设计可靠性，既降低了设计工作过程中的经济损失，又提高了长期生产中的经济效益，并且能把设计人员从繁琐的计算、画图等重复性工作中解放出来，将精力集中于方案合理性研究等创造性的工作中去。

1.3 计算机辅助孔型设计的发展概况

1.3.1 各种“CA—”技术

随着计算机在各专业领域应用的发展,出现了各种“CA—”技术,例如:

CAD——计算机辅助设计 (Computer Aided Design)

CAM——计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacture)

CAP——计算机辅助规划 (Computer Aided Planning)

CAQ——计算机辅助质量监控 (Computer Aided Quality Control)

CAS——计算机辅助服务 (Computer Aided Service)

CAE——计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering)

CAT——计算机辅助检验 (Computer Aided Testing)

CIM——计算机集成(或综合)生产 (Computer Integrated Manufacturing)

这些技术最先往往是从机械制造业、电子工业等开始的,它们的定义往往带有这些专业的特色。由于专业领域的不同或研究出发点的不同,对这些“CA—”技术的含义和对它们之间的关系理解也不尽相同。另外在不同发展阶段,也有不同理解,例如CAD最早是画图(Drafting),现在有的已包括了计算、设计、画图、几何模拟、功能模拟、运动模拟,有的甚至还把零件表、工艺计划、NC—编程、技术文件等包括了进去。但CAD的核心仍是图形技术。

这些“CA—”技术开始是一个个发展起来的,后来它们的功能在发展中出现了互相交叉、结合,如CAD/CAM一体化,CIM系统等。另一方面人工智能也逐步引入了这些“CA—”技术。下面是不同研究者提出的CIM方案,也就是他们根据不同专业提出的各种“CA—”技术间的关系(见图1-2至1-4)。

针对冶金系统,特别是针对金属塑性加工过程,Kopp,R.引用了Spur的CIM方案,特别强调了CAE的重要性,指出在产品开发、生产技术准备、产品质量监测,以及设备制造和改建中,计算机辅助规划和模拟是CAE的重要内容

结合轧钢生产特点,我们认为轧钢生产的CIM系统可如图1-1所示。

1.3.2 计算机辅助孔型设计的发展概况

计算机辅助设计在这个概念形成之前已有一个前期发展过程,到50年代后期形成了CAD概念。1955~1959年Ross领导的Massachusetts Institute of Techology研究了APT

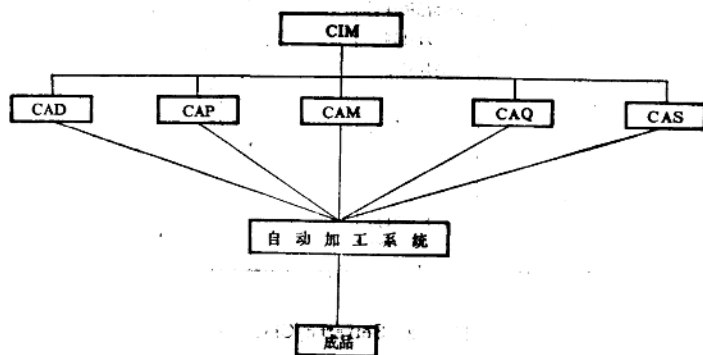


图 1-2 Spur的CIM方案

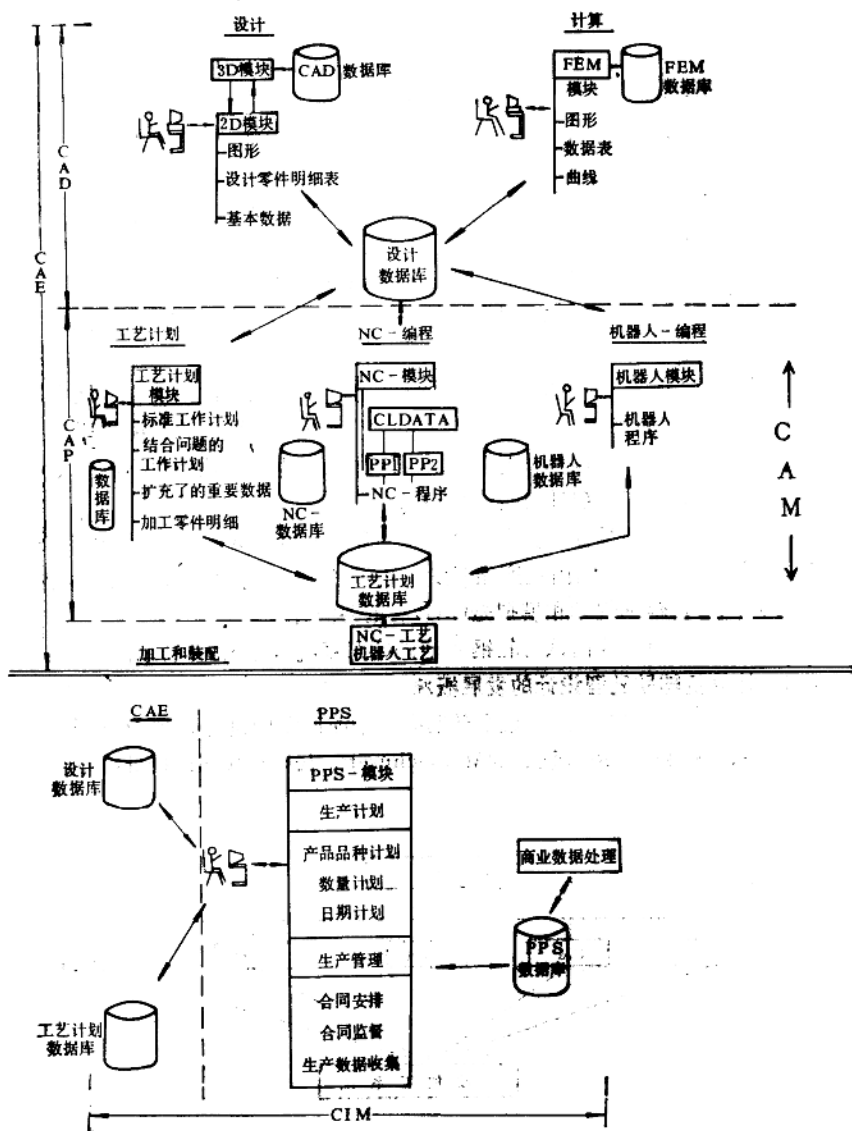


图 1-3 Seifert的CIM方案

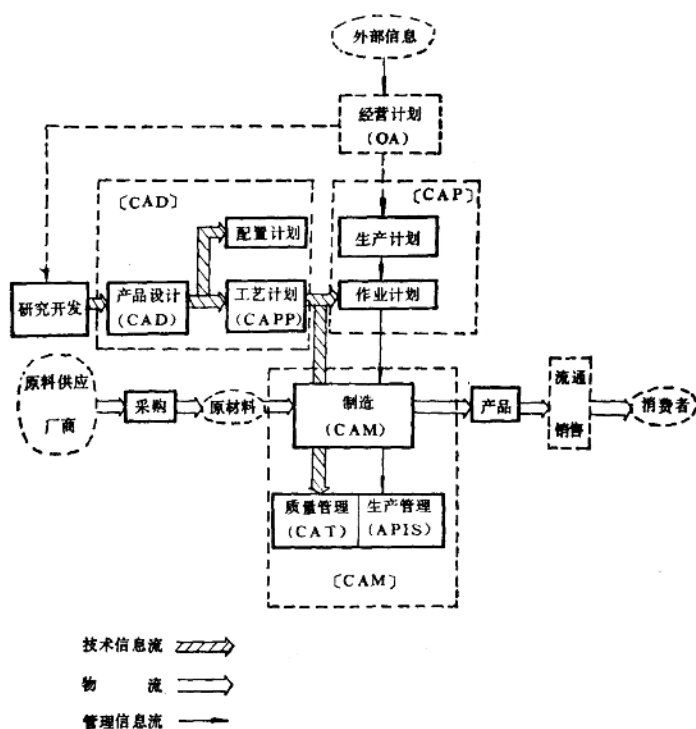


图 1-4 人见胜人的CIM方案

(Automatically Programmed Tools)，形成了CAD的概念范围。1963年Southernland开发了真正的最早的CAD系统。60年代前期建立了比较完善的对话型设计系统。70年代从设计的某些环节发展为整个设计的系统工程，进而发展为CAD/CAM一体化和CIM系统。

从使用角度看，CAD系统主要可分为三种类型，即检索型、计算型和人一机对话型CAD系统。检索型CAD系统是把定型产品的图纸整理成标准图并转变成图形信息存入数据库，系统具有选择或计算能力，能根据用户需要选择出满足要求的图；计算型CAD系统以优化设计为主，系统需要选择数学模型和数学方法，通过大量的运算求得最优解；人一机对话型CAD系统可在设计过程中显示图表、图形和数字，设计者则可通过键盘、图形数字输入板或光笔直接进行修改，即实现人一机对话，这类CAD系统便于通过输入输出设备很快地处理信息，从而充分发挥在整个CAD过程中设计者的智慧和创造性，充分发挥已存储在计算机中的信息的功能，并使人脑中尚未能算法化的经验发挥直接的影响。目前人一机对话型CAD系统用得较多。

计算机辅助孔型设计（简称CARD）的研究开始于60年代后期，现已有了大量研究成果。我国近年来也重视CARD的研究和开发，其中不少已经在工厂中使用，并得到很好的效果。如北京科技大学开发的型钢轧制过程仿真方法库，与江西钢厂、天津第三轧钢厂、承德钢铁厂合作开发的计算机辅助孔型设计系统，与武汉钢铁公司合作开发的工字钢计算机辅助孔型设计系统；西安冶金建筑学院与太原钢铁公司合作开发的简单断面型钢计算机

辅助优化孔型设计；东北工学院与马鞍山钢铁公司合作开发的H型钢和工字钢孔型设计系统等等。

CARD的发展可以从以下几个方面来分析。

(1) 系统功能的发展：系统功能从仅能完成个别孔型的个别设计环节发展到完成整个系统的包括计算各种参数、优化和画图等在内的全部设计工作，进而发展到CAD/CAM一体化和把专家系统引入CARD。

最早的CARD系统从功能上看只能完成设计工作的个别环节；有的仅能完成某些计算工作，有的仅能完成画图工作，有的则仅能完成在一定生产条件下的一定的孔型系统的某几道孔型的设计。例如1967年Brück, J.发表的用计算机计算线材轧机精轧机组轧制 $\phi 5.5\text{mm}$ 线材的孔型，仅能计算最后8道立椭圆—椭圆孔型系统，而且需要设计者输入多种经验数据来确定截面减缩率和孔型边长比，只能用于一定的轧制情况，而且计算的功能不很发达。1969年Gedin, H.发表了椭圆—方孔型计算机辅助孔型设计的计算方法。1973年Suppo, U.等发表了圆断面计算机辅助孔型设计方法，这一方法在孔型设计中的全部有关量都可用数学方程来确定，这是计算机辅助孔型设计的一个重要发展。后来他们又将这一方法作了进一步的发展。但这个方法中的计算仍是以经验—统计方法为基础的。1978年Kozono, H.发表了孔型设计CAD/CAM系统，把设计数据与NC编程结合。1981年Nilsson, R.发表了圆钢计算机辅助孔型设计，用的也是经验—统计模型。同年，Metzdorf, J.发表了工字钢等孔型计算机辅助设计。1982年Mauk, P.-J., Kopp, R.发表了计算机辅助孔型设计。1983年Mauk, P.-J.在Kopp教授指导下完成的计算机辅助孔型设计博士论文，系统地开发了简单断面和异型断面孔型计算机辅助设计方法，包括确定孔型尺寸和轧件尺寸、计算全部变形参数、力能参数、轧件温度等所有重要参数和绘图功能。

1982年前苏联Смирнов, В.К., Шилов, В.А.等发表了他们在多年研究基础上开发的简单断面最优化孔型设计自动计算系统，这个系统中使用的模型是他们多年来用全功率极小化变分原理对孔型轧制过程进行研究得出的结果。这个方法可以计算各种孔型系统轧制时金属变形（延伸系数、宽展系数、压下系数、孔型充满度、轧件和孔型尺寸）、力能参数（平均单位压力、轧制力和轧制力矩）、允许咬入角、稳定性所允许的轧件轴比和孔型延伸能力利用程度等，此外这一系统还有选择孔型系统和制定轧制方案的模块和验算轧制速度条件、轧件咬入条件、轧件稳定性条件、轧机设备强度、传动电机能力等等限制条件的模块。孔型设计优化算法采用了动态规划法。该系统可在给定了成品和坯料形状和尺寸、设备特性、道次数、终轧速度后，以能耗最低为目标，优化轧制制度，也可以在给定成品形状和尺寸、道次数和终轧速度、设备技术特性后，以各道轧件横截面面积增量最大为目标，优化孔型设计，确定最大可能坯料，还可以在给定成品和坯料形状和尺寸、轧机特性后，确定道次数和终轧速度，以达到能耗最小、道次最少、轧制速度最大（产量最高）的综合优化。西安冶金建筑学院压力加工教研室唐文林等在简单断面型钢计算机辅助优化孔型设计的研究中也开发了以轧制能耗最小为优化目标的系统。

将优化技术引入CARD系统及CAD/CAM一体化是CARD功能的发展，而将专家系统引入CARD，则是CARD功能的又一发展。因为在孔型设计中有一些重要决策，不便于用数学表达，属于经验知识性的。这部分决策在CARD系统中往往靠人—机对话、由设计者凭经验决定，即孔型设计在一定程度上仍依赖于设计者的经验，难以得到最优结果。将专

家系统引入，将有关决策的专家知识和经验做成相应规则，既使经验客观化，又使CARD具有智能性。这方面的研究刚开始，最近德国阿亨大学Arfmann, G 在 Kopp 教授指导下完成的博士论文就是一个例子。

从计算参数的功能来看，也有很大发展，早先只能计算简单工艺参数，现在则可能计算变形分布、应力分布，甚至预测轧材性能。

(2) 程序系统的发展：目前绝大部分CARD系统都是以软件包或程序库的形式完成的。北京科技大学压力加工系和计算机系合作建立了计算机辅助孔型设计方法库系统。软件包和程序库中的程序都是孤立的、互相不能合成，软件包和程序库本身也没有生成功能，它们的用户接口格式固定、死板，引用软件包中任何一个功能时，每次都要将整个软件包整体装载运行，信息冗余量很大。变更软件包中任何程序时相应的用户应用程序也要修改，整个软件包也要重新编译、连接，耗量大，不灵活。程序库中子程序被不同用户调用时每次都要进行编译、连接。方法库是将能完成预定功能的程序单位作为“方法”，将众多“方法”集中起来存入计算机中，给予集中有效的管理，能实现由基础方法合成高级虚拟方法及方法的插入和删除等功能。例如把每一种延伸孔型系的计算程序作为一个“方法”存入方法库，这些方法可单独提供给用户使用，也可将若干个基础方法合成为高级虚拟方法提供给用户使用，这样就可以克服软件包和程序库的缺点。

(3) 模型的发展：在孔型设计中要用到大量计算模型，特别重要的是描述金属变形、轧制过程运动学和力能参数的模型。在早期的CARD系统中大量使用经验模型或半经验模型，这就使得开发出的CARD系统只能在一定条件（即符合得出模型的条件）下可用，当轧制条件不同时，设计结果不可靠。过去的理论模型由于塑性加工理论和计算方法 的限制，在建立时不得不对变形条件做大量简化，因而计算结果也不可靠，往往只符合简化了的情况。近年来随着塑性加工理论的发展和计算方法的发展，使用精确的理论模型和数值算法已成为可能，因此使用的模型有了很大发展，建立了具有科学根据、更全面地考虑各种因素的模型。

2 计算机辅助孔型设计中的图形技术

绘制出孔型图和配辊图是孔型设计工作中的一项重要任务。在利用 CARD 系统设计孔型时,绘图工作是由绘图机和计算机共同完成的。这样使绘图效率比手工绘图有了很大提高,而且使绘制出的图纸更加整洁标准,同时可以省去描图等环节。绘图的程序和所绘的图形可以存放在磁盘上,因而图纸的保管工作也可以大为简化。总之,计算机图形技术的出现和应用,为工程技术人员提供了一种先进的制图手段,引起了与工程制图有关的各个环节的根本性变革。

2.1 计算机绘图的基本知识

2.1.1 概述

计算机绘图就是把人们所要求的图形在计算机的控制下自动地画出来。计算机绘图系统主要由计算机和绘图机两大部分组成。计算机的主要任务是将数据和信息经计算加工成绘图机能够接受的信息,而绘图机则根据计算机提供的信息转化成相应机构的动作,从而绘制图纸。

利用计算机和绘图机绘图时,设计者向计算机输入的图形信息要采用数字量的形式。解析几何和离散点的曲线拟合法变成了最基本的绘图方法。设计者需要计算出或利用计算机算出直线的交点、圆弧的切点,以及一些图形的中心点、对称点等特殊点的坐标值,然后把这些计算结果转换成图形显示设备或绘图机的指令格式,最后变成扫描光束或画笔的位移,从而在显示器屏幕上或绘图机上得到所需要的图形。

把数字量转换为图形需要借助于绘图软件。由于 CAD 应用领域的多样性,不同的设计对图形有不同的要求,如管道设计、建筑设计、机械设计、轴测图绘制等,既有二维的、也有三维的。但在绘制不同领域的图形时,总有某些共同的内容,如直线、圆弧、字符、比例、尺寸等,构成各种图形的基本内容。因此,人们把这些内容集中编制成绘图软件,供各种用户使用。好的绘图软件不仅能方便地完成设计者手中的铅笔、橡皮、剪刀和浆糊的全部功能,而且还具有一些人工制图无法比拟的优越功能,如利用图形的对称性镜像作图,利用图形零件进行插入和拼合作图,图形的局部放大和窗口显示,以及半自动的尺寸标注等等。有计算机和绘图机作辅助工具的设计者等于掌握了比手工制图更高明的制图手段,其工作效率无疑将大为提高。

2.1.2 图形显示器及其分辨率

在计算机辅助设计过程中得到的图形一般不希望直接在绘图机上输出,而是首先把它在图形显示器上显示出来,以使设计者对图形的正确性和精确性及是否需要修改作出判断。

图形显示器及其分辨率对显示图形的质量有着决定性的影响,了解显示器的基本工作原理和一些简单的性能指标对 CARD 系统的硬件配置及正确使用都是有益的。

(1) 光栅和像素

许多计算机的显示器是用光栅显示来绘图的,例如IBM PC系列微型计算机。这就是说,显示屏由许多水平光栅线组成,而每条光栅线则由许多称为像素的点所构成。在IBM PC机的高分辨绘图方式中,有200条光栅线,每条线包含640个像素。每条光栅线都编了号,从0到199;每条线中的像素也编了号,从0到639。所以,每个像素由两个数确定,即光栅线号和线中的像素号。通过把一些像素点亮,把另一些像素灭掉,显示器屏幕上就产生了图形。在进行光栅扫描中,计算机绘图语言必须具有点亮特定像素(即图形点)的能力。

像素越多,显示的图形越逼真,如图2-1所示,只有水平线和垂直线在显示屏幕上才呈现出“直线”,其它角度的直线及圆弧等曲线,都是用折线来逼近的。

(2) 分辨率

通常用水平方向上的像素个数乘垂直方向上的像素个数来表示显示器的分辨率。显然,像素越多,显示器的分辨率越高。不同厂家生产的显示器分辨率差别很大,如Radio Shack公司的TRS-80彩色图形显示器分辨率只有 128×48 ,而Tektronix 4050显示器分辨率达 4096×3125 ,通常所用的IBM PC微型计算机的单色图形显示器分辨率为 640×400 ,彩色图形显示器分辨率有 640×200 和 320×200 两种工作方式。目前在国内市场可以购买到能够配在IBM PC系列微机上的彩色图形显示器的分辨率可达 1024×1024 。据经验,利用计算机作孔型设计时,显示器的分辨率应在 640×400 以上为好。

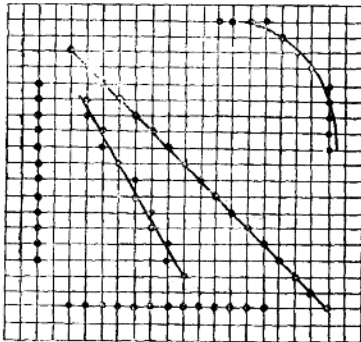


图 2-1 像素及线段的显示方式

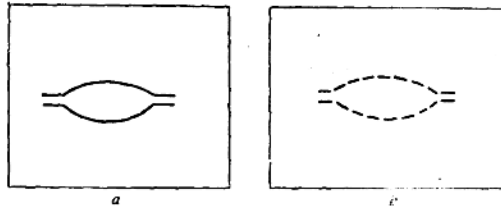


图 2-2 不同分辨率的显示器显示效果比较示意图

a—分辨率为 640×400 b—分辨率为 320×200

图2-2分别给出了同一套尺寸的孔型在分辨率为 640×400 的单色图形显示器上和分辨率为 320×200 的彩色图形显示器上显示出来时的情况。

(3) 像素块

显示一个字符(包括字母、数字和各种符号)所要占用的像素的集合叫作像素块,有时也把像素块叫作字符点阵。

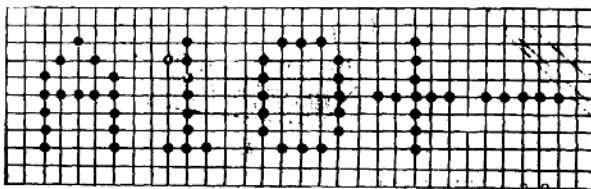


图 2-3 用像素块显示字符

通常采用 5×7 或 7×9 的像素块来显示字符,如图2-3所示。但不同的图形显示器可采用不同的像素块,有的可根据用户的命令来改变像素块的尺寸。

2.1.3 绘图原理和绘图机

计算机辅助设计的最后结果需要由绘图机输出, 绘制出符合实用要求的工程图。绘图机的工作原理与显示器完全不同, 它是靠画笔的抬落和笔与纸之间的相对运动来产生图形的。为了正确地使用和选择绘图机, 需要了解绘图机的工作原理以及绘图机的类型和一些特性参数。

(1) 绘图原理

利用数控绘图机绘制工程图时, 首先要将各个图线的坐标及有关参数输入计算机, 例如直线的起点和终点, 圆弧的起点、终点、半径、圆心坐标等。绘图机里的智能元件根据这些已知条件, 一边计算, 一边按照计算结果向各坐标方向输出一串脉冲。对应每一个脉冲信号, 绘图笔就在相应的坐标方向上移动一个步距, 这样就将线段从起点到终点按给定的条件绘出。

绘图笔移动的方向不能是任意的, 它只能进行8个方向的运动 (见图2-4), 即 $+x$ 、 $+y$ 、 $-x$ 、 $-y$ 4个基本运动方向和 $+x+y$ 、 $+x-y$ 、 $-x+y$ 和 $-x-y$ 4个合成运动方向。在一个步距之内, 画笔的运动轨迹只能是一段直线。这两个基本特点决定了绘图机只能准确地画出水平线、垂直线和斜率为 $\pm 45^\circ$ 的直线, 对其它角度的直线和各种曲线, 只能用折线去逐步逼近, 如图2-5所示。绘图笔沿着动作方向移动的最小距离, 称为步距 (步长)。当我们把步距定得很小时 (一般绘图机的步距小于 0.1mm), 肉眼就分辨不出锯齿状, 所以绘制成的各种直线和曲线看上去都是足够光滑的。

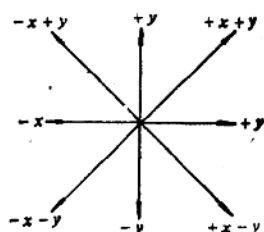


图 2-4 绘图笔的基本走向

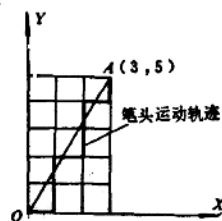


图 2-5 直线OA的插补过程

(2) 绘图机

目前国内市场上常见的绘图机有平板式和滚筒式两种, 见图2-6。

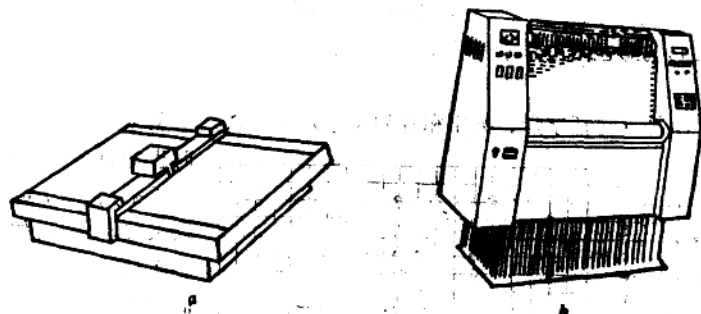


图 2-6 绘图机外形图

a—平板式绘图机外形; b—滚筒式绘图机外形

平板式绘图机的外形如图2-6(a)所示, 图纸用磁性压条固定在工作台面上, 其上方有一个可以沿着导轨做 x 方向移动的横梁, 横梁上装有可以沿 y 方向导轨移动的笔架。这样, 横梁和笔架单独运动构成了画笔的4个基本运动方向, 而它们向着不同方向同时运动又可组成4个合成运动方向。此外画笔在笔架上还有沿 z 方向上的抬笔落笔运动。当需要绘制不同颜色的图线时, 横梁与笔架相配合自动按照笔号的要求去换笔。目前常用的有6笔和8笔绘图机, 可在同一张图纸上画出6-8种不同颜色的图线。

这种绘图机的综合精度约为 $0.05\sim 0.01\text{mm}$, 重复精度可达 0.01mm , 绘图速度一般可达 $15\sim 60\text{m/min}$ 。平板式绘图机工作过程中视野清楚、便于观察, 但价格较贵, 占地面积大, 对纸质的要求较低, 一般纸张均能使用。

滚筒式绘图机的外形如图2-6(b)所示。这种绘图机一般由钢带牵引笔架作 y 方向运动, 由滚筒带动绘图纸作 x 方向运动, 两个方向运动的组合, 即可绘出图形, 如图2-7所示。绘图时图纸在画笔之下作快速往复运动, 与画笔在另一个坐标方向上的往复运动相配合来生成图线。

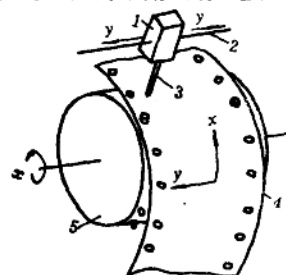


图 2-7 滚筒式绘图机笔架运动方式
1—笔架 2—导轨 3—绘图笔 4—图纸 5—滚筒

滚筒式绘图机与平板式绘图机相比, 具有结构简单、紧凑, 便于维修保养, 安装面积小, 绘图纸长度不受限制、绘图速度较高等特点。但有些滚筒式绘图机的精度略低。滚筒式绘图机对纸质的要求较高, 有些型号的绘图机要求使用专用纸张来配合滚筒, 有些型号的绘图机要求使用较厚的绘图纸。

根据可绘图幅面的大小, 绘图机可分为不同的规格, 一般有A0、A1、A2和A3等规格。对CARD系统来说, A3规格的绘图机已能够满足绘制一般孔型图的要求。若考虑绘制孔型系统图、车间平面图等, 则应选择幅面较大的绘图机。

2.2 高级语言绘图指令绘图

生成图形是计算机辅助孔型设计中的一个关键步骤, 随着计算机软、硬件技术的发展, 有多种软件可供人们在计算机上绘图。个人计算机大普及的原因之一就在于它的图形能力。这里以TRUE BASIC语言为例, 介绍一下用高级语言在计算机上生成图形的方法。

2.2.1 图形生成和显示

(1) 坐标系的建立和窗口

计算机绘图对计算机语言的基本要求是能够点亮显示器上特定的像素, 最简单的计算机语言(例如PC系列微机的解释BASIC语言)在执行绘图指令时, 需要计算像素, 这种程序不能在不同计算机上不加修改地运行, 为程序的使用和移植增加了困难。

TRUE BASIC语言允许用户指定坐标系, 不必计算像素, 提高了程序的适用性。不论我们在图纸上还是在计算机图形显示器上画图, 用 $x-y$ 坐标作图的规定和通常的数学方法是一致的。TRUE BASIC图形工作的最简单形式很象在纸上画一幅图一样。用户可以根据所希望解决的问题去画点和线, 而不是着眼于图形显示器上的像素点。TRUE BASIC将用户的数字信息自动转换成为计算机上的像素地址, 并为用户作完所有这些繁杂的工作。

TRUE BASIC语言的图形功能是由物理学家和数学家共同设计的，所以显示器上水平方向叫 x -轴，而垂直方向叫 y -轴。显示器上每个点用一对数字来描述 x 坐标（地址）和 y 坐标（地址）。坐标（1，2）意味着在水平方向上地址为1，垂直方向上地址为2的点。

例如，用户想画一个从1949年至1990年我国每年钢产量的统计图。 x 坐标可以表示成自1949至1990的一个范围； y 坐标可以表示成自几十万吨至几千万吨的一个范围，TRUE BASIC语言可自动将问题坐标转换成为显示器上的坐标。

欲作到这一点，用户必须首先指出坐标将显示在显示器屏幕上什么范围内，以上面所举的关于我国每年钢产量为例。语句：

```
SET WINDOW 1949, 1990, 0, 7000
```

对TRUE BASIC说明，图的边是1949, 1990（在 x -轴上）和0, 7000（在 y -轴上）。

用这些边确定的矩形叫作“窗口”。因此，在计算机图形软件中，它们的坐标叫作窗口坐标。某些时候，也叫“问题”或“世界”坐标。

现在TRUE BASIC就可以把窗口坐标（1949, 0）映射到图形显示器的左下角，把（1990, 7000）映射到该显示器的右上角，如图 2-8 所示，在此范围之内所有的点都将显示在相应的位置上。

SET WINDOW语句的一般形式是：

```
SET WINDOW xmin, xmax, ymin, ymax
```

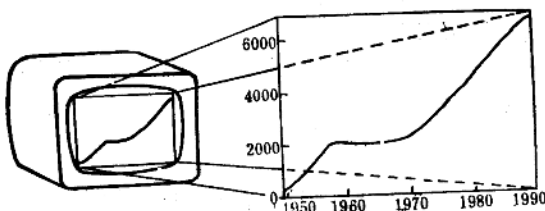


图 2-8 窗口到图形显示器的映射

它给出了在水平方向上和垂直方向上能绘制的图形范围。绘制在窗口以外的点将被TRUE BASIC忽略。用计算机图形软件的术语来说，图形是在窗口的边上被“修剪”。

如果 $ymin$ 大于 $ymax$ ，则图形将被上下颠倒一下。同样，如果 $xmin$ 大于 $xmax$ ，则图形将被左右翻转一下。

在用户执行任何绘图命令之前，应先执行一条SET WINDOW语句，因为缺省窗口坐标是（0，0）到（1，1），这在大多数情况下是不适用的。用户可以根据需要改变窗口坐标。欲寻找当前窗口坐标，则使用ASK WINDOW语句。

```
ASK WINDOW xmin, xmax, ymin, ymax
```

当你画正方形和圆时，你将很快注意到，所画出的正方形不是正方形，所画出的圆也不是个圆。通常它们在横向上比纵向上长一点。这种宽和高之间的比例叫作纵横比。在理想情况下，这个比应该等于1，但是实际上很少是这样。

产生这种现象的原因有几个。首先，你的窗口的形状与你的输出区域的形状可能不匹配。例如，你可能显示一个宽比高稍长的矩形窗口在图形显示器上。因而所显示的每一样东西都被拉长，所有的正方形变成宽比高稍长的矩形。