珊瑚作业船的发展现状

马丹萍，王慧，纪肖

（中国船舶科学研究中心，江苏无锡 214082）

**摘 要**：人工种植珊瑚，是挽救珊瑚礁生态系统的一种好办法。目前，珊瑚人工种植方面的工作，主要开展的是珊瑚礁的生态修复与珊瑚移植，而这些过程必然离不开水面运输工具——珊瑚作业船。从长远来看，珊瑚种植作业船亟需深入研究和开发。然而，目前我们对于珊瑚种植作业船知之甚少。本文对珊瑚移植，珊瑚培育设施和珊瑚作业船进行调查研究，结合实际需求，对珊瑚作业船的发展进行了分析，为后续开展珊瑚种植作业船研发提供一定的参考。

**关键词**：珊瑚；珊瑚移植；珊瑚作业船

# 引言

珊瑚礁是海洋的重要组成部分，在海洋生物资源增殖、海洋环境保护、海洋减灾和降低大气温室效应等方面，均发挥着重要的作用[1]。珊瑚礁生态系为人们提供了食物、旅游、休闲、美学和海岸带防护等方面的实际效益，对国家和区域的经济社会和文化发展均具有重大意义。近年来，随着珊瑚的文化价值、药用价值逐渐被社会各界所认识，加上开采技术的不断成熟，珊瑚被大规模地开采和捕捞，但珊瑚的生长速度远远跟不上开采的速度，因而一定程度上破坏了宝贵的珊瑚资源。在全球变暖、海洋酸化及人类活动等因素影响下，全球珊瑚资源及珊瑚礁生态系统处于衰退过程中。一旦珊瑚礁生态系统严重退化，造成岛礁及沙洲因海水侵蚀而消失，则会造成这些岛礁及其周边的海洋领土丢失的严重后果。因此，珊瑚礁生态系统的健康状况对于南海的渔业经济、旅游业乃至维护我国蓝色海洋国土权益有着至关重要的作用[2-5]。

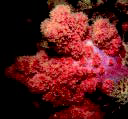


图1 极具观赏价值的珊瑚

人工种植珊瑚，是补救的一种好办法[8]。为了挽救珊瑚礁资源，世界上很多地方已经开展过造礁石珊瑚移植的研究。珊瑚移植作为珊瑚礁生态修复的重要一环，被广泛应用于退化珊瑚礁的修复和珊瑚的增殖上。珊瑚发育而成的珊瑚礁平台，能大大地缓解台风、暴风潮等天灾对海岸生态的破坏作用。所以，珊瑚种植将有助于维护生态平衡、保护海洋资源。目前，珊瑚人工种植方面的工作，主要开展的是珊瑚礁的生态修复与珊瑚移植，而这些过程必然离不开水面运输工具——珊瑚作业船。

理论上来说，珊瑚作业船的具体选用形式，很大程度取决于珊瑚培育基地的具体规模和位置。本文就珊瑚培育移植过程中的存储设施和珊瑚运输作业船的相关设施要求进行简单分析，为珊瑚作业船的发展作参考。

# **珊瑚移植方法**

珊瑚移植因为成本较低且可以快速增加珊瑚的数量，因此是提及最为广泛的技术。珊瑚移植的方法，大致分两种。第一种方法是将退化过程中的珊瑚礁移入健康的珊瑚，以促进造礁石珊瑚群落的恢复；第二种方法是将受到影响的珊瑚移到新的环境中，以保护现有的珊瑚，通常称为迁地保护。在已有的移植珊瑚（迁地保护）工作中，人们较多地注重在迁出地如何选择和采集珊瑚，在路途中如何运输，在迁入点如何放置等具体技术操作[9]。

珊瑚移植过程中，首先要在不同的地点采集所需移植的珊瑚礁。同时珊瑚母体在珊瑚作业船上用凿子造成所需大小的珊瑚断枝，并放入浸泡在海水中的塑料筐中。对于在珊瑚迁出点采挖出来的较小个体珊瑚（直径<20cm），先将其用水性胶黏贴在预制的水泥板上（珊瑚面积与水泥板面积比为30%～50%），再以船上水族缸暂养的方式转移到迁入点．对于大块珊瑚（直径>20cm）则直接放入海里的网箱后直接用船拖运到迁入点。大、小块珊瑚均小心放入迁入点的海底并用水泥钉、角铁等固定[10-11]。在珊瑚作业船只到达移植地后将盛有珊瑚断枝的塑料筐放入海水中，并马上开始珊瑚移植。

# **珊瑚移植培育中的存储设施**

**3.1 珊瑚培育基地**

珊瑚在实际移植前，都必须在基地进行培育。每一个珊瑚培育基地的结构和组织形式都不太一样，很大程度上取决于很多因素，包括地理位置、当地的地形地貌、天气状况和当地的经济状况。上述的相关因素会使基地的规模和组织复杂程度不一样，但有一些物理因素对于每个基地来说都是一样的。每一个培育基地的三大主要物理因素大致包括基于陆地的储存设施，水上运输以及基于海洋的种群保存和生长地点[12]。

如果一开始就选定隐蔽的海洋地点作为培育基地的地点，那珊瑚培育会比较成功。然而，为了更加有效地运行基地，需要考虑基于陆地的储存设施。一套典型的基于陆地的储存设施主要是用来在珊瑚运送前储存珊瑚的。在运输珊瑚前一个礼拜，珊瑚就必须被放进这套设施中。这样就给了珊瑚自愈的时间，同时也给养殖者相应的时间去观察珊瑚虚弱或疾病的信号。事实上，预先放进存储设施的这一个星期也不是必须的，但这样做很明显可以保证珊瑚在运输过程中有较高的存活率，一般来说珊瑚培育者会优先考虑这一惯例。

在很多情况下，一个培育基地还要考虑打包珊瑚，相应的基地还必须配备一定的建筑面积用于打包，同时这部分建筑面积还要靠近一片干净的海域，这样在珊瑚捕/收获后但还没打包前,就可以预先大量存备在这片海域中。

**3.2 陆地储存设施结构**

一般来说，储存设施必须有一个顶棚，这样打包材料和其他一些东西就可以避免淋雨。在考虑建筑面积设计时，预留一定的空间方便进行打包操作。一个简单的车棚式结构通常就已经足够了，如图2。其它的一些结构，如装运容器等，也不失为一个经济实惠的选择，在此基础上可以改造成一定的建筑。

安置于存储设施中的珊瑚不能直接置于太阳光照下，因为阳光能使水温变得过高，从而大大增加了珊瑚的压力。直接的强光照射对珊瑚本身也会产生一定的副作用。容纳珊瑚的水箱必须放置于带有屋顶结构的阴凉下，或者在水箱上盖有阻隔50%光透的布料。

|  |
| --- |
| 图2 位于帕劳群岛的贝劳水产业常用的带顶存储设施 |

**3.3 存储水池**

一整套的存储设施包括很多装备，如抽吸泵和排布的水管，注水系统和抽水系统，储水箱以及存储水池。其中关键的装置是存储水池[13]。

任何一个水池，只要拥有很大的的表面面积，并且是由无毒材料制成的，对于存放珊瑚来说就够了，如图3。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图3 珊瑚存储水池 | |

然而，优先考虑的存储珊瑚的水池形式是图4的水桌形式。水桌可以有多种制作方式。最常见的就是利用夹板，夹板上涂有玻璃纤维或环氧树脂以防接缝处漏水。必须确保涂层无毒且夹板的每个地方都被涂满[14]。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图4 水桌形式的珊瑚存储形式 | |



图5 玻璃纤维存储箱（C表示的是一排珊瑚碎片）

当然，珊瑚存储形式多种多样，还包括一些玻璃纤维的存储箱，如图5。

# **水上运输作业船**

无论珊瑚培育基地的规模大小，都必须要有相应形式的水面运输工具。从最初的小竹筏，小木舟[15]（图6），发展到现在相应的运输船。运输船的具体选用形式，很大程度取决于珊瑚培育基地的具体规模和位置。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图6 早期的小木舟 | 图7 Kosrae使用的珊瑚作业船 |

4.3.1皮划艇或小木舟

那些不带动力（靠人为划桨）的小船在最初被采用，是考虑到培育者的家一般离培育基地比较近。在这种情况下，小船用来运输培育基地的一些材料，并将珊瑚运输到海岸边[15]。

4.3.2带动力的船艇

随着珊瑚培育基地向大型化发展，使用带动力的玻璃纤维或木质船成为越来越常见的选项。这也是由很多原因导致的。首先，大多数靠近种植者的家的一些地点不太适合珊瑚培育，因而珊瑚作业船需要行驶更远的距离；第二，就算靠近种植者家的地点足够近，并适于培育珊瑚，航行至不同的地点也成为必须，必须去不同的地方收集一些鱼虾、水草之类的。

随着珊瑚培育基地向大型化发展，使用玻璃纤维或是木制的船体更为普遍（如图7）。然而，珊瑚培育基地与实际种植海域间的距离越来越远，也就是说，技术的进步和成熟使得向更广更远的海域进行珊瑚种植成为可能，同时随着培育的珊瑚品种越来越多，种植海域的实际情况必然更加复杂多样。相应地，珊瑚种植作业船也必须跟上时代的需求，同时满足珊瑚运输和种植的各种要求。

4.3.3珊瑚运输过程中的相关要求

珊瑚运输过程中要考虑的因素有很多，如温度、水质等等[16]。主要的一些因素罗列如下：

a. 温度。珊瑚有其生存的温度可适范围。通常在可适范围内，珊瑚的新陈代谢强度及耗氧率随水温的降低而减弱。控制水温的主要目的是避免夏季高温引起珊瑚突发性死亡；其次，降低水温可减少珊瑚在运输过程中的活动量，减弱新陈代谢，减少氨氮和CO2的排放，一定程度上保证了水质；同时可减轻珊瑚相互碰撞所造成的珊瑚损伤，保证水产品活体质量。由于大多数珊瑚对温度较敏感，环境骤变会导致其生病甚至死亡，因此在运输中，应选择梯度降温，降温速度不大于3℃/h 。在运输达目的地后，应该将目的地水箱中的水和运载水逐渐混合，待所运输珊瑚适应温度等环境后，再移入新的水箱或存储箱。

b. 水质。水中溶解氧一定程度上取决于水温，所以应在珊瑚可适温度范围内，尽量降低水温，以提高溶氧。当水体溶氧充足时，既可减少珊瑚因疲累、缺氧等引起的死亡，同时大大降低水体氨氮等还原性物质的含量。珊瑚以及其它水产品呼吸的产物是CO2，它与水反应生成弱酸，而降低水体pH值。高浓度的CO2会阻碍珊瑚氧气的摄取，所以运输中，维持合理的CO2浓度很重要。运输过程中，水产品的新陈代谢等会生成有毒有害的氨氮。氨氮包括离子氨和非离子氨，其中非离子氨毒性较强，在0.02mg/L时，即可产生较强毒性。关于离子氨是否也产生毒性亦有争议。有研究认为，离子氨是非离子氨毒性的1/10或更小。非离子氨氮的浓度在很大程度上取决于水温和pH 值，其在总氨氮中所占比例随温度和pH值的升高而增大。

c. 珊瑚的自身条件。珊瑚的健康程度、运输前其所处的环境及珊瑚对运输环境的忍受力等因素，对于成活率至关重要。另外，在装载时，要挑选健康的珊瑚，并防止珊瑚在装载过程中受伤。

d. 监控措施。目前，对于运输过程中缺少实时监控的设施，很多时候，人们只是凭感觉和经验来运输，而每次造成珊瑚死亡的机理尚不太明了。运输过程中，如果能及时监测水中的溶解氧、温度和pH值等指标，就能及时采取各种措施，完善运输环境，从而提高运输效率。卢俊杰等主要关注活鱼运输，他们的研究表明，带单片机自动监控系统的海水活鱼运输装置的研制具有制冷保温、增氧、杀菌、水质循环净化和供电等功能，解决了鲜活水产品物流配送技术的关键，使活鱼运输过程中有溶解氧、温度等直观参考的数据，同时解放了劳动力。如果将这些研究工作运用到珊瑚运输这一块也是可以的，如今，更多的研究者正密切关注长途运输过程中的实时监控环节。

e. 珊瑚作业船还需要考虑的运输要求：包括运输时机、运输密度、运输水温、运输时间以及装卸等等。海上长途运输应选择海区风浪较小，小潮汐期间进行。要控制运输密度，防止珊瑚太多，堆挤在一块。而珊瑚的运输水温，则需根据珊瑚的生存温度范围来定。同时，要控制珊瑚的运输总时长。珊瑚类运输装卸过程中也应防止珊瑚类的机械损伤。

f. 珊瑚运输过程中的要求。运输过程应防止外来不安全因素的干扰。运输过程中应保证温度的基本稳定，波动范围在2℃～3℃。

4.3.4珊瑚作业船的要求

一艘珊瑚作业船必须满足以下几点：

a. 船上有大片的作业区和存储区，船上必须能够配备潜水装置，成桶的沙砾，很多盆水，降温设施和其他的一些设备。另外，船上要有足够的空间供人员在周围工作。

b. 船必须带有顶盖。有了适当的顶盖，就可以遮阳避雨，这就使得工作人员，船上的设备以及运输过程中的珊瑚免受阳光暴晒和大雨淋透。顶盖不是一个本质的要素，但是却非常实用，尤其对于珊瑚作业船来说，绝对是个加分项。

c. 船上配备有仓库。船上备有可以锁闭起来的仓库，这样船上就可以安放一些不用每天移动位置的设备。

d. 活水井。在珊瑚运输过程中，要保证足够优质的水。尽管已经配备了冰柜、盆箱这些设备，但如果能有活水井，对于需要长途运输的珊瑚来说，将非常有利。

e. 珊瑚活体运输装置。具有制冷、隔热、保温、充气增氧、水循环净化、杀菌等功能。排除体质和意外两个因素，可以说在运输过程中正常存活的必要条件是：适宜的水温、良好的水质和足够的溶氧，三者缺一不可。首先，相应地要有水温控制技术。据资料报道，珊瑚及其他水产动物都有其生存水温范围，超过或低于该水温范围，都会致死。在生存水温范围内，珊瑚的新陈代谢强度及耗氧率随水温的降低而减弱，在运输作业船上采用制冷装置可以达到降温的要求。控制水温的目的一是避免夏季高温引起珊瑚突发死亡，二是降低水温可减少珊瑚在运输过程中的活动量，减弱新陈代谢，以及减轻珊瑚相互碰撞所造成的珊瑚损伤，保证珊瑚活体质量。特别强调的是，珊瑚的水温应逐步调节到该品种珊瑚生活水温的低限附近，不可快速降温，防止温差过大影响存活率，尤其是夏季，若水温剧变，相差很多，会使珊瑚呼吸活动长时间中断。若在寒冷的冬春季，开式活珊瑚船便无法进行运输，应用闭式循环技术，可以不受季节性气温、水温的限制，不受航道水质污染的影响，其珊瑚舱水体的升温是靠热油载体燃油锅炉和热交换器来完成的。珊瑚舱水体升温的幅度，由导热油的加热温度调节。当水体升温至设定值时，燃油锅炉关闭，水体在珊瑚舱内受到保温（珊瑚舱内壁采用优质的聚氨脂绝热材料发泡技术，外表包覆玻璃钢防止海水渗透及腐蚀）。其次，要有水质控制技术。在运输过程中，由于珊瑚体内的分泌物及排泄物不断排出，造成水体悬浊物不断增多，若不及时进行处理，将使粘液、剥离组织碎片、有机物等悬浊物附着于珊瑚体上，影响有效气体交换的面积，造成摄氧困难，且易造成微生物大量生长，使水中氧气减少。因此，在循环水路中增设过滤装置，是去除水中悬浊物最有效的方法，并且采用紫外线或臭氧杀菌装置，抑制有害细菌和微生物的生长繁殖，可以大幅度减少水体中的有害细菌和微生物的数量，避免水质恶化，满足珊瑚保活运输的基本要求。活珊瑚船空间较大，在甲板面积条件许可的情况下，应使过滤面积足够地大，。当每航次运输完毕后，须及时清洗过滤装置，应迅速打开最底部的排污压紧盖，靠水的自重力冲洗沉积在最下层的污物，保证下航次的水质也能得到有效的过滤净化。然后，要有溶氧控制技术。珊瑚新陈代谢需要不断消耗氧气和产生二氧化碳。普遍用于活珊瑚运输容器的水体中。用各种机械的方法向水中增氧，实际上是一个气体转移的过程，对于气体溶解于液体的过程，或称液体吸收气体的过程，其吸收动力学问题，属氧传递理论——双膜理论。双膜理论将吸收过程的机理大大简化，而变为通过气液两膜的分子扩散过程。用于活珊瑚运输的增氧设备主要有4种：喷水式、气泡式、射流式和吸气式，这些设备轻巧，安装方便，只是动力效率稍低些。近几年纯氧增氧技术已应用于活珊瑚运输上，常见的短途活珊瑚运输船，船上无需配套另外的动力设备，只需靠携带氧气瓶向水中充氧，在有条件的运输船上，有的还配置了高压液态氧罐，用液态氧向水中补充纯氧，不仅溶氧值高，而且还起到降低水温的作用。总之，增氧的方式多种多样，应根据实际情况分别处理之，原则上是保证水体中有足够的溶氧。一般来说，珊瑚的排泄物与分泌物也需溶氧来氧化，所以运输容器水中的溶氧必须保持在一定量以上。最后，还要考虑机组运输。长途且较大规模活珊瑚运输时，一般采用专门的船舶运输机组，具有自动化、易操作和运输量大等优点。运输装置一般由发电机组、照明装置、循环水泵、制氧机、过滤装置、杀菌装置和制冷机及活珊瑚仓组成。其中过滤和杀菌是2个重要环节。过滤主要是去除水体一些固定颗粒物和氨氮。活珊瑚船空间较大，在甲板面积条件许可的情况下，应使过滤面积足够地大，过滤材料为细沙+活性炭+珊瑚石。日本颇受推广的过滤装置有2种，一种是以泡沫分离装置为主，生物过滤为补充的过滤器；另一种是碳化棉过滤器。有资料显示，沸石去除氨氮效果显著。在运输机组中，用于杀菌的方法主要有臭氧和紫外杀菌法。

f. 卫生要求。活珊瑚运输船应彻底进行消毒清洗。运输途中海水应符合渔业水质标准的规定，避免污水及化学物质的污染。

g. 配套设备。活珊瑚运输船除符合海上航行要求以外，其结构和设备应能够满足珊瑚类长途运输的要求。要求流水型活珊瑚运输船水体交换量100%/h，水体中溶解氧保持在一定值以上，并具有杀菌能力。具有船底管道充气功能。舱内网箱尺寸应小于船舱尺寸，网箱网目在50mm～60mm，网箱底四角应具有活动固定的性能，网箱上有活动网盖。

4.3.5珊瑚作业船的发展分析

对于珊瑚作业船来说，一些普通的运输船只，只要能够满足上述基本的珊瑚运输要求，都是可行的。珊瑚运输，本身对于船的要求是比较低的，没有特别多的要求，船上只需要有足够的空间配备一些相关的设施就可以作为珊瑚作业船了。

一般来说，珊瑚作业运输船必须设有流水、充气（有的还配置有增氧、净水、杀菌、制冷、保温等装置），自身供电等功能，可进行海上长途运输的船舶。船舶的内表面应光滑，易清洗与消毒。船舶满载排水量500吨以上，载重量300吨以上，活水珊瑚舱容积在300m3以上，有8个～12个舱室。具体涉及船体的主尺度参数，如船长，要考虑快速性、珊瑚作业要求、舱室布置及舱容、甲板机械布置以及耐波性，同时船长还应和船速、排水量同时进行优化。型宽，珊瑚作业船的船型特点就是船宽广，船长/型宽的值较小，珊瑚作业船的设备较多，这样就便于舱室布置，而且，增大船舶型宽有助于提高横稳性。型深，取决于吃水和干舷，要考虑对重心的影响。船舶航速，则是由经济性、工况要求和船舶阻力来决定的。

但是，随着技术的不断发展，尤其现阶段人工智能的飞跃发展，运用相关机械设备或者水下机器人进行珊瑚种植的研发正在进一步投入，发展珊瑚作业专业化装备系统将是必然的趋势。专业集成化装备将包括珊瑚移植的各个方面，从珊瑚采集到珊瑚培育，珊瑚运输，最终到珊瑚投放这一整个过程。运用专业集成化装备将提高珊瑚种植或是移植的效率，增大珊瑚种植的总产量，确保珊瑚的质量，简化整个种植/移植的流程，减少人员的配置，尽量缩短珊瑚种植/移植的整个过程，减少珊瑚的耗损，同时扩大珊瑚种植/移植的范围，精确获取海底实时信息，最大限度地实现精准种植，从而确保珊瑚种植/移植的存活率。

未来珊瑚作业船可能需要研究的一个方向就是，如何更好地利用珊瑚作业专业化装备系统，或者如何搭载机器人，让水下机器人来实现整个珊瑚种植的过程，相应地，对珊瑚作业船的要求也将越来越多，越来越高。当然，现阶段珊瑚本身的运输将仍然是科研人员关注的重点，珊瑚运输的相关要求最终都会通过一定的形式反馈给珊瑚作业船。所以，珊瑚作业船必须根据时代的进步而不断地发展。

# **结语**

本文介绍了珊瑚移植的相关知识，以及珊瑚移植过程中的存储和运输问题，从而对珊瑚运输过程中的珊瑚作业船进行了详细的分析，并且罗列了珊瑚作业船需要配备的相关设施。根据珊瑚移植过程的相关特点，珊瑚移植对珊瑚作业船的要求并不是很高，基本上普通的运输船配备相关的设备大致就能满足，但随着技术的不断更新，珊瑚作业必将配备专业化的装备系统，这些都会对珊瑚作业船提出新的技术要求，因而对珊瑚作业船的研发力度还需进一步加强。

**参考文献**

[1]傅秀梅, 邵长伦, 王长云, 韩磊, 李国强, 刘光兴, 管华诗. 中国珊瑚礁资源状况及其药用研究调查Ⅱ．资源衰退状况、保护与管理[J]. 中国海洋大学学报[J]. Vol.39，No.4, 2009.

[2]杨顺良, 杨璐, 赵东波, 任岳森. 福建沿海浅水石珊瑚和柳珊瑚的种类及其分布[J]. 应用海洋学学报, Vol.34，No.2, 2015.

[3]高永利, 黄晖, 练健生, 李秀保, 尤丰, 周国伟, 刘胜. 大亚湾造礁石珊瑚移植迁入地的选择及移植存活率监测. 应用海洋学学报, Vol.32, No.2, 2013.

[4]李淑, 余克服. 珊瑚礁白化研究进展[J]. 生态学报, Vol.27, No.5, 2007.

[5]黄晖, 许昌有, 袁涛. 造礁石珊瑚白化相关功能基因的研究进展[J]. 热带海洋学报, Vol.32, No.4, 2013: 43−50

[6]李元超, 黄晖, 董志军, 练健生, 周国伟. 珊瑚礁生态修复研究进展[J]. Vol.28, No.10, 2008.

[7]吴钟解, 王道儒, 叶翠信, 李元超, 陈敏, 陈春华. 三亚珊瑚变化趋势及原因分析.

[8]张成龙, 黄晖, 黄良民, 刘胜. 海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展[J]. 生态学报, Vol.32, No.5, 2012.

[9]黄晖, 张浴阳, 黄洁英, 尤丰, 杨剑辉, 练建生, 温国彰. 不同移植方法对多种珊瑚移植效果的影响. 论文集.

[10]王淑红, 洪文霆, 陈纪新, 陈芸, 王艺磊, 张子平, 翁朝红, 谢仰杰. 珊瑚人工繁育技术研究进展[J]. Vol.26, No.9, 2015.

[11]覃祯俊, 余克服, 王英辉. 珊瑚礁生态修复的理论与实践[J]. 热带地理, Vol.36, No.1, 2016.

[12]Jane Wia, Fraser A. Januchowski-Hartley, Rachael U. Lahari, Tau Morove, Helen M. Perks, Katherine E. Holmes. Coral farming as means for sustaining livelihood and resource management. Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 9-13 July 2012.

[13]Jordan M. Casey, Tracy D. Ainsworth, J. Howard Choat and Sean R. Connolly. Farming behaviour of reef fishes increases the prevalence of coral disease associated microbes and black band disease. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences ,August 2014.

[14]ZACH. FORSMAN, BETHANY K. KIMOKEO, CHRISTOPHER E. BIRD, CYNTHIA L. HUNTER and ROBERT J.TOONEN. Coral farming: effects of light, water motion and artificial foods, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2012, 92(4), 721–729.

[15]Simon Ellis, Larry Sharron. The Culture of Soft Corals(Order: Alcyonacea)for the Marine Aquarium Trade. CTSA Publication No.137.

[16]朱爱意. 水产品活体运输设备与技术的研究与开发[D]. 中国海洋大学, 2010.