

重力式挡土墙截面的优化研究

胡孝平

(苏州市吴江区代建项目管理局,江苏苏州 215200)

【摘要】以重力式挡土墙截面面积为目标函数,以抗滑移和抗倾覆稳定性、基底应力及相关构造要求为约束条件,建立了其数学模型。借助 Matlab 的模式搜索工具对挡土墙截面面积进行优化计算,在验证其结果正确的基础上,与已有文献计算结果进行了比较,结果表明,模式搜索算法具有较强的寻优能力,实现了对挡土墙截面的优化计算,优化效果是显著的,可推广应用于工程设计。

【关键词】重力式挡土墙;优化计算;模式搜索算法

【中图分类号】 TU 476.4

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.03.008

Study on Optimum Cross-section of Gravity Retaining Wall

Hu Xiaoping

(Administration of Agent Construction Project, Wujiang District, Suzhou 215200, Jiangsu, China)

【Abstract】 Taking the cross-section area of a gravity retaining wall as the objective function, and considering the stability of anti-sliding and anti-overturning, ground base stress, related construction requirement as restraint conditions, the mathematical model was established. Based on the patternsearch tool of Matlab, the section of the retaining wall was optimized, on the basis of verifying the result, by comparing the result with the existing literature, it showed that the optimization capability of pattern search algorithm was great, the optimization for the section of the retaining wall was realized, the effect was significant, so it can be widely applied in engineering.

【Key words】 gravity retaining wall; optimization calculation; pattern search algorithm

0 引言

重力式挡土墙的传统设计方法主要是根据给定的设计参数,先假定截面的形式及尺寸,再对其进行验算,如果某一方面不满足要求,则需重新假定截面尺寸,再进行试算,直到各方面均满足要求为止。由于重力式挡土墙设计涉及的设计参数较多,仅依靠人工试算不仅不能得到经济合理的设计方案,而且效率低下。

近年来关于重力式挡土墙的研究论文较多,文献[1]以重力式挡土墙的截面面积为目标函数,采用乘子法求解,并用 VB 语言编制了相应的计算程序。文献[2]假设不考虑基底应力,以稳定性验算条件为约束条件,得到了重力式挡土墙的解析解。文献[3-6]对平底直立式挡土墙进行了系统的研究,可减少计算工作量,并能够较快地确定截面的尺寸。然而,上述研究存在以下问题:①文献[1,6]优化程序

的编制过程较为复杂;②假定某些约束条件已符合要求,如文献[2]是在假定基底应力已满足要求的情况下,仅以稳定性系数与挡土墙墙宽之间的关系来获得截面尺寸,计算结果虽满足要求,但不够经济;③文献[3-6]仅涉及一种截面形式“平底直立式”,这种截面形式不能够充分利用挡土墙自身的重力来发挥其抗倾覆及抗滑移性能。

针对上述问题,笔者在挡土墙的优化模型中,以墙顶宽度、墙背与竖直线的夹角、墙面与竖直线的夹角、墙底与水平线的夹角为变量,以挡土墙的截面面积为目标函数,利用 Matlab 优化工具箱提供的模式搜索算法实现了挡土墙的优化设计。

1 模式搜索算法原理

模式搜索法是一种解决最优化问题的直接方法,在计算时不需要目标函数的导数,所以在解决不可导的函数或者求导异常麻烦的函数的优化问题时

非常有效。

模式搜索就是在算法的每一步会搜索当前点附近的一系列点 $y_i (i=1,2,3,\dots)$, 这些点组成一个小的单元, 称这个小的单元为网格, 网格是通过增加当前点到一系列矢量的某些倍数中而形成的。这一系列的矢量叫“模式”。如果算法在网格中找到了一点, 这个点能改善目标函数的结果, 那么这个点就会替换当前步的当前点而成为算法下一步的当前点。当搜索进行到终止条件时则将最后一个点作为本次搜索的解。利用模式搜索法解决一个有 n 个自变量的最优化问题。①确定一个初始解 X_0 ; ②确定基向量用于指定搜索方向; ③确定搜索步长, 它将影响算法的收敛速度, 以及全局搜索能力。

具体实施步骤: ①计算出初始点的目标函数值 $f(X_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 然后计算其相邻的其他各点的值 $f(X_i + e_j \cdot L)$, e_j 为基向量用于指定搜索方向, $j \in (1, 2, \dots, 2n)$; ②如果有一点的函数值更优则表示搜索成功, 那么 $X_{i+1} = X_i + e_j \cdot L$, 且下次搜索时以 X_{i+1} 为中心, 以 $L = L \cdot \delta$ 为步长 ($\delta > 1$ 则扩大搜索范围), 若没有找到这样的点则表示搜索失败, 仍以 X_i 为中心, 以 $L = L \cdot \xi$ 为步长 ($\xi < 1$ 则缩小搜索范围); ③重复②的操作, 直到满足终止条件为止, 终止条件可以是迭代次数达到设定的上限值或者误差小于规定值等^[7-10]。

2 数学模型

设计变量共 4 个, 如图 1 所示, α_1 为墙背与竖直线的夹角, α_2 为墙面与竖直线的夹角, α_3 为墙底与水平线的夹角, α_4 (即 CD 的长度) 为墙顶面的宽度。这四个参数的取值将决定挡土墙的截面形式与面积。

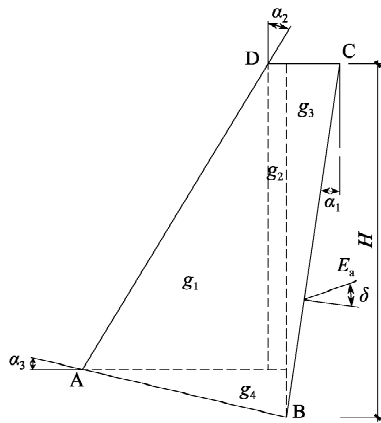


图 1 挡土墙截面示意

2.1 目标函数

以挡土墙的截面面积 $T(\alpha)$ 为目标函数, 并假设墙高 H 已知, 则

$$T(\alpha) = A_{g_1} + A_{g_2} + A_{g_3} + A_{g_4} \quad (1)$$

式中: A_{g_1} 、 A_{g_2} 、 A_{g_3} 和 A_{g_4} 分别为挡土墙截面各区域的面积。

2.2 约束条件

2.2.1 抗滑移约束

对图 1 按静力平衡条件推导, 可得

$$\frac{W \cos \alpha_3 + E \sin(\delta - \alpha_1 + \alpha_3)}{E \cos(\delta - \alpha_1 + \alpha_3) - W \sin \alpha_3} \mu \geq K_s \quad (2)$$

式中: W 为每延米挡土墙的自重; E 为每延米主动土压力; δ 为墙后填土与墙背之间的摩擦角; μ 为基底的摩擦系数; K_s 为抗滑移系数, 取 $1.3^{[11]}$ 。

2.2.2 抗倾覆约束

对图 1 按静力平衡条件推导, 可得

$$\frac{Wr + E \sin(\delta - \alpha_1) a}{E \cos(\delta - \alpha_1) h} \geq K_t \quad (3)$$

式中: r 为截面重心至墙前趾 A 点的水平距离; a , h 分别为 E 作用点至墙前趾的水平距离与竖直距离; K_t 为抗倾覆系数, 取 $1.6^{[11]}$ 。

2.2.3 墙底偏心距约束^[1]

$$e \leq 0.25b \quad (4)$$

式中: e 为偏心距; b 为挡土墙基底宽度。

2.2.4 地基应力约束^[1]

$$P_{\max} \leq 1.2f_a \quad (5)$$

$$P \leq f_a \quad (6)$$

式中: P_{\max} 为墙底最大应力; P 为墙底平均应力; f_a 为修正后的地基承载力特征值。

2.2.5 挡土墙构造要求^[1,11]

$$0 \leq \alpha_1 \leq \arctan 0.5 \quad (7)$$

$$0 \leq \alpha_2 \leq \arctan 0.5 \quad (8)$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq \arctan 0.1 \quad (9)$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq \arctan 0.2 \quad (10)$$

$$\alpha_4 \geq 0.4 \quad (11)$$

式中: 对于土质地基, 基底逆坡坡度 α_3 不宜大于 $1:10$; 对于岩石地基, 基底逆坡坡度 α_3 不宜大于 $1:5$ 。

3 程序编制

由目标函数及约束条件可知, 挡土墙的优化设计可归结为在一系列线性及非线性约束条件下的条件极值问题。由于约束条件复杂, 手工计算不仅效率低下而且不够优化。因此, 借助 Matlab 软件提供的模式搜索函数^[10]“patternsearch”, 通过编程实现对挡土墙的优化计算, 设计流程简图如图 2 所示, 此后再通过 Matlab 提供的 GUI 工具箱实现挡土墙优化计算的人机交互, 优化计算的图形用户界面如图 3 所示。

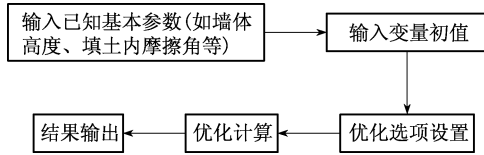


图2 挡土墙优化计算流程图



图3 优化计算的图形用户界面

4 计算与分析

采用模式搜索算法可以有效准确地求得多元函数的全局最优解。为了进一步验证算法在挡土墙优化计算中的可行性,对挡土墙截面进行计算分析,挡土墙截面如图1所示。

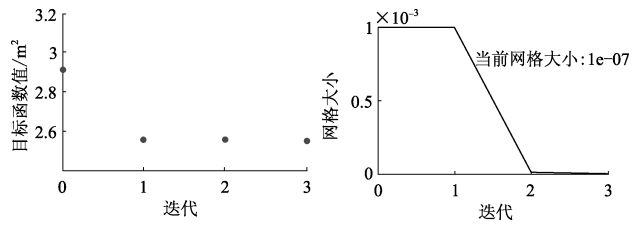
挡土墙墙高 $h=3\text{ m}$, 墙身材料重度 $\gamma_1=23\text{ kN/m}^3$, 墙后填土重度 $\gamma_2=18\text{ kN/m}^3$, 填土内摩擦角 $\varphi=30^\circ$, 墙背与填土之间的摩擦角, 根据墙背粗糙状况及填土排水条件, 取 $\delta=\varphi/3$ 。挡土墙基底的摩擦系数, 根据填土的密实度及风化程度确定该摩擦系数 $\mu=0.3$, 墙顶填土面水平, 修正后的地基承载力特征值为 $f_a=200\text{ kPa}$ (按土质地基考虑)。

图4为采用斜底仰斜式截面的优化计算结果, 其中, 图4(a)为优化过程中目标函数值的变化过程, 图4(b)为优化过程中相对步长的变化过程, 图4(c)为每一步寻优时计算目标函数的次数, 图4(d)为最终得到的目标函数值。图4(d)中前三个变量的单位均为弧度。

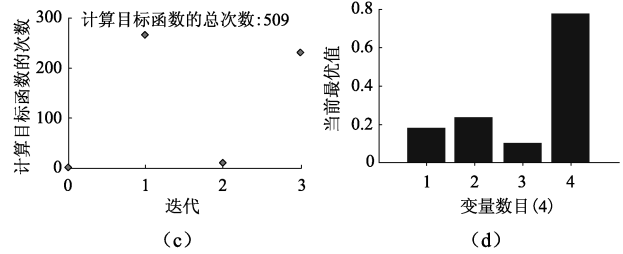
为了方便比较, 各角度变量计算结果的单位均以度表示。由表1可知, 采用斜底直立式、斜底仰斜式截面可分别比文献[1]计算的截面面积减少23%和34%。显然, 采用斜底仰斜式截面能得到更小的截面面积。由于此处挡土墙的计算截面面积由抗滑移稳定性条件控制, 因此, 为了充分发挥基底倾角对抗滑移的有利作用, 基底逆坡坡度已达到最大值 $1:10$ ($\arctan 0.1=5.71^\circ$)。

通过对斜底直立式与斜底仰斜式两种截面计算结果的验算, 由表2可知, 各计算参数均满足约束条

件, 并且两种截面均由抗滑移稳定性条件控制。



(a) (b)



(c) (d)

图4 “截面二”挡土墙参数优化结果

表1 计算结果对比

计算项目	α_1 /(°)	α_2 /(°)	α_3 /(°)	α_4 /m	S /m ²
文献[1]	0	16.70	5.71	0.75	3.87
截面一	0	15.07	5.71	0.62	2.97
截面二	10.08	13.24	5.71	0.78	2.55

注: “截面一”为斜底直立式; “截面二”为斜底仰斜式

表2 验算结果

验算参数	K_s	K_t	e /m	B /m	P_{max} /kPa	P /kPa
截面一	1.30	2.64	0.14	1.39	83.32	49.16
截面二	1.30	2.47	0.02	0.93	68.98	62.90

注: “截面一”为斜底直立式; “截面二”为斜底仰斜式

5 结论

1)重力式挡土墙应用非常广泛, 且其总造价受其截面影响很大, 因而对其截面面积的优化可以带来显著的经济效益。

2)通过对重力式挡土墙的优化计算, 结果表明模式搜索算法在解决多约束非线性问题的优化是完全可行的, 优化效果是理想的。借助 Matlab 提供的模式搜索工具, 集中主要精力编好三个 m 文件: 基本参数输入、目标函数、约束条件, 即可非常方便地求得最优解。

3)借助 Matlab 提供的 GUI 工具箱实现了对优化计算与结果验算这两个模块的封装, 可进一步方便工程师进行挡土墙截面的选型与设计。

4)通过对两种截面形式的优化计算, 并与文[1]计算结果进行比较, 可以发现优化的效果是非常明显的。在实际设计时, 可以先找出截面的最优解, 然

(下转第 143 页)

容易划分,半胶结赤泥的强度变化幅度可能较难确定,目前对半胶结赤泥的再划分主要依据现场的野外鉴定,综合赤泥在不同深度新鲜颜色的变化和标贯击数的大小进行综合分层。

3 结论及建议

1)烧结法赤泥的定名应遵循现场岩性定名,即砂状赤泥和泥状赤泥。

2)烧结法赤泥的特性取决于赤泥的胶结与否和胶结程度,这一点同时决定了赤泥在室内试验和原位测试中赤泥的强度大小。

3)烧结法赤泥中水的问题直接影响赤泥的胶结程度,浸润线较低的堆场,赤泥的胶结程度较好,浸润线较高的堆场,赤泥的胶结程度较差。

4)烧结法赤泥的工程地质分层应遵循 2.2 节中图 1 所示的方法。

5)建议进一步开展有关半胶结赤泥细化分层研究。

参 考 文 献

[1] 关文章,来 迟. 赤泥工程特性及应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1999.
 [2] 松 青,吴礼春. 有色金属进展(1996—2005),第三卷 轻金属[M]. 长沙:中南大学出版社,2007.
 [3] 梁 华. 赤泥利用的近期研究动态[J]. 世界有色金属,1999(3):32-34.
 [4] 殷文字. 赤泥综合利用现状[J]. 山东化工,2008(10):19-21.
 [5] 刘嫦娥,李 楠,姜怡娇,等. 铝工业废渣—赤泥综合利用[J]. 云南环境科学,2006(3):39-41.

收稿日期:2014-11-06

(上接第 140 页)

后通过查看验算结果,再对计算结果进行有针对性的修改和验算,一般仅需修改验算一次即可得到满意的设计值。

参 考 文 献

[1] 陈栋梁,党进谦. 重力式挡土墙的截面优化设计研究[J]. 岩土力学,2007,28(9):1969-1973.
 [2] 章 光,白世伟. 重力式挡土墙截面设计的一种简易方法[J]. 岩土力学,1997,18(4):18-23.
 [3] 袁 健,黄太华. 挡土墙截面设计直接计算方法[J]. 岩土工程技术,2007,21(2): 83-85.
 [4] 黄太华,袁 健,唐小弟. 重力式挡土墙设计简化方法[J]. 路基工程,2008(2):68-69.
 [5] 黄太华,袁 健. 关于重力式挡土墙截面尺寸确定方法的探讨[J]. 岩土工程技术,2004,18(5): 242-243.
 [6] 胡孝平,袁 健,余 萍. 基于遗传算法的重力式挡土墙优化设计[J]. 岩土工程技术,2008,22(1): 24-26.

[7] Audet C,Dennis J E Jr. Analysis of Generalized Pattern Searches [J]. SIAM Journal on Optimization, 2003,13(3): 889-903.
 [8] Sherif Y S,Boice B A. Optimization by pattern search [J]. European Journal of Operational Research,1994, 78(3): 277-303.
 [9] Kolda T G,Robert M L, Virginia T. Optimization by direct search: new perspectives on some classical and modern methods [J]. SIAM Review, 2003, 45 (3): 385-482.
 [10] 雷英杰,张善文,李续武,等. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004: 208-258.
 [11] GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

收稿日期:2015-02-10