

对现行水运工程行业规范若干条文的探析

张露露¹, 朱晴霓², 杜飞飞¹

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230;

2. 广东省航运规划设计院有限公司, 广东 广州 510050)

摘要: 随着近些年水运工程行业规范更新修订频率的加快, 现行水运行业规范中个别条文存在值得商榷的地方, 在深入研究条文依据、查阅大量资料并咨询有关科研单位后, 整理若干条文, 对比探析说明求证, 为工程设计和规范修订提供一定的参考。

关键词: 水运工程行业规范; 条文依据; 条文探析

中图分类号: U 6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0048-06

Analysis of several provisions of codes for port and waterway engineering

ZHANG Lu-lu¹, ZHU Qing-ni², DU Fei-fei¹

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Guangdong Province Planning & Design Institute for Water Transportation Co., Ltd., Guangzhou 510050, China)

Abstract: With frequent revisions of the codes for port and waterway engineering recently, some provisions in present codes for water transportation industry is questionable. Collecting some controversial provisions and consulting relevant scientific research units, we put forward suggestions to serve as a reference for the engineering design and revision of codes.

Keywords: codes for port and waterway engineering; basis of provisions; analysis of provisions

鉴于国内工程技术尚处于发展阶段, 与发达国家发展水平、技术能力和理论知识积累尚存在差距, 并考虑到工程师个人素养的参差不齐, 目前国内仍沿用通过统一的标准规范对工程设计及施工过程做出详细而明确的条文规定的做法, 因此确保现行规范条文的正确性对保障工程施工质量至关重要。

基于以上考虑, 针对现行水运行业规范, 本文整理若干条文, 分门别类对比探析, 并对此给出建议以供参考。

1 规范修订滞后性若干条文规定

1.1 关于混凝土板护面厚度计算的规定

混凝土板护面稳定厚度的确定应考虑3方面因素: 1) 存在局部架空时引起的弯曲应力;

2) 风浪作用下抵抗浮托力作用; 3) 抵抗冰推力导致的沿坡面滑动。

1.1.1 抵抗弯曲应力所需厚度

假定板底架空面积为正方形, 按式(1)估算混凝土板抵抗弯曲应力所需厚度^[1]:

$$h = F_s \cdot \frac{0.287 4\rho_c g}{0.5 \sqrt[3]{R^2}} a^2 \quad (1)$$

式中: F_s 为安全系数, 可取3; ρ_c 为混凝土板密度(t/m^3); R 为混凝土板材料的抗压强度(kN/m^2); a 为假定板底架空面积为正方形时的边长(m)。

1.1.2 抵抗浮托力作用所需厚度

现行《港口及航道护岸工程设计与施工规范》^[2] (简称“护岸规范”)第4.4.11条规定了混凝土板护面在波浪作用下稳定厚度的计算。该计算公式引用自1984版水利水电行业标准《碾压式

收稿日期: 2015-06-28

作者简介: 张露露(1987—), 男, 工程师, 从事港口航道与海岸工程设计。

土石坝设计规范》^[3],即向金公式。随着2001版《碾压式土石坝设计规范》^[4]的实施,附录A式A.2.3对混凝土板护面稳定厚度计算做出了修订,采用式(2)计算抵抗浮托力作用所需的厚度:

$$h = 0.07\eta H \cdot \frac{\rho_w}{\rho_c - \rho_w} \cdot \frac{\sqrt{m^2 + 1}}{m} \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{L'}} \quad (2)$$

式中: η 为系数; H 为设计波高(m),取 $H_{1\%}$; L 为波长(m); L' 为沿坡向混凝土板长(m); ρ_w 为水的密度(t/m^3); ρ_c 为混凝土板密度(t/m^3); m 为坡度。

式(2)源自苏联规范CH288-64^[5],而笔者查阅资料发现,苏联规范CH288-64已被CHMΠ 2.06.04-82 *^[6]替代,其中已删除了有关混凝土板护面稳定厚度的计算公式。

从向金公式和苏联规范CH288-64公式的原理探究发现,二者均简化忽略了混凝土板间的嵌固、咬合、摩擦力等有利作用的影响,而这种影响在小尺度块中更为显著,因此对小尺度混凝土板,其计算公式显得过于保守。相较于向金公式,苏联规范CH288-64公式计算厚度略小,更接近模型试验结果,有关文献^[7]也证明了这一点。

通过以上分析可以看出,“护岸规范”中第4.4.11条引用自84版《碾压式土石坝设计规范》的公式已作废,且目前缺乏完善的理论计算公式。考虑到苏联规范考虑因素较全面、工程偏安全且较“护岸规范”第4.4.11条规定(即向金公式)更接近试验结果,建议现行的《堤防工程设计规范》^[8]和“护岸规范”修订时,可采用式(2)(即苏联CH288-64的公式)初步估算混凝土板护面在浮托力作用下的稳定厚度,与2001版《碾压式土石坝设计规范》附录A式A.2.3一致。

1.1.3 抵抗冰推力所需厚度

水面结冰后,冰层水平冻胀力沿坡面的分力具有将以上护坡推动上移的可能,冰推力靠混凝土板自重沿坡面分力、板与坡面土间粘结力、板与坡面土间摩擦力及混凝土板材料的抗拉强度抵抗,利用静力平衡关系确定混凝土板稳定厚度。在忽略板材料抗拉强度时,可采用式(3)估算抵抗

冰推力所需的厚度^[1]:

$$h = \frac{\left[\frac{Pt}{\sqrt{1+m^2}}(F_s m - f) - H_1 c \sqrt{1+m^2} \right]}{\rho_c g H_1 (1+mf)} \quad (3)$$

式中: P 为水平冰推力(kN/m^2); t 为冰层厚度(m); f 为混凝土板与坡面土间摩擦系数; H_1 为冰层高程以上混凝土板护面的垂直高度(m); c 为混凝土板与坡面土间的粘结力(kPa)。

基于以上分析,建议“护岸规范”修订时,遵循国家统标^[9]和行业统标^[10]的规定,由上述单一安全系数法向极限状态设计方法转变,对混凝土板护面稳定厚度的确定综合考虑架空弯曲应力、波浪浮托力及冰推力3方面因素,为堤岸新建、评估与加固设计提供全面指导。

1.2 关于风压高度变化系数的规定

风压高度变化系数由基本风压推导而得,基本风压采用式(4)指数律表示:

$$w = w_0 \left(\frac{z}{10} \right)^{2\alpha} \quad (4)$$

式中: w 为地面 z 高度处的基本风压; w_0 为地面10 m高度处的基本风压; α 为粗糙度指数。

根据式(4),在已知粗糙度指数、对应梯度风高度和基本风压时便可求得不同粗糙度下的风压高度变化系数。现行《港口工程荷载规范》^[11]表11.0.9中粗糙度指数、对应梯度风高度和基本风压的规定来自于2006年版《建筑结构荷载规范》^[12],该规范已更新为2012版《建筑结构荷载规范》^[13],其适当提高了C、D两类粗糙度类别的梯度风高度,由400 m和450 m分别修改为450 m和550 m;B类风速剖面指数由0.16修改为0.15,并适当降低了标准场地类别的平均风荷载。主要变化见表1。

表1 地面粗糙度分类及对应的粗糙度指数和梯度风高度变化

类别	原粗糙度指数	原梯度风高度/m	修订后粗糙度指数 α	修订后梯度风高度/m
A	0.12	300	0.12	300
B	0.16	350	0.15	350
C	0.22	400	0.22	450
D	0.30	450	0.30	550

在同一个大气环境中,根据不同地面粗糙度在梯度风高度处风速相等原则,以地面粗糙度 B 类为基准,推导出相应的风压高度变化系数计算公式,推导后的计算公式对比见表 2。

表 2 推导得风压高度变化系数计算公式变化

类别	原计算公式	修订后计算公式
A	$\mu_{zA} = 1.379 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.24}$	$\mu_{zA} = 1.284 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.24}$
B	$\mu_{zB} = 1.000 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.32}$	$\mu_{zB} = 1.000 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.30}$
C	$\mu_{zC} = 0.616 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.44}$	$\mu_{zC} = 0.544 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.44}$
D	$\mu_{zD} = 0.318 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.60}$	$\mu_{zD} = 0.262 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.60}$

注: μ_{zA} 、 μ_{zB} 、 μ_{zC} 、 μ_{zD} 分别为粗糙度为 A 类~D 类风压高度变化系数。

将不同高度 z 代入风压高度变化系数计算公式即可计算得到不同高度、不同粗糙度下风压高度变化系数。

表 3 推导得作用于船舶的风荷载计算公式变化

作用于船舶风荷载	原风压高度变化系数	修订后风压高度变化系数	原计算公式	修订后计算公式
横向分力	1.17	1.09	$73.6 \times 10^{-5} A_{xw} v_z^2 \zeta_1 \zeta_2$	$68.13 \times 10^{-5} A_{xw} v_z^2 \zeta_1 \zeta_2$
纵向分力	0.78	0.73	$49.0 \times 10^{-5} A_{yw} v_z^2 \zeta_1 \zeta_2$	$45.6 \times 10^{-5} A_{yw} v_z^2 \zeta_1 \zeta_2$

通过以上分析可以看出,随着风压高度变化系数的调整,现行《港口工程荷载规范》中关于船舶风荷载计算公式相应有所变化,建议《港口工程荷载规范》修订时依据上述变化计算调整后的船舶风荷载计算公式。

1.3.2 关于风压高度变化系数

与英标、德标对比后发现,1998 版《港口工程荷载规范》^[14] 计算船舶压载时风荷载普遍偏小 20%~30%,因此基于不同高度风压变化系数的差异,在现行《港口工程荷载规范》附录 E 中引入了风压高度变化修正系数。海港中地面粗糙度为 A 类,以 5 m 高度为计算基准,可求得不同高度 z 时风压高度变化修正系数为 $(z/5)^{2\alpha}$,现行《港口工程荷载规范》中分别考虑 10、15、20、30 m 的风压高度修正。因现行《建筑结构荷载规范》对风压高度变化系数的调整中,并未对地面

通过以上分析可以看出,随着对粗糙度指数、梯度风高度规定的调整,相应的风压高度变化系数有所调整,现行《港口工程荷载规范》表 11.0.9 已作废,建议《港口工程荷载规范》修订时依据上述变化计算调整后的风压高度变化系数,与 2012 版《建筑结构荷载规范》表 8.2.1 保持一致。

1.3 关于作用于船舶风荷载计算

1.3.1 关于作用于船舶风荷载计算公式

作用于船舶上的风荷载计算由风荷载推算而得,即:

$$F_{xw} = A_{xw} W_k = A_{xw} \mu_s \mu_z W_0 = A_{xw} \mu_s \mu_z \frac{v_0^2}{1600} \quad (5)$$

式中: μ_s 为风荷载体型系数,建议取为 1.0, μ_z 为风压高度变化系数,取受风面积离水面高度为 5 m 时的系数。

随着风压高度系数 μ_z 的变化,作用于船舶的风荷载计算公式也将随之调整,推导得计算公式变化对比见表 3。

粗糙度 A 类的粗糙度指数及梯度风高度做出调整,因此风压高度变化修正系数无须调整,仍沿用现行《港口工程荷载规范》附录 E 中表 E.0.4 的规定。

2 水运工程行业内及不同行业间规范若干差异性条文规定

2.1 关于斜向波作用下护面块体稳定系数的规定

关于斜向波作用下护面块体稳定系数,在现行《海港水文规范》^[15] 表 8.2.6 与《防波堤设计与施工规范》^[16] 附录 A 表 A.0.1 均作出了规定,但二者对于抛填两层块石的试验参数规定不同,前者规定试验参数 k 为 1.55,后者规定为 1.95。

对于斜向波作用下的稳定系数 $K_{D\theta}$ 的计算是依据大连理工大学“多向不规则波作用下斜坡式建筑物护面块体稳定重力计算方法”项目研究试验

成果确定的。试验拟合采用式(6)计算任意波型和入射方向波作用下护面块体的稳定系数:

$$K_{D\beta} = \frac{K_s K_D}{\cos^k \beta} \quad (6)$$

式中: $K_{D\beta}$ 为斜向波作用时护面块体的稳定系数; K_s 为方向分布影响系数; K_D 为单向不规则波正向入射时护面块体的稳定系数; k 为试验参数; β 为入射方向角。

试验表明, 单向不规则波作用下方向分布影响系数 K_s 为 1.0, 考虑到波向的不稳定等因素, 规范编制中以 $\beta - 22.5^\circ$ 替代式(6)中的 β , 即得到《防波堤设计与施工规范》附录 A 式 A.0.1 和《海港水文规范》式 8.2.6-2。

经查阅试验拟合结果对比^[17], 其中不同护面块体分析所得的试验参数 k 见表 4。

表 4 不同护面块体分析所得的试验参数 k

护面块体	波浪方向分布		
	$s = \infty$	$s = 40$	$s = 10$
扭工字块体	1.02	0.76	0.98
钩连块体	2.30	1.79	1.75
四脚空心方块	1.47	1.34	1.36
抛填两层块石	1.55	1.73	1.17

注: 1. $s = \infty$ 、 $s = 40$ 和 $s = 10$ 分别代表单向不规则波、多向不规则波(涌浪)和多向不规则波(风浪); 2. 斜向波对扭工字块体稳定性影响最小, 且国内外试验结果出现了规律性差异, 尚待进一步研究, 因此斜向波作用下扭工字块体的稳定系数暂不做调整。

规范对斜向波作用下护面块体稳定系数 k 的规定采用表 4 中单向不规则波的试验参数 k 值, 单向不规则波作用下块石(抛填 2 层)的试验参数 k 值应为 1.55, 而非 1.95。该试验参数取值偏大时, 将导致计算斜向波作用下护面块石稳定重力偏小, 对实际工程稳定安全产生不利影响, 对此应引起设计重视。建议《防波堤设计与施工规范》附录 A 表 A.0.1 中抛填两层块石的试验参数 k 值修订为 1.55, 与现行《海港水文规范》表 8.2.6 中规定一致。

2.2 关于斜坡堤堤顶越浪量计算的规定

关于斜坡堤堤顶越浪量的计算在《海港水文规范》和《海堤工程设计规范》^[18] 两本规范中均

作出了规定, 均采用南京水利科学研究所的同一个模型试验成果(采用 JONSWAP 谱), 计算公式完全一致, 但对谱峰周期 T_p 的规定有所不同, 《海港水文规范》和《海堤工程设计规范》关于谱峰周期 T_p 与平均周期 \bar{T} 的规定分别见式(7)、(8):

$$T_p = 1.21 \bar{T} \quad (7)$$

$$T_p = 1.33 \bar{T} \quad (8)$$

式(7)、(8)的差异可能是试验者对尖度因子 λ 的取值不同造成的。根据规范中堤顶越浪量计算公式分析, 波浪平均周期 $\bar{T} \geq 2$ s 时, 式(7)计算结果略大于式(8)。经对比计算表明, 当波浪平均周期 $\bar{T} = 3 \sim 20$ s 时, 采用式(8)计算越浪量结果, 比式(7)偏小约 2% ~ 7%。

查阅文献 [19] 显示, 合田良实曾综合了各国的 21 套实测成果, 涵盖了浅水到深水、平均周期 \bar{T} 由小到大等多种工况, 统计实测谱峰周期 T_p 与平均周期 \bar{T} 比值 T_p/\bar{T} 在 1.099 ~ 1.754, 平均值为 1.326。在此基础上, 合田良实建议在工程应用上, 按式(9)取值:

$$T_p = 1.05 T_{H_{1/3}} = (1.155 \sim 1.365) \bar{T} \quad (9)$$

我国连云港港、日照港和渤海湾实测资料得谱峰周期 T_p 与平均周期 \bar{T} 的关系如式(10)^[19]:

$$T_p = (1.17 \sim 1.32) \bar{T} \quad (10)$$

由上述分析可知, 《海港水文规范》和《海堤工程设计规范》中关于谱峰周期 T_p 与平均周期 \bar{T} 比值的规定都位于合田良实推荐的合理范围内。

3 值得商榷的条文规定

3.1 关于防波堤墙前全掩护界定的规定

JTS 154-1—2011《防波堤设计与施工规范》第 4.2.21.1 条规定: “当胸墙前有块体掩护且掩护的宽度为 2 排和高度为 2 层时(图 4.1.8a), 作用在胸墙上的水平波浪力和波浪浮托力可乘以折减系数 0.6 ~ 0.7”, 仅将坡肩范围内安放 2 排 2 层块体掩护(图 4.1.8a)界定为全掩护, 笔者认为

此条中关于防波堤墙前全掩护界定的规定是值得商榷的。

笔者认为全掩护应同时满足下述两个条件：
1) 墙前护面坡顶高程不宜低于胸墙顶高程。
2) 墙前护肩范围内至少安放2排护面块体。常见的人工块体如方块、四角锥体和扭工字块体等，墙前坡肩范围内至少安放2排2层；而四脚空心方块、扭王字块体和栅栏板等，只需安放不少于2排1层。

因此建议《防波堤设计与施工规范》修订时，将图4.1.8a和图4.1.8b都界定为符合全掩护条件，此时可对波浪力及浮托力予以折减(0.6~0.7)倍。

3.2 关于干砌块石护面稳定厚度计算的规定

在波浪作用下，斜坡式防波堤干砌块石护面的稳定平衡不仅靠单个块体重力，还依靠块石间相互挤压形成一定整体性来保持稳定。其破坏特点是，护岸法线方向内外压力差大于单个块石重力，且须克服一小片护面范围内的阻力，因此其稳定平衡采用护面层厚度控制。目前国内规范关于干砌块石护面稳定厚度计算一般采用培什金公式、向金公式和港口工程规范公式，分别见式(11)~(13)：

$$t = K_1 \cdot \frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \cdot \frac{H}{\sqrt{m}} \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{H}} \quad (11)$$

$$t = K_2 D / K_t \quad (12)$$

$$t = 1.3 \frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} H (K_{md} + K_\delta) \frac{\sqrt{m^2 + 1}}{m} \quad (13)$$

式中： K_1 为系数，对一般干砌石取0.266，对砌方石、条石取0.225； K_2 为系数，当平均波长与波高比值 $L_m/H_{1\%} \leq 15$ 时，取1.67，当 $L_m/H_{1\%} > 15$ 时，取1.82； ρ_b 为块石密度(t/m^3)； H 为设计波高(m)，当 $d/L \geq 0.125$ 时，取 $H_{4\%}$ ，当 $d/L < 0.125$ 时，取 $H_{13\%}$ ； L 为波长(m)； D 为石块的球形换算直径(m)； K_t 为随坡率变化系数； K_{md} 为与坡度 m 和 d/H 有关的系数； K_δ 为波坦系数。

其中向金公式为现行《碾压式土石坝设计》规范所采用，在平均波长与波高比值 $L_m/H_{1\%} = 15$

处出现突变，不甚合理；培什金公式是在对比一些学者公式基础上，分析总结而成，为现行《堤防工程设计规范》所采用；港口工程规范公式来自河海大学专题模型试验研究，并根据工程实践调整了坡度 $m = 1.5$ 和 $m = 2.0$ 时的 K_{md} 系数，为现行《防波堤设计与施工规范》所采用。

本文仅对培什金公式和港口工程规范公式计算对比分析。设计水深与波浪要素见表5。

表5 设计水深与波浪要素

设计水深/m	$H_{1\%}$ /m	$H_{4\%}$ /m	$H_{5\%}$ /m	$H_{13\%}$ /m	\bar{T} /s	L /m
4	1.50	1.29	1.25	1.06	4.3	23.39

根据表5中设计条件，对比培什金公式和港口工程规范公式(包括系数 K_{md} 修订前和 K_{md} 修订后)计算结果见图1。

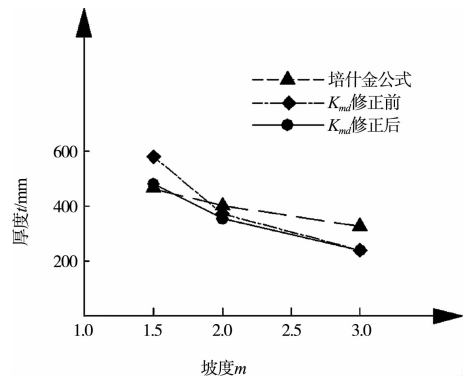


图1 块石护面厚度和坡度计算结果对比

从图1可以得到如下结论：

1) 三者计算结果都表明随着坡度的变缓，波浪作用下所需的干砌块石护面稳定厚度逐渐减小，这种趋势与实际情况是相符的；系数 K_{md} 修订前的港口工程规范公式变化曲线最陡峭，培什金公式最平缓，与众多研究表明培什金公式计算结果居中的结论相符；

2) 港口工程规范公式中系数 K_{md} 修订后，在坡度 $m \leq 2.0$ 时计算结果与培什金公式比较接近，基本解决了 K_{md} 系数修订前计算结果偏大的问题；

3) 在坡度 $m > 2.5$ 时，港口工程规范公式计算结果与培什金公式结果明显偏离，甚至偏低达30%以上。

荷兰在护坡稳定分析方法方面进行了长期系

统的研究,取得了相应理论成果。有文献^[20]对比表明,在 $m=3$ 时培什金公式计算结果较荷兰分析方法偏大约13%,略偏于安全。结合本文计算结果表明,港口工程规范公式在坡度 $m>2.5$ 时计算结果将略小,略偏于不安全。

港口工程规范公式考虑了 L/H 、 d/H 、 d/L 和坡度 m 等因素,考虑因素较培什金公式全面,在 K_{md} 系数修订后,基本解决了在坡度 $m\leq 2$ 时计算结果偏大的问题,但随坡度变缓,护面厚度计算结果变化曲线较陡峭,在坡度 $m>2.5$ 缓坡时计算结果略偏小。建议参考荷兰分析方法,引入块体力平衡和流量平衡条件,考虑反滤层的透水性、块体与块体之间的作用等因素,在《防波堤设计与施工规范》修订时,与现行《堤防工程设计规范》中培什金公式计算结果对比,适当考虑调整坡度 $m>2.5$ 时的系数 K_{md} ,并补充适用条件: $m=1.5\sim 3.0$ 、 $d/H=1.5\sim 4.0$ 且 $L/H=10\sim 25$,与现行JTS 145-2—2013《海港水文规范》第8.2.9条规定一致。

4 结语

1) 水运工程行业规范在不断发展完善中,但仍存在规范修订滞后性的若干条文规定,如关于混凝土板护面稳定厚度计算、风压高度变化系数、作用于船舶风荷载计算等规定,建议及时研究论证修订。

2) 水运工程行业内及不同行业间规范存在诸多差异性规定,建议对源自同一研究成果的差异性规定,如关于斜向波作用下护面块体稳定系数、斜坡堤堤顶越浪量计算等规定修订统一。

3) 水运工程行业规范中存在若干值得商榷的条文规定,建议修订关于防波堤墙前全掩护界定的规定;建议参考荷兰分析方法,并与其它各家

公式计算结果对比后,优化关于干砌块石护面稳定厚度计算的规定,适当考虑调整坡度 $m>2.5$ 时的系数 K_{md} 。

参考文献:

- [1] 刘宗耀.土工合成材料工程应用手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2002:346-347.
- [2] JTJ 300—2000 港口及航道护岸工程设计与施工规范[S].
- [3] SDJ 218—1984 碾压式土石坝设计规范[S].
- [4] SL 274—2001 碾压式土石坝设计规范[S].
- [5] CH 288—1964 受波浪作用的水工建筑物设计规范[S].
- [6] СНиП 2.06.04-82* 波浪、冰凌和船舶对水工建筑物的荷载与作用[S].苏联国家建设委员会,1986.
- [7] 潘军宁,王登婷,吴美安,等.波浪作用下混凝土砌块护坡稳定性试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(4):476-481.
- [8] GB 50286—2013 堤防工程设计规范[S].
- [9] GB 50153—2008 工程结构可靠性设计统一标准[S].
- [10] GB 50158—2010 港口工程结构可靠性设计统一标准[S].
- [11] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [12] GB 50009—2001 建筑结构荷载规范[S] (2006年版).
- [13] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S].
- [14] JTJ 215—1998 港口工程荷载规范[S].
- [15] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [16] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [17] 俞聿修,柳淑学,朱传华.多向不规则波作用下斜坡式建筑物护面块体的稳定性[J].海洋学报,2002,24(4):92-104.
- [18] SL 435—2008 海堤工程设计规范[S].
- [19] 俞聿修.随机波浪及其工程应用[M].大连:大连理工大学出版社,1992.
- [20] 侯瑜京,孙东亚.国内干砌块石护坡面层厚度设计规范比较[J].中国水利水电科学研究院学报,2006(2):138-144.

(本文编辑 武亚庆)