


# 珠江三角洲 环境有机污染物概论

曾永平等/著

 科学出版社

# 珠江三角洲环境有机 污染物概论

曾永平等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书基于珠江三角洲的水体、土壤、大气、沉积物、生物等介质中有机污染物的实测数据,系统论述珠江三角洲有机污染物污染状态、污染来源、有机污染物的区域地球化学过程及演化规律、人体暴露风险、有机污染物环境监测技术,总结该区域典型有机污染物历史演化态势,并预测了未来发展趋势。

本书可供环境管理、污染控制、大气环境、水体环境、土壤环境、环境污染与人体暴露等相关方向的研究人员和技术人员参阅,也可作为高等院校和科研院所环境科学、分析化学等专业的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

珠江三角洲环境有机污染物概论 / 曾永平等著. —北京: 科学出版社, 2019.12

ISBN 978-7-03-063724-6

I. ①珠… II. ①曾… III. ①珠江三角洲—环境污染—有机污染物—研究 IV. ①X5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第281142号

责任编辑: 郭勇斌 彭婧煜 黎婉雯/责任校对: 杜子昂

责任印制: 师艳茹/封面设计: 黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市春园印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年12月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2019年12月第一次印刷 印张: 16 1/2

字数: 322 000

定价: 168.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 本书编委会

主 编：曾永平

编 委（按姓氏拼音排列）：

鲍恋君 郭 英 刘良英

罗 沛 倪宏刚 王继忠

巫承洲

# 序 一

人类不断地开发和利用自然资源以谋求自身的生存与发展，在此进程中产生了一系列环境污染问题。从 20 世纪 30 年代起，不少国家在全球经济发展过程中，发生过一系列严重的环境污染事件，对环境和人体健康造成了严重的影响。如 1930 年比利时马斯河谷烟雾事件、1952 年伦敦烟雾事件、1940 ~ 1960 年洛杉矶光化学烟雾事件等，均是历史上著名的环境污染事件，导致大量市民患病甚至死亡。究其原因，这些事件均是由人为大量排放的污染气体、化学品、粉尘等直接或间接引发。日本在 1931 年出现的痛痛病、1956 年出现的水俣病，都归因于工业废水污染。1962 年，美国著名科普作家蕾切尔·卡逊（Rachel Carson）出版的《寂静的春天》（*Silent Spring*）描述了滥用化学药品和肥料给生态环境和人类健康带来的严重影响，引起全球对环境污染与人类社会可持续发展的重视。

我国经济进入快速发展时期相对西方发达国家较晚，在吸取其教训的基础上，避免了若干严重环境污染事件的发生，但是化学品的大量使用依然对环境产生了严重的污染，尤其是在经济发达地区。珠江三角洲是中国对外开放的重要门户之一，改革开放以来，工业化和城市化发展迅速，已经成为中国经济最为发达的地区之一；同时也是中国参与经济全球化的主体区域，以及全国科技创新和研发的重要基地。然而，珠江三角洲快速发展的经济社会与工业生产也给该区域的环境造成了一系列不良影响，不利于经济社会的可持续发展。

工农业生产与人类活动产生的污染物种类多、数量大，并且能在环境中发生迁移、转化、降解、富集等行为。持久性有机污染物是一类在环境中具有持久性、难降解性、生物富集性和高毒性的物质，广泛分布于水体、沉积物、土壤、大气等环境介质，以及包括人体在内的生物介质。为了厘清污染物对环境的危害程度，不仅需要对介质内的污染物进行准确定量检测，还需要阐明污染物在环境介质之间的迁移、转化及归趋，明晰污染物的生物富集和生物放大特性，以及污染物可能产生的生态毒理效应和健康风险，在此基础上才能科学有效地对其进行防控。

曾永平教授及其团队立足于珠江三角洲，长期从事污染物宏观环境过程表征、

微观界面迁移机制、环境风险及其管理策略等方面的研究，取得了一系列具有国际影响力的成果。《珠江三角洲环境有机污染物概论》基于珠江三角洲的水体、土壤、大气、沉积物、生物等介质中有机污染物实测的第一手数据，系统地论述了珠江三角洲有机污染物污染状态、污染来源、有机污染物的区域地球化学过程及演化规律、人体暴露风险、有机污染物环境监测技术，总结了该区域典型有机污染物的历史演化态势，并预测了未来发展趋势。该书基于实际研究案例，形象地描绘出珠江三角洲环境污染的概况，可供环境相关领域的研究人员、教师、管理者等学习参考。

“水光潋滟晴方好，山色空蒙雨亦奇”，“日出江花红胜火，春来江水绿如蓝”。古人所描绘的美好景象是我们环境保护从业人员的愿景，相信经过大家的不懈努力，在不久的将来，这个愿景一定会得以实现。



中国科学院院士

2019年秋于北京

## 序 二

环境污染造成的生态环境及人体暴露风险不容忽视，而有机污染物是产生环境污染的一类重要污染物。随着经济社会的快速发展，近百万种有机污染物被合成且极大可能被排放至自然环境。因此，梳理有机污染物的区域地球化学行为及评估其人体暴露风险具有重要的现实意义。珠江三角洲是我国经济高速发展的区域之一，高速的经济增长和城市化进程所伴生的环境有机污染问题日益严峻。聚焦该区域有机污染物的环境暴露有望为我国经济发展制定环境友好政策，为平衡经济发展与环境保护提供数据支撑。

《珠江三角洲环境有机污染物概论》总结了珠江三角洲各种环境介质中典型有机污染物的实测数据，阐述了有机污染物的区域环境行为，评估了人体通过膳食及呼吸暴露有机污染物而产生的健康风险，并提出了相应的消费建议，同时采用模型预测了典型有机污染物在未来环境中的演化态势，提出了针对典型电子垃圾环境问题的管理政策。除了系统地论述有机污染物的环境行为和暴露风险，该书还介绍了作者研发的有关污染物的新型环境监测技术，如用于监测水体环境自由溶解态有机污染物环境行为的原位被动采样装置体系等。总体而言，该书是曾永平教授自2004年回国，带领其团队成员历经十多年探索的成果总结，体现了其团队深入细致、循序渐进的研究特色，完善了不局限于珠江三角洲的有机污染物造成的环境问题认识。

该书内容详尽，包括了实体野外采样设计及数据处理，通过缜密的逻辑推理阐述了典型有机污染物产生的问题及原因。该书所展现的研究思路，可为广大青年学者的科研工作提供参考，同时亦对研究生学习及环境管理学者有所裨益。至此，诚挚推荐曾永平教授等撰写的《珠江三角洲环境有机污染物概论》，望广大读者有所收获。

陶澍

中国科学院院士

2019年11月于北京大学

# 前 言

从 1939 年滴滴涕被瑞士化学家米勒确认为一种有效的杀虫剂，到 1962 年卡逊《寂静的春天》的出版，20 多年内，更多类似的特效有机物质被人工合成并使用。实际上，除了杀虫 / 菌剂，近几十年来，其他用途的有机物质，如阻燃剂、电容器中的绝缘液、抗生素、化妆品等也次第合成、使用。这些物质在合成和使用之初，对社会发展与人类健康作出了巨大贡献，但人类忽略了它们可能的危害。现今，诸多研究确切证明，上述有机化合物在提高农业产出、拯救生命与财产、带来特效和生活便利的同时，也对生态系统造成了破坏：人类排放的有机物质已然超越环境的自净能力，它们已经从有益物质变为有害物质——有机污染物。除了上述人类特意生产的有机物，还有一些则完全是无心之柳，如多环芳烃、二噁英等。

如果有机污染物能在自然环境中快速降解为毒性较小的产物，人类也许不用担心它们的危害。但事实正好相反，问题变得非常严重。有机污染物主要通过流态排放，经由迁移、分配进入各种环境介质，引发环境问题，而有机污染物生态风险及其污染修复是其中非常重要的问题。回应这些问题的重要基础是通过场地调查，获得它们的环境赋存信息，包括主要污染源、环境与生物暴露、环境转归与影响等。

环境问题具有典型的区域属性。区域的产业结构、人口规模、经济发展、消费技术，必然会对资源消耗和废物排放产生具体影响。珠江三角洲是中国参与经济全球化的主体区域，粤港澳大湾区也是与美国纽约湾区、旧金山湾区和日本东京湾区并肩的世界四大湾区之一，已建成世界级城市群，其环境污染状况具有典型性和代表性。对该地区有机污染问题进行梳理总结，对于了解人类高强度活动的生态环境效应及其对人类活动的反向约束效用具有重要参考价值。

本书共分 8 章内容。第 1 章介绍珠江三角洲自然地理条件、环境污染研究历史沿革等；第 2 章介绍水体被动采样基本原理和技术、实验室分析、数据处理等方法；第 3 章讨论水体污染及其潜在生态风险，珠江三角洲河流对近海环境的污染贡献包括静态的污染状况和河流通量；第 4 章介绍土壤样品的采集方法，以及

土壤中各类有机污染物的赋存状态,包括农药与杀虫剂、卤代阻燃剂、多环芳烃、环境分子标志物等;第5章主要介绍珠江三角洲大气污染现状及时间演化、颗粒态有机污染物的粒径分布特征、有机污染物的干/湿沉降、有机污染物的陆地与大气交换过程等;第6章概述珠江三角洲生物中持久性有机污染物的来源、污染水平、吸收与转化等;第7章从有机污染物的迁移转化,包括大尺度介质间的输运和微界面的动态行为入手,从机理方面对珠三角区域环境污染进行总结;第8章简要介绍电子垃圾处理及其引发的环境问题,并给出了电子垃圾管理策略。

本书主要以我们有关珠江三角洲有机污染物历史与现状的研究结果为基础,同时参考和借鉴了与该区域其他相关的研究成果编写而成。书中已尽量对同行研究以图、表标注或文献引用的方式反映他们对本书的贡献,在此,感谢所有相关同行的支持和帮助。由于著者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

著者

2019年7月

# 目 录

序一

序二

前言

## 第1章 绪论 / 1

- 1.1 珠江三角洲地理环境 / 2
- 1.2 珠江三角洲经济发展现状 / 3
- 1.3 珠江三角洲的环境问题 / 5
- 1.4 珠江三角洲环境污染研究历史 / 8
- 1.5 本书涉及环境有机污染物概述 / 9
- 参考文献 / 10

## 第2章 水体被动采样方法 / 11

- 2.1 定量依据 / 11
- 2.2 吸附相-水体分配系数确定 / 18
- 2.3 固相微萃取纤维 / 25
- 2.4 开放式水体采样器 / 27
- 2.5 多段式沉积物孔隙水采样器 / 31
- 2.6 沉积物-水界面通量被动采样器 / 34
- 2.7 大气-水界面有机物采样器 / 36
- 参考文献 / 41

## 第3章 珠江三角洲水环境有机污染状况和河流通量 / 44

- 3.1 水体有机污染及其潜在生态风险评价 / 45
- 3.2 珠江三角洲河流对近海环境的污染贡献 / 66
- 3.3 珠江三角洲珠江流域有机污染物对近海环境的影响 / 84
- 参考文献 / 87

## 第4章 珠江三角洲土壤污染 / 95

- 4.1 土壤样品的采集 / 96

- 4.2 农药与杀虫剂 / 97
- 4.3 卤代阻燃剂 / 100
- 4.4 多环芳烃 / 105
- 4.5 环境分子标志物 / 109
- 4.6 土壤中有机污染物的蓄积和时间变化趋势 / 114
- 参考文献 / 118
- 第5章 珠江三角洲大气有机污染物的分布及迁移行为 / 122**
  - 5.1 大气污染现状及时间演化 / 123
  - 5.2 颗粒态有机污染物的粒径分布特征 / 126
  - 5.3 有机污染物的大气干沉降 / 133
  - 5.4 有机污染物的大气湿沉降 / 140
  - 5.5 有机污染物的土壤-大气交换过程 / 145
  - 5.6 有机污染物的大气-水交换过程 / 148
  - 参考文献 / 151
- 第6章 珠江三角洲生物体内的持久性有机污染物及其人体暴露 / 157**
  - 6.1 珠江三角洲生物体内持久性有机污染物的浓度水平 / 158
  - 6.2 珠江三角洲生物体内持久性有机污染物的来源 / 170
  - 6.3 珠江三角洲生物体内持久性有机污染物的吸收与转化 / 178
  - 参考文献 / 188
- 第7章 有机污染物的区域过程及调控因素 / 191**
  - 7.1 环境有机污染物的区域地球化学过程与调控因素 / 191
  - 7.2 中国南方近海沉积物中的有机污染物 / 194
  - 7.3 珠江三角洲环境中有机污染物的区域环境过程 / 201
  - 7.4 人工碎屑介导有机污染物在海湾沉积物的迁移过程 / 208
  - 7.5 沉积物-水界面通量被动采样器的应用及界面通量的影响因素 / 224
  - 参考文献 / 228
- 第8章 珠江三角洲电子垃圾环境效应概况 / 236**
  - 8.1 电子垃圾处理概况 / 237
  - 8.2 电子垃圾处理引发的环境污染问题 / 239
  - 8.3 电子垃圾处理中有机污染物的释放 / 242
  - 8.4 电子垃圾处理的政策管理 / 244
  - 参考文献 / 246

# 第1章 绪 论

人类在地球上出现以来，为了自身的生存与发展，一直在努力进行利用和改造自然的活动。相对而言，人类活动的强度在地球生物中占据主导地位，因此对生态环境的影响更为显著。人类活动的核心是为了满足自身需求和欲望，即经济。而经济的核心则是物质的转换，其中包括形态的转化和位置的变化。以环境中的物质为基础，利用各种能源提供的能量，将自然物质转化成人类需要的形态（生产），然后转移运输到不同的位置（消费），以满足人类生存与发展的需求。物质用于生产，必定排放废物；能量利用，不可避免地消耗能源。因此，经济活动是环境问题的重要原因。在研究区域环境问题时，必须高度关注区域人类经济活动与环境退化的关系。其中包括两个方面的问题：其一，人类不断开发和使用越来越多的物质资源，特别是人工合成的化学物质，在地球原有物质循环上叠加了新的物质负荷，大量物质的使用及其随后的不当处置，排放大量废物，使其成为环境污染物；其二，能源的使用，虽然并不会减少能量，但会消耗能源，使一部分能量退化为不能做功的能量。

在全球工业化进程中，难以计量的天然或人工合成化学物质被释放到地球环境中，严重污染了人类赖以生存的大气、土壤、水体等各种环境介质。这些污染物进一步在生态系统中迁移、转化、累积，产生负面生态效应。由于区域经济发展水平不同，技术水平存在客观差异，消费偏好和能力也具有区域属性，因此，人类活动对环境的影响也有明确的区域特性。很多环境研究关注区域问题，实际上，由于生态系统整体性特征，区域环境同样会对全球环境产生影响。因此区域环境问题是基础，可以为全球环境问题研究提供重要的信息。

综上所述，人类与自然系统互相依存，自然系统是人类活动的物质基础。人类活动排放的废物进入自然系统，其排放规模、迁移转化、生态环境效应，与区域自然地理条件、人口规模、产业特征、能源消费、经济发展和技术水平都有密切关系。

本书对珠江三角洲的环境有机污染研究做了简要回顾。目标污染物涵盖农药

与杀虫剂、卤代阻燃剂、多环芳烃、环境分子标志物等。环境介质包括大气、水体、土壤、沉积物、生物样品。涉及环境样品采集方法、有机污染物来源、迁移转化、分配行为、生态风险等。具体内容涵盖水体被动采样技术、珠江三角洲有机污染物入海通量、大气污染物迁移过程、表层土壤污染特征、人体暴露风险，以及有机污染物的区域过程及调控因素等。希望能为读者提供珠江三角洲有机污染物研究的基本信息，帮助研究人员快速了解珠江三角洲有机污染现状，为管控区域环境污染提供客观依据。

## 1.1 珠江三角洲地理环境

珠江三角洲毗邻香港、澳门，自然条件优越，城市化水平较高，经济交互性好，是我国经济最发达的地区之一<sup>[1]</sup>。

### 1.1.1 地形地貌

珠江三角洲地处广东省中南部，珠江下游，西起西江羚羊峡，北达北江芦苞，东至东江石龙，南延南海，东、北、西三面丘陵台地环抱，包括三水盆地，东江下游平原，以及西江、北江下游平原和潭江下游平原。在大地构造单元上，处于华南低洼区。地处北回归线以南，是中国亚热带最大的冲积平原<sup>[2]</sup>。

### 1.1.2 气候及水文

珠江三角洲绝大部分区域在北回归线以南，属于亚热带季风气候。日照充足，日照时数达 1900 ~ 2200 h·a<sup>-1</sup>。太阳辐射总量高，年均温在 20℃ 以上。雨量充沛，年均降雨量 1600 ~ 2000 mm，主要分布在 4 ~ 9 月，降雨年变化呈双峰型<sup>[2]</sup>。珠江三角洲的气候由于季风的影响，冬季北风，夏季南风，因而有别于世界其他各地的亚热带气候。值得注意的是，由于日照强，蒸发量大，旱季期间仍有旱灾发生。但由于台风带来的降雨可缓解秋旱，故旱灾一般轻于水灾。水灾、旱灾、台风、寒潮等都是珠江三角洲的灾害性因素。

不同于平原坦荡的三角洲典型特征，珠江三角洲是由珠江三大支流西江、北江、东江在溺谷湾内合力冲积而形成的复合三角洲。“三江汇集，八口入海”，区内河道纵横交错，主要水道近百条，属于典型的河网三角洲。珠江三角洲平均每年接纳泥沙 8336 万 t，其中约 20% 沉积在三角洲内，80% 淤积在八大口门之外的海域中<sup>[2]</sup>。

### 1.1.3 土壤与植被

珠江三角洲地带性土壤类型主要为发育于砂岩、页岩和花岗岩母质上的赤红壤、红壤。该地区地带性植被是亚热带季风常绿阔叶林。常见植物有 500 多种, 分属 130 多科 373 属, 其中纯热带性属占 42%, 泛热带性属占 11%。由于人类活动长期干扰, 区域内原始植被、天然林保存较少, 大部分是单优势种人工林, 林地面积偏小(仅占全省林地面积的 17.3%), 森林资源主要集中在肇庆、惠州、江门等市<sup>[3]</sup>。

### 1.1.4 自然资源

珠江三角洲的土地资源类型多样。据统计, 珠江三角洲有土地资源 547 万  $\text{hm}^2$ 。降水丰沛, 河网密布, 地下水资源丰富。矿产资源区域特色鲜明, 矿产种类多, 盛产稀有金属和有色金属, 已探明储量的矿产有 80 多种。最主要的非金属矿产是高岭土、泥炭、英石、粗面岩; 金属矿产如锆、碲等, 其储量全国第一。富硒耕地资源优势显著。地热资源保有量大, 可开采量较大。海洋资源禀赋优越, 拥有海岸带资源、港口资源、旅游资源和滩涂资源。珠江三角洲大陆海岸线长 700 多公里, 主要包括伶仃洋、磨刀门、广海湾—镇海湾三个岸段<sup>[2,4]</sup>。

## 1.2 珠江三角洲经济发展现状

自 20 世纪 90 年代以来, 珠江三角洲城市群凭借优越的自然条件, 经济发展迅速, 经济体量巨大。截至 2017 年, 珠江三角洲城市群地区生产总值 7.57 万亿元, 约占全国经济总量的 9%<sup>[5]</sup>。由图 1-1 可以看出, 珠江三角洲各城市人口和地区生产总值的空间分布具有显著空间相关性, 且极化效应明显。具体而言: 人口数量和经济实力空间分布变化稳定, 但区域间经济水平差异较大。而这种空间差异主要是受自然地理区位条件、历史发展基础、国家政策的影响。

从《中国城市统计年鉴(2017)》、《广东统计年鉴(2017)》和《中国统计年鉴(2017)》获取 2016 年珠江三角洲及其周边地区的社会经济统计数据。通过构建城市化水平评价体系, 得出了珠江三角洲及其周边地区共 15 个市的人口城市化、经济城市化、空间城市化、社会城市化和综合城市化水平。从评价结果可以看出, 在珠江三角洲及其周边地区中, 15 个城市的发展水平分化现象比

较严重,珠江三角洲核心地区城市在人口、经济、空间和社会城市化方面均高于其周边城市(图 1-2)。将珠江三角洲及其周边地区 15 个城市的综合城市化水平进行空间热点分析后,可得出东莞市在 99% 的显著性水平下存在高值,说明以东莞市为中心,其周边城市均为城市化水平较高的城市,也为研究区域内高城市化区域。此外,广州市和深圳市的各项城市化水平均排名前二,说明两者为珠江三角洲城市发展的带领者。

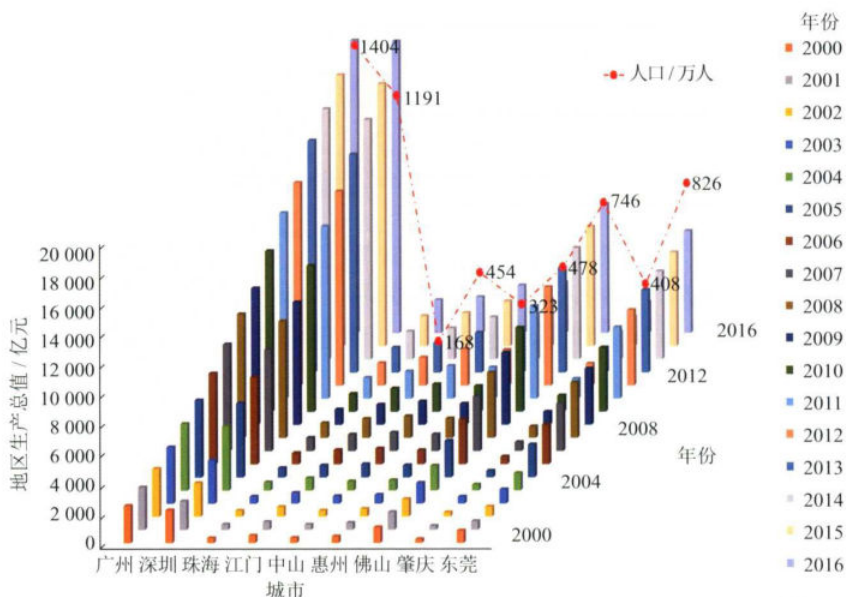


图 1-1 2000 ~ 2016 年珠江三角洲各城市地区生产总值增长趋势 [5]

值得注意的是,深圳市的人口城市化水平超过了广州市,这与深圳市本身作为经济特区的特殊性质有关。深圳市非常重视人才的引入,为了吸引大量的高素质人才,在人才入户、生活保障及创新创业等方面设立了多项相关优惠政策,并将每年的 11 月 1 日作为深圳人才日,由此可以看出深圳市对高素质人才资源的高度重视。除了吸引人才流入外,深圳市也注重人才的培养与科研活动的投入。深圳市高等教育机构较少,为了弥补这种不足,深圳市政府与各大高校合作,在深圳市南山区建立了深圳大学城,大学城内为各大高校于深圳建立的分校,并建立了与之相配套的深圳市高新技术产业园。深圳市对人才资源的一系列政策,使深圳市人口城乡结构和职业结构发生巨大的变化,深圳市的城镇人口比例已接近 100%,从而进一步改变了深圳市人群的行为习惯结构,推动其综合城市化水平的提高。

根据综合城市化水平,可将珠江三角洲及其周边地区的城市化水平划分为四个等级:广州市、深圳市为第一等级城市化水平城市;东莞市、佛山市为第二等

级城市化水平城市；珠海市、中山市和惠州市为第三等级城市化水平城市；江门市、肇庆市、清远市、韶关市、阳江市、河源市、汕尾市、云浮市为第四等级城市化水平城市（图 1-2）。

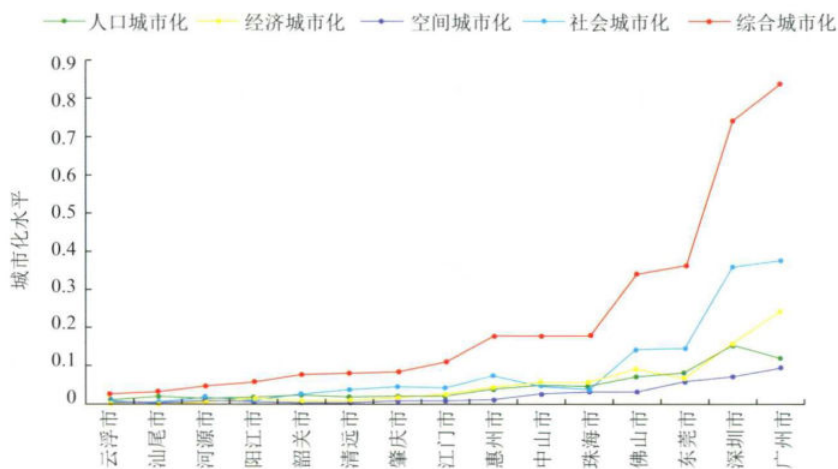


图 1-2 珠江三角洲及其周边地区城市化水平

### 1.3 珠江三角洲的环境问题

正如美国的人口学教授保罗·埃利奇（Paul Ehrlich）与能源学家约翰·霍尔登（John Holdren）建议的那样，人类对环境的影响，受人口数量、富裕程度和技术水平等因素制约。目前珠江三角洲经济发展清楚地表明了经济发展对环境产生了影响。旧的环境问题尚未得到有效控制，新的环境问题已然出现，各种环境问题叠加，环境复合污染极度复杂。珠江三角洲具有特殊的产业结构、空间结构、城镇化和产业化发展模式，这也使珠江三角洲环境问题具有鲜明的区域特征。

在珠江三角洲城市化进程中，伴随着人群的涌入和生产生活方式的改变。城市中人们的生产、生活活动所产生的废物垃圾和消耗的资源，远远大于人们在农村生产、生活活动的产出和消耗量。由于城市生态系统是一个开放的系统，其运行所需要的能量和物质大部分要从系统外部其他的生态系统输入。而其产生的废物和污染物并不能在自身内部进行分解和降解，需要运出系统外，靠其他的自然生态系统进行分解。由此看出，城市生态系统是一个非常脆弱的生态系统，对外部的生态系统具有很大的依赖性。显然，珠江三角洲城市群快速城市化过程，也对该地区的生态环境造成了巨大影响。

### 1.3.1 水环境问题

水环境问题是目前珠江三角洲面临的最突出问题，而水环境问题又会导致一系列其他的环境问题，例如，海岸带的生态破坏；海洋渔业资源严重衰退，生物多样性降低；近岸海域富营养化程度加剧，赤潮频发<sup>[6]</sup>。随着地区经济快速发展，水资源开发利用规模增大，但水环境修复与保护相对滞后。水质型缺水是目前珠江三角洲面临的重要问题，水环境问题已成为制约珠江三角洲经济发展的核心障碍。珠江三角洲废水排放总量呈现逐年上升的趋势（图 1-3），截至 2016 年，珠江三角洲的废水排放总量已达 73.3 亿 t，是 1996 年的排放量（25.6 亿 t）的两倍之多<sup>[7]</sup>。废水排放总量不断增加的原因，一方面是经济的快速发展，工业化发展迅速，产生了大量的工业废水；另一方面是随着人民生活水平的不断提高，生活用水量也在不断地增加。从近 10 年的废水排放总量情况来看，广州市、深圳市的废水排放量不论是在时间还是空间上相较于珠海市、肇庆市都呈倍数关系。排放总量以广州市为榜首，其次分别为深圳市、东莞市、佛山市和江门市。而珠海市、肇庆市的废水排放量一直比较稳定且较少。一般来说，排除跨区域的影响因素，城市的废水排放量同该城市的工业化和城市化呈正比，广州是珠江三角洲的核心城市，废水排放量与该地的人口及经济发展水平呈正相关关系<sup>[6]</sup>。

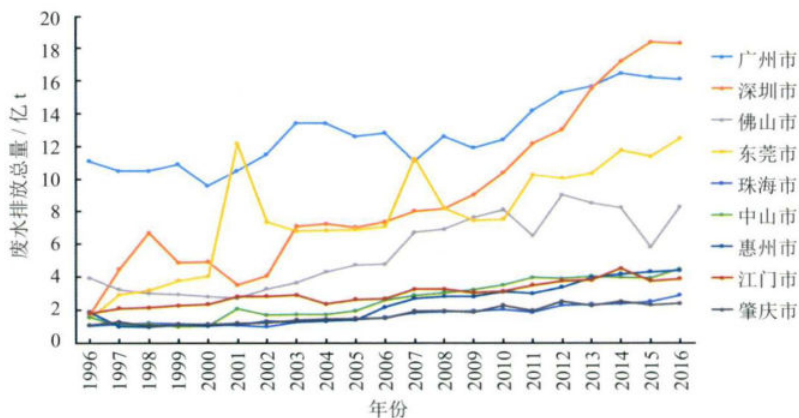


图 1-3 珠江三角洲各市废水排放总量<sup>[7]</sup>

### 1.3.2 大气环境问题

环境是废物排放的唯一出口，特别是大气，工业排放、汽车尾气、生活排