

PDC 钻头智能化设计系统^①

孙 珊¹, 赵逢禹¹, 郑 胜²

¹(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

²(上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

摘 要: 设计高质量的 PDC 钻头三维模型需要设计人员具有丰富的专业知识并能熟练使用 3D 设计工具, 是一个高度智能化的复杂过程。提出把钻头基本模型与专家设计经验结合起来形成一个 PDC 钻头智能化设计系统。该系统根据岩层属性选择钻头基本模型, 然后依据钻头准则规范钻头刀翼各类曲线, 由专家知识库对钻头参数进行甄别优化, 得到 PDC 钻头三维模型。PDC 钻头智能化设计系统中融合了专家设计知识与钻头设计准则, 具有智能化高、操作简单、准确度高的特点。

关键词: PDC 钻头; 二次开发; 智能化建模

Intelligent Design and Development of PDC Drill

SUN Shan¹, ZHAO Feng-Yu¹, ZHENG Sheng²

¹(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

²(School of Communication and Art Design, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: PDC drill design of high-quality three-dimensional model requires a wealth of expertise and skills in three-dimensional design tools, and it is a highly intelligent and complex process. This paper presents the basic model of drills combined with expert design knowledge to form a PDC drill intelligent design system. The system selects basic model of drills according to stratum properties, and then specifies various blade curve constrained by drill criteria. At last, the system optimizes drill parameters to build up three-dimensional model through expert knowledge base. PDC drill of intelligent design system combines expert design knowledge and the drill design criteria, with intelligent, simple operation and high accuracy features.

Key words: polycrystalline diamond compact drill; secondary development; intelligent modeling

PDC 钻头(Polycrystalline Diamond Compact Drill)用人造聚晶金刚石复合片作为切削刀具破碎岩石。PDC 钻头是石油钻井的重要工具, 其工作性能的好坏将直接影响钻井质量、钻井效率和钻井成本。在工程上, 钻头设计通常是设计人员根据用户需求, 并结合实践经验试凑, 反复进行设计与计算, 用三维画图软件 Pro/E 手动设计出钻头模型。这种方法每次计算只能设计出一个钻头, 设计周期长, 设计出的钻头质量受设计人员的知识与设计技能的影响。

Pro/E 二次开发在产品的设计与制造中有广泛的应用, 文献[2]以 Pro/E 软件为平台, 通过二次应用开发设计了一种将装配设计分析与产品的概念设计相结合的系统。系统包括五大模块: 设计特征库、分析模块、

交互模块、搜索模块和装配模块, 实现了产品的自动装配。文献[3]介绍了计算机辅助制造性分析工具软件 CAMA, 在创建任意三维模型过程中利用 Pro/E 二次开发工具包中的相应的函数捕获模型中特征参数, 对模型中的参数进行修改和更新, 加强了设计师和制造商之间的合作。目前, 国内有不少科研单位已经或正在进行利用 Pro/E 进行二次开发系统的研究工作。文献[4]以一个通用冲压模架模型为基础, 通过修改模型中的参数尺寸值, 得到新的冲压框架模型。文献[5]以模型特征为单位, 先利用数据库储存数据, 再对模型进行二次化参数修改再生得到所需要的三维模型。

本文提出利用钻头准则库与专家知识库智能化二次开发 PDC 钻头三维模型。在对 PDC 钻头进行智能

① 收稿时间:2011-10-08;收到修改稿时间:2011-11-27

化开发过程中,先在大量钻井经验的基础上,结合钻头使用岩层环境、地质条件、钻头参数等,确定最适合的钻头基本形态,并最终确定 PDC 钻头基本模型结构库。钻头基本模型结构库中包括适用各类岩层地质条件的经典 PDC 钻头三维模型。然后,PDC 钻头专家知识库即钻头准则库为构成钻头公共形态准则条件(如冠部曲线)。根据岩层条件由钻头准则库确定钻头参数,得到的准确钻头尺寸参数。最后模型再生,得到新的钻头模型。此种修改钻头参数值的方法,具有较强的操作通用性与较高的设计效率。

1 PDC 钻头基本模型结构库

PDC 钻头基本模型结构库主要考虑四个要素:

- 工作目标:普通工作钻头还是取芯钻头;
- 刀翼数量:四刀翼、五刀翼、六刀翼、七刀翼、十二刀翼等;
- PDC 钻头加工工艺:是硬质合金胎体钻头还是刚体钻头;
- PDC 钻头公称直径。

选择 PDC 钻头基本模型过程中,先通过分析岩层的地质参数,明确钻头要工作的岩层属性:硬度、破碎性能、粘性、破岩效果、切削性能。其中岩层硬度决定刀翼数量,岩层破碎性能决定钻头复合片的大小,岩层粘性决定钻头水眼的角度,岩层的破岩效果决定射流的排量,岩层的切削性能决定复合片的切削角、旁侧角等角度参数。

在 PDC 钻头基本模型中任何一个钻头不可能满足以上所有参数要求,故在系统设计中,以岩层属性参数为参考,根据分析得到的结果,在已有钻头库中自动选择最适合的钻头模型,并以此作为进一步参数设计的参考。

2 钻头设计准则库

钻头设计须遵循结构式操作,分析出构成钻头特征的每个准则。影响钻头形态的要素包括钻井工况、地质参数、钻头加工工艺、岩石的粘性、温度、泥浆、转速、预计进尺等。

考虑到 PDC 钻头用途不同,作用地质的区别,其外形特征也会有差异,图 1 显示 PDC 钻头的部分结构信息。根据钻头零件作用一般信息,可以概括出设计钻头具备的四个约束条件:钻头基本型、冠部曲线准则、布齿准则、水眼分布准则。

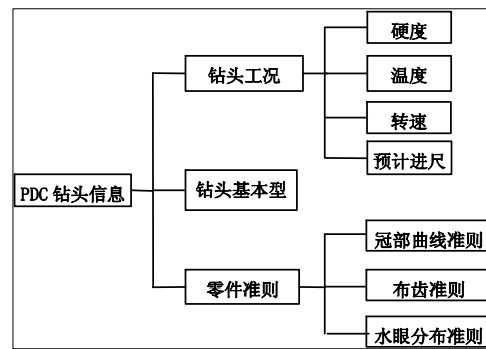


图 1 零件结构信息

2.1 钻头基本模型选择

设计钻头过程中,在地质参数确定后,就要考虑钻头的基本模型,基本模型确定后,再进行各类特征准则约束判断。在钻头设计中,影响钻头形态的最重要特征是钻头的刀翼数量。因而在本系统中,将所有的钻头基本模型都考虑到,并以枚举的方式,将不同刀翼数量的钻头基本模型都存入数据库当中^[7]。在明确地质条件后,根据岩层硬度和粘性等,本系统能自动判别刀翼的数量,并确定相应的基本型。

2.2 冠部曲线准则

冠部曲线决定了 PDC 的布齿面:合理的冠部曲线会增加钻进稳定性,有利于井底清洗及减小切削齿的磨损。在该曲线设计中,主要考虑钻井工艺和布齿科学合理。

不同的冠部曲线其切削齿相对高差和切削齿轴线与钻头轴线的夹角不同,从而各切削齿的切削体积、破岩能力、切削齿受力也不一样。本软件系统中规范了不同岩层条件中冠部曲线的形状,能较好的满足等切削、等磨损和等功率设计原则。

2.3 布齿准则

在完成刀翼数量与方向角、钻头冠部曲线设计以后,将进行钻头的布齿准则设计。

PDC 钻头的布齿首先需根据岩层硬度确定复合片的规格,通常在有限的几个规格中进行判定选择。然后依次由内而外螺旋型,沿钻头冠部曲线确定复合片中心的空间几何位置。在该步骤需充分考虑等切削、等磨损和等功率设计原则。再根据岩层的地质情况,选择复合片的切削角、侧倾角等参数的设计准则。最后根据钻头工作的地质条件和工况,选择径程布齿的准则。

2.4 水眼分布准则

水眼分布即钻头水力结构优化。对 PDC 钻头的水

力结构优化就是在一定的泵压条件下,在合理地分配整个循环系统水力能量,通过科学地优化设计 PDC 钻头喷嘴组合和布置方案,把钻头喷嘴所能得到的井底总水力能量合理地进行分布,从而在清除钻头泥包以及井底排屑时获得较佳的净化效果。

设计水眼分布准则主要与地质条件、泥浆物理性能、刀翼数量有关。该准则主要影响要素有:均匀分布水力能量、合理分配冲刷的目标复合片、以及淹没井底射流对目标复合片的影响等。

在系统设计开发过程中,从上述结构准则介绍的钻头零件参数而得到的连续曲线,采用二次拟合的方式,根据精确度需求将曲线离散化,得到样条曲线来设计钻头模型。

3 PDC钻头专家知识库

影响钻头形态的因素纷繁复杂。专家知识库主要记录了钻头设计专家设计经验,如硬度综合指标的与刀翼数量的阈值的的关系、岩石粘性与切削角的阈值的的关系、岩石破岩性能与复合片大小的阈值的的关系、工况泥浆与水眼参数的阈值的的关系等。有了以上阈值关系,系统可以在基本模型库中进行甄别优化,动态调整钻头的基本形态,以形成钻头最佳的基本型。

系统设计具有开放性,以适应不同的设计师、不同的钻头生产厂特有的设计思路和准则。本系统能根据不同设计主体的要求,随设计者的要求改变软件设计内核。比如岩石硬度与刀翼数量的关系,同样的地层设计师甲认为该地层应该采用五刀翼大规格复合片,但设计师乙可能认为七刀翼中规格复合片。本系统设计内核部分就需设计成开放式,不同的设计师能任意修改相应准则,从而符合自己的设计经验。

4 PDC钻头智能化设计开发工具

Pro/Toolkit 是 Pro/E 软件自带的功能较强大的二次开发工具^[1]。它以 C 语言为依托,封装了许多针对 Pro/E 底层资源调用的库函数与头文件。它可以对 Pro/E 进行功能扩展,满足客户的特定需求。本文利用 Pro/Toolkit 库函数,编程实现 PDC 钻头的二次开发。系统采用创建集成内部程序 DLL 的形式来完成钻头三维模型设计。

使用 Pro/Toolkit 实现 PDC 钻头的二次开发包含三个基本步骤:编写源文件、生成可执行文件、可执行文件在 Pro/E 中注册并运行。

4.1 编写源文件

源文件包括资源文件和程序源文件。

资源文件主要用于菜单的建立。在 Pro/E 软件中,以资源文件信息在菜单栏新建菜单项,可以方便的实现人机交互,直接点击菜单项中的下拉列表即可实现相应程序调用。资源文件包括菜单资源文件、窗口资源文件、对话框资源文件三种。窗口资源文件和对话框资源文件在 MFC 类中打包的对话框控件直接生成。而菜单资源文件 message.txt 又可称为信息文本文件,是因为它主要包含程序源文件中利用函数创建的菜单项的所有文本信息,它能将系统菜单信息显示在 Pro/E 界面菜单栏中。

程序源文件指我们所要编写的程序,程序中集成钻头二次开发所需要的各类函数。程序中应包括初始化函数、动作函数、结束函数三个部分。Pro/Toolkit 函数库中规定初始化函数名必须为 user_initialize()、结束函数必须命名为 user_terminate()。初始化函数 user_initialize() 应包含用户或第三方开发的 Pro/Toolkit 应用程序所需的一切初始化信息,主要有 Pro/E 系统菜单的扩展等。结束函数 user_terminate() 主要用于对话框资源释放。动作函数名由用户自定义,主要包括对话框的创建、钻头模型参数的展示与修改、钻头准则库的管理等功能。

4.2 生成可执行文件

可执行文件是从程序源文件生成类型的文件,该文件可在 Pro/E 运行,可在软件开发平台 VS2005 直接编译生成。打开 VS2005 软件后,创建新项目时,直接点击 MFC 中 DLL 类别即可。在完成源代码编写后,利用软件自带的编译工具直接生成可执行文件。

4.3 可执行文件在 Pro/E 中注册并运行

利用 Pro/Toolkit 进行二次开发过程中,必须将所创建的 DLL 链接库通过注册文件集成到 Pro/E 软件中运行。此时就必须制作一个后缀为 .dat 的注册文件。注册文件应包含创建的 DLL 动态链接库名称、工作模式 (DLL)、动态链接库文件位置、资源文件位置及 Pro/E 软件版本。

系统为运行简单化,采用自动注册形式。将注册文件放在 Pro/E 的启动目录下,运行 Pro/E 软件时可根据注册文件自动注册所指定的应用程序,但注册文件必须名为 protk.dat。

5 二次开发设计与实现

本文在 VS2005 开发平台上,使用 Pro/Toolkit 工

具包中的 C 语言函数库,采用动态链接库 DLL 形式连接 Pro/Toolkit 与 MFC 接口,利用 MFC 强大的可视化类库实现对话框设计,在 Pro/E 环境中注册运行,实现方便的人机交互。钻头设计流程如图 2 所示。

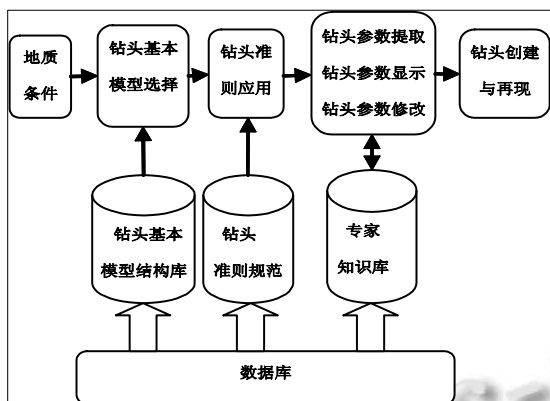


图 2 PDC 钻头系统设计结构

钻头参数化二次开发过程中,首先从钻头三维模型库中选择钻头基本模型,提取钻头参数并显示在窗口界面,并在窗口界面输入需要修改的钻头信息参数,然后根据钻头准则规范确定参数修改是否可行、由专家知识库确定参数是否适应岩层属性,最后创建与再现新钻头三维模型。

系统根据用户需求管理界面,加入需要修改的相应的特征参数值。用户管理界面主要是由 MFC 类来创建,系统主程序是用基于 VC++ 环境和 Pro/Toolkit 所提供的 C 语言函数库编程实现。而专家知识库根据前期准备和对钻头工作性能的分析,确定钻头零件特征并修改相应参数尺寸,实现钻头三维模型设计。

6 系统运行

将所设计的 PDC 钻头 CAD 系统自动注册到 Pro/E 软件中,选择钻头基本模型,本文选择钻头五刀翼基本模型。钻头基本模型如下图 3 左所示。以修改钻头冠部曲线为例,利用冠部曲线准则得到的曲线经过离散化抽样的七个点(如图 4),在图 4 参数修改界面中修改相应的参数值,经过模型再生后得到修改后的钻头三维模型,如图 3 右边所示。

7 结语

在 Visual Studio 2005 开发平台,通过使用三维软件 Pro/E 二次开发工具 Pro/Toolkit 及其应用程序接口,

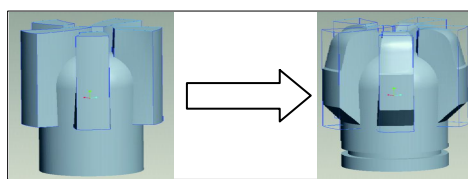


图 3 钻头模型

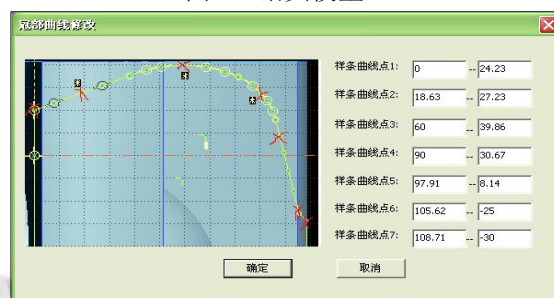


图 4 冠部曲线修改界面

采用尺寸驱动参数化建模的方法,成功实现了与 Pro/E 软件集成的 PDC 钻头智能参数化设计二次开发。开发过程中通过良好的人机交互界面,利用 PDC 钻头专家知识库分析并修改钻头相应参数尺寸值,获得所需要的 PDC 钻头三维模型。该系统很好地提高了 PDC 钻头三维建模设计效率,缩短了设计周期,实现钻头的快速开发,提高经济效益。

参考文献

- 1 Pro/E Wildfire 4.0.Pro/TOOLKIT User's Guide
- 2 Srikumaran S, Sivaloganathan S. Proving manufacturability at the design stage using commercial modeling software: through feature mapping and feature accessibility. Computer-Aided Design and Applications, 2005,2(1-4):507-516.
- 3 Molcho G, Zipori Y, Schneur R, Rosen O, Goldstein D, Shpitalni M. Computer aided manufacturability analysis: closing the knowledge gap between the designer and the manufacturer. Annals of the CIRP, 2008,57(1):153-158.
- 4 辛舟,曹兰兰.冲压框架参数化系统的设计.机械设计与制造,2010(8).
- 5 田建平,刘晓叙,符纯华.基于 Pro/E 平台的零件可制造特征分析.机械设计与制造,2010,(2).
- 6 刘建风.PDC 钻头布齿设计技术.勘探地球物理进展,2003,(3).
- 7 孙明光,张云联.新型 PDC 钻头设计.石油钻采工艺,2000,(2).