



我国规范与美国《海岸工程手册》 风浪后报计算的差异*

何 优¹, 董 胜¹, 陈景然¹, 蔡平想²

(1. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学信息科学与工程学院, 山东青岛 266100)

摘要: 在缺少海洋水文观测资料的情况下, 利用风浪后报推算设计波浪参数是工程上常用的方法。探究了我国现行《海港水文规范》中“深水风浪要素计算图解法”诺谟图存在的缺陷, 并与美国工兵团新版《海岸工程手册》的波浪图解后报方法进行了比较分析, 所得结论对于我国海岸与近海工程的波浪后报计算具有重要参考意义。

关键词: 深水波; 风浪后报; 有效波高; 有效周期; 图解

中图分类号: U 652.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0031-05

Differences of wind wave hindcasting methods between Chinese Code of Hydrology for Sea Harbor and Coastal Engineering Manual by the US

HE You¹, DONG Sheng¹, CHEN Jing-ran¹, CAI Ping-xiang²

(1. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: It is a common method to estimate the design wave parameters by wind wave hindcasting method in the case that there is no observed hydrologic data at engineering site. This paper discusses the defect in the nomogram for calculating deep-sea wind wave factors in *Chinese Code of Hydrology for Sea Harbor*, and analyzes it comparatively with wind wave hindcasting method in a new edition of *Coastal Engineering Manual (CEM)* by U.S. Army Corps of Engineers. The conclusions will be references to hindcast wind wave in higher accuracy for coastal and offshore engineering practice in China.

Key words: deepwater wave; wind wave hindcasting; significant wave height; significant wave period; diagram

随着海洋经济的发展, 海洋的开发活动日益频繁。2011年, 国家批准了山东省蓝色经济国家战略。海浪是海岸与近海工程的主要环境要素, 如何提供海浪的后报计算精度是关键性问题。我国现行的《海港水文规范》(简称“我国规范”)中采用的是图解后报理论, 并给出了计算的诺谟图。目前, 国际上海浪后报往往采用美国工兵团2008版(第2次修订后)《海岸工程手册》(简称“CEM”)提出的方法, 其中“第二部分——沿海流体力学”的“第II-2气象和海浪”部

分, 给出了风浪后报理论及其计算简图^[1]。本文采用Matlab程序, 绘制了我国规范与CEM中的计算图, 发现了我国规范诺谟图的错误, 并对2种计算简图进行了比较分析, 通过算例进行了风浪后报理论的比对。

1 我国规范与CEM的风浪后报计算原理简介

1.1 我国规范法

我国现行《海港水文规范》推荐使用的方法是中国海洋大学(原青岛海洋大学)提出的。深

收稿日期: 2012-07-14

*基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201210423073)

作者简介: 何优(1990—), 男, 本科生, 从事港口、航道与海岸工程研究。

水条件下 ($d/U^2 > 0.2$) 的基本计算公式^[2]如下:

$$\begin{cases} \frac{gH_{1/3}}{U^2} = 5.5 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.35} \\ \frac{gT_s}{U} = 5.5 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.233} \\ \frac{gF_{\min}}{U^2} = 1.2 \times 10^{-2} (gt)^{1.3} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $H_{1/3}$ 为有效波高 (m); T_s 为有效周期 (s); F 为风距 (m); F_{\min} 为最小风距; t 为风时 (s)。对于充分成长状态,有效波高与风速存在关系: $H_{1/3} = 0.0218U^2$ 。规范中给出的深水风浪计算图解^[3]如图1所示。

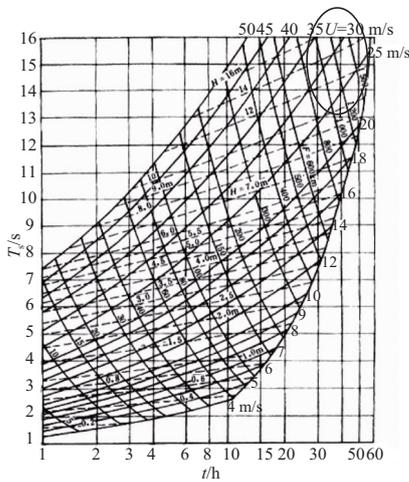


图1 我国规范的深水风浪要素计算诺谟图

根据我国规范的风浪后报的计算理论^[4],采用Matlab程序绘制计算图,如图2所示。与《海港水文规范》中绘制的图1比较,发现图1的右上角区域存在错误(如图被圈出部分)。在本文绘制的修正图中,包络线与风时60 h直线相交,而在我国规范中,右侧包络线上的风时取值都比60 h小。我国规范的风浪后报诺谟图是手工绘制,本文绘制的修正图解是采用MATLAB软件编程绘制的。例如,取 $U = 24$ m/s,按理论公式求得深水充分成长状态波浪的风时 $t = 63.57$ h, $t > 60$ h,对比图1和图2可知,图1的右上角不符合理论计算结果,图2符合。

1.2 CEM法

美国工兵团2008年出版的《海岸工程手册》,即CEM,是目前美国海岸工程防护的规

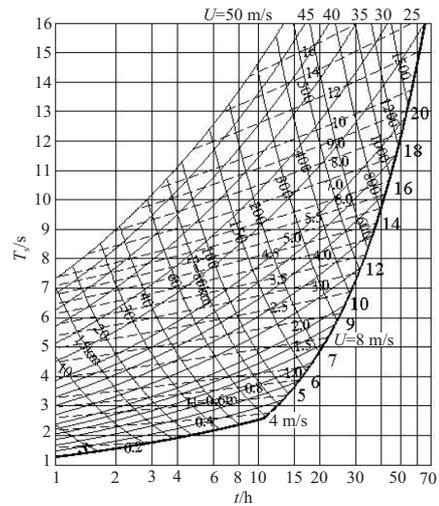


图2 利用Matlab修改后的我国规范风浪计算图解

范。其中“第二部分——沿海流体力学”的“第II-2气象和海浪”部分,给出的图解风浪后报理论基本计算公式如下:

$$\begin{cases} \frac{gH_{m0}}{u_*^2} = 4.13 \times 10^{-2} \left(\frac{gF}{u_*^2}\right)^{1/2} \\ \frac{gT_p}{u_*} = 0.751 \left(\frac{gF}{u_*^2}\right)^{1/3} \\ C_D = \frac{u_*^2}{U_{10}^2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: H_{m0} 为有效波高 (m); T_p 为谱峰周期 (s), U_{10} 为海平面上10 m高处的风速 (m/s)。根据文献[5], T_p 与 T_s 的关系为 $T_s = 0.931T_p$ 。实际计算时,可取 $C_D = 0.001(1.1 + 0.035U_{10})$ 。对于充分成长状态: $\frac{gH_{m0}}{u_*^2} = 2.115 \times 10^2$,且 $\frac{gT_p}{u_*} = 2.398 \times 10^2$;对于过渡状态: $(gF/u_*^2) = 5.23 \times 10^{-3}(gt/u_*^2)^{3/2}$ 。CEM手册中给出的计算图解如图3~6,其中风速 U 即 U_{10} ,是以2.5 m/s为间隔的。

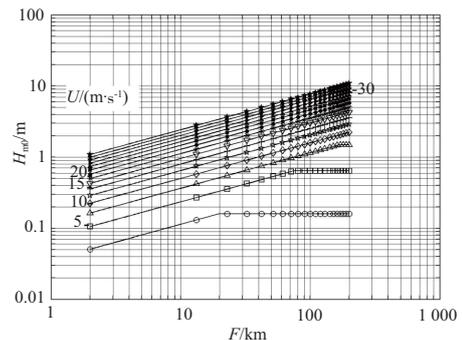


图3 H_{m0} 与 F 关系计算图解

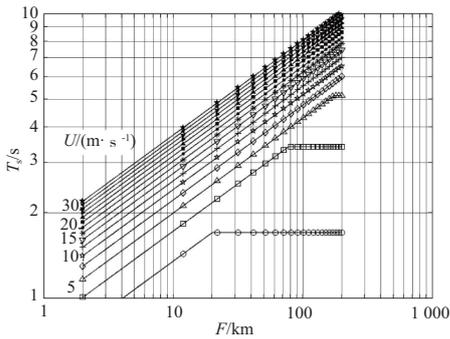


图4 T_s 与 F 关系计算图解

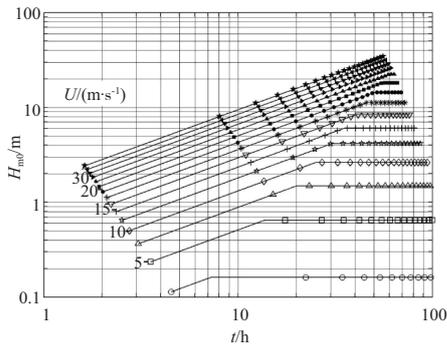


图5 H_{m0} 与 t 关系计算图解

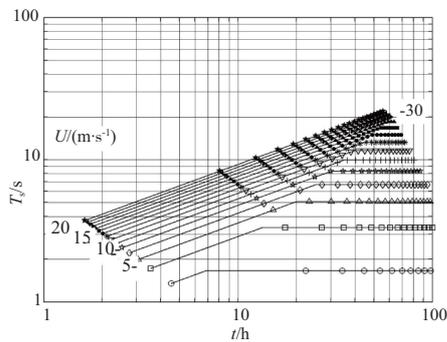


图6 T_s 与 t 关系计算图解

2 我国规范与CEM风浪计算图解法的比较

在风浪后报研究方面, 美国工兵团1975年将Bretschneider风浪后报法纳入海岸防护手册。2008年CEM手册又推荐了新的方法。我国现行《海港水文规范》的图解风浪后报理论与美国CEM手册有何差异? 下面将对两种方法计算图解进行比较和分析。

2.1 两种方法的图解比较

为了方便比较, 下面将相互在对方的坐标系下绘制计算图解, 并进行比较。

2.1.1 美国2008年CEM法所给图解形式的坐标系下的图解比较

如图7~10, 查图方法是根据风距 F (km)或风

时 t (h)可以直接查得 $H_{1/3}$ 和 T_s 值。

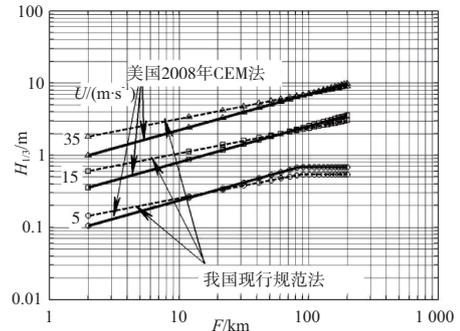


图7 $H_{1/3}$ 与 F 关系计算图解比较

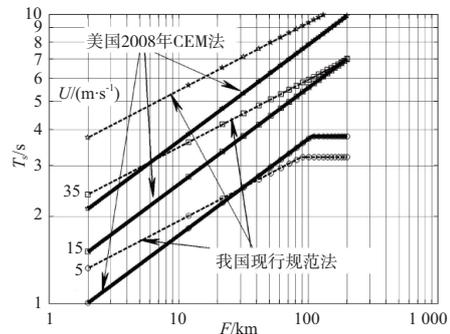


图8 T_s 与 F 关系计算图解比较

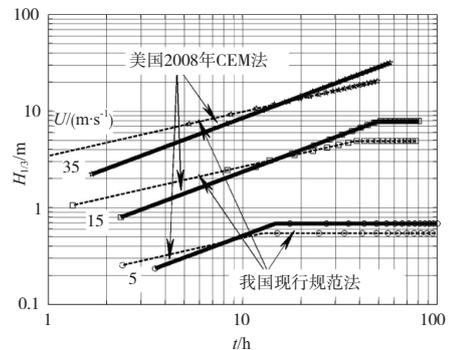


图9 $H_{1/3}$ 与 t 关系计算图解比较

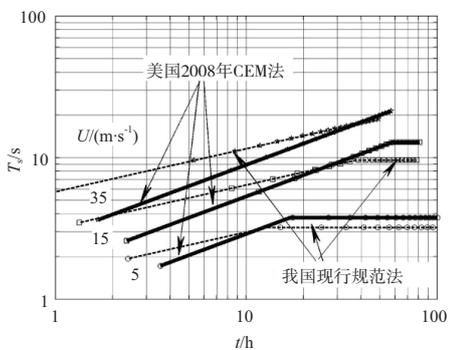


图10 T_s 与 t 关系计算图解比较

2.1.2 在我国规范法所给图解坐标系下绘制CEM法诺谟图

采用Matlab软件, 根据CEM法风浪后报法绘

制的诺谟图如图11所示。

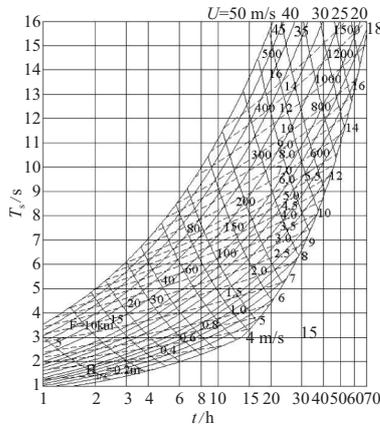


图11 CEM法在我国规范法图解坐标系下的诺谟图

2.2 对两种方法图解比较的分析

由图7~10可以看出，我国规范法与CEM法在4组图解中均呈现出普遍的规律：2种方法的曲线走势一致，但在一定风距 F （对应于深水定常波）或风时 t （对应于深水过渡波）下，我国规范法算得的有效波高 $H_{1/3}$ 和有效周期 T_s 比CEM法算得的结果，先是大于、再趋于相等、后小于；同时，在风距 F 或风时 t 为自变量的坐标系中，有效波高 $H_{1/3}$ 与有效周期 T_s 的图解曲线相比又稍有差别，比如：当我国规范法有效波高 $H_{1/3}$ 大于CEM法时，有效周期 T_s 却未必大。

图2与图11相比，CEM法图解图像整体偏窄。相同风时 t 下所对应的有效波高 H_{m0} 和有效周期 T_s ，当小于某一风速 U 和风距 F 时，比我国规范法的结果小，当大于某一风速 U 和风距 F 时，则比我国规范法的结果大，也正好符合图像明显比我国规范法图解偏窄这一特点。另外，CEM法的包络线与坐标轴交点范围也明显有差异。

3 算例

由于缺乏海上实测风浪资料，下面将选用1980—1981年由超声波测波仪在黄岛地区测得的波浪连续记录，测波点位置如图12所示。按照工程部门有关风浪资料的使用要求，筛选出有效波高在0.7 m以上的浅水区资料共16组。而上文中所提到的我国规范法和CEM法都指的是深水条件下

的风浪计算公式，所以在对这16组浅水观测资料用我国规范法和CEM法计算时须进行浅水修正。

我国规范法浅水修正公式为：当 $d/U^2 \leq 0.2$ 的浅水条件下：

$$\begin{cases} \frac{gH_{1/3}}{U^2} = 5.5 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.35} \tanh \left[30 \times \frac{\left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.8}}{\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.35}} \right] \\ \frac{gT_{1/3}}{U} = 0.55 \left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.233} \tanh^{\frac{2}{3}} \left[30 \times \frac{\left(\frac{gd}{U^2}\right)^{0.8}}{\left(\frac{gF}{U^2}\right)^{0.35}} \right] \\ \frac{gF_{\min}}{U^2} = 0.012 \left(\frac{gt}{U}\right)^{1.3} \tanh^{1.3} (1.4kd) \\ w^2 = gk \tanh(kd) \end{cases} \quad (3)$$

式中： $k=2\pi/L$ 为波数； d 为水深(m)； L 为波长(m)； w 为波浪圆频率(rad/s)，其它符合与上文一致。而对于CEM法，在美国工兵团2008版《海岸工程手册》中规定，深水波浪要素计算公式适用于任何水深条件。从这一点可以看出，我国规范法在浅水条件下的计算结果更准确些。

浅水修正后将我国规范法和CEM法的计算结果与实测值一并列入表1。同时，为了比较直观、方便地分析理论计算结果与观测值之间拟合的好坏，在图13中以序号 (N) 为横轴，分别以风速 U (m/s)、风距 F (km)和有效波高 $H_{1/3}$ (m)为纵轴绘制了比较曲线。

从表1和图13可知，我国规范法和CEM法对于实测资料的有效波高拟合得较好，而这两种方法相比较，则我国规范法的计算结果比CEM法的稍微偏大，且与实测值更接近。



图12 测波点位置

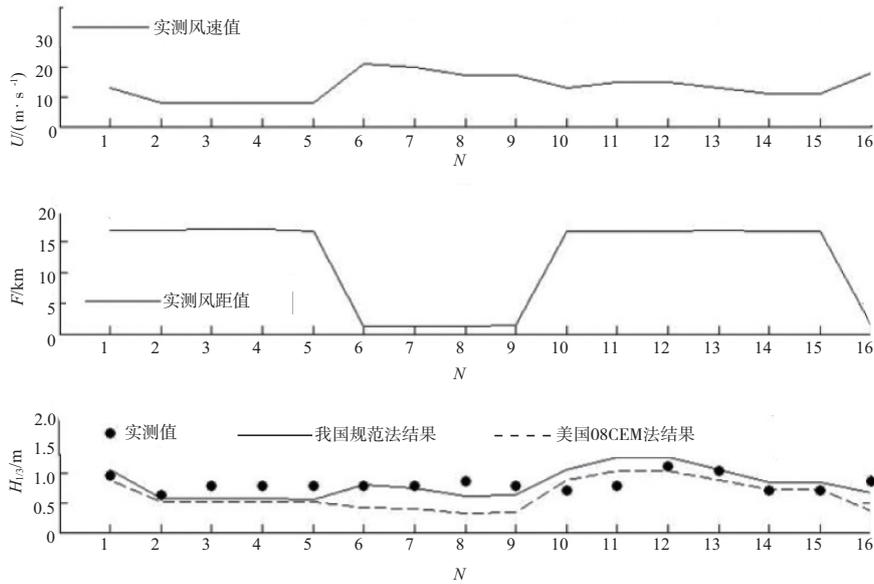


图13 波浪要素实测值、我国规范法和CEM法计算结果的比较

表1 波浪要素实测值、我国规范法和CEM法计算结果的比较

观测时间	水深d/m	风速U/(m·s ⁻¹)	风距F/km	风向	观(实)测值 H _{1/3} /m	理论计算	
						我国现行规范H _{1/3} /m	美国2008版CEM手册H _{1/3} /m
1980-09-04T17:00	21.0	13	16.80	N	0.94	1.05	0.88
1980-10-10T 13:55	20.8	8	16.80	N	0.63	0.56	0.51
1980-10-10T 18:55	23.0	8	17.00	N	0.79	0.56	0.51
1980-10-10T 18:40	22.8	8	17.00	N	0.79	0.56	0.51
1980-10-10T 20:40	21.7	8	16.50	N	0.79	0.56	0.50
1980-10-25T 10:55	19.5	21	1.25	WNW	0.79	0.79	0.42
1980-10-25T 13:10	21.9	20	1.25	WNW	0.79	0.74	0.40
1980-10-25T 18:00	22.8	17	1.25	WNW	0.87	0.60	0.33
1980-10-25T 18:55	23.4	17	1.35	NW	0.79	0.62	0.34
1981-01-14T 21:00	21.5	13	16.50	N	0.71	1.04	0.87
1981-01-14T 22:00	22.1	15	16.50	N	0.79	1.25	1.02
1981-01-14T 23:00	22.4	15	16.50	N	1.10	1.26	1.02
1981-01-15T 02:00	21.2	13	16.80	N	1.02	1.05	0.88
1981-01-15T 10:55	22.2	11	16.50	N	0.71	0.84	0.72
1981-01-15T 11:05	22.3	11	16.50	N	0.71	0.84	0.72
1981-01-15T 14:00	20.4	18	1.35	NW	0.87	0.67	0.36

4 结论

通过将我国规范法与CEM法理论图解的比较和分析,不但发现了我国规范法中风浪计算诺谟图的错误,也看到了我国规范法与CEM法的相似处与不同点。通过算例,从行业规范上初步了解了我国与美国图解风浪后报理论的差别,在实际工程应用中具有重要的指导意义。

参考文献:

[1] US Army Corps of Engineers. Coastal Engineering

Manual (CEM) [M]. Washington, D.C: U.S. Army Corps of Engineers, 2002.

[2] 邱大洪. 工程水文学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
 [3] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
 [4] 董胜, 郑天立, 张华昌. 海岸防灾工程[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2011.
 [5] 俞聿修, 柳淑学. 随机海浪及其工程应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2011.