雷州湾陆源入海污染负荷及其对海水水质的影响*

张际标，姚兼辉，杨波，陈春亮，孙省利

（广东海洋大学海洋资源与环境监测中心　湛江　524088）

摘要：笔者于 2013 年 9 月和 12 月对雷州湾陆源污染入海现状开展了 2 期调查和分析，对汇入雷州湾的河流、围海养殖及工业直排等输入源的入海污染负荷进行了估算。统计了不同类型污染源对雷州湾的污染负荷，分析了陆域入海污染物对雷州湾水质的影响，以期对雷州湾陆源污染的防治和海洋生态环境的保护提供科学依据。

关键词：污染负荷；入海通量；陆源污染；雷州湾

中图分类号：P76　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2015)06－0107－0007

1　研究背景

雷州湾位于广东西部雷州半岛东侧，为湛江市区和雷州市共属，包含 20°48′N—21°06′N 和 110°10′E—110°39′E 之间覆盖的海域。雷州湾北邻湛江湾，湾顶经通明海至东海大堤，南至雷州市东里，湾口向东南敞开，纵深约 60 km，腹宽最大 22 km，一般水深 8～28 m，最大水深 30 m；湾口处硇洲岛与雷州东里之间直线宽最短 20 km，相应湾内水域面积约 750 km^2，东海岛东南码头与雷州东里之间直线宽最短 18 km，相应湾内水域面积约 650 km^2[1]。雷州湾从雷州东里到东海岛之间岸线总长约 150 km，海岸类型多样，多为淤泥质海岸、砂质海岸、红树林海岸以及局部沿岸[2－3]。

雷州湾入海污染源主要包括陆域污染源、大气沉降源和海上污染源。雷州湾入海污染物大多来源于陆地，少量则通过大气沉降及海上活动排入海洋，其中大部分陆源污染是通过沿湾径流汇入雷州湾而引起的，包括沿河乡镇居民生活污水、农田废水、沿河流域的小微企业外排废水及下游河口入海区养殖废水。雷州湾沿岸点源污染主要包括入海河流和工业直排海排污口；非点源污染包括沿岸生活污水排放、城市径流和农业径流及沿岸围海养殖排放等。为了解雷州湾陆域污染现状及其环境影响，笔者对汇入雷州湾的陆域污染进行了 2 期现场监测，统计了不同类型污染源对雷州湾的污染负荷，分析了陆域入海污染物对雷州湾水质的影响，以期对雷州湾陆源污染的防治和海洋生态环境的保护提供科学依据。

2　材料与方法

2.1　样品采集和测试

分别于 2013 年丰水期（9 月 11—13 日）和枯水期（12 月 29—31 日）对汇入雷州湾陆域主要污染源的入海流量、污染物浓度等排海特征进行了调查，其中包括 5 条主要河流的入海口、3 个典型围海养殖废水集中排放口及 1 个工业废水直排口。调查时，入海河流和养殖污染源采样点设在入海口上游附近，工业直排污染源采样点为海上直排口位置上；每期监测 1 d、每天采样 3 次，即分别在早上 6：00—8：00 之间、中午 12：00—14：00 之间、傍晚 18：00—20：00 之间各采样 1 次，取 3 次采集的混合样带回实验室进行测定。各类污染源具体调查站位如图 1 所示。

鉴于围海养殖用水均为淡咸水，工业废水直排区水体也是海水，为便于比较，所有样品的采集、处理、保存直至分析参照《海洋调查规范》[4]和《海洋监测规范》[5]的相关要求进行。两期监测的环境因子包括水温（t）、盐度（S）、pH、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD_{Mn}）、悬浮物（SS）、无机

* **基金项目**：海洋公益性行业科研专项经费资助项目（201305038）；广东省海洋与渔业局 2012 年资助项目．

氮(DIN)、无机磷酸盐(DIP)、石油类(Oil)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、镍(Ni)、汞(Hg)、砷(As)、总铬(Cr)。其中,水温、盐度、pH 等为现场监测,其他项目在实验室分析测试;过滤水样中铜、铅、锌、镉、镍、汞、砷、总铬等项目用 2% HNO_3 酸化稀释 5 倍后,用电感耦合等离子质谱仪(Agilent Technology,ICP—MS 7500Cx)测试。流速采用便携式流速仪(南京水利水文自动化研究所,LS1206B)测定,并用流速—面积法计算流量。

2.2 统计分析和评估方法

鉴于雷州湾沿岸生活废水、城市径流和农业径流等产生的污染物大多汇入河流以点源形式输入雷州湾,因此上述各类污染形式均以点源类型处理。同时,雷州湾围海养殖分布广、面积大,为便于统计计算,本研究根据养殖分布位置和养殖密度高低情况,把近岸围海养殖产生的污染物也以点源形式加以统计计算。为此,不同污染源污染物的入海通量均采用以下公式估算[6-7]:

$$T_i = C_i \times Q \tag{1}$$

式中:C_i 为某种污染物在入海口处的断面平均浓度;Q 为断面平均流量。年入海通量为丰水期和枯水期的入海通量之和。不同类型污染源污染负荷采用某污染源或污染物入海通量占总入海通量的百分比进行评估。

陆源污染对雷州湾水质的影响分析采用单因子污染指数法进行评价[8],水质类别根据雷州湾近期海洋功能区划的水质要求确定。

3 结果与分析

3.1 雷州湾河流污染物入海通量

3.1.1 雷州湾主要入海河流

根据雷州湾沿岸城镇分布和入海河流流量情况,雷州湾沿岸入海河流主要有湖光河、大坡塘河、城月江、通明河和南渡河等 5 条大小河流。这些河流分别隶属于湛江市麻章区湖光镇和太平镇、雷州市沈塘镇、附城镇、雷高镇等,雷州湾东北部东海岛沿岸未发现有显著径流的河流存在。雷州湾沿岸大小河流的分布情况详见图 1。

湖光河,编号 HL1,隶属于湖光镇,入河污水来源包括沿河乡镇居民生活污水、农田废水、沿河流域的金海糖厂等小微企业外排废水及下游河口区养殖废水。现场监测的丰水期和枯水期

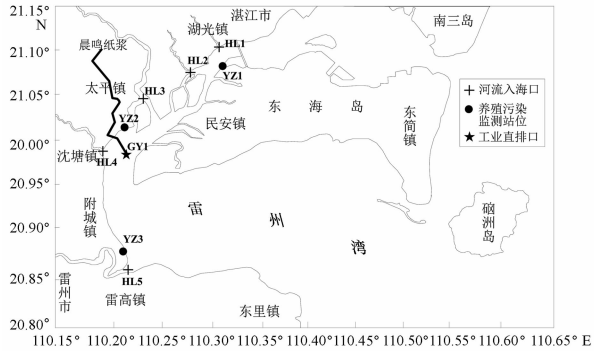

图 1 雷州湾沿岸陆源排污监测站位

平均流量分别为 1.22 m^3/s 和 1.20 m^3/s。

大坡塘河,编号 HL2,在大坡塘村附近入海,入河污水来源包括沿河乡镇居民生活污水、农田废水及下游河口区养殖废水。现场监测丰水期和枯水期平均流量分别为 3.96 m^3/s 和 1.50 m^3/s。

城月河,编号 HL3,雷州湾沿岸入海第二大河流,汇入城月河的污染物主要来自城月糖厂、广丰糖厂的部分工业废水,沿河居民的生活污水和农田废水及下游河口区养殖废水等。现场监测丰水期和枯水期平均流量分别为 5.20 m^3/s 和 4.96 m^3/s。

通明河,编号 HL4,在通明港处汇入雷州湾,入河污水来源包括沿河乡镇居民生活污水、农田废水、沿河流域的小微企业外排废水及下游河口区养殖废水。现场监测丰水期和枯水期平均流量分别为 5.00 m^3/s 和 4.50 m^3/s。

南渡河,编号 HL5,是汇入雷州湾入海的最大河流,长 97 km,入河污水来源包括沿河乡镇居民生活污水、农田废水、沿河流域的小微企业外排废水及下游河口入海区养殖废水。周边支流渡仔村河和雷高河(雷高糖厂在其上游)也汇集于该入海口区。现场监测丰水期和枯水期平均流量分别为 6.39 m^3/s 和 5.55 m^3/s。

3.1.2 雷州湾入海河流主要污染物入海通量

根据 2013 年丰水期和枯水期各主要入海河流的入海流量、污染物浓度等排海特征的调查结果,可算出在丰水期和枯水期各河流携带的主要污染物汇入雷州湾的入海通量。根据雷州湾 2013 年年均入海通量和月均入海通量监测结果显示,若按每月 30 d、每天 24 h 计算;年均入海通

量为丰水期和枯水期入海通量的总和，其中丰水期和枯水期各以 6 个月计算。

2013 年通过河流汇入雷州湾的无机氮(DIN)总量为 413.04 t，5 条河流无机氮年均汇入量由大到小依次排列为通明河(131.52 t/a)、南渡河(129.70 t/a)、城月河(91.64 t/a)、大坡塘河(40.12 t/a)、湖光河(20.06 t/a)。尽管各河流丰水期流量总体大于枯水期，但监测结果显示，枯水期各河流水体中无机氮含量略高于丰水期，因此丰水期和枯水期汇入雷州湾的无机氮月均入海通量的总和非常接近，其中，大坡塘河在丰水期的无机氮入海通量大于枯水期，而南渡河在丰水期的入海通量则小于枯水期，两期入海通量变化不大的有通明河、城月河和湖光河。2013 年通过河流汇入雷州湾的活性磷酸盐(DIP)总量为 14.63 t，总体较低，约占所有污染物入海总量的 0.12%。5 条河流活性磷酸盐的年均汇入量由大到小依次排列为湖光河(5.19 t/a)、城月河(3.85 t/a)、南渡河(2.15 t/a)、通明河(1.80 t/a)、大坡塘河(1.64 t/a)。丰水期汇入雷州湾的活性磷酸盐总量月均为 1.41 t，枯水期月均为 0.92 t。丰水期城月河和湖光河的活性磷酸盐汇入量较大，分别为 0.55 t/月和 0.39 t/月，这 2 条河流约占总汇入量的 67%；枯水期汇入量较大河流为湖光河(0.46 t/月)，约占总汇入量的 50%。

2013 年通过河流汇入雷州湾的污染型重金属总量($\sum M$)为 1 362.43 t，包括铜(Cu)、锌(Zn)、镉(Cd)、总铬(Cr)、镍(Ni)、铅(Pb)、总汞(Hg)和砷(As)等 8 种金属类物质，这 8 种重金属类物质的汇入量分别为 33.05 t/a、1 257.28 t/a、0.71 t/a、18.54 t/a、47.31 t/a、4.26 t/a、0.017 t/a、1.61 t/a，其中锌的汇入量占比超过 90%，是汇入雷州湾最大的污染重金属元素；5 条河流重金属总量的年均汇入量由大到小依次排列为南渡河(933.30 t/a)、城月河(406.78 t/a)、湖光河(17.69 t/a)、通明河(3.19 t/a)、大坡塘河(1.47 t/a)。丰水期汇入雷州湾的重金属总量月均为 147.82 t，锌的汇入量约占 92.5%；其中南渡河和城月河的重金属汇入量较大，分别为 77.49 t/月和 67.11 t/月，这 2 条河流约占总汇入量的 95%。枯水期汇入雷州湾的重金属总量大幅减少，月均仅为，1.78 t 大大低于丰水期的汇入量，其中汇入量最大的城月河也仅 0.69 t/月，枯水期入海通量降幅最大的金属为锌。丰水期大量锌元素通过河流携带入海是引起雷州湾水体和沉积物中锌含量异常升高的主要原因。

3.2　雷州湾沿岸围海养殖污染入海通量

3.2.1　雷州湾沿岸围海养殖分布状况

雷州湾沿岸围海养殖规模较大的类型主要为对虾和罗非鱼养殖，围海面积较大的区域位于湾顶通明海的两岸，其他岸滩有零星分布，面积相对较小。由于雷州湾沿岸养殖场分布广，面积大，养殖废水排放口多，难于对所有的废水排放口进行全面调查，为此把汇入雷州湾沿岸各养殖场的面污染源转换为点污染源，并根据雷州湾沿岸养殖场密集程度，在雷州湾沿岸设定 6 个养殖区(图 2)。6 个养殖区分别为东里镇养殖区、雷高镇养殖区、附城镇养殖区、湖光镇养殖区、民安镇养殖区及东简镇养殖区。

结合现场实地勘查结果，以 2013 年 12 月的遥感卫星影像数据为统计基础，利用 Google Earth 专业软件(试用版)分别统计各养殖区的养殖面积(表 1)。

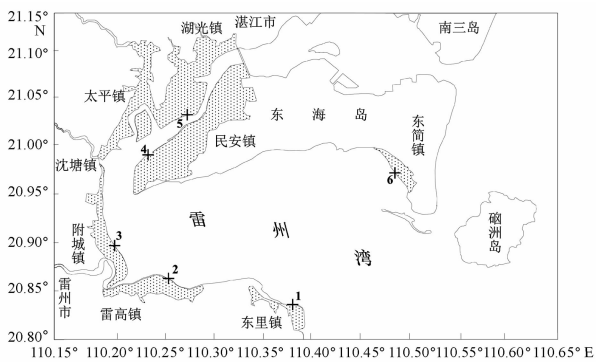

图 2　雷州湾岸滩养殖面积较大的养殖区分布示意图

据不完全统计，雷州湾沿岸围海养殖面积总计约 178.054 km^2，按平均水深 1.5 m、年均换水 2 次计[9-11]，汇入雷州湾的养殖废水年均总量为 534.2×10^6 m^3/a，各养殖区平均流量总和为 16.94 m^3/s。其中养殖废水排放量较大的为湖光镇养殖区和民安镇养殖区，这两个养殖区年流量之和占总排放量的 78.5%，是雷州湾沿岸围海养殖污染最主要的养殖污染源。

表 1 雷州湾沿岸各养殖区废水排放流量

编号	养殖区名称	面积/km^2	水深/m	换水频率/（次·a^{-1}）	年流量/（$m^3 \cdot a^{-1}$）	平均流量/（$m^3 \cdot s^{-1}$）
1	东里镇养殖区	5.476	1.50	2	16.4×10^6	0.52
2	雷高镇养殖区	15.652	1.50	2	47.0×10^6	1.49
3	附城镇养殖区	10.835	1.50	2	32.5×10^6	1.03
4	湖光镇养殖区	71.120	1.50	2	213.4×10^6	6.77
5	民安镇养殖区	68.684	1.50	2	206.1×10^6	6.53
6	东简镇养殖场	6.287	1.50	2	18.9×10^6	0.60
	合计	178.054	—	—	534.2×10^6	16.94

3.2.2 雷州湾沿岸围海养殖污染入海通量

为尽量做到不同站位同步监测，筛选了 3 个距离相距适当、废水水质代表性强的养殖废水混合入海口实施监测，具体监测站位如图 1 中 YZ1～YZ3 所示。鉴于养殖废水排放强度和周期相对稳定、污染物种类相似，为此，在计算各养殖区废水中污染物的入海通量时，各污染物含量取 2 期监测结果的平均值进行计算（表 2）。

表 2 2013 年雷州湾沿岸养殖废水排放污染物入海通量 t/a

编号	养殖污染点源	COD_{Mn}	Oil	SS	DIN	DIP	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Hg	As	∑M
1	附城镇养殖区	50.3	1.90	477.1	2.47	0.37	0.12	0.08	0.46	0.004	0.015	0.07	0.001	0.27	1.01
2	民安镇养殖区	144.2	5.44	1 367.2	7.07	1.06	0.33	0.23	1.32	0.011	0.042	0.20	0.002	0.77	2.90
3	湖光镇养殖区	99.7	3.76	945.1	4.89	0.74	0.23	0.16	0.91	0.007	0.029	0.14	0.001	0.53	2.00
4	雷高镇养殖区	655.3	24.72	6 211.9	32.12	4.83	1.51	1.04	5.99	0.049	0.190	0.90	0.007	3.48	13.18
5	东简镇养殖区	632.1	23.85	5 991.7	30.98	4.66	1.46	1.01	5.78	0.047	0.183	0.87	0.007	3.36	12.71
6	东里镇养殖区	58.1	2.19	550.5	2.85	0.43	0.13	0.09	0.53	0.004	0.017	0.08	0.001	0.31	1.17
	合计	1 639.7	61.90	15 543.6	80.40	12.10	3.79	2.61	14.99	0.120	0.470	2.25	0.020	8.71	32.97

结果显示，2013 年由于养殖排放而汇入雷州湾的主要污染物汇入量最多的污染物为悬浮颗粒物质（SS），达到 15 543.6 t/a，其次为需氧有机物质（COD_{Mn}），年排放量为 1 639.7 t/a，石油类物质（Oil）汇入量为 61.9 t/a，无机氮（DIN）汇入量为 80.4 t/a，无机磷（DIP）汇入量 12.1 t/a。2013 年汇入雷州湾的污染型重金属总量（∑M）为 32.97 t，各重金属 2013 年汇入量由大到小依次排列为锌（Zn，14.99 t/a）、砷（As，8.71 t/a）、总铬（Cr，3.79 t/a）、铜（Cu，2.61 t/a）、镍（Ni，2.25 t/a）、铅（Pb，0.47 t/a）、镉（Cd，0.12 t/a）、总汞（Hg，0.02 t/a）。6 个养殖污染排放点源汇入雷州湾的污染物总量由大到小依次排列为湖光镇养殖区（9 027.0 t/a）、民安镇养殖区（8 707.0 t/a）、雷高镇养殖区（1 986.7 t/a）、附城镇养殖区（1 373.4 t/a）、东简镇养殖区（800.0 t/a）、东里镇养殖区（693.4 t/a）。

3.3 工业直排污染物入海通量

雷州湾近岸工业类型主要有榨糖厂和纸浆厂两大类，其中大多数榨糖厂排放的废水经河流汇入雷州湾，其污染物已并入河流体系进行统计和计算；纸浆厂废水直排入海的主要有湛江市晨鸣纸浆有限公司厂外的海上排污口，其目前流量为 1.2×10^5 m^3/d（1.40 m^3/s），24 h 连续排放。2013 年 9 月和 12 月对晨鸣纸浆有限公司排海废水中主要污染物的入海通量监测结果如表 3 所示。其中，考虑到工业直排废水流量相对稳定，计算入海通量时各污染物也取 2 期监测结果的平均含量。

表 3 2013 年晨鸣纸浆有限公司直排废水主要污染物入海通量 t/a

污染物	年均入海通量
COD_{Mn}	92.90
Oil	2.34

续表

污染物	年均入海通量
SS	674.96
DIN	19.51
DIP	0.54
Cr	0.265
Cu	0.188
Zn	0.957
Cd	0.005
Pb	0.026
Ni	0.227
Hg	0.001
As	1.146
$\sum M$	2.815

结果显示，2013 年通过晨鸣纸浆有限公司厂外排污管道汇入雷州湾较多的污染物为悬浮物，达到 674.96 t/a，其次为 COD_{Mn}，汇入量为 92.90 t/a，无机氮（DIN）汇入量为 19.51 t/a，无机磷（DIP）汇入量 0.54 t/a，石油类物质（Oil）汇入量为 2.34 t/a。2013 年汇入雷州湾的污染型重金属总量（$\sum M$）为 2.815 t，各重金属 2013 年汇入量由大到小依次排列为砷（As，1.146 t/a）、锌（Zn，0.957 t/a）、总铬（Cr，0.265 t/a）、镍（Ni，0.227 t/a）、铜（Cu，0.188 t/a）、铅（Pb，0.026 t/a）、镉（Cd，0.005 t/a）、总汞（Hg，0.001 t/a）。

3.4　雷州湾陆域入海污染负荷与总体评价

根据 2013 年对入海河流、养殖排放及工业直排等污染源排放特征的现场调查和统计分析，可以获得雷州湾陆源不同污染类型的入海通量（表 4）。

由表 4 的结果可以看出，2013 年通过陆源污染排放汇入雷州湾的污染物入海通量总计为 35 353.21 t/a，其中河流污染入海通量为 11 972.68 t/a，占总入海通量的 33.87%；养殖污染入海通量为 22 587.47 t/a，占总入海通量的 63.89%；工业污染直排入海通量最少，为 793.07 t/a，约占总入海通量的 2.24%。其中汇入雷州湾最多的污染物是悬浮颗粒物质，达到 24 775.71 t/a，约占总入海通量的 70%；COD_{Mn} 和石油类物质入海通量分别为 3 324.25 t/a 和 97.65 t/a，占总入海通量的 9.40% 和 0.28%；无机氮（DIN）和无机磷（DIP）的入海通量分别为 512.92 t/a 和 27.26 t/a，占总入海通量的 1.45% 和 0.08%；8 种重金属类元素的入海通量（$\sum M$）为1 398.21 t/a，占总入海通量的 3.95%。

根据表 4 中雷州湾不同陆源污染类型的入海通量统计结果，可以获得不同陆源类型污染源携带的污染物对雷州湾的污染负荷（表 5）。

表 4　2013 年雷州湾不同陆源污染类型入海通量　　t/a

污染物	河流污染入海通量	养殖污染入海通量	工业直排入海通量	合计
COD_{Mn}	1 591.63	1 639.72	92.90	3 324.25
Oil	33.45	61.86	2.34	97.65
SS	8 557.15	15 543.60	674.96	24 775.71
DIN	413.04	80.37	19.51	512.92
DIP	14.63	12.09	0.54	27.26
$\sum M$	1 362.43	32.97	2.82	1 398.21
合计	11 972.68	22 587.47	793.07	35 353.21

表 5　2013 年雷州湾不同陆源入海污染负荷　　%

污染物	河流入海污染物	养殖入海污染物	工业直排入海污染物	合计
COD_{Mn}	47.88	49.33	2.79	100.00
Oil	34.25	63.35	2.40	100.00
SS	34.54	62.74	2.72	100.00
DIN	80.53	15.67	3.80	100.00
DIP	53.67	44.35	1.98	100.00
$\sum M$	97.44	2.36	0.20	100.00

从表 5 可以看出，2013 年汇入雷州湾的各类污染物中，通过河流携带入海的量占比较大，其中占比超过 50% 的有各重金属的总和 $\sum M$（97.44%）、无机氮（DIN，80.53%）及无机磷（DIP，53.67%）等。悬浮颗粒物（SS）、石油类物质（Oil）和需氧有机物（COD_{Mn}）通过养殖排放汇入雷州湾最多，分别占各自入海总量的 62.74%、63.35% 和 49.33%。通过工业直排汇入雷州湾的各污染物最少，占比均低于 4%。

4 陆源污染对雷州湾水质的影响

多年来的《全国海洋环境质量公报》[12] 显示，陆源污染排放是影响海湾和沿岸海域环境质量的最主要方式。根据《湛江市近岸海域环境功能区划》[13] 和《广东省海洋功能区划》（2011－2020 年）[14]，雷州湾海域近期整体执行第二类海水水质标准，现场调查结果也显示，雷州湾目前水体总体符合二类海水水质标准。为此，相对于第二类海水水质标准的限值，雷州湾沿岸陆源排放污染物的平均污染指数如表 6 所示。结果显示，绝大多数无机氮（DIN）和悬浮颗粒物（SS）的平均污染指数大于 1，说明它们的平均含量基本超过二类海水水质标准限值，是 5 条入海河流水体中的主要污染要素，因此若长期排放将对入海口区的海水水质造成无机氮和悬浮颗粒物的持久污染。此外，有些入海河流中石油类（Oil）、铜（Cu）、锌（Zn）和镍（Ni）等的含量较高，平均污染指数较大，也是恶化入海口区水质的主要污染因素，其中湖光河、城月河和南渡河入海区的水体受到锌、镍和铜的污染较严重。

表 6 2013 年各类点源污染物的单因子平均污染指数

点源	COD_{Mn}	Oil	SS	DIN	DIP	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Hg	As
湖光河	0.96	1.32	1.17	2.65	4.57	1.02	1.73	8.47	0.04	0.45	1.86	0.11	0.07
大坡塘河	0.71	0.77	1.76	2.33	0.64	0.58	0.30	0.17	0.02	0.10	0.20	0.09	0.05
城月河	1.03	0.76	1.33	2.86	0.79	3.37	6.22	46.33	0.14	1.55	9.08	0.09	0.15
通明河	0.85	1.04	0.82	4.39	0.40	0.52	0.35	0.17	0.01	0.12	0.21	0.21	0.06
南渡河	0.67	2.10	1.41	2.54	0.35	4.47	8.09	63.37	0.18	2.11	11.67	0.16	0.09
养殖混合排放口	1.04	2.35	2.95	0.76	0.76	0.72	0.50	0.57	0.05	0.18	0.43	0.17	0.55
工业直排口	0.66	1.05	1.62	2.40	0.40	0.62	0.43	0.42	0.02	0.12	0.49	0.14	0.88

注：以第二类海水水质标准限值作为参照标准.

与二类海水水质标准限值对比，近岸围海养殖废水中的悬浮物、石油类和需氧有机物等的污染指数大于 1，不能满足雷州湾近期海洋功能区划的水质要求。因此，围海养殖废水的长期排放将恶化排放区的水体质量，引起排放区水体中悬浮物、石油类和需氧有机物的持久污染。工业直排废水中无机氮和悬浮物的平均污染指数较大，分别为 2.40 和 1.62；此外，该直排口目前流量高达 1.2×10^5 m^3/d，扩散范围广，超标面积较大。因此，晨鸣纸浆有限公司废水的长期排放已引起排放区无机氮和悬浮颗粒物等较严重的污染，需引起有关管理部门的重视。

5 结束语

通过陆源汇入雷州湾的污染物入海通量最多的是围海养殖占总入海通量的 63.89%，其次为入海河流，占总入海通量的 33.87%，工业污染直排入海通量最少，约占总入海通量的 2.24%。入海通量最多的污染物为悬浮颗粒物，约占总入海通量的 70%，其次为 COD_{Mn}，约占 9.40%，8 种重金属类总入海通量约占 3.95%。

在 5 条入海河流中，南渡河污染物入海通量最多，其次为城月河和大坡塘河，湖光河最少。河流污染物入海通量最多的是悬浮颗粒物，占 71.47%，其次为 COD_{Mn}，占 13.29%。8 种重金属类元素入海通量为 1 362.43 t/a，其中锌的入海通量占比超过 90%，是主要的污染重金属。与第二类海水水质标准对照，入海河流中无机氮和悬浮颗粒物是主要的污染物质，湖光河、城月河和南渡河入海区的水体受到锌、镍和铜的污染也

较严重。

围海养殖污染主要集中在雷州湾湾顶的两岸，主要的污染物为悬浮颗粒物、石油类物质和需氧有机物，分别占各自入海总量的 62.74%、63.35%和 49.33%，围海养殖废水的长期排放将引起排放区水体中悬浮物、石油类和需氧有机物的持久污染。通过工厂直排汇入雷州湾的各污染物入海总量最少，在各自的总入海通量中占比均未超过 4%；晨鸣纸浆有限公司直排废水中无机氮和悬浮物的平均污染指数为 2.40 和 1.62，是主要的污染物。

参考文献

[1] 中国海湾志编辑委员会．中国海湾志第十分册(广东省西部海湾)[M]．北京：海洋出版社，1999.

[2] 张希然，罗旋．湛江港和雷州湾海涂土壤特性[J]．热带地理，1987，7(2)：128－136.

[3] 广东省海岸带和海涂资源综合调查大队．广东省海岸带和海涂资源综合调查报告[R]．北京：海洋出版社，1987：278－288.

[4] 国家质量监督检验检疫总局，国家标准化管理委员会．GB12763－2007 海洋调查规范[S]．2007.

[5] 国家质量监督检验检疫总局，国家标准化管理委员会．GB17378－2007 海洋监测规范[S]．2007.

[6] 中国环境监测总站．沿海地区入海河流污染物通量监测实施方案(试行)[EB/OL]．(2008－01－28)[2014－08－01]．http://www.cncmc.cn/publish/totalWebBite/news/news_11217.html.

[7] 黄浩，陈彬，马志远，等．港湾入海污染物估算方法研究及示范应用[J]．海洋环境科学，2011，30(4)：564－568.

[8] 环境保护部．HJ 442－2008 近岸海域环境监测规范 [S]．2008.

[9] 林钦，林燕棠，李纯厚，等．我国海水网箱养殖环境氮磷负荷量的评估[J]．热带海洋，1998，21(3)：217－225.

[10] 李纯厚，黄洪辉，林钦，等．海水对虾池塘养殖污染物环境负荷量的研究[J]．农业环境科学学报，2004，23(4)：545－550.

[11] 舒廷飞，温琰茂，周劲风，等．哑铃湾网箱养殖环境容量研究：Ⅰ．网箱养殖污染负荷分析计算[J]．海洋环境科学，2005，24(1)：21－23.

[12] 国家海洋局．海洋环境质量公报[R]．2010—2013.

[13] 广东省环境保护局．湛江市近岸海域环境功能区划[Z]．2007.

[14] 广东省人民政府．广东省海洋功能区划(2010－2020 年)[Z]．2013.

(上接第 84 页)

国家的溢油应急合作具有一定的借鉴作用。南海周边国家存在岛礁主权和海域权益争端，冲突事件时有发生，为建立多边互信，相关国家积极推动南海低敏感领域合作。在此背景下，开展南海区域溢油应急合作机制研究顺应了我国推进南海合作、建立南海互信的政策导向，同时对保护南海海洋生态环境、缓解南海海洋权益争端的僵局、开辟南海和平合作新路径具有独特的意义。

参考文献

[1] 中国科普博览．欧洲的海——北海[EB/OL]．[2014－02－06]．http://www.kepu.net.cn/gb/earth/ocean/abc/abc113.html.

[2] ITOPF. TORREY CANYON, United Kingdom, 1967[EB/OL]. (2014－05－23) [2014－05－30]. http://www.itopf.com/in－action/case－studies/case－study/torrey－canyon－united－kingdom－1967/.

[3] HANNS J, BUCHOL Z. The Baltic Sea: lesson learned [C]// VALENCIA, MARK J. Maritime Regime Building. The Hague: Kluwer Law International, 2001:17.

[4] MOORADIAN, CHRISTOPHER P. Protecting "sovereign rights": the case for increased coastal state jurisdiction over vessel-source pollution in the exclusive economic zone [J]. Boston University Law Review, 2002(82):768－69.

[5] MYRON H N, MOORE J. International Energy Policy, the Arctic and the Law of the Sea [C]// Leiden; Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 2005:157.

[6] MYRON H N, MOORE J. The Stockholm Declaration and Law of the Marine Environment[C]// Leiden; Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 2003:183.

[7] What is the Bonn Agreement? [EB/OL]. [2014－07－03]. http://www.bonnagreement.org/.