

裝配式鋼筋混凝土結構設計 及規格統一化的經濟分析法

(受 弯 构 件)

K.K.安東諾夫 著

建 筑 工 程 出 版 社

內容提要 本書結合裝配式樓板及屋面板構件的標準化和統一化問題，闡述了鋼筋混凝土結構設計及技術經濟研究的分析方法。這種方法的實際應用，是通過運用本文所附輔助表格及圖表算出的一系列數字實例來加以說明的。

本冊子可供設計人員及科學工作者閱讀。

原本說明

書 名 АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД В ЭКОНОМИКЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УНИФИКАЦИИ СВО-
РНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

著 者 К. К. Антонов

出版者 Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре

出版地點 莫斯科——1957
及 年 份

裝配式鋼筋混凝土結構設計及規格 統一化的經濟分析法(受彎構件)

陶令申 譯

*

建築工程出版社出版(北京市阜成門外大街)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 052 號)

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號 885 24 千字 787×1092 1/32 印張 1

1958 年 7 月第 1 版 1958 年 7 月第 1 次印刷

(10 裝：1—2, 945 冊)

*

統一書號：15040·885

定 價：(10) 0.18 元



序 言

在1954年8月19日苏联共产党中央委员会及苏联部长会议“关于在建筑中发展装配式钢筋混凝土结构和配件的生产”的决议中，曾对加强这种结构的统一化和标准化的工作作出了指示。在建筑工程进一步工业化的条件下，建筑结构的定型化、统一化和标准化，将成为房屋及结构物设计方法上的基础。设计构造经济学、合理截面的选择原理、结构参数统一化数值的等级确定法——这一切都应该和强度、刚度及稳定性的静力计算一样，贯彻到设计师工作的实践中去。不深入进行经济分析，也就不可能认真地探讨经济的结构新形式及其论证。

全苏钢筋混凝土及混凝土会议在自己的决议中特别指出，必须更仔细地研究结构物应用的技术经济效果问题，并提出了要科学地确定技术经济指标的方法的任务，以便鉴定装配式钢筋混凝土生产及应用的经济性。

从这些要求来看，不能不看到建筑科学还很落后于实际需要。近年来虽有一系列的著作问世（如H.C.斯脱莱斯基、B.B.扎哈洛夫等的著作），促进了结构及结构物定型化与统一化问题的理论研究，但是不能不同意H.C.斯脱莱斯基曾在“定型化对建筑物结构形式的影响”^①一文中所作的结论：“定型化的技术经济论证问题至今尚未进行详细研究，也未获得解决”。

这一问题的理论的情况是如此，就迫使在实际上常常采用纯

① “建筑工业”杂志1956年第5期。

臆測性的“凭意志”的解答，这种解答的客观价值不可能不引起疑問。在实际解决定型化問題时，在鋼筋混凝土結構方面，由于很少对这些問題进行研究，加上工艺基础新奇且結構材料（包括鋼筋和混凝土二种組成材料）有很大的复杂性，所以必須克服最大的困难。因此，摆在面前的就是要依靠集体力量在制定装配式鋼筋混凝土結構的定型化和統一化的法則方面进行巨大的工作。作者曾在1945~1946年間在苏联建筑科学院中进行过配筋結構經濟設計方法的研究，其結果曾发表于1948年出版的“配筋結構的經濟計算要素”一书內，其中刊載了配筋結構构件的强度和价格間的一般关系式，这些关系式我們称为靜力-經濟关系式。在結構設計中将靜力学和經濟学这样地配合，不仅使我們掌握了能客观地評定无数因素对于結構經濟所起影响的关键，而且又是一个解决选择配筋构件截面的超靜定問題的最簡單方法。

在本册子中，这一方法应用于装配式鋼筋混凝土結構中最广泛的一类构件——楼板及屋面板构件——的定型化及統一化問題上。由于考虑到将来在結構計算方法上发生的改变（过渡到极限状态計算法），在公式中加进了必要的修正值，并列出了若干补充式。为更便于采用所建議的設計方法，尚列有若干輔助图表、表格、参考資料以及一系列的數字实例。

一、規格統一化的主要要求。受弯构件 价格的綜合式

鋼筋混凝土結構是用表征其几何尺寸、靜力学特性、材料等等的大量数值,或参数来确定的。这些参数包括跨度、荷載、混凝土及鋼筋的标号、嵌固条件等等。所有这些数值,在实际上可以采取无数的个别值,这样使結構型式和尺寸成为形形色色。統一化問題就是在于要用为数不多的、統一广泛結構和結構物种类的一套数值来替代这許多数值。在选取这些数值之間的間隔(等級間距)时,必須使它按其絕對值符合結構物的經濟应用,同时要符合工廠工艺上的要求。很明显,为工廠的利益着想,此項間隔應該尽可能采取較大一些。但是随着間隔的增大,虽能使定型尺寸数减少并使工廠生产降低价格,在个别情况下却增加了整个結構和結構物本身的費用。这是由于实际上不符合規格統一化的尺寸照例是用最接近的較大值来替代的。最好的等級間距應該符合下列条件:

$$A \leq B,$$

式中 A ——由于用統一化的参数代替了結構的个别参数而提高的結構物价格;

B ——由于同上原因,減低的工廠生产及建筑安装工程价格。

上述統一化的条件,按其內容來說,是十分复杂的,现在还研究得很不够,尤其是条件右边部分。目前,装配式鋼筋混凝土工业正在定型,迫切需要根据制品的生产方法、結構形式、名称及批別拟定工廠生产率指标及产品价格。

在属于条件左边部分的方法方面,也就是鋼筋混凝土結構經

济設計理論方面研究得比較多一些，但在实际推行及进一步研究方面，目前还是不很多的。结构的个别参数值和它的价格之間的相互关系(作为主要的和决定的經濟指标)的分析方法，对于鋼筋混凝土结构的統一化具有重大的意义。下面将介紹这些相互关系在应用于受弯构件时所具的普遍式，并将說明其实际应用。

鋼筋混凝土结构与鋼结构或木结构的根本区别，在于它們的承载能力不只取决于一种材料，而是决定于二种材料，即鋼和混凝土。这一情况使鋼筋混凝土结构無論在选择截面的方法上，或是在技术經濟评价上都复杂化。这里，重量指标不可能作为經濟性的准則，所以不得不采取比較設計。截面选择，实质上是——一个超靜定問題，需要引入补充条件。在缺乏这些条件时，例如在按破損荷載計算的方法中发生的情况那样，就在这里加进已知的任意值。截面尺寸的确定是否合理和經濟，多数是凭設計者的經驗和技能的，因为即使企图得出可資选择截面用的綜合計算公式，其結果也不过是一大堆缺乏实际意义的算式而已。

在进行单独設計的条件下，这种情况照例在实际上不致引起重大的經濟損失，因为研究証明：放弃經濟上最合宜的截面在很大范围内对于构件价格的影响是并不大的。同时，在某些个别情况下，这也可能造成不能容許的过度现象，特别是在格魯吉亞苏維埃社会主义共和国召开的混凝土及鋼筋混凝土科学技术會議^①曾提到过这一点。

大规模进行结构物的定型化和統一化，不可能建立在这样主观主义的基础上。需要更完善的鋼筋混凝土结构計算和經濟分析方法，这种方法建立在通曉客观规律性的基础上。研究指出：这样的规律性是存在的。特别是对受弯构件來說，在按承载能力(强

① “混凝土及鋼筋混凝土”雜誌1956年第三期。

度) 确定的第一种极限状态计算时, 这一规律性可用下列综合的价格公式来表示:

$$C_T = tb\varphi_6 C_6 [\xi(W + 1) + 2\sqrt{W + 0.5}\sqrt{0.5\xi^2 + 1}] \sqrt{\frac{M_p n_p}{mbR_n}}; \quad (1)$$

式中 ξ ——决定结构的几何尺寸及其计算简图与荷载的结构特征;

W ——结构物材料的特征——材料强度及价格;

t ——填充物价格的函数;

$$\xi = \frac{M_g n_g}{\sqrt{\frac{M_p n_p}{b} m R_n}}; \quad (2)$$

$$W = \frac{C_a \varphi_a m R_n}{C_6 \varphi_6 R_a m_a t}; \quad (3)$$

$$t = 1 + \varphi_3 \left(\frac{C_3}{C_6 \beta_3} - 1 \right). \quad (4)$$

上列公式(2)(3)(4)中的符号解释如下:

R_n ——混凝土受弯时的计算强度;

R_a ——钢筋的计算强度;

$M_g = a r_6 l^2 \varphi_6 \left[1 - \varphi_3 \left(1 - \frac{r_3}{r_6} \right) \right]$ ——因构件的单位自重产生的弯矩;

r_6 ——混凝土的容重;

r_3 ——填充物(嵌入物、孔隙等等)的容重(如果填充物为孔隙, 则 $r_3 = 0$);

l ——计算跨度;

a ——嵌固系数(对于简支梁 $a = 0.125$, 完全嵌固的 $a =$

0.042 等等)；

$\varphi_6 = \frac{h}{h_0}$ ——考虑到截面的全高 h 与计算高度 h_0 的差的结构系数；

$\varphi_8 = \frac{F'_a}{F_b}$ ——充盈系数——填充物截面面积与构件截面面积之比；

φ_a ——考虑到与钢筋计算截面相比较的附加钢筋用量（分布及架立钢筋、箍筋、弯钩、弯转等等）的结构系数；

n_g ——结构自重的超载系数；

n_p ——标准有效荷载 p 的超载系数；如果有若干有效荷载，那末对所有这些荷载可以化算出一个超载系数；例如：

$$p_1 n_{p1} + p_2 n_{p2} + \dots + p_n n_{pn} = \left(p_1 + p_2 \frac{n_{p2}}{n_{p1}} + \dots + p_n \frac{n_{pn}}{n_{p1}} \right) n_{p1} = \bar{p} n_{p1} ;$$

M_p ——由于给定的计算荷载（这里包括除构件自重以外的一切荷载）而产生的弯矩；

b ——截面的计算宽度；

m ——工作条件系数，对于在工厂制造的装配式结构，其强度以及混凝土和钢筋强度经过系统地检验的，采用等于 1.1；引用这个系数，如公式（1）及（2）所示，等于将混凝土的计算强度 R_u 增加或者减小；

m_a ——钢筋的工作条件系数；

C_a ——包括制作和绑扎在内的每立方公尺的钢筋价格；

C_6 ——包括制作和浇筑在内的每立方公尺的混凝土价格；

C_3 ——包括制作和填充在内的每立方公尺的填充物价格；

β_3 ——考虑到模板的周转和填充物的系数。

公式(1)的推导, 詳見作者的上述著作。該公式系按下列方法求得的。

在將构件的价格表成鋼筋及混凝土价格之和, 并把破損弯矩值用配筋系数和截面的有效高度的函数表示后, 可用确定函数极限的方法求出最适宜的配筋系数式。

将最适宜的配筋系数值代入破損弯矩的公式中, 消去配筋系数后, 我們得到一个把結構物的所有基本参数(无论是技术的或是經濟的)結合起来的普遍式。从这个方程式中, 可以求出最适宜的截面高度的式子。把它和最适宜的配筋系数同时代入价格方程式中, 并經化簡后即得公式(1)。

公式(1), 就其性质而言, 是代表在鋼筋及混凝土的数量成为最經濟的比例时, 也就是在截面高度最适宜时的任何受弯构件的最小可能价格。此項价格仅仅是有效計算荷載^①的函数, 所以沒有必要給定构件的截面(宽度除外, 为計算簡單起见, 宽度最好采用等于1公尺)。构件重量已自然而然的由括号內式子的第一項估計到了。可见公式(1)本身表达了許多可能价格中的理論最小值, 它是按强度条件所設計的結構的客观經濟准則。同时, 它可以作为直接地和更深入地对于个别的結構或材料因素的影响进行技术經濟研究的方法。

在多数实际情况下, 結構特征 $\xi \leq 0.2$, 所以公式(1)中的 $\sqrt{0.5\xi^2 + 1}$ 接近于1。把它省略, 不致会引起特殊的誤差。如此公式(1)轉变成更簡單的形式:

$$C_T = tb\varphi_6 C_6 [\xi(W+1) + 2\sqrt{W+0.5}] \sqrt{\frac{M_p n_p}{mbR_H}} \quad (1a)$$

为簡略起见, 上式可写成这样:

① 包括除了构件自重以外的一切荷載。

$$C_T = tb\varphi_0 C_0 \rho \sqrt{\frac{M_p n_p}{mbR_H}} \quad (16)$$

ρ 值可按图 1 中所示的尺解图来求得。

相应于构件最小价格的截面高度,可用下列公式表示:

$$h_0 = \left(\xi + \frac{W+1}{\sqrt{W+0.5}} \right) \sqrt{\frac{M_p n_p}{mbR_H}} \quad (5)$$

此式可简略如下:

$$h_0 = r_0 \sqrt{\frac{M_p n_p}{mbR_H}} \quad (5a)$$

r_0 值可按图 2 所示的尺解图求得。

为了确定钢筋的计算用量,我们可应用上面得到的关系式求

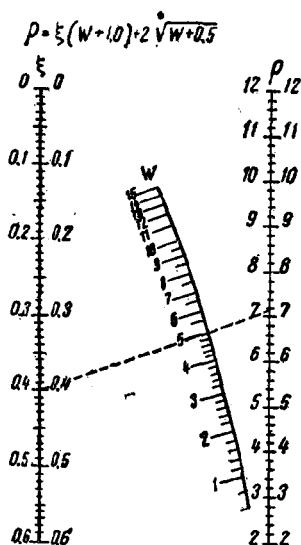


图 1 确定 ρ 值用的尺解图

例: $\xi=0.4$; $W=5$; $\rho=7.1$

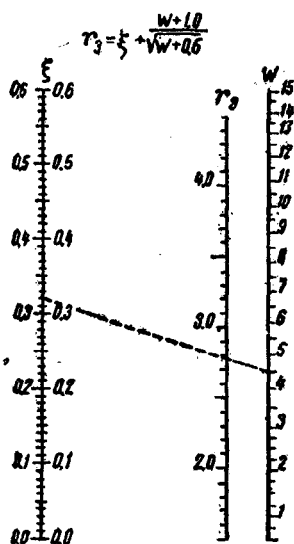


图 2 确定 r_0 值用的尺解图

例: $\xi=0.32$; $W=4.5$; $r_0=2.78$

得下列公式：

$$f_a = \frac{1}{m_a R_a} \left[\xi + \frac{1}{\sqrt{W} + 0.5} \right] \sqrt{M_p n_p b m R_u} \quad (6)$$

每公尺长所需的全部鋼筋用量，如 f_a 用平方公分計算，則为 $0.785 f_a \varphi_a$ 公斤。

实际上往往不得不放弃按公式 (5) 求出的最适宜的截面高度，通常必須偏大一些，尤其在按第二种极限状态（按形变）驗算結構时。

在这种情况下，就必然要与給定的高度 h 有关。这时，价格自然是較最小价格为高，因此公式 (1) 就变得不适用了。为确定实际价格，应该采用公式：

$$C_\Phi = t h b C_0 (1 + W \Phi), \quad (7)$$

式中

$$\Phi = 1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{m R_u b h^2}};$$

M ——由于全部計算荷载（包括构件自重及相应的超载系数在内）所产生的弯矩。

函数 Φ 可按表 1 确定

鋼筋的計算截面在这种情况下可按下列公式确定：

$$f_a = \frac{b h_0 m R_u}{m_a R_a} \Phi. \quad (8)$$

以上引用的几个公式，表明了評定受弯結構經濟性的主要数值。在这些公式中，除了力的函数和材料的强度特征外，还包括了經濟的特征：混凝土、鋼筋、填充料的价格。这些經濟的特征是鋼筋混凝土构件截面选择方法中的一个不足的环节，在普通計算中，由于缺少了这个环节，这种选择是如此不定的和任意的。通常根据某种資料知道了材料价格，就无需給定构件的截面，很易求出

函数 $\Phi = 1 - \sqrt{1-a}$

$$a = \frac{2M}{mR_H^2 \hbar^2}$$

表 1

a	Φ	$\Delta \cdot 10^6$	a	Φ	$\Delta \cdot 10^6$
0.0	0.00000	5013	0.2	0.105573	5608
0.01	0.005013	5038	0.21	0.111181	5643
0.02	0.010051	5083	0.22	0.116824	5680
0.03	0.015114	5090	0.23	0.122504	5718
0.04	0.020204	5117	0.24	0.12822	5755
0.05	0.025321	5143	0.25	0.133975	5792
0.06	0.030464	5171	0.26	0.139767	5833
0.07	0.035635	5199	0.27	0.1456	5872
0.08	0.040834	5226	0.28	0.151472	5913
0.09	0.04606	5257	0.29	0.157385	5955
0.1	0.051317	5285	0.3	0.16334	5998
0.11	0.056602	5315	0.31	0.169338	6041
0.12	0.061917	5345	0.32	0.175379	6086
0.13	0.067262	5376	0.33	0.181465	6131
0.14	0.072638	5408	0.34	0.187596	6178
0.15	0.078046	5439	0.35	0.193774	6226
0.16	0.083485	5472	0.36	0.2	6275
0.17	0.088957	5504	0.37	0.206275	6324
0.18	0.094461	5539	0.38	0.212599	6376
0.19	0.10000	5573	0.39	0.218975	6428

續表 1

a	Φ	$\Delta \cdot 10^6$	a	Φ	$\Delta \cdot 10^6$
0.4	0.225403	6482	0.45	0.25838	6773
0.41	0.231885		0.46	0.265153	
0.42	0.238423	6538	0.47	0.271989	6836
	0.245017	6594		0.27889	
0.43	0.251669	6652	0.48	0.285857	6901
0.44	0.25838	6711	0.49	0.292893	6967
			0.5		7036

构件的实际价格，并可按最普遍的形式确定无数结构的和它的因素对于整个构件价格的影响。設計人員如果忽視了配筋結構的經濟一面，就无法按破損荷載来合理选择截面。我們所以将上面求得的关系应用在配筋結構設計中的方法称为靜力-經濟法，就是要強調配筋构件截面几何学不仅与力的因素，而且与經濟的因素，有着密切的有机联系。

二、靜力-經濟关系式的几个主要参数：

ξ, W, t . 荷載及跨度等級系数的公式

我們現在簡略地談談靜力-經濟关系式的几个主要参数：

$$\xi, W, t.$$

ξ 值为构件自重的函数，在均布荷載的情况下，可将这一数值按展开式表示如下：

$$\xi = \overline{\gamma}_6 \ln_4 \varphi_6 \sqrt{\frac{ab}{pn_p m R_n}}, \quad (2a)$$

式中 $\bar{r}_6 = r_6 \left[1 - \varphi_3 \left(1 - \frac{r_3}{r_6} \right) \right]$ ——考虑填充物（其中可能是任

何形状的孔隙）重量的混凝土化算容重；

p ——单位长度上的有效计算荷载。 (9)

ξ 值是没有单位的。从公式 (2a) 可以看出，他是与混凝土化算容重及跨度的长度成正比例，而与荷载及混凝土强度成反比例的。

对于最常遇到的情况——混凝土标号为 200 号，结构为简支的， $b=1$ 公尺， $n_g=1.1$ ， $m=1$ ——公式 (2a) 采取下列形式：

$$\xi = 0.0123 \frac{\bar{r}_6 l \varphi_6}{\sqrt{p n_p}} \quad (26)$$

数值的单位是以吨及公尺计的。

图 3 表示公式 (26) 在 $\bar{r}_6 = 2.4$ 吨/立方公尺、 $\varphi_6 = 1.2$ (对于整体截面) 时的图解。当 $\bar{r}_6$ 为其他数值时，求得的 ξ 值应乘以数值 $\bar{r}_6 : r_6$ 。

W 值是钢筋和混凝土的单位强度价格（这些单价说明了单位材料强度的现金支出） $C_a : R_a$ 及 $C_6 : R_n$ 之比的函数，同时也是填充物价格的函数。

W 值与钢筋的单位强度价格成正比例，而与混凝土单位强度价格成反比例。系数 φ_a 及参数 t 对于 W 值也有重大的影响。

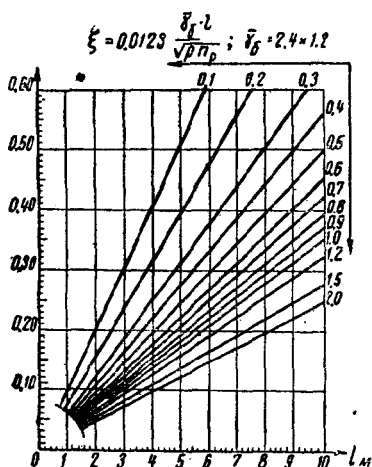


图 3 ξ 值的图解

当 φ_0 相当稳定^①时, φ_a 随着结构的型式与参数, 以及某些设计者的个人经验可能变化很大。在很多情况下, 系数 φ_a 是结构处理合理程度的指标。

按若干产品目录及施工图资料求得的 φ_a 平均值, 如表 2 所示。

设计者应该着重注意寻求降低 φ_a 值的可能性。

实际上在采用上述公式时, φ_a 值应该按相似结构物的施工图明细表来选取。对于跨度为 4~6 公尺的、用冷拔钢丝及热轧规律变形钢筋配筋的装配式钢筋混凝土楼板构件的初步计算, 可以采用下列 φ_a 的平均值:

空心的铺板及区格板:

有上部钢筋网的	1.8
无上部钢筋网的	1.4
次梁及主梁	1.5
肋形铺板	2

在选取钢筋及混凝土的价格时, 必须考虑到它们的安装。这些价格是根据当地情况由设计机构及建筑单位所编制的单位估价来确定的。如果提出要确定任何参数对于结构价格的相对影响问题, 则选取全苏住宅及民用房屋结构竞赛计划中引用的混凝土和钢筋平均价格(表 3)已是十分足够的了。

表 4 所载的 W 值是为若干个个别情况, 考虑到表 3 中引用的钢筋和混凝土价格, 并对若干 φ_a 值及二种 φ_s 值(等于 0.0 及 0.4, 相当于实心截面和空心率为 40% 的空心截面)而设的。

数值

$$t = 1 + \varphi_s \left(\frac{\alpha_s}{C_6 \beta_s} - 1 \right) \quad (4)$$

① 对于次梁及主梁, $\varphi_0 \approx 1.1$; 对于板及铺板, $\varphi_0 \approx 1.2$ 。

結構係數 φ_a

表 2

結構物	寬度 (公分)	荷 載 (公斤/平方公尺)	鋼筋的計算流限 (公斤/平方公分)	φ_a
板在下面的箱形鋪板	40	600	4500	3
同上.....	160	600	3500	2.5
同上.....	40	1200	3500	2
同上.....	160	1200	3500	1.85
空心鋪板.....	40	600	4500	2.2
同上.....	160	600	4500	2.3
同上.....	40	1200	4500	2
同上.....	160	1200	4500	2
矩形梁.....	160	—	3500	1.65
有上部翼板的T形梁	—	—	3500	1.95
應力配筋的工字形梁	—	—	15000	2.4
應力配筋的桁架.....	—	—	15000	2.6

每立方公尺混凝土的价格 (卢布)

表 3

混 凝 土 標 號	重混凝土 $\gamma=2400$ 公斤 /立方公尺	砂 酸 鹽 $\gamma=2000$ 公斤 /立方公尺	輕混凝土 $\gamma=1600$ 公斤 /立方公尺	輕混凝土 $\gamma=1300$ 公斤 /立方公尺	泡沫混凝土 $\gamma=800$ 公斤/ 立方公尺
50	—	—	—	—	225
75	—	—	—	—	235
100	—	—	—	280	245
150	315	220	270	300	—
200	325	230	290	—	—
250	335	—	—	—	—
300	350	—	—	—	—
400	380	—	—	—	—
500	410	—	—	—	—
600	460	—	—	—	—

鋼筋的價格(盧布)

鋼 的 名 稱	1 公 斤	1 立 方 公 尺
鋼號為 Ct.3 的圓鋼筋.....	0,92	7222
鋼號為 Ct.5 的規律變形鋼筋.....	1,1	8635
鋼號為 25Tc 的低合金鋼.....	1,28	10048
流限為 4500 公斤/平方公分的冷拔鋼絲.....	1,28	10048
流限為 5000 公斤/平方公分的強化的 Ct.5 號鋼筋.....	1,3	10205
流限為 6000 公斤/平方公分的強化的 25Tc 鋼筋.....	1,45	11383
強度極限為 15000~18000 公斤/平方公分的高強度鋼絲.....	2	15700
普通的埋設件.....	2	15700
成型的埋設件.....	3	23550

說明了填充物價格的影響。

填充物是一個廣義的概念。它可能是各種嵌入物——留在結構物體中的輕混凝土塊、陶塊及其他的塊材、木槽等等。在這種情況下， $\beta=1$ ，就是將有關其所佔空間體積的嵌入物價格全部列入構件的价格內。填充物的另一種型式是圓形、橢圓形或其他形式的可以多次周轉使用的空心成型模板。這種填充物的價格，加在每一構件上時，除了整修及材料的回收折價以外，是與模板的周轉次數成反比例的。無論在第一种情況下或是在第二種情況下，填充物必然要排除與其相等的混凝土數量，在公式(4)中的-1項就是顧及這一數量的。

最後，填充物的第三種型式可能是混凝土的本身，這種情況發生在混凝土超出計算截面 bh 的邊界之外時，此處 b 為受壓區域的寬度。在這種情況下，公式(4)中的-1項可略去不計。這一點我們將用翼板分別在受壓區和受拉區的T形截面例子來加以說明(圖4)。