



国内外斜坡式海堤平均越浪量 计算方法的对比分析

杨克勤, 路卫卫

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 介绍了国外常用的 *EurOtop* (2007) 中平均越浪量的计算方法, 结合国内《海港水文规范》及国内专家学者提出的计算方法进行对比分析, 并通过实际工程案例情况进行验证比较, 得出了 *EurOtop* (2007) 中关于斜坡式海堤平均越浪量的计算方法考虑的影响因素更加全面、相对更具参考价值的结论。

关键词: *EurOtop* (2007); 海堤设计; 平均越浪量

中图分类号: TV 139.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0017-04

Comparative analysis of calculation methods for mean overtopping on sloping dike

YANG Ke-qin, LU Wei-wei

(CCCC Fourth Harbor Consultants Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: This paper introduces the calculation method for the mean overtopping stipulated in *EurOtop* (2007), which is commonly used abroad, and compares it with those given in the Chinese code, Code of Hydrology for Sea Harbour, and other calculation methods proposed by the Chinese experts. The conclusion that the factors considered in *EurOtop* is more comprehensive and thus provides more reference value in the seawall designing.

Key words: *EurOtop* (2007); dike design; mean overtopping

Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structure: Assessment Manual^[1] 简称 *EurOtop*, 是 *EurOtop Team* 在英国、荷兰以及德国等国家学者研究的基础上, 结合了 EC CLASH 工程收集的大量数据, 又经修改完善扩充后完成的一本设计手册, 该手册取代了 *EA Overtopping Manual* (Besley, 1999), *TAW Technical Report on Wave run up and wave overtopping at dikes* (van der Meer, 2002) 和 *German Die Küste EAK 2002*, 作为一本新的设计手册用于海堤的设计与研究。该手册采用的是波谱参数而不是以统计的特征波浪要素来进行越浪计算。其计算方法综合考虑了肩台、边坡表层糙率、波浪入射角度及防浪墙的影响, 给出了越浪量的计算公式, 并且还给出了复杂海堤

断面上越浪量的计算方法。其越浪量计算的基础公式为:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = a \exp(-bR_c/H_{m0}) \quad (1)$$

我国现行《海港水文规范》中越浪量计算方法是南京水利科学研究院通过模型试验提出的, 该试验采用的波谱主要为 JONSWAP 谱。

1 *EurOtop* 中简单边坡的平均越浪量计算

1.1 概率设计计算公式

1) 当 $\xi_{m-1,0} < 5$ 时, 破碎波和未破波越浪量计算公式分别如下:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan\alpha}} \cdot \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp\left(-4.75 \cdot \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_{m0} \gamma_b \gamma_f \gamma_r}\right) \quad (2)$$

收稿日期: 2013-10-17

作者简介: 杨克勤 (1981—), 男, 工程师, 从事港口水工结构设计。

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta}\right) \quad (3)$$

2) 当 $\xi_{m-1,0} > 7$ 时,

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 10^c \exp\left[-\frac{R_c}{\gamma_f \gamma_\beta H_{m0} (0.33 + 0.022 \xi_{m-1,0})}\right] \quad (4)$$

1.2 确定性设计 (安全评估) 计算公式

1) 当 $\xi_{m-1,0} < 5$ 时, 破碎波和未破波越浪量计算公式分别如下:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp\left(-4.3 \cdot \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_{m0} \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}\right) \quad (5)$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.3 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta}\right) \quad (6)$$

2) 当 $\xi_{m-1,0} > 7$ 时,

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.21 \exp\left[-\frac{R_c}{\gamma_f \gamma_\beta H_{m0} (0.33 + 0.022 \xi_{m-1,0})}\right] \quad (7)$$

而对于 $5 < \xi_{m-1,0} < 7$ 的情况, 可采用线性内插法计算求得。

1.3 越浪量计算影响参数

1) 碎波参数。

$$\begin{cases} \xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{m0}/L_{m-1,0}}} \\ L_{m-1,0} = \frac{gT^2}{2\pi} \end{cases} \quad (8)$$

式中: α 为坡度; H_{m0} 为堤脚处的波高, $H_{m0} = 4 \sqrt{m_0}$ 。

虽然 *EurOtop* 中公式采用的是波谱参数, 而不是我国常用的特征波浪要素, 由于二者只是从不同的角度来观察研究同一个波浪, 因此二者之间可以建立相互关系:

$$\begin{cases} \text{深水区} & H_{m0} \approx H_{1/3} \\ \text{浅水区} & H_{m0} \approx (1.1 \sim 1.15) H_{1/3} \end{cases} \quad (9)$$

2) 边坡表层糙率 γ_f 。

国外海堤设计中常用护面结构类型的表层糙率对越浪量的影响系数见表 1。

表 1 常用护面层糙率

护面类型	混凝土	草皮	块石 (一层, 透水性)	块石 (两层, 透水性)	Cubes (一层, 随机摆放)	Cubes (两层, 随机摆放)	Antifers	Accropode™	Xbloc	CORE-LOC
γ_f	1.00	1.00	0.45	0.40	0.50	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44

3) 波浪入射角影响系数 γ_β 。

波浪入射角定义如图 1 所示。

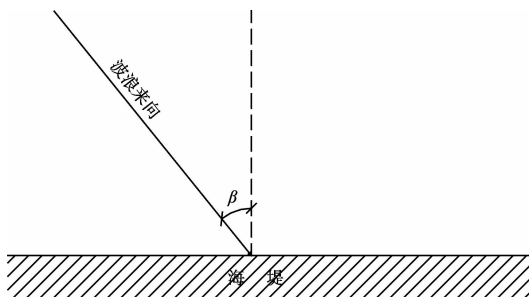


图 1 波浪入射角定义

由于长脊波在波长范围内偏离了传播方向, 因此其波浪入射角 γ_β 很小, 可以忽略不计。而对于短脊波, 其波浪入射角影响系数计算公式如下:

$$\begin{cases} \gamma_\beta = 1 - 0.0033 |\beta| & 0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ \\ \gamma_\beta = 0.076 & |\beta| > 80^\circ \end{cases} \quad (10)$$

对于 $|\beta| < 20^\circ$ 的情况, 可以忽略波浪入射角

度的影响, 即 $\gamma_\beta = 1$; 而当 $80^\circ \leq \beta \leq 110^\circ$ 时, 由于波浪在结构物的周围发生了绕射, 因此在计算 H_{m0} , $T_{M-1,0}$ 时需乘以相应的修正系数, 分别为 $\frac{110 - |\beta|}{30}$ 和 $\sqrt{\frac{110 - |\beta|}{30}}$; 而对于 $110^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ 时, 可以认为越浪量为零。

4) 防浪墙影响系数 γ_v 。

γ_v 计算公式如下:

$$\gamma_v = 1.35 - 0.0078 \alpha_{wall} \quad (11)$$

其中 45° (边坡 1:1) $\leq \alpha_{wall} \leq 90^\circ$ (直墙)。防浪墙坡度为 1:1 时, $\gamma_v = 1.0$; 竖直墙时 $\gamma_v = 0.65$ 。

5) 肩台影响系数 γ_b 。

γ_b 计算公式如下:

$$\gamma_b = 1 - \gamma_B (1 - \gamma_{db}) (0.6 \leq \gamma_b \leq 1.0) \quad (12)$$

该公式的适用条件有如下 2 个: ① 肩台的坡度须在水平和 1:15 之间; ② 肩台的宽度不应超过

0.25 倍波长。

肩台影响系数 γ_b 可以看作是两个系数的组合: 一个是宽度影响系数 γ_B , 另一个是肩台中点相对于静水位置高度 d_B 的影响系数 γ_{db} 。

$$\gamma_B = \frac{B}{L_{BERM}} \quad (13)$$

式中: L_{BERM} 为肩台向上下各平移 H_s 高度后得到的水平距离。

当肩台在静水位以下及以上时, γ_{db} 的计算公式如下:

$$\begin{cases} \gamma_{db} = 0.5 - 0.5 \cos\left(\pi \cdot \frac{d_b}{R_{u2\%}}\right) \\ \gamma_{db} = 0.5 - 0.5 \cos\left(\pi \cdot \frac{d_b}{2H_{m0}}\right) \end{cases} \quad (14)$$

2 EurOtop 中复杂边坡的平均越浪量计算

对于有些海堤有可能设计成多个坡度的情况, 可采用平均坡度 (图 2) 的计算公式。

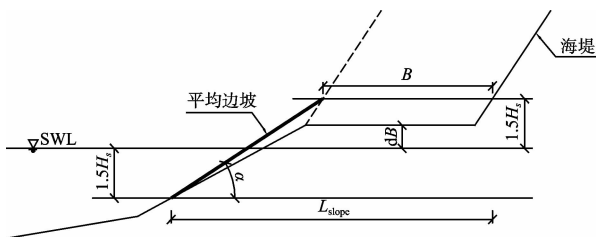


图 2 平均坡度示意

计算步骤如下:

- 1) 先假定 $R_{u2\%}$, 例如取 $R_{u2\%} = 1.5H_s$, 计算 $\tan\alpha = 3H_{m0} / (L_{slope} - B)$;
- 2) 根据 1) 假定求得的平均坡度, 再计算 $R_{u2\%}$;
- 3) 重复 1) 和 2), 直至结果吻合;
- 4) 根据计算求得的 $\tan\alpha$ 进行平均越浪量计算。

3 我国《海港水文规范》中的平均越浪量计算方法

我国现行《海港水文规范》^[2] 对越浪量给出的计算公式如下:

1) 斜坡堤无胸墙时:

$$Q = AK_A \cdot \frac{H_{1/3}^2}{T_P} \left(\frac{H_c}{H_{1/3}}\right)^{-1.7} \left[\frac{1.5}{/m} + \text{th}\left(\frac{d}{H_{1/3}} - 2.8\right) \right] \ln \sqrt{\frac{gT_P^2 m}{2\pi H_{1/3}}} \quad (15)$$

2) 斜坡堤顶有胸墙时:

$$Q = 0.07^{H'_c/H_{1/3}} \exp\left(0.5 - \frac{b_1}{2H_{1/3}}\right) BK_A \frac{H_{1/3}^2}{T_P} \left(\frac{H_c}{H_{1/3}}\right)^{-1.7} \left[\frac{0.3}{/m} + \text{th}\left(\frac{d}{H_{1/3}} - 2.8\right) \right] \ln \sqrt{\frac{gT_P^2 m}{2\pi H_{1/3}}} \quad (16)$$

式中: A, B 为根据坡度进行选择的经验系数; d 为建筑物前水深; b_1 为胸墙前肩宽。

同时也给出了其计算方法的适用条件:

- 1) $2.2 \leq d/H_{1/3} \leq 4.7$;
- 2) $0.02 \leq H_{1/3}/L_{po} \leq 0.10$;
- 3) $1.5 \leq m \leq 3.0$;
- 4) $0.6 \leq b_1/H_{1/3} \leq 1.4$;
- 5) $1.0 \leq H'_c/H_{1/3} \leq 1.6$;
- 6) 底坡 $i \leq 1/25$ 。

4 国内学者对平均越浪量计算的研究成果

陈国平在 2010 年引入波浪爬高作为描述越浪量的主要参数, 并且综合考虑了破波参数、挡浪墙高度 P 及墙顶超高 H_c 后提出了简化的越浪量计算公式^[3], 公式如下:

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.08 \cdot \frac{R_s}{H_s} \exp\left(-3.5 \frac{H_c}{R_s} - 0.9 \frac{P}{H_c}\right) \quad (17)$$

公式中波浪爬高 R_s 的计算^[4] 综合考虑了波浪入射角影响、消浪平台的影响、复式断面及多级平台的情况。

5 3 种计算方法的对比分析结果

3 种计算方法对越浪量计算所考虑的影响因子对比见表 2。

表 2 3 种计算方法对越浪量计算所考虑的影响因子

影响因子	公式 1	公式 2	公式 3
	EurOtop 公式	海港水文规范	陈国平公式
碎波参数	√		√
边坡表层糙率	√	√	
波浪入射角	√		√
防浪墙坡比	√		√
消浪平台	√		√
复杂边坡	√		√
堤前水深		√	

从表 2 的比较可以看出,公式 1 和公式 3 对越浪量计算考虑的影响因素相对比较全面,而公式 2 只适用于正向波,且关于设置消浪肩台对越浪量的影响没有给出相应的影响计算方法,而消浪肩台对越浪量的影响是非常大的,因此建议在实际工程中斜向浪作用或者有设置消浪肩台的情况下,采用公式 1 或公式 3。公式 1 相对公式 3 多考虑了护面结构的影响,因此相对更全面。

6 实际工程的实验值与计算值比较

表 3 列举了近几年实施的实际工程案例的断面波浪模型试验结果与 3 个公式计算结果的比较。

案例	公式 1	公式 2	公式 3	模型试验
1	0.032	0.020	0.038	0.039 0
2	0.027	0.017	0.020	0.032 0
3	0.037	0.030	0.027	0.075 0
4	0.004	0.008	0.034	0.007 5
5	0.077	0.080	0.137	0.065 0
6	0.042	0.019	0.032	0.060 0

从表 3 可以看出,除案例 1 外,按照 *EurOtop* 计算方法得出的平均越浪量结果与物模结果相对而言比较相近,且对小越浪量计算也在一个量级上,较具参考性。

7 结语

1) *EurOtop* 是国外进行海堤设计中常用的计算手册,该手册采用的是波谱参数而不是以统计

的特征波浪要素来进行越浪计算。其计算方法综合考虑了肩台、边坡表层糙率、波浪入射角度及防浪墙的影响给出了越浪量的计算公式,并且还给出了复杂海堤断面上越浪量的计算方法,具有较强的适用性。

2) 在遇到波浪斜向作用或者建筑物设置了消浪平台的情况下,越浪量计算建议采用 *EurOtop* 公式或河海大学陈国平教授提出的计算方法。

3) *EurOtop* 公式相比河海大学陈国平教授提出的计算方法由于多考虑了护面结构的影响,因此相对更全面。

4) 由于海堤越浪现象比较复杂,海堤结构形式多样,现有的平均越浪量计算公式的计算结果的差别也比较大,大家在使用的时候可分别结合文中所列计算方法或者日本的合田良实等其他方法进行对比分析,得出一个较合适的计算结果,并在日后通过具体的模型试验结果进一步论证。

参考文献:

- [1] The EurOtop Team. Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structure : Assessment Manual, 2007[S].
- [2] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [3] 陈国平,周益人,严士常.不规则波作用下海堤越浪量试验研究[J].水运工程,2010(3):1-6.
- [4] 陈国平,王铮,袁文喜,等.不规则波作用下波浪爬高计算方法[J].水运工程,2010(2):23-30.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

天航局中标厦门港嵩屿港区二期工程

5 月 22 日,天航局中标厦门港嵩屿港区二期工程回旋水域工程。

该工程施工内容涉及嵩屿港区南岸线停泊水域、回旋水域和东岸线 5[#]~7[#]泊位回旋水域,疏浚量约 550 万 m^3 ,除礁量 13.5 万 m^3 ,中标额 2 亿元,计划工期为 240 天。该工程礁石所处区域位于白海豚保护区,安全环保标准高,目前天航局正积极开展工前筹备工作,确保施工符合白海豚保护要求。

该工程的实施,将对提高厦门港的运输能力,促进海西经济发展具有积极意义。

(来源:天航局)