



# 历史台风天气图法推算海岸工程设计波要素\*

李为华<sup>1</sup>, 付桂<sup>2</sup>, 杨春平<sup>3</sup>

(1.上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201; 2.交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003;

3.中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 对于海岸工程设计波要素可以应用多种方法进行推算, 最理想的还是要依据所能取得的资料来选择合适的方法。采用历史台风天气图法推算海岸工程设计波要素, 以如东人工岛设计波要素推算为例, 利用该方法推求不同重现期设计波要素。结果表明, 在缺少长期实测风数据的情况下, 选择历史台风天气图推算法能推算工程区设计波要素, 从而为工程提供设计依据。

**关键词:** 海岸工程; 设计波要素; 历史台风天气图; 如东人工岛

中图分类号: P 753

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)07-0036-07

## Prediction of design wave elements of coastal engineering by history typhoon weather charts method

LI Wei-hua<sup>1</sup>, FU Gui<sup>2</sup>, YANG Chun-ping<sup>3</sup>

(1. Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai, 201201, China;

2. Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200003, China)

3. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** There are many methods calculating design wave elements of coastal engineering. Of course, the best way is based on the datum collected to find the right approach. This paper presents the method of typhoon weather charts of history to calculate design wave elements of coastal engineering, which is based on an example of the design wave elements' prediction of Rudong artificial island. The results show that in a lack of long-term real-measured wind data, we can use the typhoon weather history charts method to calculate the design wave elements to provide the design basis for the engineering.

**Key words:** coastal engineering; design wave elements; typhoon weather charts of history; Rudong artificial island

波浪是主要海洋动力因素, 也是海岸工程建筑物的主要作用力。海岸、海洋工程建筑物的规划、设计、施工和管理都需要推算工程区域多年一遇设计波浪要素。该参数若偏大, 会大大提高工程的造价, 反之, 会降低工程的安全系数, 在恶劣海况下容易毁于一旦, 造成生命财产的重大损失。因

此, 设计波浪参数准确与否, 关系到工程的成败。在缺少长期实测风数据的前提下, 如何推算海岸工程设计波要素是本文研究的主要目的。

### 1 研究方法

资料选取和估算方法是估算设计波浪的关

收稿日期: 2011-12-20

\*基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50939003), 国家自然科学基金面上项目(50979053), 国家重点基础研究发展计划项目(973项目, 2010CB429002), 新加坡金鹰国际集团(RGMI)项目

作者简介: 李为华(1982—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事港口、航道及海岸工程研究。

键。根据前人的相关经验,海岸工程设计波要素推算方法大致有相关分析法<sup>[1-2]</sup>、经验公式法<sup>[3]</sup>及数学模型计算<sup>[4-8]</sup>等方法。本文利用历史台风天气图推算法推算海岸工程设计波要素,具体方法为:利用历史天气图,摘取20 a以上的台风资料,利用MIKE 21 SW模型推算出台风期最大波高序列,采用极值分析的方法<sup>[9]</sup>推求不同重现期的设计波浪要素。本文主要以如东人工岛工程设计波要素推算为例,应用上述方法进行计算,解决缺少长期实测风数据情况下海岸工程地区设计波要素的推算问题。

## 2 工程设计波要素推算

如东人工岛工程位于江苏省如东县海滨,所在海域属于苏北辐射沙洲群。拟建人工岛位于烂沙洋水道两端南侧的西太阳沙中部的浅滩上,其北侧深水区为拟建码头工程。工程区所在的岸滩平坦宽阔,其中滩面的平均坡度1:2 000,多年以来滩槽地形一直基本稳定,具备建设人工岛的条件(图1)。工程区西距小洋港约30 km,东南距吕四港约50 km,西南距如东县城约32 km。工程区水域潮型属于规则的半日潮,最大潮差8.08 m,最小潮差1.79 m。该海区为不规则的半日潮流海区,涨落潮流速和历时均不相同,落潮流速大于涨潮流速,落潮历时大于涨潮历时。同时,本

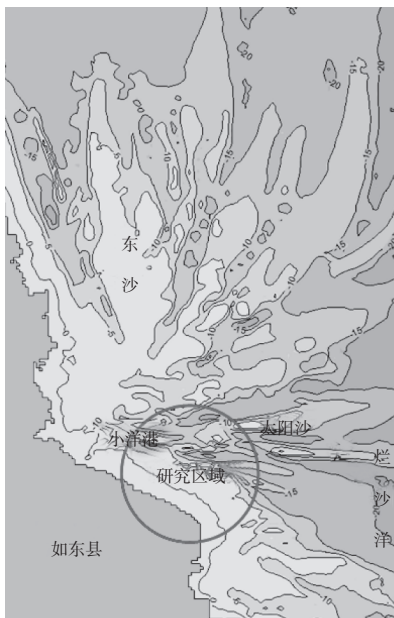


图1 苏北辐射沙洲

海区为强潮区,实测最大流速为落潮流,流速可达1.95 m/s。该区常风向为SE向,次常风向为NE向,强风向为NW向。该海域常浪向为N向,次常浪向为NNW向,强浪向为NE,次强浪向为E和ENE。

人工岛工程建设在西太阳沙中部(图2),直接受波浪、潮流的袭击,因此需要进行工程区设计波要素的计算和研究。

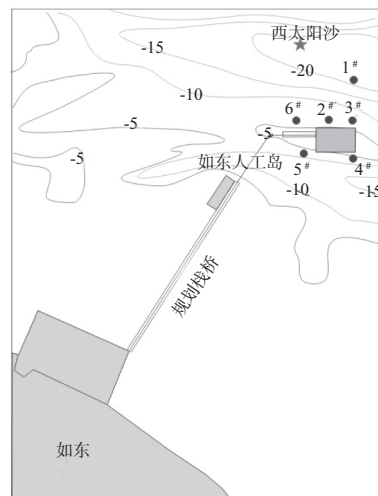


图2 拟建人工岛及其附近波浪采样点位置

由于如东县西太阳沙人工岛附近只有完整1 a(1996-10—1997-10)现场波浪观测资料,不足以可靠推算重现期波浪要素,波浪计算只能采用风场资料间接推算的方法。而西太阳沙人工岛附近又缺少长期的风况观测资料。为此,风浪计算的风场资料只能通过采用历史台风天气图方法解决,即摘取20 a以上的台风资料,利用风场及气压场模型确定风场。最终利用这种方法获得的风场数据推算人工岛设计波要素。

### 2.1 技术路线

#### 1) 历史台风天气图的选择。

由于缺乏实测大范围风场数据,从如东气象台收集了1950—2003年共53 a间影响该海区台风的历史天气图,它们包括各个台风的路径图,台风临近该海区时每隔6 h的中心气压、台风中心附近最大风速半径处的最大风速和等气压线的分布。对历史台风天气图进行筛选,最终选择路由该区域21场极端台风作为计算台风(表1)。

表1 计算台风选择

台风编号	台风名称	起始时间(UTC+8)	结束时间(UTC+8)
1951-07	Marge	1951-08-17T2:00	1951-08-24T8:00
1956-06	Wanda	1956-07-30T20:00	1956-08-03T8:00
1959-05	Billie	1959-07-01T2:00	1959-07-18T8:00
1960-06	Polly	1960-07-21T20:00	1960-07-29T14:00
1962-08	Nora	1962-07-30T20:00	1962-08-03T20:00
1964-09	Flossie	1964-07-26T8:00	1964-07-29T20:00
1973-04	Billie	1973-07-16T2:00	1973-07-20T14:00
1977-10	Babe	1977-09-08T20:00	1977-09-12T2:00
1979-13	Judy	1979-08-20T20:00	1979-08-26T20:00
1981-18	Agnes	1981-08-29T14:00	1981-09-04T8:00
1984-07	Ed	1984-07-25T14:00	1984-08-02T14:00
1985-10	Mamie	1985-08-15T14:00	1985-08-20T8:00
1989-13	Ken-Lola	1989-07-29T14:00	1989-08-05T20:00
1990-15	Abe	1990-08-28T14:00	1990-09-02T14:00
1992-19	Ted	1992-09-22T2:00	1992-09-25T2:00
1994-17	Doug	1994-08-07T8:00	1994-08-13T14:00
1994-18	Ellie	1994-08-09T14:00	1994-08-16T20:00
1997-14	Winnie	1997-08-15T2:00	1997-08-21T14:00
1999-23	Ann	1999-09-15T8:00	1999-09-20T14:00
2000-20	Prapiroon	2000-08-28T8:00	2000-09-01T14:00
2002-09	Rammasun	2002-07-02T20:00	2002-07-06T14:00

## 2) 风场及气压场计算。

海面的风场是海浪数值计算的重要组成部分,选择科学合理的风场计算模式<sup>[10-12]</sup>十分重要。本文计算中以梯度风模式为主并采用《海港水文规范》等对气压类型、大气稳定度、近海面垫层摩阻等的相关修正规定,先计算出梯度风,再换算海面上10 m高程处的风速风向值。

利用上述方法计算21场台风风场,依据气象台提供的地面天气图和各地面测站的实测气压、风速风向值,进行风场修正,最终获得21场极端台风的气压场及速度场。

## 3) 波浪场计算模型<sup>[13]</sup>。

近几年来,国内外关于波浪传播变形的数学模型及其计算模式发展较快,其中商业化的波浪数学模型软件以界面友好、操作方便等优点越来

越广泛地被应用到实际工程设计中。MIKE 21由丹麦水力研究所(DHI Water & Environment)研发,是在近20 a来世界范围内大量工程应用经验的基础上持续发展起来的。MIKE 21系列中的波浪模块自从发布以来在国际上得到了广泛的应用,其中包括MIKE 21 NSW(Nearshore Spectral Wind-wave Model,近岸风浪谱模型)、MIKE 21 SW(Spectral Wave FM Model,有限三角网格模型)、MIKE 21 BW(Boussinesq Wave Model, Boussinesq方程模型)、MIKE 21 PMS(Parabolic Mild Slope Wave model,抛物线型缓坡方程模型)和MIKE 21 EMS(Elliptic Mild Slope Wave Model,椭圆型缓坡方程模型)5个模块。MIKE 21的5个波浪模型在实施预报时对波浪的能量输入、能量耗散、折射、绕射及反射等处理各有侧重。这几个波浪模块的差异性及各自的适用性见表2。

苏北辐射沙洲滩槽相间,水下地形变化较为剧烈,波浪自深水进入浅水的过程中由于受到辐射沙洲复杂水下地形的影响,发生了明显的折射绕射变形,另外波浪经过人工岛岛壁的反射、绕射及水下地形引起的折射综合作用,在岛壁前发生复杂的波-波干涉作用。根据方案比选,模型需要综合考虑波浪折射、绕射、反射、浅水变形、底摩阻及风能输入在内的模型,最终选择MIKE 21 SW模型作为波浪场计算模型。

MIKE 21 SW基于波作用守恒方程<sup>[14]</sup>,采用波作用密度谱 $N(\sigma, \theta)$ 来描述波浪。模型的自变量为相对波频率 $\sigma$ 和波向 $\theta$ 。波作用密度与波能谱密度 $E(\sigma, \theta)$ 的关系为:

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma \quad (1)$$

式中: $\sigma$ 为相对频率; $\theta$ 为波向。

在笛卡尔坐标系下,MIKE 21 SW的控制方程,即波作用守恒方程可以表示为:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{v}$ 指波群速度, $\mathbf{v}=(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ ;  $c_x, c_y$ 分别表示波作用在地理空间 $(x, y)$ 中传播时的变化; $c_\sigma$ 表示由于水深和水流变化造成的相对频率的变化; $c_\theta$ 表示由水深和水流引起的折射; $S$ 指能量平衡方程中以谱密度表示的源函数。

表2 MIKE21 波浪模块的差异性及各自适用性

物理过程	MIKE 21 SW	MIKE 21 NSW	MIKE 21 PMS	MIKE 21 EMS	MIKE 21 BW
折射	X	X	X	X	X
浅水变形	X	X	X	X	X
绕射	(X)		(X)	X	X
反射	X		(X)	X	X
风	X	X			
底摩擦	X	X	X	X	X
破碎(水深减小)	X	X	X	X	X
白帽耗散	X	(X)			
四相波相互作用	X				(X)
三相波相互作用	(X)				X
波阻					(X)
不规则波	X	(X)	X		X
定向波	X	X	X		X
水深变化	X	X	X		X
水流影响	X	X			X

注: X表示整体包括, (X)表示有些功能部分包括, 其余为不包括。

#### 4) 计算原则及方法。

利用MIKE 21 HD&SW模型建立东中国海水动力学模型及波浪模型。计算域采用不规则三角形网格剖分计算域, 深海最大三角形网格边长为15 km, 近海网格边长约1 km, 重点对工程区进行局部加密, 最小网格边长300 m (图3)。波浪模型计算采用大小网格嵌套的方法, 利用大网格计算各种工况条件下的大区域波浪场, 为小区域模型 (图3c) 提供边界条件。

模型验证采用1997年8月台风Winnie过境期间西太阳沙的实测资料(1997-08-17T0:00—08-21T0:00水位、波浪过程)对模型进行了潮位、波浪过程的验证。潮位、波浪验证结果见图4。模型验证均符合波浪模型规范的规定和要求。最终利用率定好的水动力及波浪参数进行方案计算。

#### 5) Winnie台风浪推算实例。

本文以上述的Winnie台风过程推算为例, 推算工程区采样点波高、波周期最大值及其对应的

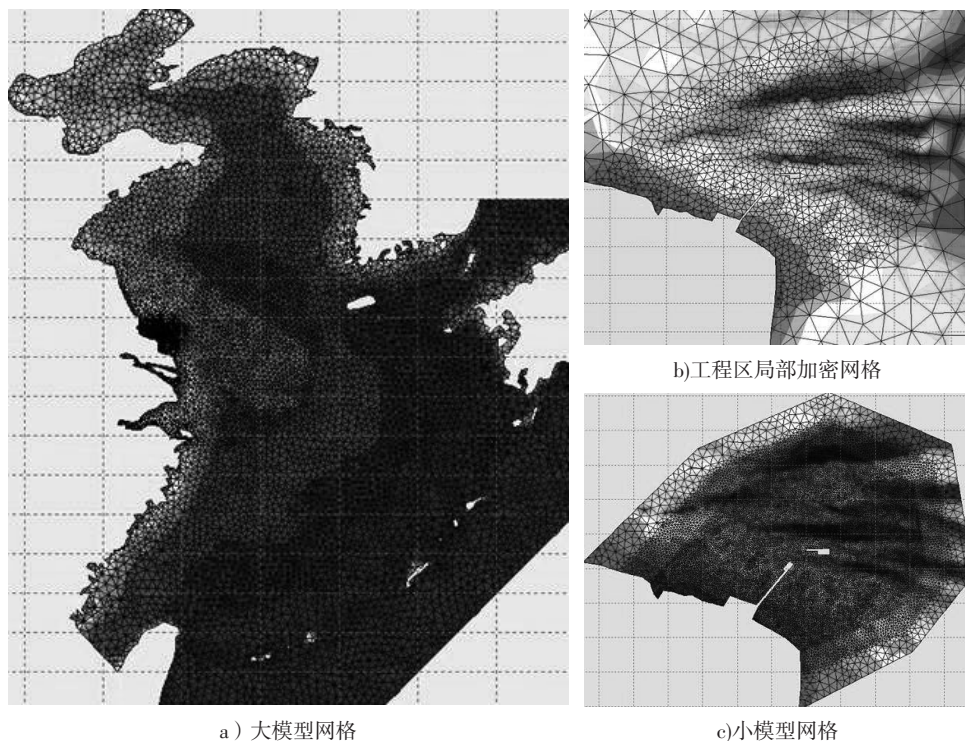
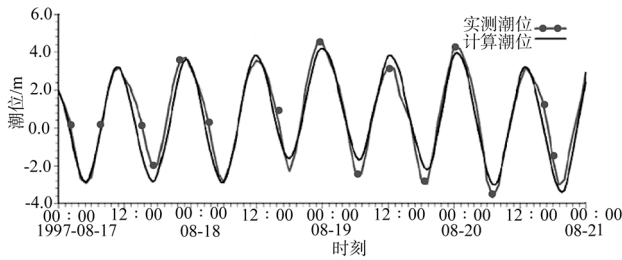
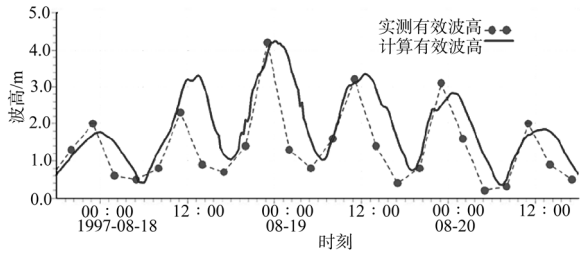


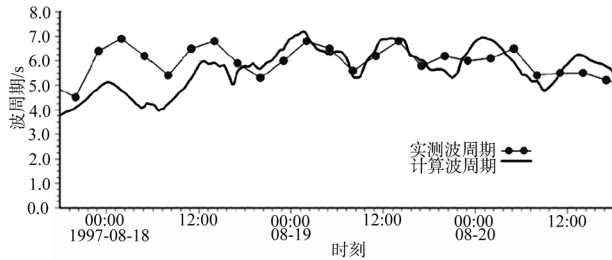
图3 计算网格



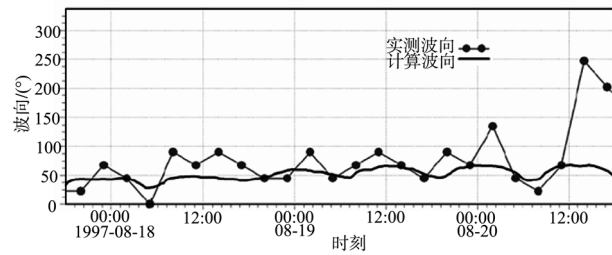
a) 潮位验证



b) 波高验证



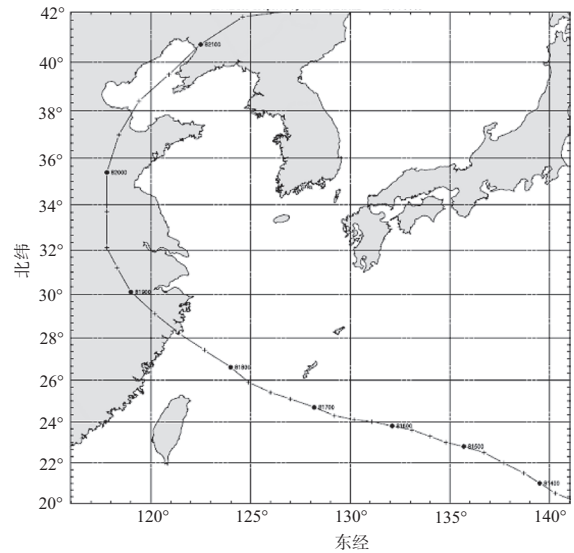
c) 波周期验证



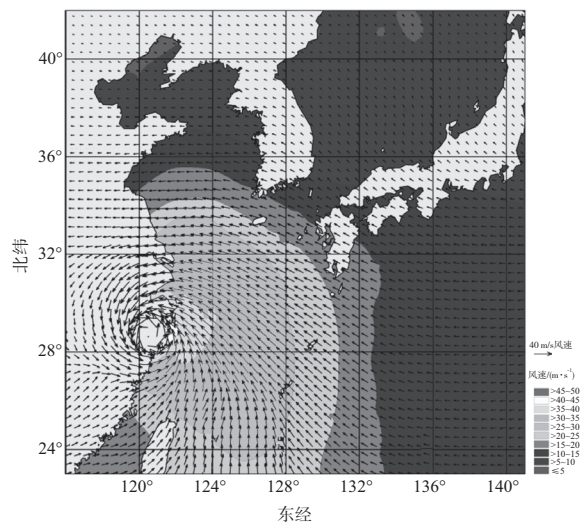
d) 波向验证

图4 西太阳沙潮位、波浪验证

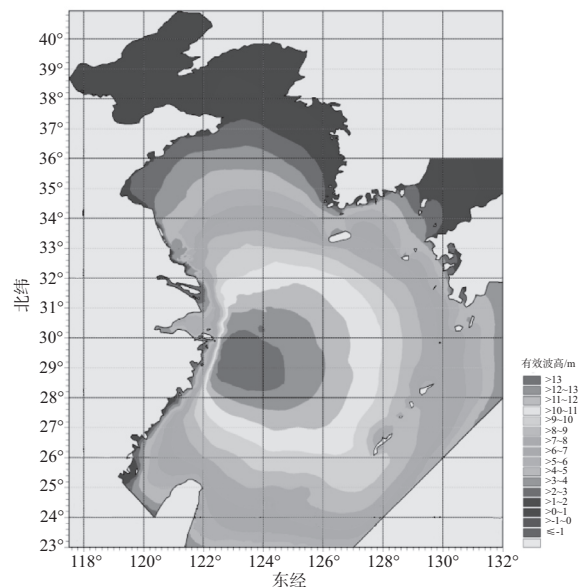
波向。首先利用Winnie台风地面天气图得到台风的路径图(图5a))、台风每隔6 h的中心气压、台风中心附近最大风速半径处的最大风速和等气压线的分布数据。其次利用风场计算模型计算得到整个计算区域的台风风场,最后依据气象台提供的地面天气图和各地面测站的实测气压、风速风向值,进行风场修正,最终获得Winnie台风的气压场及速度场(图5b))。最后在MIKE21 HD&SW波浪模型中,输入Winnie台风风场,利用率定好的水动力及波浪参数,计算得到Winnie台风的波浪场(图5c),图5d)。最终从生成的波浪场数据中提取工程区采样点波高、波周期最大值及其对应的波向(表3)。



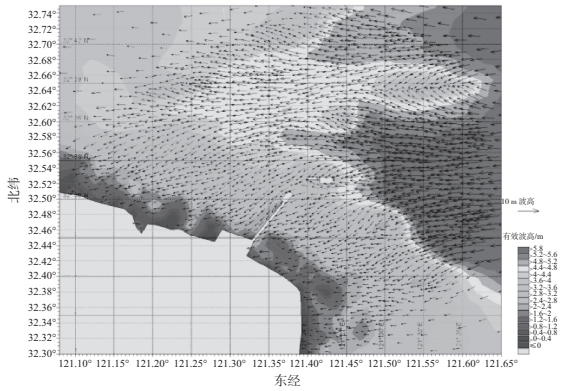
a) Winnie台风路径



b) Winnie台风速度场



c) Winnie台风波浪场



d) 工程区附近Winnie台风波浪场

图5 Winnie台风风场及波浪场

表3 工程区采样点极值波浪 (Winnie台风)

采样点	$H_s$ 最大值 /m	$T/s$	波向角/(°)
1#	4.88	7.14	85
2#	3.70	6.22	58
3#	4.22	6.64	68
4#	3.56	6.10	106
5#	3.72	6.24	90
6#	4.25	6.67	74

2.2 计算结果

采取同样的方法即利用率定好的水动力及波浪参数, 输入21场极端台风地面天气图海面风场, 利用MIKE21 HD&SW模型计算最终得到21组台风所形成的实际水位场、潮流场及波浪场。

计算结果表明, 波浪自深水进入浅水的过程中由于受到辐射沙洲复杂水下地形的影响, 发生了明显的折射绕射变形, 部分区域的波向与原入射波向差别很大, 所以进一步说明在该地区不考虑波浪的折绕射影响是不合适的, 波向在传播过程中的变化顺应水下地形的变化趋势, 波高在空间上的分布变化较大, 总的来说波动能量向浅水区域集中, 由于沿程风能的继续输入, 浅水水域的波高也有所增加, 但当潮位较低时, 浅水区的波高受到水深的限制。

统计上述波浪场工程区采样点历年最大波高序列及其对应的波周期, 采用极值分析的方法推求工程区各采样点的设计波要素, 从而为工程提供设计依据。目前, 许多分布函数用来预测极值事件发生的概率, 如对数正态分布、Gumbel分布、指数分布、Weibull分布、皮尔逊Ⅲ型曲线、对数皮尔逊Ⅲ型曲线等。利用Gumbel分布、Weibull分布、指数分布方法分别估算, 研究结果表明, Gumbel方法拟合的理论频率曲线与计算数据点的拟合较Weibull分布及指数分布方法好(图6)。Gumbel方法估算的结果可用于工程区域设计波要素推算。本文仅列出工程区采样点50 a一遇的设计波要素(表4)。

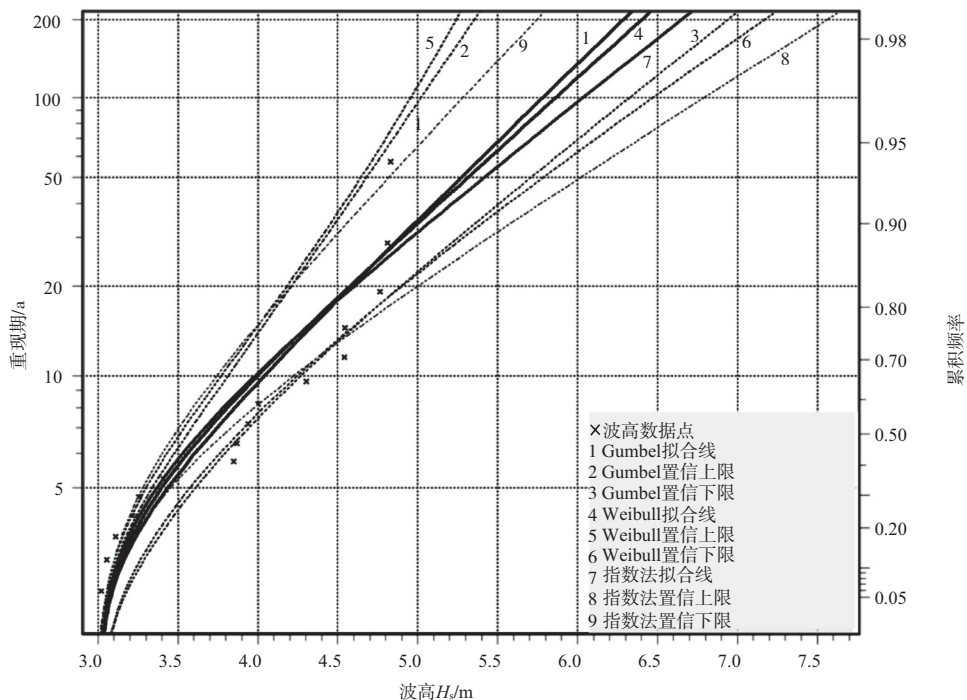


图6 计算数据点分布与Gumbel, Weibull, 指数法理论频率曲线拟合比较

表4 工程区采样点设计波要素 (50 a一遇)

采样点	$H/m$	$T/s$
1#	5.7	7.9
2#	4.7	7.1
3#	5.3	7.6
4#	3.8	6.5
5#	3.8	5.2
6#	4.4	6.9

### 3 结论

对于海岸工程设计波要素可以应用多种方法进行推算,最理想的还是要依据所能取得的资料来选择合适的方法。本文主要通过历史台风天气图推算设计波要素:利用历史天气图,摘取20a以上的台风资料,利用MIKE 21 SW模型推算出台风期最大波高序列,最后应用极值统计方法确定近海结构物设计波浪。结果表明:在进行海岸工程结构物设计波要素计算时,当缺少海岸工程长期实测风数据时,只要有历史天气图,摘取连续20 a以上的台风资料,利用历史台风天气图方法推算工程区设计波要素,能够满足工程设计安全需要。

### 参考文献:

[1] 滕学春,吴秀杰. 北部湾年极值波浪与设计波浪估算的研究[J]. 黄渤海海洋, 1998, 10(1): 27-35.

[2] 滕学春,吴秀杰. 莱州湾口设计波要素估算方法的研究[J]. 海洋通报, 1992, 11(2): 58-63.

[3] 张赛生. 长江口地区设计波浪要素推算方法探讨[J]. 上海水务, 2006, 22(1):1-3.

[4] 王中起,刘针. 秦皇岛港山海关港区3.5万吨级通用泊位续建工程设计波要素分析[J]. 港工技术, 2008(3): 1-3.

[5] 司广成,周良明,朱庆林,等. 利用波浪折绕射模型和风浪成长公式计算临港重现期波要素[J]. 海洋湖沼通报, 2007(S1): 15-22.

[6] 秦世杰,隋建国. 烟台雨岱山渔人码头工程潮位和波浪分析计算[J]. 海岸工程, 2007, 26(4): 11-17.

[7] 冯卫兵,洪广文. 水流中波浪绕射折射数值计算与分析[J]. 海洋工程, 2000, 18(4): 13-20.

[8] 潘锦嫦,孙大鹏. 无实测资料情况下台风设计风速和设计波浪的估算[J]. 海岸工程, 1993, 12(4): 10-18.

[9] 蔡瑜瑄. 海洋工程设计波要素推算方法的应用[J]. 海洋信息, 1993(11): 17-18.

[10] 严恺. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2002: 116-126.

[11] 邱大洪. 工程水文学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 148-174.

[12] 关孟儒. 台风浪计算中海上气压场、风场的普遍性数值模式[J]. 重庆交通学院学报, 1984(4): 10-16.

[13] Morten Rughjerg. Modelling Study for Rudong LNG Facility-Design Wave Study[R]. 上海: 丹华水利环境技术(上海)有限公司, 2005.

[14] DHI. Mike 21 spectral wave module scientific documentation[R].Denmark: DHI Group, 2009.

(本文编辑 武亚庆)

