



围隔式海洋实验生态系统研究近况

吴宝铃

(中国科学院海洋研究所)

李永祺

(山东海洋学院)

围隔式实验生态系统 (Enclosed Experimental Ecosystems), 或称有控实验生态系统 (Controlled Experimental Ecosystems), 是近20年发展起来的一种先进的海洋学实验装置。由于用这种装置进行研究, 可以较好地阐明海洋生态学、海洋环境科学和海洋化学等领域的许多理论和实践问题, 因此受到了重视。本文就我们到国外考察、参观和参加有关学术会议所了解的一些情况, 对这一装置及其研究的进展作简要介绍。

一、发展简史

围隔式实验生态系统, 是在人为控制下以研究某一自然生态系的结构、功能及其变化为主要内容的实验装置。根据构造和研究的内容, 其发展历史大致可分为三个阶段。

开始是为了研究浮游生物的自然生态而建立起来的。其开创者可以说是英国的 Raymont 和加拿大的 Strickland。1960年, Strickland 等人在加拿大乔治亚海峡的 Departure 海湾, 成功地建立了能容纳32,000加仑水的大塑料袋 (large plastic bag) 实验装置。Mcallister, Parsons等人, 利用这一装置开展了沿岸水域浮游植物生产力等内容研究。

六十年代中期, 海洋污染问题日趋严重。科学家们想用有控实验生态系统装置, 探索污染物对海洋生物, 尤其是对海洋生态系的影响。1972年, 在美国国家科学基金会的资助下, 有控生态系污染实验 (Controlled Ecosystem Pollution Experiment, 简称CEPEX计划) 被正式列入“国际海洋考察十年”(IDOE) 研究规划中。按计划, CEPEX 主要是用来评

价外加污染物对实验装置中自然生态系统结构的长期影响。美国、加拿大等几个国家的专家参加了这项研究工作。大型CEPEX装置, 一个建在加拿大西部不列颠哥伦比亚省, 离维多利亚市30多公里的 Saanich 内湾; 一个建在苏格兰西北岸的 Loch Ewe 海湾。后者, 是由阿伯丁的苏格兰农业和渔业部海洋研究室主办的。在此期间, 法国、西德、荷兰等国还建了一些规模较小、主要用来研究污染对浮游生物生态系统影响的海上实验装置。

经过几年的紧张工作, 不仅获得了一批可喜的研究成果, 而且CEPEX装置越来越吸引着海洋生物学家、化学海洋学家和海洋地质学家们的兴趣, 并积极地投入了有关的研究工作。1979年, 美国国家科学基金会, 正式把设在 Saanich 内湾的CEPEX全部装置, 移交给加拿大Sidney海洋科学研究所, 为今后开展海洋化学, 以及渔业科学家进行鲑鱼试验服务。1980年8月, 在美国国家科学基金会和加拿大研究基金的资助、国际生物海洋学会的支持下, 在加拿大Sidney海洋科学研究所, 召开了“围隔式海洋实验生态系统学术讨论会”。来自美、加、英、法、西德、荷兰、日和瑞典等国的专家, 在会上宣读了42篇论文, 我国有四位海洋科学工作者正式应邀参加了会议。会上宣读的论文, 除了污染物在海洋的迁移、转化和对生态系的影响等内容外, 还有用CEPEX装置开展自然生态、化学海洋学和沉积化学的研究。随着研究内容的不断扩大, 装置本身也不断得到了改进。例如在黄志诚教授领导下, 设计出了名叫“化学实验体系”(Chemical Experimental Systems)装置, 用来进行海-气界面通量和水-沉积界面的相互关系的研究。

二、类型和结构

目前已有的有控生态系装置,按其所用的材料和结构,大体可分为四种类型。

第一种类型,是在室内或在海边用水箱(槽)建的生态系。可容纳1到好几吨水。这一类型的代表,是美国罗德岛大学海洋生态研究实验室(MERL),建于Narragansett湾岸上的“微宇宙”(Microcosms)装置。

第二种类型,是用混凝土造的实验装置。如加拿大Dalhousie大学海洋系,美国斯克里普斯海洋研究所在陆上所建的装置。

第三种类型,是在海边筑池或挖水库。比如在比利时Ostend港口挖的能盛百万吨水的大水库。也有的在岸边围一水体,利用潮汐能量,通过一条连到近海温跃层以下的管道,待涨潮时吸取含营养盐丰富的水,当退潮时通过另一闸门排出部分池里的水。这样的装置可用来养殖贝类。

第四种类型,也是现今最流行的装置。是用乳白色、透明、柔软、无毒的聚乙烯制的大塑料袋。这些被悬挂在海中的塑料袋,大小不一。小的盛水仅1.5吨,主要是用来进行污染

对浮游生物生态系的影响试验。如Kuiper,在荷兰某海湾所建的生态毒理学实验装置。较大的能盛水几十吨至百吨,而最大的直径10米、长30米,能盛水近二千吨,如设在Saanich内湾的CEPEX。

用塑料造的装置,不仅大小不一,而且形状和构造也不完全相同。如图1所示。图1的A图,能盛水60吨,设在加拿大;B图是最大的装置,能盛水二千吨,也是建在加拿大;C图是西德科学家用的装置;D图的装置是1960年Strickland等人造的;E图是法国科学家用的装置;F图是建在英国Loch Ewe海湾的装置。

选择加拿大Saanich内湾安放大型CEPEX装置,是因为该湾具有风浪小,海流流速较低,水深,远离污染源,对该海区的浮游生物种类组成和食物链已比较清楚,生产力较高优越的环境条件。

图2是顶部具有透明的塑料罩,可以用来研究水-气的交换。

图3是用来研究水与沉积界面相互作用的装置。

CEPEX在海上的安装及进行污染实验的步骤,大致是:将大塑料袋及其组件运到指定

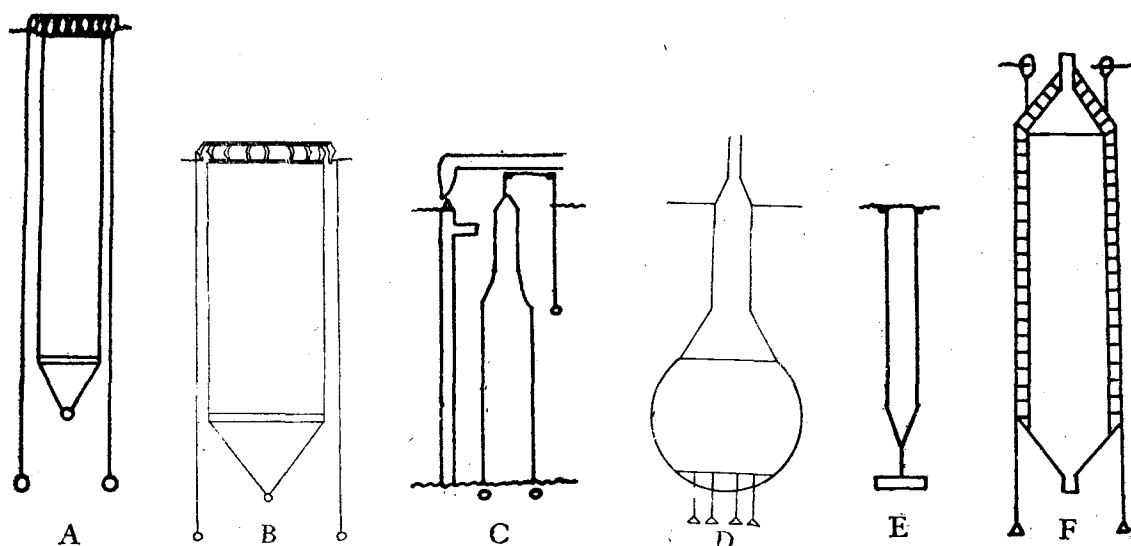


图1 几种塑料袋有控生态系装置外形图(引自Parsons, 1981)

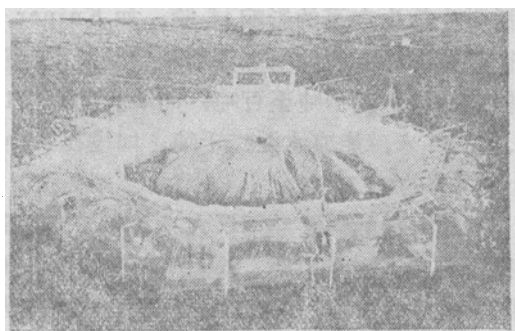


图2 顶部具有透明罩的装置 (引自 Parsons, 1978)

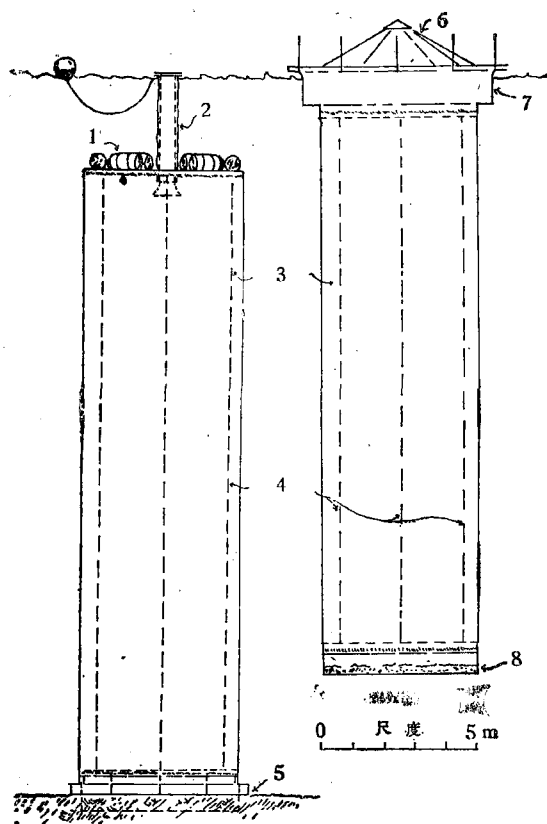


图3 建于Saanich内湾的化学试验系装置
1为浮桶；2为取样管；3为聚乙烯圆桶；4为不锈钢丝；5为钢环；6为空气罩；7为漂浮组件；8为沉积物收集器。

海区后，由多名潜水员将塑料袋由水下往表层拉起来；实验前，对所有袋中的生物种类和数量进行检查，力求各袋的一致性；配好的污染溶液通过扩散环 (diffusion ring) 加入于袋中；污染物加入后，定期取样进行观察和测

定。大型塑料袋，可以使浮游植物、浮游动物和小鱼正常地生活一百天以上。

三、主要研究成果

迄今，有关的研究论文或报告已有百余篇。内容大体包括：海洋生物自然生态；溶解气体、无机和有机化学物质（主要是污染物）在海中的变化和转移规律；低浓度污染物对生态系的影响；以及有控生态系的设计和袋内外理化环境的比较等。

海洋生物自然生态，尤其是浮游生物的生态，一直是有控生态系研究的一个重要内容。研究的重点主要是：浮游生物的种群结构、组成和环境之间的关系；从食物链(网)的角度，研究不同营养阶层生物之间的物质和能量的转移，并在此基础上建立数学模式。

根据用CEPEX研究的结果，Azam 等人 (1980) 指出，漂浮细菌 (bacterioplankton) 是食物网的一个重要组成环节。据估算，大约有25%光合作用固定的碳是通过漂浮细菌的渠道进入食细菌者 (bacteriovores)。Parsons 等人，仔细地研究了在大塑料袋水体中浮游植物的生态 (包括种类组成、数量变化、初级生产力的测定，以及环境条件的影响等等)，并探索在CEPEX装置中模拟上升流生态系。Grice 和 Harris 等人，在两个大型塑料袋中 (1335米³)，通过改变某些环境条件，成功地建立起了一个以硅藻为基础，另一个以鞭毛藻为基础的食物网，比较仔细地分析了各营养阶层生物的种类、组成及彼此之间的相互关系。近几年，有的也用有控生态系装置进行鱼类生态的研究。被试验的鱼主要是鲱鱼 *Clupea harengus* Pallas, 大麻哈鱼 *Oncorhynchus*, 还有细鳞胡瓜鱼 *Mallotus villosus*。把受精鱼卵或幼鱼投放入袋中，然后定期观察、分析鱼的生长速率，观察不同生长发育阶段的鱼对饵料的选择和摄食量等。据观察，虽然鲱鱼能以多种甲壳动物、被囊动物的幼虫和其他浮游动物为饵料，但剑水蚤和猛水蚤却是鲱鱼偏爱

的食物。

有些学者研究了浮游植物在水柱中的沉降速度。据Bienfang测定,浮游植物(没有区分个体大小)在水柱中的沉降速率是0.32—1.69米/天,平均为 0.64 ± 0.31 米/天。浮游植物的大量繁殖,硅酸盐的缺乏,低光照或富营养化等均能提高浮游植物的沉降速率。Davis和Thomas等人,研究了硅藻*Leptocylindrus danicus*的休眠孢子形成。这种硅藻是CEPEX水层中的主要种类。研究的结果表明,孢子形成的诱发因素主要是氮素的不足。据测定,当袋中水体含N量降至 $0.5 \mu\text{m}$ 以下,硅藻即开始形成孢子。孢子在水柱中的沉降速度要比营养细胞快3—5倍。另外,以硅藻为饵料的草食动物,所产生的粪粒的密度和在水柱中的沉降速度,都高于以鞭毛藻为饵料的粪粒。

利用围隔式装置开展化学海洋学的研究,是近十年来的事情。研究主要是围绕污染物质在海洋的分布、存在形式、变化和转移规律进行的。已研究的污染物质包括:石油及其制品,PCB;五氯苯酚(PCP),Hg, Cu, Cd, Mn, Pb, As, Zn和近20种人工或天然放射性元素。除外,还比较详细地研究了营养盐在水体中的分布、变化及其生物学过程,以及溶解气体(H_2 , CO和 CH_4)在水柱中的分布。

Lee等人,对石油烃在CEPEX中的行径进行了比较详细的研究。据测定,将低浓度的№2燃料油的萃取液(40ppb)加入到海水中,经过3天,海水烃的浓度降为30ppb。经过15天,即降至基线值(10ppb)的水平。经测定,经过24小时,加入到海水中的烃的主要成份是萘、甲基萘和二甲基萘。据观察,海水中溶解烃类的消除主要是通过微生物的降解,以及烃类吸附在颗粒物然后沉降到底部的途径。

不同种类石油烃,在海中的行径(fate)有差别。比如将 ^{14}C 标记的苯蒽和二甲基苯蒽加入到CEPEX中,后者经过1天大约有90%已被氧化,而前者经过20天,仅14%被降解。

将PCB加入到CEPEX中很快被浮游生物吸收和吸附,接着通过死的浮游生物迅速沉于

底部。据报道,沉积物中的PCB,当浮游生物尸体分解时又能重新被释放到水中。试验也表明,汞和铜也易被吸附在颗粒物上,然后从水柱中沉降于底部。据测定,在相同环境条件下,一些重金属元素的沉降速度是 $\text{Zn} > \text{Hg} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Ni}$ 和As。

用放射性同位素示踪法研究微量元素的生物地球化学,具有分析技术较简单,而且又可同时进行多种元素分析的优点。在这方面,用“微宇宙”开展研究的内容包括:测定元素通过生态系的途径和通量,在水柱中的分布、转移途径和速率,以及进入沉积层后进一步发生的物理和化学过程,如粒子混合、间隙水的扩散、粒子吸附、氧化还原和生物转化等。Santshi等人着重指出,在研究化学物质(包括污染物质)进入海洋中的行径时,对气-水、水-颗粒和水-沉积界面的研究是最重要的。

对营养盐的研究表明,在表层水、氮的再生速率大致是与浮游植物对氮的吸收率是平衡的;在水层中,细菌对氮的再生起了重要的作用;在沉积层中,间隙水释放出的营养盐对异养微生物和原生动物的繁殖有一定的作用。

低水平污染对海洋生态系的影响,是近十年来有控生态系研究的中心课题,已发表的文章也较多。低水平,指的是试验施加的污染物浓度不超过目前海洋环境最大污染水平的一个数量级(浓度比本底值高几倍到百倍)。根据已有的研究成果,以下几点值得提出:

1. 各营养阶层生物对低水平污染压力的反应大致是:微生物很容易受冲击,但又很快地得到恢复,这往往是抗性种类发展的结果;浮游植物也比较容易受冲击,在污染物质加入后,通常是发生种群组成的更替,原有的优势种被新的优势种取而代之,从而使总的初级生产力不致于有过大的波动;浮游动物受影响要轻些、慢些,但受影响后恢复也慢些;浮游动物种群结构的变化,以及个体生长速率的快慢,有的是污染物的直接影响,但也有因浮游植物组成改变所致;低水平污染对鱼类的直接

(下转第61页)

(上接第47页)

影响要轻的多。

2. 低浓度的石油, Cu, Hg, Cd, PCB, 以及葡萄糖的加入, 都能明显地促使以硅藻(例如 *Ceratualina bergonii*) 为主的初级生产者转变为以鞭毛藻(如黄鞭金藻 *Chrysochromulina kappa*) 为主的初级生产者。1967年, 在Torrey Canyon油船事故的海域, 也发现有大量的黄鞭金藻。Parsons 指出, 这个转变具有重要的生态学意义。以硅藻为基础同以鞭毛藻为基础的食物链有明显的差异。前者是由硅藻→大的桡足类→鱼的路线; 后者是鞭毛藻→小的桡足类→水母、栉水母和软体动物。低水平污染, 实际上加强了以鞭毛藻为基础的食物链路线。

3. 25ppbCu^{++} 能部分地抑制浮游植物对Si的吸收, 但没有改变浮游植物Si的渗出率。大于 1ppb 的Hg, 能抑制沿岸水域浮游植物氮和

氮的同化作用, 以及细菌和微型浮游植物对氮的再生作用; 也能影响浮游植物对P的吸收。

4. 没有发现Hg沿着食物链而扩大的证据。

5. Hg和Cd主要是与低分子量的蛋白质——金属硫蛋白相结合。用CEPEX进行试验的结果, 也支持了有关重金属中毒的机制的新理论——溢出(spillover)理论。

有些学者, 对有控生态系内外环境进行了比较。结果表明, 虽然所捕获的生态系很近乎自然状态, 但由于在平流、湍流、温度和水体交换等方面, 装置内外的差异还是比较明显的。因此, 试验所得的结果还不能说就等于海洋的实况。另外, 大型有控生态系装置费用高, 对试验海区的选择要求也较高。为此, 除了继续对有控生态系装置加以改进外, 应当根据所研究课题的需要, 考虑是否需要或用什么样大小、类型的装置为宜。(参考文献略)