

# 混凝土结构设计课程教学探讨

李凤臣<sup>1,2</sup>, 张丽娜<sup>1,2</sup>, 徐 驰<sup>2</sup>, 易萍华<sup>1</sup>

(1. 东华理工大学 建筑工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 抚州市建筑勘察设计院 江西 抚州 344000)

**摘要:**针对 GB50010—2010《混凝土结构设计规范》修订的主要技术要点进行探讨, 通过与 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》对比分析, 详细阐述其修订或删减的主要依据, 并对新版规范的修订内容作了较为全面的总结, 提出混凝土结构设计课程在教学方法上的新要求。

**关键词:**混凝土结构; 教学方法; 设计规范; 修订内容; 技术要点

**中图分类号:** G642.0

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-2909(2013)02-0053-05

中国建筑科学领域的工程结构设计规范(或标准)大约每10年修订一次, 2002版《混凝土结构设计规范》<sup>[1]</sup>自颁布实施至今已有10余年, 尤其是2008年“5.12”汶川地震和2010年“4.14”青海玉树地震发生之后, 2002版规范中关于工程结构设计理论、工程结构构造措施以及工程结构抗震理论存在的不足更加突显。同时, 中国工程结构设计理论研究水平的不断提高, 新材料的不断出现以及工程经验的不断积累, 也缩短了工程结构设计规范的修订周期。2011年7月, 正式颁布实施 GB50010—2010《混凝土结构设计规范》<sup>[2]</sup>。新规范根据多年工程经验和研究成果, 同时考虑与国际其他发达国家混凝土结构设计标准接轨, 贯彻国家“四节一环保(节能、节地、节水、节材和环境保护)”政策编制而成。新规范的编制标志着中国混凝土结构的计算理论和设计水平有了新的提高; 同时也对高等学校土建类专业学生如何结合新版规范进行快速知识更新, 高校教师如何及时改进混凝土结构设计及相关课程教学方法提出了新要求<sup>[3-6]</sup>。

## 一、新版规范关于结构材料强度的修订

### (一) 混凝土强度的修订

新版混凝土结构设计规范删除了2002版规范4.1.4条中注1和注2的相关规定, 即关于受压构件尺寸效应(现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件, 如截面的长边或直径小于300mm, 则混凝土的强度设计值应乘以系数0.8)和离心混凝土的有关规定。2002版规范源于前苏联规范, 最近俄罗斯规范关于此条的规定已被取消, 而离心混凝土的强度设计值应按专门的标准取用, 不再列

收稿日期: 2012-11-13

**基金项目:**江西省高等学校教学改革资助项目“与注册工程师制度相接轨的土木工程专业动态教学改革研究”(JXJG-11-8-11); 东华理工大学校级教改项目“基于创新能力培养的实验教学模式研究”; 东华理工大学校级教改项目“钢结构试验室建设与钢结构设计原理实践教学改革的探究”; 东华理工大学实验技术开发资助项目。

**作者简介:**李凤臣(1980-), 男, 东华理工大学建筑工程学院讲师, 博士, 国家一级注册结构工程师, 主要从事大型土木工程结构动力检测与损伤诊断技术研究, (E-mail) feli\_1980@163.com。

人,故新版混凝土规范将此项内容删除。另外,新版混凝土规范删除了2002版规范4.1.6条中关于混凝土轴心抗压、轴心抗拉疲劳强度设计值,以及当蒸养温度超过60℃时,计算混凝土强度设计值应提高20%的规定,因为高温蒸养引起的主要问题是裂缝,而非提高设计强度所能解决。

### (二) 钢筋强度的修订

新版混凝土结构设计规范4.2.2条增加了强度标准值为500 MPa的HRB500、HRBF500级高强钢筋,并规定其抗拉强度设计值( $f_y = 435$  MPa)与抗压强度设计值( $f'_y = 410$  MPa)分别取不同数值。加入靠控温轧制而具有一定延性、可焊性、机械连接性能及施工适应性的HRBF系列细晶粒热轧带肋钢筋,限制并准备淘汰强度标准值为335 MPa级热轧带肋钢筋的应用,立即淘汰强度标准值为235 MPa的HPB235级光圆钢筋的应用,以HPB300级光圆钢筋取代之。同时,规定了过渡方法,要求在规范的过渡期及对既有结构进行设计时,235 MPa级光圆钢筋的设计值仍按原规范取值;同时,推广强度标准值400 MPa、500 MPa级高强钢筋作为受力的主导钢筋。对预应力钢筋,为了补充中强空挡,增加了强度等级为1960 MPa和大直径21.6 mm的钢绞线,补充了预应力螺纹钢筋及中强钢丝的有关设计参数,并淘汰了锚固性能差的刻痕钢丝,删除了不常用的预应力筋的强度等级和直径。

## 二、新版规范关于基本设计规定的修订

为了进一步完善2002版规范,保证结构的安全,增强结构的整体稳固性,提高混凝土结构抗偶然作用的能力,新版混凝土结构规范设计原则从以构件设计为主扩展到整个结构体系,补充了3.2条“结构方案”和3.6条“结构抗连续倒塌设计原则”,增加了3.7条“既有结构改造设计原则”的规定,指出结构方案设计对建筑物安全性有着决定性影响,鉴于结构防连续倒塌设计的难度和代价较大,一般结构只须进行防连续倒塌的概念设计,以定性设计的方法增强结构的整体稳固性;同时新版规范3.4.4条对构件挠度、裂缝宽度计算采用的荷载组合进行了调整,新增钢筋混凝土构件采用荷载准永久组合并考虑长期作用的影响,完善了承载能力极限状态设计内容,增加以构件分项系数进行应力设计等方面的内容。另外,新版混凝土规范3.4.1条第4款及3.4.6条还增加了楼盖舒适度的要求,并规定楼盖竖

向自振频率的限值。

## 三、新版规范关于承载能力极限状态计算的调整修订

### (一) 正截面承载力计算的修订

新版混凝土结构设计规范对受弯构件正截面承载力的计算未作改动,但对受压构件正截面承载力的计算改动较大,主要是针对钢筋混凝土结构中的二阶效应问题。2002版混凝土规范在考虑P- $\delta$ 效应时<sup>[7-8]</sup>,对引起结构侧移的荷载或作用所产生的一阶弯矩 $M_s$ 和不引起结构侧移的荷载产生的一阶弯矩 $M_{ns}$ 不加区别,全部乘以增大系数 $\eta_s$ ,即考虑P- $\delta$ 效应时结构的弯矩为 $M = (M_{ns} + M_s)\eta_s$ 。新版混凝土结构设计规范在考虑P- $\delta$ 效应时,对除排架结构以外的框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构及筒体结构只增大引起结构侧移的荷载或作用所产生的一阶弯矩 $M_s$ ,不增加不引起结构侧移的荷载产生的一阶弯矩 $M_{ns}$ ,即结构中的弯矩为 $M = M_{ns} + \eta_s M_s$ 。另外,对于P- $\delta$ 效应,2002版规范通过初始偏心距增大系数 $\eta$ 来考虑P- $\delta$ 效应,而新版混凝土规范6.2.3条规定偏心压力构件通过调整构件控制截面的弯矩设计值 $M$ 来考虑P- $\delta$ 效应(弯矩作用平面内截面对称的偏心受压构件,当同一主轴方向的杆端弯矩比不大于0.9且轴压比不大于0.9,同时构件的长细比满足 $\frac{l_c}{i} \leq 34 - 12(\frac{M_1}{M_2})$ 的偏心受压构件时不用考虑P- $\delta$ 效应),取消了轴向力偏心距增大系数 $\eta$ 对二阶效应的影响。关于轴向压力在挠曲杆件中产生的P- $\delta$ 效应新旧规范具体的变化如表1(以非预应力钢筋混凝土偏心受压构件为例)。

### (二) 斜截面承载力计算的修订

2002版混凝土结构规范关于受弯构件斜截面承载力计算公式,经过验证发现:当集中荷载对支座截面或节点边缘产生的剪力值占总剪力的75%时,分别按均布荷载和集中荷载两种情况计算的箍筋差异很大,即造成配箍不连续。因此,为了克服上述不足,新版混凝土结构设计规范6.3.4条统一了一般受弯构件与集中荷载作用下梁的斜截面受剪承载力计算公式,并调整了斜截面受剪承载力计算公式中箍筋抗力项的系数,适当增加斜截面受剪承载力的安全储备,新旧规范关于受弯构件斜截面受剪承载力的计算公式如表2(以非预应力钢筋混凝土受弯构件为例)。同理,将考虑地震作用的框架梁其斜截

面受剪承载力计算公式也作了相应修改。

表1 新旧规范关于偏心受压构件正截面承载力计算对比

规范版本	2002 版规范	2010 版规范	
		不考虑 P-δ 二阶效应	考虑 P-δ 二阶效应
承载力计算 基本公式	$N \leq \alpha_1 f_c b x + f'_y A'_s - \sigma_s A_s; Ne \leq \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s)$	$e = e_i + \frac{h}{2} - a_s$	$e = e_i + \frac{h}{2} - a_s$
备注	通过轴向力偏心距增大系数 $\eta$ 来考虑二阶效应对偏心受压构件的影响	6.2.3 条规定:同一主轴方向的杆端 $M_1/M_2 \leq 0.9$ 且轴压比 $\leq 0.9$ , 同时构件的长细比的偏心受压构件不考虑 P-δ 效应,其他情况均考虑	6.2.4 条规定:通过调整构件控制截面的弯矩设计值 $M$ 来考虑 P-δ 效应,其中 $M = C_m \eta_{ns} M_2$

表2 新旧规范关于受弯构件斜截面受剪承载力计算对比

规范版本	承载力计算基本公式	
	一般受弯构件	集中荷载作用下的独立梁 (包括 $V_{集中} \geq 75\% V_{总}$ )
2002 版规范	$V \leq V_{cs} = 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$	$V \leq V_{cs} = \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$
2010 版规范	$V \leq V_{cs} = \alpha_{cr} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ $\alpha_{cr} = 0.7$	$\alpha_{cr} = \frac{1.75}{\lambda + 1}$

#### 四、新版规范关于正常使用极限状态验算的调整修订

##### (一) 裂缝控制验算的修订

新版混凝土结构设计规范 3.4.4 条保留了 2002 版混凝土规范有关裂缝控制等级划分的规定,但对受力裂缝的控制进行了适当放松(详见新版混凝土规范第 3.4.4 及 7.1.1 条规定)。另外,在进行最大裂缝宽度  $w_{max}$  计算时,新版混凝土规范 7.1.2 条调整了计算中钢筋应力  $\sigma_s$  的计算方法,以及表 7.1.2-1 中关于钢筋混凝土受弯、偏心受压构件受力特征系数  $\alpha_{cr}$  的取值,将  $w_{max}$  的公式计算值适当减小。

##### (二) 挠度验算的修订

在进行受弯构件挠度验算时,新版混凝土结构设计规范 7.2.2 条在受弯构件短期刚度  $B_s$  的基础上,补充提出了考虑荷载准永久组合和荷载标准组合的长期作用对挠度增大的影响,给出了刚度计算公式  $B = B_s / \theta$ 。另外,根据国内研究成果,在预应力混凝土构件短期刚度  $B_s$  计算公式的基础上,采用无粘结预应力筋等效面积折减系数  $\alpha_1$ ,适当调整值  $\rho$ ,

就可将原公式用于无粘结部分预应力混凝土构件的短期刚度计算(详见新版混凝土规范第 7.2.3 条规定<sup>[1]</sup>)。

#### 五、新版规范关于构造规定的调整修订

##### (一) 混凝土保护层厚度规定的修订

新版混凝土结构设计规范 8.2.1 条调整了钢筋保护层厚度的规定,从混凝土碳化、脱钝和钢筋锈蚀的耐久性角度考虑,不再以纵向受力钢筋的外缘计算,而以最外层钢筋(包括箍筋、构造筋、分布筋等)的外缘计算混凝土保护层厚度。修订后的保护层厚度实际上比原规范的规定有所增加,一般情况下略有增加,而恶劣环境下增加的幅度较大,新旧规范关于混凝土保护层最小厚度  $c$  的对比如表 3。

从表 3 可以看出,新版规范中关于混凝土保护层的厚度无论从数值上还是具体计算规定上都明显增大,充分考虑了混凝土结构的耐久性要求,新增设计使用年限 100 年的结构,其保护层厚度取相应类别使用年限为 50 年的 1.4 倍,同时细化环境类别,将原规范中的环境三类细化为三 a、三 b 两个子类,并进一步加大恶劣环境下混凝土保护层厚度的

取值。

表3 新旧规范关于混凝土保护层最小厚度  $c$  对比

新旧规范	环境类别								
	板、墙、壳			梁			柱(杆)		
	$\leq C20$	C25 ~ C45	$\geq C50$	$\leq C20$	C25 ~ C45	$\geq C50$	$\leq C20$	C25 ~ C45	$\geq C50$
2002版(一)	20	15	15	30	25	25	30	30	30
2010版(一)		15					20		
2002版(二a)	—	20	20	—	30	30	—	30	30
2010版(二a)		20					25		
2002版(二b)	—	25	20	—	35	30	—	35	30
2010版(二b)		25					35		
2002版(三)	—	30	25	—	40	35	—	40	35
2010版(三a)		30					40		
2010版(三b)		40					50		
2010版(注)	混凝土强度等级 $\leq C25$ 时,保护层厚度数值增加5mm								

## (二)关于钢筋锚固长度规定的修订

新版混凝土结构设计规范 8.3.1 条对基本锚固长度的计算公式未作改动,但明确了钢筋的锚固长度  $l_a = \xi_a l_{ab}$ ,其中修正系数  $\xi_a$  根据锚固条件取用,同时在计算基本锚固长度  $l_{ab}$ 时,删除了原规范中锚固性能较差的刻痕钢丝。由于 2002 版规范中关于混凝土强度最高等级取 C40 偏于保守,故新版规范将混凝土最高强度等级提高到 C60,以提高锚固的性能。

## 六、新版规范在混凝土课程教学过程中的新要求

新版混凝土规范自 2011 年 7 月颁布实施以来,已经有近一年,而目前中国高校所使用的教材多数是在 2002 版规范基础之上编写而成,如何将教学内容与新规范相结合是目前混凝土任课教师亟待解决的问题,笔者认为在教学的过程中将重点从如下几个方面入手。

一是,改变以教材为主要参考资料而较少阅读和学习《规范》的传统教学方法,提高学生解决结构实际问题的综合能力。强调实践性教学环节,包括到施工现场参观的认识实习、课程设计及综合技能训练等。在混凝土结构课程开课前,让学生对梁、板、柱等常见的混凝土基本构件以及框架结构、剪力墙结构等常见的混凝土结构形式形成初步感性认识,并借以引发和提高学生学习混凝土结构课程的兴趣。

二是,改变以往授课过程中只重视单个构件的设计,轻视整体结构设计的教学思想,补充“结构方案”和“结构抗倒塌”设计方面的内容。使学生了解和掌握结构系统概念,了解课程的主要层次关系,从全局把握学习重点,理清学习思路,建立结构整体系统概念,理清各部分之间的关系,为课程学习建立总体框架。

三是,注意新旧规范关于混凝土和钢筋两种材料在强度和级别方面的修订和增补原因。目前,由于规范处于过渡阶段,故应重点向学生讲明混凝土和钢筋两种材料的级别调整和增补原因,纠正以往对钢筋等级(例如 I 级钢、II 级钢、III 级钢等)的提法,而应以规范规定的提法为准,同时提醒学生关于两种材料强度的调整规定。

四是,关于单个构件承载能力极限状态中受弯构件斜截面受剪承载力和偏心受压构件正截面承载力计算新旧规范的对比,以及新规范修改的原因,在授课时引用《规范》中的条文进行讲解。这样可以让学生在理解课堂教学知识的同时,进一步熟悉《规范》规定的原因以及依据。

五是,注意钢筋混凝土和预应力混凝土构件在正常使用极限状态下裂缝宽度和挠度验算的变动;授课过程中应注重钢筋混凝土构造和钢筋混凝土结构构件(如板、梁、柱)有关内容的变化。构造措施是人们在长期实践经验基础上总结而成的,是防止因计算考虑不周全而造成结构构件开裂、破坏,或者是

保证结构构件在使用和施工上的需要而采用的,构造措施在混凝土结构设计中非常重要,大多数抗震设计的相关问题都是通过构造措施得以保证,因此一定要引起足够重视。

### 七、结语

混凝土结构是中国工业与民用建筑采用最多的一种结构形式。混凝土结构设计是目前高校土木工程专业非常重要的一门专业课程。新版混凝土规范在高性能材料的应用、结构分析内容的扩展以及实现与国际接轨等方面都有了很大进步,同时新规范更加侧重房屋、铁路、公路、港口和水利水电工程混凝土结构共性技术问题设计方法的统一,这与“大土木”专业设置要求和土木工程专业“宽基础、多出口”的培养目标更加吻合。笔者仅介绍了规范与本科教学有关的主要修订内容,并以此提出教学新要求,以期抛砖引玉,共同推进混凝土结构设计课程教学的改革。

### 参考文献:

[1] GB50010—2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑

工业出版社,2002.

[2] GB50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.

[3] 余颖,肖静,刘树博. 数字信号处理课程教学改革的探索和实践[J]. 东华理工大学学报:社会科学版,2001,30(3):294-296.

[4] 杨福来,郑颖佳,许邦莲,等. 信息素养教育与信息检索课教学改革[J]. 东华理工大学学报:社会科学版,2011,30(2):177-179.

[5] 涂海丽,黄国华. 电子商务实践教学存在的问题及对策[J]. 东华理工大学学报:社会科学版,2011,30(4):391-394.

[6] 花榕,罗明标,刘云海,等. 浅谈分析仪器设与改造课程的建设[J]. 东华理工大学学报:社会科学版,2011,30(3):291-293.

[7] 徐有邻,周氏. 混凝土结构设计规范理解与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

[8] 住房和城乡建设部执业资格注册中心组,施岚青编. 注册结构工程师专业考试专题精讲——混凝土结构[M]. 北京:机械工业出版社,2012.

## Teaching of concrete structure design course

LI Fengchen<sup>1,2</sup>, ZHANG Lina<sup>1,2</sup>, XU Chi<sup>2</sup>, YI Pinghua<sup>1</sup>

( 1. College of Civil Engineering and Architecture, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, P. R. China;  
2. Fuzhou Institute of Exploring and Architectural Design, Fuzhou 344000, P. R. China )

**Abstract:** According to the new code for design concrete structures (GB50010-2010), compared with the old code for design concrete structures (GB50010-2002), the paper elaborated the main basis for revision, summarized the revision contents of new code comprehensively, and put forward the new requirements of concrete structure design course on the teaching method. Meanwhile the paper offered reference to engineers and technicians in order to help them understand and master the new code.

**Keywords:** concrete structures; teaching method; design code; revision content; technical point

(编辑 梁远华)