

华中科技大学硕士学位论文

摘 要

随着计算机技术的不断发展，CAD 技术取得了前所未有的成就。在铸造领域开发出的 CAD 系统，也广泛应用于各个铸造工厂的生产和铸造工艺的设计过程中。

风电作为一种可再生能源，得到越来越多的重视。风电产业也正在蓬勃发展中。风力发电机中，又以轮毂和叶片的制造最为复杂。其中轮毂件的工艺的设计也需要有一个专门的铸造 CAD 系统。

江苏吉鑫风能股份有限公司，采用球墨铸铁生产风电轮毂。本论文根据吉鑫所使用的 AutoCAD2010 作为应用环境，利用 VS2008 和 ObjectRAX 作为开发工具，针对该公司的铸造工艺需求，在双方多次交流的基础之上，采用动态拖动、自定义实体、动态属性等技术，开发出了适合球墨铸铁件的 CAD 系统。

该系统功能包括：初始设置系统、分型面和分型负数的绘制、加工余量与工艺补正量的绘制、冒口系统的绘制、浇注系统的绘制、冷铁系统和砂箱系统的绘制、砂芯系统的绘制、引出气的绘制、工艺说明的绘制、本体试块的绘制。该系统基本包括了球铁件所有铸造工艺过程。

该 CAD 系统已经在吉鑫公司得到应用。该 CAD 系统能够加快了工艺人员的设计速度，规范工艺人员的设计，提高了生产效率。

关键字：球墨铸铁，铸造工艺 CAD，二次开发， ObjectARX

Abstract

With the continuous development of computer technology, CAD technology has made unprecedented achievements. The CAD system developed in foundry, which is also widely used in casting process and design process of many factories.

As a renewable energy, Wind power is become more and more important. The wind power industry is also booming. Wind turbines, and manufacturing of the hub and blade is the most complex. The process of wheel design also needs to have a dedicated CAD system of foundry.

Jiang Su Jixin Wind Energy Co., Ltd., products ductile iron wheel for wind power. According to the AutoCAD2010 as a CAD system application environment used by Jixin, and using VS2008 and ObjectARX as a development tool, on the needs of company's technology ,after discussing the supply and demand many times, this paper developed a CAD system for ductile iron casting by using the technologies such as dynamic drag, custom entities and OPM.

The system features include: the system of initialization and setting up, the system of drawing sub-surface and sub-type negative, the system of drawing the amount of allowance and correction process, the system of drawing riser, system of drawing pouring system, the system of cold iron and sand box, the system of drawing sand core, drawing leads to gas, the system of drawing process descriptions, the system of drawing test block body. This system almost includes all casting processes of ductile iron.

The CAD system has been applied in Jixin company. The CAD system can accelerate the speed of technology's design, specify design process and improve productivity.

Key Words: Ductile iron, casting process CAD, secondary development, objectARX

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论	
1.1 铸造工艺 CAD 系统研究的来源、目的和意义.....	(1)
1.2 国内外研究现状分析	(2)
1.3 铸造工艺 CAD 技术的发展趋势	(4)
1.4 课题的主要研究内容	(5)
2 AutoCAD 二次开发关键技术	
2.1 开发环境.....	(7)
2.2 动态拖动技术.....	(9)
2.3 遍历技术.....	(13)
2.4 自定义实体.....	(13)
2.5 动态属性和其他技术	(17)
2.6 小结.....	(19)
3 CAD 模块及相关理论	
3.1 CAD 系统初始化	(20)
3.2 分型面和分型负数	(22)
3.3 加工余量与工艺补正量	(23)
3.4 冒口系统.....	(25)
3.5 浇注系统及其设计理论	(27)
3.6 冷铁系统和砂箱系统	(30)

华中科技大学硕士学位论文

3.7 砂芯系统.....	(35)
3.8 其他系统.....	(36)
3.9 小结.....	(40)
4 球铁件工艺 CAD 系统的应用	
4.1 吉鑫 1.5MW 轮毂实例	(42)
4.2 小结.....	(44)
5 总结与展望	
5.1 总结.....	(45)
5.2 展望.....	(46)
致 谢.....	(47)
参考文献.....	(48)
附录 攻读硕士学位期间发表论文	(52)

1 绪论

1.1 铸造工艺 CAD 系统研究的来源、目的和意义

早在六千年多年以前的古代，人类就已经掌握了铸造这种金属热加工工艺。在中国商朝，青铜冶炼技术已经达到相当高的水平。其中重 875 公斤的司母戊鼎和四羊方尊是当时铸造工艺的代表杰作。铸造工艺随着社会的发展不断改善和进步。

当代，为了应对不断变化的市场，和不断加大的竞争压力，铸造企业需要不断改进铸造工艺。同时，传统的手工绘图已经跟不上时代的节奏，严重的制约着企业铸造工艺的发展。正因如此，CAD 与铸造工艺开始结合。

铸造工艺 CAD 是利用计算机辅助铸造工艺设计者确定铸造方案、分析铸件质量、优化铸造工艺、估计铸造成本及绘制铸造工艺图等，把计算机的快速、准确与设计人员的思维、综合分析能力结合起来，这可以大大加快铸造工艺的设计进程，提高设计质量和效率，加速铸造产品的更新换代，提高企业在社会中的竞争能力，为企业赢得经济效益和更多的发展机会^[1]。

铸造领域 CAD 在二维方面主要使用的是 AutoCAD，而由 Autodesk 公司开发的 AutoCAD 属于通用化的 CAD，铸造工艺 CAD 系统需要的是专门应用于铸造行业的 CAD 系统。要开发出铸造工艺 CAD 系统，可以从底层开发，也可以利用现有的 CAD 平台。利用现有的平台来开发，开发难度较小，即可以利用平台的几何库、图形渲染等功能。还能利用其广泛的使用范围，推广自己的产品，因此一般采用基于平台的 CAD 系统。利用 Autodesk 自己提供的二次开发工具 ObjectARX2010，在最新的 AutoCAD 版本 2010 下，利用 Microsoft 公司的 VS2008 编写代码，对二维铸造工艺反复实践后，可以开发出紧跟时代步伐的铸造工艺 CAD 系统。本课题主要是针对吉鑫风能股份有限公司的铸造工艺 CAD 需求，开发了华铸二维铸造工艺 CAD 系统。其特点是：

- 1) 铸造工艺模块化。基本涵盖了铸造领域的所有工艺，而且每种工艺都作为一个模块，可以单独绘制。每一种工艺既有强大的用户交互和友好的图形界面，

- 而且有强大而复杂的图形绘制和几何计算功能。本系统包括分型面和分型负数，冒口系统，浇注系统，冷铁系统，砂芯系统，砂箱系统和其他辅助系统；
- 2) 制图的高速化。在铸造工艺设计的过程中，铸造工艺一般需要在零件图上通过工艺图标示出来，相对于传统手工的需要大量时间精力来完成的工艺制图，该系统可以快速完成这部分功能。一般只需要一个对话框和几个简单的用户交互，就能完成非常复杂的图形的绘制；
 - 3) 铸造工艺设计和工艺图绘制的准确化、规范化。减少了由于手工绘图带来的不利因素；同时，本系统提供了许多铸造工艺的规范，统一了工艺人员的工艺设计模式，并提供了国标类参考设计标准；
 - 4) 工艺的保存和铸造图纸电子化。可以将用户之前的工艺设计保存下来，以便于以后重用。在 PC 机上完成工艺图，可以完全抛弃图纸，既加快了不同设计人员资源之间的共享，也方便了设计工艺的传输；
 - 5) 提供方便、友好的操作界面。利用 MFC 或者 ARX 自带的对话框和控件作为主要交互界面，不仅方便了用户的输入，及带有提醒用户注意事项等等，也符合 CAD 用户的使用习惯。

1.2 国内外研究现状分析

CAD 技术起步于 20 世纪 50 年代后期。经过了几次 CAD 技术革命之后，CAD/CAM 技术有了长足的进步。CAD 技术，在国外研究和应用的都比较多，国内因为起步较晚，所以研究地相对较少。在今后，随着国内计算机技术的应用不断扩大和 CAD 二次开发技术的研究越来越深入，CAD 技术将越来越多的应用到铸造领域并促进铸造工艺的发展，铸造工艺 CAD 在铸造领域的地位将会举足轻重，受到更多的关注。

1.2.1 国外研究概况

20 世纪 60 年代，麻省理工大学的《SKETCHPAD——人机对话系统》横空出世，标志着 CAD 技术的开始，他主要讨论了计算机图形设计，为 CAD/CAM 技术的发

展提供了坚实的理论基础^[2]。

铸造凝固过程 CAE 研究起步于 60 年代^[3,4]，在这期间提出了多种计算方法^[5~9]。上世纪 60 年代到 70 年代，随着计算机学科的快速普及和研究，以及 CAD 技术的探索，使得 CAD 技术初现端倪，CAD 也与 CAM 一起集成为 CAD/CAM 技术。70 年代 CAD 技术取得各个方面的成果；80 年代许多国家都开始研究，在 1989 年终于有了世界上第一个商品化软件^[10]。1983 年，美国 Michigan 大学的 R.D.Pehlke 教授和佐治亚工学院的 J.T.Derry 教授在国际第 50 届铸造会议上提出了铸造工艺 CAD 的概念，并把它归结为计算机模拟（Computer Simulation）、几何造型(Geometrical Modeling)和数据库(Database)的有机结合^{[11]~[12]}。

70 年代，美国的佐治亚理工学院和密西根大学一起提出了一个铸造 CAD 研究计划，之后他们研制出了 Case 系统软件及 Swift 应用程序。威斯康星大学开发出了 CMP 软件。英国剑桥大学开发出了 DVCT 系统。英国 AustinRover 公司引进并开发了 CIE（计算机集成工程）系统。日本日立公司研制的压铸金属型 CAD 系统也具有非常强大的功能。日本东京大学综合铸物中心对铸件凝固过程的模拟的研究处于世界领先地位^[13]。

在 CAD 技术进入下一个阶段后，综合性铸造工艺 CAD 的研究成为了世界研究的热潮，各国政府都不遗余力的投入成本都这个方向，希望能在这个方向上占领一席之地，于是乎，许多铸造方面的实用化的软件如雨后春笋般出现了^[14,15]。如美国铸协（AFS）的 AFS-software 软件，可用于铸钢铸铁的浇冒口设计；英国 Foseco 公司的 FEEDERCALC 软件可计算铸钢件的浇冒口尺寸，补缩距离及选择保温冒口套等；丹麦 DISA 公司的 DISAMATIC 软件专用垂直分型生产线的浇冒口设计^[16]。

通用化的 CAD 产品层出不穷，有二维的 AutoCAD，三维的 UG、Pro/E、CATIA。这些通用化的 CAD 产品为铸造 CAD 系统提供了良好的开发平台。

1.2.2 国内研究概况

沈阳铸造研究所和大连理工大学合作，通过对大型铸件凝固过程的模拟，开发出了一套软件：SRF—38—1、SRF—38—2 和 SPV—38。之后，国内不断涌现出铸造 CAD

的产品。1987 年，在葛洲坝电站 125MW 水轮机叶片的铸造工艺研究中张毅，王君卿等人开展了铸件凝固过程热场的计算机模拟的研究。同时大连理工大学的金俊泽等人开展了大型船用铜螺旋桨的凝固过程的数值模拟的研究^[17]。

在 90 年代到现在，国内铸造领域的 CAD 软件有：清华大学的 FTCAD、THFSCAD，华北工学院改进 Rubble 三次方程法开发的冒口设计软件，哈尔滨工业大学的 CAMS-3D for Windows，华中科技大学的华铸二维和三维 CAD。其中华中科技大学材料学院凝固模拟研究室的研究成果——华铸 CAD 软件，经多家铸造厂应用，获得了用户不错的反响。2001 年，为山西榆次液压件厂开发了一套工艺工装 CAD 软件。2006 年，为宝鸡石油机械厂开发出一套完整的铸钢铸造工艺 CAD 软件。2009 年，为四川德阳二重开发了一套大型铸钢件 CAD 系统，该系统提供了完整的铸造工艺系统，能够进行各种 CAD 工艺的设计和工艺图的绘制，取得了该公司的一致好评。2009 年，与武汉邦迪管路合作，开发了一套三维 CAD 系统，用来进行胎具和磨具的设计。因此华铸 CAD 是一套集专用和通用于一身的铸造工艺 CAD 软件^[18~29]。

通用 CAD 方面，国内已经出现了许多通用的和专用的 CAD 系统。包括高华 CAD、CAXA、GS—CAD98、开目 CAD、天瑜 CAD，以及面对市场的中望 CAD，天正 CAD 等。

1.3 铸造工艺 CAD 技术的发展趋势

1、通用化和集成化

不论是国内还是国外，铸造领域中的设计标准多且杂，每个铸造厂的工艺表示方式和绘制方式都有差别，难以产生一个行业普遍适用的标准。所以在铸造工艺 CAD 系统的设计中，也很难设计一个在铸造行业中通用的系统。为此，铸造工艺 CAD 系统需对各个工厂进行量身定制，依据不同铸造厂不同铸件的设计需求，开发适合的工艺模块^[30]。铸造 CAD 作为铸造领域的 CAD 系统，需要包含各种工艺模块，其集成化程度越来越高。同时，CAD 与 CAE、CAM 的集成也越来越多。

2、CAD 二维向三维转变

二维 CAD 在 CAD 初期，有一定的发展和市场，在工厂的实际生产中广泛应用，

更加倾向于传统图纸绘制，符合工艺设计人员的习惯。但三维技术不断成熟，而且三维 CAD 使得造型更加形象，设计更加方便，更有利于 CAD/CAM/CAE 的集成。随着 CAD 系统三维技术的发展，铸造 CAD 系统也向三维方向发展。许多铸造 CAD 都基于三维 CAD 软件，既可以利用三维 CAD 的优势进行工艺设计，又比二维软件更加直观，其导出的文件还可以作为模拟和辅助制造的输入。三维铸造 CAD 的市场将越来越广阔。

3、平台开发向自主开发转变

现在国内许多铸造工艺 CAD 软件都是利用已经成熟的 CAD 软件做为开发平台，如 AutoCAD，UG，在这些软的基础上做二次开发。随着国内 CAD 技术的成熟，铸造工艺 CAD 可以逐步抛弃平台软件，利用已有的几何内核开发出适合铸造领域的 CAD 系统，更进一步甚至能够创建自己的几何内核，从最底层逐步建立起整个铸造工艺 CAD 系统。

4、采用 COM 技术和参数化设计

COM(ComponentObjectModel)是组件对象模型，是为了提高软件稳定性和开发效率而引入的重要技术。CAD/CAM 中经常使用 COM 技术。因为这种技术可以使得模块重用，减少不必要的代码的编写，大大减少程序员的工作量，缩短软件的开发周期。COM 技术的使用对 CAD 有非常重要的意义，因为 CAD 中许多功能需要模块化，重复化。现在的 CAD 中许多部分和功能就使用了 COM。参数化设计，即留给用户一个模型，其创建的过程由用户指定一系列的参数，之后，用户可以通过改变这些参数来改变模型或图形。采用参数化设计，能更加方便用户的使用和设计。

1.4 课题的主要研究内容

本课题以吉鑫风能股份有限公司的铸造工艺设计为基础，根据公司工艺人员的需求，结合 AutoCAD 二次开发技术，基于 AutoCAD2010 开发一款适用于吉鑫铸造工艺设计的 CAD 系统。课题的研究内容主要包含以下几部分：

初始化系统。初始化系统包括，图层操作，初始设置，添加数据源。

1. 分型面和分型负数。分型面包括分型符号和分型面文字。分型负数可以定位

在分型面上。

2. 加工余量和工艺补正量。其中加工余量可以提供多种公差等级的查询。加工余量和工艺补正量都可以对各种多段线、样条曲线以及他们的组合进行操作。
3. 冒口系统。包括冒口的主视图和俯视图。可以用实线或虚线来绘制。
4. 浇注系统。包括横批浇道（内浇道），横浇道，直浇道。
5. 冷铁系统和砂箱系统。冷铁系统提供用户自己添加不同形状新冷铁的功能，以及对应的预览功能。利用数据库来实现砂箱系统。
6. 砂芯系统。包括 A、B、C 三种砂芯，砂芯间隙，泥芯斜度
7. 其他系统。包括引出气，工艺说明和本体试块。

2 AutoCAD 二次开发关键技术

2.1 开发环境

2.1.1 AutoCAD 二次开发的几种方式

1、 ObjectARX 开发

ObjectARX 是对 AutoCAD 进行二次开发的一种方式。ARX 是由 Autodesk 公司自己提供的 AutoCAD 开发接口，方便用户对 AutoCAD 功能的扩展。许多 AutoCAD 命令也是用 ObjectARX 开发出来的。ObjectARX 能够访问到 AutoCAD 的底层数据库，图形系统甚至 CAD 几何造型核心。其提供给用户几个与 CAD 开发有关的函数库，包括：AcEd、AcDb、ADSRX、AcRX、AcGe、AcGi，他们分别表示 CAD 的编译器、数据库、两个实时扩展、几何库和图形接口类，并且还提供了一系列的 API 函数做为接口，如常用得系统调用命令函数 `acedCommand`。ObjectARX 开发出来的结果是动态链接库（DLL），需要用户使用时自己加载到 AutoCAD 中，其后缀名统一为 `.arx`。

这是一种比较常用的二次开发方式，使用 C/C++ 来编写程序。ObjectARX 的功能比较强大，效率比较高，它具有其他几种开发技术所不具备的自定义实体和动态属性这两种技术。但是编程人员必须熟练掌握 VC、C/C++、MFC 等，难度比较大，而且容易出现内存泄漏，对程序员的要求比较高。

2、 VBA 和 Lisp

Autodesk 公司同时提供了另一种二次开发的方式：VBA 和 Lisp。VBA 和 Lisp 比较简单易用。其采用的是 AutoLISP 语言，AutoLISP 语言的优点是语法规则简单、灵活，功能特别是图形功能强大，可以根据不同的专业需求，直接对 AutoCAD 进行内部操作。缺点是缺乏综合性的开发环境，综合能力差。但是这种方式的入门比较容易。对一些要求功能简单，而且开发周期比较短的项目，可以使用这种方式，但是不适合做大型程序。

3、.NET

这是 Autodesk 公司为了适应 .net 开发的需求，提供的另一种开发方式。这种开发方式也提供了许多能够操作 AutoCAD 底层的类和 API 函数，这些与 ARX 中得类与函数都有相同或相似的功能。在 .NET 出现之前，开发人员只能局限于使用 ActiveX 自动操作和支持 COM 的语言、AutoLISP 和 ObjectARX 的 C++。这种方式用 C# 语言编程，可以有效利用 C# 语言的许多优点。而且这种方式不容易发生内存泄露。懂得 ARX 的人员也容易传向 .net 来开发。

4、几种方式的比较

各种开发方式的能力比较，如图 2-1 所示。

其中，VBA 和 Lisp 能访问的 AutoCAD 底层空间有限，只能开发出比较简单的功能。.NET 和 ObjectARX 则和 AutoCAD 共享底层数据库和其他数据结构，能够设计出大型的、比较复杂的 CAD 功能出来。与 .NET 相比，ARX 的开发能力更强大些，程序运行效率更高。



图 2-1 几种二次开发方式的比较

2.1.2 ObjectARX 简介

1、开发环境

在许多领域和行业中，都在利用 ObjectARX 开发 CAD 系统，如：地理信息系统、机械行业、测绘行业、桥梁建设行业等。Autodesk 公司几乎每年都更新出 AutoCAD 的一个版本，因此其二次开发工具 ObjectARX 也相应需要使用不同的版本，开发不同版本的 ARX 的编译工具也要有所不同。从早期的 VC++6.0，到 vs2002（对应 AutoCAD2006），vs2005（对应 AutoCAD2008），到 vs2008（对应 AutoCAD2010），开发环境不断变化，其中本课题使用的开发环境是 vs2008。Vs2008

提供了许多新的功能，如对数据访问提供了更加方便的对底层数据访问的方式和强大的工具栏等。

2、ObjectARX 的优点

利用 ObjectARX 进行二次开发，具有许多其他开发方式和开发工具所不具备的优势。首先，可以利用 MFC 来创建界面，或者使用 arx 自带的对话框。其次，和 AutoCAD 共享底层数据库。第三，支持多文档。第四，可以与其他接口通信，如 COM 等。最后，可以在程序中自定义类。

3、开发工具

由于 ObjectARX 使用越来越广，但是其框架非常不好编写，需要非常专业的编程知识。于是 Autodesk 公司提供了专门开发 ObjectARX 框架的工具。利用这种工具可以大大减少程序员的开发强度，加快效率。该开发工具的作用包括：第一，提供了 dll 的与 AutoCAD 的接口，利用改接口，可以实现开发者编写的程序在 AutoCAD 上运行。第二，提供了程序中命令与 AutoCAD 的接口，利用这个接口，可以将用户的命令在 CAD 上运行。第三，提供了开发文档，与函数查询文档。开发人员可以从该文档中查询需要利用的函数或者函数需要的参数，还提供了许多开发技术的例子，以及非常详细的学习文档，方便新手入门。

2.2 动态拖动技术

在 AutoCAD 中绘制图形，经常使用的一项技术就是动态拖动技术。所谓动态拖动技术，即用户在绘制图形的过程中，可以用鼠标拖动图形进行移动、旋转，来放置在合适的位置或者得到需要的图形。例如，AutoCAD 自带的直线绘制功能，便是动态拖动技术的实例之一。动态拖动技术有几种实现方式，常用的有两种：使用 `acedGrRead` 函数和使用选择集。

2.2.1 `acedGrRead` 函数的动态拖动

`acedGrRead` 函数能够跟踪鼠标的移动，其函数原型是：

```
int acedGrRead(  
    int track,
```

```
int * type,  
struct resbuf * result);
```

其中各个参数的意思是：`track` 指定了该函数的控制位，`type` 参数返回输入设备及其种类，`result` 参数被设置为从用户获得的参数^[31]。

使用的步骤一般包括：

1. 在某个指定位置（例如原点）将需要的图形绘制出来。
2. 使用一个 `while` 循环，并在里面调用 `acedGrRead` 函数，并将鼠标位置保存在 `result` 中，`result` 是一个结果缓冲区（`resbuf` 类型）。其定义为：

```
struct resbuf {  
    struct resbuf *rbnext;  
    short restype;  
    union ads_u_val resval;}
```

其中 `resval` 为一个联合体，通过访问它可以获取鼠标位置等一系列用户设备参数。

在循环体中将已经创建的实体打开。并按照鼠标的位置改变实体的位置。具体的代码如下：

```
int track = 1, type; // 控制位和输入设备类型  
struct resbuf result; // 保存鼠标拖动时的动态坐标  
while (track > 0)  
{  
    acedGrRead(track, &type, &result); // 追踪光标移动  
    ptText[X] = result.resval.rpoint[X]; // 获得用户输入点的位置  
    ptText[Y] = result.resval.rpoint[Y];  
    // 使用获得的坐标，进行需要的计算或者操作  
    {  
        .....  
    }  
    if (type == 3) // 如果用户按下了鼠标左键，跳出循环
```

```
{  
    track = 0; //track=0 时，跳出循环  
}  
}
```

参数 `type` 决定了设备的返回类型。如鼠标的释放，用户按下某个功能键等。其中如果用户按下了鼠标左键，并且是释放鼠标，则 `type` 的值为 3，跳出拖动循环。此处，`type` 也可以取其他的值。例如取 2，则 `result` 中保存了用户输入的关键字或者功能键，用户可以用此来实现正交功能。此时，用 `result` 中的 `resval.rint` 的返回值为 15 时，表示用户按下了 `f8` 或者单击了“正交捕捉”这个功能。再用数据库函数 `setOrthomode` 函数获取系统的正交捕捉变量，将其取反，即手动实现用户的正交状态切换。再在 `while` 拖动循环中添加一条判断系统正交状态的语句，如果是正交则实现相应需要的操作：

```
if (acdbCurDwg()->orthomode()==1)  
{  
    .....  
}
```

一般来说，需要实现的都是正交投影的功能。采用的算法是，当拖动直线（即起点和当前鼠标位置的连线）的角度大于 45 度则将拖动直线向 `y` 轴投影，直线角度小于 45 度则向 `x` 轴投影。投影直接采用坐标计算即可。

这种动态拖动方法存在的问题主要是，绘制时的捕捉不好实现，而正交需要额外的代码来实现。

2.2.2 使用选择集的动态拖动

使用选择集动态拖动的步骤为：

- 1、创建选择集，创建实体并将实体加入到选择集中。选择集的创建最好能够使用 `acedSSGet` 函数。

- 2、实现一个 `scnf` 函数，用来实现动态拖动的变换。

- 3、调用 `acedDrgGen` 函数来实现拖动，并获取鼠标的最终释放点。

`acedDrgGen` 的函数原型如下：

```
int acedDragGen(  
    const ads_name ss,  
    const ACHAR * pmt,  
    int cursor,  
    int (*scnf) (ads_point pt, ads_matrix mt),  
    ads_point p  
);
```

其中参数的意义分别为：ss 为选择集，pmt 为拖动的时候的提示文字，cursor 为鼠标显示类型，scnf 为变换函数的函数指针，p 为按下鼠标左键的时候保存的鼠标位置。变换函数的第二个参数为变换矩阵，为一个 4*4 的矩阵，其各个参数的意义与一般图形学中的变换矩阵意义相同。

4、用最终点画出图形（如果最初创建的图形没有处理，则将其删除）。或者使用变换函数将原来的图像变换到用户想要的图形。

使用选择集拖动的优点是自带捕捉功能，不需要重新写代码。但是如果也不自带正交功能，如要实现正交，则也需要自己添加代码解决。其实现方式比较复杂，本课题中采用的是第一种方法。

使用选择集，有可能会用到结果缓冲区。结果缓冲区（result buffer）是 ARX 中一种非常重要的数据结构，许多地方都要使用这种数据结构，可以作为系统命令调用函数 Command 的参数，选择集的使用中也可以使用。可以以联合体的方式定义 result buffer。这样，其中的数据基本可以为任何类型。链表作为表示结果缓冲区的最常用方式，图 2-2 是一个用链表表示的 result buffer。可以通过头指针 head 来访问它。

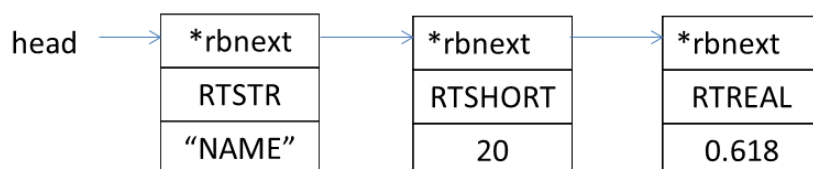


图 2-2 result buffer 链表

2.3 遍历技术

在使用二次开发技术编写代码中，遍历技术是经常使用的一种技术。所谓遍历技术，就是遍历整个图形文件或者用户选择的某个集合，将一个重复的操作或者大数据的查询用一段简短的代码来实现。通常用遍历技术来处理需要重复操作大量实体的功能。第一种方式，ObjectARX 提供了一种遍历器的类来实现这种技术。用遍历器，一般用来遍历符号表，特别是模型空间。遍历器的使用分为 3 个步骤：创建遍历器，使用遍历器，删除遍历器。

例如，要想遍历块表。代码如下：

1、首先创建遍历器

```
AcDbBlockTableRecordIterator *pItr;
```

```
pBlkTblRcd->newIterator(pItr);
```

2、使用遍历器

```
for (pItr->start(); !pItr->done(); pItr->step())
```

```
{
```

```
.....
```

```
}
```

3、删除遍历器

```
delete pItr;
```

也可以遍历选择集，一般用户选择了图中某些图形要求对这部分图形进行操作时，就可以遍历选择集。不过选择集的遍历不用遍历器，而是先获取选择集个数，起始位置，然后再调用选择集的next函数来实现遍历。

2.4 自定义实体

2.4.1 自定义实体

ObjectARX 中提供的实体都是直线、圆、填充等简单实体。自定义实体是用户根据自己的要求定制的实体，可以有复杂的图形和复杂的功能。要实现自定义实体，需要实现其图形实现、控制点、捕捉点、控制点、拉伸变换、相交点等函数的自定

义实体的基类也是 `AcDbObject` 或者 `AcDbEntity`，跟系统自带的类的基类相同。为了实现自定义实体，首先应该从 `AcDbObject` 或者 `AcDbEntity` 派生一个类。然后分别实现其自带的 `subworldDraw`, `getOsnapPoint`, `getGripPoints`, `moveGripPointAt`, `getStretchPoint`, `moveStretchPointAt`, `transformBy`, `intersectWith` 函数。若有其他功能需要，重载相应函数即可。`Arx` 开发工具里面提供了专门的工具来实现自定义实体，方便的这一技术的使用。

`AutoCAD` 中数据库对象的层次关系如图 2-3 所示。由图中可以看出 `AutoCAD` 许多自带的类也是派生自 `AcDbObject` 或者 `AcDbEntity`。其开发的过程基本也跟自定义实体类似。

创建自定义实体的步骤一般分为：

- 1、创建一个 `dbx` 工程。一般的主要绘制工程都是 `arx` 工程，如果来实现自定义实体，则要创建 `dbx` 工程。

- 2、重载 `subworldDraw` 函数，这个函数是用来实现实体的，即用来定义实体的图形部分。`AutoCAD` 一般跟新图形时，调用这个函数。这个函数的参数中有一参数是 `AcGiWorldDraw *pWd`，这是一个指向 `AcGiWorldDraw` 的指针对象，它是一个 `AcGi` 几何对象和特征对象的容器类。另外，`AcGeWorldDraw` 包含其他两个对象：

`AcGiiWorldGeometry` 和 `AcGiSubEntityTraits`。可以通过 `AcGiWorldDraw::geometry()` 获取 `AcGiiWorldGeometry` 对象，该对象能够通过制实体图形的基本绘制命令即图形原型将几何对象写到 `AutoCAD` 的图形缓存中，世界坐标系中绘制图形原型的函数主要有 `Circle`、`Circular arc`、`Polyline`、`Polygon`、`Mesh`、`Shell`、`Text`、`Xline` 和 `Ray`。通过 `AcGiWorldDraw::subEntityTraits()` 函数可以返回 `AcGiSubEntityTraits` 对象，该对象能够通过特性函数设置图形的属性值，如 `Color`，`Layer`，`LineType` 等。

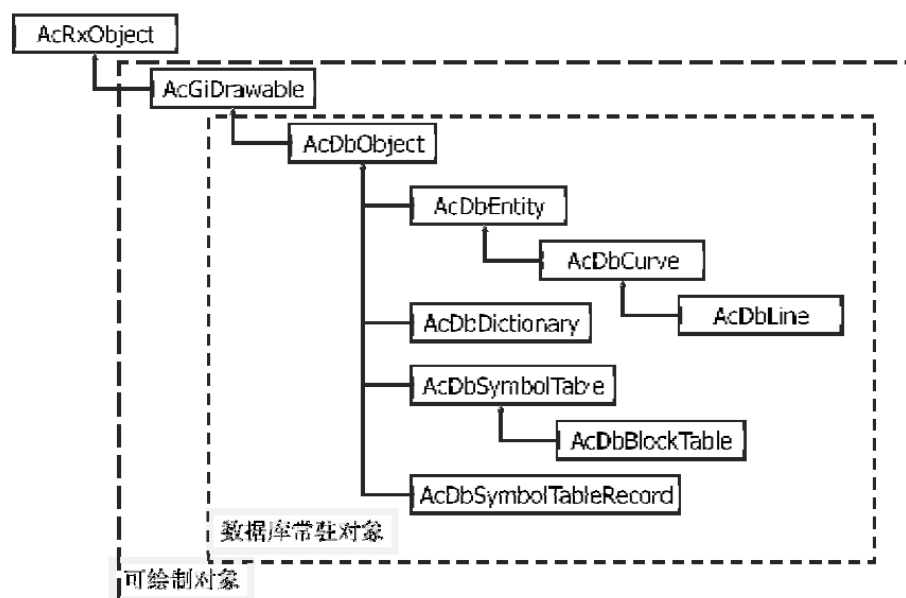


图 2-3 AutoCAD 数据库类图

3、一般自定义实体都支持几何变换的功能，因此应该重载`transformBy()`函数。

4、如果还有其他要求如对象捕捉、拉伸点、控制点的实现等则要分别重载各自的函数。

2.4.2 自定义实体的动态拖动

自定义实体的动态拖动，一般使用一个叫做 `AcEdJig` 专门的类。自定义实体的动态拖动，是在绘制时的动态拖动。其后的拖动，拉伸等地实现应该在其重载函数中去实现。`AcEdJig` 类是 `arx` 中实现实体拖动的类，该类可以让 AutoCAD 的用户用点设备定义实体的某种表现。首先派生一个 `Jig` 类。然后，实现它的设置提示文字函数 `setDispPrompt()`，控制拖动循环函数 `drag()`，检查函数 `sampler()`，更新函数 `update()` 等。其中，`drag()` 函数的动态拖动循环过程如图 2-4^[31]：

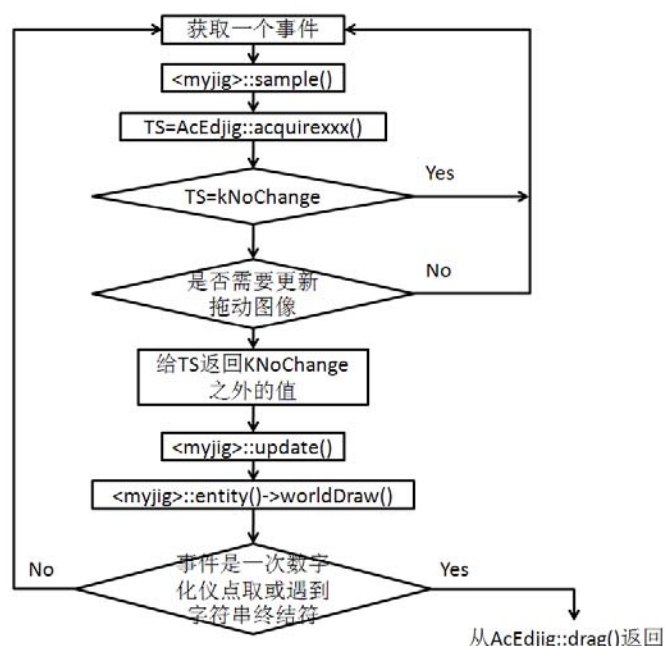


图 2-4 drag()函数的动态拖动循环过程

2.4.3 双击自定义实体

可以通过双击自定义实体，弹出对话框。并通过对话框来修改自定义实体的各个属性。采用从 AcDbDoubleClickEdit 派生的类的来实现双击响应。

在 AutoCAD2006 级之前的版本，这个类可以在 arx 的派生类中找到。在 AutoCAD2010 中不一样了。AcDbDoubleClickEdit 这个类被封装在 ACDBLCLKEDITPE.ARX 中，因此需要在加载 arx 的时候将该文件加载到 AutoCAD 中，实现方法是在 arxEntryPoint.cpp 中的 On_kInitAppMsg 函数中调用以下代码：

```

Bool re=acrxDynamicLinker->loadModule(
    /*MSG0*/
    _T("ACDBLCLKEDITPE.ARX"),Adesk::kFalse);
HZDBMK *Db=new HZDBMK();
HZBWMK::desc()->addX(HZDBMK::desc(),Db);
    
```

其中第一句是加载 arx 文件，第二句是建立一个双击类的对象，第三句是一个添加扩展协议的语句，将一个双击类添加到一个自定义实体类上，HZBWMK 是自定义类，HZDBMK 是双击类。这样就将一个对话框与一个自定义实体联系起来了。

接下来，在双击类的 startEdit 函数中添加如下代码：

```
// 由于要对实体进行编辑，先锁定文档
AcApDocument *pDoc = acDocManager->curDocument();
acDocManager->lockDocument(pDoc, AcAp::kWrite);
//  // 创建这个对象，以便切换 CAD 资源
CModuleResourceOverride thisResource;
CDlgHzmk dlg;
AcDbObjectId Id_mk;
Id_mk=pEnt->objectId();
dlg.DoModal();
// 所有修改完成，解锁文档
acDocManager->unlockDocument(pDoc);
// 刷新显示
acTrTransactionManager->flushGraphics();
```

这样就能为一个自定义实体添加双击对话框。其中 CDlgHzmk 是对话框类。

2.5 动态属性和其他技术

2.5.1 动态属性

动态属性又称为 OPM，在 AutoCAD 中实体可以有許多属性，有些是都有的属性如：颜色、线型、线宽等，有些是实体特有的属性，如圆的圆心等，还有些属性是可以用户自己添加的，这部分属性称为动态属性。AutoCAD 中实体的属性可以通过属性对话框来查看。实体上右键，选择“特性”就能弹出属性对话框。动态属性在属性对话框上有三种实现方式，包括：编辑框，下拉列表和弹出对话框。其中第三种类型中的对话框可以用 ATL 来制作。要想对一个自定义类添加动态属性，首先要从 arx 工具中添加一个动态属性的框架。然后，分别实现框架中的 Connet, GetCurrentValueName, GetCurrentValueData 等函数。可以为 AutoCAD 自带类或者用户自定义类添加动态属性^[31]。

2.5.2 属性页对话框

可以利用 arx 自带的属性页控件来实现 arx 的属性页对话框。首先从 CAcUiTabMainDialog 派生主对话框类，从 CAcUiTabChildDialog 类派生子对话框类。

用主对话框的 `AddTab` 函数将各个子对话框加入主对话框。最后添加 `AddExtendedTabs()` 函数即可。

2.5.3 错误处理

用 `arx` 进行 CAD 系统开发的一个最繁琐的地方就是错误处理。

首先，开发出来的 CAD 系统要面对的是许许多多的用户，因此需要考虑到用户的各种操作，比如取消、回车、空格等，甚至用户在使用过程中的某个功能键的使用等，这些都需要程序员来考虑。相比起 `MFC`，`arx` 的处理比较复杂，因为 `MFC` 的许多用户的指令都有专门的函数来响应，而 `arx` 这方面比较欠缺，反而其操作又比较多，因此其错误处理也比较难。

其次，从程序角度来看，也经常容易出错。因为，`arx` 对实体的访问包括打开，修改和关闭。而如果程序员忘记 `close` 实体了，那么容易出错。`AutoCAD` 中的实体可以用指针，`id`，句柄等来访问，如果程序员对这些访问方式处理的不当，容易出错或者得不到需要的图形。在 `arx` 中，有上百个类，每个类都有几个到几十个成员函数，如果对程序员对这些不熟练，那么容易在使用中出错。

第三，就是 `arx` 经常使用 `MFC` 的对话框作为与用户交互的界面，当然 `arx` 自己也提供了许多对话框类，如 `CAcUiDialog`，其使用跟 `mfc` 的对话框使用一模一样，如果 `MFC` 掌握的熟练，对话框的使用方面基本不会出错，但是从对话框到 CAD，再从 CAD 到对话框，这个过程中容易出错。

因此，`arx` 的错误处理才显的非常繁琐，经常一个非常简单的功能，或者是一句代码之后，跟着的就是十几到数十行的容错处理的代码。但是错误处理又是必不可少的一个过程，因为如果用户使用时老是出错，或者引起 CAD 崩溃，势必会影响整个系统的效果。本系统在开发过程中，首先将用户的需求的功能实现，在编写代码过程中作一些简单的错误处理，然后在程序完成之后的测试过程中，逐步完善其错误处理过程。

其实，应该可以采用 C++ 语言的错误处理方式，即用 `try...catch...` 语句来处理，统一将错误处理放在 `catch` 语句中，不过因为笔者这方面功底不够，没做过这方面的

尝试，仅作为以后的开发人员的参考。

2.6 小结

本章主要介绍了利用 ObjectARX 进行 AutoCAD 二次开发的开发环境和几种关键技术。首先介绍了 AutoCAD 二次开发的几种常用的方式，并对 ObjectARX 进行二次开发简单的介绍了。接下来介绍了几种 arx 开发经常使用的几种关键技术。第一是动态拖动技术，这是一种提供给用户在绘制图形时，动态变换图形的技术。第二个是遍历技术，包括用遍历器遍历符号表容器和遍历选择集两种方式。最后两个是自定义实体和动态属性，这两个技术对 CAD 二次开发非常有用。

因为 CAD 系统要面对的是许许多多不同的用户，每种用户的需求不尽相同。如果要开发一个有新需求的 CAD 系统，首先要做的便是写一个文件，该文件将许多通用的常用的函数封装起来。

这样做的好处，一是减少程序员的代码编写量，提供程序员的开发速度，并且使得程序开上去相当简洁。例如，程序中通常都要用到的，将一个实体添加到模型空间中去。而这个功能需要数十行的代码才能完成，如果能将其封装成一个函数，而将要添加的实体 id 或者实体指针留作函数的参数，那将大大简化代码量和开发人员的工作量。

好处之二是，如果改系统是多人合作开发，那将有利于代码的共享，许多算法函数可以通过该文件来共享。比如读写 ini 文件，如果某个程序员写了此类函数，那么其他程序员只需要跟新下改通用文件，即可将该函数拿来使用。

本系统开发时，将数十个通用的或常用的函数封装在了 common.h,common.cpp 文件中。包括创建函数，如圆、直线、弧、多段线、填充等的创建函数，标注和多重引线的动态拖动函数，设置图层的函数，常用的算法函数，如点到直线的投影、求两条直线的焦点等，方便使用的工具函数，如 ads 点和 AcGe 点的互相转换函数，复制函数等，已经跟系统有关的，如获取 CAD 路径的函数和读写 ini 文件的函数。

当然也可以用类来组织，将这些函数都作为成员函数，本系统为了方便没有采用这种方式。

3 CAD 模块及相关理论

3.1 CAD 系统初始化

3.1.1 图层操作

绘制图形之前首先应该设置好图层，用来定义图层的线型、颜色、线宽和图层名字。设置图层的步骤：

1、打开层表。AutoCAD 的图形数据库包括 9 个符号表：块表、层表、文字样式表、线型表、视图表、UCS 表、视口表、注册应用程序表、标注样式表和一个命名字典。包含在 AutoCAD 符号表中的是对应的符号表记录。可以从数据库重获得各种符号表，除了可以使用 `getSymbolTable` 函数，还可根据符号表的具体类型调用相应的函数，如获得块表使用 `getBlockTable` 函数，获得层表使用 `getLayerTable` 函数。

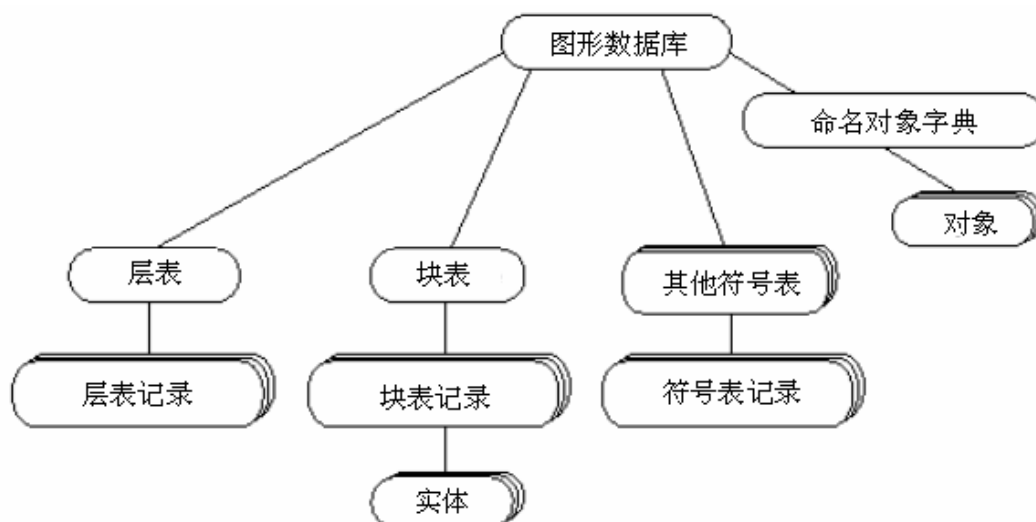


图 3-1 AutoCAD 图形数据库与符号表字典的关系

设置图层，可以用 `getLayerTable` 打开层表，在其之前要获取当前图形数据库的指针，用 `acdbCurDwg` 函数。`getLayerTable` 有两个参数，第一个参数是保存层表的指针，第二个参数是指定打开层表的方式是读打开还是写打开。`AcDb::kForWrite` 是写打开，`AcDb::kForRead` 是读打开。

2、创建一个新的层表记录。并用 `add` 函数将其加入到层表中。

所有的符号表都继承自 `AcDbSymbolTable` 类，该类包含了下面几个函数：

add: 向符号表添加一条新的记录, 各种符号表实现的形式略有不同。

getAt: 获得符号表中特定名称的记录。

has: 判断符号表中是否包含指定的记录。

newIterator: 创建一个符号表遍历器, 访问符号表中的所有记录。

3、设置好新的层表记录的各个属性, 如线型, 线宽和颜色。这个应该调用 `AcDbSymbolTable` 类的专门函数, 如果涉及线宽可能要涉及查询其他符号表的操作, 其操作方式与前面 1, 2 相似。

3.1.2 初始设置

这项功能是用来设置之后其他功能中绘制的标注文字大小, 标注箭头大小, 和文字大小。因为, 为了要适应图纸比例, 工艺设计人员一般要在绘图之前设置好图纸上的标注样式和文字大小, 这样打印出的图纸才能让施工人员更清楚各个工艺的尺寸。

该功能可以由图形中的标注和文字来获得, 如图提供了“获取标注”和“获取文字”的按钮, 也可以由用户自己输入。在用户按确定之后或者获取了图形中得标注和文字之后, 系统将各个参数写入了一个 `ini` 文件中。这个 `ini` 文件保存了许多用户在各个功能的对话框上输入的参数。当用户再次掉用改功能时, 系统就从改 `ini` 文件中读出各个参数, 这时弹出的对话框中就自动填入上一次用户成功绘制图形时保存的参数, 这样用户就不需要再次手动输入, 特别是对于要输入很多数据的功能, 这种方式极大的方便了工艺人员的设计, 提高了绘图效率。

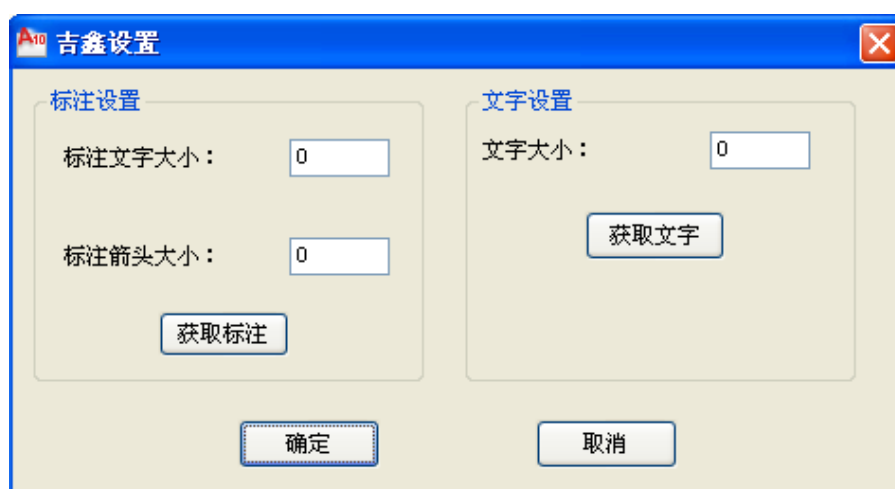


图 3-2 初始设置的对话框界面

3.2 分型面和分型负数

3.2.1 分型面

铸造分型面是指铸型组元间的接合面。合理的选择分型面，对于简化铸造工艺、提高生产率、降低成本、提高铸件质量等都有直接关系^[32]。

分型面绘制对话框如图 3-3 所示

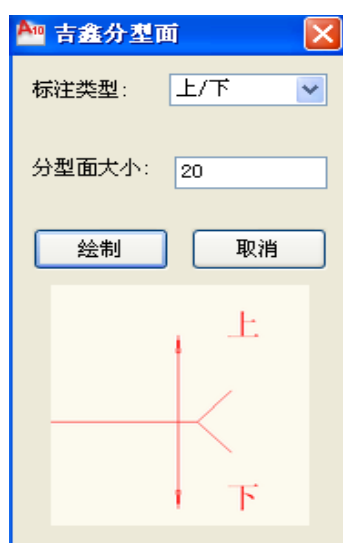


图 3-3 分型面对话框

采用选择两点的动态拖动方式进行绘制，首先选择标注类型，应为改功能支持多箱造型，所以标注类型包括：“上、下”，“上、中上”，“中上、中下”，“中下、下”几种类型。为了使绘制出的分型面与整个图形的大小相匹配，提供了设置分型面大小的功能，即可以通过设置分型面的大小来设定绘制出得分型面的末端部分的大小，包括箭头、分叉和文字的大小。因为次分型面的绘制过程采用动态拖动方式，故可以设置正交来绘制水平分型面和垂直分型面。

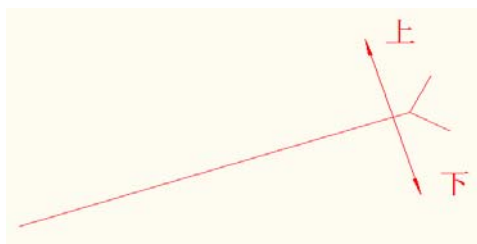


图 3-4 分型面绘制实例

3.2.2 分型负数

造型时，由于起模后的修型和烘干过程中砂型的变形引起分型面凸凹不平，使合型不严密。为防止浇注时从分型面跑火，合型时需要在分型面上耐火泥条或石棉绳，这就增加了型腔的高度。另外，由于砂型的反弹也可造成型腔高度尺寸的增加。为了保证铸件尺寸符合图样要求，在模样上必须减去相应的高度，减去的数值称为分型负数^[33]。

绘图时，分型负数一般附加在分型面上，如图 3-5 所示。

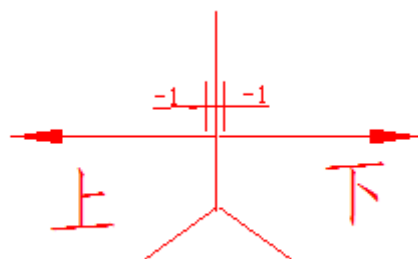


图 3-5 分型负数绘制实例

实现方法为，首先调用一个用户交互函数 `acedEntSel`，提示用户选择分型面。`acedEntSel` 函数的功能是提示用户选择一个实体。接着判断用户选择的是否是直线。如果是，则提示用户输入分型负数，作为标注使用。（此处，为了方便图形上显示分型负数符号，图形上的分型负数取为固定值，而用户所输入的分型负数值只作为标注值）然后打开直线，获取直线角度，画出此直线的两条平行线。绘制平行线时，需要 `new` 一个 `AcDbLine`，而不能在栈上定义。再获得鼠标在分型面上的投影点，以此点来代替鼠标位置，实现分型负数的动态拖动。

这样，实现的效果就是，选择分型面后，会在鼠标位置出现分型负数的符号，而且改符号会随着鼠标的移动而在分型面上移动。

3.3 加工余量与工艺补正量

3.3.1 加工余量

机械加工余量是为了保证铸件机械加工面尺寸和零件加工精度，在设计铸件和

铸造工艺时预先增加并在机械加工时应予切除的金属层厚度。其代号用字母：“MA”并由精到粗分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J 和 K 共 10 个等级^[34]。

加工余量的值是在输入铸件最大尺寸值和加工等级后，通过查询数据库得到的。该数据库按 GB/T 6414—1999《铸件尺寸公差与机械加工余量》的规定来建立的。本功能提供了 3 个公差等级的查询，CT11、CT12、CT13。推荐值处给定了按 GB/T 6414—1999《铸件尺寸公差与机械加工余量》查得的结果。

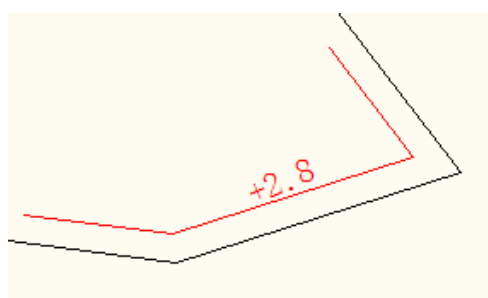


图 3-6 加工余量绘制实例

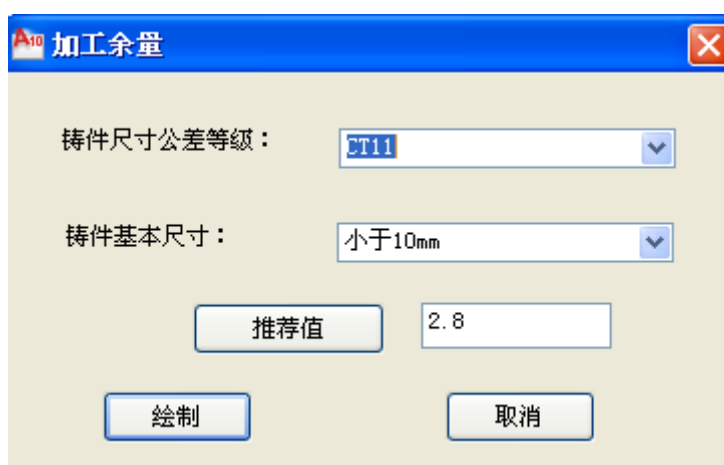


图 3-7 加工余量对话框界面

1、首先，提示用户选择轮廓线，可以为直线，圆弧，多段线或者单一的圆，创建一个选择集来包含他们。选择的轮廓线有许多类型，不过必须首尾相连才行。否则程序会报错。

2、接着将这个选择集中的线整合成一条多段线，如果只有一个圆或者圆弧则不用处理。这里整合多段线的方法采用了 AutoCAD 的系统命令即调用 `acedCommand` 函数，这样有利于编写代码的方便，如果要用基本的函数来编写，

则要麻烦许多。在合并之前，需要有一个小的遍历，将其中的样条曲线遍历出来，转换成多段线。因为样条曲线不能用系统的整合命令整合的。

3、然后使用偏移命令实现偏移。偏移的方向可以由用户选取，根据用户点取鼠标的位置来确定偏移的方向。偏移也使用系统命令。虽然 arx 开发不提倡使用系统命令，不过这能加快代码的开发速度和程序的运行效率，而且如果正确的处理好各个参数，其出错率还是会很小的。

4、然后实现切断功能，即选择两个点将偏移过的加工余量截断。因为使用截断功能的时候，一般不开捕捉，这时有可能用户选择的两个截断点会不在偏移线的线上。因此，这时需要在截断点作两条短直线，一条水平和一条垂直，取其中一条与偏移线的交点。得到两个交点后，用以下代码实现截断：

```
AcDbVoidPtrArray pNewSegs;  
pcur->getSplitCurves(Ary_points,pNewSegs);  
AcDbCurve *pcur_new;  
if(b_close==FALSE)pcur_new=(AcDbCurve*)pNewSegs.at(1);  
else pcur_new=(AcDbCurve*)pNewSegs.at(0);//封闭曲线取第一段
```

5、标注。使用旋转拖动来实现。这样可以根据用户的需求来确定标注位置。

3.3.2 工艺补正量

工艺补正量是用以防止铸件局部尺寸由于各种工艺因素（例如铸件线收缩率选用值和实际值不符、铸件变形、有规律的操作偏差等）的影响而超差，在铸件相应部位上增加的金属层厚度^[34]。其值一般需要在生产实践中摸索确定。工艺补正量的绘制过程跟加工余量类似，只不过工艺补正量的数值不是在对话框上输入，而是在偏移后输入。

3.4 冒口系统

3.4.1 冒口系统理论

冒口的作用是补缩、排气、集渣等。其工艺设计一般在铸造工艺中占有相当重要的地位。许多大中型铸造软件都有冒口计算模块，冒口的计算十分有用，合理的

冒口参数能够大大的优化铸件的结构和质量。冒口的计算采用模数法。铸件凝固时间决定于模数。所谓模数，就是体积和传热表面积的比值。模数小的铸件，凝固时间短；模数大的铸件，凝固时间长；模数相同的铸件，凝固时间相近或相等。

为了实现补缩，除了必须保证补缩通道在补缩过程中始终保持畅通之外，还必须保证铸件凝固之前冒口尚处于液态；这样，冒口起到收缩作用。也就是说，冒口的模数应大于铸件的模数，并且有一个合适的比例关系，以保证冒口晚于铸件凝固。所以，当铸件的模数求得之后要确定出合理的模数比，就可以计算出冒口的模数，最后根据冒口的模数，在相应的表格中查取冒口的尺寸。计算步骤为：

- 1、计算铸件的模数 $M_{\text{件}}$ 。
- 2、计算冒口的模数 $M_{\text{冒}}$ 。
- 3、确定铸件金属的体收缩率。
- 4、确定冒口的具体形状和尺寸。
- 5、根据冒口的有效补缩距离校核冒口数量。
- 6、校核冒口最大补缩能力。

3.4.2 冒口系统

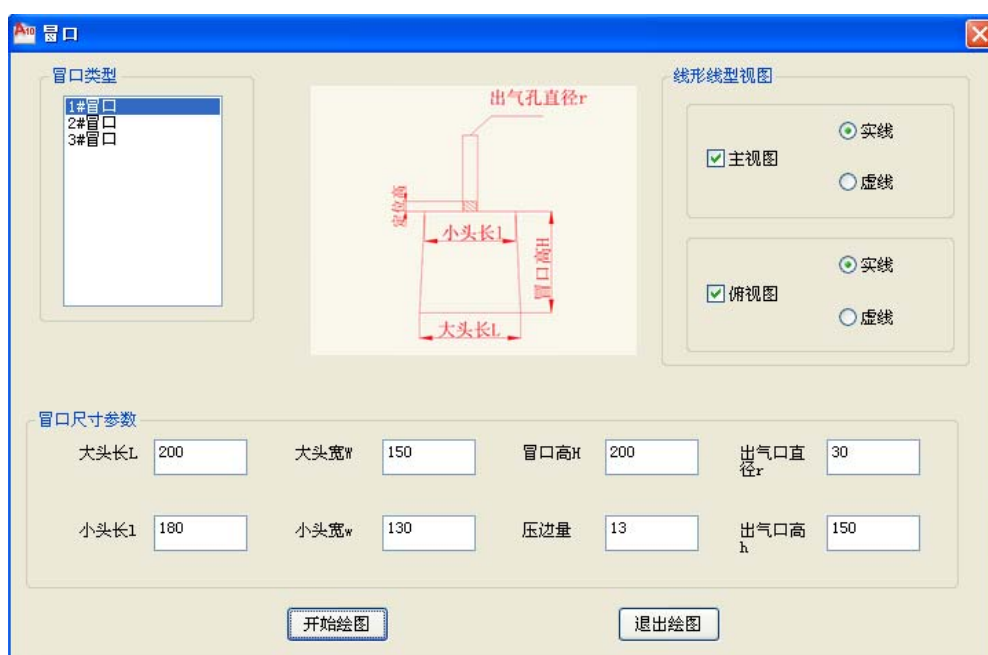


图 3-8 冒口系统绘制对话框

因为用户的冒口型号大小都有一定的标准，所以冒口系统将各个参数都作为函数内部参数保存在代码里面，基本不需要用户修改。其绘制界面如图 3-8。提供主视图和俯视图，以及虚线和实线两种绘制方式。

在二次开发的过程中，一个比较难的地方就是几何计算。因为，通常用户给的参数不是很明显，或者不适合直接绘制。一般实体的绘制，如直线和圆，都是确定好几个关键点，然后利用这些点将图形绘制出来。因此，绘制复杂图形的关键就是将这些点确定出来。如直线的起点终点，圆的圆心，圆弧的起点终点。几何计算的实现，应该尽量采用比较方便的方法，因为过多的采用辅助线将增加程序的代码量。建议多用 arx 自己提供的几何类。

3.5 浇注系统及其设计理论

3.5.1 浇注系统尺寸的确定

浇注系统是砂型中引导金属液进入型腔的通道之总称^[34]。浇注系统分为四部分：内浇道、直浇道、横浇道、浇口杯等。浇注系统设计在铸造工艺设计中非常实用。

球墨铸铁件浇注系统的特点：铁液经过球化、孕育处理后温度下降很多，且易产生氧化。因此，其浇注系统有两个特点，既大流量地输送铁液；且具有比灰铸铁更好的挡渣作用。

首先需要计算出浇注系统的最小截面，然后通过最小截面为基数，查表或者按一定的比例计算出其他组元的截面大小。

流体力学基数公式（阿哲公式）

以伯努利方程为基础的流体力学近似计算公式如式（4-1）。

$$A_{\text{组}} = \frac{G}{0.31\mu t \sqrt{H_p}} \quad (4-1)$$

式中 $A_{\text{组}}$ —浇注系统最小截面总面积(cm^2);

G —流经 $A_{\text{组}}$ 截面的液态金属总重量(kg);

μ —总流量损耗系数;

t —浇注时间(s);

H_p —平均静压力头高度(cm)。

1. G 值即铸件加冒口浇注系统的总重量，一般通过估量来获得。
2. μ 值一般用实验或者根据经验获得，当然也可以用理论推导，不过用理论推导相当复杂。
3. 浇注时间 t 值的确定。对于重量小于 450kg 形状复杂的薄壁铸铁件，其浇注时间 t 可按式 (4-2) 计算。

$$t = S\sqrt{G} \quad (4-2)$$

式中 t —浇注时间；

G —包括浇、冒口的铸件重量；

S —系数，取决于铸件的薄壁厚，可以由表查出。

对于重量小于 1000kg 的铸铁件，其浇注时间 t 可按迪台尔特公式 (4-3) 及图表计算。

$$v = (A + \frac{\delta}{25.4B})\sqrt{2.25G} \quad (4-3)$$

式中 v —浇注速度 (kg/s)；

A —系数 (铸铁为 0.9)；

δ —铸件壁厚 (mm)；

B —系数 (铸铁为 0.833)；

G —包括浇、冒口的铸件重量 (kg)。

4. 铸型内液面上升速度的验算。对于结构复杂及大型铸件，在浇注时间确定后，需验算型内液面的上升速度。如果有偏差，不符合规范则应该改进工艺以更新浇注时间。

平均液面上升速度为：

$$v_l = \frac{c}{t} \quad (4-4)$$

v_L —型内液面上升速度 (cm/s)；

c —浇注在浇注位置的高度 (cm)；

t —浇注时间 (s)。

5. 确定平均静压力头高度 H_p 液态金属在冲型过程中, 压力头高度是一个变值。
一般采用哪个平均有效压力头高度 H_p 。
6. 直浇道高度的确定。
7. 浇注系统各组元截面比例的确定。
8. 浇冒口系统重量及铸铁件工艺出品率的估算。

3.5.2 浇注系统模块

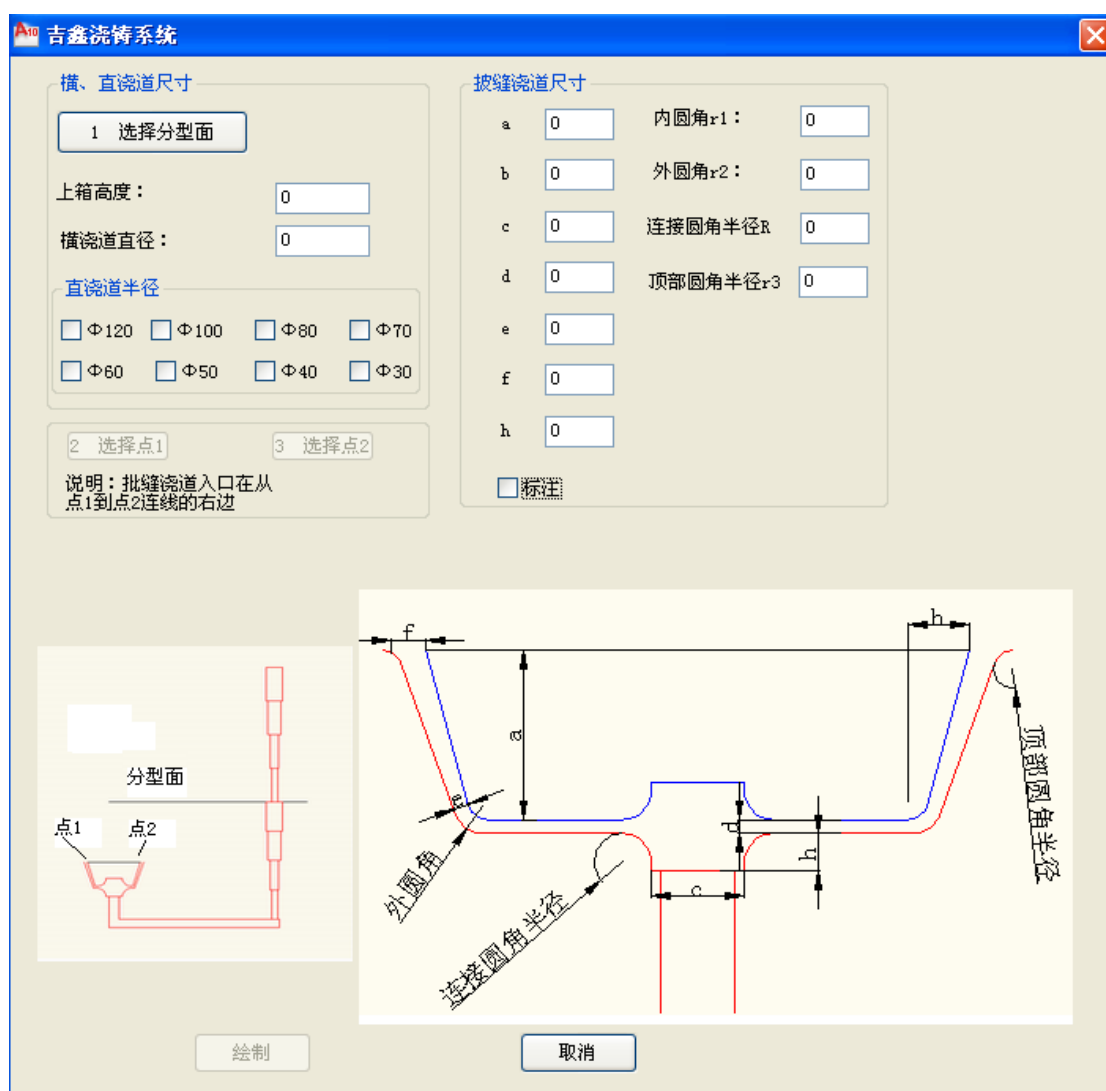


图 3-9 浇注系统绘制对话框

浇注系统的设计步骤为：

此浇注系统的绘制包括上、下直浇道，横浇道，内浇道。如图所示，上、下直浇道以分型面为界，上下相同，而且直浇道分为许多不同的半径的圆筒，从大到小连接，在绘制中也要反映出来。内浇道也称为批缝浇道，其绘制过程非常复杂。浇注系统的绘制过程为：

- 1、 用户选择好分型面，批缝浇道的人口位置，如图 3-9 中点 1、点 2。
- 2、 输入浇道的参数并选择直浇道半径，以及是否标注。
- 3、 在绘制出批缝浇道之后再选择直浇道所在的方位以及直浇道离批缝浇道中心点的距离。
- 4、 最后绘制出直浇道，如果选择给图形上标注，则放置好标注。

此功能的实现难点在于：批缝浇道的设计比较复杂，因为用户提供的只有两个入口位置和批缝浇道的各个参数，而批缝浇道的圆角比较多，以至于其几何关系比较复杂，给浇注系统的设计添加了难度。各个几何关系存在约束条件，其求解方法可以用数值法、符号法、基于图论的方法和基于规则^[36-47]。不过本课题没有用到太复杂的算法，只用了简单的几何运算。第二个难点在于，因为图纸关系，浇注系统的位置不一定是水平和竖直，也可能是斜的，更加大了程序设计的难度。这个问题的解决办法，一是利用 arx 提供的变换函数，其次是利用各个点的投影关系来实现变换。最后是标注的问题，批缝浇道的标注也比较复杂，要考虑到许多情况和各种几何关系。

3.6 冷铁系统和砂箱系统

3.6.1 冷铁系统

通常是在靠近铸件需要快冷的部位放置金属块以实现激冷的目的，并把这种起激冷作用的金属块称为冷铁^[34]。冷铁的主要作用是加快铸件局部的冷却速度。

冷铁分为外冷铁和内冷铁两种，前者安放在砂型(芯)壁上，不熔入铸件内，后者是安置在铸件壁内或型腔内，其材质要求与铸件材质相同并要求二者能很好地熔合为一体^[34]。不过各个工厂由于工艺不同，其冷铁种类也是千差万别，例如吉鑫的冷

铁就包括扇形、长条形、梅花形等多种。

冷铁可以加快后壁部分的冷却，可以配合其他辅助工艺实现顺序凝固，还可以起到补缩作用，特别是对于球墨铸铁件，冷铁能扩大铸件表面积，能铸造出质量更好的铸件。

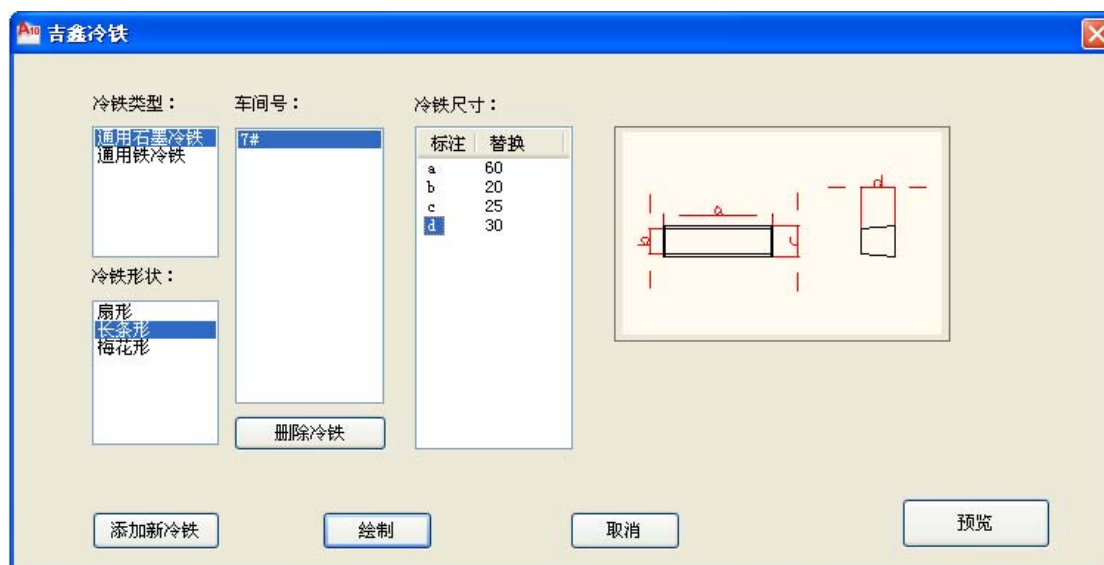


图 3-10 冷铁绘制对话框界面

吉鑫对冷铁系统的要求是：

- 1、冷铁系统要建立一个跟方便用户选择的冷铁列表，包括：冷铁类型、冷铁形状、车间号。
- 2、要方便用户添加新冷铁和删除已经有的冷铁。
- 3、提供一种功能，可以有用户选择已经绘制的冷铁作为一种标注冷铁添加到冷铁数据库中。
- 4、提供冷铁形状的预览功能
- 5、提供冷铁尺寸标注功能和修改冷铁尺寸功能。

为了实现第 3 个要求，即用户自己添加冷铁到冷铁数据库的功能，我们采用了一个文件夹来保存冷铁数据库，而将每一种冷铁都设计成冷铁块，然后将每一种冷铁块都保存成一个 dwg 文件，再将这些 dwg 文件保存到文件夹中，从而将这个文件夹作为数据库来使用。当用户在对话框界面选择了一种冷铁，要使用的时候，再将这个块调用出来。

程序设计的步骤为：

1、 用户按“冷铁类型”、“冷铁形状”、“车间号”来选择一种冷铁。

2、 可以选择“预览”按钮，来浏览冷铁的形状。利用函数 `acdbDisplayPreviewFromDwg` 来实现预览功能。其函数原型为：

```
bool acdbDisplayPreviewFromDwg(  
    const ACHAR * pszDwgfilename,  
    void* pPreviewWnd,  
    const Adesk::UInt32* pBgColor = NULL  
);
```

第一个参数是要预览的文件名，第二个参数是要显示预览图形的窗口句柄。

3、 删除冷铁的功能只需要在文件夹中删除对应的 `dwg` 文件即可

4、 在对话框初始化的时候，可以遍历下文件夹内的 `dwg` 文件，将冷铁按照各自的类型显示出来，单击冷铁类型的列表框或者其他列表框的时候也是如此。

5、 在标注列表里面，可以选择某一项标注来修改。当用户选择了某一项标注时，弹出修改标注的对话框，当输入了要修改的标注值，程序就进入对应 `dwg` 文件的块中，遍历这个块，获得所对应的标注，并将其改变。当用户再次掉用的时候出来的就是已经修改了的标注的冷铁。

3.6.2 砂箱系统

砂箱系统的界面如图 3-11 所示。

用户对改功能的要求为：

1、 设计一个砂箱数据库，该数据库可以有“新增入库”功能，即添加新的砂箱的功能。

2、 设计四种砂箱类型，分别为，“类型 1”、“类型 2”、“类型 3”、“梯形砂箱”。并提供预览图片。

3、 提供各种类型砂箱的参数实时修改功能。

改功能的设计步骤为：



图 3-11 砂箱系统绘制界面

1、建立一个 Access 文件做为砂箱数据库，即“JXSX.mdb”文件。在安装的时候要将其放到.arx 的同一个文件夹下。在该文件中建立一个砂箱的表保存各种砂箱的数据。其中的内容大致如图 3-12 所示。

JXSX						
sxlx	sxxh	a	b	c	d	e
砂箱类型1	型号1	1352	1925	848	1516	2501
砂箱类型2	型号1	1000	1000	0	0	0
砂箱类型3	型号1	1200	1500	1400	300	0
梯形砂箱	砂箱1	2400	4800	2760	490	0

图 3-12 JXSX.mdb 内容

2、在 arx 中使用向导从 CRecordset 派成一个数据库类。并将 Access 中的各个变量映射成该数据库类的成员变量。这样可以通过该类和其成员变量来访问砂箱数据库文件。

3、将 Access 文件设置为系统数据源文件。

4、另建一个命令“加载数据源”，在其中调用全局函数::SQLConfigDataSource 这样用户在使用过程中不需要通过“控制面板”来将 Access 文件设置为系统数据源文

件，直接用此命令即可。

5、将类中函数 `GetDefaultConnect` 修改为：

```
CString CJXSX::GetDefaultConnect()
{
    //return _T("DSN=JXSX;DBQ=C:\\DOCUMENTS AND SETTINGS\\
    //ADMINISTRATOR\\x684c\\x9762\\JXSX.mdb;DriverId=25;FIL=MS
    //Access;MaxBufferSize=2048;PageTimeout=5;UID=admin;");
    return _T("ODBC;DSN=JXSX;");
}
```

其中注释掉的部分为框架自动生成的。

这样做的目的是因为，在跟编写代码的时候，数据库文件放置某个文件夹中。用向导自动生成的代码中将此文件夹记录在了 `GetDefaultConnect` 函数中。如果用户在安装的时候由于使用的需要没有将数据库文件放在跟编写代码时候相同的文件夹中，则会出错。因此需要更改代码。

6、分别写出每一种砂箱的绘制函数。

当用户选择某种分型面时，将进入列表选择函数。在这个函数中，调用查询数据库的函数。将得到的参数显示在对话框上。

7、绘制。调用对应的砂箱绘制函数。

8、添加“新增入库”功能。如图 3-13，在选择好砂箱类型，填好各个参数之后，在砂箱型号中填入新的型号。如图，单击“新增入库”，弹出“入库成功”表示添加成功，即把对话框上的数据写入到了数据库文件中。

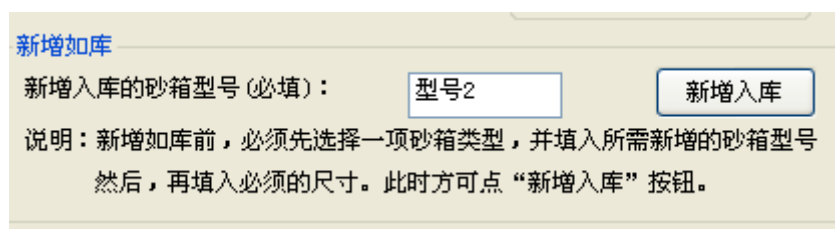


图 3-13 “新增入库”功能对话框及其使用注意事项

该功能的不足之处是：限制了砂箱的类型，即只能绘制已经存在的几种砂箱，新增砂箱型号也只能是已经存在的砂箱类型的新型号。其次是“新增入库”没有提

供专门的界面来实现，而是跟绘制界面在一起，因此容易出错。

3.7 砂芯系统

砂芯主要用来形成铸件的内腔、孔洞和凹坑等部分，例如内燃机缸盖、各种阀类的油道、大型机床的底座等^[34]。

吉鑫的风电轮毂是个空腔的球型，其砂芯也是球型，包括 3 种：A 型、B 型、C 型，砂芯间隙的标注，泥芯斜度的标注。

泥芯间隙的绘制，需要用户选择砂芯的某条边界，这时程序生成一条与边界平行的线段，和标注，将砂芯间隙符号放置在合适的位置即可。

泥芯斜度的绘制，需要用户选择要标记泥芯斜度的两条边界，此时鼠标位置生成可以动态拖动的泥芯斜度，用户只需要选择放置位置即可完成绘制。为了方便泥芯斜度的绘制，程序采用了两条多重引线，然后让两条基线重合，再在上面绘制文字，即可。

砂芯包括内圆和外圆，这两个圆的半径既可以由用户输入，也可以从图中获得。改功能提供了 3 种获得该半径的方式，包括：由用户输入，由图中的圆获得，由图中两点获得。

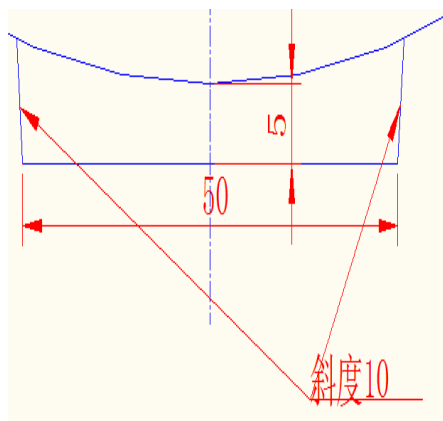


图 3-14 泥芯斜度实例

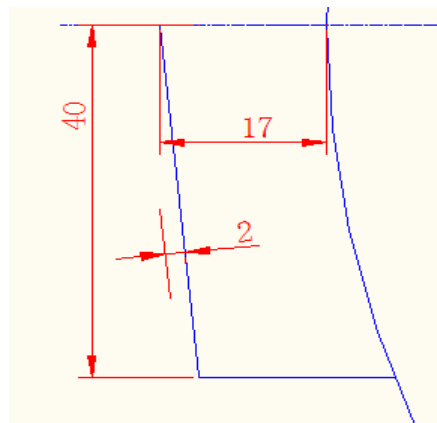


图 3-15 泥芯间隙实例

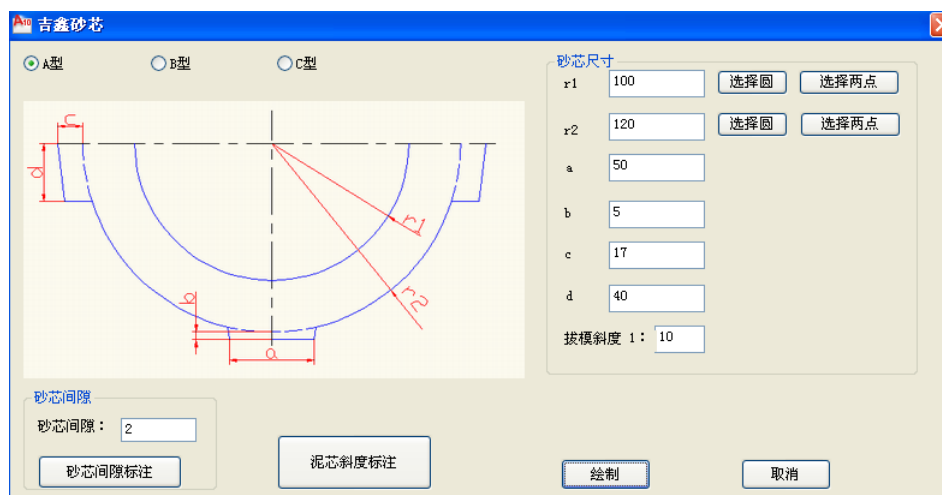


图 3-16 砂芯系统绘制界面

3.8 其他系统

3.8.1 引出气

引出气的绘制包括主视图和侧视图的绘制，而主视图又包括内引出气和外引出气。引出气一般放置在轮毂的圆上，而且成阵列分布，还要绘制定位块。

主视图的绘制的实现，先用一个用户交互函数使得用户能够选择一段圆或者圆弧，因为吉鑫公司的引出气放置面为圆或者圆弧，用户在选择出了引出气的放置面——“圆或圆弧”之后，程序将用户选择的圆弧 id 保存起来，为了以后使用。接着程序让用户选择一个点，其目的是为了确定引出气在圆上的具体位置，程序将用户的点与圆心所成角度作为引出气的放置位置。接着处理镜像数。如果用户输入的镜像数为 1，则主视图的圆上只有一个引出气，如果大于 1，则将圆等分成镜像数的数目，让后利用变换函数，将已经画好的引出气，变换到其他位置。

引出气主视图绘制中最麻烦的地方，还是几何计算。因为用户所给参数比较少，跟据这些参数计算出每条线的位置比较繁琐，而且还要考虑容错处理，更使得程序变得冗长。

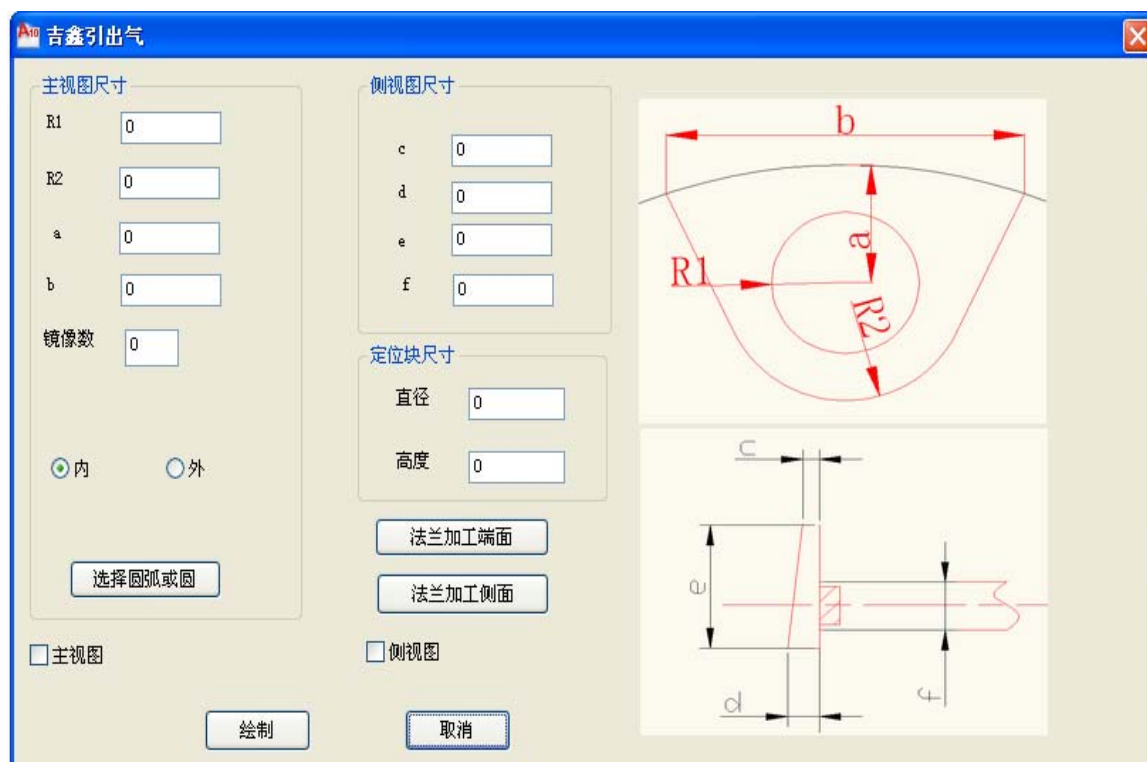


图 3-17 引出气绘制对话框

侧视图的绘制相对来说比较简单，几何计算也比较容易。只需要用户选择好加工端面和侧面，再输入完整的参数，即可绘制。

侧视图和主视图的绘制是独立的，用户可以分开绘制也能独立分别绘制。

3.8.2 工艺说明

工艺说明不绘制在与工艺图一起的图纸上，要分开绘制。说明了图型无法表示的工艺，以及工艺生产中需要注意的事项。吉鑫对工艺说明的要求有：

- 1、不但要有工艺说明的框架，还要留有工艺人员自己填写工艺的位置。
- 2、需要绘制拔模斜度表。
- 3、标题字体大小要比正文大一个字号。
- 4、要有编制、校对、审核、会审等。

工艺说明的对话框如图 3-18 所示。

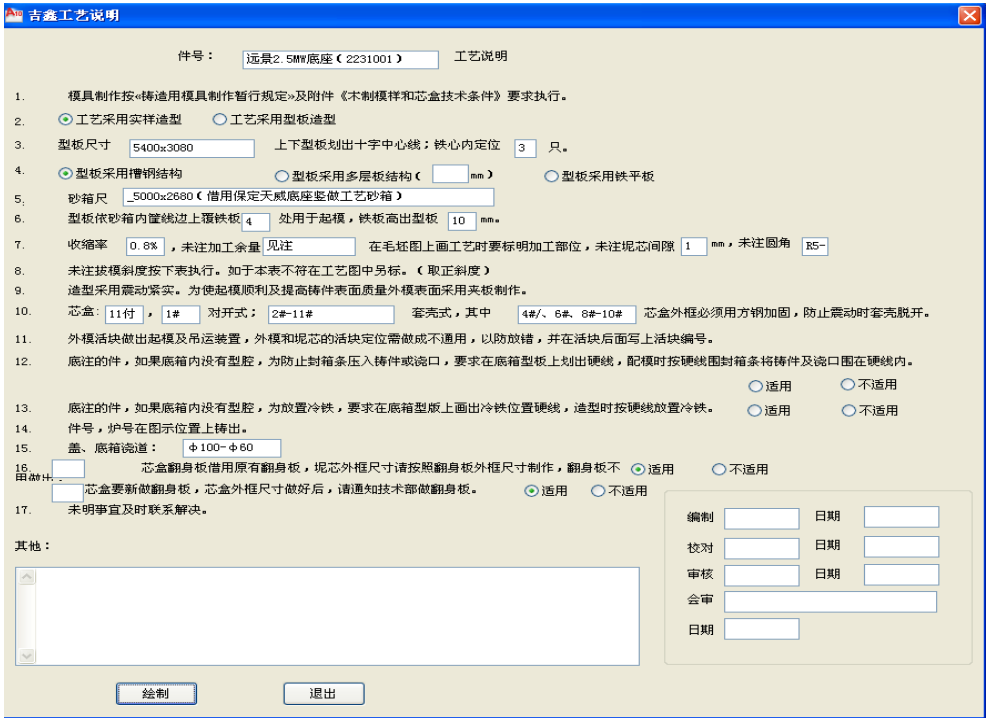


图 3-18 工艺说明绘制界面

件号：远景2.5MW底座（2231001）工艺说明

1. 模具制作按《铸造用模具制作暂行规定》及附件《木制模样和芯盒技术条件》要求执行。

2. 工艺采用实样造型

3. 型板尺寸 5400x3080 上下型板划出十字中心线；铁心内定位 3 只。

4. 型板采用槽钢结构

5. 砂箱尺寸 5000x2680（借用保定天威底座竖做工艺砂箱）

6. 型板依砂箱内膛线边上覆铁板 4 处用于起模，铁板高出型板 10 mm。

7. 收缩率 0.8%，未注加工余量 见注 在毛坯图上画工艺时要标明加工部位，未注坭芯间隙 1 mm，未注圆角 R5-

8. 未注拔模斜度按下表执行。如于本表不符在工艺图中另标。（取正斜度）

高度	< 40	40-100	100-160	160-250	250-400	400-630	630-800	800-1200
加工面斜度 (mm)	2	2.5	+4	+4.5	+6	+7	+8	+9.5
非加工面斜度 (mm)	2	2	+4	+5	+6	+8	+10	+12

9. 造型采用震动紧实。为使起模顺利及提高铸件表面质量外模表面采用夹板制作。

10. 芯盒：11付，1#对开式；2#-11#套壳式，其中 4#、6#、8#-10#芯盒外框必须用方钢加固，防止震动时套壳脱开。

11. 外模活块做出起模及吊运装置，外模和坭芯的活块定位需做成不通用，以防放错，并在活块后面写上活块编号。

14. 件号，炉号在图示位置上铸出。

15. 盖、底箱浇道：Φ 100-Φ 60

16. 芯外框尺寸请按照翻身板外框尺寸制作，翻身板不用做出；
芯盒要新做翻身板，芯盒外框尺寸做好后，请通知技术部做翻身板。

17. 未明事宜及时联系解决。

编制 张三 日期 2010-12-12

校对 李四 日期 2010-12-12

审核 王五 日期 2010-12-12

会审 刘科长、胡主任

图 3-19 工艺说明实例

38

其内容包括：

模具制作按《铸造用模具制作暂行规定》及附件《木制模样和芯盒技术条件》要求执行。

工艺采用实样造型；工艺采用型板造型。

型板尺寸 5400x3080 上下型板划出十字中心线；铁心内定位 3 只。

型板采用槽钢结构；型板采用多层板结构（型板厚度×mm）；型板采用铁平板。

砂箱尺寸 5000x2680（借用保定天威底座竖做工艺砂箱）。

型板依砂箱内筐线边上覆铁板 4 处用于起模，铁板高出型板 10 mm。

收缩率 0.8% ，未注加工余量见注在毛坯图上画工艺时要标明加工部位，未注坭芯间隙 1mm，未注圆角 R5-R15。

未注拔模斜度按下表执行。如于本表不符在工艺图中另标。（取正斜度）

造型采用震动紧实。为使起模顺利及提高铸件表面质量外模表面采用夹板制作。

芯盒： 11 付， 1#对开式；2#-11#套壳式，其中 4#/、6#、8#、10#芯盒外框必须用方钢加固，防止震动时套壳脱开。

外模活块做出起模装置。

底注的件，如果底箱内没有型腔，为防止封箱条压入铸件或浇口，要求在底箱型板上划出硬线，配模时按硬线围封箱条将铸件及浇口围在硬线内。

底注的件，如果底箱内没有型腔，为放置冷铁，要求在底箱型版上画出冷铁位置硬线，造型时按硬线放置冷铁。

件号，炉号在图示位置上铸出。

未明事宜及时联系解决。

浇道尺寸：盖箱 $\phi 100$ - $\phi 60$ 、底箱 2- $\phi 70$ - $\phi 50$ 。

用户需要自己修改工艺说明，所以在对话框上留了提供给用户修改的编辑框和多选项。还预留了可以让用户自己添加补充说明的多行编辑框。

工艺说明的实际应用如图所示，其中第一行文字采用较大号的字体，正文采用小号的字体。Arx 中的文字类是 `AcDbText` 类，文字大小，类型，颜色等的控制，直接在调用该类的构造函数的时候指明就行了，也可以在构造函数之后，直接调用

AcDbText 类的成员函数来设置。工艺说明实例如图 3-19 所示。

3.8.3 本体试块

本体试块包括 3 种类型，如图所示，其形状都一样，都是长方体中间加一条直线。其标注为普通的标注和多重引线标注。试块图分主视图和侧视图，如图所示。



图 3-20 本体试块绘制对话框

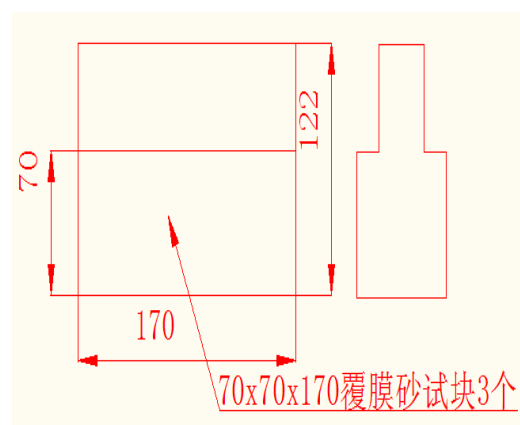


图 3-21 本体试块绘制实例

3.9 小结

本章主要介绍了本课题开发的 CAD 系统的各个模块，包括：系统初始化，分型面和分型负数，加工余量和工艺补正量，冒口系统，浇注系统，冷铁系统和砂箱系统，以及其他辅助系统。其中还简单的介绍了冒口系统和浇注系统的设计理论。主要介绍了其开发过程和使用方法，同时介绍了开发过程中遇到的问题和解决方法。还补充了一些与之相关的比较复杂 arx 技术。

本课题开发的铸造 CAD 系统基本包括了铸造领域的几个模块。主要根据吉鑫风能有限公司的工艺设计要求，结合试验室多年的开发经验，开发出的 CAD 系统。在开发过程中，积累了几点开发注意事项，希望对后来的开发人员有所借鉴。

因为是铸造领域的 CAD 系统，所以程序员在开发过程中，应该多了解铸造工艺的过程以及工厂的需求，多和对方的工艺人员交流，不断改善自己的功能。当然，也许一个小小功能的改变，对于程序员来说有可能是全部代码的重写。因此，首先在做需求分析的时候，一定要将对方的需求明确清楚，这样可以大大减少将来要修

改的工作量。其次，在编写代码的过程中，应该留有余地，将程序变灵活，最好能将各个部分的功能都组织成函数或者类，这样修改代码的时候可以减少工作量。

建议开发人员多上论坛和相关网站，不能闭门造车。因为 arx 网上和图书馆的资料都是非常基础的，AutoCAD 公司提供的资料也比较有限，许多复杂的技术掌握的人不多，实验室已有的经验有限。因此，开发人员除了利用实验室已有的开发经验之外，应该多去探索，多去交流，这样才能开发出比较优秀的程序出来。

4 球铁件工艺 CAD 系统的应用

4.1 吉鑫 1.5MW 轮毂实例

如图 4-1 为吉鑫 1.5MW 轮毂实例，此为其俯视图，图中黑色部分为零件图，红色部分为利用本 CAD 系统制作的工艺。其制作过程为：

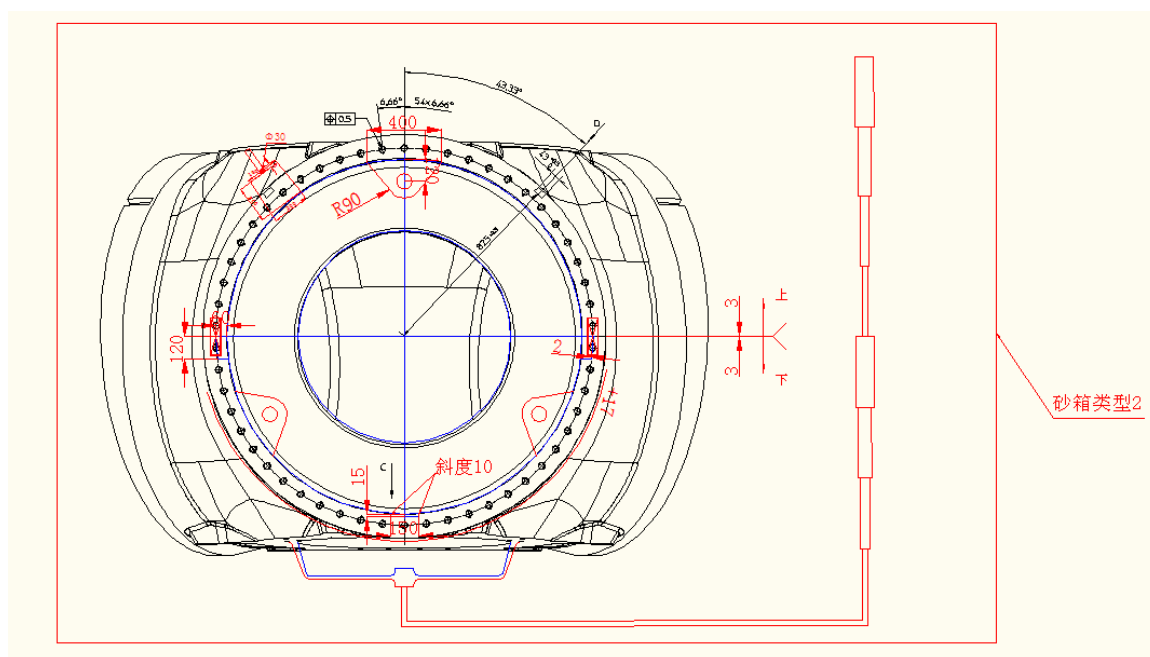


图 4-1 吉鑫 1.5MW 轮毂工艺图

- 1、加载数据源，其目的是将砂箱数据库文件设置成系统数据源文件。
- 2、利用设置功能，设置好跟图形匹配的标注符号大小，标注文字大小和文字大小。
- 3、绘制分型面，在轮毂对称的位置绘制分型面。此处为两厢分型。再在分型面符号末端添加分型负数。

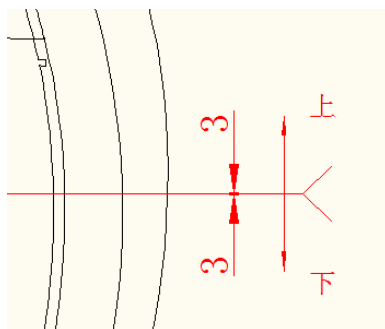


图 4-2 分型面及分型负数应用

4、绘制砂芯。分别取轮毂的内圆和外圆，作为参数传入，并输入好其他参数，选择轮毂中心点为其放置位置。图中蓝色部分为砂芯。再在砂芯底部放置泥芯斜度如图。在砂芯侧部放置泥芯间隙如图 4-3、4-4。

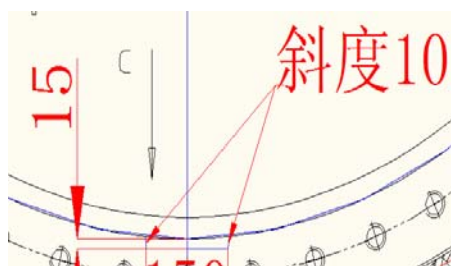


图 4-3 泥芯斜度

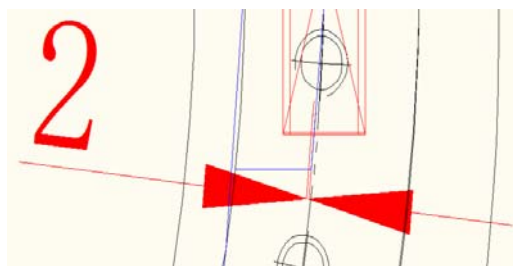


图 4-4 泥芯间隙

5、放置冷铁和冒口。在适当的位置放置好冷铁和冒口。如图 4-5、4-6。

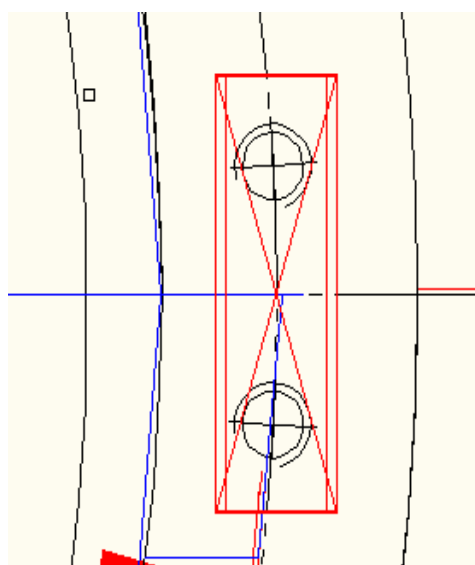


图 4-5 冷铁实例

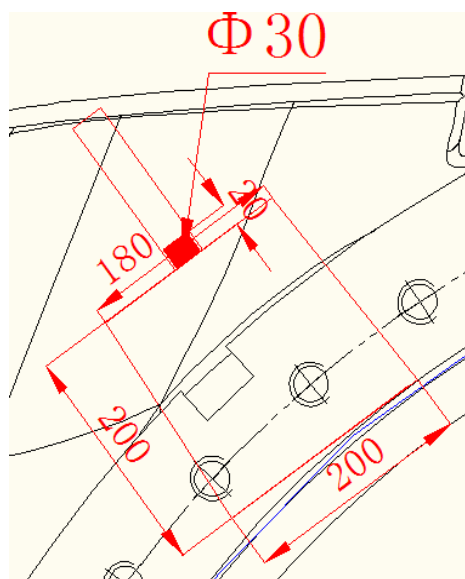


图 4-6 冒口实例

6、绘制引出气。该轮毂需要绘制三个引出气，成阵列分布。引出气如图 4-7。

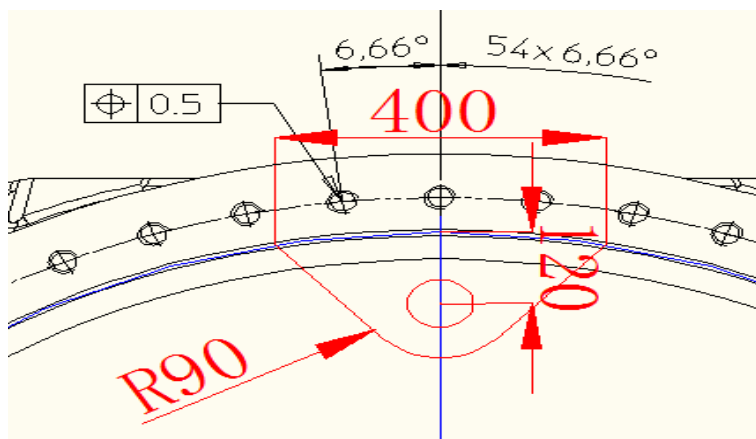


图 4-7 引出气实例

7、浇注系统。选择轮毂底部孔的内圆的两个端点作为放置点。绘制浇注系统，如图 4-8 为横批浇道。

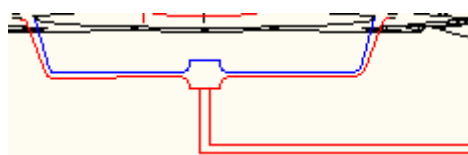


图 4-8 浇注系统实例

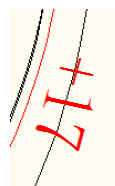


图 4-9 加工余量实例

8、绘制加工余量。如图 4-9。

9、绘制砂箱。根据铸件尺寸，选择合适尺寸的砂箱，并绘制出来。如图 4-1。

4.2 小结

本章以上吉鑫 1.5MW 轮毂的铸造工艺设计为例来说明大型球墨铸铁件铸造工艺 CAD 系统的使用方法。涉及到的功能有：设置、砂芯绘制、冒口绘制、冷铁绘制、浇注系统绘制、砂箱绘制等。通过实例的应用可以表明球墨铸铁工艺 CAD 系统可以简化和加快铸造工艺的设计和绘制过程，具有很好的实用性。

5 总结与展望

5.1 总结

铸造工艺 CAD 将传统的铸造工艺转移到计算机上实现,方便了设计人员的交流,提高了铸件的生产质量,其应用将越来越广。课题根据吉鑫风能股份有限公司的工艺要求,在实验室的 CAD 研发基础之上,取得了如下成果:

1、运用二次开发技术、动态拖动技术和遍历技术进行开发。开发了工艺设计初始化模块。工艺设计的时候有需要经常使用的参数,如文字的大小,标注的箭头大小,标注文字的高度等。这些参数都可以在 CAD 系统的设置功能中完成。开发了浇注系统和冒口系统模块。浇注系统提供球墨铸铁的直浇道、横浇道和批缝浇道的绘制,规范了绘制浇注系统的流程。冒口系统提供了主视图和俯视图的绘制。保存了浇注系统和冒口系统的工艺方案的保存。开发了砂芯系统。砂芯系统提供了三种砂箱的绘制,并且提供了泥芯斜度和泥芯间隙符号的绘制。开发并完成了其他辅助工艺的设计。包括引出气、工艺说明、本体试块、加工余量和工艺补正量的绘制。

2、运用数据库技术实现了、冷铁系统和砂箱系统模块。冷铁系统和砂箱系统分别采用了两种不同方式提供了工艺数据库,用户可以修改、查询和添加工艺数据库。冷铁采用文件夹数据库形式巧妙的解决了用户自定义冷铁的添加和重用功能。

3、较好的研究了自定义实体和动态属性在铸造 CAD 中的使用。方便了铸造 CAD 的使用,提高了 CAD 的性能。更加有利于铸造 CAD 的模块化。

4、铸造 CAD 的实例应用。将开发的铸造 CAD 系统各个模块应用到了风电轮毂的实例之中。

目前已经能很好的应用到吉鑫的工艺设计和生产实践中。该 CAD 系统已经在吉鑫公司得到应用。该 CAD 系统能够加快工艺人员的设计速度,规范工艺人员的设计,提高了生产效率。

5.2 展望

1、开发语言的从 C++ 到 C# 的传型

一般来说 arx 比较适合于大型的项目和工程，因为其功能强大，程序运行效率比较高，但是其开发难度比较大，参考资料比较少。相对来说，C# 可能更加适合中小型的项目，而且其参考资料比较多，开发简单，而且容错功能比较好。随着 C# 越来越强大，CAD 二次开发对 C# 接口的不断完善，将来的 CAD 二次开发可能越来越多的用 C# 来开发。

2、铸造 CAD 系统的通用化过程

因为，各个铸造厂的铸造工艺都不一样，工艺员的设计习惯也不相同，因此完全的铸造 CAD 通用系统不好开发。现阶段，利用已有的 CAD 系统，开发定制的 CAD 才比较适合。但可以将铸造工艺积累到一定程度，将所有工艺的共性提取出来，作为一种通用的工艺参考。

3、铸造 CAD 系统开发中更多的使用自定义实体和动态属性的使用

自定义实体和动态属性，在 AutoCAD 二次开发领域应用的越来越多。自定义实体将所绘制的图形做为一个整体来操作，而用动态属性来修改此自定义实体又是否方便。因此，可以将某种铸造工艺做成自定义实体，并且加上相关的动态属性。即方便重用，也方便开发。不过这两项技术的使用和开发有一定难度，而且动态属性的开发调用的函数与 arx 通常的开发语言还有一定的区别。

参考文献

- [1] 樊甜甜. 球铁件二维铸造工艺 CAD 系统的研究与开发[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008
- [2] 任仲贵 主编. CAD/CAM 原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991. 321-329
- [3] 蔡颖, 薛庆, 徐弘山 编著. CAD/CAM 原理与应用[M]. 北京: 机械出版社, 1998 年 8 月第一版.
- [4] Zhang Weishan,Xiong Shoumei,Liu Baicheng. Study On a CAD/CAE System of Die Casting[J].Journal of Material Processing Technology, 1997, 63(1-3): 707-711
- [5] J.G.Henzel,J.Keverian.Theory and Application of Digital Computer in Predicting Solidification Patterns[J].Journal of Metals,1965,17(5): 561-568
- [6] R.Nomura,Y.sOtsuka,M.Kurosawa,etal.Industrial Application of Computer Simulation System to Sand Mold Castings[C].48th International Foundry Congress, Varne, Bulgaria, 1981
- [7] E.Niyama.Development and Implementation of a Simplified Casting Solidification Simulator[J].IMONO(Japanese),1986,58(4):244-250
- [8] T.X.Hou,R.D.Pehlke.Computation Solidification of a Steel Casting against a Chill Mold Wall[J].AFS Transactions,1988,96: 151-160
- [9] D.B. Welbourn.Computer Aided Engineering in the Foundry Industry [J]. Materials & Design,1984,5(1):7-14
- [10] Yanwei Li,Yi Zhang.A Study of the Fundamental Process of Applying CAD to Steel Castings Productions[J].Cast Metals,1989,1(4):201-209
- [11] E.Niyama,T.Uchida,M.Monkawa,et al.A Method of Shrinkage Prediction and Its Application to Steel Casting Practice[J].AFS International Cast Metal Journal, 1982, 7(3): 52-63
- [12] 张志杰. 前景广阔的铸造 CAD 技术[J]. 武汉: 适用技术市场, 1995.5-6.
- [13] 张毅. 铸造工艺 CAD 及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [14] Proceedings of International Conference on Modeling of Casting[C]. Welding and Advanced Solidification Process VII. June 7-12, San Diego, U.S.A, TMS

Publication, 1998

- [15] C.T.Smith,K.Lee.AFS Transaction[M],1986:21-28
- [16] Gaty D.Hodgson.Machine Design[M],1984(56): 40-44
- [17] 程军.计算机在铸造中的应用[M].北京:机械工业出版社,1993 年 12 月
- [18] 王同敏, 金俊泽. 铸造凝固过程微观模拟进程研究进展[J]. 铸造, 1999 (5): 41~47
- [19] 孙逊, 安阁英, 苏仕方等. 铸件充型凝固过程数值模拟发展现状[J]. 铸造, 2000 (2): 84~89.
- [20] 乔雨, 王波兴, 向文. 基于自由度分析的三维几何约束推理求解[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002(06):557-561.
- [21] 黄印煌. 实用化铸钢工艺 CAD 技术的研究与开发:[D]. 武汉:华中科技大学, 2007
- [22] 彭勇. 铸造工艺绘图软件系统的开发:[D]. 武汉:华中科技大学, 1999
- [23] 肖荣存. 铸铁件 CAD 浇注系统: [D]. 武汉:华中科技大学, 2000
- [24] 廖广兰. 铸造工艺冒口系统 CAD 的研究与开发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2000
- [25] 章兵. 实用化浇注系统设计与绘图模块的研发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2002
- [26] 朱性利. 基于 AutoCAD2005 铸造工艺 CAD 系统的研究与开发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2005
- [27] 聂方兴. 液压件冒口系统设计及绘图模块的研发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2002
- [28] 李辉. 铸造工艺 CAD 系统的研究与开发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007
- [29] 陈磊. 铸钢工艺 CAD 实用化软件的研究与开发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2009
- [30] 朱炳文. 大型铸钢件铸造工艺 CAD 系统的研究与开发: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011
- [31] 王珑, 廖敦明, 周建新. 大型风电铸件铸造工艺 CAD 系统的开发与应用[J]. 现

代铸铁, 2011(5):80~84

- [32] 曹文龙. 铸造工艺学[M].北京:机械工业出版社,298-299
- [33] 李弘英, 赵成志. 铸造工艺设计[M]. 北京:机械工业出版社, 23-24
- [34] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造工艺[M]. 北京:机械工业出版社, 2003, 129-303
- [35] Light R A., Gossard D C. Modification of geometric models through variational geometry[J]. Computer-Aided Design, 1982,14(4):209-214.
- [36] Buchberger B., Collins G., Kutzler B. Algebraic methods for geometric reasoning [J]. In: Annual Review Computer Science, Palo Alto:Annual Reviews Inc,1998. 85-120.
- [37] Kondo K. Algebraic method for manipulation of dimensional relationships in geometric models[J]. Computer-Aided Design, 1992, 24 (3):141-147.
- [38] Koivunen V., Vezien J. M. Multiple representation approach to geometric model construction from range data. In: CAD-Based Vision Workshop, 1994., Proceedings of the 1994 Second,1994. 132-139.
- [39] Owen J C. Algebraic solution for geometry from dimensional constraints[J]. In: ACM Symposium Foundations of Solid Modeling, New York:ACM,1991. 397-407.
- [40] 陈立平, 王波兴, 彭小波, 等. 一种面向欠约束几何系统求解的二部图匹配优化处理方法[J]. 计算机学报, 2000(05):523-530.
- [41] Bouma W., Fudos I., Hoffmann C M., et al. A geometric constraint solver[J]. Computer-Aided Design, 1995,27(6):487-501.
- [42] 吴永明. 三维几何约束闭环的动态识别与满足[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000(08):624-629.
- [43] Haixia Du, Hong Qin. Free-Form Geometric Modeling by Integrating Parametric and Implicit PDEs[J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2007,13(3):549-561.
- [44] Matsuda K., Sugishita S., Zheng Xu, et al. Freehand sketch system for 3D geometric modelling[J]. In: Shape Modeling and Applications, 1997. Proceedings.,

1997 International Conference on,1997. 55-62.

- [45] Gao X S., Chou S C. Solving geometric constraint systems I : A global propagation approach[J]. Computer-Aided Design, 1998,30(1):47-54.
- [46] Essert-Villard C., Schreck P., Dufourd J F. Sketch-based pruning of a solution space within a formal geometric constraint solver[J]. Artificial Intelligence, 2000, 124(1):139-159.
- [47] Peng Xiaobo, Chen Liping, L Zhou F., et al. Singularity analysis of geometric constraint system[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2002, 17(3) : 314-323.