

武汉理工大学

硕士学位论文

基于Pro/ENGINEER二次开发的模具

姓名：潘利波

申请学位级别：硕士

专业：机械制造及其自动化

指导教师：罗继相

20040501

摘 要

近年来,模具工业发展迅速,CAD/CAM技术在模具设计生产方面的应用,起到了至关重要的作用,它被认为是现代模具技术的核心和重要的发展方向。Pro/ENGINEER(以下简称 Pro/E)作为全球最完善的模具设计软件,广泛应用在我国模具行业中。

不过,在国内的一些公司和企业中,Pro/E作为一种软件工具,主要还是集中在辅助设计的应用之上,而对于该软件的二次开发却相对严重滞后,其他软件的情况也是一样。所以以商品化的CAD/CAM软件为平台进行二次开发,使国外这些软件工具适合我国生产的设计要求,是很有必要的,这也是目前国内在使用国外的CAD软件时的一项重要工作。对Pro/E进行二次开发,对于我国的企业来说,有着很大的意义,它不仅可以使软件适合国内企业的设计要求,还可以大大地节省设计成本和人力物力,缩短生产周期,给我国的模具工业生产带来很大的方便。

一般来说,对Pro/E进行开发有两种方法,第一种是利用该软件自带的PROGRAM语句进行开发,第二种是利用Pro/E的Pro/TOOLKIT模块,通过编写C语言代码来进行开发。Pro/TOOLKIT为用户程序、软件及第三程序提供了与Pro/E的无缝联接。它提供了大量的C语言的库函数,能够使外部应用程序安全有效地访问Pro/E的数据库和应用程序。

本文对Pro/TOOLKIT的开发方式及步骤进行分析和研究,得出了利用Pro/TOOLKIT对Pro/E进行二次开发的完整方法,并应用于实际的模具设计中。通过对三维弯管芯模的设计和生产工艺进行分析,开发出了芯模的工艺参数计算分析模块,简化了工艺参数的计算步骤,显著提高了生产效率;对模具标准系列零件进行概述和分析,通过对Pro/E软件中的系列零件的尺寸驱动方法进行分析,开发出了改善系列零件尺寸驱动方法的功能模块,使其更符合人们设计的习惯和要求,以提高标准系列零件的设计效率;对虚拟装配技术进行研究分析,并结合具体模具的装配,开发出了模具装配的虚拟仿真模块,并仿真其中的机构零件运动,方便进行干涉检验,使装配结构更直观明了。

结合模具CAD对Pro/E二次开发进行研究,可以更好地发挥Pro/E软件的设计功能,对模具CAD技术的发展也有着很重要的意义。

关键词: Pro/E, 模具, CAD, 二次开发

Abstract

In recent years, the mold industry was developed quickly. The uses of CAD/CAM technology in mold designing and manufacturing were very important. CAD/CAM technology is considered the core and developing direction of modern mold technology. Pro/ENGINEER which is one of the best software in mold designing, is used widely in our mold industry.

However, in some domestic corporations and enterprises, as a software tool, Pro/E was mainly used in aided designing, the further development on Pro/E was relatively lagged. Other software is just the same. So it is necessary to further develop these CAD/CAM software to make them be fit to our industry, which is one of the important work in using thee external software. Further development on Pro/E is significant to our corporations, which can not only make it meet to the need of mold design, but also save the design costing and resource, and shorten the manufacturing cycle, which bring convenience to our mold industry.

In general, there are two ways to further develop Pro/E. One is developing by its own PROGRAM code, the other is developing by Pro/TOOLKIT and making C program. Pro/TOOLKIT which provides the connection with Pro/E for user's program、 software and the third program, offer a large amount of C library functions and make the external program visit the Pro/E data and application safely and effectively.

This article analyzes and researches the ways and steps of Pro/TOOLKIT, conclude the intact ways of developing by Pro/TOOLKIT, and used these ways in practical mold design. By analyzing the technology parameters of pipe mold, develops the application program of computing technology parameters of pipe mold, simplifies the computing course, improves markedly the manufacturing effective of pipe; by elaborating the standardized series parts of mold and analyzing the measures of dimension driving in Pro/E, develops the applicant program which reform the ways of dimension driving about series parts, making it fit to designing customs and demands. It can improve the design effective of

mold standardized series parts. By researching the subjunctive assemble technology, develops the simulation parts of mold assemble. It can simulate the motion of mechanical parts in the assembly to check interference conveniently and clear the assemble structure.

Researching the further development on Pro/E connecting with mold CAD can develop the design function of Pro/E software, and is significant to the development of CAD technology of mold.

Keywords: Pro/E mold CAD further develop

第 1 章 绪 论

1.1 模具概述

模具，作为一种成型工具，已经有很悠久的历史了。早在 20 世纪初，模具被用于铸造铅字，到了 40 年代才出现塑料注射模具，在世界上，欧美发达国家的模具起步比较早，发展也比较快，模具被广泛应用于工业生产中，对他们的整个经济发展起到了很大的作用。而且正是由于其在生产中的应用极为广泛，几乎全部塑料制品和由铝板、铜板、钢板制成的绝大部分产品，都要通过模具加工而成。所以一个国家模具设计、制造技术的高低，是衡量这个国家产品制造水平的重要标志。二战后的日本，其发展之所以迅速，在短短几十年内，一跃而成为世界经济强国，模具在其工业生产中的地位可以说是举足轻重，而模具在日本也被称为是“工业之母”。

1.1.1 国内外模具现状及发展趋势

国外的模具行业起步较早，发展也很迅速，各方面技术都比较成熟，设备也比较先进，设计和制造出的模具无论从产品质量，外观精确性还是使用的可靠性上，都远比国内的要强。

我国模具工业从起步到发展，历经了半个多世纪，中国长期以来未把模具视为一种独立产品，直到 1987 年才把模具列入机电产品目录。模具工业的统计数字第一次出现于 1985 年。近几年来，我国模具技术有了很大发展，模具水平有了较大提高。大型、精密、复杂、高效和长寿命模具又上了新台阶。大型复杂冲模以汽车覆盖件为代表，我国主要汽车模具企业，已能生产部分轿车覆盖件模具。塑料模热流道技术更日臻成熟，气体辅助注射技术已开始采用。压铸模方面已能生产自动扶梯整体梯级压铸模及汽车后齿轮箱压铸模等。模具质量、模具寿命明显提高；模具交货期较前缩短。模具 CAD/CAM/CAE 技术相当广泛地得到应用，并开发出了自主知识产权的模具 CAD/CAE 软件。电加工、数控加工在模具制造技术发展上发挥了重要作用。模具加工机床品种增多，水平明显提高。快速经济制模技术得到了进一步

发展,尤其这一领域的高新技术快速原型制造技术(RPM)进展很快,国内有多家已自行开发出达到国际水平的相关设备。模具标准件应用更加广泛,品种有所扩展。模具材料方面,由于对模具寿命的重视,优质模具钢的应用有较大进展。长期以来,由于模具产量的逐年增加,而模具总量仍然供不应求,所以进口模具的数量也在不断上涨,今年来,随着模具行业的技术进步和模具企业的蓬勃发展,模具水平得以提高,模具国产化取得了可喜的成就,而近年来进口模具不断增长的势头有所控制,模具出口也稳步增长。

在我国,模具主要应用于汽车、摩托车、农用车、电器、电子及信息、仪器仪表、办公机械和其他发展快的行业,模具市场前景广阔,预计今后每年模具行业的投资将超过 20 亿元,主要用于高新技术的采用,先进设备的引进及企业素质和能力的提高。

现代模具技术的发展,在很大程度上依赖于模具标准化程度、优质模具材料的研究、先进的设计与制造技术、专用的机床设备及生产技术管理等方面工作的综合。但其中 CAD/CAM 技术在模具生产方面的应用,无疑占有很重要的地位。模具工业同计算机技术的结合,大大推动了模具技术自身的发展^[1],它被认为是现代模具技术的核心和重要的发展方向。

模具 CAD/CAM 技术作为计算机科学与模具工程科学结合的产物,是促进科研开发和成果转化,实现设计自动化,加快模具发展和经济现代化的一项关键技术;是提高产品设计水平,缩短新产品开发周期,提高劳动生产率,降低消耗的重要手段;是企业加强自主研究与开发创新能力,提高管理水平,参与国际合作与竞争的重要条件;也是进一步向 CIMS 发展的重要基础。该项技术的开发与应用水平已成为衡量一个模具企业乃至一个国家科技现代化和工业现代化的重要标志之一。

1.1.2 我国模具工业存在的主要问题

我国模具工业与国外相比,还有很大的差距,也还存在很多问题,具体表现在如下几个方面。

1. 产需矛盾

工业发展水平的不断提高,工业产品更新速度加快,对模具的要求越来越高,尽管改革开放以来,模具工业有了较大发展,但无论是数量还是质量

仍满足不了国内市场的需要，目前满足率只能达到 70%左右。造成产需矛盾突出的原因，一是专业化、标准化程度低，除少量标准件外购外，大部分工作量均需模具厂去完成。加工企业管理的体制上的约束，造成模具制造周期长，不能适应市场要求。二是设计和工艺技术落后，如模具 CAD/CAM 技术采用不普遍，加工设备数控化率低等，亦造成模具生产效率不高、周期长。总之，是拖了机电、轻工等行业发展的后腿。

2. 产品结构、企业结构等方面

模具按国家标准分为十大类，其中冲压模、塑料模占模具用量的主要部分。按产值统计，我国目前冲压占 50%-60%，塑料模占 25%-30%。国外先进国家对发展塑料模很重视，塑料模比例一般占 30%-40%。国内模具中，大型、精密、复杂、长寿命模具比较低，约占 20%左右，国外为 50%以上。我国模具生产企业结构不合理，主要生产模具能力集中在各主机厂的模具分厂(或车间)内，模具商品化率低，模具自产自销比例高达 70%以上。国外，70%以上是商品化的。

3. 产品水平

衡量模具产品水平，主要有模具加工的制造精度和表面粗糙度，加工模具的复杂程度、模具的使用寿命和制造周期等。国内外模具产品水平仍有很大差距。

4. 工艺装备水平

我国机床工具行业已可提供比较成套的高精度模具加工设备，如：加工中心、数控铣床、数控仿真铣床、电加工机床、坐标磨床、光曲磨床、三坐标测量机等。但在加工和定位精度，加工表面粗糙度，机床刚性，稳定性，可靠性，刀具和附件的配套性方面，和国外相比，仍有较大差距。

1.2 应用于模具方面的软件介绍

我国的模具 CAD 程度虽然还不是很很高，但近年来，随着从事模具科研工作的企事业单位越来越强大，研究越来越广泛，培养的高科技人才越来越多，模具 CAD 发展也非常迅速，目前，主要运用于模具 CAD 的软件有 Autodesk 公司的 AutoCAD、美国参数技术公司的 Pro/ENGINEER、UnigraphicsSolutions 公司的 UNIGRAPHICS、美国 CNC Software INC 开发

的 Mastercam、美国 SDRC 公司开发的 I-DEAS、生信国际有限公司的 Solidworks 以及国内自己设计的 CAD 软件,包括高华 CAD、金银花系统、开目 CAD 等等,现将几个主要 CAD 软件简单介绍一下:

AutoCAD 是 Autodesk 公司的主导产品。Autodesk 公司是世界第四大 PC 软件公司。AutoCAD 是当今最流行的二维绘图软件,它在二维绘图领域拥有广泛的用户群。AutoCAD 提供 AutoLISP、ADS、ARX 作为二次开发的工具。在许多实际应用领域(如机械、建筑、电子)中,一些软件开发商在 AutoCAD 的基础上已开发出许多符合实际应用的软件。

UG 是 Unigraphics Solutions 公司的拳头产品。该公司首次突破传统 CAD/CAM 模式,为用户提供一个全面的产品建模系统。在 UG 中,优越的参数化和变量化技术与传统的实体、线框和表面功能结合在一起,这一结合被实践证明是强有力的,并被大多数 CAD/CAM 软件厂商所采用。

I-DEAS 是美国 SDRC 公司开发的 CAD/CAM 软件。I-DEAS 在 CAD/CAE 一体化技术方面一直雄居世界榜首,软件内含诸如结构分析、热力分析、优化设计、耐久性分析等真正提高产品性能的高级分析功能。I-DEAS CAM 可以方便地仿真刀具及机床的运动,可以从简单的 2 轴、2.5 轴加工到以 7 轴 5 联动方式来加工极为复杂的工件表面,并可以对数控加工过程进行自动控制和优化。

SolidWorks 是生信国际有限公司推出的基于 Windows 的机械设计软件。SolidWorks 是微机版参数化特征造型软件的新秀,该软件旨在以工作站版的相应软件价格的 1/4~1/5 向广大机械设计人员提供用户界面更友好,运行环境更大众化的实体造型实用功能。SolidWorks 是基于 Windows 平台的全参数化特征造型软件,它可以十分方便地实现复杂的三维零件实体造型、复杂装配和生成工程图。

Pro/Engineer 系统是美国参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, 简称 PTC) 的产品。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关的概念改变了机械 CAD/CAE/CAM 的传统观念,这种全新的概念已成为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准^[2]。利用该概念开发出来的第三代机械 CAD/CAE/CAM 产品 Pro/Engineer 软件能将设计至生产全过程集成到一起,让所有的用户能够同时进行同一产品的设计制造工作,即实现

所谓的并行工程^[3]。

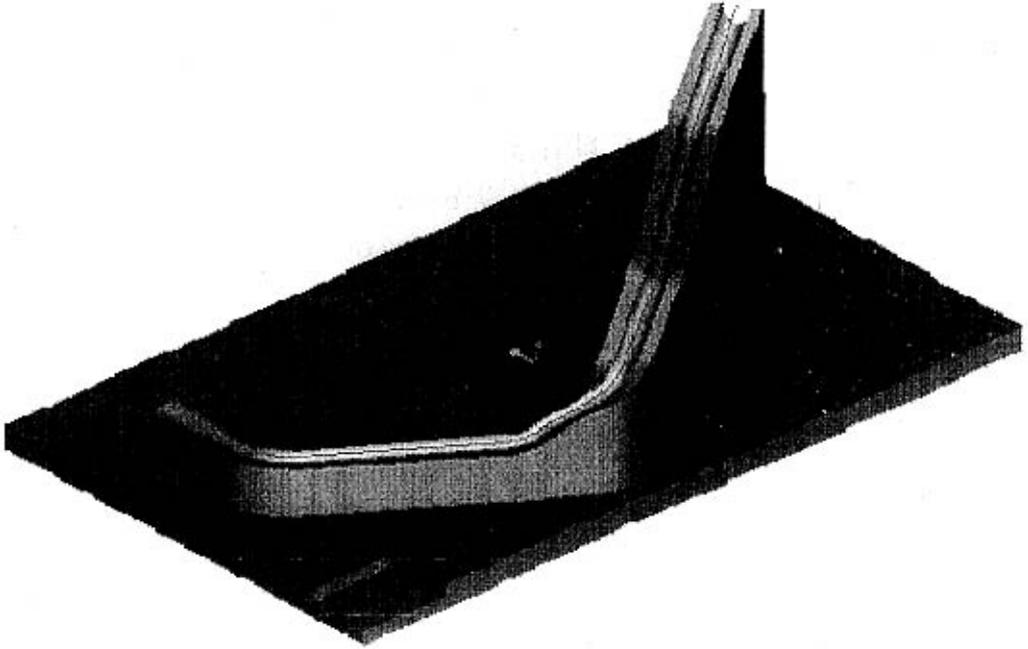


图 1-1 弯管检具三维图

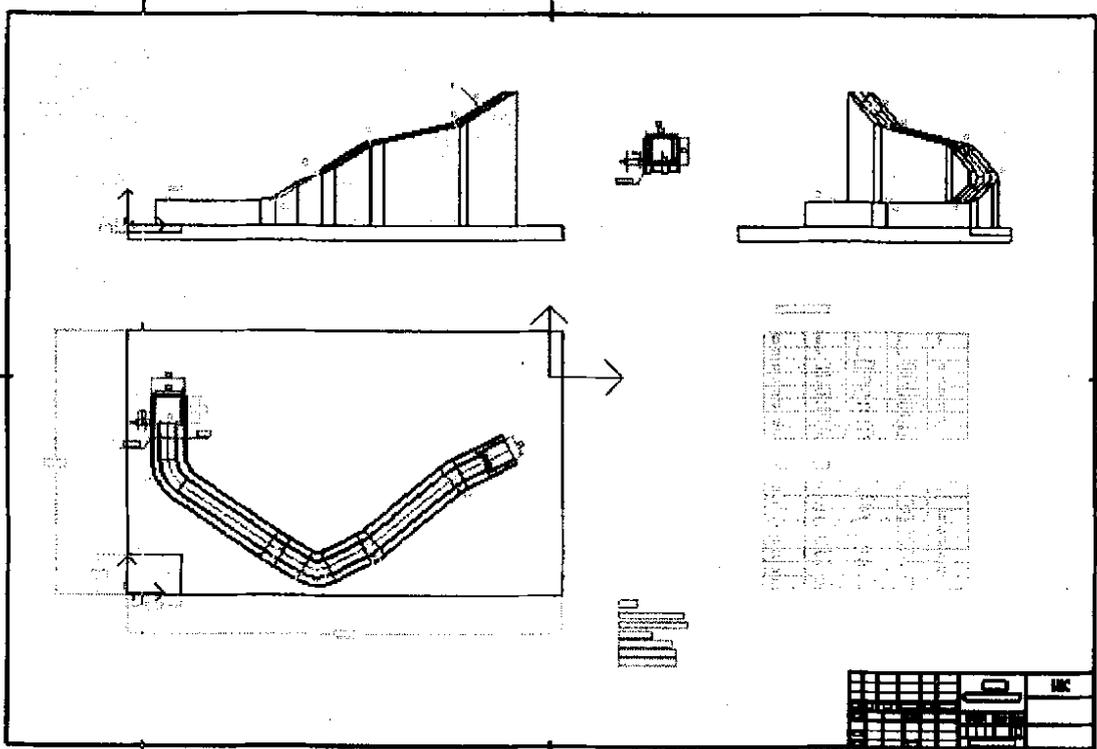


图 1-2 弯管检具平面图

从目前工业发展和实际经验来看,三维软件比二维软件更有优势,将在以后的设计生产中占主导地位,现在很多企业和公司已经在设计生产环节中利用三维软件来进行,这主要是由于三维软件设计出来的产品比二维软件设计出的更直观明了,可以节省加工人看图的时间,而且三维软件的辅助生产功能是二维软件无法比拟的,可以直接导入数控中心自动加工,提高生产效率,还有最重要的一点是,实际生产中很多产品通过二维软件根本无法设计出来,但是三维软件几乎可以设计出任何形状的产品,比如,下图(图 1-1)是一个弯管的检具图,是利用 Pro/ENGINEER 软件设计出来的,它可以转换成二维三视图(图 1-2),但是如果不利用三维软件来设计,单只是利用二维软件来画,是很难完成的。因为它其中最主要的部分是利用曲线扫描出来的,而这在二维软件中用图形几乎是无法表现出来的。

1.3 我国模具 CAD/CAM 技术的现状和发展趋势

模具 CAD/CAM/CAE 技术是模具技术发展的一个重要里程碑。实践证明,模具 CAD/CAM/CAE 技术是模具设计制造的发展方向。

1.3.1 模具 CAD/CAM 应用现状

目前国内模具行业的基本情况是:随着轻工业及汽车制造业的迅猛发展,模具设计制造日渐受到人们广泛关注,已形成一个行业,并且成立了模具协会。但是我国模具工业缺少技术人员,存在品种少、精度低、制造周期长、寿命短,供不应求。一些大型、精密、复杂的模具还不能制造,每年花几百万、上千万美元从国外进口,制约了工业的发展,所以在我国大力发展模具工业势在必行。

为了提高模具企业的设计水平和加工能力,中国模具协会致力于向全国模具行业推荐适合于模具企业使用的 CAD/CAM 系统。模具设计和加工使用的 CAD/CAM 系统,不要求系统十分庞大,但对某些方面要求较高,如曲面造型、三轴数控加工等。对于一些国外的 CAD/CAM 系统,它们具有强大的三维曲面造型能力、结构有限元分析能力强大、强大计算机辅助制造能力、产品数据管理能力等,但价格昂贵,一般企业难以支付。在国内优秀的 CAD/CAM 系统很少,但也有少数适合模具行业应用,如“华正”CAD/CAM 系统,它具有自

主版权且价格低廉。

对于国内一些大型模具企业，它们的 CAD/CAM 应用状况多停留在从国外购买先进的 CAD/CAM 系统和设备，但在其上进行的二次开发较少，资源利用率低；对于国内一些中小型模具企业，它们的 CAD/CAM 应用很少，有些仅停留在以计算机代替图板绘图。所以有必要改善国内模具企业的 CAD/CAM 应用状况，使它们真正做到快速、准确的对市场做出反应，并使制造的模具产品质量高、成本低，即达到敏捷制造的目的。

1.3.2 模具 CAD/CAM 发展趋势

21 世纪模具制造行业的基本特征是高度集成化、智能化、柔性化和网络化，追求的目标是提高产品质量及生产效率、缩短设计周期及制造周期，降低生产成本、最大限度的提高模具制造业的应变能力，满足用户需求^[4]。具体表现出以下几个特征。

1. 集成化技术

现代模具设计制造系统不仅应强调信息的集成，更应该强调技术、人和管理的集成。在开发模具制造系统时强调“多集成”的概念，即信息集成、智能集成、串并行工作机制集成及人员集成，这更适合未来制造系统的需求^[35]。

2. 智能化技术

应用人工智能技术实现产品生命周期（包括产品设计、制造、使用）各个环节的智能化，实现生产过程（包括组织、管理、计划、调度、控制等）各个环节的智能化，以及模具设备的智能化，也要实现人与系统的融合及人在其中智能的充分发挥^[5]。

3. 网络技术的应用

网络技术包括硬件与软件的集成实现，各种通讯协议及制造自动化协议，信息通讯接口，系统操作控制策略等，是实现各种制造系统自动化的基础。目前早已出现了通过 Internet 实现跨国界模具设计的成功例子。网络技术的应用为我国模具企业实现敏捷制造和动态联盟奠定了技术基础^[6]。

4. 多学科多功能综合产品设计技术

未来产品的开发设计不仅用到机械科学的理论与知识，而且还用到电磁

学、光学、控制理论等；甚至要考虑到经济、心理、环境、卫生及社会等各方面的因素。产品的开发要进行多目标全性能的优化设计，以追求模具产品动静特性、效率、精度、使用寿命、可靠性、制造成本与制造周期的最佳组合。

5. 虚拟现实与多媒体技术的应用

虚拟现实 VR (Virtual Reality) 是人造的计算机环境，人处在这种环境中身临其境的感觉，并强调人的介入与操作。VR 技术在 21 世纪整个制造中都将有广泛的应用，可以用于培训、制造系统仿真、实现基于制造仿真的设计与制造、集成设计与制造、实现集成人的设计等^[7]。美国已于 1999 年借助于 VR 技术成功地修复了哈博太空望远镜。多媒体技术采用多种介质来存储、表达处理多种信息，融文字、语音、图象于一体，给人一种真实感。

6. 反求技术的应用

常规的模具设计通常以产品的已有设计信息为依据。这些设计信息通过工程图或一些模型来表达，然后制定出加工工艺规划，最终通过工装/模具和设备制造出产品。但在许多情况下，一些产品并非来自设计概念，而是起源于另外一些产品或实物，要在只有产品原型或实物模型，而没有产品图纸的条件下进行模具的设计和制造以便制造出产品。此时需要通过实物的测量，然后利用测量数据进行实物的 CAD 几何模型的重新构造。这种过程就是反求工程 RE (Reverse Engineering)。一旦建立了 CAD 几何模型后，就可以依据这种数字化的几何模型用于后续的许多操作，如实物 CAD 模型的修改、零件的重新设计、有限元分析、误差分析、数控 (NC) 加工指令生成以及模具的设计和制造等^[8]。

反求工程能够缩短从设计到制造周期，是帮助设计者实现并行工程等现代设计概念的一种强有力的工具，目前在工程上正得到越来越广泛的应用。主要应用在：新零件的设计；已有零件的复制；损坏或磨损零件的还原；模型精度的提高。设计者基于功能和美学需要对产品进行概念化设计，然后使用一些软材料，如木材、石膏等制作模型，直到满足各种要求。这个过程中，由于对初始模型的改动非常大，没有必要花大量的时间提高模型的精度，这时通过快速反求的方法提高模型精度；数字化模型检测；模具的设计和制造根据实物，设计和制造出其成形模具。此时通过反求进行测量，利用测量数

据建立零件的 CAD 模型，借助它设计和制造模具。

7. 快速成形技术

快速成形制造技术 RPM (Rapid Prototyping & Manufacturing) 基于层制造原理，迅速制造出产品原型，而与零件的几何复杂程度丝毫不关，尤其在具有复杂曲面形状的产品制造中更能显示其优越性。它不仅能够迅速制造出原型供设计评估、装配校验、功能实验，而且还可以通过形状复制快速经济地制造出产品模具（如制造电极用于 EDM 加工、作为模芯消失铸造出模具等），从而避免了传统模具制造的费时、耗成本的 NC 加工，因而 RPM 技术在模具制造中日益发挥着重要的作用。

综上所述，模具 CAD/CAM 技术是我国模具行业目前急需提高的一个环节，而模具 CAD 是整个集成化制造的基础和核心，因此，模具 CAD 技术水平的高低直接影响着模具的整体质量。

而且，对于 CAD/CAM 软件方面来说，国外著名的 CAD/CAM 软件都存在一个问题，那就是在实际运用中不可能满足各种设计的要求，而且国外的软件在设计标准，规范要求 and 标准件库上和我国存在着一些差异，以商品化的 CAD/CAM 软件为平台进行二次开发，使这些软件工具适合我国生产的设计要求，是很有必要的，这也是目前国内在使用国外的 CAD 软件时的一项重要工作。对 CAD 软件进行二次开发，对于我国的企业来说，有着很大的意义，它不仅可以使软件适合国内企业的设计要求，还可以大大地节省设计周期和人力物力，提高生产周期，给我国的工业生产带来很大的方便，因此，进行 CAD 软件的二次开发在从事模具科研的企业和高校中占有很大的比重。

第 2 章 PRO/ENGINEER 及其开发方式

2.1 Pro/E 软件简介

Pro/Engineer 系统主要功能如下:

- (1) 真正的全相关性,任何地方的修改都会自动反映到所有相关地方。
- (2) 具有真正管理并发进程、实现并行工程的能力。
- (3) 具有强大的装配功能,能够始终保持设计者的设计意图。

(4) 容易使用,可以极大地提高设计效率。Pro/Engineer 系统用户界面简洁,概念清晰,符合工程人员的设计思想与习惯。整个系统建立在统一的数据库上,具有完整而统一的模型。Pro/Engineer 建立在工作站上,系统独立于硬件,便于移植。

其中在国内,以 AutoCAD、UNIGRAPHICS、Pro/ENGINEER 应用最为广泛,而在三维效果方面,无疑以 Pro/E 应用得最为普遍,Pro/E 把所有的功能模块建立在统一的数据结构上,提供了所有工程项目之间的全关联,真正实现了 CAD/CAE/CAM 的有机集成。用户可以同时对同一产品进行并行的设计工作,从而可以提高设计质量,缩短开发周期。

PRO/ENGINEER 仅生成实体模型来描述工程师所设计的产品模型,不再应用线框和表面模型转换成实体模型的手段,思路清晰。由于它有完整而统一的模型,在整个设计的相关环节上反映出来。

PRO/ENGINEER 采用基于参数化,特征设计的三维实体造型系统,这样便于在新产品的开发中实现概念设计,也可方便的依照工业标准的零件族概念建库。

PTC 公司的 i - 系列建立在新一代实体 CAD/CAE/CAM 解决方案之上,它是那些把产品设计信息的价值延伸到桌面用户及整个企业的应用程序的后续产品,它能让用户访问到产品开发生命周期中每个阶段的产品信息。i - 系列提供了一些集成工具使开发流程自动化,并能管理设计更改。它具有以下特点: 创新 (innovative)、互操能力 (interoperable)、以为中心 (internet-centric)、直观 (intuitive) 以及个性化 (individualized)。

Pro/ENGINEER 软件开发环境在支持并行工程方面是独一无二的。通过一系列完全相关的模块——它们能够表达产品的外形、装配及其功能——Pro/ENGINEER 能够把多个部门同时致力于同一产品模型中。这包括在工业设计和机械设计方面的多项功能,包括对大型装配体的管理、功能仿真、制造、产品数据管理等等。Pro/ENGINEER 还提供了目前所能达到的最全面、集成最紧密的产品开发环境。

Pro/ENGINEER 可以在所有主要的 UNIX、Windows NT 以及 Windows95 平台上运行,并且在每一个平台上保持同样的外观,使用起来的感觉也一样;用户根据需要选择最经济的硬件配置,也可以选择异型结构的多品种平台。由于 Pro/ENGINEER 独特的数据结构模式,产品信息可以毫无困难的在不同平台间流动。PRO/ENGINEER 用户界面简洁,概念清晰,符合工程技术人员的设计思想与习惯。

在国内的一些公司和企业中,Pro/E 作为一种软件工具,主要还是集中在辅助设计之上,虽然有些企业已经用于辅助制造和模拟上,但毕竟用的比较少,而 Pro/E 作为一种强大的三维软件,其辅助设计功能的确很强大。

2.2 Pro/E 在我国模具行业的应用

随着我国汽车、摩托车、家电等工业的迅速发展,工业产品的外形在满足性能要求的同时,变得越来越复杂,而这些产品的制造离不开模具,这就要求模具制造行业以最快的速度、最低的成本、最高的质量生产出模具。为了达到上述要求,模具企业只有运用先进的管理手段和 CAD/CAM 集成制造技术,才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。

例如,广州型腔模具厂在 92 年开始应用 Pro/ENGINEER 软件进行压铸模具的设计及制造,并应用该软件先后完成了国家“八五”重点企业技术攻关课题《大型复杂压铸模的研制开发》及广州市重点科技攻关项目《计算机辅助模具设计、制造及分析的应用研究》等科研开发项目,先后二次引起 Pro/ENGINEER 软件,应用该软件开发出了摩托车发动机、齿轮箱、汽车离合器壳体、家电等大型复杂压铸模具,完成了一百多套模具的三维造型、模具设计、数控加工编程,取得了巨大的经济效益。

Pro/ENGINEER 软件的集成制造技术目前是我国模具行业研究应用的热

点。

模具 CAD/CAE/CAM 系统的集成关键是建立单一的图形数据库、在 CAD、CAE、CAM, 各单元之间实现数据的自动传递与转换, 使 CAM、CAE 阶段完全吸收 CAD 阶段的三维图形, 减少中间建模的时间和误差; 借助计算机对模具性能、模具结构、加工精度、金属液体在模具中的流动情况及模具工作过程中的温度分布情况等进行反复修改和优化, 将问题发现于正式生产前, 大大缩短制模具时间, 提高模具加工精度。

Pro/ENGINEER 软件采用面向对象的统一数据库和参数化造型技术, 具备概念设计、基础设计和详细设计的功能, 为模具的集成制造提供了优良的平台。Pro/ENGINEER 的并行工程技术在模具中应用也是非常重要的。

模具是面向定单式的生产方式, 属于单性生产, 制造过程复杂, 要求交货时间短。如果利用 CAD、CAM 单元技术制造模具, 制造精度低、周期长, 为了解决上述难题, 我们将并行工程技术引入到模具制造过程中。

所谓并行工程是设计工程师在进行产品三维零件设计时就考虑模具的成型工艺、影响模具寿命的因素, 并进行校对、检查, 预先发现设计过程的错误。在初步确立产品的三维模型后, 设计、制造及辅助分析部门的多位工程师同时进行模具结构设计、工程详图设计、模具性能辅助分析及数控机床加工指令的编程, 而且每一个工程师对产品所做的修改可自动反映到其他工程师那里, 大大缩短设计、数控编程的时间^{[9][10]}。

在实际生产过程中, 应用 Pro/ENGINEER 软件, 我们将原来模具结构设计→模具型腔、型芯二维设计→工艺准备→模具型腔、型芯设计三维造型→数控加工指令编程→数控加工的串行工艺路线改为由不同的工程师同时进行设计、工艺准备的并行路线, 不但提高了模具的制造精度, 而且能缩短设计、数控编程时间达 40%以上。

要实施并行工程关键要实现零件三维图形数据共享, 使每个工程师使用的图形数据是绝对相同, 并使每个工程师所做的修改自动反映到其他有关的工程师那里, 保证数据的唯一性和可靠性。Pro/ENGINEER 软件具有的单一数据库、参数化实体特征造型技术为实现并行工程提供了可靠的技术保证。

建立标准零件库也是 Pro/E 在我国模具行业广泛应用的一个方面。

利用 Pro/ENGINEER 软件参数化功能或指令编程技术, 建立符合自身

需求的常用的标准零件库,减少重复建模时间,提高设计效率。

2.3 国内 Pro/E 二次开发方面的现状

目前,国内有不少科研单位已经或正在进行利用 Pro/E 进行二次开发的 CAD 系统研究工作,不过对于这些系统,在机械方面的设计比较多,合肥工业大学进行了开发 Pro/E 用户化菜单的技术和实践方面的研究,即研究如何在 Pro/E 中加入用户自定义的菜单^[11];合肥经济技术学院提出了通过 Pro/E 二次开发来利用工程数据库进行特征造型的方法^[12];南京航空航天大学的陈辰等参与开发的是一个较为完整的轴类零件设计(三维模型)、零件出图、零件加工(加工刀轨代码生成)系统,让一些通用设计的过程实现自动处理,以减轻设计人员的工作量^{[13][14]};北方交通大学机械与电子工程学院进行的是基于 Pro/E 的内燃机车三维标准件库的建立方面的研究,该系统采用 Pro/E 为平台,利用其强大的参数化造型技术和二次开发模块 Pro/TOOLKIT,建立内燃机车三维标准件库,以适应机车新产品的设计与开发,提高 Pro/E 系统的实用程度^[15];清华大学精仪系 CIMS 中心则提出基于 Pro/ENGINEER 系统开发面向并行工程的 CAD 系统^{[9][16]}。

以上研究工作都是属于机械类零件方面的开发,在基于 Pro/E 二次开发的模具设计研究方面,国内在这方面做的比较少,而且一般都只是停留在纯理论上,真正开发出的实际系统并不多。合肥工业大学机械与汽车工业学院提出在基于 WINDOWS 开发环境下进行模具设计早期工作,在 Pro/E 环境下进行产品详细结构设计^[17]。而在这些研究系统中,最应该引起关注的就是上海交通大学材料科学与工程学院铸造研究所开发的基于 Pro/E 的活塞模具系列建模系统,由于对同一系列的活塞模具在结构上除一些主要参数不同外,其余的辅助参数大都相同,因此该系统利用 Pro/E 做二次开发来支持活塞模具系列建模,系列模具智能出图和系列模具管理等功能^{[18][19]}。当然,这些处于研究阶段的系统如果真正用于实际设计和生产中,必将对我国模具工业产生重大影响。

2.4 Pro/E 二次开发接口

成熟的 CAD/CAM 软件一般都有自己的供用户使用的二次开发的接口,如

AUTOCAD 的 AutoCAD development system(ADS), I-DEAS 的 Open Architecture(OA) 等等,它给用户提供一个系列工具,可以完成用户界面定制,宏程序定义,和编写外部程序来扩展系统的功能,Pro/E 软件的二次开发接口叫做 Pro/TOOLKIT。它是 PTC 公司为 Pro/E 提供的用户化工具箱(以前的版本为 Pro/DEVELOP),该工具箱为用户程序、软件及第三方的程序提供了与 Pro/E 的无缝联接。用户程序和第三方的程序是用 C 语言编写的,Pro/TOOLKIT 提供了大量的 C 语言的库函数,能够使外部应用程序安全有效地访问 Pro/E 的数据库和应用程序。通过 C 语言编程及应用程序与 Pro/ENGINEER 的无缝集成,用户和第三方能够在 Pro/E 系统中增加所需的功能^{[20][21]}。

2.5 Pro/TOOLKIT 编写方式

Pro/TOOLKIT 是采用面向对象的方式来编写的,其功能强大,所以,用来在 Pro/E 和应用程序间传递信息的数据结构对应用程序来说是不可见的,只能是通过 Pro/TOOLKIT 中的函数来访问和控制。Pro/TOOLKIT 中两个最基本的概念就是对象和行为,即 Object 和 Action,在 Pro/TOOLKIT 中,每个 C 函数的命名约定为“Pro”+对象名+行为名,从而来完成一个特定类型对象的某个行为。一个 Pro/TOOLKIT 对象是一个定义完整、功能齐全的 C 结构,能够完成与该对象有关的行为,对象中包含了层次关系,能够反映出 Pro/ENGINEER 数据库的层次。对象有具体的,也有抽象的,而大多数对应的是具体的 Pro/E 数据库中的一个元素,如特征、面等等。每种对象都有一个标准的名称,由说明该对象含义的大写单词组成。例如:

Feature : 特征。

Surface : 曲面。

Solid : 利用零件和装配件的共性而创建的抽象对象。

Wcell : 加工装配件中的工件单元特征。

上面已经说过,Pro/TOOLKIT 为每个对象提供了结构体定义。对象中包含了层次关系,能够反映出 Pro/ENGINEER 数据库的层次。

下面的函数包含单一动词行为:

```
ProSolidRegenerate()
```

```
ProFeatureDelete()
```

但是，有些函数名要求包含多个对象类型，例如：

ProFeatureParentsGet()

ProWcellTypeGet()

行为动词表明了行为的类型，例如：

Get: 直接从 Pro/ENGINEER 数据库中读取信息。

Eval: 提供简单计算的结果。

Compute: 提供计算结果，该结果可能包含模型几何分析。

Pro/E 里的一些函数功能基本上都可以从字面上直接看出来，例如下面这些函数就可以从函数名中看出其用途：

ProEdgeLengthEval(): 边的长度的计算结果。

ProSurfaceAreaEval(): 曲面的面积计算结果。

ProSolidRayIntersectionCompute(): 实体截面计算。

ProSolidOutlineGet(): 获取实体轮廓线。

ProSolidOutlineCompute(): 对实体轮廓线进行计算分析。

Pro/TOOLKIT 中的函数的参数规定是：

(1) 第一个参数用于识别对象；

(2) 输入参数在输出参数之前。

每个 Pro/TOOLKIT 函数都有一个 ANSI 函数原型，特定的对象函数在头文件中都有原型，而且头文件名与对象名相同。例如，函数 ProEdgeLengthEval() 的原型在头文件“ProEdge.h”中。

在使用这些函数编程时，最好使用函数原型，所以在使用时必须注意检查在应用程序中是否包含了正确的头文件。

绝大部分 Pro/TOOLKIT 函数的返回类型是 ProError。ProError 为枚举类型，用不同的值表示各种常见情况。函数成功的正常值是 PRO_TK_NO_ERROR。函数失败的原因可能是实际问题，也可能是良性原因。

以下错误状态代表实际问题：

PRO_TK_BAD_INPUTS: 输入有误。

PRO_TK_OUT_OF_MEMORY: 内存不足。

PRO_TK_COMM_ERROR: 系统错误。

以下一些是良性原因：

PRO_TK_USER_ABORT: 用户放弃交互过程。

PRO_TK_E_NOT_FOUND: 操作的对象列表为空。

所以用户应当仔细检查函数的返回状态, 以确保获得正确结果。通常在头文件函数原型的注释中包含了可能的错误类型^[20]。

2.6 Pro/TOOLKIT 工作模式

Pro/TOOLKIT 有两种工作模式, 同步模式和异步模式。

由于异步模式很复杂, 而且一般在特殊情况下才被使用, 所以, 通常情况下, 尽量使用同步模式, 所以这里主要介绍一下同步模式。

在同步模式中, 比较标准的方法是使用动态连接库, 即 DLL, 首先编译 C 应用程序, 然后将之与 Pro/TOOLKIT 库连接, 生成一个对象库文件, 最后再连接到 Pro/ENGINEER 的可执行文件里, 这种方法就叫做 DLL 模式。另一种集成方法是多进程模式, 这种模式是首先利用应用程序代码, 生成独立的可执行文件, 该文件可在 Pro/ENGINEER 启动时运行, 也可以在启动后根据需要来运行, 作为 Pro/ENGINEER 的子程序。比较两种方法, DLL 模式下, 应用程序与 Pro/E 的信息交换是通过直接调用函数来实现的, 该模式性能很好; 而多进程模式下, 信息交换是由进程间消息系统完成, 它比 DLL 模式包含更多的交换过程, 不过它的优点在于: 无需将整个 Pro/ENGINEER 执行程序加载到源代码调试器中, 而能够用调试器运行 Pro/TOOLKIT 应用程序。

2.7 Pro/TOOLKIT 应用程序开发过程

Pro/TOOLKIT 应用程序的开发过程一般可以分以下几个步骤:

第一步, 当然是先根据所需的功能要求, 编写 C 语言的源程序。对于编程工具, 由于 Microsoft Visual C++ 的功能强大, 调试方便, 所以可以选用 VC 来编程。在编程过程中, 需遵守 Pro/ENGINEER 的编程规范, 可以尽量调用 Pro/TOOLKIT 提供的系统函数。

第二步, 程序完成后, 就要进行编译和连接。在不同的操作系统平台中, 用来编译和连接 Pro/TOOLKIT 程序的编译器选项和系统库是不一样的。可以根据 Pro/TOOLKIT 安装目录下的 makefile 示范文件来生成新的 makefile 文件, 从而来确保用以生成 Pro/TOOLKIT 应用程序的 makefile 文件的正确性。

第三步，对 Pro/TOOLKIT 应用程序进行注册。注册的目的是为了将该程序的相关信息提供给 Pro/ENGINEER。这一步也是很关键的一步。在程序运行时，Pro/ENGINEER 为了得到程序的相关信息，会寻找注册文件，注册文件实际上是一个很小的文本文件，一般应创建在应用程序所在的目录下，Pro/ENGINEER 按照下面的顺序来查找它的位置：

1. 在当前目录下的“protk.dat”文件。
2. 在 Pro/ENGINEER 系统的配置文件中包含的 PROTKDAT 项所指的文件。
3. 查找目录 <Pro/ENGINEER>/<MACHINE>/text/<LANGUAGE> 下的 protk.dat 文件。
4. 在目录<Pro/ENGINEER>/text 下的 protk.dat 文件。

在上面的步骤中，<Pro/ENGINEER>表示 Pro/E 的安装目录；<MACHINE>表示用以区别不同的机器类别的子目录；<LANGUAGE>表示 Pro/TOOLKIT 将使用的语言的名字，usascii 表示是英文。如果在搜索目录中含有多个注册文件，系统将全部找出，并运行所有的应用程序^{[22][23]}。

注册文件的每一行中包含有一项预先定义好的关键字。下面是一个 DLL 应用程序的标准注册文件：

```

name           ApplicationName
startup        dll
exec_file      <Pro/TOOLKIT>/<MACHINE>/obj/filename.dll
text_dir       TEXTLOADDIR
revision       18
end
    
```

在注册文件中，每一行意义如下：

- name-----为应用程序分配唯一的名字来作为应用程序的识别名称
- startup-----表示 Pro/E 和 Pro/TOOLKIT 应用程序通信的方法，当采用多进程模式时，该项值为 spawn**
- exec_file-----表示编译和连接后的应用程序。在 DLL 模式下，是动态连接库；在多进程模式下，是个可执行文件
- text_dir-----指出应用程序运行时所需要的菜单和消息文件所在的目录

revision-----指出用以建立 Pro/TOOLKIT 应用程序的版本

第四步, 运行程序, 在上面所有过程结束之后, 就可以运行运用程序了, 为了可以让开发者在不用重新启动 Pro/E 的情况下修改程序代码并重新测试程序, Pro/TOOLKIT 支持在 Pro/E 运行时停止和重启应用程序的功能。运行程序具体的方法为, 点击 PRO/E 主菜单 Utilities 里的 Auxiliary applications...项, 就会弹出如图 2-1 所示的对话框。

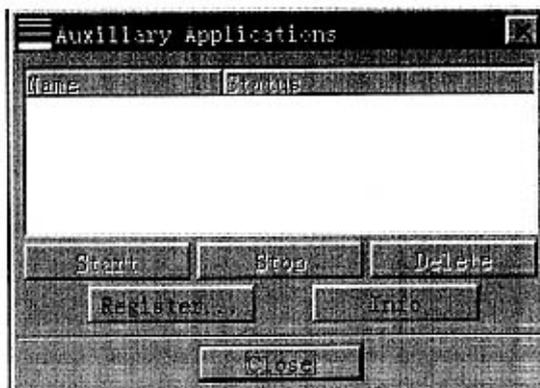


图 2-1 Auxiliary applications 对话框

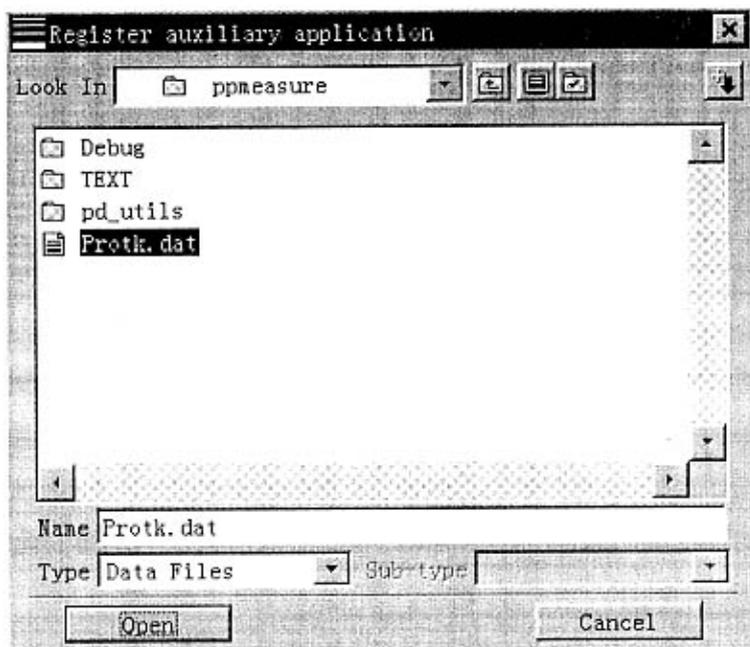


图 2-2 注册程序对话框

然后在对话框中单击 Register 按钮, 又会出现一个对话框, 如图 2-2 所示, 这个对话框就要求找出所编程序的注册文件 Protk.dat, 将之注册, 所以根据应用程序注册文件所存放的路径找到 Protk.dat 后, 将之打开, 就可以看到所编的程序名已经显示在图 2-2 所示的对话框的显示栏里, 只要点击它, 然后单击 START 按钮, 即可运行程序了。

2.8 PRO/E 二次开发的重要文件编写

其实, PRO/E 二次开发的首要问题是编写能够成功运行和完成功能的代码, 但是, 这个完成了后, 任务还远远没那么简单, 具体还有以下几个工作要做:

1. 编写 MAKEFILE 文件

编写 MAKEFILE 文件可以说是整个应用程序能否运行和执行成功的关键。利用 VC 建立一个工程, 工程类别为 makefile, 然后就开始编写后缀为 .mak 的文件, 这是个很复杂的过程, 主要就是在文件里指出该文件的名称和所要生成的程序的名称, 然后就是指明 PROTOOLKIT 的路径, 还有该程序所包含的一些头文件和库文件的路径等, 最后就是指出要编译的对象, 以及它们的路径, 以下就是一个 MAKEFILE 文件的样本:

```
# File Name
指明文件名;
MAKEFILENAME = make_install

# Machine Type
指明系统所用平台类型, 如果为 WIN9X, 则为 i486_win95, 若为 WIN2000,
则为 i486_winNT;
PRO_MACHINE_TYPE = i486_win95

# Executable names
生成的程序名
EXE = pt_install_test.exe
EXE_DLL = pt_install_test.dll

# Pro/Toolkit Source & Machine Loadpoint (EXTERNAL USE -
DEFAULT)
```

```

PROTOOL_SRC = ../..
PROTOOL_SYS = $(PROTOOL_SRC)/$(PRO_MACHINE_TYPE)
# Pro/Toolkit Source & Machine Loadpoint (PTC INTERNAL USE)
#PROTOOL_SRC = $(PTCSRC)/protoolkit
#PROTOOL_SYS = $(PTCSYS)
# Include File Paths
INCS      =      -I.      -I$(PROTOOL_SRC)/protk_appls/includes
-I$(PROTOOL_SRC)/includes
# Compiler Flags
CC = cl
MACH = -DPRO_MACHINE=29 -DPRO_OS=4
CCFLAGS = -Dhypot=_hypot -DMSB_LEFT -Dfar=ptc_far -Dhuge=p_huge
-Dnear=p_near -c -W2 -G4 -Za -D_X86_=1 -D_WSTUDIO_DEFINED
CFLAGS = $(CCFLAGS) $(INCS) $(MACH)
# Libraries (库文件)
PTCLIBS = $(PROTOOL_SYS)/obj/protoolkit.lib
PTCLIBS_DLL = $(PROTOOL_SYS)/obj/protk_dll.lib
LIBS = libc.lib kernel32.lib user32.lib wsock32.lib advapi32.lib
mpr.lib winspool.lib
# Object files(目标文件)
OBJS = TestInstall.obj TestError.obj TestRunmode.obj
UtilString.obj

# Linker
LINK = link
$(EXE) : $(OBJS) $(PTCLIBS)
    del /f $(EXE)
    @echo Start at `date`
    @echo PROTOOL_SRC = $(PROTOOL_SRC)
    @echo PROTOOL_SYS = $(PROTOOL_SYS)

```

```

$(LINK) /subsystem:console -out:$(EXE) /debug:none
/debugtype:coff /machine:i386 @<<longline.list
$(OBS) $(PTCLIBS) $(LIBS)
<<
@echo Finished at `date`
del /f $(OBS)
# Dll target
dll: $(EXE_DLL)
$(EXE_DLL) : $(OBS) $(PTCLIBS_DLL)
del /f $(EXE)
@echo Start at `date`
@echo PROTOOL_SRC = $(PROTOOL_SRC)
@echo PROTOOL_SYS = $(PROTOOL_SYS)
$(LINK) /subsystem:console -out:$(EXE_DLL) /debug:none
/debugtype:coff /machine:i386 /dll @<<longline.list
$(OBS) $(PTCLIBS_DLL) $(LIBS)
<<
@echo Finished at `date`
del /f $(OBS)
# object dependencies
PROTK_INST
$(PROTOOL_SRC)/protk_appls/pt_install_test/pt_install_src
PROTK_UTILS = $(PROTOOL_SRC)/protk_appls/pt_examples/pt_utils

TestInstall.obj: $(PROTK_INST)/TestInstall.c
$(CC) $(CFLAGS) $(PROTK_INST)/TestInstall.c
TestError.obj: $(PROTK_UTILS)/TestError.c
$(CC) $(CFLAGS) $(PROTK_UTILS)/TestError.c
TestRunmode.obj: $(PROTK_UTILS)/TestRunmode.c
$(CC) $(CFLAGS) $(PROTK_UTILS)/TestRunmode.c

```

```
UtilString.obj: $(PROTK_UTILS)/UtilString.c
    $(CC) $(CFLAGS) $(PROTK_UTILS)/UtilString.c
clean :
    del /f $(OBJS)
    del /f $(EXE)
    nmake -f $(MAKEFILENAME)

clean_dll :
    del /f $(OBJS)
    del /f $(EXE_DLL)
    nmake -f $(MAKEFILENAME) dll
```

在编写二次开发的 MAKEFILE 文件时，最好以这个样本为参考来编写，否则会很容易产生错误而导致程序无法运行^[24]。

2. 消息文件的编写

编写好 MAKEFILE 文件后，就必须通过记事本来编写程序中所出现的信息文件，消息文件中的内容主要是在 Pro/E 界面的消息窗口出现的信息提示或信息。这些消息提示或信息必须在程序代码中给出。只有编写了消息文件，运行程序后，PRO/E 的消息窗口才可以显示程序代码中所编写的消息提示，否则，将无法正常显示和运行程序。消息文件也有规定的编写格式，如果格式不正确，也会导致程序的无法正常运行。

3. 菜单文件的编写

除了编写消息文件，还需要编写程序开发出的菜单所对应的菜单文件，菜单文件内容主要是程序所添加到 Pro/E 系统里面的菜单名，如果是在 Pro/E 原有菜单里面加入一个新菜单，则其文件后缀为.AUX，如果加入的菜单里又含有下一级子菜单，则这个菜单文件后缀为.MNU。菜单文件的编写也有一定的格式规范。菜单文件必须编写正确，否则，也将导致程序无法正常运行^[25]。

因此，总的来说，编写一个能成功运行于 PRO/E 系统的开发程序，必须编写以下五个文件：

- 1) C++编写的应用程序代码。

- 2) 应用程序的注册文件 Protk. dat。
- 3) MAKEFILE 文件。
- 4) 消息文件 USERMSG。
- 5) 所添加菜单对应的菜单文件

这五个文件可以说缺一不可,它们通过 MAKEFILE 联系在一起,MAKEFILE 文件就相当于整个应用程序的大脑。

实际上,PRO/TOOLKIT 以前的版本叫做 PRO/DEVELOP,它提供给客户通过创建应用程序来与 PRO/E 相连接的能力,其中包含用 C 语言编写的函数库,用来创建独立的可执行程序,因为这些程序可以独立于 PRO/E 程序而存在,所以也叫做外部程序,它们能够调用和创建 PRO/E 的标准菜单和消息工具,也可以直接访问 PRO/E 数据库。

PRO/DEVELOP 使用户能够创建程序后能作为动态连接库来运行,这样就可以将 PRO/E 软件和独立的 PRO/DEVELOP 程序同时运行,以加快二次开发程序调用的速度。

前面已经详细介绍了如何去运行一个编译成功的二次开发程序,那么 PRO/E 是如何去与外部程序联系的呢?

当 PRO/E 系统中植入二次开发程序时,它首先调用最顶层的函数 USER_INITIALIZE(),这个函数在 PRO/E 显示开发出的菜单等信息和工具之前做了客户程序所需要的所有初始化。如果这个函数返回一个非零的值,这就意味着程序的初始化失败,那么 PRO/E 系统将不会与开发程序进行连接。

当客户从 Pro/E 系统退出时,它就会调用开发程序里的 USER_TERMINATE() 函数,那么,Pro/E 系统将停止客户程序的运行。

以上就是 Pro/ENGINEER 二次开发的整个过程,通过利用 Pro/E 二次开发来辅助或简化模具设计中的一些环节,可以大大提高模具设计的效率,实现用三维软件本身无法实行的重要功能,更好地指导设计和制造生产。

第3章 Pro/E 在弯管芯模中的开发与应用

无论是哪一种机器设备,几乎都有导管,用以输油、输气、输液等,而在飞机及其发动机上更占有相当重要的地位。各种导管品种之多、数量之大、形状之复杂,给导管的加工带来了不少的困难。利用 Pro/E 来对导管进行设计,并在 Pro/E 中利用开发出的模块对其工艺进行分析计算,就可以方便地得到加工导管地工艺参数,从而提高生产效率。

3.1 弯管工艺介绍

传统的弯管是采用成套弯曲模具进行弯曲的,弯管的步骤大致是:

1. 留出第 1 段直线段长度,并夹紧管子。
2. 弯曲。
3. 松开模具,取出管子,使模具复位。按管形标准样件在检验夹具上检查管形,并校正。
4. 按需要的形状,把管子放在模具内,并夹紧。
5. 弯曲。
6. 重复第 3 步,直至弯完管子为止。

由于飞机及其发动机上的导管很多,又要求尽可能节省导管所占空间,因此必须将导管弯曲成各种形状,以避免在有限的空间互相干涉。传统的弯管工艺都是按飞机或发动机定型投产后的导管(或管型)标准样件在弯曲夹具或弯管机上弯曲,在型面检验夹具上进行验收的。在弯制管子时完全凭借操作者的经验和熟练程度。

从常规弯管工艺稍加分析,就不难看出,管子的弯制主要可以归结为三个基本动作,即直线送进、空间转角、弯曲。当然,欲弯制一根管子,还需要一些弯管辅助动作,如夹模或压模的夹紧、松开,弯模的复位等。全部弯管动作就是这些简单机械动作的一定顺序的组合。

导管的几何形状是极其复杂的,制造公差要求很严格。这就要求管子或者制造管子的芯棒有较高的形状精度,也就要求生产过程中工艺参数控制准确,也就是三维金属圆杆弯曲工艺参数计算方法准确。与此同时,由于弯曲

变形的存在,在弯管的轴向有伸长,在截面有所变形,因此需要对弯曲工艺参数进行修正,以达到提高金属圆杆弯曲精度的目的。

3.2 弯管芯模工艺的数学模型和计算方法

为了更好地用结合 Pro/E 开发出芯模的工艺计算程序模块,就必须对芯模工艺的数学模型和计算方法有清楚明白的认识。这是用 Pro/E 对其进行二次开发的基础。

3.2.1 数学模型

弯杆的工艺参数有四个:弯曲角度,送进距离,旋转角度,旋转方向。为了说明这四个参数的计算方法,我们可以以两个弯的管形为例,建立一个数学模型。

如图所示,一段弯杆的直线段用其中心线表示,弯杆的起点 P_1 , 终点 P_4 , 相邻直线段延长线交于 P_2 , P_3 。将这四个点抽象出来,放在一个空间三维坐标系中,空间的四个点组成的三个线段,两个平面。在此,我们引入“矢量的概念”,记矢量 $\overrightarrow{P_1P_2}$, 矢量 $\overrightarrow{P_2P_3}$, 矢量 $\overrightarrow{P_3P_4}$, 面 $P_1P_2P_3$, 面 $P_2P_3P_4$ 。则这些矢量及几何量可以表示管形,如图 3-1 所示。

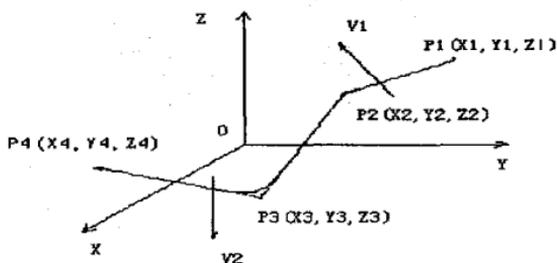


图 3-1 矢量管形示意图

如图所示,矢量 \overrightarrow{OP} 在空间的位置可以用它和三条互相垂直的坐标轴的正向间的夹角 α 、 β 、 γ 来确定。这些角的余弦。即 $\cos\alpha$ 、 $\cos\beta$ 、 $\cos\gamma$ 被称为矢量 \overrightarrow{OP} 的方向余弦。

在一般情况下,弯杆都是由许多直线段和圆弧段所组成,并且直线段比

圆弧段的数目多一段，而且弯杆的两端一定是直线段。

在该数学模型中，弯杆的工艺参数与空间矢量存在一定的对应关系。引入矢量的概念后，这些矢量即可表示管子的各段的空间位置关系。

1. 送进距离

它是线段的端点到线段与圆弧段的切点之间的距离，或者直线与两圆弧的切点之间的距离。对于弯管机而言，它是每一个弯之前的直线送进距离。

2. 空间转角

它是两个弯不在一个平面上，第二个弯所在平面与第一个弯所在平面的夹角。对弯管机而言，它是夹持管子的夹头的旋转角度。

3. 弯曲角度

它是第二条直线段中心线相对于第一条直线段中心线的夹角。对弯管机来说，它是弯管机的弯曲角度。

4. 旋转方向

相邻两个弯所在平面存在夹角，确定正向后，就有反向运动。对弯管机来说，即是夹持管子的夹头顺时针转动和逆时针转动的区别。

3.2.2 计算方法

1. 弯曲角度的计算

如上图，由以上对应关系可知，弯曲角度即空间向量 $\overrightarrow{P1P2}$ 与 $\overrightarrow{P2P3}$ 或者是空间向量 $\overrightarrow{P2P3}$ 与 $\overrightarrow{P3P4}$ 的夹角，而由空间解析几何的知识，我们知道，两矢量的数量积（即点积）可以计算两矢量的夹角。如图 3-2 所示。

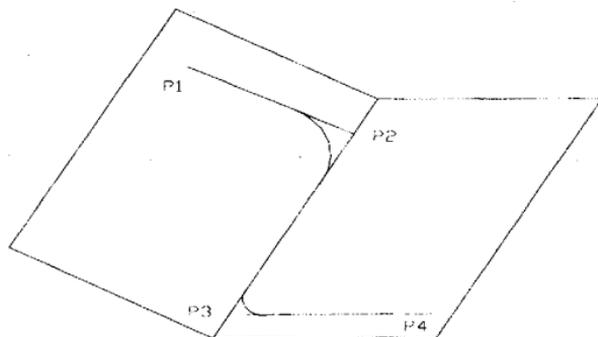


图 3-2 弯曲角度矢量示意图

空间四点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 、 $P_3(x_3, y_3, z_3)$ 、 $P_4(x_4, y_4, z_4)$ 构成的矢量 $\overline{P_1P_2}$ ，矢量 $\overline{P_2P_3}$ ，矢量 $\overline{P_3P_4}$ 的方向余弦为：

$$\cos a_1 = (x_2 - x_1) / |\overline{P_1P_2}|$$

$$\cos b_1 = (y_2 - y_1) / |\overline{P_1P_2}|$$

$$\cos c_1 = (z_2 - z_1) / |\overline{P_1P_2}|$$

$$\text{其中 } |\overline{P_1P_2}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

同理，矢量 $\overline{P_2P_3}$ ，矢量 $\overline{P_3P_4}$ 的方向余弦可求：

$$\cos a_2 = (x_3 - x_2) / |\overline{P_2P_3}|$$

$$\cos b_2 = (y_3 - y_2) / |\overline{P_2P_3}|$$

$$\cos c_2 = (z_3 - z_2) / |\overline{P_2P_3}|$$

$$\text{其中 } |\overline{P_2P_3}| = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (z_3 - z_2)^2}$$

$$\cos a_3 = (x_4 - x_3) / |\overline{P_3P_4}|$$

$$\cos b_3 = (y_4 - y_3) / |\overline{P_3P_4}|$$

$$\cos c_3 = (z_4 - z_3) / |\overline{P_3P_4}|$$

$$\text{其中 } |\overline{P_3P_4}| = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2 + (z_4 - z_3)^2}$$

矢量 $\overline{P_1P_2}$ ，矢量 $\overline{P_2P_3}$ 的数量积，也即 P_1P_2 与 P_2P_3 夹角余弦

$$\cos \theta_1 = \cos a_1 \times \cos a_2 + \cos b_1 \times \cos b_2 + \cos c_1 \times \cos c_2$$

则矢量 $\overline{P_1P_2}$ 与 $\overline{P_2P_3}$ 的夹角，也即弯曲角度 θ_1

$$\theta_1 = \arccos (\cos a_1 \times \cos a_2 + \cos b_1 \times \cos b_2 + \cos c_1 \times \cos c_2) \quad (3-1)$$

同理，矢量 $\overline{P_2P_3}$ 与 $\overline{P_3P_4}$ 夹角即弯曲角 θ_2 也可以求出。

2. 直线送进距离的计算

分析可知，弯管的直线送进距离由直线段及圆弧段组成。如图 3-3 所示。

一段弯杆由两个直线段 l_1, l_2 两个弧线段 A_1, A_2 组成。杆料从 P_1 点送进，第一次送进时，杆料从 P_1 点一直送进到 D_1 点，在 D_1 点处正好与弯模相切，然后从 D_1 点开始弯曲加工。

因此，第一段的送进距离为直线段 l_1 加上圆弧段 A_1 之和。

$$\text{直线段距离 } l_1 = |\overline{P_1P_2}| - |\overline{P_2E_1}| = |\overline{P_1P_2}| - R_1 \times \text{tg}(\theta_1/2)$$

$$\text{弧线段距离 } A_1 = R_1 \times \theta_1 \times 180 / \pi$$

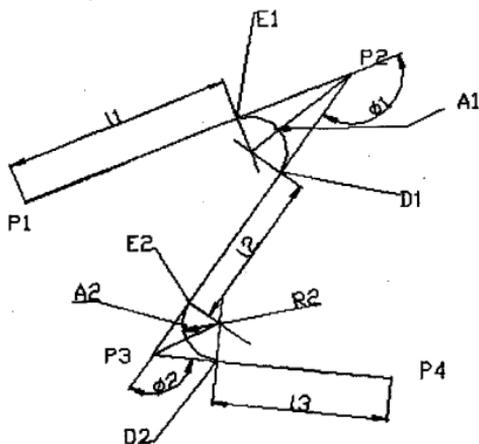


图 3-3 直线送进距离示意图

其中, θ_1 为 $\overline{P_1P_2}$ 与 $\overline{P_2P_3}$ 的夹角, 也即第一个弯的弯曲角度。

则送进距离为

$$S_1 = l_1 + A_1 = |P_1P_2| - R_1 \times \text{tg}(\theta_1/2) + R_1 \times \theta_1 \times 180/\pi \quad (3-2)$$

杆料继续送进, 直到 D_2 点为止, 则第二段的送进距离为直线段 l_2 加上圆弧段 A_2 之和。

而直线段距离 $l_2 = |P_2P_3| - |P_2D_1| - |P_3E_2| = |P_2P_3| - R_1 \times \text{tg}(\theta_1/2) - R_2 \times \text{tg}(\theta_2/2)$

弧线段距离 $A_2 = R_2 \times \theta_2 \times 180/\pi$

则送进距离为

$$S_2 = l_2 + A_2 = |P_2P_3| - R_1 \times \text{tg}(\theta_1/2) - R_2 \times \text{tg}(\theta_2/2) + R_2 \times \theta_2 \times 180/\pi \quad (3-3)$$

由此, 可以推导任一段的送进长度通式

$$S_i = l^i + A^i = |P^i P^{i+1}| - R^{i-1} \times \text{tg}(\theta^{i-1}/2) - R^i \times \text{tg}(\theta^i/2) + R^i \times \theta^i \times 180/\pi \quad (3-4)$$

3. 转动角度的计算

如图 3-4, 弯管的转动角度就是面 $P_1P_2P_3$ 与面 $P_2P_3P_4$ 的空间二面角, 也即面 $P_1P_2P_3$ 法向量与面 $P_2P_3P_4$ 法向量 $\overline{P_2V_1}$ 与 $\overline{P_3V_2}$ 之间的夹角。因而, 我们可

以求出两个面的法向量，再求两个向量的夹角。

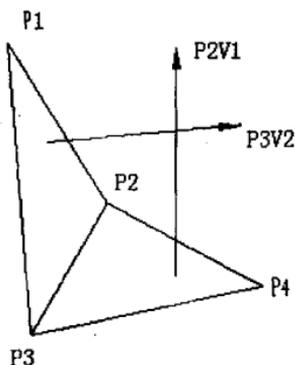


图 3-4 两个平面角度示意图

如上图所示，两矢量 $\overline{P_1P_2}$ 与 $\overline{P_2P_3}$ 构成的平面的法向量 $\overline{P_2V_1}$ 的方向余弦为：

$$\cos(a_1') = \cos\beta \cos c_2 - \cos\alpha \cos b_2$$

$$\cos(b_1') = \cos\alpha \cos a_2 - \cos\beta \cos c_2$$

$$\cos(c_1') = \cos\alpha \cos b_2 - \cos\beta \cos a_2$$

同理可以得到矢量 $\overline{P_2P_3}$ 与 $\overline{P_3P_4}$ 构成的平面的法向量 $\overline{P_3V_2}$ 的方向余弦 $\cos(a_2')$ ， $\cos(b_2')$ ， $\cos(c_2')$ 。

然后采用规格化的方法，可以求出 $\overline{P_2V_1}$ ， $\overline{P_3V_2}$ 的方向余弦

矢量 $\overline{P_2V_1}$ 的方向余弦为：

$$\cos(a_1'') = \cos(a_1') / \sqrt{\cos^2(a_1') + \cos^2(b_1') + \cos^2(c_1')}$$

$$\cos(b_1'') = \cos(b_1') / \sqrt{\cos^2(a_1') + \cos^2(b_1') + \cos^2(c_1')}$$

$$\cos(c_1'') = \cos(c_1') / \sqrt{\cos^2(a_1') + \cos^2(b_1') + \cos^2(c_1')}$$

同理也可以求出矢量 $\overline{P_3V_2}$ 的方向余弦为： $\cos(a_2'')$ ， $\cos(b_2'')$ ， $\cos(c_2'')$

空间转角即矢量 $\overline{P_2V_1}$ 与 $\overline{P_3V_2}$ 的夹角余弦为：

$$\cos\omega = \cos(\cos(a_1'') \times \cos(a_2'') + \cos(b_1'') \times \cos(b_2'') + \cos(c_1'') \times \cos(c_2''))$$

因此可以求出空间转角为：

$$\omega = \arccos(\cos(a_1'') \times \cos(a_2'') + \cos(b_1'') \times \cos(b_2'') + \cos(c_1'') \times \cos(c_2'')) \quad (3-5)$$

4. 空间转角的判断

如图所示, 在已建立的数学模型中, 可以将矢量 $\overline{P_2V_1}$ 移到 $\overline{P_3V_1}$, 这样构成了平面 $V_1'P_3V_2$, 该平面的法向量与 $\overline{P_3V_2}$ 之间的余弦的正负即可判断旋转方向。

平面 $V_1'P_3V_2$ 的法向量 $\overline{V_{xx}}$ 的方向余弦为:

$$\cos a_{xx} = \cos b_{1x} \times \cos c_{1x} - \cos c_{1x} \times \cos b_{1x}$$

$$\cos b_{xx} = \cos c_{1x} \times \cos a_{1x} - \cos a_{1x} \times \cos c_{1x}$$

$$\cos c_{xx} = \cos a_{1x} \times \cos b_{1x} - \cos b_{1x} \times \cos a_{1x}$$

进行规格化后可得:

$$\cos a_{xx} = \cos a_{1x} / (\cos a_{1x} \times \cos a_{1x} + \cos b_{1x} \times \cos b_{1x} + \cos c_{1x} \times \cos c_{1x})^{1/2}$$

$$\cos b_{xx} = \cos b_{1x} / (\cos a_{1x} \times \cos a_{1x} + \cos b_{1x} \times \cos b_{1x} + \cos c_{1x} \times \cos c_{1x})^{1/2}$$

$$\cos c_{xx} = \cos c_{1x} / (\cos a_{1x} \times \cos a_{1x} + \cos b_{1x} \times \cos b_{1x} + \cos c_{1x} \times \cos c_{1x})^{1/2}$$

这样, 矢量 $\overline{V_{xx}}$ 与矢量 $\overline{P_2P_3}$ 的夹角余弦为:

$$\cos \phi = \cos a_{xx} \times \cos a_2 + \cos b_{xx} \times \cos b_2 + \cos c_{xx} \times \cos c_2$$

$$\phi = \arccos(\cos a_{xx} \times \cos a_2 + \cos b_{xx} \times \cos b_2 + \cos c_{xx} \times \cos c_2) \quad (3-6)$$

令 $K = \cos \phi$, 则当 K 为正时, 旋转方向为顺时针;

当 K 为负时, 旋转方向为逆时针。

当 K 为零时, 旋转方向为逆时针或顺时针 ($\phi = 180^\circ$)

3.3 芯模受力分析及变形量计算

由于芯模在弯曲过程中, 会发生变形, 轴向会有伸长的趋势, 所以在实际加工过程中, 工艺参数必须考虑到这个伸长量, 在用 Pro/E 开发的模块中也必须对这个伸长量加以计算。

普通弯管机弯曲加工弯管时的工作情况如图 3-5 所示。根据受力分析, 弯杆在弯曲过程中, 变形主要发生在 BC 段。为了能分析求解弯杆伸长的变化规律, 规定弯杆只受纯弯矩作用, 因而可以假定弯杆 BC 段为如图所示的受纯弯作用。这样, 我们就可以对 BC 段梁进行力学分析, 求解弯杆弯曲的

轴线拉长量。

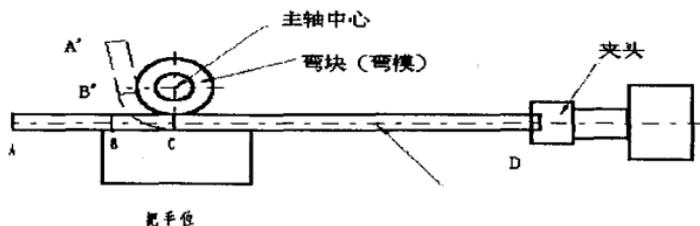


图 3-5 弯管加工情况示意图

根据受力分析，管子在弯曲过程中，直线段 AB、CD 以及弯模部分 BC 均发生弹塑性变形，弯模部分 BC 受纯弯曲作用。当弯曲加工完成后，由于受纯弯矩的作用，管子截面将发生变化，这将使得弯管的中性层位置发生移动，从而产生管子的伸长量。

板料弯曲变形的特点是内外区应变状态不同，并导致应力状态也不同。变形区的切向应变是绝对值最大的主应变，根据体积不变 $\varepsilon_\theta + \varepsilon_r + \varepsilon_b = 0$ 可知，在板料的厚向与宽向必须产生与切向应变符号相反的应变，外区的切向主应变 ε_θ 为拉应变，所以厚度方向为压应变 ε_r ，宽度方向也为压应变 ε_b ；内区的应变符号恰与外区相反。窄板弯曲由于宽度方向的变形不受约束，在弯曲变形区的横断面内产生畸变。

弯曲时变形区内的切向应力为绝对值最大的主应力，外区为拉应力 σ_θ ，内区为压应力 σ_θ 。在板料的厚度方向因外区板料在厚度方向产生压应变 ε_r ，因此材料有向曲率中心移动的趋势。愈靠近变形区外表面的材料因其切向拉应变 ε_θ 、厚向压应变 ε_r 愈大，故材料向曲率中心移动的趋势也愈大。这种不同步的材料转移，就在板厚方向产生了压应力 σ_r 。同时，在变形区的内区，板厚方向的拉应变 ε_r ，因受到外区材料向曲率中心移动的阻碍，也同样产生压应力 σ_r 。窄板弯曲时，由于宽度方向的材料可以自由变形，不受阻碍，故内外区的宽向应力均为零，即 $\sigma_b = 0$ 。

根据以上分析可知，窄板弯曲时是立体应变状态，平面应力状态。

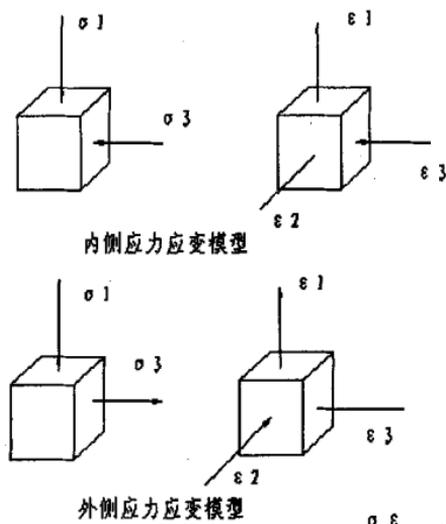


图 3-6 板料弯曲应力应变模型

1. 在切线方向上

应力应变为最大值，在其弯曲处，内侧应力为 $-\sigma_1$ ，应变为 $-\epsilon_1$ ；
外侧应力为 $+\sigma_1$ ，应变为 $+\epsilon_1$ 。

2. 在宽度方向上

弯曲处内侧应变为 $+\epsilon_2$ ，外侧应变为 $-\epsilon_2$ ，由于材料在宽度方向上，弯曲时，能自由变形，所以弯曲处内侧，外侧的应力都接近零。

3. 在厚度方向上

由于外层材料对内层材料产生挤压作用，因此，在弯曲处，内侧外侧的应力均为 $-\sigma_3$ 。其应变可根据下式求出：

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (3-7)$$

以上是窄板弯曲的力学模型，弯杆弯曲时，可以等效为窄板弯曲，所以我们可以借用窄板弯曲的力学模型。

下面先求管材加工弯曲时，其截面中性层位置的变化量，然后，再求其轴线伸长量。

在一般的计算中,假定金属材料拉伸与压缩产生同一变形抗力,应变大时,中性层向曲率中心方向移动,并且把金属机械特性看成是均一的,对拉伸与压缩采用相同的应力、应变图。

在相对半径在 5 以上的弯曲加工,应力状态可看成是单向的。而在弯杆弯曲时,应力状态也可以看成是单向的。

根据窄板弯曲的理论,弯杆弯曲处的微元受力分析于下:

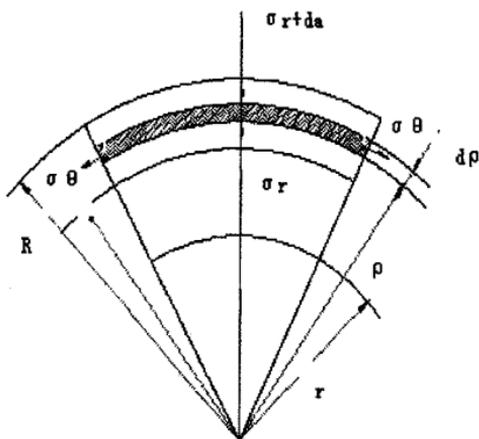


图 3-7 弯曲处微元受力分析图

现以外侧为例分析:

对于外部区域,横向宽度为一的无穷小部分的平衡方程式根据受力分析可以得到如下平衡式。

$$(\sigma_p + d\sigma_p) \times R_y d\theta - \sigma_p \times (R_y + dR_y) d\theta - 2 \times \sigma_\theta dR_y \times \sin(d\theta/2) = 0 \quad (3-8)$$

式中 R_y 以离开曲率中心的方向为正向。

由于 d 角度数值极小,故 $\sin(d\theta/2) \approx d\theta$

上式可简化为:

$$d\sigma_p = (\sigma_\theta + \sigma_p) dR_y / R_y \quad (3-9)$$

不考虑加工硬化时,即认为材料的屈服点 σ_s 与变形程度无关,在外区 σ_s 为拉应力, σ_r 为压应力,由屈雷斯加屈服准则可以写成:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_r = \sigma_s$$

将 (3-8) 中的数值代入 (3-9) 中, 得

$$d\sigma_p = \sigma_s dR_y / R_y \quad (3-10)$$

将式 (3-10) 积分, 由边界条件 $R_y=R$ 时, $\sigma_p=0$, 求得积分常数, 并得出径向应力

$$\sigma_p = -\sigma_s \ln(R/R_y)$$

以上 σ_p 的绝对值代入式 (3-9), 求得

$$\sigma_s = \sigma_s (1 - \ln(R/R_y))$$

同理, 在压缩区

$$\sigma_s = -\sigma_s \times (1 - \ln(R/R_y))$$

$$\sigma_p = -\sigma_s \times \ln(R/R_{内})$$

上式中, R , $R_{内}$ 分别代表弯管在弯曲处的最外层半径及最内层半径。

在中性层外, $\sigma_{p,压} = \sigma_{p,拉}$, 故可求出中性层的曲率半径如下:

$$r_{中} = (R \times R_{内})^{1/2}$$

$$\sigma_{p,压} = \sigma_{p,拉}$$

$$\Rightarrow \ln(R/R_y) = \ln(R_y / R_{内})$$

$$\Rightarrow R_y = \sqrt{R \times R_{内}}$$

已知弯曲半径 R_0 , 即可求出上式中的 r 应

$$R = R_0 + D/2$$

$$R_{内} = R_0 - D/2$$

$$r_{中} = \sqrt{R \times R_{内}} = \sqrt{(R_0 + D/2) \times (R_0 - D/2)} = \sqrt{R_0 \times R_0 - D \times D/4}$$

这样可求出该段管子的伸长量 l 为

$$\begin{aligned} l_s &= (R_0 - r_{中}) \times \theta \times \pi / 180 \\ &= (R_0 - \sqrt{R_0 \times R_0 - D \times D/4}) \times \theta \times \pi / 180 \end{aligned} \quad (3-11)$$

式中 θ 为纯弯成角度。

在小变形时, 可以认为应力中性层和应变中性层重合, 但在大变形时, 在弯曲过程中应力中性层与应变中性层都向曲率中心移动, 而不与中性层重合。应力中性层的移动必然在与其与中性层之间形成一个特殊的变形区, 在该变形区内的材料层先是受到切向压应力作用产生压缩变形, 应力中性层移动

后受到切向拉应力作用产生拉伸变形。则在此特殊变形区内，必然有一层材料在前后变形阶段所产生的压缩变形量和拉伸变形量绝对值相等。该材料层变形前后长度不变，故是应变中性层。显然，应变中性层向曲率中心移动量小于应力中性层向曲率中心移动量，其位置介于中心层与应力中性层之间[26]。

3.4 Pro/E 二次开发应用

在加工弯管芯模的过程中，传统的工艺参数计算方法就是直接利用上文提到的公式进行计算，然后再利用计算结果来指导加工，由于整个计算过程非常繁琐，计算也容易出错，因此，给加工带来了很大麻烦和困难。当然也可以将这些计算过程用通过编写程序做成一个模块，然后计算加工工艺参数时，直接运行程序，输入原始数据，就可以得到计算结果，这种方法目前也在逐步被采用，但是，这样的计算方法，仍然没有三维软件来的那么直观，因此，通过三维软件来处理这些三维的零件的一些数据，是最合适的。

在对弯管芯模工艺及加工原理有了足够理解后，就可以利用上面所分析的数学模型计算方法等在 Pro/E 中对上面的工艺计算模块进行开发了。

任何文字和数据都不如图像来的形象，在 PRO/E 中可以通过输入点的参数来得到管子的轨迹线，然后通过拾取这些轨迹线，就可以自动测量出所需的工艺参数，例如进给量和弯曲角度等。通过上面的分析，一条管子的轨迹线主要由直线和圆弧段组成，所以要计算每次的伸长量，只需计算一条直线段和相连的下一端圆弧段长度的和即可，而计算每个点处的弯曲角度，只需计算与其相邻的两段直线的夹角即可。例如，有一条弯管，其点的数据表如表 3-1 所示（单位：mm）。

表 3-1 点的数据示意表

点序号	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标	半径 R
点 1	0	0	0	
点 2	20	0	0	10
点 3	20	10	10	10
点 4	30	30	15	15
点 5	70	40	30	

此弯管由五个点组成，五个点形成点阵，就构成了其轨迹。根据上表的数据，进入 PRO/E 系统，通过 PRO/E 绘出其三维实体模型^[27]，如图 3-6 所示：

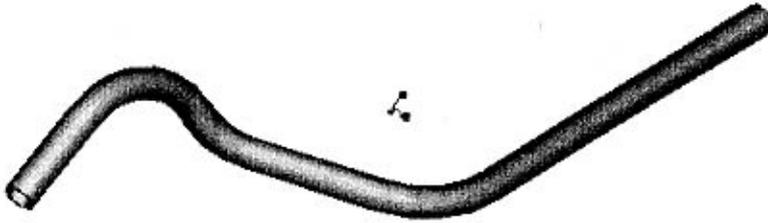


图 3-6 弯管三维实体图

其三维轨迹线，如图 3-7 所示：

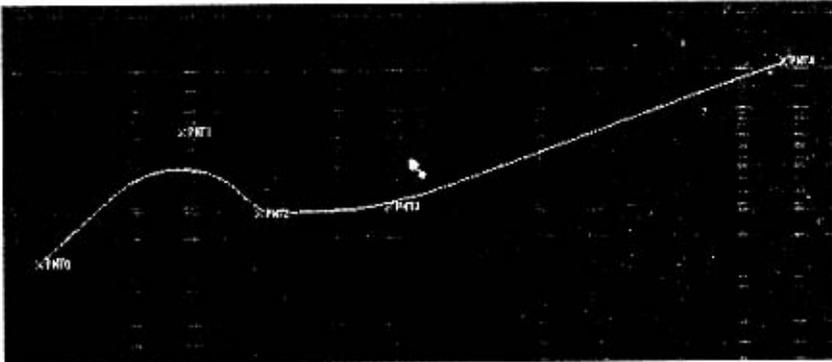


图 3-7 弯管三维轨迹线

由于 PRO/E 系统记录点的 ID 号时，是从 PNT0 开始，PNT1、PNT2、PNT3……依次记录，所以，从上图可以看出，要计算该弯管第一段进给量就必须得到从 PNT0 到 PNT1 之间的直线段和圆弧段的长度，第二段进给量就从下一段直线开始，为下一直线段和圆弧段长度之和，依次下去。

所以，可以通过在 PRO/E 里面编写程序，这样既直接得到进给量和弯曲角度，同时又将弯管的轨迹呈现出来。该程序利用 PRO/E 里的测量长度的函数计算出拾取的两段边的长度之和，并且可以直接将伸长量计算出来，并从中减去，得到最终的进给量。

为此，就需要在 PRO/E 环境里自定义几个命令菜单，用来执行这些操作，该命令菜单就挂在零件模式的菜单管理器的第一级菜单中，菜单名为 PARAMETER（参数），然后点击该菜单后就弹出下一级菜单，里面放置 FEED

LENGTH (进给量), BEND ANGLE (弯曲角度) 等二级菜单命令。为此, 首先必须编写菜单文件, 需编写两个菜单文件 PART 和 PARAMETER。

这两个菜单文件后缀不同, PART 文件后缀为 .AUX, PARAMETER 文件后缀为 .MNU。后缀为 .AUX 的菜单文件是用来编写 Pro/E 菜单管理器中本来存在的菜单项, 只不过要在这个菜单项中加入新的菜单按钮; 后缀为 .MNU 的菜单文件用来编写那些在 Pro/E 菜单管理器中没有的菜单项, 需要新加入的菜单项文件。当然这个菜单项里面需包含若干个新的菜单按钮。

菜单文件必须放在指定的目录里面, 否则 PRO/E 将无法载入。它必须放在 USASCII 目录下的 MENUS 文件夹里, 而 USASCII 目录又必须放在程序的 MAKEFILE 文件所指定的 TEXT 目录下, 而只要这其中哪一个环节出现问题, 程序都将无法载入所需要的菜单。因此, 放置菜单文件和编写菜单文件显得尤为重要^[28]。

菜单文件编写好后, 就可以考虑整个程序所需功能的代码编写了, 此程序主要使用的是 PRO/E 库函数里的测量函数和拾取函数, 整个程序的流程如图 3-8 所示。

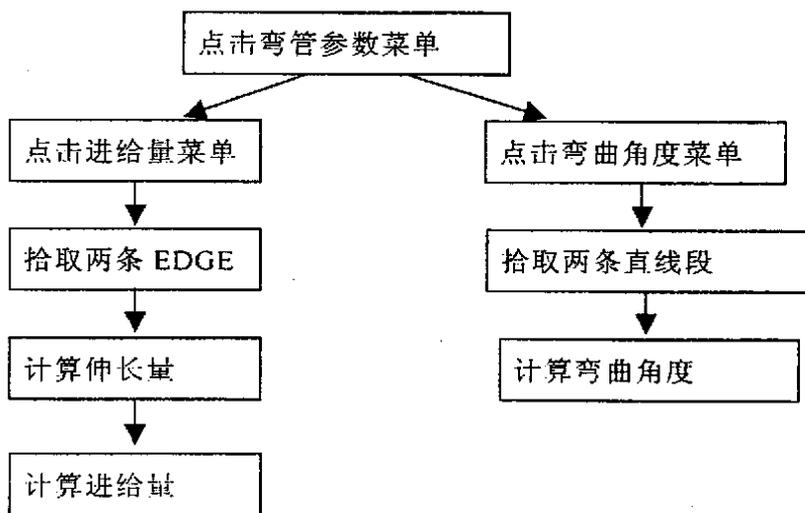


图 3-8 程序流程图

整个程序的过程并不是很难, 首先利用函数 ProSelect() 来拾取两条边, 然后通过函数 Prodb_measure() 来分别计算出两条边的长度, 这样, 将两个边长度相加, 然后通过得到的两个边长和其中一弧长的半径等参数得到计算

伸长量所需的参数，然后再代入式(3-11)中，将伸长量计算出来，最后就可以得到所须的进给量了。

而对于弯曲角度的计算也比较简单，同上面步骤一样，利用函数得到两个边后，直接利用量测函数将其夹角计算出来。

下面就是本程序核心部分的部分程序代码：

```
#include "prodevelop.h"
#include "user_wchar_t.h"
#include "ufiletypes.h"
#include "ugeom_eval.c"
static double theta=0.0;
static double todeg=180/3.1415926;
int user_length_measure()
{
    Prohandle object;
    int status;
    Select3d *sel1,*sel2;
    double length1,length2,length;
    FILE *fp;
    object=pro_get_current_object();
    promsg_print(MSGFIL,"USER Select one curve or edge to get the
length:");
    if (pro_select("edge,curve", 1, &sel1, 0, 0) <= 0)
    {
        return 0;
    }
    length1=prodb_measure(object,PRO_MEASURE_LENGTH,sel1,1,&st
atus);
    promsg_print(MSGFIL,"USER Select another curve or edge to get the
length:");
    if (pro_select("edge,curve", 1, &sel2, 0, 0) <= 0)
```

```

        {
            return 0;
        }
length2=prodb_measure(object, PRO_MEASURE_LENGTH, sel2, 1, &status);
length=length1+length2;
promsg_print(MSGFIL, "USER the length is %s:", &length);
fp=fopen("ttt.txt", "w");
fprintf(fp, "feed length: %s", length);
fclose(fp);
)
int user_bend_angle_measure()
{
    Prohandle object;
    int status;
    Select3d *sel;
    double angle;
    FILE *fp;
    object=pro_get_current_object();
    promsg_print(MSGFIL, "USER Select two curves or edges to get
the angle:");
    if (pro_select("edge, curve", 2, &sel, 0, 0) <= 0)
        {
            return 0;
        }
    angle=prodb_measure(object, PRO_MEASURE_ANGLE, sel, 2, &status);
);
promsg_print(MSGFIL, "USER the bend angle is %s:", &angle);
    fp=fopen("ttt.txt", "w");
    fprintf(fp, "bend angle: %s", angle);

```

```
fclose(fp);
}
```

上面的程序代码基本反映了整个工艺计算模块的编程思路^[29]。由于旋转角度在 Pro/E 中计算比较复杂，而且也不够直观，所以本程序模块没有把旋转角度的计算包含进去。

这个程序模块添加在 Pro/E 菜单管理器下的 Part 菜单里。通过 Pro/E 里面绘制出的弯管轨迹曲线，结合这个程序模块，就可以简洁明了地得到弯管芯模的主要工艺参数，对弯管制作的准确性有很大意义，而且可以提高设计和制造效率。程序最终运行结果如图 3-9，菜单 PARAMETER 添加在 PART 菜单下面，而 PARAMETER 下面又有几个子菜单项。通过点击这几个菜单项就可以实现上述相应的功能。

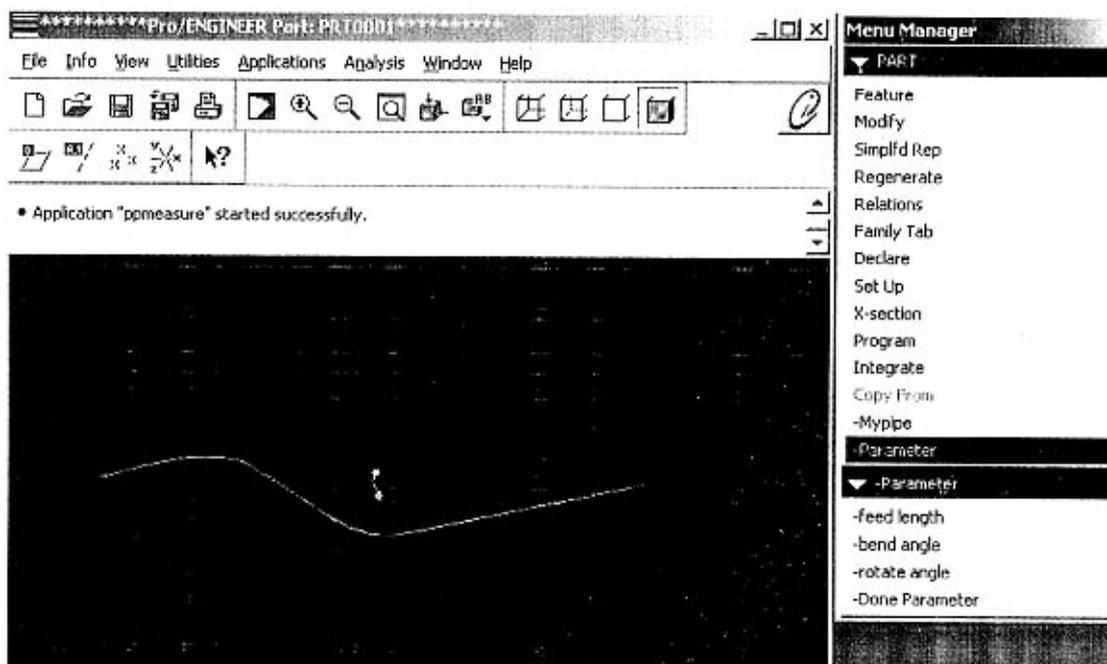


图 3-9 程序运行结果图

第4章 Pro/E在模具标准系列零件及其尺寸驱动中的开发应用

在模具设计中,对同一类型的零部件结构及尺寸方面都有相似之处,如果每一部件都进行一一绘制,会浪费大量的时间、人力、物力。特别是随着模具工业的快速发展,现在有些种类的模具已经有相应的标准件库了,这样在实际的设计中如果对这些标准件都重复绘制的话,会大大延长设计周期。因此,利用尺寸等参数来对类似零件进行驱动,就可以免去很多类似零件的设计,在利用三维软件设计模具时,利用尺寸直接驱动事先设计好的标准件样图就可以对设计者所需要的标准零件进行自动生成,从而提高设计效率^[30]。

4.1 模具零件的标准化

现在,各类模具都逐渐在形成标准,形成标准可以对我国目前的模具行业进行规范,方便进行设计、安装和维护,提高模具的设计生产效率,减少不必要的人力物力及其他资源方面的浪费,对整个模具行业有着非常重大的意义。而目前在几种常见模具中,只有塑料模有了统一的标准件库,这些标准件包括模架(主要是装配件),导柱、导套、螺栓螺钉等连接紧固件,其中的模架由模板、螺钉、导柱导套等零件组成,以不同的方式装配在一起。

4.2 塑料模具标准模架介绍

在模具CAD系统的建立研制过程中,对模具设计中的标准数据信息进行管理是一项重要的工作。模架是设计和制造塑料注射模的基础部件,目前已成为标准化、系列化的产品。为更好地辅助设计人员完成模架的选型与设计,避免低水平的重复劳动,可以通过建立统一的标准模架数据库来实现系统对模架数据的管理与共享^[31]。

我国对塑料注射模模架的国家标准分为《塑料注射模中小型模架》(GB/T 12556.1—90)和《大型模架》(GB/T 12555.1—90)两种,中小型模架的结构形式按品种型号分,即基本型4种,派生型9种,以定模、动模座板有肩、

无肩划分,又增加 13 个品种,共 26 个模架品种。以模板的每一宽度尺寸为系列主参数,各配以一组尺寸要素,组成 12 个尺寸系列。按照同品种、同系列所选用的模板厚度 A、B 和垫板高度 C 再来划分每一系列的规格。另外,模架全部采用 GB 4169.1-11-84《塑料注射模零件》中的 11 类标准零件组合而成。因此,标准模架的数据量很大。

对注塑模标准模架数据进行管理,一般有 3 种方式:

(1)用程序或数组的方式来管理标准数据。适合于在程序模块的内部管理私有的、静态的、不活跃的数据。这种方式编程容易,但管理的数据量较少,数据不易共享。

(2)以数据文件的方式管理标准数据。特点是实现方便,使用效率高,但数据冗余度大,缺乏独立性,各文件对数据没有统一的管理。用户需要对文件的物理存储细节有相当的了解,增加了用户使用数据的难度。而且数据的安全性、完整性都得不到保证。

(3)采用数据库的方式。在这一方式下,数据具有较高的独立性和较少的冗余,且集合中的文件具有相互关系。

根据模架库数据的具体情况,目前研究采用的是具有参数化和智能特征的模架数据库,这样不仅使数据具有共享、独立及集中管理的数据库管理方式的优点,而且充分利用参数化的优点,使用户能够方便地对设计数据进行添加和智能修改。标准模架库实际上是一个智能化的标准模架数据库系统。

在标准模架数据库里,存储着模架的标准信息,其中包括模架的 26 个品种,模架的宽度尺寸系列,不同规格的尺寸数据等。

在标准件数据库里,主要存储着组成模架的 GB 4169.111-84《塑料注射模零件》中的 11 类标准零件的有关数据。这些零件可以分为 4 类:推出零件(标准推杆、标准推板、标准垫块、标准支承板),支承与固定零件(标准模板、标准支承柱),导向零件(标准导套、导柱),定位与限位零件(限位钉、圆锥定位件)^[32]。

非标准模架数据库的建立是由于在生产实际应用中,标准模架的尺寸系列常常不能满足一些特定的生产要求,因而派生出了标准模架的修改类型,即非标准模架。非标准模架数据库的结构与标准模架数据库类似,不同之处是非标准模架数据库没有国家标准,而且记录了标准模架数据的修改内容,

根据这一数据特点,在使用过程中,该模架可以根据用户给出的参数进行智能化的非标准模架数据生成^[33]。

标准模架索引数据库的内容最为关键,模架的标准信息量虽然很大,但不同的数据信息有共同的特点,将这些特点总结归纳出来,就是模架的参数,管理模架参数和标准信息之间数据结构关系的数据就存放在标准模架索引数据库里。

由于标准注塑模模架的零件及结构有一定的规律,所以适宜采用参数化方法提取模架主参数。模架主参数是根据国标中对塑料模架的标记方法归纳得到的,具有一定的普遍性。

国标中的塑料模架标记方法是:

品种—系列—规格—导柱导套安装形式

如 A1—180L—15—Z2, 标准模架的选型依据上述 4 个方面,由用户给出这 4 个选型参数。

(1) 模架品种。标准模架有基本型 4 种和派生型 9 种,共 13 种。如例中的 A1。

(2) 模架尺寸系列。这一参数决定于模板的宽度和长度。如例中的参数 180L。

(3) 模架规格。主要给出动、定模板的厚度和垫块的厚度。如例中的参数 15。

(4) 导柱导套安装的形式。正装、反装各 3 种类型。如例中的参数 Z2。

从上面叙述可以看出,对于塑料模具的标准模架库,其组合方式和尺寸非常复杂了,图 4-2 下是两种标准模架的示意图:



图 4-2 大型模架示意图

上面两种属于大型模架，它们的不同点在于右边的比左边的多了一块垫板，但导柱导套的安装方式是相同的。除了大型模架，还有小型模架^[34]，如图 4-3、4-4 所示：

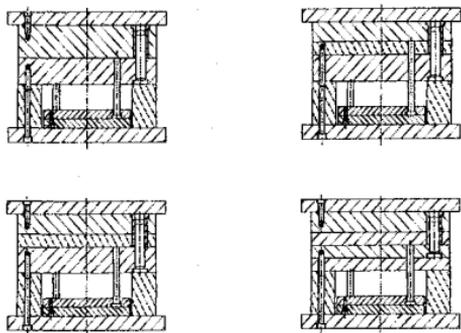


图 4-3 小型模架示意图 A

当然模架都是由螺钉、螺栓、导柱导套以及模板组成，因此在进行模具实体设计时，这些零件的实体建模就显得非常繁琐，本程序开发的目的是要将通过 Pro/E 的二次开发来减少这些需要反复调用的零件的建模过程，使每种系列的零件只需建模一次，就可以通过输入想要的尺寸参数来得到想调用的实体。

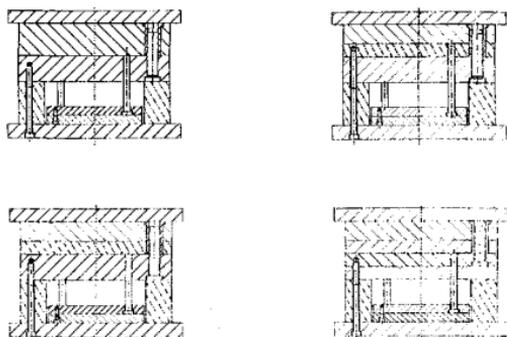


图 4-4 小型模架示意图 B

4.3 塑料模具标准件库

注塑模具包含大量的标准件和常用件,如模板,导柱导套等,建立注塑模 CAD 系统标准件库,可提高 CAD 系统的设计能力和设计速度。

标准件库建立主要考虑的因素:

- (1) 采用三维实体模型可提供零件几何形状的详细而完整的描述。
- (2) 采用参数化模型在零件拓扑形状基本不变的前提下,输入不同的尺寸参数,即可生成不同尺寸零件图形。
- (3) 采用开放式结构方便用户进行零件模型的引用、修改和删除等操作。

塑料注塑模具使用零件可划分为标准件、常用件、异型件三类,对于标准件、常用件,将它们的参数化实体模型预置于标准件库中,调用零件步骤为:

- (1) 按给定零件名称,从标准件库中找到所要模型,这是零件的基本模型。
- (2) 从该模型的派生零件中找到对应的零件名^[35]。

4.4 标准系列零件尺寸驱动程序的开发

本程序的出发点就是在于将同一系列的标准零件只需建立一个实体模型,然后就利用不同尺寸值来驱动所要变更的尺寸,从而来得到具有所需要尺寸的实体。这一方法类似于 Pro/E 里的 Family table,即族表功能,其方法也是将尺寸和特征提取出来,然后再派生出相似的零件实体^[23]。

而本程序所做的达到最终目的的工作流程图如图 4-5 所示。

参数化设计是指参数化模型的尺寸用对应的关系表示,而不用具体数值,改变一个参数值将使所有与它相关的尺寸自动变化。也就是说,先建立参数化模型,再通过调整其参数来改变几何形状,从而实现产品的精确造型^[36]。

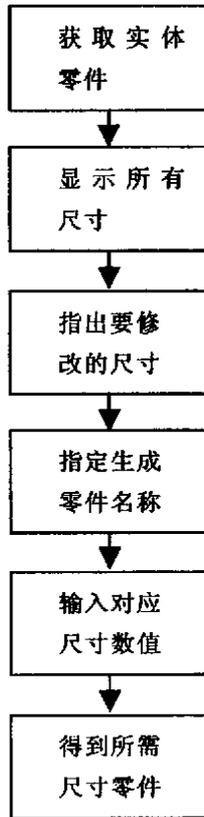


图 4-5 程序流程图

4.4.1 FAMILY TABLE 优缺点分析

标准模架都是由一些标准零件所组成的，在实际设计中，对这些标准零件虽然可以依表去查，但是也常常需要将其画出来，所以对这些标准零件，如果可以利用尺寸去驱动直接驱动它，就可以节省许多宝贵的设计时间。

在 Pro/E 中，有一个功能模块叫做 Family Table，就是族表的意思，它实际上也就是 Pro/E 中的参数化设计模块，它主要适用于那些外形基本一致，但尺寸不一样的系列零件的设计。它的主体思想就是利用一个原始零件作为派生零件，派生出一系列的示例零件。这些示例零件的相对于派生零件来说，主要改变的是几个尺寸值，或者是有没有某个派生零件中存在的特征，比如说孔特征、圆角特征、倒角特征等等。

这样，用户可以先建立一个实体零件，然后启动族表功能，加入要修改

的尺寸项或特征项，然后进入一个表格内，按照顺序依次输入示例零件的名称，要修改的尺寸项所对应的尺寸值，以及是否存在所加入的特征项等等，输入完一个零件信息后，可以再依照上面的步骤，再输入一个对应的示例零件信息……，通过这样的方法，就可以在表格中存入一系列的零件信息，然后通过打开派生零件后选中其中一个示例零件名来将其打开，这样系统就会依照表格上的尺寸值及信息自动生成该示例零件图。

因此，根据这种方法，可以利用 Pro/TOOLKIT，通过调用此功能模块里的函数来开发更加简便的适合自身特点的参数化设计程序。

因为在 Pro/E 系统中，其自身提供的族表表格并不理想，主要表现在尺寸项很容易混淆，尺寸值的输入上也存在很多不便，而且表格不够直观。因此，实际上，这个模块很少真正使用在实际的设计中。为什么这么说呢？我们可以来分析一下，为了方便，我们利用一个例子来进行具体说明。对于一个很简单的模板零件，假设我们要做几个这样的模板零件，它们的大致形状和尺寸参数如图 4-6 所示：

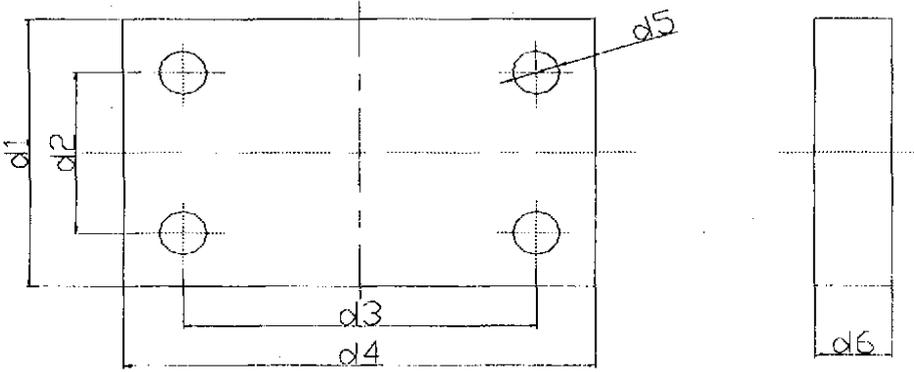


图 4-6 模板形状尺寸示意图

对于上面这个简化的模板零件，主要尺寸参数就是长，宽，厚度，以及孔距与孔径。如上图所示，其尺寸代号依次为 d1、d2、d3……，现在有一系列的类似模板，其名称及对应的尺寸参数如表 4-1 所示。（注：表中值不一定是标准模板尺寸值）

这样，对于表格中所列出的不同尺寸的零件，如果用一般方法设计，就要一个个设计，现采用 Family table 来将他们设计出来。

表 4-1 模板零件尺寸参数

模板名称	D1 单位: mm	D2 单位: mm	D3 单位: mm	D4 单位: mm	D5 单位: mm	D6 单位: mm
Part1	100	60	160	120	14	10
Part2	100	60	180	140	14	10
Part3	120	80	180	140	16	12
Part4	120	90	180	150	15	12
Part5	160	120	200	160	16	15
Part6	200	160	280	240	20	15
Part7	240	180	320	260	24	20
Part8	400	320	600	500	30	25

首先, 根据零件 Part1 的尺寸值, 利用 Pro/E 三维建模绘制出它的三维图形, 如图 4-7 所示:

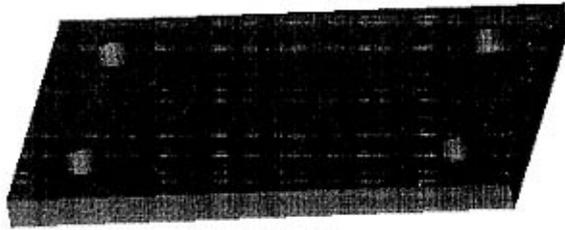


图 4-7 模板三维零件图

然后, 根据 Family table 中的步骤, 对这个零件使用族表功能, 拾取此零件所有的尺寸项后, 进入表格进行编辑, 就会弹出 Pro/E 系统自带的族表表格, 图 4-8 表示出了表格里的主要内容。

可以看出表中“NAME”项为 GENERIC 所对应的尺寸值即为表 4-1 中所对应的零件 Part1 的尺寸值, 但是尺寸代号就完全不对应了, 它是绘图时系统自动生成的尺寸代号, 要不是通过下面的实际尺寸值做参考, 就根本不知道此表中的尺寸代号对应的是表 4-1 中的哪一项了, 但是, 要是尺寸值多的时候, 而且“GENERIC”中有的尺寸值是完全相等的情况下呢? 那就完全

不知道到底表中的尺寸代号对应的是要修改的实际零件中的哪个值了。所以，在 Pro/E 的 Family table 中，尺寸值很容易混淆，因为它选取尺寸项的时候，是拾取的尺寸值，而在表中显示出来的却是尺寸项对应的代号。因此，当零件比较复杂，尺寸值比较多时，就很不方便了。

	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
R15	Pro/TABLE formatting characters will also be ignored.							
R16	Feature identifications are their internal ids.							
R17								
R18	Generic part name: MOBAN							
R19	Name	d1	d3	d0	d2	d6	d5	
R20								
R21	-----							
R22	GENERIC	100.0	60.0	160.0	120.0	14.0	10.0	
R23								
R24								
R25								
R26								

图 4-8 族表表格内容示意图

再来看看如何把其他零件输入进去以实现参数化。其实，方法很简单，只需在上表中对应的“NAME”项和尺寸代号项下面依次输入表 4-1 中的信息即可，输入后的表格内容如图 4-9 所示。

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
R19		Name	d1	d3	d0	d2	d6	d5	
R20									
R21		-----							
R22		GENERIC	100.0	60.0	160.0	120.0	14.0	10.0	
R23		PART2	100.0	60.0	180.0	140.0	14.0	10.0	
R24		PART3	120.0	80.0	180.0	140.0	16.0	12.0	
R25		PART4	120.0	90.0	180.0	150.0	15.0	12.0	
R26		PART5	160.0	120.0	200.0	160.0	16.0	15.0	
R27		PART6	200.0	160.0	280.0	240.0	20.0	15.0	
R28		PART7	240.0	180.0	320.0	260.0	24.0	20.0	
R29		PART8	400.0	320.0	600.0	500.0	30.0	25.0	
R30									

图 4-9 输入参数后的族表表格内容示意图

在输入尺寸值的时候，有时候会很不方便，如果表格宽度不够，尺寸值位数又比较多时，经常会看不到输入的尺寸值，而且必须在此表格的上方的—行输入栏里输入数值，要更改也必须在那里更改，因此这样的输入方式很不方便，而且这个表格其实一点都不直观，完全是纯文本的格式。

这一步完成后，要打开其中的某一个零件，如果直接是用 Pro/E 的 OPEN 命令打开，将会看到图 4—10 所示的一个对话框：

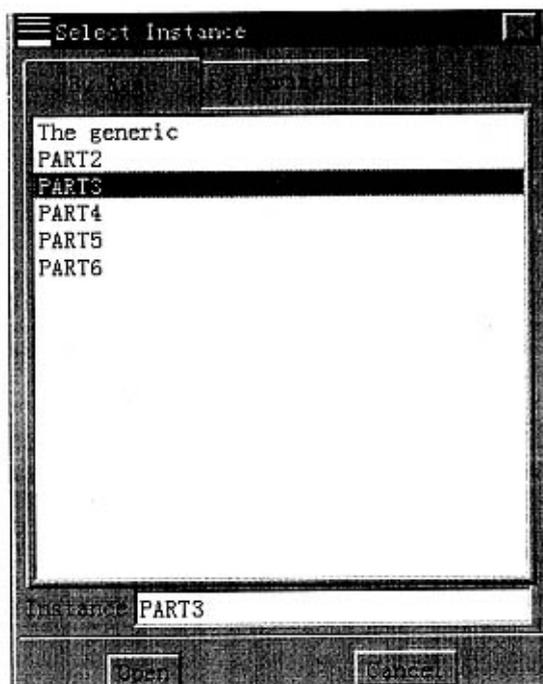


图 4—10 族表打开文件对话框

如果是从族表菜单里来打开，将又是一种方式，点击 Instance 命令即会弹出一个名为 Family tree 的选择框，列出了所有零件，以供选择。

综上所述，Pro/E 自带的族表功能虽然强大，但使用上并不好用，而且存在很多纰漏，特别是对尺寸值多的复杂零件，根本就不可能知道哪个尺寸是对应的哪个值。因此，要有一个完善的系统来改善它，因为在实际设计中，标准系列化零件是很多的，我们必须使用参数化设计的功能来实现对它们的尺寸驱动。

4.4.2 改进方法

其实,改善它的问题很简单,就是要避免尺寸值输入的混淆,然后改善输入的不方便问题。尺寸值易混淆主要原因在于在窗口看到的是尺寸值,可到了表格里后就变成了对应的尺寸代号了,而且这些代号是绘图时 Pro/E 默认生成的,我们根本无从知晓哪些代号对应哪一部分尺寸。因此,只要把窗口显示的尺寸值变成尺寸代号,使我们知道对应的是零件哪一个尺寸,在输入时再对应输入,就不会混淆了。表格输入不方便,加上又不够直观,因此,去除表格,以文本提示问答输入的方式来取代它。

4.4.3 开发程序

在 Pro/TOOLKIT 里,关于 Family Table 的库函数有很多,根据需要,通过调用这些库函数,可以编写出类似于族表功能的参数化程序。

Pro/TOOLKIT 中,尺寸的显示模式有两种,一种是显示尺寸值,另一种显示代号,它们的参数分别是 PRO_DIM_NUMERIC 和 PRO_DIM_SYMBOLIC,可以用两个函数来调用他们, `pro_get_value_disp_mode()` 和 `pro_set_value_disp_mode()`,前者是得到尺寸的显示模式函数,后者是设置尺寸的显示模式函数^[37]。因此,通过这一关键点,编写程序代码,植入 Pro/E 中,就可以形成一个新的功能块,此功能块改善了 Pro/E 的族表功能,使设计者用起来更方便。

程序代码编写的指导思想就是上文分析的 FAMILY TABLE 的优缺点和改进方法,根据所分析出的结果,编写实现下述功能的程序:通过菜单选择要改变的尺寸参数时,屏幕上显示出尺寸的代号而不是尺寸值,然后记录下这些尺寸代号,程序将把这些尺寸代号依次记忆下来,当要输入对应的零件参数时,程序就会根据记忆的代号,依次提示用户输入对应于尺寸代号的尺寸值,然后用新的尺寸值来驱动零件。

在程序代码编写完后,根据 Pro/E 开发的方式和特点,编写 MAKEFILE 文件,对应的菜单文件和消息文件。然后在 VC 环境下运行程序,得到动态连接库文件,就可以植入 Pro/E 中,形成新的程序模块了。程序运行的结果及新加入的菜单状况见图 4-11 所示。

图中显示了通过点击添加尺寸的菜单项来将要改动的模板零件的尺寸

加入尺寸序列里的状态。

Indicate two locations to define a box for the zoom area.

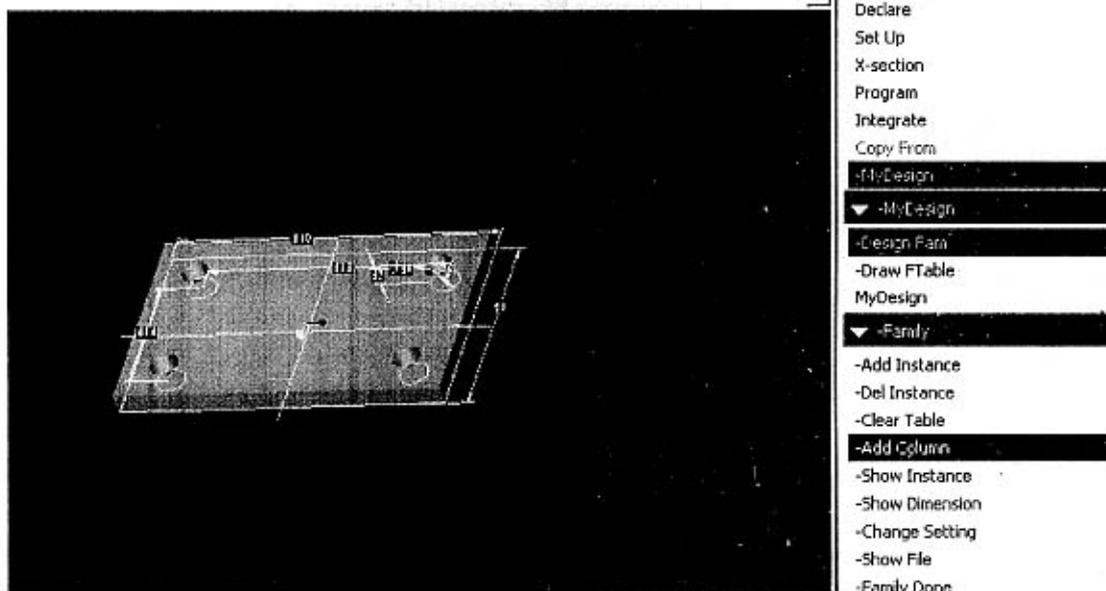


图 4-11 程序运行结果图

第 5 章 Pro/E 在虚拟装配技术中的应用研究

5.1 模具装配 CAD 概述

模具的装配是一个很复杂的过程，很多地方都可能发生干涉，而且模具本身的精度也比一般装配精度要高，因此，装配的正确与否和精确程度，直接影响到模具的质量^[38]。

正是因为在一套模具制作的过程中，模具的装配是一个至关重要的环节，在设计阶段，装配设计的优劣，也直接影响到模具制造的顺利与否。所以在 CAD 中，将模具的装配设计好，为后期实际装配打好基础，是非常重要的。

早期的设计中，一般使用的是手工绘制平面装配图，后来随着电脑软件业的发展，开始使用电脑二维绘图软件来绘制，但是这些装配图都有一个最大的缺点就在于设计绘制等工程量大，而且不够直观。设计人员往往先要在脑海中将设计的实体一一转换成二维视图，然后再进行绘制，这其中已经有了一道三维到二维的转换，当实际装配时，技术工人又要花大量时间去将这些二维图在脑海中一一转换成三维实体，然后再利用这些想象中的三维图去指导实际的装配。所以，这样经过二次转换，工时耗费了很多，可效果并不见得很好。

三维软件的出现，很好地改变了这一不足之处。现在设计人员只需要将三维零件按照自己的设计意图装配成三维实体，技术工人装配时直接去读解实体，就比以前的方式更轻松，效果也更好。即使要用到二维图，也只需要在三维图里面直接转换过来即可。省去了大量的时间，大大提高了设计生产效率。

Pro/E 软件的装配功能非常强大。它能够通过定义约束将零件按照所希望的方式装配在一起，最终将设计出的装配体真实地呈现出来。下面是一个导弹二级舵面的零件实体图，如图 5-1 所示：

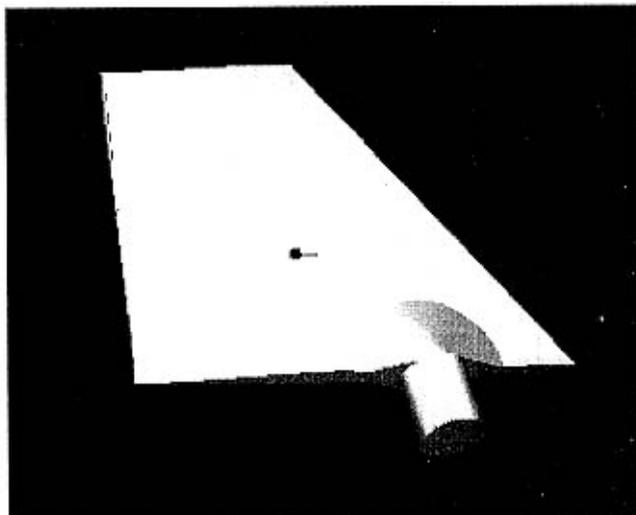


图 5-1 零件实体图

而通过对此零件的模具进行设计，主要是运用 pro/E 的模具设计模块来通过反求直接得到其型腔零件，此模具的主体成型部分的装配图如下图 5-2 所示

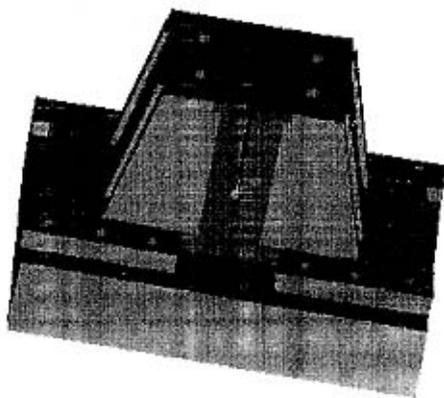


图 5-2 模具成型部分三维图

再加上一些模板等零件后，最后得到的三维模具装配实体图如图 5-3 所示：

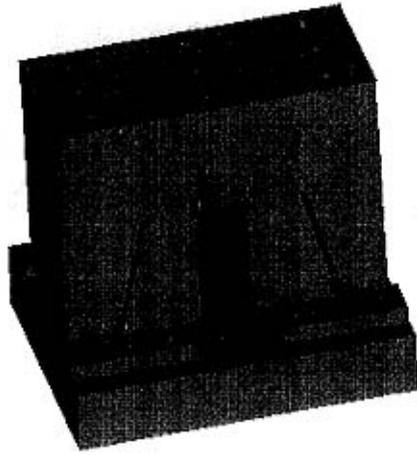


图 5-3 模具装配实体图

在 Pro/E 中，还可以生成爆炸图，来看组成装配体的各零件。可以了解到组成零件的多少，装配的复杂程度等等。

5.2 虚拟装配技术介绍

近年来，世界制造业市场的竞争日趋激烈，为了适应变化迅速的市场需求，产品研制周期、质量、成本、服务是每一个现代企业必须面对的问题。近 20 年来的实践证明，将信息技术应用于新产品研制以及实施途径的改造，是现代化企业生存、发展的必由之路。同时，人们逐步认识到先进的产品研制方法、手段以及实施途径，实际上是产品研制质量、成本、设计周期等方面最有利的保证。以波音公司为例，在数字化代表产品——波音 777 的展示中，不像以往那样重点宣传新型飞机本身性能如何优越，而是强调他们充分利用数字化研制技术以及产品研发人员的重新编队等方面。波音 777 飞机项目顺利完成的关键是依赖三维数字化设计与综合设计队伍（238 个 Team）的有效实施，保证飞机设计、装配、测试以及试飞均在计算机上完成。研制周期从过去的 8 年时间缩减到 5 年，其中虚拟装配的工程思想在研制过程中发挥了巨大的作用^[39]。

一、虚拟装配的定义

“虚拟装配”（Virtual Assembly）是产品数字化定义中的一个重要环

节,在虚拟技术领域和仿真领域中得到了广泛的应用研究。到底什么是虚拟装配?它的内涵是什么?这些至今仍然是人们讨论的问题。很多人曾经为虚拟装配进行定义,比较有代表性的有两个。

(1)虚拟装配是一种零件模型按约束关系进行重新定位的过程,是有效分析产品设计合理性的一种手段。该定义强调虚拟装配技术是一种模型重新进行定位、分析过程。

(2)虚拟装配是根据产品设计的形状特性、精度特性,真实地模拟产品三维装配过程,并允许用户以交互方式控制产品的三维真实模拟装配过程,以检验产品的可装配性。该定义着眼于产品物理装配过程的仿真过程,体现的思想也是一种分析过程。

显然,上述定义强调的方面是不同的,但是作为一项新概念、新技术的提出与实施,必须与具体的行业设计特性相结合才具有实际的意义,才能具有真正的内涵。因此,结合模具研制的特点,给出如下的定义:虚拟装配是在计算机上完成零部件的实体造型,进行计算机装配、干涉分析等多次协调的设计过程,并通过统一的产品数据管理,实现三维设计过程与模具零部件制造、装配过程的高度统一。虚拟装配技术在机械及模具行业的应用研究中,是一种全新的设计概念,它为机械设备研制提供了一种新的设计方法与实施途径,它的成功依赖于对机械设备总体设计进程的控制。同时,机械零部件模型数据的合理流动与彼此共享是实现虚拟装配技术的基础。

在一套机械设备的研制中,虚拟装配包括设计过程、过程控制和装配仿真三部分。

二、虚拟装配基本设计思想及内涵

1. 以设计为中心的虚拟装配

以设计为中心的虚拟装配(Design-Centered Virtual Assembly)是指在产品三维数字化定义应用于产品研制过程中,结合产品研制的具体情况,突出以设计为核心的应用思想,这表现在以下三个层次。

(1)面向装配设计(DFA) 产品研制过程是一项复杂的跨学科、跨部门的系统工程,需要在产品研制初期即设计阶段进行总体的协调,主要是对产品协同工作进程的可行性与合理性分析,并且进行产品主体结构物理装配方案评价。传统的设计过程与装配过程严重脱节,需要采用面向装配设计

(DFA)方法,即在设计初期把产品设计过程与制造装配过程有机结合,从设计的角度来保证产品的可装配性。引入面向产品装配过程的设计思想,使设计的产品具有良好的结构,能高效地进行物理装配,能在产品研制初期使设计部门与制造部门之间更有效地协同工作^[40]。

(2) 自顶向下(Top-Down)的并行产品设计(CPD) 基于并行产品设计的装配技术支持自顶向下的设计方法,通过自顶向下的并行产品设计可以分层次地建立统一的产品动态电子样机。

并行产品设计是对产品及其相关过程集成、并行地进行设计,强调开发人员从一开始就考虑产品从概念设计直至消亡的整个生命周期里的所有相关因素的影响,把一切可能产生的错误和矛盾尽可能及早发现,以缩短产品开发周期,降低产品成本,提高产品质量。并行产品设计重点是多个产品开发组(Integrated Product Team,简称IPT)协同地并行设计,要求分布在不同地点、不同部门的产品设计工程师突出以产品为核心的设计思想,从不同角度、不同需求出发进行并行设计。

(3) 与 Master Model 相关的可制造性设计和可装配性设计 产品研制不同阶段的主模型(Master Model)提供了一个面向设计群体的装配设计环境,使得设计群体中每个成员的设计从产品设计的开始就被有效地控制在最终产品可装配的范围之内,并且实现突出以产品为核心的设计思想,保证产品设计工程师的工作与整个产品的进展过程相关联,部件模型的变化将只反映到相应的装配部件上,从而保证了模型数据的集成性,避免了设计工作的重复。同时,产品研制是多部门的协同工作过程,主厂与辅助厂的合作往往受到各个企业的生产条件等方面的限制,结合各个企业的可生产能力和生产特性,改进产品设计模型的可制造性、可装配性,减少零部件模型的数量和特殊类型,减少材料种类,使用标准化、模块化的零部件,是非常必要的。以不同阶段的 Master Model 为核心,可以保证产品研制的不同阶段数据结构完整一致,保证产品研制的各个部门协同工作,实现 CAD/CAM/CAE 系统的高度集成,有效地提高产品可制造性和可装配性。

5.3 以仿真为中心的虚拟装配

以仿真为中心的虚拟装配(Simulate-Centered Virtual Assembly)

是在产品装配设计模型中融入仿真技术,并以此来评估和优化装配过程。其主要目标是评价产品可装配性。

(1) 优化装配过程 目的是使产品能适应当地具体情况,合理划分成装配单元,使装配单元能并行地进行装配。

(2) 可装配性评价 主要是评价产品装配的相对难易程度,计算装配费用,并以此决定产品设计是否需要修改。

虚拟装配不仅可以建立虚拟的真实产品模型,同时也可解决产品装配后的零件间静态干涉的问题,装配图的爆炸图表示和模拟视窗功能。

5.4 模具的虚拟装配技术

正如上述,随着计算机技术、CAD 技术的发展,以及虚拟技术在 CAD 中的应用,虚拟装配技术得到了产生和发展。目前,虚拟装配所采用的是“引用”(或称为“借用”)方法,所谓“引用”,指在实现模型装配时,通过记忆零部件在装配模型中的各自位置,且在需要时才装入组件,而不是将所有组件全部真实送入装配模型。组件送入装配模型后,装配模型记录的是组件的最新版本(而不是过时版本),当零部件修改后,装配模型会自动地更新。这样,既节省了大量的工作,也为“并行工程”的开展提供了技术基础,装配模型所引用的各零部件可以储存于各用户的计算机、中心文件服务器或可通过网络的任何地方,使得团队协同作业(Team Work)成为可能。

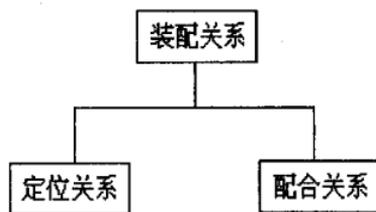


图 5-4 装配关系图

尽管模具产品的装配关系繁杂各异,但在装配形式上,仅有位置和配合

两种基本形式。通过定位关系描述零部件之间的空间位置关系和配合关系见图 5-4,如平面贴合、平面对齐、柱面贴合、点面接触等。它描述零部件之间直接的相互关联关系。配合关系分为刚性和弹性两种。

5.5 基于装配约束的模具设计

产品虚拟装配中,装配关系的实现表现为配合约束。在装配时,零件分为两种:一种是基础件,在装配过程中有一个零件是固定不动的,称之为基础件,装配中它不移动也不转动;其余零件,在装配过程中既移动也转动,称之为浮动件。浮动件的运动表现为六个自由度:3个移动,3个转动。可采用贴合、齐平和定向(定角度)三种方式约束相互配合的零件约束。装配约束表现形式有面对面,线对线,点对点等,并通过面对面(限制两个转动和一个移动);面对点(限制一个移动);线对线(限制一个转动两个移动);线对点和点对点(限制两个移动)的约束实现。

在用户进行模仿或改造或创新设计中,利用造型模块所提供的造型工具(拉伸、旋转、扫描、放样等)实体零/部件,或引用图库中已有的零部件,通过所提供的装配约束/装配关系描述(配合、表面齐平、对准度、插入)得到装配体。今后用户可根据需要,通过编辑装配约束,即可得到更改后的产品装配图。而当装配关系和装配约束保持不变,而改变零件的结构和形状尺寸时,产品装配不发生变化。同样,用户可以改变装配约束描述,很快地得到产品爆炸图。

基于装配约束的产品设计,支持自顶向下和自底向上两种装配设计方法,确保在设计群体中每个成员的设计从产品设计开始,就被有效地控制在最终产品可装配范围内,从而减少了设计过程中的重复现象,缩短了产品的开发周期。

基于虚拟装配的思想,单单通过装配约束来设计产品,是不够的,通过仿真运动等方式来对装配件进行移动,模拟零件在装配件中的实际运动,可以帮助我们对其运动进行分析,了解装配件中存在的干涉等等问题,从而提高装配的成功系数。

5.6 Pro/E 中坐标系及其转换

在虚拟装配过程中,要对装配体内的成员进行控制,首先要对 Pro/E 里的坐标系及其转换有足够的了解和认识,一般来说,Pro/E 中的坐标系统分为如下四种:

1. 模型坐标系。
2. 屏幕坐标系。
3. 窗口坐标系。
4. 绘图坐标系。

下面就对每种坐标系统进行简单介绍。

模型坐标系是用来描述 Pro/E 中模型的几何状态的三维笛卡儿坐标系统。在一个零件里,模型坐标系描述的是边和面的几何状态,而在一个装配件中,它则代表装配元件的位置和方向。

在 Pro/E 中,用户可以通过选择默认的选项来创建一个参考坐标系来显示模型坐标系统,在模型坐标系中测量的距离跟用户直接看到的尺寸值是相关的。

屏幕坐标系是用来描述在 Pro/E 界面窗口中的位置的二维坐标系统。当用户缩放或转动视角时,屏幕坐标系跟随模型的显示而变化,所以在模型中的一个特定点总是对应着同一个屏幕坐标,这种映射关系只有当视角方向改变时才发生改变。

屏幕坐标的表达方法与一般的二维坐标表达方法一样,在屏幕默认的窗口的左下角点表示为(0, 0),而在右上角点表示为(1000, 864)。屏幕坐标常被用在一些函数里面,这些函数包括图形函数,鼠标输入函数,和所有的图形绘制函数。

窗口坐标系统和屏幕坐标系统相似,只是它不受视角缩放和转动的影响。当一个模型最初显示在窗口中时,或视角缩放转动以及重置命令被用时,屏幕坐标和窗口坐标是完全一样的。

只有当需要考虑缩放和转动——比如说,想知道模型中的某个点是否在窗口内可见,或者想要在窗口的某个位置写文本——这类情况下才需要用到窗口坐标。

绘图坐标系统是用来描述在绘图状态中相对于左下角的某个位置坐标的二维坐标系统，它以绘图单位来计量，比如说，在以英寸来表示绘图版式中的单位时，右上角点的坐标用绘图坐标来表示是 (11, 8.5)。因此，可以说，绘图坐标与屏幕坐标存在着一种比例关系。

最后要提到的是在装配体中的坐标系统。每一个装配体都有它自己的坐标系统，用来描述装配元件、子装配体和装配体中创建的基准特征的位置和方向。

上面所提到的就是 Pro/E 中用到的一些坐标系统，这些坐标看上去似乎简单，实际上，它们之间的关系很复杂，特别是转换关系。因为所有的坐标系统在 Pro/TOOLKIT 中都被作为三维的来处理，所以，在 C 语言中，一个点一般是这样来表示：

```
double pnt[3];
```

在一个二维坐标系统中，数组的第三项可以被忽略。而两种坐标系统之间的转换用下面的 4X4 的矩阵来表示：

```
double transform[4][4];
```

5.7 Pro/TOOLKIT 中的装配定义和装配控制

5.7.1 装配定义

一个装配体是由一系列的装配元件所组成的，这些装配元件在一起组成一个装配清单，在 Pro/E 的二次开发过程中，一个装配元件在 PRO/TOOLKIT 工具箱里被称作是一个“成员”，当然，“成员”也可以是一个单个的零件，也可以是一个装配体，每一个“成员”在 PRO/TOOLKIT 里面都有着自己独一无二的标识符——成员 ID，这些标识符是整数型的，它们从整数 1 开始被分配给每一个成员，每个成员在一个装配体里对应着一个成员 ID，同时，每个成员 ID 只指向唯一一个装配成员。

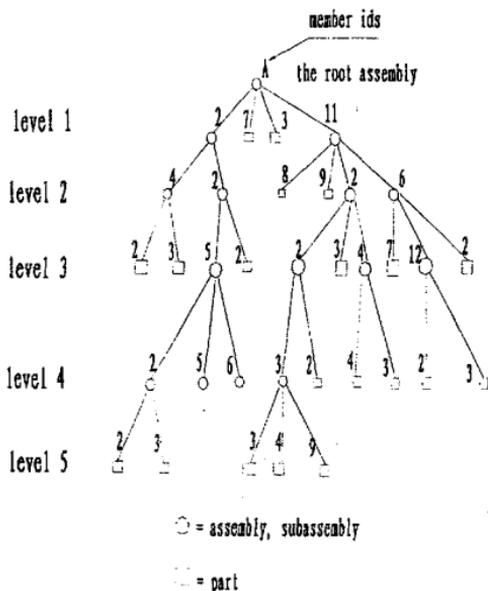


图 5-5 装配树示意图

在二次开发中，PRO/TOOLKIT 里面很多库函数需要在一个装配树里的多级装配层下去识别一个装配成员，为了成功地实现这一点，仅仅知道一个成员的名字或得到它的目标句柄（OBJECT HANDLE）是不够的，因为一个模型实体可能不止一次地出现在一个装配体里，也就是说一个装配体可能有多个地方调用了这个装配成员。如果仅仅知道模型实体的名字，却无法知道它究竟是多个同名的装配成员中的哪一个。因此，这些库函数就使用了一个“成员 ID 表”（member identifier table），这个表就记录了代表从装配根目录一直到这个装配成员的路径的成员 ID 结果。整个装配目录树见图 5-5 所示。

通过分析上面的装配树，要真正理解成员与装配树间的关系是不难的。

例如，结构体 `Select3D`，它在函数 `pro_select()` 里用来做为一个输出参数，在函数 `pro_show_select()` 里用来作为输入参数，这个结构体就本身就包含两个结构域：

```
int memb_id_tab[];
int memb_num;
```

这两个域就分别代表了成员 ID 表和成员所包含的装配目录级数。

下面对二次开发中 pro/toolkit 里面所包含的一些常见的装配函数做简单的介绍。

当一个装配件在 pro/engineer 系统内存中被获得后，它的所有组成元件也相应地被载入了内存中，因此，要分析一个装配体所包含的内容信息以及它的每一级装配层里的成员零件和子装配体，我们需要知道如何去获得装配体中成员的句柄 (handle)。

函数 prodb_first_member() 和函数 prodb_next_member() 提供了装配元件的成员 ID，函数 prodb_member_to_object() 给出了元件的句柄。要得到装配成员的名称和类型，还可以利用函数 prodb_get_object_info()。下面就给出一个程序代码实例，本段程序的目的是列出当前装配件的所有成员。

```
User_sub_asm_write(fp, level, p_obj)
FILE *fp;
Int level;
Char *p_obj;
{
    int memb_id, l;
    prohandle member;
    pro_object_info info
    char name[20], type[5];
```

得到模型的名称和类型：

```
prodb_get_object_info(p_obj, &info);
pro_wstr_to_str(name, info.name);
pro_wstr_to_str(type, info.type);

for(l=0; l<level; l++)
```

```
fprintf(fp, " ");
fprintf(fp, "%s.%s\n", name, type);
如果模型是一个装配体, 继续执行下面语句:
if(!strcmp(type, "ASM"))
{
    for(memb_id=prodb_first_member(p_obj);
        memb_id>-1;
        memb_id=prodb_next_member(p_obj, memb_id))
    {
        member=prodb_member_to_object(p_obj, memb_id);
        user_sub_asm_write(fp, level+1, member);
    }
}

user_asm_write()
{
    prohandle    asm;
    char         fname[20];
    wchar_t      wfname[20];
    FILE         *fp;
    Asm=pro_get_current_object();
    Strcpy(fname, "assembly.txt");
    Fp=fopen(fname, "w");
    User_sub_asm_write(fp, 0, asm);
    Fclose(fp);
    Pro_show_file(pro_str_to_wstr(wfname, fname));
}
```

虽然 Pro/TOOLKIT 没有直接提供一个标准的函数来操作这种乘法运算,

但是在 Pro/TOOLKIT 提供的示例文件中包含了这样一个矩阵乘法函数, 函数名称为 `user_transform_pnt()`, 需要用到它时, 可以将其并入程序中来直接调用它。

5.7.2 装配成员的坐标转换

图 5-6 概括了在使用 Pro/TOOLKIT 时需要的坐标转换函数。

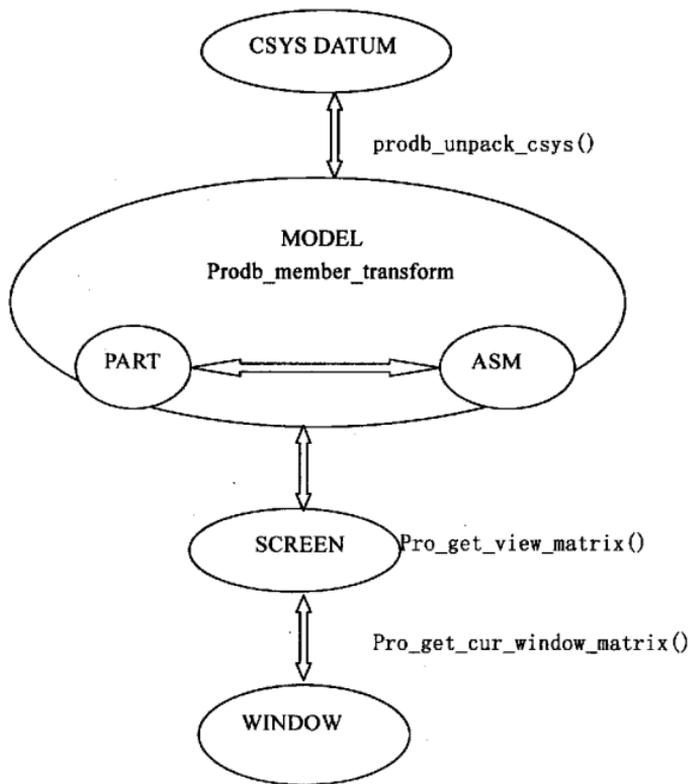


图 5-6 模型模式中坐标的转换关系图

函数 `Prodb_member_transform()` 返回的是根据父装配体的模型坐标来决定的一个装配成员的模型坐标系统的位置, 此位置用转换矩阵来表示时, 描述的是从成员模型坐标到父装配体模型坐标的转换关系。

例如, 下面的程序代码给出了一个函数, 这个函数最终可以得到在一个

装配体中任意装配级目录下面的装配成员和装配基体的模型坐标之间的转换关系。

```
User_get_memb_to_asm(p_asm, memb_num, memb_id_tab, memb_to_asm)
Char    *p_asm;
Int     memb_num;
Int     memb_id_tab[];
Double  memb_to_asm[4][4];
{
    char    *p_memb;
    int     m;
    double  xv[3], yv[3], zv[3], or[3];

    user_copy_matrix(0, memb_to_asm);
    p_memb=p_asm;
    for(m=0; m<memb_num; m++)
    {

        prodb_member_transform(p_memb, memb_id_tab[m], xv, yv, zv,
            or);
        pro_vectors_to_transf(xv, yv, zv, or, transfer);
        user_trans4xtrans4(transf, memb_to_asm, memb_to_asm);

        p_memb=prodb_member_to_object(p_memb, memb_id_tab[m]);
    }
}
```

而下面的程序给出的函数则可以获得一个装配体中任意装配级层下装配成员的模型坐标与在装配体其他位置的任意坐标系参考之间的转换关系，它的实现方式是先转换到装配基体坐标，然后到包含该坐标系的成员坐标，最后到该坐标系本身。代码如下：

```
user_get_part_to_csys_in_asm(part, csys, part_to_csys)
```

```

select3d      *part, *csys;
double        part_to_csys[4][4];
{
    double part_to_asm[4][4], memb_to_asm[4][4],
           asm_to_memb[4][4], memb_to_csys[4][4];
    /获得到装配基体的转换关系/
    user_get_memb_to_asm(part->assembly_ptr, part->memb_num,
                        part->memb_id_tab, part_to_asm);
    /获得从装配基体到包含坐标系的成员的转换关系/
    user_get_memb_to_asm(part->assembly_ptr, csys->memb_num,
                        csys->memb_id_tab, memb_to_asm);
    user_invtranf(memb_to_asm, asm_to_memb);
    /获得到坐标系的转换关系/
    user_get_model_to_csys(csys->selected_ptr, memb_to_csys);
    /将所得的三个转换关系相乘/
    user_copy_matrix(0, part_to_csys);
    user_trans4xtrans4(part_to_csys, part_to_asm, part_to_csys);
    user_trans4xtrans4(part_to_csys, asm_to_memb, part_to_csys);
    user_trans4xtrans4(part_to_csys, memb_to_csys, part_to_csys)
;
}

```

5.8 虚拟装配中的动态仿真

开发装配的动态仿真程序可以对装配件中可能的干涉进行检测,更好的确定零件与零件间的位置关系,同时可以对装配体中的运动件进行仿真模拟运动,可以让设计生产人员对整个装配成品有更清楚明白的认识。

如果应用在模具中,不仅可以检查模具装配体是否存在干涉,而且可以对模具的开合模运动进行简单模拟,使模具的开合模动作更加明了,特别是对那些结构、运动复杂的模具。

要实现动态仿真,实际上关键技术就在于前面所阐述的坐标系统的转

换。了解了坐标系统的转换还不够，还要对 Pro/TOOLKIT 中关于装配方面的函数有足够的认识。

函数 `prodb_member_transform()` 可以给出一个指定的装配成员的位置。它可以按照父装配体的坐标系统给出成员坐标系统的三个轴的方向和原点的位置。

函数 `pro_vectors_to_transf()` 利用函数 `prodb_member_transform()` 的输出结果来构建一个矩阵，这个矩阵代表着从成员坐标系到装配体坐标系的转换关系。

函数 `prodb_get_asm_transform()` 可以获得将点从当前坐标系转换到装配体坐标系的转换关系形成的合并矩阵。

函数 `prodb_set_member_transform()` 改变成员的变换，因此可以改变它的位置和方向。值得注意的是，这是一个无参数化的运动，这个过程中模型将不能重生成，除非此成员是通过函数 `prodb_assembly_by_transform()` 无参数化地装配上去的。一个无参数化的运动是不能自动重生成的，因为 pro/E 中每次装配体重生成都要根据装配约束来重新计算每个装配元件的位置。函数 `prodb_set_member_transform()` 主要用来制作动画，以反映成员的相互运动^[41]。

```
User_Move_member()
{
    select3d    *sel;
    double     part_to_root[4][4], root_pos[3], target_pos[3];
              vector[3], screen_pos[3], parent_to_root[4][4],
              root_to_parent[4][4];
    double     xv[3], yv[3], zv[3], origin[3], new_org[3];
    int        button, m;
    Prohandle   root, parent;
    Promsg_print(msgfile, "User Select a part to move");
    While(pro_select("part", 1, &sel, NULL, NULL))
    {
        root=sel[0].assembly_ptr;
```

```

parent=root;
for(m=0;m<sel[0].memb_num-1;m++)

parent=prodb_member_to_object(parent, sel[0].memb_id_tab[m]);

user_get_memb_to_asm(root, sel[0].memb_num, sel[0].memb_id_tab, pa
rt_to_root);
    if(sel[0].memb_num>1)
    {

user_get_memb_to_asm(root, sel[0].memb_num-1, sel[0].memb_id_tab,
parent_to_root);
        user_invtranf(parent_to_root, root_to_parent);
    }

prodb_member_transform(parent, sel[0].memb_id_tab[sel[0].memb_nu
m-1], xv, yv, zv, origin);

user_transform_pnt(par_to_root, sel[0].select_pnt, root_pos);
    pro_get_view_matrix(root, NULL, view_matrix);
    user_transform_pnt(view_matrix, root_pos, screen_pos);
    promsg_print(msgfile, "USER Select target position");
    while(1)
    {
        pro_sample_xy(target_pos, &button, 0);
        vector[0]=target_pos[0]-screen_pos[0];
        vector[1]=target_pos[1]-screen_pos[1];
        vector[2]=0;
        user_invtranf(view_matrix, inv_view_matrix);
        user_orient_vector(inv_view_matrix, vector, vector);
    }

```

```

        if(sel[0].memb_num>1)
            user_orient_vector(root_to_parent, vector, vector);
        new_org[0]=origin[0]+vector[0];
        new_org[1]=origin[1]+vector[1];
        new_org[2]=origin[2]+vector[2];
        prodb_set_member_transform(parent, sel[0].memb_id_tab[sel[0].
memb_num-1], xv, yv, zv, new_org);
        pro_refresh_window(-1);
        if (button&MIDDLE_BUTTON)
        {
            prodb_set_member_transform(parent, sel[0].memb_id_tab[sel[0
].memb_num-1], xv, yv, zv, origin);
            break;
        }
        if(button&LEFT_BUTTON)
            break;
    }
    progr_display_object(root);
}
}

```

由上面的代码可以看出, 要使一个装配成员动态移动, 最重要的函数就是 `prodb_set_member_transform()`, 分析该函数的输入参数, 主要有 5 个参数:

```

prohandle    p_assembly;
int          member_id;
double       x_vec[3];
double       y_vec[3];
double       z_vec[3];
double       origin[3];

```

在 Pro/TOOLKIT 中,用的也是同样的方式,只是语句的表达形式不一样,因为 Pro/DEVELOP 是 Pro/TOOLKIT 的低版本,它们的有些函数表达不一样,但是,值得一提的是,Pro/DEVELOP 语句所编写的程序是可以在 Pro/TOOLKIT 中运行的。

通过编程来直接获得一个装配体的装配树 (assembly tree),可以清楚地看到装配体零件的组成情况,包括各零件的装配级次,名称等等,从而对装配体的结构有更清楚的认识。

而让装配体中的零件实现动态仿真,则可以使我们直观地看到装配零件与零件之间的位置关系,可以检验零件的装配之间是否有干涉,同时可以仿真模拟普通的机构运动,如模块工作时的移动动作,模具的开合模动作等等,使装配体的功能更直接地体现出来,减少很多校核检验的工作量,同时又可以让我们更直观地了解到装配体内部的结构关系。

根据上述的分析和思想,利用 Pro/TOOLKIT 中的库函数来编写程序代码,同时编写 MAKEFILE 文件和菜单、消息文件,在 VC 中编译得到动态连接库文件,导入 Pro/E 中,就可以出现一个新的功能块。

该程序菜单文件包括的菜单项有 STRUCTURE, MOVE, SIMULATION。当程序被载入 Pro/E 后,就会在装配菜单组 ASSEMBLY 菜单中出现这些菜单选项。通过点击这些菜单,可以得到相应的功能。

STRUCTURE 菜单的主要目的是显示出装配体中的装配结构,包括成员信息及其所在的装配级次等等。通过这个菜单用户可以清楚地了解到装配体的装配信息,更好地了解装配体的装配结构。如图 5-7 所示,为程序运行后某一模具装配体的装配信息文件。其中清楚地显示出了装配成员的装配级次和名称。

MOVE 菜单可以选择某一个存在运动(模具中零件的运动一般为平移运动)的零件,通过指定其运动方向及运动的距离来移动零件,从而模拟装配体中零件的真实运动。同时,此菜单功能还可以用来检测零件装配中是否有干涉发生。图 5-8 表示出了程序正在运行时的状态图。

使设计人员对模具的功能结构有更清楚的认识。

通过编写程序来实现装配体里面结构的分析和零件的运动仿真,也是虚拟装配的一种重要方式,可以更好地指导实际的设计和生产装配,避免不必要的重复设计和制造,节省时间和资源,对提高模具行业的生产效率有着重大意义。

第 6 章 总结与展望

6.1 本文总结

随着全球经济一体化的深入,模具工业在国民经济中所发挥的作用越来越明显。机械、电子、汽车、石化、建筑五大支柱产业都要求模具工业的发展与之相适应。可以说模具工业已成为国家新技术产业化重要组成部分。而模具 CAD 是现代模具行业的一个重要环节。

随着模具行业的飞速发展和计算机的普及,模具 CAD 越来越被人们所重视,在一些常用的 CAD 软件的基础上进行二次开发使设计更加方便快捷,适合人们的使用习惯,是很有必要的。

Pro/E 软件作为全球最大的模具设计软件,其应用广泛,功能强大,在我国的模具企业的设计中占有很重要的地位。因此对其进行二次开发,开发出一些简便实用的功能模块,对模具的设计和制造都会有很大意义,但是由于国内对这方面的研究工作做的比较少,对它的开发有一定的难度。本文通过对 Pro/E 软件的二次开发进行研究,结合模具设计方面的一些热点和难点问题,在 Pro/E 系统中开发出了实用方便的功能模块,具有一定的实际意义。

本文做的主要工作如下:

- 1、通过对三维弯管芯模的设计和生产工艺进行分析,开发出了芯模的工艺参数计算分析模块,简化了工艺参数的计算步骤,显著提高了生产效率。

- 2、介绍了模具标准系列零件,对其进行参数化设计,通过对 Pro/E 软件中的系列零件的尺寸驱动方法进行分析,开发出了改善系列零件尺寸驱动方法的功能模块,使其更符合人们设计的习惯和要求,以提高标准系列零件的设计效率。

- 3、对虚拟装配技术研究分析,并结合具体模具的装配,开发出了模具装配的虚拟仿真模块,并仿真其中的机构零件运动,方便进行干涉检验,使装配结构更直观明了。

当然由于时间比较仓促,研究深度还不是很深,开发出的程序功能还不够强大,有待在以后的学习工作中继续。

6.2 未来展望

加入 WTO 以后，模具企业更加要靠技术和质量立足，只有提高模具的技术水平，才能满足客户。数控设备和 CAD/CAM 技术将被普遍应用。因此，对模具 CAD 技术的要求也会越来越高。Pro/E 的二次开发方面的研究将越来越深入，其在模具方面的应用也将越来越广泛，将会使设计和制造更方便。

致 谢

本文是在导师罗继相教授的悉心指导下完成的。在作者攻读硕士期间，无论在生活上还是学习和科研中都得到了罗老师的莫大的关心和指导，能成为罗老师的学生，作者认为是人生中非常幸运的事。罗老师对学生的悉心关怀、对科学孜孜不倦的探索精神和勤奋的工作态度对作者产生了极大的影响，激励和鼓舞作者在学习和生活上不断进步。作者硕士课题的选定、开题、直至完成整个过程中都凝结着罗老师的心血。他不仅当面对作者进行指导，而且多次为作者攻读硕士期间公开发表的论文初稿提供宝贵的意见，多次亲自修改。作者有任何困难，罗老师都热情帮忙解决！罗老师对作者的这些关心和指导，作者感到终生难忘，无以为报。因此，在本文即将完成之际，谨向罗老师表示衷心的感谢，并致以最崇高和最真挚的敬意！

特别感谢刘林海老师，他在作者读研期间，为作者提供了良好的工作和学习条件，使作者获得了丰富的专业方面的实际经验，并对作者的论文提出了很多指导和宝贵意见，他在生活上对作者也给予了极大的关心和照顾，他的人格魅力和对工作严谨勤奋的态度是让人敬重的。能得到刘老师的关心和指导，也是作者人生路上的一件幸事，而且将使作者一生都受益匪浅。作者对他的感激之情，是无法用言语来表达的。感谢实验室的所有老师，包括白师傅和谏师傅，同时还要感谢众鑫机电的所有员工，他们对作者也给予了耐心的指导和极大的帮助。

衷心感谢物流工程学院的所有老师，他们在学习上给了作者莫大帮助，感谢师兄潘欣以及作者在读研期间所有有幸结识的同学，作者与他们在学习和生活中彼此之间建立了深厚的友谊，作者与他们在一起度过了快乐的几年学习生活。最后，衷心感谢伟大的父母亲二十几年来含辛茹苦的培育，他们对作者一如既往的理解和支持，以及生活上无微不至的关心和照顾，让作者即使离家在外求学，也能时刻感受他们的关爱之情。非常感谢我的姐姐姐夫及弟弟对我的关心和鼓励，也要特别感谢作者的朋友及其家人对作者生活上的关心与照顾、学习上的鼓励、帮助和支持。

感谢在百忙之中翻阅本文的专家、学者及各位人士。

参考文献

- [1] 罗继相. 浅析我国模具行业现状及发展趋势和对策. 模具技术, 2001 (3).
- [2] 夸克工作室. 精通 Pro/ENGINEER CAD. 北京: 中国青年出版社, 2000
- [3] A software triumph. Machinery and production engineering. 2000,158(4014). 73-75
- [4] 潘风文, 焦敬品. 模具行业发展的研究. CAD/CAM, 2000-4.
- [5] Doege, E.; Muckelbauer, M.; Michael, M. Product development support for suppliers of forgings. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 1999,48(1). 171-174
- [6] ASP update. Computer-Aided Engineering. 2001,20(8). 16-17
- [7] T. J. Tautges. CGM:A Geometry interface for mesh generation, Analysis and other applications. Engineering with computers. -2001,17(3). 299-314
- [8] Chant, A.; Wilcock, D.; Costello, D. Determination of IC engine inlet port geometries by reverse engineering. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. -1998,14(1). 65-69
- [9] 宋玉银, 蔡复之. 面向并行工程的 CAD 系统. 清华大学学报 (自然科学版) 1998 年第 38 卷.
- [10] 袁丽清, 白连科, 孟明辰等. JW-CAD 特征造型系统. 研究与开发, 第 40 卷第 452 期, 2002 年 4 月.
- [11] 张红旗, 曹文钢. 开发 Pro/E 用户化菜单的技术与实践. 合肥工业大学学报 (自然科学版) 第 24 卷第 2 期, 2001 年 4 月.
- [12] 崔建生, 吴锡英, 黄和凤. 利用开发工具和工程数据库进行特征造型的方法. 机械工业自动化, 第 17 卷第 1 期, 1995 年 3 月.
- [13] 赵文星. Pro/ENGINEER 中生成二维工程图的二次开发定制. 经验与技巧, NO.7, 2001.
- [14] 陈辰, 钱晓锋, 张丽艳. 基于 Pro/ENGINEER 平台的工程图纸自动化生成软件的开发. 研究与开发, 2001 年 11 月.
- [15] 过杨, 宋永增, 甄子健. 基于 Pro/ENGINEER 的内燃机车三维标准件库的建立. 北方交通大学学报, 第 26 卷第 1 期, 2002 年 2 月.
- [16] 宋玉银, 蔡复之, 张伯鹏等. 基于特征设计的 CAD 系统. 计算机辅助设计与图形学学报, 第 10 卷第 2 期, 1998 年 3 月.

- [17] 祁新海. 基于 Pro/ENGINEE 的模具 CAD 实用技术研究. 合肥工业大学学报(自然科学版) 第 23 卷第 5 期 2000 年 10 月.
- [18] 李任辉,印飞, 王国祥. 基于 Pro/ENGINEE 的智能出模系统. 铸造技术, 第 23 卷第 2 期, 2002 年 3 月.
- [19] 印飞, 王国祥, 杨江波等. 基于 Pro/ENGINEE 的活塞模具系列建模系统. 内燃机配件, 2002 年第 3 期.
- [20] 彭海涛,白笛. Pro/ENGINEER 循序渐进教程. 人民邮电出版社, 2001.
- [21] 金涛, 陈敏, 匡继勇. Pro/ENGINEER 软件的二次开发技术. 昆明理工大学学报, 2000, 第 26 卷第 2 期: 69--72
- [22] 张红旗, 曹文钢. Pro/ENGINEE 二次开发应用与研究. 经验与技巧.
- [23] 赖朝安, 李振南, 孙延明. Pro/ENGINEE 二次开发的关键技术. 计算机应用, 第 30 卷第 1 期, 2001 年 1 月.
- [24] Pro/TOOLKIT User's Guide: Fundamentals. Parametrics technology Corporation, 1999
- [25] Pro/ TOOLKIT User's Guide: Menus. Parametrics technology Corporation, 1999
- [26] 王呈方. 弯管机冷弯管子回弹与伸长规律的实验研究. 中国造船, 1993 年 4 月.
- [27] 戴向国.Pro/ENGINEER 2000i 轻松学习与实例精解, 机械工业出版社, 2000.
- [28] Pro/DEVELOP User's Guide. Parametrics technology Corporation, 1995
- [29] 钱能.C++程序设计教程.清华大学出版社, 1999.
- [30] Chen, Kun-Hur; Chen, Shi-Jie; Lin, Li; Changchien, S. Wesley.Integrated graphical user interface(GUI) for concurrent engineering design of mechanical parts. Computer Integrated Manufacturing Systems. 1998, 11(1-2). 91-112
- [31] Hardee, Edwin; Chang, Kuang-Hua; Tu, Jian; Choi, Kyung K.; Grindeanu, Iulian; Yu, Xiaoming. CAD-based design parameterization for shape optimization of elastic solids. Advances in Engineering Software. 1999,30(3).-185-199
- [32] 屈华吕.塑料成型工艺与模具设计.机械工业出版社, 1996.
- [33] 于彦东, 满志强, 姚秀. 压铸模标准模架参数化设计. 电脑学习, 2001 年 12 月第 6 期.
- [34] 王树勋. 模具 2 技术设计综合手册. 广州: 华南理工大学出版社, 1995. 6
- [35] 孙海. 注塑模 CAD 中标准件库与模架库的开发. 机械设计与制造, Apr.2002.

- [36] 徐斌,宋宝玉,王兆海. 发动机曲柄连杆机构 CAD 系统的研究. 内燃机学报, 第 19 卷第 3 期, 2001.
- [37] Pro/ TOOLKIT User's Guide:Dimensions and relations. Parametrics technology Corporation, 1999
- [38] Vedaraman Sriraman.Assembly modeling. Engineering design graphics journal/ American association for engineering education. 1999,63(1). 9-19
- [39] Thompson, Larry; Westermo, Bruce; Crum, Duane; Law, William; Trombi, Robert; Waldbusser, Raymond. Smart structural fasteners for the aircraft and construction industries. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. -1999,3668(I). 143-152
- [40] Hsu, Wynne; Fuh, Jerry Y.H.; Zhang, Yunfeng. Synthesis of design concepts from a design for assembly perspective. Computer Integrated Manufacturing Systems. 1998,11(1-2). 1-13
- [41] Pro/ENGINEER Assembly Modeling User's Guide. Parametrics technology Corporation, 1999

攻读硕士期间参加的科研项目和发表的论文

攻读硕士期间参加的科研项目：

- [1] 2002.7—2003.3 参与浙江一模具厂几套模具的设计工作。
- [2] 2003.5—2004.2 参与武汉众鑫机电有限责任公司汽车内部弯管检具的设计和制造，及汽车车灯退火炉的设计和制造项目。

攻读硕士期间发表的论文：

- [1] 潘利波，罗继相，潘欣. 基于 Pro/ENGINEER 二次开发的压铸模 CAD 研究. 金属成形工艺，2003 年第 6 期。
- [2] 罗继相，潘利波，潘欣. 挤压力对晶体生长速度及枝晶间距的影响. 特种铸造及有色合金，2002 年第 5 期。
- [3] 罗继相，潘利波，金伟. 压铸模常用部件的参数化设计. 特种铸造及有色合金，2003 年增刊（第 131 期）。

基于Pro/ENGINEER二次开发的模具 CAD研究

作者: [潘利波](#)
学位授予单位 [武汉理工大学](#)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [郭凌. 孙敏. 孟志荣. 刘锦益. Guo Ling. Sun Min. Meng Zhirong. Liu Jinyi](#) [基于Pro/E的铸造模具CAD/CAE/CAM设计 - 特种铸造及有色合金](#) 2009, 29(11)

使用Pro/E软件进行三维CAD工艺模型设计,运用Anycasting软件进行工艺模拟分析,预测缺陷,优化工艺设计,再返回Pro/E完成模具设计,然后直接转入数控加工CAM,从而有效缩短新产品的开发周期,提高设计的可靠性。

2. 期刊论文 [柯晓华. 陈冰冰. 安磊. 曾勇涛. KE Xiao-hua. CHEN bing-bing. AN Lei. ZENG Yong-tao](#) [基于Pro/E的模具CAD/CAM - 机械](#) 2008, 35(9)

Pro/E是功能强大的三维CAD/CAM软件,应用十分广泛,在模具设计与制造行业占有显而易见的优势。本文介绍基于Pro/E的模具CAD/CAM技术。以一爪盘的模具设计与制造为例,应用Pro/E软件的Pro/MOLDESIGN和Pro/MANUFACTURING模块进行模具设计与数控加工,阐述了Pro/E模具设计与数控加工的过程和方法。实践证明应用Pro/E软件进行模具设计与制造具有独特的优越性。

3. 期刊论文 [邱卉. 许小村. QIU Hui. XU Xiao-cun](#) [基于Pro/e和ADAMS的新型模具抛光机构的运动仿真 - 黑龙江工程学院学报\(自然科学版\)](#) 2009, 23(1)

大型模具抛光是模具加工和调试过程中的重要工序。目前大型模具的抛光主要以手工为主,抛光效率低且质量不稳定,模具手工抛光已成为高质量大型模具制造业发展的瓶颈。针对大型模具加工设计一种新型半自动化抛光机构,采用Pro/Engineer和ADAMS软件对所设计的模具抛光机构进行运动仿真及力学分析,结果表明:该机构具有多自由度、可自由定位、随遇平衡等优点,且省时、省力。

4. 期刊论文 [吴文. WU Wen](#) [Pro/E的并行工程技术在模具设计制造中的应用 - 轻工机械](#) 2005, 23(3)

比较了模具串、并行开发模式的特点,指出模具设计制造中引入并行工程的必要性和重要性。以Pro/E为例,分别从CAD/CAE/CAM集成化技术、自顶向下设计方式和Pro/Intralink集成开发团队(IPT)管理模式3方面阐述了并行工程技术在模具开发中的应用和效益,对Pro/E在模具工业中的推广应用具有实用价值。

5. 期刊论文 [吴立波. 吴小丽. 李科. 高志贤. WU Libo. WU Xiaoli. LI Ke. GAO Zhixian](#) [基于Pro/E的模具数字化设计制造技术 - 邯郸职业技术学院学报](#) 2008, 21(4)

基于软件的模具数字化加工是现代加工业的潮流和趋势,它能够缩短模具的设计生产周期、提高生产效率、避免错误设计导致材料浪费等,应用Pro/E wildfire软件来进行异形件的实体设计、模具的结构设计及虚拟制造,从中阐述基于Pro/E的模具数字化设计制造技术。

6. 期刊论文 [周同根](#). [ZHOU Tonggen](#) [基于Pro/E的模具标准件库与通用件库的管理与调用](#) -[现代制造技术与装备](#)2008, "" (5)

本文在简要说明了模具计算机辅助设计与制造和模具标准化的意义之基础上,给出了模具标准件库与通用件库的一般组成,接着分析了基于Pro/E软件模具标准件库的调用方法和菜单索引文件的编写方法以及通用件的调用方法,最后指出了模具企业应做的首要工作是完善库文件.

7. 期刊论文 [吕建强](#). [于小康](#). [Lü Jianqiang](#). [Yu Xiaokang](#) [基于Pro/E软件对壳体类零件的设计](#) -[特种铸造及有色合金](#)2010, 30 (3)

以某型号连接盘为例,研究了使用Pro/E软件进行从零件、铸件到铸造模具的设计过程.阐述了产品开发中零件的建模应兼顾制造时的各种工艺建模,其中详述了为使铸件及铸造模具的设计顺利进行,零件和铸件三维建模过程应遵循的一定顺序及一些技巧.铸造模具建模前建工艺模型,对型芯头、起模斜度等工艺措施在工艺模型中给予建立,然后用工艺模型将型芯和外模分拆出来,可减少分别建模时可能出现的失误,提高模具的精度,缩短产品的市场化周期.

8. 期刊论文 [张院民](#). [葛正浩](#). [李云](#). [田普建](#) [基于Pro/E双分型面模具的3D总装配设计](#) -[塑料工业](#)2004, 32 (5)

详细介绍了利用Pro/E软件在双分型面模具设计应用中的一般流程,并结合具体实例说明了模具设计及3D总装配设计的具体步骤.采用这种方法,不但可进行造型设计和快速精确地生成模具的型腔和型芯,还可实现模具的3D总装配设计,有利于缩短模具的设计周期;并可利用Pro/E提供的开模仿真功能,及时发现模具设计中的错误,有效避免了工人的反复劳动.

9. 期刊论文 [田普建](#). [朱颖](#). [吴晗](#). [孙立新](#). [TIAN Pujian](#). [ZHU Ying](#). [WU Han](#). [SUN Lixin](#) [基于Pro/E的压铸模具设计及模具变形有限元分析](#) -[热加工工艺](#)2009, 38 (1)

分析了铸件结构,确定了模具的设计方案,并利用Pro/ENGINEER进行了压铸模具的三维设计.最后,利用Pro/E的有限元分析模块MACHANIC,分析了模具在使用过程中由于胀型力和热应力作用可能出现的变形.通过分析结果,得到模具的三维变形情况,对模具设计的进一步改进和合理选择成型工艺起到指导作用.

10. 期刊论文 [徐平](#). [王韶峰](#). [蒲志新](#). [郝旭](#). [XU Ping](#). [WANG Shao-feng](#). [PU Zhi-xin](#). [HAO Xu](#) [基于Pro/E的四缸机曲轴模具CAD/CAM](#) -[机械工程师](#)2008, "" (8)

介绍了应用Pro/E软件对四缸机曲轴模具进行的辅助设计与制造,及模具开模流程.在确定相应的加工工艺后,对曲轴模型型腔进行数控加工,经后置处理生成数控机床可识别的NC文件,从而在数控机床上进行加工.分析了Pro/E软件在现代模具设计与制造中的重要作用.

引证文献(4条)

1. [苏力](#) [基于虚拟仿真技术的双四杆飞剪机参数化设计的研究](#)[学位论文] 硕士 2007
2. [张金月](#) [压铸模具参数化CAD技术研究](#)[学位论文] 硕士 2006

3. [张俊河 面向注塑模的Pro/E二次开发](#)[学位论文]硕士 2005
4. [杨忠 基于Pro/ENGINEER的铰式犁体曲面的优化设计](#)[学位论文]硕士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y611878.aspx

授权使用: 华南理工大学(hnlgdx), 授权号: a0e8eb2e-c9b8-4d52-a839-9de4016db82b

下载时间: 2010年9月1日