水力发电建设技术经验专题报导

水利电力部上海勘测設計院

橢圓孔口应力集中計算

科技卫生出版社

內 容 提 要

本书論述橢圓形孔口的应力計算公式、計算步驟，附有一套完整的曲綫图，簡化計算。

水力发电建設技术經驗专題报导

橢圓孔口应力集中計算

編者 水利电力部上海勘測設計院

*

科技卫生出版社出版

（上海南京西路2004号）

上海市书刊出版业营业許可証出093号

中华书局上海印刷厂印刷 新华书店上海发行所总經售

*

开本787×1092耗1/27 印張14/27 字数17,000

1958年12月第1版 1958年12月第1次印刷

印数1—2,000

統一书号：15119·1084

定价：(9) 0.14元

計算：新安江水电站工程設計代表組
整理：蔡济人 潘家錚
审查：潘家錚

水力发电建設
技术經驗專題报导

滬技0059号
1958年11月

橢圓孔口应力集中計算

目 录

一. 概　　述

在重力坝和其他水工建筑物中往往要布置各种廊道和井洞。当这些孔口的面积远比坝体为小时，则孔洞的存在只使孔口附近的坝体应力发生重分布。为了尽量改善孔口边緣的应力集中现象，应該选擇有利的孔口形式。众所周知，圓形或橢圓形孔口所产生的坝体应力重分布现象和应力集中情况比方形孔口为好，因为方形孔口的角隅部分將产生很大的局部逾限应力。在实际工程中由于圓形孔口的适用范圍有一定限制，一般采用上圓下方的标准廊道断面。我們在設計中为了避免方形角隅处的应力集中，考慮先采用橢圓形廊道断面，然后再在下部进行局部回填，做成标准断面。这种做法，已在新安江工程中采用。这样，我們必須寻求橢圓形孔口的計算方法。按橢圓孔口計算要应用复变函数及保角变换方法，这些計算是較繁复的。为了这个原因，我們特地进行了大量計算，繪成一套完整的曲綫图，便于其他設計同志使用。

二. 用"幕斯黑列什維里"法計算孔口应力集中的基本公式

孔口应力集中計算，一般作为平面問題处理，以各向同性介質的彈性理論进行計算。这一方法的概念可以叙述如下。彈性理論平面問題的基本方程式(无体积力作用)，亦卽应力函数的重諧和方程 $\nabla^4 F=0$ 的一般性解答可以写为：

$$
\begin{aligned}
F &= \mathrm{Re}\{\bar{z}\phi_1(z)+\chi_1(z)\} \\
&= \frac{1}{2}\{\bar{z}\phi_1(z)+z\overline{\phi_1(z)}+\chi_1(z)+\overline{\chi_1(z)}\} \qquad (1)
\end{aligned}
$$

式中 z 是复变数，$z=x+iy$，$\phi_1(z)$ 及 $x_1(z)$ 是 z 的两个“可解析函数”，为复变函数，z 及 $\phi_1(z)$ 或 $x_1(z)$ 上加一横，表示共轭变数或共轭函数，如 $\bar{z}=x-iy$，而“Re”表示复变函数中的实数部分。

边界条件可以这样写：当孔口周边有外荷載 X_n 及 Y_n 作用时：

$$\left.\begin{aligned}\sigma_x\cos(n,x)+\tau_{xy}\cos(n,y)=X_n;\\ \tau_{xy}\cos(n,x)+\sigma_y\cos(n,y)=Y_n。\end{aligned}\right\}\tag{2}$$

將应力以应力函数表之，上述条件可以改写为：

$$\begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial x}+i\frac{\partial F}{\partial y}&=\varphi_1(z)+z\overline{\varphi_1'(z)}+\overline{\Psi_1(z)}\\ &=i\int_0^s(X_n+iY_n)ds+C\\ &=f_1+if_2+\text{常数}。\end{aligned}\tag{3}$$

式中 $\Psi_1(z)=\dfrac{dx_1}{dz}$。

因此，用复变函数解平面彈性問題方法可簡述如下：即找寻两个可解析的复变函数 $\varphi_1(z)$ 及 $x_1(z)$ [或 $\Psi_1(z)$]，使滿足方程式(3)的边界条件。找出这两个函数后，分应力可微分而得：

$$\sigma_x+\sigma_y=2[\varphi_1'(z)+\overline{\varphi'(z)}]=4\mathrm{Re}\varphi_1'(z);\tag{4}$$

$$\sigma_y-\sigma_x+2i\tau_{xy}=2[\bar{z}\varphi_1''(z)+\Psi_1'(z)]。\tag{5}$$

如采用极坐标系統，則用下式轉化：

$$z=x+iy=re^{i\theta},\tag{6}$$

而应力公式为：

$$\sigma_r+\sigma_\theta=4\mathrm{Re}\,\varphi_1'(z)=2[\varphi_1'(z)+\overline{\varphi_1'(z)}];\tag{7}$$

$$\sigma_\theta-\sigma_r+2i\tau_{r\theta}=2[\bar{z}\varphi_1''(z)+\Psi_1'(z)]e^{2i\theta};\tag{8}$$

$$\sigma_r-i\tau_{r\theta}=\varphi_1'(z)+\overline{\varphi_1'(z)}-e^{2i\theta}[\bar{z}\varphi_1''(z)+\Psi_1'(z)]。\tag{9}$$

对我們的問題而言，即在无穷平面中有一孔口，$\varphi_1(z)$ 及 $\Psi_1(z)$ 两函数可取下列形式：

$$\varphi_1(z)=-\frac{X+iY}{2\pi(1+\varkappa)}\ln z+(B+iC)z+\varphi_1^0(z), \qquad (10)$$

$$\Psi_1(z)=\frac{\varkappa(X-iY)}{2\pi(1+\varkappa)}\ln z+(B_1+iC_1)z+\Psi_1^0(z)。 \qquad (11)$$

式中 $\varphi_1^0(z)$及 $\Psi_1^0(z)$是两个无穷級数的函数:

$$\varphi_1^0(z)=a_0'+\frac{a_1'}{z}+\frac{a_2'}{z^2}+\cdots\cdots, \qquad (12)$$

$$\Psi_1^0(z)=b_0'+\frac{b_1'}{z}+\frac{b_2'}{z^2}+\cdots\cdots。 \qquad (13)$$

如孔口周边无外力时,式(10)、(11)的 $X=Y=0$。

系数 $B+iC$ 及 B_1+iC_1 由无穷远点的应力状态的条件确定。若无穷远点的应力組成部分以下列数值表示:

$$\sigma_x^\infty=p;\ \sigma_y^\infty=q;\ \tau_{xy}^\infty=t;$$

并均为常数,則

$$B=\frac{p+q}{4};\ B_1=-\frac{p-q}{2}\cos 2\alpha;\quad C_1=\frac{p-q}{2}\sin 2\alpha。 \qquad (14)$$

式中 α 为相当于 p 的应力狀态的主应力軸与 x 軸在无穷远处所交成的角。常数 C 与平面无穷远处部分的硬性轉动有关,但对应力的分布并无影响,故可置 $C=0$,常系数 a_0'、a_1'……,b_0'、b_1'……等需从边界条件中求得。

对于橢圓孔来講,为了应用"慕斯黑列什維氏法"的基本公式,还須进行一番变换工作,卽將这些孔变换为單位圓。設原坐标平面变数为 z,变换为新变数 ζ,其变换方程为:

$$z=\omega(\zeta)。 \qquad (15)$$

令

$$\varphi(\zeta)=\varphi_1(z); \qquad (16)$$

$$\Psi(\zeta)=\Psi_1(z); \qquad (17)$$

$$\varphi_1'(z)=\frac{d\varphi_1}{dz}=\frac{\varphi'(\zeta)}{\omega'(\zeta)}=\Phi(\zeta); \qquad (18)$$

$$\Psi_1'(z)=\frac{d\Psi_1}{dz}=\frac{\Psi'(\zeta)}{\omega'(\zeta)}=\Psi(\zeta); \tag{19}$$

则应力公式改为:

$$\sigma_\rho+\sigma_\theta=4\mathrm{Re}\varphi'(\zeta)=2[\Phi(\zeta)+\overline{\Phi(\zeta)}]; \tag{20}$$

$$\sigma_\theta-\sigma_\rho+2i\tau_{\rho\theta}=\frac{2\zeta^2}{\rho^2\overline{\omega'(\zeta)}}[\overline{\omega(\zeta)}\Phi'(\zeta)+\omega'(\zeta)\Psi(\zeta)] \tag{21}$$

或

$$\sigma_\rho-i\tau_{\rho\theta}=\Phi(\zeta)+\overline{\Phi(\zeta)}$$

$$-\frac{\zeta^2}{\rho^2\overline{\omega'(\zeta)}}[\overline{\omega(\zeta)}\Phi'(\zeta)+\omega'(\zeta)\Psi(\zeta)] \tag{22}$$

至于函数 $\varphi_1(z)$ 及 $\Psi_1(z)$ 將为:

$$\varphi(\zeta)=\varphi_1[\omega(\zeta)]=\frac{X+iY}{2\pi(1+x)}\ln\zeta+C\frac{B+iC}{\zeta}+\varphi_0(\zeta); \tag{23}$$

$$\Psi(\zeta)=\Psi_1[\omega(\zeta)]$$

$$=\frac{-x(X-iY)}{2\pi(1+x)}\ln\zeta+C\frac{B_1+iC_1}{\zeta}+\Psi_0(\zeta) \tag{24}$$

式中

$$\varphi_0(\zeta)=\sum_0^\infty a_n\zeta^n;\quad \Psi_0(\zeta)=\sum_0^\infty b_n\zeta^n。 \tag{25}$$

(25)式的无穷項系数 a_n 及 b_n 需由边界条件求得。

三 椭圓孔口的应力計算公式

根据沙文的著作，已經求出了位于均匀受拉場 p 中的椭圓孔外域的应力函数为

$$\varphi(\zeta)=\frac{pR}{4}\left[\frac{1}{\zeta}+(2e^{2i\alpha}-m)\zeta\right]; \tag{26}$$

$$\Psi(\zeta)=-\frac{pR}{2}\left[\frac{e^{-2i\alpha}}{\zeta}+\frac{\zeta^3e^{2i\alpha}+(me^{2i\alpha}-m^2-1)\zeta}{m\zeta^2-1}\right]。 \tag{27}$$

而椭圓孔口外域变换为單位圓形内域的变换函数为:

$$z=\omega(\zeta)=R\left(\frac{1}{\zeta}+m\zeta\right)。\tag{28}$$

应用以上解答，和第二节中的基本公式，即可求出各分应力公式。这些公式中的符号，再略加解释于下：

$\phi(\zeta)$、$\Psi(\zeta)$——应力函数；

ζ——复变数；

p——均匀拉力場强度；

R——椭圓平均軸長，$R=\dfrac{a+b}{2}$（a、b 为長短軸之半）；

α——長軸与拉力場方向的交角；

m——表示椭圓偏心率的比值，

$$m=\frac{a-b}{a+b},\quad \text{或令 } k=\frac{b}{a},\quad m=\frac{1-k}{1+k};\tag{29}$$

$\omega(\zeta)$——轉换函数；

z——單位圓平面上的复变数，

$$z=x+iy=re^{i\theta}。\tag{30}$$

下面，我們就可按照上节中的基本公式推求应力公式。

按此先推求下列各值：

$$\omega(\zeta)=R\left(\frac{1}{\zeta}+m\zeta\right);\tag{31}$$

$$\omega'(\zeta)=R\left(-\frac{1}{\zeta^2}+m\right);\tag{32}$$

$$\overline{\omega(\zeta)}=R\left(\frac{\zeta}{\rho^2}+m\frac{\rho^2}{\zeta}\right);\tag{33}$$

$$\overline{\omega'(\zeta)}=R\left(-\frac{\zeta^2}{\rho^4}+m\right);\tag{34}$$

$$\varphi_1'(\zeta)=\frac{pR}{4}\left[-\frac{1}{\zeta^2}+(2e^{2i\alpha}-m)\right];\tag{35}$$

$$\psi'(\zeta)=\frac{-pR}{2}\left\{-\frac{e^{-2i\alpha}}{\zeta^2}+\frac{(m\zeta^2-1)[3e^{2i\alpha}\zeta^2+(me^{2i\alpha}-m^2-1)]}{(m\zeta^2-1)^2}\right.$$

$$\left.-\frac{[\zeta^3e^{2i\alpha}+(me^{2i\alpha}-m^2-1)\zeta]2m\zeta}{(m\zeta^2-1)^2}\right\}; \tag{36}$$

于是 $$\Phi(\zeta)=\frac{\varphi'(\zeta)}{\omega'(\zeta)}=\frac{p}{4}\left[\frac{(2e^{2i\alpha}-m)\zeta^2-1}{m\zeta^2-1}\right]; \tag{37}$$

$$\Phi'(\zeta)=\frac{p}{4}\left[\frac{2(m\zeta^2-1)(2e^{2i\alpha}-m)\zeta-[(2e^{2i\alpha}-m)\zeta^2-1]2m\zeta}{(m\zeta^2-1)^2}\right] \tag{38}$$

$$\overline{\Phi(\zeta)}=\frac{p}{4}\left[\frac{(2e^{2i\alpha}-m)\rho^4-\zeta^2}{m\rho^4-\zeta^2}\right]; \tag{39}$$

$$\Psi(\zeta)=\frac{\psi'(\zeta)}{\omega'(\zeta)}=-\frac{p}{2}\left\{-\frac{e^{-2i\alpha}}{(m\zeta^2-1)}+\frac{\zeta^2[3e^{2i\alpha}\zeta^2+(me^{2i\alpha}-m^2-1)]}{(m\zeta^2-1)^2}\right.$$

$$\left.-\frac{\zeta^2[\zeta^3e^{2i\alpha}+(me^{2i\alpha}-m^2-1)\zeta]\cdot 2m\zeta}{(m\zeta^2-1)^3}\right\}。 \tag{40}$$

将以上各式代入应力公式中后:

$$\sigma_\rho+\sigma_\theta=2[\Phi(\zeta)+\overline{\Phi(\zeta)}]$$

$$=\frac{p}{2}\left[\frac{(2e^{2i\alpha}-m)\zeta^2-1}{m\zeta^2-1}+\frac{(2e^{2i\alpha}-m)\rho^4-\zeta^2}{m\rho^4-\zeta^2}\right]$$

$$=\frac{p}{2}\left\{\frac{[2(\cos 2\alpha+i\sin 2\alpha)-m][\rho^2(\cos 2\theta+i\sin 2\theta)]-1}{m\rho^2(\cos 2\theta+i\sin 2\theta)-1}\right.$$

$$\left.+\frac{\rho^4[2(\cos 2\alpha+i\sin 2\alpha)-m]-\rho^2(\cos 2\theta+i\sin 2\theta)}{m\rho^4-\rho^2(\cos 2\theta+i\sin 2\theta)}\right\}; \tag{41}$$

$$\sigma_\theta-\sigma_\rho+2i\tau_{\rho\theta}=\frac{2\zeta^2}{\rho^2\overline{\omega'(\zeta)}}[\overline{\omega(\zeta)}\Phi'(\zeta)+\omega'(\zeta)\Psi(\zeta)]$$

$$=\frac{\rho\zeta^2(\zeta^2+m\rho^4)\{(m\zeta^2-1)(2e^{2i\alpha}-m)-[(2e^{2i\alpha}-m)\zeta^2-1]m\}}{\rho^4\left(-\frac{\zeta^2}{\rho^4}+m\right)(m\zeta^2-1)^2}$$

$$-\frac{p(-1+m\zeta^2)}{\rho^2\left(-\frac{\zeta^2}{\rho^4}+m\right)}\left\{-\frac{e^{2i\alpha}}{(m\zeta^2-1)}+\frac{\zeta^2[3e^{2i\alpha}\zeta^2+(me^{2i\alpha}-m^2-1)]}{(m\zeta^2-1)^2}\right.$$

$$\left.-\frac{2m\zeta^3[\zeta^3e^{2i\alpha}+(me^{2i\alpha}-m-1)\zeta]}{(m\zeta^2-1)^3}\right\}。 \tag{42}$$

将 $\zeta=\rho(\cos\theta+i\sin\theta)$ 代入，并分离实数部分及虚数部分后，即可从上两式求得 σ_ρ, σ_θ 及 $\tau_{\rho\theta}$；但推求普遍的应力公式较繁琐，一般只须求得几个控制断面上的应力即可。

(1) 沿 X 轴的应力公式($\theta=0$)：

$\cos 2\theta=1$, $\sin 2\theta=0$, $\zeta=\rho(\cos\theta+i\sin\theta)=\rho$,

则 $\sigma_\theta-\sigma_\rho=$

$$p\left\{\frac{2\rho^2\cos 2\alpha(m\rho^4-m\rho^2+m^2\rho^2-1)+2m\rho^2(1+m\rho^2-\rho^2-m^2\rho^2)}{(m\rho^2-1)^3}\right.$$

$$\left.-\frac{\rho^2\cos 2\alpha(3\rho^2+m)-\rho^2(m^2+1)}{(m\rho^2-1)^2}+\frac{\cos 2\alpha}{m\rho^2-1}\right\}; \qquad (43)$$

$$\sigma_\theta+\sigma_\rho=p\left[-\frac{2\rho^2\cos 2\alpha-m\rho^2-1}{m\rho^2-1}\right]。 \qquad (44)$$

当椭圆处于正向应力场中时，$\alpha=0$，则简化成：

$$\sigma_\theta=\frac{\rho^6(2m^2-m^3-m)+\rho^4(3-m^3+5m^2-7m)+\rho^2(2m-m^2-1)}{2(m\rho^2-1)^3}p$$

$$=\frac{2\rho^6(k^3-k^2)+4\rho^4(k^2+2k^3)-2\rho^2(k^2+k^3)}{[(1-k)\rho^2-(1+k)]^3}p。 \qquad (45)$$

(2) 沿 Y 轴的应力公式$\left(\theta=\frac{\pi}{2}\right)$：

$\cos\theta=0$, $\sin\theta=1$, $\zeta=\rho(\cos\theta+i\sin\theta)=\rho i$, $\zeta^2=-\rho^2$。

$$\sigma_\theta-\sigma_\rho=p\left\{\frac{\cos^2\alpha}{m\rho^2+1}+\frac{\rho^2\cos^2\alpha(2m\rho^2+3\rho^2-m-2)}{(m\rho^2+1)^2}\right.$$

$$+\frac{\rho^2(m^2+m-m^2\rho^2+1)}{(m\rho^2+1)^2}+\frac{2m\rho^4\cos^2\alpha(1-m\rho^2-\rho^2+m)}{(m\rho^2+1)^3}$$

$$\left.+\frac{m\rho^2(1-2m\rho^2-m^2\rho^2-2\rho^2)}{(m\rho^2+1)^3}\right\}; \qquad (46)$$

$$\sigma_\theta+\sigma_\rho=p\left[\frac{2\rho^2\cos^2\alpha-m\rho^2+1}{m\rho^2-1}\right]。 \qquad (47)$$

当 $\alpha=0$ 时，

$$\sigma_\theta=\left\{\frac{\rho^6[m-2m^3+2m^2]+\rho^4[5m+3-m^2]+\rho^2[m^2+4m+1+2}{2(m\rho^2+1)^3}\right\}p$$

(48)

或 $$\sigma_\theta=\left\{\frac{\rho^6[1+5k-9k^2+3k^3]+\rho^4[7+15k+5k^2-3k^3]}{2[(1-k)\rho^2+(1+k)]^3}\right.$$

$$\left.+\frac{\rho^2[6+6k-2k^2-2k^3]-[2+6k+6k^2+2k^3]}{2[(1-k)\rho^2+(1+k)]^3}\right\}p。\qquad \textbf{(49)}$$

以上两个公式是我們的实用公式。

四. 計算的步驟

茲將应用上述公式計算橢圓孔周应力的步驟詳述于次。

(1) 曲綫坐标的定点。

我們首先从橢圓的長短軸 a、b 計算偏心度 $m=\frac{a-b}{a+b}$ 或 $k=\frac{b}{a}$。那末,任何一点的直角坐标 x、y 和曲綫坐标 $(\rho、\theta)$ 間的关系为:

$$z=x+iy=R\left[\frac{1}{\zeta}+m\zeta\right]。$$

以 $\zeta=\rho e^{i\theta}=\rho(\cos\theta+i\sin\theta)$ 代入,分开虛、实部分后,可得

$$x=\frac{R}{\rho}(m\rho^2+1)\cos\theta;\qquad (50)$$

$$y=\frac{R}{\rho}(m\rho^2-1)\sin\theta。\qquad (51)$$

这是 $(x、y)$ 和 $(\rho、\theta)$ 間的一般性关系式,特别在 x 軸上, $\theta=0$,故

$$x=\frac{R}{\rho}(m\rho^2+1),$$

或
$$\frac{x}{a}=\frac{R}{a\rho}(m\rho^2+1)=\frac{a+b}{2a\rho}(m\rho^2+1)$$
$$=\frac{1+k}{2\rho}\left(\frac{1-k}{1+k}\rho^2+1\right)=\frac{1-k}{2\rho}\rho^2+\frac{1+k}{2\rho}$$
$$=\left(\frac{\rho^2+1}{2\rho}\right)+\left(\frac{1-\rho^2}{2\rho}\right)k。 \tag{52}$$

同样，在 y 軸上，$\theta=\frac{\pi}{2}$，故
$$y=\frac{R}{\rho}(m\rho^2-1);$$
或
$$\frac{y}{b}=\frac{a+b}{2\rho b}(m\rho^2-1)。$$

令　$k'=\frac{a}{b}$，上式可化为
$$\frac{y}{b}=\frac{1+k'}{\rho}\left(\frac{k'-1}{k'+1}\rho^2-1\right)=\frac{k'-1}{2}\rho+\frac{1+k'}{2\rho}$$
$$=\frac{1+\rho^2}{2\rho}+\frac{(1-\rho^2)}{2\rho}k'。 \tag{53}$$

从式(52)(53)，当我們知道曲綫坐标 ρ 值后，卽可求出相应的 x 或 y 值。

(2) x、y 軸上应力值的計算。

由式(45)(49)，我們將常数 k 代入，并分别令 $\rho=1$, 0.9, 0.8, ……，可以求出相应的应力 σ_θ，在 x、y 軸上，σ_θ 就分别相当于 σ_y 及 σ_x。

(3) 应力图和总拉力計算。

在 x、y 軸上，就每一个曲綫坐标 ρ，算出相应的 x 或 y，在軸上标定其位置，并点出相应的应力 σ_x 或 σ_y 值，連成曲綫，并可求出曲綫下的总面积，卽为总的拉力或压力，由此可以配置鋼筋。

(4) 坝內孔口的計算。

在計算坝內橢圓形孔口时，我們先求出孔口形心处的第一、二

主应力，并假定他們的方向与橢圓軸平行(一般廊道較靠近壩面，因此主应力方向是常和橢圓的長短軸接近平行的)，然后分别計算在两种应力場下，沿 x、y 軸上的应力分布曲綫，叠加后，可得最終的結果。

五. 設計資料

为了減少設計中的計算工作量，我們取 $k=0.1$、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0(圓孔)、及 $k'=0.1$、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0(圓孔)等 20 种不同的橢圓，分别求出在均匀应力場中沿 x、y 軸的应力分布曲綫，繪成附图，以供檢用。

六. 例　　举

茲以新安江大壩 38 高程檢查廊道应力計算为例，橢圓形孔口中心的壩体应力强度(即均匀应力場的强度)为

$$\sigma_y=115.3 \text{ 吨/公尺}^2;$$

$$\sigma_x=19.6 \text{ 吨/公尺}^2。$$

(此項数値得自大壩应力分析成果)

橢圓形孔口的長短軸尺寸为：

在 Y 軸方向 $a=1.0$ 公尺；

X 軸方向 $b=0.78$ 公尺；

則 $k=\dfrac{b}{a}=0.75$。

这种廊道最大拉力常发生在 Y 軸上，故先計算 Y 軸上的应力图。

查图得下列結果：

在 Y 軸上的拉应力强度：

$\frac{y}{a}=1.0$	$\sigma=1.0000\sigma_y=115.3$ 吨/公尺²
1.05	$0.6625\sigma_y=76.4$
1.1	$0.4600\sigma_y=53.0$
1.2	$0.2275\sigma_y=26.2$
1.3	$0.1100\sigma_y=12.7$
1.4	$0.0475\sigma_y=5.5$
1.5	$0.0125\sigma_y=1.4$
1.55	$0\times\sigma_y=0$

根据上述成果可繪成曲綫，在曲綫(1)下方的阴影面积，卽在 Y 軸上所受到的总拉力为 15,400 公斤(以每公尺廊道長度計)。

由于 X 軸方向的应力强度 $\sigma_x=19.6$ 吨/平方公尺作用下，在 Y 軸上所产生的压应力强度同样可查图求得：

$\frac{y}{a}=1.0$	$\sigma=3.68\sigma_x=72.1$ 吨/公尺²
1.1	$2.60\sigma_x=51.0$
1.2	$2.10\sigma\ \ =41.1$
1.3	$1.80\sigma\ \ =35.3$
1.4	$1.60\sigma_x=31.4$
1.5	$1.45\sigma_x=28.4$

同样可以繪成曲綫(2)，在該曲綫下面的面积卽为 Y 軸上所受到的总压力 P。在图中可以看出在 ABC 区域内还存有相互抵消后的拉应力区。其値为 1860 公斤。由此可配置鋼筋。

从这个例子中，还可以看到，水平应力 $\sigma_x=19.6$ 能够抵銷絕大部分拉力，对廊道的应力情况极为有利。不过，这应力 σ_x 必須确有保証。如果該应力可靠性不足，則应該仍按 σ_y 所引起的总拉力配筋(或酌量减少)以避免廊道发生較大裂縫。

本資料計算者：新安江設計代表組

張芝琪、刘永杰、叶廷高、鏤君蘭、謝庆生、顧綠璿

压力弹度图