

渔用纤维绳网产业的研究进展

宋鸿展^{1,2}, 石建高²

¹大连海洋大学水产与生命学院学院, 辽宁 大连

²中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海

收稿日期: 2024年8月24日; 录用日期: 2024年9月15日; 发布日期: 2024年9月26日

摘要

随着渔业科技的迅猛发展和产业结构的不断优化升级, 我国渔用纤维绳网的产业规模和市场容量随之扩大, 为现代渔业的高质量发展提供了重要保证。本文主要研究我国渔用纤维绳网产业的发展现状与应用状况, 提出可实施化的研究建议, 为渔用纤维绳网产业的进一步发展提供参考。

关键词

纤维绳网, 渔业, 绳网产业, 研究进展

Research Progress of Fiber Rope Net Industry for Fishing

Hongzhan Song^{1,2}, Jianguo Shi²

¹College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

²East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai

Received: Aug. 24th, 2024; accepted: Sep. 15th, 2024; published: Sep. 26th, 2024

Abstract

With the continuous optimization and upgrading of the fishery industry structure and the rapid development and innovation of fishery industry science and technology, the industrial scale and market capacity of China's fishery fiber rope net will expand accordingly, which provides an important guarantee for the sustainable development of national Marine fishery. This paper mainly studies the development status and application status of the fishing fiber rope net industry in China, puts forward feasible research suggestions, and provides theoretical reference for the research progress of the fishing fiber rope net industry.

文章引用: 宋鸿展, 石建高. 渔用纤维绳网产业的研究进展[J]. 水产研究, 2024, 11(3): 204-215.

DOI: 10.12677/ojfr.2024.113024

Keywords

Fiber Rope Net, Fisheries, Research Progress

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

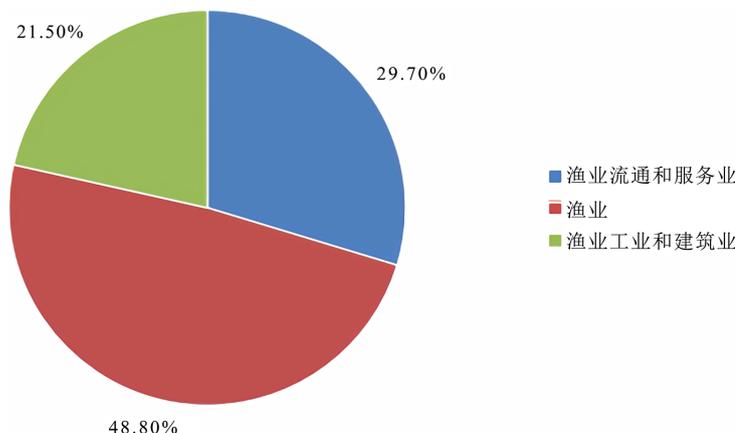
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

渔用纤维绳网产业是指与其相关的纤维、绳索和网衣/渔网的制造、销售和维修等产业链。随着人口的增长和水产品需求的不断增加,该行业的发展空间越来越大,其发展潜力也不可忽视,已成为支撑渔业发展的重要基石之一。如图 1 所示,2023 年,全社会渔业经济总产值 32669.96 亿元,其中渔业产值 15957.35 亿元,产业产值的比例高达 48.8%;从渔用机具行业细分市场规模来看,渔用绳网制造产值 133.42 亿元,占渔用机具产值的 33.77%,并且渔用纤维绳网产业在生产加工产业中占比 75%,我国已成为世界上生产渔用纤维绳网材料最大的国家之一[1]。我国渔业产业和市场规模的逐步扩大促使渔业科技不断创新,从而带动渔用纤维绳网行业的升级转型,具体体现在渔用纤维绳网的原材料创新。渔用纤维绳网合成材料因其耐腐蚀和经久耐用的特性已基本取代天然纤维,成为渔用绳网材料的主体,而且国内渔用纤维产业的集群效应日益明显[2]。渔用纤维绳网的原材料创新有力地带动了我国渔用纤维绳网行业的发展,石建高等对海洋渔业及其他产业用缆绳进行了系统研究,开发并示范应用了中高分子量聚乙烯绳索及 UHMWPE 膜裂纤维绳索等 10 多种高性能缆绳新材料,出版了《绳网技术学》《深远海养殖用网纲材料技术学》《渔业装备与工程用合成纤维绳索》等缆绳专著,联合相关单位起草了 PE 绳、PP 绳、PP 绳、PA 绳、PET 绳、PP-PE 绳和 UHMWPE 绳等缆绳及夹钢丝绳相关国家标准或行业标准,编写了缆绳标准体系框架及标准体系表,推动了我国缆绳技术升级[2]。目前国内现有渔具相关企业 78.5 万余家,其中,2023 年上半年新增注册相关企业 24.5 万余家,与 2022 年同期相比上涨 109.8%,作为出产全世界 80% 渔具产品的国家,中国已是全球渔具加工大国[3]。



注: 图片数据来源于文献[1]。

Figure 1. Composition of total output value of fishery economy in 2023

图 1. 2023 年渔业经济总产值构成

渔业产业主要包括捕捞、养殖、加工等内容[4]。渔用纤维绳网作为渔业养殖和捕捞的配套用具,它的发展与应用状况会直接影响到渔业产业的发展过程。根据农业农村部历年的《中国水产统计年鉴》《中国渔业统计年鉴》及了解的有关信息,对渔用纤维绳网在我国渔业捕捞、养殖、船舶中应用的主要种类和形式进行了总结(表 1) [5]。目前,随着渔业科技的迅猛发展和国家政策的扶持,我国的高性能渔具材料取得了突破性的进展。如超高分子量聚乙烯(简称 UHMWPE)纤维和超高强聚乙烯(UHSPE)纤维,它是公认的世界上强度最高的纤维之一,如大型深远海养殖设备“深蓝 1 号”也采用了 UHMWPE 纤维制成的网衣。UHSPE 纤维在十二股绳索上的应用,为我国研制渔用绳索新材料、开发新一代降耗型深水网箱或节能降耗型渔具等提供了有利条件,它具有一定的降耗效果和经济可行性[6]。在此背景下,研究渔用纤维绳网的新发展,使其发挥出最大效用,从而提升我国渔业产业的发展能力。

Table 1. Types and forms of combined wire nets for fishing in China

表 1. 我国渔用合纤绳网的种类和形式

类别	形式	PE 单丝			PA 复丝		PA 单丝			PP 单丝或薄膜		PVA 长丝或纺织纤维	
		单死结网片	经编网片	捻绳	单死结网片	双死结网片	单丝	捻绳	八股编绳	捻绳	捻线混纺线		
捕捞	拖网	●	—	●	●	—	—	●	—	—	—	—	
	张网	●	—	●	—	—	—	●	●	—	—	—	
	流刺网	—	—	●	—	●	—	●	—	—	—	—	
	围网	●	—	●	●	—	—	●	—	—	—	—	
	钓具	—	—	—	—	—	●	—	—	●	●	—	
养殖	淡水围养	●	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—	
	淡水网箱	●	●	●	—	—	—	●	—	—	—	—	
	海水网箱	●	●	●	—	—	—	●	—	—	—	—	
	紫菜养殖	—	—	●	—	—	—	●	—	●	●	—	
	海带养殖	—	—	●	—	—	—	●	—	●	●	—	
渔船	—	—	●	—	—	—	●	●	—	—	—		

注:表格来源于文献[5];“●”表示有;“—”表示无。

2. 渔用纤维绳索产品



Figure 2. Far-reaching marine aquaculture equipment facilities using UHMWPE rope nets

图 2. 采用 UHMWPE 绳网的深远海养殖装备设施

绳索是由若干根绳纱(或绳股)捻合或编织而成的,制绳原材料主要为各类化学纤维[7]。渔业用缆绳广泛应用于捕捞渔具与水产养殖等领域。如图2所示,捕捞渔具用缆绳包括拖网用缆绳、围网用缆绳及钓鱼作业用绳等;水产养殖用缆绳包括网箱用缆绳、养殖围栏用缆绳、吊笼养殖用缆绳等。

2.1. 聚乙烯绳索及超高分子量聚乙烯绳索

聚乙烯绳索(也称乙纶绳、PE绳)主要由PE单丝制成,PE单丝直径为0.20~0.40 mm,低牵伸的PE单丝,在连续和长时间载荷作用下会发生蠕变,这是一种永久伸长[8]。在达到断裂试验的最大载荷以后,并在实际断裂以前聚乙烯试样可以继续伸长,而此时张力已下降,在这种情况下,断裂载荷不等于最大载荷,而是大大地小于最大载荷[8]。所以用于纯的PE单丝要经高倍牵伸,以减少PE绳的蠕变。

随着科技的进步,世界上出现了许多合成纤维绳索新品种,如UHMWPE纤维绳索、HSPE单丝绳索、PPTA纤维绳索和碳纤维绳索等,其中,在渔业上应用最广的为UHMWPE纤维绳索。UHMWPE纤维绳索由UHMWPE纤维长丝制成,因其断裂强度高和耐磨耗等特性在安全防护领域首先应用[8]。随着UHMWPE纤维的批量生产,一些渔业发达国家已将部分UHMWPE纤维绳索应用于渔业生产,如在挪威等国建造的超级远洋拖网船上,用作大型中层拖网的曳纲。

在大型围网中,UHMWPE纤维绳索已被用作网具纲索(包括浮子纲、跑纲等),这不但减少浮子用量和网具重量,延长网具的使用寿命;而且减少网具的甲板占用空间和水流对放网操作的不利影响[9]。在延绳钓渔具中,用UHMWPE纤维绳索作干绳,与PA材料的干绳相比(直径可降低40%),相同的绞车可配置更长的钓绳,使钓钩数量增加,提高捕捞效率[10]。此外,超高分子量聚乙烯纤维质量轻,密度小,便于运输和安装,降低了操作成本。同时,它还具有良好的耐候性和耐紫外线性能,在恶劣的海洋气候条件下仍能保持稳定的性能。2012年由中国水产科学研究院东海水产研究所石建高团队联合山东爱地等单位设计开发的大型养殖网箱(图3),采用牌号为特力夫的UHMWPE绳网材料,其养殖面积相当于117个4 m × 4 m的小型网箱,网箱重量只相当于传统网箱的1/4~1/5,项目推动了网箱的大型化及超强纤维新材料在网箱上的创新应用。宁波大成新材料有限公司研制开发出“强纶牌”超高分子量聚乙烯无结网片,具有高断裂强度、网线细、重量轻等特点,用于深海网箱养殖,可有效抵御台风侵袭,减少海洋捕捞时网片受到的阻力,达到节能降耗的目的[11]。



Figure 3. Large aquaculture cages
图3. 大型养殖网箱

未来,在海洋产业中,UHMWPE纤维系泊缆、碳纤维复材系泊缆索等新型缆索及其组合缆索将是主要发展趋势。以下是超高分子量聚乙烯绳缆在海上能源设施系泊缆领域的一些应用案例:

1) 浙江四兄绳业有限公司为“深海一号”(图4)能源站深水系泊工程自主研发生产了直径60 mm的超高分子量聚乙烯绳缆。相比传统的钢丝绳,该绳缆具有高强力、轻质、高耐磨性、耐腐蚀性强、抗老

化性强以及抗酸碱能力强等明显优势。其相同拉力下,重量只有钢丝绳的七分之一到八分之一左右[12]。



Figure 4. Deep Sea 1
图 4. “深海一号”

2) 兴轮绳缆交付的超高分子量聚乙烯缆绳 CHNMAX 也曾用于全球最大装箱量 24000TEU 超大型集装箱船。该型船是航运业公认的海上“巨无霸”和“超级载货王”,船舶的巨型化发展使其在系泊作业中承受的外力巨大,对缆绳的破断强度、抗疲劳等性能要求更高[13]。兴轮绳缆的产品在此次应用中彰显了其在超大型船舶应用中的超高性能。

2.2. 聚酯绳索

聚酯绳索(也称涤纶绳、PET 绳)由 PET 纤维制成。PET 绳一般使用长丝形态。PET 纤维外形和粗度与 PA 长丝很相似,但两者在其他性能上有所区别,PET 长丝的断刻强力略比 PA 长丝低,伸长比 PA 长丝小,一般 PET 长丝粗度约 0.6 tex,甚至比 PA 长丝更细[14]。PET 纤维有一定的抗紫外线能力,并且在海洋温度环境下蠕变率很低,因此广泛应用于海洋环境中。

在海洋用绳索方面,尤其是近几年在石油平台的系泊这一块,我国已经成功做到了直径 400 mm,长度 2 km 无接头,破断力能达到 2000 t。这台 400 mm 设备能做到世界第一。在我国的南海油田,24 根深海系泊聚酯绳成为钻探平台的“定海神针”[15]。这些高性能特种绳索的生产大大促进了我国的渔业发展能力。在徐州一家新企业内,一台总高约为 10 m 的多功能缆绳设备,96 个编织锭旋转跳动,编织出来的单根缆绳最大重量可达 70 t。

国外最新研发的高强度高模 PET 长丝纤维的强度及纤维间磨损测试结果均超过 ISO18692 的要求(绳索研究所:CI1503),与标准纤维制成的绳索相比,使用该纤维制成的绳索其最低断裂载荷测试结果的分散性(变异性)减小[16]。用于巴西国家石油公司(Petrobras)和 SBM 的多个 FPSO 项目的高强度高模 PET 长丝纤维(编号为 G3014HQ)成功应用于 1500~3000 m 的超深水生产存储和卸货系泊设备中。FPSO 需要使用较硬的绳索进行永久性系泊。因此,用于生产绳索的纤维除需具有较高的强度外,还需具备一定的硬度(较高的模量)、较低的线密度和较高的断裂载荷[16]。

2.3. 聚酯绳索

聚酰胺绳索(也称锦纶绳、尼龙绳、PA 绳)由 PA 纤维制成,制绳用 PA 纤维形态有长丝、单丝两种,且 PA 长丝最为普遍,PA 长丝的粗度在 0.66~2.2 tx。用 0.66 tex 很细的纤维制成的绳索较软,有较好的可绕性。用 2.22 tex 粗纤维制成的绳索则具有较高的断裂强力。一般来说,在绳索中纤维之间接触的表

面积随纤维的粗度而增加, 纤维间接触的面积越大, 则绳索中纤维强力利用程度就越高。一根绳索中纤维数量随着每根纤维的粗度变化而变化, 例如直径 34 mm 的 PA 绳索含有约 100 万根 0.66 texe 的长丝, 而直径 38 mm 的 Manila 仅含有 31,000 根较粗的 Manila 纤维。由 PA 单丝制成的绳索, 其单丝直径为 0.10 mm (约 11 tex) 至 5.00 mm 或更粗些。这些单丝通常是圆形横截面, 细的单丝可作为一根单纱, 而粗的单丝可直接作为绳纱加捻成股。由 PA 单丝制成的 8 股编绳可用于金枪鱼延绳的作为干绳使用等。聚酰胺长纤维绳及聚酯纤维绳性能较好, 强度高、弹性好, 能经受强烈冲击载荷[17]。

该绳索用于各种海洋环境下的渔业生产, 可以进行洋流作业、拖网作业等多种捕捞方式的组合应用, 聚酰胺绳索可用于固定和支撑养殖设施, 如网箱和围栏。提高了捕捞效率, 减少了捕捞成本, 同时也减少了对海洋环境的损害。在航运和海洋工程中, 聚酰胺绳索被用作系泊缆绳, 以确保船只和海上结构的稳定性。相较于传统的钢丝绳, 聚酰胺绳索更轻、更安全, 且耐腐蚀性更强。

2.4. 聚丙烯绳索

聚丙烯绳索(也称丙纶绳、PP 绳)由 PP 纤维制成。PP 纤维形态主要有长丝、单丝、短纤维和裂膜纤维等几种。PP 长丝的外观与 PA、PET 长丝非常相似, 不染色时, 上述三种纤维都是白色的。PP 长丝的粗度为 0.22~1.67 tex。PP 单丝直径一般在 0.20~0.40 mm, 由单丝捻合成绳纱。PP 的单丝短纤维有点像植物硬纤维(如 Manila 麻、Sisal 麻等), 把 PP 单丝切成 0.10~1.10 m 长的短纤维, 其横截面呈圆形, 直径约为 0.11mm (线密度约 11 tex)。PP 裂膜纤维是经高倍牵伸的薄膜带, 其伸长度较小, 甚至比 PP 长丝还低; 另外, PP 裂膜纤维揉挺性较大, 制绳时仅需较少加捻, 制造工艺较为简单, 比其他几种形态的纤维制绳价格相对较低[18]。制造绳纱的薄膜带的规格为宽度 20~40 mm、厚度 0.06~0.10 mm、粗度 1.6~2.7 ktex。

聚丙烯材料是以单丝和薄膜两种形式制成各种类型的绳索。聚丙烯夹芯绳使用寿命长, 绳芯包括金属纱绳与防水橡胶层, 防水橡胶层包裹覆盖在金属纱绳的外层[19]。根据渔业捕捞生产实践证明聚丙烯单丝适宜制作各种类型的绳索。

聚丙烯绳索大致分为四种类型: A 型 3 股拧绞绳, B 型 6 股拧绞绳, L 型 8 股编绞绳和 T 型 12 股编绞绳。由于聚丙烯绳索具有重量轻, 柔韧性好, 耐腐蚀性强等特点, 聚丙烯绳索在渔业中主要用于系结船舶的多股绳索, 要求具备抗拉、抗冲击、耐磨损、柔韧轻软等性能, 使渔业捕捞生产具有了有利条件。

3. 渔业用网产品

渔网通常包括浮球、铅头、拉索和缠绳等组成部分。国内目前常用的渔网材料为高密度聚乙烯(HDPE)渔网、聚酰胺(PA)渔网、UHMWPE 渔网、聚酯(PET)渔网等; 渔网可分为有结渔网和无结渔网, 有结渔网主要包括单结和双结两种, 而无结渔网主要包括经编渔网、辫编渔网和绞捻渔网三种[20]。

3.1. 渔网的结构与分类

有结渔网按网结的数量分为单结和双结两种, 网眼结构多为菱形[21]。石建高等公布了一种海洋渔业用有结网的制作方法, 其配方为: 1) HDPE 粉末 6.6%~8.4%; 2) 纳米载银二氧化硅抗菌剂 1.8%~5.25%; 3) 羟基硬脂酸 1.2%~2.8%; 4) 硅酮粉 1.6%~3.2%; 5) 抗氧化剂 B225 1.8%~3.1%、助抗氧化剂 DLTP 1%~3%; 6) 纳米级白炭黑 2.5%~4.1%; 7) 纳米级硅藻土 0.7%~1.3%; 8) 松节油 2.5%~3.4%, 将各组分在高速捏合机中混合均匀后使用双螺杆挤出机纺丝, 并使用合股机加捻后在单钩型织网机上编织成有结网[22]。

随着现代工业设备的高速发展, 出现了经编网的编织方式, 并实现了工业化生产。与有结渔网相比, 经编网不存在结节结构, 纤维的强度保留率较高, 但经编渔网的编织方式较为复杂, 通常使用拉舍尔经编机。石建高等研究比较了 HSPE 和普通 PE 经编网片的力学性能[23]。实验发现, 在相同实验条件下, HSPE 网片的断裂强度更高, 相应网片的断裂伸长率则较小一些, 因此, 实际应用时使用 HSPE 经编网片强度

更可靠一些,其性价比也比普通 PE 经编网高[24]。石建高等研究了普通 78 股 PA 经编网和超高强(UHSPE)经编网的物理性能,其中 PA 经编网规格为“PA-23tex×78-45”,UHSPE 经编网规格为“UHSPE-267tex×3-45”[25]。

绞捻网片分为单丝和复丝两种。目前我国常用的绞捻网片大多采用 HDPE 合股复丝网线编织而成,与有结网相比,绞捻网片不存在结节结构,表面光滑平整,换网时不会对鱼鳞造成损伤;与经编网片相比,绞捻网片不存在线圈结构,纤维的强度保留率较高,由 HDPE 合股复丝网线编织而成的绞捻网片强度高于同等规格的绞捻网[26]。

石建高等发明公开了一种渔用自增强 PE 绞捻网,该渔网采用自增强 PE 单丝捻合成的股线编织而成,捻向为 S 向,网片特征在于网目的目脚由两股网线加捻而成,且目脚的两根股线同相邻目脚的两根股线相互交叉[26]。实验表明,该结构 36 股绞捻网片断裂强力高于 52 股普通 PE 绞捻网片,且网片重量也比普通 PE 绞捻网片轻 42%,具有很好的使用价值[27]。

3.2. 渔网材料研究进展

● PE 渔网

目前,PE 纤维网具产品以其断裂强力高、耐磨性好、价格便宜等优势约占整个渔用材料市场的 60% [28],广泛应用于制作养殖网箱、围网和绳索等,并在我国沿海大面积推广应用,具有很好的使用前景[29]。但 HDPE 渔网在使用过程中会出现新的问题,如结节强度保留率低、易附着海洋生物等。因此,为改善和提高渔网的使用性能,需要对 PE 材料进行改性研究。石建高等研究了网线编织工艺(包括捻距、线芯结构、线芯数量)与 HSPE 网线拉伸强度的关系[29]。实验发现,捻距的增加会提高网线的拉伸强度及结节强度,但却降低了网线的断裂伸长率;使用捻度为 32 T/m 的股线与不加捻的平行丝束进行比较,发现前者的断裂强度、断裂伸长率以及结节强度均较后者有所提升[29]。余雯雯等将表面改性纳米 Cu 粒子(nano-Cu)加入 HDPE 中,试验表明,nano-Cu/HDPE 单丝断裂强度有所提高,且纤维中 Cu 离子的存在可以减轻海洋生物对网线的附着[30]。

● 聚酰胺渔网

聚酰胺具有优异的耐磨性、断裂强度高、易加工成型、耐海水侵蚀等综合性能,广泛应用于制作纤维、绳索、渔网等渔具。为促进 PA 材料在渔业领域的进一步发展,人们对 PA 进行了大量的研究工作。张浩悦等采用两步法将马来酸酐接枝聚乙烯(MAH-g-PE)、邻苯二甲酸二辛酯(DOP)与 PA66 共混改性,并采用熔体纺丝法制备改性 PA66 纤维。通过实验分析发现纤维的拉伸强度随着 DOP 含量的增加有所提高,且 DOP 含量在 5%时纤维的可延伸性能最佳[31]。

● 聚脂渔网

由于聚酯纤维的染色性较差,而渔网长期暴露于太阳辐射下,因此深颜色尤其是黑色的渔网抗老化效果更好,使用寿命更长。陈康等使用紫外线吸收剂双苯并噁唑二苯乙烯(OB-1)改性 PET 材料,并采用纤维纺丝-多倍拉伸工艺制备抗老化 PET 纤维[32]。实验发现,OB-1 的加入对 PET 的加工工艺没有干扰,其自身也没有分解失效,且当 OB-1 的质量分数为 0.05%时最适宜,此时改性 PET 纤维拉伸强度 > 6.8 cN/dtex;氙灯老化 300 h 后,纤维的强度保持率依然高达 96%,抗老化效果明显[32]。

● UHMWPE 渔网

目前,国内的 UHMWPE 渔网多为凝胶复丝渔网。烟台莱州明波水产有限公司编织一种 UHMWPE 无结网,该渔网网眼尺寸较小,但其强度高,网衣表面光滑平整,不会对鱼苗造成损伤。但是由于凝胶纺丝纤维的生产工艺复杂,生产效率较低,网线直径也较粗,成本太高,因此 UHMWPE 渔网在我国并没有得到大面积的广泛应用。为真正实现 UHMWPE 渔网产业化应用,提高超高渔网的使用范围,人们

对 UHMWPE 材料进行了很多的研究改进工作, 秦建华等研究探索了碳酸钙(CaCO_3)对 UHMWPE 的改性效果。实验发现, CaCO_3 的加入使得材料的维卡软化温度提高了 35°C , 且当 CaCO_3 的含量为 10% 时材料的拉伸强度有所提高, 但改性后材料的缺口冲击强度有所下降[33]。

3.3. 渔网产品的国内外应用

渔用网片在渔业的养殖与捕捞领域中被广泛使用。随着渔业技术的发展, 成功实现了渔网产品的升级换代。目前的渔业用网产品包括两种类型, 一种是强度高、耐磨性及抗风浪性能好的高性能网片, 另一种是具有防污功能或智能化功能的功能性网片。

自 2017 年挪威设计、中国建造的世界首座半潜式养殖平台——“海洋渔场 1 号”深海渔场交付以来, 与此配套的高性能深远海养殖网衣也成为研发关注热点[34]。益晨网业及山东莱威等单位为多个大型深远海养殖网箱建设项目配套了 UHMWPE 纤维网衣, 此网衣在渔网产业得到了广泛应用[35]。STERLING 等对由普通 PE 网片、高强度 PE 网片、UHMWPE 网片加工的 3 种拖网性能进行了对比分析, 得出 UHMWPE 网片拖网的性能远高于另外两种材料[36]。挪威萨尔玛公司设计的“Ocean Farm 1”(海洋渔场 1 号)深海渔场也采用了 UHMWPE 经编网衣, 养殖应用结果明显, 综合性能优良[37]。石建高课题组联合益晨网业等单位开展了“深蓝 1 号”深海渔场网具工程的升级改造项目、“闵投 1 号”可移动半潜波浪能养殖旅游平台网衣系统项目, 网衣分别采用国产 UHMWPE 经编网衣、Dyneema® SK 78 经编网衣, 保障了网具系统的安全[38]。

此外, 值得关注的是养殖网衣会易受到各种海洋污损生物的附着, 进而会影响养殖网衣的使用寿命。因此, 研究学者不断研发养殖网衣防污技术, 石建高等联合相关单位开发并示范应用了特种金属合金网衣新材料及增养殖设施(如双圆周管桩式大型围栏养殖设施、高清合金网衣网箱), 并对其适配性等进行了系统研究, 形成了一批金属合金网衣及增养殖设施成果, 并在国内外养殖业及核电等领域实现产业化应用(图 5)[39]。



Figure 5. Double circumference pipe pile type large fence breeding facilities
图 5. 双圆周管桩式大型围栏养殖设施

加拿大初创公司 Katchi 最近推出了一项智能拖网技术(图 6), 将彻底改变传统的底层拖网作业。这一系统包含两个关键部分: 一项能够动态控制渔网打开的技术, 使渔网在不接触海底的情况下穿过海床; 二是通过传感器激活绞盘的自动化技术, 可以调节渔网在水中的上下移动[40]。这项新技术将为渔民带来诸多好处。新技术可以节省大约 30% 的燃料消耗, 降低了成本。因为通过控制渔网上下移动, 可以帮助

渔民更精准地捕捉目标物种, 同时缩短海上作业时间。通过精准捕捉目标物种, 可以减少或避免捕获副渔获物。通过减少副渔获物并保护海底免受干扰, 鱼类资源将得以自然恢复, 为渔民提供更多可捕捞的鱼类, 从而提高他们的收入潜力。

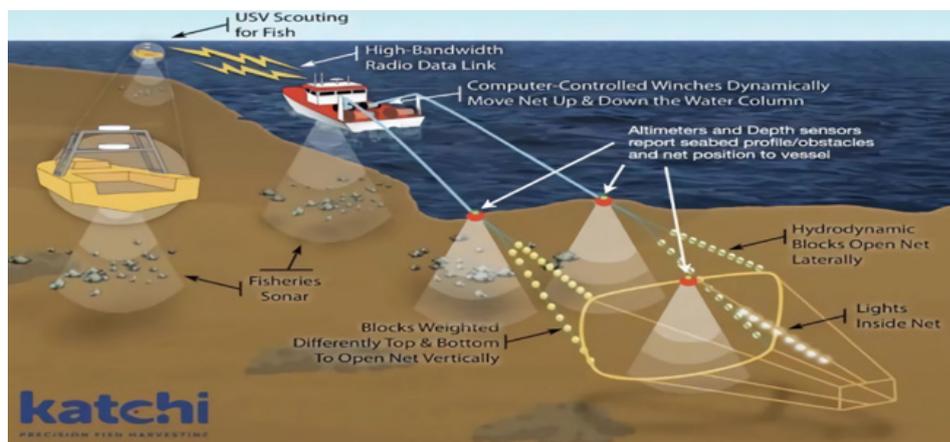


Figure 6. Katchi intelligent trawl system
图 6. Katchi 智能拖网系统

3.4. 渔网产业的发展前景

在渔网行业, 渔网技术创新是推动渔网产业发展的关键因素之一。如 UHMWPE 单丝无结渔网, 这种类型的渔网结构更加优化, 强度保留率更高, 渔网耐海洋污损能力强, 提高了网箱内外水体的交换速率, 缩短鱼苗生长周期, 提高了养殖效率, 必将对渔业发展带来巨大的推动力。但渔网使用时需要长期暴露在自然光照下, 单丝渔网网线长期暴露在光照下会使得纤维内部大分子链断裂, 导致单丝强度下降、网片损坏, 降低渔网的使用寿命。因此, 提高 UHMWPE 单丝的耐老化性能, 提高其使用寿命, 对 UHMWPE 单丝无结渔网的应用和推广具有十分重要的意义[41]。目前, 主要方法是添加适宜的抗氧剂、抗光老化剂和颜料改善其抗老化性能, 提高渔网的使用寿命[41]。此外, 渔网粘网三层捕鱼网, 它是一种高效、耐用、过滤效果好的捕鱼工具。它由三层网组成, 每一层都是由高质量的线编织而成。第一层是防止大鱼进入的防线, 第二层则是捕捉小鱼的网, 第三层则是为了防止小鱼逃脱而设置的。三层粘网捕鱼网的网目大小适中, 能够捕捉各种大小的鱼类。其次, 这种网具有很强的耐水性能, 即使在深水中也能保持稳定, 确保捕鱼的成功率[42]。此外, 三层粘网捕鱼网的材质具有良好的耐磨性, 能够承受长时间的使用和磨损, 延长了其使用寿命。它不仅适用于各种水域和环境, 而且易于操作和维护。这种三层捕鱼网的特点是捕鱼效率高, 具有独特的结构和特点, 被广泛应用, 使其在捕鱼行业中占有重要地位, 有利推动了我国渔业的发展。

渔网产业的未来发展趋势将会是多元化、精细化、智能化和绿色化。多元化发展指的是渔网行业在不断开发新产品、新技术, 扩大产品线, 为消费者提供更多的选择[43]; 精细化发展指的是渔网行业不断提高产品的质量, 提供更高品质的产品; 智能化发展指的是渔网行业将越来越多的智能技术应用到产品的开发中, 提高产品的使用率[44]; 绿色化发展指的是渔网行业将注重环境保护, 采用更加环保的技术, 努力实现节能减排。加大数字智能技术对传统渔网产业升级变革的支持力度; 完善土地要素等相关配套, 为企业腾出发展空间, 引导企业寻找新的增长点与突破点; 探索“渔网+”相关模式, 将渔网文化融入镇域产业发展、居民生活就业等相关环节。持续用资源、科技、人才为主导产业发展赋能, 激活镇域发展活力。

4. 总结与展望

4.1. 国内市场现状

目前主要需求的渔用绳网具, 结构类型式分为原料结构和产品结构两大类。原料结构: 普通渔用纤维绳网合成材料主要包括聚酯(PET)纤维、聚酰胺(PA)纤维、聚乙烯(PE)纤维、聚丙烯(PP)纤维等; 高性能绳网材料主要包括超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维、对位芳香族聚酰胺(PPTA)纤维、碳纤维(CF)、可生物降解纤维等。产品结构: 淡水养殖、捕捞主要是 PE 有结网, 以围拦养殖为主, 网箱养殖为辅; 海水养殖以矩型网箱、深水网箱为主[45]。网具材料以 PE 有结网为主, PA、PE 经编网为辅; 海洋捕捞仍以拖网、围网为主, 张网等为辅, 网具材料以 PE 有结网为主, PA 有结网、PES 无结网为辅[45]。

我国拥有辽阔的海洋水域, 为绳网产业的发展提供了得天独厚的自然条件。国家和省市地方政府对海洋经济发展给予了高度重视和支持, 出台了一系列政策措施推动海洋产业发展。海洋渔业、海洋工程、海洋旅游等多个领域对绳网产品的需求持续增长, 为行业提供了广阔的应用市场。我国纤维品种齐全, 这些材料具有优异的物理机械性能, 为绳网的开发提供了丰富的原料选择。渔用纤维绳网行业相对于其他高技术或重工业领域, 其投资强度确实较低, 头部企业数量有限, 而大量小微生产企业占据了市场的主要份额。这种结构可能导致行业竞争激烈, 但同时也为市场提供了多样化的产品和服务。其次, 绳网行业具有显著的集群效应, 如惠民县作为全国最大的新型绳网生产基地, 就集中了大量绳网企业[46]。这种集群效应有助于企业之间的合作与资源共享, 提高整个行业的竞争力。在产品特性上, 产品规格种类多、质量参差不齐, 绳网产品规格种类繁多, 满足了不同领域和行业的需求。然而, 由于生产企业的技术水平和质量控制能力不同, 导致产品质量参差不齐。其次, 不同材料的绳网产品具有不同的物理机械性能, 如强度、耐磨性、耐腐蚀性等。

4.2. 建议

随着国内生活水平的提升和休闲渔业的发展, 渔用纤维绳网产业的市场规模不断扩大。为保证我国渔用绳网产业可以持续高效的发展需要在以下 3 个方面进行努力。

1) 国家: 加大数字智能技术对传统渔网产业升级变革的支持力度; 完善土地要素等相关配套, 为企业腾出发展空间, 引导企业寻找新的增长点与突破点; 探索“渔网+”相关模式, 将渔网文化融入镇域产业发展、居民生活就业等相关环节。持续用资源、科技、人才为主导产业发展赋能, 激活镇域发展活力。惠州市益晨网业科技有限公司与中国水产科学研究院东海水产研究所、中国渔船渔机渔具行业协会, 广东海宝网箱科技集团有限公司与中国水产科学研究院东海所以及南海所, 北京济方生物技术开发有限公司与山东莱威新材料有限公司签署了技术合作协议。

2) 政府: 可依据当地得天独厚的绳网资源禀赋, 给予渔用绳网产业更多的政策引导与资金支持, 做大做强传统优势制造业, 融合发展第一二三产业, 深挖挖掘渔网文化, 建设功能完善、独具魅力的渔网特色区。如: 石鼓镇紧扣茂名、高州两级党委政府的部署要求, 围绕茂名市“两轴”发展布局, 创新谋网、织网、展网、卖网、用网全产业链条, 成功建设出文化渔网渔具特色产业园。在此基础上, 石鼓镇还将打造渔网渔具交易中心、渔网文化展示中心、渔网主题公园、渔网主题酒店、渔网商业综合体等。构建渔用绳网产业公共服务平台, 实现行业信息和检测资源的共享, 降低企业成本, 提高行业整体效率。加强政策指导和完善相关产业政策, 为绳网产业提供明确的发展方向。建立和完善绳网产品的质量标准和安全规范, 确保产品符合国内外市场的需求。

3) 企业: 通过建立产业集聚区和园区, 促进产业链上下游企业的协同发展。例如, 山东省惠民县通过整合资源, 推动绳网产业升级, 成为全国最大的绳网产业基地。随着消费者对高品质、高性能渔用绳

网产品的需求增加, 企业要继续进行技术创新和产品升级。包括开发高性能新材料和引入智能化技术以提升产品的竞争力和市场份额。其次, 随着环保意识的提高, 企业应更加注重绿色环保和可持续发展。采用环保材料、推广可循环利用的产品设计, 以减少对环境的影响。互联网和电子商务的高速发展带动了渔用绳网企业的线上销售, 企业通过建立自有电商平台、与电商平台合作、拓展社交媒体渠道等方式来扩大线上销售份额。此外, 企业将继续加强对国际市场的拓展。一方面, 中国渔具企业将加强对海外市场的市场调研和品牌推广, 以提升在国际市场的竞争力; 另一方面, 中国渔具企业通过与国外企业的合作、参与国际渔用绳网产品展览等方式, 加强与国际市场的交流与合作。

参考文献

- [1] 农业部渔业局. 2023 年全国渔业经济统计公报[J]. 中国水产, 2023(7): 13-14.
- [2] 姜润喜, 石建高, 陈晋. 海洋用绳网材料与应用现状与发展趋势[J]. 纺织导报, 2023(5): 24-33.
- [3] 巫鹏, 李红果. 宝丰县“四个一批”产业帮扶结硕果[N]. 平顶山日报, 2024-01-19(001).
- [4] 同春芬, 黄艺, 张曦兮. 中国渔民收入结构的影响因素分析[J]. 中国人口科学, 2013(4): 73-81.
- [5] 郭亦萍, 马海有, 乐伟章. 合纤绳索、网具在我国渔业中的开发与应用[J]. 纺织科学研究, 2000(2): 1-4.
- [6] 石建高, 刘永利, 王鲁民, 等. 深水网箱箱体用超高强绳索物理机械性能的研究[J]. 渔业信息与战略, 2013, 28(2): 127-133.
- [7] 周鲁豫. UHMWPE 纤维绳索的纺织工艺和力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2013.
- [8] 孙斌. 基于 UHMWPE 裂膜纤维的绳网性能研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- [9] Anon (2000) Special Rope Stronger Than Steel. *Fishing News International*, **39**, 34.
- [10] Anon (1994) Adenia II Tows Light Dyneema Trawl. *Fishing News International*, **33**, 14.
- [11] 张友强, 刘美琴, 程全彪, 等. 渔网材料研究进展[J]. 棉纺织技术, 2017, 45(5): 79-84.
- [12] 王宇骅, 李航宇, 董海磊, 等. 海洋工程中国产深海聚酯缆绳述评[J]. 合成纤维, 2022, 51(10): 36-40.
- [13] 温可威. 港口弹性评价指标体系构建研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- [14] 合成纤维工业 2022 年 1~6 期分类索引[J]. 合成纤维工业, 2022, 45(6): 91-98.
- [15] 李达, 白雪平, 张婧文, 等. 圆筒型 FPSO 总体设计方案与关键技术——以“海洋石油 122”为例[J]. 中国海上油气, 2023, 35(2): 184-194.
- [16] M.B. Bastos, 王增效. 海上和近海领域绳套用高强度 PET 纤维的新发展[J]. 国际纺织导报, 2020, 48(7): 1-6.
- [17] 甘宇, 姬洪, 徐锦龙, 等. 聚酰胺/聚酯皮芯复合纤维的研究开发[J]. 合成纤维, 2020, 49(2): 7-12, 18.
- [18] 桂福坤. 深水重力式网箱水动力学特征研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [19] 张鹤林, 奚鹤良, 陈永炎. 国产聚丙烯夹芯绳在机轮拖网渔业上的应用[J]. 海洋渔业, 1985(2): 73.
- [20] 张友强. 超高分子量聚乙烯单丝无结渔网的制备及应用[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2018.
- [21] 叶超. 面向有结网机的绕线机系统研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2021.
- [22] 石建高, 余雯雯, 刘永利, 贾陆林, 常广. 一种海洋渔业用有结网[P]. 中国专利, CN106192199A. 2016-12-07.
- [23] 石建高, 王鲁民, 汤振明, 徐君卓, 贾家武. 渔用高强度聚乙烯和普通聚乙烯机织网片拉伸力学性能的比较[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 162-165.
- [24] 石建高, 王鲁民. 渔用高强度聚乙烯和普通聚乙烯六角形经编网片的拉伸力学性能比较研究[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(6): 72-76.
- [25] 石建高, 陈晓蕾, 王鲁民, 等. 编线工艺对渔用高强度聚乙烯编织线拉伸性能的影响[J]. 海洋渔业, 2009, 31(4): 410-419.
- [26] 石建高, 王鲁民. 一种渔用自增强乙纶捻网片[P]. 中国专利, CN200620041728.X. 2024-07-18.
- [27] 高兴鹏. 超高分子量聚乙烯深海抗风浪网箱的制作及应用[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2014.
- [28] 石建高, 余雯雯, 闵明华, 等. 渔用改性 HDPE/MMWPE/SiO₂ 单丝的初步研究[J]. 渔业信息与战略, 2016(1): 54-58.

- [29] 周文博, 余雯雯, 石建高, 等. 超高分子量聚乙烯纤维在渔业领域的应用与研究进展[J]. 渔业信息与战略, 2018, 33(3): 186-194.
- [30] 余雯雯. 纳米 Cu 改性 UHMWPE 网片及其性能研究[C]//中国水产学会海洋牧场研究会. 现代海洋(淡水)牧场国际学术研讨会. 2017: 211-212.
- [31] 张浩悦. 改性尼龙 66 初生纤维的制备及性能研究[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(10): 62.
- [32] 陈康, 等. 抗紫外老化高强聚酯纤维的制备与性能研究[J]. 合成纤维工业, 2017, 40(5): 1-6.
- [33] 秦建华, 董明青, 彭涛. 碳酸钙对超高分子量聚乙烯改性的研究[J]. 现代盐化工, 2017, 44(4): 44-45.
- [34] 冯颖, 曾雅, 任同军. 双碳背景下国内外主流低碳水产养殖技术发展现状及对策研究[J]. 渔业研究, 2023, 45(6): 603-613.
- [35] 程世琪, 石建高, 袁瑞, 等. 中国海水网箱的产业发展现状与未来发展方向[J]. 水产科技情报, 2022, 49(6): 369-376, 380.
- [36] Sterling, D. and Balash, C. (2017) Engineering and Catching Performance of Five Netting Materials in Commercial Prawn-Trawl Systems. *Fisheries Research*, **193**, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.04.014>
- [37] 梁有昶, 张淑惠, 冯媛媛, 等. 中国制造智能渔场助力挪威三文鱼养殖[J]. 水产科技情报, 2018, 45(1): 1.
- [38] 刘鹤, 吕宇澄, 黄硕, 等. 网衣生物附着对半潜式波浪能养殖平台水动力特性的影响[J]. 船舶工程, 2022, 44(3): 7-13.
- [39] 石建高, 余雯雯, 赵奎, 等. 海水网箱网衣防污技术的研究进展[J]. 水产学报, 2021, 45(3): 472-485.
- [40] (2012) Fish & Richardson Principal Kathi Kelly Lutton Named One of the 2012 Women Leaders in Law by the Recorder. Fish & Richardson. <https://www.prnewswire.com/news-releases/fish--richardson-principal-kathi-kelly-lutton-named-one-of-the-2012-women-leaders-in-law-by-the-recorder-170735416.html>
- [41] 刘宏. 从 STSE 的视角进行高中《有机化学基础》模块教学的研究[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 鲁东大学, 2014.
- [42] 侯荣华. 一种两用捕鱼网[P]. 中国专利, CN201520012858. 2024-07-15.
- [43] 方玲, 王伟. “互联网+”对槐林渔网产业集群升级的影响——基于“中介效应”的实证检验[J]. 巢湖学院学报, 2021, 23(3): 13-18, 50.
- [44] 马勇, 解光慈, 徐稼航, 等. 漂浮式海洋牧场养殖装置系泊系统设计[J]. 船舶工程, 2022, 44(3): 14-21, 27.
- [45] 刘丽珍. 我国绳网具, 绳网机械产业现状及发展前景[J]. 中国渔业经济, 2006(5): 55-59.
- [46] 懂锋磊, 崔艳贞, 李红军, 等. 加快发展争先进位推动中国式现代化“惠民实践”走在前开新局[N]. 滨州日报, 2023-04-14(002).