

用微机设计淤地坝

张 汉 雄

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要

用 BASIC 语言编制了微机设计淤地坝的通用程序,它能选择设计坝高 5~50m 的坝断面,计算渗透流量和坝坡安全系数。一旦该程序运行,坝的设计参数可在几分钟打印出来。这个应用程序是黄土高原设计淤地坝和小型水库的有效工具。

关键词 淤地坝 设计参数 微机

1 前 言

淤地坝是黄土高原丘陵沟壑区控制水土流失、建设高产农田的主要工程措施,黄土高原现已建成的数万座淤地坝中,大多数坝运行良好,有效地拦洪拦泥,增产效果显著。但值得注意的是,有许多淤地坝被暴雨洪水冲毁或破坏,难以发挥效益。据延河流域“77·7·6”洪水垮坝调查结果,垮坝的主要原因是大多数由社队群众自建的坝无设计或设计不合理,表现在:(1)溢洪道断面小导致洪水漫顶;(2)坝坡陡造成坝体滑坡;(3)渗透流量大且下游无排水设施形成管涌或流土造成坝坡滑坡;(4)放水流量大而出水洞断面小形成压力管流使放水洞胀裂溃坝。这都是由于坝体、溢洪道和放水洞的设计不合理所引起。所以,精心设计安全经济的淤地坝结构是十分重要的。

淤地坝的设计包括坝体、溢洪道、放水洞的结构断面设计和流域的洪水泥沙计算。设计洪水和泥沙量一般可从当地的水文手册上取得,溢洪道设计已作论述^[1],本文仅讨论坝体和放水洞设计。坝体设计中的渗透计算、坝坡稳定分析等;计算繁琐、工作量大,有时需重复多次试算,需要花费好多人力和时间。对于目前新建和需要进行技术审查的大量淤地坝,要进行这些复杂的设计和校核,这是基层工程技术人员难以做到的。为此,我们根据一般淤地坝的设计原理,用 BASIC 语言编制了用微机设计淤地坝的通用程序,为淤地坝设计的工程技术人员提供了一种方便的计算工具。一旦数据输入给计算机,几分钟内就可打印出所需的设计参数,只要有点设计知识的人都可掌握运用。

2 基本原理和计算公式之简化

黄土高原的淤地坝大多数是采用水坠施工的均质土坝,虽无防渗要求,但考虑到因渗

透导致下游坝坡滑坡,故对较高的坝应进行渗透计算和坝坡稳定分析。施工中的坝坡稳定因涉及到施工质量等许多复杂因素,本文暂不考虑。当坝址选定后,测绘出坝轴线纵断面图和坝高与库容关系曲线,并测定筑坝土料的物理力学性质,则可得到基本设计参数。

2.1 初选坝体断面

据淤地坝的拦泥淤地要求,可从坝高与库容关系曲线上确定坝高、拦泥高度和滞洪高度。然后,由淤地坝的经验坝坡参考表(表1)初选坝坡及坝顶宽^{[3][4]}。

表1 淤地坝坝坡和顶宽初选参考表

坝高(m)	边坡比		坝顶宽(m)
	迎水坡	背水坡	
≤10	1:1.75	1:1.5	3.0
11~15	1:2.0	1:1.75	3.5
16~20	1:2.25	1:2.0	4.0
21~25	1:2.5	1:2.25	4.5
26~30	1:2.75	1:2.5	5.0
31~35	1:3.0	1:2.75	6.0
36~40	1:3.5	1:3.0	7.0
>40	1:4.0	1:3.5	8.0

当坝高小于10 m时,可由表1确定坝横断面。如坝高在10~20 m时,坝坡必须满足

$$\frac{1}{m_1} \leq 0.8 \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

式中: m_1 ——上游坝坡的边坡比;

φ ——坝体土料的内摩擦角度。

否则,需加大边坡比。坝高大于20 m时,由表1初选的坝坡进行稳定分析计算;若不符合要求,增加坝坡比后重复进行稳定分析。

2.2 坝体渗透计算

淤地坝大多数建在有透水层的沟床,无蓄水要求,故坝基渗透可不考虑。但坝坡下游浸润线太高或坝体渗透流量较大,将影响坝坡稳定,所以较高的坝有必要进行坝体渗透计算。若沿坝顶上游边缘作垂线将坝横断面分成两段(图1),则上段单宽渗透流量为^{[4][5]},

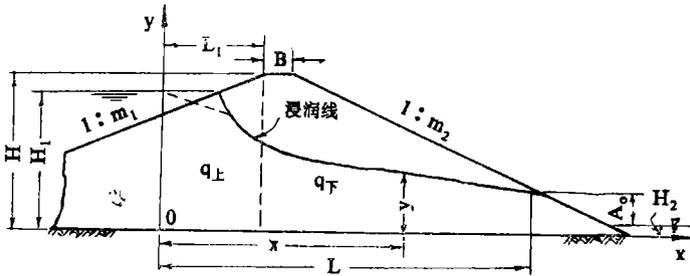


图1 坝横断面浸润线计算略图

$$q_1 = \frac{k[H_1^2 - (a_0 + H_2)^2]}{2L} \quad (2)$$

坝体下段的单宽渗透流量为

$$q_2 = \frac{ka_0}{m_2} \left[1 + 2.31 \log \left(\frac{a_0 + H_2}{a_0} \right) \right] \quad (3)$$

坝体上下段的渗透流量相等, 即 $q_1 = q_2$; 且(2)式和(3)式均为 a_0 之函数, 用试算法求解下述联立方程组, 则可求出浸润线在下游坝坡的逸出高度 a_0 及单宽渗流量 q , 即

$$\begin{cases} q = f_1(a_0) \\ q = f_2(a_0) \end{cases} \quad (4)$$

式中, q_1, q_2 ——分别为坝体上、下段之单宽渗流量($m^3/d/m$);

K ——坝体土料之渗透系数(m/d);

H_1 ——坝上游水深(m);

H_2 ——坝下游正常水深(m);

m_1, m_2 ——分别为坝上、下游边坡比;

L, L_1 ——分别为浸润线逸出点和坝顶上游边缘距上游坐标原点的水平距离(m^2)。

由下式计算

$$\begin{aligned} L &= L_1 + B + m_2(H - a_0 - H_2) \\ L_1 &= \frac{H_1}{2 + \frac{1}{m_1}} + m_1(H - H_1) \end{aligned} \quad (5)$$

则反滤体高度为

$$Hr = H_2 + a_0 - 0.2 \quad (6)$$

根据单宽渗流量 q , 可由下述方程计算浸润线的坐标(图1)

$$x = \frac{K}{2q} (H_1^2 - y^2) \quad (7)$$

式中 x 和 y 分别为浸润线之横坐标和纵坐标。

根据坝轴线沟道断面地形特点将坝轴线分为几段, 分别量出各段的长度和中点坝高(图2), 则可计算坝体的渗透总量 Q 。

$$Q = q_1 ds_1 + q_2 ds_2 + \dots + q_n ds_n \quad (8)$$

式中: q_1, q_2, \dots, q_n ——分别为坝体各段的单宽渗透流量($m^3/d/m$);

ds_1, ds_2, \dots, ds_n ——分别为坝轴各段长度(m)。

2.3 坝坡稳定计算

淤地坝一般都属小一型或小二型坝库工程。在淤地坝淤满后的正常运用阶段, 一般坝坡较为安全, 而在未淤满前有正常蓄水时期, 坝体运用最不安全。但由于沟道洪水历时一般较短, 故淤地坝的设计标准可按4—5级建筑物(水库)的正常运用设计。当坝高 $H \geq 30m$ 时, 应使安全系数 $k \geq 1.2$; 坝高 $H = 20 \sim 30m$ 时, $k \geq 1.05$ 。

坝坡稳定分析通常采用圆弧法, 安全系数 K 的基本计算公式为^[1]

$$K = \frac{b\gamma \sum_1^m h_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + CLs}{b\gamma \sum_1^m h_i \sin \alpha_i} \quad (9)$$

式中： b ——滑动圆弧分成的土条宽度， m ；为计算简便，采用 $b = 0.1r_i$ ，其中 r_i 为第 i 个滑动圆弧半径。 i 的个数为 $i = 1 \cdots p$ ；

γ ——坝体土料容重(t/m^3)；

m ——土条总个数；

α_i ——滑弧上各土条的切线角，当 $b = 0.1r$ 时各土条的 $\cos \alpha_i$ 和 $\sin \alpha_i$ 均为已知数；

C ——土料粘结力(t/m^2)；

L_s ——滑弧长度(m)。

由于淤地坝运用前期库内有蓄水，在渗透水压力作用下，土条的容重 γ 和高度 h 应分别按不同部位土体湿容重、浮容重和饱和容重及相应的高度计算。通常用化引高度表示，则计算滑动力的化引高度为

$$h_{\text{滑}} = \frac{\gamma_{\text{湿}} h_1}{\gamma_{\text{浮}}} + \frac{\gamma_{\text{饱}} h_2}{\gamma_{\text{浮}}} + h_3 \quad (10)$$

计算阻滑力的化引高度为

$$h_{\text{阻}} = \frac{\gamma_{\text{湿}} h_1}{\gamma_{\text{浮}}} + h_2 + h_3 \quad (11)$$

式中： $\gamma_{\text{湿}}$ 、 $\gamma_{\text{浮}}$ 、 $\gamma_{\text{饱}}$ ——分别为坝体土料的湿容重、浮容重和饱和容重(t/m^3)；

h_1 ——各土条在浸润线以上之高度(m)；

h_2 ——各土条在浸润线至下游水位之间的高度(m)；

h_3 ——各土条在下游水位以下之高度 m ，一般淤地坝 $h_3 = 0$ 。

于是，(9)式可改写为

$$K = \frac{0.1r_i \gamma_{\text{浮}} \sum_1^m h_{\text{阻}} \cos \alpha_i \text{tg} \varphi + CL_s}{0.1r_i \gamma_{\text{浮}} \sum_1^m h_{\text{滑}} \sin \alpha_i} \quad (12)$$

最危险滑弧的求法，一般书中均有说明，本文不再赘述。一个坝的坝坡稳定分析，大致要计算 15~21 个滑弧，相应求出 p 个 K 值；其中 K 值最小的滑弧即为最危险的滑动面。然后，用最小的 K 值与设计标准要求的 K 值比较，若不满足，则增大坝坡比，重新进行计算。

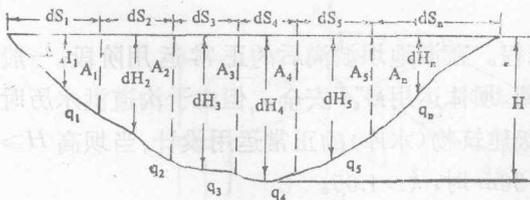


图 2 坝轴线纵断面分段计算略图

2.4 坝体土方量

若将坝轴线纵断面按地形特征分为几段，量出各段中点坝高 dH_i 和长度 ds_i ，则可用分别计算各段的坝体土方和渗透流量(图 2)。

坝体总土方量等于各段土方量之和，即

$$W = 0.5[A_1 ds_1 + (A_1 + A_2) ds_2 + (A_2 + A_3) ds_3 + \cdots + A_n ds_n] \quad (13)$$

式中：

ds_i ——沿坝轴线之各段长度(m)；

A_i ——各段分界处之断面积 m^2 。由下式计算

$$A_i = [B + \frac{1}{2}dH_i(m_1 + m_2)]dH_i \quad (14)$$

2.5 放水洞断面设计

淤地坝的分水设施大多数采用卧管式放水洞，可按薄壁孔口出流公式计算。取流量系数 $\mu = 0.62$ ，则单孔泻水的出水量为

$$Q_m = \mu w \sqrt{2gz} = 2.156 d^2 \sqrt{Z} \quad (15)$$

卧管一般按两孔或三孔调节的方式泻水，则两孔泻水的孔口直径为

$$d = \sqrt{\frac{Q_m}{2.156(\sqrt{Z} + \sqrt{2Z})}} = 0.438 \sqrt{\frac{Q_m}{\sqrt{Z}}} \quad (16)$$

三孔调节的放水孔直径为

$$d = \sqrt{\frac{Q_m}{2.156(\sqrt{Z} + \sqrt{2Z} + \sqrt{3Z})}} = 0.335 \sqrt{\frac{Q_m}{\sqrt{Z}}} \quad (17)$$

式中： Q_m ——卧管设计泻水流量 (m^3/s)；

Z ——放水孔的高差 (m)。

卧管一般采用矩形断面，比降 1 : 2 为宜，水深为其高度的大约 3/4，则卧管之宽度为

$$bs = 0.511 Q_m^{0.375} \quad (18)$$

3 程序设计

淤地坝的设计过程实际上是一个反馈系统。当淤地坝设计的基本资料输入给计算机后，程序将自动地根据坝高初选坝坡和坝顶宽。坝高大于 10 m 者需进行渗透计算，坝高大于 20 m 者需进行坝坡稳定分析。若渗透流量和安全系数符合要求，则计算坝体土方和放水洞设计；否则，将增大坝边坡比，将重新计算渗透流量和坝坡稳定分析，直至满足设计要求为止，形成一个反复循环的设计过程。系统设计过程的程序框图示于图 3。

根据淤地坝的设计原理和过程系统，笔者试用 BASIC 语言编制了淤地坝的设计通用程序（本文略），它适用于目前小于 50 m 坝高的淤地坝设计，也适于同样坝高均质土坝的小一型和小二型水库设计。对于渗透计算和坝坡稳定计算中繁复的试算，该程序的计算精度均能满足设计要求。程序对主要设计参数的范围亦具有自动控制 and 判断功能，一旦参数变化超出容许范围，即反馈到初选坝坡，重新进行计算。

4 设计程序应用

本文论述的淤地坝设计程序可在黄土高原修建淤地坝的广大地区应用。在微机应用目前已普及的情况下，一般县级单位都有微计算机，故乡村建坝均可用该程序进行设计。现举例说明该程序的应用。

实例 1 安塞县县南沟计划修建一座淤地坝。规划坝高 27m，最高水位 24m，下游无水。筑坝土料的渗透系数 $K = 0.25m/d$ ，内摩擦角 $\varphi = 32^\circ$ ，粘结力 $c = 0.6t/m^2$ ，土料容重

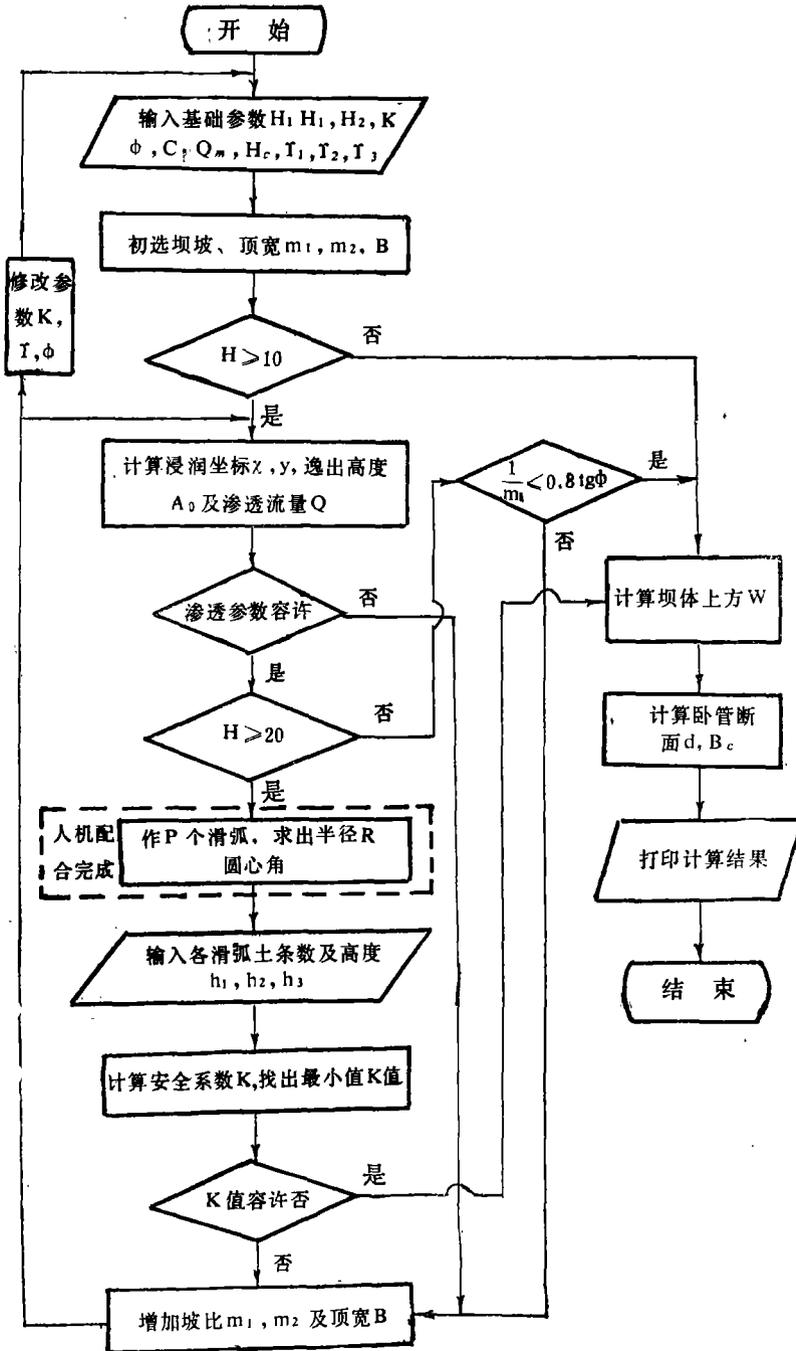


图 3 淤地坝设计过程程序框图

$r_{\text{泥}} = 1.9\text{t/m}^3$, $r_{\text{浮}} = 1.05\text{t/m}^3$, $r_{\text{土}} = 2.05\text{t/m}^3$ 。放水洞设计流量为 $0.3\text{m}^3/\text{s}$, 采用两孔调节, 卧管高差 0.5m 。试设计该坝断面、卧管断面, 并绘制浸润线。

先将坝轴线分为 5 段, 其中一段在最大坝高处, 各段坝高及坝长为:

坝段	1	2	3	4	5
坝高 $dH(\text{m})$	10	17	27	17	11
坝长 $ds(\text{m})$	25	30	35	32	28

将上述坝设计参数输入程序 675—680 语句, 再把坝坡滑动圆弧参数输入程序 690—720 语句。该坝的滑弧参数为: 滑弧半径 $R = 36\text{m}$, 圆心角 $\beta = 72^\circ$, 滑弧分为 11 个土条, 相应土条高度为

土条号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_1(\text{m})$	1.2	3.6	5.0	6.4	6.0	5.1	5.2	5.4	5.8	6.1	1.98
$h_2(\text{m})$	0	0	0	0	1.8	3.7	3.8	3.2	1.8	0	0
$h_3(\text{m})$	0.6	1.1	1.2	1.1	0.6	0	0	0	0	0	0

然后键入 RUN, 程序开始运行, 并显示 $N, P, M, O = ?$, 即输入坝轴段数、滑弧个数、滑弧土条数和放水孔数, 本例中输入 5, 1, 11, 2, 并回车, 程序开始计算。第一次初选坝坡 $m_1 = 2.75$, $m_2 = 2.5$, 坝顶宽 $B = 5\text{m}$, 并计算出相应的浸润线逸出高度 a_0 和坝坡稳定安全系数 K 。因不能满足设计要求, 再将坝坡和坝顶宽增大, 重新计算。打印结果为

合适的坝坡比 $m_1 = 3.0$, $m_2 = 2.75$;

合适的坝顶宽 $B = 6(\text{m})$;

浸润线最大逸出高度 $a_0 = 6.95(\text{m})$;

最大单宽渗透流量 $q = 0.87(\text{m}^3/\text{d}/\text{m})$;

坝体总渗透流量 $Q = 73.8(\text{m}^3/\text{d})$;

浸润线坐标为

y	24	23	22	21	20	19	18	17	16
x	0	6.8	13.2	19.4	25.3	30.9	36.2	41.2	46.0
y	15	14	13	12	11	10	9	8	7
x	50.4	54.6	58.5	62.1	65.4	68.4	71.1	73.6	75.7

坝体总土方量 $W = 73,275(\text{m}^3)$;

放水孔直径 $d = 0.30(\text{m})$;

卧管断面宽度 $B_s = 0.33(\text{m})$;

卧管水深 $H_4 = 0.44(\text{m})$;

坝坡安全系数 $K = 1.06$ 。

若求最危险的滑动弧, 可用圆弧法在图上作若干个滑弧, 分别将各滑弧的参数输入 690—720 语句, 则可计算出每个滑弧的安全系数。最后计算机将打印出最小的安全系数和合适的坝断面。

例 2 上例中, 如坝高 $H = 17\text{m}$, 上游最大水深 $H_1 = 14\text{m}$, 其它设计参数同前, 试设计坝断面。

由于本例坝高小于 20m , 故不需作坝坡稳定计算。程序运行后, 一次可选定坝断面及

有关参数,打印结果为

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 2.25 & m_2 &= 2.0 & B &= 4 \text{ (m)} \\
 a_0 &= 3.9 \text{ (m)} & q &= 0.5 \text{ (m}^3\text{/d/m)} & Q &= 40.5 \text{ (m}^3\text{/d)} \\
 W &= 25,163 \text{ (m}^3\text{)} & d &= 0.3 \text{ (m)} & B_s &= 0.33 \text{ (m)} \\
 H_s &= 0.44 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

根据两个算例的计算结果,可分别绘制坝体横断面图和卧管断面图。例1的浸润线逸出高度较大,需在下游设反滤体以降低逸出点。

应用表明,用微机设计淤地坝操作方便,计算精度高,能满足设计要求。它为黄土高原县级以下大量淤地坝设计提供了一个简便的有效工具。

参考文献

- [1] 辽宁省水电勘测设计院。中小型水库设计(中册)。沈阳,1975
- [2] 张汉雄。用微机设计淤地坝的溢洪道。中国水土保持,1986,(8)
- [3] 陕西省水土保持局编。坝地利用。西安:陕西人民出版社,1977
- [4] 陕晋水坠坝试验研究组编。水坠坝。北京:水利出版社,1980
- [5] 华东水利学院编。水力学(上册)。北京:科学出版社,1976

TO DESIGN A SILT-TRAP DAM BY A MICROCOMPUTER

Zhang Hanxiong

*(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)*

Abstract

A universal program of designing a silt-trap dam is programmed by BASIC language for microcomputer use in the paper, which can choose a suitable section of dam and calculate the infiltration rate and the safety coefficient of dam slope for dam height at 5—50m. Once the program is run, the design parameters of dam are printed at a few minutes. The utility program is a effective tool to design a silt trapping dam and a small reservoir in Loess Plateau region.

Key words silt-trap dam design parameters microcomputer