

基于非平衡产量模型的海洋渔业资源承载力评估

——以浙江省为例

杨 洋^{1,2,3}, 刘志国^{2,3}, 何彦龙^{2,3}, 叶属峰^{2,3}

(1 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 201206; 3 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室, 上海 201206)

摘要:本文搜集整理相关统计年鉴中 1998~2013 年浙江省的海洋捕捞产量和海洋捕捞机动渔船基本情况的数据, 利用非平衡产量模型结合逻辑斯蒂模型计算出最大持续产量 (Maximum Sustainable Yield, MSY), 然后利用最大持续产量构建了海洋渔业资源承载力评价模型, 对 1998~2013 年浙江省海洋渔业资源承载力状况进行了评估。评估结果显示: 在 1998~2013 年, 仅 2007 年和 2008 年的浙江省海洋渔业资源承载力状况是可载的, 占研究年份的 13%; 2009 年的浙江省海洋渔业资源承载力状况是临界超载的, 占研究年份的 6%; 其余年份的浙江省海洋渔业资源承载力状况均处于超载状态, 占研究年份的 81% 之多, 过度捕捞现象严重。本文应用非平衡产量模型计算最大持续产量, 首次利用统计学方法构建了海洋渔业资源承载力评价模型, 对海洋渔业资源承载力状况进行评估, 旨在为今后开展浙江省乃至全国海洋渔业资源承载力, 甚至是海洋资源环境承载力的研究提供技术支撑。

关键词:非平衡产量模型; 渔业资源; 最大持续产量 (MSY); 资源承载力; 浙江省

中图分类号:X24 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6336(2016)04-0534-06

The assessment of carrying capacity of marine fishery resources based on the non-equilibrium production model-A case study in Zhejiang province

YANG Yang^{1,2,3}, LIU Zhi-guo^{2,3}, HE Yan-long^{2,3}, YE Shu-feng^{2,3}

(1. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea Environmental Monitoring Center of State Oceanic Administration of China, Shanghai 201206, China; 3. Key Laboratory of Integrated Monitoring Technologies and Application for Marine Harmful Algal Blooms of State Oceanic Administration of China, Shanghai 201206, China)

Abstract: In this paper, in order to evaluate the carrying capacity of marine fishery resources (CCMFR) in Zhejiang province. The non-equilibrium output model and logistic model were used to calculate the Maximum Sustainable Yield (MSY) that was employed to build the assessment model of carrying capacity of marine fishery resources. It will provide a technical support for the study of carrying capacity of carrying capacity of marine resources. We collected marine fishery production data and numbers of marine fishery motor boats from 1998 to 2013 to validate these models. The results show that CCMFR was overloaded during 1998~2013 except in 2007 and 2008, and it is really closed to overloaded only in 2009. The non-available year of CCMFR were up to 81%, however, the marine fishery resources were sustainably utilized just in two years that occupied 13%. The phenomenon of overfishing was very serious in the

收稿日期: 2015-08-24, 修订日期: 2015-11-02

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目 (201305027, 201505008); 国家自然科学基金项目 (41301154); 国家海洋局东海分局青年科技基金 (201303); 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室开放基金

作者简介: 杨 洋 (1990-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要从事海洋资源环境承载力的研究, E-mail: YangY_M@163.com

通讯作者: 刘志国 (1982-), 男, 河北石家庄人, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋环境监测与评价研究, E-mail: liuzg@eastsea.gov.cn

last ten years in Zhejiang province.

Key words: the non-equilibrium output model; marine fishery resources; Maximum Sustained Yield (MSY); carrying capacity of resources; Zhejiang province

海洋又称为“蓝色国土”,其蕴藏着丰富的生物资源、矿产资源和油气资源。中国是海洋大国,海洋生物资源是我国海洋经济发展的基础,只有充分实现海洋生物资源的有序开发和可持续利用,才能实现我国海洋经济的蓬勃发展^[1-3]。海洋生物资源是指生活在海洋(包括河口)的所有生命有机体,其中包括微生物、低等和高等植物、无脊椎动物和脊椎动物^[4-6]。在海洋产业的形成和发展中,海洋生物资源的开发始终是海洋产业的重中之重,因为它与人类生存关系最密切。

国内外学者对海洋生物资源价值评估的研究较为深入。Beaumont^[7]等提出了海洋生态资源及生物多样性经济价值的评估方法,对英国海域生态资源及生物多样性提供的 8 项服务进行了价值评估,结果显示各项服务及生物多样性水平呈现下降的趋势。刘容子^[8]应用自然资源价值核算理论核算了我国滨海地区宜盐土地及滩涂资源的价值。韩秋影等^[9]分析了海洋资源价值评估理论、方法和所面临的问题。王广成^[10]论述了海洋资源价值核算方法及海洋生态环境损失价值的评估方法,并建立了相应的评估模型。

海洋健康指数(ocean health index, OHI)是一个评估海洋为人类提供福祉的能力及其可持续性的综合指标^[11]。作为一种科学严谨的指数,海洋健康指数揭示了海洋健康的变化及趋势,可从不同的时间和空间尺度对海洋生态系统健康进行评价和比较,从而促使公众、政府和企业共同努力来改善海洋健康的薄弱环节。海洋的食物供给能力是海洋为人类提供的主要资源之一,近年来,随着生活水平的提高和生产力水平的提高,市场对海产品的需求不断增多,在经济利益的驱动下,渔民对海洋渔业资源不断进行掠夺式开发,导致我国近海渔业资源严重衰退。

虽然目前我国已建立形成较为完备的海洋环境监测评价工作体系,但针对海洋渔业资源承载能力的实时动态跟踪能力不足,对海洋渔业资源承载能力进行系统准确评估的水平还有待提高,距离科学指导限制性措施制定和实施还有较大差距。现行的计算生物资源承载力的方法有很多

种,但都缺乏一定的科学性,本文在搜集大量相关统计年鉴数据的基础上,引用 Walters&Hilborn^[12]提出的非平衡产量模型计算出最大持续产量,然后利用最大持续产量根据统计学方法构建了海洋渔业资源承载力评价模型,利用该模型评估了 1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源承载力状况,以期对浙江省甚至是全国的海洋资源环境的承载力评估提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文数据来源于《中国渔业统计年鉴》(1998 ~ 2013)^[13]、《中国海洋年鉴》(1998 ~ 2013)^[14]和《浙江省海洋环境公报》(1998 ~ 2013)^[15],其中包括 1998 ~ 2013 年的浙江省的海洋捕捞产量(按海域分)、浙江省海洋捕捞机动渔船基本情况国内海洋捕捞的船数(单位:艘)和浙江省海洋捕捞机动渔船基本情况国内海洋捕捞的用船功率数(单位:千瓦)的数据。

1.2 计算模型

Walter & Hilborn 模型是 Schaefer 渔业模型差异化的结果,模型公式如下:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t \quad (1)$$

式中: B_t 为 t 时的生物量; r 为自然增产率; K 为最大生物容量; C_t 为 t 时的渔获量。

C_t 被定义为: $C_t = qB_t f_t$ (2),其中 q 为捕获系数, f_t 为 t 时的捕获努力量。

总渔获量用捕捞努力量来除,所得的平均值为单位捕捞努力量渔获量,用符号表示为 CPUE (catch per unit effort)。用单位捕捞努力量渔获量作为衡量渔业生产经济效果的指标时,可将投入的捕捞努力量与渔获量换算为货币单位,然后进行计算即可得到所需的数据。

本文应用计算单位努力量的捕获量的公式:

$$U_t = \frac{C_t}{f_t} \quad (3)$$

式中: U_t 是单位努力量的捕获量, C_t 为 t 时的渔获量, f_t 为 t 时的捕获努力量。

根据公式(2)和公式(3)得出关系式: $B_t=U_t/q$ (4),把 B_t 用 U_t 来代替,可得:

$$\frac{U_{t+1}}{q}=\frac{U_t}{q}+\frac{rU_t}{q\left[1-\frac{U_t}{Kq}\right]}-U_tf_t$$

(5)

经过重新排列,可得:

$$\frac{U_{t+1}}{U_t}-1=r-\frac{rU_t}{Kq}-qf_t$$

(6)

此方程可以转化成标准的多元线性回归方程:

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2$$

式中: Y 是因变量 $\frac{U_{t+1}}{U_t}$; X_1 和 X_2 分别是自变量 U_t 和 f_t ; b_0 、 b_1 和 b_2 分别是回归参数 r 、 $-\frac{r}{Kq}$ 和 $-q$ 。

通过多元线性回归分析,可计算出 r 、 q 、 K 。其中 r 为渔业资源自然增长率、 K 为最大渔业资源容量、 q 为捕获系数。

最大持续产量^[16]的概念来源于生态学,指的是如何将全部资源的一部分合理地加以收获,而新成长的资源数量足以弥补所收获的数量,从而使资源不受破坏。

可以用一种数学模型来描述有限增长,这个模型就是逻辑斯谛方程^[17-20]。

这个模型有两点重要假设:

(1)有一个环境容纳(Carrying capacity)(通常用 K 来表示)。当 $N_m=K$ 时,种群为零增长,即 $\frac{dN}{dt}=0$ 。

(2)假设某个空间能容纳 K 个个体,每一个体利用了 $1/K$ 的空间, N 个个体利用了 N/K 的空间,而可供种群持续增长的剩余空间就是有 $(1-N/K)$ 了,从而种群增长率 r 随密度增加而降低,而不是保持不变。

以种群大小对时间作曲线,将得到“S”形曲线。产生“S”形曲线最简单的数学模型即指数增长方程乘以一个密度制约因子 $(1-N/K)$,这就得到生态学上著名的逻辑斯谛方程(Logistic equation): $\frac{dN}{dt}=rN(1-N/K)$ 。

根据逻辑斯谛方程,在“S 曲线”的拐点,即 $N=K/2$ 处,种群增加率已 dN/dt 最大,将 $N=K/2$ 代入逻辑斯谛方程得

$$\frac{d\left(\frac{k}{2}\right)}{dt}=r\frac{K}{2}\left(1-\frac{K}{K}\right)=rK/4$$

(7)

因此估计最大持续产量(Maximum Sustainable yiled, MSY) 的公式为 $MSY=rK/4$ (8)。由上式可知,只要我们知道某一种群的环境容纳量 K 和瞬时增长率 r 两个参数,就能求出理论上的最大持续产和保持该产量的种群水平 N 。

上述公式的基本思路是:通过单位努力量的捕获量年增长率($\frac{U_{t+1}}{U_t}-1$)和各年用渔船总功率表征的捕捞努力量(f_t)、单位努力量的捕获量(U_t)之间的相关关系,模拟出渔业资源自然增长率(r)、最大渔业资源容量(K)和捕获系数(q)。从而,确定渔业资源可持续利用的重要控制指标,即最大持续产量(MSY)。

统计 1998 年以来浙江省的历年捕捞产品总量,以浙江省海洋生物最大可持续捕捞量的 0.75 倍为基数值,因为考虑经济效益与资源保护并重的原因,所以基数值应设为 $0.75MSY$,评估年度浙江省捕捞产品总量占其海洋生物最大可持续捕捞量的比例表征浙江省海洋渔业资源承载力(B),计算公式如下:

$$B=\frac{c_1}{c_2}$$

(9)

式中: c_1 为浙江省海产品年度捕捞总量,由《中国渔业年鉴》获得; c_2 为浙江省海洋渔业最大可持续捕捞量的 0.75 倍($c_2=0.75MSY=2316140$ t)。

根据海洋渔业承载力 B 的评估结果,按照合理控制近海捕捞强度基本稳定的原则,依据表 1 进行分级评估。

表 1 海洋渔业资源承载力分级评估方法

Tab. 1 The evaluation method of carrying capacity of marine fishing resources

评估依据	评估结果
0. 90<B<1. 10	可载
1. 20>B≥1. 10 或 0. 80<B≤0. 90	临界超载
B≥1. 20 或 B≤0. 80	超载

2 结果与讨论

2. 1 浙江省渔业资源数量变化分析

1998 年~2013 年这 16 a 间浙江省海洋渔业捕捞产量起伏不定。总体看来 1998~2003 年的

浙江省海洋渔业捕捞量呈现一个先增后减的趋势,在 2000 年达到最大值 3 395 749 t,2003 ~ 2006 年基本上持平,但是到 2007、2008 年出现骤降的趋势,2007 年捕捞量为 2 514 920 t,比前一年下降 19.45%,紧接着 2008 年出现了近十几年捕捞量最小值 2 343 219 t。从 2009 年开始,捕捞产量才逐年回升。这说明 2007 年、2008 年的时候,渔业资源在之前的过度捕捞影响下,已经达到最小值。2009 年之后,由于开始限制过度捕捞现象,浙江省海洋渔业捕捞量又开始呈现逐年增加的趋势,但捕捞量依旧达不到 2006 之前的产量了(图 1)。

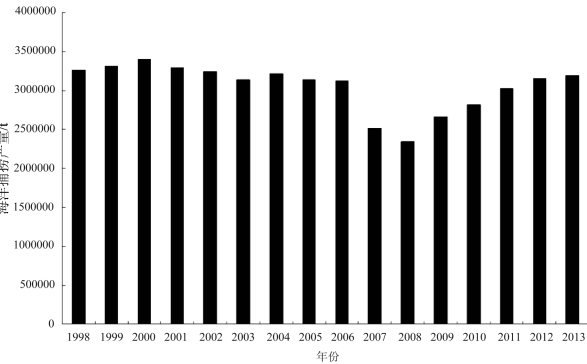


图 1 1998 ~ 2013 年浙江省海洋渔业捕捞量变化
Fig.1 The varying of marine fishery catches in 1998 ~ 2013 in Zhejiang province

2.2 浙江省海洋渔业最大可持续捕捞量计算结果

根据 1998 ~ 2013 年的数据定量模拟了浙江省近海渔业资源变化状况,结果如下:

$$Y = 0.685 - 0.419X_1 - 9.1 \times 10^{-8}X_2$$
$$F = 1.649$$
$$R^2 = 0.2156$$

模拟结果分别通过了 5%、10% 显著水平的单因子相关检验(*I* 检验)和 10% 显著水平的联合检验(*F* 检验)。说明上述回归模型成立。

通过上述模型得到如下定量指标:浙江省捕捞作业区最大渔业资源容量为 1 800 万 t,最大持续产量为 308.8 万 t。

2.3 海洋渔业资源承载力评估

1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源的评估结果显示,只有 2007 年和 2008 年的海洋捕捞强度是可载的,2009 年的海洋捕捞强度是临界超载,其余年份均处于超载状态(表 2),过捕捞现象严重,这将破坏生态平衡的可持续发展。

原因是:(1) 捕捞强度过大。每一种资源的利用过程都是有规律的,不能人为的无限制增大其利用速率,渔业资源也不例外。如果渔业资源的捕捞强度与捕捞量被无限制扩大,超出资源的承受能力,渔业资源将面临枯竭的危险。(2) 海洋资源可持续利用意识不足渔业知识教育不足。

表 2 1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源承载力的评估结果

Tab.2 The results of the assessment of carrying capacity of marine fishing resources in 1998 ~ 2013 in Zhejiang province			
年份	各地区海洋捕捞产量/t(按海域分)	海洋渔业资源承载力(B)	评估结果
1998	3263063	1.41	超载
1999	3312393	1.43	超载
2000	3395749	1.47	超载
2001	3293072	1.42	超载
2002	3241799	1.40	超载
2003	3141511	1.36	超载
2004	3220358	1.39	超载
2005	3142573	1.36	超载
2006	3119084	1.35	超载
2007	2514920	1.09	可载
2008	2343219	1.01	可载
2009	2666376	1.15	临界超载
2010	2821000	1.22	超载
2011	3030202	1.31	超载
2012	3160189	1.36	超载
2013	3192000	1.38	超载

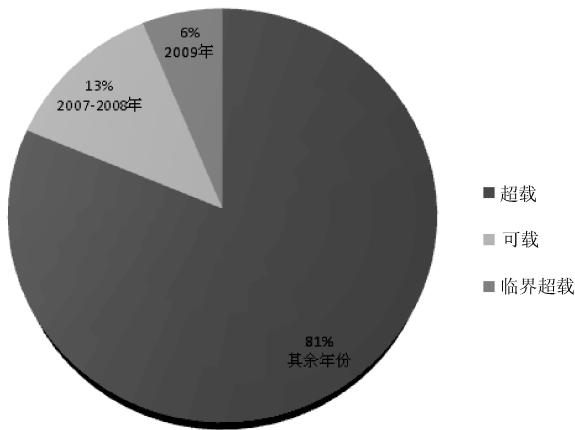


图 2 1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源承载力的评估结果

Fig. 2 The results of the assessment of carrying capacity of marine fishing resources in 1998 ~ 2013 in Zhejiang province

1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源承载力的等级分布,可载的年份站 13%,临界超载的年份占 6%,超载的年份占 81%之多(图 2)。结合表 2 可以看出从 2007 年开始控制过度捕捞已有成效,但随后捕捞量又超过临界值,可见合理控制近海捕捞强度是一项长期而艰巨的任务而非一朝一夕可完成的。

本文仅是对浙江省的海洋渔业资源承载力进行了评估,还需要对海洋生物资源承载力进行评估,由于海洋生物资源承载力是一个综合的承载力,如果要想全面的评价浙江省的海洋生物资源承载力,还需要加入海水养殖的产量、非商业捕捞、压力、弹性力和趋势构成综合评价系统,才能综合评价浙江省乃至全国的海洋生物资源承载力,这将是今后该领域的研究趋势和热点。

3 结论

(1)本文采用了 Walter & Hilborn 提出的非平衡产量模型结合逻辑斯蒂方程,利用《中国渔业统计年鉴》、《中国海洋年鉴》和《浙江省海洋环境公报》等公开数据中 1998 ~ 2013 年浙江省的海洋捕捞产量和海洋捕捞机动渔船基本情况的功率数据,计算出了最大持续产量(MSY),利用最大持续产量,根据统计学方法构建了海洋渔业资源承载力的模型,利用该模型对 1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源承载力进行了评估。

(2)1998 ~ 2013 年的浙江省海洋渔业资源的

评估结果显示,只有 2007 年和 2008 年的海洋捕捞强度是可载的,2009 年的海洋捕捞强度是临界超载,其余年份均处于超载状态。综合评价的结果与现实情况较为符合,认为用最大持续产量,根据统计学方法构建的海洋渔业资源承载力的模型是可行。

(3)海洋渔业资源的可持续利用关系到我国海洋强国战略的实现与否,保护我国海洋渔业资源的数量规模和种类的多样性具有很大的经济、科学和生态价值,必须采取多种途径和对策确保海洋渔业资源可持续发展。应根据发展和保护需要,尽快制定自然保护区法、海洋生物多样性保护法等国家法律,进一步完善海洋渔业资源保护和管理的配套法规及实施条例。制止过度捕捞,实施有效的繁殖保护措施。必须坚决削减捕捞生产渔具和生产人员。要认真、有效地执行《中华人民共和国渔业法》以及国家、地方有关资源繁殖保护和环境保护的其它条例规定,要果断施行限额捕捞制度,应根据资源可捕数量预测结果来分配捕捞生产数额,严格掌握在限额内生产,严禁超过限额量捕捞。

参考文献:

[1] 王立鹏,张 斌. 浅析海洋生物资源可持续发展[J]. 中国水运,2008,8(3):186-188.

[2] 庄思哲,白福臣. 中国海洋生物资源现状及可持续利用对策[J]. 产业与科技论坛,2012,11(19):21-23.

[3] 林 炜,陈洪强. 可持续发展理论与我国海洋生物资源的开发利用[J]. 生物学通报,2002,37(9):20-23.

[4] 刘瑞玉. 关于我国海洋生物资源的可持续利用[J]. 科技导报,2008,11:28-31.

[5] 楼 东,谷树忠,钟赛香. 中国海洋资源现状及海洋产业发展趋势分析[J]. 资源科学,2005,27(5):20-26.

[6] 吴宝铃,李永琪. 海洋生物资源的开发利用[J]. 自然资源学报,1987,2(4):369-377.

[7] KING O H. Estimating the value of marine resources; a marine recreation case[J]. Ocean and Coastal Management,1995,27(1/2):129-141.

[8] BEAUMONT N J, AUSTEN M C, MANGI S C, et al. Economic valuation for the conservation of marine biodiversity[J]. Marine Pollution Bulletin,2008,56(3):386-396.

[9] 刘容子. 我国滩涂资源价值量核算初探[J]. 海洋开发与管理,1994(4):25-30.

[10] 韩秋影,黄小平,施 平. 海洋资源价值评估理论初步探讨[J]. 生态经济,2006(11):27-30.

[11] 王广成. 海洋资源核算理论及其方法研究[J]. 山东工商学

院学报,2007,21(1):1-6.

[12] 刘 群,苏振明. 产量模型的比较及在小鳞种群的应用[J]. 青岛海洋大学学报,1998(1):37-42.

[13] 中华人民共和国农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴 1998~2013[M]. 北京:中国农业出版社,1998-2013.

[14] 中国海洋年鉴编辑委员会. 中国海洋年鉴 1998~2013[M]. 北京:海洋出版社,1998-2013.

[15] 浙江省海洋与渔业局. 浙江省海洋环境公报 1998~2013[R]. <http://www.zjoaf.gov.cn/zfxgk/tjbg/hyhjbg/>,1998-2013.

[16] JENSEN A L. Maximum harvest of a fish population that has the smallest impact on population biomass[J]. Fisheries Research, 2002,57:89-91.

[17] GRAHAM M. Modern theory of exploiting a fishery and application to North Sea trawling [J]. Conseil International pour l'Exploration,1935,37:199-204.

[18] SCHAEFER M B. A study of dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean[J]. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin,1957,2:247-268.

[19] 宋 波,玄玉仁,卢凤勇,等. 浅评逻辑斯蒂方程[J]. 生态学杂志,1986,5(3):57-62.

[20] 吉 蕴,李祖平. 逻辑斯蒂模型及其应用[J]. 潍坊学院学报,2009,9(5):78-80.

(上接第 519 页)

[7] OSBORN D,DATTA A. Institutional and policy cocktails for protecting coastal and marine environments from land-based sources of pollution [J]. Ocean & Coastal Management, 2006, 49: 576-596.

[8] 付 青,吴险峰. 我国陆源污染物入海量及污染防治策略[J]. 中央民族大学学报,2006,3:213-217.

[9] 王 慧,陈 刚. 跨国海域海洋环境陆源污染防治的国际性法律框架[J]. 浙江海洋学院学报(人文科学版),2011,12: 25-29.

[10] 潘灿民,张璐平,黄金良,崔江瑞. 厦门西海域、同安湾入海污染负荷估算研究[J]. 海洋环境科学,2011,30(1):90-95.

[11] 张学庆,孙英兰. 胶州湾入海污染物总量控制研究[J]. 海洋环境科学,2007,26(4):347-359.

[12] 张协奎,杨林慧,陈伟清,林剑. 基于 DEA-Malmquist 指数的北部湾经济区行政效率分析[J]. 管理世界,2012,8: 176-177.

[13] 鹿新华. 我国商业银行效率测度及影响因素研究[D]. 成都:西南财经大学,2014.

[14] 李超美. 基于 DEA-Malmquist 指数模型的中国商业银行效率及影响因素研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2013.

[15] 王宝顺,刘京焕. 中国地方公共财政支出效率研究—基于 DEA-Malmquist 指数的实证分析[J]. 经济经纬,2011,6(1):136-139.

[16] CHARNES A,COOPER W W,RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research,1978,2:429.

[17] MALMQUIST S. Index numbers and indifference surfaces[J]. Trabajos de Estadística,1953,4:209-242.

[18] 李 斌,赵新华. 经济结构、技术进步与环境污染——基于中国工业行业数据的分析[J]. 财经研究,2011,4:112-122.

[19] 朱平芳,徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响[J]. 经济研究,2003,6: 46-53.

[20] PETERSON J M. Estimating an effluent charge: the reserve mining case[M]. University of Wisconsin Press,1977:328-341.

[21] 牛海鹏,杜雯翠,朱艳春. 排污费征收、技术创新与污染排放[J]. 经济管理研究,2012,4:51-56.

[22] 国家海洋局. 中国海洋环境质量公报[R]. 北京:国家海洋局,2005-2014.

[23] 张雪源. 基于 MFA 的辽宁省可持续发展研究[D]. 大连:东北财经大学,2012.

[24] 赵 峥,宋 涛. 中国区域环境治理效率及影响因素[J]. 南京社会科学,2013,2(3):18-25.

[25] 王 亲,郭 峰,许新宇,李伟伟. 中国城市环境治理效率评估及其时空变异研究[J]. 世界地理研究,2012,21(4): 153-161.

[26] 任 重,周云波. 环渤海地区的经济增长与工业废气污染问题研究[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(2):63-68.

[27] 王 鹏,谢丽文. 污染治理投资、企业技术创新与污染治理效率[J]. 中国人口·资源与环境,2014(9):51-58.