

# 水泥土墙支护结构遗传进化优化设计方法 Gas-based optimization design method of cement-soil retaining wall

陈昌富<sup>1</sup>, 吴子儒<sup>1</sup>, 曹佳<sup>2</sup>, 赵明华<sup>1</sup>

(1. 湖南大学 岩土工程研究所, 湖南 长沙 410082; 2. 华南理工大学 建筑工程学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 探讨了水泥土墙支护结构优化设计方法, 建立了以水泥土墙的有效宽度、嵌固深度和置换率为决策变量的优化设计模型, 提出了水泥土墙支护结构参数遗传进化优化设计计算方法, 讨论了设计计算参数对优化计算结果的影响。并给出了两个工程计算实例, 计算结果表明本文方法可得到既安全可靠又经济合理的最优设计方案。

**关键词:** 基坑; 水泥土墙; 支护结构; 遗传算法; 优化设计

**中图分类号:** TU 473.1<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4548(2005)02 - 0224 - 06

**作者简介:** 陈昌富(1963 - ), 男, 湖南人, 博士后, 教授, 主要从事边坡与基坑工程、地基处理等研究。

CHEN Chang-Fu<sup>1</sup>, WU Zi-Ru<sup>1</sup>, CAO Jia<sup>2</sup>, ZHAO Ming-hua<sup>1</sup>

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. College of Construction Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Cement-soil retaining wall (CSRW) was usually designed on the basis of the trial and error method, which was not only complicated, but also difficult to find out the reliable and economic solution. In this paper the optimization design method of CSRW was discussed, and an optimization mathematic model for CSRW was set up, which took the effective width, the embedded depth and the replacement ratio of CSRW as its decision variables. Genetic algorithms (Gas) were introduced to optimize the design of CSRW, and the influence of structure parameters of CSRW on the optimization design was discussed. Two examples were given to verify the presented method. The comparison of computed results show that the reliable and economical design can be obtained by the proposed method.

**Key words:** foundation pit; cement-soil wall; retaining structure; genetic algorithm; optimization design

## 0 前言

随着我国城市高层建筑的大量兴建, 深基坑工程越来越多。但目前的设计计算方法仍大多采用传统的试算校核法, 此方法不仅繁琐, 且难以得到既可靠又经济的设计。为此, 许多学者和工程技术人员尝试采用优化方法来设计基坑支护结构, 比如, 莫海鸿和周汉香等<sup>[1]</sup>(2001)建立了带圈梁排桩支护结构优化设计模型, 采用改进复合形法进行优化设计计算; 肖文和龚晓南等<sup>[2]</sup>(1999), 贺可强和阳吉宝等<sup>[3]</sup>(2001)利用遗传算法对土钉支护结构进行优化设计; 陈昌富<sup>[4]</sup>(2001)提出了土钉支护结构可靠性分析混合遗传算法和桩墙支护结构位移与安全性动态仿生优化预报法; 吴恒和周东等<sup>[5]</sup>(2002)将协同演化思想应用于基坑桩锚支护优化设计中; 陈文华和许爱里等<sup>[6]</sup>(1993)则对某基坑降水工程进行了优化设计。

水泥土墙因具有施工操作简便、工期短、造价低、能隔水防渗等优点, 在软土地区基坑支护中得到广泛应用, 但目前采用优化方法对其进行设计的研究很少。陈明中等<sup>[7]</sup>(1999)曾采用简约梯度法进行优化计算, 取得了较理想的结果。简约梯度法是传统的局部

最优解搜索算法, 不能保证搜索到问题的全局最优解, 而且还需要导数信息。对于复杂的目标和约束函数求导会遇到困难, 有的甚至不可能, 而且文献<sup>[7]</sup>中在表述约束条件时是针对单一均质土层, 若为多层土, 其表达式就复杂得多。另外, 张冬梅和王箭明<sup>[8]</sup>(2000)采用正交试验法对水泥土墙支护结构优化问题进行了探讨, 但是对正交试验的变量取值不连续, 这样可能会遗漏最优的设计结果。因此, 在较深入地分析现有设计理论和方法的基础上, 着重阐述了优化设计模型的建立以及如何运用具有全局最优解搜索能力的遗传进化算法对优化设计模型求解, 力求获得技术可靠、经济合理的设计方案。

## 1 优化设计模型的建立

### 1.1 设计变量

水泥土墙支护结构优化设计的决策变量确定为墙体宽度  $B$ , 墙体嵌固深度  $H_d$  和面积置换率  $\lambda$  (如图 1), 于是有决策向量

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50378036); 湖南省建设科技基金资助项目(2002048)

收稿日期: 2004 - 05 - 24

$$X = [x_1, x_2, x_3]^T = [B, H_d, \lambda]^T \quad (1)$$

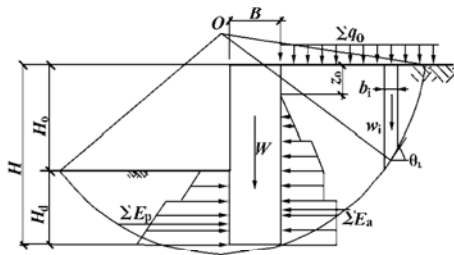


图 1 水泥土墙设计计算模型

Fig.1 Computation model of cement-soil wall

### 1.2 目标函数

优化设计的目的是在满足安全性条件下, 获得比常规设计更经济的设计方案。对于水泥土墙支护结构, 在给定地层和开挖深度条件下, 工程上常根据水泥土体积计算成本, 所以可取单位长度水泥土墙的水泥土总方量作为目标函数, 即有

$$F(X) = \lambda B(H_0 + H_d) = x_3 x_1 (H_0 + x_2) \quad (2)$$

式中  $H_0$  为基坑开挖深度。

### 1.3 约束条件

水泥土墙支护结构的设计必须满足正常的使用要求, 下面描述各正常使用条件<sup>[9-13]</sup>。

(1) 抗倾覆条件 绕前趾的抗倾覆安全系数应不小于容许安全系数值, 即有约束条件函数

$$g_1(X) = \frac{M_w + \sum M_p}{\sum M_a} - [K_q] \geq 0 \quad (3)$$

式中  $[K_q]$  为抗倾覆安全系数容许值, 可取为 1.3;  $\sum M_a$  为主动土压力产生的倾覆力矩(kN·m);  $M_w$  为墙体自重产生的抗倾覆力矩(kN·m);  $\sum M_p$  为被动土压力产生的抗倾覆力矩(kN·m)。

(2) 抗滑移条件 沿墙底抗滑移安全系数应不小于容许值, 即

$$g_2(X) = \frac{\sum E_p + c_0 B + W \tan \varphi_0}{\sum E_a} - [K_h] \geq 0 \quad (4)$$

式中  $[K_h]$  为抗滑移安全系数容许值, 一般取值 1.2;  $W$  为墙体自重(kN);  $c_0$  和  $\varphi_0$  为墙底土层的粘聚力(kPa)和内摩擦角(°);  $\sum E_a$  为主动土压力之和(kN);  $\sum E_p$  为被动土压力之和(kN)。

(3) 整体稳定性条件 当坑底存在软弱土层时, 基坑整体稳定性应满足如下条件

$$g_3(X) = K_{sf} - [K_{sf}] \geq 0 \quad (5)$$

式中  $[K_{sf}]$  为基坑整体稳定性安全系数容许值, 可取为 1.2;  $K_{sf}$  为基坑整体稳定性安全系数计算值, 可按简化毕肖普法计算。

验算切墙滑弧安全系数时, 可以取墙体强度指标  $c = (\frac{1}{15} \sim \frac{1}{10})q_u$ ,  $\varphi = 0$ , 当墙体的无侧限抗压强度  $q_u >$

1MPa 时, 可不验算切墙滑弧安全系数。

(4) 墙顶变形要求 墙顶的位移不能超过规定的位移值, 即

$$g_4(X) = [y] - y \geq 0 \quad (6)$$

式中  $[y]$  为墙顶容许位移值, 一般取  $[y] = 0.01H_0 \sim 0.02H_0$ ;  $y$  为墙顶总位移, 采用下式计算(如图 2):

$$y = y_0 + \theta_0 H_0 \quad (7)$$

而

$$y_0 = \frac{24M'_0 - 8E'_0 H_d}{mH_d^3 + 36mI_B} + \frac{2E'_0}{mH_d^2} \quad (8)$$

$$\theta_0 = \frac{36M'_0 - 12E'_0 H_d}{mH_d^4 + 36mH_d I_B} \quad (9)$$

其中

$$M'_0 = M_0 + E_0 H_d + E' H_0 - WB/2 \quad (10)$$

$$E'_0 = E' + E_0 - S_L \quad (11)$$

式中  $\theta_0$  为下墙体转角(°);  $y_0$  为下墙体开挖面处水平移;  $m$  为地基比例系数;  $S_L$  为墙底土体提供的摩擦抗力(kN),  $S_L = Bc_0$ ;  $c_0$  为墙底土的粘聚力(kPa);  $E_0$  为开挖面以上合外力(kN);  $M_0$  为开挖面以上合外力对开挖面的等效弯矩(kN·m);  $E'$  为开挖面以下合外力(kN);  $h$  为开挖面以下合外力的弯矩对墙底的高度(m); 其他符号如图 2。

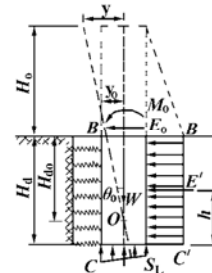


图 2 墙体变形计算

Fig.2 Displacement computation of cement-soil wall

(5) 墙体强度要求 水泥土墙所承受的应力不能超过墙体材料的容许应力, 它包括两个方面

墙体最大和最小正应力验算:

$$g_5(X) = \frac{q_u}{K_j} \bar{\gamma} z - q_0 - \frac{M_x y_1}{I_B} \geq 0 \quad (12)$$

$$g_6(X) = \bar{\gamma} z - M_z y_2 / I_B \geq 0 \quad (13)$$

墙体剪应力验算:

$$g_5(X) = \frac{0.1q_u}{K_j} - \frac{E_{az}}{\lambda_B} \geq 0 \quad (14)$$

式中  $\bar{\gamma}$  为水泥土墙的重度(kN/m<sup>3</sup>);  $z$  为验算截面到墙顶的距离, 一般取坑底截面和变截面(m);  $M_z$  为验算截面处墙体受到的弯矩(kN·m);  $y_1, y_2$  为验算截面形心到最大和最小应力点的距离(m);  $I_B$  为墙体的截面惯性矩(m<sup>4</sup>);  $E_{az}$  为验算截面处的墙体受到的总的土压力(kN);

$K_j$  为水混凝土强度的不均匀系数, 一般取 2.0; 其他符号同前。

(6) 地基承载力条件 墙底地基土所受的最大、最小和平均压力应满足

$$g_8(X) = 1.2f - \bar{p} - \frac{M_z y_3}{I_B} \geq 0, \quad (15)$$

$$g_8(X) = 1.2f - \bar{p} - \frac{M_z y_4}{I_B} \geq 0, \quad (16)$$

$$g_{10}(X) = f - \bar{\gamma} H - q_0 \geq 0, \quad (17)$$

式中  $\bar{p}$  为墙底地基土所受的平均压力(kPa);  $M_z$  为墙底截面处的弯矩(kN·m);  $f$  为墙底土按深度修正后的地基承载力特征值(kPa);  $y_3, y_4$  为墙底截面形心到最大和最小压力点的距离(m);  $H=H_0+H_d$ ; 其它符号同前。

(7) 坑底抗隆起稳定性条件 建议采用下式进行抗隆起验算:

$$g_{11}(X) = K_1 - [K_1] \geq 0, \quad (18)$$

$$K_1 = \frac{\gamma'_2 H_d N_q + c N_c}{\gamma'_1 (H_0 + H_d) + q_0}, \quad (19)$$

对于软土地基, 可采用下式验算:

$$K_1 = \frac{\gamma'_2 H_d + \tau_0 N_c}{\gamma'_1 (H_0 + H_d) + q_0}, \quad (20)$$

式中  $K_1$  为抗隆起稳定性系数, 其容许值  $[K_1]$  一般取 1.2~1.3, 对于软土取 1.6;  $\gamma'_1, \gamma'_2$  分别为墙后和墙前土层的平均重度(kN/m<sup>3</sup>);  $\tau_0$  为抗剪强度(kPa);  $N_q, N_c$  为地基承载力系数, 由普朗特给出的计算式如下:

$$N_q = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi}, \quad (21)$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan \varphi}. \quad (22)$$

(8) 坑底抗流砂稳定性条件 采用下式验算流砂稳定安全性:

$$g_{12}(X) = \frac{(H_0 - h_{wa} + 2H_d)\gamma'}{(H_0 - h_{wa})\gamma_w} - [K_{ls}] \geq 0, \quad (23)$$

式中  $[K_{ls}]$  为基坑底抗流砂稳定性系数容许值, 一般取 1.5~2.0;  $\gamma$  和  $\gamma_w$  分别为土层的有效重度和水的重度(kN/m<sup>3</sup>).

(9) 坑底抗突涌稳定性 即要保证基坑底土体不发生突涌破坏, 采用下式验算

$$g_{13}(X) = \frac{\gamma h_s}{\gamma_w H_s} - [K_{TY}] \geq 0, \quad (24)$$

式中  $[K_{TY}]$  为抗突涌稳定性安全系数容许值, 一般取 1.1~1.2;  $\gamma$  为土层的重度(kN/m<sup>3</sup>);  $h_s$  为不透水层厚度(m);  $H_s$  为承压水高于含水层顶板水头高度(m)。

(10) 几何约束条件 设计变量  $B, H_d, \lambda$  需要有一定限制, 以免优化结果偏离实际, 即有

$$\begin{cases} g_{14}(X) = B - B_{\min} \geq 0, \\ g_{15}(X) = B_{\max} - B \geq 0, \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{cases} g_{16}(X) = H_d - H_{d\min} \geq 0, \\ g_{17}(X) = H_{d\max} - H_d \geq 0, \end{cases} \quad (26)$$

$$\begin{cases} g_{18}(X) = \lambda - \lambda_{\min} \geq 0, \\ g_{19}(X) = \lambda_{\max} - \lambda \geq 0. \end{cases} \quad (27)$$

#### 1.4 优化设计数学模型

根据以上分析, 可得水混凝土墙支挡结构优化设计数学模型为

$$\begin{cases} \text{求 } X = [x_1, x_2, x_3]^T = [B, H_d, \lambda]^T \\ \text{使 } \min F(X) \\ \text{s.t. } g_i(X) \geq 0, i = 1, 2, \dots, 19 \end{cases} \quad (28)$$

## 2 优化模型的求解

式(28)是一个高度非线性的非凸规划问题, 采用传统的数值优化方法求解难以取得满意的效果, 因此本文采用具有全局收敛性能且不需要函数导数信息的遗传进化算法求解。下面介绍水混凝土墙优化设计遗传进化算法的基本步骤。

### 2.1 表示方案和种群初始化

求解较复杂的优化问题, 采用浮点向量法要方便些。浮点向量法将每一个染色体由一个浮点向量表示, 其长度与解向量中的变量数相同。本文将染色体表示为  $V=X=(B, H_d, \lambda)$ 。

若设种群规模为  $\text{popsize}$ , 则种群初始化就是在可行域内随机产生  $\text{popsize}$  个初始染色体, 记为  $V_j^0=(B_j^0, H_{dj}^0, m_j^0)(j=1, 2, \dots, \text{popsize})$ , 其中  $B_j^0, H_{dj}^0$  和  $m_j^0$  为初始代第  $j$  个染色体  $V_j^0$  的基因。

### 2.2 适应函数确定和染色体评价

适应函数是用来评价群体中个体(问题的解)的好坏, 所以又称其为评价函数。适应函数值越大的个体越好, 反之越差。适应值实际上表示一种个体被选中的概率, 它必须是非负的, 且适应值大的个体被选中的概率越大。为此, 采用如下评价函数<sup>[14]</sup>:

$$\text{eval}(V_i) = a(1-a)^{i-1}, i = 1, 2, \dots, \text{popsize}, \quad (29)$$

式中  $\text{eval}(V_i)$  为评价函数值, 参数  $a \in (0, 1)$  给定。

进化过程, 利用式(29)对每个新产生的染色体进行评价, 并始终将最佳染色体存储于最优解单元中。

### 2.3 选种复制

选种复制就是以与每个个体  $V_i$  适应值成比例的累计概率  $q_i$ ,

$$q_i = \sum_{j=1}^i \text{eval}(V_j), i = 1, 2, \dots, \text{popsize}, \quad (30)$$

按赌轮法则把当前群体中适应值大的个体选出并复

制到新的群体中。选种复制的作用是提高群体的平均适应值。

### 2.4 交叉操作

选种复制可得到适应性强的群体, 但以牺牲群体的多样性为代价, 其后果是易陷于局部最优解。交叉操作则可提高种群的多样性, 从而检测解空间中新的可能最优解。具体操作方法是: 将交配池中的染色体以给定的概率  $p_c$  配对, 按算术交叉方式<sup>[4]</sup>产生两个可行子代, 并替换父代。

### 2.5 变异操作

变异操作也是提高群体多样性的遗传算子, 它以给定的概率  $p_m$  选取若干个体, 分别将个体的某个分量通过在可行域内随机产生一个新的分量, 由此得到变异后的子代, 子代可行则将它们替换父代。

### 2.6 迭代终止

循环执行上述 2.3~2.5 步的操作, 直至达到预置的最大进化代数或最优解单元中染色体连续在预先规定的若干代不变, 则计算终止。这时最优解单元中的染色体即为问题的最优解。

按照上述步骤, 基于 Fortran Power Station 4.0 环境编制了计算程序。

## 3 算 例

### 3.1 算例 1

文献[15]中, 工程要求基坑开挖深度为 5 m, 桩顶堆载为 10 kN/m<sup>2</sup>, 水泥土无侧限抗压强度  $q_u=0.8$  MPa, 墙底土经修正后的地基承载力特征值为 250 kPa, 各土层性质见表 1。

表 1 算例 1 土层性质

Table 1 Properties of soils in example 1

层号	土层名称	厚度 /m	容重 /( $kN \cdot m^{-3}$ )	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )
1	杂填土	2.0	18.0	0.0	20.0
2	粘土	3.0	18.5	15.0	10.0
3	粉质粘土	9.0	19.0	10.0	15.0

运用本文的遗传进化优化设计方法, 以不同的进化方式(如表 2)进行计算, 当进化到第 100 代时, 不同的进化方式均能得到全局最优解。

原设计取桩墙埋入深度为 3 m, 墙宽为  $0.75H$ , 即为 3.75 m 进行计算, 计算结果如表 3。结果表明运用试算校核法对水泥土墙支护结构进行设计时, 即使工程设计人员具有丰富的经验, 也很难使稳定性、变形、构造等众多的约束条件均能满足要求。在原设计计算过程中, 就有墙体应力、地基承载力等不满足要求。若要使设计满足各项要求, 则各设计参数(水泥土墙埋置深度、有效宽度和置换率)还需通过反复试算才能得

到。即便如此, 也未必能得到最经济的设计方案。

表 2 算例 1 优化设计结果

Table 2 Optimization design results of example 1

进化方式	1	2	3	4
种群规模 $n$	15	20	25	30
交叉概率 $p_c$	0.35	0.80	0.75	0.70
变异概率 $p_m$	0.35	0.30	0.25	0.20
墙体宽度 $B/m$	4.311	4.311	4.311	4.311
混凝土土深度 $H_d/m$	5.648	5.648	5.648	5.648
置换率 $m$	0.730	0.730	0.730	0.730
混凝土体积/延 m	33.507	33.507	33.507	33.507

原设计结果与本文优化设计结果(以第四种方式进化)的比较见表 3。

表 3 算例 1 不同设计结果对比

Table 3 The results of various design methods for example 2

计算项目	原计算结果		优化设计结果	
	计算值	满足要求与否	计算值	满足要求与否
抗倾覆稳定性	1.6	√	2.12	√
抗滑移稳定性	1.40	√	2.60	√
整体稳定性	—	—	1.68	√
墙体变形/mm	2.43	√	7.77	√
墙体最大应力/MPa	221.5	√	177.22	√
墙体最小应力/MPa	-21.5	×	27.78	√
墙体抗剪应力/MPa	28.7	√	35.98	√
地基平均应力/MPa	162.0	√	217.63	√
地基最大应力/MPa	377.5	×	275.50	√
地基最小应力/MPa	-53.1	×	159.77	√
抗隆起稳定性	1.68	√	1.88	√

注: “—”表示未计算, “√”表示满足要求, “×”表示不满足要求。

### 3.2 算例 2

文献[16]中工程实例的工程资料如下: 土层性质如表 4 所示, 桩顶地面堆载为 15 kN/m<sup>2</sup>, 水泥土无侧限抗压强度大于 1 MPa, 墙底土地基承载力特征值为 80 kPa。要求基坑开挖深度分别为 5.8, 3.5, 2.9, 2.7, 2.25, 1.9, 1.6, 1.5, 1.25 m 不等。原文中选择了开挖深度为 5.8 m 的 A 区进行计算。

表 4 算例 2 土层性质指标

Table 4 Properties of soils in example 2

层号	土层名称	厚度 /m	容重 /( $kN \cdot m^{-3}$ )	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )
1	杂填土	0.5~2.5			
2	粉质粘土	0.0~1.6	18.9		
3	淤泥粉粘土	18.7~23.9	17.4	3.4	13.5
4	淤泥粉粘土	18.0~20.8	18.1	14.6	12.7

原设计取桩墙埋入深度为 9.2 m, 墙宽为 8.2 m 进行计算, 结果如表 5。运用本文的优化方法计算, 计算时取种群数为 20, 交叉概率为 0.75, 变异概率为 0.25, 经过 100 代进化得到的优化结果是: 水泥土挡

墙宽度  $B=7.236$  m, 入土深度  $H_d=8.632$  m, 置换率  $\lambda=0.708$ , 而每延m水泥土体积比原设计减少 14.2%(原设计的置换率约为 0.7), 节约了用材, 降低了成本。原设计结果与本文优化结果对比如表 5。

表 5 算例 2 不同设计结果对比

Table 5 The results of various design methods for example 2

计算项目	原计算结果		优化设计结果	
	计算值	满足要求与否	计算值	满足要求与否
抗倾覆稳定性	1.98	√	2.17	√
抗滑移稳定性	1.41	√	2.04	√
整体稳定性	—	—	3.29	√
墙体变形/mm	—	—	12.20	√
墙体最大应力/MPa	104.96*	√*	167.33	√
墙体最小应力/MPa	—	—	56.47	√
墙体抗剪应力/MPa	-21.53*	√*	40.02	√
地基平均应力/MPa	—	—	274.78	√
地基最大应力/MPa	—	—	429.27	√
地基最小应力/MPa	—	—	120.29	√
抗隆起稳定性/MPa	—	—	1.80	√

注：“—”表示未计算，“√”表示满足要求，“×”表示不满足要求；“\*”处表示原设计采用不同于本文的计算方法和验算标准。

## 4 讨 论

### 4.1 水泥土墙宽度对稳定性的影响

此处以算例 1 为例进行讨论, 取设计资料参数值(表 1)和优化后得到的计算结果(表 2)为基准值。首先, 保持其他参数不变, 改变水泥土墙宽度  $B(B=n_B H_0, H_0$  为基坑开挖深度,  $n_B$  为变动系数, 取  $n_B=0.5\sim 1.0$  计算), 得计算结果如图 3。图 3 表明, 水泥土墙抗倾覆能力、抗滑移能力以及整体稳定性都随墙宽增加而增强, 而且抗倾覆能力增长较快。

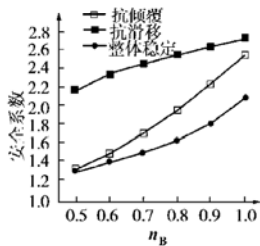


图 3 安全系数随有效宽度的变化关系

Fig.3 Variation of safety factor with effective width

### 4.2 水泥土墙嵌入深度对稳定性和墙底压力影响

同样, 以算例 1 为例进行讨论, 取设计资料参数值(表 1)和优化后得到的计算结果(表 2)为基准值。保持其他参数不变, 单纯改变嵌入深度  $H_d(H_d=n_{Hd} H_0, H_0$  为基坑开挖深度,  $n_{Hd}$  为变动系数, 取  $n_{Hd}=0.4\sim 1.4$  计算), 计算结果如图 4。图 4 表明, 水泥土墙抗倾覆能力在一定嵌入深度内减少, 然后增加; 抗滑移能力

则持续增长, 且增长很快; 而整体稳定性起初增长较快, 随后增长很小。

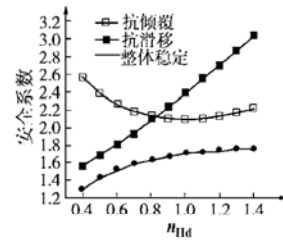


图 4 安全系数随嵌入深度的变化关系

Fig.4 Variation of safety factor with embedded depth

此外, 计算结果表明, 在一定的嵌入深度内, 随着嵌入深度的增加, 基底最大压力是先减少而后增大, 嵌入深度超过某一数值后(本例约为  $1.25 H_0$ ), 基底最大压力急剧增加, 如图 5 所示。

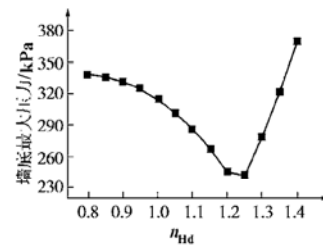


图 5 墙底最大压力随嵌入深度的变化关系

Fig.5 Variation of maximal pressure on bottom of cement-soil with embedded depth

### 4.3 土层参数对优化结果的影响

此处以算例 2 为例进行讨论, 取设计资料参数值(表 4)和优化后得到的计算结果为基准值。令

$$n_{cs} = c/c_0 = \varphi/\varphi_0, \quad n_F = F/F_0,$$

其中,  $c_0, \varphi_0$  为土层基准抗剪强度值;  $F_0$  为水泥土墙中水泥土方量,  $F_0=(H_0+H_{d0}) B_0 \lambda_0, B_0, H_{d0}, \lambda_0$  为按基准抗剪强度指标  $c_0, \varphi_0$  优化得到的设计结果, 分别为  $B_0=7.236$  m,  $H_{d0}=8.632$  m,  $\lambda_0=0.708$ 。

其他条件不变, 变化  $n_{cs}$ (即变化抗剪强度参数  $c, \varphi$ 值), 得计算结果如图 6。图 6 表明, 土层抗剪强度指标对水泥土墙的优化设计结果影响非常显著, 当土层的抗剪强度指标增大 30%, 水泥土耗量减少 32.24%; 反之, 土层抗剪强度指标减少 20%, 则水泥土耗量增大 25.65%。因此, 准确确定土层抗剪强度指标是优化设计的前提。

此外, 设计计算中发现, 当土质很差时, 水泥土墙的嵌入深度和墙体宽度明显要大得多。因此, 在土质差的软土地区采用水泥土墙支护结构时, 可对坑底被动土压力区进行加固处理, 以改善土体的性质, 从而达到减少水泥土墙嵌入深度和墙体宽度的目的。

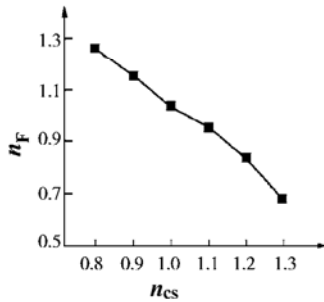


图6 优化结果随土层参数的变化关系

Fig.6 Variation of optimized result with property index of soils

## 5 结 论

(1) 将遗传进化算法用于水泥土墙支护结构的优化设计,避免了传统试算校核法计算繁琐且难以保证得到既安全可靠又经济合理的设计方案的缺点。

(2) 水泥土墙支护结构优化设计涉及的约束条件多,而传统优化方法大都需要目标函数和约束函数的导数信息,且容易陷于局部最优解,这对优化问题求解带来很大困难。本文提出的水泥土墙支护结构遗传进化优化设计方法只需目标函数值信息,而且总能有效地搜索到全局最优解,适用性强。

(3) 讨论了墙体的嵌固深度和宽度以及土层参数对水泥土墙的稳定性和墙底最大压力和水泥土耗量的影响,结果表明,在水泥土墙支护结构设计中,一味地增大墙体宽度或嵌固深度,不一定就能得到经济合理的设计方案,必须结合具体情况进行优化设计。

### 参考文献:

[1] 莫海鸿,周汉香,赖爱平. 基坑支护桩结构优化设计[J]. 岩土

工程学报, 2001,23(2):144 - 148.

- [2] 肖专文,龚晓南,谭昌明. 基坑土钉支护优化设计的遗传算法[J]. 土木工程学报, 1999,32(3):73 - 80.
- [3] 贺可强,阳吉宝,王胜利. 遗传算法在土钉支护结构优化设计中的应用[J]. 岩土工程学报, 2001,23(5):567 - 571.
- [4] 陈昌富. 仿生算法及其在边坡和基坑工程中的应用[D]. 长沙:湖南大学, 2001.
- [5] 吴恒,周东,季陶深,等. 深基坑桩锚支护协同演化优化设计[J]. 岩土工程学报, 2002,24(4):465 - 470.
- [6] 陈文华,许爱里,马丽丽,等. 最优化法在深基坑降水工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 1993,15(3):37 - 45.
- [7] 陈明中,龚晓南,梁磊. 深层搅拌桩支护结构优化设计[J]. 建筑结构,1999,(5):3 - 4.
- [8] 张冬梅,王箭明. 正交试验法在水泥土搅拌桩挡墙优化设计中的应用[J]. 建筑结构, 2000,30(11):34 - 34.
- [9] 陈忠汉,黄书轶,程丽萍. 深基坑工程(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社, 2002.
- [10] GB 50007—2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [11] JGJ 120—99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [12] SJG05—96, 深圳地区建筑深基坑支护技术规程[S].
- [13] YB 9258—97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [14] 刘宝碇,赵瑞清. 随机规划与模糊规划[M]. 北京:清华大学出版社, 1998.
- [15] 袁内镇. 水泥土挡墙支护结构的设计与应用[J]. 土工基础, 1996, 10(3):10 - 13.
- [16] 俞跃平. 深层搅拌桩法在深基坑围护中的应用[J]. 岩土工程界, 2000,3(12):30 - 33.

## 《沈珠江土力学论文选集》正式出版

为纪念沈珠江院士诞辰70周年暨从事土力学研究50周年而编辑的《沈珠江土力学论文选集》已于近日由清华大学出版社出版发行。书中选编了沈珠江1960~2000期间撰写的论文78篇,其中包括许多未公开发表的内部报告甚至手稿,对从事土力学和岩土工程研究的技术人员有重要参考价值。该书定价98元,为庆祝论文集的出版,《论文选集》编委会将以每本

70元的折扣价发售文集,需要订购的读者请通过邮局汇款至北京清华大学水利系岩土所。

联系人:王东华;地址:北京市清华大学水利系岩土所;  
邮编:100084;电话:+8610-62785593;传真:+8610-62785593;  
EMAIL: cismge@tsinghua.edu.cn

(清华大学 邓刚 供稿)