锦州湾海洋污染损失价值估算*

蒋　楠[1,2]，周　刚[2]，曹立华[1]，雷　坤[2]，李艺红[2]，韩雪梅[2]

（1. 海洋地球科学学院 中国海洋大学　青岛　266100；2. 河流与海岸带环境创新基地 中国环境科学研究院　北京　100012）

摘　　要：锦州湾是我国污染严重的海湾之一，为了能认清楚具体的实际污染现状，更好地进行治理，因此要准确和有效地评价当地海洋污染的损失价值。文章基于海洋功能区，根据锦州湾地区的实际污染情况，建立科学的符合该海域实际污染现状的环境价值体系，结合基于 Logstics 模型的污染损失率法估算锦州湾海域的污染损失价值。结果得到总损失达到 158.833 8 亿元，损失价值最大的为工业城镇建设区与旅游娱乐区。说明锦州湾地区在大力发展工业与开发旅游资源的同时，忽略了环境的保护，导致锦州湾海域价值损失严重。

关　键　词：锦州湾；海洋功能区；环境价值；污染损失率；海洋污染损失价值

1　引言

锦州湾位于渤海西北部，辽东湾锦州小笔架山到葫芦岛柳条沟连线的西侧，坐拥锦州、葫芦岛两市，包括“两港三区”，是一个三面靠陆、一面临海的开口浅水海湾。湾口朝向东南，海湾面积约为 151.5 km^2，平均水深为 3.5 m。锦州湾的开发利用主要从 20 世纪 80 年代开始，由于滩涂面积广大，因此大面积发展海水养殖以及制盐业，正在运行的锦州港包括 5 000 吨级成品油泊位及杂货泊位各一个[1]。锦州湾还拥有大笔架山风景区以及许多海水浴场，风景秀美。

但是随着工业的发展，锦州湾沿岸建立了许多工厂及矿企业，且城镇人口的增加，排入海里的污染物总量大幅度增加，导致了海洋水质急剧恶化，海洋环境功能出现损害。目前，锦州湾已经成为了我国严重污染的海湾之一，海洋环境质量的下降造成渔业的减产，并对海洋生物以及其栖息地，即整个生态系统甚至对附近居民的生活与生存造成了威胁。因此，解决锦州湾的海洋污染问题迫在眉睫。而想解决锦州湾的水质污染问题，首要也是最关键的问题是要了解锦州湾海域的水质污染现状，即精准、正确地计算出已经损失的价值。

海洋环境污染的损失价值核算可以采用不同的方法，对于经济生产海域，可以采用直接市场法、生产下降法等进行计算，而对于非经济生产的海域，可用防护费用法、恢复费用法和影子工程法等进行量化[2]。但是这些价值的方法没有具体到导致水质破坏的不同污染物质，更无法体现污染物的累积效应，而且主观影响因素较大，容易产生较大的误差，导致计量结果不准确，最重要的是没有与海洋功能区相关联，无法正确地反映海洋中不同使用功能的受损害程度，对海洋质量的好坏变化无法准确评价，因而不利于海洋资源及生态系统的开发利用和规划管理。

本文在海洋功能区划的基础上，利用污染损失率法，将不同功能、水质以及环境价值三者相统一结合，计算出锦州湾不同功能区内受水质污染影响的海洋环境价值，即在海水水质污染情况下会造成损失的环境价值。

2　原理与方法

2.1　海洋环境价值及污染损失价值的计量体系

海洋污染损失价值是指由于海洋环境受到污染，从而导致海洋资源的损耗以及生态功能的破坏，并由此产生的价值上的损失。对海洋

* **基金项目**：渤海陆源入海通量测算与总量控制技术研究（2010BAC69B02）与国家环保公益性行业科研专项经费资助项目（201309062）.

污染损失价值要进行计量，首先要对海洋中的总体环境价值进行计量。

目前我国环境价值的计量大部分基于著名环境经济学家李金昌[2-3]组建的环境价值体系。该体系一共由两部分组成：一部分是有形实质的物质性的商品价值，简称资源价值；另一部分为无形舒适性服务所产生的价值，简称生态价值[4]。但是随着人们对环境保护意识的增强，人们逐渐意识到，环境总价值不应该仅仅局限于提供原材料的资源价值以及提供舒适性服务的生态价值之和，还应该加入环境容纳人们排放日益增多的污染物的价值。因此，将环境纳污价值纳入环境价值体系之中，再具体应用于海洋范围内，详细分类及内容如下[5]：

（1）资源价值（RV）：环境所提供可以被开发利用，能够产生经济价值，提高人们物质生活水平的资源价值，如近海养殖水域、海洋水产资源、海洋矿产资源、海洋动力能源等。

（2）生态价值（EV）：自然生态系统及其物种所提供的满足人们舒适性生活的自然环境条件与效用价值[6]，如气体调节、废弃物处理、休闲娱乐、科研价值等。

（3）纳污价值（PV）：环境容纳、储存和同化生产、生活中产生的固体、气体、液体废弃物功能所具有的价值。

根据此构建体系，海洋环境价值（TEV）＝物质资源价值（RV）＋生态系统价值（EV）＋环境纳污价值（PV）[5]。

计算出海洋环境总价值以后，乘以与之相对应的污染损失率就可以得到海洋污染损失价值。

2.2 污染物损失率法[7-11]

2.2.1 单海洋功能区损害程度的评价

JAMES L D[7]根据 Logistic 模型，提出了“损失-浓度曲线”，该曲线可以描述水体中由于某种污染物引起的经济损失，建立起了污染物浓度与总经济损失之间的相关关系。该曲线是 S 型的，随浓度上升，损失在一定范围内迅速增加，水质污染到一定程度造成的损失趋于极限（图 1）。

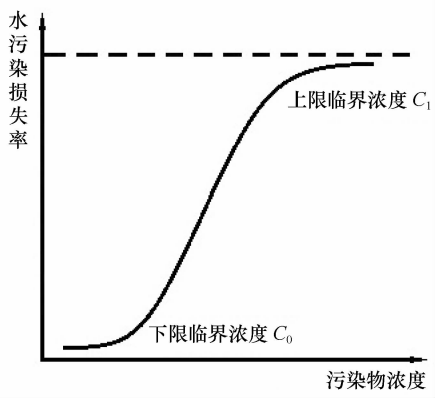

图 1 污染损失浓度曲线

在这个曲线的基础上，朱发庆等[8]建立了适用于湖泊、水库等水体计算数学模型，本文采取这个模型与海洋功能区的内容相结合来计算海洋环境污染损失价值。

$$S=\frac{k}{1+a\cdot\exp(-b\cdot C)} \tag{1}$$

式中：S 为某类污染物对水体所造成的经济损失；C 为污染物浓度上限临界浓度为 C_1，下限临界浓度为 C_0；a、b 为待估参数，由该污染物的特性所决定的。k 为未受污染水体的总价值，一般将满足所有功能区水质要求当作水体的最大价值，当 $C\to\infty$ 时，$S\to k$，故 k 值也可以理解为水体的最大损失值，即我们所计算的海洋环境总价值。

污染物损失率 R 的涵义为：在浓度 C 下，某种污染物引起的损失与水体的最大损失价值之比，表达式如下

$$R=\frac{S}{k}=\frac{1}{1+a\cdot\exp(-b\cdot c)} \tag{2}$$

为了方便计算，假设引起价值损失的临界浓度为 C_0，引进一个新的变量无量纲变量，$X=\frac{C}{C_0}$，因此水体中第 j 种污染物对在海洋功能区 i 中的单项污染物损失率 R_{ij} 可以写成：

$$R_{ij}=\frac{1}{1+a_{ij}\cdot\exp(-b_{ij}\cdot X_{ij})} \tag{3}$$

一般在海洋水体每个功能区内都含有不同的污染物，各种污染物间并不一定完全相互独立，他们之间可能存在拮抗或协同作用，因此在计算单个功能区不同污染物的损失率时，不能直接求各项污染物损失率的代数和，而是成交集形式。

$$R_i^{(n)}=R_i^{(n-1)}+(1-R_i^{(n-1)})R_{in} \quad (4)$$

其实际意义为各功能区的总损失率等于原有损失率加上新增的损失率，而增加的损失率为剩余的部分与新增加的污染物的损失率 R_{in} 的乘积。

2.2.2　*多海洋功能区损害程度的评价*

海洋一般分为许多用处不同的功能区，在评价海洋的损害程度及计算其损失价值时，可以先按单个功能区海洋损害程度的评价方法，来确定海洋各功能区内由于不同污染物共同导致的损害程度 R_i，再确定各功能区的环境价值量 V_i，则计算出海洋内所有功能区的综合损害程度 R，即多功能区海洋损害程度的综合评价值为：

$$R=\frac{V_1R_1+V_2R_2+\cdots+V_nR_n}{V_1+V_2+\cdots+V_n} \quad (5)$$

当用 R 乘以海洋环境的总价值后，其值为整个海洋水体环境价值的总损失量。即

$$S=R\times k \quad (6)$$

2.3　海洋污染损失价值估算步骤

计算基于功能区的海洋污染损失价值，主要按照以下的技术路线（图 2）。

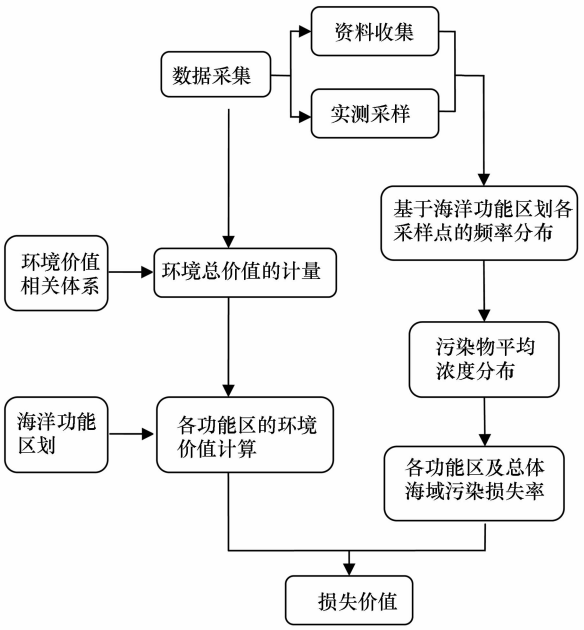

图 2　技术路线

技术路线主要分为以下几个步骤：① 所需数据的采集，数据的采集可以根据所收集以往的研究区域水质浓度资料，也可以研究海域内，在排污口附近设立采样点，按照《海洋监测规范》和海洋调查规范中规定的方法实测得到各项污染物的实际浓度，但是在采样的过程中要注意每个功能区内数据点的分布与频率；② 根据海洋环境价值的计量体系以及研究海域当地的各项经济指标资料，计算该海域的海洋环境总价值；③ 根据我国的区域海洋功能区划，按各功能区的实际使用功能以及各自的面积将环境总价值分配到各个功能区内，并将各个采样点的划分到各个不同的海洋功能区内，取单个功能区内所有采样点的平均浓度为该功能区的污染物的浓度值；④ 根据不同功能区的各项污染物浓度值及不同使用功能计算出各项功能区及总体海域的污染损失率；⑤ 将各项污染损失率与相对应的环境价值相乘，得到各项功能区及总体海域的损失价值。

3　锦州湾海域损失价值估算

3.1　锦州湾的海洋功能区划及采样点

根据 2011 年辽宁省海洋功能区划图，锦州湾共划分 5 个功能区，分别为工业与城镇建设区、旅游娱乐区、港口航运区、保留区和海洋保护区。

海洋中污染物的浓度随时间、潮汐以及其他海洋动力条件的变化而变化，但是由于数据及资料的限制，本文仅通过对 2012 年 8 月在锦州湾湾内海域 31 个点位采集的表层海水样品进行分析估算损失价值，锦州湾的功能区划及采样点位的分布详见图 3。样品采集、保存、运输和分析均严格按照《海洋监测规范》和海洋调查规范中规定的方法执行。样品的监测分析根据水质检测指标国标方法中的规定进行。

按海水水质标准（GB 3097－1997），锦州湾地区功能区水质要求有Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类 4 种水质标准，采样点位所在功能区及其水质类别如表 1 所示。

表 1　采样点位所在功能区及其水质类别

采样点位	所在功能区	水质类别
1、2	旅游娱乐区	二类
3、4、8、12	保留区	四类
5～7、10～11、13～15、18～21、27	港口航运区	四类
9、16～17、22～26、28～31	工业与城镇用海区	三类

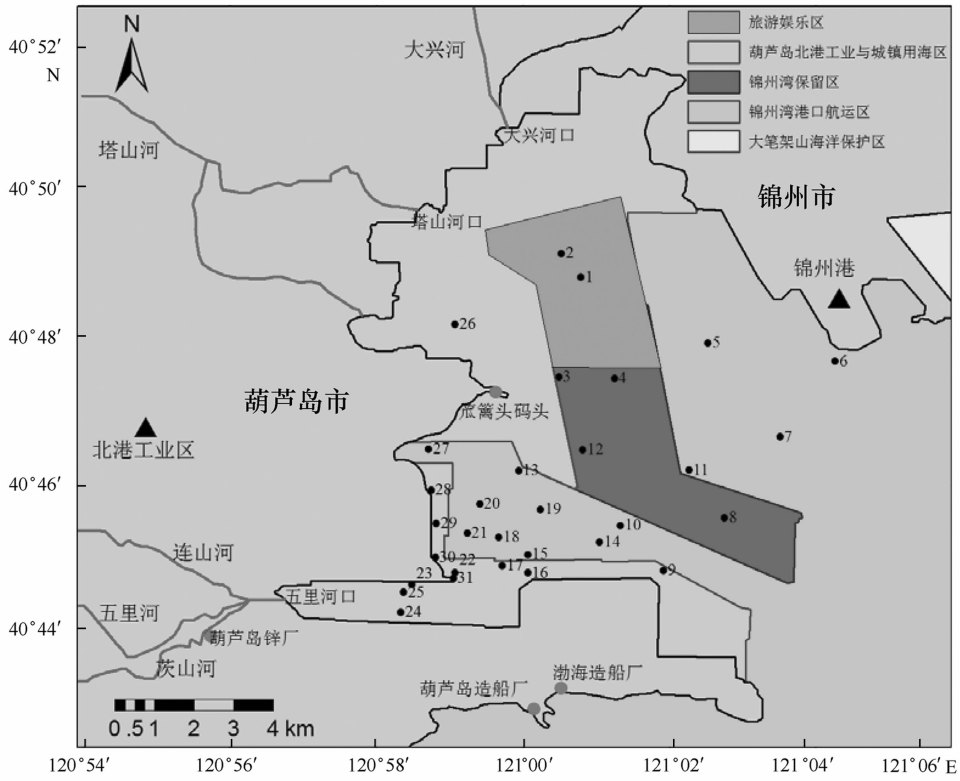

图 3 锦州湾采样点位

3.2 锦州湾海域受水质条件影响的环境总价值计量

由于本文所研究的为受水质污染影响的海洋环境价值，即在海水水质污染情况下会造成损失的环境价值。因此本次计算的主要有资源价值内的海洋渔业价值与海洋生物资源价值两大部分，生态价值内的旅游价值及纳污价值，其他因素的价值不予考虑。

3.2.1 资源价值计量

海洋生物资源包括珍稀动植物以及海洋渔业资源等[12]。海洋中珍稀物种的价值对于我们来说是无价之宝，无法用金钱进行计量，因此这一部分我们不予计算。海洋渔业资源非常容易受到水污染的影响，海洋水质的恶化会造成海洋渔业的减产，海洋生物多样性减少，易对海洋内部的生物链产生重要的影响，改变生物的栖息地，打破生态平衡，依赖于这种物种的生物因为缺少食物也会减少甚至灭亡，以此类推，产生恶性循环，对整个海洋生态系统造成无法估量的损失。更重要的是石油烃类、挥发酚类以及重金属等污染物质会在鱼类体内造成蓄积，人类进食了以后会产生富集效应，对人类的身体健康造成巨大的威胁。因此，锦州湾地区的资源价值主要从近海人工养殖价值与海洋水产价值这两个方面计量。资源价值本次计算采用的是收益现值法，即将总收益扣除投资成本、生产成本、政府税收、劳动力报酬之后的剩余部分。具体按式（7）计算[5]：

$$V_i = \sum_{i=1}^{T} \frac{(R_i - I_i - C_i - S_i - T_i)}{(1+r)^2} \quad (7)$$

式中：V_i 为近海养殖水域的价值；I_i 为投资成本及其正常收益；S_i 为第 i 年支付的劳动报酬；r 为投资收益率；R_i 为海水养殖每年获得的总收益；C_i 为海水养殖第 i 年所支付的生产成本；T_i 为第 i 年支付的税收；I 为评估年限。

2012 年锦州湾的养殖产量为 3.2 万 t，产值为 1.3 亿元，投资成本、生产成本、劳动力报酬和税收之和取产值的 45%（参考亚热带水产养殖绿色核算），评估年限取 20 年，投资收益率取 10%，则计算出近海养殖水域价值为 6.09 亿元。

海养水产资源的价值以海洋的捕捞量计，锦州市捕捞产量 2012 年为 37.5 万 t，产值 29 亿。利润率取 20%，折现率取国库券利率 12.52%。计算出海洋水产资源价值为 46.33 亿元。

3.2.2　生态价值计量

COSTANZA 等[13]将生态系统服务功能分为 17 个类型：气体调节、气候调节、扰动调节、水调节、水供给、控制侵蚀和保持沉积物、土壤形成、养分循环、废物处理、传粉、生物控制、避难所、食物生产、原材料、基因资源、休闲、文化功能[14]。由于本文研究的是水质污染影响的海洋环境价值，因此在锦州湾海域内的生态功能范围内，受水质影响的只有休闲娱乐功能，即旅游功能。在海洋水质污染后，人们直接接触受污染水容易导致皮肤过敏等一系列的健康问题，因而无法进行游泳，沙滩，快艇等娱乐活动；水质污染往往会导致水体恶臭，影响风景质量，各种原因综合导致该地区的旅游人数下降，从而导致旅游价值的降低。因此，本文计算了锦州湾地区的旅游价值，旅游价值一般采用费用支出法来进行计量。其公式为：旅游总价值＝国外旅游价值＋国内旅游价值。

2012 年锦州湾接待国外旅游人数 30 万人次，实现旅游外汇收入 1.8 亿美元；国内旅游人数 2 550 万人次，国内旅游收入 225 亿元；旅游业总收入为 237.2 亿元（2012 年锦州市国民经济和社会发展统计公报）。

3.2.3　纳污价值计量

海洋环境的纳污价值的核算主要包括两个方面：环境容量的核算以及污染物实际排放量的核算。原则上应该对每一项污染物进行计量，因为环境对不同污染物的容纳能力是不一样的，但是由于我国统计部门仅对部分污染物进行统计，因此本文仅对国家控制的主要污染物进行了计量[5]。

（1）环境容量的计量。本文环境容量所采用的模型与计算结果，均来自于中国海洋大学。中国海洋大学的研究人员采取“浓度梯度积分法”，即综合考虑水动力空间和生物地球化学时间变化特征，建立了适应三维空间数值模型的污染物环境容量（EC）计算方法：

$$EC = \max\left\{\int_0^V\int_0^t\left[\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right) - \sum_k\left(\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}t}\right)_K - \left(\frac{\partial C}{\partial V}\right)_{\mathrm{Hyd}}\right]\Big|_{C_i\leqslant C^s}\mathrm{d}V\mathrm{d}t\right\} \tag{8}$$

式中：$\left(\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}t}\right)_k$ 表示第 k 种生物地球化学自净过程；$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)$、$\sum_k\left(\frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}t}\right)_K$ 和 $\left(\frac{\partial C}{\partial V}\right)_{\mathrm{Hyd}}$ 分别表示纳污海域污染物浓度梯度、生物地球化学时间浓度梯度和水动力空间浓度梯度积分[15]。

应用环境容量耦合模型，在海水水质控制标准条件下，分别计算锦州湾地区氮、磷营养盐、COD 的环境容量。通过防护支出法确定的单位污染物所具有的价值，采用恢复费用法，COD 的单位处理成本取 1.66 元/kg，TN 的单位处理成本取 2.14 元/kg，磷的单位处理成本取 3.6 元/kg，最终得出不同污染物的环境容量价值（表 2）。

表 2　环境容量价值

主要污染物	环境容量/（t·a^{-1}）	处理成本/（元·kg^{-1}）	容纳的价值/（亿元）
COD	32 000	1.66	0.530
TN	3 400	2.14	0.073
PO_4^-	320	3.60	0.012
合计	—	—	0.615

（2）环境纳污价值的计量。纳污价值的计量是指对实际向海洋环境排入污染物的量进行计量。根据 2010 年污染源普查数据，锦州湾主要污染物进入水体的量见表 3，根据恢复费用法，COD 与 TN 的单位处理成本同环境容量的计算成本，水体接纳废水污染物的价值见表 3。

表 3　排污价值

主要污染物	排入水体的量/（t·a^{-1}）	处理成本/（元·kg^{-1}）	容纳的价值/亿元
COD	287 175.10	1.66	4.77
TN	58 762.27	2.14	1.26
PO_4^-	6 853.28	3.60	0.25
合计	—	—	6.28

将锦州湾地区的环境容量价值与环境纳污价值进行比较（表 4）。

表 4 锦州湾海洋环境容量价值与环境纳污价值比较

主要污染物	环境容量价值/亿元	环境纳污价值/亿元
COD	0.530	4.77
TN	0.073	1.26
PO_4^-	0.012	0.25
合计	0.615	6.28

从比较结果可以看出，2010 年锦州湾地区 COD、TN、PO_4^- 的提供价值都超过了其净化能力，说明了锦州湾地区的环境环境质量污染较为严重，环境功能受到了一定的损伤。

在总环境价值的计量中，纳污价值这部分仅将实际污染物的排污价值计入其内。

3.2.4 环境总价值计量

对锦州湾地区的环境价值进行综合核算，得出锦州湾地区的环境总价值为 290.055 亿元，即锦州湾地区的最大损失价值为 290.055 亿元（表 5）。

表 5 海洋环境总价值

海洋环境价值		价值/亿元
资源价值	近海养殖价值	6.09
	海洋水产价值	46.33
生态价值	休闲娱乐价值	237.02
纳污价值	COD	4.77
	TN	1.26
	PO_4^-	0.25
海洋总价值		295.72

3.2.5 锦州湾各功能区环境价值的分配

首先根据锦州湾的功能区划，计算出锦州湾各功能区的面积。分类环境价值中，近海养殖一般设立在近海岸处，因此近海养殖价值则主要分配在港口航运区、工业与城镇建设区、海洋保护区这 3 个近岸功能区内。海洋水产分布在整个海域内，因此存在于各个功能区内。休闲娱乐价值主要存在于旅游娱乐区以及海洋保护区内。纳污价值也存在于整个海域的各个功能区内，根据各功能区的标准化面积，可以算出各个功能区内的环境价值，详细结果见表 6。

表 6 锦州湾各功能区环境总价值

功能区	面积/km^2	近海养殖价值/亿元	海洋水产价值/亿元	休闲娱乐价值/亿元	纳污价值/亿元	总计/亿元
工业与城镇建设区	22.77	1.573 6	9.900 7	—	1.342 0	12.816 3
旅游娱乐区	7.51	—	3.266 3	134.85	0.442 7	138.559
港口航运区	59.66	4.123 1	25.935 5	—	3.515 5	33.574 1
保留区	10.94	—	4.758 1	—	0.645 0	5.403 1
海洋保护区	5.69	0.393 2	2.474 0	102.17	0.335 4	105.372 6
总计	106.57	6.089 9	46.334 6	237.02	6.280 6	295.725 1

3.3 锦州湾海域各功能区污染损失率

在实例中，本文利用污染损失率法计算锦州湾海域的环境损失率。

3.3.1 参数 a、b 的确定

锦州湾地区的海洋环境功能主要有工业与城镇建设区、旅游娱乐区、港口航运区、保留区和海洋保护区。其中海洋保护区的水质临界浓度采用一类水质标准，旅游娱乐区采用二类水质标准，工业与城镇用海区采用三类水质标准，保留区与港口航运区采用四类水质标准。假定污染物是临界状态时，浓度为不同功能区的海洋水质标准值，即 $X_{ij}=1$ 时，功能损失率为 0.01，污染物浓度达到极限浓度时，即 $X_{ij}=\frac{C_{iji}}{C_{ij0}}$ 时，功能损失率为 0.99，其中 C_{ij0} 为第 j 种污染物对水中第 i 项功能引起损失时的临界浓度，一般取相应的水质标准，C_{iji} 为 j 种污染物对水中第 i 项功能引起损失时的极限浓度，取值时一般以 C_{ij0} 的 5～10 倍[8]，并以各类水质标准的递增幅度作为参考。根据式（3）推算出 a，b

值的计算公式：

$$\begin{cases} a_{ij}=99^{(X_{ijl+1})/(X_{ijl-1})} \\ b_{ij}=21n99/(X_{ijl-1}) \end{cases} \quad (9)$$

锦州湾地区的主要污染物主要选取的是 COD、TN、PO_4^- 以及重金属镉、锌、铅。根据各种文献及报道的污染物毒性资料，本文确定出了锦州湾地区不同功能区、不同污染物分别的 a，b[8,11]参考取值，具体结果见表 7。

表 7　参数 a_{ij}、b_{ij} 的参考值

主要污染物		工业与城镇建设区	旅游娱乐区	港口航运区	保留区	海洋保护区
COD	a	45 340.0	97 518.6	2 118.6	24 569.5	57 388.1
	b	6.126 8	6.892 7	3.063 4	5.5141	6.362 5
TN	a	274.9	622.1	160.6	799.4	368
	b	1.021 1	1.838	0.483 7	2.088 7	1.312 9
PO_4^-	a	274.9	622.1	160.6	274.9	368
	b	1.021 1	1.838	0.483 7	1.021 1	1.312 9
Cd	a	108.6	985	274.9	274.9	985
	b	0.092 8	2.297 6	1.021 1	1.021 1	2.297 6
Zn	a	160.6	985.0	2118.6	274.9	985.0
	b	0.483 7	2.297 6	3.063 4	1.021 1	2.297 6
Pb	a	160.6	2 118.6	9 801	274.9	2 118.6
	b	0.483 7	3.063 4	4.595 1	1.021 1	3.063 4

3.3.2　锦州湾各功能区浓度

锦州湾内 31 个点位有相对应的不同浓度值，根据锦州湾海洋功能区划将 31 个采样点分别划分在了 5 大功能区内（表 1）。将各个功能区内的点位取平均值，得到了各功能区内的平均水质浓度。其中，由于锦州湾内的海洋保护区受政府保护，采样船无法入内，因此无法采集到锦州湾海洋保护区的水质浓度。但是海洋保护区由于功能的特殊性，国家严格保护其水质状况，且在保护区附近也没有排污口、河流等污染源，因此，本文将一类水的水质标准作为海洋保护区的浓度，具体浓度值见表 8。

表 8　2012 年锦州湾各功能区平均水质　　mg/L

主要污染物	工业与城镇建设区	旅游娱乐区	港口航运区	保留区	海洋保护区
COD	11.508 3	13.100	12.707 690	12.5	2.000
TN	6.604 1	13.359	6.900 700	7.738 2	0.200
PO_4^-	0.652 77	0.783	0.733 100	0.450 4	0.015
Zn	0.210 25	0.090 500	0.329 460	0.210 25	0.020
Cd	0.003 42	0.002 125	0.001 998	0.002 16	0.001
Pb	0.002 328	0.003 830	0.001 409	0.001 737 5	0.001

3.3.3　锦州湾海域功能区单项及综合污染物损失率

根据锦州湾 6 大主要污染物的浓度，用公式（2）、式（4）和式（5）得出了锦州湾海域各功能区单项污染物以及整体海域综合损失率的值（表 9）。

表 9 2012 年锦州湾海域污染损失率

污染损失率		工业与城镇建设区	旅游娱乐区	港口航运区	保留区	海洋保护区	总计
单项指标污染物损失率 R_{ij}	COD	0.024 078 45	0.017 622 51	0.005 961 16	0.004 134	0.000 072 090	
	TN	0.755 273 19	0.999 999 99	0.149 136 87	0.999 924	0.003 520 930	
	PO_4^{3-}	0.007 036 18	0.006 733 21	0.008 798 25	0.005 726	0.002 763 777	
	Cd	0.009 126 94	0.001 019 10	0.003 631 88	0.003 632	0.001 025 910	
	Zn	0.006 711 68	0.001 248 32	0.001 291 51	0.004 487	0.001 137 526	
	Pb	0.006 194 96	0.000 102 27	0.003 630 78	0.000 477	0.000 479 066	
不含重金属的综合损失率		0.762 846 312	0.990 242 476	0.161 650 48	0.990 098	0.006 347 421	
综合损失率 R_i		0.768 033 949	0.990 265 587	0.163 385 96	0.990 583	0.008 970 956	0.537 11

3.4 锦州湾海域各功能区损失价值的估算

根据锦州湾各功能区的环境总价值以及各功能区的污染损失率，利用式（6）则得出了锦州湾海域各功能区损失价值（表 10）。

表 10 2012 年锦州湾海域污染损失价值

海域污染损失价值	使用功能价值的 P_i/亿元	综合损失率 R_i	水污染损失/亿元
工业与城镇建设区	12.816 3	0.768 033 949	9.843 4
旅游娱乐区	138.559 0	0.990 265 587	137.210 0
港口航运区	33.574 1	0.163 385 960	5.485 5
保留区	5.403 1	0.990 583 114	5.349 6
海洋保护区	105.372 6	0.008 970 956	0.945 3
总计	295.72	0.537 11	158.833 8

4 结论

根据基于海洋功能区，采用污染损失率法对锦州湾海域的污染损失价值的估算结果，得到 2012 年锦州湾海域工业与城镇建设区损失 9.843 4 亿元，旅游娱乐区损失 137.210 亿元，港口航运区损失 5.485 5 亿元，保留区损失 5.349 6 亿元，海洋保护区损失达到 0.945 3 亿元，总损失达到 158.833 8 亿元，损失价值数目巨大。损失价值最大的为工业城镇建设区与旅游娱乐区，说明锦州湾在大力发展工业与旅游业的同时，没有注重对环境的保护，导致这两片海域环境破坏严重。今后，在锦州湾发展中，不能再以环境污染的代价来换经济的进步，尤其要注重对海洋的保护，实现海洋环境与经济的共同可持续发展。

参考文献

[1] 中国海湾志：第二分册[M]. 北京：海洋出版社，1997：343－346.

[2] 王艳. 区域环境价值核算的方法与应用研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2005.

[3] 李金昌，姜文莱，靳乐山. 生态价值论[M]. 重庆：重庆大学出版社，1999：1－28，156－163.

[4] WERFF E V DER , STEG L, KEIZER K. The value of environmental self-identity: The relationship between biospheric values, environmental self-identity and environmental preferences, intentions and behavior[J]. Journal of Environmental Psychology, 2013(34): 55－63.

[5] 田春暖. 海洋生态系统环境价值评估方法实证研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2008.

[6] PIMENTAL D, WILSON C, MCCULLUM C, et al. Economic and environmental benefits of biodiversity[J]. BioScience，1997，47(11)：747－757.

[7] JAMES L D. 水资源规划经济学[M]. 北京：水利电力出版社，1984.

[8] 朱发庆，高冠民. 东湖水污染经济损失研究[J]. 环境科学学报，1993，13(6)：214－222.

[9] 孙峻，高炎炎. 污染损失率法在污水水质综合评价

中的应用[J]. 青岛大学学报，1999，14(3)：58－59，63.

[10] 何澄. 环境污染损失浓度曲线的运用和拓展[J]. 环境保护，1995(12)：29－33.

[11] 陈妙红，邹欣庆，韩凯，等. 基于污染损失率的连云港水环境污染功能价值损失研究[J]. 经济地理，2005，25(2)：224－226.

[12] CAI Meifang，LI Kaiming. Economic losses from marine pollution adjacent to pearl river estuary，china [J]. Procedia Engineering，2011，18：43－52.

[13] COSTANZA R，D'ARGE R，de GROAT R，et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature，1997，38 (7)：253－260.

[14] OFIARA D D，SENECA J J. Biological effects and subsequent economic effects and losses from marine pollution and degradations in marine environments：Implications from the literature[J]. Marine Pollution Bulletin，2006，52：844－864.

[15] 丁东生. 渤海主要污染物环境容量及陆源排污管理区分配容量计算[D]. 青岛：中国海洋大学，2012.