



**** 学位论文**

3D-FSM•DDM 间接边界元数值系统 及其在矿山工程中的应用研究

**Research on the 3D-FSM•DDM IBEM Numerical
System and Application in Mining Engineering**

作 者 XXX

导 师 XXX 教授

山东科技大学

二〇一七年五月

中图分类号_____

学校代码_____

UDC_____

密级_____

山东科技大学

** 学位论文

3D-FSM•DDM 间接边界元数值系统 及其在矿山工程中的应用研究

Research on the 3D-FSM•DDM IBEM Numerical
System and Application in Mining Engineering

作 者_____XX_____ 入学时间_____

导 师_____ 职 称_____

副导师_____ 职 称_____

申请学位_____ 所在学院_____

学科（类别）_____ 方向（领域）_____

答辩日期_____ 提交日期_____

学位论文使用授权声明

本人完全了解山东科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意本人所撰写的学位论文的使用授权按照学校的管理规定处理。

作为申请学位的条件之一，学校有权保留学位论文并向国家有关部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版；有权将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库发表，并可以以电子、网络及其他数字媒体形式公开出版；允许学校档案馆和图书馆保留学位论文的纸质版和电子版，可以使用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文；为教学和科研目的，学校档案馆和图书馆可以将公开的学位论文作为资料在档案馆、图书馆等场所或在校园网上供校内师生阅读、浏览。

（保密的学位论文在解密后适用本授权）

作者签名：

导师签名：

日 期： 年 月 日

日 期： 年 月 日

学位论文原创性声明

本人呈交给山东科技大学的学位论文，除所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人攻读学位期间在导师指导下的研究成果。除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文作者签名：

年 月 日

学位论文审查认定书

研究生 在规定的学习年限内，按照培养方案及个人培养计划，完成了课程学习，成绩合格，修满规定学分；在我的指导下完成本学位论文，论文中的观点、数据、表述和结构为我所认同，论文撰写格式符合学校的相关规定，同意将本论文作为申请学位论文。

导师签名：

日期

摘 要

边界元法与有限元法相比,具有输入数据少、降低问题维数、所占计算机内存少、计算省时、计算精度高及可求解连续场点等优点;尤其对于无限域问题它是严密成立的。因此,对于大量实际问题,尤其是大区域岩土工程问题,边界元法比有限元法更具优越性。

在导师等前人已研究、开发的 FSM•DDM 间接边界元法 (IBEM) 数值计算系统的基础上,进一步完善了三维弹性问题的 3D-FSM•DDM 边界元数值系统;开发了多介质 3D-FSM•DDM 边界元数值子系统;研究并开发了考虑节理滑移和张开情况下的 3D-FSM•DDM 耦合的 IBEM 分析子系统;研究了考虑地形及构造应力影响下,基于 3D-FSM 间接边界元法的初始地应力场的反演分析方法,并开发了相应数值子系统;针对 3D-FSM•DDM 数值系统主程序,初步开发了配套的 3D-FSM•DDM 边界元前、后处理子系统。

上述 3D-FSM•DDM 间接边界元数值系统经开发完善后将会形成具有独立知识产权的大型三维边界元应用软件,以期对相关研究及应用做出贡献。关键词:间接边界元法 (IBEM); 应力不连续法 (FSM); 位移不连续法 (DDM); 节理岩体; 多介质

关键词: 间接边界元法 (IBEM); 应力不连续法 (FSM); 位移不连续法 (DDM); 节理岩体; 多介质

Abstract

Compared with the Finite Element Method (FEM), the Boundary Element Method (BEM) has many advantages, such as decreasing data input quantity, reducing the dimensions of the question, occupying the fewer computer memory, saving the time of computation, having the higher computation precision and solving continuous field point. It is established strictly to the infinite field question. So the BEM has the superiority to many actual problems, especially for the far field Rock and Soil engineering projects.

This article has consummated the elastic 3D-FSM•DDM IBEM numerical simulation system more completely based on the results which is researched and developed by the predecessors. And it also has researched and developed several 3D-FSM•DDM numerical simulation subsystem, i.e. the multi-medium 3D-FSM•DDM numerical simulation subsystem; the 3D-FSM•DDM coupling IBEM analysis subsystem with considering the joint slip and separation; the initial ground stress back analysis method and usable program based on the 3D-FSM IBEM with considering the influence of terrain and tectonic stress; the 3D-FSM•DDM BEM preprocessing subsystem and post-processing subsystem adapting to the master program of 3D-FSM•DDM IBEM numerical system.

When the 3D-FSM•DDM IBEM numerical simulation system is consummated, it will be a large-scale application software of 3D-BEM with the independent intellectual property rights. It will make the contribution to the correlation research and the application.

Keywords: Indirect boundary element method (IBEM); Fictitious stress method (FSM); Displacement discontinuity method (DDM); Joint element; Multi-medium

目 录

图清单..... I

表清单..... II

变量注释表..... III

1 绪 论..... 1

 1.1 引言 1

2 图表公式排版..... 2

 2.1 图..... 2

 2.2 表..... 2

 2.3 公式 3

3 参考文献格式..... 5

 3.1 格式 5

参考文献

作者简历

致 谢

学位论文数据集

CONTENTS

List of Figures	I
List of Tables	II
List of Variables	III
1 Introduction	1
1.1 Foreword	1
2 Figures, Tables and Equations	2
2.1 Figures	2
2.2 Tables	2
2.3 Equations	3
3 Reference Format	5
3.1 Format.....	5
References	
Author' s Resume	
Acknowledgements	
Thesis Data Collection	

图清单

图序号	图名称	页码
图 2.1	边界元法与有限元法、有限差分比较	43
Fig.2.1	Difference among FDM, FEM & BEM	43
图 2.2	边界元法基本原理图示	43

表清单

图序号	图名称	页码
图 2.1	边界元法与有限元法、有限差分比较	43
Fig.2.1	Difference among FDM, FEM & BEM	43
图 2.2	边界元法基本原理图示	43

变量注释表

变量	注释	初现页
E	弹性模量，MPa	43
V	泊松比	43

1 绪 论

1 Introduction

1.1 引言

.....

.....

1.1.1 线弹性力学的数值方法

线弹性力学问题归结为在给定的边界条件下，求解一组线性偏微分方程组。在理论上，这种边值问题有唯一确定的解，但一般难以求得解析解。除弹性力学平面问题的复变函数解法属于正演解法外，其余弹性力学问题都只能用逆解法或半逆解法。逆解法和半逆解法的成功率很低，不能满足工程的需要。为此，人们在不断寻求解决问题的新途径。

1 差分法

以前，在得不到解析解的时候，人们或者采用差分法，按差分格式离散以获得数值解；或者按问题特点，选取试函数，采用里兹法或伽辽金法等近似方法来获得近似解。

.....

.....

.....

2 图表公式排版

2 Figures, Tables and Equations

2.1 图

插图须紧跟文述。在正文中，一般应先见图号及图的内容后再见图，一般情况下不能提前见图，特殊情况须延后的插图不应跨节。

\LaTeX 中所使用的图片通常为 PDF 格式，图片应大小适宜，主题明确，层次清楚，金相组织类的照片一定要有比例尺。

图应具有“自明性”，即只看图、图题和图例，不阅读正文，就可理解图意。图中的标目是说明坐标轴物理意义的项目，它是由物理量的符号或名称和相应的单位组成。物理量的符号由斜体字母标注，单位的符号使用正体字母标注，量与单位间用斜线隔开。例如： I/A ， $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ， F/N ， $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等等。

2.1.1 单幅图

Single Figure

图的大小一般为宽 6.67 cm× 高 5.00cm。特殊情况下，也可宽 9.00 cm× 高 6.75cm，或宽 13.5 cm× 高 9.00cm。总之，一篇论文中，同类图片的大小应该一致，编排美观、整齐。如图 2.1 所示。

2.2 表

表格的设计应紧跟文述。表的编排一般是内容和测试项目由左至右横读，数据依序竖读，应有自明性。若为大表或作为工具使用的表格，可作为附表在附录中给出，论文中的表格参数应标明量和单位的符号。

表中各物理量及量纲均按国际标准 (SI) 及国家规定的法定符号和法定计量单位标注。

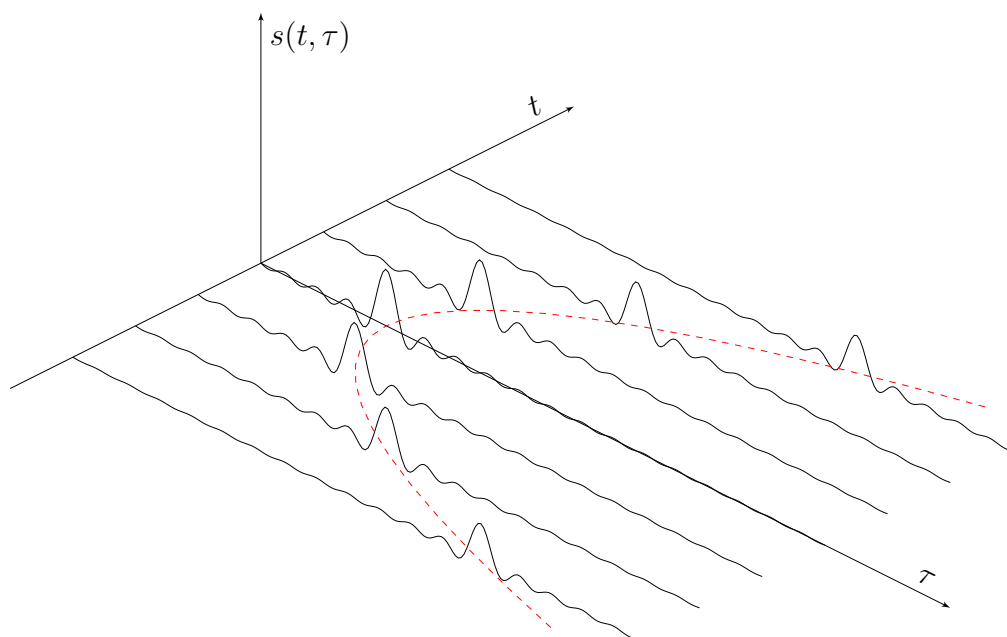


图 2.1 雷达回波信号 (注意：图注是五号字)

Fig 2.1 Radar echo signal

表格要求采用三线表，与文字齐宽，顶线与底线线粗是 $1\frac{1}{2}$ 磅，中线线粗是 1 磅。表格必须通栏，即表格宽度与正文版面平齐，如表 2.1 所示^①。

表 2.1 表题也是五号字

Table 2.1 The table title is also a number five character

组号	DOA / °	带宽 / MHz	INR / dB
1	-30	20	60
2	20	10	50
3	40	5	40

2.3 公式

在 \LaTeX 中，行内公式用 $\$ \$$ 符号括起来。行间公式应另起一行，居中编排，较长的公式尽可能在等号后换行，或者在“+”、“-”等符号后换行。公式中分数线的横线，长短要分清，主要的横线应与等号取平。

公式后应注明编号，公式号应置于小括号中。写在右边行末，中间不加虚线。

^① 注意：图表中的变量与单位通过斜线 / 隔开。

公式下面的“式中：”两字左起顶格编排，后接符号及其解释；解释顺序为先左后右，先上后下；解释与解释之间用“；”隔开。

公式中各物理量及量纲均按国际标准（SI）及国家规定的法定符号和法定计量单位标注，禁止使用已废弃的符号和计量单位。

2.3.1 单个公式

Equations

\LaTeX 最强大的地方在于对数学公式的编辑，不仅美观，而且高效。单个公式的编号如式 (2.1) 所示，该式是正态分布的概率密度函数^[1]，

$$f_Z(z) = \frac{1}{\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{|z-\mu|^2}{\sigma^2}\right) \quad (2.1)$$

式中： μ 是 Gauss 随机变量 Z 的均值； σ^2 是 Z 的方差。

如果公式中包含推导步骤，可以只对最终的公式进行编号，例如：

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{\text{smi}} &= \alpha \left[\frac{1}{\sigma_n^2} \mathbf{v}(\theta_0) - \frac{1}{\sigma_n^2} \mathbf{v}(\theta_0) + \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{u}_i^H \mathbf{v}(\theta_0)}{\lambda_i} \mathbf{u}_i \right] \\ &= \frac{\alpha}{\sigma_n^2} \left[\mathbf{v}(\theta_0) - \sum_{i=1}^N \mathbf{u}_i^H \mathbf{v}(\theta_0) \mathbf{u}_i + \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_n^2 \mathbf{u}_i^H \mathbf{v}(\theta_0)}{\lambda_i} \mathbf{u}_i \right] \\ &= \frac{\alpha}{\sigma_n^2} \left[\mathbf{v}(\theta_0) - \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i - \sigma_n^2}{\lambda_i} \mathbf{u}_i^H \mathbf{v}(\theta_0) \mathbf{u}_i \right] \end{aligned} \quad (2.2)$$

3 参考文献格式

3 Reference Format

参考文献引用示例

3.1 格式

参考文献格式应符合国家标准 GB/T-7714-2005《文后参考文献著录规则》。中国国家标准化管理委员会于 2015 年 5 月 15 日发布了新的标准 GB/T 7714-2015《信息与文献参考文献著录规则》。因为二者的差别非常小，所以采用了新的标准。标准的 BiBTeX 格式网上资源非常多，本模板使用了李泽平开发的版本，该版本提供了多种参考文献的排序规则。学校硕士学位论文规范指定了两种排序方法：一是按照文献的引用顺序进行排序，二是按照作者姓氏加出版年份进行排序。本模板采用第一种排序规则，第二种排序规则的使用方法请参考文献 [2]。

参考文献

- [1] Manolakis D G, Ingle V K, Kogon S M. Statistical and Adaptive Signal Processing[M]. Norwood: Artech House, Inc., 2005.
- [2] Lee Z. GB/T 7714-2015 参考文献 BiBTeX 样式 [M/OL]. 2016. <https://github.com/zepinglee/gbt7714-bibtex-style>.

作者简历

一、基本情况

姓名：*** 性别：男 民族：汉 出生年月：1965-07-23 籍贯：山东省潍坊市

1. 1983.09-1987.07 山东矿业学院学士
2. 1990.09-1993.07
3. 2001.09-2007.05 山东科技大学博士学习阶段
-

二、攻读学位期间发表学术论文情况

1. ***, 三维 FSM•DDM 边界元法 [J]. 岩土力学, 2004 (9): 47-51.
2. ***, ***, 三维非稳态热传导问题的边界元法 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004(18): 3168-3173.
-

三、攻读学位期间获奖情况

1. ***,等. 矿业类专业课程体系整体优化与实践 (国家级教改项目,编号:1282B05012).2005: 获山东省优秀教学成果一等奖; 2005: 获国家级教学成果二等奖;
2.

四、攻读学位期间研究项目情况

1. 矿井工作面突水地球物理场相应与动态监测基础研究. 国家自然科学基金, 编号: 50774051, 参加人员;
2.

.

致 谢

致谢中主要感谢导师和对论文工作有直接贡献和帮助的人士和单位。致谢言语应谦虚诚恳，实事求是，字数不超过 1000 汉字。

用于盲审的论文，此页内容全部隐去。

学位论文数据集

关键词 *	密级 *	中图分类号 *	UDC	论文资助	
学位授予单位名称 *		学位授予单位代码 **		学位类别 *	学位级别 *
山东科技大学		10424			
论文题名 *	并列题名 *			论文语种 *	
作者姓名 *				学号 *	
培养单位名称 *		培养单位代码 *		培养单位地址	邮编
山东科技大学		10424		山东省青岛市	266590
学科专业 *		研究方向 *		学制 *	学位授予年 *
论文提交日期 *					
导师姓名 *				职称 *	
评阅人	答辩委员会主席 *		答辩委员会成员		
电子版论文提交格式 文本 () 图像 () 视频 () 音频 () 多媒体 () 其他 () 推荐格式: application/msword; application/pdf					
电子版论文出版 (发布) 者		电子版论文出版 (发布) 地		权限声明	
论文总页数 *					
注: 共 33 项, 其中带 * 为必填数据, 共 22 项。					



**** 学位论文**

**3D-FSM•DDM 间接边界元数值系统
及其在矿山工程中的应用研究**

**Research on the 3D-FSM•DDM IBEM Numerical
System and Application in Mining Engineering**

作 者 **XXX**

导 师 **XXX** 教授

山东科技大学

二〇一七年五月