

多层深基坑悬臂式支护面向对象的程序设计

吕建红

(桂林工学院建设工程系, 541004)

袁宝远

(中国科学院地质研究所, 北京)

摘要 多层土构成的深基坑, 在地面荷载及地下水的影响下, 其支护计算复杂。用在 Window 系统下的多层土深基坑悬臂式支护面向对象的程序设计, 同时采用 Visul Basic, Access, Autocad 等多种软件系统联合编程的方法, 提高了软件的功能。为土钉支护, 混合支护及有限元图谱支护设计的面向对象的程序设计积累的经验。

关键词 多层土; 悬臂式支护; 面向对象; 程序设计

分类号 TU432

岩土工程领域中, 多数软件都是在 DOS 系统下实现编程的, 其特点是程序被动处理数据, 而不是数据主动驱动程序执行, 面向对象程序设计的基本思路是: 通过建立和具体实际相对应的软件对象, 并通过对象的组合来创建具体的应用。所谓对象是指在传统的数据结构中, 加入处理数据的过程和函数所构造的实体。

一个深基坑可能涉及十几层土层, 受地下水、地面荷载等因素的影响, 计算较复杂, 而多数手册和教材只能考虑均质土、二层或三层土层条件下的计算公式, 所以人工计算只能用简化的方法去减少工作量, 降低了设计的可靠性。作者从深基坑可能具有任意层的思路入手编程, 解决了多层土深基坑悬臂式支护设计软件的算法问题。

1 悬臂式支护设计原理

1.1 侧向土压力

假设垂直支护体, 向基坑内作用的土压力为正, 根据朗肯—库伦理论^[1], 作用在基坑支护上的土压力: (1) 由土的自重产生的主动土压力强度, kN/m^2 :

$$p_a = \gamma H K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (1)$$

其中: $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$, 为主动土压力系数; γ —填土的重度, kN/m^3 ; H —计算主动(或被动)土压力强度的点至填土层表面的深度, m ; φ —土的内摩擦角($^\circ$); c —土的粘聚力, kN/m^2 。

(2) 由土的自重产生的被动土压力强度 (kN/m^2): $p_p = -\gamma H K_p - 2c \sqrt{K_p}$ (2)

其中 $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$, 为被动土压力系数。

(3) 地面均布荷载 (q) 产生的被动土压力强度 $p_{pq} = -qK_p$ (3)

(4) 地下水引起的水压力强度 (在基坑两侧作用规律一致)。

$$p_{pw} = p_{aw} = \gamma_w H_w \quad (4)$$

式中: q —作用在填土表面的均布荷载, kN/m^2 ; γ_w —水的重度, $9.8\text{kN}/\text{m}^3$; H_w —水面至填土表面的高度, 即水头高度, m 。地面荷载为局部荷载或集中荷载, 只在支护体局部产生土压力, 其计算方法很多书中都有详解。

1.2 结构体受到的剪力^[2]

结构体上某点受到的剪切力的大小等于该点之上所有土压力的合力, 剪力的存在要求结构体必须具备一定的抗剪性能, 其抗剪强度的大小由结构体受到的最大剪力决定, 所以在支护设计计算中必须计算出结构体上的剪力分布, 并找出最大剪力值。最大剪力值位于土压力为零点处。计算土压力为零点的剪力值, 该值即为最大剪力值。

1.3 结构体各点的弯矩^[2]

剪力的存在必然在结构体上产生弯矩, 要求结构体必须具备一定的抗弯性能, 支护设计时, 必须计算出最大弯矩值, 由最大弯矩所在点的剪力为零, 可以确定最大弯矩点。该点以上所有力对该点求矩即可求出最大弯矩值。

1.4 支护结构的嵌固深度^[2]

悬臂支护设计中需要确定支护结构埋置多深, 才能满足基坑边坡的稳定, 即支护结构的嵌固深度。确定嵌固深度的方法: 以支护结构顶端力矩平衡条件计算出平衡位置, 再加上用土压力为零点到平衡点的距离乘以 0.2 作为安全储备。

1.5 本程序考虑的工程条件

本程序的支护结构模型如图 1 所示, 考虑设计问题为一平面应变问题, 这适用于大多数的基坑设计, 考虑的工程地质条件如下:

(1) 地层条件。有任意层地层, 每层地层有不同的 c , φ , γ 值。

(2) 地面荷载条件。有 4 种情况: ①地面从 A 点向 D 方向无穷远处有连续均布荷载。②地面距 A 点 l 远处开始出现连续均布荷载。③地面距 A 点 l 远处开始作用 l_1 宽的均布荷载。④地面距 A 点 l 远处有集中荷载的作用。

(3) 地下水。静水压力作用及水的浮托力作用。

(4) 地貌条件。考虑地面为水平, 对不规则地面只能用转化为地面荷载的办法来处理。

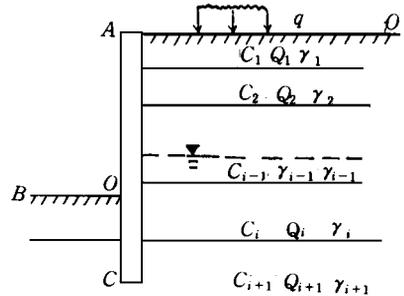


图 1 支护结构模型示意图

Fig. 1 Model of support sketch map

AD—水平地面; AC—支护体; BO—开挖面

2 面向对象的程序设计

2.1 算法及技巧

计算步骤:

- (1) 原始数据的输入、修改, 保存在 Access 数据表中。
- (2) 从 Access 数据表中读出数据。
- (3) 寻找由土的粘聚力产生的土压力为零点。
- (4) 寻找由于地层界线, 地面荷载影响, 地下水位影响而产生的土压力折点。
- (5) 对地层进行二次分层, 每个折点作为假设的地质界线。

- (6) 计算开挖面以上各土层土压力分布及土压力合力作用点。
- (7) 确定开挖面以下土压力为零点的位置。
- (8) 计算开挖面至开挖面以下土压力为零点之间各土层的土压力分布及土压力的合力作用点。
- (9) 计算土压力为零点到最后一层土层之间各土层的土压力分布及土压力合力作用点。
- (10) 确定剪力为零点的位置。
- (11) 计算剪力为零点的力矩。
- (12) 确定力矩为零点的位置。
- (13) 计算支护结构的嵌固深度。
- (14) 形成剪力的分布图。
- (15) 形成弯矩的分布图。
- (16) 输出计算结果。

2.1.1 内聚力产生的土压力为零点的位置确定^[3] 开挖面以上 m 层中某点由于土的自重引起的主动土压力强度

$$p_g = \left[\sum_{i=0}^{m-1} \gamma_{(i)} H_{D(i)} + \gamma_{(m)} (H_g - H_{(m-1)}) \right] K_{a(m)} - 2c_{(m)} \sqrt{K_{a(m)}} \quad (1)$$

若无地下水和地面荷载, 主动土压力强度为零点时, $p_g = 0$ (H_g 即为土压力为零点的深度)。

$$\text{则 } H_g = H_{(m-1)} + \frac{1}{\gamma_{(m)}} \left[\frac{2c_{(m)}}{\sqrt{K_{a(m)}}} - \sum_{i=0}^{m-1} \gamma_{(i)} H_{D(i)} \right] \quad (2)$$

式中: $\gamma_{(i)}$ —第 i 层土的重度, kN/m^3 ; $H_{D(i)}$ —第 i 层土的厚度, m ; $K_{a(m)}$ — m 层土的主动土压力系数; $c_{(m)}$ — m 层土的内聚力, kN/m^2 。若 $H_{(m-1)} \leq H_g < H_{(m)}$ 则该层会出现土压力强度为零点, 否则土压力为零点不在该层。

若有地下水和地面荷载, 将其加入土压力强度中, 用同样的方法可计算土压力为零点。

2.1.2 开挖面以下土压力为零点的位置确定 开挖面以下主动土压力合力等于被动土压力合力时, 出现净土压力为零点。

开挖面以下 m 层中某点土的自重产生的净土压力强度^[3]。

$$p_c = -2c_{(m)} (\sqrt{K_{a(m)}} + \sqrt{K_{p(m)}}) + \left[\sum_{i=0}^{m-1} \gamma_{(i)} H_{D(i)} + \gamma_{(m)} (H_c - H_{(m-1)}) \right] K_a - \left[\sum_{i=m_0}^{m-1} \gamma_{(i)} H_{D(i)} + \gamma_{(m)} (H_{(i)} - H_{(m-1)}) \right] K_p \quad (3)$$

式中: m_0 —开挖面所在层。为避免计算错误, 程序自动对数据处理, 使开挖面成为一个虚地质界面; K_a , K_p —主动、被动土压力系数。

若无地下水和地面荷载的影响, 土压力强度为零时 $p_c = 0$

$$\text{则 } H_c = H_{(m-1)} + \frac{\left[\sum_{i=0}^{m-1} \gamma_{(i)} H_{D(i)} \right] \cdot K_a - \left[\sum_{i=m_0}^{m-1} \gamma_{(i)} H_{D(i)} \right] \cdot K_p - 2c_{(m)} (\sqrt{K_{a(m)}} + \sqrt{K_{p(m)}})}{\gamma_{(m)} (K_{p(m)} - K_{a(m)})} \quad (4)$$

式中: H_c —开挖面以下土压力为零点的深度, m ; $K_{a(m)}$ 、 $K_{p(m)}$ —第 m 层土的主动、被动土压力系数。若 $H_{(m-1)} \leq H_c < H_{(m)}$, 则土压力为零点就在 m 层。若有地下水和地面荷载, 把它们加入土压力强度计算公式中, 同样可求出该条件下的 H_c 所在土层及 H_c 的值。

2.1.3 剪应力为零点的确定^[3] 若剪力为零点在 m 层中, 则

$$Q = Q_{(m-1)} + Q_p \quad (5)$$

$$Q_p = \frac{1}{2}(p_{(m-1)} + p_p) \cdot y \quad (6)$$

$$Q_p = p_{(m-1)} + \gamma_{(m)}(K_{p(m)} - K_{a(m)}) \cdot y \quad (7)$$

所以
$$Q_p = \frac{1}{2} [2p_{(m-1)} + \gamma_{(m)} (K_{p(m)} - K_{a(m)}) \cdot y] \cdot y \quad (8)$$

该二次方程, 当剪应力为零时, 解得 y 。

剪应力为零点:
$$H_d = H_{(m-1)} + y \quad (9)$$

当 $H_{(m-1)} \leq H_d < H_{(m)}$ 时, 剪力为零点在该层。

式中: $Q_{(m-1)}$ —层顶剪力, kN/m^2 ; Q_p —层顶到剪力为零点之间土压力产生的剪力, kN/m^2 ; $p_{(m-1)}$ —层顶土压力强度, kN/m^2 ; p_p —剪力为零点的土压力强度, kN/m^2 ; y —剪力为零点距层顶的距离, m ; $H_{(m-1)}$ —层顶深度, m 。

2.1.4 弯矩为零点的确定^[3] 若弯矩为零点在 m 层中, 则

$$M = M_{(m-1)} + M_p \quad (10)$$

$$M_p = \frac{1}{2}(p_{(m-1)} + p_b) \cdot y \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{(2p_{(m-1)} + p_b)}{p_{(m-1)} + p_b} \cdot y = \frac{1}{6}(2p_{(m-1)} + p_b) \cdot y^2 \quad (11)$$

$$p_b = p_{(m-1)} + \gamma_{(m)}(K_{p(m)} - K_{a(m)}) \cdot y \quad (12)$$

由上式公式解得

$$M_b = \frac{1}{6} [3p_{(m-1)} + \gamma_{(m)} (K_{p(m)} - K_{a(m)}) \cdot y] \cdot y^2$$

$$M = M_{(m-1)} + \frac{1}{6} [3p_{(m-1)} + \gamma_{(m)} (K_{p(m)} - K_{a(m)}) \cdot y] \cdot y^2 \quad (13)$$

该三次方程式, 当弯矩为零时, 可解得 y 。

弯矩为零点
$$H_b = H_{(m-1)} + y$$

当 $H_{(m-1)} \leq H_b < H_m$ 时, 弯矩为零点在该层。

式中, M_b 为层顶到弯矩为零点之间土压力产生的弯矩, $kN \cdot m$; 其余符号同前。

2.2 程序提供的结果

(1) 最大弯矩值; (2) 最大剪力值; (3) 支护深度值; (4) 剪力分布图; (5) 弯矩分布图。

2.3 用户界面

程序所使用的对象有窗体, 文本框、标签、命令按钮、菜单、驱动器列表框, 路径列表框和文件列表框, Data 控制, DBGRID 控制, GRAPH 控制。数据输入和修改在屏幕上直接进行, 并自动产生数据库, 便于用户保存数据、查找及修改。计算过程由命令按钮控制, 计算机以图形和标签在屏幕上显示, 并形成 Acad 的 DxF 图形文件, 便于用户用 Acad 打印图形。

2.4 编程环境

在 Window 3.2 操作系统下, 用 Visul Basic4.0 软件系统编制, 同时形成 Access 形式数

据库和 Acad 的 DxF 图形文件。编程是在 586 机上完成, 但形成执行文件后可脱离编程环境, 可以在能安装 Windows 系统的 386 以上的机型中使用。

3 结束语

多层土深基坑悬臂式支护面向对象的程序设计, 为土钉支护设计, 混合支护设计及有限元图谱支护设计的面向对象的程序设计积累了经验。

(1) 应设计通用化的软件系统以适应复杂的工程条件。

(2) 处理多层土深基坑支护设计的问题时, 应从思想上脱离传统模式, 寻找适用于编程的计算模式。

(3) 建议尽量采用面向对象的程序设计网络和软件系统设计程序, 使软件的设计和制作变得方便快捷。

参 考 文 献

- 1 扬英华. 土力学. 北京: 地质出版社, 1987. 61~69
- 2 黄 强. 深基坑支护工程设计技术. 北京: 中国建材工业出版社, 1995. 10~76
- 3 黄 强. 深基坑支护结构实用内力计算手册. 北京: 中国建筑出版社, 1995. 8~44

THE OBJECT ORIENTED PROGRAMMING OF DEEP FOUNDATION PIT CANTILEVER SUPPORT DESIGN IN MULTI-LAYER SOILS

Lu Jianghong

(Department of Construction Engineering, Guilin Institute of Technology)

Yuan Baoyuan

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing)

Abstract Excavating deep foundation pit in multi-layer soils affected by the surface loading and the ground water, the calculation of designs of supports is very complex. The paper uses object oriented programming method based on the window system to programme the Design of Deep Foundation pit cantilever support design programme. In addition, the paper uses Visul Basic, Access, Autocad etc. many kinds of software systems combined during programming to improve the functions of the programme. It has accumulated the experience for the programm design of the nail support and mixed support, and also of the finite element atlas support.

Key words multi-layer soils; cantilever support; object oriented; programming