

# 复杂周边环境基坑工程变形控制技术

王曙光

(中国建筑科学研究院地基基础研究所, 北京 100013)

**摘要:** 基坑开挖会引起周边土体位移。当基坑周边环境复杂时, 基坑工程的主要控制条件为变形控制。提出基坑工程变形控制流程。基坑工程变形控制应从周边环境调查、变形控制设计、施工控制、基坑监测等方面采取综合措施。对于周边环境复杂的基坑工程, 在基坑工程设计前应先进行周边环境调查, 根据基坑周边环境的保护要求来确定基坑的变形控制指标。在基坑工程设计时, 应采用经验方法或数值方法预估基坑开挖对周边环境的附加变形值, 其总变形值应小于其允许变形值, 当预估变形大于变形控制指标时, 应对周边环境采取必要的加固或隔离措施。在基坑工程施工过程中, 应从支护结构施工、地下水控制及土方开挖等方面分别采取相关措施保护周边环境。基坑工程施工过程中应加强对支护结构和对周边环境的监测, 通过变形监测, 实施信息化施工, 必要时进行动态设计、动态施工。

**关键词:** 基坑工程; 变形控制; 复杂周边环境

**中图分类号:** TU47      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000 - 4548(2013)S1 - 0474 - 04

**作者简介:** 王曙光(1972 - ), 男, 博士, 研究员, 主要从事上部结构地基基础共同作用、基坑支护、地基处理等研究。  
E-mail: wshgcabr@aliyun.com.

## Deformation control of excavation engineering with complicated surroundings

WANG Shu-guang

(Institute of Foundation Engineering, China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Excavation arouses displacement of surrounding soil. It's important to control the deformation of excavation engineering with complicated surroundings. The flow chart of excavation deformation control is put forward. Comprehensive measures should be taken to control the excavation deformation from the aspects of environment survey, deformation control design, construction control, monitoring, etc. For the excavation engineering with complicated the surroundings, the surrounding environment should be surveyed before excavation design, and deformation control index should be determined according to the requirements of surrounding protection. In excavation design, the additional deformation caused by excavation should be estimated by empirical methods or numerical methods, and the total deformation should be less than the allowable value. If the estimated deformation is greater than the control value, necessary reinforcement and isolation measures should be taken. In the construction process of excavation, measures should be taken to protect the surroundings form the perspectives of construction of retaining structure, groundwater control and earth excavation. Monitoring of retaining structure and surroundings should be strengthened in the construction process of excavation in order to carry out informationization construction, and dynamic design and construction should be done in necessity.

**Key words:** excavation engineering; deformation control; complicated surrounding

## 0 引 言

基坑开挖是卸荷的过程, 将引起基坑周边土体应力场变化及地面沉降, 支护结构在两侧压力差的作用下产生水平向位移因而导致支护结构后面的土体产生位移, 卸荷引起的坑底土体产生向上的位移也会导致支护结构后面的土体产生位移。支护结构(支护桩、地下连续墙、锚杆、土钉等)施工引起的挤土效应或土体损失会导致周边土体发生位移, 长时间、大范围降低地下水甚至基坑围护结构渗漏亦易发生基坑外侧

土层坍塌、地面沉降, 引发基坑周边的环境问题。由此可见, 基坑开挖会对周边环境造成影响。

目前基坑开挖的规模不断扩大、深度不断增加, 基坑工程的周边环境也越来越复杂, 这些都对基坑变形提出了越来越严格的要求。部分基坑工程尽管支护结构未发生破坏, 但是由于变形过大或周边地面沉降过大, 导致周边建筑物开裂、管线破坏等, 造成重大的经济损失, 甚至严重的社会影响。因此当基坑周

边环境复杂时,基坑设计的稳定性问题仅是必要条件,大多数情况下的主要控制条件是变形,从而使得基坑工程的设计从强度控制转向变形控制。

## 1 基坑工程的变形控制技术

基坑工程的变形控制应从周边环境调查、支护结构设计、基坑工程施工、基坑监测等方面采取措施。基坑工程的变形控制流程见图 1。

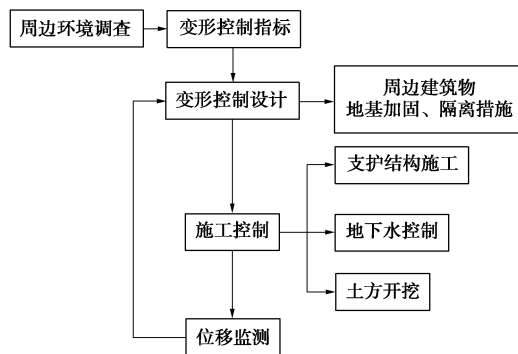


图 1 基坑工程的变形控制流程

Fig. 1 Flow chart of excavation deformation control

对于周边环境复杂的基坑工程,在基坑工程设计前应进行周边环境调查,根据基坑周边环境的保护要求来确定基坑的变形控制指标;在基坑工程设计时,应预估基坑开挖对周边环境的附加变形值,其总变形值应小于其允许变形值,当预估变形大于变形控制指标时,应对周边环境采取必要的加固或隔离措施;在基坑工程施工过程中,应从支护结构施工、地下水控制及土方开挖等方面分别采取相关措施保护周边环境。基坑工程施工过程中应加强对支护结构和对周边环境的监测,通过变形监测,了解基坑工程对周边环境的影响程度,当实测变形超出变形控制值时,应及时查找原因,必要时调整设计及施工方案。

## 2 基坑工程的变形控制指标

随着大规模城市建设的发展,对基坑周边环境的要求日益严格,基坑工程设计前,应对周边环境情况进行专项调查,并应根据基坑周边环境的保护要求来确定基坑的变形控制指标。严格地讲,基坑工程的变形控制指标(如支护结构的水平位移及周边地表沉降)应根据基坑周边环境对附加变形的承受能力及基坑开挖对周边环境的影响程度来确定。由于问题的复杂性,在很多情况下,确定基坑周边环境对附加变形的承受能力是一件非常困难的事情,而要较准确地预测基坑开挖对周边环境的影响程度也往往存在较大的难度,因此也就难以针对某个具体工程提出非常合理的变形控制指标。此时根据大量已成功实施的工程实践统计资料来确定基坑的变形控制指标不失为一种

有效的方法。

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)给出建筑物的地基变形允许值、上海市《基坑工程技术规范》根据基坑周边环境的重要性程度及其与基坑的距离提出基坑变形设计控制指标、文献[1]给出各类建筑物的差异沉降与建筑物损坏程度的关系(见表 1)等,可作为基坑工程变形控制设计时的参考。

表 1 各类建筑物的差异沉降与建筑物损坏程度的关系

Table 1 Relation between differential settlement and damage of buildings

建筑结构类型	$\delta/L$	建筑物的损坏程度
①一般砖墙承重结构,包括有内框架的结构,建筑物长高比小于 10;有圈梁;天然地基(条形基础)	达 1/150	分隔墙及承重砖墙发生相当多的裂缝,可能发生结构破坏
②一般钢筋混凝土框架结构	达 1/150 达 1/300 达 1/500	发生严重变形 分隔墙或外墙产生裂缝等非结构性破坏 开始出现裂缝
③高层刚性建筑(箱型基础、桩基)	达 1/250	可观察到建筑物倾斜
④有桥式行车的单层排架结构的厂房;天然地基或桩基	达 1/300	桥式行车运转困难,不调整轨面难运行,分割墙有裂缝
⑤有斜撑的框架结构	达 1/600	处于安全极限状态
⑥一般对沉降差反应敏感的机器基础	达 1/850	机器使用可能会发生困难,处于可运行的极限状态

注:  $L$  为建筑物长度,  $\delta$  为差异沉降。

不同地区不同的土质条件,支护结构的位移对周边环境的影响程度不同,各地区应积累工程经验,确定变形控制指标。

## 3 基坑变形预测方法

预测基坑变形的的方法大致可归为经验方法和数值方法两类。

### 3.1 经验方法

Peck<sup>[2]</sup>最早提出利用观测资料来预测开挖引起的地表沉降,根据芝加哥、奥斯陆等地的地表沉降观测资料,提出在不同性质土层中地表沉降量与距基坑距离之间的关系曲线(图 2)。该法的曲线属于包络线,目前仍为部分国内外工程师所引用。Clough 等<sup>[3]</sup>根据若干工程案例数据的分析,分别建议不同土层开挖引起地表沉降的包络线形式。对于砂土和硬黏土,建议沉降包络线为三角形分布,对于软弱至中等软弱黏土,则建议包络线形状为梯形(如图 3)。Hsieh 等<sup>[4]</sup>根据支护结构变形中的深槽部分的面积与悬臂部分的面积之间的关系将地表沉降区分为三角槽形及凹槽形两种形式(图 4)。最后的线段表示次要影响区的范围,在此之前的为主要影响区的范围。

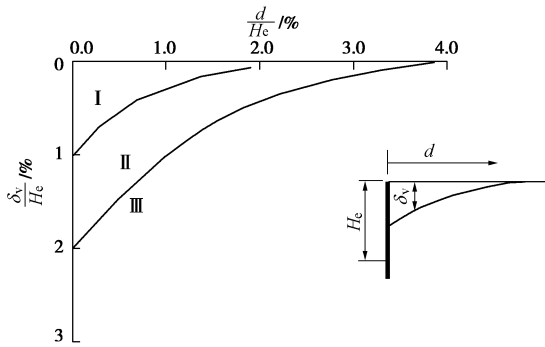
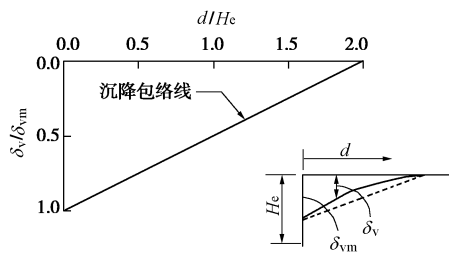
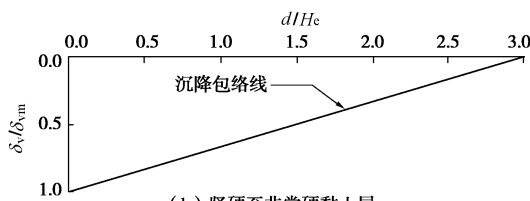


图 2 Peck 法估计地表沉降

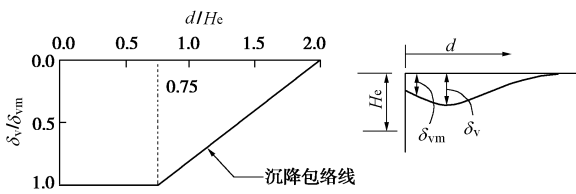
Fig. 2 Settlement curves suggested by Peck method



(a) 砂土层



(b) 坚硬至非常硬黏土层

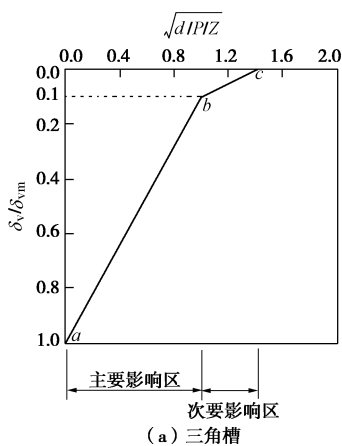


(c) 软弱至中等软弱黏土层

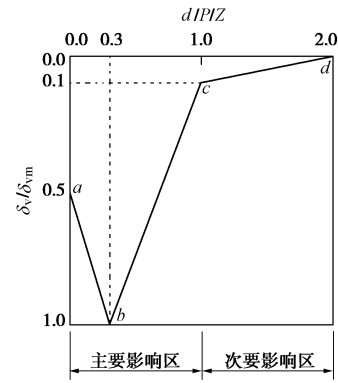
图 3 Clough and O'Rourke 法估计地表沉降

Fig. 3 Settlement curves suggested by Clough and O'Rourke method

根据上海地区地表沉降实测情况 (如图 5 所示), 上海市《基坑工程技术规范》提出采用折线 ABCD 作为沉降的预估曲线, 知道了基坑的开挖深度及最大地表沉降就可给出墙后任一点的地表沉降值。



(a) 三角槽



(b) 凹槽

图 4 Hsieh and Ou 法估计地表沉降

Fig. 4 Settlement curves suggested by Hsieh and Ou method

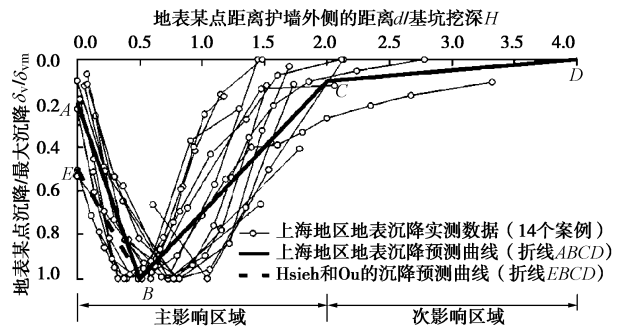


图 5 上海规范法估计地表沉降

Fig. 5 Settlement curves suggested by Shanghai code method

### 3.2 数值方法

随着基坑本身及周边环境日趋复杂, 单纯地采用经验方法已无法满足基坑工程设计的需要。数值方法的出现为基坑工程设计与计算提供了一个有效途径。常用于基坑工程设计的数值方法主要是有限单元法。

Clough 等<sup>[5]</sup>首次采用有限元方法分析了基坑开挖问题, 经过发展, 有限单元法已经成为目前复杂基坑设计的一种常用方法。随着有限元技术、计算机软硬件技术和土体本构关系的发展, 有限元在基坑工程中的应用取得了长足的进步, 出现了多种适合基坑开挖分析的专业岩土工程软件。

用有限元方法的关键是要正确选用土体的本构模型和计算参数。土体是一种力学行为非常复杂的材料, 每种本构模型都是反映了土的某一类现象, 模型越复杂, 参数越多, 工程应用的难度也越大。在模型的选择时, 应根据工程特点、分析目的等选择合适的本构模型。除了本构模型外, 有限元计算分析结果的合理性还取决于参数的选择。参数获取的途径主要有土工试验、原位测试、经验关系以及经验数据等。土工试验不可能完全模拟实际的应力状态, 而原位测试往往不能直接提供本构模型中的参数值, 而且在实际工作中, 往往缺乏足够的、适合的试验和测试数据, 因此在参数选择时应注重多途径获取、交叉检验和经验积累。基坑工程与周围环境是一个相互作用的系统, 有限元方法是模拟基坑开挖问题的有效方法, 它能考虑

土与结构的相互作用,能同时满足静力平衡、本构关系、位移协调,能考虑复杂的因素如土层的分层情况和土的性质、支撑系统分布及其性质、土层开挖和支护结构支设的施工过程以及周边建(构筑)物存在的影响等。但是由于有限元法分析的复杂性导致可能出现不合理甚至错误的分析结果,因此在应用有限元方法时应有可靠的工程实测数据为依据,且该方法分析得到的结果宜与经验方法进行相互校核,以确认分析结果的合理性。

#### 4 施工工程的变形控制

基坑工程施工是支护结构施工、地下水控制以及基坑土方开挖的系统工程,其对环境的影响主要分如下 3 类:支护结构施工过程中产生的挤土效应或土体损失引起的相邻地面隆起或沉降;长时间、大幅度降低地下水可能引起地面沉降,从而引起邻近建(构)筑物及地下管线的变形及开裂;基坑开挖时产生的不平衡力、软黏土发生蠕变和坑外水土流失而导致周围土体及围护墙向开挖区发生侧向移动、地面沉降及坑底隆起,从而引起紧邻建(构)筑物及地下管线的侧移、沉降或倾斜。因此除从设计方面采取有关环境保护措施外,还应从支护结构施工、地下水控制及开挖三个方面分别采取相关措施保护周围环境。必要时可对被保护的建(构)筑物及管线采取土体加固、结构托换、架空管线等防范措施。

支护结构的施工应选择对周边环境影响小的施工工艺,并加强施工过程控制。当支护结构施工对周边环境影响较大时应改变支护方式或施工工艺。钻孔灌注桩施工可采用提高泥浆比重、适当提高泥浆液面高度、隔桩跳打等措施提高成孔质量、控制孔壁坍塌、减小周边土体变形。土层锚杆锚固段不应设置在未经处理的软弱土层、不稳定土层和不良地质地段,及钻孔注浆引发较大土体沉降的土层,对于上述地质条件,尤其是当基坑周边环境复杂时,应避免使用锚杆方案。

在地下水位高的地区,在基坑开挖过程中,一方面必须对地下水进行有效的控制,以保证土方开挖以及后续结构施工的顺利实施,另一方面必须防止管涌、流砂及与降水引起的坑外地面变形。当降低地下水对周边环境影响较大时,应首选止水方案。当支护结构不能起到止水作用时,可设置止水帷幕;竖向止水帷幕的设置应穿过透水层或弱透水层,真正起到隔水封闭的作用;当坑底下土体中存在承压水时,可在坑底设置水平向的止水帷幕,既可阻止地下水绕墙底向坑内渗流,又可防止承压水向上作用的水压力使基坑底面以下的土层发生突涌破坏。必须采用降水方案时,应评估降水对周边环境的影响,且应采取回灌等措施。

降水实施过程中,应根据基坑开挖的需要和基坑降水的水位情况,对降水实施动态管理,达到按需降水、减少基坑抽排水量的目的。

土方开挖应严格按设计要求施工,开挖部位及开挖高度等应与设计工况相一致,遵循“分层、分段、分块、对称、平衡、限时”和“先撑后挖、限时支撑、严谨超挖”的原则,施工过程中应加强施工管理和监督,避免由于工序安排不当造成基坑变形过大甚至出现险情。

#### 5 结 语

基坑开挖会引起周边土体位移。当基坑周边环境复杂时,大多数情况下的主要控制条件是变形,从而使得基坑工程的设计从强度控制转向变形控制。对于周边环境复杂的基坑工程,在基坑工程设计前应根据基坑周边环境的保护要求来确定基坑的变形控制指标;在基坑工程设计时,应预估基坑开挖对周边环境的附加变形值,其总变形值应小于其允许变形值,当预估变形大于变形控制指标时,应对周边环境采取必要的加固或隔离措施;在基坑工程施工过程中,应从支护结构施工、地下水控制及土方开挖等 3 个方面分别采取相关措施保护周围环境。基坑工程施工过程中应加强对支护结构和对周边环境的监测,通过变形监测,实施信息化施工,必要时进行动态设计、动态施工。

#### 参考文献:

- [1] 滕延京,李 湛,李钦锐,等.既有建筑地基基础改造加固技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.(TENG Yan-jing, LI Zhan, LI Qin-rui, et al. Transformation and reinforcement technique for foundation of existing buildings[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012. (in Chinese))
- [2] PECK R B. Deep excavation and tunneling in soft ground[C]// Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City, 1969: 225 - 290.
- [3] CLOUGH G W, O'ROURKE T D. Construction induced movement of in situ walls[C]// Proceedings of ASCE Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures. New York, 1990: 439 - 470.
- [4] HSIEH P G, OU C Y. Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998, 35(6): 1004 - 1017.
- [5] CLOUGH G W, DUNCAN J M. Finite element analyses of retaining wall behavior[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1971, 97(12): 1657 - 1673.