

# 目 录

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| 第一篇 南海北部渔业水域石油污染状况 .....                 | (1)  |
| 第一章 南海北部渔业水域海水石油污染状况 .....               | (1)  |
| 1.1 海水中石油类的主要污染源 .....                   | (1)  |
| 1.2 海水石油污染状况 .....                       | (1)  |
| 第二章 南海北部水生经济种类石油污染的现状与评价 .....           | (3)  |
| 2.1 材料和方法 .....                          | (3)  |
| 2.2 水生经济种类的总石油烃含量 .....                  | (5)  |
| 2.3 水生经济种类石油污染评价 .....                   | (8)  |
| 第三章 典型污染水域水生经济种类石油烃的气相<br>色谱指纹特征分析 ..... | (18) |
| 3.1 材料与方法 .....                          | (18) |
| 3.2 结果和讨论 .....                          | (19) |
| 3.3 小结 .....                             | (26) |
| 第二篇 石油污染对水生经济种类的影响效应 .....               | (28) |
| 第一章 石油类对虾类的影响 .....                      | (28) |
| 1.1 石油类对斑节对虾受精卵及幼体发育的影响 .....            | (28) |
| 1.2 石油类对仔虾的急性毒性 .....                    | (31) |
| 第二章 石油类对海洋鱼类的影响 .....                    | (37) |
| 2.1 石油类对黑鲷胚胎发育的影响 .....                  | (37) |
| 2.2 南海原油和燃料油对4种海洋鱼类仔鱼的急性毒性 .....         | (38) |
| 第三章 石油类对贝类的影响 .....                      | (44) |
| 3.1 南海原油和0号柴油对4种海洋贝类的急性毒性 .....          | (44) |
| 3.2 石油类在贝类体中的积累与净化效应 .....               | (48) |
| 参考文献 .....                               | (68) |

# 第一篇 南海北部渔业水域石油污染状况

## 第一章 南海北部渔业水域海水石油污染状况

### §1.1 海水中石油类的主要污染源

近10年来,南海北部水域污染调查、监测和研究结果表明,石油污染是南海北部水域中最严重的问题之一。南海北部水域中的石油类主要来源于沿海工业污水、海上油气田开发工程废水、船舶废水、沿海城镇生活污水、事故性溢油和大气沉降等污染源。其中,尤以工业污染源、船舶污染源和生活污水污染源的贡献量最大。

### §1.2 海水石油污染状况

80年代末以来,虽然已对各种类含油废水排放采取了严格的控制措施,但大规模的经济开发活动和大幅度增长的生活污水量使排入南海北部水域的石油总量有增无减。1989~1992年间,南海北部水域石油平均浓度和超标率均大幅度升高(图1-1),1992年南海北部水域石油平均

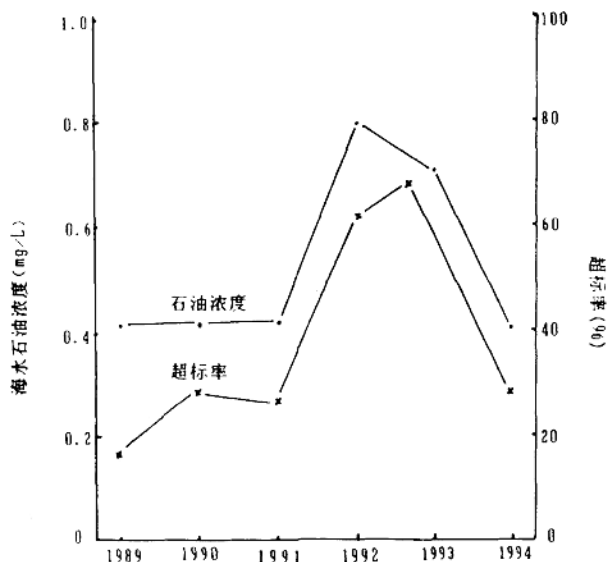


图1-1 南海北部水域海水石油浓度及超标率的变化趋势

浓度和超标率分别达 $0.08 \mu\text{g/L}$ 和62%，分别是1989年的1.86倍和3.44倍。1992年以后，南海北部水域的石油浓度和超标率逐渐回落，至1994年，石油浓度和超标率已降到1990年的水平。然而，南海北部水域石油浓度的超标率仍高达29%，一些重要的渔业水域仍然保持较高的浓度水平，尤其珠江口、湛江港、甲子港、碣石湾等水域的石油浓度较高。另外，一些外海水域（例如珠江口—粤东外海海上油田开发区水域等）的石油浓度有升高的趋势。1992年~1994年南海北部各海区石油浓度及评价结果列于表1-1和表1-2（数据引自中国近海环境质量年报1992~1994及全国海洋环境监测网有关资料）。

表1-1 南海北部各海区海水中油类的浓度(mg/L)

| 海 区   | 1992            | 1993            | 1994            |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 珠江口   | 0.02~0.14(0.07) | 0.01~0.51(0.07) | ND~0.15(0.04)   |
| 粤东沿海  | 0.02~0.15(0.07) | 0.02~0.84(0.08) | ND~0.11(0.04)   |
| 粤西沿海  | 0.03~1.17(0.11) | 0.02~0.12(0.06) | ND~0.07(0.04)   |
| 北部湾   | 0.03~0.10(0.07) | 0.02~0.14(0.07) | 0.02~0.07(0.04) |
| 海南岛沿海 | 0.04~0.11(0.06) | 0.03~0.07(0.05) | ND~0.04(0.03)   |
| 南海区   | 0.02~1.17(0.08) | 0.01~0.84(0.07) | ND~0.15(0.04)   |

表1-2 南海北部各海区海水石油类污染状况评价结果

| 海 区   | 1992   |      | 1993   |      | 1994   |      |
|-------|--------|------|--------|------|--------|------|
|       | 超标率(%) | 指数   | 超标率(%) | 指数   | 超标率(%) | 指数   |
| 珠江口   | 67     | 1.49 | 54     | 1.31 | 26     | 0.83 |
| 粤东沿海  | 68     | 1.36 | 76     | 1.53 | 36     | 0.88 |
| 粤西沿海  | 45     | 2.01 | 75     | 1.09 | 23     | 0.63 |
| 北部湾   | 75     | 1.34 | 75     | 1.39 | 29     | 0.80 |
| 海南岛沿海 | 57     | 1.14 | 71     | 0.99 | 0      | 0.50 |
| 南海区   | 62     | 1.46 | 69     | 1.31 | 29     | 0.73 |

## 第二章 南海北部水生经济种类石油污染的现状与评价

### § 2.1 材料和方法

#### 2.1.1 采样站的布设

经济鱼类、头足类和甲壳类总石油烃的调查均设42个采样站。其中,40米等深线以内的近岸水域设20个采样站(B1~B16、B32~B34和B37),40~100米等深线内设10个采样站(B17、B21、B22、B26、B28、B35、B37~B39和B42),100米等深线以外设12个采样站(B18~B20、B23~B25、B27、B29~B31、B40和B41)。沿岸重要养殖水域采用贝类(牡蛎)作为监测生物,设16个采样站。其中,粤东沿海设7个采样站(M1~M7),珠江口设4个采样站(M8~M11),粤西沿海设5个采样站(M12~M16)。各采样站位置见图2-1。

#### 2.1.2 采样方法

鱼类、头足类和甲壳类:利用海洋渔业资源调查船和国营渔业公司生产船在各采样站采集样品,鱼类在42个采样站位均采到样品,头足类和甲壳类分别在26个站和24个站采到样品。样品量:鱼类和头足类为3~5条,虾类不少于10尾,蟹类3~5只。样品冰冻保鲜送至实验室,在-20℃下保存至分析。

贝类(牡蛎)样品:在各采样站定期采集贝类(牡蛎)样品,每份样品30只左右,现场剥取软组织,冰冻保鲜送回实验室,在-20℃下保存至分析。

#### 2.1.3 分析

鱼类和甲壳类样品均取可食性肌肉部分,头足类取弃除内脏的软体部分,贝类(牡蛎)取整体软组织进行分析。样品匀浆用6N NaOH消化,消化液用乙醚萃取3次。萃取物用正己烷溶解并定容,总石油烃含量分析用岛津 RF-540 型荧光分光光度计测定。仪器条件为:EX310nm, EM364nm。测定结果以大港原油表示。方法检测限为 $0.12 \times 10^{-6}$  (干重)。

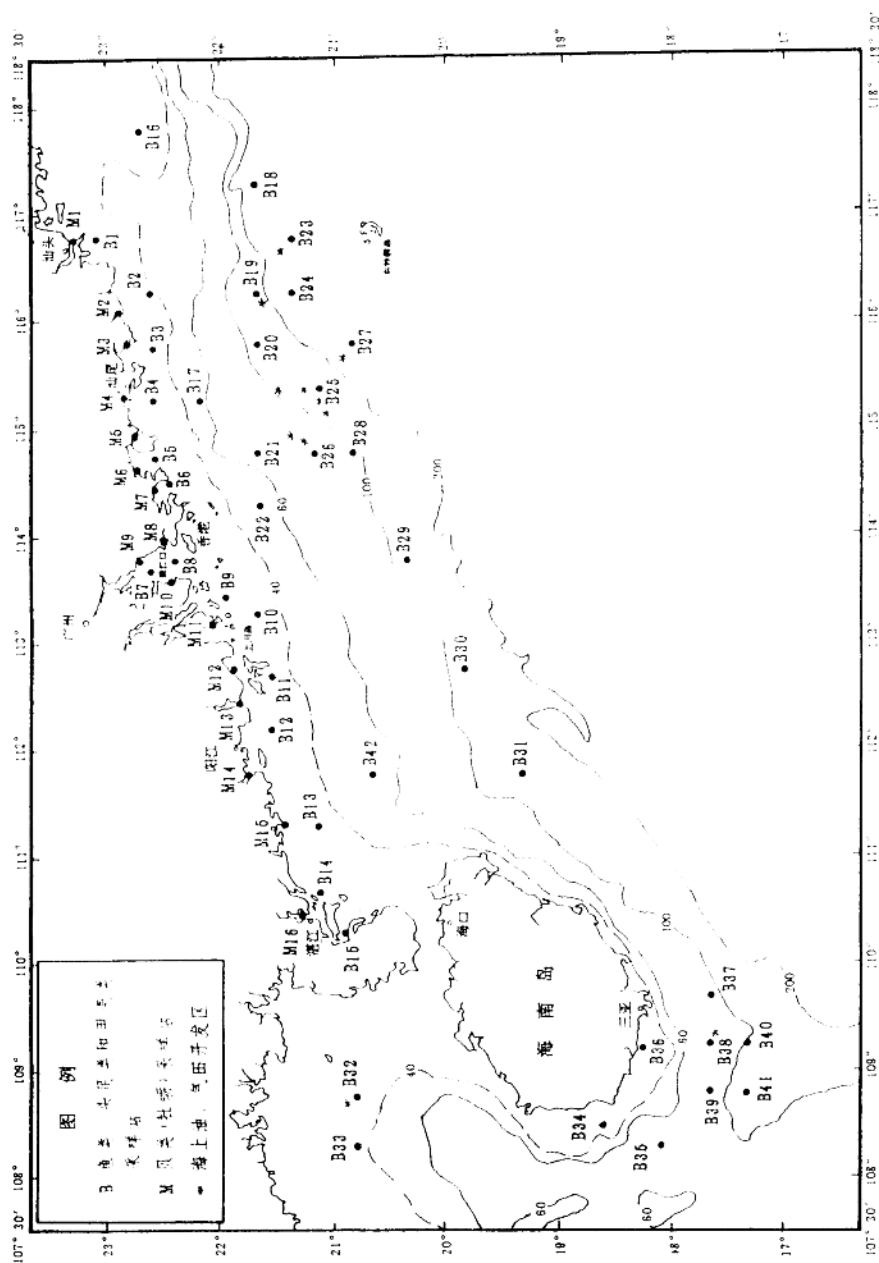


图 2-1 南海北部水生经济种类石油污染调查站位

## § 2.2 经济水产种类的总石油烃含量

### 2.2.1 鱼类

南海北部水域海洋经济鱼类的总石油烃含量见表 2-1 数据。

表 2-1 鱼类、头足类和甲壳类的总石油烃含量

单位:  $\times 10^{-6}$ , 干重

| 站号  | 鱼类   | 头足类  | 甲壳类  | 站号  | 鱼类        | 头足类       | 甲壳类       |
|-----|------|------|------|-----|-----------|-----------|-----------|
| B1  | 4.00 | 10.7 | 13.9 | B23 | 1.85      | —         | 3.04      |
| B2  | 3.75 | 10.0 | 3.53 | B24 | 4.92      | —         | —         |
| B3  | 5.02 | 6.96 | 14.0 | B25 | 4.93      | 17.0      | —         |
| B4  | 4.65 | —    | —    | B26 | 2.71      | 22.6      | —         |
| B5  | 1.18 | 3.07 | 1.76 | B27 | 2.30      | —         | 4.58      |
| B6  | 7.52 | 5.35 | 4.94 | B28 | 2.30      | —         | —         |
| B7  | 9.24 | —    | 31.3 | B29 | 1.71      | 3.17      | —         |
| B8  | 12.5 | 16.6 | 21.1 | B30 | 3.16      | 4.39      | —         |
| B9  | 2.57 | —    | 5.35 | B31 | 0.88      | 2.99      | —         |
| B10 | 6.15 | —    | —    | B32 | 7.90      | 20.3      | —         |
| B11 | 4.54 | 9.55 | 6.64 | B33 | 7.61      | 19.2      | —         |
| B12 | 3.49 | —    | 5.76 | B34 | 7.67      | —         | 23.4      |
| B13 | 4.63 | 13.0 | 5.82 | B35 | 2.38      | 6.66      | —         |
| B14 | 15.0 | 22.3 | 7.78 | B36 | 2.72      | —         | 1.88      |
| B15 | 5.46 | —    | 7.02 | B37 | 1.66      | 3.04      | 3.21      |
| B16 | 5.55 | 1.40 | 0.68 | B38 | 1.35      | 3.22      | —         |
| B17 | 8.62 | 11.2 | —    | B39 | 2.10      | 2.99      | 3.15      |
| B18 | 1.33 | —    | —    | B40 | 0.29      | —         | 1.52      |
| B19 | 1.57 | 8.13 | 2.04 | B41 | 1.86      | 1.73      | 0.54      |
| B20 | 1.51 | 6.37 | 1.68 | B42 | 1.93      | —         | —         |
| B21 | 4.58 | 5.99 | —    | 范围  | 0.29-15.0 | 1.40-22.6 | 0.54-31.3 |
| B22 | 8.60 | —    | —    | 平均  | 4.73      | 9.15      | 7.28      |

42 个采样站的全部鱼类样品均检测出石油烃化合物, 含量范围为  $0.29 \times 10^{-6} \sim 15.0 \times 10^{-6}$  (干重, 下同), 平均含量为  $4.37 \times 10^{-6}$ 。在 42 个采样站中, 有 19 个站鱼类样品的总石油烃含量超过平均值, 占总检测站数的 45.2%。其中, 有 14 个超均值测站分布在 40m 等深线以内的河口、港湾或近岸水域, 占超均值站数的 73.7%, 这些测站是 B3、B4、B6、

B7、B8、B10、B11、B13、B14、B15、B16、B32、B33和B34(图2-2);其余5个测站(B17、B21、B22、B24和B25)分部在珠江口外水域或粤东外海油田开发区水域,占超均值站数的26.3%(图2-2)。根据测定数据,鱼类样品总石油烃含量水平的区域分布大致可划分为四个等级,即珠江口内水域(桂山岛以北)和湛江港水域( $10 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ ) > 珠江口外水域和北部湾涠洲油田开发区( $6 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ ) > 粤东外海油田开发区中部、粤东沿海和粤西沿海( $3 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-6}$ ) > 40m等深线以外水域( $< 3 \times 10^{-6}$ )。各水平级的含量分布区见图2-3。

### 2.2.2 头足类

在42个采样站中,有26个采样站采集到头足类样品,样品的总石油烃含量见表2-1数据。

在26个测站采到的头足类样品均检出石油烃化合物,含量范围为 $1.40 \times 10^{-6} \sim 22.6 \times 10^{-6}$ ,平均含量为 $9.15 \times 10^{-6}$ 。在26个测站中,总石油烃含量超过均值的测站有11个,占总测站数的42.3%。在这些测站中,除B17、B25和B26等3个测站分布于粤东外海油田开发区及其邻近水域外,其余8个测站(B1、B2、B8、B11、B13、B14、B32和B33)均分布在40m等深线以内近岸水域,二者分别占超均值测站数的27.3%和72.7%(见图2-4)。南海北部水域头足类总石油烃含量水平的区域分布特点与鱼类的相似,最高含量区( $15 \times 10^{-6} \sim 25 \times 10^{-6}$ )分布在湛江港、粤东外海油田开发区中西部、北部湾涠洲油田开发区和珠江口内水域(桂山岛以北)。其次为粤东沿海碣石湾至广澳湾一带海域和粤西沿海上海岛至水东港一带水域( $9 \times 10^{-6}$ )。粤东外海水域头足类的总石油烃含量低于上述水域,含量范围为 $5 \times 10^{-6} \sim 9 \times 10^{-6}$ 。而粤西外海及海南岛以南水域头足类的石油烃含量很低,仅在 $3 \times 10^{-6}$ 左右。各级含量分布区见图2-5。

### 2.2.3 甲壳类

在42个采样站中,有24个站采到甲壳类样品,样品的总石油烃含量见表2-1数据。

在 24 个测站采到的甲壳类样品均检出石油烃化合物, 含量范围为  $0.54 \times 10^{-6} \sim 31.3 \times 10^{-6}$ , 平均含量为  $7.28 \times 10^{-6}$ 。在 24 个测站中, 总石油烃含量超过平均值的测站有 6 个 (B1、B3、B7、B8、B14 和 B34), 占总测站数的 25%。这些超均值测站均分布在 40m 等深线以内的河口、港湾或近岸水域 (图 2-6)。南海北部水域甲壳类总石油烃含量最高的区域是珠江口以内水域 (桂山岛以北), 含量范围为  $20 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ ; 其次是粤东沿海的碣石湾至广澳湾一带水域和珠江口的高栏岛至粤西海区的雷州湾一带水域, 含量范围分别为  $10 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$  和  $5 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6}$ 。40m 等深线以外水域甲壳类的总石油烃含量很低, 一般在  $3 \times 10^{-6}$  左右。各水平级含量区的分布见图 2-7。

#### 2.2.4 贝类(牡蛎)

贝类(牡蛎)样品的总石油烃含量见表 1-2 数据。16 个采样站的全部牡蛎样品均检测出石油烃化合物, 含量范围为  $7.77 \times 10^{-6} \sim 95.2 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $42.7 \times 10^{-6}$ 。在 16 个站中有 5 个测站牡蛎的总石油烃含量超过平均值, 占总测站数的 31.3% (图 2-8)。其中, 3 个超均值测站出现在粤东沿海 (M1、M2 和 M3), 2 个超均值测站出现在珠江口水域 (M8 和 M10)。在这 5 个超均值测站中, 以粤东沿海的 M2 站 (甲子港) 的含量为最高, 达  $95.2 \times 10^{-6}$ ; 其次为珠江口水域的 M10 和 M8 站 (珠海香洲和深圳蛇口) 的含量, 分别为  $81.0 \times 10^{-6}$  和  $76.5 \times 10^{-6}$ 。在另外 11 个测站中, M12 站 (广海湾)、M4 站 (红海湾) 和 M16 站 (湛江港) 的含量也相对较高, 接近平均值水平, 分别为  $40.7 \times 10^{-6}$ ,  $40.3 \times 10^{-6}$  和  $39.7 \times 10^{-6}$ ; 其余各测站的含量均不超过  $30 \times 10^{-6}$  水平。在粤东、珠江口和粤西三个海区中, 牡蛎体的总石油烃含量以珠江口海区最高, 为  $54.1 \times 10^{-6}$ ; 粤东海区次之, 为  $44.1 \times 10^{-6}$ ; 而粤西海区最低, 为  $31.6 \times 10^{-6}$  (图 2-8)。珠江口和粤东海区牡蛎体总石油烃平均含量高于全海区牡蛎样品的总平均值 (图 2-8)。



表2-2 牡蛎总石油烃含量

| 站 位 | 1989 | 1991  | 1992  | 平均值  |
|-----|------|-------|-------|------|
| M1  | 25.7 | 39.6  | 82.1  | 49.1 |
| M2  | —    | 100.3 | 90.1  | 95.2 |
| M3  | —    | 47.8  | 68.5  | 58.2 |
| M4  | 19.5 | 69.2  | 32.1  | 40.3 |
| M5  | 3.74 | 11.8  | —     | 7.77 |
| M6  | 21.3 | 38.1  | —     | 29.7 |
| M7  | —    | 14.7  | 42.5  | 28.6 |
| M8  | 19.5 | 69.8  | 80.1  | 76.5 |
| M9  | 38.6 | —     | —     | 29.4 |
| M10 | 57.6 | 59.3  | 126.0 | 81.0 |
| M11 | 29.4 | —     | —     | 29.4 |
| M12 | 39.3 | 38.3  | 44.4  | 40.7 |
| M13 | 27.2 | 32.6  | 21.5  | 27.1 |
| M14 | 30.6 | 15.3  | 34.5  | 26.8 |
| M15 | —    | 11.4  | 36.2  | 23.8 |
| M16 | 54.1 | 32.6  | 32.3  | 39.7 |

为了了解南海北部沿海养殖牡蛎石油烃含量的变化趋势,对16个采样站中的M1、M4、M8、M10、M12、M13、M14和M16等8个测站进行了三年检测(1989年1991年和1992年)。在这8个测站中,M16站(湛江港)1991年和1992年的含量水平明显低于1989年的含量,呈下降趋势;而M1站(广澳湾)和M10站(香洲湾)的含量水平则明显呈上升趋势;虽然M8站(深圳湾)、M12站(广海湾)和M14站(马尾湾)三个年度的含量水平接近,但仍以1992年的含量水平稍高;而M4站(红海湾)和M13站(镇海湾)则以1991年的含量水平较高。从总体上看,8个测站牡蛎体的总石油烃平均含量呈上升趋势(图2-9)。

### § 2.3 经济水产种类石油污染评价

目前,国内外尚未有正式颁布的海洋生物体石油污染评价标准,我们在综合分析国内外大量有关资料的基础上,探讨和提出了海洋鱼类、头足类、甲壳类和贝类动物体石油污染评价标准参考值。这里,将采用

这些评价标准参考值,以质量指数法对南海北部水域经济水产种类石油污染程度进行定量评价。评价标准参考值见表2-3。

表2-3 海洋生物体石油污染评价标准参考值

单位:  $\times 10^{-6}$  (干重)

| 生物类别 | 鱼类 | 头足类 | 甲壳类 | 贝类 |
|------|----|-----|-----|----|
| 评价标准 | 15 | 30  | 30  | 70 |

评价公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{C_s}$$

式中  $P_i$  为各采样站各经济水产种类的石油污染指数,  $C_i$  为各采样站各经济水产种类总石油烃的实测含量,  $C_s$  为各类海洋生物石油污染评价标准值。

评价结果见表2-4和表2-5。评价结果表明, 鱼类、头足类、甲壳类和贝类属污染—重污染级的测站数分别占总测站数的4.8%、7.7%、12.5%和31.3%, 以贝类的比例为最高。污染—重污染级的测站主要分布在珠江口内水域(桂山岛以北)、湛江港水域和甲子港—碣石湾一带水域。在轻污染级范围, 仍以贝类所占的比例为最高, 占其测站数的43.7%; 而鱼类、头足类和甲壳类的分别占各自测站数的19.0%、19.2%和8.3%。轻污染级的测站主要分布在珠江口水域、北部湾涠洲油田水域和广漠湾—碣石湾一带水域。贝类有4个测站属相对清洁级, 其中3个站分别位于粤西沿海的镇海湾、马尾湾和博贺湾, 另一个站位于粤东沿海的考洲洋一带水域。鱼类、头足类和甲壳类的测站大部分属清洁级或相对清洁级, 分别占各自测站的76.2%、73.1%和79.2%。属于清洁级或相对清洁级的测站除少数分布于40m等深线以内水域外, 大多数分部于60~200m水深范围内。

表2-4 南海北部水域经济水产种类石油污染的评价

| 污染分级 | 重污染          | 污 染     | 轻污染                                 | 相对清洁                                      | 清 洁                                                                                       |
|------|--------------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 污染指数 | >1.0         | 0.7-1.0 | 0.4-0.7                             | 0.2-0.4                                   | <0.2                                                                                      |
| 鱼 类  | B14          | B8      | B6 B7 B10 B17<br>B22 B32 B33<br>B34 | B1 B2 B3 B4<br>B12 B13 B15<br>B16 B21 B24 | B5 B9 B18 B19 B20<br>B23 B26 B27 B28<br>B29 B30 B31 B35<br>B36 B37 B38 B39<br>B40 B41 B42 |
| 头足类  | -            | B14 B16 | B8 B13 B25<br>B32 B33               | B1 B2 B3<br>B11 B17 B19<br>B20 B21 B35    | B5 B6 B16 B29<br>B30 B31 B37 B38<br>B39 B41                                               |
| 甲壳类  | B7           | B8 B34  | B1 B3                               | B11 B14 B15                               | B2 B5 B6 B9 B12<br>B13 B16 B19 B20<br>B23 B27 B36 B37<br>B39 B40 B41                      |
| 贝 类  | M2 M8<br>M10 | M1 M3   | M4 M6 M7 M9<br>M11 M12 M16          | M5 M13 M14<br>M15                         | - -                                                                                       |

表2-5 各污染级测站所占比率(百分率)

| 种 类 | 重污染  | 污 染  | 轻污染  | 相对清洁 | 清 洁  |
|-----|------|------|------|------|------|
| 鱼 类 | 2.4  | 2.4  | 19.0 | 28.6 | 47.6 |
| 头足类 | 0    | 7.7  | 19.2 | 34.6 | 38.5 |
| 甲壳类 | 4.2  | 8.3  | 8.3  | 12.5 | 66.7 |
| 贝 类 | 18.8 | 12.5 | 43.7 | 25.0 | 0    |

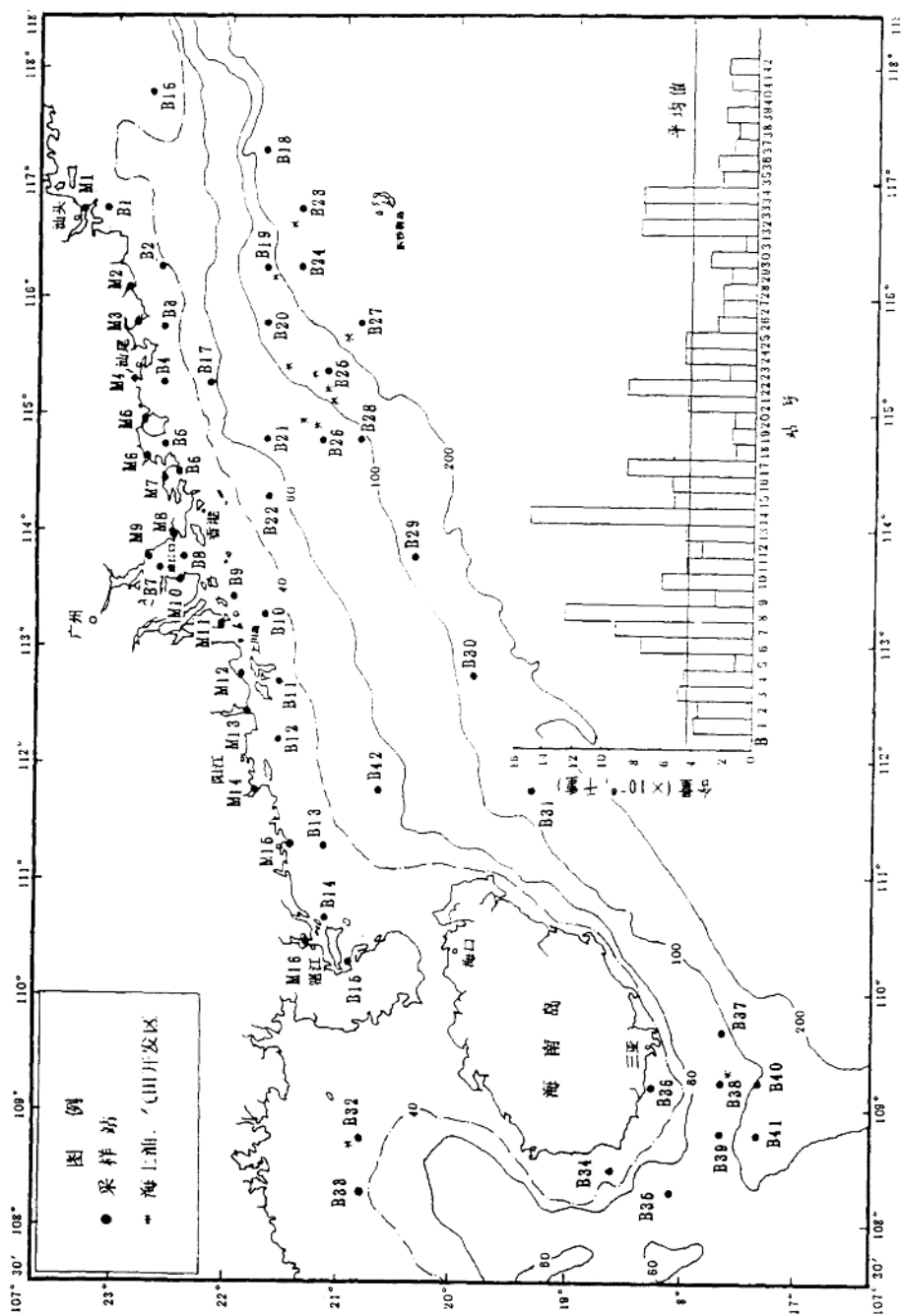


图2-2 各调查站鱼类样品的总石油烃含量分布

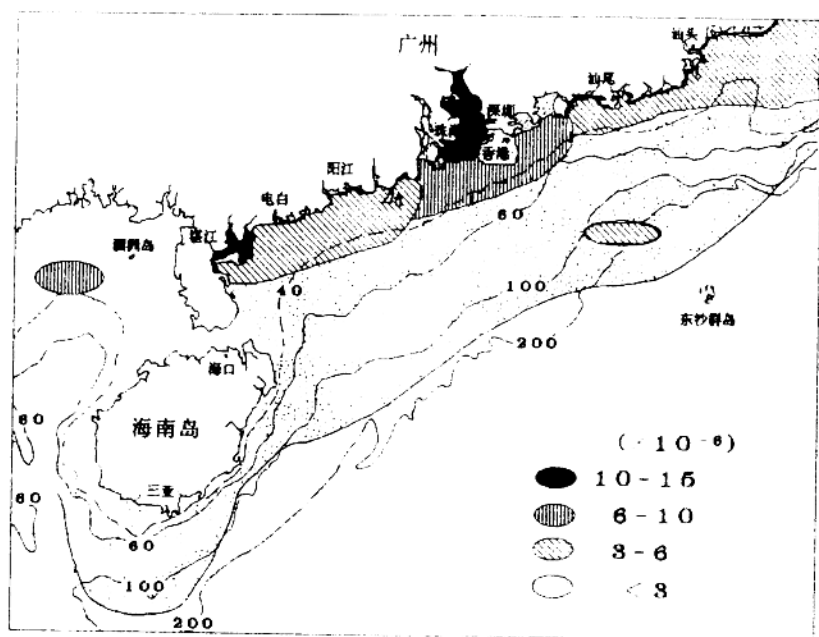


图2-3 鱼类样品总石油烃含量的区域分布

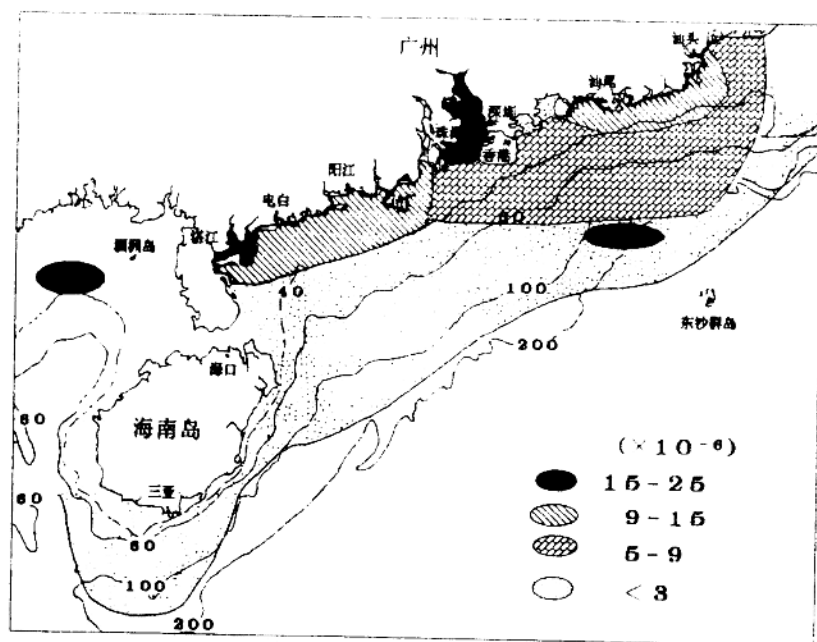


图2-5 头足类样品总石油烃含量的区域分布

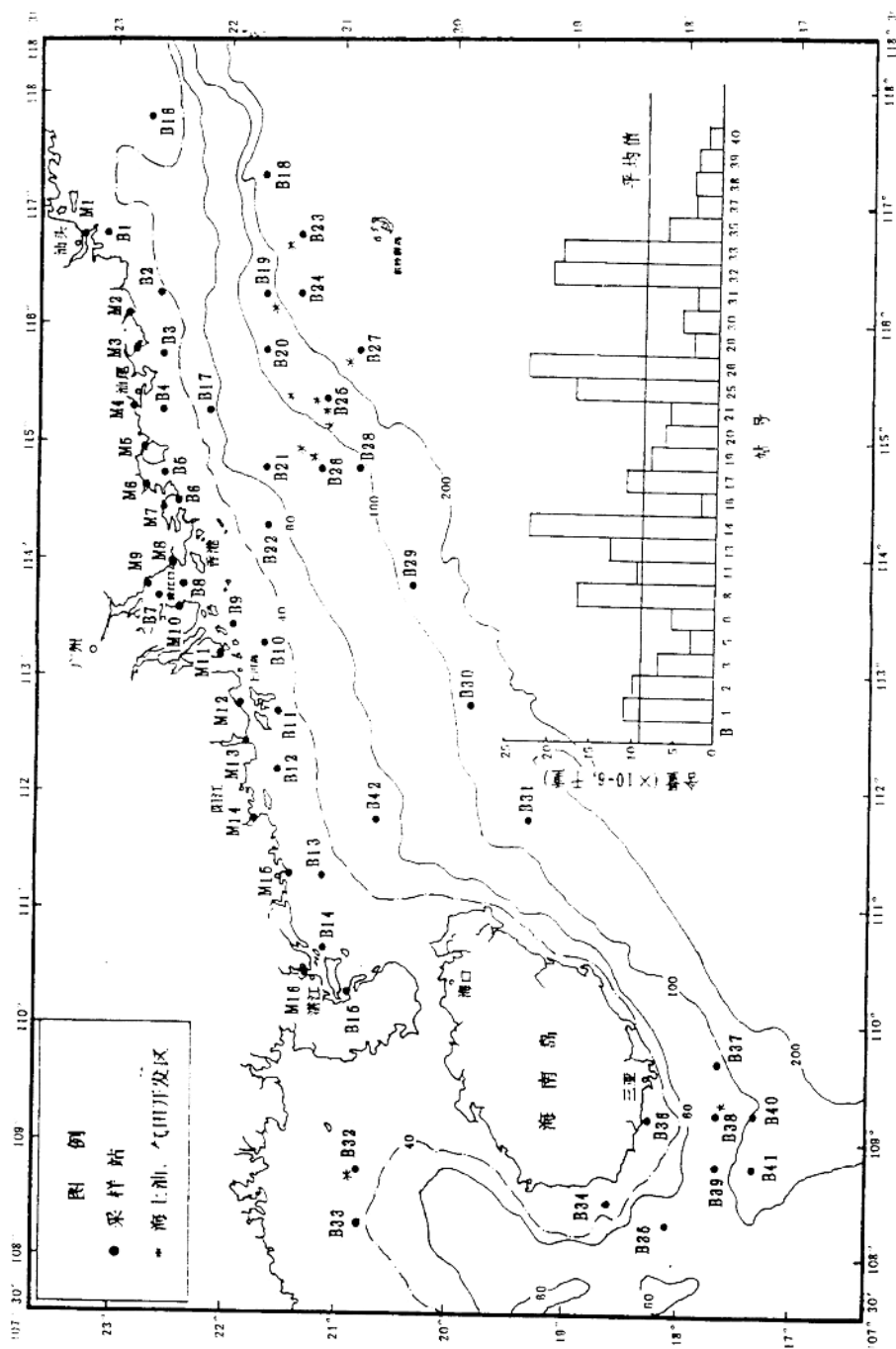


图 2-4 各调查站头足类样品的总石油烃含量分布

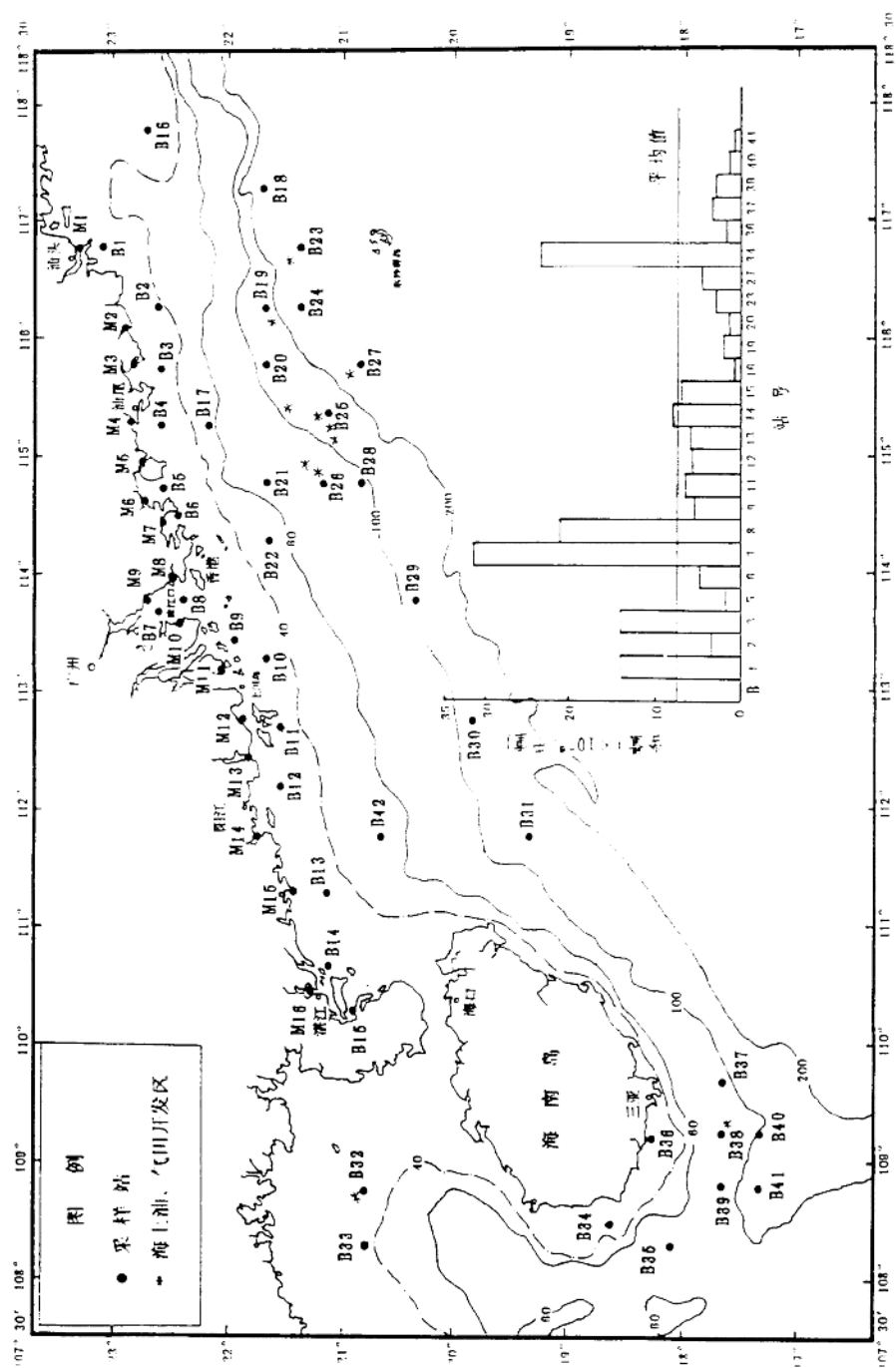


图 2-6 各调查站甲壳类样品的总石油烃含量分布

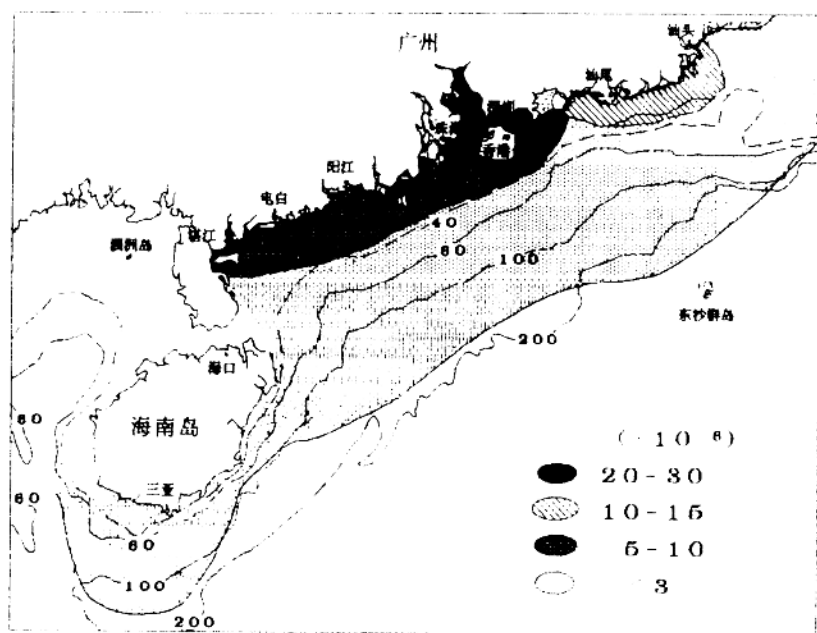


图2-7 甲壳类样品的总石油烃的区域分布



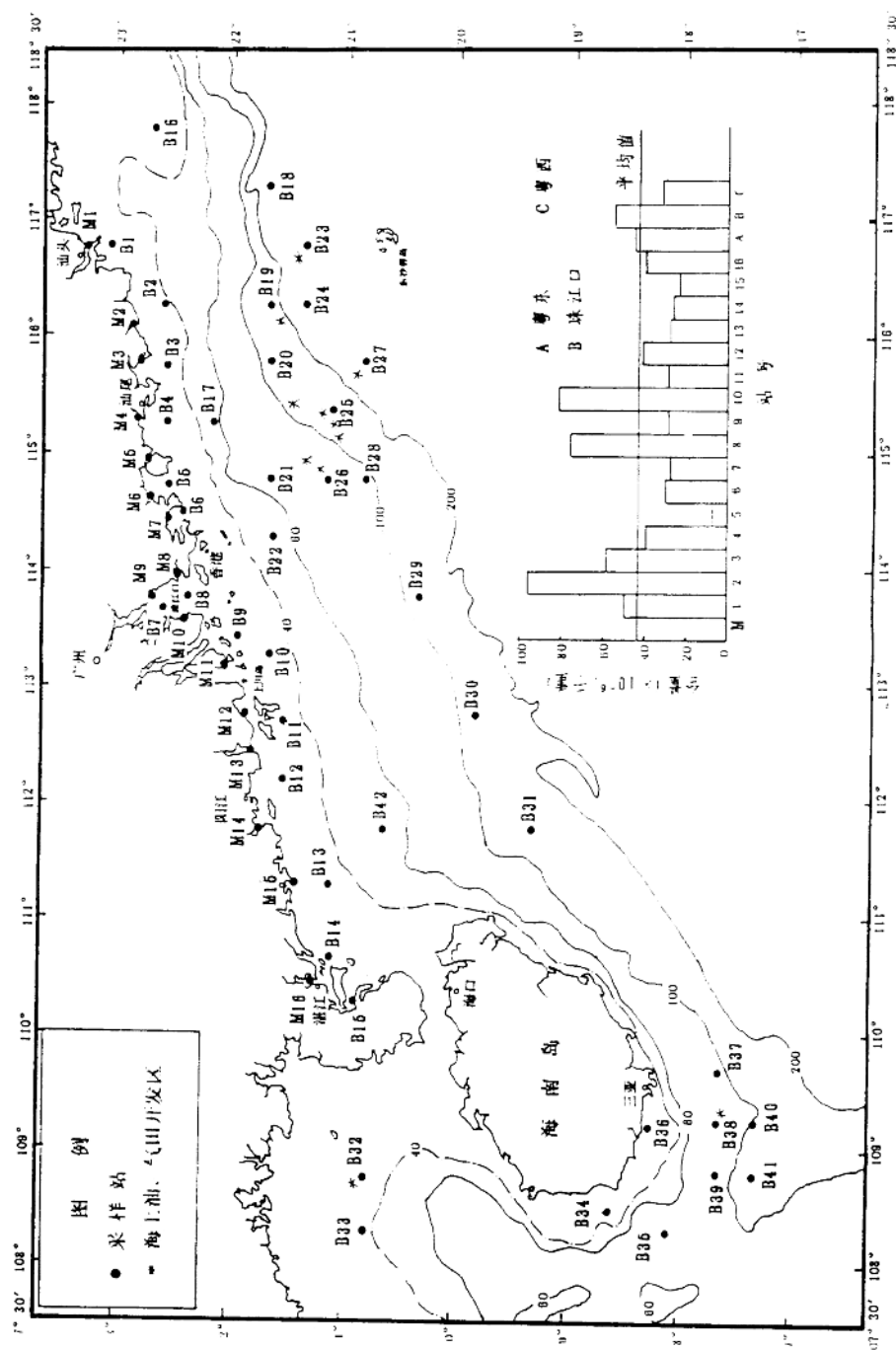


图2-8 各调查站 贝类(牡蛎)样品的总石油烃含量分布