

增量法在深基坑围护结构水平变形计算中的应用

陈玉香

(金华教育学院 理工分院, 浙江 金华 321000)

摘要: 在结构和荷载变化复杂的大型基坑工程围护结构变形计算中, 增量法计算相对其他计算理论具有较明显优越性. 采用增量法对上海世博 500 kV 地下变电站其基坑围护结构在开挖过程中的水平位移进行了计算整理, 并与实测值进行对比分析. 结果显示两者能较好地拟合, 表明应用增量法在此类工程中进行变形计算有一定的适用性.

关键词: 增量法; 基坑围护结构; 地下连续墙; 水平位移

中图分类号: TU311

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2011) 03-0076-04

基坑开挖过程是基坑开挖面竖直方向及其围护结构水平方向的卸载过程. 当前, 在开挖深度较深的基坑工程时, 广泛采用地下连续墙作为其围护结构, 同时一般还要设置多道支撑形成整个支护体系. 在开挖过程中, 土体、支撑和地下连续墙所形成的结构体系不断变化, 而且开挖过程中地下连续墙亦已产生了位移, 而支撑是在连续墙已经产生位移的状态下施加的. 按古典的不考虑支撑变形及开挖施工过程的计算理论(如等值梁法), 可得出非开挖侧弯矩为主的计算结果^[1], 而这显然脱离实际过程和结果. 但增量法能较好地模拟基坑分步开挖过程中不同的受力和结构状况, 并能将受力、结构的变化过程划分为所需的若干个相对独立的阶段来分别计算. 因此, 增量法应该是理想的基坑开挖简单分析方法之一.

1 增量法计算原理

增量法是非线性分析的常用方法, 它是将总荷载 $\{P\}$ 分为 N 次施加, 每次荷载增量 $\{\Delta P\}_i$ 形成平衡方程, 进而可求得应力增量 $\{\Delta \sigma\}_i$ 和位移增量 $\{\Delta \delta\}_i$, 将所有应力增量和位移增量叠加, 可得总荷载 $\{P\}$ 作用下的应力和位移. 由此可见, 应用增量法计算深基坑开挖过程中地下连续墙的内力与位移, 外力是相对于前一个开挖段完成后的荷载增量, 求得的内力和位移也是相对于前一个开挖

段完成后的增量, 将每个开挖段产生的内力和位移叠加就是整个开挖过程结束、体系重新平衡后的最终内力与位移. 增量法的关键是准确地确定出每个开挖段相对于前一个开挖段的荷载增量 $\{\Delta P\}_i$, 一般可分为以下几类:

(1) 坑内土的挖除: 坑内土被分层挖除时, 作用在地下连续墙上的荷载增量由两部分组成. 第一部分是坑内侧土压力的减少而背开挖侧土压力不变引起, 增量相当于对体系相应部位反向施加此压力的减少值, 其分布规律是坑底以上呈三角形, 坑底以下呈矩形. 第二部分是挖除土体中的土体弹性抗力释放, 相当于在开挖段对体系反向施加这些土体弹性抗力.

(2) 活载效应: 活载是一种可变荷载, 只对当前的计算阶段起作用.

(3) 结构自重: 在开挖过程中, 假定支撑架设和构件施作都是在各受力结构变形趋稳定的情况下进行的. 它们的自重仅在第一次出现时考虑.

(4) 支撑的拆除: 相当于在拆撑处反向施加这一支撑力.

2 工程实例计算

上海 500 kV 世博变电所建于上海市静安区, 为全地下四层筒型结构, 地下建筑直径 130 m, 开挖深度 34 m, 属一级基坑工程. 工程围护结构采用主

体结构与支护结构全面结合, 基坑逆作施工的整体方案, 即地下连续墙两墙合一、结构梁板替代水平支撑、设置临时环形支撑^[2]。基坑开挖、加撑过程如下: 第 1 步, 开挖至-3.5 m; 第 2 步, 施工-2 m 处 B0 板, 开挖至-7.6 m; 第 3 步, 施工-7 m 处单环梁支撑, 开挖至-12.9 m; 第 4 步, 施工-11.5 m 处 B1 板, 开挖至-17.6 m; 第 5 步, 施工-16.5 m 处 B2 板, 开挖至-22.6 m; 第 6 步, 施工-22 m 处双环梁支撑, 开挖至-27.6 m; 第 7 步, 施工-26.5 m 处 B3 板, 开挖至-30.85 m; 第 8 步, 施工-30.3 m 处双环梁支撑, 开挖至-33.7 m, 现浇基础底板。

该工程中, 围护结构采用 1.2 m 厚地下连续墙, 墙底深度 57.5 m, 有效长度 54 m。地下连续墙既具有挡土和止水的作用又作为永久地下结构外墙。利用地下四层双向梁板作为水平内支撑体系, 即 B0 板、B1 板、B2 板、B3 板。逆作施工阶段, 地下一层、三层和四层的板跨分别达 9.5 m, 10 m 和 7.2 m, 为减小地下连续墙的竖向跨度, 改善基坑围护体系的整体变形和受力性能, 在上述三跨的跨中分别架设了临时环向水平支撑系统。3 道临时支撑计算等效刚度分别为 $k_1 = 17\,040\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_2 =$

$40\,600\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_3 = 37\,300\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ 。地下连续墙开挖侧设置 0.8 m 厚结构内衬墙, 与地下连续墙共同组成复合墙体。

计算模型采用基于规范的水土合算轴对称弹性地基杆系有限元模型^[3]。地基土简化为 Winkler 弹性地基模型。每层楼板施工、每道支撑设置后, 连续墙结构都发生变化, 因此在计算某一开挖步的应力与变形时, 应在前一开挖步基础上, 应用增量法来计算。各开挖步增量法计算简图如图 1 所示。

场地承压水位于标高 -30.5 m 处, 开挖中维持潜水水位, 并设置防渗帷幕。地面超载为 0。土的主要物理力学指标: 重度 $\gamma = 18\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, 内摩擦角 $\varphi = 18^\circ$ 。

在不考虑温度荷载情况下, 应用 ANSYS 软件计算各开挖步连续墙应力、变形。首先可计算出第 1 步开挖的应力值与位移值; 再将第 2 步增量的计算结果与第 1 步计算结果相叠加即为第 2 步的应力值与位移值; 将第 3 步增量的计算结果与第 2 步计算结果相叠加即为第 3 步的应力值与位移值; 以此类推可得出第 4 步、第 5 步、第 6 步、第 7 步与第

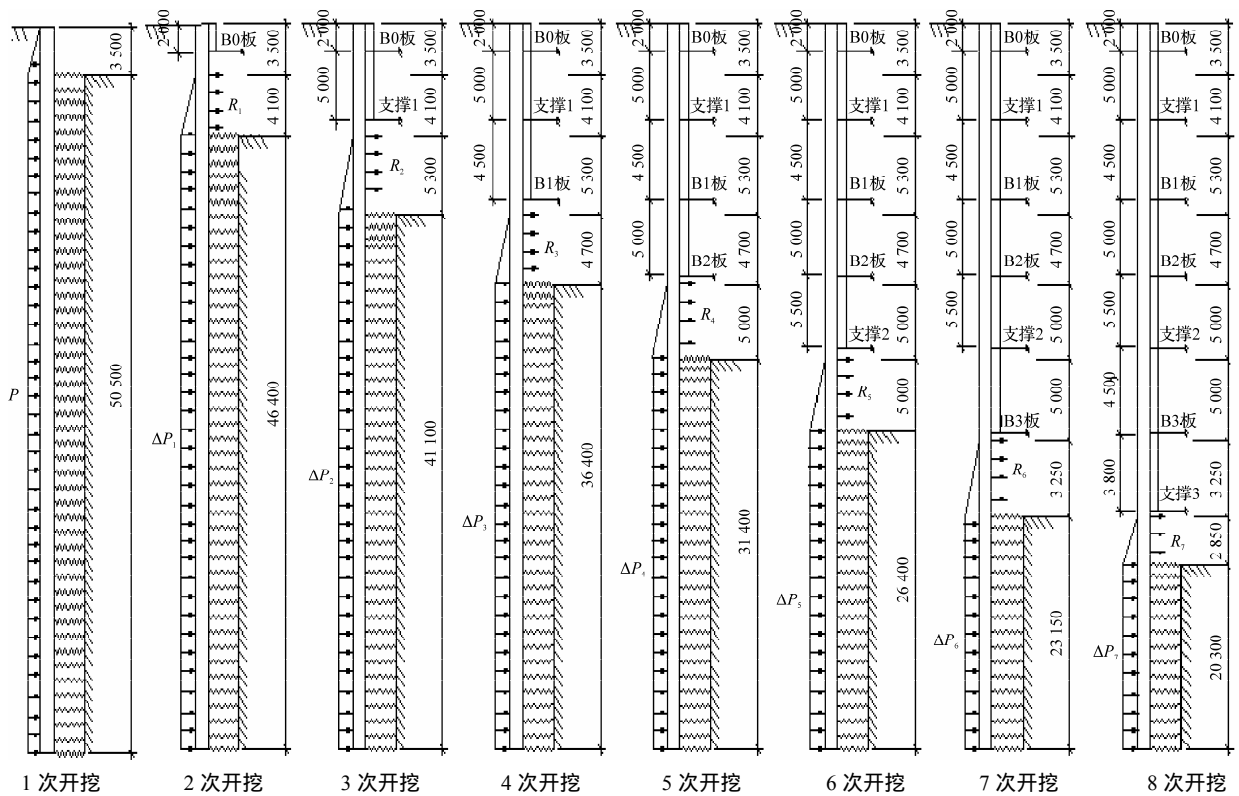


图 1 增量法计算简图

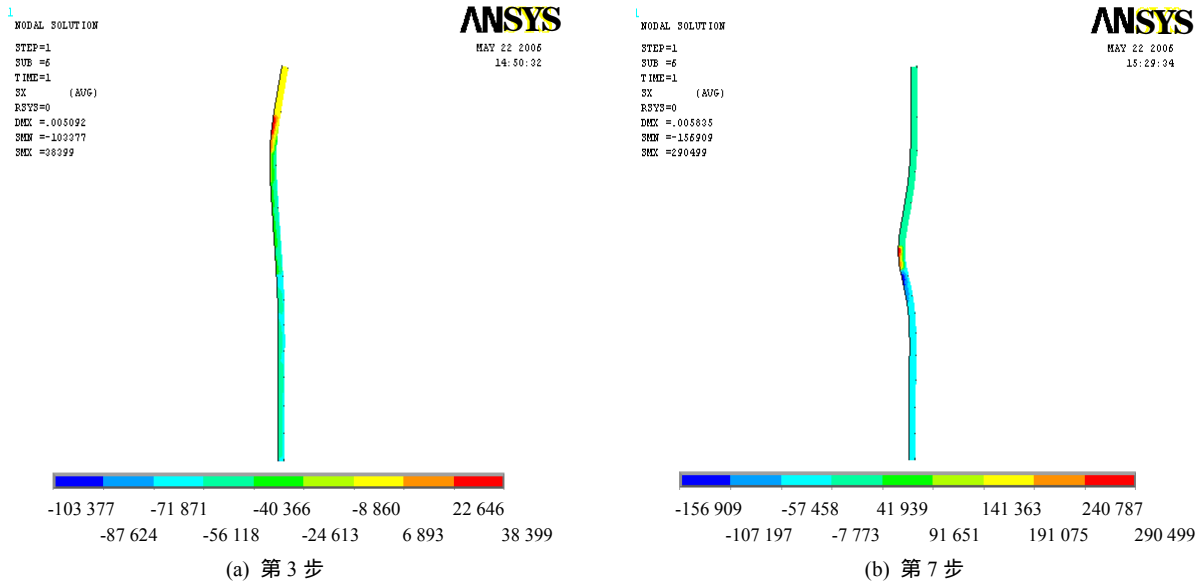


图2 第3步及第7步开挖步计算环向应力图

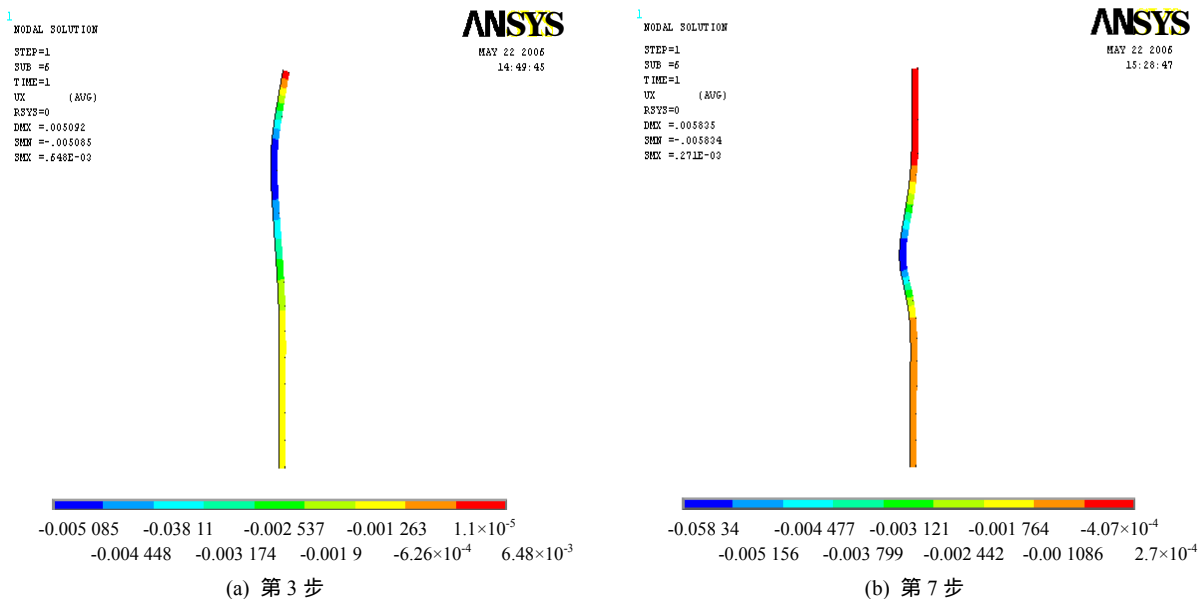


图3 第3步及第7步开挖步计算水平位移图

8步的计算结果. 图2为第3、7开挖步计算所得环向应力图. 图3为第3、7开挖步计算所得水平位移图.

工程开挖期间建立了全过程、全方位的连续墙水平位移监测^[4]. 沿地下连续墙一圈共设置16个水平位移监测点, 记录了基坑开挖全过程中连续墙水平位移状况. 图4为地下连续墙水平位移增量法计算值与实测值比较. 其中, kw1为第1开挖步的位移; kw3为第3开挖步的位移; kw6为第6开挖步的位移; kw7为第7开挖步的位移; kw8为第8开

挖步的位移.

由图4可以看出: (1)连续墙的水平位移在每个开挖步中, 无论是计算值还是实测值方向都是向基坑内侧; (2)随着开挖深度的加深, 图4(a)和图4(b)中的位移值都逐步增加, 最大位移值加大, 最大位移发生部位都逐渐下移; (3)整个开挖过程中, 连续墙顶部水平位移都较小, 而且无明显变化; (4)在各个开挖步中, 连续墙实测最大变形均比计算值大一些, 开挖到最后时达到最大值, 计算最大值为-32.4 mm, 实测最大值为-42.8 mm; (5)随着开挖的

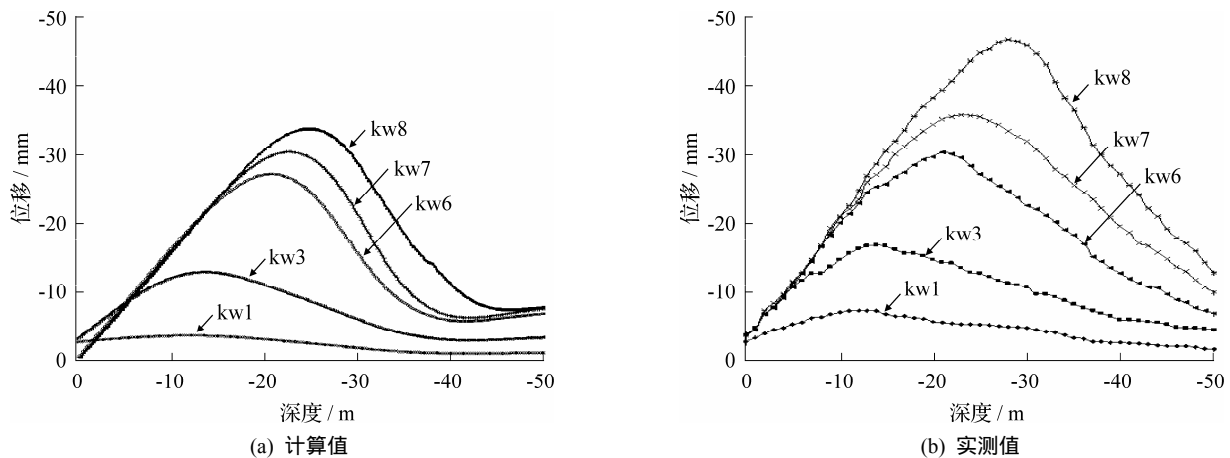


图4 连续墙水平位移计算值与实测值比较

进展, 图 4(a)和图 4(b)变形都逐步走向 S 形, 尤其计算图形的这种趋势更加明显. 因此, 从形态上拟合较好, 说明本工程用增量法计算其连续墙水平位移比较合理.

3 结论

(1) 增量法较好地模拟了基坑分布开挖过程中围护结构受力和结构变化, 且计算结果与实测值能较好地吻合, 应在类似工程中加以推广应用.

(2) 在各个开挖步中, 水平位移实测值大于计算值, 因素之一是本工程理论上为完美圆形结构, 拱效应在计算中发挥了较大作用, 但实际工程中连续墙是通过折线连接替代了圆, 因此实测值要比计算值偏大. 除此因素外, 由于工程混凝土浇筑

量大产生的水化热、工期漫长经受大气温度大幅度改变等因素对连续墙内力及变形影响程度还有待深入研究.

参考文献:

- [1] 孙均, 侯学渊. 地下结构(下册)[M]. 北京: 科学出版社, 1988:37-76.
- [2] 王卫东, 朱伟林, 陈铮, 等. 上海世博 500 kV 地下变电站超深基坑工程的设计研究与实践[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(增):564-576.
- [3] 凌道盛, 徐兴. 非线性有限元及程序[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2004:250-281.
- [4] 宋青君, 王卫东. 上海世博 500 kV 地下变电站圆形深基坑逆作法变形与受力特性实测分析[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(5):181-187.

Application of Incremental Method in Deep Excavation Enclosure Structure Horizontal Displacement Calculation

CHEN Yu-xiang

(Faculty of Science and Technology, Jinhua Education College, Jinhua 321000, China)

Abstract: The calculation principle and loads classifying process of incremental method are introduced. It is obviously superior to other theories concerning the deep excavation enclosure deformation calculation when the structure and its loads change in a complex manner. The analysis on deep excavation enclosure displacement of the Shanghai 500 kV World Expo underground transmission and substation is conducted on the basis of the incremental method. Through the comparison between monitored and computed data, the helpful reference to calculating horizontal deformation on similar projects is provided.

Key words: incremental method; excavation enclosure; retaining wall; displacement

(责任编辑 章践立)