

# 钢筋混凝土结构构件 计算实例

〔苏联〕Н·Л·泰培金 К·Э·塔里 著

張 毅 強 譯

中国工业出版社

# 钢筋混凝土結構构件 計 算 实 例

〔苏联〕H·П·泰培金 K·Э·塔里 著

張 毅 強 譯

中 国 工 业 出 版 社

010025

本书是钢筋混凝土结构构件（除预应力外）计算的实用参考资料。

书中精辟地解释了基本的计算公式，并列举了大量的实例。

本书可供工程技术人员之用，亦可作为土建专业高等院校和中等技术学校的教学参考资料。

Инж. Н. Л. ТАБЕНКИНИ канд. техн. наук. К. Э. ТАЛЬ  
**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ  
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ  
МОСКВА 1958

\* \* \*  
**钢筋混凝土结构构件  
计算实例**  
张 毅 强 译

\*  
建筑工程部图书编辑部编辑（北京西郊百万庄）  
中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）  
北京市书刊出版业营业许可证出字第110号  
中国工业出版社第一印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*  
开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $9^{\frac{5}{16}}$ ·插页1·字数200,000  
1962年10月北京第一版·1964年11月北京第三次印刷  
印数5,741—11,860·定价（科七）1.40元

\*  
统一书号：15165·1580（建工-222）

## 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 序言 .....                            | 5  |
| 采用的符号 .....                         | 6  |
| 第一章 計算的基本原則 .....                   | 10 |
| 第一节 鋼筋混凝土結構計算的一般概念 .....            | 10 |
| 第二节 强度計算 .....                      | 12 |
| 第三节 变形計算 .....                      | 19 |
| 第四节 抗裂性計算 .....                     | 21 |
| 第五节 荷載和超荷系数 .....                   | 24 |
| 第六节 材料的計算强度和工作条件系数 .....            | 27 |
| 第二章 基本构造, 混凝土和鋼标号的选择 .....          | 32 |
| 第一节 构件截面的型式和尺寸 .....                | 32 |
| 第二节 混凝土和鋼的标号 .....                  | 34 |
| 第三节 經濟配筋率 .....                     | 40 |
| 第四节 基本构造要求 .....                    | 45 |
| 第三章 軸心受压和軸心受拉构件的計算 .....            | 50 |
| 第一节 軸心受压构件 .....                    | 50 |
| 第二节 軸心受拉构件 .....                    | 58 |
| 第四章 受弯构件的計算 .....                   | 58 |
| 第一节 矩形、T形、三角形、圓形截面計算的一般<br>原則 ..... | 58 |
| 第二节 单筋矩形截面构件 .....                  | 60 |
| 第三节 双筋矩形截面构件 .....                  | 71 |
| 第四节 翼緣在受压区的T形截面构件 .....             | 84 |
| 第五节 按弯矩及橫向力計算斜截面 .....              | 98 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第五章 偏心受压构件的计算               | 133 |
| 第一节 矩形、T形、工形、圆形截面构件计算的一般原则  | 133 |
| 第二节 偏心受压时柔性影响的计算            | 137 |
| 第三节 矩形截面构件                  | 141 |
| 第四节 T形截面构件                  | 206 |
| 第五节 对称钢筋的工形截面构件             | 232 |
| 第六节 双向偏心受压                  | 256 |
| 第六章 偏心受拉构件的计算               | 259 |
| 第一节 矩形、T形、工形截面构件计算的一般原则     | 259 |
| 第二节 矩形截面构件                  | 261 |
| 第七章 变形计算及混凝土的裂缝出现与裂缝开展的计算   | 271 |
| 第一节 受弯构件的挠度计算               | 271 |
| 第二节 受拉和受弯构件按混凝土裂缝出现和裂缝开展的计算 | 278 |
| 第八章 受扭构件的计算                 | 290 |
| 附录 I                        | 294 |
| 附录 II                       | 304 |
| 附录 III                      | 310 |

## 序 言

在鋼筋混凝土結構构件按极限状态計算的实际运用中曾发生某些困难，这是由于这方面資料不足而引起的。

作者不打算闡述全部計算問題，但尽量使本书成为一本鋼筋混凝土結構构件按极限状态計算的实用参考資料。

本书扼要地引述了基本的計算公式和計算方法以及实际的計算例題；书中大部分篇幅系此种例題。

本书还引述了基本的构造要求和从經濟上選擇截面的資料。

本书第一、第二和第七章系科学技术副博士K.Э.塔里所写，第三章至第六章及第八章系H.П.泰培金工程师所写。

## 采 用 的 符 号

$R_{np}^{\pi}$ 和 $R_{np}$ ——受压时混凝土相应的标准强度和计算强度（强度极限），均系指棱柱强度而言；

$R_u^{\pi}$ 和 $R_u$ ——受弯时混凝土相应的标准受压强度和计算受压强度（强度极限）；

$R_p^{\pi}$ 和 $R_p$ ——受拉时混凝土相应的标准强度和计算强度（强度极限）；

$R_a^{\pi}$ 和 $R_a$ ——钢筋相应的标准强度和计算强度；

$R_{ac}$ ——螺旋钢筋的计算强度；

$E_{\delta}^{\pi}$ 和 $E_{\delta}$ ——受压时混凝土相应的标准弹性模量和计算弹性模量；

$E'_{\delta}$ ——考虑蠕变的混凝土受压变形模量，为弹性模量 $E_{\delta}$ 的一部分（在计算构件的刚度时）；

$E_a^{\pi}$ 和 $E_a$ ——钢筋的相应标准弹性模量和计算弹性模量（ $E_a^{\pi} = E_a$ ）；

$n(n')$ ——计算构件的刚度时，钢筋的弹性模量与混凝土的受压弹性（变形）模量之比值（ $n = \frac{E_a}{E_{\delta}^{\pi}(E_{\delta})}$ ； $n' =$

$$\frac{E_a}{E_{\delta}^{\pi}(E_{\delta})\psi}； \quad n' = 3n$$

$K_{\delta}$ 和 $K_a$ ——混凝土和钢筋相应的匀质系数；

$m$ ——工作条件系数；

$m_a$ ——钢筋的工作条件系数；

$m_{\pi}$ ——按横向力计算时，钢筋和弯起钢筋的工作条件系数；

$N^{\pi}$ 和 $N$ ——由标准荷载和计算荷载所引起的相应的纵向力；

$M^{\pi}$ 和 $M$ ——由标准荷载和计算荷载所引起的相应的力矩；

$Q$ ——由计算荷载所引起的横向力；

- $l_0$ ——构件的计算长度；计算跨度；  
 $b$ ——矩形截面的宽度；T形截面的肋宽；  
 $b_n$ ——位于受压区（在计算构件的强度时）或受拉区（在计算构件的刚度时）的T形和工形截面翼缘的宽度；  
 $b'_n$ ——计算构件的刚度时，位于受压区的T形和工形截面翼缘的宽度；  
 $h$ ——矩形、T形或工形截面的高度；  
 $h_0$ ——截面的有效（受力）高度（ $h_0 = h - a$ ； $h'_0 = h - a'$ ）；  
 $h_n$ ——位于受压区（在计算构件的强度时）或受拉区（在计算构件的刚度时）的T形或工形截面的翼缘厚度；  
 $h'_n$ ——位于受压区（在计算构件的刚度时）的T形或工形截面的翼缘厚度；  
 $a$ 和 $a'$ ——由截面近钢筋的边缘至相应于 $F_a$ 和 $F'_a$ 的钢筋截面重心的距离；  
 $\delta$ 和 $\delta'$ ——由截面近钢筋的边缘至相应于 $F_a$ 和 $F'_a$ 的钢筋截面重心之相对距离（ $\delta = \frac{a}{h_0}$ ； $\delta' = \frac{a'}{h_0}$ ）；  
 $d$ ——圆形截面的直径；  
 $d_s$ ——螺旋配筋时，构件的核心直径；  
 $r$ ——构件截面的最小惯性半径；  
 $x$ ——强度计算时的混凝土受压区高度；  
 $x_{cp}$ ——决定构件挠度时的混凝土受压区平均高度；  
 $\xi$ ； $\xi_{cp}$ ——混凝土受压区的相对高度（ $\xi = \frac{x}{h_0}$ ； $\xi_{cp} = \frac{x_{cp}}{h_0}$ ）；  
 $z$ ——内力偶的力臂；由纵向钢筋截面 $F_a$ 的重心至混凝土受压区重心的距离；  
 $z_0$ ——由弯起钢筋截面 $F_0$ 的重心至混凝土受压区重心的距离；  
 $z_x$ ——由钢筋截面 $F_x$ 的重心至混凝土受压区重心的距离；

- $e_0$ ——由力  $N$  至截面几何轴线的距离；
- $e$  和  $e'$ ——由力  $N$  至相应的钢筋截面  $F_a$  和  $F'_a$  重心的距离；
- $\eta$ ——在计算偏心受压构件的强度时，为考虑挠度对偏心值影响的系数；在计算受弯构件的刚度时，则为考虑到由于荷载长期作用而使挠度增大的系数；
- $F$ ——混凝土全部横截面面积；
- $F_0$ ——混凝土受压区面积；
- $F_x$ ——螺旋配筋时构件的核心截面面积；
- $F_a$ ——纵向钢筋截面面积：在轴心受压和轴心受拉的构件中为全部钢筋截面面积；在受弯构件中为受拉钢筋断面面积；在偏心受压构件中为截面受拉区或内力较小的受压区中的钢筋截面面积；在偏心受拉构件中为靠近力  $N$  的构件边缘处的钢筋截面面积；
- $F'_a$ ——纵向钢筋截面面积：在受弯构件中为受压钢筋截面面积；在偏心受压构件中为截面最大压力边的钢筋断面面积；在偏心受拉构件中为距离力  $N$  之最远边的钢筋截面面积；
- $F_0$ ——与构件轴线倾斜的一个平面内全部弯起钢筋的截面面积；
- $F_x$ ——与构件轴线垂直的一个平面内所有各肢钢筋的截面面积；
- $F_{cn}$ ——螺旋钢筋的折算截面面积；
- $f_{cn}$ ——单肢螺旋钢筋截面面积；
- $S$ ——螺旋钢筋的间距；
- $S_0$  和  $S'_0$ ——混凝土全部受力横截面积（除保护层厚度外）对相应的钢筋截面  $F_a$  和  $F'_a$  重心的静力矩；
- $S_0$ ——混凝土受压区截面面积对钢筋截面  $F_a$  重心的静力矩；
- $S_{0N}$ ——同上，对力  $N$  作用点的静力矩；
- $S_a$  和  $S'_a$ ——全部钢筋截面面积对相应的钢筋截面  $F_a$  及  $F'_a$  重心的

靜力矩；

$\mu$  和  $\mu'$ ——配筋系数 ( $\mu = \frac{F_a}{bh_0}$ ;  $\mu' = \frac{F'_a}{bh_0}$ ;  $\mu_1 = \frac{F_{a1}}{bh_0}$ ;  $\mu'_1 = \frac{F'_{a1}}{bh_0}$ );

$\mu\%$ ——配筋率 ( $\mu\% = \mu \times 100$ ;  $\mu'\% = \mu' \times 100$ ;  $\mu_1\% = \mu_1 \times 100$ ;  $\mu'_1\% = \mu'_1 \times 100$ );

$\varphi$ ——纵弯曲系数；

$f$ ——构件的計算撓度；

$f_{nped}$ ——构件的极限撓度；

$J$ ——截面的慣性矩；

$\rho$ ——截面的曲率半徑；

$B_{\kappa p}$  和  $B$ ——在全部标准荷载短期或长期作用下受弯构件相应的刚度；

$\theta$ ——計算构件的刚度时，荷载作用的长期性的影响系数；

$th_0$ ——計算受弯构件的刚度时，內力偶的折算力臂 ( $th_0 = h_0 - \frac{x_{cp}}{2}$ )；

$q^{\pi}$ ——全部标准均布荷载 ( $q^{\pi} = g^{\pi} + p^{\pi}$ )；

$g^{\pi}$ ——长期作用的标准均布荷载；

$p^{\pi}$ ——短期作用的标准均布荷载；

$W_a$ ——受拉鋼筋的彈塑性截面矩:  $W_a = F_a (h_0 - \frac{x_{cp}}{2})$ ；

$\sigma_a$  和  $\sigma_{\delta p}$ ——計算构件的刚度时，受拉鋼筋和混凝土相应的拉应力；

$\epsilon_{\delta p}$ ——混凝土的极限延伸率；

$\psi$ ——計算构件的刚度时，考虑到裂縫之間的混凝土受拉区的作用而对受拉鋼筋应力影响的系数；

$l_x$ ——沿构件长度的裂縫間距；

$a_x$ ——裂縫开展的計算寬度。

# 第一章 計算的基本原則

## 第一节 鋼筋混凝土結構計算的一般概念

### 1. 計算問題

鋼筋混凝土結構的計算是為了証實所設計的結構是否符合對它提出的使用要求。

究竟對結構提出什么样的使用要求呢？

在現行的建築結構設計規範<sup>①</sup>中規定了三種使用要求，結構在全部使用期限內均應滿足這些要求。這就是：

- 1) 在承載力方面（強度、穩定性或持久性）；
- 2) 在變形方面；
- 3) 在所謂局部損壞方面；對於鋼筋混凝土來說就是指各種類型的裂縫。

實際上有時還提出其他方面的使用要求，例如關於永久性等等，這同樣要進行計算來檢驗是否符合這方面的要求。

然而在使用期間，結構的工作情況不僅僅是取決於正確的計算和構造。當材料質量和施工質量等與規範的指標有所偏差時，儘管結構的設計是正確的，但它在使用上仍是無用的。

現在我們舉出一些不符合規範指標的例子。例如當混凝土在早期凍結時，其強度與設計強度比較是降低好幾倍；結

① 建築法規（СНП）第二卷第二篇第一章至第五章，建築工程出版社，1955年，中譯本。

构在浇筑混凝土时，鋼筋在模板中固定得不好，鋼筋就会离开設計位置等便是。

計算的准則是建立在这样的假定上：在結構的設計和施工中，应无条件地遵守全部設計和施工要求。

## 2. 鋼筋混凝土結構計算方法在苏联的发展

正如大家所知道的，苏联在1938年以前，鋼筋混凝土結構是在被称作鋼筋混凝土的古典理論基础上进行計算的。这种理論实质上是把彈性材料强度理論推广到鋼筋混凝土方面。

計算时是控制使用荷載所产生的应力，这些应力应等于混凝土或鋼筋的容許应力，此容許应力系由强度极限除以相应的安全系数而得。

然而，經驗証明：用这种方法計算的結構，它的实际安全系数在很多时候是和确定容許应力时所采用的安全系数有很大差別的。在彈性鋼筋混凝土的假設下，这种計算并不反映得出結構工作的真实性质。

从1938年起，鋼筋混凝土結構开始按破損阶段来計算；极限內力（或破損內力）是考虑到鋼筋混凝土的彈塑性作用而确定的。将规范所規定的总安全系数除以破損內力便得容許內力。按此方法計算的破損內力十分符合試驗的数据，因此在很多場合下便免除了过大的結構安全系数，并在材料上获得非常經濟的效果。

从1955年起，結構开始按极限状态計算。

所謂极限状态是指結構达到不能再滿足相应的使用要求时，这种状态就称为极限状态。

在这种計算方法中，同样是考虑鋼筋混凝土的彈塑性作

用。这种计算方法与按破损阶段计算的方法的基本区别之一就是决定安全系数的方法。在计算时引入三个不同的系数代替总安全系数，这三个系数就是超荷系数、材料匀质系数和结构工作条件系数。

### 3. 按极限状态的计算

根据第一节所述的三种使用要求，采用三种计算极限状态，就是：

- 1) 承载力；
- 2) 变形；
- 3) 局部损坏。

计算就是根据这样的条件进行，即在结构物全部使用期限内都不应当到达这些极限状态中的任何一种。

所有结构的承重构件均应按承载力（强度或稳定性）计算；通常就是根据这种计算来确定构件截面的必需尺寸。当变形的数值应当特别用计算方法限制时，则按变形计算。对于钢筋混凝土局部损坏的计算，归纳起来就是裂缝出现或裂缝开展的计算。在结构物中，裂缝的出现或过度开展会使其不渗透性的要求遭到破坏，对于这样的结构物（例如水池、谷仓、烟囱、水工结构物等）就要进行这种计算。

## 第二节 强度计算

按强度计算时，首先应算出结构构件产生的内力和在危险截面处的内力。在静定体系中，例如大多数的装配式结构，在其工作的任一阶段中，内力是与荷载成比例的，它的计算并不困难。

关于静不定体系，如众周知，其内力是根据构件的刚度

来决定的。因为在荷载增加的过程中，钢筋混凝土结构的刚度是不断地减小（由于在受拉混凝土中裂缝的出现和开展以及由于在受压混凝土中塑性变形影响的增加等等），因此，为了决定内力就必须知道构件在极限状态中的刚度数值。

然而，考虑到在很多场合下，内力不是根据刚度的绝对数值而定，而是根据其比值而定。这种比值虽然在相当大的范围内变动，但对内力数值的影响还是比较小的。故在很多时候可以象弹性构件那样找出刚度的近似比值来计算静不定体系的内力；同时在允许内力重分布的结构中，亦应考虑刚度比值。

当内力是根据刚度的绝对数值来计算的时候（例如，由于温度作用而产生的内力，大型基础中的内力等），则应根据符合结构极限状态的刚度数值进行计算。

应当指出，某些静不定结构暂时不得不象弹性体系那样计算，对于这种结构，混凝土和钢筋的最大应力（按规定而计算出的应力）达到其计算强度值时就是这种结构的极限状态，某些类型的壳体、深梁和一些大块结构等就属这类结构。但这样计算，还是不能确定上述结构的真实极限状态。

在相应的规程<sup>①</sup>和文献<sup>②</sup>中载有关于静不定体系考虑内力重分布问题的一些资料。

本书不打算介绍静不定体系的极限状态和内力重分布问题。

在构件任意一个截面中，承载力遭到破坏的时候，这状

① 考虑塑性变形的钢筋混凝土楼盖的板和次梁计算规程（ИИ32-50/МСПТИ），苏联国立建筑书籍出版社，1950年，俄文版。

② А.А.格沃兹捷夫，按极限平衡法的结构承载力计算，苏联国立建筑书籍出版社，1949年，俄文版。

态就当作靜定結構的极限状态。在构件截面的承载力遭到破坏时，按极限状态的計算条件是和按破損阶段計算所采用的条件相同，即：

1) 对于受压、受弯、偏心受压构件，受压混凝土的最大应力取其等于强度极限的計算数值；而在截面最大压力边的鋼筋应力，則取其等于鋼筋的流限<sup>①</sup>計算数值（鋼筋的計算强度）；

2) 对于受拉、受弯和偏心受压（有大偏心距时）构件的受拉鋼筋最大应力取其等于鋼筋流限（或相应的强度极限）的計算数值；同时不考虑混凝土的受拉强度。

3) 在受压、受弯和偏心受压（有大偏心距时）构件中，受压区的混凝土应力图形采用矩形。

然而，按破損阶段和按极限状态計算时的混凝土强度极限計算值或鋼筋的流限計算值之間是有原則上的差別的。这种差別就是关系到引用的安全系数的不同概念。

我們現在来研究軸心受压的鋼筋混凝土构件的情况。

我們假定要計算柱的截面，在其上有由使用（容許）荷載而产生的內力—— $N^*$ ；混凝土标号采用150号，鋼筋为CT.3圓鋼。根据破損阶段的平衡条件，我們可以得出对于破損內力的公式<sup>②</sup>（图1）。

$$N_{pas} = R_{np} F_0 + \sigma_T^* F_a, \quad (1)$$

此处  $\sigma_T^*$ ——鋼筋的流限。

同时，假定柱的材料（混凝土和鋼筋）对于所采用的混凝土和鋼的标号接近其平均强度值，而截面面积 $F_0$ 和 $F_a$ 亦正确地符合于設計。事实上，荷載的实际数值、材料的强度以

① 对于沒有显著流限出現的鋼筋是采用其相应的强度极限。

② 不考虑纵弯曲。

及材料的截面面积在某种程度上經常与其标准数值和設計数值不大相符。因此，在按破損內力計算时采用一个总的安全系数  $k$  来概括地考虑全部可能产生的誤差。这样，由于容許荷載而产生的內力  $N^u$  与破損內力  $N_{pasp}$  的关系可用下式表示：

$$N^u \leq \frac{N_{pasp}}{k} \quad (2)$$

此时公式 (1) 便成为如下形式：

$$kN^u \leq R_{np}^u F_{\delta} + \sigma_T^u F_{a0} \quad (3)$$

安全系数  $k$  的数值根据結構的工作性质而定，平均約为 2。由于最常用的截面尺寸和鋼筋直徑等都有一定的規格，通常要这些公式的两边都相等，实际上是很难做到的。故公式 (2) 和 (3) 便用不等式的符号表示。然而从經濟观点

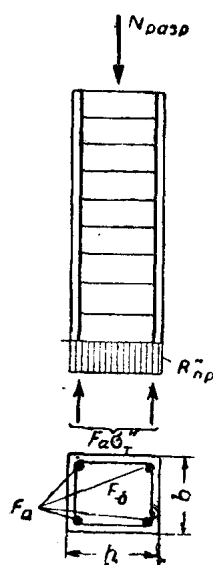


图 1

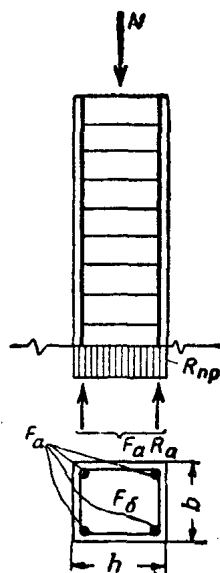


图 2

出发，断面选择时应尽量使得（2）式和（3）式左右两边的差别成为最小。

按极限状态计算时，对于同样的结构，其计算公式则为如下形式（图2）：

$$N \leq m (R_{np} F_0 + m_a R_a F_a) \quad (4)$$

在同样是根据平衡条件而得出的公式（4）中， $R_{np}$ 值和 $R_a$ 值（被称为混凝土和钢筋的计算强度）不是代表该种混凝土标号和钢标号的平均强度值，而是考虑到这些材料强度统计上的散乱性，即考虑其离开平均值的可能偏差而降低了的数值。由此可见，（4）式的右边同样是破坏内力，但仅仅是相应的最小值，而不是材料的平均强度值。

计算强度的数值和它的确定方法将在本章第六节阐述。

（4）式左边的数值 $N$ 是由计算荷载而产生的内力，此计算荷载是相应于可能发生的最大荷载和考虑到统计上的散乱性，亦即考虑可能有超荷偏差而确定的。

计算荷载的数值将在本章第五节阐述。

由上述可知，按极限状态计算时，荷载和材料强度等各项都是把考虑到荷载性质和材料强度性质的几个“单独的”安全系数引入计算中。荷载的安全系数取名为超荷系数，而材料强度数值的安全系数则名为材料的匀质系数。对于结构的工作而言，意外的超荷和材料强度意外的减小乃是最大的危险，因此超荷系数的数值通常采用大于1；而材料的匀质系数则相反，采用小于1。在计算公式（4）中这些系数不是以明显的形式出现的。

在公式（4）中的系数 $m$ 和 $m_a$ 称为工作条件系数和钢筋的工作条件系数。这些数值的大小和计算公式所采用的情况将在本章第六节中叙述。除超荷系数、材料匀质系数和工作