

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学 号: 22620101151403

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

南海北部和东海表层海水中多环芳烃的  
时空分布特征研究

Spatial and Temporal Distributions of Polycyclic Aromatic  
Hydrocarbons in Surface Water of the Northern South  
China Sea and the East China Sea

押森磊

指导教师姓名: 王新红 教授

专业名称: 环境科学

论文提交日期: 2013年5月

论文答辩时间: 2013年6月

2013年6月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（王新红）课题（组）的研究成果，获得（王新红）课题（组）经费或实验室的资助，在（王新红）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）： 押淼磊

2013 年 12 月 17 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于     年     月     日解密，解密后适用上述授权。

（  ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）： 押淼磊

2013 年 12 月 17 日

## 目录

摘要.....	V
Abstract.....	VII
缩略词表.....	1
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究进展.....	2
1.2.1 PAHs 在近海环境中的的迁移和转化.....	2
1.2.2 河口的输入和海流对 PAHs 分布的影响.....	4
1.2.3 PAHs 的季节差异和变化特征.....	6
1.2.4 PAHs 的污染源解析.....	8
1.2.5 PAHs 在海气界面的传输.....	10
1.3 国内外研究中存在的主要问题.....	12
1.4 研究目标、研究内容和技术路线.....	13
第 2 章 研究方法.....	15
2.1 采样航次介绍.....	15
2.2 现场采样.....	20
2.2.1 采样设备简介.....	20
2.2.2 表层海水采样.....	21
2.2.3 大气气溶胶采样.....	22
2.3 样品分析和质量控制.....	22
2.3.1 仪器与试剂.....	22
2.3.2 前处理流程.....	24

2.3.3 气相色谱-质谱分析.....	25
2.3.4 质量控制与保证 .....	25
<b>第 3 章 南海北部和东海表层海水中 PAHs 的时空分布特征.....</b>	<b>28</b>
3.1 南海北部和东海 PAHs 的污染水平.....	28
3.2 四个季节 PAHs 的含量、空间分布特征和污染来源.....	31
3.2.1 春季 .....	31
3.2.2 夏季 .....	34
3.2.3 秋季 .....	37
3.2.4 冬季 .....	40
3.2.5 PAHs 的空间分布及海流的影响.....	43
3.3 PAHs 的季节差异.....	48
3.3.1 PAHs 浓度上的季节差异.....	48
3.3.2 PAHs 组成上的季节差异.....	50
3.3.3 不同季节 PAHs 的相态分布.....	52
<b>第 4 章 夏季 PAHs 在南海北部和东海海气界面的传输过程.....</b>	<b>58</b>
4.1 干湿沉降 .....	58
4.2 海气交换 .....	60
4.3 PAHs 在海气界面的传输及分配过程.....	63
<b>第 5 章 结论与展望.....</b>	<b>66</b>
5.1 结论 .....	66
5.2 展望 .....	67
参考文献.....	69
附录.....	79
致谢.....	95

---

## Table of Contents

<b>Abstract in Chinese</b> .....	V
<b>Abstract in English</b> .....	VII
<b>List of Abbreviation</b> .....	1
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
<b>1.1 Background</b> .....	1
<b>1.2 Research progress</b> .....	2
1.2.1 Transport and transformation of PAHs in coastal environment .....	2
1.2.2 Influences of estuarine inputs and ocean circulations on the distribution of PAHs .....	4
1.2.3 Seasonal variations and differences of PAHs .....	6
1.2.4 Source apportionments of PAHs .....	8
1.2.5 PAHs transfer at air-sea interface .....	10
<b>1.3 Existing problems of the researches</b> .....	12
<b>1.4 Objects, contents, technical routes of the research</b> .....	13
<b>Chapter 2 Materials and methods</b> .....	15
<b>2.1 Sampling cruises</b> .....	15
<b>2.2 Field samplings</b> .....	20
2.2.1 Sampling equipments and materials .....	20
2.2.2 Surface seawater sampling .....	21
2.2.3 Aerosol sampling .....	22
<b>2.3 Sample analyses and quality control</b> .....	22
2.3.1 Instruments and reagents .....	22
2.3.2 Extraction and purification .....	24
2.3.3 GC-MSD analysis .....	25

---

2.3.4 QA&QC.....	25
<b>Chapter 3 The Spatial and temporal distributions of PAHs in surface sea water of the northern SCS and the ECS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 The contamination levels of PAHs in the northern SCS and the ECS ....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 The concentrations, spatial distributions and sources of PAHs in four seasons .....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Spring.....	31
3.2.2 Summer.....	34
3.2.3 Autumn .....	37
3.2.4 Winter .....	40
3.2.5 Spatial distribution of PAHs and the influence of the ocean currents .....	43
<b>3.3 Seasonal distributions of PAHs .....</b>	<b>48</b>
3.3.1 The seasonal differences of PAHs concentrations .....	48
3.3.2 The seasonal differences of PAHs compositions .....	50
3.3.3 The phase distributions of PAHs in four seasons .....	52
<b>Chapter 4 The transfer of PAHs at air-sea interface in summer .....</b>	<b>58</b>
4.1 Atmospheric deposition.....	58
4.2 Air-sea exchange .....	60
4.3 The transfer and partitioning at air-sea interface .....	63
<b>Chapter 5 Conclusions and perspectives .....</b>	<b>66</b>
5.1 Conclusions.....	66
5.2 Perspectives .....	67
<b>References.....</b>	<b>69</b>
<b>Appendixes .....</b>	<b>79</b>
<b>Acknowledgment.....</b>	<b>95</b>

## 摘要

多环芳烃 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 是近海海洋环境中广泛存在的一类有机污染物。在自身理化性质和外部环境因子的共同作用下, PAHs 存在复杂的空间分布和组成、相态分布以及季节差异等特征。为了初步揭示 PAHs 在中国近海表层海水中的地球化学特征, 本文于 2008-2011 年的四个季节对南海北部和东海表层海水中的 15 种优控的 PAHs 进行大面采样调查, 在了解中国近海受 PAHs 污染程度的基础上, 重点研究 PAHs 在中国近海海水中的时空分布特征以及其在海气界面的传输特征, 并结合海流、浮游植物含量、悬浮颗粒物浓度、温度和盐度等环境因子对 PAHs 时空变化、相态分布、输入途径的影响进行探讨研究。得出的结论如下:

1、除个别采样站位受到 PAHs 输入的直接影响而浓度较高外, 南海北部和东海表层海水中 15 种 PAHs 总浓度在 10~150 ng/L 之间, 平均为 54.35 ng/L。与国外近海水体相比, 中国近海 PAHs 的污染浓度处于相对较高的水平, 但是仍然低于国内的河口及流域水体, 表明我国沿海水体受 PAHs 的污染程度相对较为严重。

2、四个季节表层海水中 PAHs 的浓度和组成在南海北部和东海均呈现出明显的空间分布的差异, 除了受不同区域河口输入、大气沉降和海上石油开采及航运活动等影响外, PAHs 也在海流、近海水团和沿岸流等的作用下在不同海区间进行再分布和分配; 颗粒物沉降和光降解、微生物作用等, 也使得不同海域 PAHs 的浓度和组成发生不同程度的改变。但是整体上, 在相邻的海域中占主导的单体 PAH 较为一致。

3、PAHs 在表层海水中的组成和浓度分布有明显的季节变化差异, 无论是溶解相和颗粒相, PAHs 的总浓度均呈现出夏季>秋冬季>春季的季节特征。不同季节的陆源排放、大气传输以及浮游动植物作用等强度有较大的差异; 另外, 受季风主导的海流和水团的运动方向和强度在四个季节均有较大不同; PAHs 分布也受海流的传输以及西太平洋外海海水的水动力影响。

4、利用 PAHs 特征比值和主成分分析/多元线性回归 (PCA/MLR) 等统计学的方法对 PAHs 的输入特征进行初步解析。四个季节 PAHs 的主要输入源均以石



油烃类的直接排放和燃烧、煤和生物质燃烧等为主，只是各种输入途径的强度和贡献率也存在较大的空间和季节差异。

5、表层海水中的 PAHs 约 80% 以上都分配在水相中，四个季节的悬浮颗粒物浓度与颗粒相 PAHs 浓度均呈现出显著正相关性，并且也与分配系数 ( $K_p$ ) 有较为一致的负相关关系，这均说明了悬浮颗粒物浓度是影响 PAHs 在两相间分配的重要环境因子之一。另外，盐度也对 PAHs 的相态分布起着一定的作用，但是，不同季节盐度对 PAHs 相态分配的影响程度也有较大的差异。

6、通过对 PAHs 在海气界面交换的方向的判识可知，低分子量 PAHs 的海气交换方向为净挥发，高分子量的 PAHs 表现为净沉降。结合 PAHs 组成，对其传输通量估算初步判断了夏季的中国近海可能是 PAHs 向大气中输入的“二次源”。另外，结合单体 PAH 在海气界面的分配以及其在两界面间的传输特征，发现了不同分子量的单体 PAH 在海气界面的迁移特征有较大的差别。

以往的研究均侧重于受人类直接影响的流域、河口等热点区域，在对大洋 PAHs 的研究方面，除了个别研究者对大西洋有过几个航次的研究外，针对大洋水体中 PAHs 研究结果甚少。因此，本研究选择整个中国近海表层海水中的 PAHs 作为研究对象，对其空间和季节变化特征进行研究，对进一步研究全球尺度下 PAHs 的迁移过程有重要的意义；也为下一步利用碳同位素解析 PAHs 污染来源及开发新型分子标志物以深入研究 PAHs 在河口-近岸-海洋系统中的地球化学过程打下坚实的基础。

关键词：南海北部和东海；表层海水；多环芳烃；时空分布；海气交换

## Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a group of persistent organic pollutants (POPs) known to be present worldwide in coastal waters. Because of the physicochemical properties and external environmental factors, the marine geochemical characteristics of PAHs are very complex, such as spatial distribution and composition, phase distribution and seasonal differences in coastal waters. In order to proclaim the geochemistry features in marine surface water, 15 priority control PAHs in surface waters of the northern South China Sea (SCS) and East China Sea (ECS) were sampled and analyzed in four seasons. Based on the PAHs contaminant investigations along the China coast, we focused on studying the spatial and temporal characteristics of PAHs and its transfer feature at air-sea interface. Combining with environmental factors such as ocean currents, phytoplankton mass and so on, we discussed the spatial and temporal differences, phase distributions, and input pathways of PAHs. We conclude:

1. The spatial and temporal differences of total 15 PAHs concentrations ranged from 10 to 150 ng/L (mean 54.35 ng/L), except the direct input of PAHs in some individual sites. Compared with other coastal sea waters, PAHs contamination in China coast was relatively higher, but was still lower than domestic estuaries and valleys, which indicated the serious PAHs contamination in China.

2. The PAHs concentrations in four seasons exhibited obvious spatial differences in SCS and ECS. Besides the influences of river inputs, atmospheric deposition, petroleum exploitation and shipping activities in different regions, PAHs were redistributed and partitioned under the driving of ocean currents, water masses and coastal currents in different sea areas. PAHs concentrations and compositions changed with different degrees under the particulate vertical settlement, photodegradation and microbial processes. However, the predominant individual PAHs were consistent in the adjacent waters.

3. No matter in dissolved or particulate phase, total concentrations of PAHs showed obvious seasonal differences in surface water, with summer>autumn and winter>spring. Because the emission sources, atmospheric transport, ocean currents, water masses and microbe degradation, PAHs concentrations and compositions were

very different in different seasons. In general, the combined actions of various factors finally led to the remarkable seasonal feature.

4. The diagnostic ratios and PCA/MLR were used for PAHs source apportionment. Petroleum discharge and combustion, coal and biomass fossil burning were the primary PAHs sources in four seasons, but the input strengthen and contribution rates of different sources were obviously spatial and temporal differences.

5. The percentages of dissolved PAHs were more than 80%. The concentrations of the suspended particulate matters (SPM) and particulate PAHs showed significantly positive correlations, and SPM concentration and particle-water partition coefficients of individual PAH ( $K_p$ ) play negative correlations, which all implied that SPM was a very key environmental factor for PAHs partitioning in four seasons. On the other hand, salinity also play a certain role in PAHs partitioning, while it might be not the most important influence factor in some seasons or sea areas.

6. The directions and fluxes of PAHs exchange at air-sea interface were preliminary estimated. Low molecular weight of PAHs showed net evaporation and high molecular weight of PAHs were net precipitation. And we drew a conclusion that the surface water might be the “second PAHs source” in the atmosphere in summer. In addition, combined with the partitioning and transport characteristic of the individual PAH in water and air interface, we found the transfer characteristics of different molecular weight PAHs were significant different at air-sea interface.

Previous studies had focused on the rivers, estuaries and the other hot spots directly affected by human being. However, besides some studies in Atlantic, research on the PAHs in oceanic water are quite few. Therefore, in this study, we chose the whole China coastal surface seawater as the research object to study spatial and seasonal variation characteristics of PAHs, which has significance to further study the transport processes of PAHs in the global scales, and also lays a firm foundation for the next step on apportioning the PAHs sources using carbon isotope and developing of novel molecular markers to in-depth study of the marine geochemical processes of PAHs in estuary-coast system.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs); the northern SCS and ECS; surface sea water; spatial and temporal distributions; water-air exchange.

## 缩略词表

英文简称	英文全名	中文全名
SCS	South China Sea	南海
ECS	East China Sea	东海
POPs	Persistent Organic Pollutants	持久性有机污染物
Na	Naphthalene	萘
Ace	Acenaphthylene	茈烯
Acen	Acenaphthene	茈
Flu	Fluorene	芴
Phen	Phenanthrene	菲
An	Anthracene	蒽
Fluo	Fluoranthene	荧蒽
Py	Pyrene	芘
BaA	Benzo(a)anthracene	苯并(a)蒽
Chry	Chrysene	蒽
BbF	Benzo(b)fluoranthene	苯并(b)荧蒽
BkF	Benzo(k)fluoranthene	苯并(k)荧蒽
BaP	Benzo(a)pyrene	苯并(a)芘
IP	Indeo(1,2,3-cd)pyrene	茚并(1,2,3-cd)芘
DBA	Dibenz(a,h)anthracene	二苯并(a,h)蒽
BgP	Benzo(ghi)perylene	苯并(ghi)芘
LMW	Low Molecular Weight	低分子量
HMW	High Molecular Weight	高分子量
SPM	Suspended Particulate Matters	悬浮颗粒物
TSP	Total Suspended Particulates	总悬浮颗粒物
PUF	Polyurethane Foam	聚胺酯泡沫
Kp	Partition Coefficient	分配系数
PCA	Principal Component Analysis	主成分分析法
MLR	Multiple Linear Regression Analysis	多元线性回归法
CMB	Chemical Mass Balance	化学质量平衡

## 第 1 章 绪论

### 1.1 研究背景

多环芳烃 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 是指两个或两个以上苯环以稠环的形式连接形成的一类芳香族化合物以及它们的烷基取代物, 是环境中广泛存在的一类重要的持久性有机污染物 (Persistent Organic Pollutants, POPs)。PAHs 具有一般持久性有机污染物均具有的长期残留、生物蓄积、半挥发性和长距离迁移以及高毒性等特征 (余刚等, 2001)。PAHs 在环境中虽然是微量的, 但是其持续输入、分布广泛且持久存在, 并具有生物累积性, 通过迁移转化和富集, 浓度可提高数十倍甚至上百倍; 另外, PAHs 在特定的燃烧条件下能产生剧毒致癌的二噁英 (莫里森等, 1992)。因此, 鉴于其强烈的“三致”作用等严重的危害性, USEPA 于 1979 年规定了 16 种 PAHs 作为优先控制污染物, 其分子结构式及理化性质参照文献 (叶翠杏, 2006)。我国环保部也已将某些 PAHs 作为环境污染控制的重要指标之一。

南海是位于中国大陆南部的陆缘海, 为西太平洋的主要组成部分, 也是中国最大的外海。海水平均深度为 1212 m, 除了是主要的海上运输航线外, 南海还蕴藏着丰富的石油和天然气资源, 近年来, 在珠江口外海、西沙群岛等大陆架均已发现石油。本研究区域之一的南海北部海区北临中国大陆, 东北是台湾本岛, 西部为海南岛, 东部毗邻菲律宾, 南部为广袤的南海深海区; 其通过台湾海峡连接东海, 并经过巴士海峡连接西太平洋外海; 整个南中国海几乎被大陆、半岛和岛屿所包围。另外, 汇入南海北部的主要河流有珠江、韩江和九龙江等, 伴随着淡水的输入, 人类排放的有机污染物也进入海洋环境系统。在气候方面, 南海北部接近赤道, 属热带海洋性气候, 表层水温季节差异不大, 为 23~25℃, 雨量充沛, 水汽资源丰富, 大量水汽受各种各样条件的作用形成丰沛的降水, 其中台风雨约占三分之一, 据统计, 南海中部和北部主要岛屿的年平均降雨量在 1300 mm 以上, 但是雨量的季节分配极为不均, 具有集中于夏半年的特点, 夏季频繁的台风天气也使南海北部降雨量大增, 这使得 6~10 月的降雨量约占全年降雨量的七成之多。南海北部海域也是最著名的季风区。每年 11 月至次年 3 月盛行东北季风, 而从每年 4 月末开始, 在热带与赤道海洋气团的影响下, 5 月至 9 月盛行西

南季风, 4 月和 10 月是季风转换期。受其影响, 南海北部的海流也有明显的季风特点, 夏天海流为东北流, 冬天主流向为西南方向。另外, 从全球经济发展带分布看, 南海周边也是经济发展最为迅速的地区之一。经济快速发展、资源的过度开发和不合理利用而向海洋环境中输入的各种有机污染物等对南海海洋生态系统也带来了潜在的负面影响 (Morton and Blackmore, 2001)。

本文的另外一个研究区域东海是指中国东部长江口外的大片海域, 南接台湾海峡连接南海北部, 北临黄海, 东临太平洋, 多为水深 200 m 以内的大陆架, 海水深度远低于南海。海水表层温度平均 9.2℃, 冬季受黑潮的影响南部水温则在 20℃ 以上。中国大陆流入东海的江河, 长度超过百公里的河口有 40 多条, 其中长江、钱塘江、甌江、闽江等四大水系是注入东海的主要江河, 因而, 在东海形成一支巨大的低温水系, 也是中国近海营养盐比较丰富的水域。

从污染物的排放特征上来看, 中国大陆是世界上最大的发展中国家, 污染物排放量亦居世界首位, 同时也是 PAHs 的排放大国, 这不仅受经济高速发展和工业快速增长的影响 (Inomata et al., 2012), 也与我国的能源结构和利用效率等方面有密切的关系。数据显示, 2011 年, 我国能源消费结构现状中, 煤占 67.7%, 石油占 22.7%, 天然气占 2.6%, 而新能源只占 7%, 是世界上最大的煤炭和石油消费国, 年消费量分别为 16.6 和 2.9 亿 t (Xu et al., 2006); 另外, 中国的能源效率仅为 33%, 单位能耗强度大大高于发达国家及世界平均水平, 约为美国的 3 倍, 日本的 7.2 倍。煤炭等化石燃料的不合理利用也导致了燃烧副产物等有机污染物的大量产生和排放。另外, 从 PAHs 污染特征上来看, 值得注意的是, 中国 PAHs 的排放特征也与其他国家有很大的不同。生物质的燃烧, 如秸秆, 木材等贡献了约 60% 的 16 种 PAHs 的排放, 该比例大大高于欧盟和美国等国家 (Xu et al., 2006)。在中国农村地区, 秸秆、茎秆和木材主要被用来做饭和取暖, 而这些燃料都是在较为封闭的炉子里燃烧, 燃烧过程供氧不足导致了木材等的不完全燃烧而生成大量的 PAHs。

## 1.2 研究进展

### 1.2.1 PAHs 在近海环境中的的迁移和转化

PAHs 在环境中有两种来源, 即天然源和人为源。其中天然来源在人类活动

出现以前的自然界就已经存在，如森林或草原的天然火灾、火山爆发、天然石油泄漏以及生物成因前驱物的后期沉积改造等，这些天然来源的 PAHs 构成环境中 PAHs 的本底值 (Notar et al., 2001)。据研究报告，全世界每年火山喷发释放到环境中的苯并(a)芘的总量就有 12~14 t (Simoneit, 1999)。在人类社会形成早期，PAHs 在环境中的自然产生和降解保持着动态的平衡，而随着人类生产生活活动的加剧，特别是工业革命以来，化石燃料（如煤、石油和天然气等）成为了最主要能源结构，人为释放的 PAHs 急剧增加打破了原有的平衡状态，使得高浓度的 PAHs 对动植物的健康产生了直接和间接的危害。化石燃料的不完全燃烧、植物等生物质的燃烧以及石油的泄露构成了近现代 PAHs 污染的最主要来源 (郝永梅, 2004)。另外，以人为活动的排放为最主要来源的 PAHs，因具有半挥发性等理化特征而表现出明显的“全球蒸馏效应”和“蚱蜢效应”等全球过程，它能够通过在大气和海洋系统中远距离迁移和传输而将其对生态系统的影响传递到全球范围。

研究表明，PAHs 也在海洋环境中存在显著的残留和污染，其来源途径主要有三种：生物代谢合成、地球化学过程的生成以及人类活动的陆源输入，而人类活动对海洋环境中 PAHs 的输入远大于自然过程的贡献。研究表明，河流河口的输入（如生活污水、工业废弃物、地表径流以及土壤浸析等）、海上石油泄漏和船舶排污以及大气传输沉降是人为排放的 PAHs 进入海洋环境中的主要途径 (Tsapakis et al., 2006)。在海气界面，大气的干湿沉降和海气交换过程在 PAHs 的迁移过程中起到重要的作用。研究表明，大气颗粒物的干湿沉降是大气中 3~6 环 PAHs 的主要迁移过程，也是海洋表层水体中 PAHs 是重要来源之一 (Kiss et al., 2001)，据不完全估算，世界海洋中 PAHs 的 10%~18% 来源于大气沉降 (Moore and Ramamoorthy, 1984; 张俊海, 2008)。有关 PAHs 在海洋生态系统中传输过程的研究表明，“全球蒸馏”过程是 PAHs 等 POPs 从低纬度陆地海洋传输到高纬度地区的主要影响因素 (Wania and Mackay, 1996)。PAHs 具有半挥发性，易于从各种介质中挥发到大气中，这一特性使得它们能够以蒸汽形式附着在大气颗粒物上，便于随气流运动在大气环境中作远距离迁移，同时这一适度挥发性又使得它们不会永久停留在大气中，在温度较低的高纬度地区，沉降速率大于挥发速率，使得 PAHs 能重新沉降到陆地和海洋中，在这个过程中，温度是 PAHs 等 POPs 全球蒸馏过程的主要驱动因子。另外，通过各种途径进入海洋环境中的 PAHs 也在海流

和水团等水动力的作用下在不同海域间互相传输和交换 (Lohmann et al., 2007)。以上都分别表明了由于 PAHs 等 POPs 固有的理化性质, 使得海洋环流和全球温度的差异是 PAHs 等 POPs 向高纬度地区传输和全球分布的重要驱动力之一。另一方面, “生物泵”作用不但能够驱动 CO<sub>2</sub> 向海洋中传输, 也能够间接吸收 PAHs 等 POPs 进入到表层海水浮游生物中 (Dachs et al., 2002), 从而推动了 PAHs 等向海洋系统中输入; 被浮游生物固定的 PAHs 又随着死亡的浮游动植物的尸体垂直沉降到海底而促进了 PAHs 等的垂直传输, 这也意味着水体自身具有一定程度的污染物自净的能力。一些研究者也发现颗粒物吸附的污染物的垂直传输会随水体富营养化而增强, 因为高的初级生产力会引起了巨大的颗粒物垂直传输通量 (Wong et al., 1995; Buesseler, 1998; Witt, 2002)。研究也表明, PAHs 等在大气以及海洋中沉降和传输的过程中会发生不同程度的光降解 (Schauer et al., 1996; Zhang et al., 2005), 其降解速率受到光照强度、温度、湿度和颗粒物性质等多种因素的影响 (McDow et al., 1994)。生物降解以及低分子量的 PAHs 被颗粒物吸附沉降也会导致 PAHs 浓度的降低 (Mai et al., 2001)。综上所述, 表层海水系统是 PAHs 等有机污染物的汇, 也是重要的源, 进入海洋环境中的 PAHs 在大气传输、海气界面交换、海流或水团、生物吸收和吸附以及垂直沉降等复杂的生物地球化学过程的共同作用下进行再分布和分配, 也在光照、微生物作用等环境因子的影响下发生降解和转化。

### 1.2.2 河口的输入和海流对 PAHs 分布的影响

作为陆源污染物向海洋环境中传输的重要区域之一, 流域携带了大量的附着有机污染物的有机质和悬浮颗粒物通过河口区输入到近海海洋中, 这对污染物向海洋中迁移起到至关重要的作用。Lohmann 等(2013)对西大西洋的研究发现, 受亚马逊河流输入的直接作用, 在亚马逊河口羽流的表层水体中发现了附近海域未检测到的菲 (Phen) 和苯并(ghi)芘 (BgP), 而其他 PAHs 化合物却没有显著的不同, 这说明亚马逊河流有 Phen 和 BgP 的直接输入。Luo 等 (2006) 发现 SPM 吸附的 PAHs 的浓度从珠江河口依次向外海逐渐降低, 指示了河流的输入而并非大气的沉降是 PAHs 进入河口的主要途径。在深圳湾, 底层水中 PAHs 浓度高于表层海水, 可能是由于珠江河口的表层海水中污染物受到潮汐的作用而受到冲淡, 而表层海水中悬浮颗粒物中 PAHs 浓度在大气沉降的作用下明显高于底层海水



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫