

高温烟肉的设计和 施工

348
71

內 容 提 要

本書是叢書的第8冊，介紹了如何用土洋結合的方法，
溫煙窗，從煙窗的設計、結構計算談到施工前的准备工作，
法，其中還特別介紹了外懸臂活動腳手架的應用效果。讀者
型火電廠和燃料綜合利用電廠的領導幹部、設計人員和施工人
大學、中等專業學校和紅專大學的師生。

清華大學燃料綜合利用試驗電廠叢書

第 8 冊

高溫煙窗的建設和施工

電廠建設者集體編寫

*

16.8R339

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第108號

清華大學出版科排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 1 $\frac{1}{2}$ 印張 * 34千字

1958年11月北京第1版

1958年11月北京第1次印刷（0001—20,100）

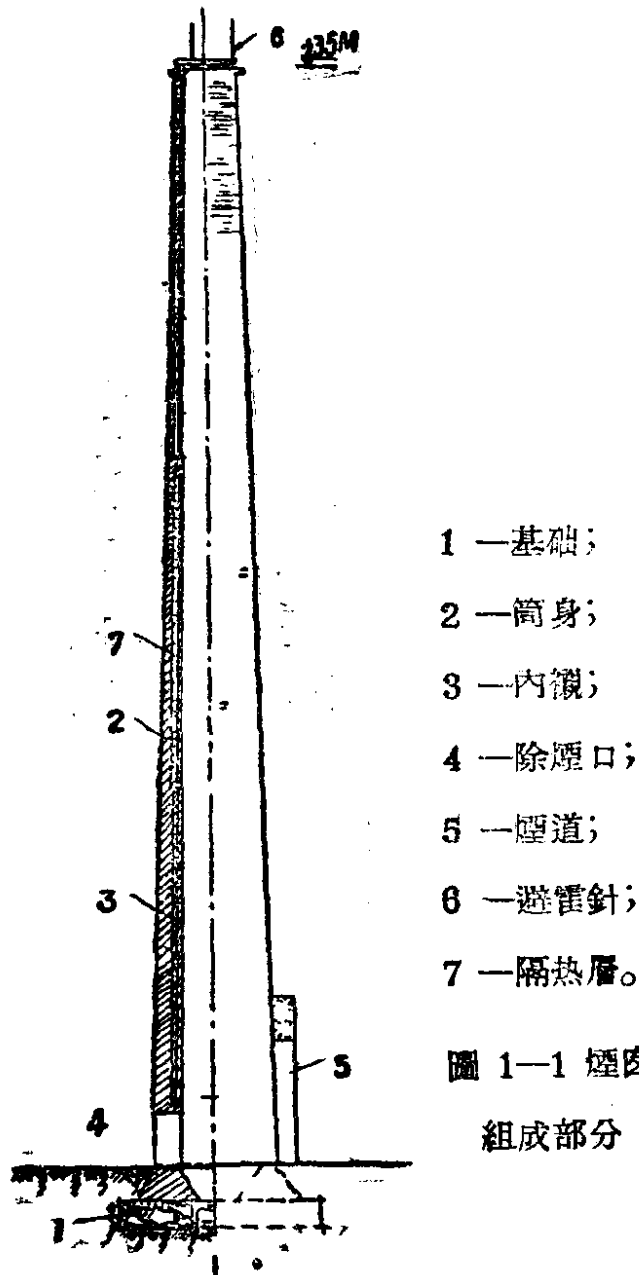
統一書號：15143·1262 定價（第9類）0.20元

目 錄

第一章	概 述.....	(2)
第二章	烟囪的設計.....	(4)
第三章	烟囪結構的計算.....	(9)
第四章	設計中的幾點體會.....	(22)
第五章	烟囪施工前的準備工作.....	(23)
第六章	外懸臂活動腳手架.....	(26)
第七章	烟囪的施工.....	(35)
第八章	烟囪的操作規程和安全措施.....	(43)
第九章	竣工後的體會.....	(47)

第一章 概 述

清華大學燃料綜合利用試驗電廠的鍋爐煙囪和焦化釜煙囪是由基礎、筒身、內襯、絕熱、爬梯、防雷設備等六部分組成（圖 1—1）。根據原始資料確定：大煙囪（即鍋爐煙囪）的筒身高 35 公尺，外徑 4.12 公尺，內徑 2.6 公尺，筒身口徑每公尺收 2 公分。筒身 12 公尺以下用 49 公分磚牆，12 公尺以上 24 公尺以下用 37 公分磚牆，24 公尺以上用 24 公分磚牆。5 公尺以下用 75# 砂漿砌築，5 公尺以上用 50# 砂漿砌築。小煙囪（即焦地釜煙囪）筒身高 15 公尺，外徑 1.9 公尺，內徑 84 公分，筒身口徑每公尺收 3.2 公分，筒身 5 公尺以下用 37 公分磚牆，5 公尺以上用 24 公分磚牆，7.5 公尺以下用 25# 砂漿砌築，7.5 公尺以上用 50# 砂漿砌



- 1 — 基礎；
- 2 — 筒身；
- 3 — 內襯；
- 4 — 除煙口；
- 5 — 煙道；
- 6 — 避雷針；
- 7 — 隔熱層。

圖 1—1 煙囪
組成部分

築。它們的內襯都是 12 公分磚牆、粘土砌築。大煙囪內襯到頂；小煙囪內襯至 7.5 公尺。因出煙溫度都比較高，所以隔熱層內都要滿填水渣。大煙囪的毛石混凝土基礎埋深 1.7 公尺；小煙囪毛石基礎埋深 1.5 公尺。煙囪用的磚均為 100# 紅機磚。筒身都由 2.4 公尺以上設置爬梯，在西北方向，每砌 5 皮磚設置一個。大煙囪在 24 公尺以下每 2 皮磚加鋼筋，24 公尺以上每 5 皮磚加鋼筋。兩個煙囪的大概情況就是這樣，下面將詳細介紹煙囪的設計與施工。

本煙囪為發電廠的鍋爐煙囪。在整個鍋爐設計中，都以節省鋼材，便於廣泛地在全國各農村中採用為原則。由於鍋爐系統中省去了省煤器和引風機，因此，煙氣溫度較高。根據鍋爐組提供的資料，煙氣溫度為 520°C ，煙氣速度為每秒 10 公尺。同時根據鍋爐設計及操作條件的要求，煙囪的最小內徑（淨面積的直徑）為 1.7 公尺，煙囪全高 5 公尺。

煙囪內煙氣溫度為 520°C ，在一般煙囪設計中是比較少有的。如以北京冬季室外溫度 -20°C 考慮，則煙囪內外溫度差達 540°C 。在這樣高的溫度差下，煙囪結構類型的選擇是很重要的。為了節省材料，少用鋼筋和水泥，顯然選用鋼筋混凝土的煙囪是不合適的。同時煙囪的高度不大，也沒有必要做成鋼筋混凝土的結構。但是溫度差所引起的溫度應力是很大的，解決溫度應力就成為煙囪設計中的主要問題。

第二章 煙囪的設計

一、設計的主要原則

清華大學燃料綜合利用試驗電廠，是清華大學的師生在貫徹了黨的大中小相結合、勞動生產與教學相結合的方針政策以後的產物，它的任務不僅是爲了清華大學教學工作與勞動生產的需要，更重要的是通過這個電廠的建成，創造經驗，以便將這些經驗推廣到全國各地，爲農村電氣化創造條件。根據這個總的原則，在電廠的設計過程中，都是按照黨的土洋結合、以土爲主的方針來進行的。煙囪是發電廠的一個主要組成部分，也是在這一方針指導下進行設計的。盡管設計本身距離黨的要求還差很遠，但在設計過程中，許多問題的考慮和解決，都打破了過去的常規，盡量“土”化，盡量考慮就地取材的。例如整個煙囪採用磚結構，不用耐火磚，採用毛石混凝土基礎等等。

二、設計資料

根據工藝要求，煙囪高度 $H=35$ 公尺；出口內徑（淨面積的直徑）爲 1.7 公尺。

根據北京地區的氣候條件，風載荷 20 公尺高度以下，採用 40 公斤/每平方公尺；20 公尺高度以上，每增加 1 公尺增加 1 公斤/每平方公尺。

根據鑽探情況，土壤的允許承載力 p_2 採用 18 噸/每平方公尺。土壤爲粘土層。

風載的空氣力系數採用 0.7，振動系數採用 1.5。振動系數按塔形構築物採用。煙囪上設有避雷針，並沿整個煙囪設置

爬梯。

三、煙囪外壁的確定

煙囪筒身坡度採用 2%（一般爲 1.5~3%），上部外徑爲 2.72 公尺，下部外徑爲 4.12 公尺。全高分爲三段，第一段高 11 公尺，外壁厚採用 24 公分；第二段高 12 公尺，外壁厚採用 37 公分；第三段高 12 公尺，外壁厚採用 49 公分。外壁全部用紅機磚砌築，從地面（標高 0）開始到 5 公尺標高處，用 100[#] 紅機磚，5 公尺以上一直到頂用 75[#] 紅機磚。

爲了更好地散熱，減少內外溫度差，外壁在標高 5 公尺、10 公尺、13 公尺、20 公尺、25 公尺處各留三個 12×12 公分的孔洞。三個孔洞均分佈置在水平面上。

四、煙囪內襯的確定

內襯里面的溫度爲 520°C，按照過去的一般規定，溫度在 500°C 以上時，應用耐火磚及火泥（干土子）砌築。

目前耐火磚很少，在農村中，就更少見，所以採用耐火磚是不現實也不可能的。根據我們的研究，認爲雖然內襯經常在 500°C 的溫度作用下，但用紅磚來砌築還是可以的。紅磚燒成的溫度是 900°C，所以在 500°C 的溫度下不會燒壞。普通燒飯的爐灶都是用紅磚砌築的，燒飯的溫度約在 900°C 左右，也沒有什麼問題。所以設計中採用紅磚做內襯材料。

火泥根據一般經驗，可用好粘土代替。一般燒飯爐灶也大都用粘土砌築，這一點，一般砌過爐灶的工人同志都有經驗。估計在農村中，用砌爐灶的粘土代替火泥來砌築煙囪的內襯還是可以的。

內襯與煙囪外壁之間有 15 公分的空隙，所以內襯不好與

外壁拉結起來，這在構造上是不太好的。考慮到內襯本身是封閉的圓筒，沒有開洞及其他減弱本身的剛度可以得到保證。所以，內襯和外壁一樣，分成三段，每段高度與外壁同，砌築在外壁里面的挑磚上。考慮到挑磚挑出的長度較大，所以挑磚分四次挑出，總高 48公分。

五、隔熱層處理

由於烟氣溫度高，烟囪內外溫度差大，所以隔熱層的處理很重要。隔熱層採用的材料，直接影響外壁內外的溫度差。在設計過程中，曾經考慮了好幾種隔熱材料：礦棉、石棉、高爐礦渣、煤渣等等。由於礦棉很貴，不易找到；石棉不能耐高溫，最後確定採用高爐礦渣或煤渣。採用高爐礦渣（一般叫水渣），隔熱性能較煤渣好，煙囪外壁的內外溫差可以減少較多，溫度應力比較小，對外壁的設計是較好的。但是，高爐礦渣只有在有高爐的地方才有，沒有煤渣那樣容易得到，所以在設計中考慮了兩個方案，或者採用高爐礦渣，或者採用煤渣。

一般煙囪內襯與外壁之間只留 5 公分空隙，不填隔熱材料。由於這個煙囪的內外溫差大，只有 5 公分的空氣層，仍會隔熱不好，使外壁內外溫度太大，溫度應力非常大；這樣就需放許多溫度應力鋼筋或在外面做許多鐵箍，也就會使用鋼量增加很多。為了節省鋼材，我們確定採用 15 公分的空隙層，內填高爐礦渣或煤渣。如果空隙層大於 15 公分，煙囪的構造和施工均不好處理，所以也不考慮再加大空隙層。

六、煙道口處理

在煙囪的底有兩個洞口，一個是煙道口，高 2.7 公尺，寬 1 公尺；一個是出灰口，高 1 公尺，寬 60 公分。從強度計算

來看，雖然由於有兩個洞口而削弱了煙囪筒身，但強度均能滿足要求。

過去煙囪設計，一般在煙道口的上面，均設置鋼架或高大的鋼筋混凝土圈梁來加固煙道口。在這個煙囪的設計過程中，考慮到是否有必要也做一個大鋼梁或鋼筋混凝土圈梁來加固煙道口。根據強度計算及構造上的考慮，覺得沒有必要照樣做。設計中考慮在煙道口的上面做一個薄的鋼筋混凝土箍就可以了。混凝土箍的厚度為 6 公分，里面放 4 根 $\phi 12$ （直徑 12 公厘）的鐵筋。

對過去煙道口做大鋼梁或鋼筋混凝土圈梁的目的，我們了解得不夠，究竟為什麼，說不出道理；總覺得有比沒有好。不過，從土電廠推廣的意義來看，能夠沒有甚至不放鋼筋更好。

七、基礎的設計

煙囪基礎在粘土層上。基礎砌置深度為 1.7 公尺。採用毛石混凝土基礎，厚 95 公分，上面砌磚放腳。

地下水位較高，基礎有 70~80 公分的一段高度在地下水里面，施工比較困難，施工時需排水，然後打混凝土。

過去一般較高的煙囪，基礎的砌置深度均在 2 公尺以上，並採用鋼筋混凝土板作為基礎底板。根據計算，砌置深度 1.7 公尺，能滿足土壤承載能力的要求。按照過去的做法，砌置深度 1.7 公尺是比較小了一些，砌置深度大些當然比較好，但深度到什麼程度才算可以，沒有什麼規定，也沒有什麼必要的根據。因此，認為砌置深度採用 1.7 公尺還是可以的。

基礎底板採用毛石混凝土，不用鋼筋混凝土底板，在受力要求上是能滿足的。毛石混凝土厚 95 公分，本身剛度較大，上面磚放腳的底面，邊緣按 1:1.5 的壓力分佈綫來考慮上部

結構荷載傳到地基上，95 公分厚的混凝土是能滿足求要的。毛石混凝土底板中間約有 60 多公分直徑範圍，是在壓力分佈綫的範圍以外，因而這個範圍是不受壓力的；但爲了加強基礎底板的整體性及施工方便，所以中間這一段仍然打成混凝土，使整個基礎聯成一個完整的圓形底板。

（以上設計參見圖 2—1）。

第三章 煙囪結構的計算

一、煙囪筒壁厚度及幾何尺寸

	外 壁		內 襯	
第 一 段 (外壁厚 24 公分) (內襯厚 12 公分)	上 口	$D_H=2.72^M$	$D_B=2.24^M$	$D_H=1.94^M$
	下 口	$D_H=3.16^M$	$D_B=2.68^M$	$D_B=2.14^M$
第 二 段 (外壁厚 37 公分) (內襯厚 12 公分)	上 口	$D_H=3.16^M$	$D_B=2.42^M$	$D_H=2.12^M$
	下 口	$D_H=3.64^M$	$D_B=2.90^M$	$D_B=2.36^M$
第 三 段 (外壁厚 49 公分) (內襯厚 12 公分)	上 口	$D_H=3.64^M$	$D_B=2.66^M$	$=2.12^M$
	下 口	$D_H=4.12^M$	$D_B=3.14^M$	$D_B=2.6^M$

註: D_H 為外徑, D_B 為內徑。

二、烟囪外壁體積及重量計算

體積 $V = 1.57 a h(D_B + D_H)$ (a 為壁厚, h 為每段高)

重量 $g = \gamma V$ (γ 為材料或砌體單位重)

第一段: $V_1 = 1.57 \times 0.24 \times 11 \times (2.24 + 3.16) = 22.4 \text{ M}^3$.

$g_1 = 1.8 \times 22.4 = 40.4 \text{ T}$. (磚砌體 $\gamma = 1.8 \text{ T/M}^3$)

第二段: $V_2 = 1.57 \times 0.37 \times 12 \times (2.42 + 3.64) = 42.4 \text{ M}^3$.

$g_2 = 1.8 \times 42.4 = 76.3 \text{ T}$.

第三段: $V_3 = 1.57 \times 0.49 \times 12 \times (2.66 + 4.12) = 62.6 \text{ M}^3$.

$g_3 = 1.8 \times 62.6 = 113 \text{ T}$.

三、烟囪內襯體積及重量計算

第一段: $V_1 = 1.57 \times 0.12 \times 11(1.7 + 2.38) = 8.45 \text{ M}^3$.

$g_1 = 1.8 \times 8.45 = 15.2 \text{ T}$.

第二段: $V_2 = 1.57 \times 0.12 \times 12(1.88 + 2.6) = 10.2 \text{ M}^3$.

$g_2 = 1.8 \times 10.2 = 18.4 \text{ T}$.

第三段: $V_3 = 1.57 \times 0.12 \times 12(2.12 + 2.84) = 11.2 \text{ M}^3$.

$g_3 = 1.8 \times 11.2 = 20.2 \text{ T}$

四、隔熱层的重量計算

煤渣與高爐礦渣的單位重量的近似值, 按 1 T/M^3 計算。

第一段: $V_1 = 1.57 \times 0.15 \times 11 \times (1.94 + 2.68) = 12 \text{ M}^3$.

$g_1 = 1 \times 12 = 12 \text{ T}$.

第二段: $V_2 = 1.57 \times 0.15 \times 12 \times (2.12 + 2.9) = 14.2 \text{ M}^3$

$g_2 = 1 \times 14.2 = 14.2 \text{ T}$.

第三段: $V_3 = 1.57 \times 0.15 \times 12 \times (2.36 + 3.14) = 15.5 \text{ M}^3$.

$g_3 = 1 \times 15.5 = 15.5 \text{ T}$.

五、風載及各截面的彎矩

$$q_1 = 1.5 \times 0.7 \times 40 = 42 \text{ kg/M}^2.$$

($q = 40 \text{ kg/M}^2$)

$$q_2 = 1.5 \times 0.7 \times 55 = 58 \text{ kg/M}^2.$$

($q = 55 \text{ kg/M}^2$)

$$p = 1.05 q D_{cp} h.$$

D_{cp} 為所計算區段內中點的
平均外徑。

h 為所計算區段的高度。

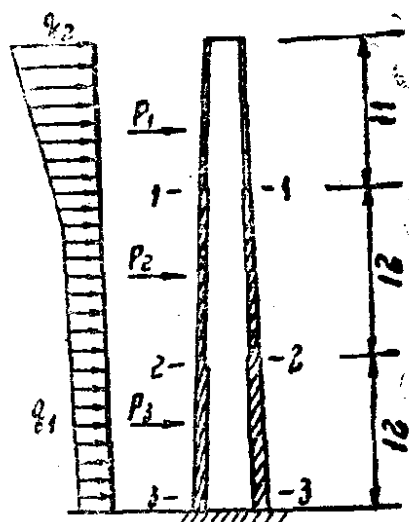


圖 3-1

$$p_1 = 1.05 \left(\frac{0.055 + 0.044}{2} \right) \left(\frac{2.72 + 3.16}{2} \right) 11 = 1.68 \text{ T.}$$

1-1 載面彎矩：

$$M_1 = 1.68 \times 5.5 = 9.25 \text{ T-M.}$$

$$p_2 = 1.05 \times 0.041 \times \frac{(3.16 + 3.64)}{2} \times 12 = 1.76 \text{ T.}$$

2-2 載面彎矩：

$$M_2 = 1.76 \times 6 + 1.68 \times (12 + 5.5) = 40 \text{ T-M.}$$

$$p_3 = 1.05 \times 0.04 \times \frac{(3.64 + 4.12)}{2} \times 12 = 1.96 \text{ T.}$$

3-3 載面彎矩：

$$M_3 = 1.96 \times 6 + 1.76(12 + 6) + 1.68(24 + 5.5) = 93.2 \text{ T-M.}$$

註：T—噸； M—公尺； cm—公分； kg—公斤。

六、各截面的軸向力

1—1 截面：

$$N_1 = 40.4 \text{ T}$$

2—2 截面：

$$N_2 = 40.4 + 12 + 15.2 + 76.3 = 143.9 \text{ T}$$

3—3 截面：

$$N_3 = 143.9 + 113 + 18.4 + 14.2 = 289.5 \text{ T}$$

對基礎的荷載 $N^4 = 289.5 + 20.2 + 15.5 = 325.2 \text{ T}$

七、各截面的面積 F 及抗彎斷面系數 W ：

$F = \pi(r_H^2 - r_B^2)$ ， r_H 為外半徑， r_B 為內半徑。

$$W = \frac{\pi}{32D_H}(D_H^4 - D_B^4).$$

1—1 截面：

$$F_1 = \pi(1.58^2 - 1.34^2) = 2.2 \text{ M}^2$$

$$W_1 = \frac{\pi}{32 \times 3.16}(3.16^4 - 2.68^4) = 1.49 \text{ M}^3$$

2—2 截面：

$$F_2 = \pi(1.82^2 - 1.45^2) = 3.8 \text{ M}^2$$

$$W_2 = \frac{\pi}{32 \times 3.64}(3.64^4 - 2.9^4) = 2.8 \text{ M}^3.$$

3—3 截面：

$$F_3 = \pi(2.06^2 - 1.57^2) = 5.58 \text{ M}^2 \circ$$

$$W_3 = \frac{\pi}{32 \times 4.12}(4.12^4 - 3.14^4) = 4.56 \text{ M}^3 \circ$$

八、各截面的应力及强度校核

$$\text{應力 } \sigma = \frac{N}{\varphi F} \pm \frac{M}{W} \circ \quad \varphi \text{ 爲屈折系數。}$$

1—1 截面：

$$\frac{h_1}{D_{cp}} = \frac{11}{\frac{(2.72 + 3.16)}{2}} = \frac{11}{2.94} = 3.74. \quad \varphi_1 = 1.$$

$$\sigma = \frac{40.4}{1 \times 2.2} \pm \frac{9.25}{1.49} = 18.4 \pm 6.2$$

$$\sigma_1 = 24.6 \text{ T/M}^2. \quad \sigma_2 = 12.2 \text{ T/M}^2.$$

2—2 截面：

$$\frac{h_2}{D_{cp}} = \frac{23}{\frac{(2.72 + 3.64)}{2}} = \frac{23}{3.18} = 7.2. \quad \varphi_2 = 0.94.$$

$$\sigma = \frac{143.9}{0.94 \times 3.8} \pm \frac{40}{2.8} = 40.3 \pm 14.3.$$

$$\sigma_1 = 54.6 \text{ T/M}^2 \quad \sigma_2 = 26 \text{ T/M}^2.$$

3—3 截面：

$$\frac{h_3}{D_{cp}} = \frac{35}{\frac{(2.72 + 4.12)}{2}} = \frac{35}{3.42} = 10.2. \quad \varphi_3 = 0.88.$$

$$\sigma = \frac{289.5}{0.88 \times 5.58} \pm \frac{93.2}{4.56} = 59 \pm 20.5.$$

$$\sigma_1 = 79.5 \text{ T/M}^2. \quad \sigma_2 = 38.5 \text{ T/M}^2.$$

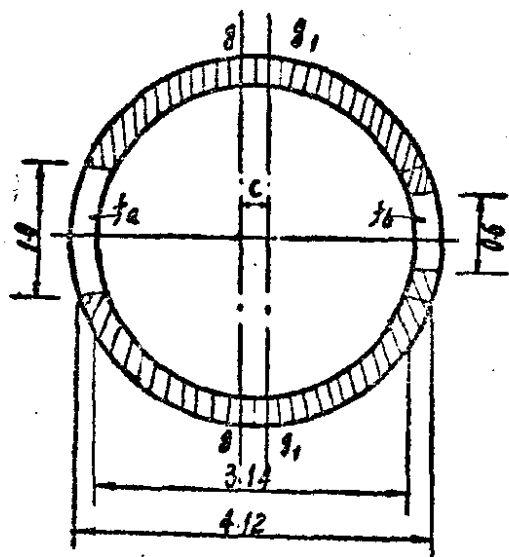
2.3, 允許抗壓強度等於 $\frac{250}{2.3} = 109 \text{ T/M}^2$ 。

從上面計算結果，各個截面均為壓應力，應力值均小於 109T/M^2 ，所以是安全的。

減弱的面積：

$$f_a = 1 \times 0.49 = 0.49 \text{ M}^2 \quad (\text{近似})。$$

$$f_b = 0.6 \times 0.49 = 0.295 \text{ M}^2 \quad (\text{近似})。$$



3-2

由 f_a 減弱後的截面 $F' = 5.58 - 0.47 = 5.09 \text{ M}^2$ 。

由 f_b 減弱後的截面 $F'' = 5.58 - 0.295 = 5.285 \text{ m}^2$ 。

由於 f_a 開口斷面幾何軸對重心向右偏移的數值為：

$$c' = 0.5D_H - \frac{F_s \times 0.5D_H - f_a(D_H - 0.61d)}{F'} =$$

$$0.5 \times 4.12 - \frac{5.58 \times 0.5 \times 4.12 - 0.49(4.12 - 0.61 \times 0.49)}{5.09}$$

$$= 2.06 - 1.89 = 0.17 \text{ M.}$$

由於 f_b 開口斷面幾何軸對重心向左偏移的數值為：

$$c'' = 2.06 - \frac{5.58 \times 0.5 \times 4.12 - 0.295(4.12 - 0.535 \times 0.49)}{5.28}$$

$$= 2.06 - 1.96 = 0.1 \text{ M.}$$

總的幾何軸向右偏移的數值為：

$$c = c' - c'' = 0.17 - 0.1 = 0.07 \text{ M.}$$

附加彎矩：

$$M_c = N_3 \cdot c = 289.5 \times 0.07 = 20.3 \text{ T-M.}$$

總的彎矩：

$$M = M_3 + M_c = 93.2 + 20.3 = 113.5 \text{ T-M.}$$

減弱後的斷面慣性矩 J_{y_1} 為（對 y_1 — y_2 軸）：

$$\begin{aligned} J_{y_1} = & 3.14 \frac{D_H^4 - D_B^4}{64} + F_3 c^2 \\ & - \left(\frac{f_a(\text{弧長}) \times d^3}{12} + f_a \times y_a^2 \right) \\ & - \left(\frac{f_b(\text{弧長}) \times d^3}{12} + f_b \times y_b^2 \right) \circ \end{aligned}$$

式中 y_a ， y_b 分別 f_a ， f_b 的重心到重心軸（ y_1 — y_1 ）的距離：

$$y_a = \frac{4.12}{2} - 0.24 + 0.07 = 1.89 \text{ M.}$$

$$y_b = 4.12 - 0.49 - y_a = 1.74 \text{ M.}$$