

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 25320141151791

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

大型深基坑支护施工监测及变形控制研究

Supporting construction monitoring and deformation
control study of large and deep foundation pit

黄波

指导教师姓名: 李庶林教授

专 业 名 称: 建筑与土木工程

论文提交日期: 2017 年 4 月

论文答辩时间: 2017 年 5 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017 年 月 日

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

深基坑工程大多处于城市中心,为确保深基坑稳定及保护周边环境,需要对支护结构和周边土体的变形进行控制。本文以泉州和昌贸易中心深基坑工程为背景,对支护结构和周边土体的变形控制展开研究。通过对实测数据进行分析,总结围护桩水平位移、支撑梁钢筋应力、立柱竖向位移、坡顶变形、地表沉降、建筑物沉降、地下管线沉降、土压力及水位的变化规律,并对深基坑的稳定性与变形作出评价;对比 Logistic 曲线、Gompertz 曲线、Usher 曲线及分段时效曲线后选用合适的预测模型对基坑变形进行预测,有效指导施工,并探讨深基坑变形控制措施;采用 FLAC3D 对基坑开挖支护过程进行三维模拟,根据计算结果对围护桩变形、土体变形、支撑梁轴力、立柱沉降进行分析,评价深基坑的稳定性与变形,并将计算值与实测值进行对比分析,验证模拟计算的可行性。

本文的主要结论如下:

(1) 基于现场监测总结分析了基坑变形规律,结果表明基坑支护结构能够确保基坑的安全与稳定,采用设计施工结合现场监测的方式,通过信息反馈与调整施工,对基坑变形起到了较好的控制作用。

(2) 依托基坑变形监测数据对比四种预测模型,结果表明考虑施工工况的分段时效曲线(Usher 曲线结合抛物线)预测效果最好;采用分段时效曲线预测地表及地下管线沉降的结果表明变形在警戒值范围内,对于指导后续施工具有很好的参考价值。

(3) 采用 FLAC3D 对本工程进行三维模拟计算的结果表明支护结构能够保持基坑稳定,周边土体变形也被控制在安全范围内,可为施工过程中控制变形提供指导;计算结果与实测结果的对比分析表明,围护桩水平位移接近实测值,地表沉降较实测值偏小,立柱沉降大于实测值,说明采用 FLAC3D 模拟深基坑开挖变形具有较好可行性。

关键词: 大型深基坑; 现场监测; 变形规律; 变形预测; FLAC3D 模拟

ABSTRACT

The deep foundation pit is mostly in the center of the city. In order to ensure the stability of the deep foundation pit and protect the surrounding environment, it is necessary to control the deformation of the supporting structure and surrounding soil. In this paper, based on the deep foundation pit engineering of Hechang Trading Center in Quanzhou, the deformation control of supporting structure and surrounding soil is studied. Based on the analysis of monitoring data, changing rules of horizontal displacement of the retaining piles, reinforcement stress of supporting beam, vertical displacement of column, deformation of top slope, subsidence of surface, subsidence of buildings, subsidence of underground pipeline, earth pressure and water level are summed up, and the stability and deformation of deep foundation pit are evaluated; After comparison of Logistic curve, Gompertz curve, Usher curve and piecewise aging curve, appropriate forecasting model is selected to predict the deformation of foundation pit, effectively guiding the construction, and the control measures of deformation of deep foundation pit are discussed; FLAC3D is used to simulate the excavation process on 3D, and deformation of the retaining piles soil deformation, soil deformation, axial force of supporting beam, subsidence of column are analyzed according to the calculation results, and stability and deformation of the deep foundation pit are evaluated; The calculated values are compared with the measured values to verify the feasibility of simulation calculation.

The main conclusions of this paper are as follows:

(1) The deformation rules of foundation pit were summarized based on on-site monitoring, and the results showed that the supporting structure could ensure the safety and stability of the foundation pit, the style that design and construction combined with on-site monitoring, through the information feedback and adjustment of construction, had good controlling effects on foundation pit deformation.

(2) Four kinds of deformation prediction model were compared based on the monitoring data, and the results showed that prediction effect of piecewise aging curve considering the construction conditions (Usher curve with parabola) was best;

the result of predicting subsidence of surface and underground pipeline by piecewise aging curve showed that deformation in the range of warning value, which had a good reference value for the follow-up construction.

(3) FLAC3D was used to simulated the project on three-dimensional, and the results showed that the supporting structure could maintain the stability of foundation pit, and deformation of surrounding soil was controlled in a safe range, which could provide guidance for deformation controlling in construction process; comparing analysis of calculated results and measured results showed that they were roughly coincident, horizontal displacement of supporting pile was close to the measured value, surface subsidence was less than measured value, the column subsidence was greater than the measured value, which indicated that FLAC3D had good feasibility on simulating the excavation deformation of deep foundation pit.

Keywords: large deep foundation pit; on-site monitoring; deformation rule; deformation prediction; numerical simulation

目录

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目录.....	IV
Contents	VI
第一章 绪论	1
1.1 选题背景与研究意义	1
1.2 国内外研究现状综述	2
1.2.1 深基坑变形监测研究现状.....	2
1.2.2 深基坑变形控制研究现状.....	2
1.3 研究内容与方法.....	7
第二章 和昌贸易中心深基坑监测及结果分析.....	9
2.1 工程背景	9
2.1.1 工程简介.....	9
2.1.2 工程地质及水文地质.....	9
2.1.3 支护设计概况.....	11
2.1.4 施工流程.....	12
2.2 监测方案	13
2.2.1 监测目的.....	13
2.2.2 监测内容及测点布设.....	13
2.2.3 警戒值与预警.....	15
2.3 监测结果分析	16
2.3.1 围护桩水平位移分析.....	16
2.3.2 支撑梁钢筋应力分析.....	18
2.3.3 立柱竖向位移.....	20
2.3.4 坡顶变形分析.....	21
2.3.5 地表沉降分析.....	23
2.3.6 周边建筑物沉降分析.....	24
2.3.7 地下管线沉降分析.....	25
2.3.8 土压力及水位分析.....	26
2.4 本章小结	29
第三章 深基坑变形预测回归分析.....	30
3.1 概述.....	30
3.2 预测模型与拟合方法	30
3.2.1 抛物线.....	30
3.2.2 Logistic 曲线	31
3.2.3 Gompertz 曲线.....	31
3.2.4 Usher 曲线.....	31
3.2.5 分段时效曲线.....	32
3.2.6 拟合方法.....	32
3.3 深基坑变形预测	33
3.3.1 地表沉降预测.....	33
3.3.2 地下管线沉降预测.....	35

3.3.3 坡顶水平位移预测.....	37
3.4 深基坑变形控制措施	39
3.4.1 设计控制措施.....	40
3.4.2 施工控制措施.....	41
3.5 本章小结	42
第四章 深基坑开挖变形 FLAC3D 模拟计算	43
4.1FLAC3D 软件简介.....	43
4.1.1FLAC3D 软件概况	43
4.1.2 有限差分法求解原理.....	44
4.2 深基坑开挖 FLAC3D 模拟方法.....	46
4.2.1 模型建立.....	46
4.2.2 边界条件与初始应力条件.....	46
4.2.3 土体本构模型.....	46
4.2.4 深基坑支护结构模拟.....	48
4.2.5 计算步骤.....	52
4.3 深基坑开挖模拟计算分析	52
4.3.1 模型建立与土体参数.....	52
4.3.2 支护结构及参数.....	54
4.3.3 施工工况模拟.....	55
4.4 计算结果分析	57
4.4.1 围护桩位移.....	57
4.4.2 地表沉降与坑底隆起.....	59
4.4.3 基坑内外土体变形.....	61
4.4.4 支撑梁轴力.....	62
4.4.5 立柱沉降.....	64
4.5 计算结果与实测结果对比分析	64
4.5.1 围护桩水平位移对比分析.....	65
4.5.2 地表沉降对比分析.....	66
4.5.3 立柱沉降对比分析.....	67
4.6 本章小结	67
第五章 结论与展望	68
5.1 结论.....	68
5.2 展望.....	68
[参考文献].....	70
致谢.....	73
攻读硕士学位期间发表论文	74

Contents

Chinese Abstract	I
ABSTRACT.....	II
Chinese Contents.....	IV
Contents	VI
Chapter1 Introduction.....	1
1.1 Research background and significance.....	1
1.2 Review of domestic and foreign research status.....	2
1.2.1 Research status of deep foundation pit deformation monitoring.....	2
1.2.2 Research status of deformation control analysis method for deep foundation pit.....	2
1.3 Research contents and methods.....	7
Chapter2 Monitoring and result analysis of Hechang Trade Center deep foundation pit	9
2.1 Engineering background	9
2.1.1 Engineering Introduction	9
2.1.2 Engineering geology and hydrogeology	9
2.1.3 Support design overview.....	11
2.1.4 Construction procedure	12
2.2 Monitoring scheme.....	13
2.2.1 Monitoring purpose.....	13
2.2.2 Monitoring content and measuring points layout	13
2.2.3 Warning value and warning	15
2.3 Monitoring result analysis.....	16
2.3.1 Analysis of horizontal displacement of retaining piles	16
2.3.2 Stress analysis of support beam reinforcement.....	18
2.3.3 Vertical displacement of column.....	20
2.3.4 Analysis of slope deformation	21
2.3.5 Surface subsidence analysis.....	23
2.3.6 Subsidence analysis of surrounding buildings	24
2.3.7 Subsidence analysis of underground pipeline.....	25
2.3.8 Analysis of earth pressure and water level.....	26
2.4Chapter summary	29
Chapter3 Regression analysis of deformation prediction of deep foundation pit	30
3.1 Summary.....	30
3.2 Prediction model and fitting method.....	30
3.2.1 Parabola.....	30
3.2.2Logistic curve.....	31
3.2.3Gompertz curve.....	31
3.2.4Usher curve	31
3.2.5 Interrupted aging curve	32
3.2.6 Fitting method	32
3.3 Deformation prediction of deep foundation pit.....	33
3.3.1 Surface subsidence prediction.....	33
3.3.2 Prediction of underground pipeline subsidence	35
3.3.3 Prediction of the horizontal displacement of top slope.....	37
3.4 Deformation control measures of deep foundation pit	39

3.4.1 Control measures in design.....	40
3.4.2 Control measures in construction.....	41
3.5 Chapter summary	42
Chapter4 FLAC3D simulation of excavation deformation of deep foundation pit	43
4.1 Introduction to FLAC3D software	43
4.1.1 Overview of FLAC3D software.....	43
4.1.2 Principle of finite difference method	44
4.2 FLAC3D simulation method for excavation of deep foundation pit	46
4.2.1 Model building.....	46
4.2.2 Boundary conditions and initial stress conditions	46
4.2.3 Soil constitutive model	46
4.2.4 Simulation of retaining structure for deep foundation pit.....	48
4.2.5 Computational procedure.....	52
4.3 Simulation analysis of deep foundation pit excavation	52
4.3.1 Model establishment and soil parameters	52
4.3.2 Supporting structure and parameters	54
4.3.3 Construction state simulation.....	55
4.4 Analysis of calculation results	57
4.4.1 Retaining pile displacement.....	57
4.4.2 Surface subsidence and bottom heave	59
4.4.3 Deformation of soil in and out of foundation pit	61
4.4.4 Supporting beam axial force	62
4.4.5 Column subsidence	64
4.5 Comparative analysis of the calculated and measured results	64
4.5.1 Comparative analysis of horizontal displacement of retaining piles	65
4.5.2 Comparative analysis of surface subsidence.....	66
4.5.3 Comparative analysis of column subsidence	67
4.6 Chapter summary	67
Chapter5 Conclusion and Prospect.....	68
5.1 Conclusion	68
5.2 Prospect.....	68
[Reference]	70
Thanks.....	73
Papers published during the postgraduate study	74

第一章 绪论

1.1 选题背景与研究意义

本世纪以来随着我国房地产行业的快速发展和基础设施建设的大量投入，城市中涌现了许多高层及超高层建筑，北上广深一线城市、许多二线城市开始大力发展地下轨道交通，由此带来了许多的深基坑工程，且深基坑工程有向着更大和更深发展的趋势。一般来说，这类深基坑很多位于城市中心地域，周围存在较多建筑物、道路或地下管线等，要控制周边土体与构筑物的变形，保证深基坑支护结构的稳定与安全，同时又尽可能地降低深基坑工程建设费用，这对深基坑的设计施工造成了一定困难；若支护结构设计不合理或施工管理不善，可能会造成土体变形过大形成安全隐患，严重的可能导致基坑失稳造成事故。2005 年广州珠海城广场基坑坍塌事故，造成 3 人遇难，5 人受伤，分析原因是超挖超载及支护结构超出服务年限；2008 年杭州地铁湘湖站北 2 基坑坍塌事故，造成 17 人死亡，4 人失踪，分析原因是超挖及支撑体系存在严重缺陷。为确保支护结构稳定，有效控制周边土体变形，有必要在深基坑开挖和支护过程中展开严密的监测工作，基于监测数据对深基坑变形规律展开研究并评估深基坑安全性，以指导设计和施工。

本文以泉州和昌贸易中心深基坑工程为背景展开研究。基坑面积 1.7 万 m^2 ，深度 19.55m，开挖面积和深度均较大，基坑开挖过程中卸荷效应可能会比较明显，场地土层中主要为粉质粘土，且存在淤泥层，这对控制基坑变形不利。为了确保支护结构稳定性，合理控制基坑变形，本文在施工监测的基础上拟进行以下三方面研究：

①基于监测数据，总结分析基坑围护桩侧移、周边地表沉降、坡顶位移、支撑梁钢筋应力、土压力及水位等变化规律，为合理控制基坑变形提供依据；

②对比四种变形预测方法，选用适合于本工程的预测方法对产生较大位移的项目进行预测，为后续的设计施工提供参考，并对基坑变形控制措施进行探讨；

③采用 FLAC3D 模拟基坑开挖，得到支护结构力与变形和周边土体变形结果，以评价支护结构稳定性与周边环境安全性，为控制基坑变形提供合理的指导，并通过与实测数据比较分析，验证方法可行性，并为类似基坑工程提供借鉴。

1.2 国内外研究现状综述

1.2.1 深基坑变形监测研究现状

基坑变形监测是指运用仪器设备在基坑施工过程中对支护结构、地表、建筑物及地下管线等进行位移或破坏监测，以此评估基坑支护及周边环境安全性，指导设计和施工，确保基坑的稳定与安全。由于深基坑工程变形机理的复杂性和区域性等原因，变形监测的理论、手段和模型都已广泛应用和研究。

吴泳川^[1]对基坑施工过程中现场实时监测预警作用做了总结和展望；陈军^[2]以广州某深基坑工程为背景，指出为保证施工过程的安全性，需将动态设计与信息化施工相结合，而通过基坑监测将得以实现；任建喜^[3]等通过对某深基坑进行监测，研究了围护结构的变形规律，可为相似基坑的设计施工作参考；熊智彪^[4]等在基坑施工过程中对其进行了水平位移实时监测，通过监测数据分析了险情发生机理，在此基础上提出加固措施并取得良好效果；刘杰^[5]等针对某城市大型深基坑围护结构设计了监测方案，并分析其变形规律，结合数值模拟结果，指出钢支撑结合围护桩的形式围护效果较好；姚黔贵^[6]介绍了深基坑监测的意义及测点布设方式等，指出监测对于动态设计与安全施工的必要性；赵锡宏^[7]等对上海外环隧道浦西段深基坑进行实时监测，对各项目监测数据进行了分析研究，采用合适的预测模型进行预测，反馈指导施工，成功控制了地下管线和建筑物出现的险情，实现了信息化施工。

1.2.2 深基坑变形控制研究现状

目前控制深基坑工程变形的研究，主要通过以下三种方法进行实现，分别是经验理论法、系统分析法、数值模拟法^[8]。经验公式法是基于监测数据，通过总结或拟合得出的经验性公式，利用经验公式对基坑变形进行计算；系统分析法是指对已有监测资料进行分析研究，采用一定的方法预测变化趋势，并将预测结果反馈于工程，其在信息化施工中应用较多；数值模拟法是指对施工中基坑变形进行模拟计算，并将计算结果应用于指导设计和施工，计算结果与实际情况的接近程度与软件计算方法、所选本构模型、模型真实程度等相关。

(1) 经验理论法

1969年 Peck^[9]基于多地基坑开挖实测数据，分析研究了围护结构位移、地

表沉降及应对措施等内容,给出了不同硬度土条件下的周边地表沉降和坑边距离的经验曲线,并绘制了相应地表沉降估算图,这种方法简单易行,提出后得到普遍应用。

1976年 Goldberg^[10]等人基于63个基坑工程监测资料,针对围护结构最大水平位移、地表沉降量及曲线形态做了探究,分析了围护结构侧移和地表沉降曲线形态、土层条件和支护方式之间的关系。

1981年 Mana^[11]通过研究基坑监测资料,发现围护结构最大水平位移与抗隆起系数相关,同年和 Clough 在有限元分析基础上,提出了可估算围护结构侧移与地表沉降最大值的稳定安全系数法。

1990年 Clough 和 O'Rourke^[12]针对软或中软粘土基坑,绘制了围护结构最大侧移同系统刚度和抗隆起系数的关系图,图中两个区域分别对应板桩和地下连续墙。

1993年 Ou^[13]基于台北10个基坑的监测资料,给出了围护结构侧移同地表沉降关系,指出围护结构最大水平位移与地表最大沉降之比处于0.5至1.0之间。

2001年 Long^[14]对许多基坑围护结构变形及土体沉降作了统计分析,并按照不同土层条件进行了分类,研究了基坑变形随基坑深度、抗隆起安全系数、支护结构刚度的变化规律。

1989年侯学渊、陈永福^[15]在 Peck 地表沉降估算方法的基础上,结合基坑工程实测数据,得出了如下结论:围护结构水平位移曲线与地表沉降曲线类似,其变形可分为三角形和抛物线形两种变形模式,其侧移面积与地表沉降面积基本相等,并据此针对两种变形模式分别给出了地表沉降计算经验公式。

1993年刘建航^[16]分析研究了上海延安东路隧道及4个地铁车站深基坑实测资料,提出了软粘土中地下连续墙后地表沉降计算公式,包括基坑开挖阶段地表沉降公式、开挖完成后地表沉降公式以及墙后地表横向沉降公式等。

1999年张尚根等^[17]根据围护结构变形,给出了基于正态分布密度函数的软土基坑周边地表沉降公式,并探讨了减少地表沉降措施。

(2) 系统分析法

深基坑工程变形预测系统分析法较为常用的主要有回归分析、时间序列分析、灰色系统理论、人工神经网络等^[18]。

回归分析是指根据监测数据采用最小二乘法求解模型的参数,并根据求解模型预测预报基坑的变形发展。基坑变形预测回归分析是一种静态方法,可以分为曲线拟合与多元线性回归两种类型,由于这种方法使用简便,且对于正常的基坑变形预测精度较好,因此使用较为广泛。目前在深基坑工程变形的回归分析中,预测参数模型主要有抛物线、Logistic 曲线、Gompertz 曲线及 Usher 曲线,其中后面三种模型又称为生长曲线模型,在油田开发预测、路基沉降预测、隧道围岩变形预测等领域中应用较多,在基坑变形预测中应用相对较少。

赵锡宏^[7]针对上海外环隧道浦西暗埋深基坑工程,根据施工工况的不同,提出采用分段时效抛物线法对周边地表沉降进行预测,并取得了良好的预测效果。郭菊彬^[19]等采用 Logistic 生长曲线进行基坑沉降预测,并对比分析了模型参数 K 的三种估计方法,结果表明三种方法预测精度都较高,其中三点法预测精度最高,但拐点法预测沉降的发展情况效果最好。俞启泰^[20]采用 Logistic、Gompertz 及 Usher 曲线对油田开发进行了预测,并对预测结果进行了对比论述,提出了 Usher 曲线求解的重复二元回归法。蒋冲^[21]等针对深圳平安金融中心深基坑地表沉降,引入 Usher 曲线进行预测,结果表明预测值接近实测值。成峰^[22]利用 Logistic 与 Gompertz 曲线进行基坑地表沉降预测,求导后提出了地表沉降曲线公式,并通过二者加权平均得到更贴近工程实际的地表沉降公式。

时间序列分析是指基于一定的参数模型,统计分析监测数据时间规律性,它属于动态的分析方法。这种方法不考虑监测数据受力学因素的影响,只是采用模型研究监测数据的规律性变化,并对监测值的发展变化进行预测。因此选用的参数模型合适与否,对于预测结果影响较大。

灰色系统理论是指研究数据内之间存在的相互联系,可以将这种相互联系用于预测基坑变形。灰色系统理论的优点在于,对于数据的内部关系要求不高,对于杂乱的、不全面的数据,灰色系统理论也能通过分析找出其中的联系。在基坑工程中,当监测数据较为全面、数据之间指数函数关系较为明确时,采用灰色系统理论能获得较高的预测精度,否则只能达到一般的预测精度,且此理论要求数据是等间距的,因此对于稳定性及变形要求较高的基坑工程来说,灰色系统理论适用性有限。

胡冬^[23]等指出基坑变形受多种因素共同作用,其本质为一个灰色系统,可

引入灰色系统理论进行预测,并将预测结果同工程监测数据进行对比,结果表明该模型预测精度较高。于玲^[24]等引入灰色理论预测基坑桩顶水平位移,对比实测值可发现,灰色理论对于预测基坑桩顶水平位移具有适用性。

人工神经网络是对生物神经网络进行模拟,来达到对数据进行组织、分类及总结的目的,目前已应用于多个领域。人工神经网络预测的非线性映射能力较好,因此可以对监测数据进行网络训练,以预测基坑变形。一般来说,人工神经网络对于数据处理的能力较强,预测效果较好,目前在基坑变形预测的问题中人工神经网络的研究较多,也取得了较大的应用成果。

袁金荣^[25]等采用人工神经网络预测基坑墙体位移,通过 VC++ 语言得实现计算过程,结果表明人工神经网络预测值同实测值吻合程度较高。王旭东^[26]等采用 BP 人工神经网络预测基坑悬臂围护结构侧移,对比实测值可知预测效果较好。

(3) 数值模拟法

深基坑开挖过程中变形大小受多种因素影响,如土层性质与参数、支护方式与参数、施工组织管理等,要使基坑开挖变形计算结果更接近实际情况,需将上述影响因素尽可能多地考虑进去。数值模拟方法不仅能模拟土体与支护结构的相互作用,还能将施工工况尽可能地体现出来,因此采用数值模拟方法对计算深基坑变形有一定的优势;其难点在于对于土体本构关系的模拟,准确计算土体变形对于得到准确的支护结构内力与变形至关重要,现有的本构模型有各自的优点和缺点,且由于土体具有较强的地区差异性,本构模型难以普遍适用,计算参数的确定也颇为不易,导致数值模拟法在大多数基坑变形计算中仅作为一种辅助对比手段。随着土体本构模型及各种数值模拟软件的发展完善,基坑开挖变形数值模拟计算将来的应用前景广阔。

Clough^[27](1974)首次将有限元法应用于基坑变形计算中,计算对比了内支撑和锚杆两种支护方式的效果,认为锚杆支护不一定优于内支撑支护;研究了锚杆参数、开挖深度等对支护效果的影响。

Jardine^[28](1986)认为土体的应力-应变关系是非线性的,并通过有限元方法计算分析了土体开挖变形,结果表明基于这种设想的计算结果更加符合实际。

Wong^[29](1989)采用有限元软件分析了开挖深度、围护结构刚度和入土深度、土层条件等对基坑变形的影响,结果表明围护结构刚度和支撑间距对基坑变形影

响较大。

Hashash 和 Whittle^[30](1996)通过二维非线性有限元法计算分析了大量的基坑工程,探究了不同开挖深度下围护结构侧移及最大弯矩、土层沉降情况,深入分析了软粘土基坑中嵌入深度、支撑情况及土体应力历史等因素对围护结构侧移的影响。

Blackburn^[31](2005)利用三维数值模拟软件模拟了基坑开挖,分析了基坑变形随基坑尺寸、深度、支护结构刚度、抗隆起安全系数等变化情况,结果表明支护结构内力及周边土体变形与监测数据接近程度较高。

谭跃虎等^[32](1995)通过有限元计算了开挖深度、安全系数、围护墙刚度等对围护墙水平位移的影响,提出了围护墙水平位移的计算公式。

蔡袁强等^[33](1997)利用 D-P 本构模型模拟土体,开发了双排桩基坑变形的有限元计算程序,在此基础上分析了围护桩刚度、土层条件、前后排桩间距等对基坑变形的影响。

郑宏等^[34]针对有限元法在岩土工程应用中的可变区域边值、初始地应力场、开挖荷载、地下水渗透作用等问题进行了探讨,分析了有限元法存在的一些问题,并给出了解决方案。

朱合华等^[35](2003)采用接触面单元模拟支护结构与土体之间的滑移作用,并采用计算软件对某预应力桩锚支护基坑进行了开挖模拟计算,计算结果表明该支护设计可满足基坑稳定。

崔宏环等^[36](2006)利用 ABAQUS 模拟某深基坑开挖,探究了双排桩间距、排桩刚度等支护因素对于基坑的变形产生的影响,并针对控制变形给出了相应的措施。

任建喜^[37](2007)等采用有限元模拟森林公园地铁车站深基坑,重点分析了围护结构变形的影响因素,计算结果与监测值基本一致,结果表明,采用分层小块基坑开挖方式能有效减小基坑变形的时空效应。

目前可用于数值模拟计算的软件较多,就计算基坑变形等岩土工程问题来说,ABAQUS、FLAC、UDEC、Geoslope 及 Plaxis 相对比较专业。其中 ABAQUS 属于大型通用的有限元软件,能够较好地处理接触问题;FLAC 是有限差分软件,应用快速拉格朗日法来计算岩土体力和变形,在锚固问题上比较有优势,计算过

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库