论宽缝重力坝应力分析

兰仁烈

（水电部成都勘测设计院）

宽缝重力坝除具备有重力坝的优点外，还可以节省大量混凝土，减低坝体扬压力，并有利于坝体散热等优点，国内外有不少大中型电站和水库采用此种坝型。

由于边界条件复杂，其应力分析的精确解相当繁琐，故当前多采用材料力学原理的计算方法，我们又称作“宽缝重力坝的分段分析法”。此法一般分为上、中、下三段成工字型加以分析。由于分段内的应力存在差异，形成了三个分段方程式。

本文所提出的计算方法，是在已有参考文献〔1〕的基础上，推导出较简单的直解算式，避免了含有多导数的关系式，并将几何尺寸代入即可得出所求的应力常数。由于计算式内不存在简化条件，计算精度亦相对较高。

这里只介绍到应力为止。各种应力求出后渐变段处应力的处理与参考书〔1〕相同，故不赘述。

（一）符 号

算式中所用符号与实体重力坝及宽缝重力坝的常用符号基本一致，其几何尺寸如图1所示（本文取单宽计算），其计算符号如下：

T_u——断面重心至上游面的距离；

T_d——断面重心至下游面的距离 $=\left[\left(t_d^2-t_u^2\right)+Kt_m^2+2\left(Kt_dt_m+t_uT\right)\right]/2F$；

F——水平断面面积 $=\left(t_u+t_d\right)+Kt_m$；

I——断面对其重心的惯性矩 $=\left(t_u^3+Kt_m^3+t_d^3\right)/12+t_u\left(T_u-t_u/2\right)^2$

$$+t_d\left(T_d-t_d/2\right)^2+Kt_m\left(T_d-t_d-t_m/2\right)^2;$$

$K=B_1/B$；

$K_1=1-K$；

B——坝段上、下游面的总宽度；

B_1——坝段在宽缝处的宽度；

σy——垂直正应力；

τ_u、τ_m、τ_d——上、中、下三段剪应力；

σ_{xu}、σ_{xm}、σ_{xd}——上、中、下三段水平正应力；

σ_{YU}，σ_{YD}——上、下游坝面垂直正应力；

τ_U，τ_D——上、下游坝面剪应力；

σ_{XU}，σ_{XD}——上、下游坝面水平正[illegible]

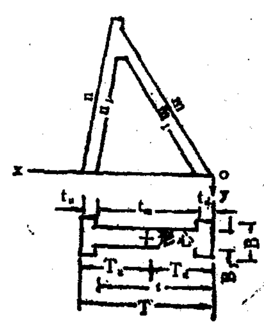

图 1

σ_{ydu}，σ_{ymd}，σ_{ymu}，σ_{yud}——下、中、上三段在衔接处的垂直正应力。右下角第一字母指坐标，第二字母指段，第三字母指面。例如：σ_{ydu}系指y方向下段上游面的垂直正应力。由于垂直正应力假定呈直线变化，故$\sigma_{ydu}=\sigma_{ymd}$，$\sigma_{ymu}=\sigma_{yud}$。

τ_{du}、τ_{md}、τ_{mu}、τ_{ud}——下、中、上三段在衔接处的剪应力。右下角第一字母为段，第二字母为面，例如：τ_{md}系指中段下游面的剪应力。

σ_{xdu}、σ_{xmd}、σ_{xmu}、σ_{xud}——下、中、上三段在衔接处的水平正应力。角标含义同垂直正应力。

水平力以指向上游者为正，力矩则以引起上游面压力者为正。剪应力正负，以图2所示。

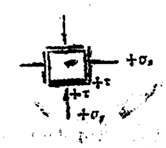

图 2

注：↑τ为↑τ_{yx}；←τ为τ_{xy}

（二）应力分析公式

我们知道在宽缝重力坝的应力分析中可采用与重力坝同样的基本假定进行分析。宽缝重力坝一般取一个坝段进行计算。此坝段严格说虽为三向问题，但是在计算方法上仍视为平面问题考虑，故可取单宽计算（以坝段除以总宽度），这样就大大简化了计算工作，其精度仍可满足要求。

由于本法和重力坝的分析原理基本相同，主要工作量是解求应力常数，应力常数解决了，其他可随之解决。

但是，宽缝重力坝的边界条件复杂，精确的解法中，垂直正应力的应力常数有6个，剪应力有9个，水平正应力有12个，要解决这些常数有很大的困难。因此必须在不影响精度的要求下，采取一些适当步骤加以处理才能解决。本法主要采用有下例几点：

第一、假定垂直正应力从上游面至下游面成直线变化。这个假定对应力影响甚微，但是给公式的简化却带来很多好处。例如垂直正应力的应力常数，由6个减少到2个，剪应力由9个减少到5个，水平正应力则由12个减少到8个，因此，对应力常数的求解，减少了较多的工作量。

第二、找出解决应力常数的条件，在此主要采用以下两点：

1．各分段之间的平衡条件；

2．坝体上、下游面间的边界条件。

第三、推导应力常数计算式：

剪应力有a_{1d}，a_{1m}，a_{1u}，b_1，c_1五个常数。其中$a_{1d}=\tau_D$，系边界应力可以直接求出，另外四个应力常数中，先把a_{1m}，a_{1u}化为a_{1d}，b_1，c_1的函数，通过平衡条件解出b_1，c_1，然后再代入a_{1m}，a_{1u}的函数式求出a_{1m}，a_{1u}。

水平正应力与剪应力相同，但其应力常数有8个（a_{2d}，a_{2m}，a_{2u}，b_{2d}，b_{2m}，b_{2u}，c_2，d_2）。其中，$a_{2d}=\sigma_{XD}$从边界应力可直接求出，实际要解决的有7个。在此先把a_{2m}，a_{2u}，化为b_{2d}，b_{2m}，b_{2u}，c_2，d_2的函数，待其值求出后再代入a_{2m}，a_{2u}函数式求其值。解b_{2u}，b_{2m}，c_2，d_2等常数主要采用平衡条件及b_1，c_1间的关系式。最后解一个四元一次方程式求出。

下边就分别叙述这些常数的求法和计算式。

1．垂直正应力　由于假定 σ_Y 呈直线分布，其公式即为材料力学弯曲受压公式：

$$\sigma_Y = a + bx \qquad (1)$$

式中　$a = \sum M/F - \sum MT_d/I$；

$b = \sum M/I$；

a 为下游坝面边缘应力 σ_{YD}。

2．剪应力 τ　由于剪应力在分段内呈二次抛物线变化，在分段内由应力常数组成的方程式：

上游段　$$\tau_u = a_{1u} + b_1x + c_1x^2 \qquad (2)$$

中游段　$$\tau_m = a_{1m} + b_1x + c_1x^2 \qquad (3)$$

下游段　$$\tau_d = a_{1d} + d_1x + c_1x^2 \qquad (4)$$

在（2）～（4）式内，其应力常数除第一项不同外，其他两项均相同。共有 a_{1d}，a_{1m}，a_{1u}，b_1，c_1 五个应力常数需要解决。我们知道 $a_{1d} = \tau_D$，系边界应力可直接求出，其他四个可用边界条件及平衡条件求出。

边界条件：

① $x = 0$，$a_{1d} = \tau_D = (\sigma_{YD} - P' + P'_Y)\, m$

② $x = T$，$\tau_U = (P + P_Y + \sigma_{YU})\, n$

$\tau_U = a_{1u} + b_1T + c_1T^2$

平衡条件：

① $x = t_d$ 处，见图 3（a）

$m_1\sigma_{ydu} + \tau_{md}K = \tau_{du} + Km_1\sigma_{ydu}$

② $x = t = t_d + t_m$ 处，见图 3（b）

$\tau_{ud} + n_1\sigma_{ymu} = \tau_{mu}K + Kn_1\sigma_{ymu}$

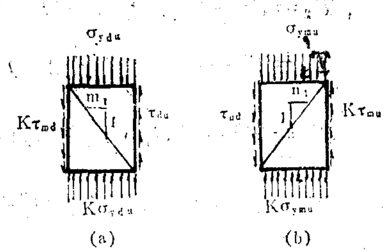

图 3

③在整个水平截面下，全部剪应力应与水平荷载相平衡。

因而当 $x = t_d$ 时，得出 τ_{du} 及 τ_{md}，代入平衡条件①化简得：

$$a_{1m} = a_{1d} + \frac{K_1}{K}\left[(a_{1d} + b_1t_d + c_1t_d^2) - m_1(a + bt_d)\right] \qquad (5)$$

当 $x = t_d + t_m$ 时，得出 τ_{mu} 及 τ_{ud} 代入平衡条件②，并将（5）式 a_{1m} 代入化简后得：

$$a_{1u} = a_{1d} - K_1t_m[b_1 + c_1(2t_d + t_m)] - K_1[(m_1 + n_1)(a + bt_d) + n_1bt_m] \qquad (6)$$

文因　$$a_{1u} = \tau_U - b_1T - c_1T^2 \qquad (7)$$

令（6）＝（7）得：　$$b_1T_1 + c_1T'_2 - S_1 = \tau_U - \tau_D \qquad (8)$$

利用平衡条件③得（见文献〔1〕（8～39）式：

$$(a_{1d}t_d+Ka_{1m}t_m+a_{1u}t_u)+\frac{1}{2}b_1[t_d^2+K(t^2-t_d^2)+(T^2-t^2)]$$

$$+\frac{1}{3}c_1[t_d^3+K(t^3-t_d^3)+(T^3-t^3)]=-\Sigma V \qquad (9)$$

将 a_{1d}，a_{1m}，a_{1u} 各代入其内整理化简后得：

$$a_1dT+\frac{1}{2}b_1T_2+\frac{1}{3}c_1T_3-S_2=-\Sigma V \qquad (10)$$

（8）及（10）式即为解求 b_1，c_1的主要公式，式中 ΣV为水平水压力。解（8），（10）二式得：

$$c_1=\frac{6TT_1[(S_2-\Sigma V)/T-\tau_D]-3(\tau_U-\tau_D+S_1)T_2}{2T_3T_1-3T_2T_2'} \qquad (11)$$

$$b_1=\frac{\tau_U-\tau_D+S_1}{T_1}-\frac{T_2'}{T_1}\cdot\frac{6TT_1[(S_2-\Sigma V)/T-\tau_D]-3(\tau_U-\tau_D+S_1)T_2}{2T_3T_1-3T_2T_2'} \qquad (12)$$

或

$$b_1=(\tau_U-\tau_D+S_1-c_1T_2')/T_1 \qquad (13)$$

式中　T——断面总厚度；

$T_1=T-K_1t_m$；

$T_2=T^2-K_1t_m(t_m+2t_u)$；

$T_2'=T^2-K_1t_m(t_m+2t_d)$；

$T_3=T^3-K_1t_m(t_m^2+3t_mt_d+3t_ut_m+6t_ut_d)$；

$T_3'=T^3-K_1t_m(t_m^2+3t_d^2+3t_mt_d)$

$S_1=K_1[(m_1+n_1)(a+bt_d)+n_1bt_m]$；

$S_2=t_uS_1+K_1t_mm_1(a+bt_d)$。

将上列各种几何尺寸及 ΣV，S_1，S_2 代入（11）、（13）式，即可求出c_1，b_1。将 b_1，c_1 及 a_{1d} 代入（5）、（7）式，即可求出 a_{1m} 及 a_{1u}，从而五个常数全部解决。

将所得五种应力常数代入（2）～（4）式，并将其坐标值代入，即可求出任一点的剪应力。

3．水平正应力　水平正应力在分段内成三次抛物线变化。由应力常数组成的三个分段方程式：

上游段　　$\sigma_{xu}=a_{2u}+b_{2u}x+c_2x^2+d_2x^3$　　（14）

中游段　　$\sigma_{xm}=a_{2m}+b_{2m}x+c_2x^2+d_2x_3$　　（15）

下游段　　$\sigma_{xd}=a_{2d}+b_{2d}x+c_2x^2+d_2x^3$　　（16）

从（14）～（16）式可以看出，除 c_2，d_2 相同外，其他 6 个均不同。但是，已知 a_{2d} 是边界应力，仍可直接求出，只有 7 个应力常数需要解决。我们解决这 7 个常数除 a_{2m}，a_{2u} 化为 d_{2d}，b_{2d}，b_{2m}，c_2，d_2 的待定函数求解之外，其他可利用边界条件、平衡条件及求导数的方法，然后以一个四元一次方程求解。

边界条件：

①在 $x=0$ 处

$$a_{2d}=\sigma_{XD}=P'-P_Y'+\tau_{Dm}$$

②在 $x=T$ 处

$$\sigma_{XU}=P+P_Y-\tau_U n$$

$$\sigma_{XU}=a_{2u}+b_{2u}T+c_2T^2+d_2T^3$$

平衡条件：

①在 $x=t_d$ 处

$\sigma_{xdu}+Km_1\tau_{md}=K\sigma_{xmd}+m_1\tau_{du}$

参见图 4（a）

②在 $x=t=t_d+t_m$ 处

$\sigma_{xud}+n_1\tau_{ud}=K\sigma_{xmd}+Kn_1\tau_{mu}$

见图 4（b）

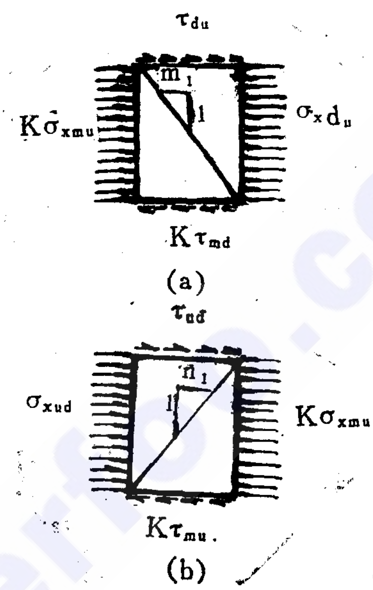

图 4

当 $x=t_d$ 时，我们得出 σ_{xdu} 及 σ_{xmd}，将其代入平衡条件①化简后得：

$$a_{2m}=\frac{1}{K}\left[a_2{}^d+(b_{2d}-b_{2m}K)t_d+K_1\left(c_2t_d^2+d_2t_d^3\right)\right]$$

$$-\frac{1}{K}m_1\left(\tau_{du}-K\tau_{md}\right) \qquad (17)$$

或

$$a_{2m}=\frac{1}{K}\left[a_{2d}+(b_{2d}-Kb_{2m})t_d+K_1\left(c_2t_d^2+d_2t_d^3\right)\right]$$

$$-m_1\frac{1}{K}\left[a_{1d}-Ka_{1m}+K_1\left(b_1t_d+c_1t_d^2\right)\right] \qquad (18)$$

当 $x=t=t_m+t_d$ 时，我们得出 σ_{xmu} 及 σ_{xud} 代入平衡条件②，并将 a_{2m} 关系式代入化简后得：

$$a_{2u}=a_{2d}+b_{2d}t_d+Kb_{2m}t_m+b_{2u}t_u-b_{2u}T-K_1t_m\left[c_2T+d_2\left(3t_d^2+3t_mt_d+t_m^2\right)\right]$$

$$+n_1\left(K\tau_{mu}-\tau_{ud}\right)-m_1\left(\tau_{du}-K\tau_{md}\right) \qquad (19)$$

又知　$a_{2u}=\sigma_{XU}-b_{2u}T-c_2T^2-d_2T^3$　　（20）

令　（19）=（20）整理化简后得：

$$b_{2d}t_d+Kb_{2m}t_m+b_{2u}t_u+c_2T_2'+d_3T_3'+Q=\sigma_{XU}-\sigma_{XD} \qquad (21)$$

式中 $$Q=n_1(K\tau_{mu}-K\tau_{ud})-m_1(\tau_{du}-K\tau_{md}) \quad (22)$$

我们又知 b_{2d}，b_{2m}，b_{2u} 有下列关系式：

$$b_{2d}=b_1m+\partial a_{1d}/\partial y-\lambda W_C \quad (23)$$

$$b_{2m}=b_1m+\partial a_{1m}/\partial y-\lambda W_C \quad (24)$$

$$b_{2u}=b_1m+\partial a_{1u}/\partial y-\lambda W_C \quad (25)$$

我们将 a_{1d} 以及(5),(6)式对 y 求导数,并以 $\partial a/\partial y=b_1-bm+Wc$，$\partial/\partial y=2c_1$，$\partial a_1/\partial y=b_2-b_1m+\lambda Wc$，$\partial b_1/\partial y=2c_2-2c_1m$，$\partial c_1/\partial y=3d_2$，以及$\partial t_d/\partial y=m-m_1$，$\partial t_m/\partial y=m_1+n_1$，$\partial T/\partial y=m+n$ 代入(23)～(25)式内，经过整理化简得：

$$b_{2d}=(2b_1-bm+W_C+W_w^*+\partial P_Y'/\partial y)m-\lambda W_C+(\sigma_{YD}-P'+P_Y')\frac{\partial m}{\partial y} \quad (26)$$

$$Kb_{2m}-2K_1t_dc_2-3K_1t_d^2d_2=b_{2d}-K_1G_1 \quad (27)$$

$$b_{2u}+2K_1t_mc_2+3T'^2d_2=b_{2d}-K_1G_2 \quad (28)$$

我们又利用(6)式对 y 求导数得：

$$\partial a_{1u}/\partial y=b_{2d}-b_{1m}+\lambda W_C-2K_1t_mc_2-3K_1t_m(2t_d+t_m)d_2-K_1(m_1+n_1)[4c_1t_d+2b_1+b(n_1-m_1)+W_c]-4K_1n_1t_dc_1 \quad (29)$$

再用(7)式对 y 求导数得：

$$\partial a_{1u}/\partial y=b_u-2c_2T-3d_2T^2-b_1m \quad (30)$$

令(29)＝(30)式整理化简得：

$$b_{2d}+2T_1c_2+3T_2'd_2=b_u+K_1G_2 \quad (31)$$

式中 Wc——混凝土容重；

W_w^*——水容重，下游坝面无水时去掉，此时$\partial P_Y'/\partial y$亦为零。

λ——地震系数，一般取0.1。

$$b_u=-(4c_1T+2b_1+bn+W_C-W_w^{**}-\partial P_Y/\partial y)n-\lambda W_C-(\sigma_{YU}-P-P_Y)\partial n/\partial y \quad (32)$$

W_w^{**}——水容重，上游坝面无水时去掉，此时$\partial P_Y/\partial y$亦为零。

$$G_1=m_1[4c_1t_d+2b_1-bm_1+W_C(1-\lambda/m_1)] \quad (33)$$

$$G_2=(m_1+n_1)[4c_1t_d+2b_1+b(n_1-m_1)+W_c]+4n_1t_mc_1 \tag{34}$$

$T'^2=T^2-T_2'$。其它见前。

上列（21），（26），（27），（28），（31）就是欲求解应力常数的公式。在这些公式中我们发现 b_{2d}，b_u，G_1，G_2 等各式内，由于其常数均在剪应力式内解决，故均可作已知数看待，这样 b_{2u}，b_{2m}，c_2，d_2 可用（21），（27），（28），（31）式求出，经过整理求此四值的四元一次方程式为：

$$Kb_{2m}-2K_1t_dc_2-3K_1t_d^2d_2=b_{2d}-K_1G_1 \tag{35}$$

$$b_{2u}+2K_1t_mc_2+3T'^2d_2=b_{2d}-K_1G_2 \tag{36}$$

$$2T_1c_2+3T_2'd_2=b_u-b_{2d}+K_1G_2 \tag{37}$$

$$Kt_mb_{2m}+t_ub_{2u}+T_2'c_2+T_3'd_2=\sigma_{XU}-\sigma_{XD}-b_{2d}t_d-Q \tag{38}$$

式中等号右边各项均可作为已知项求出，再将几何尺寸代入即可求解方程。当 b_{2m}，b_{2u}，c_2，d_2 求出后代入（17）式或（18）式即可求出 a_{2m}。代入（20）式即可求出 a_{2u}。这样所求的应力常数即全部解决。

将所求得的应力常数各代入（14）～（16）式并将其坐标值代入即可得出任一点的水平正应力。

【1】例　设宽缝重力坝的断面与各种尺寸及荷载如图5，试用本法计算其应力。

1．垂直正应力 σ_y，按偏心受压公式计算，若已知：

$\Sigma W=9744$吨；

$\Sigma M=-29466.65$吨-米；

$\Sigma V=-5000$吨；

$F=68$米²；

$I=39066.65$米⁴；

$a=\Sigma W/F-\Sigma M\cdot Td/I=173.46$；

$b=\Sigma M/I=-0.7543$。

故得　$\sigma_y=a+bx=173.46-0.7543x$、

将其坐标计算点代入计算式，得其结果见表1。

2．剪应力 τ，可按下列步骤计算。

（1）通过边界应力计算式得：

上游　$n=0$　故 $\tau_U=0$；

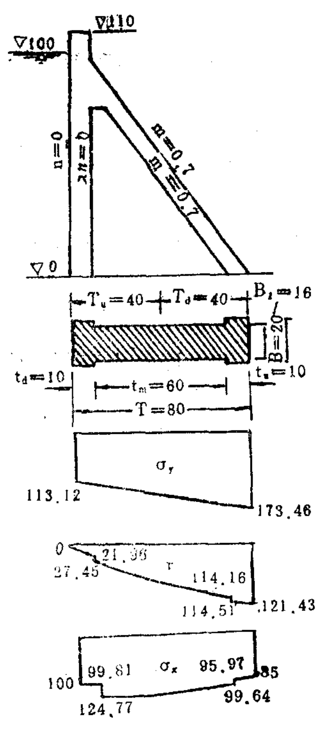

图 5

注：1）图中长度以米计，应力以吨/米²计；2）图中td与tu位置互换

下游 $m=0.7$ 故 $\tau_D=(\sigma_{YD}-P'+P_Y')m=173.46\times0.7=121.4255$

(2)计算以下各值：

$K=0.8,\ K_1=0.2,\ T=80,\ T_1=68,\ T_2=T_2'=5440,$

$T_3=418400,\qquad T_3'=443600;$

$S_1=K_1[m_1(a+bt_d)+0]=23.2284;$

$S_2=t_uS_1+K_1t_mm_1(a+bt_d)=1626.00;$

(3)将2所得之值各代入(11)，(13)式得：

$$c_1=\frac{6TT_1[(S_2-\Sigma V)/T-\tau_D]-3(\tau_U-\tau_D+S_1)T_2}{2T_3T_1-3T_2T_2'}=-0.01075$$

$b_1=(\tau_U-\tau_D+S_1-c_1T_2')/T_1=-0.5841$.

(4)将 $a_{1d}(\tau_D)$ 及 b_1，c_1 之值各代入式(5)，(7)得：

$a_{1m}=a_{1d}+\frac{K_1}{K}[a_{1d}+b_1t_d+c_1t_d^2)-m_1(a+bt_d)]=121.017$;

$a_{1u}=\tau_U-b_1T-c_1T^2=115.528$.

(5)列出分段剪应力计算方程为：

上游段 $\tau_u=115.528-0.5841x-0.01075x^2$;
中游段 $\tau_m=121.017-0.5841x-0.01075x^2$;
下游段 $\tau_d=121.4255-0.5841x-0.01075x^2$。

将其坐标计算点代入计算式内，得其结果见表1。

3．水平正应力 σ_X，可按下列步骤计算

(1)计算上下游边界水平正应力 σ_{XU}，σ_{XD} 及以下各值：

$\sigma_{XU}=P+P_Y-\tau_Un=100$;

$\sigma_{XD}=P'-P_Y'+\tau_Dm=85$;

$$b_{2d}=(2b_1-bm+W_c-W^*+\partial P_y'/\partial y)m-\lambda W_c+(\sigma_{YD}-P'+P_Y')\partial m/\partial y$$

$$=[2\times-0.5841-(-0.7543\times0.7)+2.4]\times0.7$$

$$=1.23187$$

由于 $n=n_1=0$ 故 $b_u=0$;

$$G_1=G_2=m_1(4c_1t_d+2b_1-bm_1+W_c)=0.930867;$$

$$Q=-m_1((a_{1d}-Ka_{1m})+K_1t_d(b_1+c_1t_d))=-16.26。$$

（2）将1所求之值，以及断面尺寸代入后即可列出四元一次方程式：

$$0.8b_{2m}-4c_2-60d_2=1.04570;$$

$$b_{2u}+24c_2+2880d_2=1.04570;$$

$$136c_2+16320d_2=-1.04570;$$

$$48b_{2m}+10b_{2u}+5440c_2+443600d_2=18.9411。$$

解上列方程得：

$$b_{2m}=1.24084;$$

$$b_{2u}=1.230236;$$

$$c_2=-0.014052;$$

$$d_2=0.0^4 53026。$$

（3）将 b_{2d}，b_{2m}，c_2，d_2 代入（17）式得：

$$a_{2m}=\frac{1}{K}\left(a_{2d}+(b_{2d}-Kb_{2m})t_d+K_1(c_2t_d^2+d_2t_d^3)\right)-\frac{1}{K}m_1(\tau_{du}-K\tau_{md})=88.5763。$$

再代入（20）式得：

$$a_{2u}=\sigma_{XU}-b_{2u}T-c_2T^2-d_2T^3=64.3643。$$

（4）将所求之应力常数列出分段方程：

上游段　　$\sigma_{xu}=64.3643+1.23024x-0.014052x^2+0.0^4 53026x^3$；

中游段　　$\sigma_{xm}=88.5763+1.24084x-0.014052x^2+0.0^4 53026x^3$；

下游段　　$\sigma_{xd}=85.00+1.23187x-0.014052x^2+0.0^4 53026x^3$。

将其计算点坐标值代入后，得其应力如表1。

表1　应力计算成果表

应力 \ 坐标 x	0	10	20	30	40	50	60	70	80
垂直正应力 σy	173.46 (173.46)	165.92 (165.92)	158.37 (158.37)	150.83 (150.83)	143.28 (143.28)	135.74 (135.74)	128.00 (128.00)	120.67 (120.67)	113.12 (113.12)
剪应力 τ	121.43 (121.43)	114.16 (114.11) / 114.51 (114.52)	105.04 (105.05)	93.82 (93.83)	80.45 (80.46)	64.94 (64.93)	47.27 (47.25)	27.45 27.42) / 21.96 (21.92)	0 (0)
水平正应力 $6x$	85.00 (85.00)	99.63 (99.61) / 95.9 (95.97)	108.20 (108.21)	114.59 (114.60)	119.12 (119.14)	122.12 (122.13)	123.89 (123.90)	124.77 124.77 / 99.81 (99.87)	100 (100)

以上数值经代入平衡条件校核均满足要求。表1中括号内数字系参考书〔1〕介绍的方法所得计算结果。

【例2】设宽缝重力坝断面及其荷载和断面尺寸均如图6所示，求在水压力作用下两

种方法的应力成果。

若定上游面坡度为0.44，下游面坡度为0.68。宽缝衔接处上游面坡度为0.2，下游面坡度为0.68。

按原法计算，令$n=n_1=0.44$，得已知条件：

$\Sigma W=360.8$ 吨，

$\Sigma M=-15282.66$吨-米；

$F=45.44$米^2；

$I=10826.85$米^4；

$T_u=25.3$米，$T_d=26$米；

$\Sigma V=-1319.4$吨。

按新法计算，令$n=0.44$，$n_1=0.2$得已知条件：

$\Sigma W=360.8$吨；　　$\Sigma M=-15282.66$吨-米；

$F=46.3$米^2；

$I=10935.18$米^4；　　$T_u=25.3$米；

$T_d=26$米；　　$\Sigma V=-1319.4$吨。

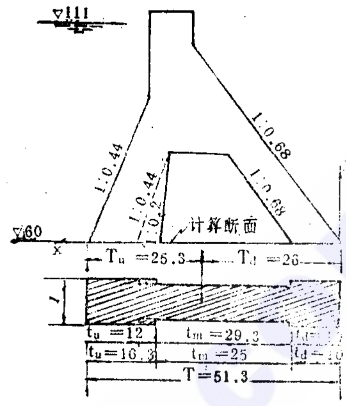

图　6

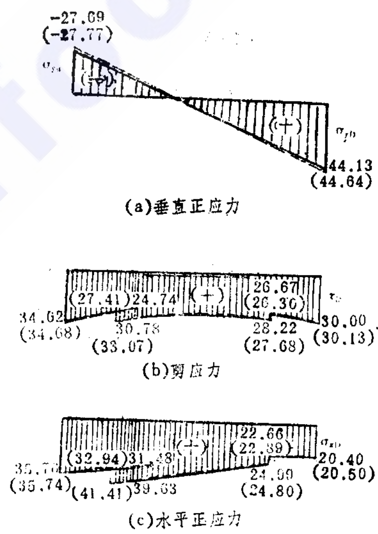

图　7

上列数中除F及I略有变化外，其他没有大的改变，经代入两种方法的公式的计算结果，得垂直正应力σ_y，剪应力τ，水平正应力σ_x的变化曲线如图7（a）、（b）、（c）。图内实线为新法求的结果；虚线为原法求的结果；括号内数字为原法所求结果，其他为新法所求结果。

从两者的计算结果看，除上游宽缝衔接处有不同外，其他部位很接近。由于本例假定$m=m_1$，荷载中仅考虑了水压力的作用，包括自重的影响均未考虑在内，故实例的代表性仍比较局限，尚未能完全反映出全部问题。但是由于新法没有简化，因而可以肯定其精度要比原法高，计算工作量也有所减少。

参 考 文 献

〔1〕潘家铮：《重力坝的设计和计算》，中国工业出版社，1965年。

〔2〕汪景琦：大头坝及宽缝重力坝应力分析，《人民长江》，1959年1期。

〔3〕水利电力部：《混凝土重力坝设计规范》SDJ21-78（试行），水利电力出版社，1979年9月。

〔4〕宽缝重力坝的应力分析计算方法，意大利《电力工程杂志》，1961年3期。

〔5〕兰仁烈：关于重力坝的应力分析问题，《四川水利》，1983年1期。

〔6〕U. S. Bureau of Reclamation Treatise on Dams, Chapter 9, Gravity Dams.