海洋工程对海洋生态影响及渔业资源损失的定量分析

——以江苏LNG项目为例

张益民[1] 凌成健[2]

摘 要 通过对洋口港附近海域海洋生物资源的现状调查，以及江苏LNG项目对海洋生态环境的影响程度与范围评估，定量分析了江苏LNG项目对工程海域底栖生物、潮间带生物和渔业资源的损失和影响。江苏LNG项目施工期造成主要底栖生物资源损失量为1.3 1 t，造成潮间带生物资源损失量为258.84 t，造成临近海区渔业损失量为54.65 t；营运期造成临近海区渔业损失量为382.4 t。

关键词 洋口港；江苏LNG项目；生态影响；渔业资源损失

洋口港区具有建设10万~20万吨级码头的深水天然条件，是我国舟山群岛以北除曹妃甸之外尚未开发的又一宝贵深水资源；同时，它又是靠长江北岸最近的港口。洋口港附近没有渔场，但是海底管线两侧是滩涂养殖区。在洋口港建设江苏LNG项目必然对工程附近海域的海洋生态及渔业资源造成影响，其生态影响具体为多少，尤其是对海域底栖生物、潮间带生物及渔业资源造成的损失有多大，都是传统环境评价必须回答却难以回答的问题。为了分析研究这类影响，于2005年11月对工程海域的海洋生态及水质进行了采样分析和资料调研，本文将从施工期、营运期两个阶段分析可能引起的海洋生态损益影响。

一、工程区域海洋生物资源状况

1.鱼卵和仔鱼

根据江苏省海洋水产研究所2005年度对工程海域的调查表明，工程海域鱼卵平均单位体积海水中数量为7粒/m³，优势种为鳎属未定种（*Sillago Cuvier* sp.）平均单位体积海水中数量6粒/m³。仔鱼平均单位体积海水中数量为6.3尾/m³。优势种为鲻（*Liza haematochelia*），平均单位体积海水中数量为6尾/m³。

2.海洋游泳动物及主要渔业资源

根据东海水产研究所2004年度对工程海域的调查表明：评价区域两个航次调查结果共有渔获41种不同品种，其中鱼类18种，占总种数的43.91%；虾类和蟹类各6种，分别占14.63%；头足类1种，占2.44%；其他品种10种，占24.39%。鱼类18种分属6目11科。总渔获重量中，鱼类占32.73%，虾类占13.31%，蟹类占33.48%，头足类占5.85%，其他品种占14.63%；总渔获尾数中鱼类占9.13%，虾类占55.38%，蟹类占6.96%，头足类占0.21%，其他品种占28.32%。

渔获重量优势鱼类依次有半滑石鳎、小黄鱼、焦氏舌鳎、银鲳和棘头梅童鱼等；虾类依次

有口枯虾、日本鼓虾和葛氏长臂虾等；蟹类有日本鲟；头足类有章鱼。渔获尾数优势种鱼类依次有焦氏舌鳎、半滑石鳎等；虾类依次有日本鼓虾、葛氏长臂虾、细螯虾和口枯虾；蟹类有日本鲟等。

调查海域平均现存相对资源密度（重量、尾数）分别为461.587 t/km³和2 123万尾/km³。鱼类中现存相对资源密度重量最高值为半滑石鳎（52.806 t/km³）和小黄鱼（41.174 t/km³），虾类中最高值为口枯虾（26.772 t/km³）；蟹类中最高值为日本鲟（151.031 t/km³）。鱼类现存相对资源密度尾数最高值为焦氏舌鳎（94.898万尾/km³），虾类最高值为日本鼓虾（644.543万尾/km³），蟹类最高值为日本鲟（133.961万尾/km³）。

3.底栖生物

工程海域底栖生物种类组成比较简单，共鉴定出14种，其中环节动物6种（占42.86%），软体动物5种（占35.71%），节肢动物3种（占21.43%）。LNG工程海底管线共鉴定出3种，其中环节动物2种，节肢动物1种。

调查区域底栖生物生物量和栖息密度平均值分别为0.165 g/m²和0.55个/m²，最大值分别为0.6 g/m²和0.8个/m²。本调查区域底栖生物生物量构成中，软体动物最高，为0.09 g/m²（占54.55%）；环节动物其次，为0.055 g/m²（占33.33%）；节肢动物最低，为0.02 g/m²（占12.12%）。在栖息密度组成中，环节动物最高，为0.25个/m²（占45.45%）；其次是软体动物，为0.2个/m²（占36.36%）；最低是节肢动物，为0.1个/m²（占18.18%）。

4.潮间带生物

工程海域潮间带生物共有42种。其中以环节动物占优势，为16种（占38.10%）；软体动物其次，为13种（占30.95%）；节肢动物为9种（占21.43%），棘皮动物和腔肠动物各1种，其他2种。42种潮间带生物中，在各测站中重复出现的种类不多，出现频率大于44.44%的有3种，在调查区域分布较广泛，数量较大，出现频率较高，如托氏虫昌螺（*Umbonium thomasi*）、文蛤（*Meretrix meretrix*）、彩虹明樱蛤（*Moerella iridescens*）。

调查海域平均生物量为291.47 g/m²，生物量组成从高到低依次为软体动物284.98 g/m²（占97.78%）、节肢动物4.44g/m²（占1.54%）和环节动物为2.04 g/m²（占0.71%）。平均栖息密度为296.89个/m²，栖息密度组成与生物量组成类似，均以软体动物居首，为296.89个/m²（占92.78%）；其次是环节动物，为14.22个/m²（占4.45%）；节肢动物最低，为8.89个/m²（占2.78%）。

二、江苏LNG项目海洋工程介绍及污染源分析

1.工程介绍

江苏LNG项目位于如东县海滨辐射沙洲中的烂沙洋水道西部的深水区（见图1）。该项目主要由LNG专用船码头、LNG接收站、分输站、海底和陆上输气管道四个部分工程组成。一期规模为年接收350万t，主要建设两座16万m³储罐；建设可停靠8万~16.5万m³能胶LNG船舶专用码头1座，并建工作船码头1座；建设一条约14 km海底输气管线和约165 km的陆上管线。其中涉及对海洋影响的工程有接收站、码头、海底管线工程。

2.主要入海污染源

（1）营运期

冷排水：温差≤5℃，一期平均排放水量20 560 m³/h，连续排放。

余氯：浓度小于0.2 mg/L，一期平均排放水量20 560 m³/h，连续排放。

（2）施工期

施工期主要污染物为悬浮物，产生工段为采

图1 江苏LNG项目地理位置

砂、人工岛（接收站）吹填和海管后挖沟工段，采砂、人工岛（接收站）吹填工段悬浮物产生量较小，这里只考虑海管后挖沟对海洋生态环境的影响。

海管后挖沟长度为6 km，管沟深2.3 m，顶宽2.7 m，底宽2.7 m，整个铺管作业期间将共挖起37 260 m^3海底泥沙，按平均每天挖沟2 000 m计，放大系数1.2算，则每天挖起的海底沉积物约为14 904 m^3。约3天完成。由于采用冲射式挖沟机械进行作业，以每天工作12小时计算，连续作业，每秒挖起的悬浮物约为0.345 m^3（即238 kg悬沙）。起悬比以50%计，则海管后挖沟工段悬浮物产生源强为119.0 kg/s，将在短时间内随海流扩散。

3.非污染环境影响

（1）采砂对底栖生物的影响

本工程采砂面积约为1.8 km^2，这种底栖生物所受到的影响是可逆的，但自然修复期较长。在此期间，以底栖生物为饵料的鱼类资源将受到影响。

（2）人工岛（接收站）陆域形成对底栖生物的影响

本项目人工岛（接收站）成陆面积共计0.299 7 km^2。陆域形成对底栖生物的影响是不可逆的。

（3）海管铺设对底栖生物和潮间带生物的影响

近岸段围堰干式施工临时占用海域面积0.592 km^2（其中潮间带约0.296 km^2），此范围内的底栖生物将由于被掩埋和缺水致死。

海底管道的后挖沟施工将造成对底栖生物的覆盖和掩埋。后挖沟段总长6 km，管沟顶宽2.7 m，考虑到约有2倍面积的泥沙堆积区。因此有6 000×8.1＝48 600 m^2面积上的底栖生物将被掩埋致死。

这种底栖生物所受到的影响是可逆的，但自然修复期较长。在此期间，以底栖生物为饵料的鱼类资源将受到影响。

三、海洋生态影响和渔业资源损失的定量分析

为了定量地预测工程对邻近海域生态环境的影响，建立的水平方向的二维潮流数值模拟和二维对流扩散数值模型，用来模拟评价对象即悬浮物、冷排水和余氯的扩散对海洋生态的影响。

1. 海管后挖沟悬沙对渔业资源和生态的影响

管沟开挖过程中，悬浮物将在一定范围内形成高浓度扩散场，悬浮颗粒将直接对海洋生物仔幼体造成伤害，主要表现为影响胚胎发育，悬浮物堵塞生物的鳃部造成窒息死亡，大量悬浮物造成水体严重缺氧而导致生物死亡，悬浮物有害物质二次污染造成生物死亡等。不同种类的海洋生物对悬浮物浓度的忍受限度不同，

一般说来，仔幼体对悬浮物浓度的忍受限度比成鱼低得多。

根据长江口疏竣泥悬沙对中华绒螯蟹早期发育的试验结果，当悬沙浓度为 8 g/L 时，不会对中华绒螯蟹的交配、产卵和胚胎发育造成影响。在原肠期以前，胚胎成活率几乎为 100%，但当胚胎发育至色素形成期产生一定程度的影响，试验结果三组数据最大死亡率为 60%~70%，最小为 5%~10%，平均为 30%。但本工程悬浮物浓度，持续时间远低于试验条件。可以认为，工程悬浮物增量引起的幼体死亡率应低于 30%。不同的悬沙浓度不影响中华绒毛蟹蚤状幼体的成活率，但当悬沙浓度达到 16 g/L 以上时，对蚤状幼体的变态影响极为显著，高浓度悬沙可推迟蚤 I 的变态，当悬沙浓度达到 32 g/L 以上时，可降低蚤状幼体对饵料(轮虫)的摄食和吸收。此外，在自然环境中，由于悬沙量增加，降低水中透光率，从而引起浮游植物生产量的下降，进而影响以浮游植物为食的浮游动物的丰度，间接影响蚤状幼体和大眼幼体的摄食率，最终影响其发育和变态。

根据以上分析和管沟开挖引起悬浮物扩散影响范围，管沟开挖对水产资源的影响主要表现在对开挖区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。

根据管道铺设挖槽作业产生的悬浮物的预测结果，中底层悬浮物浓度人为增加大于 10 mg/L 的范围（超一、二类水质标准）局限于管线东西两侧 1.18~1.75 km 的区域，影响的总面积为 10.5 km^2。本工程产生的悬浮物影响 3 小时后基本沉降。

在悬浮泥沙浓度超过 10 mg/L 的范围内，鱼卵、仔鱼因高浓度的含沙量部分死亡。根据 2004 年 5 月调查结果，工程区鱼卵平均数量为 7 个/m^3，仔鱼为 6.3 尾/m^3 和 10.5 km^2 范围内 30%的死亡率估算（平均水深以 5 m 推算），管沟开挖造成鱼卵可能的平均损失量为 110.25×10^6 个，仔鱼为 99.225×10^6 尾。在增量大于 10 mg/L 的这一范围内成鱼可以回避，但幼体仍难逃厄运，以水产资源量 10%受损率计。2004 年工程区现存相对资源密度 2 123 万尾/km^3。幼体比例平均占 80%，平均水深 5 m 推算，幼体的可能平均损失量 $2\ 123\times0.8\times0.052\ 5\times0.1=8.9$ 万尾。

2. 人工岛陆域形成与海管施工对底栖生物和潮间带生物的影响

底栖生物生活于海底相对定居，在没有外来干扰的情况下，其群落结构较稳定。在商业上它们是人类重要的食品来源，也是鱼类重要的饵料来源。本项目接收站、海底管道作业过程将对施工区及邻近海域的底栖生物产生较大的影响。

对底栖生物影响范围，首先是本工程人工岛（接收站）填海造地区面积约 0.299 7 km^2。接收站陆域形成围填海，必然将原有的沉积物覆盖，生活在其中的潮间带生物和底栖生物将被掩在其中而死亡，这是不可逆转的。据有关资料，海底管道铺设过程中影响底栖生物生活面积约为围堰段 0.592 km^2 + 挖泥段 0.048 6 km^2= 0.640 6 km^2（其中潮间段约 0.296 km^2），则栖息于这一范围内的底内动物和底上动物因底泥的挖除将全部丧失，这种影响是可逆的。人工岛吹填采砂区域面积约为 1.8 km^2。根据 2005 年 11 月国家海洋局东海环境监测中心海洋生态现状调查结果，工程区底栖生物平均生物量为 0.165 g/m^2，潮间带平均生物量为 291.47 g/m^2。依据有关规定，损失量累计 3 年计算。估算采砂造成底栖生物资源量的直接损失为 0.89 t，人工岛围填海造成底栖生物资源量的直接损失为 0.15 t。而海底管道造成底栖生物资源量直接损失 0.17 t，造成潮间带生物资源量损失 258.84 t。本工程造成的底栖生物损失量为 1.21 t，其中不可逆转的仅 0.15 t，造成潮间带生物资源量损失 258.84 t。该水域底栖生物群落的恢复需要相当长的时间。

根据食物链分析，底栖生物是许多经济价值很高的底层鱼类的饵料。底栖生物不同于浮游生物，它们数量的损失，难以从潮流的往复流动中得到补充。目前工程海域底栖生物数量和种类正在迅速减少，鱼类的饵料基础状况令人担忧。底栖生物的减少，将危及工程海域附近鱼类食物安全。由底栖生物减少形成对鱼类间接的危害和损失比以上所计算的底栖生物直接经济价值要大许多。

3.取水过程对水生生物的卷载效应分析

LNG气化过程需用大量海水作热源，LNG项目一期海水取水量为 20 560 m^3/h。

由于水泵急速抽取海水，致使水生生物与旋转滤网、拦污栅产生机械碰撞损伤。实际上，卷载效应的危害由三个因素综合作用而成的，即受高速水流的冲击碰撞、冷冲击和余氯的毒性。

(1) 对浮游生物的影响分析

LNG 取水系统产生的卷载效应将对浮游生物产生一定程度的损伤，会使取水团中浮游生物量有所减少，降低海洋初级生产力。但由于浮游生物的生殖周期短，繁殖快，本水域浮游生物因受潮汐影响较易受外海水补充，其种群损伤后恢复较快，因此，卷载效应造成的损伤对海区浮游生物总量和群落结构等影响不大。

(2) 对鱼卵、仔鱼的影响分析

根据本工程分析，一期工程海水用水量为 20 560 m^3/h（平均），按 2005 年工程周围海域现场调查结果，工程区鱼卵平均分布密度为 7 个/m^3，仔鱼的平均密度为 6.3 尾/m^3，以进入管道系统的鱼卵、仔鱼全部被杀伤，鱼卵、仔鱼出现率每年为 6 个月估算，则运行期每年对鱼卵、仔鱼造成的损失量分别 6.3×10^8 个和 5.7×10^8 尾。

但依据数模计算，本项目余氯浓度大于 0.01 mg/L 的影响范围扩展到排放口东西 1500m 半径，未来取水口位实际上处于余氯浓度场范围之内，一旦余氯浓度场形成，将阻止鱼类进入该水域产卵，导致该水域鱼卵仔鱼数量剧烈下降。

4. 冷冲击效应及含余氯排放水对海洋生物的影响

由于本工程取、排水过程中的海洋生物和渔业资源将受到两个方面的危害，冷排水和余氯水。这二种效应发生在同一水域，这种协同效应下的海洋生物死亡率随种类不同而有所差别：浮游植物死亡相对较少；浮游动物死亡相对较多；鱼卵、仔鱼几乎都死亡。因此，本项目排水过程突然温降和加氯对浮游生物、鱼卵仔鱼的影响是严重的。使该水域海洋生物受到损伤甚至死亡。但因为发生在同一水域，没有必要重复计算死亡率。

据此，将余氯影响的范围，0.40 km^2（假设平均水深 10 m，合计 0.004 km^3 水体）作为冷排水、余氯水影响范围。根据工程区相对渔业资源密度 2 123 尾/km^3，则首日的渔业资源损失量为 2 123 尾/$km^3\times0.004\ km^3=8.49$ 万尾。一年其余以 364 天计，考虑到在余氯浓度场形成的条件下，依然有首日 10%(估算)的资源量进入排水口水域而死亡，每天累计死亡量为首日 10%。则渔业资源死亡数为 $364\times0.1\times8.49=309$ 万尾/年，二者总计 318 万尾/年。

5.渔业资源损失合计

根据工程水域渔业资源调查的结果，总渔获重量中，鱼类占 32.73%，虾类占 13.31%，蟹类占 33.48%，头足类占 5.85%，其他品种占 14.63%；总渔获尾数中鱼类占 9.13%，虾类占 55.38%，蟹类占 6.96%，头足类占 0.21%，其他品种占 28.32%。由于调查中，成鱼有一定比例的逃逸，参照附近海域鱼虾比例的资料，并参考临近水域主要种类渔获个体重量和东海区虾蟹类资源调查与研究（2001），对幼鱼而言取 100g 作为其长成成鱼体重标准，7.0 g 作为成虾体重标准；依据调查鱼蟹与虾的比例为 2：8。从鱼卵种类组成看，仅有斑鰶和鳀属等小型鱼类的鱼

卵，该类小型鱼类成鱼重 25 g 左右。但从仔鱼种类组成看，以梭鱼为主，该鱼类成鱼重 50 g 左右。鱼卵 0.1%长成成鱼，仔鱼 1%长成成鱼。

渔业资源损失 = 鱼卵损失 × 0.1% × 25 + 仔鱼损失 × 1% × 50+ 幼体损失 × 20% × 100 + 幼体损失 × 80% × 7

海洋生态资源损失量计算结果与汇总见下表。

由表 1 可见，江苏 LNG 项目施工期造成主要底栖生物资源损失量为 1.31 t，造成潮间带生物资源损失量为 258.84 t，造成邻近海区渔业损失量为 54.65 t；营运期造成临近海区渔业损失量为 382.4 t。

表 1　江苏 LNG 工程海洋生态资源损失量(单位：t)

时段		类别		
		底栖生物	潮间带生物	渔业资源
施工期	管道施工	0.17	258.84	54.65
	人工岛围填	1.14		
	小计	1.31	258.84	54.65
营运期	机械卷载			300.8
	冷排水和余氯水			81.6
	小计			382.4

参考文献

1　郑元甲.东海大陆架生物资源与环境[M].上海：上海科学技术出版社.2003，1~835

2　白雪梅，徐兆礼.底泥悬浮物对水生生物的影响[J].上海水产大学学报，2000，9（1）：65~68

3　徐兆礼，沈新强.陈亚瞿. 长江口悬沙对牟氏角毛藻生长的影响[J].海洋环境科学，2004，23（4）：28~30

4　王金秋，徐兆礼，石椿，等.长江口疏浚弃土悬沙对褶皱臂尾轮虫的影响 [J]. 应用生态学报，2002，13（7）：871~874

（作者单位 [1]南京师范大学 [2]华北石油管理局）