

基于多维度变形测量的深大基坑土体变形监测及应用分析

李志刚

江苏南京地质工程勘察院 江苏南京 210041

摘要: 开挖深大的基坑, 很容易使周围的土体发生变形, 严重时会发生地层土崩塌, 从而造成严重的安全事故。应用基于物联网的多维变形监测设备, 在浙江省义乌市商城大道隧道工程中进行了整个基坑开挖过程中的土体变形观测, 获取了相邻建筑物的深大基础开挖施工的三维变形资料。将土层的变形划分为开挖土层、垫层施工和内部支护3个阶段, 分析了土层的X、Y方向土层的变形特点, 并对其进行了多维变形分析。本文的工作对深大基坑工程施工及岩土工程的施工管理具有一定的指导意义。

关键词: 多维度变形测量; 深大基坑; 土体变形监测

Soil deformation monitoring and application analysis of deep and large foundation pit based on multidimensional deformation measurement

Zhigang Li

Jiangsu Nanjing Geological Engineering Survey Institute, Nanjing 210041, Jiangsu

Abstract: Excavation of deep and large foundation pits, it is easy to make the surrounding soil deformation, and serious soil collapse will occur, resulting in serious safety accidents. The multi-dimensional deformation monitoring equipment based on the Internet of Things was used to observe the soil deformation in the whole excavation process of the Chengcheng Avenue tunnel project in Yiwu City, Zhejiang Province, and obtain the three-dimensional deformation data of the excavation construction of the adjacent building's deep and large foundation. The deformation of the soil layer is divided into three stages: excavation, cushion construction, and internal support. The deformation characteristics of the X and Y-direction soil layers are analyzed, and the multidimensional deformation analysis is carried out. The work of this paper has a certain guiding significance to the construction of deep and large foundation pits and the construction management of geotechnical engineering.

Keywords: multi-dimensional deformation measurement; Deep and large foundation pit; Soil deformation monitoring

中、大城市深基坑施工频繁, 引起了深基坑工程的稳定问题, 目前已成为国内外学者关注的焦点, 而对其进行分析, 对于城市地下空间的发展和深基坑工程的安全运行都有重要意义。在深基坑工程中, 许多专家和学者都有丰富的研究成果。程康等以杭州市30.2m深大基坑为例, 分析了整个开挖过程中的地面沉降发展规律, 并分析了其产生的内在原因, Fan等采用Midas数值模拟软件对基坑开挖时周边结构的影响进行了分析, 根据南京市24个基坑实测数据, Liu等对地层软黏土厚度与周边地面沉陷之间的关系进行了研究, 贾坚等以上海市软土地区一大基坑工程为基础, 分析了大基坑卸载后的土

体回弹与周围土体的沉陷规律, 并就如何减小大基坑的卸荷变形提出了相应的施工措施。目前国内外已有许多学者对深、大基坑的地面沉降进行了大量的研究, 但其表面的变形以三维为主, 因而迫切需要对其进行多维的变形演变规律进行深入的研究。本文以浙江省深基坑工程为背景, 利用物联网技术, 利用多维变形监测设备, 对大基坑开挖引起的周边土的变形进行了分析, 为了有效地开发和利用深大基坑的土体安全、高效的施工, 提供了科学的理论依据和技术指导。

1. 多维度变形监测原理分析

1.1 多维度变形监测原理

多维度变形测量系统是以MEMS为核心的多维变形检测系统，它是以物联网体系的体系结构为基础，能够实现大跨建筑结构的持续变形监测。多维度变形测量系统包括三维变形测量设备、数据采集设备、物联网云平台。它的基本原理见图1^[1]。

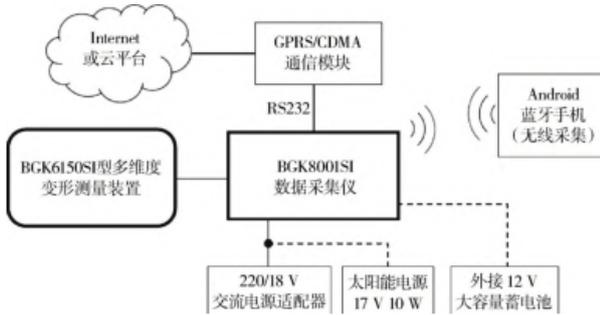


图1 多维度变形测量系统原理图

1.2 多维度变形测量装置

图2中显示了多维度的变形测量设备。它是以连续测斜为基础，采用多个连续节串接的倾斜测量仪，由上向下组成，包含三轴精密MEMS倾角传感器。在仪器工作时，将传感器放置在井眼内，在地层发生变化时，MEMS倾角装置会同步进行。以单位底部为参考点，按单位所测的倾角、单位长度累计计算出井口附近岩土的水平位移及深度。

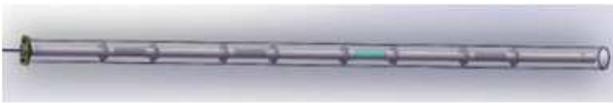


图2 多维度变形测量装置

2. 深大基坑多维变形规律分析

2.1 深大基坑工程特征分析

南京定淮门长江隧道是一项集市政隧道、轨道交通、综合管廊于一体的大型隧道工程。该隧道全长7.3公里，位于南京长江大桥与南京应天大街长江隧道之间，采用明挖施工，结构的基础上，在0-19.2米的范围内，在25-53.4米的范围内，在0-27.9米的范围内进行了深的挖掘。本项目涉及的地层类型较多，地质情况比较复杂，但总体上没有不良的地质影响。按照施工设计的需要，从长江北岸南京市浦口区浦珠路到定淮门大街，隧道的两边是虎踞北路等高楼大厦，此外，南线隧道出口位于定淮门大街，因此，在这一工程中，由于存在着双侧高层建筑和复杂的路面结构，使得工程在工程中对地面的稳定性有较大的要求。在此基础上，根据隧道地质条件及相邻高层建筑物的工程特点，选择了该段作为工程试验点，进行多维变形监测，从而对整个施工过程中的岩土变形进行分析^[2]。

2.2 多维度变形监测测站布置

根据工程测试的需要，在南京长江大桥和南京应天大街的区段之间设置了测量站点。图3显示了多维度的变形监控地下空间的三维布局。x轴的开挖方向为北向，与隧道（东西方向）垂直；y轴的正向是x轴的正、逆时针方向转动90度，是西边；z轴是向前的，是横向的。工人北路-福田路区段的隧道覆盖范围很浅，所以在施工前，在地面上设了3个检测点，分别为-1.5、-1.0、-0.5m。通过传感器，实时向云端平台发送监控信息。

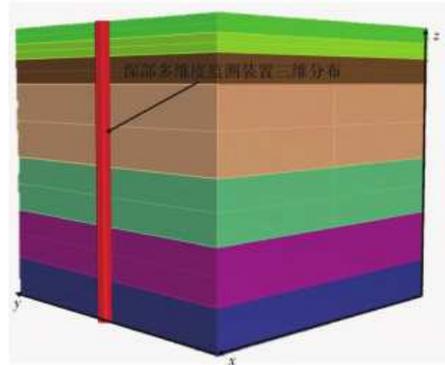


图3 多维度变形三维布置图

2.3 深基坑土体变形规律分析

结合施工特点，结合地层土层的变形特点，将其变形划分为开挖、垫层施工、内支护拆除3个阶段。在开挖前期，土体x方向的位移都呈正向增大的趋势，即朝向和垂直于隧道；在开挖后期，在深度0.5m处，土壤正向位移突变，最大值为1.38mm，而在1.0m深度处，最大值为-0.42mm；在垫层施工过程中，土壤的变形比较均匀，深度为5.0m和1.0m的深度为-0.4mm，而1.5m的深度为0.4mm。在内支座拆除过程中，各个测点的变化都比较大，其中1.5米深度的观测点的位移变化趋势是从正向负的，最大的位移出现在深度0.5m处，为2.84mm。此外，从土体x方向位移的变化率分布可以看出，在开挖和拆除时，变形量的变化最为显著，最大的是在开挖过程，最大的位移变化率是0.227mm/小时，而在拆除时，位移的变化率表现得比较复杂。

研究表明，在开挖初期，1.5m深度监测点的变形最大值为1.61mm，而在0.5m、1.0m深度处，位移最大值为0.42mm；在开挖后期，各个监测点的位移都呈负向变化，最大位移发生在深度1.0m处，位移值为2.68mm。在垫层施工阶段，1.5m和0.5m的深度监测点的位移量几乎为零，但在1.0m的深度处，位移呈负的趋势，最大值为2.5mm。在内支座拆除过程中，各个监测点的位移变化都呈现出复杂的变化趋势，最大位移出现在深度1.0m处，位移为5.03mm，并呈负向移动。此外，在

1.5m深的监测点处，正向最大位移值出现，位移值为2.28mm。从y向位移的变化规律来看，在开挖和拆除过程中，变形速率的变化率是最大的，最大的变化速度是0.273mm/小时，但在拆除过程中，位移的变化速度表现得比较复杂^[3]。

3. 深大基坑支护工程内容

由于城市的现代化，建筑密度的提高，地下和高空建筑的发展迅速，而地下建筑的建设又受周边的水文、地质、施工工艺等因素的制约。首先，在基坑开挖前期，要对基坑的整体面积和基坑边缘距进行精确的测量，以确定基坑的地质状况。其次，结合工程现场的具体情况，进行全面的分析和合理的支撑技术的选用。目前常用的支护技术有：桩排护墙、土钉墙、锚杆支护技术，在采用地下连续墙技术时，应根据现场实际情况选用相应的支护技术。最后，在支护工程正式实施之前，监理、设计人员要制定合理的支护方案，制定相应的安全监控方案，以防止出现安全事故。

在许多建设项目中，大深度基坑支护施工环境十分复杂，地层条件、地质结构等条件十分复杂，施工环境、设计标准、支护方法等都应该成为重点和控制的问题，必须进行环境调查、现场勘察。由于深大基坑支护工程具有高难度、高环境、长工期等特点，在建设初期需要大量的资金支持；所以，它的成本管理也很重要。此外，大基坑开挖施工影响因素是动态变化的，因此，深大基坑支护工程成本管理存在一定的不确定性，需要各方面、各环节的协同作用；这样才能更好地控制项目的造价^[4]。

3.1 重视勘察工作，确保数据的准确性

基坑支护工作的实施必须建立在对调查资料进行严格的基础上，再进行方案的选择和设计，但由于岩土工程的复杂性，往往会使实际情况与方案的设计内容相矛盾；不仅要通过常规的勘测、室内的土工试验，还要在日常的勘测中增设钻孔，并强化现场的检测。前期调查的资料并不是完全正确的，需要重新调查，对施工环境进行全面、反复的调查，提前防范潜在的危险，降低安全隐患，节省费用。

3.2 重视设计方案的选型

在深基坑工程中，设计期是关键，其方案的选取与工程造价、周边环境和进度密切相关。在充分了解工程设计意图的基础上，设计和施工人员选择的支护方案应具备较高的可操作性和实用价值，并符合基坑防护级别

对基坑水平位移与地面沉降的约束条件，反复对比技术，比较经济效益，最后确定方案。比如，在勘察阶段，对地下上、下岩土层的土质和地下水类型进行了多次测试，并给出了若干可行的方案；然后对其安全性和成本进行了分析；最后，确定了采用SMW工法进行养护和加固处理的方法，并制定了具体的施工方案，以达到有效地控制工程成本的目的。

3.3 对实际工程量进行计算和审核

工程量是项目经济管理和成本管理的核心内容，而在深基坑工程施工中，工程量的审核和核实一直是工程造价管理的一个难题。如果某个项目的实际完工量远大于合同，而且工程成本也明显提高，但审计结果显示，工程承包方夸大了施工的难度；所以，认真核实有关数据，可以有效地解决工程项目成本管理中的控制难题。此外，实际增加的工程量、实际增加的施工难度、人员、机械的变更、签证等，都是对工程竣工后成本控制的一个主要考虑因素。

4. 结语

在基坑施工期间，土体x方向的位移在开挖和拆除时的变化最为显著，最大位移出现在深度1.0m处，位移量为0.42mm，最大值为0.227mm/小时。

在开挖和拆除过程中，土体y方向的位移变化最为显著，最大位移在开挖期，最大位移变化率为0.273mm/小时，但在拆除过程中，位移变化率的表征要复杂得多。

开挖x-y方向上的最大位移都出现在深度1.0m处，而且都是在内部支护拆除阶段，说明这一时期是最容易引起地层土体变形的时期。

参考文献：

- [1]王江涛,陈峰,朱良韬,景存德,李晗萌,李参天,孟令峰,林鑫.基于多维度变形测量的深大基坑土体变形监测及应用研究[J].市政技术,2022,40(03):195-198.
- [2]邵鹏,刘念武,房凯,黄栩,林强.软土地区相邻深大基坑间有限土体土压力研究[J].建筑施工,2021,43(04):691-695.
- [3]陈岑,聂成良,张骥骋,徐正林.浅析多维度变形测量系统技术的应用与推广[J].陕西水利,2020(03):4-6.
- [4]施有志,林树枝,车爱兰.基于深基坑监测数据的土体小应变刚度参数优化分析[J].应用力学学报,2017,34(04):654-660+813.