

对比式教学法在土木大类专业基础课程中的应用

孙国富, 李永梅

(北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022)

摘要:为实现土木工程专业宽基础、多出口的培养目标,提出将对对比式教学法运用到混凝土结构设计原理的课堂教学中,比较了公路桥涵与建筑结构在作用效应组合、材料性能、构件承载力计算和构造等方面在混凝土结构设计上的异同,突出了教学重点,加强了相关学科或知识点之间的联系。

关键词:土木工程;公路桥涵;建筑结构;混凝土结构;设计规范

中图分类号: TU37-4

文献标志码: A

文章编号: 1005-2909(2008)02-0065-05

一、混凝土结构设计原理课程难点

混凝土结构设计原理课程是中国高校土木工程专业的一门专业基础课,是后续课程能正常进行的保证。该课程涉及到不同的专业方向如建筑工程、交通土建、地下工程等。各专业方向均有自己的规范和教材,都是按照各自行业规范介绍设计要求和方法。而实际情况是,“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,需要该课程涵盖以上所有专业方向的相关内容。目前,各专业方向的相应规范还未统一,且从现存情况看,也很难统一,从而使该课程的教学难度随之提高,教学时必须兼顾到多部规范、行业标准的要求。而要在授课学时非常有限的情况下,要求学生全面掌握各类规范确有困难。为此,笔者提出将对对比式教学法运用到课堂教学中,针对土木工程专业的混凝土结构设计规范和公路桥涵设计规范,比较了两部规范在作用效应组合、材料性能、钢筋混凝土构件设计计算、构造等方面的异同,突出教学重点,加强相关学科或知识点之间的联系,收到了良好的教学效果。

二、结构设计方法的异同

《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002,以下简称 GB50010)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004,以下简称 JTG D62)均采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068-2001)和 GB50010 规范都明确规定,结构设计使用年限一般为 50 年。《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T50283-1999)和 JTG D62 规范也都规定,公路桥涵设计基准期为 100 年。对比建筑、公路桥梁同一安全等级的延性或脆性破坏时,公路桥梁结构的取值均比建筑结构的相应取值增大 1,见表 1。

收稿日期:2008-01-25

基金项目:北京工业大学教育教学研究项目(ER2005-A-16)

作者简介:孙国富(1969-),男,北京工业大学副教授,主要从事土木工程研究。(E-mail)liym@bjut.edu.cn

欢迎订阅重庆大学学报 <http://qks.cqu.edu.cn>

表 1 GB50010 与 JTG D62 规范承载能力
极限状态的目标可靠指标值 $[\beta]$

破坏类型	安全等级					
	GB50010			JTG D62		
	一级	二级	三级	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7	4.7	4.2	3.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2	5.2	4.7	4.2

建筑结构与公路桥涵的荷载分类与取值都有各自明确的规定,分别见《建筑结构荷载规范》(GB50009-2001)和《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)。

表 2 GB50010 与 JTG D62 规范正常使用极限状态实用表达式

GB50010	JTG D62
标准组合 $S = S_{GK} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Q1k}$	短期效应组合 $S_{sd} = S_{GK} + \sum_{j=1}^n \psi_{fj} S_{Q1k}$
准永久组合 $S = S_{GK} + \psi_{f1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} \cdot S_{Q1k}$	长期效应组合 $S_{ld} = S_{GK} + \sum_{j=1}^n \psi_{qj} \cdot S_{Q1k}$
频遇组合 $S = S_{GK} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Q1k}$	

三、材料性能指标的异同

掌握钢筋和混凝土材料的力学性能和材料性能指标是学习混凝土结构设计原理的基础。

两规范中,混凝土受压或受拉时的弹性模量 E_c 、混凝土的剪变模量 G_c 、泊松比 ν 的公式和取值均相同;钢筋的弹性模量也一样,细微不同之处就是 GB50010 没有像 JTG D62 将热轧普通钢筋和预应力钢筋的表示分别用 E_s 、 E_p 区别开,均用 E_s 表示。

(一)混凝土的强度

表 3 GB50010 与 JTG D62 规范混凝土设计强度及比较

强度种类	强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c (N/mm ²)	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
GB50010 f_i (N/mm ²)	0.91	1.1	1.27	1.43	1.57	1.71	1.8	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22
f_c/f_i (倍)	7.91	8.73	9.37	10.00	10.64	11.17	11.72	12.22	12.92	13.48	14.21	14.86	15.51	16.17
f_{cd} (Mpa)	6.9	9.2	11.5	13.8	16.1	18.4	20.5	22.4	24.4	26.5	28.5	30.5	32.4	34.6
JTG D62 f_{cd}/f_{td} (Mpa)	0.88	1.06	1.23	1.39	1.52	1.65	1.74	1.83	1.89	1.96	2.02	2.07	2.1	2.14
f_{cd}/f_{td} (倍)	7.84	8.70	9.35	9.93	10.59	11.15	11.78	12.24	12.91	13.52	14.11	14.73	15.43	16.17
$(f_c - f_{cd})/f_{cd} \times 100\%$	4.35	4.35	3.48	3.62	3.73	3.80	2.93	3.13	3.69	3.77	4.21	4.26	4.33	3.76
$(f_i - f_{cd})/f_{td} \times 100\%$	3.4	3.77	3.25	2.88	3.29	3.64	3.45	3.28	3.70	4.08	3.47	3.38	3.81	3.74

由表 3 中 f_c 和 f_{cd} 、 f_i 和 f_{td} 取值和比较可见, GB50010 比 JTG D62 混凝土抗压和抗拉设计强度取

其承载能力极限状态实用表达式基本上相同,正常使用极限状态实用表达式不同,见表 2。

由表 2 可见,GB50010 中,荷载效应组合时,可变荷载有荷载组合系数;JTG D62 中,可变荷载无荷载组合系数。频遇组合目前在房屋结构的设计实践中还没有得到采用,只在桥梁结构中得到采用。在验算一般情况下构件的挠度、抗裂和裂缝宽度等正常使用极限状态问题时,GB50010 采用作用效应的标准组合,而 JTG D62 在调查了桥梁主要可变荷载频遇值的基础上采用作用效应的频遇组合。

两规范对混凝土强度等级的评定,都采用国标 GB/J81-85,即均用 150 mm 混凝土立方体标准试块在标准条件下养护后用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的立方体抗压极限值来确定混凝土的强度等级,一共分为 12 级,并冠以“C”表示。两规范中相同数值等级的混凝土,抗压、抗拉强度标准值取值与符号表示相同(都用 f_{ck} 、 f_{tk}),但强度设计值取值与符号表示则不同,如表 3 所示。

值略高些,约高出 2.88% ~ 4.45%。原因是:a. GB50010 与 JTG D62 规范关于承载能力极限状态混

凝土分项系数取值不一样,分别为 1.40 和 1.45; b. GB50010 与 JTG D62 规范材料统计的变异系数不同,如 C30 混凝土,分别为 0.14 和 0.145。

由表 3 f_c/f_t 、 f_{cd}/f_{td} 可见,两规范同一等级的混凝土抗压和抗拉设计强度的比值非常接近。

(二) 钢筋的强度

两规范中,钢筋表示符号相同的钢筋,其相应的标准强度取值是一样的,都采用钢材的废品限制值作为取值依据,都具有不小于 95% 的保证率。但钢筋的设计强度取值不一样,如表 4 所示。七股钢绞线抗拉强度标准值 1860 N/mm^2 ,抗拉设计强度 JTG D62 规范 f_{sd} 为 1260 N/mm^2 ; GB50010 规范 f_{py} 为 1320 N/mm^2 。

由表 4 可见,相同的钢筋等级,JTG D62 中钢筋的设计强度取值小。究其主要原因,两规范关于承载能力极限状态各分项系数的取值不一样,钢丝和钢绞线抗拉强度的分项系数,JTG D62 规范为 1.48, GB50010 规范为 1.2。

四、构件承载力计算和构造的异同

JTG D62 规范在每一个构件计算中均列入重要

性系数。GB50010 规范对重要性系数一般在荷载计算时列入,在构件计算中一般不列入。

(一) 正截面承载力计算

两规范在受弯、受压、受拉构件正截面承载力计算上,构件受力特征、破坏机理、依据的原理、计算假定、计算简图、计算公式、适用条件、配筋方式基本一致。但也有所不同。见表 5。

表 4 GB50010 与 JTG D62 规范普通钢筋设计强度及比较

强度种类	钢筋表示符号			
	Φ	Φ	Φ	R
钢筋种类	HPB235	HRB335	HRB400	RRB400
GB50010 f_y, f_y' ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	210	300	360	360
分项系数	1.15	1.10	1.10	1.10
钢筋种类	R235	HRB335	HRB400	KL400
JTG D62 f_{sd}, f_{sd}' (Mpa)	195	280	330	330
分项系数	1.41			

表 5 GB50010 与 JTG D62 规范正截面承载力计算比较

正截面承载力计算	规范	
	GB50010	JTG D62
1) 等效矩形压应力图的应力值	取 $\alpha_1 f_c \leq C50, \alpha_1 = 1.0$; $= C80, \alpha_1 = 0.94$ 。	直接取 f_{cd}
2) 相对界限受压区高度的取值 ξ_b	$\leq C50$, HPB235、HRB335、HRB400 与 RRB400 分别为 0.614、0.550、0.528	R235、HRB335、HRB400 与 KL400 分别为 0.62、0.56、0.53。
3) 正截面承载力计算的基本假设中,对钢筋的最大应变值	纵向受拉钢筋的极限拉应变取为 0.01	没有限制
4) 偏心受压公式中的附加偏心距影响	考虑	不考虑

(二) 斜截面受剪承载力计算

受弯构件斜截面受剪承载力的计算是两规范最明显区别之一,尽管两规范在受剪承载力计算上,依据的原理、计算假定、计算简图基本一致,且公式的适用条件均采用上限值(截面限制条件)和下限值(构造要求)来保证,但公式的表达式不同,如表 6 所示。

(三) 受扭构件、受冲切构件和局部承压构件承载力计算

两规范的规定、公式、构造要求基本一致,主要不同之处如下。

(1) 两规范纯扭构件的最小配筋率、配箍率不同。

(2) 对配置间接钢筋的混凝土结构构件局部受压区截面尺寸限制条件,右边抗力项系数 GB50010 规范是 1.35, JTG D62 规范是 1.3。混凝土强度修正系数,对 C80, GB50010 规范是 0.8, JTG D62 规范是 0.76。

(四) 裂缝宽度与挠度的验算

两规范裂缝宽度与挠度的验算公式不同,要求不同。

对钢筋混凝土构件最大裂缝宽度, GB50010 规范,一类 0.3 mm; 二、三类 0.2 mm; 对预应力混凝土构件,一类 0.2 mm。JTG D62 对钢筋混凝土构件,一、二类 0.2 mm, 三、四类 0.15 mm。

对挠度要求, JTG D62 较 GB50010 规范严, 常用
 预拱法抵消挠度。

(六) 构造规定

两规范在构造上有差别, 限于篇幅, 仅举结构受
 力主筋的最小配筋率、环境类别的区分、混凝土保护
 层最小厚度等如表 7 所示。

(五) 预应力混凝土构件计算

该部分内容较多, 限于篇幅, 另文介绍。

表 6 GB50010 与 JTG D62 规范斜截面承载力计算比较

斜截面承载力计算	规范																			
	GB50010	JTG D62																		
	按均布荷载作用和集中荷载作用区分。 均布荷载作用																			
1) 计算公式的表达形式	$V_{it} = 0.7f_tbh_0 + 1.25f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 集中荷载作用 $V_{it} = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_tbh_0 + 1.0f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 集中力作用下的独立梁的公式考虑了剪跨比的影响。	考虑到桥梁实际的受荷及构件情况, 该公式未引入剪跨比的影响。 $\gamma_0 V_d \leq V_{cs} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 0.45 \times 10^{-3} bh_0 \sqrt{(2 + 0.6P)} \sqrt{f_{cu} \rho_{sw} f_{sv}}$																		
2) 公式中各物理量的单位	如剪力, 用 N	如剪力, 用 KN																		
3) 混凝土与箍筋的抗剪能力 V_{cs}	用两项相加的方法	采用破坏斜截面内箍筋与混凝土的共同承载力。																		
4) 混凝土主要参数	抗拉强度 f_t	混凝土立方体抗压强度标准值 $\sqrt{f_{cu}}$,																		
5) 弯起钢筋抗剪能力 V_{sb}	均采用叠加的办法, 引入的弯起钢筋应力不均匀系数是 0.8	$A_{sb} = \frac{V_{sb}}{0.75 \times 10^{-3} f_{sd} \sin \alpha}$ 为 0.75, 略比 GB50010 规范保守。																		
6) 截面限制条件	$0.7f_tbh_0 \leq V \leq 0.25f_c \beta_c bh_0$ (或 $0.2 \beta_c f_c bh_0$)	$0.5 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} bh_0 \leq \gamma_0 V_d \leq 0.51 \times 10^{-3} \sqrt{f_{ch,k}} bh_0$																		
7) 对箍筋直径及最大间距的规定	与梁高、剪力设计值大小有关。	比 GB50010 规范简单, 与梁高、剪力设计值大小无关。																		
8) 梁最小面积配箍率	当 $V > 0.7f_tbh_0$ 时, $\geq 0.24 f_t/f_{yv}$, 与混凝土强度等级有关, 列表如下。 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>C20</th> <th>C25</th> <th>C30</th> <th>C35</th> <th>C40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HPB235</td> <td>0.126</td> <td>0.145</td> <td>0.163</td> <td>0.179</td> <td>0.195</td> </tr> <tr> <td>HRB335</td> <td>0.088</td> <td>0.102</td> <td>0.114</td> <td>0.126</td> <td>0.137</td> </tr> </tbody> </table>		C20	C25	C30	C35	C40	HPB235	0.126	0.145	0.163	0.179	0.195	HRB335	0.088	0.102	0.114	0.126	0.137	配箍率 $\geq 0.18\%$ (R235)、 0.12% (HRB335), 与混凝土强度等级无关。该值相当于 GB50010 规范混凝土强度等级为 C35 水平时所要求的最小配箍率 0.179% (HPB235)、 0.126% (HRB335)。
	C20	C25	C30	C35	C40															
HPB235	0.126	0.145	0.163	0.179	0.195															
HRB335	0.088	0.102	0.114	0.126	0.137															

表 7 GB50010 与 JTG D62 规范构造规定比较

构造规定	规范	
	GB50010	JTG D62
1) 轴心受压构件、偏心受压构件全部纵向钢筋的配筋率	$\geq 0.6\%$ (HRB400 或 RRB400, 应 $\geq 0.5\%$; 当 $\geq C60$, 应 $\geq 0.7\%$) 但不宜 $> 5\%$ 。	$\geq 0.5\%$ (当 $\geq C50$, 应 $\geq 0.6\%$)
2) 钢筋混凝土轴心受拉、小偏拉构件的钢筋抗拉强度设计值	当 $f_y \geq 300 \text{ N/mm}^2$ 时, $f_y = 300 \text{ N/mm}^2$ 。	当 $f_{sd} \geq 330 \text{ N/mm}^2$ 时, $f_{sd} = 330 \text{ N/mm}^2$ 。
3) 混凝土结构的使用环境类别	划分为 I ~ V 类环境类别。	确立了 I ~ IV 类环境类别。
4) 混凝土保护层厚度	与环境类别和混凝土强度等级有关。如: 二类 a 环境, C20 ~ C45 梁、板受力钢筋分别为: 30 mm 和 20 mm。	仅与环境类别有关。如: II 类环境, 梁、板主筋: 40 mm; 箍筋: 25 mm。
5) 结构用最低混凝土强度等级	钢筋混凝土结构 不应低于 C15 (当采用 HRB335 级钢筋时, 不宜低于 C20; 当采用 HRB400 和 RRB400 级钢筋时, 不得低于 C20)。	不应低于 C20 (当采用 HRB400、KL400 级钢筋时, 不应低于 C25)
	预应力混凝土结构 不应低于 C30 (当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋时, 不宜低于 C40)。	不应低于 C40

五、结论

综上所述, JTG D62 规范比 GB50010 规范在材料性能指标的确定、承载力的计算以及构造规定等方面,安全储备大、可靠度高。这主要与公路桥涵结构与建筑结构所处的使用环境、所受荷载作用等不同有关。故在设计和施工时应注意,不能随意互换。在教学中,对一些常在工程中遇到的条款和规定,教师应重点对比介绍,指出各类规范相应条款的相同和不同点,讲清各自的出发点和考虑因素以及确定方法,以适应建筑、公路桥梁等不同行业对专业技术人才的要求。

另外,由于土木工程各专业方向混凝土结构设计所用规范不同,至今还没有一套统一的教材。组织和编写适用于“大土木”且兼顾到多部规范、标准的混凝土结构设计原理教材是一项迫在眉睫的非常有意义的教学改革工作,它可使该课程不断正规化、规范化。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家标准. 混凝土结构设计规范(GB50010-2002) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG D62-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [3] 中华人民共和国国家标准. 建筑结构可靠度设计统一标准(GB50068-2001) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 公路工程结构可靠度设计统一标准(GB/T50283-1999) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [5] 中华人民共和国国家标准. 建筑结构荷载规范(GB50009-2001) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 中华人民共和国行业标准. 公路桥涵设计通用规范(JTG D60-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

The Contrastive Teaching Method Used in the Specialized Foundation Course in General Civil Engineer Majors

SUN Guo-fu, LI Yong-mei

(College of Civil Engineering and Architecture, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: In order to achieve the aim widens fundament and broadens caliber for civil engineer majors, the comparative method is presented used in the course of concrete structure design theory. Building structures contrast with bridges and culverts on combination of action, material properties, bearing capacity, construction and so on of concrete structure design. Therefore, teaching emphases are stressed, and connections are strengthen between related subjects and knowledge.

Key words: civil engineering; bridges and culverts; building structure; concrete structure; code for design

(编辑 胡 玲)