

重力式挡土墙断面设计的优化

罗 林

(贵州省毕节地区水土保持办公室, 贵州毕节 551700)

【摘 要】 为解决挡土墙断面设计指标计算较为繁琐;难以得出最佳结果的问题,以重力式垂直挡土墙断面设计的顶宽和底宽两个主要指标为变量,断面面积最小为目标,按抗滑、抗倾覆性、墙基应力和挡土要求的计算公式,建立非线性优化的数学模型,并应用于贵州省织金县大新桥水利枢纽工程的挡土墙断面设计,采用 Excel 对建立的数学模型进行求解,得出断面面积最小的各项优化指标。

【关键词】 挡土墙;断面设计;非线性规划;数学模型;优化;Excel

【中图分类号】 TU 476.4

Optimization Design of Cross Section of Gravity Type Retaining Wall

Luo Lin

(Water and Soil Conservation Office of Bijie Prefecture in Guizhou Province, Bijie Guizhou 551700 China)

【Abstract】 In order to solve the problem that retaining wall cross section design computation is comparatively trouble and it is difficult to obtain the best result, taking top width and bottom width two major indexes in section design of gravity type vertical retaining wall as variable, the minimum cross section area as goal, according to calculating formula of anti-slide, anti-overturning, wall foundation stress and retaining soil request, the mathematical model of non-linear optimization is set up, and applied to the retaining wall section design of Daxin Bridge water control project, Excel is adopted to work out mathematical model, each optimization index of the minimum cross section area is obtained.

【Key Words】 retaining wall; section design; nonlinear programming; mathematical model; optimization; Excel

0 引 言

重力式挡土墙是为了防止固体废弃堆积物被冲刷、滑塌或崩塌,稳定开挖形成的高陡边坡,避免滑坡体前缘再次滑动的一项重要水土保持工程措施。挡土墙设计的关键是稳定性问题,要在现场勘查确定所需墙高的基础上,按满足抗滑、抗倾覆稳定性和地基承载力等要求,确定墙的顶宽和底宽两项断面设计指标。其分析计算一般是凭经验或多次试算来确定,本文对常用的重力式垂直挡土墙,运用非线性规划方法,将墙的顶宽和底宽两个主要断面设计指标作为变量,以断面面积最小为目标,根据抗滑、抗倾覆性、墙基应力和挡土要求的计算公式,建立非线性优化的数学模型。同时采用功能强大、应用广泛的 Excel 对数学模型进行求解。使挡土墙断面设计指标的优化及计算既简捷,又方便,在设计上具有很高的适用性。

1 非线性优化数学模型的建立

在对开发建设项目拟施工现场进行勘查,计算确定重力式垂直挡土墙(见图 1)所需墙高(H)的基础上,以墙的顶宽(B_1)和底宽(B_2)为变量;挡土墙断面面积(S)最小为目标函数;按抗滑安全系数大于 1.3、抗倾覆安全系数大于 1.5、墙基最大应力小于地基允许承载力、最大应力与最小应力之比小于 2.5、墙顶宽大于 0.5 m 等要求及相应的计算公式^[1~6],建立以 B_1 、 B_2 为变量的约束式,并进行化简;得出挡土墙非线性优化的数学模型^[7,8]为:

目标函数: $\min S = (B_1 + B_2) \cdot H / 2$

约束条件:

1) 抗滑安全系数大于 1.3

$$\frac{(B_2 + B_1)\gamma_k \mu}{\gamma_c H K_a} \geq 1.3$$

2) 抗倾覆安全系数大于 1.5

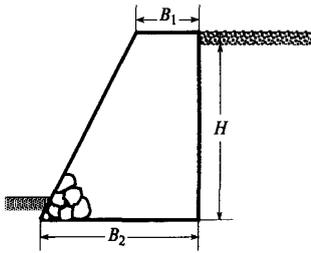


图 1 重力垂直式挡土墙示意图

$$\frac{(2B_2^2 + 2B_1B_2 - B_1^2)\gamma_k}{\gamma_c H^2 K_a} \geq 1.5$$

3) 墙基最大应力小于地基允许承载力

$$\frac{B_1^2 \gamma_k H + \gamma_c H^3 K_a}{B_2^2} \leq 1.2\sigma$$

4) 墙基最大应力与最小应力之比小于 2.5

$$\frac{B_1^2 \gamma_k H + \gamma_c H^3 K_a}{(B_2^2 + B_1B_2 - B_1^2)\gamma_k H - \gamma_c H^3 K_a} \leq 2.5$$

5) 墙顶宽大于 0.5 m: $B_1 \geq 0.5$

在各个约束式中:

γ_k 为挡土墙墙体容重; γ_c 为挡土墙内所填土渣容重; K_a 为库仑主动土压力系数; μ 为挡土墙基底对地基的摩擦系数; σ 为地基允许承载力;

2 数学模型应用及求解

贵州省织金县大新桥水利枢纽工程是建设总库容为 1 219 万 m^3 的水库, 配套总长 51.08 km 输水渠道, 灌溉面积为 2 220 hm^2 耕地的灌溉工程。在水土保持方案的水库工程弃土渣场挡土墙断面设计中, 根据弃土的堆放量和堆放地形, 设计采用浆砌石重力式垂直挡土墙, 墙高 $H=4.6$ m, 墙体重度 $\gamma_k=22$ kN/m^3 ; 墙后弃土填面水平, 重度 $\gamma_c=17$ kN/m^3 , 用库仑理论计算得出的主动土压力系数 $K_a=0.357$; 墙基底对地基的摩擦系数 $\mu=0.5$, 地基允许承载力 $\sigma=190$ kPa。将这些参数代入上述优化数学模型中, 应用 Excel 进行求解的方法^[9]如下:

1) 单击“工具”菜单“加载宏”, 加载“规划求解”;

2) 将工作表第一行第一列单元格作为 B_1 变量的可变单元格; 第二列单元格作为变量 B_2 的可变单元格。在第二行第一个单元格, 按公式的输入方法, 输入目标函数。在第三行至第七行, 每行一个约束条件, 在第一列单元格输入约束公式; 第二列单元格输入约束值。

3) 单击“工具”菜单下的“规划求解”, 打开“规划求解参数”对话框。将第二行目标函数单元格设置为“目标单元格”, 点击等于最小值。引用第一行一、

二列单元格区域为“可变单元格”。再点击“添加”按钮, 打开“添加约束”对话框, 将第三行至第七行各第一列的约束公式单元格引用到“单元格引用位置”; 第二列的单元格约束值引用到“约束值”; 点击约束条件对应的约束符号后, 添加到“约束”对话框中。单击“求解”按钮后, 即在两个可变单元格中分别显示 B_1 和 B_2 的优化结果; 在目标单元格中显示最优化断面面积; 在各个约束公式单元格中显示其相应的稳定性指标计算结果。

用建立的非线性优化数学模型, 通过 Excel 求解, 得出织金县大新桥水利枢纽工程水土保持方案中水库工程弃土渣场的挡土墙, 在满足抗滑、抗倾覆、地基承载力和挡土要求等条件下, 断面面积最小的各项优化设计指标为: 墙高 $H=4.6$ m, 墙顶宽 $B_1=0.53$ m, 墙底宽 $B_2=2.77$ m, 墙面坡比 $i=1:0.19$ 。最优化断面面积为 $S=7.59$ m^2 。稳定性计算的抗滑安全系数 $K_s=1.3$, 抗倾覆安全系数 $K_r=3.09$; 墙基最大应力 $\sigma_{max}=80.5$ kPa, 最小应力 $\sigma_{min}=39.9$ kPa, $\sigma_{max}/\sigma_{min}=2.01$ 。

3 结 论

挡土墙断面设计指标的计算既要满足挡土要求, 又要具备抗滑、抗倾覆性和墙基应力小于地基允许承载力等条件, 计算较为繁琐, 难以得出最佳断面设计指标, 往往需要过多砌筑材料和投入。对文中常用的重力式垂直挡土墙断面设计, 以墙顶宽和底宽为变量, 断面面积最小为目标, 用抗滑、抗倾覆性安全系数和墙基应力的计算公式及稳定性允许值建立约束式, 得出了挡土墙非线性优化的数学模型。使挡土墙的设计在满足挡土和稳定性要求的前提下, 达到断面面积最小, 从而最大程度地节约砌筑材料及投资。并利用 Excel 求解, 在贵州省织金县大新桥水利枢纽工程的挡土墙断面设计上进行了成功的应用。

在非线性优化数学模型的求解上, 因功能强大的 Excel 软件可以比较方便和快捷地求解出优化结果。一般在将数学模型输入到 Excel 后, 只需根据挡土墙的不同, 变换一些参数, 就可简捷的计算多个挡土墙断面设计的优化指标。同时还可以根据本文重力式垂直挡土墙非线性优化数学模型的建模思路和方法, 拓展应用范围, 对其它形式挡土墙、拦渣坝、拦洪坝、石谷坊等具有约束性要求的水土保持工程进行建模和分析计算。

1、3、4、8、9、11、12、13、14、15、16、17 和 18 为近 EW 向,这与最后一期构造应力场的最大主应力方向一致,测点 2 为 NE 向,测点 5、6、7 和 10 为 NW 向,这也说明了现今地应力场继承了以前各期的应力场。测点 1、3、4、8、9、11、12、13、14、15、16、17 和 18 给出的最大主应力方向即为现今最大主应力方向。

2)工程区是以水平应力为主的中地应力区,地应力具有明显的构造应力特征,最大主应力方向为近 EW,而隧洞洞轴线方向为 NW,二者夹角较大,为 $39^{\circ}\sim 46^{\circ}$ 。地应力的这种分布特征对隧洞围岩稳定性有一定影响。

参 考 文 献

1 沈明荣. 岩体力学. 上海: 同济大学出版社, 1999, 109~

130

- 2 邵国建. 初始地应力场对洞室围岩稳定性的影响. 水文地质工程地质, 2003, 30(6): 44~48
- 3 刘 高, 韩文峰, 聂德新. 金川矿区地应力场特征. 天津城市建设学院学报, 2002, 8(2): 81~85
- 4 蔡美峰. 岩石力学与工程. 北京: 科学出版社, 2002. 129~138
- 5 蔡美峰, 乔 兰, 李华斌. 地应力测量原理和技术. 北京: 科学出版社, 1995. 1~12
- 6 陈宗基. 地下巷道长期稳定性的力学问题. 岩石力学与工程学报, 1982, 1(1): 1~19

收稿日期: 2005-05-16

(上接第 263 页)

参 考 文 献

- 1 焦居仁, 姜德文, 蔡建勤, 等. 开发建设项目水土保持. 北京: 中国法制出版社, 1998. 87~89
- 2 管枫年. 水工挡土墙设计. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 8~57
- 3 陈希哲. 土力学地基基础. 北京: 清华大学出版社(第二版), 1990. 120~138
- 4 黄太华, 袁健. 关于重力式挡土墙截面尺寸确定方法的探讨. 岩土工程技术, 2004, 18(5): 242~243; 247
- 5 黄太华, 饶英明, 谭萍. 关于挡土墙的地基承载力验算及抗倾覆稳定性验算方法的探讨. 岩土工程技术, 2003(6): 315~318
- 6 袁健, 刘其梅. 参数法在悬臂式挡土墙底板尺寸设计中的应用. 岩土工程技术, 2005, 19(1): 17~19
- 7 张炳华, 侯 昶. 土建结构优化设计. 上海: 同济大学出版社, 1998. 45~54
- 8 刘宝光. 非线性规划. 北京: 北京理工大学出版社, 1988. 59~71
- 9 周予滨, 赵震伟, 陈 涛, 等. Office 2000 中文标准版即学即用. 北京: 中国标准出版社, 1999. 160~199

收稿日期: 2005-05-08