

# 数值模拟方法在基坑工程中的应用探讨

□ 黄焯森

**摘要** 近年来,由于计算机技术的不断进步,数值模拟方法在土木工程领域尤其在基坑工程中的应用得到了空前发展,成为科研分析和实际施工的重要依据。本文在搜集国内外大量数值模拟资料的基础上,对目前土木工程领域的数值模拟方法进行综述和评价,并针对土木工程中基坑工程的若干问题,介绍最新的数值模拟软件应用,为今后的基坑施工技术提供可行性参考。

**关键词** 数值模拟;岩土工程;基坑开挖;围护;监测

**文献标识码** A **中图分类号** TU473.2 **文章编号** 1672-7045(2020)8-092-03

## 1 引言

随着基础建设的高速发展,近年来我国越来越重视交通事业,多数城市投入资金大兴土木建造地铁,对土木工程的技术要求越来越高。在施工过程中,基坑工程是重要的一环,要求更严苛,用传统理论方法进行“纸上谈兵”,已经不能满足越来越复杂的地铁深基坑工程。而基于计算机技术的数值模拟方法,能够运用理论原理,辅以强大的计算能力,可以有效评价和预测基坑工程、抗震、结构动力、混凝土结构寿命等特性,达到一定程度上的精细逼真,大大推动了土木工程,特别是岩土力学的发展,成为目前土木工程科研和施工不可或缺的一种方法。笔者通过现有的文献和实际操作,对数值模拟的原理和方法做综述,并介绍最新的数值模拟软件及应用场景,为今后的基坑工程实际施工提供参考。

## 2 数值技术在岩土工程中的方法综述

岩土因其复杂的弹性、塑性、各向异性等特征,显示出比其他材料更复杂的力学表现和耦合效应,普通的物理计算已不能满足工程的各种性状研究,在实际工程中如果不能进行有效分析,则会导致地基沉降、基坑坍塌等事故发生。因此,基于计算机技术和弹塑性力学理论结合的数值分析方法的引入十分必要,当前岩土力学的数值方法主要为有限元法、边界元法、有限差分法、

离散单元法<sup>[1]</sup>。

### 2.1 有限元法

将复杂的结构看成有限个仅在节点联结的整体,由点到体、单元到整体的预测,依据虚位移原理、最小势能原理等,通过分析小单元特性,集成总体特性,最终按相应方程求解需要的未知量,在土木工程中最常见的有限元软件如ANSYS,用以分析几何形状不规则、受力复杂的非匀质结构的各种特性。

### 2.2 边界元法

不同于有限元法的整体结构离散化,边界元法只需在边界上进行分解离散,建立边界上的方程,直接或间接求得边界单元的特性,再利用开尔文互等定理求解内部点的特性,是一种处理速度快、占内存小的数值方法,最常见的边界元软件如BEASY,可以模拟土木工程中的管道施工特性研究。

### 2.3 有限差分法

把实际的物理过程在时间和空间上离散,分成均匀的有限差分量,用“跃阶”处理,将区域内的各种特性用差分公式表示,进而将微分方程的问题变成求解代数方程方程的问题,可以处理一些复杂的过程,最常见的土木工程差分软件是FLAC 3D,用来求解岩土体的各种力学特性<sup>[2]</sup>。

### 2.4 离散单元法

将模型划分成刚性单元,根据力和位移的关系求出

单元之间相互作用力,根据牛顿第二运动定律确定单元的运动特性,结合CAD成像技术反应岩土体的力场、位移场等参数的变化,土木工程常用的软件是UDEC可以模拟非连续介质承受静载或动载下的响应,分析边坡、基坑等的稳定性。

### 2.5 纳米力学法

以上宏观和细观尺度方法虽然可行,但一大局限在于模拟中预先设置了较理想的假设,比如有限元要求土体均质化假设,离散单元假设土颗粒是刚性粒子,这些假设使得数值分析存在一定制约。而纳米尺度的模拟从土体最小的成分如蒙脱土晶体、高岭土晶体、石英晶体等单元结构入手,这些晶体由几十到几千个原子组成,大小只有几纳米,微观尺度观测从土体最本质结构出发,研究其中的力学响应,从而探索宏观施工上的可行性。纳米力学法研究原子间的物理化学性质,摒弃了其他模拟的假设,从科学层面上更让人信服,是如今高端工程和科学研究推行的一种新兴手法<sup>[3]</sup>。

## 3 数值模拟在基坑施工中的应用

数值方法的价值体现在实际的落地应用,笔者针对基坑的开挖、支护和监测三大场景,介绍ANSYS、FLAC 3D等软件的应用,为今后基坑工程施工提供新的思路和参考意见。

### 3.1 基坑开挖的数值模拟应用

基坑在明挖和盖挖,甚至浅埋暗挖、新奥法施工过程中,最注重的是开挖过程中土体的力学和位移变化,一旦出现力学异常,土体失稳崩塌将造成不可预估的后果。数值模拟软件可以模拟出各种力学参数,有效预测土体变化,基于有限元法的ANSYS软件在基坑开挖过程中应用最多,其中“Element Birth And Death”模块,可以建立喷锚支护开挖的深基坑模型,桩锚支护开挖的深基坑模型,放坡无支护开挖的深基坑模型,并模拟三种开挖形式下的分部开挖过程,对模拟结果进行分析,得出深基坑在分布开挖过程中的变形规律。比如在空间上和时间上的变形规律,并且显示出塑性区域,能帮助施工人员在选择正确的时间和位置进行开挖,防治塑性变形,避免不必要损失<sup>[4]</sup>。

因为地下水的参与,软土的固一流耦合效应也不容忽视,利用MIDAS有限元软件,可以模拟软体软体深基坑降水开挖场景,解析降水对深基坑隆起的决定性影响,技术人员可选择最佳降水数据,处理基坑隆起问题,还可以研究渗流对基坑的影响<sup>[5]</sup>。

### 3.2 基坑围护的数值模拟应用

基坑围护应当视为一项长期计划,不仅要满足强度需求,还要在一定时间内保持稳定性,因此涉及岩土力各个方面,基于以上要求,MidasGTS数值模拟软件,可以模拟地下连续墙等围护结构场景,并辅以深基坑F-SPW软件,用时程分析法对车站建立模型分析,校验围护效果<sup>[6]</sup>。

另外,RSEAP是二维几何和材料非线性分析软件,能够模拟岩石的锚索加固效果,构筑支护过程,进行不同工况的变形分析<sup>[7]</sup>;FLAC 3D能够输入特殊命令流,模拟梁、锚索、桩及板壳四种单元,还能模拟任意形状,任意特性的结构体与岩土体的相互作用,结构体和岩土体的力学反应;Rockfall是研究岩石崩塌的软件,可以模拟主动网、被动网支撑和围护桩在基坑边坡上的应用<sup>[8]</sup>。

### 3.3 基坑监测的数值模拟应用

监测是体现基坑的施工效果的校验,后期要对基坑的稳定性、围护结构的强度刚度进行长期持续的监测,运用ANSYS进行不同工况下的支撑模拟,得出如支撑的支撑弯矩和轴力,得到基坑周围土体水平位移的变化规律,最终达到预测的效果<sup>[9]</sup>。对于桩锚支护,则可以利用ABAQUS的Mohr-Coulomb以及Drucker-Prager模型,输入土体性质、边界及荷载的命令流,进行三维有限元数值模拟,并同现场监测到的成果和理论计算的结果进行对比分析,共同验证桩锚支护设计方案的可行性和持续性<sup>[10]</sup>。

NIDA是基于建筑结构和岩土材料的动力特性,可以模拟土木结构抵抗不同静、动荷载能力,并由中国团队带头研发的结构动力学软件,其不仅考虑了岩土自身的材料性质,还通过输入建筑的振动、风雨等内外荷载作用,进行多种条件耦合影响下的基坑承受能力模拟,进行多因素作用的基坑实时监测和有效告警。

### 3.4 基坑力学性的数值模拟应用

当今我国基建的快速发展,高层建筑和大型路桥越建越多,从而对基坑的开挖、维护要求也更大,但由于团队技术开发和研究上遇到的瓶颈,给工程施工带来了许多困难,使得近年来基坑变形塌陷等事故时有发生,亟待一些前沿的科学方法,为工程应用提供新的可能性。在数值模拟方面,纳米尺度研究法作为新兴模拟方法,给予了工程一定指导,如在Materials Studio软件中,模拟了黏土晶体里插入聚合物进行作用,发现聚合物的注入能快速填补土体裂缝,并通过增强分子间作

用力从而提高了土体的力学性能。这一现象预测了聚氨酯等聚合物作为基坑的修补材料具有很高的可行性,是“工程医院”修建基础结构的有效措施;用Lammps等开源软件实现了蒙脱土、高岭土和伊利土等成分在不同外部条件下的水-土耦合作用<sup>[11]</sup>,很好地观测土体遇水涨缩作用,并判断土体受力的最佳条件,为基坑排水、基坑受力等施工和研究上带来很多实用建议。

#### 4 结语

数值模拟的引入,使土木工程的科研和施工变得更方便、更有效,但因为数值模拟的适用是建立在严格的假设以及理想的环境等前提下,这些局限性使其并不能完全精确地还原现实情况<sup>[12]</sup>,与工程实际相比较,难免在准确度上存在一定出入,所以技术人员在真正执行时,并不能完全依赖于计算机的模拟结果,而要以现场勘察为主,数值模拟初步预测为辅,只有理论结合实际,才能全面且高效地进行项目建设,确保工程完美竣工。

#### [参考文献]

- [1]赵成刚.土力学的现状及其数值分析方法中某些问题的讨论[J].岩土力学,2006,27(8):1361-1364.  
[2]范秋雁,陆明,吴福.危岩研究新进展[J].西部探矿工程,2017,29(12):4-7.

[3]Y.ZHENG and A.ZAOUI,Mechanical behavior in hydrated Na-montmorillonite clay. Physica A,2018,volume 505,page 582-590, 2018.

[4]邱卫民,刘黎明.基于ANSYS的深基坑变形数值模拟研究——以宜昌城区深基坑工程为背景[J].三峡大学学报,2011,2(33)58-61.

[5]施沈杰,罗吉安.考虑渗流作用下圆形深基坑数值模拟分析[J].四川建材,2018,11(49)43-45.

[6]朱彦鹏,杨校辉,周勇.兰州地铁车站深基坑支护选型分析与数值模拟研究[J].水利与建筑工程学报,2016(1):55-59.

[7]伍俊,郑全平,吴祥云.复合土钉支护技术的有限元数值模拟及工程应用[J].岩土工程学报,2005,2(4)388-392.

[8]陆明.危岩崩塌运动数值模拟及治理措施研究[D].南宁:广西大学,2017.

[9]姜新良,宗金辉,孙良涛.天津某深基坑工程施工监测及数值模拟分析[J].土木工程学报, 2007,2(40)79-103.

[10]李幼辉.软土深基坑桩锚支护设计与数值模拟分析[D].邯郸:河北工程大学,2015.

[11]Y.Zheng,A.Zaoui.Wetting and nanodroplet contact angle of the clay 2:1 surface:The case of Na-montmorillonite(001)[J]. Applied Surface Science,2017,396:717-722.

[12]刘传正.地质灾害防治研究的认识论和方法论[J].工程地质学报,2015,23(5):809-820.

#### [作者简介]

黄焱森,广西天厦建筑工程有限公司助理工程师。