

坊工拱橋設計

俞調梅 錢鍾毅 合譯



上海新亞書店出版

圬工(拱)橋設計

原著書名 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА
КАМЕННЫХ И БЕТОННЫХ МОСТОВ

作者 Я. С. ФАЙН

俞調梅 錢鍾毅 合譯

新亞書店出版

設計橋(拱)工坊

版權所有



不得翻印

一九五三年四月初版

新定價人民幣一萬五千元

編譯者 俞調梅 錢鍾毅

出版者 新亞書店

發行所 新亞書店

上海河南中路159號

電話：94258

分銷處 漢口 重慶 新亞書店

原 序

戰後蘇聯大規模的建設，促使石(拱)橋設計方面，有了飛躍的進步。按照黨和政府的決議，蘇聯國境上應當佈滿公路網。在這些公路的建築物中，將要修建大量的混凝土和石(拱)橋。

在都市建設方面，也有大量的工作；在個別場合中，預期需要修築混凝土和石(拱)橋。

關於石(拱)橋設計例題的教本，現在很感到出版的需要。在這種例題裏，應當有系統地詳盡地分析如何計算拱圈，橋墩，橋台，模板，支架等的方法。但是現有的技術書籍，對這些問題，都只有些一般性的資料；因此，在完成設計工作的時候，令人遭遇到很多的困難。現在蘇聯各部門的規範和標準，在某些問題上，規定不十分一致，使得問題更加複雜。除此之外，有一些最新的計算方法，尤其是有關應力調整的方法，書上還少見刊載。

最好的學習方法是用一個整個的數字計算例題，同時附有在不同規範時的處理方法。本書計劃：用一個公路填寶石(拱)橋做基本例題；並在附註和替代方法中講解其他的計算方法。

由於蘇聯學者們的工作，近數十年來對於混凝土和石(拱)橋設計有了極大的成就。

片列及利院士(Г. П. Перелерн)是石(拱)橋基本工作的創作者。他發明了拱圈的約算法，略去圬工抗拉力的應力核算法，和地震穩定計算法等等。

格魯吉亞科學院柴夫列也夫院士(К. С. Запрнев)改善了施德拉斯納(Strassner)的表解法，創議了用千斤頂調整應力的方法，完成了地震的動力理論，並做出了地震應力和制動應力的實用計算方法。柴氏的另一個大貢獻是在混凝土拱圈中介紹了低模數輕混凝土的使用。這樣大

大減低了拱圈中的溫度應力，並使設計工作簡易。輕混凝土拱橋是一種蘇聯技巧的創作。

莫洛蜀夫副教授(П. С. Морозов)完成了獨特的無鉸拱計算法，並發明了用假載法來修正拱軸，調整應力。

卡丘林教授(В. К. Качурин)做出了一種新的拱圈計算法。他的工作是這一方面的大進步。他使得實用的選定拱軸的方法(最初由 Н. Г. Кривошеин 氏建議，化無鉸拱成三鉸拱的方法)變成完善，並且建議了比任何人更完全，更適應的修改拱厚的定律。

普洛泰索夫教授(К. Г. Протасов)和路特涅夫教授(В. И. Руднев)研究了選定合理化拱形的問題。

飛林副教授(А. П. Флиин)做出了合理化設計拱橋的方法(包括尋出合理的拱軸，決定合理的拱圈厚度的綜合方法；任何形狀拱圈的計算方法，拱圈塑性理論等)。

蘇聯教授們格里各廉夫(В. В. Григорьев)，許先夫(П. В. Шусев)，歐格拉福夫(Г. К. Евграфов)，米得洛博爾斯基(Н. М. Митропольский)等都有寶貴的貢獻。

上面所述，還不可能包括全部蘇聯學者，對混凝土和石(拱)橋設計方面的成就。

可是，蘇聯學者們的成就雖然多，在公路上實際建造的石(拱)橋數量，比重還嫌不夠。

石(拱)橋顯然有很多優點。壽命長，使用費低，莊嚴美觀，不十分受活載增長的影響。

在共產黨和世界進步人民的偉大的領袖斯大林領導下，各個五年計劃勝利完成，提供了大規模機械化建築的基礎。

用了大量機械化和斯太哈諾夫工作法，石(拱)橋建築費用大大減低，因此無論在公路上或都市中，石(拱)橋都可大大推廣。

無鋼筋的混凝土(拱)橋，不需要鋼料，在整個建築過程中，可全部使用機械化，更可大大推廣。

這本書的材料，都按照現行的規範編製，並吸收了最新的設計方法。

所有計算，都按照蘇聯內政部公路總局 1948 年公路建築設計規範 (Н. У. Гущосдора МВД СССР)。在必要時，並介紹了其他規範或標準 (鐵道部技術準則 Т. У. МПС、市政部技術準則 Т. У. МДС、俄羅斯公路總局技術準則 Т. У. Главдорунга РСФСР)，用來比較。其中包括：例如，不計受拉部份作用的圬工結構核算法等。

第一章：拱圈應力計算的例題。按照柴氏的方法，計算中包括制動力，地震力等。

第二章：整套的應力調換法的例題 (水壓千斤頂法，假載法，臨時鉸法，三角縫法)。

第三章：墩台設計例題，包括地震應力，單拱擠壓，深置基礎等。

第四章：拱架和支架設計，卸架裝置，卸架程序圖等。

最後，在附錄中介紹了施-柴二氏的計算表和其他的標準資料。(譯者並附加了施氏各公式和深置基礎公式的演化，以便讀者參考。)

這本書是爲了專業學生寫的，並可以供設計工程司的參考。

作者對協助工作的人員(略)，表示感謝。

目 次

第一章 無鉸拱設計

§ 1. 基本數據	1
§ 2. 拱圈曲線係數	3
§ 3. 拱圈圖形計算	5
§ 4. 恆載應力	7
§ 5. 溫度應力	10
§ 6. 活載應力	13
§ 7. 應力核算	21
§ 8. 拖拉機荷載應力	24
§ 9. 降低拉應力之方法	28
§ 10. 不計圬工的抗拉力,核算應力	30
§ 11. 地震力	32
§ 12. 制動力	36
§ 13. 風應力	37
§ 14. 拱端總應力	39
§ 15. 墩台水平向走動	40

第二章 應力調整

§ 16. 水壓千斤頂法	42
§ 17. 假載法	48
§ 18. 臨時鉸法	60
§ 19. 三角縫法	66

第三章 墩台設計

§ 20. 等跨徑的橋墩設計	71
§ 21. 不等跨徑的橋墩設計	84
§ 22. 單向受力的橋墩	85
§ 23. 橋墩風力計算	88
§ 24. 地震力	91
§ 25. 深置橋墩	96
§ 26. 橋台設計	101

第四章 拱架和建築加高

§ 27. 拱架, 支架, 落架裝置	120
§ 28. 拱架建築加高量	134
§ 29. 拱架卸落程序圖	140

附 錄

1. 公路橋圬工材料	145
2. 施-柴氏無鉸拱計算表	148
3. 都市橋圬工准許主應力	157
4. 鐵路橋圬工准許拉應力, 俄羅斯聯邦共和國公路橋圬工准 許拉應力	157
5. 低模數輕混凝土准許應力	158
6. 施氏無鉸拱理論(譯者加附)	159
7. 深置基礎土承力公式(譯者加附)	176
8. 土壤分類和准許承壓力(譯者加附)	180

第一章

無鉸拱設計

§ 1. 基本數據

石橋設計用無鉸拱，邊牆，和混凝土填實的上部建築。

橋墩用流線形（爲了流水舒暢起見），築在天然地基上。

橋台用耳牆式（譯注：即 U 形橋台）。

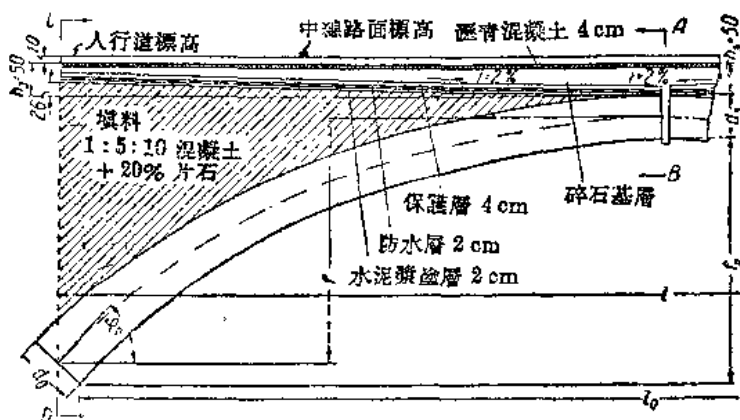


圖 1 橋軸縱剖面圖（橫剖面圖 A-B 及 C-D 見圖 2 及 3）

計算按照 1948 年蘇聯內政部公路總局“公路的鋼筋混凝土，鋼，混凝土，及石工建築設計規範。”下面簡稱爲 1948 年規範。

無鉸拱計算，採用施德拉司納 (A. Strassener) 與柴夫列也夫 (K. C. Запrieв) 兩氏的表解。

公路橋淨空——標準 Γ-7 級，人行道各寬 0.75 M.

荷載：汽 H-10 級（和人行道荷載），並驗算拖拉機 H-60 級。

橋梁建築地區——北高加索（假定）。

拱圈基本尺寸（見圖 1, 2, 3）。

計算拱高：

$$f = f_0 + \frac{d_3}{2} - \frac{d_n}{2} \cos \varphi_n = 4.80 + \frac{0.90}{2} - \frac{1.20}{2} \times 0.756 = 4.80 \text{ M.}$$

拱寬 $b = 8.30 \text{ M.}$

拱上部建築——填實式(用片石混凝土)。

拱圈材料——120 號水泥沙漿砌砂石塊石工，石料強度 750 kg/cm^2 ，單位重量 $\gamma = 2.2 \text{ T/M}^3$ 。

拱背填料——填料用片石混凝土，1 : 5 : 10 + 20% 片石，單位重量 2.0 T/M^3 。

邊牆材料——80 號水泥砂漿砌塊石工。

路面材料——4 cm 厚單層瀝青混凝土，築在碎石基層上。

防水層材料——三層兩面塗防水材料的油毛氈。填背材料頂面先塗一層 2 cm 厚的 1 : 3 水泥砂漿，然後用防水層蓋上(見圖 1, 2, 3)。

從路面滲下的水，沿防水層和保護層流到拱頂鑄鐵洩水管。為此，填背頂做成縱坡 2%，橫坡 1½%。

從路面頂到拱頂的距離用 $h_3 = 0.5 \text{ M.}$

欄杆扶手和柱子用 75 mm ϕ 煤氣管，橫擋用 2 條 50 mm ϕ 煤氣管。

雙層簍石和邊石材料用砂石，強度 750 kg/cm^2 ，單位重量 2.4 T/M^3 。

拱圈兩側飾面用細鑿工，邊牆用粗鑿工，簍石用細鑿工，拱圈下面不飾面，但須鈎縫。

【註】道路石橋，混凝土橋，和磚橋拱圈和上部建築的基本材料，見附錄 1。

§ 2. 拱圈曲線係數

拱圈 1 公尺寬度裏每公尺的恆載重(圖 4)：

$$g_3 = h_3 \gamma_1 + d_3 \gamma,$$

式中 $h_3 = 0.5 \text{ M}$ ——拱頂路面厚度，包括灰漿層，防水層，保護層，及碎石基礎；

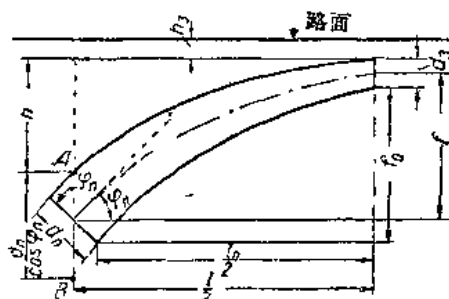


圖 4

$\gamma_1 \cong 2 \text{ T/M}^3$ ——拱頂路面的平均單位重量；

$$d_3 = 0.9 \text{ M};$$

$\gamma = 2.2 \text{ T/M}^2$ ——拱圈砂石塊石工之單位重量。

$$g_3 = 0.5 \times 2 + 0.9 \times 2.2 = 2.98 \text{ T/M}.$$

沿拱端中心垂直截面上之每公尺長的恆載量：

$$g_{\Pi} = h_3 \gamma_1 + h \gamma_2 + \frac{d_{\Pi}}{\cos \varphi_{\Pi}} \gamma,$$

$$\text{式中} \quad h_3 = 0.5 \text{ M}, \quad \gamma_1 = 2 \text{ T/M}^3.$$

h 按下式計算：

$$h = f + \frac{d_3}{2} - \frac{d_{\Pi}}{2 \cos \varphi_{\Pi}} = 4.8 + \frac{0.9}{2} - \frac{1.2}{2 \times 0.756} = 4.46 \text{ M};$$

$$f = 4.8 \text{ M};$$

$$d_{\Pi} = 1.2 \text{ M};$$

$\gamma_2 = 2 \text{ T/M}^3$ ——填料單位重量；

$$\cos \varphi_{\Pi} = 0.756.$$

$\frac{d_{\Pi}}{\cos \varphi_{\Pi}}$ ——假定的拱端垂直截面 $A-B$ 的厚度， B 點是拱端線和拱圈下面曲線延長之交點；

$\gamma = 2.2 \text{ T/M}^3$ ——拱圈（砂石塊石工）的單位重量。

$$g_{\Pi} = 0.5 \times 2 + 4.46 \times 2 + \frac{1.20}{0.756} \times 2.2 = 13.42 \text{ T/M}.$$

拱圈曲線係數：

$$m = \frac{g_{\Pi}}{g_3} = \frac{13.42}{2.92} = 4.503.$$

【註】若採用拱架式上部建築（圖 5），荷載經由橫牆傳到主拱，橫牆壓力可假定平均分佈在等於橫牆間距的拱圈長度上。（1948 年規範 § 424）

這種情況下，拱頂每公尺恆載重，仍照實體上部建築的公式計算：

$$g_3 = h_3 \gamma_1 + d_3 \gamma,$$

拱端每公尺恆載量，計算方式如下：

$$g_{\Pi} = \frac{p}{2R + a} + \frac{d_{\Pi}}{\cos \varphi_{\Pi}} \gamma,$$

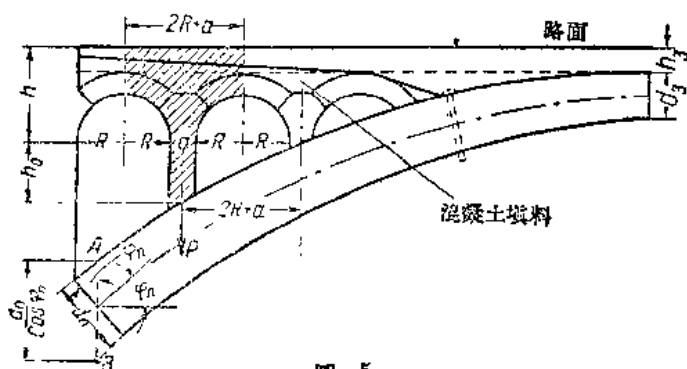


圖 5

式中 P ——最高的拱軸(最近主拱端的橫軸)的恒載壓力, T;

d_u ——主拱端厚度, M;

$2R+a$ ——橫結中心間距, M;

γ ——主拱材料單位重量 T/M³。

拱圈曲線係數 $m = \frac{g_1}{g_3}$

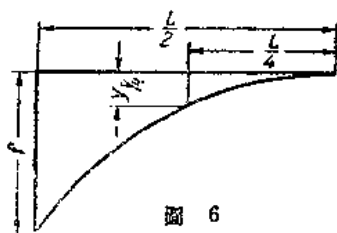


圖 6

架式上部建築的拱,用上述約算法計算出的係數 m ,所定出的拱軸,有時偏差極高。

照柴夫列也夫院士之建議:在架式上層建築的計算中,最好用圖解求出恒載壓力線,量出 1/4 跨徑處的座標 y_1 (圖 6)。計算 $\frac{y_1}{f}$ 的比數,再從附錄 2 表 1 中尋出相當的 m 。用這個 m 求出的曲線,在 5 點上(拱頂, 1/4 跨徑處,拱端)和索線曲線符合;並在實際計算裏,和其他任何點亦足夠符合。

例如: $f = 4.5$ M, 壓力線圖解結果,量出 1/4 跨徑處座標 $y_1 = 0.9$ M, $\frac{y_1}{f} = \frac{0.9}{4.5} = 0.2$ 。從附錄 2 表 1 中,得 $m = 3.500$ 。 m 的數值,亦可從下式計算出來:

$$m = \frac{1}{2} \left(\frac{f}{y_1} - 2 \right)^2 - 1.$$

§ 3. 拱圈圖形計算

(一) 拱圈軸線

用拱頂中心做座標的基點(圖 7)拱軸座標 y_1 和軸線切線水平斜角 φ , 可以查施柴兩氏表(附錄 2, 表 1, 2), 用比定法求得 $m = 4.503$ 時各項數值。



圖 7

表 1. 拱軸線, $m = 4.503$; $l = 25.06$ M; $f = 4.8$ M

項數	截 面	拱端	$\frac{1}{4}$ 跨徑	拱頂	附 註
1	2	3	4	5	6
1	$10000 \frac{y_1}{f}$	10000	1882	0	從附錄 2 表 1 比定, 見下面附註
2	y_1 (cm)	480	90	0	上項乘 $0.0001 f$, f 以 cm 計. $0.0001 \times 480 = 0.048$
3	$1000 \frac{l}{f} \tan \varphi$	5476	1651	0	從附錄 2 表 2 比定
4	$\tan \varphi$	1.046	0.216	0	上項乘 $0.001 \frac{f}{l} = 0.001 \times \frac{4.8}{25.06} = 0.000191$
5	φ	$46^\circ 20'$	$17^\circ 30'$	0	查手冊
6	$\cos \varphi$	0.690	0.953	1	查手冊
7	$\sin \varphi$	0.723	0.301	0	查手冊

【註】 例, 按 $m = 4.503$, 比定 $a = 10000 \frac{y_1}{f}$.

截 面	自附錄 2 表 1		按 $m = 4.503$ 比定
	$m_1 = 4.324$	$m_2 = 5.321$	
$\frac{1}{4}$ 跨徑	$a_1 = 1900$	$a_2 = 1890$	$a = 1882$

$$a = a_1 - \frac{(a_1 - a_2) \times (m - m_1)}{m_2 - m_1} = 1900 - \frac{(1900 - 1890) \times (4.503 - 4.324)}{5.321 - 4.324} = 1882.$$

【譯註】 施氏公式的演化, 見附錄 6.

(二) 拱圈厚度

$$d_3 = 0.90 \text{ M.}$$

$$\cos \varphi_1 = 0.953 \text{ (表 1 第 6 項, } \frac{1}{4} \text{ 跨徑處).}$$

$$\cos \varphi_H = 0.690 \text{ (表 1 第 6 項, 拱端).}$$

用拱圈厚度係數: $n = 0.60.$

【註】 公路橋中, 普通用 $n = 0.50$ 或 0.60 .

若 n 減低, 拱端厚度增加, 因此拱端上邊緣因溫度變化和混凝土收縮所產生的拉應力降低。平拱, 尤其是架式上部建築的混凝土拱中, 因溫度降低和混凝土收縮所產生的拱端上邊緣拉應力極高。如要減低這拉應力, 應降低 n 的數值, 用 $n = 0.40$ 或 0.30 。

n 數值對拱圈截面拉應力之影響, 詳見下面 § 9.

$\frac{1}{4}$ 跨徑處拱圈厚度:

$$d_1 = c \frac{d_3}{\sqrt{\cos \varphi_1}},$$

式中 $c = 1.077$, 係從附錄 2 表 3, $n = 0.60$, 查出 $1/4$ 跨徑處的係數,

$$d_{1/4} = 1.077 \frac{0.90}{\sqrt[3]{0.953}} = 0.97 \text{ m.}$$

拱端厚度:
$$d_u = c \frac{d_3}{\sqrt[3]{\cos \varphi_u}},$$

式中 $c = 1.186$, 從同上表, $n = 0.60$ 查出拱端的係數,

$$d_u = 1.186 \frac{0.90}{\sqrt[3]{0.690}} = 1.20 \text{ m,}$$

和假定厚度(見 §1)完全符合。

拱圈厚度, 列表 2。

表 2. 拱圈厚度

d_u (拱端)	1.20 m
$d_{1/4}$ ($1/4$ 跨徑)	0.97 m
d_3 (拱頂)	0.90 m

【註】若拱端厚度, 和假定數相差極多, 那就必須照表 2 中的 d_u , 表 1 中的 $\cos \varphi_u$, 重新計算 m 和拱圈圖形 (y_1, φ_1 和各截面厚度)。

普通, 再算結果, d_u 與 $\cos \varphi_u$ 的初定與後得數量, 就可相當符合。

(三) 淨跨徑與淨拱高

決定拱端厚度 $d_u = 1.20 \text{ m}$ (表 2), $\varphi_u = 46^\circ 20'$ (表 1) 後, 更精確地計算拱圈淨跨徑(見圖 4):

$$l_0 = l - d_u \sin \varphi_u = 25.06 - 1.20 \times 0.723 = 24.2 \text{ m;}$$

$$\text{拱高: } f_0 = f - \frac{d_1}{2} + \frac{d_u}{2} \cos \varphi_u = 4.8 - \frac{0.9}{2} + \frac{1.20}{2} \times 0.69 = 4.75 \text{ m.}$$

$$\text{設計路面標高: } E_1 = 338.00,$$

$$\begin{aligned} \text{拱端下點標高} &= E_1 - d_1 - f_0 - h_3 = 338.00 - 0.9 - 4.75 - 0.5 \\ &= 331.84 \text{ m.} \end{aligned}$$

拱圈圖形尺寸決定後, 可進行應力的計算。

§ 4. 恆載應力

若拱圈是絕對剛體的三鉸拱(不計彈性壓縮), 基本擠力:

$$H_g = \frac{k_g}{10000} \times \frac{g_s l^2}{f},$$

式中 $k_g = 1815$ ——從附錄 2 表 4 查來, $m = 4.503$ 之比定數;

$$l = 25.06 \text{ M}; \quad f = 4.8 \text{ M};$$

$$g_s = 2.98 \text{ T/M (§ 2)}$$

$$H_g = \frac{1815 \times 2.98 \times 25.06^2}{10000 \times 4.8} = 70.9 \text{ T.}$$

因為拱軸就是按恆載壓力線決定的(譯註:見附錄 6), 所以任何截面上的彎矩都等於零。從拱頂和任何截面中之部份的平衡條件(圖 8 中用線條加深的部份)(力系的水平

投射):

$$N_g \cos \varphi = H_g;$$

$$N_g = \frac{H_g}{\cos \varphi}.$$

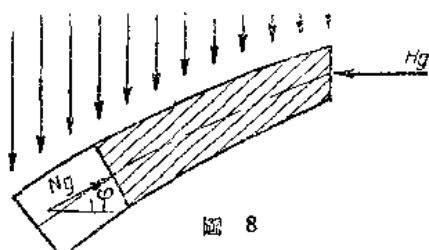


圖 8

按照經柴氏修正的施氏公式, 由於彈性收縮所生的附加擠力:

$$\Delta H_g = -\mu_1 H_g,$$

$$\mu_1 = \frac{1}{12 v_1 \vartheta} \times \frac{d_s^2}{f^2};$$

$$\text{現} \quad d_s = 0.9 \text{ M}; \quad f = 4.8 \text{ M.}$$

$$v_1 = 1.03 \text{ (按照附錄 2 表 5, } n = 0.6, \frac{f}{l} = \frac{4.8}{25.06} = 0.191);$$

$$\vartheta = 0.0579 \text{ (按照附錄 2 表 6, 照 } n = 0.6, m = 4.503 \text{ 比定).}$$

$$\text{計算} \quad \mu_1 = \frac{1}{12 \times 1.03 \times 0.0579} \times \frac{0.9^2}{4.8^2} = 0.051;$$

$$\Delta H_g = -\mu_1 H_g = -0.051 \times 70.9 = -3.616 \text{ T.}$$

附加擠力 ΔH_g 作用在彈性中心(0), 距拱頂軸心 y_s (圖 9).

y_s 按附錄 2 表 7, 照 $n = 0.6, m = 4.503$ 比定:

$$10000 \frac{y_s}{f} = 2494;$$

$$y_3 = \frac{2494f}{10000} = \frac{2494 \times 4.8}{10000} = 1.20 \text{ M.}$$



圖 9

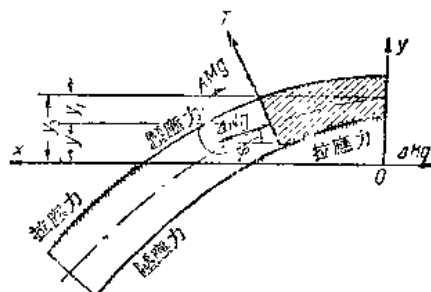


圖 10

從任何截面和拱頂截面中的部份上(圖 10 中線條加深部份)的力系(平行於 ΔN_g 分力)的平衡,決定由彈性壓縮所產生的附加壓力:

$$\Delta N_g = \Delta H_g \cos \varphi.$$

任何截面上因彈性壓縮所產生的彎距:

$$\Delta M_g = -\Delta H_g \times y,$$

式中 $y = y_3 - y_1$, 拱軸座標以穿過彈性中心之水平線作基線, 向上為正號。

拱端, $1/4$ 跨徑, 拱頂等各截面之恆載應力, 計算在表 3.

表 3. 恆載應力

項數	項	日	拱 端	$1/4$ 跨徑	拱 頂	附 註
1	2	3	4	5	6	
1	$\cos \varphi$	0.690	0.953	1	見表 1 第 6 項	
2	不計彈性壓縮的主壓力 $N_g = \frac{H_g}{\cos \varphi} \text{ (T)}$ ($H_g = 70.9 \text{ T}$)	+102.758	+75.446	+70.9	H_g 和 $N_g \cos \varphi$ 見表 1 常是正號	
3	彈性壓縮附加壓力 $\Delta N_g = \Delta H_g \cos \varphi$ (T) ($\Delta H_g = -3.616 \text{ T}$)	-2.495	-3.446	-3.616	ΔH_g 和 ΔN_g 常 是負號	
4	總壓力 $N_g + \Delta N_g$ (T)	+100.258	+72.00	+67.284	第 2, 3 項的和	
5	用拱頂軸心做基點的座標 (M)	+4.8	+0.2	0	見表 1 第 2 項 y 正號	
6	用彈性中心做基點的座標 ($y_3 = 1.20 \text{ M}$) $y = y_3 - y_1$ (M)	-3.6	+0.3	+1.20	用第 5 項的 y 代進	