

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2018.06.016

欢迎按以下格式引用:郭建营.混凝土结构课程结构设计概念的教学研究[J].高等建筑教育,2018,27(6):93-98.

混凝土结构课程结构设计概念的教学研究

郭建营

(合肥工业大学 土木与水利工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要:在混凝土结构课程教学中培养学生工程结构的设计理念,是土木工程师素质教育的一个重要内容。文章分析了如何从理论计算过渡到实际工程结构设计,包括理论公式的演绎、结构功能的保证,以及对结构设计概念的理解,以便更好地帮助学生在单纯的理论计算中建立结构设计概念。

关键词:混凝土结构;力学概念;结构设计方法;设计概念

中图分类号:G642.0;TU37

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2018)06-0093-06

一、课程体系与课程特点

混凝土结构课程是大土木工程类专业的一门专业基础课。一般讲,其前设课程有土木工程材料、材料力学、结构力学等课程,作为学习该课程的基础准备;后续课程有相应的专业结构类课程,如建筑结构设计、桥梁结构、水工结构,以及专业课程工程结构抗震、土木工程施工等。混凝土结构课程在整个土木工程专业人才培养中占有重要的地位。该课程涉及的内容既有理论推导,又有试验研究,同时又与规范、工程实际联系密切。该课程旨在为将来从事工程设计、工程施工和工程管理工作提供专业技术基础知识,对学生掌握基本理论、专业技能和工程能力具有重要作用^[1-4]。

混凝土结构课程虽然仅涉及混凝土结构的基本理论和基本构件的设计方法,但是它在整个土木工程专业教学体系中起着承上启下的作用。理论上,从数学工具到力学概念以及结构的概念,有着严密的逻辑和严谨的理论模型衔接。课程体系上,根据土木工程专业教学大纲安排,混凝土结构课程肩负着重要的任务,一是帮助学生建立结构构件的设计思想与理念,掌握结构和构件的设计方法与概念,以及了解在工程结构中如何满足包括安全性、适用性、耐久性等功能性要求;二是要求掌握混凝土结构构件的基本设计原理,包括功能要求在混凝土结构中的体现^[1-5]。学生接触这门课程时,正是从基础理论课程进入专业技术课程的节点,要引导学生学会基于基础理论来分析工程问

修回日期:2017-11-01

作者简介:郭建营(1964—),男,合肥工业大学土木与水利工程学院副教授,一级注册结构工程师,主要从事混凝土结构工程教学科研以及结构与检测鉴定研究,(E-mail)51465676@qq.com。

题。结构构件的设计,首先要分析结构构件的受力性能,这既取决于材料,也取决于计算分析的方法。材料的物理关系、变形的几何关系、受力的平衡关系应始终是分析的基本方法。但是由于工程构件的材料性能和受力环境的差异性,使结构构件的受力性能与基础理论的分析与计算有一定的差别。学生在学习时,会对一些概念产生疑问和困惑。如何去认识和解决具体工程材料的分析和计算,是混凝土结构课程要解决的问题。

从工程意义上说,无论学生以后是从事科学研究还是工程设计、施工和工程管理,结构设计理念的建立对土木工程专业的学生来说都具有重要意义。如何在教学过程中建立设计的概念?结构设计概念在混凝土结构中如何体现和应用?它与基础课程中的数学、力学的学习方法有什么不一样?这些问题都是混凝土结构课程教学需要解决的根本任务。通过这门课程的学习,学生能够建立基本的结构理念和设计思想,并开始有了工程的概念,就能为后续专业课的学习,以及课程设计、毕业设计打好坚实的理论和工程基础。

二、结构设计理念与方法的建立

(一) 设计方法

结构设计的基本思想在混凝土结构课程结构设计方法(或结构按极限状态设计的原则)这一章有讲解。在课程教学中,这一章的内容是个关键,它涉及结构设计的一般方法与概念。应该说,在混凝土结构课程中,这一章的内容与后面混凝土结构基本构件的计算理论是并列的。有别于荷载与结构设计方法课程,混凝土结构课程中的结构设计方法包含了混凝土这类具体结构构件设计的方法,对于一般的土木工程结构构件的设计更具有一般性的指导意义。那么,如何在混凝土结构课程教学中去实施呢?这就是混凝土课程教学必须要考虑的。

首先,结构和构件的设计要满足其功能要求,建立在以概率论和数理统计基础上的“极限状态设计方法”,正是表述了这个“功能”的状态。

其次,要在学生头脑中建立“极限状态的概念”,其与前述力学(材料力学和结构力学)中的构件材料有所不同;就工程结构构件而言,在进行设计时,考察的是结构或构件所处的某一种状态,这种状态即是结构的“极限状态”。而决定(或影响)这个状态的变量和因素比较多,这就需要分析状态方程中的基本变量的概念。在进行结构设计和计算的时候,一是要确定这些变量以及它们对“状态”影响的“权重”,而这些变量所涉及的如受力(工作)的环境、荷载的工况以及材料、设计方法等因素决定了状态的不同。这些变量对“状态”影响的“权重”,就是计算公式中那些系数的概念。二是这些变量本身如何取值,也决定和影响结构的“状态”。

结构设计计算工程实践中,将结构内力的弹性分析和截面承载力的极限状态设计相结合,便于工程实用。计算的目的是为了设计,设计出安全、可靠、适用的结构才是最终目的。帮助学生区别设计计算和分析研究计算的不同,改变其在基础课程中那种单纯为了计算而计算的思想。

(二) 设计计算理论及其特点

1. 极限状态方程

结构极限状态建立的方程是一个荷载平衡方程,是力学三大基本方程之一。结构和构件的设计不同于数学和力学的计算,在于极限状态平衡方程中增加了结构安全的概念,所以平衡方程也不

同于一般力学中的平衡方程。结构和构件的极限状态既然是一个状态,影响这个状态的变量就不止一个。那么,完整地把所有变量都找出来,并在方程中赋予其变量关系系数,这是基本数学方法。式(1)即是状态功能函数的表达。

$$Z = g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

对于结构设计而言,如何保证设计的安全呢?

首先是基于概率与数理统计基础上的可靠度概念:材料强度的取值(标准值)、作用效应的取值(标准值)都要有95%的可靠度保证率。设计时作用(荷载)取值越大,内力值就越大;在概率分布函数的平均值右侧取值,有95%的可靠度保证率[式(2)]。设计时材料强度取值低,结构构件所需截面越大,结构愈安全,在概率分布函数的平均值左侧取值,有95%的可靠度保证率[式(3)]。

$$S_k = S_m + 1.645\sigma = S_m(1 + 1.645\sigma) \quad (2)$$

$$f_k = f_m - 1.645\sigma = f_m(1 - 1.645\sigma) \quad (3)$$

1.645为保证率系数。需要指出的是,实际荷载值低于标准值的概率为95%,实际材料强度值高于标准值的概率为95%^[6-8]。

2. 三个方程的建立与力学概念的融合

力学概念涉及三大方程:平衡方程、几何方程、物理方程,这些概念学生在力学课程中比较熟悉,也比较清晰,易于理解。这三大方程也是结构和构件设计的力学基础,结构分析方法应遵循这三大基本方程。这部分内容,能较好启发学生系统应用力学概念去思考结构问题。

极限状态方程理论上给出的是平衡方程的概念,那么,除了平衡方程,要解决结构的力学问题,还应用到几何方程和物理方程。几何方程会在不同程度上给予满足,而反映材料本构的物理方程,则需要合理选用^[7]。在结构设计中如何应用力学的这两个方程,也需要从设计概念上进行分析和考虑。

如,混凝土构件的平截面假定引出了构件计算的几何方程:

$$\phi = \frac{\varepsilon}{y} = \frac{\varepsilon_c}{x_c} = -\frac{\varepsilon_s}{h_0 - x_c} \quad (4)$$

又如,在偏心受压构件的设计中 $\sigma_s = \varepsilon_{cu} E_s (\frac{\beta h_0}{x} - 1)$ 的引入,也是建立在几何条件的基础上的^[8]。

而物理方程涉及的是材料的应力应变关系,这部分内容在讲解混凝土和钢筋材料的物理力学性能中有介绍,这里需要把纯理论的力学概念与工程设计的概念结合起来。

3. 计算中的结构设计的不确定性

结构设计中,有诸多的不确定性。如:工程结构(构件)的实际承载力可能小于设计计算承载力,工程结构上的实际荷载和各种作用(如温度、混凝土收缩、地震作用等)与设计计算时取用的荷载和作用力的差别,结构分析的不准确性会进一步增大荷载和作用效应(荷载和作用引起的结构内力)的变异性^[7]。这些不确定性决定了结构设计不同于数学和力学中的求解那样简单直接,会有一个确定的或唯一的正确解答。结构设计要考虑的因素是多方面的,工程建筑的重要性、破坏后的影响程度、工程的经济性等,这些反映在计算公式中引入的相关系数上,也是设计的安全性在极限状态方程中的安全储备。

“结构设计”解答的答案或许不是唯一的,但是,解答的“结果”应该是唯一的,这个“结果”即是必须满足结构和构件的预定功能要求。

三、混凝土结构概念的设计思想与方法

(一) 混凝土结构课程教学中的设计思路

混凝土基本构件承载力设计一般教学思路为: 试验分析—构件的破坏形态和破坏特征—计算假定—计算图形—计算简化—建立计算公式—进行截面设计和截面验算—构造设计^{[1][5]}。而在应用计算公式求解时一般首先给出计算的基本公式,通常是基于力学的概念给出的,概念很明确,学生也易于理解。而在进一步分析实际问题和确定未知量时,需要补充条件来求解方程。考虑工程实际,基于设计的概念,公式有其适用条件,这就要重新确定计算方法和对应的公式。最后的计算结果更需要满足构造设计要求,这一部分更多的是基于设计的概念,也是学生理解的难点。实际工程中采用的设计方法则是基于极限状态的一般表达式,并重点体现在作用效应和材料强度指标的确定,以及构件尺寸的选定等变量的处理上。

(二) 混凝土结构材料的概念

钢筋混凝土结构涉及混凝土和钢筋这两种结构材料。结构构件材料本身的物理力学性能与结构构件的受力直接相关,在设计过程中如何确定材料的力学性能,这是设计分析的关键。工程中的材料性能不同于理论模型中的理想状态,对此,学生在学习过程中往往不容易理解,对其应用学生更是感到难以下手,而这正是结构设计的关键内容之一。

就混凝土材料而言,反映其物理力学性能的应力应变关系曲线总体有上升段、下降段和收敛段(图1),而计算时采用的应力应变曲线是抛物线与水平线的组合(图2)^[7-8],这与试验曲线(或材料的实际本构关系)有一定差距。学生就会产生这样的疑问:为什么采用这样的模型?采用这样的模型计算是否与实际不相符?从结构设计的概念出发,材料需要满足工程结构的功能要求,满足预定功能是结构设计的目标。设计中所考虑的材料性能,既要满足设计实现的可能(即要解决工程问题),又要保证结构的可靠,可以在材料本构模型上做些简化,这与数学、力学等基础课程中单纯理论计算是有基本区别的。

复合应力下混凝土的强度,可以考虑箍筋的配置对混凝土的侧向约束,以提高混凝土的强度,并增强其变形能力,至于提高多少受到多种因素的影响。如何在工程设计中使用这个性能,这是概念的范畴,在计算公式中没有定量考虑,不能像前述基础课程中那样,一定要在计算公式中体现出来。那么,这就要使学生懂得设计过程中概念设计的理念,应用概念进行设计。

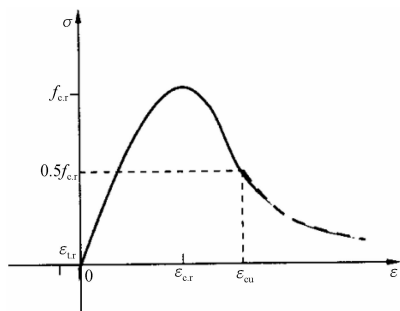


图1 规范给出的应力应变曲线(实际)

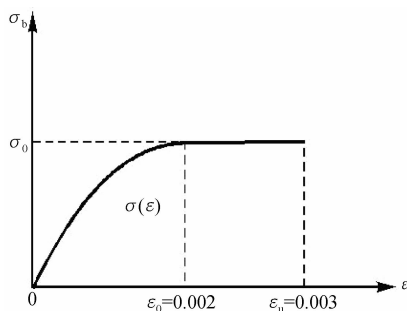


图2 计算采用的应力应变曲线

对混凝土结构中的钢筋,《混凝土结构设计规范(GB50010-2010)》给出的钢筋本构关系考虑了钢筋强度硬化的提高(图3)。而在结构设计计算时,采用的是理想的弹塑性本构关系,钢筋屈服代表着结构构件的破坏。理论上讲,强度硬化模型可以充分利用钢筋的强度,在保证结构构件安全可靠的基础上,降低使用钢量,以提高工程的经济性。但是,实际计算中采用的理想弹塑性本构关系更利于计算和设计的实现,强度硬化模型的概念则可以在设计过程中配筋时予以概念性设计^[6-7]。

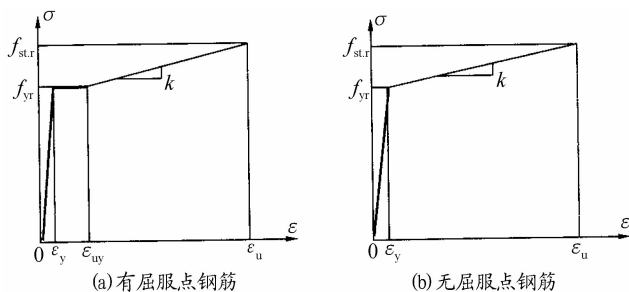


图3 钢筋的强化段强度的利用

(三) 混凝土结构设计计算模型分析

结构计算所采用的模型与构件实际的理想破坏形态还有区别。如适筋梁的破坏特征:受拉钢筋先屈服,然后受压区混凝土压坏,中间有一个较长的破坏过程,有明显破坏预兆,即“延性破坏(Ductile Failure)”,破坏前可吸收较大的变形能^[7]。这是混凝土结构构件设计的理想破坏模型,需要与实际的破坏状态结合进行分析。学生在学习过程中如何透彻理解是个关键。构件的实际破坏形态受多重因素的影响,可能并不完全如同理论的破坏形态。这个概念,可以通过混凝土梁基本构件试验让学生有实际的认识和理解。

四、概念设计与构造

(一) 结构的概念设计

结构的设计,不是简单的数学计算公式 $1+1=2$;设计的最高境界,不是计算公式的求解,而是所设计出来的结构和构件要满足其功能要求,可见概念设计的重要性。构造设计是体现概念设计的一个方面。

混凝土结构课程中涉及大量的构造要求,不同的受力构件截面形式、尺寸,以及钢筋直径、间距、布置的规定等都有不同。这部分内容比较零散^{[1][5]},很多学生在学习过程中,觉得构造要求都是文字条款的规定,容易忽视它的重要性。

其实构造设计不是简单的“对一些不便、不必计算的内容”进行的规定^[1]。笔者认为,构造设计更重要的在于对有些无法计算或者目前计算理论无法量化的东西进行构造设计,以满足状态的功能要求。要让学生理解到这些构造很多也是为了弥补计算的不足而规定的,包括计算模型的不准确、材料和作用选取中的不确定性等。

(二) 设计思想与计算思想的转变

构件截面的承载力,是由材料所“贡献”的,与材料的多少(如截面尺寸、面积)、材料的强度、材料在构件中的位置(构件的截面形式、钢筋的位置等)有关。钢筋和混凝土这些变量的不同变化,直接决定其在构件承载力中的“贡献”。当然,不是简单的“贡献”越多,承载力就越高;随着“贡献”比

例的变化,构件的破坏形态也会发生变化,如配筋率的变化会使梁的破坏形态发生改变(适筋梁、超筋梁和少筋梁的破坏)等。

简单地从计算角度来看,只要满足承载力公式,就应该可以了。而从实际情况来看,不仅要考虑结构构件的承载力,还要考虑结构构件破坏的性质。工程设计既要考虑承载力,又要考虑结构的延性,二者具有同等重要的作用。

五、结语

结构设计涉及的因素复杂,不仅要进行理论计算,还要考虑结构的特点,以及结构中材料的特点。如混凝土材料的特性,包括混凝土材料的非均匀性概念,以及设计中所采取的构造措施等。在混凝土结构课程教学中培养学生结构设计的思想和概念,广义上讲也就是培养其工程的思想 and 概念,而工程思维,这对学生以后学习和处理工程中的结构问题是非常有益的。

参考文献:

- [1] 张晓燕,李凤兰,曲福来,韩爱红.混凝土结构设计原理课程教学方法探讨[J].高等建筑教育,2011(1):79-82.
- [2] 罗立权,何金春,刘健.水工钢筋混凝土结构教学改革与实践探讨[J].高等建筑教育,2017(2):57-61.
- [3] 丁永刚.混凝土结构设计原理教学细节探讨[J].高等建筑教育,2014(4):88-91.
- [4] 许英,汪宏.钢筋混凝土结构设计原理课程教学探讨[J].高等建筑教育,2010(6):81-83.
- [5] 黄明,陈颖辉.对钢筋混凝土结构课程的教学体会[J].昆明大学学报:综合版,2005(1):72-74.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫局.《混凝土结构设计规范》GB50010-2010,北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [7] 叶列平.混凝土结构(上册)[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [8] 叶见曙.结构设计原理[M].3版.北京:人民交通出版社,2010.

Teaching research on concept of structural design of reinforced concrete structure course

GUO Jianying

(College of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, P. R. China)

Abstract: Cultivating the students' structural design concept in the reinforced concrete structure teaching is an important content for the training of civil engineer, closely connected with engineering practice. This article discusses how to practical design according to theoretical calculation, including the theoretical formula, guarantee of structure function, as well as the concept of structural concept design to help students understand the concept of structural design from simple theoretical calculation.

Key words: basic theory of reinforced concrete; mechanics concept; structural design method; design concept