

地铁深基坑测斜监控指标的探讨及实践

屠传豹¹, 陈 勇², 刘国彬¹, 李翔宇¹

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海同是工程科技有限公司, 上海 201203)

摘要: 地铁深基坑的周边保护环境要求很高, 加之各个地区的工程水文地质条件不同, 研究并制定适合于当地情况的监测监控指标值非常重要。在对地铁深基坑监测监控指标的涵义进行探讨的基础上, 提出地铁深基坑监测监控指标的研究思路, 并结合宁波地区1号线12个基坑140个测斜孔的监测数据, 对基坑测斜分层控制指标进行了研究, 并得到一套分层控制指标值, 具有一定的参考价值。

关键词: 地铁深基坑; 监测监控指标; 分层控制; 测斜

中图分类号: TU473; U231.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)S0-0028-05

作者简介: 屠传豹(1988-), 男, 安徽六安人, 同济大学硕士研究生。E-mail: tuchuanbao060896@163.com。

Research and practice of monitoring indices for deep excavations of metro

TU Chuan-bao¹, CHEN Yong², LIU Guo-bin¹, LI Xiang-yu¹

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Tongshi Engineering and Technology Corporation, Shanghai 201203, China)

Abstract: Because of the high requirements for protecting the surroundings around deep excavations of metro (DEM), it is important to study and establish the monitoring index system for DEM. Moreover, as a result of hydrologic and geologic conditions varying from one territory to another, it is necessary to establish the monitoring index system which is suitable for local situation. Based on discussing the connotation of the monitoring index system for DEM, the ideas for the monitoring index system for DEM are described. Monitoring data of 140 inclinometer holes in 12 excavations of Ningbo Metro Line One are integrated to study the hierarchical control indices of DEM. And a relevant control index system, which is valuable for reference, is obtained.

Key words: deep excavation of metro; monitoring index; hierarchical control; inclinometer

0 引言

随着城市化的快速发展, 城市区域越来越大, 甚至被迫向卫星城趋势发展, 这就要求城市交通要立体化, 发展地下城市轨道交通已成为新的建筑热潮。地铁车站一般修建于建筑密集、管线密布的市中心, 若基坑变形控制不好, 不仅危及工程本体安全, 而且影响城市道路交通、通讯供电等, 造成巨大的经济损失。基坑变形控制的关键之一是确定合理的变形控制指标, 因此研究并制定科学、合理的基坑监测监控指标成为一个非常重要的课题。

监测监控指标, 又称预警值、风险提示值, 历来许多学者对其研究方法各异。文献[1, 2]基于大量实测数据, 通过数据挖掘、统计的方法分别得到上海和南京地区的基坑测斜指标, 文献[3]通过数值模拟方法确定天津地区地铁深基坑变形控制标准, 文献[4]则提出了分别根据基坑周围环境对附加变形的承受能力和

大量基坑工程统计资料确定深基坑变形控制指标的两种方法。

以上方法中, 数值模拟确定的基坑变形控制指标仅针对特定的基坑工程, 并不具普遍性, 即一个工程的变形控制指标并不一定适合于另一工程。此外, 采用数值分析也较为复杂, 尤其是确定合理的计算参数仍存在一定难度^[5]; 根据大量基坑工程统计资料确定深基坑变形控制指标, 如果样本选取不合理, 统计出来的数据离散性大, 难以反映正常规律。因此如何得到一个合理的监测监控指标值得进一步研究。

本文在对监测监控指标的涵义及其意义作进一步探讨的基础上, 提出监测监控指标研究思路, 并基于宁波1号线12个基坑140个测斜孔的监测数据, 得到一套基坑测斜分层控制指标, 具有一定参考价值。

1 监测监控指标概述

地下工程工作状态一般分为正常、异常和危险三种情况。异常是指监测对象受力或变形呈现出不符合一般规律的状态；危险是指监测对象的受力或变形呈现出低于结构安全储备、可能发生破坏的状态。地下工程指标体系就是设定一系列定量化警戒指标，在其容许的范围之内认为工程是正常和安全的，并对周围环境不产生有害影响，超过预警值的基坑工程，不一定就必然破坏，但必定是需要引起警觉。

由于同一城市不同区域工程地质和水文地质条件不同，且每个基坑周边环境保护要求也不同，要建立一套合理的指标体系是一项十分复杂的研究课题。而制定监测监控指标的出发点是为了风险管控，通过科学、合理的指标值，相关参建人员能够及时发现基坑变形异常情况，从而可以果断采取措施将风险消灭在萌芽阶段。从这个角度来说，监测监控指标更多的是一个管理的概念，是一个管理指标，不同于设计指标。如果以设计单位给出的设计值作为监测监控指标，大量实践证明，这些指标总体偏低，如果严格按照这些指标将会出现遍地报警的情况，不能有效进行安全风险管理，且可执行性差。

因此，能否准确反映正常的基坑变形规律、现场施工的规范与否、基坑的异常状态，是监测监控指标科学性、合理性的评判标准。

2 监测监控指标研究思路及在宁波地区的实践

2.1 监测监控研究思路

已有的基坑工程监测数据是宝贵的第一手资料，是工程水文地质、现场施工水平、基坑安全状态等的综合反映，通过对样本基坑监测数据的挖掘可以归纳出基坑变形大致规律。而如何保证能从大量的监测数据中统计得出一般基坑变形规律，首要前提是工程样本的正确选取，选取水文地质情况常见，围护形式常用，施工水平中等偏上的基坑作为统计样本。本文研究思路为，综合考虑安全评判与规范施工，通过工程样本数据的统计规律和经验积累来确定监测监控指标，数值总体上略大于监测单位的指标，可执行性强，方便操作。

2.2 在宁波地区的实践

宁波市地处东海之滨，杭州湾南岸，甬江、姚江和奉化江三江交汇口，地貌平坦单一，属典型的软土地区，全市地铁规划线网全长 247.5 km（主城区内全

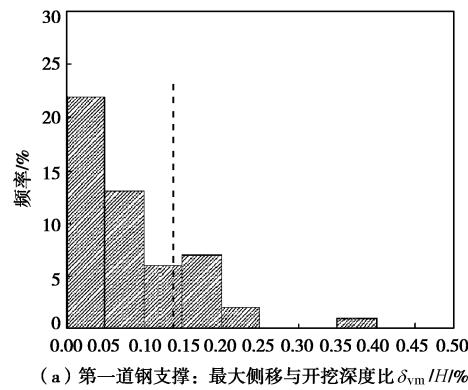
长 177.4 km）。2008 年开始修建轨道交通 1 号线一期工程，目前 1 号线 15 个地下车站（4 个一级、11 个二级）已全部竣工。本文主要选取其中 12 个基坑作为基坑工程样本，其围护形式统一为 800 厚地下连续墙加 5 道支撑（第一道为钢筋混凝土支撑，其余为钢支撑）。通过分析 140 个测斜孔的监测数据，主要对基坑测斜分层控制指标进行了研究。

（1）测斜分层控制指标

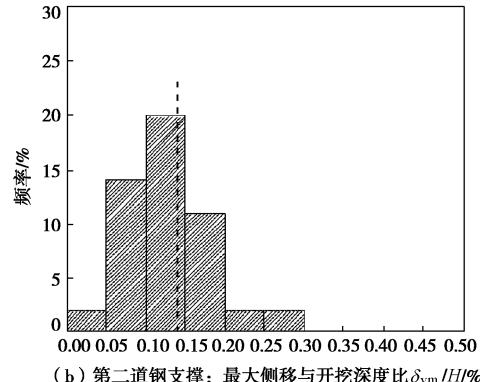
测斜分层控制指标体现着过程控制思想，该思想与文献[5]中“预测—控制—再预测—再控制”的基坑变形系统过程控制思想不谋而合，将基坑变形控制从最终总量控制前移到过程控制，不断推进基坑开挖施工精细化管理，从而能够更好地保护周边环境。同时，由于各个工程基坑开挖深度的不同，且基坑开挖深度对围护结构的最大侧移有着明显的影响，因此确定将围护结构最大侧移与基坑开挖深度的比值作为基坑测斜分层控制指标。

（2）数据分析

本文数据挖掘并统计出 12 个基坑分层开挖至支撑架设完成时，开挖面附近 140 个测斜孔所发生的围护结构最大侧移 δ_{vm} 及其基坑开挖深度 H ，并以 δ_{vm}/H 作横坐标，以概率做纵坐标，得出一级基坑、二级基坑围护结构最大侧移与开挖深度之间的关系概率直方图，如图 1、2 所示。



(a) 第一道钢支撑：最大侧移与开挖深度比 $\delta_{vm}/H\%$



(b) 第二道钢支撑：最大侧移与开挖深度比 $\delta_{vm}/H\%$

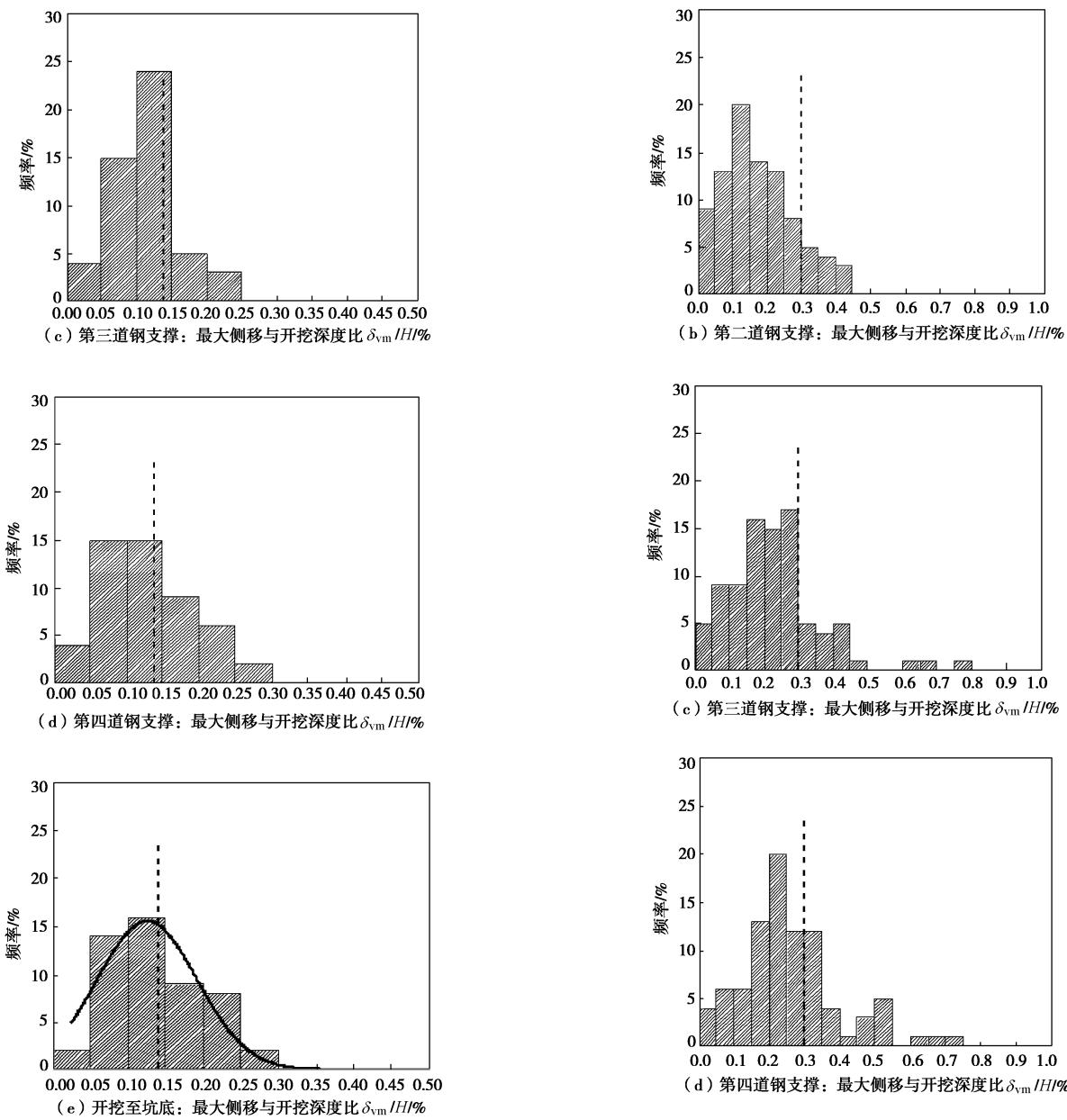


图 1 一级基坑: 围护结构最大侧移与开挖深度之间关系的概率直方图

Fig. 1 First grade deep excavation: probability histogram of relation between maximum lateral displacement and excavation depth

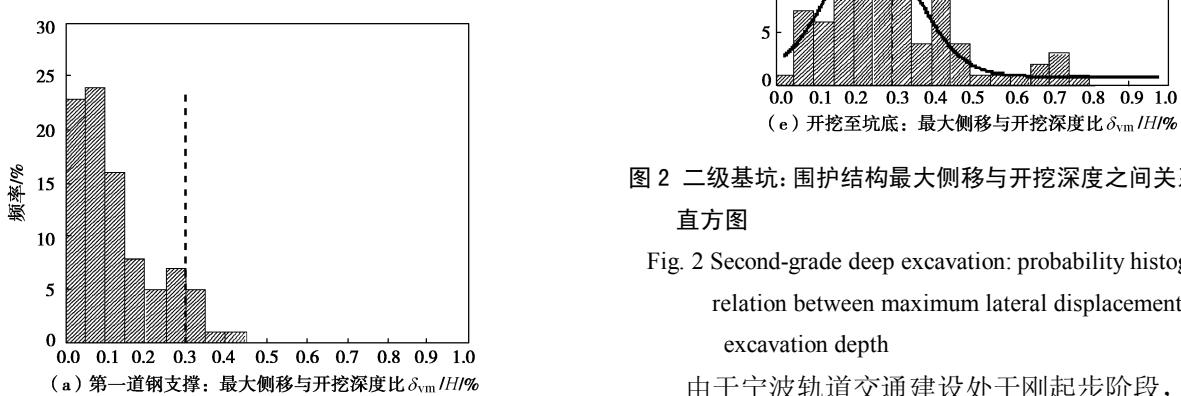


图 2 二级基坑: 围护结构最大侧移与开挖深度之间关系的概率直方图

Fig. 2 Second-grade deep excavation: probability histogram of relation between maximum lateral displacement and excavation depth

由于宁波轨道交通建设处于刚起步阶段, 且工程

地质条件与上海类似, 同属软土地区, 因此地铁车站的设计及施工一般参照上海地区规范, 《上海地铁基坑工程施工规程》(SZ—08—2000) 规定围护结构最大水平位移: 一级基坑 $\leq 0.14\%H$, 二级基坑 $\leq 0.3\%H$, 图1, 2中虚线所示。经数据挖掘、归纳发现, 一级基坑开挖到第一至三道钢支撑时, 围护结构最大水平位移 $\delta_{vm} \leq 0.14\%H$ 的比例为 84.3%~74.5%, 而当基坑开挖至第四道支撑时, 该比例降至 62.7%, 至坑底时为 54.9%。具体 δ_{vm}/H 分布情况列于表 1。

表 1 一级基坑不同开挖工况下围护结构最大侧移与开挖深度比值的概率分布情况

Table 1 Probability distribution of ratio of maximum lateral displacement to excavation depth of first-grade deep excavations under different conditions

开挖工况	小于 0.14%H 的 比例/%	小于 0.18%H 的 比例/%	小于 0.25%H 的 比例/%
第一道钢支撑	84.3	88.2	98.0
第二道钢支撑	80.4	86.3	96.1
第三道钢支撑	74.5	82.4	96.1
第四道钢支撑	62.7	78.4	96.1
开挖至坑底	54.9	74.5	96.1

注: “开挖工况”一列中的第 N 道钢支撑表示基坑土方开挖至该道支撑埋深, 且支撑架设完成时; H 表示基坑此工况下开挖深度。

二级基坑开挖到第一至三道钢支撑埋深时, 围护结构最大水平位移 $\delta_{vm} \leq 0.3\%H$ 的比例分别为 93.3%、86.5%、84.3%, 当开挖至第四道钢支撑埋深时, 该比例降至 68.5%, 开挖至坑底时, 该比例为 59.6%。具体 δ_{vm}/H 分布情况列于表 2。

从以上数据分析可以看出, 无论是一级基坑还是二级基坑, 皆是基坑开挖至最后一道钢支撑以及坑底时, 基坑变形速率加大, 变形超规范要求情况增多, 此时工况为基坑变形控制最不利情况。同时如果按照《上海地铁基坑工程施工规程》(SZ—08—2000) 中的规定, 则只有 60% 左右的基坑测斜实测数据满足规范的控制要求, 分析其中主要原因为宁波软土的工程性质比上海要差, 上海的淤泥质黏土天然含水率一般为 35%~40%, 不排水抗剪强度一般为 18~21 kPa,

表 3 宁波地区不同开挖工况下基坑围护结构最大侧移分层控制指标

Table 3 Hierarchical control indices of maximum lateral displacement during excavation in Ningbo area

基坑等级	第一道钢支撑	第二道钢支撑	第三道钢支撑	第四道钢支撑	开挖至坑底
一级	0.14% H	0.14% H	0.18% H	0.18% H	0.20% H
二级	0.30% H	0.30% H	0.35% H	0.35% H	0.40% H

注: “第 N 道钢支撑” 表示基坑土方开挖至该道支撑埋深, 且支撑架设完成时; H 表示此工况下基坑开挖深度。

宁波的淤泥质黏土天然含水率一般为 40%~50%, 不排水抗剪强度一般为 12~15 kPa, 软土流变性比上海更强, 基坑变形的时间效应比上海更明显, 控制基坑变形的难度更大; 另一部分原因为宁波轨道交通建设处于刚起步阶段, 施工组织管理水平参差不齐, 施工单位对宁波土质情况认识不够。

表 2 二级基坑不同开挖工况下围护结构最大侧移与开挖深度比值的概率分布情况

Table 2 Probability distribution of ratio of maximum lateral displacement to excavation depth of second-grade deep excavations under different conditions

开挖工况	小于 0.3%H 的 比例/%	小于 0.35%H 的 比例/%	小于 0.5%H 的 比例/%
第一道钢支撑	93.3	97.8	100.0
第二道钢支撑	86.5	92.1	100.0
第三道钢支撑	84.3	85.4	100.0
第四道钢支撑	68.5	82.0	91.0
开挖至坑底	59.6	71.9	89.9

注: “开挖工况”一列中的第 N 道钢支撑表示基坑土方开挖至该道支撑埋深, 且支撑架设完成时; H 表示基坑此工况下开挖深度。

(3) 监控指标值的确定

基于第 (2) 节数据分析, 考虑到宁波工程地质情况以及现有施工水平情况, 通过 1 号线基坑的施工监测、数据统计、巡检和预警情况分析总结发现, 可取 δ_{vm}/H 的 80% 的保证率作为现场施工规范与否的分界线, 在此保证率下, 基坑各监测项目数据没有发生异常情况, 且周边地表和建(构)筑物也未发生裂缝, 管线未发生破坏等。

最终得出宁波地区地铁深基坑围护结构最大侧移分层监测监控指标, 如表 3 所示。

3 结语

本文在对工程监测监控指标的涵义及其意义进行探讨的基础上, 提出地铁深基坑监测监控指标研究思路, 结合宁波轨道交通 1 号线一期工程 12 个基坑 140 测斜孔的监测数据, 对基坑测斜分层控制指标进行了研究, 并得出以下几点结论。

(1) 地铁车站开挖, 当开挖至最后一道支撑埋深以及开挖至坑底时, 基坑变形速率加大, 此时工况为基坑变形控制最不利工况。

(2) 由于宁波工程地质和施工情况的特殊性, 若采用《上海地铁基坑工程施工规程》(SZ—08—2000)要求, 则只有 60% 左右的基坑测斜实测数据满足规范的控制要求。本文结合监测数据统计以及巡检和预警情况的研究分析发现, 以 δ_{vm}/H 的 80% 保证率对应的数值作为宁波地铁基坑测斜控制指标较为合理, 可供现场工程监测管理人员参考。

参考文献:

- [1] 刘 涛. 基于数据挖掘的基坑工程安全评估与变形预测研究[D]. 上海: 同济大学, 2007. (LIU Tao. Research on safety analysis and deformation preview of deep excavation by data mining[D]. Shanghai: Tongji University, 2007. (in Chinese))
- [2] 袁登科, 刘国彬. 南京地区深基坑测斜警戒值的探讨[J]. 合肥工业大学学报, 2009, 32(10): 1567 – 1570. (YUAN Deng-ke, LIU Guo-bin. Study on the guard value of the inclinometer of deep excavation in Nanjing[J]. Journal Of Hefei University of Technology, 2009, 32(10): 1567 – 1570. (in Chinese))
- [3] 刘 润, 闫澍旺, 张启斌, 等. 天津地区地铁深基坑施工安全控制标准研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(7): 1512 – 1517. (LIU Run, YAN Shu-wang, ZHANG Qi-bin, et al. A study of control criterion for safe construction of deep foundation pit of underground in Tianjin area[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(7): 1512 – 1517. (in Chinese))
- [4] 徐中华, 王卫东. 深基坑变形控制指标研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(3): 620 – 626. (XU Zhong-hua, WANG Wei-dong. Deformation control criteria of deep excavations[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(3): 620 – 626. (in Chinese))
- [5] 袁金荣, 王文明, 孙 钧. 深大基坑施工变形的智能控制技术[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(4): 460 – 464. (YUAN Jin-rong, WANG Wen-ming, SUN Jun. Intelligent control of deformation during excavation for large and deep foundation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(4): 460 – 464. (in Chinese))

(本文责编 明经平)