

## 重力式挡土墙最优经济断面简易算法

(18)

杨世密

TUC764

5-6-57168

(梁河县水电局 云南梁河 679200)

**摘要** 将挡土墙常用的稳定计算公式和地基强度计算公式进行简化,并采用一元二次方程获取墙身边坡系数  $m$  值,用此方法只需计算一次既可满足精度要求,此法比试算法可提高计算效率约 12 倍。

**关键词** 挡土墙;经济断面;简易计算

在挡土墙结构的稳定计算中,为了寻求既经济又安全的设计断面,通常先要假设断面尺寸,按长度取单宽,计算主动土压力及作用于墙身的各种作用力,验算墙身稳定和地基强度,经过反复试算才能最后确定墙身最终断面。对于重力式挡土墙,通常需要验算的项目有:

a. 在基本荷载组合下,挡土墙墙底与地基土之间必须满足抗滑稳定要求,其安全系数  $K_f = 1.2 \sim 1.3$ ;在特殊荷载组合下,  $K_f$  可降低至  $1.05 \sim 1.10$ 。

b. 为保证墙身不在外力作用下发生倾倒,其抗倾安全系数  $K_T = 1.2 \sim 1.3$ 。

c. 最大的地基应力  $\sigma_{\max}$  应小于地基允许承载力,最小的地基应力  $\sigma_{\min}$  应大于零,即保持地基全部处于受压状态。对于重要的水闸边墩、翼墙,还要满足  $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} = 1.5 \sim 2.0$  (砂土地基) 或  $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} = 1.2 \sim 1.5$  (粘土地基) 的要求<sup>[1]</sup>。

采用上述三个条件计算墙体结构稳定问题,需要反复修改断面尺寸,才能求得即经济又安全的设计断面,计算效率很低。本文以应用广泛、施工简便的重力式挡土墙为例,研究了其墙后填土为非粘性土时的简易计算方法,可以无需试算,一次设计成型,从而大大提高计算效率。

## 1 基本公式

重力式挡土墙计算断面如图 1 所示,其上作用的主要外力有:挡土墙自重  $G_1$ ;墙后填土重  $G_2$ ;墙背水重  $G_3$ ;墙顶和填土面上的均布荷载合力  $G_4$ ;扬压力  $G_5$  以及作用于墙后趾垂直面上的土压力  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  及水压力  $P_5$ 。取单位长度墙体作脱离体,土压力用朗肯土压力理论计算,主动土压力系数  $K_a$

$= \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ ,  $\varphi$  是墙后填土的内摩擦角,因为是非粘性土,故其凝聚力  $c = 0$ 。均布荷载  $q$  可以用当量土重  $\gamma h_0$  代替,  $\gamma$  为填土容重,  $h_0$  为当量高度。若设  $\gamma_a$  为墙体浆砌石的容重,  $\gamma'$  为墙后填土的浮容重,  $\gamma_w$  为水的容重,则由图 1 可求出如下各作用力。

a. 水平力。

$$P_1 = \gamma h_0 h_1 K_a$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_a$$

$$P_3 = \gamma (h_0 + h_1) h_2 K_a$$

$$P_4 = \frac{1}{2} \gamma' h_2^2 K_a$$

$$P_5 = \frac{1}{2} \gamma_w h_2^2$$

$$\sum P = K_a [\gamma h_1 (h_0 + \frac{1}{2} h_1 + h_2) + h_2 (\gamma h_0 + \frac{1}{2} \gamma' h_2)] + \frac{1}{2} \gamma_w h_2^2 \quad (1)$$

b. 垂直力。

$$G_1 = \gamma_a b (h_1 + h_2) + \frac{1}{2} \gamma_a m (h_1 + h_2)^2$$

$$G_2 = \frac{1}{2} m [\gamma h_1 (h_1 + 2h_2) + \gamma' h_2^2]$$

$$G_3 = \frac{1}{2} m \gamma_w h_2^2$$

$$G_4 = \gamma h_0 [b + m (h_1 + h_2)]$$

$$G_5 = -\frac{1}{2} \gamma_w h_2 [b + m (h_1 + h_2)]$$

$$\sum G = Am + B \quad (2)$$

式中:

$$A = (h_1 + h_2) [\gamma h_0 + \frac{1}{2} \gamma_a (h_1 + h_2) + \frac{1}{2} \gamma h_1 -$$

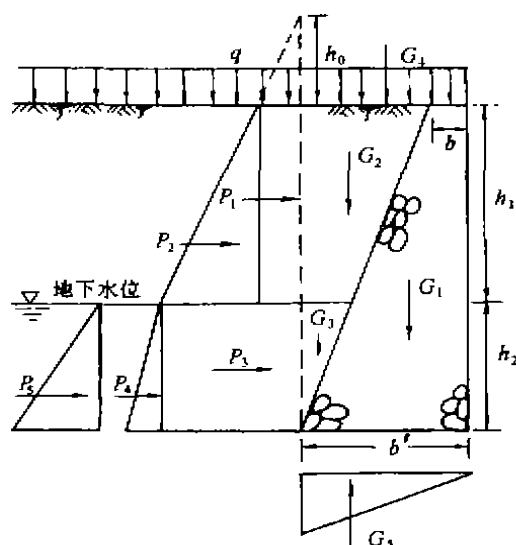


图1 挡土墙计算简图

$$\frac{1}{2} \gamma_w h_2] + \frac{1}{2} h_2^2 (\gamma' + \gamma_w) + \frac{1}{2} \gamma h_1 h_2$$

$$B = b[\gamma h_0 + \gamma_a(h_1 + h_2) - \frac{1}{2} \gamma_w h_2]$$

c. 水平力矩.

$$M_p = Cm^2 + Dm + E \quad (3)$$

式中:  $C = \frac{1}{3} \gamma_w h_2 (h_1 + h_2)^2$

$$D = \frac{2}{3} \gamma_w b h_2 (h_1 + h_2)$$

$$E = K_a[\gamma h_0 h_1(\frac{h_1}{2} + h_2) + \frac{1}{2} \gamma h_1^2(\frac{h_1}{3} + h_2) + \frac{1}{2} \gamma h_2^2(h_0 + h_1) + \frac{1}{6} \gamma' h_2^3] + \frac{1}{3} \gamma_w h_2(b^2 + \frac{1}{2} h_2^2)$$

d. 垂直力矩.

$$M_G = Wm^2 + Sm + T \quad (4)$$

式中:

$$W = \frac{1}{2} (h_1 + h_2)^2 [\gamma h_0 + \frac{1}{3} \gamma_a (h_1 + h_2)] +$$

$$\frac{1}{2} h_1 h_2^2 (\gamma + \gamma' + \gamma_w) +$$

$$\frac{1}{3} h_2^3 (\gamma' + \gamma_w) + \gamma h_1^2 (\frac{1}{3} h_1 + h_2)$$

$$S = b[(h_1 + h_2)[\gamma h_0 + \frac{1}{2} \gamma_a (h_1 + h_2)] +$$

$$\frac{1}{2} h_2^2 (\gamma' + \gamma_w) + \gamma h_1 (\frac{1}{2} h_1 + h_2)]$$

$$T = \frac{1}{2} b^2 [\gamma h_0 + \gamma_a (h_1 + h_2)]$$

对于填土面水平,墙顶和填土面上无均布荷载的情况,可令以上各式中的当量高度  $h_0 = 0$ . 笔者在长期设计工作中,通过对有无荷载情况的计算发现,这两个条件下各作用力合力在基底作用点的偏心距相同.

## 2 简易计算法

根据上述挡土墙受力情况,其稳定和强度的三个验算条件如下:

a. 抗倾覆稳定验算.

$$\frac{M_G}{M_p} = \frac{Wm^2 + Sm + T}{Cm^2 + Dm + E} \geq K_T \quad (5)$$

b. 基底抗滑稳定验算.

$$f \sum G / \sum P = f(Am + B) / \sum P \geq K_f$$

即  $m \geq \frac{K_f \sum P - fB}{fA} \quad (6)$

式中:  $f$  为挡土墙基底浆砌石与地基土之间的摩擦系数.

c. 地基应力验算.

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum G}{b'} (1 + \frac{6e}{b'}) \quad (7)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\sum G}{b'} (1 - \frac{6e}{b'})$$

式中:  $b' = b + m(h_1 + h_2)$  为挡土墙底部宽度;  $e$  为作用于基底合力的偏心距. 其控制条件为: ①最小地基应力  $\sigma_{\min} \geq 0$ , 即  $e \leq b'/6$ ; ②砂土地基大小应力比  $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} = 1.5 \sim 2.0$ , 即  $e \leq (1/30 \sim 1/18)b'$ ; ③粘性土地基应力比  $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} = 1.2 \sim 1.5$ , 即  $e = (1/66 \sim 1/30)b'$ .

将三个条件合并成

$$e = \frac{b'}{2} - \frac{M_G - M_p}{\sum G} \leq xb'$$

$$x = \frac{1}{66} \sim \frac{1}{6}$$

现令:  $b'/2 - (M_G - M_p)/\sum G = xb'$ , 将  $b'$ ,  $M_p$ ,  $M_G$  及  $\sum G$  的表达式代入, 可得一元二次方程式

$$Fm^2 + Qm + R = 0 \quad (8)$$

式中:

$$F = A(h_1 + h_2)(1 - 2x) + 2(C - W)$$

$$Q = (1 - 2x)[Ab + B(h_1 + h_2)] + 2(D - S)$$

$$R = Bb(1 - 2x) + 2(E - T)$$

由于式中  $A, B, C, D, E, W, S, T$  等系数均为已知值, 根据工程要求选择合适的  $x$  值, 然后代入式(8), 解此一元二次方程即可求出满足地基应力条件的  $m$  值. 将此  $m$  值与式(6)求出的  $m$  值相比, 取其大者即为最安全经济的挡土墙墙背边坡系数. 然后再代入式(5)校核其抗倾覆条件, 由于重力式挡土墙自重很大, 一般其抗倾覆安全系数均大大超过允许值,  $m$  主要由抗滑和地基应力条件所控制.

(下转第68页)

### 3 系统主要技术特点

a. 这是一个集海洋、气象、水文于一体的综合自动化监控系统.从功能上看,该系统既具有防汛、防风功能,又具有保证供水质量及排污等功能.从技术领域来看,传感器包括海洋、气象和水文三种仪器,同时还涉及计算机、自动控制以及有线和无线通信等方面的技术.因此,系统规模虽不大,但确实是一个多功能、适用性强的综合性自动化监控系统.

b. 系统闸控部分采用当今世界上流行的集散分布式自控系统.系统分两个层次,一为中心管理级,二为现场控制级.中心管理级由中心站计算机统一管理,对现场控制级(闸控站)进行自动监视、数据记录保存(即状态报告)、下达控制指令及人机界面操作等.而现场控制级则采用分布式控制.所谓分布式控制就是9个闸门分别由9个各自独立的CPU管理.每个CPU管理自身闸门的输入采集、输出控制,以及与中心级计算机的通讯,并独自完成自身闸门的监测、控制及通讯.因此,采用分布式控制具有无可比拟的可靠性、灵活性和自主性.系统不会因为一个局部故障而导致整个系统的崩溃.

c. 采用适用性强的遥测数传仪,其突出的特点是:①兼容海洋、气象和水文各参数;②具有多种通信接口(超短波通讯接口、标准有线RS-485接口以及与通信卫星小站连接的接口);③具有多种故障自检的功能,端机在受到外部或电源干扰而引起系统数据破坏后,能自动恢复.

d. 一体化的闸控终端板.系统闸门现场控制采用分布式控制,每个闸门都由一个一体化的闸控终端板管理,其主要特点是:①每个终端板均是一个高度自主、能独立运行的高可靠子系统.其本身具有CPU、输入接口、输出接口、通讯接口和电源等.每个闸门终端都能独立地完成中心站分配给本闸门的任务,为此对整个系统来说,做到了控制功能分散,负

载分散,从而分散了系统的危险,大大提高了系统的可靠性,一个终端发生故障,不致影响其它终端.

②每个闸控终端板与中心管理级计算机均采用标准的RS-485通信接口,它们之间通过RS-485高速传送各自闸位、电压、电流及运行状态等信息,互不干扰地协调工作,以完成本系统的总体功能和要求.并采用了实时性强、安全可靠的工控局部网络,使本系统信息共享.③灵活的工作方式及多重保护.闸控终端板既能接收中心管理计算机控制,按其要求进行工作,又可在现场直接进行所管闸门的监测及控制.同时在闸门自控运行过程中,具有多重强电弱电保护措施.④安全可靠的设计.闸控终端板采用高可靠性的CPU.输入、输出接口全部带有全隔离的光电隔离器,能有效地防止外部传感器带来的电磁干扰,以及强电控制器在启动及切断时产生的强电磁干扰.通讯RS-485口采用了抗雷击芯片,并通过光电隔离,以防止通讯长线上的外部干扰及雷电干扰.闸控终端板采用规范化的浮地技术,使得本终端不与外部设备有直接的电气连接,最大限度地减少了共模电压的干扰.为防止闸门启闭中大电流、高电压的电磁干扰,在电路板及输入、输出线的排列走线上考虑到电磁兼容,以进一步提高系统的抗干扰水平.

e. 选用高可靠性的先进传感器.我们分别选择了在海洋、气象、水文仪器上国家级的研究所研制的产品.

### 4 结 语

本系统投入运行后,在水质管理、防汛、防台风、水资源利用方面取得了较大的经济效益和社会效益,大大减轻了原来靠人工测量含盐量及开、关闸门的劳动强度,大大提高了工作效率,确保了人身安全和供水水质,并为迅速、及时、准确地作出防汛、防台风预报提供了科学的依据.

(收稿日期:1997-12-02 编辑:张志琴)

(上接第57页)

本文的简易算法与试算法相比,笔者曾在喇叭河、白泥沟和芒东小河等13个工种的设计中,对123座挡土墙和提沙坝断面做过定型分析46次,用试算法需时约40h,而采用本法仅需3.5h即可设计出经济断面,可提高效率约12倍.

### 3 结 语

a. 本文所讨论的挡土墙受力情况属于工程常规的情况,其墙后填土压力用简化的朗肯理论计算,算出的主动土压力值要比用库伦理论算出的大.但由于还有如地震力、冰压力等特殊荷载未予考虑,从预留适当的安全度出发,用朗肯理论计算土压力还是合适的.

b. 在水电站压力前池及一般闸涵设计中,其护坦板刚度较大,且都是对称布置的挡土墙,因而不存在沿基底滑动问题.因此,仅需考虑地基应力条件,即式(8)中 $\alpha$ 可取1/6.

c. 本文仅研究了填土为非粘性土,断面型式如图1所示的挡土墙,若挡土墙断面型式及受力条件不符,可假定墙背边坡系数 $m$ 为未知数,采用同样的方法计算 $\sum P$ ,  $\sum G$ 及 $M_p$ ,  $M_G$ ,求出不同的 $A$ ,  $B$ ,  $C$ 等系数,然后用控制条件式(6)和式(8)求得合适的 $m$ 值.

### 参考文献

- 1 华东水利学院等编.水工钢筋混凝土结构 下册.北京:水利电力出版社,1975

(收稿日期:1997-1-21 编辑:张志琴)