

荷载与结构设计课程教学问题及 解决对策 ——以 JCSS 组合规则为例

贾传果,李英民,夏洪流,杨 溥,刘立平

(重庆大学 土木工程学院;山地城镇建设与技术教育部重点实验室,重庆 400045)

摘要:荷载与结构设计方法作为土木工程专业平台课程,主要介绍工程结构所承受的各类荷载和结构设计的基本概念、结构可靠度理论以及满足可靠度要求的结构设计方法。文章以 JCSS 组合规则为例,归纳了教学中存在的实际问题,并对此阐述了教学改革的必要性,提出了教学改革的具体方法。

关键词:荷载与结构设计方法;可靠度理论;JCSS 组合规则;教学改革

中图分类号:TU312

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2014)04-0092-04

1998年全国高等教育本科专业调整后,原建筑工程、交通土建、地下工程及矿山建设等专业合并为土木工程专业,在此背景下课程体系设置也作了相应调整,增设了荷载与结构设计方法这门专业基础课。荷载与结构设计方法侧重介绍基本原理与方法,从课程内容上分为两个部分^[1]:一是介绍工程结构承受的各种荷载及其相应的计算方法;二是介绍结构设计的主要概念、结构可靠度原理以及满足可靠度要求的设计方法。

作为一门开设时间不长、教学经验尚且不足的课程,荷载与结构设计方法在教学实践和教材内容上还存在一些问题,主要表现在:(1)对课程重视程度不足。荷载与结构设计方法是土木专业结构分析类课程的基础,掌握好结构与荷载设计原理,明白可靠度、分项系数的意义,才能正确进行结构设计。然而多数学校对此认识不充分,教学课时安排不足,导致课程内容难以讲解透彻,进而影响学习效果。有限的课时使教师对该课中的一些重要问题只能浅尝辄止,从而导致学生对课程的重视程度下降,其学习积极性与主动性也随之降低。(2)课本内容过于繁琐。荷载与结构设计课程本身比较枯燥,学习过程中涉及的问题较多,学生难免产生厌学情绪。因此应考虑到学生们的理解能力,在教材编写过程中少一些晦涩难懂的理论,多一些简洁易懂的实例。(3)教学方式机械化。结构设计课程本身要求学生具有较高的实践能力,因而教学方式不能停留在对课本概念的讲解上,而应强化运用基本理论解决问题的能力。因此,教学方式应结合工程实例,引导学生变被动接受为主动学习。

不可否认,荷载与结构设计方法课程与土力学、水力学、流体力学、结构力学、建筑结构抗震、混凝土结构设计原理、钢结构和砌体结构等课程在内容上有重复之处,但这并不意味着该课程没有开设的必要。相反,笔者认为该课程包含了整个大土木工程各类荷载,及各类土木工程都需要的设计思想和设计方法,可看作土木工程专业的一门专业基础课程,其重要性不言而喻。对于荷载部分,要强调各类荷载的相互联系,避免过多的理论分析和公式推导,要让学生从整体上认识土木工程中所涉及的各类荷载及相应的确定方法。针对结构可靠度这一部分内容在教学上存在的问题,文章以 JCSS 组合规则进行分析论述,提出了切实可行的教学改革方案。

一、以 JCSS 组合规则为例,剖析荷载与结构设计方法教学中的突出问题

(一)概念叙述偏浅,阐释深度不足

结构可靠度理论之所以难学,是因为概念抽象、计算原理复杂,因此在教学中要特别注重概念的阐释与原理的讲解。多数教材对于荷载效应组合规则的阐述不够详细,仅简单地给出了 JCSS 组合规则的基本概念,却没有深入分析、讨论其优缺点及其具体应用等。实际上,JCSS 方法是基于工程经验提炼出的一种组合规则,而利用随机过程的理论对 JCSS 组合规则分析表明:多数情况下该规则都能给出比较合理的结果,同时应用简便,故而被应用于工程实际。教学中对此类比较生疏的概念若不作深入阐述和原理分析,学生将难以把握和理解知识要点。

(二)相关课程脱节,知识脉络不连贯

学习荷载与结构设计方法需要概率论、数理统计、高等数学、结构力学等方面的基础知识。该课程与前面学习的课程有间隔,各科知识容易脱节,从而导致学习有困难。另一方面教学脉络的不连贯,使学生难以把握内容的主次。例如:有的教材直接从结构可靠度的基本原理跳到基于近似概率的基本表达式,中间缺少必要的知识过渡,思路不连贯让课程内容显得晦涩难懂。笔者在讲授荷载效应和荷载效应组合时,先介绍荷载效应组合的理论方法,再介绍工程经验方法,最后着眼于 JCSS 组合规则进行深入分析和案例讲解。这样不仅教学思路清晰,更容易让学生把握重点和难点。

(三)理论与实际结合不足

荷载与结构设计方法教学中还存在理论教学与

实际应用结合不足的问题,使学生无法从本质上掌握课程知识,容易出现知其然而不知所以然的情况。JCSS 组合规则是国际结构安全度委员会建议的荷载效应组合规则,规则特别强调了“各类结构”和“各类荷载”,说明此组合规则在应用上具有广泛性和普遍性。它考虑了荷载在各时段不出现的概率,减少了模型中的参数,使分析得以简化;另外统一规则由 2^{n-1} 项不利组合求得的失效概率之和来估计结构失效的概率,可考虑所有可能的不利组合,故为我国《建筑结构设计统一标准》所采用。铁道部科学研究院姚明初等^[2]曾运用此规则进行荷载效应的组合,思路清晰严谨,而且计算过程简洁易懂。

二、以 JCSS 组合为例,阐述教学改革的实施方法

(一)学科交叉运用,培养学生的综合能力

对于土木工程而言,各学科不是相互独立的。学科之间不仅有特性,还有共性,利用它们的相同或相似之处,处理问题有时会变得更加容易。教学过程中强调多学科的交叉运用,既能夯实专业基础,又能强化学生综合运用知识的能力。下面以 JCSS 规则为例阐述教学中多学科交叉运用的具体体现。

由于荷载效应组合在结构可靠度分析和结构设计中具有重要地位,上世纪 70 年代初有学者开展了研究,并提出了一些理论分析方法和多种实用的简化方法^[3]。1976 年由六个国际组织组成的结构安全度委员会公布了“对各类结构和各种荷载的统一规则”,也就是 JCSS 组合规则。当作用于结构上的各环境荷载可视为相互独立的随机过程时,即可用 JCSS 组合方法进行荷载效应组合。对于 JCSS 规则有如下规定:(1)假定荷载 $Q_i(t)$ 是等时段的平稳二项随机过程;(2)荷载 $Q_i(t)$ 与荷载效应 $S_i(t)$ 满足线性关系,即 $S_i(t) = C_i Q_i(t)$;(3)设计基准期 $T = 50$ 年;(4)互相排斥的荷载不考虑它们的组合,仅考虑在 $[0, T]$ 内可能相遇的各种可变荷载的组合;(5)当一种荷载取设计基准期内最大荷载或时段最大荷载时,其他参与组合的荷载仅在该最大荷载持续时间内取相对最大值,或取任意时点荷载。具体表述如下:组合时,依序取某一荷载 X_i 在 $[0, T]$ 内的最大值,对于时段数大于 r_i 的荷载,依序取前面荷载时段上的局部最大值,对其他荷载取相应的瞬时值,即取不利组合项为^[4]

$$Y_i = X_1(t_0) + X_2(t_0) + \cdots + X_{i-1}(t_0) +$$

$$\max_{t \in [0, T]} X_i(t) + \max_{t \in [0, \tau_i]} X_{i+1}(t) + \dots + \max_{t \in [0, \tau_{n-1}]} X_{i+1}(t) \quad (1)$$

式中:各项荷载的分布函数分别为 $F_1(x), F_2(x), F_{i-1}(x), [F_i(x)], [F_{i+1}(x)], \dots [F_n(x)]$ 。一般对于 n 个荷载有 2^{n1} 种组合。同时要注意,在 T 时段内划分的等时段 τ_i 与 τ_j 之间成整数倍的关系。由上述内容可见这一组合规则从分析到建立,再到其应用原理,综合了概率论、数理统计、高等数学等多门学科的知识。

(二) 引入案例教学,培养学生的分析能力

在实际教学中,案例教学具有情景性、互动性和实践性等特点,深受学生欢迎。以三个任意荷载为例,利用 JCSS 组合规则求这三个荷载效应的最不利组合,以此阐释案例教学的重要性。

首先,按照时段大小对荷载效应重新排序,根据 JCSS 组合规则,运用排列组合的原理,进行荷载效应的组合,如图 1。荷载总数为 3 个,最终可以得到 4 种不利组合。与以往从最大荷载效应开始组合不同,笔者的组合思路为从易到难,循序渐进。具体过程如下:(1)先从时段最小的 $S_1(t)$ 开始,取 $\max S_1(t)$ 和该时段对应的 $S_2(t_0)$ 和 $S_3(t_0)$,那么只有一种最不利组合;(2)从 $\max S_2(t)$ 开始,取 τ_2 时段对应的 $\max S_1(t)$ 及对应的 $S_3(t_0)$ 组合,也只有一种情况;(3)从 $\max S_3(t)$ 开始,取 τ_3 时段对应的 $\max S_2(t)$,然后继续取 τ_2 所对应 $\max S_1(t)$ 组合;(4)从 $\max S_3(t)$ 开始,取 τ_3 时段对应的 $\max S_1(t)$ 及该时段所对应 $S_2(t_0)$ 组合。全部可能组合用数学表达为:

$$\begin{aligned} S_{m1} &= \max_{t \in [0, T]} S_1(t) + S_2(t_0) + S_3(t_0) \\ S_{m2} &= \max_{t \in [0, T]} S_2(t) + \max_{t \in \tau_2} S_1(t) + S_3(t_0) \\ S_{m3} &= \max_{t \in [0, T]} S_3(t) + \max_{t \in \tau_3} S_2(t) + \max_{t \in \tau_2} S_1(t) \\ S_{m4} &= \max_{t \in [0, T]} S_3(t) + \max_{t \in \tau_3} S_1(t) + S_2(t_0) \end{aligned} \quad (2)$$

最后, $S_M = \max(S_{m1}, S_{m2}, S_{m3}, S_{m4})$ 即为所求最不利荷载效应组合。从上面的组合效应可以看出 S_{mi} 实际上是 n 项随机变量的和。但需要注意最终得到的是 S_{mi} 分布函数,其分布函数应为各随机变量分布

函数的卷积,即

$$\begin{aligned} F_{S_{m1}}(x) &= F_{S_1}(x)^{\tau_1} \times F_{S_2}(x) \times F_{S_3}(x) \\ F_{S_{m2}}(x) &= F_{S_1}(x)^{\tau_1/\tau_2} \times F_{S_2}(x)^{\tau_2} \times F_{S_3}(x) \\ F_{S_{m3}}(x) &= F_{S_1}(x)^{\tau_1/\tau_2} \times F_{S_2}(x)^{\tau_2/\tau_3} \times F_{S_3}(x)^{\tau_3} \\ F_{S_{m4}}(x) &= F_{S_1}(x)^{\tau_1/\tau_3} \times F_{S_2}(x) \times F_{S_3}(x)^{\tau_3} \end{aligned} \quad (3)$$

在得到综合最大效应 S_{mi} 的分布函数后,按一次二阶矩可靠度计算各自的可靠度指标 $\beta_i (i = 1, 2, 3)$,取 $\beta_0 = \min \beta_i$ 的一种组合作为控制设计的最不利组合^[5]。

从以上分析不难看出,案例教学不仅可以使问题变得更容易解决,还可以启发学生的发散性思维,培养学生的自主分析能力,实现教学内容的多元化。

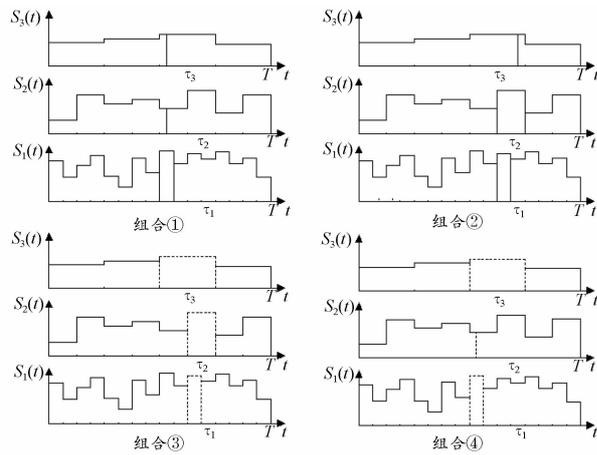


图 1 JCSS 组合方法示意图

(三) 强化运用计算机软件,培养学生的创新能力

就土木工程专业而言,目前很多分析软件如 Matlab、Ansys 等都是通过计算机编程从而实现准确分析和处理问题。因此,改革教学方法,引入计算机程序进行设计,不仅可以简化计算,培养学生的创新能力,也是土木工程人员与时俱进的表现。

例如上述以 JCSS 组合规则为背景的算例,荷载的组合是根据时段由小到大有序组合的,组合完一组便完成一个循环。同样当荷载数 > 3 时,运用排列组合原理很容易得到如表 1 所示的规律。

表 1 荷载数与 $\max_{t \in [0, T]} S_i(t)$ 对应组合数关系表

荷载数	总组合数	$\max_{t \in [0, T]} S_1(t)$	$\max_{t \in [0, T]} S_2(t)$	$\max_{t \in [0, T]} S_3(t)$	$\max_{t \in [0, T]} S_4(t)$...	$\max_{t \in [0, T]} S_n(t)$
1	1	1					
2	2	1	1				
3	4	1	1	2			
4	8	1	1	2	4		
...
n	2^{n-1}	1	1	2	4	...	2^{n-2}

从表 1 不难看出:某一荷载对应的组合数恰好等于其前面所有组合数之和,这一规律符合计算机的二进制规则——即从 $S_2(t)$ 以后各荷载对应的组合数成等比关系。这种组合规律符合计算机的求解思路,因此容易通过计算机语言编程实现对荷载有序组合,且当荷载数较多时更能体现计算机程序计算的优越性。

三、结语

文章以 JCSS 组合规则为例,针对课程特点和教学中存在的典型问题,提出了具体的教学改革方法。在今后的教学过程中,教师应当不拘泥于现有教材的内容,进一步研究和深化相关理论与方法,以期让学生更好地运用基本理论,形成科学严谨的思维,提升动手创新能力;同时也应进一步注意到该课程所具有的数学与力学相结合的特征,综合利用计算机

程序设计的优势,形成全方位、多层次、宽领域的教学优化格局。

参考文献:

- [1] 张小刚,林小嵩. 适应大土木要求的荷载与结构设计方法知识点讲解研[J]. 高等建筑教育,2006,15(4):74-79.
- [2] 姚明初. 结构作用按“JCSS”和“TR”组合规则组合时组合分项系数选定的分位值法[C]. 全国第三届学术会议,1992.
- [3] 周道成,段忠东,欧进萍. 建筑结构相关荷载组合的平稳二项随机过程方法[J]. 工程力学,2007,24(4):97-103.
- [4] 李继华. 建筑结构概率极限设计[M]. 1版. 北京:中国建筑工业出版社,1990:256-258.
- [5] 柳炳康. “荷载与结构设计方法”[M]. 2版. 湖北:武汉理工大学出版社,2012:148-150.

Problem analysis and solutions of loads and structural design methods: taking JCSS combination rule as an example

JIA Chuanguo, LI Yingmin, XIA Hongliu, YANG Pu, LIU Liping

(School of Civil Engineering; Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Loads and structural design methods is a basic course in civil engineering. It mainly introduces various loads of structures, design concepts, structure reliability theories and reliability-based design methods. Based on the JCSS combination rule, this paper lists some problems occurred in the teaching process, subsequently elaborates the necessity of teaching reform and finally present some effective measures.

Keywords: loads and structural design methods; reliability theory; JCSS combination rule; teaching reform

(编辑 梁远华)