

# 地下水模拟系统 (GMS) 软件及其应用

窦艳兵<sup>1</sup> 郑佳<sup>2</sup>

(1 北京市水文总站 100089 2 中国地质大学 100083)

**摘 要:** 国际通用标准软件 GMS 以良好的使用界面, 强大的前处理、后处理功能和优良的三维可视效果成为目前世界上应用最广泛的地下水模拟软件之一。本文对 GMS 软件中各模块的功能及其应用进行了详细的介绍, 着重描述了概念模型建模方法, 最后将概念模型建模方法与实例相结合, 详细描述了 GMS 软件在地下水数值模拟中的应用。

**关键词:** GMS; 建模方法; 数值模拟

## 1 引言

地下水模拟系统 GMS (Groundwater Modeling System) 是由 Brigham Young 大学环境模拟研究实验室和美国军队排水工程试验工作站在综合 MODFLOW、FEMWATER、MT3DMS、RT3D、SEAM3DMODPATH、SEEP2D、NUFT、UTCHEM 等已有地下水模型的基础上开发的一个综合性的、用于地下水模拟的图形界面软件<sup>[1-3]</sup>。GMS 是目前唯一支持 TINs、Solids、钻孔数据、2D 与 3D 地质统计学的地下水流模拟软件, 其使用界面良好, 并拥有强大的前处理、后处理功能及优良的三维可视效果。相对于 Visual ModFlow 和 Feflow 而言, GMS 数值模拟功能更强大, 能模拟多相多组分的溶质运移, 软件提供了多种组建地下水数值模型的方法, 能准确刻画地层的空间结构等优点。目前, GMS 软件已广泛的应用于地下水模拟中。

## 2 GMS 软件简介

MODFLOW 是美国地质调查局于 20 世纪 80 年代开发出的一套专门用于孔隙介质中地下水流动的三维有限差分数值模拟软件<sup>[4]</sup>。MODFLOW 自从问世以来, 由于其程序结构的模块化、离散方法的简单化和求解方法的多样化等优点<sup>[5]</sup>, 已被广泛用来模拟井流、河流、排泄、蒸发和补给对非均质和复杂边界条件的水流系统的影响。MODFLOW 软件包括水井、补给、河流、沟渠、蒸发蒸腾和通用水头边界 6 个子程序包, 分别用来处理相关的水文地质条件<sup>[6]</sup>。随着新的子程序包的加入, 如用来模拟水位下降引起地面沉降的子程序包<sup>[7]</sup>, 用来模拟水平流动障碍 (Horizontal-flow barrier) 的子程序包等<sup>[8]</sup>, MODFLOW 的应用范围不断扩大。实践证明, 经过合理的线性化处理, MODFLOW 还可以用于解决空气在土壤中的运动问题<sup>[9]</sup>。MODFLOW-2000 在前版本的基础上, 增加了 LPF (Layer Property Flow)、HUF (Hydrogeologic Unit Flow)、T-PROGS (Transition Probability Geostatistical Software) 等模块。LPF 与 HUF 模块类似于 BCF (Block-

Centered Flow) 程序包, 用于计算单元之间的水力传导系数等参数, HUF 适用于条件复杂的水文地质条件 (地层尖灭、垂向“多元”结构)<sup>[10]</sup>。T-PROGS 模块用于模拟复杂的非均质含水层, 能生成含水层的多个等效概率模型<sup>[11]</sup>, T-PROGS 一般用于地下水流的随机模拟。

FEMWATER 是用来模拟饱和流和非饱和流环境下的水流和溶质运移的三维有限元耦合模型, 还可用于模拟咸水入侵等密度变化的水流和运移问题。

MT3DMS 为 MT3D 的修改版, 是由 Zheng 博士设计的模拟三维地下水溶质运移程序。能够模拟地下水系统中的平流、扩散、衰减、溶质化学反应、线性与非线性吸附作用等现象<sup>[12]</sup>。MT3D 提供了丰富的求解方法: 采用加速格式的广义共轭梯度 (GCG) 法求解线性方程、采用三阶 TVD (total - variation - diminishing) 求解对流项。模拟计算时, MT3DMS 需和 MODFLOW 一起使用。

RT3D 是处理多组分反应的三维运移模型, 适合于模拟自然衰减、生物恢复、重金属、石油烃等在地下水中的迁移。软件具有较高的灵活性, 用户可以自己指定反应动力学表达式或者从 6 个预先编好的程序包中选择一套。这些预先编好的程序包是<sup>[13]</sup>: ①烃和氧的反应; ②使用多个电子接受体 (如  $O_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $Fe_2+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CH_4$ ) 模拟烃的生物降解; ③使用多个电子接受体模拟惰性烃的生物降解; ④限制速度的吸附反应; ⑤模拟有细菌参加的, 给电子体和电子接受体两者间反应的双重莫诺模型 (Monod Model); ⑥PCE/TCE 的好氧、厌氧生物降解。

SEAM3D 是在 MT3DMS 模型的基础上, 由 Mark Widdowson 博士开发的先进的烃降解模型。它是用于模拟复杂生物降解问题 (包括多酶, 多电子接收器) 的模型。它包含有 NAPL 溶解包和多种生物降解包。NAPL 溶解包通过指定每一种污染羽的浓度和分解速率, 用于准确地模拟作为污染源的飘羽状 NAPL, 在含水层中的迁移; 生物降解包用于模拟包含碳氢化合物酶的复杂降解反应。

MODPATH 是确定给定时间内稳定或非稳定流中质点运移路径的三维示踪模型。它和 MODFLOW 一起使用, 它利用由 MODFLOW 计算出的逐个单元的水头联合土壤的孔隙度来计算每个粒子通过水流区域的轨迹。MODPATH 可以追踪一系列虚拟的粒子来模拟从用户指定地点溢出污染物的运动。MODPATH 可以使用正向追踪和反向追踪方法来模拟单井抽水的影响范围和描述给定时间内井的截获区。

SEEP2D 是用来计算坝堤剖面渗漏的二维有限元稳定流模型。它可以用于模拟承压和无压流问题, 也可以模拟饱和和非饱和带的水流; 对无压流问题, 模型可以只局限于饱和带。根据 SEEP2D 的结果可以作出完整的流网。

NUFT 是三维多相不等温水流和运移模型, 主要用于模拟多孔介质温度变化的水流中多相多组分的溶质运移。

UTCHEM 是模拟多相流和运移的模型, 主要应用于抽水和恢复。

PEST 和 UCODE 是用于自动调参的两个模块。在自动进行参数估计时, 交替运用 PEST 或 UCODE 来调整选定的参数, 并且重复用于 MODFLOW、FEMWATER 等的计算, 直到计算结果和野外观测值相吻合。PEST 是由 Watermark Computing 公司开发的、功能强大的、独立的参数估计程序。它利用一个强有力的数值反演算法来“控制”运行中

的模型，程序在每次模拟之后自动调整所选择的模型参数，直到将校正的目标最小化为止，其灵活性、稳定性和可靠性优于其他的参数估计程序。PEST 包含许多独特的特征和分析能力，它允许对每个模型参数设置上下限，以确保参数的合理可信；参数可以是可调的、固定的或与其他参数相关联的。

MAP 可使用户快速地建立概念模型。在 MAP 模块下，以 TIFF、JPEG 等图件为底图，在图上确定表示源汇项、边界、含水层不同参数区域的点、曲线、多边形的空间位置，快速建立起概念模型。

钻孔数据 (Borehole Data) 用来管理样品和地层这两种格式的钻孔数据。样品数据用来作等值面和等值线；地层数据用来建立 TIN、实体和三维有限元网格。

TINs 即三角不规则网络 (Triangulated Irregular Net - works)，通常用来表示相邻地层的界面，多个 TINs 就可以被用来建立实体 (Solid) 模型或三维网格。

实体 (Solid) 模型是在不规则的三角形网络 (TIN) 建立完成后，通过一系列操作产生的实际地层的三维立体模型。

### 3 GMS 软件常用建模方法

GMS 软件的建模方法有：栅格法 (Grid Approach) 和概念模型法 (Conceptual Model Approach)。栅格法是一种简单、基本的建模方法，但是栅格法建模是基于对网格的直接操作，因此参数分区的赋值、边界条件的指定和调参都非常繁琐，工作量巨大。因此，在实际应用中概念模型法应用更为广泛。

概念模型的建立在 GMS 软件界面上的 Map 模块里，该模块里可以定义模型的类别 (MODFLOW, FEMWATER, MODAEM, SEEP2D 等) 以及与类别对应的各种属性。在概念模型下需要建立图层 (coverage)，图层里包含点 (node/vertices 分别代表曲线的端点/结点)、弧 (arc, 代表线性实体，如河流、沟渠) 和多边形 (polygon, 代表面状实体，如渗透系数分区，面状补给区，面状开采区等)，在应用中可以根据需要在点、弧、面上赋属性。其中，井 (抽水井和注水井) 可以赋值到点上，其量可以为常数或是随时间变化的数值；河流可以赋值水力传导系数、沿程上结点的水位和河床底板标高，GMS 可以根据河流所经单元的长度把单位长度上的水力传导系数自动换算为相应单元的等效水力传导系数，同时 GMS 也可以把已知结点的水位和河床底板标高通过线性插值，得到河流沿程上每个网格结点的水位和底板标高；渗透系数、给水度等参数以及面状开采、面状补给可以赋到多边形上，其值同样可以为常数或随时间变化的值。

在图层中需要定义 3 个部分：①Source/Sink/BC Type，定义地下水系统的范围、井、河流、沟渠以及边界 (定水头边界，定流量边界，通量边界) 的相关参数；②Areal Properties，定义含水层的渗透系数、给水度、储水率、孔隙度、补给强度、蒸发强度、蒸发极限埋深等；③Obs. Data，主要定义观测孔。概念模型建模的思想就是把三维网格的属性用图层相应实体的属性表示，模型赋值和调参直接操作图层上的实体，同时，图层和相关 GIS 软件中的文件是兼容的，Arcview 中的 .shp 文件、Autocad 的 .dxf 都可以由直接导入 GMS 生成图层。所以，除了井的量，其他的如河流、面状补给和开采等也可以在概念模型转化为 MODFLOW 数值模型时自动分配到相应实体上的网格和应力期上，为

用户提供了便利并节省了很多工作量。

## 4 概念模型建模方法应用实例

### 4.1 研究区水文地质条件

研究区位于某冲洪积扇的中上部,上部为 40~260m 厚的第四系砂卵砾石层,其下主要为相对隔水的第三系砂岩和泥岩。根据含水层的岩性、结构等特征,可分成单一砂卵砾石含水层和多层砂卵砾石含水层。单一砂卵砾石含水层主要分布在冲洪积扇顶部,多层砂卵砾石含水层分布在冲洪积扇的中上部以下,为砂卵砾石层与黏性土互层。

### 4.2 水文地质概念模型

根据上述水文地质条件,将研究区地下水系统概化为二层:第一层为潜水含水层组;第二层为承压含水层组。在水平方向上,将研究区边界分为侧向补给边界和侧向流出边界,均为二类流量边界。在垂向上,潜水含水层自由水面作为上边界,是位置不断变化的水量交换边界,主要接受大气降水入渗、山区和上游的侧向流入、河湖入渗和农业灌溉回渗补给。第四系和第三系的交界作为模型的下边界,通过该边界主要接受基岩顶托补给。综上所述,模拟区地下水运动的数学模型可概化为非均质、各向异性、非稳定、三维地下水流模型<sup>[14-15]</sup>。

### 4.3 模型的识别和验证

计算区面积 364.4km<sup>2</sup>,使用 GMS 软件中的 Modflow 模块对水流进行模拟,采用有限差分法,进行矩形剖分,进行矩形剖分,共剖分了 11968 个单元,其中活动单元格 5623 个。根据水文地质条件,将潜水含水层和承压含水层分别划分为 14 个和 3 个参数分区。各区的水文地质参数初值主要根据以往的研究成果和经验值。选择 2000 年 1 月 1 日至 2000 年 12 月 31 日作为模型的识别期,2005 年 1 月 1 日至 2005 年 12 月 31 日作为模型的验证期。源汇项主要包括大气降水入渗、山区和上游的侧向流入、河湖入渗、农业灌溉回渗、基岩水顶托补给、人工开采和侧向流出等。补给项采用 GMS 中的 RECHARGE 程序包处理,其他源汇项数据均采用 GMS 中的井流程序包处理。对模型采用 PCG2(预共轭谱量法)进行求解<sup>[16-17]</sup>,得到在给定水文地质参数和各源汇项条件下的地下水位时空分布。通过拟合同时期的流场和长观孔的历时曲线,识别水文地质参数、边界和其他源汇项。

### 4.4 模型的应用

模型的预测期为 2008~2020 年共 13 年,前两年为现状开采年,接下来的 11 年根据研究区的水资源保护及利用规划减少开采,以恢复地下水位和研究区的生态环境。在现状开采阶段,由于地下水维持现状开采,地下水位持续下降,尤其是地下水集中开采区附近;在地下水减采阶段,由于农业开采量和地下水集中开采的减少,地下水位有所上升。从模型预测结果来看,上升幅度一般为 3~10m。其中,在研究区北部和西北部地下水集中开采区地下水上升幅度最大,一般为 8~10m。在此阶段,地下水储存量增加了 4.2×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,平均每年增加 0.38×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

## 参考文献

- [1] 祝晓彬. 地下水模拟系统(GMS)软件[J]. 水文地质工程地质, 2003, (5): 53-55.

- [2] 贺国平, 张彤, 赵月芬, 周东. GMS 数值建模方法研究综述 [J]. 地下水, 2007, 29 (3): 32-38.
- [3] 丁继红, 周德亮, 马生忠. 国外地下水模拟软件的发展现状与趋势 [J]. 勘察科学技术, 2002, (1): 37-42.
- [4] 周念清, 朱蓉, 朱学愚. MODFLOW 在宿迁市地下水资源评价中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2000, 27 (6): 9-13.
- [5] 吴剑锋, 朱学愚. 由 MODFLOW 浅谈地下水流数值模拟软件的发展趋势 [J]. 工程勘察, 2000, (2): 13-15.
- [6] McDonald M G, Harbaugh A W. A Modular Three - di - mensional Finite - difference Ground - water Flow Model. U. S. Geological Survey Open - File Report 83 - 875, 1988.
- [7] Leake S A, Prudic D E. Documentation of a computer pro - gram to simulate aquifer - system compaction using the modular finite - difference ground - water flow model. U. S. Geological Survey Open - File Report 88 - 482, 1988.
- [8] Hsieh P A, Freckleton J R. Documentation of a computer program to simulate horizontal - flow barriers using the U. S. Geological Survey modular three - dimensional finite - difference ground - water flow model. U. S. Geological Survey Open - File Report 92 - 477, 1993.
- [9] Joss C J, Baehr A L. An adaptation of the ground - water flow code MODFLOW to simulate three - dimensional air flow in the unsaturated zone. U. S. Geological Survey Open - File Report. 1995.
- [10] Anderman E R, Hill M C. MODFLOW - 2000, The U. S. geological survey modular ground - water model - Documentation of the hydrogeologic - unit flow (HUF) package. U. S. Geological Survey Open - File Report 00 - 342, 2000.
- [11] Carle S F. T - PROGS; A transition probability - based ap - proach to geostatistical characterization of hydrostrati - graphic architecture; Ph. D. dissertation, University of California, Davis, 1996.
- [12] Zheng C, Wang P. MT3DMS; A Modular Three - Dimen - sional Multispecies Transport Model for Simulation of Ad - vection, Dispersion and Chemical Reactions of Contami - nants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide. University of Alabama, 1999.
- [13] Clement T P, Jones N L. RT3D Tutorials for GMS Users. Pacific Northwest National Laboratory Report, PNNL - 11805. 1998.
- [14] 孙訥正. 地下水流的数学模型和数值方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1981, 25-51.
- [15] 薛禹群. 地下水动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [16] Meyer P D, Valocchi A J, Ashby S F, et al. A numerical investigation of conjugate gradient method as applied to three - dimensional groundwater flow problems in randomly heterogeneous porous media [J]. Water Resources Research, 1989, 25 (6): 1440-1446.
- [17] Hill, M. C. 1990. Preconditioned Conjugate - Gradient 2 (PCG2), a computer program for solving ground - water flow equations. U. S. Geol. Surv. Water - Resources Investigations Report 90 - 4048.

## 作者简介

窦艳兵 (1976— ), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 副科长, 高级工程师, 从事水资源管理工作。

电话: 68217887

作者：[窦艳兵](#)，[郑佳](#)

作者单位：[窦艳兵\(北京市水文总站 100089\)](#)，[郑佳\(中国地质大学 100083\)](#)

## 相似文献(10条)

### 1. 期刊论文 [荆永滨](#), [王李管](#), [贾明涛](#), [陈建宏](#) [基于TetGen的复杂FLAC3D模型可视化建模方法](#) -[岩土力学](#)2010, 31 (8)

为了充分发挥FLAC3D在数值计算方面的优势,解决在复杂地质体条件下岩体工程开挖存在的计算模型构建难度大、多采用简化模型而影响计算结果可靠性及准确性的问题,提出采用三维表面模型重建方法建立地质体及岩体工程的表面模型,确定岩层、开挖等的封闭空间区域;在此基础上,通过约束德洛内四面体划分的方法对三维表面模型形成的空间区域进行网格剖分,分析了网格生成器TetGen的输入、输出数据结构,确定表面模型数据至TetGen、TetGen网格划分结果至FLAC3D的对应关系,实现能够准确描述地质体与工程开挖的FLAC3D计算模型的构建.通过某大型深部开采铜矿的多个岩层和首采区3个盘区63个采场的模型构建实例,证明该方法简单、可行、有效并且健壮.

### 2. 期刊论文 [李新星](#), [朱合华](#), [蔡永昌](#), [李晓军](#), [LI Xin-xing](#), [ZHU He-hua](#), [CAI Yong-chang](#), [LI Xiao-jun](#) [基于三维地质模型的岩土工程有限元自动建模方法](#) -[岩土工程学报](#)2008, 30 (6)

在岩土工程有限元数值模拟中,复杂的地质环境使得建模困难,模型一般都被简化处理.其结果直接影响计算的准确性.借助地质模型能最大程度地表达地质实际的特点,将地质模型和数值模型相结合,提出一种新的岩土工程有限元建模方法—CRM地质模型转化法.其核心思想是将三维地质模型经过特定方式转化为符合有限元网格要求的数值计算模型.具体转化过程为:①根据计算范围对地质模型进行区域切割;②从切割模型提取控制数据进行网格重构;③对重构模型按地层属性自动剖分有限元网格;④将网格数据导入数值分析系统完成建模.通过编程实现与实验验证,这种方法能准确生成复杂模型网格,整体建模速度快,自动化程度高,且能方便地模拟开挖过程,并可为不同的数值分析系统使用,极大地提高了前处理工作的效率.

### 3. 学位论文 [王刚](#) [深海采矿作业过程扬矿管线系统空间构形与动态特性研究](#) 2008

陆地上矿物资源的逐渐枯竭成为进行强有力海洋采矿研究的重要动机.在复杂海洋环境因素影响下将深海多金属结核连续、高效地采集并输送到海面采矿船上,同时要求开采系统具有高度可靠性和商业应用价值,是目前深海采矿面临的主要研究课题之一.管道提升式深海采矿系统是目前被国际广泛认可的典型深海多金属结核开采系统.自20世纪70年代,国际上各研究机构对这种采矿系统开展了大量的研究与海洋试验.中国深海多金属结核开采1000m海试系统亦采用集矿机与管道提升相结合的采矿方式,其扬矿系统是由扬矿硬管、扬矿泵、中间仓、柔性软管等多体组合的复杂长管线系统.

在海洋采矿作业过程中,扬矿管线系统既受到包括海洋环境载荷在内的各种复杂外部载荷作用,又受到海面采矿船和海底集矿机作业运动的影响,因此无论是在布放回收还是在拖航作业过程中,其运动学和动力学特性都十分复杂.作者结合国家深海技术发展项目相关课题,采用有限元法对深海采矿扬矿管线系统作业过程进行数值模拟,研究管线空间构形和动态特性.主要研究内容如下:

1. 多体组合的深海采矿扬矿管线系统各部分主体结构之间力学耦合,根据中国深海采矿1000m海试系统总体方案和作业规划,针对扬矿系统各部分的结构特点、联接方式和作业条件,研究多体组合的扬矿管线系统在复杂外部载荷和作业联合作用下的力学建模.柔性复合软管作为扬矿管线系统的重要组成部分,其建模方法对整体扬矿系统作业联动分析的计算效率和精度影响很大.针对柔性复合软管抗拉刚度大、抗弯刚度小的宏观特性,提出了基于空间管梁有限元模型的单元耦合建模方法,建立了包括扬矿硬管、柔性软管、中间仓及扬矿泵等多体组合的扬矿管线系统有限元模型,为整体扬矿管线系统布放回收和拖航作业过程动力学分析提供了一种较精确的力学分析模型.

2. 扬矿管线有限元模型的外部载荷包括重力、浮力、海洋液动力、内外流体压力、内部流体运动产生的摩擦力、泵工作产生的轴向力和扭矩、软管的集中吊挂浮力等,在整体作业联动过程分析中,还包括采矿船和集矿机的运动载荷,以及布放回收作业中管线的运动载荷.扬矿管在海洋中受到波浪和海流联合作用的液动力载荷是扬矿管线主要的环境载荷,在海洋工程结构中属小直径管柱的流体动力问题.作者基于Morrison公式研究了波浪与海流联合作用下扬矿管液动力载荷计算方法,同时给出了在大型低噪声循环水槽中进行的1000m海试系统中带附管扬矿管的流体动力系数试验方法和测定结果.

3. 在变形过程中伴随有大位移和有限旋转的空间管梁结构的几何非线性有限元分析方法有全拉格朗日法(TL),更新拉格朗日法(UL)和随体旋转法(CR)等.研究分析了拉格朗日法与随体旋转法各自的特点,给出了Rankin等推导的随体旋转法求解原理,并选用该方法求解扬矿管线的几何非线性问题.

4. 基于多体组合的扬矿管线有限元模型,采用静态分析方法对软管的空间构形进行研究,为扬矿管线系统布放回收和拖航作业过程动态分析提供基本参数.在软管空间构形的影响因素中,软管集中吊挂浮力配置方式对其水下空间构形的影响很大.在综合考虑软管空间构形、软管下端对集矿机作用力、软管下端偏转角度等多种因素基础上,研究了较优的软管集中吊挂浮力配置方案,包括浮力大小、配置比例、浮力体吊挂位置等.

5. 在布放回收作业过程中扬矿管线的结构形态和力学特性发生着快速变化,开展了扬矿管线布放回收过程数值模拟的探索性研究.针对布放过程中集矿机着底后管线系统的动态特性分析,建立了相应的有限元初始化模型,并对不同运动参数下布放作业中的管线形态和动态特性进行瞬态动力学分析.研究发现:较低的管线布放速度可以明显改善系统的动态特性;某些布放方式可能导致软管产生堆积缠绕现象,对此论文提出了相应的避免措施;管线回收作业的数值模拟过程基本上布放作业过程模拟的逆过程,其动力学特性亦具有可比性.

6. 对多种运动参数下的扬矿管线作业联动特性和3种典型连续轨迹的拖航作业模式进行了动力学分析,实现了扬矿管线系统在稳态载荷、瞬态载荷和简谐载荷组合作用下时程变化的位移、作用力及应力的求解.研究表明:拖航速度越高,扬矿硬管偏转角度和中间仓的横向偏移越大,软管马鞍型形态畸变程度也相应增大;在低于0.5m/s速度下拖航,中间仓的拖曳轨迹与采矿船运动轨迹基本一致,系统的跟随性较好.

7. 由于海试系统的软管布放长度会根据实际水深适当调整,且中间仓距海底高度随海底地形变化,因此以中间仓为中心,建立了集矿机动态安全域.将软管布放长度和中间仓距海底高度在其变化值范围内离散化,并根据有限元分析结果,建立了集矿机动态安全域参数实时查询表,可供作业监控系统实时调用.

8. 为了验证扬矿管线建模方法的正确性,采用一个与1000m海试扬矿管线系统特征相似的拖曳水池实验模型,根据相同的管线建模方法建立了实验系统的有限元模型.选择有代表性的有流试验和无流试验两种实验测试结果与计算结果作比较,应力计算结果与实验测量结果相吻合.

上述研究结果为深海多金属结核1000m海试开采系统的设计及其作业规范化提供了基本参数和理论依据,同时研究方法为类似海洋工程长管线作业系统的研究提供了思路.

### 4. 期刊论文 [焦明华](#), [宋平](#), [解挺](#), [俞建卫](#), [王德广](#), [王永康](#), [尹延国](#), [JIAO Ming-hua](#), [SONG Ping](#), [XIE Ting](#), [YU Jian-wei](#) , [WANG De-guang](#), [WANG Yong-guo](#), [YIN Yan-guo](#) [粉末冶金压制成形数值模拟研究进展](#) -[金属功能材料](#)2007, 14 (5)

压制工序的技术水平对于粉末冶金产品的品质有着决定性的影响,而通过数值模拟改进压制技术工艺是一种十分有效的方法,目前这一方法已经得到了极大的关注.本文总结了国内外众多学者近年来应用有限元技术对金属粉末压制成形进行数值模拟研究的历史进程、粉末压制的建模方法、模拟中的难点、模拟时软件的选取等,并在此基础上提出了目前这一领域发展的展望.

### 5. 学位论文 [翁文林](#) [水轮机特性曲线处理与边界条件数值模拟的研究](#) 2003

该文围绕水轮发电机组展开了水轮机特性曲线的处理、机组边界的数值模拟以及水电站引水发电系统的数值模拟中的建模方法的研究,其主要内容如下:第一章,指出了该文的背景研究,回顾了前人在机组特性曲线的处理、数学模型的建立以及建模方法上的得失,提出了该文的研究内容.第二章,针对混流式水轮机特性曲线的处理进行了详细论述,对曲线数据转换与处理提出了分段线性、样条与曲面蒙皮三种插值方法,同时对输出结果选用EXCEL的平面、DAV的空间散点与Matlab的GUI二次开发的空间曲面三种显示方式,有助于分析机组自身的特性.第三章,对水轮机边界的恒定流,讨论了初始条件的种类以及不同要求下的计算过程.第四章,针对引水发电系统,在传统建模方法基础上提出了新的适合于水电站的模块划分原则;分析了组成引水发电系统的部件特征.第五章,总结全文,提出了该文今后的研究方向.



6. 学位论文 [葛颂 大型立式储液罐抗震分析的数值模拟研究](#) 2006

本文针对大型非锚固式储罐,采用有限元数值模拟方法研究了以下三个方面问题:静载荷下罐-土接触问题,准静态载荷工况下象足现象,及罐-液耦合模型的地震响应。本文研究的主要目的是探寻该复杂非线性系统的科学数值建模方法,以下是本文的三个主要创新点:

1. 基于有限元接触分析,提出了一个新的地基-结构耦合建模方法,以求更合理的描述下节区域(罐壁底部和底板焊接区域附近)的应力情况和地基之间的关系。该法能通过监测地基沉降量,方便地得知罐壁及底板的应力应变水平和分布情况。

2. 总结并改进了多种象足屈曲现象模拟分析的准静态方法,并创新性地提出了局部罐壁底部预提离工况下,非锚固罐象足屈曲的动力学建模方法。

3. 通过在地基上作用水平脉冲激励,来研究罐-液耦合系统的自由振动特性。在这些方法创新基础上的数值模拟研究,获得了一些重要结果:

1. 罐底地基沉降量和罐壁罐底板之间应力水平存在对应关系,具有工程应用的价值。

2. 利用非线性有限元研究象足屈曲产生的机理,证实了:罐壁竖轴向压应力和由内压(静水和动水压力叠加)所产生的罐壁环向拉应力共同导致罐壁失稳,发生弹塑性屈曲变形。并且与目前国内外众多储罐抗震规范一致的是,罐壁的竖轴向压应力是发生屈曲失稳的主导因素。

3. 考虑罐-液耦合系统的固有频率求解是非线性问题,本文运用脉冲响应试验方法建立有限元模型,通过Fourier变换,从时域相应结果获得系统的频谱。

4. 另外,对地面加载单项正弦共振波和三向El Centro地震波,成功地模拟出了非锚固罐的脱离现象,在此基础上深入地研究了脱离形成机理,定性的给出了脱离的地面区域形状,脱离高度及脱离发生时的关键应力水平。验证了即使15万方大型立式储罐也会发生脱离现象。

7. 期刊论文 [魏文清,马长明,魏文炳,WEI Wen-qing,MA Chang-ming,WEI Wen-bing 地下水数值模拟的建模方法及应用-东北水利水电](#)2006, 24(3)

地下水数值模拟作为预测、评价地下水资源的工具在解决具体的水文地质问题过程中起着日益重要的作用。本文通过地下水模拟软件中具有代表性的GMS,阐述了它的一些基本特点,以及它在地下水模拟过程中的建模方法,并给出了一个计算实例。

8. 学位论文 [张晓斌 板料成形过程建模与质量控制技术研究](#) 2008

板料冲压成形是一种十分重要的金属板料塑性加工技术,在工业领域有着极为广泛的应用,已成为先进制造代表技术之一。板料成形过程同时又是一个极为复杂的过程,工业界在长期的生产中积累了丰富的工艺认识和参数选择经验,但随着市场竞争的日益激烈,要求企业对市场的需求作出快速的响应,同时对成形件的质量要求越来越高,现有的认知经验已不能适应现代生产所提出的对问题作出快速响应要求。快速并合理确定模具型面参数和加工过程工艺参数,同时如何以最少的成本,准确地得到成形过程的系统特征,并进行成形件的质量控制,已成为板料冲压成形加工企业在市场中取得立足的根本技术之一,越来越受到了各国工业界和研究人员的日益关注。

本学位论文综合运用弹性力学、数理统计、现代控制及数值模拟技术等基础理论,在数值模拟的基础之上,以较经济的样本数据,开展板料冲压成形过程系统特征的建模方法研究,同时以此为基础进行模具型面参数和工艺参数优化及冲压成形件的质量控制技术研究,并把对成形过程的系统特征进行定性分析的结果用来指导实际冲压件的试模和生产。论文的主要工作包括:

(1) 深刻剖析板料的成形性能及影响成形性能的主要因素,科学并系统地研究各类因素与冲压件成形质量的关系;建立板料成形质量的评价标准,为后续优化目标函数的建模及质量控制打下理论基础;同时根据在长期生产中已积累的丰富的工艺认识,就成形过程中出现的缺陷给出其预防措施;

(2) 阐述了数值模拟仿真在板料成形过程的作用和意义,详细研究了目前使用最广泛的动态显式有限元的关键技术;针对有限元法在对复杂冲压件的数值模拟仿真中出现的问题(如网格畸变,计算精度不高等),对无网格法做了一些研究;

(3) 根据数理统计的分析原理和试验设计方法,研究了高效建模样本的特点及其获取方法;针对传统建模方法需要较多样本的问题和为了高效并准确地对板料成形过程规律进行数学建模,提出了基于偏最小二乘法的板料成形过程建模方法,该方法有效地解决了建模效率和模型精度两者相互制约的问题;

(4) 在对成形过程进行高效建模之后,根据成形质量的要求,提出了一种以冲压成形件厚度变薄均匀度为质量评价标准的优化目标函数,为优化分析提供了评判的理论依据,并用矩阵分析方法对文献中几种不同质量评价目标函数表达式给出了统一表达式,使优化函数形式简单,意义明确;同时根据实际生产中的工序,提出“二步法”优化参数步骤,为板料成形质量控制提供了理论依据;

(5) 针对板料成形过程的规律,结合本文所研究的高效建模方法和现代控制理论,研究了状态空间法和时序分析理论在板料成形过程中的应用,提出了基于状态空间法和时序理论的板料成形闭环控制系统,把板料吸入量的误差转化为控制系统的变压力输入,以达到保证成形件的质量。仿真结果表明该方法具有简单易行,控制精度高等特点;

(6) 以某型汽车的中地板为研究对象,开展了数值模拟仿真和试验研究。数值仿真结果与实际冲压结果相符。根据本学位论文第五章的研究部分结论,进行定性分析,找到产生质量缺陷的可能原因,并用分析结论来指导了试验研究。试验结果表明,仿真分析结果可信,有效地解决了成形中的质量缺陷问题,成品率从50%提高到95%左右。

9. 学位论文 [吴春光 一类捕食者-食饵种群动力学模型及数值模拟](#) 2009

种群动力学模型是描述种群与种群、种群与环境之间相互竞争,相互作用的动力学关系的数学模型,这个模型可用于描述、预测以至调节和控制物种的发展过程与发展趋势。种群动力学模型在资源量化开发与管理,环境评估与管理,灾害预防与控制等方面得到广泛应用。

捕食者-食饵相互作用关系是生物种群间相互作用的基本关系之一,是生态学与生物数学领域的研究热点。近年来,由于捕食者-食饵种群动力学模型在实际中的广泛应用,关于它的研究引起了广大数学工作者和生物学家的关注。特别是具有功能性反应、收获控制、滞后效应、阶段结构、年龄结构、两性特征、扩散运动等特性的捕食者-食饵种群动力学模型被广泛和深入的研究。

本文共分五章,第一章是引言;第二章概要介绍了种群动力学的基本模型及其建模方法;第三章详细介绍了Lotka-Volterra捕食者-食饵系统、非Lotka-Volterra捕食者-食饵系统以及具有人为干预、滞后效应、阶段结构、年龄结构、两性特征、扩散特性的捕食者-食饵系统;第四章和第五章是本文完成的工作,其中第四章建立了捕食者具有不同虫态、虫龄的两种群捕食者-食饵的数学模型。具体应用研究以新疆棉区棉蚜和十一星瓢虫为对象,采用新疆棉区棉蚜和十一星瓢虫的生物学特性以及十一星瓢虫对棉蚜捕食作用的调查和实验数据,应用种群动力学建模方法,建立了具有不同虫龄、虫态的十一星瓢虫捕食棉蚜的种群动力学理论模型。采用差分法对模型进行了数值模拟,将模拟结果与实际调查数据进行比较分析,验证了模型的准确性和实用性。对不同温度、不同植株营养状况和不同棉蚜和瓢虫初始密度,模拟计算了棉蚜和瓢虫的种群发育状况和捕食状况,给出了预测分析。在此基础上,第五章考虑棉蚜和十一星瓢虫的扩散现象,建立了具有扩散特性的十一星瓢虫捕食棉蚜的种群动力学理论模型,模拟了在十一星瓢虫和蚜虫同时扩散的情况下各自种群的数量和分布;第六章对捕食者-食饵种群动力学模型进行了展望。

10. 会议论文 [李浩,陈炳峰 大庆长垣喇萨杏油田三维精细地质建模方法](#) 2005

通过几年研究和实践,大庆长垣喇萨杏油田形成了一套密井网条件下以沉积微相(岩相单元)为约束条件的三维精细地质建模方法和技术,有效地指导了三维精细建模、精细数值模拟和精细剩余油描述。本文从技术路线和平台搭建、建模主要技术方法和实际应用等方面介绍了相约束三维精细地质建模的主要技术。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_7089653.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7089653.aspx)

授权使用: 中国地质大学(zgdzdx), 授权号: 9b77781f-0b39-404e-9058-9e2f0167eba9

下载时间: 2010年11月15日