不同水深处人造海洋上升流和海洋渔场及相关技术研究

李冠成[1], 王秉坤[1], 李　明[1], 范　喆[1], 王　莉[1], 王淑军[2], 卢佃清[1]

(1. 淮海工学院 数理科学系, 江苏 连云港 222005; 2. 淮海工学院 海洋学院, 江苏 连云港 222005)

摘要: 介绍了国内外在不同水深海域实施人造海洋上升流工程的现状; 分析并研究了形成人造海洋上升流的机理及与渔业资源增值和海洋生态环境改善之间的关系; 分析并研究了不同水深人造海洋上升流工程的建筑和投放技术; 分析并研究了与人造海洋上升流工程相关的一些问题及解决这些问题的途径。结论是: 人造海洋上升流工程在增值渔业资源和改善海洋生态环境方面是很有发展前景的。

关键词: 人造海洋上升流; 海洋生态环境; 海流; 营养盐
中图分类号: P716.2　　文献标识码: B　　文章编号: 1000-3096-(2004)11-0049-08

随着社会的发展和人们生活水平的不断提高, 人类对海洋鱼类及其他海产品的需求量将会越来越大。尤其是将来随着陆地上有些资源的逐渐枯竭, 占地球表面 70% 以上的海洋将是人类赖以生存和发展的自然资源的重要来源。海洋中蕴藏着丰富的可满足人类生存和持续发展需要的各种资源, 中国有长达 18 000 km 的海岸线(不包括岛岸线) 和辽阔的海域[1], 海洋经济的发展潜力是非常巨大的。1983 年包括中国在内的 150 多个国家签署了《联合国海洋法公约》, 确立了 200 n mile 专属经济区、大陆架等法律制度, 这为国际间海洋经济的有序发展创造了较为良好的法律环境。中国近 20 a 来虽然在海洋研究和开发上有了长足的进步, 但目前的海洋开发活动主要集中在狭窄的海岸带和沿岸海域。特别需要指出的是由于过度捕捞及临海人类经济活动的影响[2], 近海的鱼资源在不断减少。现在张网渔业的渔场逐年外移、扩张。渤海已经由沿岸发展到了 20 m 水深的渤海中北部, 黄、东海发展到水深 40 m 水域, 带网数量越来越多而单位产量却不断下降。针对这一情况, 国家近几年制定了以发展养殖为重点、控制捕捞、开拓远洋的海洋渔业发展方针。2003 年中国远洋渔业稳步发展, 大洋性渔业比重持续上升, 但由于控制近海捕捞, 海洋捕捞产量还是下降了约 0.4%。而且大洋性渔业的发展将来会越来越受到国际间竞争及资源量限制的制约。因此解决海洋鱼资源日趋减少和鱼获量需求日益增大的矛盾, 除了不断增加大洋性渔业比重以及大力发展近海箱养、网养等养殖业外, 还要非常注重改善中国沿岸近海的海洋生态环境, 修复和人工制造渔业资源, 而在 200 n mile 以内的不同水深海域的海底人工构造海底山脉, 实现人造海洋上升流, 从而在中国沿海近海海域形成几十乃至更多的人造海洋优良渔场可能是解决上述矛盾的一个有效方法。

1　近海岸较深水域人造海底山脉及人造海洋上升流研究

1.1　人造海底山脉与人造海洋上升流的形成机制及对渔业资源的影响

在海洋底层或深层带有高浓度营养盐类的水团涌升到接近于表层的流动称为涌升流或上升流[3]。浮

收稿日期: 2004-04-19; 修回日期: 2004-07-18
基金项目: 淮海工学院科研基金资助项目(GJ02012)
作者简介: 李冠成(1955-), 男, 吉林长春人, 副教授, 硕士, 实验中心主任, 主要研究方向: 海洋综合开发和利用理论及技术, 电话: 13912156236, E-mail: lgc668899@163.com

游植物粒级生物量的平面分布、垂直分布、昼夜变化和周年变化特征随不同海域和不同季节是不同的[4]。但不管在什么海域和什么季节，上升到有光层的氮与磷等肥料都能使浮游植物增殖。浮游植物是海洋中食物链之源，如果使浮游植物量增大，以自然之力就可以推动向浮游动物及鱼介类的转换[3]，从而形成良好的海洋渔场。在秘鲁和美国加里福尼亚沿岸及西北非和索马里沿岸都存在着海洋上升流[5]，而这些有上升流的海域往往是有名的渔场。文献表明，中国近海在渤海、黄海、东海和南海均有上升流存在，目前研究比较多、认识比较清楚的是浙江沿岸的上升流[6]。正是由于浙江沿岸有较多的上升流海域，浙江的鱼获量才占到全国捕捞总量的 30% 以上，而浙江的舟山渔场素有“鱼都”之称。据统计，占世界海洋面积约 1% 的上升流(涌升流)海域，其鱼获量却占海洋鱼获总量的 50%[7]。现在世界的鱼类产量约 3 亿 t，但埋藏在海洋里的营养盐类中具有生产 70 万亿 t 有机物的潜力[3]。所以实施人造海洋上升流，充分利用海洋中深层或底层的营养盐，可能是解决渔业资源日益减少的一个有效途径。

早在 1980 年，胡敦欣等对中国浙江海域的涌升流(上升流)的动力机制进行了深入分析后认为：黑潮北上余脉由于海底地形所引起的爬升作用是产生浙江沿岸上升流的主要动力源，相对说来，风应力是次要的[6]。Shi 等[8]分析了近 40 a 琼州海峡水体输运终年向西的流动现象。结论是：琼州海峡终年向西流的存在表明，风应力不应是控制琼州海峡海流的主要因子。杨士瑛、鲍献文等通过 1964~ 1972 年间的 3 400 个漂流瓶资料、部分定点海流观测资料和温、盐大面调查资料分析表明[9]：夏季珠江口以西(粤西)的近岸海水，在大多数情况下是西南向运动，而北部湾的北部海域的余流，冬夏季基本都是西北向。控制粤西陆架浅海沿岸海流的主要因子是海洋正压与斜压效应，风应力只起到一种调制作用。图 1[9]为冬、夏季粤西、琼州海峡和北部湾海域的海流图。图 2[10]为东中国海冬、夏季表层海流图。从图 1 和图 2 可以看出我国近海域各季节的海流流向基本上是稳定的。

1991 年，马里诺 21 世纪论坛组织在日本水产厅的资助下，在海洋成层流中进行了水理实验，并做了数值分析。分析结果表明，在海底同海水流方向直交的山脉的延长度等于该山脉高度的 4~ 6 倍时，就会发生极强的上升流。以上述研究结果为依据，1995 年马里诺 21 世纪论坛组织在日本爱媛县宇和海实施了“人造涌升流发生点工程”，结果证实了上升流的发生使浮游植物、浮游动物及鱼介类等增加，从而使生产率得到提高。

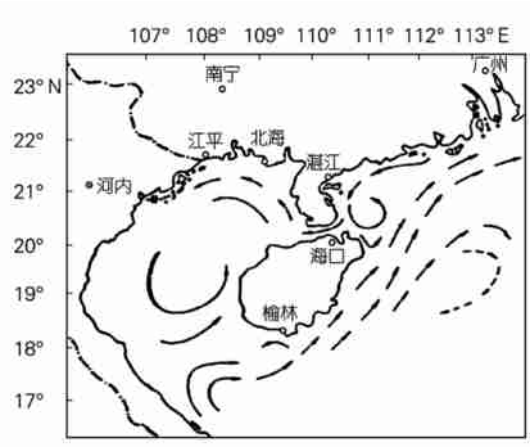

图 1 冬、夏季粤西、琼州海峡和北部湾海域的海流

Fig. 1 The figure of the ocean current of the west of Guangdong province, the strait of Qiongzhou and the area of BeiBuWan in summer and winter

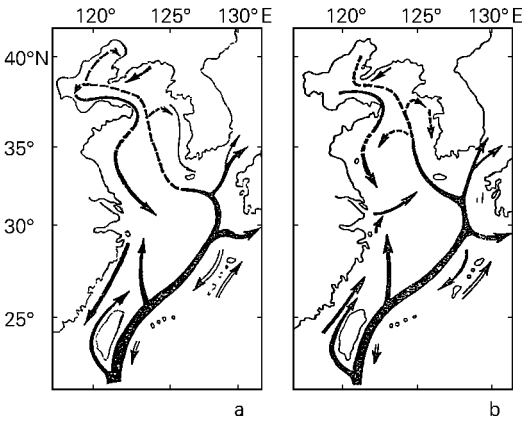

图 2 东中国海表层海流

Fig. 2 The figure of the surface ocean current in the east of China

(a) 冬季; (b) 夏季

(a) in winter; (b) in summer

1.2 日本在较深海域人造海底山脉及人造海洋上升流的实践

参照马里诺 21 世纪论坛组织构造海底山脉及人造海洋上升流的经验，日本 2001 年在离长崎县生月岛不远 80 m 水深的海域进行了“筑堤渔场系统的开发”，人造海底山脉工程仅完成 40% 时，根据抽样船所做的调查结果表明，在以筑堤为中心的海流方向的广大范围，出鱼次数及鱼获量增加，正在形成新的优良渔场。同时在构造海底山脉的砖块表层密集地长满了藤壶类和沙蚕类植物等。在砖块间的空隙、山脉周

围及山脉上层等处都可观察到许多鱼群, 这表明生产率高的岩礁性生态系统已经形成。

1.3 日本建造海底山脉的建筑技术

日本建造的两座海底山脉所用的砖块是以工业废物煤灰粉为主原料, 制成质量约 6 t, 边长为 1.6 m 的立方体砖块, 构筑成天然礁式的海底山脉。建造一座海底山脉约需这样的砖块 5 000 个[3]。日本早期生产的煤灰砖块与普通灰泥相同, 是以 JISA 5201 规定的流量值进行制造的, 但现在他们按 JISA 1201 规定的粘土压实验结果, 采用接近最佳含水比例的水量进行管理, 并加入硬化促进剂混匀后通过强振动变成特殊流体, 运输时不会粘着容器, 施工效率高, 制成的砖块几乎不发生干燥龟裂。

投放砖块时, 利用窄幅多波束测深声纳、测扫声纳及水中电视机或机器人, 先确定投下砖块的位置, 并计算出砖块在水流中水平移动的距离, 然后从底开的驳船一下子投放砖块。

1.4 中国沿海较深海域内构造海底山脉的条件

1.4.1 水深条件

文中所指的较深海域, 是指沿海岸不超过 100 m 水深的海域。在较深海域建造海底山脉的水深以 45~ 80 m 为宜, 中国南海 200 n mile 以内具备此条件的海域是相当广阔的。就是东中国海, 如图 3[10], 具备这一水深条件的海域也是相当广阔的。

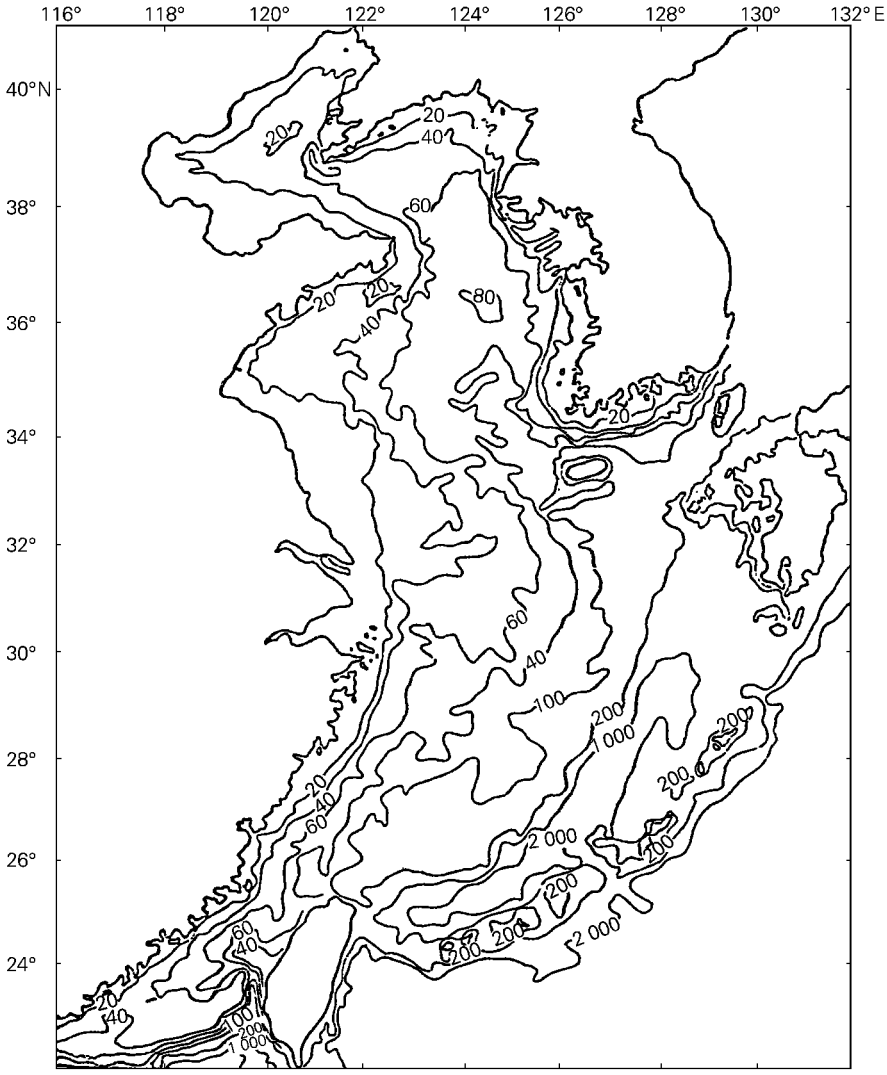

图 3 东中国海的海底地形(单位: m)

Fig. 3 The seabed topography of the sea in the east of China (unit: m)

1.4.2 海底条件

建造海底山脉的海底条件是海底地形要相对平坦。东中国海的海底基本为平坦的大陆架[10], 具备这一条件。中国南海的海底虽然地形复杂, 但在合适的水深条件下, 局部海域具有较平坦海底的水域也是很多的。如图 4[10], 中国满足以上两条件的 200 n mile 以内的广大海域是砂质或粉砂质海底, 这一有利的海底地质条件能保证人造海底山脉的稳定性。

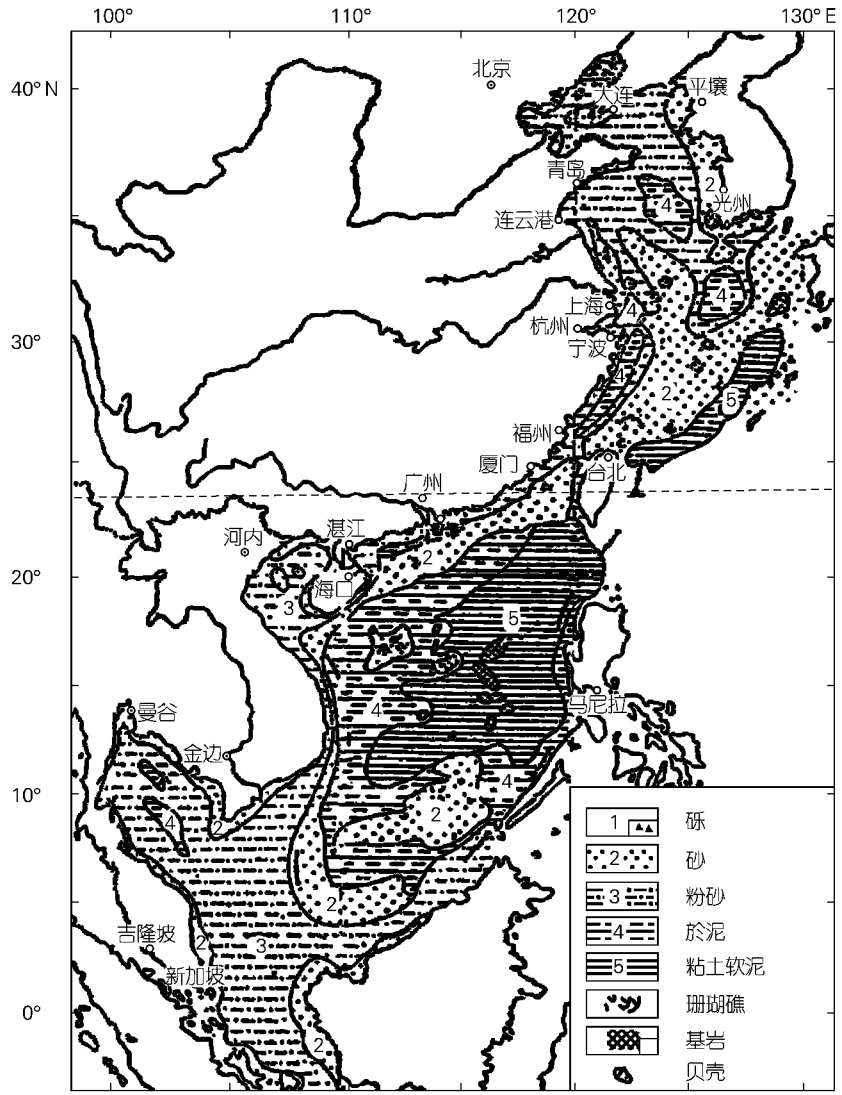

图 4 中国海的底质分布

Fig. 4 The figure about geology distribution of the sea in China

1.4.3 海流条件

通过建造海底山脉形成的优良渔场, 其长期性与稳定性依赖于与山脉直交的海流具有相对稳定的流向。中国近海的海流受强季风、大量淡水输入、强烈的潮汐混合以及很强的外海(大洋) 驱动力驱使。然而, 外海驱动力及中国近海独特地形的相互作用, 是导致

海洋上存在着若干由一些主要海流组成的海洋大循环[12]。而东中国海的海流,如图 2[10],主要由黑潮系和沿岸流系组成,构成逆时针方向旋转的环流。其冬夏两季的环流方向基本是相同的。即表层和底层的海流流向是相对稳定的。这就保证了未来人造海底山脉所产生的人造海洋上升流效能的长期性和稳定性。

2 中国在浅海域人造海洋上升流及海洋渔场的实践

2.1 中国建造浅海域人造海洋上升流的意义

这里所指的浅海域是指水深在 10~ 35 m 的海域。在浅海域人造海洋上升流的成本比 50~ 80 m 水深的较深海域人造海洋上升流要相对少一些,技术难度相对也小一些。现在世界一些沿海国家(比如亚洲的日本、马来西亚等国) 已经开始注重浅海域人造海洋上升流的建设。中国的东海,尤其是黄海和渤海浅海域(10~ 35 m 水深)的面积非常大,所以对中国来说建造浅海域人造海洋上升流的现实意义相对来说要大一些。

2.2 中国浅海域建造人造海洋上升流的实践

2003 年8 月中下旬到 2003 年 9 月底, 作者课题组所在地连云港市海洋与渔业局在江苏省海洋与渔业局及有关部门的资助和指导下, 在离海洲湾海岸 16 n mile、水深 12~ 16 m 的浅海域实施了“人工鱼礁”工程。该工程的整体布局如图 5 为矩阵式。整个矩阵与该海域的海流基本垂直。

在认真总结和研究外国建造浅海域人造海洋上升流的基础上, 该矩阵各单礁体之间的距离确定为单礁体高度的 5~ 15 倍, 而每个单礁体的高度根据该海域的海况及参照国外的经验确定 为水深的 1/ 5~ 1/ 10。船礁(25 m × 4 m × 3 m) ; 鱼礁单体 C 型(1.5 m × 1.5 m × 1.5 m) , 为自然堆积; 鱼礁单体 A 型(2 m × 2 m × 2 m) , 共 10 个; 鱼礁单体 B 型(2 m × 2 m × 2 m) , 共 3 个; 鱼礁单体 E 型 (2 m × 2 m × 2 m) , 共15 个。国外和中国的经验都表明: 矩阵中采取不同尺寸和形状及不同材料的礁体, 比整个矩阵都采用同尺寸和形状及同材料的礁体效果要好。由于多种鱼类和水生生物喜栖息于涡流中的缓和区, 所以不同礁群的合理组合和布局不仅有利于产生较强的海洋上升流, 而且能产生特殊的涡流流场, 造成浮游生物、甲壳类生物及鱼类的物理性聚集。

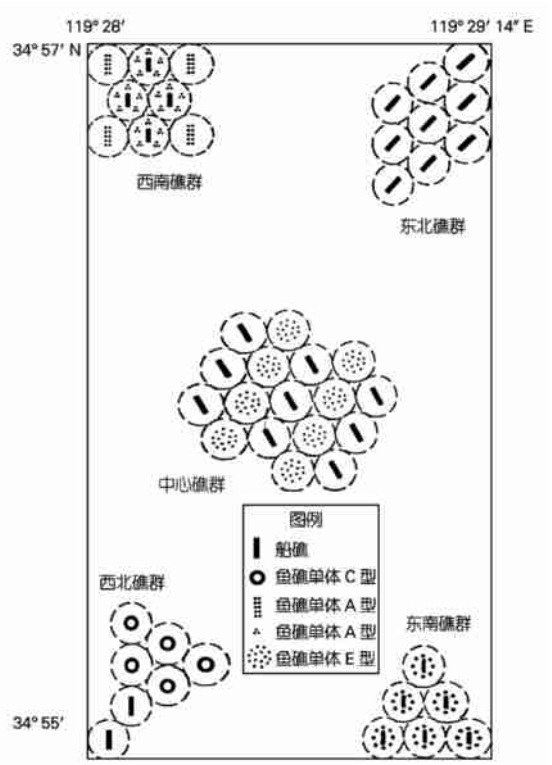

图 5 人工鱼礁工程整体布局

Fig. 5 The layout figure of artificial reef construction´s engineering

2.3 中国浅海域人工建造海洋上升流的建筑及施工技术

制造礁体使用普通水泥 325 号, 石子最大粒径为 40 mm, 踏落度为 5 cm, 得出水、水泥、砂、石子的用量比为 177/ 290/ 697/ 1264。每立方米混凝土质量为 2 328 kg, 强度为 21. 6 N/ cm^2。为节省材料, 2 m × 2 m × 2 m 型礁体为十字型, 总质量为 1.9 t。运用 Morrison 理论和公式进行礁体稳定性的校核, 得出十字礁体的滑动安全系数和滚动安全系数分别为 1.58 和 1. 63, 均大于许可安全系数 1. 20。1. 5 m × 1.5 m × 1. 5 m 型礁体为中空方型, 也大于许可安全系数。对旧船礁体, 首先通过喷射除锈液去除铁锈, 在除锈后涂抹防锈漆和水泥用以防锈 (水泥涂抹厚度为 5~ 10 mm) , 受损的地

方也可采用水泥修补。船礁的沉放通过在船底均匀加装多个进水阀门来实现，以解决沉放时间过长的问题。投放时在旧船中放置压舱石，并采用两条或多条船链接后沉放。

对于礁体的投放，由于水深较浅，投放主要通过铁链和自行设计的自动脱钩装置将单一水泥礁链接沉放，直至海底。不仅减少了自然下沉投放法造成的冲击，同时保证了礁体投放位置的准确性。

2.4 通过"人工鱼礁"实现人造海洋上升流的效果

"人工鱼礁"工程完成后仅仅 3 个月的时间里，技术人员对礁区进行了 4 次资源情况调查，调查结果显示投放区的海洋生物和渔业资源明显增加，尤其是鱼类、头足类和各种贝类及各种藻类增长很大，其中鱼类增长 70% 以上，贝类增长 60% 以上。就连当地渔民也欣喜的发现在鱼礁区外围海域的鱼类和贝类等渔数量也明显增加。鱼礁投放 1 个月后表面着生了硅藻，3 个月后出现了许多藤壶、蜗旋、沙蚕等，生物覆盖率达 80% 以上，是周围底栖生物量的 700 倍以上，而且生长速度很快。鱼礁区里的底栖生物总个体数也比周围的多。既使在离人工鱼礁区稍远一点的海域采集到的海洋生物，无论是生物多样性或总生物量均优于邻近对照区域，并且有关各项对比数据仍处在不断递增的变化之中。

3 与人工建造海洋上升流工程相关的几个问题

3.1 环保问题

日本在较深海域建造的两座海底山脉所用的煤灰砖块已经证明不污染海洋环境。中国在海州湾建造的"人工鱼礁" 工程是否污染海洋环境还有待于进一步观察。作者建议以后中国再建造人工海洋上升流工程时，应尽量考虑在不污染海洋环境的前提下，充分利用陆地上的废、旧资源 (如海洲湾人工鱼礁工程利用了废旧鱼船) 。如果中国沿海海域再建造人工海洋上升流工程时，也能够象日本那样用废煤灰等废、旧资源生产大砖块 。一方面可以减少陆地上堆放废煤灰等废、旧资源的占地面积，另一方面也有利于陆地上的环保。再有就是人工建造的海洋上升流附近海域的浮游植物繁殖加快，而浮游植物的繁殖与固定 CO_2 有关 [3]，海洋里 CO_2 因生物的产生而被大量消耗掉，大气里的 CO_2 就会加快溶解于海洋中，这能起到抑制地球变暖的作用。

3.2 人造海洋上升流与海洋生态环境的关系

上升流海域生态系的研究发现，表层生产力较高的水域，其海底的底栖生物量也较高[12]。这主要是海表的有机碎屑下沉到海底，使海底含有丰富的食物的结果。而底栖生物不仅把下沉的有机碎屑当做食物，同时底栖生物在调节泥水界面的物质交换、促进水体的自净化中起着重要作用[13]，并且底栖生物自身又是其他经济动物的食物，其生产量与渔业产量密切相关，底栖生物资源量的分布常是衡量海区渔业资源状况的最基本要素。因此上升流海域在优化海洋生态环境和增殖渔业资源两个方面形成了较完美的良性循环。

3.3 人造海洋上升流工程与其它海洋资源开发之间的关系

将来海洋渔业资源开发与海洋油气、矿藏等资源开发之间有时可能会发生一些矛盾，但随着 200 n mile 以内各种资源储藏情况的不断探明，各种开发完全可在中央和地方政府及职能部门的协调下解决好，使每一特定的海域都有自己特定的功能，以充分、合理地利用海洋资源。

3.4 人造海洋上升流工程的所有权和管理权

根据《联合国海洋法公约》的 200 n mile 专属经济区等法律制度，各国对管辖海域的一切资源享有调查研究、勘探开发等主权权利。这保证了在 200 n mile 以内建造优良渔场的所有权、使用权和管理权。

3.5 人造海洋上升流工程与航运业的关系

一般深水海域人造海底山脉的山顶距海平面的距离都大于 20 m，浅海域人工鱼礁的顶部距海平面也大于 10 m，且有显示浮标，对于航运业无影响。

4 结论

(1) 中国 200 n mile 以内满足建造人工海洋上

升流，从而实现人造优良渔场条件的海域是广阔的。(2) 海流及对现有天然和人工海洋上升流研究表明，按照科学方法建造人工海洋上升流，在人造上升流附近海域形成的优良渔场是具有相对长期性和稳定性的。(3) 人造上升流海域对空气中 CO_2 的大量溶解，能抑制地球气候的变暖。(4) 人造海洋上升流不仅能使人造海洋上升流海域的渔业资源增殖，而且能够自动地改善人造海洋上升流附近海域的海洋生态环境。(5) 海洋渔业资源开发与油气、矿藏等海洋其他资源开发之间的矛盾是可协调的。人工建成的海洋优良渔场的所有权、使用权及管理权是有保证的。

5 结语

鉴于人造海洋上升流工程既能使渔业资源得到增殖，又能使海洋生态环境得到改善，现在世界上一些沿海国家在发展人造海洋上升流工程上有不断加大、加快的趋势。本课题组所在地连云港市的海洋与渔业局在江苏省海洋与渔业局及有关部门的资助和指导下，准备明后两年在海州湾海域再建两处更大规模的人造海洋上升流工程。中国沿海其他省份未来几年可能也要在沿岸海域建造人造海洋上升流工程。但是不同海域的地质条件、各种海况毕竟有些差异，在特定的海域建造人造海洋上升流工程时，究竟选什么样的建材？制造什么尺寸和规格的砖快？采取什么样的建筑技术及投放技术？构思什么样的整体布局？怎么样才能使人造海洋上升流在增值渔业资源和改善海洋生态环境上的效能达到最大化？这里面涉及到材料科学、建筑科学、海洋动力科学、海洋生态与环境科学、海洋生物科学、海洋物理与化学科学、海洋勘探及检测科学等多门学科和技术，是一项涉及门类较多的系统工程。而现在在建造人造海洋上升流工程上还没有一套完整、系统的理论和技术体系。本课题组发表本文的一个重要目的，就是希望与人造海洋上升流工程相关学科的专家和学者都能关注和研究这一系统工程，从不同角度和侧面对这一系统工程发表自己的见解、看法和观点，从不同技术层面和学科角度对这一系统工程进行专题研究，以使这一系统工程尽可能早一点有一套较为完整和系统的理论和技术体系，以便我国沿海各海域实施人造海洋上升流工程时有更多理论和技术上的依据和参考，使中国在开发和利用海洋资源、改善海洋生态环境方面力争走在世界的前列。

参考文献：

[1] 赵焕庭，王丽荣．中国海岸湿地的类型[J]．海洋通报，2000，**19**(6)：72–73.

[2] 孙 军，刘东燕．渤海中部和渤海海峡及其邻近海域浮游植物粒级生物量的初步研究[J]．海洋学报，2003，**25**(5)：103–105.

[3] 张东峰．利用产业废物在海洋增产食物[J]．国外科技动态，2000，**374**(9)：36–37.

[4] 黄邦钦，洪华生，林学举．台湾海峡微型浮游植物的生态研究[J]．海洋学报，2003，**25**(4)：70–79.

[5] 陈宗镛．海洋科学概论[M]．青岛：青岛海洋大学出版社，1990. 213–216.

[6] 胡敦欣，李永祥．海洋环流研究[J]．海洋学报，2001，**22**(22)：130–132.

[7] 苏纪兰．海洋科学和海洋工程技术[M]．济南：山东教育出版社，1998. 90–91.

[8] 夏华永，李树华，侍茂崇．北部湾三维风生流及密度流模拟[J]．海洋学报，2001，**23**(6)：11–23.

[9] 杨士瑛，鲍献义．夏季粤系沿岸流特征及其产生机制[J]．海洋学报，2003，**25**(6)；2–6.

[10] 雷宗友．中过海环境手册[M]．上海：上海交通大学出版社，1988. 17–36.

[11] 苏纪兰．中国近海的环流动力机制研究[J]．海洋学报，2001，**23**(3)：23–26.

[12] 苏纪兰．海洋科学和海洋工程技术[M]．济南：山东教育出版社，1998. 40–41.

[13] 高爱根，杨俊毅，陈全霞．达山岛、平岛、车牛山岛附近海域大型底栖生物分布特征[J]．海洋学报，2003，**25**(6)：135–138.

Research and technique of artificial upwelling current in marine fishery at different depth

LI Guan-cheng[1], WANG Bing-kun[1], LI Ming[1], FAN Zhe[1], WANG Li[1], WANG Shu-jun[2], LU Dian-qing[1]
(1. Department of Mathematical and Physical Science, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;
2. Ocean College, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

Received: Apr., 19, 2004
Key words: artificial ocean upwelling current; oceanic ecology environment; ocean current; nutrition salt

Abstract: The authors reviewed the most recent development in the field of artificial oceanic upwelling current in different depths of a sea. Mechanisms of the artificial ocean upwelling currents and its promotion to fishery resources and improvement in ecological sptem were studied. Questions and solntions regardis the build up of the current are presented. Positive outcome and promising application of the techique are also discussed.

(本文编辑: 刘珊珊)