

文章编号:1671-6833(2010)06-0024-04

基于VB语言的重力式挡土墙计算软件开发

刘继芳, 李伟锋, 马乐为

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 根据地基基础、挡土墙的相关规范、规程、图集以及一些参考文献, 分析了重力式挡土墙设计的计算过程, 将此计算过程公式化, 使计算结果符合我国现阶段相应规范、规程和图集的要求. 又将这些公式用VB语言编程, 得到一个重力式挡土墙计算软件. 该软件可以通过计算机代替设计人员进行大量的计算和验算, 设计人员只需根据计算机的计算结果进行断面修改和尺寸调整, 这样可以显著地提高工作效率.

关键词: VB; 重力式挡土墙; 计算软件

中图分类号: TP311.1 **文献标识码:** A

0 引言

虽然挡土墙的投资占工程比例很小, 但其结构计算也不能忽视, 计算简单化, 将造成挡土墙断面尺寸过小, 导致挡土墙不安全而引起工程的破坏; 挡土墙断面尺寸过大, 导致不应有的浪费^[1]. 在这种情况下, 设计人员需要根据计算结果不断进行断面修改和尺寸调整, 花费大量的人力、物力, 影响工作效率. 为此, 笔者用VB语言编程, 得到一个重力式挡土墙计算软件. 该软件可以通过计算机代替设计人员进行计算和验算, 设计人员只需根据计算机的计算结果进行断面的修改和尺寸调整, 能显著地提高工作效率.

1 重力式挡土墙的计算过程公式化

1.1 已知条件

挡土墙材料: 抗拉强度 f_t , MPa; 抗压强度 f_c , MPa; 灰缝剪切强度设计值 f_v , MPa; 重度 γ_w , kN/m³. 挡土墙尺寸: 墙顶宽 b , m; 墙胸高 h_1 , m; 墙趾宽 b_1 , m; 墙趾高 h_2 , m; 墙胸坡度 m ; 基底坡度 k ; 墙背坡度 n . 填土条件: 土上荷载 q , kN/m²; 地下水位 h_w (h_w 应小于等于挡土墙总高 H); 修正后的地基承载力特征值 f_d ; 填土重度 γ_s , kN/m³; 土的内摩擦角 φ ; 外摩擦角 δ ; 填土倾角 β ; 墙底摩擦因数 μ .

1.2 挡土墙自重的计算

根据挡土墙的平面应变受力特点, 所有设计

均按每沿米挡土墙计算.

$$B_d = \frac{b_1 + b + (m + n)(h_1 + h_2)}{1 - nk} \quad (1)$$

挡土墙尺寸^[2]如图1所示, 将墙体分为5个部分, 各部分重量及其质心距墙趾 O 点的水平距离分别为

$$\begin{cases} G_1 = 0.5\gamma_w h_1^2 n, & x_1 = b_1 + mh_1 + b + hn_1/3 + h_1 m \\ G_2 = \gamma_w b h_1, & x_2 = b_1 + mh_1 + 0.5b + h_1 m \\ G_3 = 0.5\gamma_w h_1^2 m, & x_3 = b_1 + 2mh_1/3 + h_1 m \\ G_4 = 0.5\gamma_w B_d h_2, & x_4 = 0.5B_d \\ G_5 = 0.5\gamma_w k B_d^2, & x_5 = 2B_d/3 \end{cases} \quad (2)$$

则总重量 G 及质心距墙趾 O 点的水平距离 x_0 即可求得.

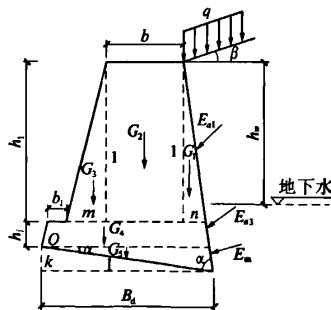


图1 挡土墙尺寸

Fig. 1 Size of retaining wall

收稿日期: 2010-02-01; 修订日期: 2010-04-20

作者简介: 刘继芳(1985-), 女, 山东聊城人, 西安建筑科技大学硕士生, 主要研究方向: 结构抗震及其电算方法.

1.3 主动土压力 E_a 的计算

主动土压力系数 k_a 的计算公式为 GB 5007—2002《建筑地基基础设计规范》^[3] 附录 L 中的式 (L.0.1-1)。

(1) 只存在连续均布荷载 q 而没有地下水的情况, 主动土压力 E_a 为:

$$E_a = \varphi_c \frac{1}{2} \gamma H^2 k_a \quad (3)$$

式中: φ_c 为主动土压力增大系数。

(2) 对于仅有地下水而无荷载的情况, 可以将填土分为 2 层, 其高度分别为 h_w 与 $H - h_w$ 。上层土的主动土压力为:

$$E_{a1} = \varphi_c \frac{1}{2} \gamma h_w^2 k_a \quad (4)$$

对于下层土, 其主动土压力的分布形式将由三角形转化为梯形, 梯形顶部与底部的压应力分别为

$$\begin{cases} \sigma_{\text{top}} = \gamma h_w k_a \\ \sigma_{\text{bot}} = \gamma h_w k_a + \gamma_w (H - h_w) k_a \end{cases} \quad (5)$$

式中: k_a 为有地下水时主动土压力系数。

因此, 本层土的主动土压力 E_{a2} 及其作用位置距离墙趾的高度分别按下式计算:

$$\begin{cases} E_{a2} = \varphi_c \frac{\sigma_{\text{top}} + \sigma_{\text{bot}}}{2} (H - h_w) \\ z_2 = \frac{H - h_w}{3} \times \frac{2\sigma_{\text{top}} + \sigma_{\text{bot}}}{\sigma_{\text{top}} + \sigma_{\text{bot}}} \end{cases} \quad (6)$$

另外, 由于存在地下水, 所以还应计算水的侧向压力 E_w , 假定水压力呈三角形分布, 并且垂直于墙背方向, 取水的重度等于 10 kN/m^3 , 则有

$$E_w = \frac{5.0}{\sin \alpha} \times (H - h_w)^2 \quad (7)$$

(3) 既有地下水又有荷载的情况, 计算 E_{a1} 或 E_{a2} 时, 主动土压力系数 k_a 按有荷载的情况对待。

1.4 抗滑移稳定性验算

对于 E_{a1} 或 E_{a2} , 与墙底面平行的切向分力 E_{at} 及其与墙底面垂直的法向分力 E_{an} 均按下式计算^[4]:

$$\begin{cases} E_{at} = E_a \sin(\alpha - \alpha_0 - \delta) \\ E_{an} = E_a \cos(\alpha - \alpha_0 - \delta) \end{cases} \quad (8)$$

抗滑移稳定性验算按下式进行^[4]:

$$K_s = \frac{(G_n + E_{wn} + E_{an})\mu}{E_{at} + E_{wt} - G_t} \geq 1.3 \quad (9)$$

式中: E_{an} 或 E_{at} 为填土及含地下水填土的合力。

1.5 抗倾覆稳定性验算

如图 2 所示, 以墙趾 O 点为旋转点, 倾覆力

包括 E_{a1x} 、 E_{a2x} 及 E_{wx} (当其位置在 O 点之上时), 抗倾覆力包括 E_{a1z} 、 E_{a2z} 、 E_{wz} 及 G 。

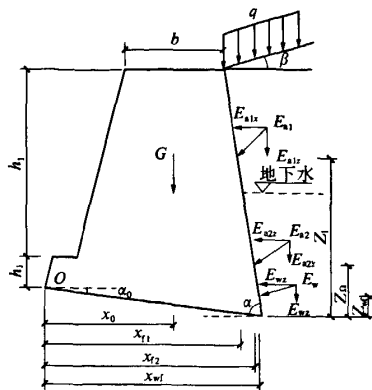


图 2 抗倾覆计算简图

Fig. 2 Simplified model for anti-overturning

设 E_{a1x} 、 E_{a2x} 、 E_{wx} 及 E_{a1z} 、 E_{a2z} 、 E_{wz} 的力臂分别为 x_{n1} 、 x_{n2} 、 x_{wf} 及 z_{n1} 、 z_{n2} 、 z_{wf} , 则有

$$\begin{cases} x_{n1} = B_d - z_{n1} \\ x_{n2} = B_d - z_{n2} \\ x_{wf} = B_d - z_{wf} \\ z_{n1} = z_1 - h_n \\ z_{n2} = z_2 - h_n \\ z_{wf} = z_w - h_n \end{cases} \quad (10)$$

式中: $h_n = B_d \times k$ 。

抗倾覆稳定性验算按下式^[4]:

$$K_t = \frac{Gx_0 + E_{a1x}x_{n1} + E_{a2x}x_{n2} + E_{wx}x_{wf}}{E_{a1z}z_{n1} + E_{a2z}z_{n2} + E_{wz}z_{wf}} \geq 1.6 \quad (11)$$

1.6 挡土墙底地基承载力验算

关于墙趾 O 点的总弯矩 M_c 为:

$$\begin{cases} M_c = Gx_0 + E_{a1x}x_{n1} + E_{a2x}x_{n2} + \\ E_{wx}x_{wf} - E_{a1z}z_{n1} - E_{a2z}z_{n2} - E_{wz}z_{wf} \end{cases} \quad (12)$$

而垂直于墙底面的总轴力 N_c 为:

$$N_c = G \cos \alpha_0 + E_{a1n} + E_{a2n} + E_{wn} \quad (13)$$

所以平行于墙底面的偏心距 e_c 应满足下列条件^[5]:

$$e_c = \frac{B_{dc}}{2} - \frac{M_c}{N_c} \leq 0.25 B_{dc} \quad (14)$$

式中: B_{dc} 为基底宽度。

墙底地基承载力应满足以下条件^[3]: $P_t \leq f_t$, $P_{tmax} \leq 1.2 f_t$ 。

1.7 挡土墙墙身强度验算

如图 3 所示, 取墙趾上截面为控制截面, 距顶部距离为 h_1 , 设控制截面以上的墙体自重为 G_{ctrl} , 则有

$$G_{ctrl} = G_1 + G_2 + G_3 \quad (15)$$

其合力作用点距墙趾 O 点的距离 x_{ctrl} 为

$$x_{ctrl} = \frac{G_1 x_1 + G_2 x_2 + G_3 x_3}{G_q} \quad (16)$$

图3 挡土墙墙身强度验算

Fig.3 Strength checking of retaining wall

G_{ctrl} 至控制截面中心的距离 x_{ctrl} 为

$$x_{ctrl} = \frac{b + h_1(m+n)}{2} - x_{ctrl} + b_j \quad (17)$$

为了简化计算过程,可以不考虑地下水的影响,直接计算 h_1 高度范围内的主动土压力 E_{h1} 。水平分力 E_{h1x} 与竖直分力 E_{h1z} 距控制截面中点的力臂分别为:

$$x_{h1} = \frac{b + h_1(m+n)}{2} - \frac{h_1 n}{3}, \quad z_{h1} = \frac{h_1}{3} \quad (18)$$

墙身的轴力与弯矩分别为

$$N_{wall} = G_{ctrl} + E_{h1z} \quad (19)$$

$$M_{wall} = G_{ctrl} x_{ctrl} + E_{h1z} z_{h1} - E_{h1x} x_{h1}$$

因此,关于控制截面中点的偏心距 e_{wall} 为

$$e_{wall} \leq \frac{B_{ctrl}}{4} = \frac{b + h_1(m+n)}{4} \quad (20)$$

而控制截面的法向应力应满足如下要求

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \frac{N_{wall}}{B_{ctrl}} \left(1 + \frac{6e_{wall}}{B_{ctrl}} \right) \leq f_c \\ \sigma_{min} = \left| \frac{N_{wall}}{B_{ctrl}} \left(1 - \frac{6e_{wall}}{B_{ctrl}} \right) \right| \leq f_t \end{cases} \quad (21)$$

同理,控制截面上的剪切应力应满足如下要求

$$\tau = \frac{E_{h1x} - N_{wall}\mu}{B_{ctrl}} \leq f_v \quad (22)$$

2 重力式挡土墙计算软件的主要功能

根据上述计算原理及重力式挡土墙的有关设计技术规范,编制了重力式挡土墙的计算软件。图4为挡土墙设计程序流程图。

由于该软件的编制语言采用目前最先进的、基于微软的 NET FRAME 3.5 框架的 Visual Studio 2008,因此,它可以完全兼容 Windows2000/XP/Vista 等操作系统^[6]。

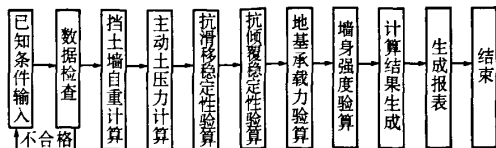


图4 挡土墙设计程序流程图

Fig.4 Design process chart of retaining wall

本软件采用标准的 Windows 窗体程序,具备窗体程序的全部特点,包括:程序启动时的闪窗功能(Splash Windows)、程序运行的主界面、验算结果的文件保存功能、验算结果的文件打印功能、打印预览功能、打印纸的选择功能、软件的帮助功能、软件的版权说明功能等。

另外,在已知条件的输入部分,软件还具有一定的智能容错功能,即可以自动识别数字与非数字,并对不符合工程实际的数据进行校验。

软件可以验算俯斜式和仰斜式重力式挡土墙,可以考虑挡墙后填土的多种工况,包括:有地下水、填土有无倾角、土上有无荷载、是否考虑土的黏聚力等。

软件的验算结果包括:单位长度下挡土墙墙身的重量、质心的位置;有地下水或无地下水条件下的主动土压力系数及大小、静水压力的大小;抗倾覆稳定系数、抗滑移稳定系数;基底的最大压应力和平均压应力;墙身的压应力、拉应力及剪应力;验算结果是否满足规范要求。图5为挡土墙设计程序界面。



图5 挡土墙设计程序界面

Fig.5 Design program interface of retaining wall

3 算例

挡土墙形式如图1所示, $f_t = 140 \text{ kN/m}^2$, $f_c = 1610 \text{ kN/m}^2$, $f_v = 140 \text{ kN/m}^2$, $\gamma_w = 24 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_s =$

18 kN/m³, φ = 35°, δ = 23.3°, β = 18.43°, μ = 0.4; 无地下水, f_s = 300 kN/m².
c = 0, b = 0.85 m, h₁ = 5.3 m, b_j = 0.35 m, h_j = 0.5 将上述算例手算结果与电算结果进行了对比,结果如表 1 所示.
m, m = 0.25, k = 0.2, n = -0.25. 环境条件: q = 0,

表 1 手算与电算结果的比较
Tab.1 Comparisons between hand-count results and computer results

项目	电算	手算	项目	电算	手算	项目	电算	手算
墙体自重 G/kN	124.969	124.540	主动土 压力值 E _a /kN	0.000	0.000	基底平均压应力 P ₁ /(kN·m ⁻²)	126.312	117.09
质心位置 x ₀ /m	1.326	1.330	静水压力 E _w /kN	0.000	0.000	墙身最大正应力 σ _{max} /(kN·m ⁻²)	258.008	254.09
主动土压力 系数 k _{a1}	0.195	0.196	抗滑移 稳定系数 K _s	1.428	1.430	墙身最小正应力 σ _{min} /(kN·m ⁻²)	16.947	21.04
主动土压力 系数 k _{a2}	0.000	0.000	抗倾覆 稳定系数 K _t	1.510	1.510	墙身剪应力 τ/(kN·m ⁻²)	8.020	8.260
主动土压力 值 E _{a1} /kN	70.213	69.850	基底最大 压应力 P _{kmax} / (kN·m ⁻²)	230.613	231.140	验算结论	不合格	不合格

4 结论

将手算结果与电算结果进行了对比,证明了软件的正确性. 软件可以验算俯斜式和仰斜式重力式挡土墙,可以考虑挡墙后填土的多种工况,包括:有无地下水、填土有无倾角、土上有无荷载、是否考虑土的黏聚力等. 但是,该软件还不能验算如下一些情况的重力式挡土墙,例如填土分层、土上荷载不是均布荷载或均布荷载与挡土墙不紧邻等情况,有待进一步研究.

参考文献:

[1] 薛殿基,冯仲林. 挡土墙设计实用手册[M]. 北京:

中国建筑工业出版社,2008:1-46.
[2] 中国建筑标准设计研究院. 04 J008, 国家建筑标准设计图集:挡土墙[S]. 北京:中国计划出版社,2006.
[3] 中华人民共和国建设部. GB 50007—2002, 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
[4] 中华人民共和国建设部. GB 50030—2002, 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
[5] 董晓丽,李文利. 土力学与基础工程[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
[6] 徐照兴. Visual Basic 2008 应用程序开发实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

Development of Gravity Retaining Wall Calculation Software Based on VB Language

LIU Ji-fang, LI Wei-feng, MA Le-wei

(School of Civil Engineering., Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: According to the relevant codes and atlas of foundation and retaining wall, and some references, a careful analysis of the gravity retaining wall design calculation process is made. The calculation process is formulated, and the corresponding results are in line with the requirements of our present stage norms, procedures and atlas. In turn, these formulas are programmed with the VB language, then we get a gravity retaining wall calculation software. The software can be designed by computer instead of a large number of personnel in the calculation of checking. The designers simply make the amendments of section and the adjustments of size according to the results of the computer, and this can significantly improve the work efficiency.

Key words: VB; gravity retaining wall; calculation software