

電力建設勘測設計技術革命資料選編

土 建 部 分 之 四

# 火力发电厂中几种特殊結構介紹

水利电力部電力建設总局編

水 利 电 力 出 版 社

電力建設勘测設計技術革命資料選編

土 建 部 分 之 四

# 火力发电厂中几种特殊結構介紹

水利电力部電力建設总局編

水 利 电 力 出 版 社

## 目 錄

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 一、40吨/时鍋炉的装配式鋼筋混凝土剛架 ..... | 2 |
| 二、45公尺装配式鋼筋混凝土骨架烟囱 .....   | 4 |
| 三、鋼筋混凝土天車阻进器 .....         | 6 |
| 四、Γ 形单腿吊車設計介紹 .....        | 7 |

## 一、40吨/时鍋炉的装配式鋼筋混凝土剛架

### 1. 布置方式:

- (1) 以装配式鋼筋混凝土鍋炉剛架代替鋼的鍋炉剛架;
- (2) 煤斗間与鍋炉剛架合并布置;
- (3) 鍋炉房与鍋炉剛架合并布置。

### 2. 結構形式:

本鍋炉是由北京修造厂設計和制造的 40 吨/时播散式鏈条炉, 并考虑半露天式布置, 操作层設在零公尺地面 (詳細的鍋炉結構見图 1 至图 10)。

(1) 炉墙仍为承受自重的磚結構, 因此鍋炉剛架构不承担炉墙重量。鋼筋混凝土柱与炉墙分离布置, 故在炉墙承高温的情况下, 鋼筋混凝土柱不受温度的影响。鍋炉本体設備、汽包和水冷壁管等均支吊在鋼筋混凝土剛架梁上。所有这些接点均做成在温度影响下可以自由伸縮的活动鉸点。因此, 温度产生之应力不傳給鋼筋混凝土剛架, 故在結構計算中不进行温度应力計算。

(2) 鋼筋混凝土立柱及橫梁均沿着鍋炉四周布置, 均应滿足設備在运行操作、安装及檢修时的要求。設計时必须与制造厂共同研究梁柱的布置。

(3) 煤斗布置在炉前。除鍋炉剛架的立柱外, 再立两根柱子組成煤斗間, 煤斗壁采用預制槽形板, 煤斗下口的煤斗梁做成空心梁, 空心部分为煤斗出口, 这样使煤斗靠鍋炉更近, 降低輸煤层标高。

(4) 屋頂採用預制槽形板，搭在屋頂梁上。屋頂梁支在鍋爐剛架的頂柱上，兩邊向外挑出作為步道頂蓋。

(5) 步道板及樓梯均採用預制鋼筋混凝土結構。除剛架外，還另加小柱子與剛架柱組成框架來支承步道板，這樣就不必在剛架上挑出很大的挑梁，而且可以減小剛架柱的計算高度。只有在單步道（一般約70公分寬）時，因間距太近，就不另設小柱子，直接在柱子上做挑梁。

(6) 剛架梁柱的連接點因荷重不大，而且布置很不規則，所以均做成鉸接，由柱子上留出牛腿及鋼板，梁直接搭在牛腿上，梁上預埋角鐵與柱的鋼板焊接。

### 3. 施工安裝方面：

所有各預制構件的尺寸及重量均不大，起重高度也不高，主要構件規格如下：

最大柱子的高度為10公尺，重為4噸；屋架梁長11公尺，重為4.1噸；煤斗梁重為7噸；步道板（0.7公尺×4公尺）重為450公斤。這樣，使用把杆來起吊，即可進行安裝；其中，較重件的煤斗梁，如起吊有困難可改成現場澆制，這樣並不影響鍋爐的安裝。

因剛架梁柱的接點均為鉸接，故在設備安裝過程中，可以將個別的梁板臨時拆除。例如，吊汽包時可先把汽包搬進剛架的汽包梁下面，直接利用汽包梁把汽包吊起來，並將有礙於起吊的梁臨時拆除，待汽包安裝完畢後再安上。其他，步道板等也均可臨時拆除。

### 4. 經濟比較<sup>①</sup>：

①此項比較數字是根據上海鍋爐廠製造的40噸/時剛架鍋爐與北京修造廠製造的40噸/時鋼筋混凝土架鍋爐計算的，在鍋爐本體的條件上也有不同之處。

(1) 厂房体积由 4380 公尺<sup>3</sup>/每台降至 1470 公尺<sup>3</sup>/每台，节约66%；

(2) 钢材消耗由 56.2 吨/每台降至 5.5 吨/每台，节约90%；

(3) 投资由 5.9 万元/每台降至 1.7 万元/每台，节约71%。

## 二、45公尺装配式钢筋混凝土骨架烟囱

### 1. 结构形式：

烟囱采用正方形断面，四角为钢筋混凝土的骨架柱，四周每隔 5 公尺高做一周圈梁，节点间加钢筋拉杆组成桁架来承受风应力，钢筋拉杆仅考虑承受拉力，因此做成交叉形。

除上述的骨架外，里面用石棉水泥板做烟囱壁，每隔 1.8 公尺加高一横向联系小梁，作固定石棉水泥板用。

骨架柱做成 I 形断面，柱子与石棉水泥板之间留有孔隙，使柱子不直接与高温烟气接触，仅石棉水泥板与烟气接触，因此骨架不考虑水平及垂直方向的温度应力（详见图 11、12、13）。

关于烟囱断面的形式问题，现在按正方形断面来考虑。这样，在高度不大的烟囱时，正方形的边长不太长；但在烟囱高度很高而且直径很大时，则仍采用正方形断面不一定合适，以多边形或圆形的较合适，但多边形或圆形断面在应力分析上较为复杂，现在尚未进行设计。

### 2. 装配方法：

每节高 5 公尺，由两个柱及上下二横梁组成一个预制构件。每节共二片，上下二节的预制构件放的方向互成 90°（见图 12）。拉筋预埋在钢筋混凝土里，二片间的拉筋在拼装时焊

接起来，所有联系小梁均为預制。在安装石棉水泥板时，可自上而下进行安装。施工采用金屬脚手架，也作起重架用（可用豎井式鋼架），每一构件重为 2.35 吨。

**3. 技术經濟比較**（以高 45 公尺、口徑 2.5 公尺为例）：

（1）由于采用預制装配式构件，使施工工期可以大大地縮短；尤其在冬季施工时，可节约很大的冬季施工費用。

（2）自重大大地減輕，由磚烟囱的 540 吨减低至 60 吨。这样，在基础中也可节约很多材料及投資。在地震区建筑将更为有利。

（3）采用骨架式結構后，对烟道进口沒有严格要求，可根据需要来决定烟道进口的寬度。进口的数量也不受限制（可建 4 个）。这样，在烟道数为奇数时，不必将中間的烟道分成二边进入

表 1

| 材料         | 磚                     |           | 里                     | 加固鋼筋                  |           | 緊圈        | 鋼筋混凝土                 |           | 石棉水泥板                 | 拉筋        | 投資        |           |           |      |
|------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
|            | 價格                    |           |                       | 價格                    |           |           | 價格                    |           |                       |           |           |           |           |      |
|            | 數量<br>公尺 <sup>3</sup> | 價格<br>(元) |                       | 數量<br>公尺 <sup>8</sup> | 價格<br>(元) |           | 數量<br>公尺 <sup>2</sup> | 價格<br>(元) |                       |           |           | 數量<br>(噸) | 價格<br>(元) |      |
| 結構物        | 數量<br>公尺 <sup>3</sup> | 價格<br>(元) | 數量<br>公尺 <sup>8</sup> | 價格<br>(元)             | 數量<br>(噸) | 價格<br>(元) | 數量<br>公尺 <sup>8</sup> | 價格<br>(元) | 數量<br>公尺 <sup>2</sup> | 價格<br>(元) | 數量<br>(噸) | 價格<br>(元) | 共計<br>(元) | %    |
| 磚          | 235                   | 9,335     | 56                    | 1,894                 | 0.63      | 352       | 0.67                  | 470       |                       |           |           |           | 12,051    | 100  |
| 裝配式鋼筋混凝土煙囪 |                       |           |                       |                       |           |           | 19                    | 3,800     | 700                   | 3,660     | 1.5       | 1,050     | 8,510     | 70.6 |

注：关于用石棉水泥板做烟囱壁并不一定是最理想的材料，因对其質量及性能方面掌握不夠，希望研究修改。

烟囱，以节约烟道的材料和投资。

(4) 烟囱本体的经济比较如表 1 所示。

### 三、钢筋混凝土天车阻进器

过去工程中，天车阻进器一般均设计为钢的，采用“单层厂房钢结构<sup>①</sup>”一书所介绍的形式用钢板焊成为三角形构件，钢材消耗量较大。在技术革命运动中，为了节约钢材，考虑电厂中的天车主要为安装检修用，行驶速度很慢，冲击力很小；因此认为用钢筋混凝土制天车阻进器是可能的。

1. 设计特点：钢筋混凝土天车阻进器设计为预制的，便于扩建时可以拆迁至新的位置，其结构形式与钢制天车阻进器相仿。用螺栓固定在天车梁上，每个阻进器约为 500 公斤，施工吊装并不困难。

设计时，缺乏天车运行速度资料，因此不易计算天车的冲击力大小。鉴于火力发电厂内之天车为安装检修之用，行驶速度很慢，初步考虑采用天车最大轮压之 20% 计算，该估计是否正确尚待进一步研究，希望设计时予以注意。

2. 结构计算（计算示意图见图 14）：

混凝土标号为 300 号；

钢筋为 CT.3；

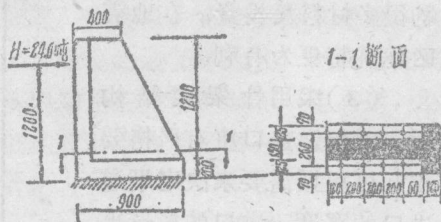


图 14

① 该书系颜景田等译，由前重工业出版社出版。

50/10吨吊車最大輪压  $P=46.5$  吨；

超载系数  $=1.2$ ；动力系数  $K=1.1$ 。

冲击力  $H=1.2 \times 1.1 \times 2 \times 46.5 \times 0.2=24.6$  吨。

計算弯矩  $M=Hh=24.6 \times 1.2=29.5$  吨公尺。

工作条件系数  $m=1$ ；宽度  $b=15$  公分；有效高度  $h_0=85$  公分。

$$\text{查表系数 } A_0 = \frac{M}{mbh_0^2} = \frac{2950000}{1 \times 15 \times 85^2} = 27.2。$$

$\therefore$  配筋率  $\mu=1.8\%$ ； $F_a = \mu b h_0 = 1.8 \times 15 \times 85 \times \frac{1}{100} = 23$  公分<sup>2</sup>。

采用  $4\phi 25$ ， $F_a=24.5$  公分<sup>2</sup>。

天車阻进器配筋詳見图15。

### 3. 經濟比較:

鋼筋混凝土天車阻进器与鋼制的比較，見表 2：

表 2

| 結構名称      | 鋼 材        |      | 混凝土(300#) |     | 造 价       |     | 重 量        |     |
|-----------|------------|------|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|
|           | 数量<br>(公斤) | %    | 数量        | %   | 共計<br>(元) | %   | 总重<br>(公斤) | %   |
| 鋼 制 阻 进 器 | 280        | 100  | —         | —   | 168       | 100 | 280        | 100 |
| 鋼筋混凝土制阻进器 | 71         | 25.4 | 0.2       | 100 | 52        | 31  | 500        | 179 |

注：鋼材按 600 元/吨計。混凝土按 50 元/公尺<sup>3</sup>計。

## 四、Γ形单腿吊車設計介紹

随着露天发电厂的推广，火力发电厂主厂房內，汽机房的

桥式吊車采用单腿  $\Gamma$  形吊車，进行安装和檢修最为經濟合理。但是，目前制造厂尙无这种  $\Gamma$  形吊車供应，因此就利用制造厂家出品的桥式吊車加装支腿，改装成为所需要的  $\Gamma$  形吊車。

**1.  $\Gamma$  形吊車的构造特点：**支腿的結構形式是很多的，一般是当上部結構为桁架式时，支腿也是桁架式(图16)；上部結構为組合鋼梁时，支腿也相应的做成实腹柱，并带有支撐系統(图17)。

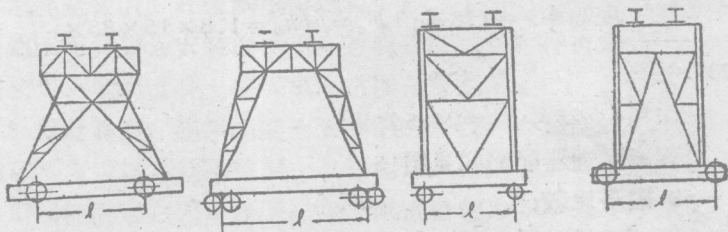


图 16

图 17

支腿与桥架的連接一般有两种基本形式：一为剛接，另一为鉸接。但当荷重不大时，也有采用桁构式結構的，这种結構的剛性介乎剛接和鉸接之間。例如，上海电力設計院所設計的30/5吨  $\Gamma$  形吊車即采用这种桁式支腿；50/10吨吊車，由于荷重較大，則需要做成剛接，以承受小車的垂直压力及由此引起的支座弯矩。桁构式支腿在构造上比較簡單，剛接桁架式支腿在构造上則較复杂，但其剛度大，橫向及縱向的稳定均較好。

## 2. $\Gamma$ 型吊車結構計算：

(1) 計算上应考虑的問題：

- 1) 应具有足够的强度、剛度和稳定性。
- 2) 在工作負荷作用时，整个結構应具有必要的空間剛度。

- 3) 构件截面的种类及并装应尽量简单和减少。
- 4) 考虑小車及大車在运行时的慣性力。
- 5) 进行縱向稳定驗算。
- 6) 在温度变化幅度較大地区，应驗算温度应力。

(2) 計算技术依据：

- 1) 鋼材采用鋼 CT.3，其基本允許应力为：

拉压弯  $[\sigma_m] = 1,400$  公斤/公分<sup>2</sup>；

剪切  $= 1,050$  公斤/公分<sup>2</sup>；

局部受压  $= 2,100$  公斤/公分<sup>2</sup>。

- 2) 焊条用厚涂料焊条 542，其基本允許应力为：

压应力  $= 0.9 \times 1,400 = 1,260$  公斤/公分<sup>2</sup>；

拉应力  $= 0.8 \times 1,400 = 1,120$  公斤/公分<sup>2</sup>；

剪切  $= 0.7 \times 1,050 = 735$  公斤/公分<sup>2</sup>。

- 3) 移动时，吊車結構自重应乘以冲击系数  $K$ ：

当行車速度  $V > 60$  公尺/分， $K = 1.1$ ；

当行車速度  $V < 60$  公尺/分， $K = 1.0$ 。

- 4) 吊車的有效載荷及运行小車的重量：考虑到慣性力、冲击力及結構的震动等影响，应乘以修正系数  $\varphi$ 。

中級吊車时  $\varphi = 1.3$ ；

重級吊車时  $\varphi = 1.5$ 。

- 5) 小車运行时的水平慣性力采取为所有制动輪或主动輪垂直压力的  $1/7$ ，或为垂直压力的  $\frac{V}{10t}$  ( $V$  为运轉时的最大速度，以公尺/秒計， $t$  为刹車到停車的时间)。

- 6) 吊車小車的导輪对鋼軌所产生的橫向冲击力，等于全部輪压的  $1/10$ 。

- 7) 构件的細长比 ( $\lambda =$  細长比)：

受压构件：主杆 $\lambda=120$ ；斜杆及横撑 $\lambda=150$ 。

受拉构件： $\lambda=350$ 。

8) 行車梁的允許撓度  $f = \frac{1}{700}l$ ；而此撓度是根据小車和

有效荷重的重量決定的。

9) 风荷重是根据苏联 ГОСТ 1451-24 的規定采用。

工作时的风力为 25 公斤/公尺<sup>2</sup>；

不工作时，风力則采用該地区风力值。

(3) 荷重組合——計算时考虑主要組合和附加組合的两种情况：

1) 主要組合：

当 Г 型吊車縱向不移动而小車工作时，考虑下述的荷重情形：

a. 自重；

б. 小車运行时的动輪垂直压力；

в. 小車制动时所产生的水平慣性力；

г. 工作状态下的风力。

当大車縱向移动而小車不工作时，考虑下述的荷重情形：

a. 自重；

б. 小車动輪压力；

в. 大車制动或吊車歪斜时所产生的水平力；

г. 工作状态下的风力。

2) 附加組合：

当大車不动而小車工作时：

a. 自重；

б. 負載小車在最边的位置，并压住緩冲器；

в. 小車撞在緩冲器上的冲击力；

### 1. 工作状态下的风力。

当大車不动和小車不工作时：

#### a. 自重；

#### b. 空的小車在桥架上的任一位置上；

#### c. 非工作状态下的风力。

### (4) 计算方法：

目前采用的I型吊車系将制造厂供应的桥式行車予以加 装支腿，故在設計时，桥架本身强度及剛度一般不予驗算，而仅是計算支腿。按理論上，支腿应視作一次超靜定結構考虑，为了簡化及避免除氧間框架承受过大的水平推力，在計算时系假定一端鉸接，另一端滾軸支承(图18)。支腿的計算考虑两种組合情况，一种是小車輪压直接压在支腿上(見图19)，另一种是小車在某一位置使 $H$ 为最大(見图20)。至于风荷重，可視為均匀地作用在支腿上或以集中力作用在支腿頂部及端部，两者对鉸接支座的水平反力值相差不大，而支腿內的支撐系統，一般均按构造設計，符合允許細长比即可。

上海电力設計院設計的30/5吨的施工图和計算書見附录及附图21、22、23。

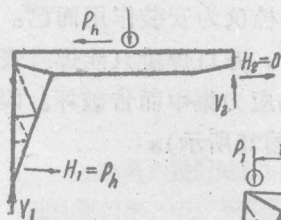


图 18

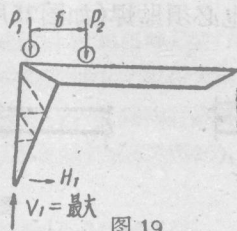


图 19

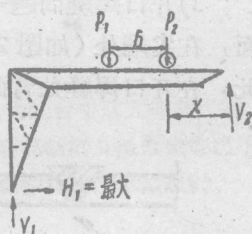


图 20

### 3. 設計中的体会:

#### (1) I 型行車支腿跨距的确定:

行車支腿跨距  $l$  的确定, 必須根据橫向稳定性的驗算, 及吊車工作时能将起吊物放入檢修孔位置的关系来决定。此外, 根据一些制造厂經驗規定, 支腿的跨距  $l$  与行車跨度  $L$  的关系约为  $l \geq \frac{L}{4}$  ( $l$  为吊車支腿的輪距;  $L$  为吊車的跨度)。

#### (2) 节点联系的一些問題:

1) 构件采用电焊与鉚接問題——对动荷載构件一般是不采用电焊的, 以免焊接后表面脆化而发生应力集中。同时, 在連續焊縫中也易使构件发生变形。經与制造厂联系后, 認為在行車中可以考慮电焊接合。如在工作頻率較多和速度較快的冶炼車間等采用电焊, 須另加考虑; 对一般行速不快工作次数不多的檢修安装行車是没有什么問題的, 現行的各項焊接操作規程均有严格規定。

2) 电焊与螺栓联合使用問題——根据制造厂意見, 認為螺栓之間不可避免地留有一定的空隙。所以, 当构件受力后, 在焊縫先行单独受力破坏后才能再考虑螺栓作用, 因而电焊与螺栓联合在一起只应考虑电焊作用, 而螺栓仅为安装作用而已。

3) 开口焊縫問題——設計箱形梁中, 开口焊縫只能焊外表面, 在尖端处 (如图 24 箭头所示) 容易应力集中而告破坏。因此, 在开口焊縫处背面也必須貼焊 (如图 25 所示)。



图 24



图 25

4) 螺栓联系問題——螺栓联系較精密，一般在构件中不希望搞很多螺栓接合，預留螺栓孔必須留有加工符号。留眼要准，不容許有較大偏差，一般采用螺栓，均是一个端头螺栓，二个螺帽，再加个开口銷封住。

(3) 图紙的編排及要求制造厂意見要求設計图紙比例較大，在1:20以上。每个构件均須列表注清，因制造厂是車間生产，某些构件卸料并不根据放样，即按材料表卸料。形状較为不規則的板还需放大样注清。

## 参 考 文 献

1. 哥赫別尔格著，赵汉生譯：起重运输机金屬結構理論及計算。
2. 巴夫諾夫著，吳克敏譯：起重机計算法及实例。
3. 徐灝編譯：起重机。
4. А. О. СПИВАКОВСКИЙ, ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ.
5. 交通大学起重机教研組：金屬結構起重机講義。
6. 大連起重机制造厂 5~50 吨行車起重書及 75/20 吨行車成套图紙。

## 附 录

上海电力設計院設計的30/5吨Г型行車，为配合半露天等电厂25,000瓩机组使用。由于該項結構中之車身大梁、端部橫梁及操縱室等已有大連起重机厂成套图紙供应，故結構計算部分仅作行車之单腿設計。

30/5 吨 Г 型行車单腿計算(见图26)：

1. 計算依据：

(1) 起吊之最大輪压  $P=14.5$  吨；

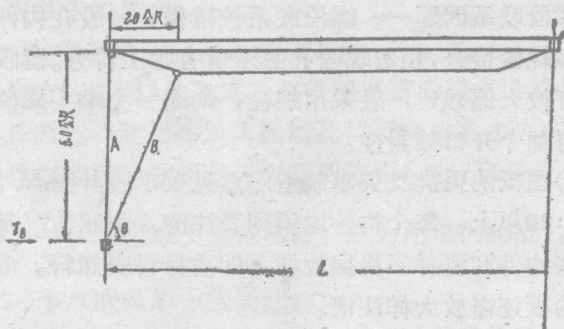


图 26

(2) 车架单腿之自重估計約 6 吨,

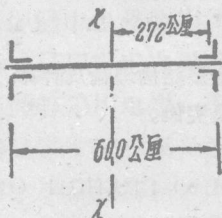


图 27

(3) 鋼材为 CT.3 鋼,

(4) 按规范 ГOCT1451—42 工作时, 采用风荷重为 30 公斤/公尺<sup>2</sup>。

2. 杆 A 計算(见图 27):

$$R_A = 14.5 \times 2 + 6 = 35 \text{ 吨},$$

采用 L 100 × 100 × 10 及 10 公厘腹板,

$$J = 4 \times J_1 + 4 \times F_1 a^2 + J_2.$$

$J_1$  是角鋼本身慣性矩,

$F_1$  是角鋼面积,

$a$  是角鋼重心至整个断面重心的距离,

$J_2$  是腹板慣性矩。

$$\begin{aligned} J &= 4 \times 179 + 4 \times 19.2 \times 27.22 + \frac{1 \times 603}{12} = 716 + 56600 + 18000 \\ &= 75316 \text{ 公分}^4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{断面慣性半徑 } r &= \sqrt{\frac{J}{A}} = \sqrt{\frac{75316}{4 \times 19.2 + 1 \times 60}} = \sqrt{\frac{75316}{136.8}} \\ &= \sqrt{550} = 23.5. \end{aligned}$$

$$\text{細長比 } \lambda = \frac{l_0}{r} = \frac{600}{23.5} = 25.6. \quad \varphi = 0.94.$$

$$\text{应力 } \sigma = \frac{35000}{136.8 \times 0.94} = 270 \text{ 公斤/公分}^2 < [\sigma].$$

### 3. 杆 B 計算(見圖26):

小車是行時的水平慣性力，採取為所有制動輪或主動輪垂直壓力的  
1/7。

$$\text{水平慣性力 } T = \frac{2 \times 14.5}{7} = 4.15 \text{ 噸,}$$

$$\text{風力 } p_0 = 30 \times 1.4 \times 3 \times 3.5 = 450 \text{ 公斤,}$$

$$\text{風荷重} = 30 \text{ 公斤/公尺}^2,$$

$$\text{超載係數} = 1.4,$$

$$\text{迎風的近似折算面積} = 3 \times 3.5,$$

$$\text{水平反力 } T_B = 4.15 + 0.45 = 4.6 \text{ 噸,}$$

$$\therefore \text{杆 } B \text{ 內力 } R_B = 4.6 \times \frac{1}{\cos \theta},$$

$$\cos \theta \approx \frac{2}{6},$$

$$\therefore R_B = 4.6 \times \frac{6}{2} = 13.8 \text{ 噸,}$$

$$\text{斷面 } F = \frac{13.8}{[\sigma]} = \frac{13.8}{1.4} \approx 10 \text{ 公分}^2,$$

$$\text{採用 } 2\text{L}_{100 \times 100 \times 10} \text{ 公厘, } F = 38 \text{ 公分}^2.$$