

文章编号: 1004-1338(2013)02-0219-04

基于 TrueGrid 软件的射孔弹有限元 仿真模型参数化建立方法

罗宏伟¹, 郭鹏¹, 王树山², 徐豫新²

(1. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司测井公司, 重庆 400021;

2. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 研究了用于仿真计算的射孔弹有限元模型参数化建立方法。针对弧顶单锥型射孔弹分别进行了药型罩和装药结构特征分析及壳体结构特征分析。基于 TrueGrid 软件研究射孔弹结构的参数化离散方法, 提出仿真计算用有限元模型的参数化建立方法。采用 VC++ 语言编写了应用程序, 通过该应用程序可快速建立弧顶单锥型射孔弹有限元模型。通过实例验证了该方法的正确性, 该研究结果可为相关研究提供参考和借鉴。

关键词: 石油射孔; 射孔弹; 数值模拟; 参数化建模方法; 有限元模型; TrueGrid 软件

中图分类号: O381

文献标识码: A

Parametric Modeling Method for Finite Element Simulation of Perforating Charge Based on TrueGrid Software

LUO Hongwei¹, GUO Peng¹, WANG Shushan², XU Yuxin²

(1. Well Logging Company, Chuanqing Drilling Engineering CO. LTD., CNPC, Chongqing 400021, China;

2. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: We studied the parametric modeling method of perforating charge for finite element analysis on numerical simulation. The mechanical features of shaped charge liner, powder charge and shell are analyzed separately. Based on TrueGrid software, parametric discretization method is studied, and parametric modeling method for finite element analysis on numerical simulation is put forward. Then, with VC++ language we write application programme, which makes it possible to build finite element model for arc top single cone perforating charge rapidly. Practical application has verified the validity of this method which provides reference and help for relative perforating charge studies.

Key words: petroleum perforation, perforating charge, numerical simulation, parametric modeling method, finite element model, TrueGrid software

0 引 言

通常以射流成型及侵彻作用机理为基础进行射孔弹弹体结构设计, 但射孔作业具有作用空间小、高温高压环境、作用时间短暂、射流超塑性动态变形与枪管套管和岩层的高应变率破裂成孔相耦合、高强

度爆炸载荷非对称分布等特征, 系统的理论分析体系尚未建立。依靠实验研究对射孔弹结构设计与优化的支持力度有限。因此, 在早期的射孔弹研制中主要依靠经验积累, 通过“画—加—打”的方法进行。近年来, 采用有限元仿真技术在计算机上再现射孔弹作用过程已成为辅助射孔弹结构设计与优化的有效方法和手段。但在有限元仿真中, 爆炸作用时高

基金项目: 国家重大科技专项“大型油气田与煤层气开发”子课题“油气田测井重大技术与装备”(编号: 2011ZX05020-001)

作者简介: 罗宏伟, 男, 1966 年生, 教授级高级工程师, 中国石油天然气集团公司高级技术专家, 长期从事射孔技术研究。

速、高压气体流动特性对结构离散化后的网格质量提出了较高的要求,尺寸均匀的六面体网格是仿真计算的前提条件,同时也直接影响着仿真结果的准确性。射孔弹结构并不规则,尺寸均匀六面体网格的划分不仅需要几何拓扑学基础,而且往往消耗大量时间,是现阶段困扰射孔弹研制人员的一个难题。

采用参数化离散方法实现同类结构有限元仿真模型建立是简化同类模型建立步骤,实现模型快速建立的有效方法。本文选取弧顶单锥类射孔弹进行射孔弹结构特征分析,依据 TureGrid 软件的建模方法^[1],提出弧顶单锥类射孔弹有限元仿真模型的参数化建立方法,并编写了应用程序,为该类型射孔弹有限元分析模型的快速建立提供了一种方法和手段。

1 射孔弹结构特征分析

选取弧顶单锥类射孔弹进行有限元仿真模型参数化建立方法研究。因有限元仿真时药型罩、炸药采用 Euler 算法,壳体采用 Lagrange 算法。因此,根据算法的不同,分别进行各自结构特征分析和参数化离散方法研究。

1.1 药型罩及装药结构特征分析

因炸药爆炸驱动下药型罩的压合成型仿真采用 Euler 算法进行,装药、药型罩界面的网格只有共节

点才能实现能量的传递。所以,在模型建立时,将装药、药型罩作为一个整体进行。根据弧顶单锥类射孔弹结构特征[见图 1(a)],选取 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ 、 $L4$ 、 $L5$ 、 $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 、 $D4$ 、 $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 共 15 个参量表征,表征参量构成一个封闭的尺寸链[见图 1(b)]。

1.2 壳体结构特征分析

对于射孔弹壳体结构(见图 2),选用 $Ld1$ 、 $Ld2$ 、 $Ld3$ 、 $Lu1$ 、 $Dr1$ 、 $Dr2$ 、 $DI1$ 、 $DI2$ 、 $DI3$ 、 $DI4$ 、 $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $R1$ 、 $R2$ 共 15 个参量表征,表征参量同样形成一个封闭的尺寸链。

2 射孔弹结构参数化离散方法

2.1 药型罩及装药结构参数化离散方法

射孔弹有限元仿真模型可在 TureGrid 软件中生成。TureGrid 软件通过投影的方法生成网格,可以使用参数、代数公式、条件语句、循环语句等,具备参数化建模功能。

对于射孔弹有限元仿真模型,将空气域、装药、药型罩在径向作为一个整体进行模型建立,通过将材料 ID 赋于不同的值实现各部分的区分(见图 3)。

对于装药和药型罩,除将表征其结构的 15 个参量($L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ 、 $L4$ 、 $L5$ 、 $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 、 $D4$ 、 $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、

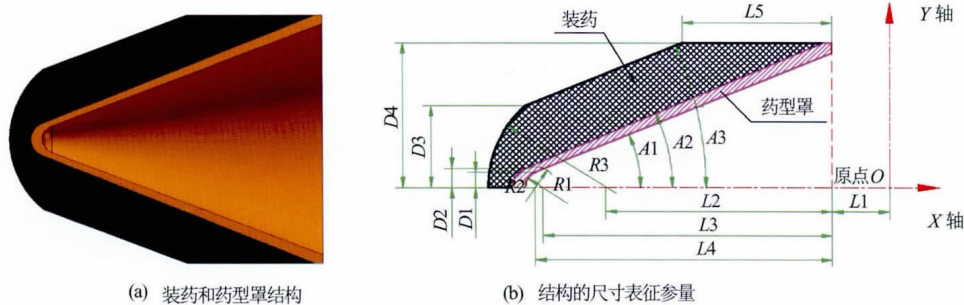


图 1 装药和药型罩结构及尺寸表征参量

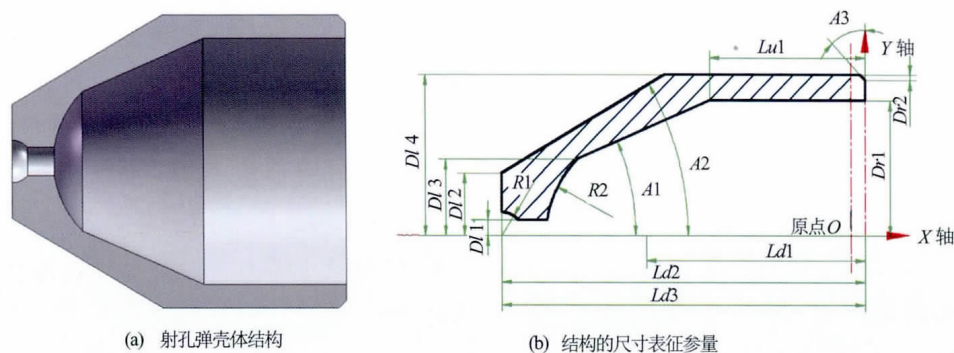


图 2 壳体结构及尺寸表征参量

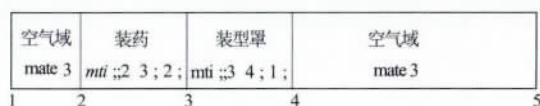


图 3 模型径向整体建立方法示意图

$R1, R2, R3$) 设置为可变参量外, 还需将最小网格尺寸设置为可变参量 $Mesh_S$, 15 个参量中的 12 个长度度量值与最小网格尺寸之比即为结构在长度上的节点数。在 TureGrid 软件中实现的代码如下。

c 结构参量

```
parameter D1 0.183
```

```
Mesh_S 0.12;
```

c 网格节点参量

```
parameter ij1 [max(1, nint(% D1/% Mesh_
S))];
```

在建立 block 或 cylinder 时, 可在 TureGrid 软件中通过代数计算获得节点数, 并进行参量设置, 将 block 或 cylinder 向辅助曲面进行投影, 就可获得轴向和径向网格尺寸基本一致的有限元分析模型。

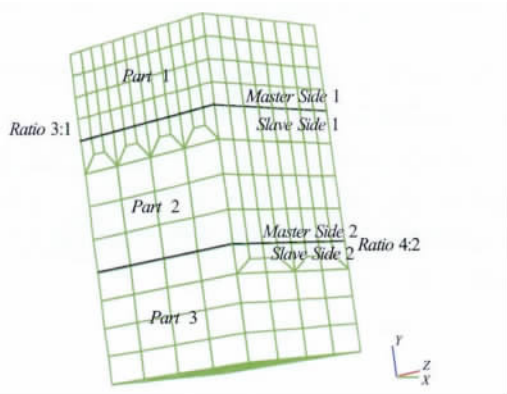


图 4 网格过渡映射示意

在投影时, 通过增加网格节点数解决沿周向单个网格尺寸逐渐变大的问题。根据该类射孔弹的结构特征, 沿轴向建立 8 个圆柱面, 通过 8 部分分体建模的方法实现模型每一部分的建立, 并通过 bb、trbb 命令实现网格 1 对 3、2 对 4 或 3 对 1、4 对 2 的过渡映射(见图 4)。采用上述方法获得的装药、药型罩和空气域的有限元分析模型(见图 5)。

2.2 壳体结构参数化离散方法

对于图 2 中的壳体结构, 采用同样的方法设置最小网格尺寸参量 $Mesh_S$ 后, 将表征结构的参量中的 12 个长度度量值均除以最小网格尺寸, 获得每个长度尺寸上节点数。根据结构特征, 通过 4 部分分体建模的方法, 实现模型每一部分的建立, 并通过

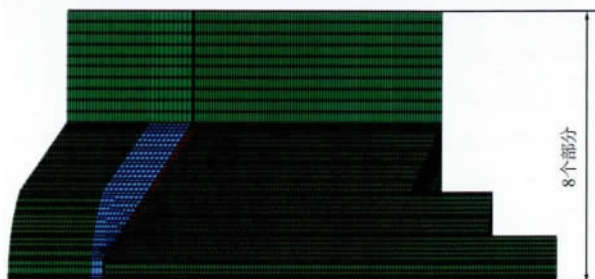


图 5 平顶单锥装药结构离散化模型

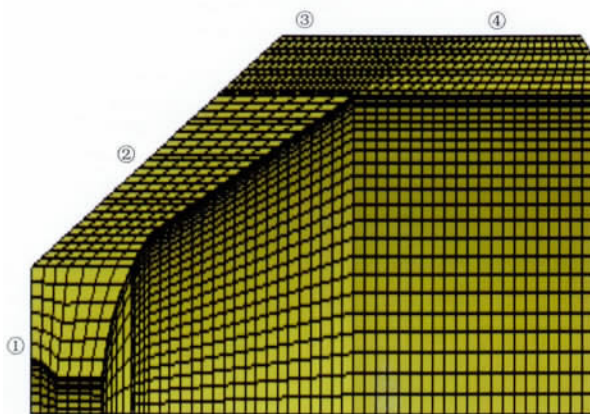


图 6 射孔弹壳体结构离散化模型

bb、trbb 命令实现网格的过渡映射。形成的离散化模型见图 6。

3 参数化建模应用程序

根据上述研究结果, 采用 VC++ 语言^[2], 通过 Turegrid 软件的批处理调用, 进行了参数化建模应用程序的开发, 批处理调用代码如下。

```
void CKwordProduce::ProduceKWord(CString TgPathName,
CString TgFileName, CString KFileName)
```

```
{
    STARTUPINFO StartupInfo; // 记录进程
    初始状态;
    PROCESS_INFORMATION ProcessInfo;
    memset(&StartupInfo, 0, sizeof(STARTU-
    PINFO)); // 初始化变量 StartupInfo
    StartupInfo.cb = sizeof(STARTUPINFO);
    // 设置变量 StartupInfo 的字节大小
    StartupInfo.dwFlags = STARTF __USE-
    SHOWWINDOW; // 设置批处理程序以窗口方
    式运行
    StartupInfo.wShowWindow = SW __SHOW-
    MAXIMIZED; // 设置批处理程序以最小化方式
    运行;
```


char TgCommand[200]; // 记录 TureGrid 的路径及批处理时所带的参数;

CString TgFile="I=";

CString TgOutFile="O=";

sprintf(TgCommand,"%s %s %s %s %s %s %s",TgPathName,TgFile,TgFileName,"MEMORY=20000",TgOutFile,KFileName);

::CreateProcess // 创建进程;

(NULL,TgCommand,NULL,NULL,FALSE,0, NULL,NULL,&StartupInfo,&ProcessInfo);

return;

}

开发的软件界面如同 7 所示,通过该应用程序可实现弧顶单锥型射孔弹有限元模型的快速建立,建立的模型如图 8 所示。通过实践,验证了上述方法的可行性。

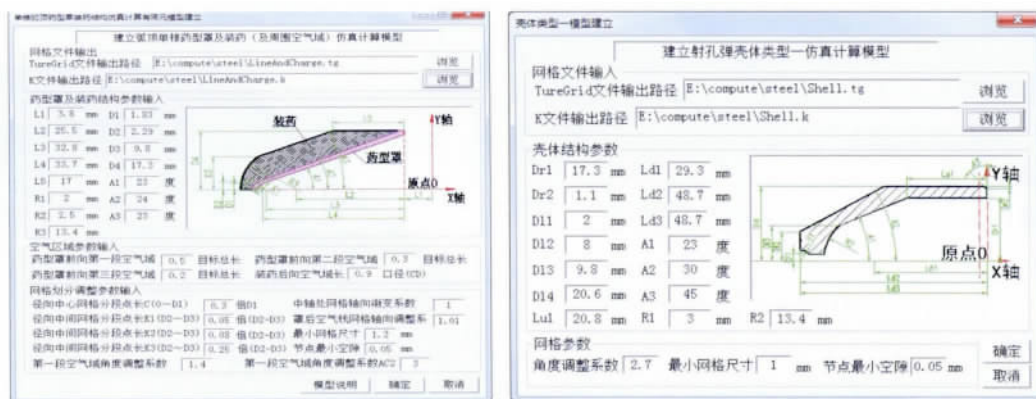


图 7 应用程序输入界面

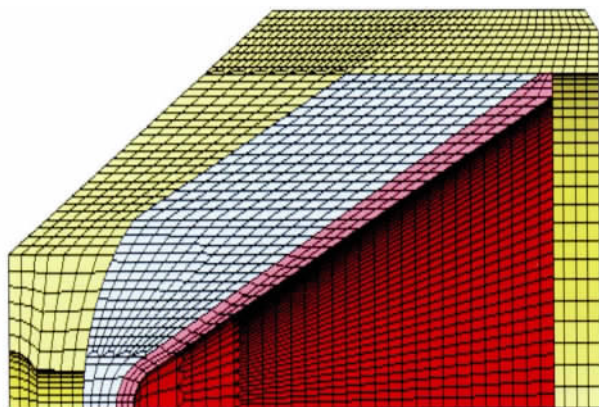


图 8 通过应用程序建立的有限元模型

4 结 论

(1) 采用结构特征和网格尺寸参数化表征的方

法可实现同类射孔弹有限元分析模型的快速建立,该方法的关键在于结构的表征参量分析。

(2) 通过射孔弹有限元分析模型参数化建立方法的研究,认为在 TureGrid 软件平台上以射孔弹结构的表征参量为依据,可实现高质量有限元分析模型参数化建立。

(3) 采用 VC++ 语言,通过对 TureGrid 软件的批处理调用,可实现应用程序的开发。

参考文献:

- [1] TrueGrid Manual Version 2.1.0[R]. XYZ Scientific Applications, Inc., 2001,9.
- [2] 余祖龙,孙开琼.面向对象程序设计与 VC 程序设计入门[M].北京:北京航空航天大学,2010.

(收稿日期:2012-6-27 本文编辑 王小宁)