

文章编号: 1000-0615(2002)05-0428-05

舟山渔场渔业资源动态解析

倪海儿, 陆杰华

(1. 宁波大学海洋与水产系, 浙江 宁波 315211; 2. 北京大学人口研究所, 北京 100871)

摘要: 研究了 1952-2001 年舟山渔场渔获量和单位捕捞努力渔获量的变动, 结果表明舟山渔场渔获量和单位捕捞努力渔获量的变动可分离为确定性趋势和平稳随机序列, 进而用确定性趋势模型和 ARMA(p, q) 模型叠合建立了舟山渔场渔业资源的动态模型。并对舟山渔场渔业资源变动的阶段性和资源的利用现状进行了讨论, 提出了资源管理的措施。

关键词: 舟山渔场; 渔业资源; 平稳随机序列

中图分类号: S937.3 文献标识码: A

Dynamic analysis on fisheries resources in Zhoushan Fishing Ground

NI Hai-er¹, LU Jie-hua²

(1. Department of Ocean and Fisheries, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Institute of Population Research, Beijing University, Beijing 100871, China)

Abstract: Based on the investigation on the fluctuation of the catch and catch per unit effort (CPUE) in Zhoushan Fishing Ground during the period from 1952 to 2001, it is showed that the catch and CPUE can be illustrated by determinacy tendency and stationary random sequence. Combining the determinacy tendency models with ARMA(p, q) models, the complex models were built to describe the dynamics of fisheries resources. The stages of the fisheries resources fluctuation were divided. The utilization extent of fisheries resources was discussed and the fisheries managing measures were propounded.

Key words: Zhoushan Fishing Ground; fisheries resources; stationary random sequence

舟山渔场位于北纬 29°30' ~ 31°00', 东径 121°30' ~ 125°00', 面积约 $5.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国最大的近海渔场。20 世纪 70 年代以来, 舟山渔场主要经济鱼类资源严重衰退, 渔业资源的合理开发利用是舟山渔场渔业可持续发展的关键所在。而渔业资源合理利用的生物学基础在于对渔业资源变动规律的根本了解, 为此本文对舟山渔场渔业资源的动态和现状进行了分析研究, 拟为舟山渔场渔业资源的合理开发利用提供科学依据。

1 材料方法

数据资料取自舟山市水产局、舟山市年鉴^[1]、舟山市统计年鉴^[2,3]。收集了 1952-2001 年舟山渔场的总海洋捕捞产量、捕捞渔船的种类、数量、吨位、马力、作业方式及各种渔获物的分产量。以机动船的

收稿日期: 2002-05-21

资助项目: 美国 MacArthur 基金资助(00-65430)

作者简介: 倪海儿(1958-), 女, 浙江舟山人, 副教授, 主要从事渔业生物统计研究。E-mail: nihaier@mail.nbptt.zj.cn

动力(10^4kW)作为捕捞努力量的单位,把木帆船吨位折算成标准捕捞努力单位^[4]。以历年总渔获量和总标准捕捞努力量之比计算单位捕捞努力量的渔获量(CPUE)。

用时间序列分析对收集的数据进行分析,并用确定性趋势模型和自回归滑动平均混合模型(ARMA, p q)^[5]叠合对数据进行拟合:先分析数据的变化趋势,拟合确定性模型,再对残量进行检验,可认为它是平稳随机序列,进而用以下ARMA(p q)模型拟合:

$$\begin{aligned}\varphi(B)X_t &= \theta(B)\xi_t \\ \varphi(B) &= 1 - \varphi_1B - \varphi_2B^2 - \dots - \varphi_pB^p \\ \theta(B) &= 1 - \theta_1B - \theta_2B^2 - \dots - \theta_qB^q\end{aligned}$$

其中, B^k 为 k 步线性推移算子,即 $B^k X_t = X_{t-k}$, $\{X_t\}$ 是时间序列, $\{\xi_t\}$ 是残差序列。最后将分别估计得到的这两部分参数作为初值,用非线性最小二乘法估计出叠合模型的最终参数。模型阶数的确定,采用 F 统计量,计算增加阶数后,对模型的方差贡献是否显著来确定最终的阶数。

2 结果

2.1 渔业资源动态

2.1.1 渔获量的变动

渔获量是渔业资源状况和渔业生产情况的综合反应。图1给出了从1952年至2001年舟山渔场历年的渔获量。从图1可见,舟山渔场的渔产量波动较大,从1952年的82706t到1997年达到最高的500596t,比1952年增加了5倍。其中大约有5次较大的波动。第一次出现在1961年,第二次出现在1969年,第三次出现在1977年,第四次出现在1983年,第5次出现在1993年。在前三次波动中,它的总趋势是上升的。

渔获量的大小一方面与投入的捕捞努力量有关,同时生物种群作为一种再生型的自然资源,它自身经历着自然死亡和生长繁殖的调节过程,它每年的波动并非独立的,某一年的资源量既依赖于此前几年的资源状况,也影响到它以后年份的资源变化,表现在渔获量的变动上,它既有随年份变化的确定性趋势,同时又有平稳随机部分。因此对渔获量序列,先分离出确定性趋势,再对平稳随机序列建立动态数据模型,然后将它们叠合来描写资源的动态。

对1952-2001年渔获量数据找出它随年份而变化的总趋势后,对残差用ARMA(p q)模型拟合,所得到的叠合模型如下:

$$\begin{cases} Y_t = a_2(t-1950)^2 + a_1(t-1950) + a_0 + X_t \\ X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \xi_t \end{cases} \quad (1)$$

上式中, Y_t 是 t 年的渔产量, t 是年份。 $\{X_t\}$ 是平稳随机序列, $\{\xi_t\}$ 是白噪声序列(下同)。估计以上参数得 $a_0 = 24946.10$, $a_1 = 20613.05$, $a_2 = -271.28$, $\varphi_1 = 0.544$, $\varphi_2 = -0.109$ 。模型显著性检验的 $F = 61.15$ ($P \leq 0.01$)。用此模型对2002年前的渔获量进行了回报,得到的理论渔获量(理论渔获量1)和实际渔获量比较见图2,理论值和实际渔获量颇为接近。它们相似地反映了渔获量的波动过程,显示出资源变动的特征。

模型(1)算子的多项式具有一对共扼复根, $\lambda_1, \lambda_2 = 0.272 \pm i 0.1871$, 反映了数据序列隐含有周期特性,进一步求得它的周期 $P \approx 9$ 年。说明了舟山渔场渔业资源的波动周期大约为9年。由于 $|\varphi_2| < 1$, $|\lambda_1|, |\lambda_2| < 1$, 因此这种周期趋势带有相当大的阻尼,周期趋势不很标准。

2.1.2 捕捞努力量与渔获量的变化

从模型(1)可见,渔获量既有随年份而变动的趋势,又有资源本身内在的变动规律。进一步分析渔获量随年份的变动特征(图1),在1975年前,渔获量波动上升,到1978年接近最大483433t。1979-1997年渔获量基本徘徊在400000t左右,1997年后,渔获量下降。同时考察1952-2001年的捕捞努力量变

化(图 1)可见,在 1978 年前,随着捕捞努力量的增加渔获量上升,1979- 1997 年当捕捞努力量继续增加时,渔获量基本上不再增大,1997 年后,捕捞努力量和渔获量均下降。由此可见渔获量上升和下降的确定性趋势,与捕捞努力量的变化直接相关。因此,渔获量随年份而表现的确定性趋势可更明确地表示为渔获量随捕捞努力量而变化的趋势。

分析图 3 可见,当捕捞努力量较小时(小于 $27 \times 10^4 \text{kW}$),随着捕捞努力量的增加,渔获量呈线性上升,当捕捞努力量大到一定程度时(大于 $27 \times 10^4 \text{kW}$),随着捕捞努力量的增加渔获量已不再增大。据此先对渔获量随捕捞努力量的变化拟合对数模型,再对渔获量的随机波动部分用 ARMA 模型进行拟合,经建模,残差服从 AR(1) 模型。得到的叠合模型如下:

$$\begin{cases} Y_t = a_1 \ln(w_t) + a_0 + X_t \\ X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \xi_t \end{cases} \quad (2)$$

式中, Y_t 为 t 年的渔产量, w_t 为 t 年的捕捞努力量。 $a_0 = 4040.76$, $a_1 = 107799.12$, $\varphi_1 = 0.570$ 。对模型进行 F 检验,得 $F = 78.96 (P \leq 0.01)$ 。

由模型(2)得到的理论渔获量的值见图 2(理论渔获量 2),从实际值和理论值的拟合程度可见,渔获量的变动可以由捕捞努力量的变化和资源本身的动态规律来描述,只要决定了投入的捕捞努力量,根据叠合模型能较好地估计出渔获量(图 3)。

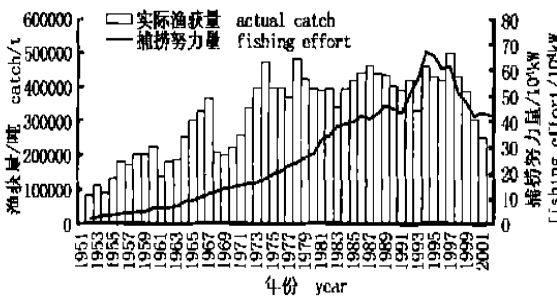


图 1 舟山渔场历年渔产量和捕捞努力量
Fig. 1 Catches and fishing efforts in Zhoushan Fishing Ground

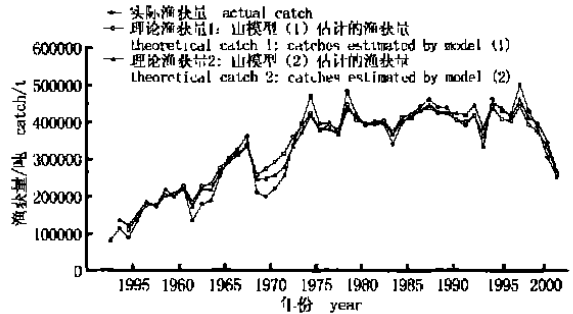


图 2 舟山渔场 1952- 2001 年的实际渔获量和理论渔获量
Fig. 2 Actual catches and estimated catches by the models in Zhoushan Fishing Ground from 1952 to 2001

2.1.3 单位捕捞努力量渔产量的变动

渔获量的变化不仅与捕捞努力量有关,也与资源状况有关,CPUE 是衡量资源密度的重要指标。图 4 给出了历年的 CPUE(实测 CPUE)的变化情况,对历年的 CPUE 的变化趋势和残差用叠合模型进行了拟合,得到的拟合模型为:

$$\begin{cases} C_t = a_1 \ln(t - 1950) + a_0 + X_t \\ X_t = \varphi_1 X_t - 1 + \varphi_2 X_{t-2} + \varphi_3 X_{t-3} + \varphi_4 X_{t-4} + \xi_t \end{cases} \quad (3)$$

式中, C_t 为 t 年的 CPUE, t 为年份。所得的参数为: $a_0 = 52616.05$, $a_1 = -11372.38$, $\varphi_1 = 0.371$, $\varphi_2 = 0.351$, $\varphi_3 = -0.276$, $\varphi_4 = -0.236$ 。

对模型进行 F 检验,得 $F = 66.56 (P \leq 0.01)$ 。从拟合的结果可见(图 4, 理论 CPUE1), CPUE 呈现随年份而衰减的对数趋势。在 20 世纪 50 年代, CPUE 波动在较高的水平,60 年代到 80 年代初, CPUE 急剧下降,此后一直趋于下降,并到达最低水平。1997 年后,虽略有上升,但仍接近最低水平。

考虑到 CPUE 作为该渔场资源丰盛度的指标,与捕捞努力量有关,当捕捞量小于或等于资源增长量时, CPUE 不变(假定捕捞能力不变),当捕捞量超过资源增长量时,随着捕捞努力量的增加, CPUE 反而减少。因此 CPUE 变化的确定性趋势应更确切地表示为随捕捞努力量而变化的趋势。 CPUE 与捕捞努力量的关系见图 5。由图 5 可见,当捕捞努力量较小时, CPUE 基本稳定,说明此时资源较为丰盛,随着

捕捞努力量的增加, CPUE 快速下降, 表现出捕捞努力量的增加速度, 超过了资源的再生速度。据此对 CPUE 和捕捞努力量拟合指数模型, 并对残差拟合 ARMA 模型如下:

$$\begin{cases} Y_t = a_2 \exp(a_1 w_t) + a_0 + X_t \\ X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \varphi_3 X_{t-3} + \varphi_4 X_{t-4} + \xi_t \end{cases} \quad (4)$$

式中, Y_t 为 t 时刻的渔获量, w_t 为 t 时刻的捕捞努力量。 $a_0 = -500.52$, $a_1 = -0.0374$, $a_2 = 42661.12$, $\varphi_1 = 0.471$, $\varphi_2 = 0.236$, $\varphi_3 = -0.255$, $\varphi_4 = -0.11$, $F = 81.3537 (p \leq 0.01)$ 。

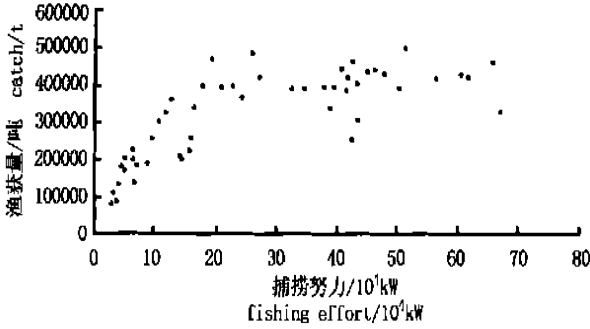


图3 渔获量与捕捞努力的关系
Fig. 1 Relationship between catch and fishing effort

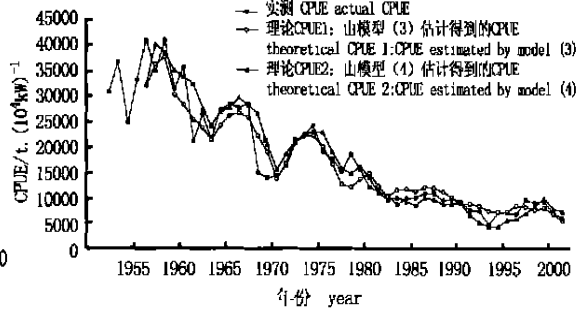


图4 1952-2001年 CPUE 的实际值和理论值
Fig. 4 Actual CPUE and estimated CPUE by the models from 1952 to 2001

1952-2001 年 CPUE 的实测值和由模型 (4) 计算的理论值 (理论 CPUE2) 的比较 (图 4)。可见 CPUE 的变动既依赖于投入的捕捞努力量, 同时又反映出资源的波动特征。

2.2 渔业资源利用现状

为了解舟山渔场渔业资源的利用现状, 对渔获量和捕捞努力量用 Schaefer 剩余产量模型^[6]进行拟合, 得到如下结果:

$$Y = 35936.53f - 663.39f^2$$

式中, Y 为渔获量, f 为捕捞努力量。由此解得最大持续产量 $MSY = 48.6678 \times 10^4 t$, 它所对应的捕捞努力量 $f_{MSY} = 27.09 \times 10^4 kW$ 。比较舟山渔场历年的捕捞努力量和渔获量可见, 从 1979 年起, 舟山渔场捕捞努力量均大于最大持续产量所对应的捕捞努力量, 但产量除 1997 年外均低于最大持续产量, 说明从 70 年代中后期起, 捕捞强度增加过快, 渔业资源遭到破坏。从 1997 年起捕捞努力量虽明显减少, 但产量和 CPUE 仍处于很低水平。即使将 2002 年的捕捞努力量控制在 $27 \times 10^4 kW$, 用模型 (2) 进行预测, 预期的渔获量也只有 $29.92 \times 10^4 t$ 左右, 离最大持续产量还有很大的距离。由模型 (4) 进行预测, CPUE 也只有 $1.06 t \cdot kW^{-1}$ 左右, 说明目前舟山渔场渔业资源尚处于很低水平。

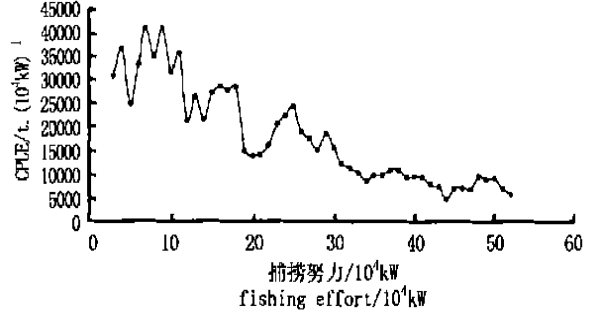


图5 CPUE 与捕捞努力量的关系
Fig. 5 Relationship between CPUE and fishing effort

3 讨论

3.1 渔业资源变动的阶段性

根据渔获量的波动特征和模型 (1) 求得的资源的波动周期, 结合舟山市的渔业发展史^[7], 把舟山渔场渔业资源的变动大致分为 5 个阶段。1952-1961 年, 资源的开发利用阶段。当时渔业资源丰富, 随着捕捞努力量的增加, 渔获量迅速增长, 渔获量从 1952 年的 $8.27 \times 10^4 t$ 上升到 1960 年的 $22.70 \times 10^4 t$ 。CPUE

基本维持在 $3\text{t}\cdot\text{kW}^{-1}$ 以上。1962–1968年,为资源充分利用阶段。1963年,全市基本实现了机械化,生产渔场的范围大大拓宽,小黄鱼、大黄鱼等近海渔业资源得到开发利用,期间最高产量达 $36.36\times 10^4\text{t}$ 。CPUE保持在 $2.1\sim 2.9\text{t}\cdot\text{kW}^{-1}$ 之间。1969–1978年,是资源的过度利用阶段,渔业生产表现的特征为捕捞强度迅速增大,产量继续上升,但CPUE明显低于上一阶段,多在 $2\text{t}\cdot\text{kW}^{-1}$ 以下。显示出资源的再生能力已不适应捕捞强度的增长。1979–1984年,资源严重过度利用阶段。随着捕捞能力的增加,渔产量反而有所下降,CPUE继续下降。降到 $1\text{t}\cdot\text{kW}^{-1}$ 以下。同时出现了捕捞对象小型化、低龄化。经济鱼类的产量减少,比重下降。特别是曾占海洋捕捞产量 $2/3$ 的“四大鱼产”,产量从1974年占海洋捕捞总产量的 76.96% 下降到1984年的 36.06% 。1985–1993年,经济鱼类资源枯竭期,此间虽然加强了渔业管理,但资源的衰退未能恢复,尤其是主要经济鱼类资源,CPUE逐年下滑,到达历年最低水平的 $0.5\text{t}\cdot\text{kW}^{-1}$ 以下。大黄鱼、小黄鱼等主要经济鱼类基本形不成渔汛。生态系统中更低营养级的生物种旺发,如虾蟹类在渔获物中的比例从1979年的 6.25% 上升到1993年的 55.58% 。1994年后,捕捞努力量逐年下降,CPUE略见回升,但仍接近最低水平,处于资源贫乏期。

3.2 资源现状及管理对策

从以上的分析可见,目前舟山渔场主要经济鱼类资源遭到严重破坏,已基本形不成渔汛,幼鱼在渔获物的比例很高,尽管采取了一些管理措施,但CPUE仍处于很低水平,根据夏世福^[8]对水产资源的结构的划分方法,可认为目前舟山渔场渔业资源处于次生型的B与C亚型之间,因此应采取切实有效的保护措施,恢复已经衰退的水产资源群体,合理利用已经充分开发的或尚有潜力的水产资源群体。建议采取以下措施。

1. 进行积极的渔业结构调整,扩展远洋渔业,减少舟山渔场的捕捞努力量,减轻舟山渔场渔业资源的压力。通过作业类型、渔船、渔具、渔民数量、渔汛长短等多种方法对捕捞努力量加以控制,总功率最好控制在 $20\times 10^4\text{kW}$ 左右。

2. 制定合理的渔获物结构。深入研究舟山渔场渔业资源的利用现状,对处于严重衰退的资源开展积极的增殖措施,通过限制渔具类型、网目大小等合理开发利用尚未充分利用的资源。

3. 加强禁渔期禁渔区管理,可通过性腺成熟度和肥满度来确定渔汛开始的时间和地点,限定捕捞时间和区域,达到保护产卵场、幼鱼场、索饵场的目的。

参考文献:

- [1] Zhoushan Yearbook Editorial Staff. Zhoushan Yearbook[M]. Shanghai: Shanghai Science Popularization Press, 1997. 118–124. [舟山年鉴编辑部. 舟山年鉴[M]. 上海:上海科学普及出版社, 1997. 118–124.]
- [2] Zhoushan Statistical Bureau. Zhoushan statistical Yearbook[M]. Beijing: Chinese Statistics Press, 1999. 35–44. [舟山市统计局. 舟山统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 1999. 35–44.]
- [3] Zhoushan Statistical Bureau. Zhoushan statistical Yearbook[M]. Beijing: Chinese Statistics Press, 2000. 35–44. [舟山市统计局. 舟山统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2000. 35–44.]
- [4] Zhang L X, Bi D B, Zhou H M, et al. Fishing History on Present day of Zhejiang[M]. Hongzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990. 103–110. [张立修, 毕定邦, 周惠民, 等. 浙江当代渔业史[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 1990. 103–110.]
- [5] Xiang J Y, Du J G, Shi J E. Process of Dynamic Data-Time Serial Analysis[M]. Beijing: Meteorological Press, 1986. 75–294. [项静怡, 杜金观, 史久恩. 动态数据处理-时间序列分析[M]. 北京:气象出版社, 1986. 75–294.]
- [6] Fei H N, Zhang S Q. Study of Fisheries Resources[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1990. 438–486. [费鸿年, 张诗全. 水产资源学[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1990. 438–486.]
- [7] Editorial Commission of Zhoushan Local History. Zhoushan Local History[M]. Hangzhou: Zhejiang People Press, 1992. 134–172. [舟山市地方志编纂委员会. 舟山市志[M]. 杭州:浙江人民出版社, 1992. 134–172.]
- [8] Xia S F. Discuss on variation of ocean fisheries resource structure. Reporting volume of papers on multispecies fisheries resource on the seminar fisheries resource in China[A]. China Society of Fisheries[C], 1983. 13–22. [夏世福. 海洋渔业资源结构变化的探讨[A]. 全国海洋渔业资源学术会议多种类渔业资源论文报告集[C]. 中国水产学会, 1983. 13–22.]