

大鹏液化天然气接收站冷排水对海域水体环境的影响初探

唐俊逸¹, 王远飞², 杨青云¹, 洪 钟¹, 赵振业^{1,3}

(1. 深圳市深港产学研环保工程技术股份有限公司, 广东 深圳 518057;

2. 深圳市水务规划设计院有限公司, 广东 深圳 518022;

3. 深圳海岸与大气研究重点实验室, 广东 深圳 518057)

摘 要:以 2002—2015 年水质环境调查数据为基础, 利用主成分分析法(Principal Components Analysis, PCA)分别对大鹏液化天然气 LNG(Liquefied Natural Gas)接收站附近水域以及大鹏湾海域的水质环境变化情况进行了分析, 在对海域污染变化情况分析的基础上, 比较了大鹏液化天然气接收站附近水域和大鹏湾海域的水体环境的变化趋势, 辨析了大鹏液化天然气接收站运营前后对区域水体环境的影响。研究表明, 大鹏湾海域整体水质状况和各水质级别海域面积占比较为稳定, 其海域内污染源的情况也处于基本稳定的状态, 接收站附近水域和大鹏湾海域水体环境呈现一致的变化趋势, 大鹏液化天然气接收站对大鹏湾海域以及其附近水域水体环境质量几乎没有产生影响。

关键词:LNG 接收站; 冷排水; 主成分分析; 水体环境

中图分类号:X83

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2018)03-0449-11

doi:10.3969/j.issn.1671-6647.2018.03.011

液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)是常温的天然气经过脱酸和脱水过程处理, 再经由冷冻工艺液化后, 形成的低温液体($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$), 其密度较常温天然气大大增加, 更有利于长距离运输。进口 LNG 运抵接收站后还需要加热至常温才能正常使用。由于深圳市陆域空间狭小, 经济快速发展对海域环境造成了持续的压力, 入海陆源污染物超标排放, 赤潮现象时有发生, 海洋生物多样性受持久性有机污染物威胁等。当前, 深圳近岸油气仓储、城市密集区、临海工业区等功能冲突, 亟需调整优化。

大鹏湾地处亚热带, 面临南海, 南北向深入陆地, 与大亚湾对称于大鹏半岛, 夏季长、冬季短, 气候温和潮湿, 呈亚热带海洋性气候。陆域面积 302 km^2 , 海域面积 305 km^2 , 海岸线长 133.22 km 。大鹏液化天然气接收站位于深圳市东部大鹏湾东北岸的下沙村, 占地约 40 hm^2 , 站址与深圳东部电厂隔山相邻, 西距罗湖区约 33 km , 南与香港隔海相望, 距离香港岛约 40 km 。库区终端设施包括了 4 个 16 万 m^3 的 LNG 大型储罐, 48.4 万 m^3 LNG 货船停泊卸料码头(1 号泊位 $8\sim 21.7\text{ 万 m}^3$, 2 号泊位主力船型 14.7 万 m^3 , 兼顾 $3\sim 26.7\text{ 万 m}^3$), 槽车灌装站, LNG 气化装置, 天然气计量站, 自动中央控制系统及其他配套装置等。

Ankit 等^[1]采用 MIKE-21 进行了二维水动力和对流扩散模拟, 确定了 LNG 接收站适当的取排水位置; 同时还应用该模拟方法评估了 LNG 接收站冷排水对 Gulf of Kutch 造成的影响。Hideyuki 和 Susumu^[2]和 Elsayed^[3]分别对 LNG 船舶泄漏以及装卸风险进行了评价。Bai 等^[4]模拟 LNG 工程冷排水中余氯排放, 并通过毒理实验研究了海洋中余氯对大黄鱼仔鱼和幼鱼的毒理效应。张继周^[5]分析了 LNG 接收站工程造成的冷排水排放与余氯排放造成的生态影响。张明珠和朱嵩^[6]以深圳 LNG 项目为例, 建立了三维数值模型

收稿日期:2017-08-22

资助项目:深圳市规划和国土委员会(市海洋局)专项资金资助项目——大鹏液化天然气接收站冷排水对东部近海生态系统的影响研究(2015 年)

作者简介:唐俊逸(1991-), 男, 四川西昌人, 硕士, 主要从事海洋生态环境与污染物总量控制方面研究. E-mail: kens_i@163.com

(王佳实 编辑)

开展典型季节温度场的预测以及温升叠加影响分析。目前关于冷排水状况的研究多集中于 LNG 综合利用、设计工艺、运输泄漏、风险分析和生物毒性等,甚少针对于生态环境影响开展研究。

本文收集大鹏液化天然气接收站附近海域水体理化因子特征等参数的历史资料,运用主成分分析法,在同一评价指标体系中,探讨并分析大鹏液化天然气接收站附近水域和大鹏湾海域环境变化的趋势,辨析大鹏液化天然气接收站冷排水对区域环境的影响^[7-8]。

1 主成分分析评价方法

1.1 建立原始变量矩阵

当评价问题涉及 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ 个指标,每个评价对象观测的 p 个指标构成了一个样本值。 n 个评价对象有 n 个 p 维向量,构成 $n \times p$ 阶的数据矩阵 $\mathbf{X}$,

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对于数据矩阵 $\mathbf{X}$,主成分分析解决的统计问题是找出反映 p 个指标的线性函数 $\sum_{i=1}^p a_i x_i$,通过该线性函数的差异,将 p 个指标在 n 个样本中的差异综合表示出来。

1.2 指标数据预处理

在进行主成分分析前,需要对原始指标数据进行量纲归一化处理,以有利于各指标在同一评价指标体系中进行比较与分析。本研究涉及的评价指标属性分为 2 种:1)正向指标,即指标值越高,生态环境质量越差;2)负向指标,即指标值越低,生态环境质量越好。在进行量纲归一化处理前,需要将负向指标转换成正向指标,本研究采用的方法是取原数值的倒数。

目前,最常用的量纲归一化的方法为标准差标准化法,即

$$ZX_i = \frac{X_i - \overline{X_i}}{S_i} \quad (2)$$

式中, ZX_i 为 i 指标的量纲归一化后的数值; X_i 为 i 指标的原始数值; $\overline{X_i}$ 为 i 指标的样本均值; S_i 为 i 指标的样本标准差; n 为样本个数。

1.3 主成分分析适用性检验

对于多层次、多指标的生态环境质量评价指标体系,并不是所有的指标数据都适合做主成分分析。因此,在进行主成分分析之前,要进行适用性检验。由于主成分分析法是运用降维的思想,得到主成分、简化数据结构以解决数据的相关性问题,所以原始数据各个变量之间应存在较强的相关性,存在数据结构简化的可能性。适用性检验的理论前提即原始数据各个变量之间有较强的线性相关。常见的检验方法^[9]有:

1) 巴特莱特球形检验(Bartlett Test of Sphericity)

该检验的零假设视相关矩阵为单位矩阵,如果拒绝零假设,则认为相关矩阵不是单位矩阵,原始变量数据之间存在相关性。一般认为,如果其相伴概率(Sig.)小于显著性水平,通常为 0.05,则拒绝零假设,原始变量数据适合做主成分分析。

2) KMO 检验(Kaiser-Meyer-Olkin)

该检验侧重对比简单相关系数和偏相关系数的相对大小。如果所有变量之间的简单相关系统的平方和

远远大于偏相关系数的平方和,变量之间的偏相关系数则越小,KMO 值越接近 1,原始变量数据越适合做主成分分析。KMO 的取值介于 0 和 1 之间,Kaiser 给出了 KMO 的度量标准,详见表 1。

表 1 KMO 值的度量标准

Table 1 The measure standard of KMO

KMO 值	适用性程度
[0,0.5)	不适合
[0.5,0.6)	基本适合
[0.6,0.7)	适合
[0.7,0.8)	一般
[0.8,0.9)	好
[0.9,1]	非常好

1.4 计算相关系数矩阵

根据标准化后的矩阵,计算评价指标的样本相关系数矩阵 R ,

$$R = (\rho_{ij})_{p \times p} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1p} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{p1} & \rho_{p2} & \cdots & \rho_{pp} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中, ρ_{ij} 为原变量 x_i 和 x_j 的相关系数,计算公式为

$$\rho_{ij} = \frac{1}{n} \times \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{s_i s_j} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}. \quad (4)$$

1.5 确定主成分

由特征方程式 $|\lambda I - R| = 0$, 可得 p 个特征根 $\lambda_i (i = 1, 2, 3, \dots, p)$, 按其大小排列为 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$, 从数学上可以证明特征根 λ_i 即是主成分的方差。通常认为应该提取特征值大于 1 的主成分, 如果特征值小于 1, 说明该主成分的解释力度不如直接引用原变量的解释力度大。每个特征根对应一个特征向量 $\vec{a}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}) (i = 1, 2, 3, \dots, p)$, 其对应的主成分 (N_i) 表达式为

$$N_i = a_{i1}z_1 + a_{i2}z_2 + \dots + a_{ip}z_p, \quad (5)$$

式中, 特征向量 ($\vec{a}_{ij}$) 可利用因子载荷系数 (u_{ij}) 与特征值 (λ_i) 的关系求得

$$\vec{a}_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sqrt{\lambda_i}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad j = 1, 2, 3, \dots, p. \quad (6)$$

1.6 确定主成分个数

方差贡献率 (F_1) 用来反映各个主成分的信息量的大小, 表示为

$$F_1 = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}. \quad (7)$$

累计贡献率 (F_2) 用来反映前 m 个主成分信息综合能力的大小, 表示为

$$F_2 = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \right). \quad (8)$$

一般认为当累计贡献率大于 85% 时, 可以用选取的符合条件的 m 个主成分代替原变量, 同时也能包含原变量的大部分信息。

1.7 确定综合评价函数

对 m 个符合条件的主成分 $N_i = a_{i1}z_1 + a_{i2}z_2 + \cdots + a_{ip}z_p$ 进行加权求和, 即可得最终评价函数(I)。

$$I = w_1 \times N_1 + w_2 \times N_2 + \cdots + w_m \times N_m, \quad (9)$$

式中, $w_m = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_p}$ 。

2 海域生态环境变化过程分析

2.1 海域污染变化情况分析

深圳市大鹏湾海域入海排污口共有 13 个, 整体水质状况较好, 除葵涌外, 其他入海排污口仅有少数指标超标^[9]。根据深圳市海洋环境状况公报, 2002—2015 年大鹏湾海域不同水质级别海域面积占比见图 1, 除 2004 年, 大鹏湾海域符合第一、二类海水水质标准的海域面积较为稳定, 其面积比例维持在 90% 左右。第三类和第四类水体主要出现在沙头角湾至盐田港海域, 主要超标因子是无机氮。由大鹏湾海域整体水质状况和各水质级别海域面积占比可以得出, 其海域内污染源的情况是基本稳定的。

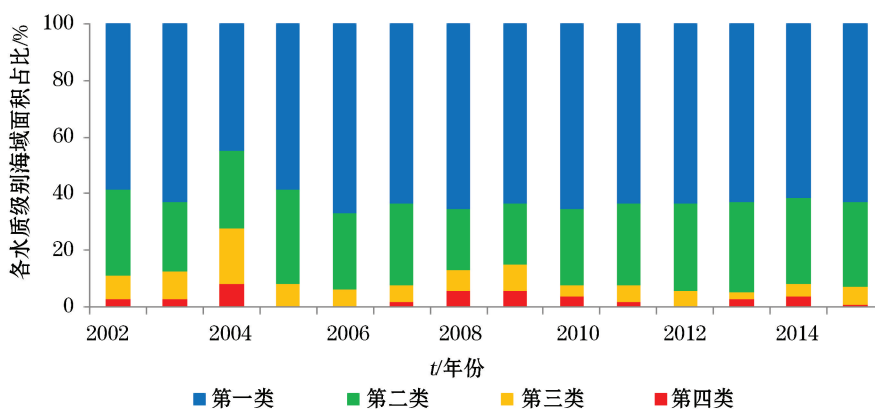


图 1 2002—2015 年大鹏湾海域不同水质级别海域面积占比

Fig.1 The ratio of different water quality areas to Dapeng Bay area in 2002—2015

2.2 海域水质环境变化主要因子分析

由于在液化天然气接收和气化过程中, 需要使用海水提供热能, 导致 LNG 接收站向海洋中排放大量温度相对较低的海水, 引起一定范围内海水温度异常变化。因此, 大鹏液化天然气接收站对海域水体环境的主要影响是海水的理化性质。此外, 由于活性磷酸盐、无机氮和化学需氧量等富营养指标是影响深圳近岸水体环境的主要指标, 且附近有盐田港等港区, 由此确定盐度、水温、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮和石油类七个指标作为分析海域水质环境变化的主要因子。

本研究数据来源于深圳市海洋环境状况公报, 调查站位如图 2 所示, 共布设 12 个调查站位。其中以大

鹏 LNG 接收站为圆心,8 km 为半径的圆内,由大鹏半岛西部岸线和香港深圳的海域边界围起来的海域为接收站附近水域范围,共设置 4 个调查站位。

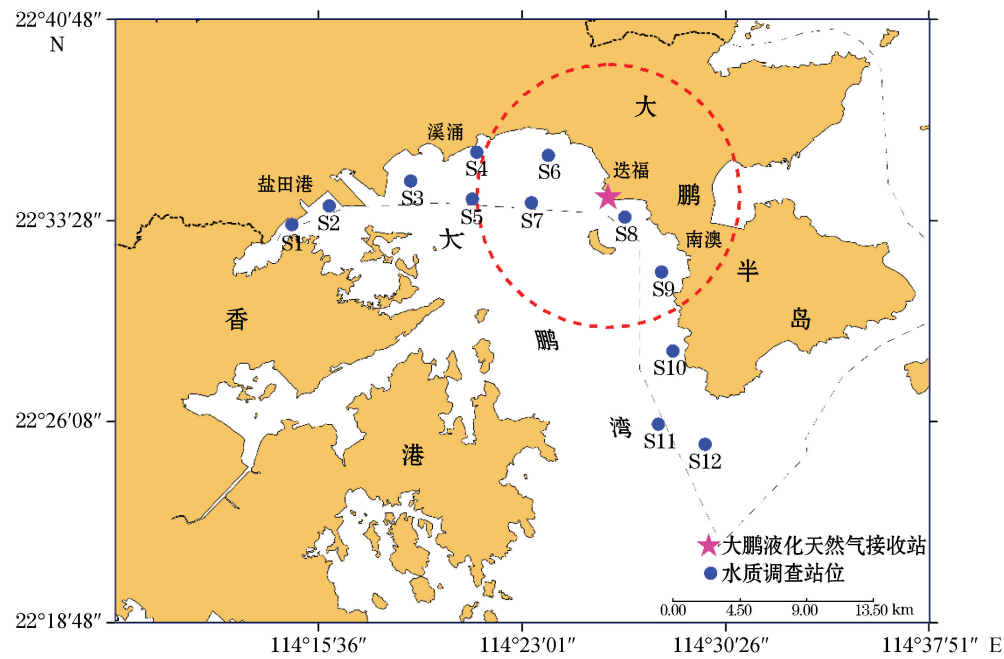


图 2 水质调查站位图
Fig.2 Locations of water quality survey sampling station

2.3 海域水质环境变化过程分析

由于冷排水在夏季时对环境(表 2,表 3)的影响最大,选取 2002—2015 年的夏季调查数据对大鹏湾海域和接收站附近水域水环境变化过程进行评价,样本为 14 个^[8],运用 SPSS19.0 采用标准差标准化法对其量纲归一化后的指标数据进行主成分分析^[10-11]。本研究涉及的评价指标属性分为两种,即正向指标和负向指标。对于正向指标,指标值越高表征生态环境质量越差;对于负向指标,指标值越低表征生态环境质量越好。将负向指标转换成正向指标进行量纲归一化处理,本研究采用的方法是取原数值的倒数。

表 2 2002—2015 年大鹏湾海域水质环境质量评价指标数据

Table 2 Water quality and environmental index evaluation data of Dapeng Bay area in 2002—2015							
年 份	盐 度	水温/℃	溶解氧 /mg·L ⁻¹	化学需氧量 /mg·L ⁻¹	活性磷酸盐 /mg·L ⁻¹	无机氮 /mg·L ⁻¹	石油类 /mg·L ⁻¹
2002	28.6	30.3	6.87	0.87	0.003 3	0.037	0.069 0
2003	31.4	29.1	6.68	1.58	0.002 7	0.040	0.052 5
2004	24.3	30.5	2.01	8.60	0.004 2	0.428	0.044 4
2005	28.2	29.0	7.72	0.64	0.005 7	0.196	0.040 3
2006	29.7	29.3	6.72	0.73	0.005 9	0.193	0.249 9
2007	32.0	29.4	4.76	0.73	0.007 1	0.176	0.016 0
2008	30.5	29.8	7.10	0.60	0.004 8	0.130	0.012 1
2009	30.2	30.3	7.17	0.45	0.007 3	0.065	0.063 7
2010	29.3	30.2	6.43	0.65	0.005 5	0.190	0.087 8
2011	31.7	27.1	6.32	1.27	0.012 6	0.146	0.011 5
2012	31.3	28.2	7.56	0.95	0.002 8	0.102	0.030 5
2013	31.2	26.5	6.42	0.85	0.009 4	0.083	0.022 6
2014	33.2	26.8	5.32	0.72	0.013 0	0.145	0.021 8
2015	32.8	27.3	7.23	0.77	0.005 8	0.180	0.027 4

表 3 2002—2015 年接收站附近水域水质环境质量评价指标数据
Table 3 Water quality and environmental index evaluation data of sea area nearby Dapeng
LNG receiving station in 2002—2015

年 份	盐 度	水温/℃	溶解氧 /mg · L ⁻¹	化学需氧量 /mg · L ⁻¹	活性磷酸盐 /mg · L ⁻¹	无机氮 /mg · L ⁻¹	石油类 /mg · L ⁻¹
2002	28.5	30.6	6.56	0.85	0.001 3	0.032	0.063 3
2003	31.7	29.3	6.78	1.63	0.002 9	0.031	0.036 7
2004	24.7	30.2	1.22	7.54	0.005 0	0.290	0.043 3
2005	26.3	29.0	8.11	0.64	0.005 1	0.223	0.041 7
2006	29.7	29.3	6.73	0.73	0.004 3	0.206	0.082 6
2007	31.8	29.4	5.27	0.59	0.004 6	0.182	0.066 0
2008	30.9	29.8	6.50	0.37	0.004 4	0.085	0.062 1
2009	30.5	31.4	7.16	0.37	0.007 5	0.067	0.080 5
2010	29.0	30.7	6.52	0.70	0.005 8	0.269	0.034 5
2011	33.2	27.2	6.59	0.97	0.009 8	0.091	0.011 4
2012	31.3	28.5	8.23	1.08	0.002 7	0.104	0.029 6
2013	31.4	26.7	6.37	0.85	0.004 9	0.075	0.019 5
2014	33.3	26.8	5.21	0.73	0.011 1	0.108	0.018 8
2015	33.0	27.5	7.45	0.74	0.004 8	0.171	0.024 4

通过巴特莱特球形检验(Bartlett Test of Sphericity)和 KMO 检验(Kaiser-Meyer-Olkin)^[10]后,计算相关系数矩阵 R ,矩阵 R 中 ZX_1 为盐度, ZX_2 为水温, ZX_3 为溶解氧, ZX_4 为化学需氧量, ZX_5 为活性磷酸盐, ZX_6 为无机氮, ZX_7 为石油类。由相关系数矩阵来初步判定关程度,结果见表 4 和表 5。

表 4 大鹏湾海域水质环境指标的相关系数矩阵

Table 4 The correlation coefficient matrix of water quality and environmental index evaluation data of Dapeng Bay sea area

指 标	ZX_1	ZX_2	ZX_3	ZX_4	ZX_5	ZX_6	ZX_7
ZX_1	1.000	-0.673	-0.667	-0.730	0.449	-0.612	-0.242
ZX_2	-0.673	1.000	0.293	0.297	-0.646	0.212	0.323
ZX_3	-0.667	0.293	1.000	0.964	-0.080	0.822	-0.080
ZX_4	-0.730	0.297	0.964	1.000	-0.206	0.779	-0.061
ZX_5	0.449	-0.646	-0.080	-0.206	1.000	-0.018	-0.216
ZX_6	-0.612	0.212	0.822	0.779	-0.018	1.000	0.087
ZX_7	-0.242	0.323	-0.080	-0.061	-0.216	0.087	1.000

表 5 接收站附近水域水质环境指标的相关系数矩阵

Table 5 The correlation coefficient matrix of water quality and environmental index evaluation data
of sea area nearby Dapeng LNG receiving station

指 标	ZX_1	ZX_2	ZX_3	ZX_4	ZX_5	ZX_6	ZX_7
ZX_1	1.000	-0.581	-0.603	-0.604	0.358	-0.680	-0.451
ZX_2	-0.581	1.000	0.203	0.175	-0.398	0.222	0.612
ZX_3	-0.603	0.203	1.000	0.976	0.013	0.803	0.043
ZX_4	-0.604	0.175	0.976	1.000	-0.079	0.764	0.058

续表							
指 标	ZX_1	ZX_2	ZX_3	ZX_4	ZX_5	ZX_6	ZX_7
ZX_5	0.358	-0.398	0.013	-0.079	1.000	0.029	-0.258
ZX_6	-0.680	0.222	0.803	0.764	0.029	1.000	0.072
ZX_7	-0.451	0.612	0.043	0.058	-0.258	0.072	1.000

计算相关系数矩阵 R 的特征值 λ_i , 方差和累计贡献率, 计算结果详见表 6 和表 7, 由此确定主成分个数。

表 6 大鹏湾海域水质环境指标的特征值及贡献率
Table 6 The characteristic value and contribution rate of water quality and environmental index evaluation data of Dapeng Bay sea area

成 分	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
N_1	3.648	52.115	52.115
N_2	1.738	24.834	76.949
N_3	0.859	12.266	89.215
N_4	0.348	4.972	94.187
N_5	0.215	3.067	97.254
N_6	0.178	2.550	99.803
N_7	0.014	0.197	100.000

表 7 接收站附近水域水质环境指标的特征值及贡献率
Table 7 The characteristic value and contribution rate of water quality and environmental index evaluation data of sea area nearby Dapeng LNG receiving station

成 分	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
N_1	3.498	49.979	49.979
N_2	1.857	26.523	76.501
N_3	0.777	11.105	87.606
N_4	0.369	5.273	92.880
N_5	0.323	4.616	97.496
N_6	0.160	2.289	99.785
N_7	0.015	0.215	100.000

由表 6 和表 7 可知, 大鹏湾海域水质环境指标和接收站附近水域水质环境指标第一主成分 N_1 、第二主成分 N_2 、第三主成分 N_3 的累计贡献率分别为 89.215% 和 87.606%, 均大于 85%, 说明这 3 个主成分已能够反映其相应水质环境指标所能提供的绝大部分信息。鉴于此, 本研究利用 N_1 , N_2 和 N_3 三个主成分对大鹏湾海域和接收站附近水域水质环境质量进行评价。计算选取的 3 个主成分对应的载荷矩阵, 结果见表 8 和表 9。

表 8 大鹏湾海域水质环境指标主成分载荷矩阵

Table 8 The principal component load matrix of water quality and environmental index evaluation data of Dapeng Bay sea area

指 标	N_1	N_2	N_3
ZX_1	-0.902	0.196	0.000
ZX_2	0.616	-0.650	-0.156
ZX_3	0.883	0.414	-0.011
ZX_4	0.905	0.336	-0.069
ZX_5	-0.420	0.712	0.401
ZX_6	0.807	0.380	0.253
ZX_7	0.171	-0.585	0.778

表 9 接收站附近水域水质环境指标主成分载荷矩阵

Table 9 The principal component load matrix of water quality and environmental index evaluation data of sea area nearby Dapeng LNG receiving station

指 标	N_1	N_2	N_3
ZX_1	-0.881	0.233	0.014
ZX_2	0.546	-0.678	0.162
ZX_3	0.870	0.428	-0.017
ZX_4	0.865	0.394	-0.107
ZX_5	-0.265	0.610	0.734
ZX_6	0.840	0.351	0.069
ZX_7	0.379	-0.714	0.442

主成分载荷表示各个指标与主成分之间的相关系数,用表 8 和表 9 中数据除以主成分对应的特征值的平方根就能得到各个指标对应的特征向量,特征向量即是主成分表达式系数。

由此可得,大鹏湾海域水质环境指标主成分表达式为

$$N_1 = \left(\begin{array}{c} -0.902ZX_1 + 0.616ZX_2 + 0.883ZX_3 + 0.905ZX_4 - \\ 0.420ZX_5 + 0.807ZX_6 + 0.171ZX_7 \end{array} \right) / \sqrt{3.648}, \quad (10)$$

$$N_2 = \left(\begin{array}{c} 0.196ZX_1 - 0.650ZX_2 + 0.414ZX_3 + 0.336ZX_4 + \\ 0.712ZX_5 + 0.380ZX_6 - 0.585ZX_7 \end{array} \right) / \sqrt{1.738}, \quad (11)$$

$$N_3 = \left(\begin{array}{c} 0.000ZX_1 - 0.156ZX_2 - 0.011ZX_3 - 0.069ZX_4 + \\ 0.401ZX_5 + 0.253ZX_6 + 0.778ZX_7 \end{array} \right) / \sqrt{0.859}, \quad (12)$$

以方差贡献率作为各主成分权重,得到大鹏湾海域水质环境指标综合得分值计算表达式:

$$I = 52.115\% \times N_1 + 24.834\% \times N_2 + 12.266\% \times N_3 \quad (13)$$

同理有,接收站附近水域水质环境指标主成分表达式为:

$$N_1 = \left(\begin{array}{c} -0.881ZX_1 + 0.546ZX_2 + 0.870ZX_3 + 0.865ZX_4 - \\ 0.265ZX_5 + 0.840ZX_6 + 0.379ZX_7 \end{array} \right) / \sqrt{3.498}, \quad (14)$$

$$N_2 = \left(\begin{array}{c} 0.233ZX_1 - 0.678ZX_2 + 0.428ZX_3 + 0.394ZX_4 + \\ 0.610ZX_5 + 0.351ZX_6 - 0.714ZX_7 \end{array} \right) / \sqrt{1.857}, \quad (15)$$

$$N_3 = \left(\begin{array}{c} 0.014ZX_1 + 0.162ZX_2 - 0.017ZX_3 - 0.107ZX_4 + \\ 0.734ZX_5 + 0.069ZX_6 + 0.442ZX_7 \end{array} \right) / \sqrt{0.777}, \quad (16)$$

接收站附近水域水质环境指标综合得分值计算表达式为:

$$I = 49.979\% \times N_1 + 26.523\% \times N_2 + 11.105\% \times N_3。$$
 (17)

大鹏湾海域和接收站附近水域水质环境指标主成分分析评价结果详见表 10,主成分得分越高,表征水质环境质量越差。

表 10 水质环境指标主成分分析评价结果

Table 10 Analysis and evaluation results of principal component indicator on water quality and environmental index

年 份	大鹏湾海域水质环境指标主成分得分	接收站附近水域水质环境指标主成分得分
2002	-0.454 627	-0.442 445
2003	-0.638 148	-0.341 136
2004	3.694 759	0.970 772
2005	0.055 588	0.503 184
2006	0.133 152	0.038 336
2007	-0.058 583	-0.316 413
2008	-0.383 564	-0.321 315
2009	-0.505 400	-0.062 803
2010	0.071 262	0.272 282
2011	-0.152 312	0.057 856
2012	-0.597 836	-0.037 922
2013	-0.471 301	-0.247 527
2014	-0.266 654	-0.067 935
2015	-0.426 336	-0.004 934

2.3 海域水体环境变化原因分析

根据大鹏湾海域和接收站附近水域的水质和沉积环境的主成分分析结果,可得环境变化趋势图,详见图 3和图 4。

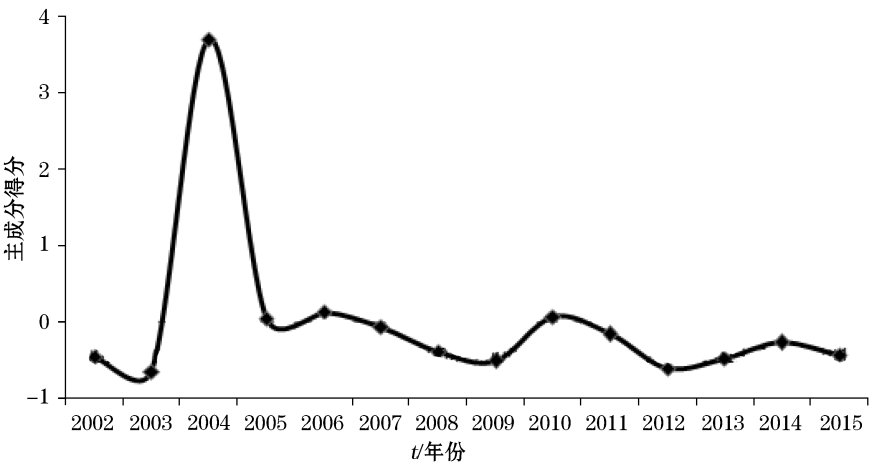


图 3 大鹏湾海域水质环境变化趋势

Fig.3 The variation trend of water quality and environmental index of Dapeng Bay sea area

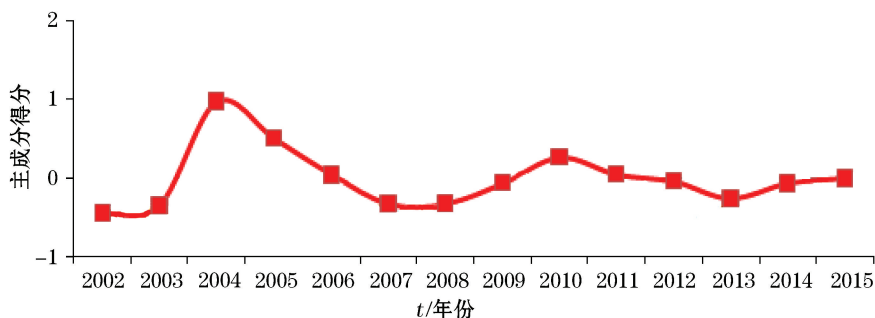


图4 接收站附近水域水质环境变化趋势

Fig.4 The variation trend of water quality and environmental index of sea area nearby Dapeng LNG receiving station

由图3和图4分析结果可知,除2004年大鹏湾海域主成分得分出现极高值外,其余年份处于正常的波动范围;接收站附近水域水质环境较为稳定,2004年受到大鹏湾海域整体污染较为严重的影响,主成分得分出现一定的上浮。参考2004年深圳市海洋环境质量公报,该年深圳海域共发生6起赤潮,其中有4起发生在大鹏湾海域,赤潮种为海洋原甲藻,故其溶解氧偏低,活性磷酸盐、无机氮偏高。

由表6和表7分析水质环境指标特征值及贡献率可知,大鹏湾海域和接收站附近水域 N_1 方差贡献率分别为52.115%和49.979%,远大于 N_2 和 N_3 ,故大鹏湾海域和接收站附近水域水质环境主要由 N_1 的溶解氧、化学需氧量 and 无机氮控制,主要来源于人为污染,可能是居民生活污水及水产养殖废水的排放造成的。

大鹏LNG接收站于2006年运营,由此可知,无论大鹏湾海域,还是接收站附近水域在该年后的一段时间内水质环境均出现变优的趋势,而后处于正常的波动,故分析认为,大鹏LNG接收站对大鹏湾海域乃至其附近水域水环境质量几乎没有影响。

3 结 语

通过主成分分析,大鹏湾海域水质环境主要由溶解氧、化学需氧量和无机氮控制,主要来源于人为污染,可能是居民生活污水及水产养殖废水的排放造成的,温度等理化因子对其影响不明显。从计算主成分得分结果来看,2002—2015年间大鹏LNG接收站附近水域和大鹏湾海域在水质环境的变化趋势基本一致,且区域内其他污染源基本稳定,由此大鹏LNG接收站对大鹏湾海域乃至其附近水域水质环境质量几乎没有影响。

参考文献(References):

- [1] ANKIT GUPTA, RITESH VIJAY, WATE S R. A simulation approach to identify sustainable options for cool seawater discharge in coastal environment[C]//International Academy Institute. International Conference on Engineering and Natural Science. Thailand: Bangkok, 2015.
- [2] HIDEYUKI O, SUSUMU O. Evaluation of consequence assessment methods for pool fires on water involving large spills from liquefied natural gas carriers[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2008(13): 178-188.
- [3] ELSAYED T. Fuzzy inference system for the risk assessment of liquefied natural gas carriers during loading/offloading at terminals[J]. Applied Ocean Research, 2009(31): 179-185.
- [4] BAI Y C, LI M, XU Z L, et al. Toxic effects on fish of residual chlorine from cooling water and evaluation method of fishery resources loss[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2011, 6(6): 634-642.
- [5] ZHANG J Z. Impacts of cold drainage and residual chlorine emissions on marine organisms at LNG Terminal[J]. Innovation and Application of Science and Technology, 2013(17): 64. 张继周. LNG接收站工程冷排水及余氯排放对海洋生物的影响研究[J]. 科技创新与应用, 2013(17): 64.

- [6] ZHANG M Z, ZHU S. 3D numerical simulation research on cold water drainage discharge form LNG terminal[J]. Pearl River, 2015, 36(5): 25-28. 张明珠, 朱嵩. LNG 接收站冷排水运动三维数值模拟研究[J]. 人民珠江, 2015, 36(5): 25-28.
- [7] HAJKOWICZ S. Multi-attributed environmental index construction[J]. Ecological Economics, 2006, 57(1): 122-139.
- [8] ZHU L. The study on evaluation of Yangzhou urban ecological environmental quality based on principal component analysis[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013. 朱蕾. 基于主成分分析法的扬州市生态环境质量评价[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- [9] LIU N, PENG T, ZHAO Z Y. Status and pollution control strategies of land into sea outfalls in Shenzhen[J]. Environmental Science and Management, 2015, 40(1): 91-93. 刘念, 鹏泰, 赵振业. 深圳陆源入海排污口现状及污染防治对策研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(1): 91-93.
- [10] TAN S J, ZHU X S, ZHOU J, et al. Environmental conditions of Shenzhen offshore water in recent 10 years[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(1): 154-160. 谭上进, 朱小山, 周进, 等. 深圳近岸海域环境状况近 10 a 变化趋势[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(1): 154-160.
- [11] FU D Y. Statistical test problems in principal component analysis[J]. Statistical Education, 2007(9): 4-7. 傅德印. 主成分分析中的统计检验问题[J]. 统计教育, 2007(9): 4-7.

The Influences of Cold Water Drainage From Dapeng LNG Receiving Station on Water Environment

TANG Jun-yi¹, WANG Yuan-fei², YANG Qing-yun¹, HONG Zhong¹, ZHAO Zhen-ye^{1,3}

(1. Shenzhen-Hong-kong Institution of Industry, Education & Research Environmental Technique Co., Ltd, Shenzhen 518057, China;

2. Shenzhen Water Planning & Desining Institute Co., Ltd, Shenzhen 518022, China;

3. Shenzhen Key Laboratory for Coastal and Atmospheric Research, Shenzhen 518057, China)

Abstract: Based on the water quality investigation data from 2002 to 2015 by using principal component analysis, we analyzed the water quality of the sea area nearby LNG receiving station and the water quality of Dapeng Bay, compared the variation trend of them, discriminated and analyzed the influence of LNG receiving station in Dapeng Bay on water environment before and after station operation. Result shows that the water quality of entire Dapeng Bay and the ratio of different water quality areas are stable. The pollution source in whole sea area is also basically stable. The variation trends of water quality in areas near receiving station and Dapeng Bay are similar, indicating the LNG receiving station has almost no effect on water quality in Dapeng Bay and its nearby water area.

Key words: LNG receiving station; cold water drainage; Principal component analysis; water environment

Received: August 22, 2017