



我国近海海洋综合调查与评价专项成果
“十二五”国家重点图书出版规划项目



厦门湾海域环境质量评价 和环境容量研究

张珞平 陈伟琪 江毓武 黄金良 方秦华 等著



海洋出版社

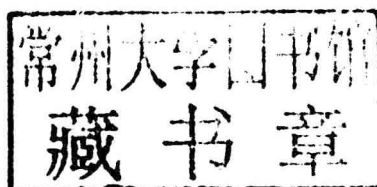


我国近海海洋综合调查与评价专项成果

我国近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究(908-02-02-03)

厦门湾海域环境质量 评价和环境容量研究

张珞平 陈伟琪 江毓武 黄金良 方秦华 等著



海洋出版社

2013年·北京

图书在版编目(CIP)数据

厦门湾海域环境质量评价和环境容量研究/张珞平等著. —北京:海洋出版社,2013.2

ISBN 978-7-5027-8476-8

I. ①厦… II. ①张… III. ①海湾-海洋环境质量-环境质量评价-研究-厦门市 ②海湾-海洋环境-环境容量-研究-厦门市 IV. ①X834 ②X26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 002551 号

责任编辑:方菁

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2013年2月第1版 2013年2月第1次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:17

字数:430千字 定价:68.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

由于陆地资源已几近开发完毕，海洋成为 21 世纪世界各国开发的热点和争夺的焦点。世界近代史所出现的世界大国无不依靠海洋而称霸世界。历史的发展证明，蓝色文明是社会文明和经济文明的摇篮。众所周知，中国是一个人口大国，人均资源极为贫乏。海洋，是中国崛起的唯一出路。

海岸带是自然资源最丰富，也是人类社会经济活动最活跃的区域，世界上 60% 以上的人口，70% 以上的经济活动集中在海岸带区域。然而，快速的经济发展和城市化进程已给海岸带带来了巨大的环境压力，海岸带地区成为生态环境脆弱带，直接威胁到海岸带地区乃至国家社会经济的持续发展、环境安全和国家安全。

根据国家海洋局发布的《2010 年中国海洋环境状况公报》，2010 年我国管辖海域海水环境质量状况总体较好；但近岸局部海域水质污染严重，江河污染物入海量增加，溢油等突发环境事故灾害对海洋生态环境的损害严重。近岸局部海域富营养化、海洋环境灾害频发和海岸带生态环境破坏是影响我国海洋环境质量的突出问题。

我国海洋环境出现的主要问题表现在以下几方面。

(1) 近岸海域的环境恶化趋势未得到遏制。近年来通过国家海洋管理部门和环境保护部门的共同努力，近岸海域环境质量迅速下降的趋势总体上有所减缓，但恶化趋势未能得到有效遏制，严重污染海域的面积仍在增加，主要集中在大中型河口、部分海湾和大中城市近岸海域；主要环境问题是富营养化状况严重；尽管点源污染源得到一定控制，但主要来源于河流流域、海湾和城市的非点源（面源）污染源源强持续加重。如何解决流域和近岸海域的非点源污染已成为遏制海洋环境质量恶化的关键因素和当务之急。

(2) 海洋生态系统健康受到严重威胁。随着海岸带地区社会经济的发展以及近岸海域开发强度增大,包括污染压力增大、过度捕捞、海洋与海岸工程建设、人类的各种开发活动如石油和矿产资源开发、围填海、水产养殖、旅游等,造成近岸海域生物栖息地破坏,生物多样性下降,渔业资源急剧衰减,珊瑚礁、红树林以及各种濒危生物物种明显退化,生态系统脆弱性增大,海洋生态系统健康状况不容乐观,并威胁海岸带生态安全,严重影响海岸带地区的社会经济的持续发展。

(3) 海洋环境风险问题凸显。由于海岸带以及近岸海域开发强度增大,海洋环境灾害的发生频率和规模近年来呈明显上升趋势,包括溢油等污染事故,赤潮、浒苔、水母等生态灾害,外来物种入侵等。环境风险问题已成为海洋与海岸带地区生态和环境安全的首要问题,威胁着社会经济的持续、稳定发展。

(4) 海岸带围填海现象持续升温。随着海岸带地区社会经济的飞速发展,土地紧缺引起的大规模围填海活动虽缓解了沿海地区土地紧缺的状况,在短期内推动了区域社会经济的发展,但同时也对沿海有限的港口资源、旅游资源和海洋生态环境等造成了严重影响。由于围填海造成港口资源退化或丧失,环境容量锐减、旅游资源破坏、海洋生态环境蜕化的案例比比皆是。更不能原谅的是,目前的围填海绝大多数并非由于人类的生存空间受到威胁不得已而为之,相反仅仅为了获取少数人的经济利益,造成巨大的环境损失却由公众来承担。由于围填海工程对海洋环境影响的不可逆性,特别是围填海所产生的累积效应是渐进的,往往是巨大和不可逆的,需经过数十年才逐步体现出来,因此围填海活动好比杀鸡取蛋,与海岸带社会经济的持续发展是背道而驰的。若无法遏制沿海无节制的围填海活动,永续发展仅仅是一句口号。

以上问题表明,我国的海洋和海岸带地区的生态环境状况不容乐观,生态系统脆弱性和生态安全问题严重,难以应对全球变化带来的各种威胁,如海平面上升、海洋酸化、自然灾害威胁、海岸侵蚀等所带来的一切问题,难以确保海洋和海岸带

区域社会经济的永续发展。

海湾是近海海岸带地区开发的重点，也是海岸带地区人类开发活动产生的矛盾冲突最严重的区域。海湾的环境质量评价和环境容量研究是加强海洋管理的基础工作之一，只有正确地认识我们所处的海湾环境的状态，了解海湾所能承受的人类活动的的能力，才能有效地开展必要的海洋管理，才能实现海岸带区域社会经济的永续发展。

经过 30 多年的改革开放，中国社会发生了翻天覆地的变化，中华民族的复兴已初见曙光。对于中华民族的复兴大业，我们任重而道远。对于中国这样一个人口众多，资源匮乏的国家，要走向永续发展，海洋是实现中华民族复兴大业的唯一希望所在。因此，维护海洋与海岸带生态系统健康和生态安全，确保海洋和海岸带地区的永续发展是中国崛起的唯一出路。

远航，我们已经扬帆起航，但我们必须确保航行安全，迈向辉煌。

张珞平

2011 年 11 月 17 日于厦门

前言

Foreword

厦门是我国经济特区之一。改革开放 30 多年来, 厦门地区的社会经济从一个沿海小城市成长为我国沿海经济发达的中等城市。与此同时, 厦门湾也承受了巨大的人类活动的压力。近 20 多年来, 厦门湾的环境质量出现持续下降的趋势, 生态系统的脆弱性逐步体现, 给厦门湾海岸带地区社会经济的持续发展带来威胁。

海湾的环境质量评价和环境容量研究是加强海洋管理的基础工作之一, 只有正确地认识我们所处的海湾环境的状态, 了解海湾所能承受的人类活动的的能力, 才能有效地开展必要的海洋管理, 才能实现海岸带区域社会经济的永续发展。

本书的内容来源于国家海洋局“908”专项“我国近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究”(908-02-02-03)的研究成果之一, 是该任务的子课题“厦门湾海域环境质量评价和环境容量研究”的研究成果。

国际上在 20 世纪 80—90 年代是海湾环境容量研究的高峰期。联合国海洋环境保护科学问题联合专家组 (GESAMP) 认为海洋环境容量研究是海洋污染防治的有效方法和途径 (GESAMP, 1986)。国际上对海湾环境容量的研究已走过高峰期, 2000 年以后已少见有关海湾环境容量的相关研究, 但我国从 2000 年以后才兴起海洋环境容量研究的热潮。尽管我国已开展了 10 余年的相关研究, 但在海洋环境容量的研究内容和方法上仍存在许多问题, 如: 污染物的生物地球化学过程及其归宿、污染物的生态环境效应、预警预防原则 (Precautionary Principle) 的应用等研究内容尚未真正开展; 环境质量评价的方法、环境容量本底值的确定、污染源的估算和确定等方法均未能提出有效、可靠的研究方法。这些基础问题未能解决使得海洋环境容量研究的可靠性和有效性大打折扣, 使得多数环境

容量研究的成果束之高阁,难以真正提供给海洋环境管理部门予以实施。

本书在研究过程中取得以下研究成果。

(1) 解决了海洋环境质量评价中一直未能解决的保证率问题。我国的环境质量标准中均不含有评价方法,也未规定各个标准因子应执行的保证率(允许出现的概率)。在现有的环境质量评价中均采用一次超标法(百分之百的保证率),即任何因子出现一次测值超标,就认为该海域已超过拟定的环境目标。这种百分之百保证率的做法无论从科学性和实用性来说都是极不合理的。本书参考国际上的多数标准和评价方法,拟定了环境质量评价采用90%保证率的做法,确保评价结果的科学性和有效性。

(2) 解决了环境质量评价结果与环境容量本底值不匹配的问题。目前的海洋环境容量研究一般均采用某个因子的海域环境监测值的平均值(50%保证率)作为该因子环境容量研究的本底值(少量也有采用海湾湾口的测值或外海测值,但同样也不合理),但环境质量评价仍采用一次超标法(百分之百的保证率),这就使得多数海域都可能出现“环境质量已超标,但还有很大的环境容量”的怪现象,无法合理有效地开展环境容量研究。本书采用海域环境监测值的90%保证率的监测结果作为海域环境质量评价的结果,并同时作为环境容量计算的本底值,解决了海洋环境容量研究中环境质量评价结果与环境容量本底值不匹配的问题,确保环境容量研究的合理性和可靠性。相关论述请参见本项目已发表的论文:《海湾环境质量评价以及环境容量研究中“本底浓度”确定的探讨》,海洋环境科学,2009,28(5):922-925。

(3) 解决了海水水质标准与污染源统计不匹配的问题。我国海水水质标准只有无机氮和无机磷指标,没有总氮和总磷指标;而所有污染源统计中均使用总氮和总磷指标,造成无法直接由污染源数据计算海域的环境容量。本书通过现场实测获得研究区海水中无机氮和无机磷与总氮和总磷之间近乎恒比的关系,进而由总氮和总磷指标替代无机氮和无机磷指标开展海湾

环境容量研究,由此解决了海域环境容量研究中海水水质标准与污染源统计不匹配的问题。

(4) 基本解决了海湾污染源评价和估算的问题。污染源评价是环境容量研究的基础,未科学地计算出输入海域的所有污染源就计算环境容量是极其不科学的和不负责任的。本书在10余年非点源污染源研究和环境容量污染源估算的基础上,进一步完善了海湾陆源点源、陆源非点源、河流输入、海域养殖、大气沉降等污染源的计算和估算及其验证。

(5) 在数值模拟计算中计算了厦门湾各个排污口的响应系数和浓度贡献率,并剥离了点源、非点源与河流三种来源污染源(包括湾内和湾外来源)的浓度贡献率,为明晰各种污染源的贡献、有效开展有针对性的管理措施提供了较为清晰的管理控制方向,包括排污口最优削减方案和污染源类型的最佳控制方案。

(6) 对于已经没有环境容量的海湾(其实我国绝大多数近岸海域都已出现营养盐超标,已没有环境容量),采用情景分析法以解决目前在該情况下难以开展污染总量控制和环境容量研究的问题。

(7) 将资源和生态系统服务的价值评估、污染总量控制措施的环境经济损益分析以及公众参与融入环境容量和污染总量控制管理方案,使得管理方案的有效性和可操作性大为提高。在我国首次将海湾环境质量和环境容量作为一类生态系统服务和一类资源进行价值评估,并纳入污染总量控制措施的环境经济损益分析中;首次将公众参与结果作为制定海域功能决策以及污染总量控制管理决策的依据,符合国际研究的潮流。

上述创新点多数已经以论文形式发表,详见篇末的“本项目已发表的论文”。

本书的简要内容已经在2011年出版的《我国近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究》(海洋出版社,2011年)一书中略作概括性介绍(第10章)。但由于简写本难以全面、准确、详细地阐述研究思路、研究过程、研究方法及其成果,应许多研究者和海洋管理干部的建议,特将此完整的报告予以出

版，以供读者参考。

对厦门湾环境质量评价和环境容量的研究，可以为我国在其他经济发达且已遭受人类活动重压的海湾继续开展环境容量研究和污染物总量控制提供示范作用。

近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究（908-02-02-03）厦门大学课题组

张珞平 执笔

2012年9月10日

CONTENTS 目次

厦门湾海域环境质里评价和环境容量研究

第1章 绪论	(1)
1.1 项目由来	(1)
1.2 研究的技术路线	(1)
第2章 研究区的地理位置和自然概况	(3)
2.1 地理位置	(3)
2.2 陆域自然条件	(4)
2.3 厦门湾海域自然概况	(9)
2.4 厦门西海域和同安湾海域基本情况	(11)
第3章 社会经济与资源	(13)
3.1 社会经济状况	(13)
3.2 西海域及同安湾资源现状评价	(21)
第4章 海洋水环境质量评价	(30)
4.1 厦门湾水质现状评价	(30)
4.2 厦门湾水质回顾性评价	(40)
4.3 水质现状评价结果以及海域环境容量“本底浓度”的探讨	(70)
4.4 厦门湾湾口浓度的确定	(74)
第5章 海湾水污染源评价	(75)
5.1 研究内容与方法	(75)
5.2 厦门同安湾和西海域陆源污染源现状评价	(79)
5.3 厦门西海域和同安湾海域污染源现状评价	(98)
5.4 厦门西海域和同安湾大气输入现状评价	(106)
5.5 厦门同安湾和西海域污染负荷现状评价	(110)
5.6 厦门同安湾和西海域污染负荷预测	(115)
5.7 小结	(117)

第 6 章 涉海规划与功能区划	(118)
6.1 研究内容与方法	(118)
6.2 相关规划分析	(119)
6.3 海域功能及其环境目标	(136)
6.4 结论	(141)
第 7 章 污染物的生化降解	(142)
7.1 国内外研究进展	(142)
7.2 环境容量数值模型的计算	(143)
7.3 污染物的迁移转化	(144)
7.4 总结	(148)
第 8 章 数值模拟	(149)
8.1 研究内容与方法	(149)
8.2 水动力及污染物扩散模型	(149)
8.3 排污口影响分析	(161)
8.4 情景优化方案计算	(168)
第 9 章 污染物总量控制方案	(170)
9.1 研究内容与方法	(170)
9.2 背景情况	(171)
9.3 情景模拟与分析	(176)
9.4 各情景的可行性分析	(189)
9.5 存在的问题	(191)
第 10 章 资源与生态系统价值评估	(192)
10.1 基本理论与方法	(192)
10.2 资源与生态系统价值评估	(198)
第 11 章 环境经济损益分析	(209)
11.1 研究内容与方法	(209)
11.2 备选方案的环境经济损益分析	(209)
11.3 结论	(218)
第 12 章 公众参与	(220)
12.1 调查的目的	(220)
12.2 调查时间、地点和对象	(220)
12.3 调查内容及结果	(221)
12.4 结论	(227)
第 13 章 海湾环境容量和污染总量控制管理方案	(228)
13.1 研究内容与方法	(228)

13.2 背景情况	(229)
13.3 亟待解决的海洋环境问题	(232)
13.4 污染物总量控制管理目标和方案	(233)
13.5 建议	(235)
致谢	(237)
本项目已发表的论文	(238)
参考文献	(239)
附表 1	(241)
附表 2	(251)

第1章 绪 论

1.1 项目由来

本书的内容来源于国家海洋局“908”专项“我国近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究”(908-02-02-03)的研究成果之一。该任务选择了我国近岸海域具有代表性的9个海湾——大连湾、锦州湾、莱州湾、胶州湾、杭州湾、罗源湾、三门湾、厦门湾和大鹏湾,先期开展海洋环境质量评价和环境容量研究,为海洋环境管理决策提供科学依据。本书的内容即为该任务的子课题“厦门湾海域环境质量评价和环境容量研究”的研究成果。

厦门是我国经济特区之一。改革开放30多年来,厦门地区的社会经济从一个沿海小城市成长为我国沿海经济发达的中等城市。与此同时,厦门湾也承受了巨大的人类活动的压力。通过对厦门湾环境质量评价和环境容量的研究,可以为我国在其他经济发达且已遭受人类活动重压的海湾继续开展环境容量研究和污染物总量控制提供示范作用。

1.2 研究的技术路线

根据联合国海洋环境保护科学问题联合专家组(GESAMP, 1986)提出的定义,海洋环境容量(marine environmental capacity)是指海洋环境容纳某种特定的活动或活动速率(如单位时间的排污量、倾废量或采矿量等)而不造成无法接受的影响的能力。基于这个定义,拟定本项目研究的技术路线。

(1) 基础资料调查:收集厦门西海域和同安湾流域社会经济发展的现状和历史(20年)资料;海域以及周边的资源及其开发利用现状;进行社会经济发展现状和回顾性评价;开展资源价值评估,作为确定海湾功能目标、环境目标和规划目标的依据;开展公众参与调查,了解公众的意见和看法。

(2) 集中排污口污染源调查与评价:收集现有进入厦门西海域和同安湾入海排污口的监测资料,评价进入厦门西海域和同安湾的点源污染源。

(3) 非点源污染调查与评价:主要考虑生活污染、畜禽养殖、农田化肥流失和水土流失等以及城市非点源污染。在社会经济调查评价的基础上,采用GIS建立DEM模型,进行汇水区划分;收集遥感卫星图片解译、土地利用调查和水土流失调查,采用GIS、径流曲线方法(SCS-CN)、通用土壤流失方程(USLE)、污染物流失方程计算陆域农业非点源污染来源(水土流失和化肥施用)和贡献(负荷);生活污水和畜禽养殖污染采用排污系数法计算排放量;开展城市地表径流非点源污染估算。估算结果经验证后,评价进入厦门西海域和同安湾的非点源污染源;根据文献法估算海上养殖和船舶污染源、大气干/湿沉降等污染源。

(4) 海湾功能目标、环境目标和规划目标：首先进行海域区划（海域区划详见 6.3 节）；根据厦门市总体规划、海洋功能区划、海洋环境功能区划、资源价值评估、公众参与等确定海湾及各分区的功能目标、环境目标和规划目标。

(5) 海湾环境质量的现状和回顾性评价：收集海湾环境质量调查的历史（20 年）资料，采用单因子环境质量指数法、以 90% 保证率开展海湾环境质量的现状评价以及海湾环境质量的回顾性评价，以发现现状的环境问题以及累积的环境问题。

(6) 数值模型：采用三维有限元数值模型建立海湾的潮流场模型，并用近期观测资料进行验证；应用潮流场模型和污染源估算结果建立海湾的浓度场模型，并与环境监测资料进行比对和验证；计算主要排污口的响应系数和污染物浓度贡献率，剥离点源、非点源与河流的浓度贡献率。

(7) 典型污染物生物化学降解研究：根据以往的研究成果、文献资料和补充调查与研究，给出生物化学降解速率；开展海水和污水的无机氮和无机磷与总氮和总磷的监测与关系研究；分析 COD、无机氮（总氮）、无机磷（总磷）、石油类等要素在水体中的迁移转化规律；建立考虑生物降解和化学降解的海湾污染物输运扩散模式。

(8) 海湾环境容量计算：在以上研究基础上计算海湾环境容量，计算主要污染物 COD、总氮和总磷的环境容量。

(9) 总量控制模式：原计划应用二步分配法进行海湾环境容量和污染物的总量控制研究，但由于厦门西海域和同安湾的无机氮、无机磷已严重超标，总氮和总磷的总量控制采用情景分析法，拟定点源输送湾外、非点源点源化等措施，希望以此制定海湾纳污总量控制实施和管理计划。但由于河流输入源强太大，且难以控制，只能定出理论上应采取的措施和方案。

(10) 开展海湾纳污总量控制实施和管理计划的环境经济损益分析。

(11) 在此基础上拟定海湾环境容量和污染物总量控制管理方案。

本章撰写人：张珞平

第2章 研究区的地理位置和自然概况

2.1 地理位置

本研究以厦门西海域和同安湾这两个半封闭海湾为研究区域。

厦门市位于中国华东南地区，福建省南部，台湾海峡西侧；厦门岛与金门岛隔海相对。厦门是我国著名的滨海旅游城市。厦门市的行政区划及其地理位置详见图 2.1。

厦门西海域（俗称厦门西港）位于厦门岛西部，包括嵩屿港区—鼓浪屿—厦港避风坞连线以北海域；同安湾位于厦门岛北部，包括五通—澳头连线以北海域。这两个海域均属半封闭型海湾（图 2.1）。

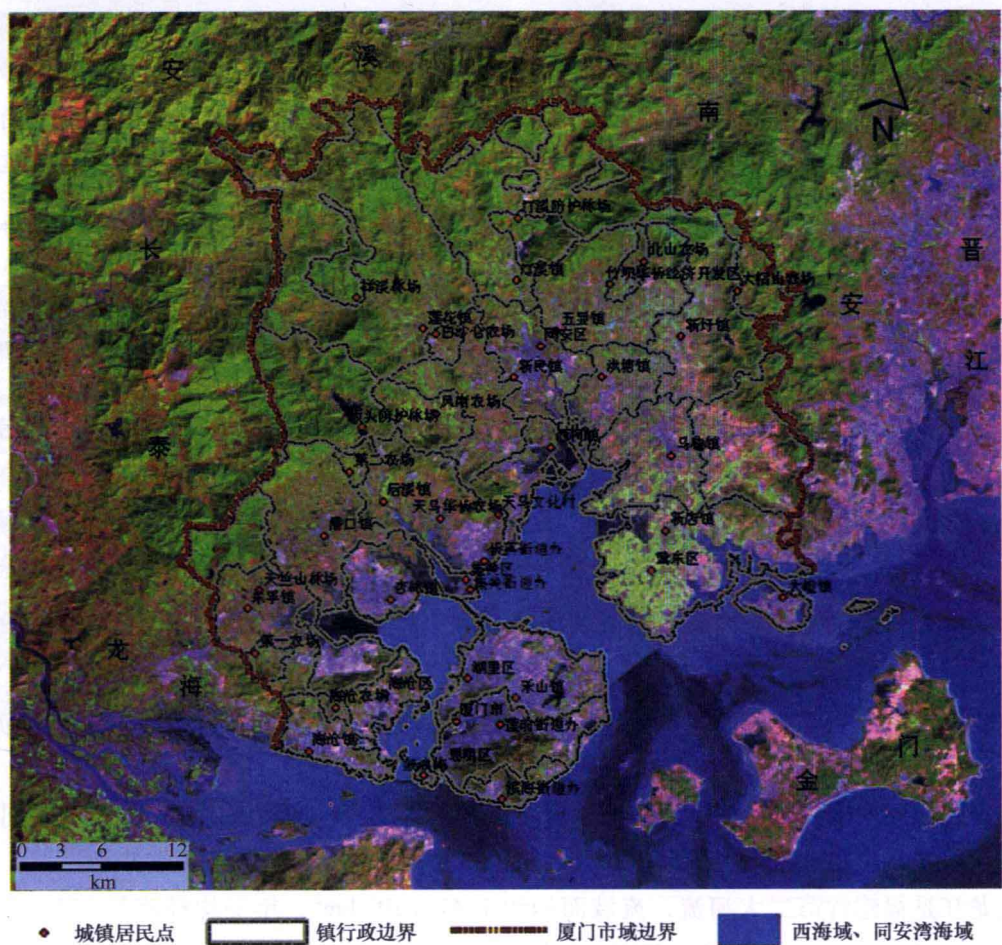


图 2.1 厦门西海域和同安湾地理位置

2.2 陆域自然条件

2.2.1 气候

厦门西海域、同安湾及其毗邻海域周边地区的气候属亚热带季风型海洋性气候,年平均气温 21°C 左右;年平均降雨量为 $1\,100\text{ mm}$ 左右,5—7月雨量最大;风力一般3~5级,年平均风速为 3.4 m/s ,常年主导风向为东风;由于太平洋温差气流的关系,每年平均受台风影响5~6次,且多集中在7—9月。

2.2.2 地形地貌

厦门岛属基岩岛,1956年在岛的西北建成高集海堤后使厦门岛与大陆相连,成为人工半岛。厦门岛是以花岗岩和部分火山岩组成的丘陵为主,台地和海蚀阶地广泛分布。山地周围和海滨地带夹有众多海滨小平原。厦门岛周围海域有小岛屿29个,岩礁58个。西南部的火烧屿、大兔屿、大屿和鸡屿是火山岩组成的残丘。西北部的宝珠屿、北部的鳄鱼屿和大离亩屿是由花岗岩组成的残丘。南部的鼓浪屿岛上地势起伏,土丘和花岗岩岩石岗遍布。

厦门市西北部陆域三面环山,平原低丘点缀其间。同安区和翔安区位于厦门市北部,依山临海,地势由西北向东南倾斜,东、西、北面的山脉群峰盘踞于厦泉边界,北部地势较高,西南和东部山势较低,地势从丘陵、台地、阶地到海滨平原递降,东南海滨有同安湾的东咀港深入内陆,东部有大嶝、小嶝和角屿三岛。厦门的西北部大陆沿海地区有杏林湾和马銮湾切入其中,南面为九龙江口,形成集美、杏林和海沧三个半岛。

厦门市行政区域内的海岸线总长 184.45 km ,岸线曲折、类型多样,有基岩海岸、土崖海岸、沙质海岸和淤泥质海岸。九龙江南岸招银港区周边地形以低山丘陵为主,地势总趋势是南高北低,东高西低。南部及东北部多山地丘陵,西部以台地和滨海小平原为主。地质地貌以花岗岩及其风化土质为主体。山体由坚硬的花岗岩体组成,承载力大至 $26\sim 60\text{ t/m}^2$ 。

图2.2为厦门湾区域数字高程模型DEM与TM遥感影像嵌套的三维地图。由图2.2可大致了解厦门湾区域的地势地貌和地表水系等信息。

2.2.3 水系

受地形与气候影响,厦门境内河溪众多而短促,汇水范围小,但水量丰富,季节变化明显。图2.3为厦门地表水体的分布图。

集美和杏林区主要有后溪、深青溪和过芸溪。后溪流入杏林湾,深青溪和过芸溪流入马銮湾。

同安区和翔安区主要有西溪、东溪、官浔溪和隶头溪等,均独流入海,最终进入同安湾。同安东、西溪是厦门地区最大的河流,其入海泥沙是同安湾海域泥沙的重要来源。

九龙江是福建省第二大河流,流域面积约 $1.47\times 10^4\text{ km}^2$,年平均径流量 $121\times 10^8\text{ m}^3$,年平均输沙量 $250\times 10^4\text{ t}$ 。九龙江是影响厦门海域的主要河流,它的营养盐、泥沙和有机质的输入对厦门海域的影响极大。