

文章编号: 1674-0262(2011) 03-0125-04

基于流固耦合算法多孔介质的有限元建模分析

张杰,卜 祥英,杨通

(河北联合大学 河北省地震工程研究中心,河北 唐山 063009)

关键词: 多孔介质; 流-固耦合; ADINA

摘 要: 多孔介质流固耦合的研究已被广泛学者重视,在回顾国内外学者对流固耦合模型理论进展状况的基础上,主要介绍了多孔介质流固耦合的基础理论,以有限元分析软件 ADINA 为平台,考虑流固耦合分析算法,建立了多孔介质的三维有限元模型,通过分析计算得到了多孔介质在流固耦合作用下的变形情况。

中图分类号: TU392.3 文献标志码: A

0 引 言

传统的输液管道系统振动分析不考虑流体流动的多孔介质对管道的影响,及认为多孔介质骨架是完全刚性的,在孔隙流体压力变化过程中,固体骨架不产生任何弹性或塑性的变形,对输液管道振动分析不产生影响。这是将此问题作为非耦合问题来研究,虽然得到简化,却不切合实际,得到的结果也是不精确的^[1]。近年来,流固耦合问题越来越受到人们的重视,这方面的研究也已涉及许多领域。如地面沉降、水库诱发地震、堤坝稳定性、煤层瓦斯渗流等;从技术上与不同工程领域如土木、航空航天、船舶、动力、海洋、石化、机械、核动力、地质、生物工程等均有关系^[2]。流固耦合问题也广泛存在于石油工业中,如注采过程中的油藏渗流、井壁稳定、油井和套管的损坏、产层出砂、水力压裂、地层失稳坍塌等^[3]。

流固耦合作用对埋地管道破坏的影响分析的研究日趋成熟,已广泛应用工程实际,并取得了实际效益。多孔介质流固耦合的研究也吸引了大批工作者逐步深入,本文的工作以有限元分析软件 ADINA 为平台,介绍建模方法,建立多孔介质流固耦合有限元模型。

1 ADINA 有限元建模

1.1 建模方法介绍

ADINA 提供了两种建模的基本方法——native(Simple) 和 parasolid(B-Rep) 建模^[4]。Native 建模是一种传统的建模方法,其几何元素包括几何点(point)、几何线(line)、几何面(Surface)、几何体(Volume) 等。每个线、面和体形状比较简单,能够独立进行网格剖分。Native 几何建模方式是一种从底向上的建模方式,由点生成线,由线生成面,再由面生成体。Parasolid(B-Rep) 建模是一种最为广泛的 3D 复杂实体模型建模技术,使用边界曲面表达法描述每个实体,每个实体都典型的描述了一个要进行网格划分的完整几何结构。其几何元素为 Body、Face、Edge、Point,其中 Face 和 Edge 只能作为 Body 的组成部分存在,而不能单独存在。Parasolid 提供了一系列基本几何体,通过布尔操作将几何体相加减,建立分析需要的几何模型。两种方法建立的几何模型在几何形状和尺寸上完全相同,但在网格划分上有所不同。Native 建立的模型在划分网格时生成的网格质量比 parasolid 生成的网格质量要较好些,网格更加规则^[5]。Parasolid 建立的模型在运算时容易出现网格扭曲,从而导致模型不能运行。

收稿日期: 2010-09-28

本模型模拟的问题是水道中间有块板, 为多孔介质属性, 水可以从板渗透过去; 由于板两侧有压差存在, 将导致板发生变形。

1.2 建模过程

1.2.1 建立结构模型

定义几何模型: 采用 netive 建模方法, 通过点、线、面的方式建立出多孔介质属性的水道中间板, 尺寸选用 $2\text{ m} \times 0.2\text{ m} \times 2\text{ m}$, 具体步骤如下:

- (1) 先定义出点 1~4, 再由点定义面 1 同时指定网格大小, 通过 Extruded 方式定义体 1 并指定网格大小;
- (2) 定义约束 FIXX, FIXZ, FIXXYZ 并施加到面 1、2、4、6 上; 定义后的结果如图 1 所示;
- (3) 定义流固耦合边界条件, 面 5 施加流固耦合条件 1, 面 3 施加条件 2;
- (4) 定义材料, 定义同向线弹性材料, 模量为 1×10^4 , 泊松比为 0.3, 密度为 10;
- (5) 定义单元组, 选择多孔介质属性;
- (6) 定义渗透系数, 在 X、Y、Z 方向均为 0.01, 需要注意的是在定义单元组时选择多孔介质, 才能定义这个性质;
- (7) 划分单元, 显示图形(见图 2);
- (8) 保存命令流文件并生成求解文件。

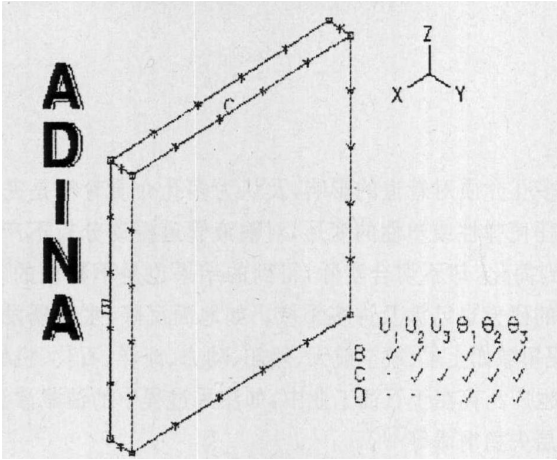


图 1 施加约束

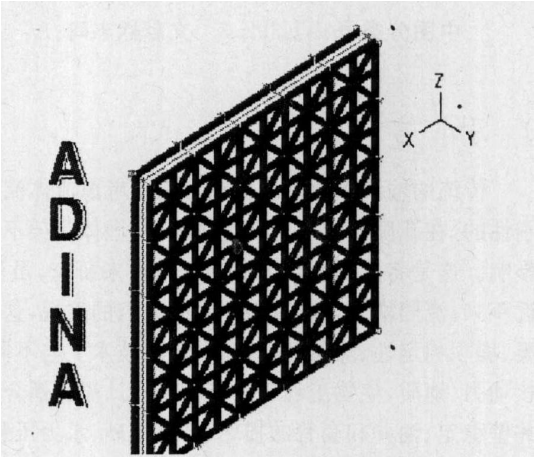


图 2 图形显示

1.2.2 建立流体模型

流体模型的建模方法与结构模型的建立相似, 仍然是利用 Netive 建模方法, 首先启动 ADINA-CFD: 选择瞬态分析 Transient。在菜单 Model> Flow Assumptions 中, 去掉 Include Heat Transfer, 选中 Include Porous Coupling, 设置最大迭代次数为 500。

- (1) 定义点 1~ 17, 各点坐标如表 1 所示, 定义线并指定网格大小;
- (2) 定义面, 通过 Extruded 方式定义体(见图 3);
- (3) 定义两种材料, 材料 1 为流体材料, 粘度系数为 0.2, 密度为 1; 材料 2 为多孔介质材料, fluid density 为 1, solid density 为 10, 渗透系数要和结构模型中的一致, 亦均为 0.01, 孔度系数 0.5, 粘度系数 0.2;
- (4) 定义约束 FIXX, FIXZ, 并施加约束(见表 2);
- (5) 定义荷载, 单元组, 注意的是结构部分在流体模型中也要建立模型(单元组 2), 对应材料 2, 单元组 1 和单元组 3 对应材料 1(流体材料);
- (6) 定义流固耦合边界条件, 将面 24、27 定义流固耦合边界条件 1, 与结构模型相对应, 面 31、34 定义流固耦合边界条件 2;
- (7) 划分单元, 显示模型(见图 4);
- (8) 保存命令流文件并生成求解文件, 利用 FSI 求解器进行求解。

表 1 定义点坐标

point#	X1	X2	X3	system
1	0.0	0.0	- 4.0	0.0
2	0.0	2.0	- 4.0	0.0
3	0.0	0.0	- 2.0	0.0
4	0.0	2.0	- 2.0	0.0
5	0.0	2.8	- 2.0	0.0
6	0.0	3.0	- 2.0	0.0
7	0.0	5.0	- 2.0	0.0
8	0.0	0.0	- 1.0	0.0
9	0.0	2.0	- 1.0	0.0
10	0.0	2.8	- 1.0	0.0
11	0.0	3.0	- 1.0	0.0
12	0.0	5.0	- 1.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	2.0	0.0	0.0
15	0.0	2.8	0.0	0.0
16	0.0	3.0	0.0	0.0
17	0.0	5.0	0.0	0.0

表 2 约束条件

surface#	zero value	surface#	zero value
1~ 9	noslip	11	noslip
14	FIXX	13	noslip
18	FIXX	17	noslip
22	FIXX	21	noslip
26	FIXX	23	noslip
29	FIXX	37	noslip
33	FIXX	20	FIXX
36	FIXX	28	FIXX
40	FIXX	30	FIXX
43	FIXX	35	FIXX
		42	FIXX

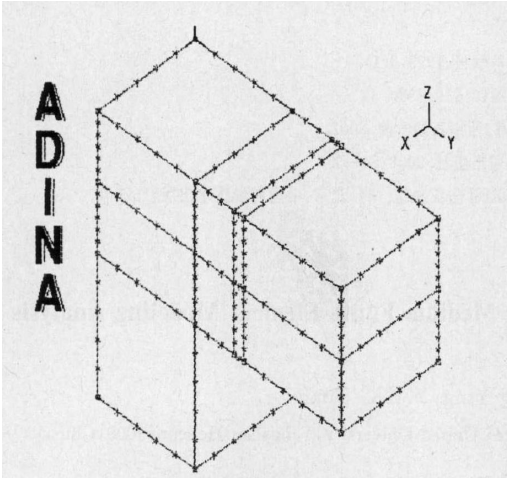


图 3 定义流体模型

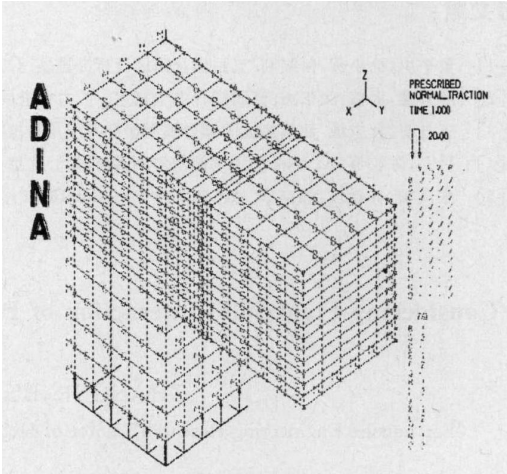


图 4 图形显示

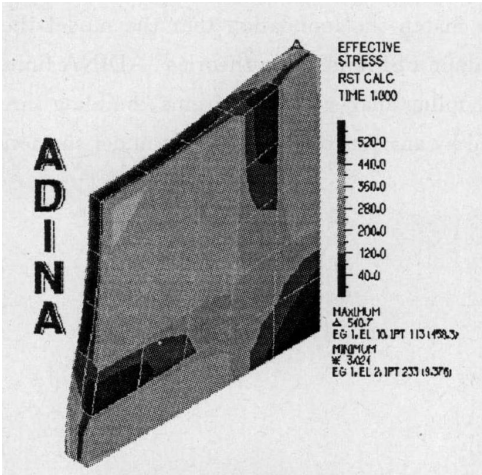


图 5 结构变形应力云图

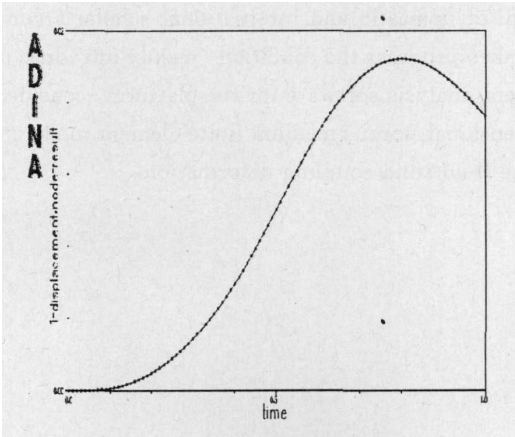


图 6 位移时程曲线

2 结果分析

通过有限元分析软件 ADINA 对水道中多孔介质属性的板进行模拟, 主要对其最大位移及有效应力进行分析, 有效应力分布如图 5 所示, 从图中我们可以清楚的看到有效应力最大值点的位置。结构(板)的位移时程曲线如图 6 所示。从图中看出, 位移随时间呈曲线变化状态, 在初期增长较快, 随后逐渐减小, 但降低不大。

3 发展与展望

有限元分析软件 ADINA 可以对多孔介质流固耦合问题进行建模模拟, 并且对其进行有效应力、剪应力、位移等的分析, 得到有利于实践工程的改进建议。多孔介质的流固耦合问题越来越受到人们的重视, 并逐渐成为人们研究的热点, 在工程中具有广泛的实际应用价值, 尤其是在石油工程中。多孔介质流固耦合作用理论为广泛的工程域问题提供了一种统一有效的解决方法, 其发展必将进一步促进相关领域的新技术与新工艺的发展。但多孔介质流固耦合问题涉及到的内容多、范围广、耦合机制复杂, 要想比较全面地解析流固耦合理论和正确求解其数值模型, 还需要做很多工作。而且我们的研究是在好多的假设的前提下进行的, 还需要作更进一步研究。

参考文献:

- [1] 董平川, 徐小荷, 何顺利. 流固耦合问题及研究进展[J]. 地质力学学报, 1999, 5(1).
- [2] 邢景棠, 周盛, 崔尔杰. 流固耦合力学概述[J]. 力学进展, 1997, 21(7): 19~ 38.
- [3] 王自明, 杜志敏. 油藏热流固耦合模型研究及应用初探[D]. 成都: 西南石油学院. 2002.
- [4] 岳戈, 陈权等. ADINA 应用基础与实例讲解[M]. 北京: 人民交通出版社. 2008: 54~ 55.
- [5] 朱庆杰, 苏幼坡, 陈艳华. 城市防灾技术—ADINA—M 建模与 IDRISI 防灾决策[M]. 北京: 中国科学技术出版社. 2007.

Considering Fluid-Solid Interaction of Porous Medium Finite Element Modeling Analysis

ZHANG Jie, BU Xiang-Ying, YANG Tong

(Earthquake Engineering Research, Center of Hebei, Hebei United University, Tangshan Hebei 063009, China)

Key words: porous medium; fluid and solid interaction; ADINA

Abstract: The research of porous medium FSI already attract scholars' attention. Based on looking back the FSI of domestic and international scholar's convection to match the foundation that the model theories makes progress the condition, mainly introduce porous medium FSI foundation theories. ADINA finite element analysis software for the platform, considering the coupling analysis of algorithms, building three-dimensional porous medium finite element model. Calculated by analysis of porous media under the action of the fluid-solid coupling deformation.