

# 海洋倾倒区容量评估研究\*

## ——以连云港2#倾倒区为例

孙同美, 王晓亮, 齐安翔, 陆士良, 杨画红, 刘建国

(国家海洋局东海预报中心 上海 200081)

**摘要:**海上倾倒是疏浚物的主要处置方式, 倾倒活动在一定程度上可引起海洋环境和局部海床变化, 进而影响倾倒区的环境容量和倾倒容量。文章在倾倒区选划时倾倒容量计算方法的基础上, 引入面积有效利用系数、可继续利用的水深等概念, 通过分析倾倒区冲淤环境、流失率和倾倒区有效利用面积等, 评估连云港2#倾倒区使用期间的倾倒容量, 探索使用过的倾倒区倾倒容量的评估方法。同时, 分析海洋环境对倾倒强度和倾倒方式的响应情况, 结合倾倒区使用期间海洋环境质量变化, 评价倾倒容量的合理性, 为海洋行政主管部门在倾倒区管理方面提供科学依据。

**关键词:**海洋倾倒区; 倾倒容量; 环境容量

**中图分类号:** P76      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-9857(2015)06-0037-0006

### 1 引言

港口、航道等建设产生的疏浚物一般采用海上倾倒、吹填和资源化利用3种处置方式, 其中海上倾倒占主体<sup>[1]</sup>。疏浚物倾倒导致水体分层扰乱、水中悬浮物增加、海底地形改变, 对倾倒区所在海域的水质、沉积物、生态环境以及局部海床等均有一定的影响作用<sup>[2-6]</sup>, 进而影响倾倒区的环境容量和倾倒容量。《疏浚物专项评价指南》<sup>[7]</sup>指出, 在评估倾倒区容量时应考虑: ①预期的年、月、周、日倾倒量; ②倾倒区域是否为扩散型海区; ③由海底可能发生的堆积而使倾倒区水深减少的容许量。故倾倒区类型、倾倒强度、倾倒量以及海底地形的变化是倾倒容量评估的关键。本研究认为倾倒区容量应在倾倒容量的基础上, 结合海洋环境容量, 分析倾倒容量的合理性, 即倾倒区容量需综合考虑倾倒容量和环境容量。目前, 倾倒区选划方法<sup>[8-9]</sup>、倾倒活动对海洋环境影响的研究较多, 但使用中的倾倒区容量评估的研究却较为罕见。倾倒区使用一段时间后, 其水深、冲淤环境和生态环境可能发生一定的变化, 无法直接采用启用时的计算方法评估容量。本研究则在选划时计算方法的基础上, 引入面积

有效利用系数、可继续利用的水深等概念, 设计倾倒容量公式, 通过分析倾倒区冲淤环境、流失率、水深和倾倒区有效利用面积等, 结合倾倒区使用期间海洋环境质量变化情况, 评估倾倒区倾倒容量, 为海洋行政主管部门在倾倒区管理方面提供技术支撑。

连云港港30万吨级航道一期工程2#临时倾倒区(以下简称“2#倾倒区”)位于江苏海州湾, 在主航道与徐圩航道拐角东南4 km处, 顺航道布置, 面积为8 km<sup>2</sup>, 分为A区、B区和C区。海州湾海域沉积物来源主要是黄河输运的物质<sup>[10]</sup>, 属淤泥质岸滩, 水下地形以1/1 000坡度向外海延伸<sup>[11]</sup>; 此海域泥沙供应不足, 受风浪等影响, 冬冲夏淤的特征明显, 但整体呈冲淤相对平衡、略有冲刷态势<sup>[12]</sup>。2009年3月倾倒区选划时水深范围为9.78~14.41 m, 平均水深为12.00 m; 水下地形由西南向东北倾斜、逐步加深<sup>[12]</sup>。2010年2月2#倾倒区正式启用, 主要接纳连云港港30万吨级航道一期工程产生的疏浚物, 疏浚区疏浚泥粒度由近岸向外海变粗, 以粉砂和黏土为主<sup>[12-13]</sup>。

\* 基金项目: 国家海洋公益专项资助项目“疏浚泥资源化全程监测与示范应用”(201105024-7)。

## 2 材料与方法

### 2.1 监测分析方法

#### 2.1.1 水深

监测区域包括倾倒地和倾倒地周边海域,即沿倾倒地主流方向向外延伸 500 m、其他方向向外延伸 200 m 的区域(图 1),测图比例尺为 1:5 000。2010—2011 年每年 5 月、11 月各监测 1 次,2012 年 5 月、8 月各监测 1 次。

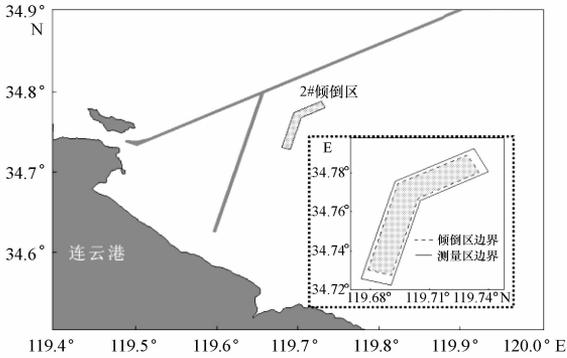


图 1 倾倒地位置与水深监测范围

水深监测采用无锡海鹰 SDH-13D 测深仪,测深范围 0.35~123 m,分辨率为 0.01 m,测量

精度小于 0.4% 所测深度  $\pm 0.05$  m,定位采用差分 GPS 定位仪,定位精度优于 1 m。根据《海洋工程地形测量规范》<sup>[14]</sup> 的要求,对水深资料进行吃水校正和水位校正,借助 Surfer 软件进行冲淤分析。

#### 2.1.2 生态环境

根据《海洋监测规范》<sup>[15]</sup> 对倾倒地及其邻近海域的水质、沉积物和生物生态进行监测。2010—2012 年,水质每年 5 月和 8 月各监测 1 次,沉积物和生物生态每年 8 月监测 1 次,监测站位见表 1 和图 2。水质监测要素为透明度、悬浮物、pH 值、化学需氧量、溶解氧、石油类、铜、铅、总汞,沉积物监测要素包括有机碳、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞和砷,生物生态监测要素为底栖生物。

在评价分析时,水质、沉积物采用单因子评价法;水质采用《海水水质标准》<sup>[16]</sup> 中一类标准;沉积物分功能区评价,倾倒地、航道功能区内采用《沉积物质量标准》<sup>[17]</sup> 3 类标准,其他站位采用一类标准。底栖生物采用优势度、丰富度和均匀性指数等参数进行表征。

表 1 海洋环境监测站位

站位	经度(E)	纬度(N)	监测要素	站位位置
Q1	119°29'50.82"	34°42'30.30"	水质	田湾核电取水口
Q2	119°41'24.72"	34°44'07.08"	水质	2# 倾倒地
Q3	119°41'49.20"	34°46'22.80"	水质	2# 倾倒地
Q4	119°43'27.12"	34°47'04.20"	水、沉、生	2# 倾倒地
Q5	119°36'52.32"	34°44'11.70"	水、沉、生	2# 倾倒地西侧
Q6	119°37'3.70"	34°49'17.10"	水质	航道北侧
Q7	119°40'55.79"	34°50'48.70"	水、沉、生	航道北侧
Q8	119°40'11.80"	34°38'57.00"	水质	倾倒地南部
Q9	119°49'05.88"	34°43'05.34"	水、沉、生	倾倒地南部
Q10	119°47'45.20"	34°48'31.31"	水质	2# 倾倒地东侧

### 2.2 容量评估方法

倾倒地容量即倾倒地所能容纳的倾倒地物体积。倾倒地选划时,倾倒地容量常用倾倒地面积的 2/3 与可接受淤积厚度的乘积,除以(1-倾倒地预测流失率)计算而得。倾倒地使用后,水深地形将发生一定的变化,导致倾倒地可使用的面积、可接受的淤积厚度以及倾倒地的流失率等发生变

化。为提升计算结果的可信度,倾倒地的流失率可根据倾倒地使用期间实际情况计算而得,减小预测值引起的误差。本研究设计了倾倒地使用后,倾倒地容量的计算公式:

$$A = \frac{S \times 66.7\% \times \alpha \times (H - H')}{1 - \gamma} \quad (1)$$

式中:A 为倾倒地倾倒地容量,单位:  $\text{m}^3$ ; S 为倾倒地

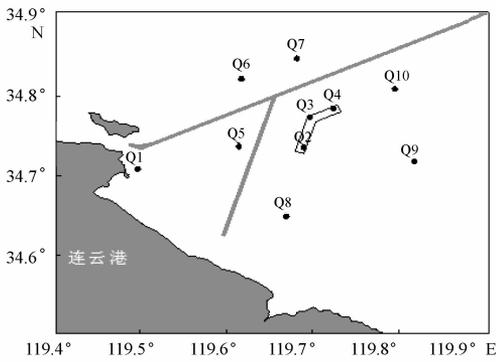


图 2 海洋环境监测站位

区面积,单位:  $m^2$ ;  $H$  为倾倒入区可接受的淤积厚度,单位:  $m$ ;  $H'$  为淤积厚度小于  $H$  的区域已淤积的平均厚度,单位:  $m$ ;  $\alpha$  为面积有效利用系数,即倾倒入区淤积厚度小于  $H$  的区域占总面积的比例;  $\gamma$  为倾倒入区流失率。

其中,倾倒入区流失率是指倾倒入区内倾倒入物流失量占倾倒入总量的比例,即平均水深的理论减小值与实际减小值的差值占平均水深理论减小值的比例。计算公式为:

$$\gamma = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \quad (2)$$

式中:  $h_1$  为平均水深的理论减小值,单位:  $m$ ;  $h_2$  为平均水深的实际减小值,单位:  $m$ 。

当  $h_2 > 0$  时,倾倒入区流失率小于 100%,则海床呈淤积状态;当  $h_2 < 0$  时,倾倒入区流失率大于 100%,则海床呈冲刷状态;当  $h_2 = 0$  时,倾倒入区流失率等于

100%,则倾倒入物恰好全部扩散至倾倒入区外。

在评估倾倒入容量后,结合海洋环境对倾倒入强度、倾倒入方式的响应情况,分析倾倒入容量是否可接受。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 冲淤环境

倾倒入船舶在倾倒入过程中并非在整个倾倒入区内均匀倾倒入,而往往按其最方便、最经济、最可操作的方式倾倒入,因而造成疏浚泥在倾倒入区中分布不均匀,甚至出现局部严重隆起现象。水深是倾倒入区跟踪监测的重要内容,可表征倾倒入活动对海床的影响,是倾倒入区可否继续使用的关键。2009—2012 年水深监测结果显示,水深分布趋势与选划时基本一致,即水下地形由东南向西北逐渐增加,但局部区域受倾倒入活动影响水深有所减小(图 3)。据统计,每年冬半年月倾倒入量大于夏半年月倾倒入量(图 4),此种倾倒入方式可充分利用本海域冬冲夏淤的自然条件,减缓倾倒入活动对海床的影响。2010 年上半年(根据水深监测时间,将倾倒入活动划分成不同时期,划分方法见表 2)基本处于冬半年,且倾倒入强度相对较小,倾倒入物在海流作用下向四周输运扩散,平均水深不但未减小反增加 0.20  $m$ (图 5)。而 2010 年 5 月至 2011 年 5 月的倾倒入量虽小于 2011 年 6 月至 2012 年 7 月的倾倒入量,但前者平均水深显著减小,减幅为 0.80  $m$ ,而后者平均水深却变化很小。

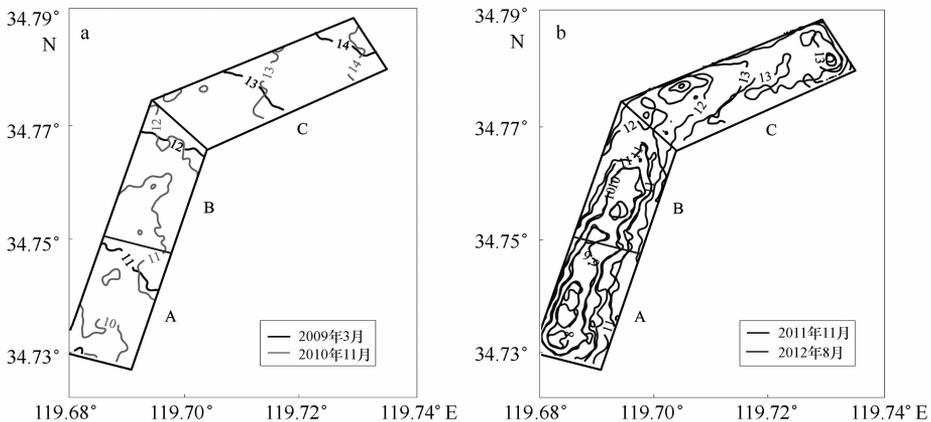


图 3 2# 倾倒入区不同时期水下地形

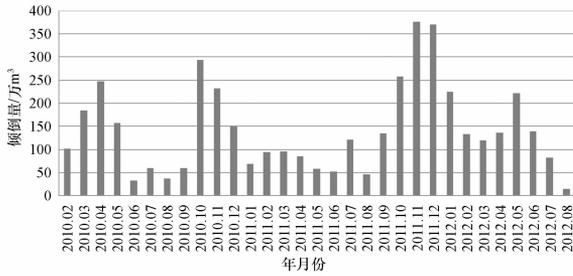


图 4 2010 年 2 月至 2012 年 8 月 2# 倾倒入月倾倒量

表 2 不同时期划分方法

时 期	时 期
2010 年上半年 (2010 年 2—4 月)	2011 年下半年 (2011 年 6—11 月)
2010 年下半年 (2010 年 5—10 月)	2012 年上半年 (2011 年 12 月至 2012 年 4 月)
2011 年上半年 (2010 年 11 月至 2011 年 5 月)	2012 年下半年 (2012 年 5—8 月)

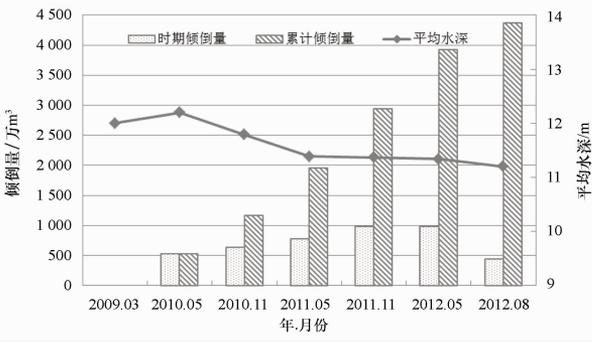


图 5 不同时期倾倒量与平均水深关系

经冲淤分析可知,2010 年 5 月至 2011 年 5 月平均水深的减小主要是由 A 区和 B 区倾倒入淤引起的。2010 年 10 月的月倾倒量近 300 万 m<sup>3</sup>, 高强度且相对集中的倾倒导致倾倒入流失率仅为 49%。受残留倾倒入影响,A、B 区流速有所减小,减幅约 4~6 cm/s,减缓了倾倒入海床恢复<sup>[18]</sup>。在此背景下,尽管 2011 年上半年主要处于冬半年,冬季冲刷的自然环境有利于疏浚物的扩散,但因高强度且相对集中的倾倒(倾倒总量为 783.8 万 m<sup>3</sup>,倾倒活动主要发生在 A 区和 B 区)导致 A 区和 B 区淤积较严重,淤积最厚处可达 3.80 m(图 6)。

2011 年 6 月至 2012 年 8 月初倾倒入单位在获知 A 区和 B 区淤积后,将疏浚物主要倾倒入至 C

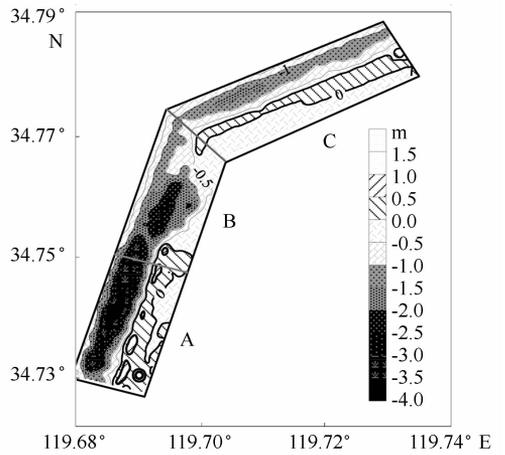


图 6 2010 年 5 月至 2011 年 5 月 2# 倾倒入冲淤情况(正值表示冲刷,负值表示淤积)

区,A 区和 B 区的倾倒入强度较小,滞留的倾倒入物则在水动力作用下逐渐向倾倒入区周边输运扩散,淤积态势得到缓解(图 7)。倾倒入区流失率有较高提升为 97%,说明这段时间倾倒入的大部分倾倒入物被潮流输运扩散走,故平均水深变化较小。可见,倾倒入物的输运扩散不但受倾倒入区所在海域泥沙自然运移环境的影响,还与倾倒入强度和倾倒入方式紧密结合。

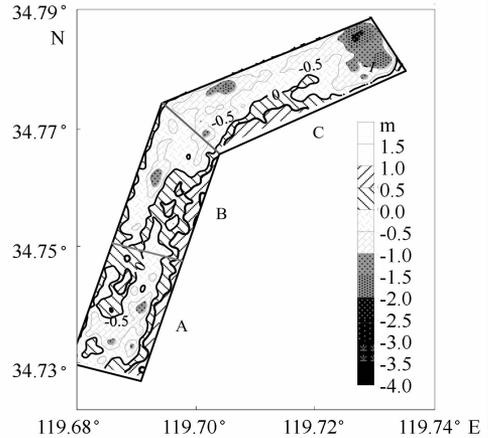


图 7 2011 年 6 月至 2012 年 8 月初 2# 倾倒入冲淤情况(正值表示冲刷,负值表示淤积)

经过 3 年的使用,倾倒入区内残留的倾倒入物在空间分布上存在较大差异(图 8):倾倒入区以淤积为主,A 区靠近航道一侧淤积最为显著(淤积厚度最大可达 2.8 m),其次为 B 区中部,再者为 C 区东部。经统计,2# 倾倒入区淤积 1 m 以上的区域面积最大,约占总面积的 38.0%,其次为淤积

0.5~1 m 的区域,约占总面积的 25.2%。2012 年 8 月初监测时,2# 倾倒区水深范围为 7.53~14.73 m,平均水深为 11.20 m。

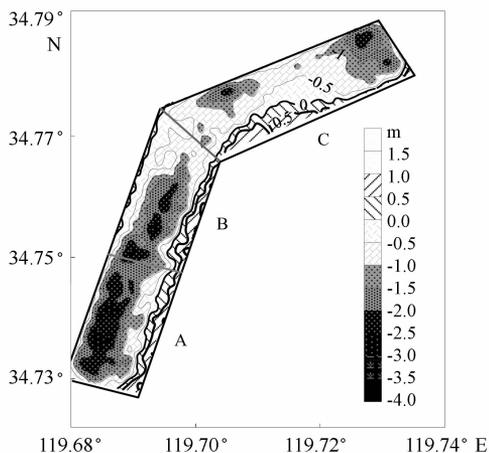


图 8 2009 年 3 月至 2012 年 8 月 2# 倾倒区冲淤情况(正值表示冲刷,负值表示淤积)

### 3.2 生态环境

倾倒区的倾倒作业会因泥沙抛入海水中而引起水体浑浊度增大、悬浮物含量升高,但这种环境变化是短期的。随着海流的携带和颗粒的沉降,海水将慢慢澄清。由 2010—2012 年监测结果可知,此海域的悬浮物含量较稳定,与选划时处于同一水平。监测海域的溶解氧、pH 值、化学需氧量、石油类和汞基本符合一类海水水质标准,部分站位出现铜和铅超一类水质标准现象,超标站位主要位于航道以北和倾倒区内,这与选划时结果基本一致,倾倒活动对水质影响不显著。

倾倒区启用后的沉积物质量与选划时相比基本稳定。其中石油类含量明显下降,可能与航道疏浚的深度有关,随着深度的增加石油类含量呈下降趋势。倾倒区、吹泥站和航道功能区内沉积物质量符合第三类标准,倾倒区、吹泥站和航道之外的区域符合第一类标准。倾倒区的使用对监测海域沉积物质量的影响不显著,各项监测指标仍能满足各功能区要求。

海洋倾倒因改变倾倒区及其附近海域底栖生物的栖息环境,故对底栖生物的影响较大。绝大多数底栖动物能够穿过 32 cm 的覆盖物<sup>[19]</sup>,但随着倾倒区淤积厚度的增加,移动能力较弱的底栖生物逐渐死亡。监测结果显示,倾倒区所在海

域均为常见种,底栖生物种类数和生物量基本稳定,均匀度、丰富度和多样性指数有所降低,倾倒活动对底栖生物具有一定的影响作用。但当倾倒活动结束后,底栖生物群落经几个月或更长时间便可重建;当疏浚泥底质与倾倒区的原底质基本相同时,倾倒后生物群落的结构特点相对于原生物群落变动不大<sup>[20]</sup>。2# 倾倒区接纳的均是附近海域的底质,因此底栖生物群落结构在倾倒活动结束后可逐渐恢复。

### 3.3 倾倒区容量

倾倒区倾倒容量与倾倒区可接受的淤积厚度、可利用的有效面积和倾倒区的流失率有关。倾倒区选划时,按照 1 m 堆积厚度进行倾倒容量计算。2012 年 8 月,2# 倾倒区水深范围为 7.53~14.73 m,水深条件较好,若再淤积 1 m 仍不影响船舶航行,故本研究可接受的淤积厚度仍采用 1 m。经 3 年使用,倾倒区堆积厚度在 1 m 以内的区域占总面积的 62%,平均堆积厚度为 0.27 m。倾倒区使用期间,倾倒区流失率跨度较大,2009 年 3 月至 2012 年 8 月期间的流失率为 85%,为降低倾倒活动对海床的影响,倾倒区流失率依然选择选划时较保守的 80%。将流失率 80%、可接受堆积厚度 1 m、面积有效利用系数 0.62、可继续倾倒区域已淤积厚度 0.27 m 带入公式(1)计算,2# 倾倒区的容量为 1 200 万 m<sup>3</sup>。

2010—2012 年每年的倾倒量分别为 1 173.7 万 m<sup>3</sup>、1 768.4 万 m<sup>3</sup> 和 1 367.4 万 m<sup>3</sup>,倾倒区所在海域水质、沉积物受倾倒活动影响较小,环境质量稳定;底栖生物受到一定程度影响,但因倾倒物与倾倒区底质性质相似,倾倒活动结束后底栖生物群落可逐渐恢复。因此,从海洋环境容量角度分析,2# 倾倒区年倾倒量为 1 200 万 m<sup>3</sup> 是可接受的。

## 4 结论

倾倒区容量评估的影响因素包括倾倒区流失率、有效利用面积、可利用的水深和生态环境等。通过评估连云港 2# 倾倒区容量,探索了各要素的确定方法。

### 4.1 倾倒区流失率

因倾倒强度和倾倒方式不同,不同时期倾倒区的流失率存在较大的差异。在计算倾倒容量

时,采用哪个时期的流失率,对倾倒容量评估结果具有较大影响。倾倒区使用时可能存在相对集中倾倒等现象,为降低因偶然的倾倒活动对流失率的影响,在容量评估时宜采用具有代表性的较长时期的流失率。

#### 4.2 水深

水深是倾倒区可否继续使用的关键因素。选划时,倾倒区可利用的水深需从是否影响周边其他海洋功能的正常发挥角度考虑。而对于使用中的倾倒区,还需考虑倾倒区使用中水深的变化,即倾倒区的冲淤现状。

#### 4.3 有效利用面积

倾倒区选划时,考虑局部倾倒、非边缘倾倒等情况,容量评估过程中倾倒活动可利用的面积

按总面积的 $2/3$ 进行计算。倾倒区使用后,局部区域可能淤积相对严重,甚至部分区域淤积厚度超过可接受的堆积程度。因此,本研究在倾倒区评估过程中引入了面积校正系数。因淤积区域存在堆积厚度不均匀现象,导致可继续使用的区域与不可继续使用的区域交叉分布,因此实际可使用的容量低于评估容量。

#### 4.4 生态环境

环境容量是倾倒区容量评估的重要因素,根据倾倒物的性质需重点分析倾倒物对海洋环境中悬浮物和重金属含量以及底栖生物的影响。若倾倒活动对海洋环境的影响较小,则倾倒区容量主要取决于倾倒容量;若倾倒活动引起海洋环境明显变化时,需减小倾倒容量。

### 参考文献

- [1] 邱桔斐,马越,丁红,等. 海洋倾倒区与航道间距初步研究[J]. 海洋开发与管理,2012,29(1):40-45.
- [2] 徐卓,王静,刘晴,等. Surfer 软件在海洋倾倒区地形监测与管理中的应用:以连云港倾倒区为例[J]. 海洋开发与管理,2008,25(9):50-54.
- [3] ROBERTS D, FORREST M. Minimal impact from long-term dredge spoil disposal at a dispersive site in Tasman Bay, New Zealand [J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1999(33):623-633.
- [4] STRONKHORST J, ARIESE F, VAN HATTUM B, et al. Environmental impact and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea [J]. Environmental Pollution, 2003, 124(1):17-31.
- [5] 张亮,曹丛华,任荣珠,等. 岚山港海洋临时倾倒区表层沉积物重金属污染、潜在生态风险评价及变化趋势分析[J]. 海洋通报, 2011, 30(2):234-239.
- [6] 韩照祥,何冠东,李祥,等. 江苏海域倾倒区对海洋环境影响的安全性评价[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(3):11-15.
- [7] 盖广生,杨绥华,刘涛,等. 海洋环境保护法规文件汇编[M]. 北京:海洋出版社,2004:447-455.
- [8] DINESH KUMAR P K, VETHAMONY P, BABU M T, et al. Oceanographic studies off beypore port, west coast of India to locate a dredge dumping site [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2004(90): 269-288.
- [9] 邱桔斐,王瑜,王长海. 开阔水域海洋倾倒区选划的初步研究:以长江口深水航道治理三期工程疏浚物临时倾倒区选划为例[J]. 海岸工程, 2008, 27(1):21-27.
- [10] 蓝先洪,张训华,张志珣. 南黄海沉积物的物质来源及运移研究[J]. 海洋湖沼通报, 2005(4):53-58.
- [11] 张国安,虞志英. 连云港疏浚工程的环境效应:以羊窝头抛泥区为例[J]. 黄渤海海洋, 2000(3):46-56.
- [12] 上海东海海洋工程勘察设计研究院. 连云港港 30 万吨级航道一期工程疏浚物海洋临时倾倒区选划报告[Z]. 2009.
- [13] 李真详. 南黄海西部表层沉积物粒度分布特征及其对沉积环境的指示[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2010.
- [14] 中华人民共和国国家质量技术监督局. GB17501 海洋工程地形测量规范 [S]. 北京:中国标准出版社, 1998.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB17378 海洋监测规范 [S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB3097 海洋水质质量 [S]. 北京:中国标准出版社, 1997.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18668 海洋沉积物质量 [S]. 北京:中国标准出版社, 2002.
- [18] 上海海洋环境监测中心站. 连云港港 30 万吨级航道一期工程临时海洋倾倒区监测评估报告[R]. 北京:中国标准出版社, 2012.
- [19] 丁金钊. 疏浚物倾倒对区域海洋生态环境的影响与对策研究相关文献综述[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(9):33-37.
- [20] 戴明新. 湛江港 30 万吨级航道工程疏浚泥倾倒对海洋生态环境的影响研究[J]. 交通环保, 2005, 26(3):9-11.