大连市近岸海域水环境污染与经济增长的关系研究*

盖 美[1] 田成诗[2]

摘 要 大连市近岸海域水环境污染是大连市主要的生态环境问题，并已成为大连市可持续发展的瓶颈。本文从可持续发展的角度出发，首次采用环境库兹涅茨曲线模型定量探讨了近岸海域水环境与陆源社会经济的关系。结果表明，大连市人均GDP与废水排放量、生活用水量、石油类浓度、化学耗氧量和磷酸盐浓度显著相关，且石油类与人均GDP呈倒U型，不再随着经济增长而增长；化学耗氧量、磷酸盐浓度、生活用水量和废水排放量呈现出随着经济增长而继续增大趋势。最后提出了近岸海域水环境改善的措施。

关键词 环境库兹涅茨曲线；水环境污染；经济增长；计量模型

环境与经济的关系，一直以来都是环境经济学界众多学者研究的热门话题。在20世纪90年代初美国环境经济学家Grossman和Krueger及Shafik和Bandyopadhyay根据经验数据提出了环境库兹涅茨曲线（KEC）的概念，用以描述经济发展与环境污染水平演替关系的计量模型。目前，经济学家讨论国家或区域经济发展与环境污染关系时常引用这一模型，也就是说从拐点研究来分析某些国家和地区在一定程度上的经济发展水平与环境污染的关系。比如Shafik和Bandyotou在1992年估计大气中SO_2和悬浮微粒浓度的转点分别为人均GDP（购买力水平）3 670美元和3 280美元；Panayotou从污染物流量角度估计SO_2和悬浮微粒人均排放量的转折点分别为人均GDP 2 900～3 800美元之间和4 500美元；而张晓在1999年利用1985—1995年时间序列数据进行估算，中国大气污染（废气和SO_2）的转折点位于GDP人均1 200～1 500元（1978年价格，而1997年中国人均GDP已达1 300元）说明中国的大气污染正进入转折期。沈满洪利用环境库兹涅茨曲线分析了浙江省的经济增长与环境污染变迁的关系等。

近岸海域污染80%以上的污染物来自陆源，但关于近岸海域水环境污染与陆域社会经济关系的研究很少。本文从可持续发展的角度出发，首次采用环境库兹涅茨曲线模型探讨了大连市近岸海域水环境污染与社会经济增长的关系，克服了以往关于近岸海域水环境的研究仅停留在概念及定性分析上的不足。

库兹涅茨曲线模型对于城市经济可持续发展意义巨大。一是从产业结构的发展过程来看，城市农业、工业、服务业渐次增长及城市产业布局与环境污染也存在一定的相关关系；二是由于环境污染主要集中城市，具有空间分布上的不均衡性，因而研究一个局部可以看到城市化发展所处的阶段更具有现实意义。本研究对于大连市近岸海域水环境的保护、城市的可持续发展具有重大意义。

一、大连市经济增长结构及近岸海域水环境演变态势

改革开放以来，大连市的经济快速发展，1990—2000年间GDP平均年均增长达10.8%，1990—2000年GDP翻了两番多；人均GDP由1990年的5 558.73元增至2000年的29 706.36元（图1）。

经济增长结构：1990年以来第三产业年均增长率为3.46%，产业结构由1990年的6.01：58.49：35.35变为2000年的5.08：43.49：51.43，第三产业对大连市经济增长的贡献率逐渐上升

* 基金项目：国家自然科学基金项目(编号：03CJL006)资助。

（图 2）。

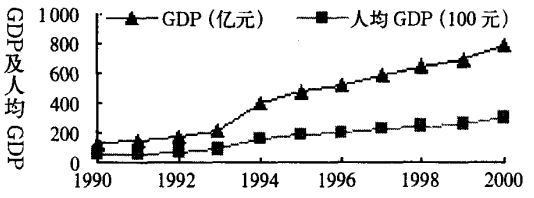

图 1 大连市 GDP 及人均 GDP 变化

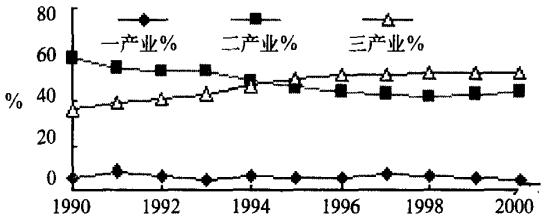

图 2 大连市经济结构变化

大连市经济发展的进程不可避免与水环境变化相伴随。通过监测表明，无机氮、磷酸盐、COD、石油类浓度是大连市近岸海域的主要污染物。采用模糊模式识别模型对大连市近岸海域水环境质量进行评价，表明大连市近岸海域水质接近三级海水，且呈现出逐年恶化的趋势。近几年的资料显示，大连市近岸海域由于环境污染所造成的水产业经济损失每年可达数千万元，同时还造成部分海域底栖生物绝迹、赤潮灾害频繁发生，给海洋水产业造成巨大危害。大连湾近岸海域沿岸底质有害物质明显以陆源污染物为核心向海域内延伸，以工业污水和生活污水混合排放区潮间带污染较为严重。

二、大连市经济增长与水环境污染水平分析及计量模型验证

1. 指标的选取及分析

环境指标选择是构建经济发展与环境污染水平关系计量模型的关键。由于大连市近岸海域水环境是大连市经济发展中存在的主要问题，并已成为大连市可持续发展的制约瓶颈，因此研究大连市近岸海域水环境与经济增长的计量模型对于大连市制定环保政策，城市的可持续发展具有重大意义。本次选择两类环境指标：主要影响因素指标和水环境本身指标。大连市近岸海域主要影响因素为陆源污染物，即工业化、城市化进程中的工业废水和生活废水的排放，因此选择废水排放总量、工业废水排放量、生活废水排放量。近岸海域水环境本身指标主要为无机氮、石油类、化学耗氧量、磷酸盐浓度。

对大连市 1990—2000 年经济增长（人均 GDP）与以上水环境指标数据进行相关分析：

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2(y_i-\bar{y})^2}}$$

式中：ρ 为相关系数；n 为样品数；y_i、$\bar{y}$ 分别为第 i 个样品人均 GDP 和所有样品 GDP 的均值。x_i、$\bar{x}$ 分别为第 i 个样品的实测值和所有样品的均值。

计算结果表明（表 1），大连市的工业废水排放量与人均 GDP 相关性较弱，这是因为：①大连市人均 GDP 是逐渐增大的，而工业废水排放量 1990—1995 年是递减趋势，1996—2000 年又是递增趋势。②大连市人均第二产业增加值占人均 GDP 比重由 1990 年的 58%降至 2000 年的 43%，也就是说第二产业在国民经济中的贡献率是递减的，而第三产业在 GDP 中的贡献率增大，大连市的产业结构逐渐高级化。③大连市重视环境保护，工业废水处理率较高，一般在 90%以上，城市污水处理率从

表 1 大连市人均 GDP 与各环境指标相关分析

环境指标	污水排放总量	工业废水排放量	生活用水	无机氮	石油类	化学耗氧量	磷酸盐
ρ	0.774	0.228	0.911	0.501	−0.793	0.718	0.641
显著性	★	—	★	—	★	★	★
sigF	0.05	0.501	0.000	0.117	0.004	0.013	0.034

注：“★”相关显著水平 0.05；“—”相关不显著。数据来源：大连年鉴，大连统计年鉴（1990—2001 年）

1990年的10.9%增至2000年的30.24%。人均GDP与近岸海域水环境中无机氮浓度无相关性，其原因在于无机氮变化趋势较弱，尤其最近几年几乎保持原状。通过分析，从而选取了相关性极为显著的环境指标，即污水排放总量、生活用水、石油类、化学耗氧量、磷酸盐进一步分析与人均GDP的关系。

2.计量模型构建

利用环境库兹涅茨曲线理论所提出的数理模型(主要是基于对人均收入的二次和三次方程)和大连市相应的有关数据，通过SPSS软件计算，得到的模型模拟结果示于表2。

表2　大连市经济增长与水环境污染水平计量模型模拟结果

污染物	常数项	人均GDP	(人均GDP)^2	R^2	F检验	Sig$F$
污水排放总量	38 142.1	−0.791	4.2E−5	0.713	9.95	0.007
生活用水量	5 694.22	0.344	2.7E−6	0.831	19.69	0.001
石油类	0.090 1	1.2E−5	−4E−10	0.893	37.7	0.000
化学耗氧量	1.064 7	−3E−5	1.6E−9	0.587	5.69	0.029
磷酸盐	0.010 2	1.8E−7	2.4E−12	0.412	2.81	0.119

数理方程：

$$y_T=\beta+\beta_1x_1+\beta_2x_1^2+\varepsilon_T \text{或} \ y_T=\beta+\beta_1x_1+\beta_2x_1^2+\beta_3x^3+\varepsilon_T$$

其中：y_T为污染物量或浓度；x_1为实际人均GDP(元／人)。

对于污水排放总量、生活用水量、石油类浓度、化学耗氧量浓度、磷酸盐浓度用二次方程拟合程度较好，具体方程为：

$$y_{\text{污水排放总量}}=38\,142.1-0.791x+(4.2E-5)x^2$$

$$y_{\text{生活用水}}=5\,694.22+0.344x+(2.7E-6)x^2$$

$$y_{\text{石油类}}=0.090\,1+(1.2E-5)x+(-4E-10)x^2$$

$$y_{\text{化学耗氧量}}=1.064\,7+(-3E-5)x+(1.6E-9)x^2$$

$$y_{\text{磷酸盐}}=0.010\,2+(1.8E-7)x+(2.4E-12)x^2$$

由上述方程可以看出：

$y''_{\text{污水排放总量}}=4.2E-5>0$为凸函数严格递增无拐点；

$y''_{\text{生活用水}}=2.7E-6>0$为凸函数严格递增无拐点；

$y''_{\text{石油类}}=-5E-11<0$为凹函数有拐点；拐点为 =1.5万元／人，即人均GDP达到1.5万元时石油类浓度将减少；

$y''_{\text{化学耗氧量}}=1.6E-9>0$为凸函数严格递增无拐点。

$y''_{\text{量磷酸盐}}=2.4E-12>0$为凸函数严格递增无拐点。

从趋势上看(图3)，大连市石油类浓度在人均GDP为1.5万元时出现倒U型拐点，即1995年以后石油类浓度出现逐渐改善的态势。对于大连市污水排放总量、生活用水量及近岸海域水环境中的化学耗氧量在近10年呈现上升趋头，并不是倒U型，也不存在所谓的拐点，这是因为大连市自20世纪90年代以来经济快速发展，城市化水平加快，人口总数由1990年的239.64万人增至2000年的267.78万人，人均日生活用水由1990年的92.3L增至2000年的188.5L，生活用水量显著增加，但生活废水处理率很低，2000年历史最高水平为70%；工业总产值呈逐渐增加趋势，虽然万元产值耗水量降低，但总体来说工业废水排放量还是呈增长趋势；大连市城市污水处理能力不高，2000年城市污水处理率最高为30.24%。有关资料显示，美国经济增长因素中科技进步作用占71%，日本占65%，而中国只占19%；日本采用CWT模式处理工业废水，由1 135m^3/d消减到114m^3/d。大连市的工业发展应以高新技术为主，提高城市污水处理率，减少工业废水排放总量。与发达国家相比，发达国家经

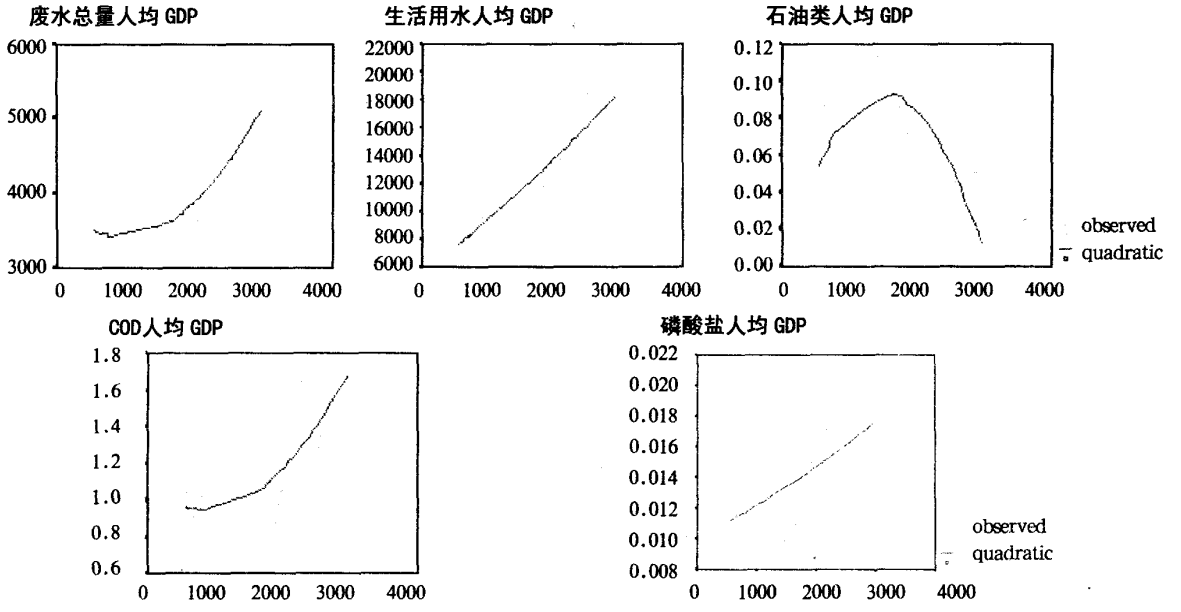

图 3　大连市人均 GDP 与近岸海域水环境污染指标关系

济增长结构一般为服务业增加值所占比重远大于工业，更大于农业，而大连产业结构三产比重略大于二产比重，二者几乎并驾齐驱。据专家分析，环境污染预前防治的费用只有“先污染、后治理”费用的 1/10。美国在 1971—1980 年间环保投资占 GDP 的 2%，日本占 2.9%，大连在 2000 年环境投资占 GDP 的 2.0%。借鉴西方发达的经验，少走弯路，应继续加大环保投资，每年的环保投资都应占 GDP 的 2.0%以上，提高污水处理率，使水环境转折点提前到来。

三、大连市近岸海域水环境改善的措施

环境与经济的关系都要经过三个阶段：经济起飞之前，污染时代，环境恢复到经济起飞之前阶段。通过近岸海域水环境与经济的库兹涅茨曲线模型分析，大连市水环境与经济发展正处于“污染时代”。污染的防治和恢复必须采取“全过程控制”与“末端治理”相结合的策略，从经济社会发展的宏观层次到企业清洁生产，以最大限度减少污染物排放、消除污水中的各种有害物质及实施污水资源化为目标，全面走生态化道路。具体措施有几方面。

1. 控制陆源污染源

陆源污染物是海洋环境的主要污染物，有效地控制海洋环境污染，首先要从陆源污染物排放控制做起。随着工业的发展，工业废水排放量逐渐增加，大连市 2000 年工业废水排放量为 31 886 万 t，工业废水排放总量占城市污水排放总量的 70%以上。为了有效减少工业废水排海量，要对那些对近岸海水污染严重的企业进行限期治理和关停并转，同时还要坚决控制新的污染源，加强对污染总量的控制，要对污染物浓度和总量实行双重控制。只有企业积极参与环境保护，采取切实可行的措施，大连市近岸海域的水环境才能走可持续发展之路。

生活污水的排放也是海洋污染的重要源头。大连市人口由 1990 年的 239.63 万人增至 2000 年的 267.78 万人，生活用水量由 1990 年的 6 534 万 t 增至 1999 年的 20 210 万 t。一方面是由于生活水平的提高，洗衣机、洗澡等纯生活用水量增多；另一方面生活用水含大生活用水（第三产业用水），随着产业结构的高级化，服务业、电子业等第三产业用水不断增多，因此生活用水增加较多。生活用水的排海量，加剧了对近岸海域水环境的污染。因此，在加大对城市生活污水处理能力、提高污水处理率的

同时，还要坚决贯彻人口发展战略方针，严格控制大连市海岸带地区的人口数量。并且要努力加强海洋环保宣传工作，提高人们的海洋环境保护意识，普及海洋环境保护知识。

2.提高城市污水处理率是促进海洋环境保护的重要手段

提高城市污水处理率，可减少废水排放量。大连市近岸海域水质恶化，主要原因是污水处理率低，大部分污水未经处理直接排入近海，因此污水处理厂的建设是提高城市污水处理率的关键。根据大连市城市整体规划，城市中心应该建7座污水处理厂，但由于资金不足，现在只建了3座，即春柳河污水处理厂，马栏河污水处理厂和老虎滩、凌水河深海排放工程。污水处理厂的建设，投资大，仅靠国家和政府投资是不够的，应各方面吸引资金，借鉴天津市的经验，采取利用世界银行和国外政府贷款、征收城市排水费的方式，保证城市污水处理厂建设的资金，力争3～5年时间内，建立起符合市场经济规范和国际通行的投资运行机制，形成投资主体自主决策、融资方式多样、政府宏控有力的投融资体制。同时，对厂矿企业现有的污水处理站实行行政监督，采取措施，保证正常运行，处理达标后排放，对新建的企业、新上的项目要严格监督监测，必须建污水处理站，用以污水处理。

3.加强城市化宏观调控，大力发展第三产业

为了大连海岸带地区在未来的城市化进程中，能够更加充分有效地发挥其经济核心的作用，增加正效应，减少负效应，则必须加强城市化的宏观调控，大力发展第三产业。改变“增长导向型”的方法为“规划导向型”的方法，对海域、岸段的利用现状及发展进行必要的调整和控制，大力提倡和发展那些质量效益型、科技先导型、资源节约型、污染比较轻的项目，严格控制那些能源消耗高、资源浪费大、污染严重的项目。

4.加强海岸带综合管理制度的建设

经济活动的外部不经济性内部化是改善近岸海域水环境的根本途径，而促使经济活动的外部不经济性内部化的法律手段可以分为两类：直接管制手段和间接管制手段。直接管制手段往往是命令性的，大连市于1995年4月公布执行了《大连市海域使用管理暂行规定》，但还不是一个完整的综合管理法规，需要不断地补充、完善海洋管理法律、法规。间接强制手段就是经济手段。经济手段以经济刺激的方式，争取经济活动主体的主动配合，其中一些经济手段可以为政府筹集一笔资金，扶植对环境有益的清洁工艺技术的研究、推广、应用，用于环境保护的宣传教育、技术培训，救济某些环境侵害受害者，从而实现经济效益、社会效益和环境效益的有机统一。借鉴西方经济发达国家采用关于经济手段的立法和实践中的成功经验，更多地运用市场机制开展环境保护工作，通过经济手段和其他方法有效地改善近岸海域水环境。

四、结论

环境与经济的关系一直是众多经济学家研究的热点，但大多数是研究陆域环境与经济之间的关系的。本文首次采用库兹涅茨曲线模型定量探讨了大连市近岸海域水环境与经济增长的关系，得出污水排放总量、生活用水量、石油类、COD、磷酸盐浓度这5个指标与社会经济有显著相关性；且石油类浓度与人均GDP呈现倒“U”关系，即在大连市人均GDP为1.5万元时石油类浓度开始减小；而废水排放总量、生活用水量、磷酸盐浓度、COD浓度随着人均生活水平的增加而继续增大；大连市近岸海域水环境与经济发展正处于“污染时代”，水环境污染的转折点尚未到来。最后，从控制陆源污染物、调整产业结构、提高城市污水处理率和加强海岸带管理制度四个方面提出了大连市近岸海域水环境改善的措施。

（作者单位　1.辽宁师范大学海洋经济可持续发展研究中心　2.东北财经大学统计系）