

JTJ

中华人民共和国行业标准

JTJ/T 277-2006

水运工程波浪观测和分析技术规程

Technical Regulations on Wave Observation and
Analysis in Port and Waterway Engineering

2006-12-20 发布

2007-05-01 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

水运工程波浪观测和分析技术规程

JTJ/T 277—2006

主编单位：南京水利科学研究院

批准部门：中华人民共和国交通部

施行日期：2007 年 5 月 1 日

人民交通出版社

2006·北京

关于发布《水运工程波浪观测和分析技术规程》(JTJ/T 277—2006)的通知

交水发[2006]723号

各省、自治区、直辖市交通厅(委),上海市港口管理局,长江、珠江航务管理局,长江口航道管理局,有关企事业单位:

由我部组织南京水利科学研究院等单位制定完成的《水运工程波浪观测和分析技术规程》,业经审查通过,已被批准为推荐性行业标准,编号为(JTJ/T 277—2006),自2007年5月1日起施行。

本规范由我部水运司负责管理和解释,由人民交通出版社发行。

中华人民共和国交通部
二〇〇六年十二月二十日

制定说明

本规程是在总结国内外水运工程波浪观测经验和分析技术的基础上,通过调查研究,借鉴相关标准,广泛征求意见编制而成。本规程主要包括观测站点布设、观测仪器、数据采集、波浪记录处理和观测资料综合分析等技术内容。

几十年来,现行国家标准《海滨观测规范》(GB/T 14914)和《海洋调查规范 海洋水文观测》(GB 12763.2)对水运工程波浪观测起到了积极作用。随着水运工程建设事业的发展,为进一步总结我国水运工程现场波浪观测的经验,提高波浪观测及分析技术水平,交通部水运司组织南京水利科学研究院等单位制定《水运工程波浪观测和分析技术规程》。

本规程主编单位为南京水利科学研究院,参加单位为大连理工大学、中国科学院南海海洋研究所和国家海洋局第三海洋研究所。

本规程共分 8 章和 5 个附录,并附条文说明。本规程编写人员分工如下:

- 1 总则:左其华 陈国平
 - 2 术语:左其华 黄海龙
 - 3 基本规定:左其华 陈国平 周益人
 - 4 观测站点布设:陈国平 王登婷 张金善
 - 5 观测仪器:朱良生 孙 瀛 蔡守允 王登婷
 - 6 数据采集:王红川 朱良生 孙 瀛 潘军宁
 - 7 波浪记录处理:俞聿修
 - 8 观测资料综合分析:潘军宁 王红川 左其华
- 附录 A ~ 附录 D:俞聿修

附录 E:王红川

附加说明:王红川

本规程于 2006 年 10 月 20 日通过部审,于 2006 年 12 月 20 日发布,自 2007 年 5 月 1 日起实施。

本规程由交通部水运司负责管理和解释。请各有关单位在使用过程中,将发现的问题和意见及时函告交通部水运司(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通部水运司工程技术处,邮政编码:100736)和本规程管理组(地址:南京市广州路 223 号,南京水利科学研究院,邮政编码:210029),以便修订时参考。

目 次

1 总则	(1)
2 术语	(2)
3 基本规定	(3)
4 观测站点布设	(5)
4.1 观测站组成	(5)
4.2 观测基站	(5)
4.3 波浪观测点	(5)
5 观测仪器	(6)
5.1 一般规定	(6)
5.2 观测仪器选型	(6)
5.3 观测仪器安装和调试	(7)
6 数据采集	(9)
7 波浪记录处理	(10)
7.1 一般规定	(10)
7.2 波浪要素分析	(10)
7.3 波浪频率谱分析	(12)
7.4 波浪方向谱分析	(12)
7.5 资料整理	(13)
8 观测资料综合分析	(14)
8.1 一般规定	(14)
8.2 波浪特征综合分析	(14)
8.3 特征波浪谱综合分析	(15)
8.4 观测资料综合分析报告	(16)
附录 A 随机数据时间序列的谱分析	(18)

附录 B	贝叶斯法分析波浪方向谱	(21)
附录 C	随机数据时间序列的互谱分析	(24)
附录 D	波浪观测月报表	(26)
附录 E	本规程用词用语说明	(28)
附加说明	本规程主编单位、参加单位、主要起草人、 总校人员和管理组人员名单	(29)
附 条文说明		(31)

1 总 则

1.0.1 为统一水运工程波浪观测和分析的要求,提高观测成果的可靠性,为水运工程建设提供科学数据,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于海岸、近海和内陆等水域波浪的观测和分析。

1.0.3 水运工程的波浪观测和分析除应符合本规程的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 波向

波浪传来的方向。

2.0.2 波高

波面上相邻两个下跨或上跨零点间波谷底至波峰顶之间的垂直距离。

2.0.3 波周期

波面上相邻两个下跨或上跨零点间的时间间隔。

2.0.4 波浪要素

表征一定水域和特定时段波浪状况的变量,如波向、波高、波周期和波长等。

2.0.5 波群

波列中大于某一波高的若干个连续出现的波浪。

2.0.6 连长

波群内的波浪个数。

2.0.7 频率谱

波浪能量随频率变化的分布。

2.0.8 方向分布函数

波浪能量沿方向分布的函数。

2.0.9 方向谱

波浪能量随频率和方向变化的分布。

2.0.10 波动参数

描述波浪运动的参数,如波面、水质点速度、水质点加速度和波动压力等。

3 基本规定

3.0.1 波浪观测应确保对大浪的观测。波浪观测资料应反映水运工程所在水域波浪的基本特征和变化。

3.0.2 波浪观测仪器和观测方法应合适、可靠。波浪观测资料应具有完整性和连续性。

3.0.3 波浪观测应包括波高、波周期和波向的观测,宜同时观测风和水位,必要时应进行水流观测。

3.0.4 波浪观测点的布设和观测仪器的选型应根据工程的需要和工程所在水域的环境确定。

3.0.5 波浪观测前应编制观测大纲,观测大纲应包括下列内容:

- (1)观测项目概况、观测目的、内容和要求;
- (2)采用的技术标准;
- (3)观测仪器和观测方法;
- (4)数据采集和处理方法;
- (5)实施方案;
- (6)预期成果;
- (7)质量保证体系。

3.0.6 波浪观测实施时应建立波浪观测工作大事记,并应记入观测实施期间的仪器安装、调试,观测设备异常、观测站点位置变更及灾害天气过程等情况。

3.0.7 波浪观测期间应观察工程所在水域的环境变化,并应分析其对观测结果的影响。

3.0.8 波浪观测工作结束后应编写波浪观测报告。

3.0.9 根据工程建设项目的要求应对波浪观测资料进行综合分析,并应编写综合分析报告。

3.0.10 波浪观测期间有关风、水位、水流等的观测和分析应符合国家现行有关标准的规定。

4 观测站点布设

4.1 观测站组成

4.1.1 观测站宜包括观测基站和波浪观测点、潮位观测点、风观测点,必要时应包括水流观测点。

4.2 观测基站

4.2.1 观测基站宜布设在视野开阔,易于观测测波点的岸边。

4.2.2 观测基站应布设在测波信号易接收处,并应避开强磁场和电讯信号的干扰。

4.3 波浪观测点

4.3.1 波浪观测点布设应保证对工程有重要影响波向的大浪观测。

4.3.2 水下的波浪观测点应布设在底床较为平坦、冲淤相对较小的水域。

4.3.3 浮式测波仪的观测点应便于锚系的投放及固定,水域的最大水流速度宜小于 2m/s ,最小水深宜大于 5m 。

4.3.4 声学测波仪可安装在固定结构物上,并应考虑结构物对波浪反射的不利影响。

4.3.5 测波杆或测波线可安装在固定结构物上,必要时应根据水位变化及时调整测波杆或测波线的位置。

4.3.6 当结构物对波浪有反射影响时,宜考虑增设波浪观测点。

5 观测仪器

5.1 一般规定

5.1.1 观测仪器的量测范围应根据工程需要和观测点的波浪尺度确定。

5.1.2 观测仪器量测波高、波周期、波向的允许偏差应符合表 5.1.2 的规定。

仪器量测允许偏差

表 5.1.2

量 测 项 目		允许偏差
波高 $H(\text{m})$	$H \leq 1.0$	± 0.1
	$H > 1.0$	$\pm 10\%$ 量测值
波周期 $T(\text{s})$		± 0.5
波向 $\theta(^{\circ})$		± 5

5.1.3 观测仪器的安装应按各仪器的使用要求进行。

5.1.4 波浪观测期间应及时维护和检查观测仪器。

5.2 观测仪器选型

5.2.1 波浪观测应采用性能可靠的观测仪器,可选用浮式、声学式、压力式观测仪器和测波杆或测波线。采用新型的波浪观测仪器时,其性能应能满足水运工程的需要。

5.2.2 同一水域同时多点观测波浪时,宜采用相同类型的观测仪器。选用不同类型的观测仪器时,应对比分析不同类型仪器量测精度和结果的一致性。

5.2.3 方向谱的波浪观测宜选用能得到方向谱的观测仪器或选用由其他波浪观测仪器组成的阵列式观测系统。

5.2.4 传感器入水深度大于工程要求量测的最小波周期对应波长的 $1/3$ 时,不宜采用压力式观测仪器。

5.2.5 采用水上声学测波仪时,应考虑破波和雨水对量测精度的影响。

5.2.6 测波杆和测波线宜用于湖泊、水库等水域的波浪观测;有安装条件时也可用于海域的波浪观测。

5.3 观测仪器安装和调试

5.3.1 浮式观测仪器安装和调试应符合下列规定。

5.3.1.1 锚碇系统应根据观测仪器使用要求,结合观测点水深、水流最大流速和水底底质条件配置,并能承受恶劣条件下浪、流的冲击。

5.3.1.2 浮标投放前,应对传感器等设备的性能进行调试,通过模拟传感器在波浪中的运动,分析量测结果与模拟结果吻合程度。

5.3.1.3 仪器处理系统应使用已有的观测资料进行检验。

5.3.1.4 浮标和锚系投放应满足下列要求:

(1)浮标投放前,检查浮筒和锚碇系统的完整性、部件联接的正确性和牢固性;

(2)在流速小和波况较平静时投放浮标;

(3)浮标投放后及时准确定位并量测观测点水深;

(4)投放浮标和锚碇系统至少 2 h 后开始正式观测。

5.3.2 声学观测仪器安装应符合下列规定。

5.3.2.1 传感器的安装应牢固可靠。

5.3.2.2 传感器的安装应与结构物边缘保持一定距离,传感器发射波束的覆盖范围内必须无任何障碍物。

5.3.2.3 通信设备天线应安装在结构物最高处,必要时应设置中转站。

5.3.3 压力式观测仪器安装前应进行校准检查。传感器应安装在固定结构物上。

5.3.4 测波杆和测波线安装调试应符合下列规定。

5.3.4.1 测波杆和测波线应保持铅直,必要时应根据水位变化及时调整其入水深度。

5.3.4.2 测波杆和测波线安装前应对传感器进行率定。使用过程中宜对传感器定期率定,并应适时清洗传感器表面。

6 数据采集

6.0.1 波浪观测数据采集应每 3 h 进行 1 次,观测时刻应分别为当地时间的 02、05、08、11、14、17、20、23 时整,采样的时间间隔不宜大于 0.25 s。在大浪出现和工程需要时应增加波浪观测的次数或连续观测,观测时间间隔不应大于 1 h。

6.0.2 大浪观测数据宜及时回收。

6.0.3 每次观测连续记录波浪个数不应少于 100 个,且连续记录的时间不应少于 17 min。需要分析方向谱或波群时,连续记录的波浪个数不宜少于 200 个。

6.0.4 采用阵列式仪器采集波浪数据时应符合下列规定。

6.0.4.1 测波向时,应至少采集 3 个波动参数的同步资料。

6.0.4.2 测波浪方向谱时,应至少采集 4 个波动参数的同步资料。

6.0.4.3 仪器的阵列形式和仪器间的间距应根据当地波浪实际情况确定。

7 波浪记录处理

7.1 一般规定

7.1.1 进行波浪频谱分析和波浪统计特征分析时,处理的波浪记录长度不应少于 100 个波,分析方向谱和波群时处理的波浪记录长度不宜少于 200 个波。

7.1.2 处理量测数据前应进行数据可靠性分析,剔除明显错误的数
据,并应进行合理处理。

7.1.3 量测数据受到噪声干扰时,处理量测数据前应进行光滑或采用滤波方法消除噪声。

7.1.4 处理量测数据前应消除量测数据中的零点漂移影响。

7.1.5 波浪记录处理应给出波浪要素,根据工程需要尚应对大浪记录分析频率谱,必要时应分析波浪方向谱和波群特性。

7.1.6 根据工程需要应对大浪过程及时进行处理。

7.2 波浪要素分析

7.2.1 分析波浪要素可采用跨零点法,并设置阈值,逐个计算出每个波的波高和相应的周期。阈值应根据实测波高和仪器的精度确定,也可取实测最大波高的 2% ~ 4%。

7.2.2 分析特征波要素时应将每个波的波高及相应的周期按波高从大到小排列成序列,得出最大波高和对应的最大波周期。其他特征波浪要素可按下列公式计算:

$$H_{1/10} = \frac{10}{N} \sum_{i=1}^{N/10} H_i \quad (7.2.2-1)$$

$$T_{H_{1/10}} = \frac{10}{N} \sum_{i=1}^{N/10} T_i \quad (7.2.2-2)$$

$$H_S = \frac{3}{N} \sum_{i=1}^{N/3} H_i \quad (7.2.2-3)$$

$$T_S = \frac{3}{N} \sum_{i=1}^{N/3} T_i \quad (7.2.2-4)$$

$$\overline{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (7.2.2-5)$$

$$\overline{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (7.2.2-6)$$

式中 $H_{1/10}$ 、 $T_{H_{1/10}}$ ——分别为 1/10 大波波高(m)和 1/10 大波波周期(s);

N ——波浪个数;

H_i 、 T_i ——分别为排在第 i 位的波高(m)及其对应波周期(s);

H_S 、 T_S ——分别为有效波高(m)和有效波周期(s);

$\overline{H}$ 、 $\overline{T}$ ——分别为平均波高(m)和平均波周期(s)。

7.2.3 波群特征可用波群高度特征和波群长度特征表示,并符合下列规定。

7.2.3.1 波群高度特征可用群高因子表示,可按下式计算:

$$GFH = \frac{\sqrt{2}\sigma_A}{\overline{A}} \quad (7.2.3-1)$$

式中 GFH ——波群的群高因子,其变化范围为 0~1;

σ_A ——波包线 $A(t)$ 的标准差(m);

$\overline{A}$ ——波包线 $A(t)$ 的均值(m)。

7.2.3.2 波包线可按下式计算:

$$A(t) = [\eta^2(t) + \hat{\eta}^2(t)]^{1/2} \quad (7.2.3-2)$$

式中 $A(t)$ ——波包线(m);

t ——时间(s);

$\eta(t)$ ——波面(m);

$\hat{\eta}(t)$ ——波面 $\eta(t)$ 的 Hilbert 变换(m)。

7.2.3.3 波群长度特征可用平均连长表示,可按下式计算:

$$\bar{j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n j_i \quad (7.2.3-3)$$

式中 $\bar{j}$ ——平均连长；

n ——波列中大于平均波高的波群个数；

j_i ——波列中大于平均波高的第 i 个波群的连长。

7.3 波浪频率谱分析

7.3.1 分析波浪频率谱宜采用快速傅里叶变换法，谱密度、谱峰频率、谱密度峰值、谱矩和谱尖度等可按附录 A 计算。

7.4 波浪方向谱分析

7.4.1 波浪方向谱可采用贝叶斯方法按附录 B 和附录 C 计算。

7.4.2 多向不规则波的平均波向、综合平均波向、方向分布宽度和综合方向分布宽度，可按下列公式计算：

$$\theta_m(f) = \arctan \left[\frac{\int_0^{2\pi} G(f, \theta) \sin \theta d\theta}{\int_0^{2\pi} G(f, \theta) \cos \theta d\theta} \right] \quad (7.4.2-1)$$

$$\bar{\theta} = \arg \left[\int_{f_1}^{f_2} \frac{S(f)}{m_0} \exp(i\theta_m) df \right] \quad (7.4.2-2)$$

$$\sigma_\theta(f) = \left[\int_{\theta_m - \pi}^{\theta_m + \pi} G(f, \theta) (\theta - \theta_m)^2 d\theta \right]^{1/2} \quad (7.4.2-3)$$

$$\bar{\sigma}_\theta = \int_{f_1}^{f_2} \frac{S(f) \sigma_\theta(f)}{m_0} df \quad (7.4.2-4)$$

式中 $\theta_m(f)$ ——频率为 f 的平均波向(rad)；

$G(f, \theta)$ ——方向分布函数(rad^{-1})；

f ——频率(Hz)；

θ ——波向(rad)；

$\bar{\theta}$ ——综合平均波向(rad)；

$S(f)$ ——频率谱密度(m^2/Hz)；

- m_0 ——波浪频率谱的零阶矩(m^2);
- f_1, f_2 ——波能分布的频率范围(Hz);
- $\sigma_\theta(f)$ ——频率为 f 的方向分布宽度(rad);
- $\bar{\sigma}_\theta$ ——综合方向分布宽度(rad)。

7.5 资料整理

7.5.1 波浪观测资料整理应符合下列规定。

7.5.1.1 波浪观测资料整理应逐月进行,并应编制波浪观测月报表。波浪观测月报表格式应符合附录 D 的规定。

7.5.1.2 编制月报表前,应审查波浪观测资料和处理的数据,不得随意修改或涂抹原始数据。

7.5.1.3 月报表备注栏内应详细记载异常波浪状况、迟测和缺测的原因、补测的时间和观测使用仪器设备的变更等情况。

7.5.2 波浪观测报告应包括下列内容:

- (1)观测目的、内容和要求;
- (2)观测站位置、观测仪器和观测方法;
- (3)原始记录和存储方法说明;
- (4)观测记录处理方法、成果和存储方法;
- (5)波浪观测资料月报表;
- (6)其他相关观测资料;
- (7)观测质量的评价;
- (8)观测单位和人员。

8 观测资料综合分析

8.1 一般规定

8.1.1 根据工程需要,在波浪记录处理的基础上应对特征波浪要素和特征波谱进行观测资料综合分析。

8.1.2 观测资料综合分析时,宜根据完整的一年或多年资料给出年统计结果,必要时应按季或月统计结果。

8.2 波浪特征综合分析

8.2.1 波浪特征综合分析应包括波高和波周期分级统计、波高和波周期相关分析、波高统计分布分析等,必要时应进行风与浪相关分析和重现期波浪推算。

8.2.2 波高和波周期分级统计应符合下列规定。

8.2.2.1 波高和波周期分级统计宜按 16 个方位进行。分级统计时,波高可采用有效波高,也可采用 $1/10$ 大波波高,波周期宜采用平均波周期。

8.2.2.2 波高分级统计应给出各方位各级波高出现频率及各方位波高的平均值和最大值,并应绘制波高玫瑰图确定常浪向和强浪向。根据需要,可统计各级波高对应的平均波周期及各级波高出现的持续时间。

8.2.2.3 波周期分级统计应给出各方位各级波周期出现频率及各方位波周期的平均值和最大值,绘制波周期玫瑰图。根据需要,可统计各级波周期对应的波高平均值。

8.2.3 波高和波周期相关分析应给出波高和波周期的联合出现频率,必要时应给出联合概率分布。当地风与浪相关性较好时,宜

分方向拟合波高和波周期相关公式。

8.2.4 波高统计分布分析宜选择多个较大波浪记录,绘制实测波高频率分布图,并拟合理论分布曲线,确定不同累积频率波高。

8.2.5 风与浪相关分析应根据风速仪的高度和周边环境进行风速订正。波向与风向、波高与风速相关性较好时,应拟合出波高与风速关系的经验公式。

8.2.6 当有不少于 20 年完整的波浪观测资料时,可采用波浪年极值频率分析方法推算不同重现期波浪要素,推算方法应符合现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的有关规定。

8.2.7 由短期资料推算测点附近不同重现期波浪要素时,应符合下列规定。

8.2.7.1 当有完整一年或数年短期波浪资料时,可按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的有关规定推算不分方向的重现期波浪要素。

8.2.7.2 当测点附近有长期波浪观测站,且两者的波浪资料相关性较好时,可借助长期波浪观测站资料推算测点附近不同重现期波浪要素。

8.3 特征波浪谱综合分析

8.3.1 特征波浪谱综合分析可包括确定代表波浪谱及其与特征波浪要素的关系等。

8.3.2 代表波浪频率谱可采用实测的波浪频率谱统计分析得到,也可采用常用谱型进行拟合,确定谱型和谱参数,给出代表波浪频率谱。

8.3.3 代表波浪频率谱与特征波浪要素的关系可按下列公式计算:

$$H_S = \alpha \sqrt{m_0} \quad (8.3.3-1)$$

$$\bar{T} = \beta T_{0,2} \quad (8.3.3-2)$$

$$T_{0,2} = 2\pi \sqrt{m_0/m_2} \quad (8.3.3-3)$$

$$T_p = \gamma T_{0,2} \quad (8.3.3-4)$$

$$\lambda = \frac{f_p S(f_p)}{m_0} \quad (8.3.3-5)$$

式中 H_s ——有效波高(m);

m_0 、 m_2 ——分别为谱的零阶矩(m^2)和二阶矩(m^2/s^2);

$\bar{T}$ ——平均波周期(s);

$T_{0,2}$ ——由谱的零阶矩和二阶矩得到的平均波周期(s);

T_p ——谱峰频率对应的周期(s);

f_p ——谱峰频率(Hz);

$S(f_p)$ ——谱密度峰值(m^2/Hz);

α 、 β 、 γ 、 λ ——均为实测资料统计分析确定的系数。

8.3.4 代表波浪方向谱可表示为波浪频率谱与波浪方向分布函数的乘积。波浪方向分布函数及其参数可采用统计分析方法确定。对单峰方向谱的方向分布函数可采用下列公式拟合:

$$G(f, \theta) = G_0(s) \cos^{2s} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (8.3.4-1)$$

$$G_0(s) = \frac{1}{\pi} 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \quad (8.3.4-2)$$

式中 $G(f, \theta)$ ——波浪方向分布函数;

f ——波浪频率(Hz);

θ ——波浪传播方向与主波向的夹角($^\circ$),其变化范围为 $-180^\circ \sim 180^\circ$;

$G_0(s)$ ——波浪方向分布函数中的系数;

s ——方向分布集中度参数;

Γ ——伽玛函数。

8.4 观测资料综合分析报告

8.4.1 波浪观测资料综合分析报告应包括下列内容:

(1)封面,包括资料分析成果的名称、承担单位、参加单位和编制日期;

(2)扉页,包括法人代表、技术主管、项目负责人、报告编写人和参加人员;

(3)摘要,包括资料概况、分析方法和主要结论;

(4)目次,包括分析报告的章、节的标题和起始页码;

(5)正文;

(6)参考文献。

8.4.2 观测资料综合分析报告的正文应包括下列内容:

(1)引言,包括波浪观测分析的背景、目的和技术路线;

(2)观测资料的基本情况,包括资料来源、测站概况、观测仪器、观测时限和资料内容;

(3)技术要求;

(4)分析内容和方法;

(5)综合分析结果;

(6)结语,包括主要结论、存在的问题及建议。

附录 A 随机数据时间序列的谱分析

A.0.1 采用快速傅里叶变换法进行谱分析可按下列步骤进行:

(1) 截断数据时间序列或增加零,使时间序列有 $N = 2^n$ 个数据, n 为正整数;

(2) 对数据时间序列中心化,并乘以修正函数削尖数据时间序列。修正函数按下式计算:

$$b(t_n) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{n\pi}{l} \right) & 0 \leq n < l \\ 1 & l \leq n \leq N - l \\ \frac{1}{2} \left[1 - \cos \frac{(N - n)\pi}{l} \right] & N - l < n \leq N \end{cases} \quad (\text{A.0.1-1})$$

式中 $b(t_n)$ ——修正函数;

n ——正整数;

N ——时间序列样本总数;

l ——削尖数据个数, $l \approx 0.1N$ 。

(3) 调用快速傅里叶变换子程序,削尖后的时间序列的傅里叶变换按下式计算:

$$X_k = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} x_j \exp \left(-i \frac{2\pi jk}{N} \right) \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中 X_k ——削尖后的时间序列的傅里叶变换, $k = 0, 1, 2 \cdots \frac{N}{2}$;

Δt ——采样时间间隔(s);

N ——样本总数;

x_j ——削尖后的时间序列, $j = 0, 1, 2 \cdots N - 1$ 。

(4) 粗谱密度按下列公式计算:

$$\hat{S}(\omega_k) = \frac{1}{2\pi N \Delta t} X_k X_k^*, k = 0, 1, 2 \cdots \frac{N}{2} \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N\Delta t} \quad (\text{A.0.1-4})$$

式中 $\hat{S}(\omega_k)$ ——对应 ω_k 的粗谱密度；
 ω_k ——对应 k 的圆频率(rad·Hz)；
 N ——样本总数；
 Δt ——采样时间间隔(s)；
 X_k ——削尖后的时间序列的傅里叶变换；
 X_k^* —— X_k 的共轭复数。

(5)对粗谱密度进行修正：

$$\tilde{S}(\omega_k) = \hat{S}(\omega_k) \frac{N}{\sum_{j=0}^{N-1} b^2(t_j)}, k = 0, 1, 2 \cdots \frac{N}{2} \quad (\text{A.0.1-5})$$

式中 $\tilde{S}(\omega_k)$ ——对应 ω_k 的修正后的谱密度；
 $\hat{S}(\omega_k)$ ——对应 ω_k 的粗谱密度；
 ω_k ——对应 k 的圆频率(rad·Hz)；
 N ——样本总数；
 $b(t_j)$ ——修正函数, $j = 0, 1, 2 \cdots N-1$ 。

(6)对修正后的粗谱进行光滑得到谱密度,并按下列公式计算：

$$S(\omega_k) = \frac{1}{2P+1} \sum_{i=-P}^P \tilde{S}(\omega_{k+i}) \quad (\text{A.0.1-6})$$

$$P = \frac{N}{80} \sim \frac{N}{160} \quad (\text{A.0.1-7})$$

式中 $S(\omega_k)$ ——对应 ω_k 的平滑后的谱密度；
 ω_k ——对应 k 的圆频率(rad·Hz)；

$\tilde{S}(\omega_{k+i})$ ——对应 ω_{k+i} 修正后的粗谱密度；
 N ——样本总数。

A.0.2 谱矩和谱尖度可按下列公式计算：

$$m_r = \int_0^{\infty} \omega^r S(\omega) d\omega \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$Q_p = \frac{2}{m_0^2} \int_0^\infty \omega S^2(\omega) d\omega \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中 m_r ——谱的 r 阶矩, $r = 0, 1, 2, 3, 4$;

ω ——圆频率 (Hz·rad);

$S(\omega)$ ——用圆频率表示的频率谱;

Q_p ——谱尖度。

A.0.3 用频率表示的谱可按下式计算:

$$S(f) = 2\pi S(2\pi f) = 2\pi S(\omega) \quad (\text{A.0.3})$$

式中 $S(f)$ ——用频率表示的谱;

f ——频率 (Hz);

ω ——圆频率 (Hz·rad);

$S(\omega)$ ——用圆频率表示的频率谱。

附录 B 贝叶斯法分析波浪方向谱

B.0.1 贝叶斯法分析方向谱可按下列步骤进行:

(1)按附录 A 方法计算各波动量时间序列的频谱 $\varphi_{mn}(f)$ 和 $\varphi_{nn}(f)$ 。

(2)按附录 C 方法计算各波动量时间序列的互谱 $\varphi_{mn}(f)$ 。

(3)按下列公式计算互谱参数:

$$\varphi_i(f) = \frac{\varphi_{mn}(f)}{S(f) \sqrt{\varphi_{mm}(f) \varphi_{nn}(f)}} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$N = \frac{M(M+1)}{2} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中 $\varphi_i(f)$ ——互谱参数;

$\varphi_{mn}(f)$ ——分别为波动参数 m 和 n 之间的互谱;

$\varphi_{mm}(f)$ 、 $\varphi_{nn}(f)$ ——分别为波动参数 m 和 n 的频率谱;

$S(f)$ ——波浪频率谱(m^2/Hz);

N ——互谱个数;

M ——实测波动参数的个数。

(4)波浪方向谱可表示成

$$S(f, \theta) = S(f) G(\theta | f) \quad (\text{B.0.1-3})$$

式中 $S(f, \theta)$ ——波浪方向谱($\text{m}^2/(\text{Hz} \cdot \text{rad})$);

$S(f)$ ——波浪频率谱(m^2/Hz);

$G(\theta | f)$ ——波浪方向分布函数(rad^{-1})。

(5)分段拟合波浪方向分布函数:

$$G(\theta | f) = \sum_{k=1}^K \exp[X_k(f)] \quad (\text{B.0.1-4})$$

$$\varphi_i(f) = \sum_{k=1}^K \alpha_{ik} \exp[X_k(f)] + \epsilon_i \quad (\text{B.0.1-5})$$

$$\alpha_{ik}(f) = H_i(f, \theta_k) \Delta\theta \quad (\text{B.0.1-6})$$

$$H_i(f, \theta) = H_m(f, \theta) H_n^*(f, \theta) [\cos(kx_{mn} \cos\theta + ky_{mn} \sin\theta) - i \sin(kx_{mn} \cos\theta + ky_{mn} \sin\theta)] / \sqrt{\varphi_{mm}(f) \varphi_{nn}(f)} \quad (\text{B.0.1-7})$$

式中 $G(\theta|f)$ ——波浪方向分布函数(rad^{-1});

K ——拟合方向分布函数的分段数, 可取 $K = 40 \sim 90$;

$X_k(f)$ ——分段拟合方向分布函数的指数函数;

$\varphi_i(f)$ ——互谱参数;

α_{ik} ——系数;

ε_i ——独立随机变量, 其分布符合均值为零, 方差为 σ^2 的正态分布;

$H_i(f, \theta)$ ——传递参数;

f ——频率(Hz);

θ ——波浪传播方向与设定坐标系横轴的夹角($^\circ$);

$H_m(f, \theta)$ 、 $H_n(f, \theta)$ ——从波面转换到波动量的传递参数;

$H_n^*(f, \theta)$ —— $H_n(f, \theta)$ 的共轭函数;

x_m 、 y_m 、 x_n 、 y_n ——分别为测量第 m 个和第 n 个波动参数的传感器的位置坐标(m), $x_{mn} = x_n - x_m$, $y_{mn} = y_n - y_m$ 。

(6)按下式取最小值求得 X_k 的解:

$$\sum_{i=1}^{2N} \{ \varphi_i - \sum_{k=1}^K \alpha_{ik} \exp[X_k] \}^2 + u^2 \left[\sum_{k=1}^K (X_k - 2X_{k-1} + X_{k-2})^2 \right] \quad (\text{B.0.1-8})$$

$$u^2 = ab^{m_1} \quad (\text{B.0.1-9})$$

式中 N ——互谱个数;

φ_i ——互谱参数;

K ——拟合方向分布函数的分段数;

X_k ——分段拟合方向分布函数的指数函数；

α_{ik} ——系数；

u^2 ——平滑函数；

a, b ——均为参数,当互谱误差很小时, $a = 0.2, b = 0.5$;当互谱有较大误差时 $a = 51.2, b = 0.5$;

m_1 ——指数,取 $m_1 = 1, 2 \cdots 20$ 。

(7) m_1 的取值使下列各式得到的 ABIC 取最小值

$$ABIC = -2 \ln \int L(X, \sigma^2) p(X | u^2, \sigma^2) dx \quad (B.0.1-10)$$

$$L(X_1, X_2 \cdots X_k; \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^N} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{2N} \left[\varphi_i - \sum_{k=1}^K \alpha_{ik} \exp(X_k) \right]^2 \right\} \quad (B.0.1-11)$$

$$p(X | u^2, \sigma^2) = \left(\frac{u}{\sqrt{2\pi\sigma}} \right)^K \exp \left[-\frac{u^2}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^K (X_k - 2X_{k-1} + X_{k-2})^2 \right] \quad (B.0.1-12)$$

式中 ABIC——贝叶斯信任指数；

$L(X, \sigma^2)$ —— ϵ_i 的或然函数；

$p(X | u^2, \sigma^2)$ —— $X_1, X_2 \cdots X_k$ 的先验函数；

u^2 ——平滑函数。

(8) 用数值方法解式(B.0.1-8)得到 X_k 后,再代入式(B.0.1-4)和(B.0.1-3),可求得波浪方向分布函数和波浪方向谱。

附录 C 随机数据时间序列的互谱分析

C.0.1 采用快速傅里叶变换法进行互谱分析应按下列步骤进行:

(1) 截断两个随机数据时间序列或增加零,使每个序列具有 $N = 2^n$ 个数据, n 为正整数;

(2) 对数据时间序列中心化,并乘以修正函数削尖两个随机数据时间序列;

(3) 削尖后的随机数据时间序列 x_j 和 y_j 分别贮存在 $z_j = x_j + iy_j$ ($i = \sqrt{-1}$) 的实部和虚部中, $j = 0, 1, 2 \cdots N-1$;

(4) 调用快速傅里叶变换子程序,并按下列公式分别计算 z_j , x_j 和 y_j 的傅里叶变换:

$$Z_k = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} z_j \exp\left(-i \frac{2\pi jk}{N}\right), k = 0, 1, 2 \cdots N-1 \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$X_k = \frac{Z_k + Z_{N-k}^*}{2}, k = 0, 1, 2 \cdots N-1 \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$Y_k = \frac{Z_k - Z_{N-k}^*}{2}, k = 0, 1, 2 \cdots N-1 \quad (\text{C.0.1-3})$$

式中 Z_k, X_k, Y_k ——分别为 z_j, x_j 和 y_j 的傅里叶变换;

Δt ——采样时间间隔(s);

N ——样本总数;

Z_{N-k}^* —— Z_{N-k} 的共轭复数。

(5) 粗互谱按下列公式计算:

$$\hat{S}_{xy}(\omega_k) = \frac{1}{2\pi N \Delta t} X_k^* Y_k, k = 0, 1, 2 \cdots N-1 \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N \Delta t} \quad (\text{C.0.1-5})$$

式中 $\hat{S}_{xy}(\omega_k)$ ——对应 ω_k 的粗互谱密度；

ω_k ——对应 k 的圆频率(Hz·rad)；

N ——样本总数；

Δt ——采样时间间隔(s)；

X_k^* —— X_k 的共轭复数。

Y_k —— y_j 的傅里叶变换。

(6)按第 A.0.1 条有关规定的方法对粗谱进行修正和光滑。

波浪观测月报表(2)

表 D.0.2

测站名: _____ 测点位置: 北纬 _____ ° _____ ' _____ " 东经 _____ ° _____ ' _____ " 仪器名称型号 _____ 观测时间 _____ 年 _____ 月

[illegible]

注:①波向——波浪来向与正北方向顺时针的夹角。

记录_____ 计算_____ 核对_____

附录 E 本规程用词用语说明

E.0.1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度的用词用语说明如下:

(1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

E.0.2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

本规程主编单位、参加单位、主要起草人、 总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:南京水利科学研究院

参 加 单 位:大连理工大学

中国科学院南海海洋研究所

中国海洋局第三海洋研究所

主 要 起 草 人:左其华(南京水利科学研究院)

王红川(南京水利科学研究院)

(以下按姓氏笔画为序)

王登婷(南京水利科学研究院)

朱良生(中国科学院南海海洋研究所)

孙 瀛(中国海洋局第三海洋研究所)

陈国平(南京水利科学研究院)

张金善(南京水利科学研究院)

周益人(南京水利科学研究院)

俞聿修(大连理工大学)

黄海龙(南京水利科学研究院)

蔡守允(南京水利科学研究院)

潘军宁(南京水利科学研究院)

总校人员名单:胡 明(交通部水运司)

常 勤(交通部水运司)

许家帅(交通部水运司)
吴敦龙(中交水运规划设计院有限公司)
孙精石(交通部天津水运工程科学研究所)
刘金培(南京水利科学研究院)
杨正己(南京水利科学研究院)
左其华(南京水利科学研究院)
王红川(南京水利科学研究院)
俞聿修(大连理工大学)
董 方(人民交通出版社)

管理组人员名单:左其华(南京水利科学研究院)
王红川(南京水利科学研究院)
潘军宁(南京水利科学研究院)

中华人民共和国行业标准

水运工程波浪观测和分析技术规程

JTJ/T 277—2006

条文说明

目 次

1 总则	(33)
2 术语	(34)
3 基本规定	(35)
4 观测站点布设	(36)
4.2 观测基站	(36)
4.3 波浪观测点	(36)
5 观测仪器	(38)
5.1 一般规定	(38)
5.2 观测仪器选型	(38)
5.3 观测仪器安装和调试	(38)
6 数据采集	(40)
7 波浪记录处理	(41)
7.2 波浪要素分析	(41)
7.3 波浪频率谱分析	(41)
7.4 波浪方向谱分析	(41)
8 观测资料综合分析	(42)
8.1 一般规定	(42)
8.2 波浪特征综合分析	(42)
8.3 特征波浪谱综合分析	(42)
8.4 观测资料综合分析报告	(42)
附录 D 波浪观测月报表	(43)

1 总 则

1.0.2 内陆水域指内河、水库和湖泊等。

2 术 语

本章术语主要依据是全国科学技术名词审定委员会公布的《水利科技名词》(1997 年)和《海洋科学名词》(1989 年),国家现行标准《港口工程基本术语标准》(GB 50186)、《航道工程基本术语标准》(JTJ/T 204),以及《水运技术词典》(1984 年)、《中国水利百科全书》(1991 年)等,并按本规程条文原义解释。

3 基本规定

3.0.1 水运工程所在水域波浪的基本特征和变化是工程选址、布局、结构设计、施工和运行等重要依据,观测波浪的目的就是要获得这些资料。大浪对工程建设的影响尤为重要。因此,本条除要求观测波浪基本特征和变化外,还强调了大浪的观测。

3.0.3 波浪基本特征和变化与观测期间的风速、风向、水位和水流等动力因素密切相关。这些动力因素是建立风与浪关系和检验测波资料可靠性的重要依据,因此,规定在观测波浪的同时宜进行这些动力因素的观测。

4 观测站点布设

4.2 观测基站

4.2.1 波浪观测过程中,观测人员需经常察看量测仪器的安全或工作状态是否正常,故宜将观测基站设在视野开阔,易于观测的岸边。

4.2.2 强磁场和电讯信号会干扰测量仪器的信号,影响信号接收和测波质量。因此,波浪观测基站要避开变电站、电讯发射塔和雷达站等设施。

4.3 波浪观测点

4.3.1 条文中的“大浪”,是一个相对的概念。水运工程所处的位置不同,界定大浪的尺度也不相同,如内陆水域的有效波高为1.0m时就算大浪,《海滨观测规范》(GB/T 14914)中则规定有效波高为2.5m以上的波高为大浪。

4.3.2 规定水下的波浪观测点应布设在底床较为平坦、冲淤相对较小的水域,是为了避免传感器移动及被水底泥沙淤埋。

4.3.3 浮式测波仪由浮标、系缆和锚等组成。浮标连着系缆,系缆连着锚,锚碇固定测波点位置。浮标随波浪运动反应出波高波向的变化。当测点处的水深过小,浮标容易着底;水流流速过大,浮标易随水流漂移,当系缆张紧限制了浮标自由运动,所测波高和波向误差较大;海底底质较差,锚碇无法固定,测波仪有可能会漂移。因此,作了本条规定。

4.3.4 固定结构物的存在可能对波浪产生反射,以致影响测波,故应考虑结构物对波浪反射的影响。

4.3.5 因水位的变化,测波杆和测波线出水高度或入水深度不足,传感器可能出水或被淹没,以致无法测出波浪,故需及时调整测波杆和测波线的入水深度。

4.3.6 当结构物对波浪有反射影响时,所测波浪为入射波和反射波合成后的波浪。增设观测点是进行入、反射波分离的需要。

5 观测仪器

5.1 一般规定

5.1.2 本条主要根据《海滨观测规范》(GB/T 14914)的有关规定,并结合水运工程的要求确定。条文中量测的允许偏差系指有关波浪参数的量测偏差,并非仪器传感器的量测偏差。

5.2 观测仪器选型

5.2.1 推荐的几种波浪观测仪器为国内常用的仪器,且技术比较成熟。

5.2.4 压力式观测仪器是通过传感器的波浪动水压力的变化测量波高和波周期。由于水体作用,波浪动水压力随仪器入水深度的增加而迅速衰减,且衰减与波周期有关,周期越小衰减得越快。因此,在压力式观测仪器入水深度一定的情况下,波浪周期小到一定量值时,就不能由压力式观测仪器上的波浪动水压力换算成具有足够精度的波高和波周期,故要按工程的需要和实际水域存在的最小波周期来设定压力式观测仪器的入水深度。

5.3 观测仪器安装和调试

5.3.1 浮式测波仪浮标和锚系系统投放后,有一个自适应过程,在该过程中不能正确地测波,故对自适应过程的时间作了规定。

5.3.2 声学测波仪是通过传感器向水面发射超声波,再由传感器将水面反射回来的超声波转换成电信号以反应波高和波周期,当发射和反射的超声波遇障碍物时会影响量测精度,因此,传感器安装的位置应与障碍物保持一定距离。

5.3.4 测波杆和测波线通常有电容式和电阻式两种,当测波时间长,受自然环境影响及表面有附着物时,传感器性能将发生变化以致影响测波的质量。因此,测波过程中也要对测波杆和测波线定期率定,并适时清洗测波杆表面。

6 数据采集

6.0.1 大浪出现时增加观测次数是为了得到更多的大浪统计样本,避免漏测大浪过程的极值波高及相应的波周期,以满足水运工程的需要。

6.0.3 理论上,波浪连续记录越长,统计特征值越稳定,但仪器的储存量加大,给波浪量测带来不便;波浪记录太短,将影响量测波浪的可靠性。因此,规定观测的波浪个数不宜少于 100 个。《海滨观测规范》(GB/T 14914)中规定连续记录采样时间取 17 ~ 20min,考虑到分析方向谱及波群时连续记录的波浪个数较多,本条规定连续记录不少于 17min。

6.0.4 阵列式测波仪是为了测量波浪方向和分析波浪方向分布函数。本条规定应同步采集的波动参数的个数是根据实际经验作出的。波动参数不限于波面,也可以是水质点速度和波压力等。

7 波浪记录处理

7.2 波浪要素分析

7.2.1 波浪观测采集到的波面数据中常含有跨过零线的小波动,这些小波动对有效波和平均波浪要素的分析结果有明显影响,分析时应设阈值予以删除。

7.3 波浪频率谱分析

7.3.1 波浪频率谱的分析方法有多种,其中快速傅里叶变换方法(FFT)应用方便、快速。

7.4 波浪方向谱分析

7.4.1 现有多种分析方向谱的方法,通过现场观测和数值模拟分析比较的结果表明,贝叶斯方法(BDM)能给出比较符合实际的结果。

7.4.2 表征多向不规则波的参数很多,本条中列出的参数主要参考了国际水力学研究协会制定的海况参数表中关于多向波的更新意见(1997年)确定的。

8 观测资料综合分析

8.1 一般规定

8.1.1 波浪观测报告仅提供反映观测期间观测点波浪量测的实际状态,水运工程往往需要了解该水域总的波浪情况、特征波浪要素和特征波谱等。因此,需根据所得的各观测资料进行综合分析。

8.2 波浪特征综合分析

8.2.3 波高和波周期密切相关。不同方向的波高和波周期相关性不同,故需分方向进行分析,并拟合相关公式。

8.2.5 风浪推算时规定用水面上 10m 高度处的风速。多数风速仪设置在陆地上,不同高度的风速相差较大。测点周围的建筑物、地形和树木等均对风速有较大影响。水面上的风速一般大于同一高度的陆上风速。因此,在分析风浪关系时需将风速资料进行订正。

8.3 特征波浪谱综合分析

8.3.2 本条所指的常用谱型有《海港水文规范》(JTJ 213)中规定的谱、JONSWAP 谱和 P-M 谱等。

8.4 观测资料综合分析报告

8.4.1、8.4.2 由于波浪观测资料综合分析报告是综合分析成果的具体体现,也是水运工程规划、设计、施工和运行的重要参考资料,因此,本条对波浪观测资料综合分析报告的内容和编写格式作出了规定。

附录 D 波浪观测月报表

附录 D 的月报表格式是根据调研结果拟定的,方向谱参数 $\theta_m(f_p)$ 和 $\sigma_\theta(f_p)$, 可由式(7.4.2-1)和式(7.4.2-3)令 $f = f_p$ 求得。