

两种典型渔法金枪鱼围网网具的性能差异

唐 浩¹, 许柳雄^{1,2,3,4*}, 王学昉¹, 徐国强¹, 周 成¹, 朱国平^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海市远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为了量化分析自由鱼群渔法和漂流物随附群渔法的网具性能差异, 实验根据 2011—2014 年金枪鱼围网海上调查数据, 采用 Bootstrap 和广义可加模型 (GAM) 方法进行分析。结果显示: (1) 漂流物随附群渔法网具的最大沉降深度 (195.20 ~ 219.36 m) 约为自由鱼群渔法网具最大沉降深度 (205.83 ~ 219.04 m) 的 94.8%; 网具的平均沉降速度 (0.152 ~ 0.176 m/s) 约为自由鱼群渔法平均沉降速度 (0.180 ~ 0.193 m/s) 的 84.4% ~ 91.2%。(2) 捕捞自由鱼群时, 影响沉降速度的主要因子为 10 m 水层流速 (V_{10}), 60 m 水层流速 (V_{60}) 和跑纲长度 (L_1)。(3) 捕捞漂流物随附群时, 影响沉降速度的主要因子为 60 m 水层流速 (V_{60}), 括纲长度 (L) 和放网速度 (V_0)。(4) GAM 模型结果显示, 漂流物随附群渔法预测的沉降速度 (0.155 ~ 0.175 m/s) 达到海上实测沉降速度的 99.4%; 自由鱼群渔法预测的沉降速度 (0.182 ~ 0.190 m/s) 达到海上实测沉降速度的 98.4%。本研究结果可为海上作业时, 判别海况条件和控制渔法操作提供一定参考。

关键词: 金枪鱼围网; 漂流物随附群; 自由鱼群; 沉降性能; 沉降速度

中图分类号: S 972.1

文献标志码: A

围网的作业原理是利用中上层鱼类的集群行为, 将整个目标鱼群包围并捕获。这种围捕方式最早应用于鲐 (*Pneumatophorus japonicus*)、沙丁鱼 (*Sardina pilchardus*) 和鳀 (*Engraulis japonicus*) 等小型中上层鱼种, 后扩展到金枪鱼渔业^[1]。金枪鱼围网在捕获鱼群过程中, 利用长带型的网具特性包围鱼群, 网具取鱼部最先由辅助放网艇引入水, 后网头由母船牵引运动包围鱼群。当完成包围后, 通过收绞括纲将鱼群逼赶至取鱼部, 最终通过抄网将渔获物转移到鱼舱内。虽然金枪鱼围网作业流程基本相同, 但在围捕不同类型的集群目标时, 具体的作业方法却有所差异。

金枪鱼集群分为自由鱼群 (free swimming school), 鲸豚随附群 (marine animal associated school) 和漂流物随附群 (floating objects

associated school)^[2]。在金枪鱼围网中, 以围捕自由鱼群和漂流物随附群最为典型。

自由鱼群是金枪鱼类在一定的环境条件下自然集群的形式, 自由鱼群渔法的特点是白天瞭望发现即可进行捕捞, 有较多的投网机会, 但也有较高的空网率。作业围网船通过瞭望发现自由鱼群, 并迅速对自由鱼群跟踪观察, 若鱼群较好地浮游至水面且游动速度和方向较为稳定时, 即可开始进行放网作业^[3]。由于自由鱼群的灵活性, 围捕时会有机动小艇、快艇或者直升机协助驱赶鱼群进入包围的网圈内, 为了保证快速完成对鱼群的包围和纲索的绞收, 防止鱼群逃逸, 自由鱼群捕捞对渔船包围速度与收绞纲索的速度要求极高。

漂流物包括漂流人工集鱼装置 (fish

收稿日期: 2014-08-13 修回日期: 2014-11-17

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2012AA092302)

通信作者: 许柳雄, E-mail: lxxu@shou.edu.cn

aggregation devices, FADs)、天然流木、人类废弃物等,人们利用金枪鱼会表现出随附于漂流物的行为特性,进而形成了以漂流物为中心的围捕活动。围网船发现漂流物时,利用水平声纳或鱼探仪对漂流物下方的鱼群聚集情况进行初步判断,若鱼群聚集情况较佳,就进行围捕作业。一般情况下,捕捞该类鱼群选择在黎明前作业,因为此时鱼群的密度是一天中最为密集,且光照条件差,可以防止鱼群逃逸^[4]。由于此渔法下鱼群较为稳定,对包围速度和收绞网索速度的要求并不像自由鱼群渔法那么高。漂流物随附群渔法虽然每天只进行一次投网,但投网成功率很高。

无论哪种作业方式,其捕捞成功率与围网网具沉降性能密不可分^[5-6],且网具的沉降性能最能反映作业指标。不同渔法操作下,网具呈现的性能可能存在一定的差异。本研究从网具性能的角度出发,利用2011—2014年海上现场调查数据,对捕捞自由鱼群和漂流物随附群两种作业方法的差异进行量化分析,便于了解网具在不同渔法下的性能状态,通过建立数值模拟模型为实际生产提供相关因素的考量范围。

1 材料与方 法

1.1 实验船与实测网具

实验船为上海开创远洋渔业有限公司金枪鱼围网渔船“金汇7号”,渔船的总吨位为17 69 t;船总长(LOA)79.77 m;型宽12.19 m;型深为5.84 m;主机额定功率2 646 kW;最大设计航速13 kn。

测定的渔具为“金汇7号”使用的生产网具,由29片网衣缝合而成,主尺度1 637.7 m×321.6 m,浮子纲长1 637 m,缩结系数0.8;沉子纲长1 963.7 m,缩结系数0.92。网衣材料为聚酰胺(PA),取鱼部网目90 mm,网翼网目260 mm。围网下纲装有119只底环,底环和下纲采用Y型连接。

1.2 实测方法

调查仪器为微型温度深度计(TDR-2050,共7个),用于测定网具沉降的深度,该仪器深度精度为测定量程(10~740 m)的±0.05%。全网共119个底环,将1~7号TDR-2050从前网头开始分别固定于第6、24、42、60、78、96和114底环对

应的下纲附近(图1)。4号TDR位于网具中部,所测定的深度读数为网具的最大沉降深度,同时求出平均沉降速度,两者可作为表征不同渔法中围网沉降性能的指标。测定时,TDR设置时间与电脑同步,时间间隔为5 s,以便于对应围网操作过程中的各个时间点。在作业期间,不同水层的海流数据通过调节日本无线公司的多普勒潮流仪(JLN-628)进行收集,其他数据如放网时间、放网速度以及跑纲和括纲松放长度等,实验人员利用计时器记录围网操作过程中各个时间点(大艇下水时刻、网具入水时刻、网具全部入水时刻、大艇靠近母船时刻、开始绞收时刻等),然后进行换算得到。

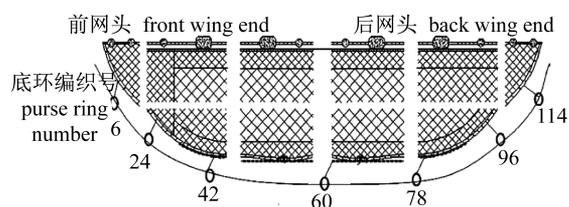


图1 TDR-2050沿金枪鱼围网下纲分布示意图

Fig.1 The sketch map on the attached positions of TDR-2050 along the leadline of the tuna purse seine

1.3 数据处理

不同渔法时沉降性能指标对比 网具沉降性能指标(沉降深度和沉降速度)均值的95%置信区间使用Bootstrap^[7-8]方法确定,此方法也用于对比分析两种渔法中的操作因素和环境因素以及捕获率。

利用GAM模型筛选两种渔法时影响沉降速度的因素 王学昉等^[9]研究表明,捕获率与沉降速度有关,而与沉降深度关系并不显著。故本实验用沉降速度作为网具性能的主要指标,分析不同渔法下影响网具性能的因素。金枪鱼围网沉降性能与其影响因素存在非线性关系^[5-6],故本实验采用广义可加模型(GAM)进行分析。

利用GAM模型建立沉降速度与各变量因子(放网时间、放网速度、3个水层水流速度、括纲和跑纲长度)的关系式^[5,10],GAM表达式:

$$S \sim s(T) + s(V_0) + s(V_{10}) + s(V_{60}) + s(V_{120}) + s(L) + s(L_1) + \varepsilon \quad (1)$$

式中, S 为漂流物随附群和自由鱼群渔法下的下

网平均沉降速度,分别为 S_{FOB} 和 S_{free} ; s 为自然立方样条平滑; $s(T)$ 表示放网时间效应; $s(V_0)$ 表示放网速度效应; $s(V_{10})$ 表示 10 m 水层流速效应; $s(V_{60})$ 表示 60 m 水层流速效应; $s(V_{120})$ 表示 120 m 水层流速效应; $s(L)$ 表示括网投放长度效应; $s(L_1)$ 表示跑网投放长度效应; ε 表示残差, $E(\varepsilon) = 0, \varepsilon = \sigma^2$, 符合正态分布。利用 AIC 准则检验不同因子组合的模型拟合程度,值越小,模型拟合效果越好。利用 F 检验评估因子的显著性。利用 P 值表示平滑函数是否显著减少了模型误差。根据参考自由度 (estimated degrees of freedom, EDF) 判断因子与响应变量是否属于非线性关系。

模型的预测值与海上实测值对比 通过模型对两种渔法下的沉降速度值进行预测,并与海上实际观测值进行对比。利用 Bootstrap 方法来估计预测沉降速度均值的 95% 置信区间^[11]。以上所有运算及建模过程应用统计软件 R 2.9.2 完成。

2 结果

2.1 沉降性能指标对比

漂流物随附群渔法下通过 Bootstrap 运算求得最大沉降深度分布范围为 184.17 ~ 224.57 m, 最大沉降深度的 95% 置信区间为 195.20 ~ 219.36 m。平均沉降速度分布范围为 0.145 ~ 0.183 m/s, 平均沉降速度的 95% 置信区间为 0.152 ~ 0.176 m/s。

自由鱼群渔法下通过 Bootstrap 运算求得最大沉降深度分布范围为 202.09 ~ 224.21 m, 最大沉降深度的 95% 置信区间为 205.83 ~ 219.04 m。平均沉降速度分布范围为 0.176 ~ 0.199 m/s, 平均沉降速度的 95% 置信区间为 0.180 ~ 0.193 m/s。

对比发现,漂流物随附群渔法下的最大沉降深度 (D_{FOB}) 与自由鱼群渔法下的最大沉降深度 (D_{free}) 关系可近似表达为 $D_{FOB} = 0.948 \sim 0.100 \cdot D_{free}$, 可见两种渔法下沉降深度这一指标差异较小;漂流物随附群渔法的沉降速度 (S_{FOB}) 与自由鱼群的沉降速度 (S_{free}) 关系近似表达为 $S_{FOB} = 0.844 \sim 0.912 \cdot S_{free}$, 表示自由鱼群渔法下的沉降速度较漂流物随附群渔法高。

2.2 不同渔法下各因素对比

漂流物随附群渔法作业中的包围时间较自由

鱼群渔法长,这是由鱼群稳定程度和捕捞技术所决定的(表 1)。操作因素方面,无论是跑网或括网的投放长度,自由鱼群较漂流物随附群小;在放网速度选择上两种渔法差异较小;此外,漂流物随附群较自由鱼群稳定,其捕获率相对于自由鱼群更高,自由鱼群捕获率仅达到漂流物随附群的 45% ~ 66%。

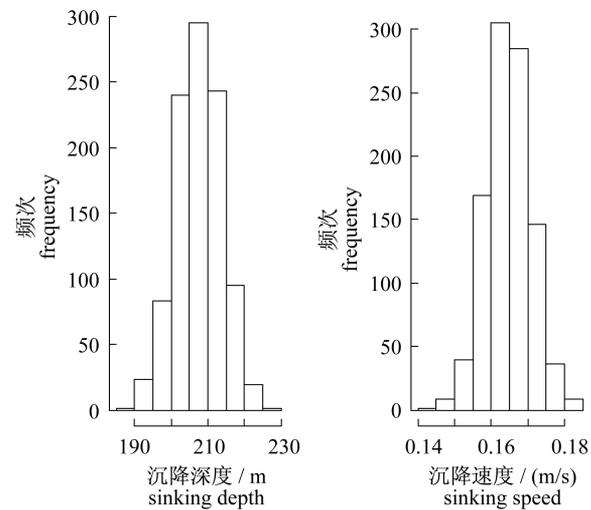


图 2 漂流物随附群渔法下网具沉降性能指标分布

Fig. 2 The distribution of sinking performance index by the fishing method of floating objects associated school

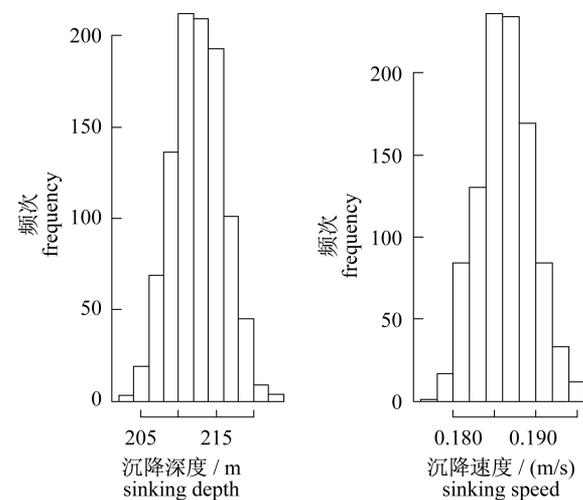


图 3 自由鱼群渔法下网具沉降性能指标分布

Fig. 3 The distribution of sinking performance index by the fishing method of free swimming school

表 1 Bootstrap 分析结果
Tab. 1 Statistical results of Bootstrap

因素 factors	漂流物随附群渔法 floating objects associated school fishing method		自由鱼群渔法 free swimming school fishing method		关系式 formula
	范围 range	95% 置信区间 95% confidence interval	范围 range	95% 置信区间 95% confidence interval	
	包围时间 T/s	548 ~ 653	560 ~ 622	524 ~ 591	
10 m 流速 V_{10}/kn	0.03 ~ 0.09	0.04 ~ 0.07	0.04 ~ 0.10	0.05 ~ 0.09	$V_{10FOB} = 78\% \sim 80\% V_{10free}$
60 m 流速 V_{60}/kn	0.35 ~ 0.74	0.46 ~ 0.66	0.25 ~ 0.48	0.28 ~ 0.43	$V_{60free} = 61\% \sim 65\% V_{60FOB}$
120 m 流速 V_{120}/kn	0.43 ~ 0.82	0.51 ~ 0.74	0.42 ~ 0.72	0.47 ~ 0.67	$V_{120free} = 91\% \sim 92\% V_{120FOB}$
括纲长度 L/m	2 173 ~ 2 781	2 387 ~ 2 711	2 021 ~ 2 539	2 097 ~ 2 401	$L_{free} = 88\% \sim 89\% L_{FOB}$
放网速度 V_0/kn	9.85 ~ 11.29	10.14 ~ 10.99	9.83 ~ 11.27	10.11 ~ 11.00	$V_{0free} = 100\% V_{0FOB}$
跑纲长度 L_1/m	371 ~ 499	386 ~ 460	320 ~ 455	344 ~ 429	$L_{1free} = 89\% \sim 93\% L_{1FOB}$
捕获率 P	0.65 ~ 1.00	0.725 ~ 0.95	0.25 ~ 0.75	0.325 ~ 0.625	$P_{free} = 45\% \sim 66\% P_{FOB}$

2.3 不同渔法条件下影响网具沉降速度的因素分析

漂流物随附群渔法 逐步回归分析表明, 60 m 水层流速、括纲长度及放网速度与金枪鱼围网网具性能(沉降速度)组成的 GAM 模型为最佳模型, 其中 60 m 水层流速对沉降速度影响最为显著, 其次为括纲长度和放网速度。模型总体解释率为 65.6% (表 2)。

60 m 水层流速和括纲长度与沉降速度均呈负相关关系, 而放网速度与沉降速度成正相关关系(图 4)。参考自由度 EDF 表明, 这 3 个因素均与沉降速度呈线性关系 ($EDF = 1$)。海上实测数据显示, 漂流物随附群渔法下沉降速度的优势组为 0.15 m/s, 其次为 0.18 m/s。

自由鱼群渔法 逐步回归分析表明, 10 m

水层流速、60 m 水层流速及跑纲长度与沉降速度组成的 GAM 模型为最佳模型, 其中 60 m 水层流速对沉降速度影响最为显著, 其次为跑纲长度, 10 m 水层流速。模型总体解释率为 44.1% (表 3)。

60 m 水层流速和跑纲长度与沉降速度均呈负相关关系(图 5)。10 m 水层流速和跑纲长度的参考自由度 $EDF \neq 1$, 说明它们与沉降速度呈非线性关系。跑纲长度小于 400 m 时, 随着跑纲长度的增大, 沉降速度减小的幅度较跑纲长度大于 400 m 范围的幅度大。海上实测数据显示, 漂流物随附群渔法下沉降速度的优势组为 0.18 ~ 0.19 m/s。对比发现, 无论是漂流物随附群渔法还是自由鱼群渔法, 60 m 水层的流速均是影响沉降速度最为显著的因素。

表 2 GAM 模型统计结果(漂流物随附群)
Tab. 2 Statistical results of GAM (floating objects associated school)

模型因子 model factors	估计自由度 estimated df	参考自由度 referred df	F 值 F	P 值 P
60 m 流速 V_{60}	1.000	1.000	33.22	1.44e-06
括纲长度 L	1.000	1.000	13.79	0.000 69
放网速度 V_0	1.000	1.000	3.11	0.086 31
R-sq. (adj) = 0.627 Deviance explained = 65.6%				

表 3 GAM 模型统计结果(自由鱼群)
Tab. 3 Statistical results of GAM (free swimming school)

模型因子 model factors	估计自由度 estimated df	参考自由度 referred df	F 值 F	P 值 P
10 m 流速 V_{10}	1.722	1.722	1.95	0.156
60 m 流速 V_{60}	1.000	1.000	22.28	1.27e-05
跑纲长度 L_1	1.358	1.358	18.26	9.72e-06
R-sq. (adj) = 0.407 Deviance explained = 44.1%				

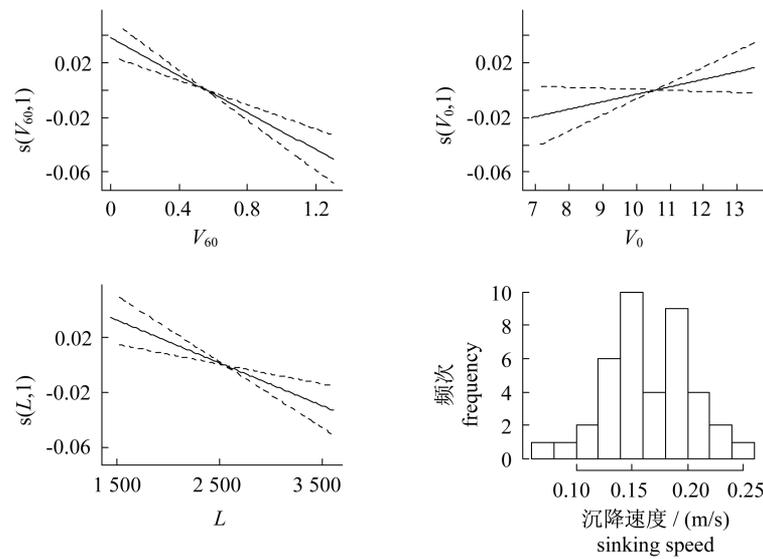


图 4 漂流物随附群渔法下沉速度与影响因素关系图

V_{60}, V_0, L 表示 60 m 流速,放网速度,括网长度; $s(V_{60},1), s(V_0,1), s(L,1)$ 表示各因素对沉降速度的效应

Fig. 4 The relationship between impact factors and sinking speed by the fishing method of floating objects associated school

V_{60}, V_0, L represents 60 m current speed, shooting speed, purse line length; $s(V_{60},1), s(V_0,1), s(L,1)$ represents three factors effect on sinking speed

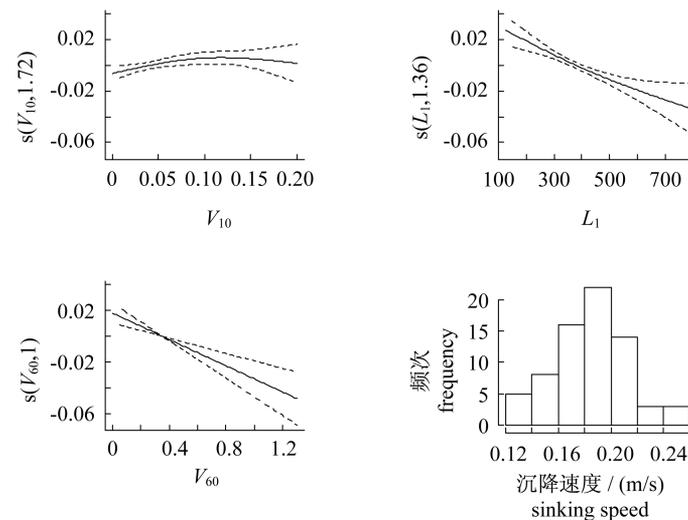


图 5 自由鱼群渔法下沉速度与影响因素关系图

V_{10}, V_{60}, L_1 表示 10 m 流速,60 m 流速,跑网长度; $s(V_{10},1.72), s(V_{60},1), s(L_1,1.36)$ 表示各因素对沉降速度的效应

Fig. 5 The relationship between impact factors and sinking speed by the fishing method of free swimming school

V_{10}, V_{60}, L_1 represents 10 m current speed, 60 m current speed, towing line length; $s(V_{10},1.72), s(V_{60},1), s(L_1,1.36)$ represents three factors effect on sinking speed

2.4 模型的预测

通过 GAM 模型预测不同渔法时的沉降速度值,并与海上实测值对比发现,漂流物随附群渔法时,预测的沉降速度的 95% 置信区间为 0.155 ~ 0.175 m/s,与海上实测沉降速度的 95% 置信区间

0.152 ~ 0.176 m/s 差异甚小,达到 99.4% (图 6)。

自由鱼群渔法时,预测的沉降速度的 95% 置信区间为 0.182 ~ 0.190 m/s,与海上实测沉降速度的 95% 置信区间 0.180 ~ 0.193 m/s 相比,达到 98.4% (图 7)。

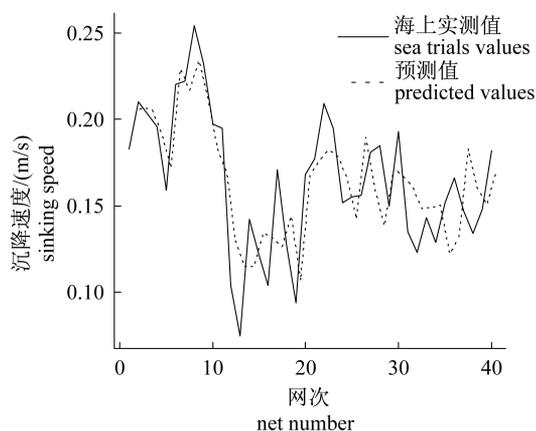


图6 漂流物随附群渔法下模型预测值与海上实测值对比图

Fig. 6 Comparison of predicted values and sea trials values by the fishing method of floating objects associated school

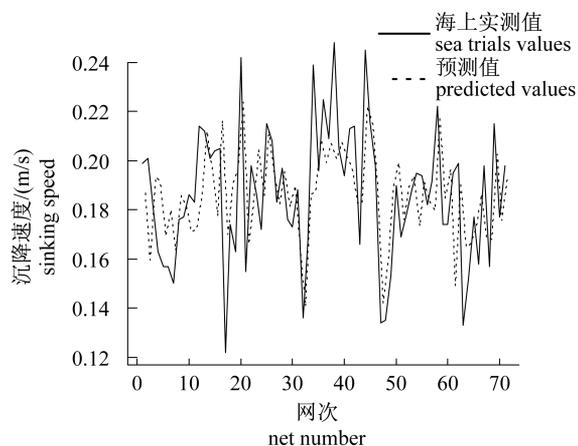


图7 自由鱼群渔法下模型预测值与海上实测值对比图

Fig. 7 Comparison of predicted values and sea trials values by the fishing method of free swimming school

3 讨论

3.1 分析方法

由于没有任何资料表明金枪鱼围网网具沉降性能指标和各影响因素属于何种理论分布,本实验选择了处理此类问题普遍采用的 Bootstrap 法来估计沉降深度和速度均值的 95% 置信区间。Bootstrap 法是完全以原始样本为基础,不依赖任何理论分布,不需要对数据的分布进行严格假定的模拟抽样统计推断,其具体做法是在原始数据的范围内作有放回的重抽样,样本含量始终为 n ,所以每个观察单位的原始数据被抽中的概率相等,为 $1/n^{[8-9]}$ 。而重抽样的次数 1 000 次是用

Bootstrap 法构建目标变量分布的经典标准。在不同的研究中,可以根据需要减小或增加重抽样的次数,本研究选用重抽样次数为 1 000 次。本研究发现自由鱼群渔法时,网具沉降速度与跑纲长度和 10 m 水流流速的关系均为非线性关系,即 $EDF \neq 1^{[5]}$ 。此外,GAM 模型的预测值与实测值吻合度较高。因此,建议在研究金枪鱼围网沉降性能与影响因素方面选用 GAM 模型。

3.2 两种渔法的网具性能指标和影响网具性能因素的差异性分析

围网达到最大沉降深度过程分为自然沉降过程和绞收括纲过程,在完成包围时网具均未达到最大沉降深度^[12-13]。本实验数据分析显示,自然沉降深度约占网具最大沉降深度的 57%,说明在网具达到最大沉降深度前,仍约有 43% 的绞收括纲沉降过程未完成。本实验显示,两种渔法下最大沉降深度差异甚小,而沉降速度存在一定的差异,主要原因为不同渔法操作导致,如捕捞漂流物随附群时,由于鱼群状态较为稳定,且光照条件差,鱼群不易逃逸,在实际生产工况允许的条件下,可放慢绞收速度,捕获栖息在较深水层的鱼类。而捕捞自由鱼群时,由于鱼群的灵活性,网具完成包围后要快速绞收括纲,完成底部包围,防止鱼群逃逸^[14]。两种渔法下沉降速度出现差异的另一主要原因是海流,由于自由鱼群渔法时 60 m 水层流速约为漂流物随附群渔法的 65%~65%,而海流又与沉降速度呈现负相关性^[15-17],则导致自由鱼群渔法下沉降速度较漂流物随附群渔法高。

Tang 等^[5]通过海上实测研究发现,60 m 水层的海流对围网网具沉降性能的影响极为显著。捕捞自由鱼群时,沉降速度主要是受到 10 m 水层流速,60 m 水层流速和跑纲长度的影响。跑纲长度与网具沉降速度呈负相关关系的主要原因是,放网时跑纲投放越长,则围捕的体积越大,网具达到相同的深度所需时长更长。漂流物随附群渔法下,沉降速度除受到 60 m 水层流速的影响外,还受到括纲长度的影响,这与自由鱼群捕捞有一定的差异。捕捞漂流物随附群时,鱼群较稳定,对跑纲控制的要求低,可通过增加括纲长度增加作业水深,捕捞栖息较深水层的鱼群。

3.3 模型预测的应用

在实际作业中,海况条件无法进行控制,但

可通过调节可控因素(如括纲、跑纲等)或者判别不可控因素(如不同水层水流),达到生产中所需的网具沉降速度。漂流物随附群作业时,当得知 60 m 水层流速时,要使网具尽快达到更深水层,可通过调整放网速度和括纲长度去实现;当放网速度较慢时,可通过增大放网速度或

者减小括纲长度的方式,提高网具沉降速度(图 8)。

海流虽是海洋环境中不可操控的因素,但在自由鱼群捕捞时,可通过调节跑纲长度,达到实际生产中所需要的沉降速度。当流速一定时,跑纲长度增大,沉降速度反而减小(图 9),这与海上观

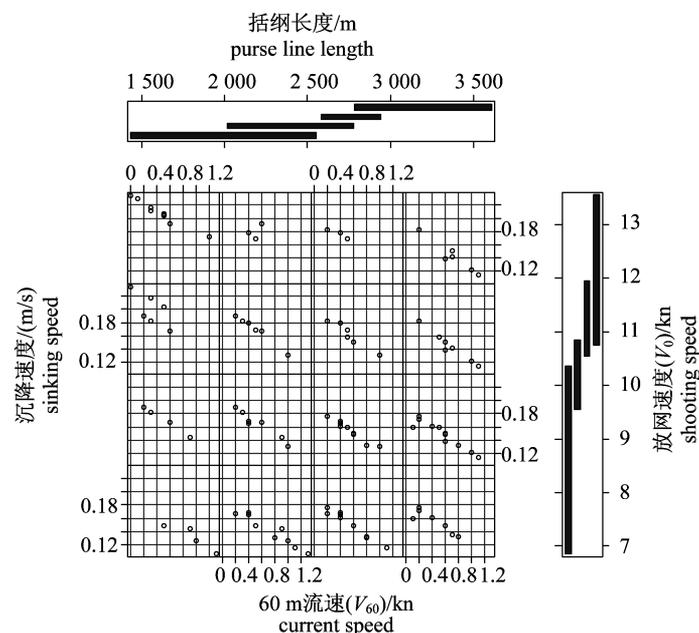


图 8 漂流物随附群渔法下 GAM 模型预测值与影响因素关系图

Fig. 8 The relationship between impact factors and predicted values by GAM by the fishing method of floating objects associated school

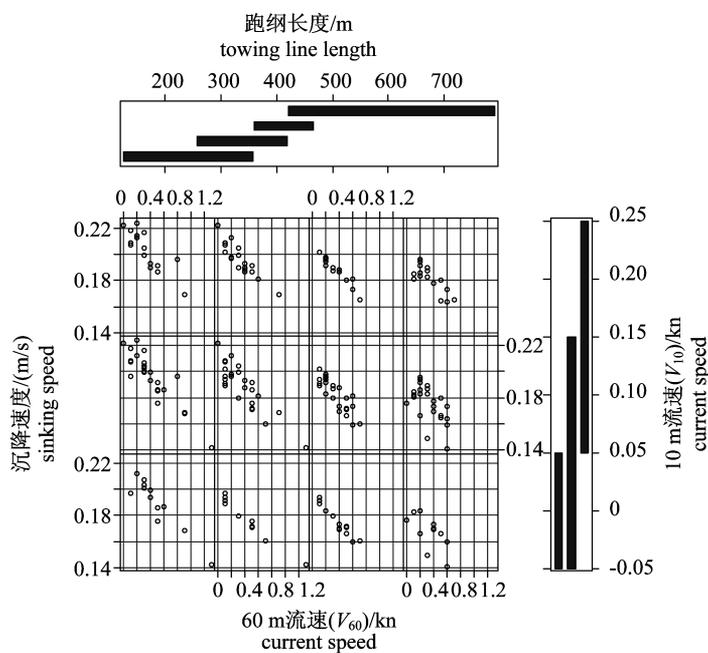


图 9 自由鱼群渔法下 GAM 模型预测值与影响因素关系图

Fig. 9 The relationship between impact factors and predicted values by GAM by the fishing method of free swimming school

测结果一致^[13]。但值得指出的是,一味地增加跑网长度,将导致包围后网具缺口增大,增加鱼群逃逸的可能性。因此,跑网投放长度的确定要依据实际生产情况而定。

感谢上海开创远洋渔业公司领导对于海上调查的支持,感谢“金汇7号”船长程广明先生等在海上调查期间的帮助及宝贵建议。

参考文献:

- [1] Lan G C. Study on sinking performance of tuna purse seine by model test [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [兰光查. 基于模型试验的金枪鱼围网沉降性能研究. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [2] Wang X F, Xu L X, Chen Y, *et al.* Impacts of fish aggregation devices on size structures of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* [J]. *Aquatic Ecology*, 2012, 46(3): 343 – 352.
- [3] Sun M C. Marine fishery technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005. [孙满昌. 海洋渔业技术学. 北京: 中国农业出版社, 2005.]
- [4] Schaefer K M, Fuller D W. Behavior of bigeye (*Thunnus obesus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tunas within aggregations associated with floating objects in the equatorial eastern Pacific [J]. *Marine Biology*, 2005, 146(4): 781 – 792.
- [5] Tang H, Xu L X, Zhou C, *et al.* Impact factors of sinking performance for tuna purse seine based on the generalized additive model [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(6): 944 – 949. [唐浩, 许柳雄, 周成, 等. 基于 GAM 模型研究金枪鱼围网沉降性能影响因素. 水产学报, 2013, 37(6): 944 – 949.]
- [6] Zhou C, Xu L X, Zhang X F, *et al.* Multiple regression analysis on the impact factors of sinking performance for large-scale tuna purse seine [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(3): 672 – 681. [周成, 许柳雄, 张新峰, 等. 金枪鱼围网沉降性能影响因子的多元回归分析. 中国水产科学, 2013, 20(3): 672 – 681.]
- [7] Radulović D. The bootstrap of the mean for strong mixing sequences under minimal conditions [J]. *Statistics & Probability Letters*, 1996, 28(1): 65 – 72.
- [8] Bickel P J, Freedman D A. Some asymptotic theory for the bootstrap [J]. *The Annals of Statistics*, 1981: 1196 – 1217.
- [9] Wang X F, Xu L X, Guan W J, *et al.* The impacts of tuna purse seine gear's sinking performance on the fishing success of free swimming school [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(5): 1 – 8. [王学昉, 许柳雄, 官文江, 等. 金枪鱼围网沉降性能对于自由鱼群捕获率的影响. 中国水产科学, 2014, 21(5): 1 – 8.]
- [10] Hastie T J, Tibshirani R J. *Generalized Additive Models* [M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [11] Tang H, Xu L X, Wang X F, *et al.* Evaluation of tuna purse seine performance between from model test and on-sea measurements [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(4): 884 – 892. [唐浩, 许柳雄, 王学昉, 等. 金枪鱼围网模型试验结果与海上实测的比较评估. 中国水产科学, 2013, 20(4): 884 – 892.]
- [12] Xu L X, Wang M F, Ye X C, *et al.* Measurement and analysis of sinking characteristics of tuna purse seine [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(5): 1161 – 1169. [许柳雄, 王敏法, 叶旭昌, 等. 金枪鱼围网沉降特性. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1161 – 1169.]
- [13] Wang C L. Sinking performance of 1 664. 5 m × 394. 3 m tuna purse seine in the Western and Central Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008. [王春雷. 中西太平洋 1 664. 5 m × 394. 3 m 金枪鱼围网沉降性能研究. 上海: 上海海洋大学, 2008.]
- [14] Wang M F. Development of the 3D numerical model tuna purse seine gear [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [王敏法. 金枪鱼围网网具数值模拟初步研究. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [15] Hosseini S A, Lee C W, Kim H S, *et al.* The sinking performance of the tuna purse seine gear with large-meshed panels using numerical method [J]. *Fisheries Science*, 2011, 77(4): 503 – 520.
- [16] Kim H Y, Lee C W, Shin J K, *et al.* Dynamic simulation of the behavior of purse seine gear and sea-trial verification [J]. *Fisheries Research*, 2007, 88(1): 109 – 119.
- [17] Kim Y H, Park M C. The simulation of the geometry of a tuna purse seine under current and drift of purse seiner [J]. *Ocean Engineering*, 2009, 36(14): 1080 – 1088.

Differences of gear performance of tuna purse seine between the two kinds of typical fishing method

TANG Hao¹, XU Liuxiong^{1,2,3,4*}, WANG Xuefang¹,
XU Guoqiang¹, ZHOU Cheng¹, ZHU Guoping^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources,
Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Collaborative Innovation Center for National Distant-water Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this study, according to the survey data of tuna purse seine by sea trials from 2011 to 2014, by using the Bootstrap and generalized additive model (GAM) to quantitatively analyse the differences gear performance between free swimming school and floating objects fishing methods. The results show that: (1) the maximum sinking depth of floating objects fishing method (195.20 – 219.36 m) is 94.8% of free swimming school fishing method (205.83 – 219.04 m); The average sinking speed of the floating objects fishing method (0.152 – 0.176 m/s) is 84.4% – 91.2% of free swimming school fishing method (0.180 – 0.193 m/s). (2) V_{10} , V_{60} and L_1 have a significant impact on the sinking speed for the swimming school fishing method. (3) V_{60} , L and V_0 have a significant impact on the sinking speed for the fishing floating objects associated school. (4) The results by GAM prediction show that: the predicted values of sinking speed (0.155 – 0.175 m/s) is 99.4% of sea trials for the floating objects fishing method; the predicted values of sinking speed (0.182 – 0.190 m/s) is 98.4% of sea trials for the free swimming school fishing method. These results can provide some reference for distinguishing the sea conditions and controlling the fishing operation for sea operation.

Key words: tuna purse seine; floating objects associated school; free swimming school; sinking performance; sinking speed

Corresponding author: XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn