



欧标 EN1992-1-1:2004 与 中国规范 JTS 151—2011 的异同

郭文鑫, 罗刚

(中交第四航务工程局有限公司总承包分公司, 广东 广州 511400)

摘要: 众多的海外设计项目要求设计者了解和掌握欧美的设计标准, 通过项目设计实践, 总结了欧洲设计标准体系之一的混凝土结构设计规范: EN1992-1-1:2004 与我国标准 JTS 151—2011 在设计原则与方法、材料特性、荷载系数、荷载组合、承载力计算等方面的异同点, 供同行参考。

关键词: 欧标; 规范; 混凝土; 设计; 异同点

中图分类号: TU 377

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0035-05

Similarities and differences between Euro code EN1992-1-1 and Chinese code JTS 151—2011

GUO Wen-xin, LUO Gang

(The General Contracting Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 511400, China)

Abstract: Along with the implementation of one belt and one road, more and more Chinese enterprises are engaged in overseas engineering design, thus it requires to know the Euro code. This article sums up main points about the similarities and differences between the Euro code EN1992-1-1:2004 and China code JTS151—2011 both in principles and methods, values of material properties, load factors, load combinations, durability design and bearing capacity calculation.

Keywords: Euro standard; code; concrete; design; similarities and differences

随着我国“一带一路”的发展战略的提出, 越来越多的工程企业从事海外工程项目的建设, 因此, 了解欧美的设计标准是非常必要的。在尼日利亚某码头项目、加纳某水工项目的设计中均采用了欧洲设计标准。笔者总结了欧洲设计标准体系之一的混凝土结构设计规范: EN1992-1-1:2004 (混凝土结构设计—第 1-1 部分: 一般规程与建筑设计规程) 与我国标准 JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》在设计原则与方法、材料特性、荷载系数、荷载组合、承载力计算等方面的异同点。

1 设计原则与方法

在设计原则方面, 中欧上述两本规范均采用了以概率论为基础的极限状态设计法, 规定了两种极限状态和 3 种设计状况, 两种极限状态分别是承载能力极限状态和正常使用极限状态, 3 种设计状况分别是持久状况、短暂状况和偶然状况。

在设计方法上, 欧标 EN1992-1-1:2004 从 3 个方面校核极限承载力^[1], 包括:

1) EQU。结构或者结构的任何一部分作为刚体失去静力平衡, 校核公式为:

$$E_{d,dst} < E_{d,stb} \quad (1)$$

收稿日期: 2015-09-21

作者简介: 郭文鑫 (1984—), 男, 工程师, 从事工程设计及技术管理。

式中： $E_{d,dst}$ 为不稳定作用效应的设计值； $E_{d,stab}$ 为稳定作用效应的设计值。

2) STR。结构或者构件的内部失效或者过度变形，校核公式为：

$$E_d < R_d \tag{2}$$

式中： E_d 为作用效应的设计值； R_d 为抗力设计值。

3) GEO。地基失效或者过度变形，校核公式及其意义同 STR。

中国规范 JTS 151—2011 的极限承载力校核公式为：

$$\gamma_0 S \leq R \tag{3}$$

式中： γ_0 为结构重要性系数； S 为作用效应设计值； R 为承载力设计值^[2]。

可以看出，在设计表达式上，中欧两家规范都是采用“作用效应 < 抗力”的原理。但是中国规范 JTS 151—2011 校核公式对结构重要性系数作出了规定，而欧标 EN1992-1-1:2004 并没有对此变量作出规定，但是 EN1992-1-1:2004 在耐久性设计中不同的结构使用年限作出了相应的规定。

2 材料特性

2.1 混凝土抗压强度

欧标 EN1992-1-1 规定混凝土的抗压强度标准值可以采用立方体试件或者圆柱体试件试验得到，其对混凝土强度等级用圆柱体抗压强度特征值 f_{ck} 或立方体抗压强度特征值 $f_{ck,cube}$ 表示^[3]，如 C30/37 表示 $\phi 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 混凝土圆柱体的抗压强度特征值为 30 MPa， $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 立方体的抗压强度特征值为 37 MPa。从设计的角度讲，欧标采用圆柱体抗压强度作为抗压设计的力学指标，混凝土抗压强度设计值与相应的特征值的关系为：

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \tag{4}$$

根据欧标中对各个系数的建议值可以推导出 $f_{cd} = f_{ck} / 1.5$ 。若混凝土强度是在 28 d 后确定的， α_{cc} 还应通过 k_t 进行折减， k_t 值欧洲规范建议为 0.85。

中国规范 JTS 151—2011 混凝土强度设计值采用立方体试件进行试验，然后计算得到混凝土轴

心抗压强度标准值。其混凝土强度等级采用立方体抗压强度特征值表示，如 C30、C40 等。对于设计值，中国规范规定为：

$$f_{cd} = f_{ck} / 1.4 \tag{5}$$

式中： f_{ck} 为抗压强度标准值。由于本规范规定的设计值与 GB 50010—2002 《混凝土结构设计规范》的值相近，因此为了方便使用和统一，本规范确定取值与国家标准一致。

从以上分析可以看出，中欧两家规范相同的混凝土等级表示方法不同。假设中欧两家规范对混凝土抗压强度的确定均采用立方体试件，其抗压强度标准值(或特征值)及设计值对比见表 1^[4] 和表 2^[5]。

表 1 中欧规范混凝土抗压强度标准值(或特征值)对比

强度等级	抗压强度/MPa	
	EN1992-1-1(特征值)	JTS 151—2011(标准值)
C15	12	10.0
C20	16	13.4
C25	20	16.7
C30	25	20.1
C35		23.4
C40	C37:30.0	26.8
C45	35	29.6
C50	40	32.4
C55	45	35.5
C60	50	38.5
C65		41.5
C70	C67:36.7	44.5

注：采用立方体试件。

表 2 中欧规范混凝土抗压强度设计值对比

强度等级	抗压强度/MPa	
	EN1992-1-1	JTS 151—2011
C15	6.8	7.2
C20	9.1	9.6
C25	11.3	11.9
C30	14.2	14.3
C35		16.7
C40	C37:17.0	19.1
C45	19.8	21.1
C50	22.7	23.1
C55	25.5	25.3
C60	28.3	27.5
C65		29.7
C70	C67:20.8	31.8

注：采用立方体试件。

值得注意的是, 欧洲规范所采用的混凝土特征值直接采用的是试件的试验值, 并没有考虑试件与混凝土构件之间的差别; 而中国规范的标准值还考虑了混凝土试件与构件之间的差别, 在计算标准值时, 采用了分项系数 0.88。因此 EN1992 中的混凝土抗压强度标准值比 JTS 151—2011 大。但在设计值的计算中, 如果混凝土强度是在 28 d 后确定的, 则设计值中的 α_{cc} 还应通过 k_t 进行折减, 这或许与中国规范标准值中的 0.88 系数有异曲同工的作用, 因此在设计值中, 中欧两家规范的数值差别不大。

2.2 混凝土抗拉强度

欧洲规范采用圆柱体或者立方体试件确定混凝土的劈拉强度

$$f_{ct,sp}:f_{ct}=0.9f_{ct,sp} \quad (6)$$

换算为轴心抗拉强度 f_{ct} , 并以轴心抗拉强度作为混凝土抗拉设计的力学指标。采用 $f_{ctk,0.05}$ 和 $f_{ctk,0.95}$ 两个抗拉强度特征值, 前者是混凝土抗拉强度概率分布的 0.05 分位值, 具有 95% 的保证率, 用于混凝土抗拉强度起重要作用的情况, 如抗裂验算、梁的抗剪或板的抗冲切验算等; 后者为混凝土抗拉强度概率分布的 0.95 分位值, 主要用于使用混凝土抗拉但不是起主要作用的情况。

中国规范则采用长方体试件进行拉伸试验测定轴心抗拉强度, 但没有分别给出 0.05 及 0.95 分位值及其对应的使用条件。

2.3 普通钢筋

欧洲规范规定构件设计的钢筋一般为带肋钢筋和可焊接钢筋, 强度特征值取值一般为 400 ~ 600 MPa。钢筋强度设计值按照下式确定:

$$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s \quad (7)$$

式中: f_{yd} 为特征值; γ_s 为材料分项系数, 欧标对持久和短暂状况建议值为 1.15, 对偶然状况取值为 1.0。欧洲规范按照钢筋最大拉应力下的总伸长率将钢筋分为 A、B、C 共 3 个延性等级, 常用钢筋等级为 B500A、B500B、B450C, 钢筋直径为 4 ~ 40 mm。中国规范规定普通混凝土结构钢筋宜采用 HRB400 级、HRB500 级钢筋, 也可采用

HPB300 级、HRB335 级或 RRB400 级钢筋, 其中 HPB300 级为非带肋钢筋。中国规范可以采用的钢筋强度标准值介于 300 ~ 500 MPa, 钢筋强度设计值按下式确定:

$$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s \quad (8)$$

式中: f_{yd} 为标准值; γ_s 为材料分项系数, 延性较好的热轧钢筋 (HPB300、HRB335、HRB400、RRB400) γ_s 取 1.10; 但对 500 MPa 级钢筋适当提高了安全储备, γ_s 取为 1.15。常用钢筋等级为 HPB300、HRB335、HRB400、RRB400、HRB500 等, 钢筋直径为 6 ~ 50 mm。

3 作用组合及分项系数

欧标中承载能力极限状态的校核包括静力平衡 (EQU)、结构承载力 (STR) 和地基承载力 (GEO) 3 个方面, 作用组合包括 A 组、B 组和 C 组, 分项系数见表 3。

表 3 EN1992-1-1 作用组合及分项系数 (持久和短暂设计状况)

作用组合	永久作用		主导可变作用 $\gamma_{\varrho,1}$ (有利时)	伴随可变作用 $\gamma_{\varrho,i}$
	不利情况	有利情况		
	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$		
EQU (A 组)	1.10	0.9	1.5(0)	1.5(0)
STR (B 组)	1.35	1.0	1.5(0)	1.5(0)
GEO (C 组)	1.00	1.0	1.3(0)	1.3(0)

在欧标中, 对于使用极限状态作用组合, 所有分项系数都取为 1。

中国规范中, 也必须分别对承载能力极限状态和使用极限状态进行校核, 其部分分项系数规定见表 4。

表 4 JTS 151—2011 规定的荷载作用分项系数 (部分)

荷载名称	分项系数	荷载名称	分项系数
永久荷载	1.2	船舶系缆力、挤靠力	1.4
一般件杂货荷载	1.4	船舶撞击力	1.5
散货荷载	1.5	起重机械荷载	1.5
波浪力、水流力	1.5	风荷载	1.4

注: 1. 当永久荷载对结构承载力起有利作用时, 分项系数的取值不大于 1.0;

2. 结构自重、固定设备重力、土重等为主时, 分项系数应增大为不小于 1.3;

3. 短暂组合时, 可按表中数据减 0.1 使用。

从表3、4可以看出,欧标的A、B、C共3种作用组合,所采用的分项系数不一样;而中国规范采用统一的作用系数。欧标中对于伴随可变作用除了上述的分项系数之外,还应乘以系数 $\psi_{0,i}$, $\psi_{0,i}$ 的值根据不同区域的荷载及不同类型的荷载取值有所不同,取值介于0.2~0.9;而中国规范则乘以系数0.7(正常使用状况有时可取0.6)。

4 耐久性要求

欧洲规范要求根据结构所处的环境不同,从混凝土选材、配合比设计、结构设计、施工等多方面采用不同的耐久性措施,从这点来说中国规范与欧洲规范的原则基本是一致的。下面主要从混凝土保护层厚度的规定分析中欧两国规范的异同。

欧标规定混凝土保护层厚度指的是混凝土表面距离最外层钢筋表面的最小尺寸,该尺寸要求通过计算确定,计算公式为:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (9)$$

其中,满足粘结和环境要求的最小保护层厚度 c_{min} 按照下列公式确定:

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) \quad (10)$$

式中: $c_{min,b}$ 为按粘结要求的最小保护层厚度,主要与钢筋直径和最大骨料粒径有关; $c_{min,dur}$ 为按环境条件规定的最小保护层厚度,与结构等级和暴露等级有关;对于后面其他3个参数,由执行欧洲规范国家的国家附录规定,欧标建议值为0。

中国规范JTS 151—2011规定保护层厚度是混凝土表面距离最外层主筋表面的最小尺寸,该尺寸根据海水环境和淡水环境及构件所在部位,如大气区、浪溅区、水位变动区和水下区分别给出了固定的值,海水环境不同区域的保护层厚度介于40~65 mm,淡水环境不同区域的保护层厚度介于35~40 mm。

可以看出,欧标的最小保护层厚度考虑了粘结和环境的要求;而我国规范主要考虑了环境的影响,这与欧洲规范广泛用于土木工程行业(包

括工民建和水工工程)而我国上述规范主要用于水工工程(环境的因素起主要作用)有一定的关系。

5 承载力计算

中欧两国的规范在承载力计算的原理上基本一致,但某些细节的规定有所不同,下面以正截面承载力的计算方法为例,分析中欧两家规范的异同。

欧洲规范对正截面承载力有4个基本假定:1)截面应变保持平面;2)不考虑混凝土的抗拉强度;3)混凝土受压应力-应变关系假定为抛物线, $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$ 时,极限压应变取0.0035, $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$ 时,采用公式计算;4)钢筋应力取值等于钢筋应变与其弹性模量的乘积,但不大于其强度设计值。

中国规范也有4点假定:1)截面应变保持平面;2)不考虑混凝土的抗拉强度;3)混凝土受压应力-应变关系假定为抛物线,当非均匀受压时,极限压应变取0.0033,当轴心受压时,采用公式计算;4)钢筋应力取值等于钢筋应变与其弹性模量的乘积,但其绝对值不大于其相应的强度设计值。纵向受拉钢筋的极限拉应变取为0.01。

从上面分析可以看出,中欧两家规范的假定基本一致。

在承载力计算公式方面,中欧两家规范计算原理基本一致。以单筋受弯构件为例,欧标的计算公式为:

$$A_s = \eta f_{cd}(\lambda x) b / (f_{yd} z) \quad (11)$$

$$x = [1 - (1 - 2K)^{0.5}] d / \lambda \leq x_{lim} \quad (12)$$

$$K = M_{Ed} / (\eta b d^2 f_{cd}) \quad (13)$$

式中: x_{lim} 为使混凝土构件的破坏具有一定延性和弯矩重分布能力而规定的最大混凝土受压区高度。

中国规范的计算公式为:

$$A_s = \varepsilon \alpha_1 f_c b h_0 / f_y \quad (14)$$

$$\varepsilon = 1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5} \leq \varepsilon_b \quad (15)$$

$$\alpha_s = M_u / (\alpha_1 f_c b h_0^2) \quad (16)$$

式中: α_1 的取值为:当混凝土强度等级不超过C50时,可取1.0;当混凝土强度等级为C80时,可取0.94,其间应按线性内插法确定。

从上述承载力计算公式可以看出, 中欧两家规范在承载力计算的思路上, 几乎是一致的。不同的是, 欧洲规范在最大混凝土受压高度中考虑的是使得混凝土构件的破坏具有一定延性和弯矩重分布能力, 而中国规范考虑的是防止超筋而确定的相对受压区高度。

6 结语

1) 中欧规范在设计原则和方法上基本一致, 但是在材料取值、荷载系数、作用组合、耐久性设计以及结构设计中均有一定的差别, 在进行中欧规范的对比时, 应该系统性地分析各个方面因素的对比。

2) 欧洲规范中的许多参数的取值都是建议性的, 具体数值还需要根据每个国家的实际情况进行制定, 因此在不同的欧洲国家使用欧洲规范进行工程设计时, 都必须结合国家附录使用。

3) 规范 EN1992-1-1: 2004 中对荷载分项系数的建议主要是针对建筑工程, 而规范 JTS 151—2011 包括了水运工程特有的荷载分项系数取值, 例如船舶力、波浪力等, 因此在使用欧标进行水运工程设计时, 还需参考专业著作, 综合运用。

参考文献:

- [1] EN1992-1-1: 2004, Eurocode 2: Design of concrete structures—part 1-1: General rules and rules for buildings [S].
- [2] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].
- [3] EN206-1: 2000, Concrete part 1: Specification, performance, production and conformity [S].
- [4] 贡金鑫, 魏巍巍, 胡家顺. 中美欧混凝土结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [5] 严亚林. 欧洲混凝土规范构件设计及其与中国规范比较研究[M]. 北京: 中国建筑科学研究院, 2010.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 18 页)

2) 理论分析表明, 在波谷作用的最低时刻, 垫层内部波浪压强比面层顶部压强小, 其减小系数与参数 $1/(1+4\pi^2\Lambda^2/l^2)$ 相关。

3) 在工程实际应用中, 对于直接将面层铺设在土工布及沙垫层上的护坡结构, 由于面层或土工布淤堵导致面层渗透系数减小, 在波浪作用下会导致垫层孔隙水对面层上举力增大, 增加护坡失稳的风险, 因此在最初设计时应考虑土工布使用后可能出现的淤堵, 适当增加面层厚度。

参考文献:

- [1] Breteler M K, Bezuijen A. Design criteria for placed block revetments[G]// Krystian W P. Dikes and Revetments. Delft: Hydraulic Engineering Division of the Rijkswaterstaat, 1998: 217-248.
- [2] 燕同胜. 平原水库上游护坡的总结与探讨[J]. 山东水利科技, 1996(2): 14-17.

- [3] Gerrit J S. Soil-water-structure interactions[G]// Krystian W P. Dikes and Revetments. Delft: Hydraulic Engineering Division of the Rijkswaterstaat, 1998: 101-112.
- [4] Maarten de G, Aadam B, Burger A M et al. The interaction between soil, water and bed or slope protection [G]// Kolkman. Modeling soil-water-structure interactions. New York: Marcel Dekker Inc, 1988: 183-197.
- [5] Burger A M, Breteler M K, Banach L, et al. Analytical design method for relatively closed block revetments[J]. Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, 1990, 116(5): 525-544.
- [6] Bezuijen A, Breteler M K. Design formulas for block revetments [J]. Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, 1996, 122(6): 281-287.
- [7] van Gent M R A. Porous flow through rubble-mound material[J]. Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, 1995, 121(3): 176-181.

(本文编辑 武亚庆)