

高等学校教材

凝固过程数值模拟

荆 涛 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校教材

凝固过程数值模拟

荆 涛 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了铸造过程流场、温度场模拟和缩孔缩松分析,以及以微观组织和机械性能预测为主要内容的材料加工工艺过程模拟仿真技术。书中汇集了作者多年在这一领域的研究和开发成果。全书共分七章包括四个方面的内容,充型凝固过程模拟和微观组织性能预测是本书的核心部分。一方面,基于三维几何造型的铸造工艺设计为模拟仿真提供了建模方法,凝固模拟技术的发展趋势是与 CAD/CAM 技术的集成,而且这种集成已纳入并行工程环境;另一方面,网络技术的发展也为工艺过程模拟仿真技术的应用开辟了新的途径。本书可作为材料加工专业本科生和研究生相关专业课程的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

凝固过程数值模拟/荆涛编著. —北京:电子工业出版社,2002.5
高等学校教材

ISBN 7-5053-7595-4

I. 凝... II. 荆... III. 浇铸—凝固—数值模拟 IV. TG244

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 029819 号

责任编辑:束传政 朱怀永

印 刷:北京市增富印刷有限责任公司

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:12.25 字数:313.6 千字

版 次:2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

铸造业这一在我国有着六千年文明历史的传统产业,今天日益面临着新技术革命的挑战。众所周知,铸造行业是制造业的重要组成部分,对国民经济的发展起着重要作用。我国铸件年产量已超过 1000 万吨,位居世界第二,是世界铸造生产大国。同时,铸造业又是产品质量不易保证,废品率较高的产业。随着我国改革开放和经济建设的发展,以及国际市场需求状况的激烈竞争,对铸件生产实现科学化控制,确保铸件质量,缩短试制周期,降低铸件成本,增加竞争能力,提高经济效益,加速产品更新和技术换代,对于促进我国传统工业的技术改造和国民经济向质量效益型健康发展有着非常重要的现实意义。近年来,伴随着电子计算机技术的飞速发展,铸造工艺计算机辅助设计,铸件凝固过程数值模拟等多项技术已大量应用于生产实际。以工业发达国家为例,目前已有 15%~20%的铸造企业在生产中采用凝固模拟分析技术,精确地预测铸件缺陷以及改进铸件的出品率。因此,铸造工艺 CAD 和数值模拟及相应的基础理论理所当然地成为铸造学科研究中的前沿课题。积极开发这一领域的研究对于促进铸造基础理论及交叉学科的发展,跟踪和赶超国际上最新科研成果有重要科学价值和理论意义。工业发达国家制定的“下一代制造(NGM)计划”提出了十项关键基础技术(Imperatives),其中就包括建模与仿真(Pervasive Modeling and Simulation)及新一代的制造工艺及装备(Next-generation Manufacturing Processes and Equipment)。世界各国在材料成形制造发展趋势方面的认识也是一致的,即:一是向净成形工艺(Net Shape Process)方向发展;二是用计算机模拟仿真来逐步代替传统的试错法(Trial and Error)等经验性研究方法。工业发达国家已经将计算机模拟仿真方法大量用于飞机、导弹、汽车、航空及汽车发动机等领域的研究开发、设计、成形及制造。

本书介绍了以铸造过程流场、温度场模拟和缩孔缩松分析,以及以微观组织和机械性能预测为主要内容的凝固过程模拟仿真技术。书中汇集了作者多年在这一领域的研究和开发成果。全书共分七章包括四个方面的内容,铸造充型凝固过程数值模拟和微观组织性能预测是本书的核心部分。一方面,基于三维几何造型设计的铸造工艺不仅为模拟仿真提供了建模方法,凝固模拟技术的发展趋势是与 CAD/CAM 技术的集成,而且这种集成已纳入并行工程环境;另一方面,网络技术的发展已经深入到传统制造业的各个领域,网络化凝固过程模拟分析系统的开发为工艺过程模拟仿真技术的应用开辟了新的途径。本书可作为材料加工专业本科生和研究生相关专业课程的教材。

全书由荆涛撰写,研究组的王旭东、刘新宇、刘祥德、周舰、宋永恒、熊伟、赵代平、任宇福等同志为本书提供了大量图片及素材。此外,书中涉及很多工厂企业提供的珍贵工艺资料,在此一并表示由衷的感谢。

愿本书的出版为我国铸造行业的科学研究与技术进步贡献一份力量。

荆 涛

2002 年 4 月

2002/4/3

目 录

第 1 章 并行工程环境下铸造工艺 CAD 系统	1
1.1 铸造工艺数据库的设计和实现	1
1.1.1 工程数据库系统概述	2
1.1.2 铸造工艺数据库设计	3
1.2 基于 Solid Edge 平台的球铁铸造工艺设计	7
1.2.1 铸造工艺参数设计	8
1.2.2 冒口系统设计	10
1.2.3 浇注系统设计	17
1.2.4 集成铸造工艺 CAD/CAE 系统应用	24
1.3 CAD/CAE/CAM 技术在铸造模具上的应用	27
1.4 铸造工程中并行工程的应用	28
1.5 小结	31
参考文献	31
第 2 章 数值模拟的前后处理技术	32
2.1 产品数据交换标准	32
2.2 STL 文件三维有限差分网格自动剖分	34
2.2.1 STL 文件格式	34
2.2.2 网格剖分原理	35
2.2.3 网格剖分程序设计	36
2.2.4 网格剖分实例	39
2.3 STL 模型的变换与显示技术	39
2.3.1 数据文件的读取	40
2.3.2 数据文件的显示	41
2.3.3 数据文件的变换	44
2.4 凝固过程动态显示技术	47
2.4.1 固相率文件的获得	48
2.4.2 凝固过程及温度场动态显示	49
2.4.3 连续存储文件的实现	50
2.4.4 连续读取文件的实现	51
2.4.5 后处理显示问题	52
2.4.6 后处理程序与 CAE 系统的接口	54
2.5 小结	55
参考文献	55

第3章 铸造充型过程数值模拟	56
3.1 铸件充型计算的流体力学基础	56
3.1.1 流体力学基本概念和定律	56
3.1.2 流体力学的基本计算公式	58
3.2 充型过程数值模拟的常用方法	60
3.2.1 充型过程数值模拟特点	60
3.2.2 充型过程数值模拟方法	62
3.3 充型过程数值模拟的 SOLA-VOF 方法	64
3.3.1 SOLA-VOF 数学模型	65
3.3.2 连续性方程和 N-S 方程的离散	65
3.3.3 用 SOLA 方法求解速度场和压力场	68
3.3.4 用 VOF 方法处理自由表面	69
3.3.5 耦合充型过程温度场的计算	70
3.3.6 其他问题的处理	71
3.4 充型过程数值模拟实验研究与应用	73
3.5 小结	76
参考文献	76
第4章 凝固过程温度场数值模拟及缩孔缩松预测	78
4.1 凝固过程数值模拟传热学基础	78
4.1.1 传热的基本方式	78
4.1.2 热传导偏微分方程式	80
4.1.3 初始条件和边界条件	81
4.1.4 潜热处理	82
4.2 传热方程的有限差分解法	84
4.2.1 热传导解析常用数值计算方法	85
4.2.2 有限差分方程的建立	86
4.2.3 差分方程的稳定性	87
4.3 提高显式计算的效率	88
4.3.1 非均匀空间步长	88
4.3.2 非均匀时间步长	89
4.3.3 计算应用实例	91
4.4 铸钢件缩孔缩松预测	91
4.4.1 缩孔的分类及产生机理	91
4.4.2 铸钢件缩孔缩松三维定量模拟法	94
4.5 球墨铸铁件缩孔缩松预测	96
4.5.1 球墨铸铁的凝固特点	97
4.5.2 动态膨胀收缩叠加法	98
4.6 小结	100
参考文献	100
第5章 铸件微观组织和机械性能数值模拟	102

5.1	微观组织数值模拟方法	102
5.1.1	决定论法	103
5.1.2	随机论方法	103
5.1.3	相场方法	103
5.1.4	相场模型发展状况	104
5.2	液态金属结晶的基本原理及影响因素	104
5.2.1	液态金属结晶的驱动力	105
5.2.2	液态金属的形核理论	105
5.2.3	固/液相界面结构	106
5.2.4	晶体的生长方式	108
5.2.5	固/液相界面前方局部热流和成分变化对合金结晶的影响	110
5.2.6	固/液相界面的形貌稳定性	114
5.2.7	凝固过程中液态金属的流动	114
5.2.8	铸件结晶组织的形成及影响因素	115
5.3	微观组织模拟的数学物理模型	117
5.3.1	形核模型	117
5.3.2	树枝状晶体的生长方向	119
5.3.3	铸件凝固过程中传输现象的宏/微观统一模型	121
5.3.4	液态金属的流动模型	124
5.3.5	树枝状晶体生长的速度模型	125
5.3.6	二次树枝状晶体臂的粗化机理	127
5.3.7	二次树枝状晶体臂间距与机械性能的关系	128
5.4	铝合金铸件随机论与决定论方法	128
5.4.1	形核模型	129
5.4.2	树枝状晶体生长的动力学模型	129
5.4.3	试验研究	130
5.5	相场模拟方法	131
5.5.1	纯物质的相场模型	132
5.5.2	树枝状晶体生长的三维相场模型	134
5.5.3	多晶粒的相场模型	136
5.6	铝合金试块微观组织模拟研究	139
5.6.1	形核模型分析	139
5.6.2	试块的微观组织和机械性能	140
5.7	小结	146
	参考文献	146
第6章	网络化凝固过程数值模拟	148
6.1	全新的服务提供者 ASP	148
6.1.1	ASP 的概念	148
6.1.2	ASP 的发展概况	149
6.1.3	ASP 需要解决的问题	150

6.2 网络化凝固模拟分析系统设计	151
6.2.1 文件管理模块及前处理模块	151
6.2.2 核心计算模块	153
6.2.3 后处理模块	155
6.2.4 网络安全和系统管理模块	156
6.3 基于网络的凝固过程仿真系统网站的建立	156
6.3.1 系统方案选择	157
6.3.2 网络化凝固模拟网站	159
6.4 小结	164
参考文献	165
第7章 T型试件温度场计算	166
7.1 软件工程	166
7.2 T型试件温度场数值模拟上机实验	169
7.3 凝固过程温度场数值模拟参考程序	170
7.4 小结	187
参考文献	187

第 1 章 并行工程环境下铸造工艺 CAD 系统

计算机技术的飞速发展,已使计算机成为自电力发明以来最具生产潜力的工具,数字化时代正一步步向我们走来。计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程分析(CAE)、计算机辅助制造(CAM)等技术在铸造领域得到了广泛的应用,并已成为铸造学科的技术前沿和最为活跃的研究领域。只要将铸件图样、铸型材料、铸造合金热物性、凝固特性的描述数据及数学模型输入计算机,即可通过计算机计算出合理的浇冒口系统。研究人员已将其作为实现并行工程环境下产品的虚拟制造成型的一个关键技术,并同计算机辅助设计、计算机辅助工程分析、计算机辅助制造等技术集成在一起,以达到从全局出发,优化产品设计、提高产品质量、缩短制造周期的目的。即产品设计不仅考虑产品的功能,同时考虑产品的可制造性。

随着三维造型理论和实用化技术的日趋成熟,三维铸造工艺 CAD 系统必将成为铸造工艺 CAD 系统的主流。基于三维的铸造工艺 CAD 系统具有许多二维系统无法比拟的优越性,如几何信息的完整,易于与铸造工艺 CAE 系统、铸造工装 CAD/CAM 系统衔接,可实现数据共享,设计结果直观,可方便地生成二维工程图样等。由于实际铸造生产的情况复杂,铸造工艺设计的内容因各种实际工艺条件而有区别。

铸造工艺是非常复杂的,并具有显著的与生产实际经验紧密结合的特点。同时,人们也最先开始研究计算机辅助设计技术在这一领域的应用。多年的研究和开发应用经验表明,铸造工艺 CAD 软件必须在通用工艺参数设计的基础上,结合企业的具体情况进行开发应用才能收到好的效果。本章以典型铸造工艺设计问题为例,介绍如何把传统的工艺设计问题转化为计算机辅助设计,在铸造工装设计方面,以介绍现代模具设计制造技术为重点,最后,介绍并行工程的基本技术及其在铸造工程中的应用。

1.1 铸造工艺数据库的设计和实现

随着 CAD/CAE/CAM 技术及计算机集成制造系统(CIMS)在机械、化工、土木、航空、航天等领域的广泛运用,工程设计和制造中的数据管理逐步由数据库管理系统替代了原来的文件管理系统。目前,几乎所有的 CAD/CAE/CAM 软件都增加了数据库管理的功能。

作为 CAD/CAE 系统信息集成和共享的核心的铸造工艺数据库是在流行的小型关系型数据库管理系统 Microsoft Access 7.0 基础上建立。选择 Microsoft Access 7.0 作为数据库平台是由于铸造工艺数据并不很多,用小型数据库管理系统即可满足要求,而 Microsoft Access 7.0 是小型数据库系统中较优秀的一个。

数据库系统前台应用程序选择 VB 为程序开发语言。利用数据库引擎和相应的编程接口对象 Data Access Object(DAO),开发了铸钢件铸造工艺数据库管理系统,用于管理和维护工艺设计过程中产生的大量中间的和最终的设计、分析结果。用户可方便地通过数据库系统进行多方案的分析、比较,最后作出决策。下面介绍铸造工艺数据库系统的设计和实现,同时对工程数据库系统的发展和前景作一简要叙述。

1.1.1 工程数据库系统概述

1. 工程数据库系统的概念

工程数据库系统是满足工程设计与制造需要,并为生产管理与经营决策环境支持的数据库系统。即该系统集合了工程领域中相关的数据并对这些数据集合进行管理和操作。所以,工程数据库系统的建立包括两项重要的工作:其一,选择一个适合工程应用的数据库管理系统作为工程数据库系统的开发平台;其二,将工程数据映象成数据库管理系统支持的数据模型,利用数据库管理系统提供的数据库定义语言和数据操作语言,设计数据库结构,提供操作数据库数据的用户界面。其中,选择适合工程应用的数据库管理系统对于建立性能优良的工程数据库系统有着至关重要的作用。工程数据库系统应包括工程数据库、工程数据库管理系统和工程数据库的终端用户三个部分。

工程数据库的存储有:产品图形和图像数据,包括产品和零件的二维图形和三维图形;图形管理数据;产品文字数据,其中包括产品与零件信息,如零件的材质、公差和表面粗糙度等数据以及产品结构信息,所谓产品结构信息指如产品和部件的组成及其装配关系等信息;设计所需参数和设计分析数据,如资源数据、设备数据、设计分析参数等;加工工艺数据,如加工设备、加工工艺规程、加工工序的数控代码(NC)等数据文件。

工程数据库管理系统(EDBMS)则是指对工程数据库的管理系统,包括维护数据库特征的各种控制系统和设计数据库所需的各种语言和工具。工程数据库管理系统管理工程数据库中的数据,并提供生成、检索、修改图形数据和文字数据的操作,以及对用户的设计事务进行处理,实行规定的设计约束。工程数据库管理系统需要提供程序设计接口以备 CAD 软件和其他软件工具调用。

工程数据库的终端用户通常是工程设计人员,如产品设计工程师、工艺师和其他工程人员。在工程数据库系统中,数据库的模式通常由设计人员确定的,而不是由数据库管理员和系统分析员确定。

2. 工程数据库系统的分层结构

全局数据库存放一个企业公共的、标准和规范方面的数据,包括已经提交的设计结果数据。项目数据库存放与某一设计项目有关的公共数据,为项目组的成员所共享,其初始值是全局数据库的子集。私有数据库存放特定用户设计过程中的临时工作数据,并为特定用户所独占,其初始值是项目数据库的子集。

实现这种分层结构的核心技术是 checkin/checkout 机制(包括用户权限,完整性和一致性检验)。当一个设计项目开始时,由 checkout 从全局数据库提取所需数据,并初始化项目数据库,设计完成时,通过 checkin 把设计结果写回全局数据库。项目组中的指定用户,利用 checkout 从项目数据库中提取所需数据,并初始化其专用的私有数据库,用户对私有数据库中的数据修改(即进行设计)以后,通过 checkin 向项目数据库提交。

3. 工程数据库的现状与未来

目前的工程数据库系统主要有:

(1)以传统的关系或网状数据模型为基础进行扩充,满足工程数据管理的部分要求的工程数据库系统

层次数据库系统和网状数据库系统是 20 世纪 70 年代广为流行的第一代数据库系统。层次数据库系统的代表产品是 IBM 在 1969 年研制出的 IMS(Information Management System);网状数据库系统是以美国的 CODASYL(Conference On Data System Language)DBTG(Data Base Task Group)报告为基础建立的。它们的主要特点是在数据记录汇集(Collection)上,提供数据定义语言(DDL)和数据操纵语言(DML),通过对数据记录的定义、查询和修改,实现 DBMS 的重要功能。

(2)支持 STEP/PDES 产品模型数据交换的工程数据库系统

STEP(STandard for the Exchange of Product Model Data)是 ISO 在 PDES 和 CAD * I 等研究基础上制定的一个用于不同 CAD/CAM 系统间进行数据交换的国际标准。随着 STEP 文本的发表,使目前开发的 CAD/CAM 系统可以直接采用依据 STEP 标准的产品定义模型(用 Express 语言描述)和提供 STEP 模型的数据交换接口,使系统内部或系统之间无须进行格式转化就可以实现产品数据的交换。同时也向支持 CAD/CAM 系统的工程数据库管理系统提出了支持 Express 语言及其数据模型,提供了适合 STEP 产品模型数据进行直接操作的标准界面,甚至提出了以 Express 语言支持的模型为基础开发工程数据库管理系统。STEP 的 Express 模型作为实体类型、方法和全局规则组成,是一个“准面向对象的数据模型”。

(3)采用面向对象数据模型的工程数据库系统(OOEDBMS)

尽管人们将采用了传统数据模型的数据库系统用于工程环境方面进行了大量工作,目前仍然还没有一个满意的商品化的工程数据库管理系统,使其能全面满足工程应用的要求。因此,人们不得不探索新的数据模型,并开发满足 CAD/CAM 系统的工程数据库管理系统。其中,基于面向对象数据模型数据库管理系统特别受到人们的青睐。

尽管人们对 OODBMS 的研究开发投入了大量工作,目前要使 OODBMS 真正用于工程实际环境,仍有不少技术问题待进一步研究:

- ① 发展 OODB 的形式化理论。
- ② 附加一些语义模型概念。
- ③ 增加演绎功能,支持智能 CAD/CAM 系统的开发。
- ④ 改善 OODBMS 的性能。
- ⑤ 消除程序设计语言与数据库管理语言和数据库结构之间的不匹配。
- ⑥ 研究 OODB 的设计工具为面向对象数据提供友好和有效的设计辅助工具。
- ⑦ 支持 CIMS 环境下异构数据库集成。

⑧ 希望工程数据库采用的 DDL 和 DML 要与 STEP 的 Express 语言相匹配,减少中间转换环节,提高系统集成效率。

1.1.2 铸造工艺数据库设计

数据库设计的基本目标是使用户能够得到在企业组织中完成工作所需的准确数据,并且使这些数据在相当时期内有效。数据库设计时有二个目标:第一个目标要求数据库中的元素能代表用户企业组织的完整的数据需要;第二个目标,是在性能方面的要求,它要求数据库结

构能允许对数据进行快速访问,使需要数据的人能够利用数据有效完成他们的工作。性能有近期的和将来的两个方面。一个灵活的数据库结构,它能适应用户环境的变化,以及数据处理的优化。这里介绍的铸造工艺数据库是以 Microsoft Access 作为数据库开发平台,具体针对铸造工艺 CAD 系统对数据的需求、铸造工艺数据对象的特点、数据类型及铸造工艺数据对象之间以及数据与三维图形之间的复杂关系的前提下,建立的一个专用数据库系统,如图 1-1 为铸造工艺数据库的数据结构。

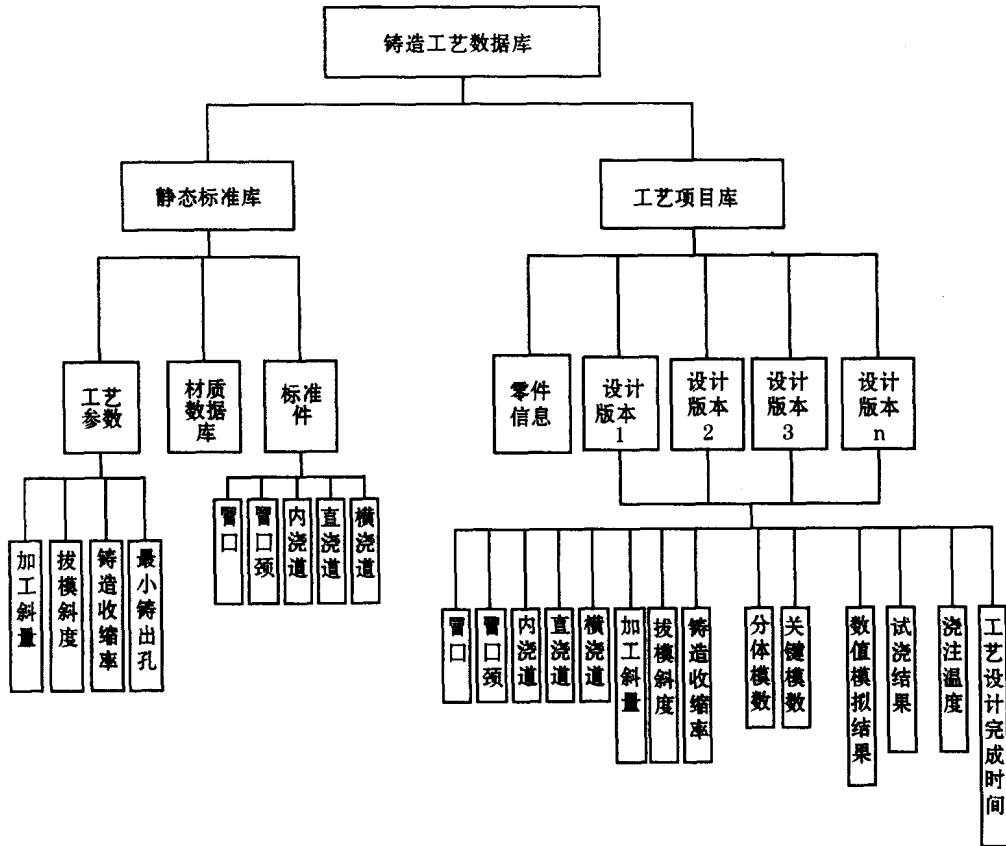


图 1-1 铸造工艺数据库的数据结构图

1. 铸造工艺数据类型分析

在本铸造工艺 CAD 系统及数据库系统设计时,假定铸造方法为砂型铸造方法,因此工艺方案已经确定,没有必要再作选择。方案定下后,即可进行具体的工艺设计。对零件进行铸造工艺设计首先应该是铸造工艺参数设计,如确定加工余量、拔模斜度、铸造收缩率等参数,这些工艺参数都可查询相应的国家标准,某些专业铸造企业有自定义的厂家标准。将这些标准的数据写进数据库,供用户设计工艺时查询使用,这样就可极大地方便了用户。这些数据在数据库中表现为相对稳定的静态数据,用户将只有读取数据的权限,而无法修改数据,这样避免了用户误操作破坏标准的数据。用户将从数据库中查询得到合适的工艺参数后应用到零件三维模型上,即完成工艺参数设计。接着设计冒口系统,在设计铸钢件的冒口系统时,铸件的分体模数和关键模数是不可缺少的参考数据,分体模数数据作为中间设计信息,存储在一个局部数据库中。在计算出冒口的合理模数后,即可计算出冒口的关键直径,

冷铁的重量与面积以及浇注系统各部分的尺寸。设计的结果最终存入数据库中以便于将来查询、修改及打印工艺卡。

一般而言,对一个零件的铸造工艺设计方案往往会不止做一个,即一个零件可以有好几个工艺设计方案,通过比较各个工艺设计方案的优缺点,选择最优方案,因此数据库设计中一个工艺项目对应一个零件的一个工艺设计版本。一个工艺项目中包含的数据是该工艺设计的结果数据:冒口尺寸、冒口颈尺寸、内浇道尺寸、直浇道尺寸、横浇道尺寸、工艺参数。各工艺数据的属性包含惟一标识该工艺数据所属工艺项目的工艺项目编号、几何属性和工艺属性。在铸造工艺 CAD 系统的设计环境下,通过二次开发的辅助设计模块,这些包含完整几何属性的工艺元素就能方便地在三维模型中反映出来了。

2. 铸造工艺数据库需求分析

铸造工艺数据库系统的建立,主要是为了满足铸造工艺 CAD/CAE 系统应用的要求,方便用户需要对数据进行的操作以及打印铸造工艺卡。因此,建立铸造工艺数据库的主要目标包括:

① 能够对多个工艺项目进行管理,可以自动建立一个工艺项目,每个工艺项目对应于特定铸件的某一铸造工艺设计方案。允许铸造工艺 CAD/CAE 系统的功能模块通过用户界面直接操作和查询铸造工艺数据库,以完成工艺设计工作。

② 建立交互查询铸造工艺数据库内容的用户界面,能显示并以铸造工艺卡的形式输出工艺设计结果。

③ 对设计完成的工艺项目能实现归档或删除操作。

3. 铸造工艺数据库概念设计

铸造工艺数据库中静态的标准库的建立和维护由于不与用户进行交互,因此都较为简单。而工艺项目数据是在设计过程中的中间结果和最终的结果,用户可以不断地改变、修正数据,需要对数据库进行动态的操作。由于动态的数据库涉及到数据完整性、安全性、有效性等方面的问题,因此动态的工艺项目数据库是系统设计的重点和难点。下面将主要阐述工艺项目数据库的一些设计细节。

本书所讲述的系统建立的铸造工艺数据库系统是建立在小型关系数据库系统 Access 基础之上的,关系数据库系统是以关系模型为基础的数据库系统。关系模型是所有的关系模式、属性名和关键字的汇集,是模式描述的对象。一个关系模式描述了若干实体及其相互联系,反映了对客观世界一部分的逻辑抽象。在关系数据模型中,实体和实体间的联系都通过关系来表达的。一个关系从结构上看就是一张二维表,表中的一行称为一个元组或称为一个记录(Record),记录可以表示一个实体,也可表示实体间的联系。表中的一列称为关系的一个属性,即实体的一个数据项,属性有属性名、属性类型、属性域和属性值之分,属性名在表中是惟一的,属性的取值范围称为属性域。在动态工艺项目数据库中,主要有以下一些实体的数据:零件、工艺项目、分体模数、冒口、冒口颈、内浇道、横浇道、直浇道等。这些实体间彼此关联,一个零件的一个工艺版本对应一个工艺项目;在一个工艺项目中,各工艺元素的个数都可能多个;冒口颈与冒口一一对应;直浇道与不同尺寸的一个或多个内浇道连接;横浇道连接一个或多个直浇道。此外,各冒口、横浇道、直浇道等又是经计算后,从标准件库中匹配得到的。图 1-2 是表示工艺项目各实体间关系的 IDEF1X 图,图中同时反

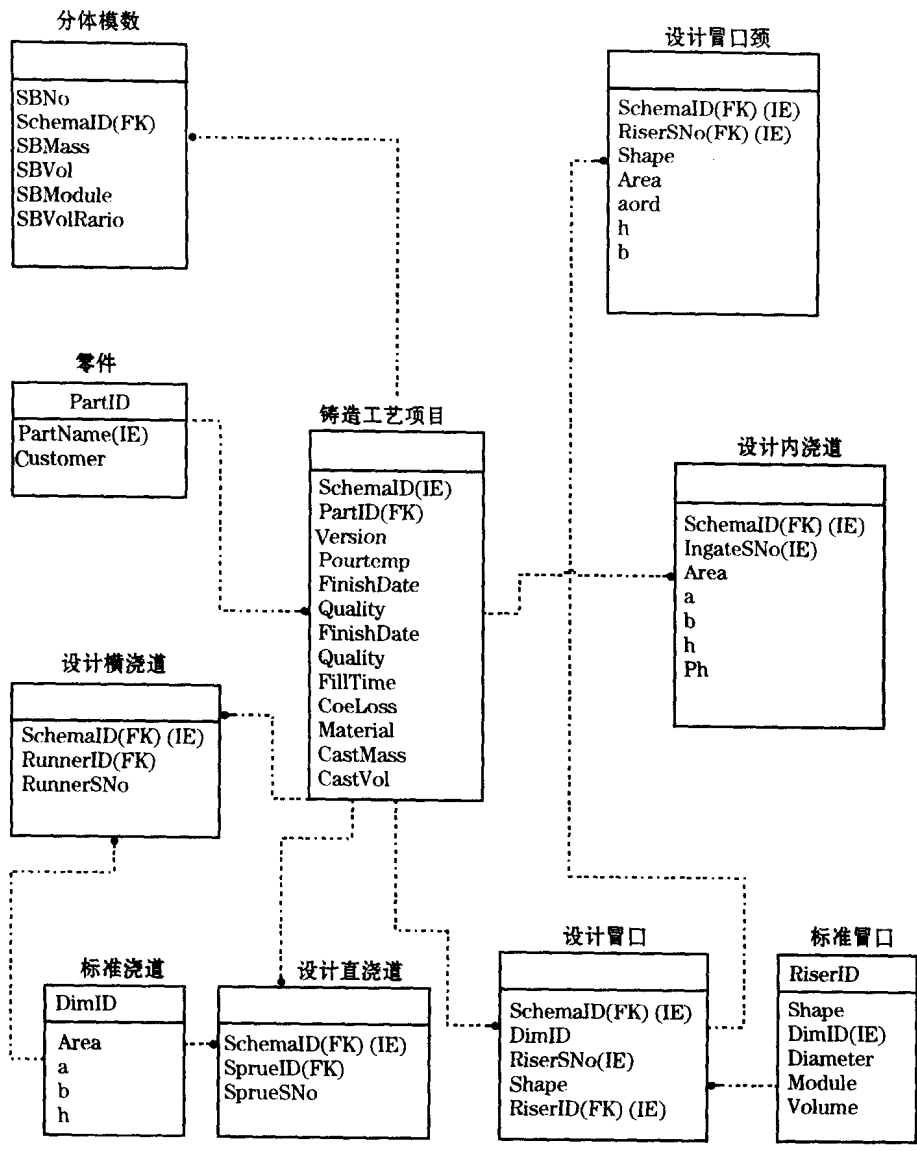


图 1-2 铸造工艺数据库 E-R 图 (IDEF1X 图)

映了各实体的数据项。

4. 铸造工艺数据库应用

下面介绍铸造工艺数据库的应用。用户通过如图 1-3 所示的查询界面可进行工艺数据库的查询操作,查询结果包括所有的工艺项目数据信息:基本信息(包括零件名称、零件号、工艺版本号、设计完成时间、浇注温度、铸件质量等),浇注系统设计信息,冒口设计信息,以及冒口颈设计信息。用户可选择要用于实际生产的工艺设计信息打印工艺卡,工艺卡有不同的模板,用户可自由地选择合适的模板。考虑到 Microsoft Word 使用的广泛性和方便性,因此打印模块程序设计以 VBA(Visual Basic for Application)为开发工具,打印模块将直接启动 Microsoft Word,并调用工艺卡文档,自动填写工艺项目数据。在以上的基础上还开发了铸造工艺数据库维护应用程序。对铸造工艺数据库的维护包括对零件库的维护和对工艺项目库的维护。由

于专业铸造企业生产的铸件种类繁多,每一个铸件可能都有若干个工艺设计版本,这些设计版本中,无论成功的,或是失败的,对于相似产品的工艺设计无疑都能提供有益的参考和借鉴。但随着时间的推移,企业的生产情况会发生变化,有些铸件的工艺信息不再需要,此时需要对数据库进行清理维护。

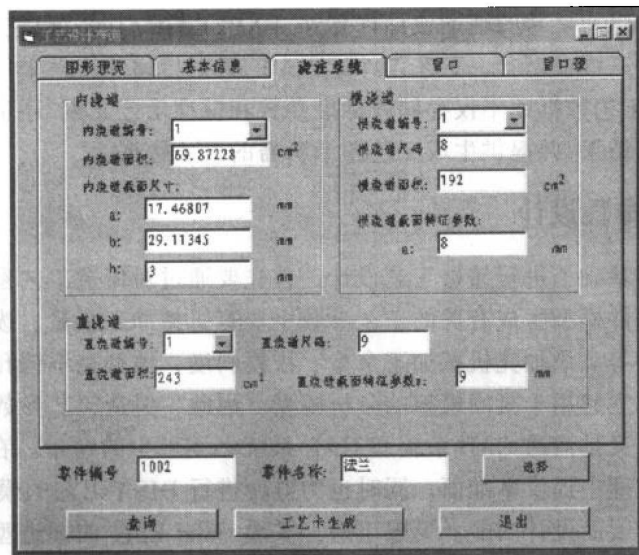


图 1-3 铸造工艺项目查询界面

零件库的维护包括零件记录的删除和添加。零件库中存储着生产的零件的基本信息,当一种零件已不再生产时,数据库管理员可将该零件记录删除。由于需要考虑到数据库数据的一致性和完整性,故在设计时在零件记录和工艺项目记录间建立了参照完整性约束,因此,如果零件库中的零件记录被删除,该零件的所有工艺设计版本也将都同时被删除。为防止误操作删除零件记录,在删除操作前系统将给出警告信息。另外,当企业开发一种新产品时,也可以将该产品零件的基本信息添加到零件库中。

由于工艺设计信息只能由铸造工艺 CAD 系统生成,因此工艺项目库的维护则只允许删除和查询操作。工艺项目管理允许管理员删除零件的某个或某几个设计版本,与删除零件记录时也同时删除相关工艺项目记录一样,当零件的一个工艺设计版本被删除时,该设计版本的各个相关铸造工艺设计信息,如冒口、冒口颈、浇注系统等信息也都一并被删除。

1.2 基于 Solid Edge 平台的球铁铸造工艺设计

以浇冒口系统设计为主的铸造工艺 CAD 系统是计算机技术应用于铸造领域的重要方面之一。随着三维造型理论和实用化技术的日趋成熟,三维铸造工艺 CAD 系统必将成为铸造工艺 CAD 系统的主流。基于三维的铸造工艺 CAD 系统具有许多二维系统无法比拟的优越性,如几何信息的完整性,易于与铸造工艺 CAE 系统、铸造工装 CAD/CAM 系统衔接,实现数据共享,设计结果直观,可方便地生成二维工程图纸等。

这里介绍的三维铸造工艺 CAD 系统 EXPERT-CAD 是针对 DISA 线水平分型造型和垂直无箱造型铸铁件(球铁和灰铁,侧重于球铁)的铸造工艺设计。按功能可将 EXPERT-CAD 系

统划分为以下几部分:通用铸造工艺参数设计(零件模型转化为铸件模型)、冒口系统设计、浇注系统设计、工艺图卡绘制。其中对浇冒口系统的设计,按造型方法的不同又可分为水平分型浇冒口系统设计和垂直分型浇冒口系统设计。球铁件和灰铁件在工艺设计方法上有相似之处,系统在设计计算模块时,通过选用不同的设计参数,实现对材质的适应。除了对铸造工艺参数和浇冒口系统各组元尺寸的辅助设计计算外,EXPERT-CAD 系统还提供了便捷的方式将设计结果反映到铸件三维模型上。工艺设计过程中的数据传递和交换采用了先进的数据库技术,设计建立的铸造工艺数据库不仅存储着标准参数和标准工艺元素,还负责在不同设计模块之间传递设计的中间结果,并提供生成工艺图卡所需的原始数据。

1.2.1 铸造工艺参数设计

在产品三维模型基础上进行铸造工艺设计,首先要通过对铸造工艺参数的设计,得到铸件的三维模型。与铸件模型生成有关的工艺参数主要有机械加工余量、拔模斜度、铸造收缩率、最小铸出孔尺寸等。添加完机械加工余量、拔模斜度,填补完不铸孔后的铸件模型与浇冒口系统合成,即建立起用于凝固模拟的分析模型。因此,铸造工艺参数设计,即将产品模型转化为铸件模型,又是沟通 CAD 系统和 CAE 系统必不可少的纽带。在 EXPERT-CAD 系统中为给拔模斜度处理中提供基准面,同时也为方便进行 DISA 工艺的模样设计和模板布置设计,研究开发了分型面设计功能。受限于造型平台 Solid Edge 曲面造型功能的不足,EXPERT-CAD 系统只能处理平面分型情况。对于多数 DISA 线生产的铸件,平面分型就能满足要求。

1. 添加机械加工余量

为保证铸件加工面尺寸和零件精度,在铸造工艺设计时预先增加的且在机械加工时切去的金属层厚度,称为机械加工余量。机械加工余量主要与铸造合金及铸造方法所能达到的铸件精度、加工表面所处的浇注位置(上面、侧面、底面)、铸件基本尺寸和铸件基本结构等因素有关。机械加工余量的代码为 MA,是英文“Machining Allowances”的字头缩写。机械加工余量等级由精到粗分为 A,B,C,D,E,F,G,H,J 九个等级,它与铸件尺寸公差等级配套使用。在尺寸公差等级和机械加工余量等级确定后,其机械加工余量的具体数值选择加工表面的最大基本尺寸和加工表面距铸件加工基准的尺寸二者中较大的一个,从 GB/T11350-89 中查取。对于成批和大量生产的铸件,根据工艺方法和铸件材质的不同,GB/T11350-89 中还给出了相应的铸件尺寸公差和机械加工余量等级范围。砂型机器造型生产的球铁和灰铁件,推荐尺寸公差等级为 8~10 级,机械加工余量等级推荐取 G 级。机械加工余量设计模块可根据用户对加工面信息的输入,自动匹配合适的机械加工余量数值。匹配机械加工余量数值的用户界面如图 1-4 所示。

将机械加工余量添加到铸件三维模型上,首先要能够识别加工表面。为了配合机械加工余量添加功能的实现,专门开发了定义加工面信息的功能模块,利用该功能模块,用户可交互指定加工表面,并赋予加工面特定的加工信息。Solid Edge 允许用户为任意的图形对象赋予非几何属性,称为 Dynamic Attribute。Solid Edge 提供的特征对象 Attribute 专用于定义与图形对象相关的非几何属性。Attribute 对象的在 Solid Edge 对象中的层次关系见图 1-5。图中, Object 可代表任意的图形对象。定义加工信息的功能模块是对表面对象 Surface 定义特征。

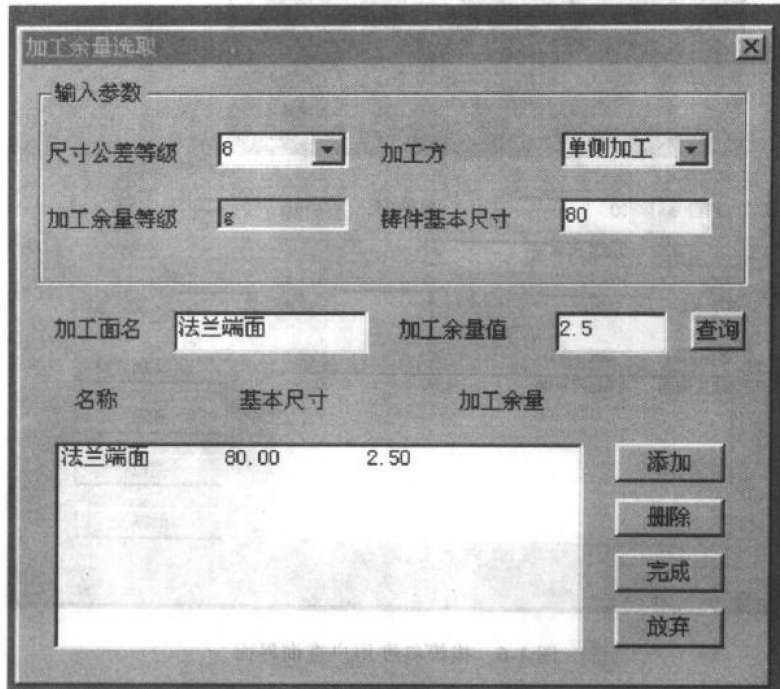


图 1-4 加工余量查询用户界面

采用特征的方法定义非几何信息后,三维造型文件(对 Solid Edge 而言,就是 *.par 文件)中就不仅包含产品零件几何信息,还包含了加工、工艺等非几何信息。在 STEP 应用协议未订立的情况下,这是完成在统一平台下实现产品定义和传递的一种有效方法。将机械加工余量反映到铸件三维模型上的工作可利用 Solid Edge 的造型功能完成,只需将加工面的轮廓线提取出来,再以该轮廓线为 Profile,添加一个拉伸特征 Extruded Protrusion,拉伸特征的高度为机械加工余量值。

2. 添加拔模斜度

为方便起模,在模样、芯盒的出模方向留有一定的斜度,以免损坏砂型或砂芯,这个斜度称为拔模斜度。DISA 工艺对不同高度的外表面、一般内表面、深孔内表面所需拔模斜度的大小制定了相关标准。在铸造工艺参数数据库中已存储这些标准数据,用户可通过交互输入所需添加拔模斜度的表面的类型和高度,程序会从数据库中查询得到合适的拔模斜度值。查询拔模斜度的用户界面如图 1-6 所示。得到拔模斜度值后,就可将拔模斜度添加到铸件模型上去。Solid Edge 提供了一个特殊的拔模斜度特征 Draft,专门用于添加拔模斜度。

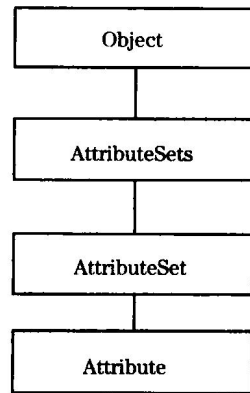


图 1-5 Attribute 对象的层次关系