

钢筋混凝土结构

学习指导

程文瀾等 编著

江苏科学技术出版社

疑难问题 92题

典型计算 58题

水平试题

是否题 填充题

选择题 问答题

计算题

钢 筋 混 凝 土 结 构

学习指导

审

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

本书为高等院校土建类专业《钢筋混凝土结构》课程的教学参考书。全书按新修订的《混凝土结构设计规范》(GB10—85)和国家法定计量单位编写。

全书内容紧密结合《钢筋混凝土结构》课程,对其基本内容、重要概念和疑难问题作了详细的解释和系统的总结归纳,以帮助读者理解和掌握重点,熟悉解题的方法和步骤。

全书编排形式多样,内容包括三部分,第一部分为学习中的疑难问题,以92个答疑题列述;第二部分为典型计算题,共58题;第三部分是水平试题,包括是否题、选择题、填充题、问答题和计算题,共244题,其中问答题和计算题选自历届硕士研究生考题。第三部分的水平试题在书后附有答案。

本书可作高等院校土建类专业师生教学辅导材料,也可供从事建筑结构工程的技术人员阅读、参考。

钢筋混凝土结构学习指导

程文瀾等 编著 丁大钧 审

出版、发行:江苏科学技术出版社

经 销:江苏省新华书店

印 刷:南通稻舂印刷厂

开本 787×1092毫米 1/16 印张 16 字数 381,000

1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷

印数 1—12,400 册

ISBN 7—5345—0344—2

TU·4

定价:3.60 元

责任编辑 华锡全

出版说明

随着国民经济的发展,建筑工程的新结构、新材料和高层建筑不断涌现,建筑结构理论、设计水平亦在不断地创新和提高。1985年,国家建设委员会组织了对《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74)的修订工作。为推动钢筋混凝土结构的发展,配合《混凝土结构设计规范》(GB10—85)的实施,我社组织了几本有关钢筋混凝土结构理论与设计的参考书:《钢筋混凝土结构》、《钢筋混凝土结构学习指导》、《钢筋混凝土结构设计——设计方法与实例》和《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工》等。这些书籍将分别陆续出版。书籍的编写采用国家法定计量单位和有关的国家标准规范,形式多样,深入浅出,密切结合工程实践(其中不少是实际工程的例举),并收编了近年来的科研新成果和新型结构。

这些书籍的出版,将有助于高等院校土建类专业学生对《钢筋混凝土结构》课程的学习,也为从事建筑结构工程的技术人员进修业务提供了方便。但是,由于编写时间较仓促,书中难免有错误和不当之处,请读者批评指正。

江苏科学技术出版社

序

钢筋混凝土结构课程内容非常丰富,既有两个极限状态的基本理论部分,又有房屋建筑和特种结构的设计部分;内力分析有时按弹性理论,有时又需考虑塑性内力重分布;计算公式和构造规定繁多,既有理论的,又有经验的;符号也十分繁杂。初学者往往感到困难。究其原因,不外未掌握好由学习匀质材料材料力学和弹性理论的建筑力学过渡到学习这门新的学科,它研究的对象既非匀质体,也非服从虎克定律的弹性材料,而是两种材性大不相同的混凝土和钢筋的组合物,其应力状态随荷载阶段而异。现在提几个应注意的问题供初学者同志参考。

1. 必须记住各应力状态阶段和各自的特征以及相应的计算应力图形。例如,大偏心受压的破坏特征是钢筋 A_s 受拉屈服后,钢筋 A'_s 受压屈服和受压混凝土被压碎,混凝土计算压应力图形为矩形;在小偏心受压时,钢筋 A'_s 仍然屈服,但钢筋 A_s 则受拉不屈服或受压(在 e_0 很小等情况下也有可能受压屈服),应力 σ_s 在新规范*中按平截面假定或按简化公式确定。至于计算使用极限状态的刚度,应力状态的特点为钢筋拉应力及混凝土受压区应力分别都未达到其屈服强度及极限强度。由于裂缝的存在,裂缝截面和裂缝间各截面的应力状态都不一样:在裂缝截面,受拉区混凝土脱离工作;但裂缝间截面则不同程度地参加工作,随离开裂缝截面的距离加大而增大,受拉混凝土的参加工作使相应截面钢筋应力减小。因为各截面的应力状态不同,各截面的刚度亦各异,但我们要求计算刚度的目的是确定构件的变形(转角或位移),因此需求其平均值,故需考虑平均应变系数 ψ 。正因为要求平均刚度,故在建立刚度公式时,引用了由试验所验证的平均应变平截面假定。

2. 注意前后呼应。例如,为了使“塑性铰”在钢筋屈服开始形成后有足够的旋转能力,在计算连续梁考虑塑性内力重分布时,限制受压区高度小于普通简支梁所允许的最大 α_0 。对此,就要联系在学习梁的应力状态阶段时的知识:在钢筋屈服的瞬间,相应混凝土最大压应力 σ_c 的大小与配筋率,也即与受压区高度有关, σ_c 随后者的增大而增大。

3. 比较异同。比较异同不仅可加深理解,也有助于记忆。例如,对双筋受弯构件和大偏心受压构件进行比较,在后者中用 Ne 代替 M ,但多了一项拉力 N ,因此可将受拉钢筋截面面积减去 N/f_s ;而当已知 A'_s 时,两种构件需分别按 $M - f'_s A'_s (h_0 - a'_s)$ 或 $Ne - f_s A'_s (h_0 - a'_s)$ 确定相应的部分受拉钢筋 A_{s1} ,这样就不致在这种情况下的大偏心受压往往错误地仍按 $A_{s1} = \xi_b \frac{f_c m}{f_s} b h_0$ 计算。对第二种T形梁,其实相当于“双筋”梁,不过用以加强的是悬挑的受压混凝土翼缘。

4. 对符号分类,并注意其物理意义和几何意义。混凝土结构设计中所遇到的符号虽繁多,但大致可分为六大类:①力 M 、 N 等;②材性(E 、 ν)等;③应力 σ 、 f 等;④几何尺寸 A ,

*即《混凝土结构设计规范》(GB10—85)。

h , I 等; ⑤计算系数; ⑥变形。系数又包括几何尺寸的和用于修正的,前者如 γ'_f ,后者如 ψ 。英文符号大都为英文第一个字母,如面积 A (area), E (elasticity modulus),并且符号的脚码也大多是用英文字母来标志的(少数按习惯,如 h_0 的下脚码0),有撇的表示受压。对系数最好也给以明确的意义,这不仅有助于记忆,更有助于理解,如对 γ'_f ,我们可称之为“受压翼缘相对于有效截面 bh_0 的加强系数”。这一定义,不仅加强对该系数本质及其作用的认识,同时也很容易写出其计算公式 $\gamma'_f = (b'_f - b)h'_f/bh_0$ 。对 ψ ,除定义为“受拉钢筋平均应变系数”外,还可定义为“考虑裂缝间受拉混凝土的影响,使钢筋应变(或应力)平均降低系数”。这样不仅了解其作用,且更进一步理解它产生的根由。书中没有定义的,读者可自行定义,并不断地修正,以深化对问题的认识。

5.理解限制条件和构造规定的物理力学意义 如双筋受弯和大偏心受压时,限制条件是必须 $x \geq 2a'_s$,但在理解后当计算不考虑 A'_s 时,可以不受此限制;又如抗剪截面限制,最小箍筋含量等。因此,任何问题都要问为什么,对构造规定尤应多问几个为什么。这样做,不仅了解为什么要这样规定,而且也容易记住(至少必须记住有这规定,一时记不住具体数字尚可查书,如果根本不知道有这规定,则在设计时易漏去,这是危险的)。例如,受压钢筋的箍筋间距不应大于 $15d$,这是因为不使其在未达到屈服强度前发生压屈。假定受压钢筋在两箍筋处为不动铰支(实际连续,这样偏于安全),则按欧拉公式,其临界应力 $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_s}{(\frac{s}{i})^2}$,此处 i 为钢筋回转半径, $i = d/4$,令 $\sigma_{cr} = f_y$, I级钢筋 $f_y = 210 \text{ N/mm}^2$,得 $s = 24.84d$,考虑安全系数1.6,则得 $s \approx 15d$ 。又如最小受拉配筋率 $\rho_{\min}$ 系按配筋后矩形梁的强度不低于相同截面混凝土梁的抗裂强度确定的;对T形梁,由于受压翼缘对抗裂强度影响很小,故按相同 $\rho_{\min}$ 用肋部有效面积确定最少钢筋用量。当理解上述原则时,自可灵活掌握对倒T形梁和工字形梁的最少钢筋用量。

总之,只要掌握好正确的学习方法,是不难学好这门课程的。

南京工学院土木系建筑结构教研组副教授程文灏同志担任该课讲授及有关科研工作卅多年,积累了丰富的经验,并协助本人指导博士研究生。他好学深思,敢于提出问题,在教学过程中为学生提供许多有益的补充思考题,收到了良好的效果。其余有关参加这本学习材料编写的同志,都是我组教学和科研的骨干力量,都有丰富的教学和科研经验,同时为研究生的培养和考试做了很多工作,他们都在教学改革中作出了很好的成绩。他们有感于该课程的学习困难,决心大胆作一次教学改革的尝试,以新的形式编写了这一材料,为青年同志提供自学的参考书。

我十分赞成程文灏同志为初学者着想的计划。本书的写作是认真的,考虑了许多细致问题,并经反复推敲和互相讨论,几经修改后才定稿。本人在阅读后感到很有启发,确能解决一些在学习过程中产生的问题。

江苏科学技术出版社出版这本书是很有益的。当然它还不是很完美的,在发行后将收集反映,不断改进,使它能够更好地给读者更好的帮助,这也是我所希望的。

丁大钧

前 言

钢筋混凝土结构的教科书、专著、论文已经很多了，但是，直接帮助学生进一步理解混凝土结构教学内容的参考书却几乎没有。所以我写这本书是尝试性的，它不是在教学内容上进一步拓宽和加深，而是在基本内容、重要概念和疑难问题等方面进行归纳、总结和解释。

考虑到学习本课程的困难主要在于内容多，抓不住重点；概念多，不易理解；公式、符号和构造规定多，不易记住。所以，本书在内容和写法上作了适当的安排。

全书包括三部分。第一部分用问与答的方式答疑，共92题，是本书的主要内容，目的是突出学习的重点、难点，以帮助学生复习；第二部分是典型的计算例题，共58题，目的是帮助同学们熟悉解题的方法和步骤；第三部分是水平试题，包括是非题、选择题、填充题、问答题和计算题，共244题。前三种题虽然简单，但却能衡量对基本内容和概念的掌握程度，问答题与计算题大都选自以往的硕士研究生考题。

我的老师丁大钧教授对我写这本书给予很多指导和鼓励，并在百忙中担任了审阅工作。我的同事们也给予热情的支持，并且还承担了许多编写工作，其中蓝宗建、蒋永生老师编写了第一部分中有关受弯、偏心受压、抗扭等内容；吕志涛、陆勇老师编写了第一部分中有关抗剪、预应力混凝土等内容；肖万鹏老师编写了第一部分中有关结构设计方面的内容，以及第二部分中有关正截面和斜截面强度方面的内容。编写中还得到陈祖述、黄兴棣、朱万福、黄德富、袁必果、童启明、巢菊芳、江亚英、黄子敏和卫龙武老师的许多帮助。李雁飞、任振华、汤志翔、陈忠范四位硕士和博士生曹征良、叶列平、张双记、夏晓东及硕士生史建生、仇志彬、陈国雄、牛润生等也为本书做了不少工作。李猗穉先生描绘了全部底图。在此表示衷心的感谢。

由于水平所限，教学和实践经验也不够，书中有错误和不妥的地方，欢迎批评指正。

程 文 灏

南京工学院土木系

1986年10月

目 录

第一部分 答疑題

- 1.1 工业与民用建筑专业的《钢筋混凝土结构》主要包括哪些内容,这门课有什么特点,学习时应注意些什么?..... (1)
- 1.2 新修订的《混凝土结构设计规范》(GB10—85)在内容上主要作了哪些修改?..... (4)
- 1.3 我国《建筑结构设计统一标准》的主要特点是什么?..... (4)
- 1.4 什么是结构可靠度?它是怎样度量和表达的?..... (6)
- 1.5 影响结构可靠度的主要因素有哪些?..... (7)
- 1.6 什么是结构上的作用?它们是怎样分类的?..... (7)
- 1.7 什么是荷载标准值、荷载组合值和荷载准永久值?它们是怎样确定的?..... (8)
- 1.8 钢筋混凝土材料的主要结构特性是什么?..... (8)
- 1.9 混凝土基本的强度指标有哪些?它们是怎样取值的?..... (9)
- 1.10 混凝土轴心受压的应力-应变曲线是怎样的?影响它的有哪些主要因素?它的分析表达式主要有
哪些?..... (11)
- 1.11 什么是单调加载、重复加载和反复加载?它们的应力-应变曲线各有什么特点?..... (13)
- 1.12 什么是钢筋与混凝土的粘结?粘结的主要性质是什么?..... (15)
- 1.13 轴心受压构件中纵筋起什么作用?为什么要控制它的配筋率?..... (18)
- 1.14 正截面强度计算有哪几项基本假定?理由是什么?..... (18)
- 1.15 适筋梁正截面应力状态发展的全过程可分为几个阶段?各阶段的主要特点是什么?与设计计
算有何联系?..... (19)
- 1.16 钢筋混凝土受弯构件正截面有哪几种破坏形态?其特点是什么?与设计计算有什么联系?..... (22)
- 1.17 受弯构件正截面受压区混凝土的等效矩形应力图形是怎样得出的?什么是弯曲抗压强度,
《规范》关于弯曲抗压设计强度的取值是否合适?为什么?..... (23)
- 1.18 设计双筋受弯构件正截面时,当 A'_s 为未知时,应如何计算?当 A'_s 为已知时,又如何计算?两
者的主要差别是什么?..... (25)
- 1.19 受弯构件两类T形截面应如何鉴别?怎样计算?..... (27)
- 1.20 如何确定受弯构件和偏心受压构件正截面的界限相对受压区高度?其主要影响因素是什么?
..... (28)
- 1.21 无腹筋梁中,斜裂缝形成前后的应力状态有什么质的变化?..... (29)
- 1.22 什么是剪跨比?它对梁的斜截面抗剪有什么影响?..... (30)
- 1.23 无腹筋梁中有几种典型的斜裂缝?它们的特点是什么?..... (31)
- 1.24 无腹筋梁的剪切破坏形态主要有几种?配置箍筋后有什么影响?..... (32)
- 1.25 梁的斜截面抗剪强度计算公式有什么限制条件?其意义是什么?..... (33)
- 1.26 为什么对于翼缘位于受压区的T形截面梁,仍按肋宽 b 进行斜截面抗剪强度计算?..... (33)

- 1.27 轴向力和预应力对构件的斜截面抗剪强度各有什么影响? (34)
- 1.28 在设计中,怎样保证梁的正截面和斜截面强度? (34)
- 1.29 非地震区钢筋混凝土梁的配筋有哪些主要构造要求? (35)
- 1.30 矩形截面素混凝土构件及钢筋混凝土构件在扭矩作用下,裂缝是怎样形成和发展的?最后是怎样破坏的? (39)
- 1.31 抗扭强度计算中,什么是空间桁架模式和变角空间桁架模式?他们的表达式是怎样的? (39)
- 1.32 剪扭构件的截面限制条件是什么? (41)
- 1.33 在受扭构件中,可否只配抗扭纵筋而不设置抗扭箍筋? (41)
- 1.34 剪扭构件强度计算公式的依据是什么? (41)
- 1.35 偏心受压构件的正截面有哪几种破坏形态?其特点是什么? (41)
- 1.36 偏心受压构件有几种破坏特征?在 N_e-M_e 相关图中是怎样表示的? (43)
- 1.37 设计截面时,如何判别对称配筋偏心受压矩形截面的破坏形态? (44)
- 1.38 怎样确定偏心受压截面发生界限破坏时的轴向力偏心距?在设计不对称配筋截面时,如何判断截面的破坏形态? (45)
- 1.39 对于矩形截面,在什么情况下, A_s 可按 $A_s = Ne' / f_y(h_0 - a_s')$ 计算,这是否安全可靠?在什么情况下,计算中可不考虑受压钢筋 A_s' 的作用? (46)
- 1.40 对于不对称配筋矩形截面,其大偏心受压的强度计算和双筋受弯时的强度计算有何联系?主要异同点是什么? (48)
- 1.41 在计算小偏心受压构件时,采用附加偏心距 e_a 的实质是什么?对称配筋矩形截面小偏心受压的强度近似计算公式是怎样得到的? (50)
- 1.42 为什么对截面强度称“计算”,而对构件的变形和裂缝则称“验算”?截面设计与截面复核有什么不同? (51)
- 1.43 裂缝控制等级是怎样划分和控制的? (51)
- 1.44 抗裂度验算中,系数 γ 的物理意义是什么?它是怎样确定的? (52)
- 1.45 受弯构件截面抗弯刚度的基本定义是什么?基本表达式是什么?如何通过截面抗弯刚度来计算梁、板的挠度? (54)
- 1.46 在钢筋混凝土构件的使用阶段,裂缝间距为什么会趋于稳定?裂缝的平均间距计算公式是怎样得出来的? (56)
- 1.47 钢筋混凝土构件中,垂直裂缝的宽度是如何定义的?裂缝宽度的表达式和计算公式是怎样得到的? (58)
- 1.48 钢筋混凝土构件裂缝处钢筋锈蚀的机理是怎样的?影响锈蚀程度的主要因素是什么? (59)
- 1.49 什么是钢筋混凝土结构的延性和延性系数?延性有什么重要意义?延性系数与哪些主要因素有关? (61)
- 1.50 不同配筋率 ρ 的适筋梁,其正截面工作的全过程有什么不同? (62)
- 1.51 两阶段受力迭合式受弯构件的正截面抗弯强度有什么特点? (64)
- 1.52 什么是深梁?深梁的基本特性和主要的构造要求是什么? (64)
- 1.53 什么是预应力混凝土?为什么说普通钢筋混凝土结构中无法利用高强度材料,较难建造起大跨度结构?预应力混凝土结构又怎样? (67)
- 1.54 预应力混凝土结构的主要优缺点是什么? (67)
- 1.55 “预应力混凝土结构是一种预先检验过的结构”这种说法对吗? (68)
- 1.56 什么是先张法和后张法预应力混凝土?它们的主要区别是什么? (68)
- 1.57 对预应力混凝土中的钢材和混凝土的性能分别有哪些要求?为什么? (68)

- 1.58 为什么配置无屈服台阶的光面钢丝和钢绞线的预应力混凝土受弯构件,当材料质量有可靠保证时,钢筋的设计强度要乘以钢筋应力增大系数 β_p ?它是怎样确定的? (69)
- 1.59 预应力混凝土与普通钢筋混凝土之间的主要异同点是什么? (70)
- 1.60 为什么在预应力混凝土结构中要用较高强度等级的混凝土? (71)
- 1.61 什么是张拉控制应力?为什么要规定张拉控制应力的上限值?它与哪些因素有关?张拉控制应力是否有下限值? (71)
- 1.62 预应力混凝土结构中的预应力损失包括哪些项目?如何分批?每一批损失在计算中是如何应用的? (72)
- 1.63 影响收缩和徐变损失的主要因素有哪些?这时的混凝土预压应力是指哪一位置处的值? (72)
- 1.64 什么是钢材的应力松弛?松弛损失与哪些因素有关?为什么超张拉(短时间的)可减小松弛损失? (72)
- 1.65 换算截面 A_0 和净截面 A_n 的意义是什么?为什么计算施工阶段的混凝土应力时,先张法构件用 A_0 、后张法构件用净截面 A_n ?而计算外荷载引起的截面应力时,为什么先张法和后张法构件都用 A_0 ? (73)
- 1.66 在受弯构件截面受压区配置预应力筋对正截面抗弯强度有何影响? (73)
- 1.67 预应力混凝土受弯构件的截面限制条件和斜截面抗剪强度计算是否与普通钢筋混凝土受弯构件相同? (73)
- 1.68 预应力曲线(弯起)钢筋的作用是什么? (74)
- 1.69 计算预应力混凝土受弯构件由预应力引起的反拱和因外载产生的挠度时,是否采用同样的截面刚度? (74)
- 1.70 为什么要对预应力混凝土构件进行施工阶段的抗裂度和强度验算?怎样对预应力混凝土受弯构件作施工阶段验算? (74)
- 1.71 什么是部分预应力混凝土?它的优越性是什么? (75)
- 1.72 预应力混凝土结构中,非预应力钢筋对预应力损失及抗裂性是有利还是不利? (75)
- 1.73 什么是 σ_c 、 σ_p 和 σ_{p0} 或 σ_{p0}' ?它们的计算公式在先张法和后张法构件中是怎样的?有什么区别? (75)
- 1.74 什么是混凝土的局部承压问题?它的破坏形态和工作机理是怎样的? (76)
- 1.75 按弹性理论计算单向板肋梁楼盖时,对板和次梁为什么要采用换算荷载? (78)
- 1.76 现浇单向板肋形楼盖,按弹性理论计算时,采用了哪些主要的简化假定? (79)
- 1.77 怎样理解内力的塑性重分布? (80)
- 1.78 钢筋混凝土塑性铰有几种?其主要特征是什么? (81)
- 1.79 双向板的受力和配筋有哪些特点? (83)
- 1.80 无梁楼板按总弯矩法计算的要点是什么?这时能不能象双向板那样把荷载在 x, y 两个方向传递? (85)
- 1.81 单层厂房排架内力计算时,对吊车荷载应注意些什么问题? (86)
- 1.82 什么是单层厂房的空间工作?考虑吊车荷载作用下单层厂房空间工作的计算方法是怎样的? (87)
- 1.83 什么是屋架的次弯矩?它是怎样产生的? (88)
- 1.84 什么是 D 值法?它的基本要点是什么? (89)
- 1.85 如何确定框架内力的竖向活荷载最不利位置?竖向荷载作用下,当采用分层法计算时,柱的内力怎样组合? (91)
- 1.86 梁柱为刚接的钢筋混凝土框架柱,它的计算长度 l_0 是怎样取值的?为什么有这些差别? (94)
- 1.87 高层建筑中,竖向结构体系主要有几种?它们的主要优缺点是什么?各适用于什么情况? (95)
- 1.88 高层建筑中,结构的刚度中心是指什么?它有什么意义? (96)

1.89	框架的水平位移曲线为什么通常是剪切型的?	(97)
1.90	高层剪力墙的受力特点是什么?剪力墙是如何分类的?	(98)
1.91	什么是框架-剪力墙结构体系?它的计算简图是怎样采取的?其主要的结构特性是什么?	(102)
1.92	什么是框筒结构?它的受力特点是什么?	(104)

第二部分 计算例题

2.1	轴心受压构件正截面强度计算	(107)
2.2	受弯构件正截面强度计算	(109)
2.3	受弯构件斜截面抗剪强度计算	(117)
2.4	受扭构件强度计算	(123)
2.5	偏心受压构件正截面强度计算	(128)
2.6	偏心受拉构件正截面强度计算	(146)
2.7	双向受力构件正截面强度计算	(149)
2.8	钢筋混凝土构件裂缝宽度和变形验算	(153)
2.9	预应力混凝土构件计算	(157)
2.10	深梁、冲切、设计方法和单向板肋梁楼盖计算	(163)

第三部分 水平试题

3.1	是非题	(181)
3.2	选择题	(183)
3.3	填空题	(189)
3.4	问答题和计算题	(195)

附录

附录1	混凝土的标准强度	(231)
附录2	混凝土的设计强度	(231)
附录3	混凝土的弹性模量	(231)
附录4	热轧钢筋、冷拉钢筋及热处理钢筋的标准强度	(232)
附录5	碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线及冷拔低碳钢丝的标准强度	(232)
附录6	热轧钢筋、冷拉钢筋及热处理钢筋的设计强度	(233)
附录7	碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线及冷拔低碳钢丝的设计强度	(234)
附录8	钢筋的弹性模量	(234)
附录9	受弯构件的允许挠度值	(235)
附录10	裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数及最大裂缝宽度允许值	(235)
附录11	受弯构件的界限配筋率 ρ_b	(237)
附录12	钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率	(237)
附录13	钢筋混凝土轴心受压构件的压屈系数 φ	(238)
附录14	钢筋混凝土矩形截面受弯构件正截面抗弯强度计算用系数 γ_s, a_s	(239)
附录15	钢筋的计算截面面积及理论重量	(240)
附录16	每米板宽内各种钢筋间距时的钢筋截面面积	(241)
附录17	水平试题答案	(242)

第一部分 答 疑 题

1.1 工业与民用建筑专业的《钢筋混凝土结构》*主要包括哪些内容,这门课有什么特点,学习时应注意些什么?

混凝土结构包括钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构两种,习惯上统称为钢筋混凝土结构。这门课的内容主要包括基本构件和结构设计两大部分,前者是后者的基础。基本构件部分相当于钢筋混凝土和预应力混凝土的材料力学,在讲述了材料的主要物理力学性能和混凝土结构按概率的极限状态设计方法之后,主要讲述各种受力状态下的钢筋混凝土与预应力混凝土构件的强度、变形和裂缝的计算方法和截面构造。

结构设计部分主要包括平面楼盖、单层厂房、多层建筑和高层建筑的结构设计。着重讲述它们的结构型式、结构布置、受力特点、计算简图、内力分析和组合以及构造设计等。

《钢筋混凝土结构》大致有四个特点:

1. 由于钢筋混凝土和预应力混凝土都是不匀质的非弹性材料,所以这门课里的一些概念是新的,与研究匀质弹性材料的《材料力学》、《结构力学》和《弹性理论》等课程虽然有联系,但有根本的区别。

2. 有很强的实践性 主要表现在两个方面:一是在讲述基本理论和概念时,许多内容是与我国现行的设计规范和工程实践密切联系的;另一方面是内容比较具体,与结构构件和建筑物的结构设计紧密结合,涉及结构形式、结构布置、施工方法、材料选择和配筋构造等一系列具体而现实的问题。因此,截面尺寸、荷载、计算简图等往往不再是给定的,而是设计本身的一个内容,并且解答通常也不是唯一的。

3. 是一门实验性的学科 《钢筋混凝土结构》课程内容虽然有一般性的原理,但是却离不开实验,许多公式和系数都是由实验并经过工程实践的检验而得到的。从这一意义上讲,《钢筋混凝土结构》并不象其他一些基础课和专业基础课那样“严格”。

4. 内容多而且更新快 一本《钢筋混凝土结构》教材,不包括选修的内容在内,大约有七十多万字,并且涉及的面比较广,又由于钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构应用广泛,故这门学科发展很快,规范也在不断地修改,因此内容更新的速度是相当快的。

对于这门课程的学习,应从它的内容和特点出发,建议注意以下四点:

1. 把学习的重点放在一些基本概念上 例如,对于各种基本构件受力的全过程、破坏形态、截面计算简图、配筋方法和配筋数量对构件受力性能的影响;对于各类建筑物的结构选型及其受力特点、计算简图的取法、内力分析与组合、超静定结构的塑性内力重分布、主要的构造设计等等基本概念都要作为学习的重点。

2. 反复学习,善于思考 温故而知新,反复地学习是十分重要的。同时要认识到,在有些课程例如结构力学中,往往是通过计算题来检查基本概念的,而《钢筋混凝土结构》课程除了计算题以外,还可以通过多种方式来检查基本概念。因此,学习时多思考,多提一些“为什么”,多

*《混凝土结构设计规范》(GB10—85)中包括钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

阅读一些参考书,对于不断地加深理解是很有好处的。切不要死记硬背,事实上不理解的东西也是很难记住的。

3. 不断地整理学习的内容 学完一章或一个段落以后,最好归纳一下并用自己的话写下来,做到重点突出,思路清楚。这样做不但有助于进一步理解学习的内容,而且可以增强学习的信心。

4. 联系实际,运用设计规范 在计算和设计中应联系我国的实际情况,熟悉和运用我国现行的设计规范,并逐步培养分析和解决工程问题的独立工作能力。

下面举一个例子。对受弯构件正截面强度计算一章谈几点体会,供读者学习时参考。

1. 该章主要内容及其相互关系大致如表 1-1 的框图所示。

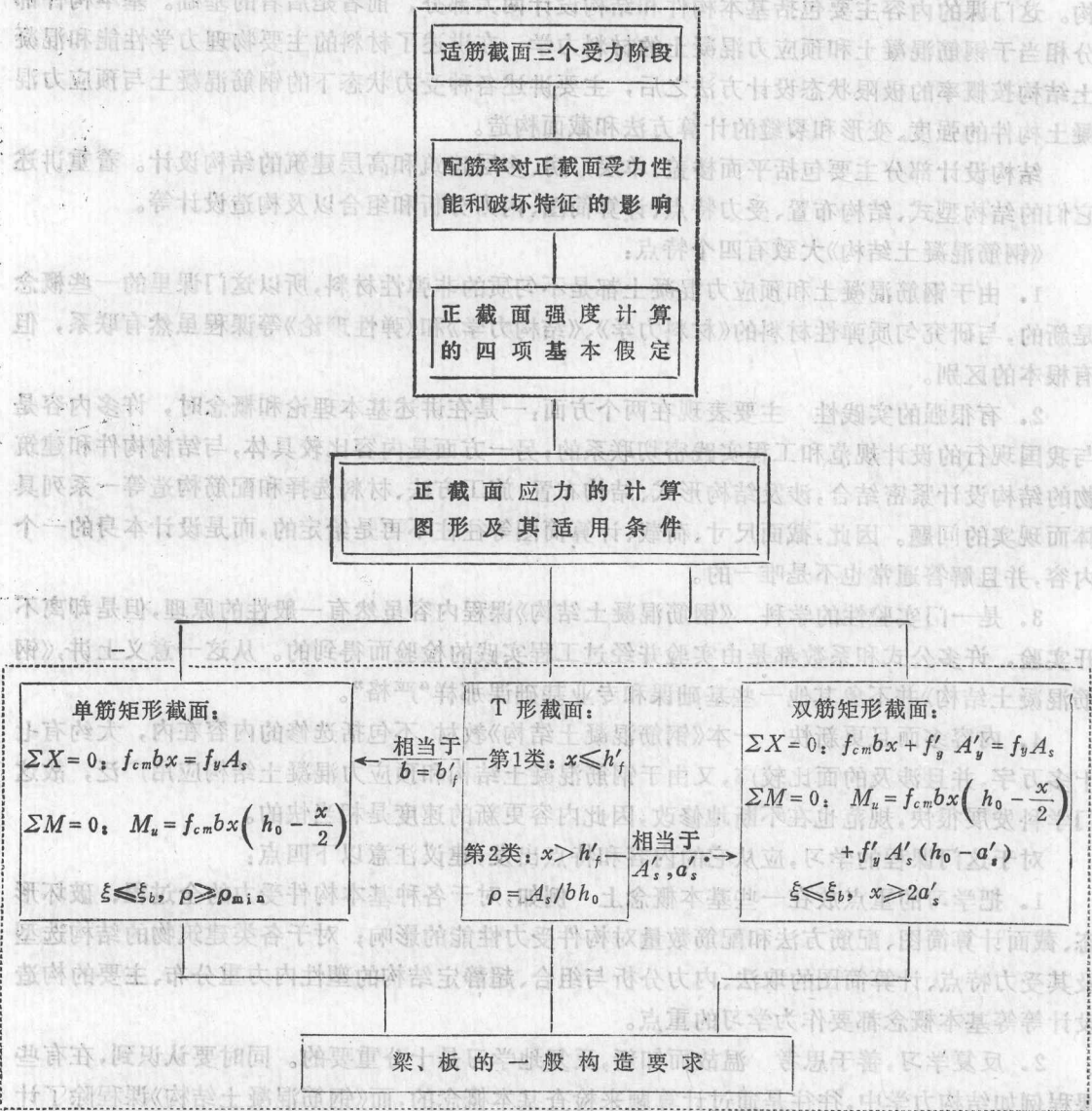


表 1-1 “受弯构件正截面强度计算”包括的主要内容及其相互关系

可见受弯构件正截面强度计算的中心问题是截面应力的计算图形及其适用条件。在此之前,讲的是理论和概念,在此之后讲的是如何应用。因此,建议学习时可对这个中心问题提两问题来检查自己:为什么这样?如何应用?通过检查不断地加深对内容的理解。

2. 把匀质弹性材料梁的习惯概念,转变为钢筋混凝土梁正截面强度计算的新概念是本章的根本任务。下面简要地把这两种梁的正截面受力性能对比于表 1-2。

表 1-2 匀质弹性材料梁与钢筋混凝土适筋梁受力性能对比表

项 目		匀 质 弹 性 材 料 梁	适 筋 梁
相 似 点		符合平截面假定	平均变形基本上符合平截面假定
本 质 区 别		单一的匀质弹性材料	钢筋与混凝土是两种性质不同的弹塑性材料
主 要 的 不 同 点	应力与应变关系	服从虎克定律	受拉混凝土、受压混凝土以及钢筋都有各自的应力-应变关系
	工 作 过 程	始终按同一规律工作	分为 I、II、III 三个不同的受力阶段
	应 力 分 布	始终是直线,最大正应力始终在边缘	应力分布情况是在不断改变的,将开裂时最大拉应力不在受拉区外边缘;破坏时最大压应力也不在受压区外边缘
	中 和 轴	始终在形心处	随荷载的增大,不断上升
	截面抗弯刚度	是常数 EI	是变值,随弯矩的增大而变小
	截面抵抗矩系数	是常数,矩形截面等于 $\frac{1}{6}$	是变数,随 ξ 而变 $\alpha_s = \xi(1 - 0.5\xi)$
正截面破坏准则		$\sigma_{\max} \geq [\sigma]$	受拉钢筋先屈服,而后受压区边缘达到极限压应变

3. 配筋率 ρ 是截面上纵向受拉钢筋截面面积与混凝土有效面积(T形截面指肋部有效面积 bh_0)之间的相对比值, $\rho = A_s/bh_0$ 。单筋截面的相对受压区高度 ξ 是反映了纵向受拉钢筋承担的拉力与受压区混凝土承担的压力之间的相对关系。单筋矩形截面 $\xi = \rho f_y/f_{cm}$, 双筋矩形截面 $\xi = \rho f_y/f_{cm} - \rho' f'_y/f_{cm}$ 。 ρ 或 ξ 的大小对适筋梁的受力性能有很大影响,由于 ξ 不仅考虑了面积而且考虑了材料设计强度的关系,所以用 ξ 来反映适筋梁的受力性能比用 ρ 更恰当些,正如用重量比来反映混凝土的配合比要比用体积比更恰当一样。

4. 因为双筋截面只有 ρ_{1b} 而没有 ρ_{1b} , 所以适筋梁的普遍定义是: $\xi \leq \xi_b$ 及 $\rho \geq \rho_{\min}$ 。 $\xi > \xi_b$ 的梁,称为超筋梁, $\rho < \rho_{\min}$ 的梁称为少筋梁。超筋梁和少筋梁的破坏形态是脆性的,在工业与民用建筑中是不允许采用的。界限相对受压区高度 ξ_b 是根据平截面假定,产生界限破坏时的应变条件而求得的。应变条件是:受压区边缘混凝土的极限压应变 $\epsilon_{cu} = 0.0033$, 受拉区纵向受拉钢筋合力点处的拉应变为 f_y/E_s , 两者同时发生。

5. 截面的应力计算图形: 单筋截面时, 纵向受拉钢筋达到抗拉设计强度 f_y , 给出拉力 $f_y A_s$; 受压区混凝土达到弯曲抗压设计强度 f_{cm} (是一个换算的强度指标), 给出压力 $f_{cm} b x$ (单筋矩形截面) 或 $f_{cm} b'_f x$ (第一类 T 形截面) 或 $f_{cm} (b'_f - b) h'_f + f_{cm} b x$ (第二类 T 形截面)。双筋截面时, 在受压区再增加纵向受压钢筋提供的压力 $f'_y A'_s$ 。正截面强度计算的两个基本计算公式就是根据这个应力计算图形的平衡条件 $\sum X = 0$ 和 $\sum M = 0$ 列出的。这两个基本计算公式应满足两个适用条件: 单筋截面 $\xi \leq \xi_b$ 和 $\rho \leq \rho_{min}$; 双筋截面 $\xi \leq \xi_b$ 和 $x \geq 2a'_s$ 。

6. 正截面强度计算分截面设计和截面强度复核两类问题。对于单筋矩形截面, 这两类问题都有两个未知数, 截面设计时是 x 和 A_s ; 截面强度复核时是 x 和 M_u , 可以用联解两个基本计算公式求得, 也可利用计算表格求得。

双筋矩形截面的截面设计分 A'_s 未知和 A'_s 已知两种情况。 A'_s 未知时有三个未知数 x 、 A_s 和 A'_s , 这时可补充条件 $x = \xi_b h_0$ 进行求解。 A'_s 已知时, 因受压钢筋所承担的弯矩 $M_{u2} = f'_y A'_s (h_0 - a'_s)$ 及对应的受拉钢筋面积 $A_{s2} = f'_y A'_s / f_y$ 是已知的, 所以只有两个未知数 x 和 A_{s1} , 可按 $M_{u1} = M - M_{u2}$ 的单筋矩形截面求出 x 和 A_{s1} , 最后 $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ 。

单筋 T 形截面分两类, 计算时应首先判别属于哪一类。第一类按宽 b'_f 的单筋矩形截面计算, 第二类相当于双筋截面中 A'_s 和 a'_s 为已知的情况, $A'_s = f_{cm} (b'_f - b) h'_f / f_y$, $a'_s = h'_f / 2$ 。

1.2 新修订的《混凝土结构设计规范》(GB10—85) 在内容上主要作了哪些修改?

新修订的《规范》是在总结《钢筋混凝土设计规范》(TJ10—74) 颁布以来的实践经验, 根据规范科研组组织的三批科研课题的成果, 借鉴近年来国际先进标准的基础上制定的。与《钢筋混凝土设计规范》(TJ10—74) 比较, 在内容上有很大的充实、提高和发展, 已形成了较完备的计算体系, 并具有我国自己的特色。新《规范》的主要修改内容是:

1. 按国际 GBJ83—85 的规定, 采用了新的国际通用符号和我国的法定计量单位;
2. 按国际 GBJ68—84 的规定, 采用了概率极限状态设计方法;
3. 正截面强度计算统一采用了平截面假定;
4. 增加了连续梁、约束梁及偏压构件、偏拉构件、预应力构件的抗剪强度计算;
5. 全面改进了抗扭强度计算方法;
6. 改进和补充了冲切、局部承压和疲劳强度计算方法;
7. 简化和补充了裂缝宽度和变形计算方法;
8. 系统地改进了钢筋锚固、搭接和延伸的设计方法;
9. 调整了混凝土保护层厚度和最小配筋率的规定;
10. 调整和扩大了多层框架柱计算长度的应用范围;
11. 增加了迭合构件的整套设计方法;
12. 增加了深梁的整套设计方法; 补充了水平力作用下牛腿的设计方法;
13. 增加了预埋件的设计方法;
14. 增加了构件抗震设计的规定。

1.3 我国《建筑结构设计统一标准》**的主要特点是什么?

主要特点是把以概率理论为基础的极限状态设计方法 (简称概率极限状态设计法) 引入到

*《混凝土结构设计规范》(GB10—85) 以下简称《规范》。 ** 以下简称《统一标准》。

工程设计中,使我国的建筑结构设计基本原则更为合理并开始走向统一。具体讲,有以下五个特点:

1. 引进了现代的结构可靠性设计理论 我国结构设计中曾用过的容许应力法、破损阶段法和实用极限状态法都是采用以经验为主确定的安全系数来度量结构可靠性的,因此都属于“定值设计法”。《统一标准》引进了结构可靠性设计理论,将各种影响结构可靠性的因素都视为随机变量,使设计的概念和方法都建立在统计数学的基础上,并以主要根据统计分析确定的失效概率来度量结构的可靠性,故属于“概率设计法”。从定值设计法转变为概率设计法,长期来沿用的定值概念将转变为非定值概念,长期来依靠直观经验的方法将转变为系统地运用统计数学的方法,这是设计思想上的重要演进,将使新设计的工程结构更加符合客观实际情况。

2. 明确了结构可靠性的度量尺度 实际上,定值设计法用安全系数来度量结构的可靠性只是在特定条件下才能起到度量的作用,离开了特定条件就无法正确比较结构的可靠度。《统一标准》是以结构的失效概率来定义结构可靠度的,并以与结构失效概率相联系的可靠指标 β 来具体度量结构可靠度的,因此能较好地反映结构可靠度的实质。

3. 发展了结构的极限状态设计方法 极限状态设计方法是苏联在五十年代首先在结构设计中正式采用的。《统一标准》中采用的极限状态设计法,不仅保留了原有的基本思想,而且在内容和方法上有新的发展。主要表现在:

(1) 结构的极限状态已可通过与结构可靠度有直接关系的极限状态方程来数学地描述;

(2) 实用极限状态设计方法的表达式中的三个系数,已可根据统一规定的可靠指标经过概率分析而优选确定。

4. 统一了结构设计的基本原则

(1) 荷载系数取值——对于各种结构均取恒载的荷载分项系数 γ_G 为1.2(1.0或0.9);活载的荷载分项系数 γ_Q 为1.4或1.3;一般情况下,当有风荷载参与组合时,荷载组合系数 ψ 取0.6。

(2) 材料强度取值——对于各种材料,标准强度取强度概率分布的0.05分位数,即当材料强度服从正态分布时 $f_k = \mu_f - 1.645\sigma_f$,保证率为95%。

(3) 结构可靠度水准——对于安全等级为二级的各种构件,延性破坏的均取 $\beta = 3.2$ (相当于失效概率 6.9×10^{-4}),脆性破坏的均取 $\beta = 3.7$ (相当于失效概率 1.1×10^{-4})。

(4) 设计表达式——各种结构构件的基本设计表达式采用多系数表达式:

对于基本组合,基本表达式为:

$$\gamma_G(\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}) \leq R(f_c, f_y, a_k, \dots) \quad (1-1)$$

对于短期效应组合,应取下列荷载效应组合关系:

$$S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-2)$$

对于长期效应组合,应取下列荷载效应组合关系:

$$S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-3)$$

5. 提出了保证结构可靠度的质量控制措施 在《统一标准》中规定,对材料和构件的质量

为了与概率极限状态设计法相区别,把过去按三系数法设计的极限状态设计法称为实用极限状态设计法。

控制和验收,要以设计要求、可靠指标 β 相联系的合格质量水平为根据,从而使设计规范与施工验收规范在结构可靠度上能互相衔接配套。这样,设计时所预期的结构可靠度就有可能通过产品质量的控制和验收而加以保证。

1.4 什么是结构可靠度?它是怎样度量和表达的?

建筑结构的可靠性包括安全性、适用性和耐久性三项要求。结构可靠度是结构可靠性的概率度量。结构可靠度的定义是:结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。“规定时间”指的是设计基准期50年;“规定条件”是指正常设计、正常施工、正常使用条件,不包括人为的过失影响。

混凝土结构的可靠度主要是用以下方法来度量和表达的。

1. 规定极限状态设计原则 整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态称为该功能的极限状态。极限状态可分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。当仅用荷载效应 S 和结构抗力 R 作为两个基本变量时,结构的极限状态可用极限状态方程 $R-S=0$ 来表达。

2. 用可靠指标 β 来度量结构构件的可靠度 结构能完成预定功能的概率称为可靠概率 p_s ,结构不能完成预定功能的概率称为失效概率 p_f , $p_f=1-p_s$ 。可靠指标 β 与失效概率 p_f 的关系为

$$p_f = \varphi(-\beta) \quad (1-4)$$

式中, $\varphi(\cdot)$ 表示标准正态分布函数。

可见, p_s 、 p_f 和 β 三者具有固定的关系,它们都可以用来度量结构可靠度,但研究表明用 β 来度量比较简便。

当仅考虑两个基本变量 S 、 R 时, β 的表达式为:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-5)$$

式中, μ_S 、 μ_R 和 σ_S 、 σ_R 分别为荷载效应 S 和结构抗力 R 的平均值和标准差。

由于统计资料不完备以及分析中引进了近似假定,因此计算(例如用(1-5)式)所得的 β 值并不是实际值,只能相对地比较各类结构构件的可靠度。

根据对正常设计与施工的建筑结构可靠度水平的校正结果,并考虑到长期的使用经验和经济效果后,《统一标准》给出了构件强度的统一 β 值:对于安全等级为二级的各种构件,延性破坏的, $\beta=3.2$;脆性破坏的, $\beta=3.7$ 。

3. 采用以分项系数表达的极限状态表达式 为了照顾传统习惯和实用上的方便,结构设计时不直接按可靠指标 β ,而是根据两种极限状态的设计要求,采用以荷载代表值、混凝土和钢筋设计强度(设计强度等于标准强度除以材料分项系数)、几何参数标准值以及各种分项系数表达的实用表达式进行设计。其中分项系数反映了以 β 为标志的结构可靠度水平。

于是,结构构件的强度极限状态设计表达式为:

$$(8-1) \quad \gamma_0 S \leq R \quad (1-6)$$

$$S = \gamma_G C_G G_G + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} \psi_{ci} Q_{ik} \quad (1-7)$$

$$R = R(f_c, f_y, a_k, \dots) \quad (1-8)$$