

預应力混凝土理論与实验研究

(下 冊)

[法国] Y. 居易翁著

科技卫生出版社

預 应 力 混 凝 土

理 論 与 实 驗 研 究

下 册

[法国] Y. 居易翁著

葛守善译 周念先校



科 技 卫 生 出 版 社

內 容 提 要

本書根據法國 Y. 居易翁所著 預應力混凝土理論與實驗研究 (BÉTON PRÉCONTRAINTE: ÉTUDE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE) 1958 年再版修正本譯出, 共分上下兩冊出版。

本書分章論述各種主要預應力混凝土結構物的共同問題和靜定梁的彈性計算問題, 尤其對於許多特殊應力問題均作了深入的分析, 同時在對裂縫與破損計算方面更用極限狀態的理論加以核算。最後并詳盡地介紹了許多試驗的條件、過程、結果與分析, 說明了某些結合實際的理論。

本書還附有三個附錄, 補充說明一些專門問題, 其中附錄 I 提供了專對錨頭下集中應力分佈的計算用圖表, 因與第六章有關, 故特提前排在上冊之末, 以便讀者應用。

本書可供土建工程技術人員、大專師生、以及科學研究人員研究參考之用。

預應力混凝土理論與實驗研究

(下 冊)

BÉTON PRÉCONTRAINTE: ÉTUDE
THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE

原 著 者 [法國] Y. Guyon

原出版者 Éditions Eyrolles·1953 年版

譯 者 葛 守 善

*

科技衛生出版社出版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

中華書局印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號: 15119·856

開本 787×1092 毫米 1/18 · 印張 18 1/9 · 字數 360,000

1958 年 10 月第 1 版

1958 年 10 月第 1 次印刷 印數 1—2,500

定價: (10) 2.50 元

目 录

第十章 用均匀截面预应力钢筋的等截面静定梁的各种计算 公式	349
I. 版和矩形梁	349
1. 随活荷载与极限应力变化的临界跨度	349
2. 在临界跨度以下的版的计算公式	350
3. 在临界跨度以上的版的计算公式	351
4. 计算受外荷时的应力的修正	353
II. 任何其他形状的梁	356
5. 当梁高和它的截面模量 $\frac{I}{v}$ 和 $\frac{I}{v}$ 为已知数时对梁截面的确定	356
6. 梁高的选定	359
7. 腹版最小厚度的确定	359
8. 翼缘厚度的确定	360
9. 翼缘的宽度	365
10. 理论截面改为实用截面	368
11. 承受均匀荷载的对称工字梁随极限应力变化的临界跨度	368
12. 计算外荷产生的应力的修正项	370
第十一章 等截面先张法梁的计算	372
1. 后张法梁与先张法梁的区别	373
2. 梁截面中钢筋的布置	376
3. 计算时把钢筋考虑在内的梁的特征	380
4. 例 1. 先张法梁的计算	383
5. 考虑到钢筋中预拉应力损失的不均匀性而对偏心进行的调整	387
6. 例 2. 确定截面已知的梁在承受规定弯矩 M 时所需要的钢筋	390
7. 例 3. 确定在同一套模板中浇制的一系列小梁所需要的钢筋。各种小梁的 应用范围	392
第十二章 用不均匀弯起钢筋束的等截面梁	402
1. 一般性问题	403
2. 建议的方法	404

3. 分預应力 ν_0 和 ν'_0 的变化图形	407
4. 鋼絲束連續弯起的总图	409
5. 搭連的弯起鋼絲束	410
6. 鋼絲束弯起部分以外的其他部分的研究	412
7. 数例	416
8. 有大量弯起鋼絲束的梁	429

第十三章 單受弯和高度有变化的靜定梁 434

I. 弯矩計算和截面的确定	434
1. 高度有变化的梁的限心計算	435
2. 关于自重全部能自消的一根梁; 强度完全均匀的梁的計算	437
3. 均匀强度簡支梁的計算	442
4. 对用上述方法計算的梁所进行的試驗	449
5. 跨徑超过临界数值的簡支梁和承受最大荷載时能够达到均匀强度的各項 条件	454
6. 梁高度变化十分迅速时对应力計算的修正	462
7. 工字梁由于高度变化而引起的应力增加的近似估算	465
II. 抗剪强度	467
8. 由外荷造成的減余剪力	467
9. 由于預应力而产生的抗剪强度	469
10. 在截面中剪应力的分布	471
11. 在例 2 中的应用	472
12. 高度变化的梁內应当布置的最低限度的輔助鋼筋	477

第三篇 靜定梁的試驗安全性

第十四章 后張法靜定梁的試驗 481

(一) 7.75公尺跨徑的拋物綫梁試驗	481
(二) 对建造藕桥用的一根梁所进行的試驗	492
(三) 对都路士兽医学校桥的一根梁所进行的試驗	497

第十五章 先張法梁的試驗 517

(一) 樓板小梁的破坏試驗	517
單根小梁的破坏試驗	517
1. 試驗小梁的概述	517
2. 抗弯試驗	518
3. 抗剪試驗	525

4. 試驗总结	528
(1) 撓曲性	528
(2) 抗裂安全性	529
(3) 抗弯极限强度安全性	530
(4) 抗剪极限强度安全性	530
(二) 正常生产的楼板小梁的驗收試驗	530
(三) 矩形梁的靜力和动力試驗	533
第十六章 矩形梁的裂縫試驗。縱向軟鋼筋的影响和預加力的影响	542
1. 試驗梁的特征	542
2. 梁的制造、預加力和初加应力状态	543
3. 試驗方法、随荷載变化的应力和各种修正計算	547
4. 补充試驗	549
5. 各种測量	550
6. 应变記錄图	550
7. 各种应变曲綫的大致形状	562
8. 表面的裂縫应力的計算	565
9. 試行說明平均預应力对于表面的裂縫应力的影响	568
10. 抗裂强度增加的另一种解釋	573
11. 对矩形梁建議用的試驗公式	575
第十七章 預应力混凝土靜定梁的試驗結果总结	577
I. 变形	577
II. 裂縫	578
III. 受弯破坏試驗	587
1. 普通情况: 含鋼量低的梁	590
2. 破损弯矩定律的应用范围。混凝土强度的影响。中性軸在受压翼緣中的情况	592
3. 发生破坏时中性軸进入腹版內的情况	597
4. 实测破损弯矩大于根据第 1 节內公式計算的理論破损弯矩	598
5. 鋼絲的預拉应力对于破损弯矩的影响	599
6. 預先并無裂縫出現的破坏。脆性杆件	600
IV. 剪力試驗	601
第十八章 預应力混凝土靜定梁的安全性和彈塑性計算的說明	609
各种安全系数的研究及其对設計规范的影响	620

1. 在极限荷载作用下受压混凝土破損安全系数的驗算	620
2. 在預应力作用下受压混凝土破損安全系数的驗算	624
3. 在最大外荷作用下受压混凝土裂縫安全系数的驗算	625
4. 在預应力作用下的裂縫	632
5. 滿足破坏和裂縫要求的临界截面	632
6. 在自重不能全部自消的情况中	635
7. 預应力鋼的选定	635
8. 矩形梁的計算实例	638
9. 工字梁的計算实例	641
附录 II 預应力梁內剪切裂縫的方向	650
附录 III 在变高度梁的某截面中的剪应力分布規律	662

第十章 用均匀截面預应力鋼絲的等截面 靜定梁的各种計算公式

一般的計算方法已在第九章內說明。下面再給出可供实际应用的一些公式。

I. 版和矩形梁

1. 随活荷載与极限应力变化的临界跨度

以前說过,所謂临界跨度就是在这个跨度以下,自重影响完全可以自消。

設 s 为每平方公尺的活荷載, l 为跨度,則用第九章 12 节內所述之方法,即可得出下面的公式(假定所有的計算都是根据 $d' = \frac{h}{10}$ 进行的):

$$l_{\text{临界}} = \frac{0.337R + 0.815R'}{\sqrt{R - R'}} \sqrt{s}$$

式中 l 以公尺計, R 与 R' 以吨/平方公尺計, s 以吨/平方公尺計。

假定 $R = 120$ 公斤/平方公分,可以求出 $s = 1$ 吨/平方公尺时由以下各应力下限 R' 規定的临界跨度如下:

$R = 120$ 公斤/平方公分时的临界跨度数值

R' (公斤/平方公分)	$l_{\text{临界}}$ (公尺)
-10	9.7
0	11.6
5	13.1
10	14.6
15	16.2
20	17.9
25	19.7

在任何活荷載 s 的作用下,应將上表內所給的临界跨度数值乘以 $\sqrt{s}$, s 以吨/平方公尺計。

2. 在临界跨度以下的版的計算公式

可供一块版承受活荷載用的抗弯力矩称为版的有效抗弯力矩，相应于全部荷載的抗弯力矩則称为总抗弯力矩。

根据第九章內所述，得出

有效抗弯力矩： $\frac{bh^2}{6}(R-R')$ (全部为承受活荷載用)；

預加力： $F = bh \frac{R+R'}{2}$ 。

假定 T 为鋼筋的永存应力，鋼筋百分率应为

$$\frac{\omega}{bh} = \frac{R+R'}{2T}。$$

在 $R=120$ 公斤/平方公分， $R'=0$ ，和 $T=85$ 公斤/平方公厘的相当普通的情况中，可以得出下列：弯矩以吨·公尺計，尺寸以公尺計的各个計算公式。

有效抗弯力矩： $200bh^2$ (全部为承受活荷載用)；

$$h = \frac{1}{14.14} \sqrt{\frac{M_s}{b}}；$$

$$\frac{\omega}{bh} = 0.702\%$$

記住这些公式是有用的，因为它们立刻可以求出尺寸大小和鋼筋数量的大致数值。

与鋼筋混凝土的比較

假定能使混凝土承受 120 公斤/平方公分，鋼筋承受 1800 公斤/平方公分的力。可以見到对于鋼筋混凝土來說这已經是非常有利的假定了。于是当 $m=15$ ， $d' = \frac{h}{10}$ 时，大致得出

总抗弯力矩： $200bh^2$ 。

因此我們可以用同一个公式来計算預应力混凝土的有效抗弯力矩和鋼筋混凝土的总抗弯力矩。

对于同样厚度的版來說，如果預应力混凝土版能承受活荷載 s ，鋼筋混凝土只能承受 $s-h$ 的荷載。

至于在鋼筋用量方面，則根据上述假定設計的鋼筋混凝土版所用的为：

$$\frac{\omega}{bh} = 1.5\%。$$

从上面看来应用預应力混凝土比用鋼筋混凝土要經濟得多。

数例 11公尺跨度的版承受 1 吨/平方公尺的活荷載。

假定材料的特性如上所述。

根据第1节内的表格,这是指跨度在临界数值以下的预应力混凝土版,因为当 $R=120$, $R'=0$ 和 $s=1$ 吨/平方公尺时,临界跨度为 11.6 公尺。

活荷载对 1 公尺宽的版产生的弯矩为

$$1 \times \frac{11^2}{8} = 15.1.$$

预应力混凝土:版的厚度:

$$200h^2 = 15.1$$

$$h = \sqrt{0.0755} = 0.275 \text{ 公尺}$$

钢筋百分率: 0.702%, 即每公尺宽度的版上的钢筋截面为 19.4 平方公分。

钢筋混凝土: 则应为

$$200h^2 = 15.1 + M_p$$

并且

$$M_p = 2.4h \frac{l_2}{8} = 2.4h \frac{11^2}{8} = 36.3h$$

即

$$200h^2 - 36.3h - 15.1 = 0$$

于是求出

$$h = 0.38 \text{ 公尺}$$

钢筋百分率为 1.5%, 即每公尺宽度上有 57 平方公分。

因此采用预应力混凝土时可以用 1.38 除混凝土用量, 并以 3 除钢筋用量。

在经济上, 上述比较并不正如表面看来那样有利, 因为预应力混凝土中用的钢筋比钢筋混凝土中用的贵; 因此在钢的价值方面并未获益多少, 不过在混凝土方面则颇能节省, 并且又能使结构物所占的地位缩小很多。

3. 在临界跨度以上的版的计算方式

假定预加力的偏心可以达到最大值, 即当 $d' = \frac{-h}{10}$ 时, $e = -0.4h$ 。

受荷时压力中心应当升到限心上界, 也就是造成一个正的偏心:

$$\frac{h}{6} \frac{R-R'}{R+R'}$$

由于受荷时应力达到极限, F 仍等于 $bh \times \frac{R+R'}{2}$ 。

因此总抗弯力矩为

$$\left(0.4h + \frac{h}{6} \frac{R-R'}{R+R'}\right) bh \frac{R+R'}{2}.$$

因为 $R=120$, $R'=0$, 并且用吨与公尺做单位, 所以

$$\text{总抗弯力矩: } 340bh^2$$

这个数值应当等于 $M_p + M_s$ 。

鋼筋百分率仍和以前一样: 当永存应力为 85 公斤/平方公厘时, 鋼筋百分率为 0.702%。

在跨度大于临界跨度的情况中, 就不能抵消全部自重, 但是仍能抵消一大部分的自重, 至少不会在 40~50% 以下。

假定 p' 为被抵消的自重, $p - p'$ 为未被抵消的自重, 把 $p - p'$ 和活荷载加在一起, 显然將得出

$$200bh^2 = M_p - M_{p'} + M_s$$

由于另一方面

$$340bh^2 = M_p + M_s$$

因此

$$140bh^2 = M_{p'}$$

如果 s 是均匀荷载, 即得出

$$\frac{140bh^2}{200bh^2} = \frac{p'}{p - p' + s}$$

或者

$$p' = 0.7(p - p' + s),$$

$$p' = \frac{0.7}{1.7}(p + s) = 0.41(p + s)$$

或者

$$\frac{p'}{p} = 0.41\left(1 + \frac{s}{p}\right).$$

因此当 p 相对 s 加大时, 自消部分 $\frac{p'}{p}$ 即减小, 不过即使 p 变成非常大, $\frac{p'}{p}$ 也不能降到 0.41 以下。

由于只有当 $s=0$ 时才会达到这个限值, 因此可以说:

实际上, 如果极限应力为 120 公斤/平方公分² 与 0, 則能被抵消的自重永远不会在版的自重一半以下。

另一方面須提請注意的是: 即使当跨度超过临界数值时只有部分的自重能自消, 但是相对于钢筋混凝土而言的经济性并不因此减小, 而反加大。

为了証实这点, 就采用 16 公尺的版作为算例来討論, 該版承受和上面一样的 1 吨/平方公尺的荷载。应力的假定也都照旧。在这样的条件下已經超过了经济跨度。

預应力混凝土:

$$340h^2 = M_p + M_s$$

$$M_p = 2.4h \frac{16^2}{8} = 77h, \quad M_s = 1 \times \frac{16^2}{8} = 32 \text{ 吨} \cdot \text{公尺}$$

由此得出

$$340h^2 - 77h - 32 = 0$$

于是

$$h = 0.44。$$

$$\text{钢筋截面: } \omega = \frac{0.702 \times 4400}{100} = 30.9 \text{ 平方公分/公尺。}$$

钢筋混凝土:

$$200h^2 = M_p + M_s$$

或者

$$200h^2 - 77h - 32 = 0$$

于是

$$h = 0.635。$$

$$\text{钢筋截面: } \omega = \frac{1.5 \times 6350}{100} = 95 \text{ 平方公分/公尺。}$$

因此采用预应力混凝土时,能用 1.44 除混凝土用量,并用 3.07 除钢筋用量。这里所节省的用料,以百分率计,还比在预应力混凝土自重全部自消的情况中稍多一些。

4. 计算受外荷时的应力的修正

在第九章内我们曾假定版是密实的和均匀的,并且曾确定它的截面模量为

$$\frac{I}{v} = \frac{I}{v'} = \frac{bh^2}{6}。$$

实际上预加应力时,版上有穿束的孔道,因此截面模量减小,乃致自重产生的应力比计算应力来得大;随后钢丝束经过注浆以后,由于它和混凝土粘结起来,好象钢筋混凝土一样,于是截面模量就加大,因而活荷载造成的应力即比计算应力小。因此应当考虑到方向相反的两项修正因素。显然可以见到它们的综合作用是很小的。关于这点下面将予以证明。

假定 G 为截面重心, E 为钢丝束的重心。

从计算的观点来看,可以假定全部钢丝束都

结合成一根。设 S' 为穿束孔道的截面,并使 $\frac{S'}{S} = \varepsilon$, ε 值始终是小的。

假定 e 为偏心的绝对值。

在考虑穿束孔道的影响下,截面重心升至 G_1 ; 即 $GG_1 = g$, $G_1E = e_1$ 。

因此

$$g = \frac{S'e}{S-S'} = e \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}; \quad e_1 = e + g = \frac{e}{1-\varepsilon}。$$

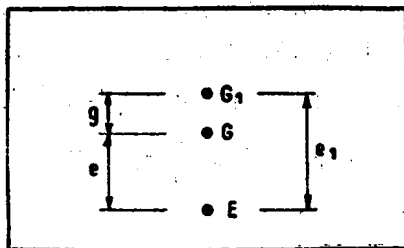


图 10-1

v 和 v' 即成为

$$v_1 = v - g \text{ 和 } v'_1 = v + g \left(v = \frac{h}{2} \right).$$

慣性矩为

$$\begin{aligned} I_1 &= I + Sg^2 - S'e_1^2 = I + Se^2 \frac{\varepsilon^2}{(1-\varepsilon)^2} - S \frac{\varepsilon e^2}{(1-\varepsilon)^2} \\ &= I - Se^2 \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = I \left(1 - \frac{e^2}{I^2} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right). \end{aligned}$$

截面模量为

$$\frac{I_1}{v_1} = \frac{I \left(1 - \frac{e^2}{r^2} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right)}{v - g}$$

即大致为

$$I_1 = \frac{I}{v} \left(1 - \frac{e^2}{r^2} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right) \left(1 + \frac{g}{v} \right) = \frac{I}{v} \left(1 - \frac{e^2}{r^2} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{e}{v} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right)$$

或者近似地可取

$$\frac{I_1}{v_1} = \frac{I}{v} \left[1 - \varepsilon \left(\frac{e^2}{r^2} - \frac{e}{v} \right) \right]$$

同样地

$$\frac{I_1}{v'_1} = \frac{I}{v'} \left[1 - \varepsilon \left(\frac{e^2}{r^2} + \frac{e}{v} \right) \right].$$

下面計算截面模量减小的大致数值。已知当 $R=120$, $R'=0$ 时的鋼筋百分率为 $\frac{0.7}{100}$ 。

对于用 12 根 5 公厘鋼絲組成的鋼絲束來說，穿束孔道的截面应为 10 平方公分，此时鋼絲束的截面为 235 平方公厘，亦即 2.35 平方公分。因此穿束孔道內中空部分所占的百分数为 $\frac{0.7}{100} \times \frac{10}{2.35}$ ，即 3% 左右。所以 $\varepsilon=0.03$ 。

实际上 e 值自 $\frac{h}{6}$ 变化至 $\left(\frac{h}{2} - \frac{h}{10} \right)$ ，也就是自 $0.166h$ 变化至 $0.4h$ ， r^2 等于 $\frac{h^2}{12}$ 。

当 $e = \frac{h}{6}$ 时：

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{e}{v}, \text{ 因为 } e = \frac{r^2}{v}, \text{ 于是 } \frac{e}{v} = \frac{1}{9}.$$

当 $\varepsilon=0.03$ 时：

$$\frac{I_1}{v_1} = \frac{I}{v}; \quad \frac{I_1}{v'_1} = 0.98 \frac{I}{v'}.$$

压应力并没有改变，拉应力增加了 2%。

当 $e=0.4h$ 时:

$$\frac{I_1}{v_1} = 0.987 \frac{I}{v}; \quad \frac{I_1}{v'_1} = 0.919 \frac{I}{v'}.$$

压应力增加了 3.3%, 拉应力增加了 8.1%。

随后钢筋束经过注浆。于是钢筋束就和混凝土粘结住, 因而截面模量加大。计算新截面时, 以 m 倍大的截面来换算钢筋束截面, m 系换算系数。假定 ω 为 $\frac{\omega}{S}$ 的百分比, 则以 $m\omega$ 代替上述公式中之 ε 值, 可以求出新的截面模量, 式中符号正好相反, 因为现在得到的是加大而不是减小。

因此大致求出

$$\frac{I_1}{v_1} = \frac{I}{v} \left[1 + m\omega \left(\frac{e^2}{r^2} - \frac{e}{v} \right) \right];$$

$$\frac{I_1}{v'_1} = \frac{I}{v'} \left[1 + m\omega \left(\frac{e^2}{r^2} + \frac{e}{v} \right) \right].$$

在瞬时活荷载作用下 $m=5$; $\omega=0.007$; $m\omega=0.035$ 。

当 $e=\frac{h}{6}$ 时:

$$\frac{I_1}{v_1} = \frac{I}{v}; \quad \frac{I_1}{v'_1} = 1.023 \frac{I}{v'}.$$

压应力没有变化, 拉应力减小了 2.3%

当 $e=0.4h$ 时:

$$\frac{I_1}{v_1} = 1.038 \frac{I}{v}; \quad \frac{I_1}{v'_1} = 1.094 \frac{I}{v'}.$$

压应力减小了 3.8%, 拉应力加大了 9.4%。

我们把在 $e=0.4h$ 的情况中的各项修正因素综合起来 ($e=\frac{h}{6}$ 的情形很少有, 因为这相应于很小的自重)。在这样的情况中, 自重大致和活荷载相接近, 一般总高出一些。

如果 $p=s$, 由于外荷所产生的压应力就减小 $3.8-3.3=0.5\%$, 拉应力则减小 $9.4-8.1=1.3\%$ 。

应力的减小可以作为附加的安全性看待。如果想把它考虑在内, 只要把上述情况中的预加力减小 4% 就行了。

如果所受的不是瞬时外荷而是永存外荷, 则差别可能更大。对于这样的情况, 只要在上面的公式内采用适当的 m 值, 即用 13 而不用 5。

事实上不必顾虑这些修正, 因为我们知道它们的影响很小, 并且在任何情况中都是有利的。

II. 任何其他形狀的梁

5. 当梁高和它的截面模量 $\frac{I}{v}$ 和 $\frac{I}{v'}$ 为已知数时对梁截面的确定

这个問題在第九章內已經提到过，并且經常发生在預应力混凝土中。这个問題可以用試算的方法来解决，不过最好还是能定出一种方法来尽量减少試算的次數。

首先假定梁的簡單輪廓如图 10-2 所示。一般說来腹版的厚度 e_s 是可以預先

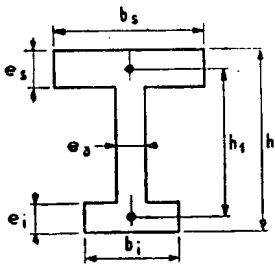


图 10-2

規定的，因此只剩下上下翼緣的寬度与厚度 b_s, e_s, b_i, e_i 这四个未知数了。由于只有两个条件需要滿足，这个問題的解决方案就不止一个，不过在一系列的方案中我們必須选择最好的。

在一般情况中，大致都能知道翼緣該有多厚或者它們的寬度不应当超过什么数值。因此我們就可以通过不多几次的試算来确定寬度或者厚度。

最簡單的办法就是以上翼緣和下翼緣的截面 s_s 与 s_i 为未知数。如果实际上大致知道厚度 e_s 和 e_i 的数值，也就能大致不錯地知道两翼重心之間的距离 h_1 。于是只剩下两个未知数。

已知 $\frac{I}{v}$ 和 $\frac{I}{v'}$ ，并且由于 $v+v'=h$ ，由此得出 I 和 v' 。因此可以求出 s_s 和 s_i 。因为 e_s 和 e_i 为已知数，于是得出 b_s 和 b_i 。根据試算的是否成功，再决定应否选择新数值 e_s 和 e_i 。并且还应当注意到：試算次数之所以能减小是由于当两个截面有了同样的 h_1 值和同样的 e_s 与 s_s 值时，它們的截面特征也就大致相同。因此对于已經求出的截面 s_s 和 s_i 的寬度 (b_s 和 b_i) 与厚度 (e_s 和 e_i) 可以随意地略予重行分配，只要总值 b 和 e 不变就行了。而总高 h 則可相对原定数值稍予变更，因为 s_s 和 s_i 为已知数。

然后应当定出截面，并且保証在構造的观点上能够符合要求，它既不太笨重，又不太纖瘦。如果犯了上述一种錯誤，这往往是因为对上下翼緣的近似厚度估計不足所致。

数例 再用第九章內的例 4 来計算。数例中求 68 公分高的一个截面，已知 $I=752000$ ， $v'=37.6$ 公分。

估計上下翼緣的厚度均为 12 公分时， $h_1=68-12=56$ 公分，截面重心在下翼緣重心以上 $37.6-6=31.6$ 公分处，也就是上翼緣重心以下 $56-31.6=24.4$ 公分

处。腹版的重心则在总截面重心以下 3.6 公分处。腹版的厚度定为 10 公分, 因此其截面为 440 平方公分, 其惯性矩则为

$$10 \times \frac{44^3}{12} = 7070 \text{ 公分}^4.$$

截面 s_s 和 s_i 可以用下面两个公式来计算:

$$31.6s_s + 3.6 \times 440 = 24.4s_i$$

$$s_s \frac{12^2}{12} + 7070 + s_s \frac{12^2}{12} + s_i \times 31.6^2 + 440 \times 3.6^2 + s_s \times 24.4^2 = 752000$$

由此得出

$$s_i = 340 \text{ 平方公分} \quad \text{即 } 28.5 \times 12$$

$$s_s = 528 \text{ 平方公分} \quad \text{即 } 44 \times 12$$

这个截面是符合要求的。

验证截面是否符合要求的一个好方法为计算效率指标, 关于这点已经在第九章内提过。这个效率指标等于一个比数, 即: $\rho = \frac{\text{核心}}{\text{高度}}$, 或者还可以说 $\rho = \frac{r^2}{vv'}$ 。

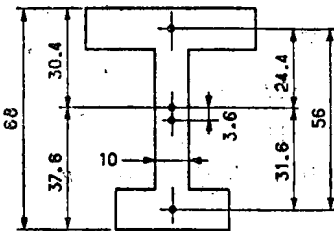


图 10-3

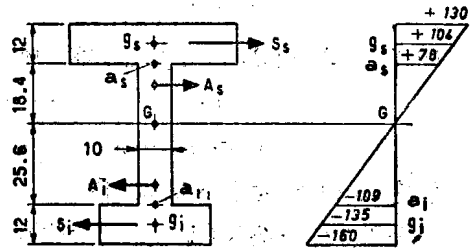


图 10-4

于是

$$S = 341 + 440 + 528 = 1.309 \text{ 平方公分},$$

$$\frac{r^2}{v'} = \frac{I}{vS} = \frac{752000}{37.6 \times 1309} = 15.3 \text{ 公分},$$

$$\frac{r^2}{vv'} = \frac{15.3}{30.4} = 0.5 \text{ 左右}.$$

这个比数是可以接受的。当它降到 0.45 以下时, 截面就过于笨重; 当它在 0.55 以上时截面就往往过于纤瘦。

另一种计算方法

如果能知道上下缘纤维的应力变化, 就可以采用半图解法, 下面的数例中将予以说明。

上述数例(第九章例 4)中的梁在 32 吨·公尺的弯矩变化下发生的应力变化在