

计算机 辅助焊接 技术

陈丙森 主编

机械工业出版社



本书由中国焊接学会数据分析与CAD/CAM专业委员会在多年工作的基础上编写而成。本书分别对焊接专家系统、焊接数据库系统、焊接数据模拟技术、计算机在定量焊接冶金中的应用、焊接过程信息处理的计算机辅助技术、焊接设备的计算机控制与仿真、技术、计算机辅助在焊接生产中的应用等方面进行了详尽、系统、由浅入深的论述,反映了该领域国内外的现状和进展,适于广大焊接工作者学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助焊接技术/陈丙森主编. —北京:机械工业出版社, 1999.11

ISBN 7-111-07515-3

I. 机… II. 陈… III. 计算机应用-焊接工艺 IV. TG409

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 60845 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:武江

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm1/16·22.25 印张·535 千字

0 001—3 000 册

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

序

科学交叉是现代科学综合性发展的一个具体体现。近代和现代科学发展的历史表明，科学上的重大突破、新的生长点乃至新学科的产生，常常在不同的学科彼此交叉和相互渗透的过程中形成。早年，自然科学中的数、理、化、天、地、生主要以其自身的特点而独立存在，后来由于相互交叉甚至融合而有新发现，提出新理论，创造新方法，乃至形成新学科，诸如物理化学、天体物理、生物物理、生物化学、数学物理等等，从而大大推进了科学的发展，对人们认识自然界起到十分重要的作用，成为现代文明最主要的推动力。

现代科学发展已进入高度综合、交叉的“大科学”时代。其显著特点在于：研究问题的整体性、理论概括的综合性以及考察问题的动态性。它不仅着眼于历史性的演化过程，同时着眼于科学、技术、经济、社会大系统的协同过程，并且注重科学的技术化、物化和社会化。科学间的交叉、渗透，其理论意义在于有利于树立新的科学观念，活跃人们的研究思维，有利于拓展科学的前沿领域，产生新的学科，推动学科向前发展，其实践意义在于有助于研究和解决科学技术发展和社会发展中的重大问题，有力地推动国民经济建设的发展。

在人类社会又一个新旧世纪之交的时刻，信息革命的浪潮汹涌而来，“从原子到比特的飞跃已是势不可挡，无法逆转”。计算机业已成为工业化时代向信息化时代转变的重要技术杠杆，且以惊人的速度改变着人们的生产方式、工作方式、思维方式、学习方式、交往方式乃至生活方式。毫无疑问，计算机的发展与普及，将成为人类科学和文化发展中的又一个里程碑。

作为传统制造业的焊接技术如何迎接这场跨世纪的挑战？

由我国焊接界权威人士撰著的《计算机辅助焊接技术》一书对此作出了有力的回应。该书作者紧密追踪现代焊接学科发展趋势，集多年研究经验与心得，全面介绍了计算机辅助技术在焊接研究和生产领域应用的现状与发展前景，启示人们突破传统思维方式的局限，充分借鉴和运用当代计算机技术发展的最新成果对焊接技术进行多角度、多学科的交叉研究，提出了计算机与焊接过程相关的数值模拟、传感信息处理以及焊接设备控制等方面的全新描述方式。它对革新传统制造工艺和方法，降低焊接过程中的劳动强度与难度，提高劳动生产率，都具有较高的理论价值和实践价值，并将给传统焊接学科注入新的发展内涵与活力。

相信此书对广大从事焊接技术研究和生产实践的工作者一定会大有裨益！

中科院院士

南昌大学校长

潘际华

前 言

计算机技术已经深入到制造业的各个过程,大大改变了传统制造业的面貌。焊接是制造业中十分重要的生产工艺。国内外都十分重视在焊接生产和研究工作中应用计算机技术。国际焊接学会 10 年前就曾以“计算机在焊接中的应用”为主题召开了国际会议,以推动计算机的应用。随后又组织了“计算机辅助焊接”(Computer Aided Welding——CAW)专题工作组,每年交流、讨论世界各国在这一领域的进展。我国焊接学会和焊接协会在 1992 年和 1996 年先后联合召开过两次“计算机在焊接生产中应用的学术与技术交流会”,引起了广大焊接工作者关注。为了进一步促进在我国焊接领域中计算机的应用,焊接学会数值分析与 CAD/CAM 专业委员会在多年工作的基础上组织编辑了这本《计算机辅助焊接技术》专题文集。

随着计算机技术的发展,计算机在焊接领域中的应用也日益广泛与深入。“计算机辅助焊接技术”已不是原来主要限于计算机焊接应用软件的范围,而且覆盖了和焊接过程相关的数值模拟、传感信息处理以及焊接设备控制等许多方面。因此,我们力图使《计算机辅助焊接技术》一书能较全面地介绍计算机辅助技术在焊接生产和研究领域应用的现状与发展前景,而不是只限于某一两个方面。全书除综述部分由我执笔外,其他 7 章分别请彭金宁、魏艳红、汪建华、李午申、陈强、蒋力培和安珣编写。书中第 2 章至第 7 章反映了焊接工程中计算机应用的主要方面,各章作者近年来在所编写的专题领域中开展了许多工作,应该说书中有关部分反映了该领域国内外的现状和进展。第 8 章则是介绍国内焊接生产中应用计算机的具体情况。考虑到书中内容涉及面广,为便于读者了解其中内容,在书中有的部分也提供了一些基础知识。全书内容围绕“计算机辅助焊接技术”主题进行组织,一般不涉及只由单片机等组成的系统。我们希望这本书能有助于全国焊接工作者对计算机技术在焊接工程中的作用有更深入的了解,感到当前在工作中广泛应用计算机技术的迫切性,进而推动计算机在我国焊接工程中的应用。

计算机应用范围几乎是无所不在,计算机技术又是日新月异地在发展,这给我们编写这本书带来了很多困难。我们不可能在一本书中包括了计算机在焊接工程中应用的所有方面,但本书的每一作者努力在所涉及的领域提供尽可能多的信息。由于时间仓促,也限于我们的水平,书中各部分都会存在着不足,加以全书属专题文集性质,各章相对独立,互相间缺乏系统性,重复之处也有所难免。书中有不当之处,欢迎批评指正。

本书在编辑出版过程中,唐伟同志对第 4 章第 9 节进行了补充,刘启卫同志为第 8 章第 3 节提供了资料,路井荣同志参加了全书的编排工作,我们在此一并表示感谢。我们还要特别感谢机械工业出版社武江同志,没有他多次促进这本书的编写,并为出版创造了条件,这本书难以完成。

主编 陈丙森

1999 年 3 月

编写组人员

主 编	陈丙森	清华大学教授
副主编	陈 强	清华大学教授
作者		
第 1 章	陈丙森	
第 2 章	彭金宁	清华大学副教授
第 3 章	魏艳红	哈尔滨工业大学教授
第 4 章	汪建华	上海交通大学教授
第 5 章	李午申	天津大学教授
第 6 章	陈 强	
第 7 章	蒋力培	北京石油化工学院教授
第 8 章	安 珣	太原重型机器厂研究员级高级工程师

目 录

序

前言

第1章 综 述	1
1.1 计算机技术与现代焊接工程.....	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 计算机和网络技术现状	1
1.1.3 计算机和网络技术在焊接工程中的应用.....	2
1.2 焊接工程应用软件.....	6
1.2.1 焊接工程应用软件的用途和分类.....	6
1.2.2 焊接应用软件的开发	8
1.3 计算机技术的新发展及在焊接工程中的应用	11
1.3.1 焊接工程中人工智能新技术的应用.....	11
1.3.2 理论预测和模拟在焊接工程中的应用.....	13
1.3.3 网络技术在焊接工程中的应用	15
1.4 结束语	18
参考文献	18
第2章 焊接专家系统	21
2.1 引言	21
2.2 专家系统技术的发展.....	22
2.2.1 历史回顾	22
2.2.2 专家系统发展趋势	24
2.3 专家系统基本原理.....	25
2.3.1 专家系统特征	25
2.3.2 专家系统结构	25
2.3.3 知识表示	26
2.3.4 推理机制	29
2.3.5 知识获取与机器学习	31
2.4 专家系统的开发.....	32
2.4.1 专家系统开发策略	32
2.4.2 开发工具	34
2.4.3 人工智能程序设计语言	35
2.4.4 专家系统的评价	41
2.5 焊接专家系统的发展.....	41
2.5.1 发展概况	41
2.5.2 焊接专家系统现状	43

2.5.3 发展趋势	48
2.6 典型焊接专家系统	49
2.7 焊接专家系统开发实例	56
2.7.1 任务分析	56
2.7.2 总体设计及实施	57
2.7.3 系统的实现	61
2.7.4 功能简介	65
2.8 结束语	67
参考文献	68
第3章 焊接数据库系统	71
3.1 数据库技术概述	71
3.1.1 数据库	71
3.1.2 数据库技术的发展	74
3.1.3 数据库技术的发展趋势	74
3.1.4 数据库管理系统及其选择	76
3.2 焊接数据库系统	79
3.2.1 国外发展状况	79
3.2.2 国内发展状况	81
3.2.3 焊接数据库的基本类型及功能	82
3.3 焊接数据库系统的设计	89
3.3.1 数据库结构设计	89
3.3.2 界面设计概述	90
3.3.3 菜单设计	91
3.3.4 屏幕设计	93
3.3.5 报表设计	95
3.3.6 数据库维护	96
3.3.7 记录查询	98
3.3.8 记录预览与打印	100
3.3.9 错误纠正	101
3.3.10 帮助设计	102
参考文献	104
第4章 焊接数值模拟技术	107
4.1 引言	107
4.1.1 数值模拟在当代科技发展中的地位	107
4.1.2 模型和数学模型	108
4.1.3 数值方法	108
4.1.4 数值模拟技术在焊接中的应用	110
4.2 焊接热传导分析	112
4.2.1 研究历史和现状	112

4.2.2	数学模型和求解方法	113
4.2.3	计算实例	116
4.3	焊接熔池中的流体动力学和传热分析	119
4.3.1	研究历史和动态	119
4.3.2	数学模型和求解方法	121
4.3.3	计算实例	123
4.4	焊接电弧的传热传质过程	125
4.4.1	研究历史和动态	125
4.4.2	数学模型和求解方法	126
4.4.3	计算实例	129
4.5	焊接冶金和焊接接头组织性能的预测	132
4.5.1	概述	132
4.5.2	熔池和焊缝金属的凝固与组织变化	133
4.5.3	焊接热影响区的相变和组织性能的预测	137
4.6	焊接应力与变形	142
4.6.1	概述	142
4.6.2	焊接热弹塑性有限元求解方法	145
4.6.3	焊接应力和变形分析实例	148
4.7	焊接过程中的氢扩散	149
4.7.1	概述	149
4.7.2	焊接氢扩散的数学物理模型	149
4.7.3	计算实例	151
4.8	特种焊接过程的数值模拟	152
4.8.1	电阻点焊过程和接头性能分析	152
4.8.2	陶瓷-金属焊接的残余应力特征	154
4.8.3	激光焊接熔化和凝固的数学模型	155
4.8.4	摩擦焊接的数学模型	156
4.8.5	瞬态液相连接模型	157
4.9	焊接接头的力学行为分析	157
4.9.1	概述	157
4.9.2	焊接接头断裂力学描述参量	158
4.9.3	力学不均匀性对焊接接头断裂参量的影响	158
4.9.4	几何不均匀性对焊接接头断裂参量的影响	160
4.9.5	焊接接头断裂强度评定的局部近似法	161
4.10	焊接数值模拟的前景与展望	163
	参考文献	164
第 5 章	计算机在定量焊接冶金中的应用	168
5.1	引言	168
5.2	焊接材料的计算机辅助设计 (WMCAD)	168

5.2.1	概述	168
5.2.2	焊接材料的试验优化设计	171
5.2.3	焊接材料数学模型的建立	180
5.2.4	焊接材料性能与组分间的相关性分析	182
5.2.5	焊接材料的最优化设计	185
5.2.6	结论	189
5.3	焊接金相组织的定量识别 (WMSQRS)	189
5.3.1	系统开发工具及结构	189
5.3.2	图像预处理	191
5.3.3	焊接金相组织的特征抽取	193
5.3.4	焊接金相组织图像识别方法及其软件实现	195
5.3.5	结论	200
5.4	焊接金相组织参数的自动测量	200
5.4.1	测量参数的选择	201
5.4.2	晶粒特征参数的计算与测量	201
5.4.3	第二相粒子特征参数的计算与测量	203
5.4.4	片状组织特征参数的计算与测量	205
5.4.5	焊缝夹杂物特征参数的计算与测量	205
5.4.6	结论	208
5.5	焊接缺陷的自动检测	209
5.5.1	焊接缺陷自动检测技术的发展	209
5.5.2	检测系统的结构	210
5.5.3	焊接缺陷的图像处理	210
5.5.4	缺陷检出	212
5.5.5	焊接缺陷的特征抽取	213
5.5.6	焊接缺陷的自动识别	214
5.5.7	焊接缺陷的自动评级	215
5.5.8	结论	216
5.6	焊接裂纹预测及诊断专家系统	216
5.6.1	WCPDES 的功能及结构	217
5.6.2	焊接裂纹预测知识库	218
5.6.3	焊接裂纹的诊断知识库	222
5.6.4	运行实例	222
5.6.5	结论	223
5.7	定量焊接冶金的问题与展望	223
	参考文献	224
第 6 章	焊接过程信息处理的计算机辅助技术	228
6.1	焊接过程信息处理概述	228
6.1.1	焊接过程的信息	229

6.1.2	焊接信息的传感	229
6.1.3	焊接信息处理的特点	230
6.2	计算机辅助焊接信息处理方法	231
6.2.1	图像信息的计算机处理	231
6.2.2	电磁信息的计算机处理	237
6.2.3	光线信号的计算机处理	239
6.2.4	声波信号的计算机处理	242
6.3	计算机辅助信息处理的焊接应用例	243
6.3.1	焊缝跟踪应用	243
6.3.2	熔池控制应用	245
6.3.3	电弧参数自适应	247
6.3.4	工艺质量控制	248
6.3.5	无损探伤的应用	249
6.4	趋势和展望	252
	参考文献	254
第 7 章	焊接设备的计算机控制与仿真技术	257
7.1	微机控制技术在焊接设备中的应用概况	257
7.2	焊接电源的微机控制技术	258
7.2.1	微机控制焊接电源的基本方法	258
7.2.2	各种焊接电源的微机控制系统特点	263
7.2.3	实例分析	270
7.3	焊接设备的智能控制技术	272
7.3.1	焊接设备的微机波控技术	272
7.3.2	微机 Synergic 控制技术	274
7.3.3	电弧参数的模糊控制技术	277
7.3.4	焊接设备的一元化控制技术	281
7.4	成套焊接设备的微机自动化控制技术	284
7.4.1	专用焊接设备数控系统	284
7.4.2	组合设备可编程位控系统	287
7.4.3	柔性焊接机器人工作站集成控制系统	291
7.5	焊接设备的计算机仿真技术	293
7.5.1	概述	293
7.5.2	设备的原理仿真技术	293
7.5.3	焊接设备的器件仿真技术	298
7.6	讨论与展望	302
	参考文献	304
第 8 章	计算机辅助在焊接生产中的应用	307
8.1	引言	307
8.2	焊接工艺计算机辅助编制系统 WCAPP——应用实例	310

8.2.1 系统的内容和目标	312
8.2.2 系统开发平台及语言选择	313
8.2.3 系统模块设计及功能	313
8.2.4 WCAPP 的应用情况	326
8.3 板材落料的计算机制造系统	328
8.3.1 数控切割自动编程套料系统 TZ-APNS	328
8.3.2 编程系统和 CAD 接口设计	333
8.4 弧焊工艺规程编制计算机辅助系统	336
8.4.1 概述	336
8.4.2 开发弧焊工艺专家系统 (WES) 的目的	337
8.4.3 WES 总体设计	337
8.4.4 弧焊工艺编制专家系统 WES 程序控制流程图	341
8.4.5 系统的特点和在生产实践中的应用	341
8.5 结论	342
参考文献	343

第1章 综 述

1.1 计算机技术与现代焊接工程

1.1.1 引言

电子计算机技术经过半个多世纪的发展,现在可以说是日新月异,大大出乎人们的预料。据统计,全世界电子计算机的实际拥有量已超过 1.5 亿台,1997 年全球计算机销售量约 8000 万台,预计今后几年内销售量仍将以 10% 以上的速度增长。估计现在中国约有 750 万台电子计算机在工作,预计 1998 年计算机销售量将超过 400 万台,这些计算机除了少部分仍作为数值计算的工具体外,绝大多数是作为存储、传输、处理、加工数字化信息的工具。这使得计算机技术的应用范围变得十分广泛,渗透到国民经济的各个部分,甚至进入政治、国防以及人们日常生活的许多方面,从而形成新时代的文化——计算机文化。

计算机技术在近 20~30 年来促使传统的制造业向先进制造技术发展,制造业中已经将计算机技术应用到产品设计(CAD)、工艺设计(CAPP)、制造(CAM)、信息管理系统(MIS)、办公自动化(OA)等领域,将这一系列的计算机辅助技术加以集成,就成为计算机集成制造系统(CIMS)。

在焊接结构生产的各个环节和其他制造部门一样,都可以看到计算机的应用。90 年代初国际焊接学会将这类应用概括为“计算机辅助焊接技术”(Computer Aided Welding, CAW)。现在 CAW 一词已不限于焊接结构和接头的计算机辅助设计、焊接工装计算机辅助设计、焊接工艺计算机辅助计划、焊接工艺过程计算机辅助管理等以计算机软件为主的许多方面,而且还涵盖了焊接过程模拟、焊接工艺过程控制、传感器以及生产过程自动化等与计算机应用有关的方面。

本书以“计算机辅助焊接技术”为题。由国内这一领域的专家分别就有关计算机在焊接工程中应用的主要方面撰写了专题,为了使读者对计算机技术在焊接中应用有一综合性的了解,本章在各专题前作一概括性的综述,并对各专题中未能包括的某些方面给予介绍。

1.1.2 计算机和网络技术现状^{[1] [2]}

计算机的广泛应用是以计算机性能的提高和价格的降低为前提的。近两年普及型计算机的价格每台仅 1000 美元左右,相当于人民币不到一万元。这样的计算机可配置 Pentium II 350 的中央处理器、64MB 的内存、6GB 的硬盘和 15in 的显示器,32 倍速的光盘驱动器、图形显示卡和声卡等,其性能可以满足多媒体信息、三维图形图像信息处理的基本需要。

同样配置的计算机比一年前价格下降了约 1/3, 而预计 2000 年同期的同样的价格可以购置性能更高的计算机。

如前所述, 当今计算机主要用于数字化信息的存储、传输、处理和加工。为了使每台计算机中的信息能够互相共享, 充分发挥来自各方面信息的作用, 人们很自然地想到把多台计算机联接起来形成网络, 计算机网络是现代通信技术与计算机技术结合的产物。

计算机网络开始是单台计算机间的通信, 然后是多机相互通信, 进而发展成将在一个区域内的计算机联系起来的局域网 (LAN)、将若干局域网联系起来的广域网 (WAN)。当前将全世界联系起来的网络系统主要就是因特网 (Internet)。因特网功能强大, 通过因特网可以传送电子邮件、进行商业上或公务上的电子数据交换, 可以对远处的另一台计算上的应用程序进行操作等。因特网最初是由美国国防部发展起来的计算机网络系统, 以后逐步向社会公开化, 在不到 10 年时间里有了飞跃发展, 现在全世界已有 170 多个国家和地区接入因特网, 有近亿人利用因特网进行活动。我国自 1994 年接入因特网以来, 到 1998 年 7 月全国连网的计算机近 60 万台, 上网用户近 200 万人。在国内要进入因特网已不是很难的事。全国为因特网联网服务的公司 (Internet Service Provider——ISP) 已有百余家。许多企事业单位已经得到了专线服务, 即使是个人, 只要家里有电话, 又有计算机并配上调制解调器 (Modem) 就可以请求 ISP 协助你连上接线, 安装好软硬件, 通过拨号方式进入因特网了。

随着因特网用户的增加, 网内信息非常丰富, 形成了庞大的信息资源库。除了获取信息外, 因特网又是用户传输信息的重要通道, 为了保证因特网中信息的畅通, 美国在 1993 年提出建设“信息高速公路”的计划, 接着世界各国也纷纷提出了类似计划, 进行了大量投资。然而人们对因特网的要求越来越高。网络电话、电话会议、多媒体信息的传输等功能已得到初步实现。进一步是对这些功能的改善, 还要发展点播广播、点播电视节目、远程教育、远程实时操作等功能。带宽是信息传输速度的指标, 因特网的通信带宽仍显得过窄。为了适应网络通信不断增加的需求美国又提出了“下一代 Internet”计划 (Next Generation Internet——NGI)。这是一个庞大的计划, 在 NGI 中, 信息传输速度将是现在的 140~1000 倍。与此同时美国的一些大学又联合进行了“Internet 2”的研究, 这一研究可望在近期内将因特网的主干部分传输速度提高十几倍。该项研究在 1998 年初已被美国政府纳入 NGI 的总体规划之中。

计算机网络的发展势不可挡, 其应用范围还在不断扩大。世界上数以亿计的人每日都在利用计算机和网络交流信息, 这就形成了一种新的“计算机和网络”文化。这一文化现象已经被引入到传统生产中来, 作为焊接工程技术人员应迅速适应这一潮流。

1.1.3 计算机和网络技术在焊接工程中的应用^[3~5]

自 80 年代中期以来, 计算机技术在焊接工程中逐步得到应用, 国际焊接学会 (IIW)、英国焊接研究所 (TWI)、美国焊接学会 (AWS) 从 1986 年开始, 先后分别多次召开了关于计算机在焊接方面应用的专门会议, 推动了计算机在焊接工程中广泛应用。1997 年 7 月英国 TWI 和 AWS、美国国家标准与技术研究所 NIST 等单位联合起来在国际焊接学会 IIW 50 周年大会前召开了第七次 Computer Technology in Welding 的国际会议, 就应用实例、软件

开发、焊接过程模拟与控制等方面进行了交流，同时举办了硬件及软件展览会，可见国际上对这一领域的发展十分关注。

在我国，1989 年就曾召开过“焊接专家系统研讨会”，此后焊接学会和焊接协会在 1992 年和 1996 年又联合召开了两次“全国计算机在焊接中的应用交流会”，对我国计算机在焊接工程中的应用起了很大的促进作用。

计算机和网络技术现今已经十分普及，不再神秘莫测。目前许多工程技术人员在文字处理、电子表格、一般计算等方面几乎离不开计算机了。不少单位和企业建立了计算机网络，工程技术人员可以通过网络传输电子邮件、技术资料、产品图样等各种信息。人们显然不满足于利用计算机仅仅完成日常办公室工作。焊接技术人员和计算机专业人员相结合，在焊接生产过程的各个环节中广泛地采用了计算机技术。图 1-1 列出了计算机在焊接工程中的应用的主要方面。图中焊接信息数据库、焊接生产文档管理、生产过程计划与管理的应用最为普遍。在这些方面引入了计算机技术，促进了生产过程管理的规范化、标准化，大大提高了生产效率，缩短了生产周期，提高了产品质量，降低了成本，特别是使焊接工程技术人员可以从繁重的日常事务工作中解脱出来，将主要精力用于重要的技术问题上。随着计算机技术在焊接生产中应用日益深入，这些方面的软件已经商品化。根据国际焊接学会不完全统计，专门针对焊接生产而开发的商品化了的软件已有数百种。

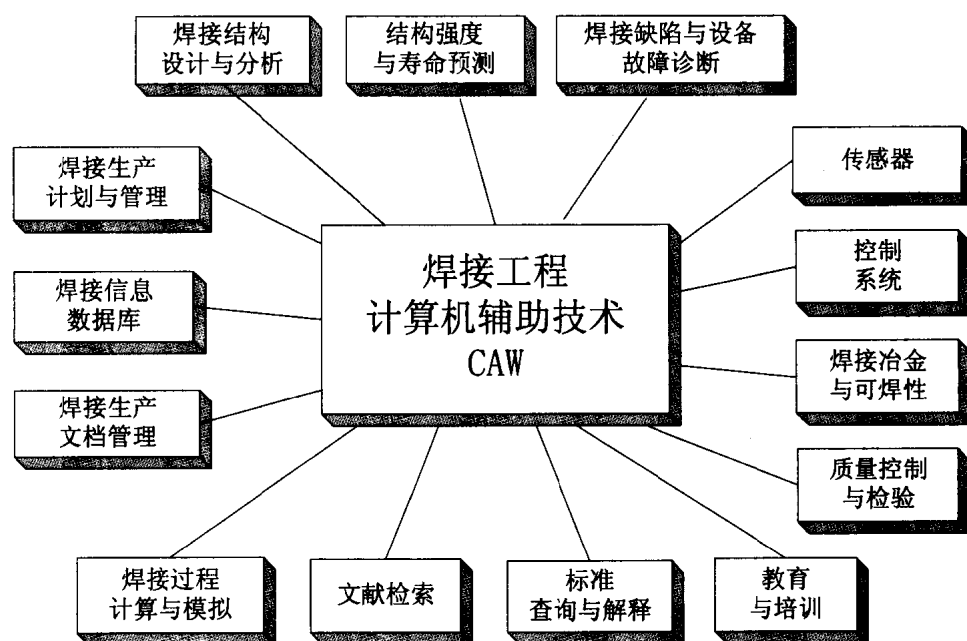


图 1-1 计算机辅助焊接技术示意图

焊接作为一种工艺方法广泛用于不同行业，如机械制造、航天航空、建筑钢结构、桥梁建造等。对于不同行业所用的焊接方法、工艺参数、检测方法、验收标准都可能有很大差别。即使对于一个行业中的不同企业，由于其生产条件不同，所涉及到的有关焊接的信

息的存储方式和处理方法也可能差异很大。所以实际上除了已见诸报导的各种用于焊接生产的较为通用的软件外,还存在着许多仅适用于某一特殊领域的应用软件。这些针对特殊用途专门开发的焊接应用软件要比已报导的商品化软件多得多。许多焊接结构制造厂、焊接材料或焊接设备厂为了自身的需要也开发了一些具有特殊功能的软件,这些软件包含了许多自身长期积累的经验,往往不向外传播。所以无法列出在焊接生产中实际应用软件的全部清单。正因为如此,本书只能就计算机在焊接工程中应用的主要方面分章加以叙述,这样却使得一些综合性的应用无法概括在内。下面就在后面各章未能涉及到的方面举两个例子〔6~8〕。

数控切割下料已经成为焊接结构生产厂技术革新的主要措施。自 80 年代以来,国内许多企业先后采用了这一先进技术。早期的数控切割,是靠人工根据图样将切割零件的几何尺寸编码以穿孔纸带的形式输入专用的计算机系统,控制割炬的运动路径。对于一个较大的以生产焊接结构为主的企业,有时需 10 余人整年从事数控切割编码工作。现在这一工作可以通过通用个人计算机输入零件的几何尺寸就能规划出割炬的运动轨迹。如果该工厂已经采用了较完善的 CAD 系统,还可以将设计图上零件的几何数据直接转化成数控切割机所需数据,从而避免了人工重复输入。这类软件还可以将切割线的宽度以及零件的加工余量、工艺余量等参数一并计入。在给定割炬运动轨迹时,还可以考虑到割炬在切割线拐角处的停留时间、切割曲线时切割速度的变化等工艺因素。切割自动套料软件可以根据来料尺寸对零件按几何形状进行排料,在若干方案中进行优化,从而提高材料利用率。此外,还有专门用于切割复杂管线的系统、用于切割各种型材以及用于薄板或厚板非平面构件展开时的软件。这些软件可以集成在一起也可以形成功能齐全的综合软件,由此可见,仅仅围绕切割工序,计算机的用途可以不断扩展,功能不断加强。

如果不是仅从某一工艺出发加以考虑,而是从整个生产过程考虑全面地应用计算机和网络技术,自 80 年代以来提出了计算机集成制造系统(Computer Intergrated Manufacturing System——CIMS)的设想。可以认为,CIMS 是从订货到加工、直至发货的全部过程的所有步骤都可以从计算机中及时地得到必需信息的集成系统。在机械加工领域中,CIMS 是围绕数控加工中心的 CAD、CAPP、CAQ、CAM 等的信息集成系统。在焊接结构生产中,CIMS 则是围绕焊接机器人进行装配、焊接的信息集成系统。这一系统示意地用图 1-2 来概括。焊接 CIMS 系统,自 90 年代以来在造船、桥梁、建筑、汽车等行业中得到了一些应用〔6~8〕。以船舶生产为例,设计人员首先要根据设计标准和用户要求进行初步设计,然后在对结构的强度、刚度分析的基础上,还要考虑制造能力进行分段的详细设计。这些工作可以运用 CAD、CAE 等软件来实现。焊接生产的计划管理设计与装配焊接过程设计,则通过计算机的 CAPM(Computer Aided Production Management)和 CAPP(Computer Aided Process Planning)系统来实现。

焊接 CIMS 中,CAM 部分的核心是焊接机器人。焊接机器人相当于机械加工时的数控加工中心。尽管在一般情况下,焊接机器人的定位精度要求较机械加工要低,但焊接过程的控制则比较复杂。除了要确定焊枪在笛卡儿坐标系中的空间几何位置外,为了保证焊接的质量和效率,还要控制焊枪与工件及焊接方向的相对位置,此时,往往还要添加能够协同动作的多自由度的变位器。通常,机器人焊枪运动的轨迹是由操作人员将焊枪先沿焊缝

行走一次的示教方法来实现的。随着计算机软硬件能力的提高,现在通过计算机根据 CAD 图形库中焊缝空间位置进行预先的离线编程方法已经取得了明显进展,达到了实用阶段。由于在焊接过程中保证焊接过程的稳定性十分重要,因而发展了控制焊接参数的传感系统和控制焊枪沿焊缝轨迹运动的跟踪系统,由这些传感器获得的参数经计算机处理后,调节焊接电源、送丝机构和焊枪的空间位置。以上所述的计算机在焊接结构生产中应用的各个环节集成在一起便形成了焊接结构生产的 CIMS。在文献 [9]、[10] 中,有关于焊接生产中 CIMS 技术应用的现状与未来发展的介绍,图 1-3 是造船行业中焊接 CIMS 和网络的例子。

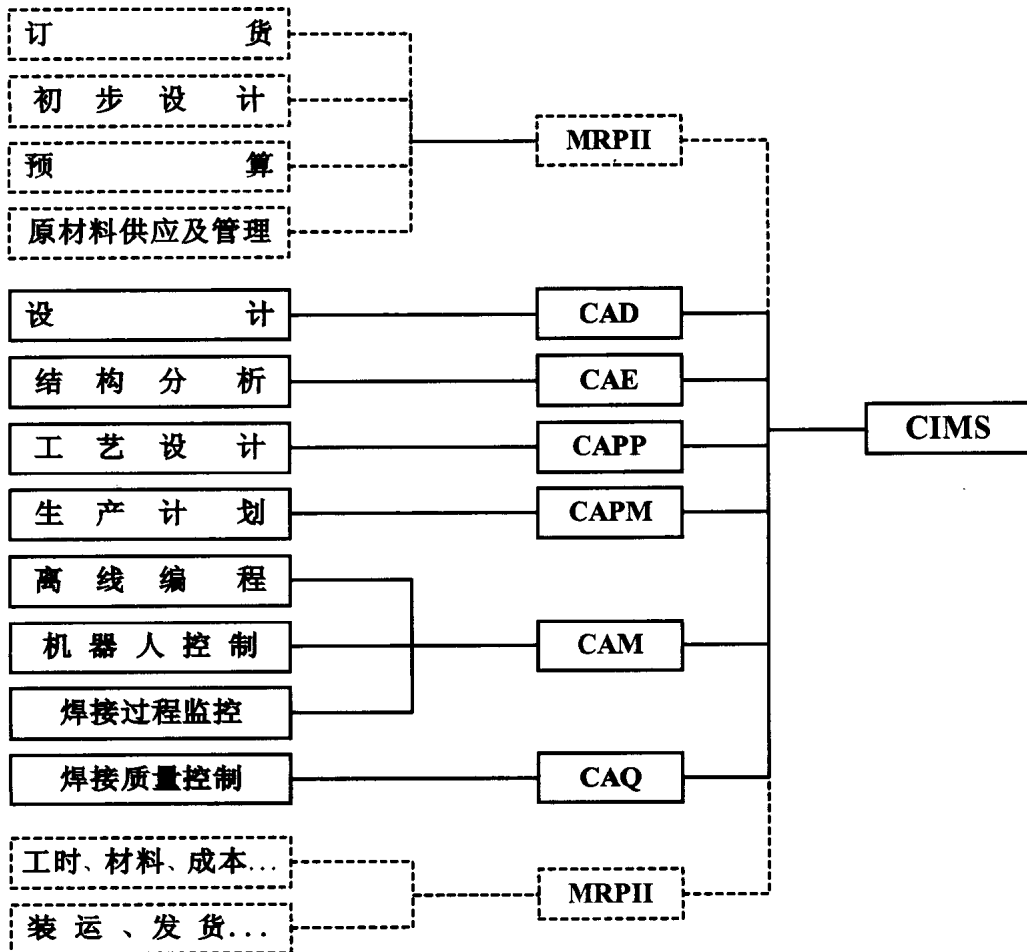


图 1-2 焊接结构 CIMS 示意图

焊接结构 CIMS 大大提高了生产效率,但不等于无人化的自动化工厂,而是体现了人类专家和计算机、机器人等新技术更密切的结合。这是当前市场千变万化,企业面临极大竞争,产品需要多品种、小批量而又缺乏有丰富经验的技术人员和熟练工人的情况下焊接生产的一个方向。建立一个完整的焊接 CIMS 需要巨额投资以及相应的技术力量,对一个企业来说,可能是一个分步实施、逐步取得效益的过程。

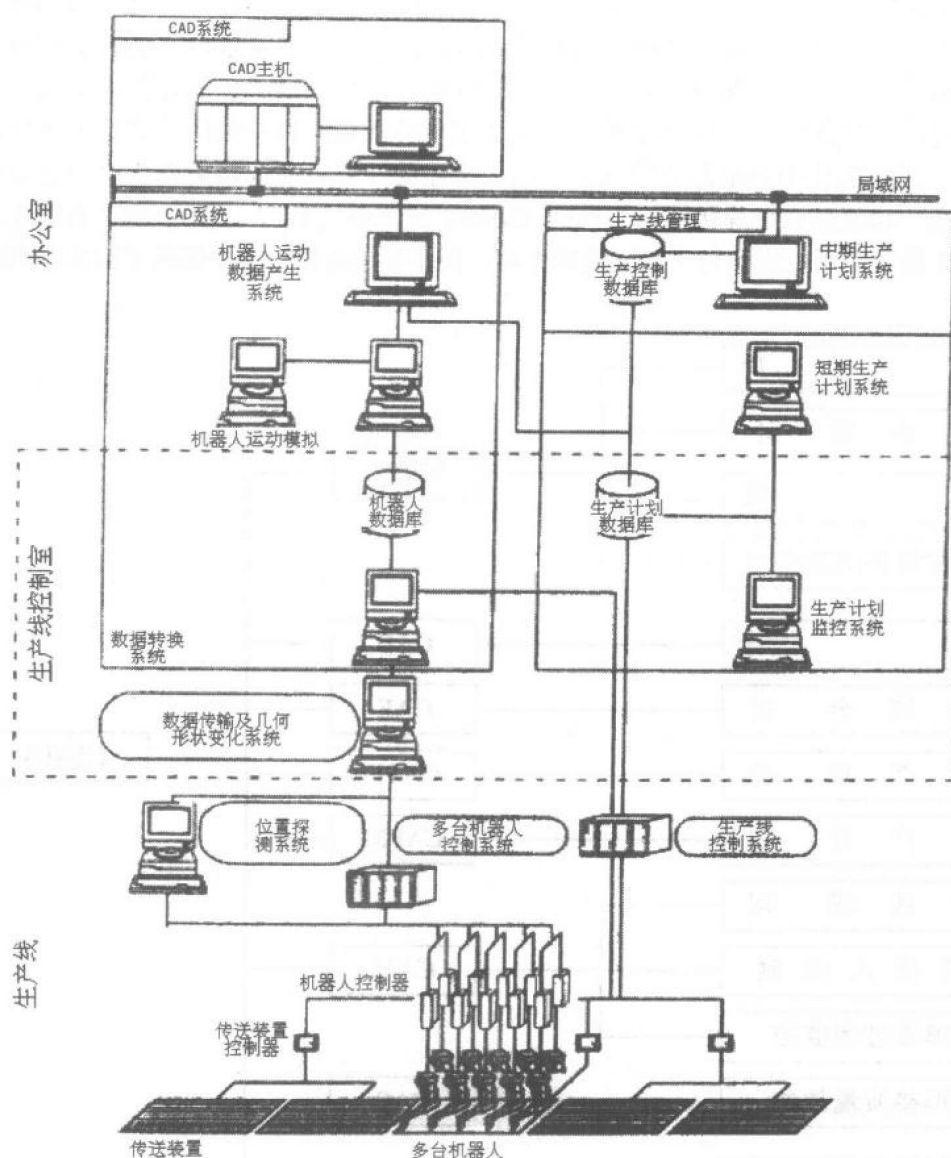


图 1-3 焊接 CIMS 系统中计算机网络示意图

1.2 焊接工程应用软件

1.2.1 焊接工程应用软件的用途和分类

计算机应用离不开软件。自 80 年代后期以来，国内外针对焊接工程的需要，开发了许