

地表水环境信息管理 与事故应急决策系统

——以深圳湾为例

夏建新 栗苏文 陶亚 著
任华堂 王英伟

13.4
9



科学出版社

www.sciencep.com

地表水环境信息管理 与事故应急决策系统

——以深圳湾为例

夏建新 栗苏文 陶 亚 著
任华堂 王英伟

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书建立了深圳湾地表水环境信息管理与事故应急决策系统,利用此系统可对水环境信息进行科学精细管理。此系统是以“3S”(RS、GIS、GPS)技术为支撑,以EFDC水环境数学模型为内核,对地表水质进行分析、预测,并提供数据共享、实时预警和科学决策的一体化的信息管理软件系统,可为深圳湾水系水环境的管理和事故预警提供手段和工具。对于深港两地的水环境污染治理、质量评估和突发事故决策都具有重要指导意义,亦可为其他城市发展过程中的水环境质量改善提供一定的参考。

本书可供从事水污染评价与控制、水资源保护的科研、规划、设计与管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地表水环境信息管理与事故应急决策系统:以深圳湾为例/夏建新等著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-026964-5

I. ①地… II. ①夏… III. ①地面水-环境管理-管理信息系统-深圳市
②地面水-紧急事件-处理-深圳市 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第040575号

责任编辑:赵峰 刘希胜/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

北京市大天乐印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2010年3月第一次印刷 印张:7 1/4 插页:8

印数:1—1 500 字数:192 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

进入 21 世纪,我国正处在社会经济快速发展和工业现代化发展初期,受工业基础和生产工艺水平的限制,高污染、高能耗以及污染物低处理率是目前这一阶段的主要特征,由此带来的环境污染问题也日益严峻,尤其是水环境问题。

深圳市作为我国改革开放的桥头堡,在过去 20 多年里社会经济急速发展,取得了举世瞩目的成就,从一个小镇发展成今天常住人口达千万的大都市,2008 年 GDP 达到 7806.54 亿元,人均生产总值为 89 814 元(约合 13 153 美元)。然而,随之而来的环境问题也成为深圳可持续发展的瓶颈。深圳虽属南方多雨地区,但受城市膨胀过快、工农业用水激增等多种因素的综合影响,却属于严重缺水城市,人均水资源量仅为 $476 \text{ m}^3/\text{a}$,属于全国严重缺水的七大城市之一。水资源短缺和水环境恶化给深圳市居民生活和工农业生产带来了严重影响。2007 年深圳市环境状况公报显示,深圳河、布吉河、大沙河、茅洲河、观澜河、西乡河、龙岗河、坪山河、福田河以及新洲河等主要河流均受到不同程度的污染,水质劣于国家地表水 V 类标准;罗田水库水质类别为 IV 类,石岩水库水质类别为 V 类。

作为地表水体污染物的最终归宿,海湾水体污染负荷一直是控制的难点。深圳湾接纳了深圳河、新洲河以及大沙河的污染物,水质严重超标。2007 年深圳市海洋环境质量公报显示,无机氮和活性磷酸盐含量超出国家四类海水水质标准的监测站站位比例分别是 100%和 83.3%,已达到严重污染水平。由于深圳市与香港特别行政区毗邻,且深圳湾为深港两地所共有,其水污染、水环境治理与生态保护等问题备受深港两地的关注。在此背景下,建立深圳湾地表水环境信息管理与事故应急决策系统,对水环境进行科学精细管理,对水环境风险进行预警和应急防范具有重要意义。

深圳地表水环境信息管理与事故应急决策系统是以“3S”(RS、GIS、GPS)技术为支撑,利用 EFDC (environmental fluid dynamics code) 水环境数学模型,对地表水质进行分析、预测,并提供数据共享、实时预警和科学决策的一体化的信息管理软件系统。

本书得到了深圳市环境保护局和深圳环境科学研究院的大力支持,同时,还得到了教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0597)和国家自然科学基金项目(50879096, 50909108)的资助,在此,表示衷心的感谢。由于目前深圳水污染治理工作还在继续,本书研究成果尚显粗浅,同时,由于作者时间和水平所限,书中难免有错漏之处,恳请同行专家和读者予以批评指正。

作 者

2010 年 3 月于北京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 深圳地表水环境污染现状	1
1.2 地表水环境信息管理与事故应急决策系统	2
1.3 国内外研究回顾	3
第 2 章 深圳湾水系污染负荷与水环境现状	7
2.1 自然地理概况	7
2.2 深圳湾污染负荷.....	14
2.3 深港两方未来规划年污染负荷预测.....	16
2.4 深圳湾水系水质现状.....	21
第 3 章 水环境数学模型	29
3.1 模型介绍.....	29
3.2 控制方程.....	30
3.3 水质模块.....	32
3.4 模型的离散求解.....	36
3.5 EFDC 模型文件接口	39
第 4 章 深圳湾水动力特性模拟	43
4.1 网格生成技术.....	43
4.2 水动力模型计算参数和初边值条件.....	50
4.3 水动力过程模拟分析和验证.....	51
第 5 章 深圳湾水环境模拟	61
5.1 水质模型计算参数和初边值条件.....	61
5.2 盐度模拟分析和验证.....	62
5.3 水体自净能力分析.....	66
5.4 水环境质量模拟结果与分析.....	70
第 6 章 地表水环境信息管理与事故应急决策系统设计及应用	87
6.1 地表水环境信息管理与事故应急决策系统简介.....	87
6.2 GIS 界面开发	88
6.3 系统的组成部分和设计思路.....	93
6.4 深圳湾水环境管理系统的应用.....	95
参考文献	108

第1章 绪 论

1.1 深圳地表水环境污染现状

深圳湾为伶仃洋东部一个半封闭型海湾，也是深圳的三大海湾之一，位于 $22^{\circ}24'18''\sim 22^{\circ}32'12''\text{N}$ ， $113^{\circ}53'06''\sim 114^{\circ}02'30''\text{E}$ ，地理位置见附图 1。深圳湾北接深圳特区，南邻香港特别行政区，西南—东北向伸展，向西南开口与珠江口相通，自然水深一般小于 5 m。海湾湾长 17.5 km，内宽外窄，最窄处位于中部的东角头至白泥之间，断面宽仅为 4.2 km。

深圳湾东北部分布着大面积的泥滩和红树林，是华南地区最重要的湿地生态系统之一，其核心部分是深圳一侧的国家级福田红树林鸟类自然保护区和香港一侧的米埔自然保护区。该区域是许多珍稀和濒危生物的栖息地，对水鸟等尤其重要，具有不可替代的生态功能。

改革开放以来，深圳迅速发展成为工业、服务业发达的大型城市，目前常住人口近千万。深圳在快速发展的同时，地表水资源短缺和水环境恶化的现象也日趋严重。深圳市是我国七大严重缺水的城市之一，人均占有量只有全国平均值的 1/4。2007 年深圳市环境状况公报显示，深圳市内的深圳河、布吉河、大沙河、茅洲河、观澜河、西乡河、龙岗河、坪山河、福田河及新洲河等主要河流均受到不同程度的污染，水质劣于国家地表水 V 类标准。深圳水库、西丽水库、梅林水库、铁岗水库、清林径水库、赤坳水库、松子坑水库、径心水库、铜锣径水库、枫木浪水库和三洲田水库达到国家地表水 III 类标准；罗田水库水质类别为 IV 类，石岩水库水质类别为 V 类。

作为深圳市地表径流主要受纳水域的深圳湾，由于容纳了市区排放的大量废污水，导致水质严重下降，同时深圳湾的围垦工程和海水养殖，更使水质雪上加霜。作为深港两地共有的海湾，深圳湾还接受大量来自香港地区的废污水。据报道，香港已规划在深圳湾沿岸的元望墟等地建成 20 万人以上的城市，这也会进一步增加深圳湾的污染负荷。2007 年深圳市海洋环境质量公报显示，深圳湾内无机氮和活性磷酸盐含量超出国家 IV 类海水水质标准的监测站站位比例分别是 100% 和 83.3%，已达到严重污染水平。深圳湾内富营养化日趋严重，赤潮频繁发生，2007 年发生 50 km² 范围的有毒赤潮，对湾内生态环境造成极大的破坏。

由于深圳湾为深港两地所共有，水环境污染的加剧对两大城市的发展都会产生极大的不利影响。建立深圳湾地表水环境信息管理与预警系统，对于深港两地的水环境污染治理、质量评估和突发事故决策具有重要意义。

1.2 地表水环境信息管理与事故应急决策系统

由于地表水环境中发生的污染事件会对正常的经济、社会活动造成极大的危害,且这种危害短时间内较难逆转,因此在水环境管理中应在事故发生时提出预警,对可采取的备选措施进行优选,降低危害程度,为管理决策提供理论依据。

目前,无论是在制定地区或区域水污染物排放标准或确定水域各排污口的容许排污量和污染负荷削减率,还是对突发性或连续性排污行为进行评价或对开发建设工程项目的环境影响进行预测,都涉及水质的时空变化问题,即需要解决水质的定量预测问题,因此水质模拟预测已经成为广受环境工作者关注的重要课题。

水质预警是指在特定区域中,对某一时间段内的地表水环境状况进行模拟、分析及评价,以确定水质变化的趋势、速度以及达到某限度的时间等,预测污染影响的时空范围和危害程度,并对其未来发展进行预测,及时给出地表水环境变化的各种警戒信息及相应的综合性对策。作为一种辅助决策措施,其既可对已出现的问题提出相应的应急措施,亦可对即将出现的问题给出最优的响应措施及相应级别的警戒信息。

水环境信息管理与事故应急决策系统是以信息技术、水质模拟技术为基础,综合运用遥感技术(remote sensing, RS)、地理信息系统(geographical information system, GIS)、全球定位系统(global positioning system, GPS)、网络、多媒体及计算机仿真等现代高新科技手段,对目标区域的地形地貌、水资源分布、水文条件、污染源分布及强度、水质状况等各种信息进行数字化采集与存储,动态监测、模拟各种污染物的迁移转化过程、评估突发事件的环境影响和应急措施的效果,并将相关信息以多种形式显示、发布给公众,成为一个集监测、预警、管理决策为一体的系统;使政府决策部门对目标区域水质进行有效的综合管理和决策,并可以向公众及时提供最新的地表水环境信息。

为了实现对深圳湾水环境污染的控制和治理,本书在“3S”技术的支持下,基于EFDC水环境数学模型建立深圳市地表水环境数学模型,实现对深圳湾水环境发展趋势的模拟和预测、污染事故的应急决策,最终建立集环境信息查询、分析预测等多种功能于一体的深圳地表水环境信息管理与事故应急决策系统。具体包括如下内容:

(1) 基础资料的收集和整理。收集深圳市数字高程、土地利用等地形地貌数据,点、面污染源分布及强度等环境污染物数据;收集地表径流水文和海洋水文数据;收集深圳市及深圳湾气象资料。对以上资料进行整理和分析,建立水环境信息管理与事故应急决策系统的基础数据库。

(2) 基于EFDC水环境数学模型建立伶仃洋海域水动力数学模型。由于深圳湾湾口开边界的水动力条件和水质指标浓度不易确定,水环境模型计算区域扩展至整个伶仃洋。利用2004年和2005年的水文资料,对水动力学参数进行率定,验证模型的可靠性,并分析深圳湾海域的水动力学特性。

(3) 在水动力数学模型运行成功的基础上,建立水环境数学模型,并利用深圳河若干水质监测站和深圳湾内监测站的旱季、雨季资料,进行参数率定和模型验证。

(4) 利用“3S”技术,将基础资料数据库、水环境数学模型进行集成,建立深圳地表水环境信息管理与事故应急决策系统。该系统应具有环境数据查询、环境质量预报、工程项目环境评价、突发环境事故应急预案比较等多项功能。

(5) 利用深圳地表水环境信息管理和事故应急决策系统对深圳湾不同减排措施条件下进行水环境质量预测,并对可能出现的特定污染突发事故的应急措施进行效果评估,为水环境管理和预警提供服务。

具体实施的技术路线如图 1-1 所示。

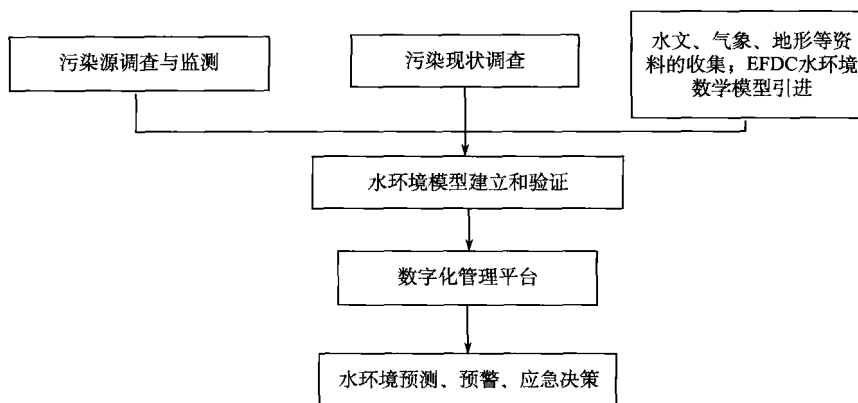


图 1-1 深圳地表水环境信息管理与事故应急决策系统设计技术路线

1.3 国内研究回顾

1.3.1 水环境模型研究进展

从 20 世纪 20 年代中期开始,国内外学者就开始研究污染物输移扩散规律的数学模型,经过近百年的探索和研究,取得了显著的进展,相继出现了一大批功能强大、通用性好、准确可靠的综合水质模型 (Tung and Hathhorn, 1988)。

根据不同时期水质模型的特征可将其发展分为 3 个阶段,即简单的氧平衡模型阶段、形态模型阶段和多介质环境综合生态模型阶段 (Lesser et al., 2004)。根据水质模型发展的历程可分为 5 个阶段:1925~1960 年为水质模型发展的第一阶段,以 Streeter-Phelps (S-P) 水质模型为代表,后来科学家在其基础上成功地发展了 BOD-DO 耦合模型 (Andrew et al., 2008),并应用于水质预测等方面;1960~1965 年,在 S-P 模型的基础上又有了新的进展,引进了空间变量、物理的、动力学系数,温度作为状态变量也被引入到一维河流和水库 (湖泊) 模型,水库 (湖泊) 模型同时考虑了空气和水表面的热交换,并将其用于比较复杂的系统;1965~1970 年为水质模型发展的第三阶段,期间不连续的一维模型附加了一系列的源和汇,这些源和汇包括氮化合物好氧作用、光合作用、藻类的呼吸以及沉降、再悬浮等,计算机的成功应用使水质数学模型的研究取得了突破性的进展;1970~1975 年,水质模型已发展成相互作用的线性化体系,生态

水质模型的研究初见端倪,有限元技术用于二维体系,有限差分技术应用于水质模型的计算(Thompson et al., 2004)。在最近的 20 多年,科学家的注意力已逐渐转移到改善模型的可行性和评价能力的研究上(Park et al., 2005)。

我国对海湾河流水质变化的研究始于 20 世纪 70 年代末,主要集中于几条大河的水质监测和趋势研究。但随着水环境污染日趋严重,人们逐渐认识到水环境治理的重要性,且随着计算机计算的发展,国内学者在水质模型方面做了大量卓有成效的工作(姜云超和南忠仁, 2008; 宋国浩和张云怀, 2008; 熊丽君和刘凌, 2003; 郭劲松等, 2002)。

王惠中(2001)在 Koutitas 等建立的准三维数学模型的基础上,考虑垂向涡黏系数沿深度变化,对其计算模式进行了修改,针对太湖特点建立了三维水质模型,对太湖水体的主要污染指标进行了模拟和分析,并提出了控制太湖水污染的方法。

申满斌等(2005)针对三峡库区主要污染物,建立了考虑泥沙吸附污染物和泥沙冲淤对污染物输移扩散影响的岸边排放污染物浓度场计算的三维浑水水质模型,并模拟了三峡库区涪陵磷肥厂排污口附近的总磷浓度分布。通过与传统清水水质模型的计算值、实测值之间的对比发现,浑水水质模型的计算结果比传统清水水质模型更接近实测值,更准确地反映了污染物浓度沿水深方向的分布特征。

朴香花等(2006)应用三维水质模型对大连湾中的主要污染物 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的行为进行了模拟,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的时空变化规律以及其影响因素进行了研究,并对主要的模型参数进行了灵敏度分析。浓度分布显示,在大连湾, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度高值区主要集中在排污口附近区域;灵敏度分析显示,在排污口区水体的扩散能力对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的影响较大。由季节变化模拟结果可知,在湾顶部的排污口区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度表现出明显的季节变化。在湾中部和朝海边界的湾口区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度较低,变化平缓。

郭磊等(2007)建立了水动力、水体污染物输运及底泥污染物输运数值模型,采用有限差分与有限体积相结合的方法,对北大港水库氯离子进行动态数值模拟,模拟了水库在不同蓄供水方案下的流场及水体和底泥氯离子浓度动态变化,分析了流速、水体氯离子浓度与底泥氯离子浓度差对底泥氯离子释放速度及释放总量的影响。

国峰等(2007)采用数值模拟的方法,研究了杭州湾金山嘴污水排海工程对纳污海域水质的影响,对无污水排放、放流管深海正常排放、岸边紧急排放和直接深海排放 4 种不同排放方式时污染物输运扩散情况进行了模拟分析。

1.3.2 深圳湾水环境研究

目前已有多位学者对深圳湾水环境进行了研究,内容包括对深圳湾流场、盐度及不同水质指标在深圳湾的时空分布及其对深圳河口生态系统的影响,并通过对深圳湾水环境水质改善进行研究,提出了改善方案,如引海水补充河流流量以冲污、雨污分流、污染物集中处理及湾外排放、增加库容以调蓄水量、深圳河口生态系统优先考虑情况下的水质的改善方案等。

黄奕龙等(2006)以深圳市东西近岸海域 2002~2003 年监测数据为例,综合评价了其水体和沉积物质量状况,系统分析了水环境的主要污染来源。研究结果表明,深圳

市近海水体主要受到沿岸陆源污染和海上交通污染的影响,深圳湾海域水体污染较为严重,为Ⅳ类标准,海域水体富营养化程度较高,主要超标物为无机氮和磷酸盐,且无机氮为主要的限制性因子。

袁宝招等(2007)在对国内外城市对比分析的基础上,分析了深圳市现状用水及存在的问题,通过需求分析进一步揭示深圳市未来面临的水资源供需矛盾和水环境压力,并就其资源环境的约束问题,提出了水资源需求的调控措施。研究表明,深圳市面临水资源短缺和水污染双重压力,必须进行水需求控制。调整产业结构、控制人口规模、提高用水效率等控制措施对抑制水需求过快增长具有明显作用,到2030年可消减水量5.4亿 m^3 ,水环境得到改善。

王琳和陈上群(2001)研究认为:深圳湾内的水沙特性与动力条件决定了深圳湾属于缓慢淤积的浅水海湾,湾内槽道相对稳定,维持这种状态的主要因素是深圳湾的纳潮量。因此,深圳湾的治理必须重视作为主要动力的纳潮量的变化,才能保持深圳湾航道的相对稳定,保证湾内水质、生态、环境不朝恶化方向发展。深圳湾的治理要从传统的工程整治观念转变为现代的生态与环境的观念,保护好湿地生态环境将是治理方案的主要衡量标准。

胡本雄(2004)从潮差保证率的角度,选择典型潮型作为初始条件,利用沿水深平均的二维数学模型和多媒体技术,对典型断面的质点运动轨迹进行追踪,分析不同流量与潮型组合时的冲污效果,通过不同流量与潮位过程的组合研究,达到降低去污成本的目的。

丁坚等(2005)建立了深圳河非恒定流数学模型,模型考虑了过闸水头突变的计算方法,采用拉格朗日法研究深圳河上游的罗芳污水处理厂和滨河污水处理厂所排出污水沿深圳河的流动过程,计算分析了利用潮汐动力减轻深圳河污染的水力条件。其结果表明,深圳河口建闸3种不同调控方案下污水运移至深圳河口的总时间有所增加,这对于减轻深圳河的污染情况不利;从大鹏湾抽调清水以增加上游来水量则会大大缩短污水运移至深圳河口的时间,从而减轻深圳河的污染状况。

张健君等(2005)认为深圳河流域内没有被截流的污水直接流入自净能力较弱的深圳河,从而造成了目前深圳河流域的严重污染。针对深圳河水污染已非常严重、水质达不到地表水Ⅴ类标准的状况,从技术的角度,在分析了深圳河水污染机理的基础上,借鉴国内外成功的河流治理经验,结合深圳河流的特征,对深圳河水污染控制对策进行了初步探讨,并建议,在加强深圳河水污染综合整治管理的前提下,采用全面截污、清淤、补水、支流设闸调蓄等措施,深圳河水质将得到改善,可满足城市景观用水的要求。

刘云华等(2008)针对深圳市城市污水处理率达到95%的情况下河道依然存在着黑臭现象,利用统计数据建立了3套动态数学模型,进行不同污水处理率下和不同引调水水源的环境需水量计算,确定了合理的污水处理率目标。对深圳河湾水系的珠江口引水和大鹏湾引水方案进行研究,总结出从生态与环境角度,首选方案是珠江口引海水;从工程经济角度,首选方案是大鹏湾引水。

陶清(2001)研究表明,深圳市污水排海工程的建成使用,会削减排往深圳河、深

圳湾的污染负荷，深圳湾的水质保持在Ⅱ类海水水质标准内，且对珠江口海域的水质影响甚微，因而具有显著的环境效益和经济效益。深圳市污水排海工程对减轻该市对深圳河、深圳湾的污染程度具有重大的意义，而现有排海规模对珠江口的环境影响并不明显，因此对区域总体环境质量的改善是十分有利的。

胡嘉东和李贵义（2008）针对深圳河湾水系复杂的水污染问题，着重围绕增大深圳河水系的环境容量和减少排入深圳河水系的污染负荷两方面开展研究，采用河流、海湾水动力学及水质数学模型等方法，对深圳河湾水系生态与环境需水量、污水截排工程、引调水工程、污水资源化工程等进行了系统的分析评价，为深圳河湾水系水质改善提供决策依据。通过工程、技术、经济、环境效益和环境影响以及可持续性的系统分析和比较，制定了近期的污染治理方案，明确了中远期的目标及治理策略。

第 2 章 深圳湾水系污染负荷与水环境现状

2.1 自然地理概况

2.1.1 深圳湾自然地理条件

2.1.1.1 地形地貌

深圳湾位于香港西北部与深圳西南部交界处，地处珠江口伶仃洋入海口的东侧，东至深港界河深圳河河口，西至蛇口半岛赤港湾与香港九龙半岛烂嘴角连线以东海区。深圳湾东西狭长，呈 NEE-SWW 走向，纵深 14 km，平均宽度约 7.5 km，水域面积约 90 km²。深圳湾沿岸平坦，水深较小，平均水深约为 2.9 m。离岸 1 km 内水深不超过 1 m；海湾中部水深为 2~3 m，蛇口山以西的湾口海域水深有所增加，可达 5 m 左右。根据深圳湾水深变化总趋势可以将深圳湾分为内湾和外湾两部分，以深港西部通道为界，深圳湾东部海域为内湾，西部海域为外湾。附图 2 为深圳湾及深圳河遥感图。

受潮流的水动力特点影响，深圳湾呈现出地形和水动力学特性相适应的特点。在海湾口南岸一侧有一个涨、落潮冲刷槽，沿东北方向斜插至内湾。湾顶深圳河与元朗河口海域，河口拦门沙发育，粉沙淤泥质浅滩在落潮时可大片露出水面。总体而言，深圳湾内淤积严重，湾底泥沙深厚，砂层平均厚度为 12 m 左右，最厚处可达 40 m 左右。深圳湾北部陆域为平原区，沿岸浅滩宽广，河口区适宜红树林生长，具有淤泥、高温及低盐的环境特点。

2.1.1.2 水文气象条件

根据深圳市气象局发布的《2005 年深圳市气候公报》，将深圳市 2005 年的基本气象数据整理于表 2-1 中。

表 2-1 2005 年（现状年）基本气象数据^①

气象要素	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度	全年
平均气温/℃	16.1	26	29	21.9	23.2
极端最高气温/℃	28.7	34.2	37.3	35.2	37.3
极端最低气温/℃	3.4	12.9	23.3	8.9	3.4

^① 深圳市气象局. 2008-5-21. 2005 年深圳市气候公报. <http://www.121.com.cn/main/qhbj/qhgb/2006062738784.shtml> 2006-6-27.

续表

气象要素	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度	全年
雨量/mm	69.7	892	1145.7	36.2	2143.6
最大日雨量/mm	16.6	75.1	240	21.2	240
暴雨日/d	0	5	8	0	13
雨日/d	25	50	45	7	127
日照时数/h	222.1	283.1	539.8	529.3	1574.3
相对湿度/%	70	76	74	60	70
霾日/d	38	10	26	61	135
雷暴日/d	3	30	31	1	65

1) 日照

由于该区域地理纬度较低，太阳短波辐射强烈，深圳湾太阳总辐射量较大。在一年中总辐射量以7月最多（约60 kJ/cm²），2月最少（32 kJ/cm²）。各季节的总辐射量差异不大，但以夏季为最多，冬季为最少。各季节总辐射占全年总辐射量的百分比为：春季占23.8%，夏季占30.3%，秋季占25.9%，冬季占20%。深圳多年平均日照时数为2120.5 h，为华南沿海地区日照时数较多的地区之一。夏、秋两季日照时数多，冬、春两季少。7月平均为230.6 h，2月平均为115.2 h。

2) 气温

深圳湾的年平均气温在22℃左右。最热月为7月，平均气温为28℃左右，极端高温为38℃以上；最冷月为1月，平均气温为14℃左右，极端低温为0.2℃左右。

3) 水温

由于深圳湾较浅，水气热交换充分，海水温度基本上受控于气温，水温极端值的出现时间基本与陆地气温一致。

在丰水期，尤其是6~8月，由于盛行温暖多雨的太平洋东南季风，水温可达28~30℃，水深越大水温越低，湾内水温高于湾外，即水温按湾口—外湾—内湾—河口海区的顺序递增。

在枯水期，相对而言气温较低，因此水温也低于丰水期，大致为10~15℃。由于浅水地区散热充分，水温呈现按湾口—外湾—内湾—河口海区的顺序递减的规律。海水水温的垂直分布规律一般为上层高、下层低，但差距不大，温差仅为0~1.5℃。

4) 风

深圳常年盛行风向为SEE和NNE，频率分布为17%和14%；其次为东北风和东风，频率均为12%。由于风向受地貌等因素控制，因而具有明显的地域差异。在深圳

湾口赤湾一带海域, 常年风向为东风, 频率为 23%; 其次为东南风和北风, 频率分别为 15% 和 13%。

5) 降水

由于海岸山脉和盛行风的影响, 深圳湾的年降水量略少, 仅为 1600~1800 mm。深圳湾及其流域降水年内分配极为不均, 干、湿季分明。降水亦集中在 6~8 月。由于降水集中在雨季, 故降水强度大, 暴雨多。每年暴雨的降水量约占全年降水量的 43%, 暴雨概率为 3%。

6) 盐度

深圳湾的海水盐度变化主要受到深圳河、元朗河等河流的流量影响, 流量越大对海水的冲淡作用越明显。由于深圳河、元朗河的径流输入, 使深圳湾水体的盐度在一年内任何时期均为湾顶河口区明显低于湾口区, 即具有明显的按湾顶河口—内湾—外湾—湾口的顺序递增的趋势。此外, 深圳湾盐度还受到流入伶仃洋的珠江径流以及外海高盐水团的影响。

深圳湾海水盐度的季节变化十分明显。夏季, 丰沛的雨水造成珠江向伶仃洋大量泄洪, 使整个珠江口海域盐度大幅下降, 再加之深圳河、元朗河等向深圳湾排洪, 因而使深圳湾的盐度降至 5‰~15‰, 甚至有些海域几乎为淡水。自秋季至初春, 随着淡水径流的减少及南海高盐水团的侵入, 深圳湾的海水可保持在 26‰~32‰ 的高盐水平。

由于潮汐作用, 咸、淡水在深圳湾内交汇, 盐度分布不仅有水平横向差异, 而且还存在垂向差异。在外湾深槽区, 由于紧邻湾口水道, 高盐水体潜入底部形成异重流, 盐度的垂直梯度大于水平梯度。然而, 在内湾的浅水弱潮流区, 咸、淡水混合较好, 一般而言, 盐度的水平梯度大于垂直梯度, 甚至无盐度的垂向差异。

7) 潮汐海流

据有关资料, 珠江口、伶仃洋潮型数 $(H_{K1} + H_{O1}) / H_{M2}$ 值均介于 0.5~2.0, 深圳湾湾口处内伶仃洋为 1.28。据此判断, 深圳湾潮汐属于不正规半日潮型。

从潮位过程线分析, 深圳湾在一个太阴日内有两次高潮和两次低潮, 相邻高潮(或低潮)的潮位和潮时不等, 存在潮汐周日不等现象。日潮不等在回归潮后 1~2 天最大, 而且丰水期的低高潮在先, 高高潮在后, 枯水期则正好相反。据深圳湾平均潮差分布曲线图分析结果, 深圳湾潮汐具有在 3~4 月和 9~10 月潮差最大而构成峰顶、在 6~7 月和 12 月至翌年 1 月间潮差最小而构成低谷的规律。

深圳湾水体的主要流动方式是潮流, 深圳湾潮流属不正规半日混合潮流。涨、落潮流明显受湾口水道的影响, 水道处平均流速为 0.47 m/s, 最大流速可达 0.90 m/s; 落潮平均流速则为 0.56 m/s, 最大流速为 1.22 m/s。在丰水期, 湾口北岸附近海域的潮流流向因受水道影响, 在涨潮时, 偏离湾口断面的垂直方向而向北偏离, 此现象在大潮时尤为明显; 落潮时流向几乎与湾口水道的落潮流向平行。在湾口中南部海域, 涨、落潮流受湾口水道的影响较小, 流向几乎保持与湾口断面垂直。涨潮过程中, 内湾中部潮

流流向指向湾口，而内湾东北部的潮流流向则指南岸。就流速而言，湾口的涨潮流速普遍大于湾内的流速。涨、落潮流的最大流速均出现在湾口南岸附近。在湾口，从南岸到北岸流速呈递减趋势。在枯水期，因受水下沙脊的影响，在低水位时，自蛇口山至团头山断面南北两侧潮流的流向有一定的夹角，但随着潮水位的升高，夹角逐步趋于零。在内湾北岸一侧，涨潮时的流向为沿岸顺时针旋转，落潮时旋转方向刚好相反。

深圳湾的余流，在雨季湾口余流均向湾外，指向正南。其中，湾口中部的余流普遍较大。在旱季，由于河流径流较小，全湾余流普遍较小，但余流流速的分布趋势与雨季大致相同。无论是雨季，还是旱季，内湾中部的余流均围绕水下沙脊作顺时针方向旋转。

综上所述，深圳湾的潮流基本上为往复流。受到陆地边界的限制，潮流具有沿岸流动的趋势。流速和流向明显受制于深槽和水道的影响，无论是涨潮还是落潮，其流向均大致与等深线平行，说明地形对流动起着决定性作用。在北岸海区，水体搬运的总效应不是排出湾外，而是沿北岸海区向湾内上溯。潮水的顶托作用，使深圳河口水区的上游来水难以进入大沙河口水区，而使外湾北部海水较易进入内湾海区。

2.1.2 集水区內河流概况

深圳湾集区内隶属于深圳一方的主要河流有：深圳河干支流（深圳河、莲塘河、沙湾河、布吉河、福田河、皇岗河）新洲河、凤塘河、小沙河、大沙河。各河流基本情况见表 2-2。深圳湾深圳集区内河流流域划分见图 2-1。

表 2-2 深圳方深圳湾集区内河流基本情况^①

河流名称	流域面积/km ²	河道长度/km	出口位置
深圳河	297.40	33.10	深圳湾顶端
莲塘河	10.10	13.24	深圳河上游（三汊河口）
沙湾河	68.52	14.08	深圳河上游（三汊河口）
布吉河	63.41	10.00	深圳河中游（渔民村）
福田河	14.68	6.77	深圳河中游（皇岗口岸东侧）
皇岗河	4.65	1.79	深圳河下游（皇岗码头）
新洲河	21.50	11.30	深圳河河口（沙尾村）
凤塘河	14.89	2.47	深圳湾（福田区下沙村）
小沙河	3.00	2.24	深圳湾（华城东立交桥西）
大沙河	92.26	8.00	深圳湾（沙河西立交桥处）

2.1.2.1 深圳河

深圳河流域位于珠江口东侧，属海湾水系。深圳河发源于其支流沙湾河黄牛湖水庫上游海拔 214.50 m 的牛尾岭，自源头至深圳河口全长 33.10 km，平均比降为 1.40‰。深圳河流域面积 297.40 km²，其中深圳境内 172.40 km²，香港境内 125.00 km²。

^① 资料来源于香港环境保护署《深圳湾污染负荷联合报告》(2006)；深圳市环境科学研究所《后海湾（深圳湾）水污染控制联合实施方案第一次检讨深方污染负荷估算报告》(2006)，深方为深圳方的简称。

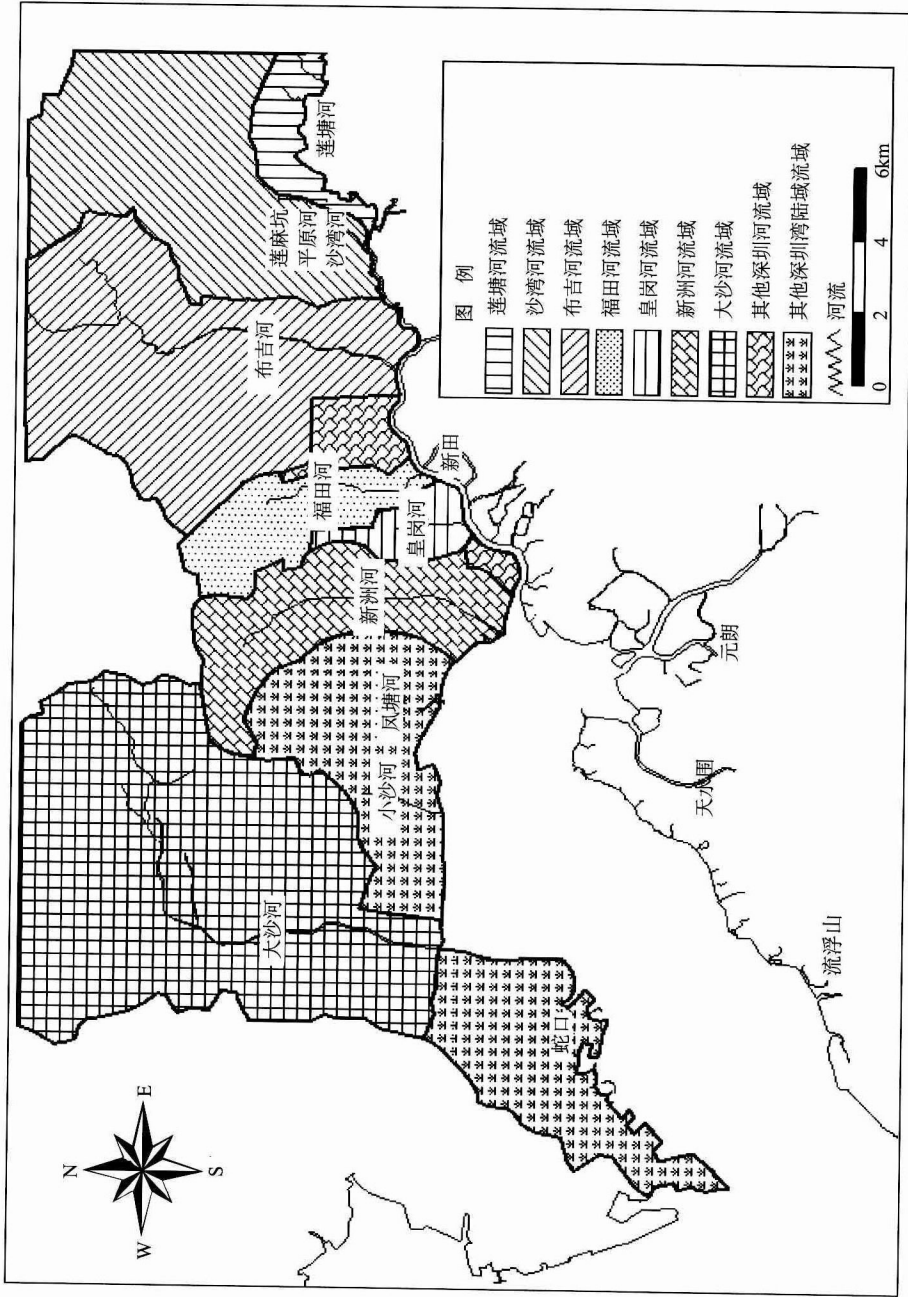


图 2-1 深圳湾深圳集水区内部河流域划分图

资料来源于《后海湾(深圳湾)水污染控制联合实施方案》,深圳市环境科学研究院,2006

深圳河是深圳市的五大河流之一，干流及其支流莲塘河是深圳、香港的界河。深圳河干流起于三汊河口，自东向西流经罗湖区、福田区南部边境线，在福田保税区处注入深圳湾。深圳河干流经过三期整治后，河道全长 12.44 km，河床比降为 0.94‰。深圳河干流全河段受潮汐的影响，干流全部为感潮河段。

深圳河一级支流有 6 条，由上游至下游的顺序分别为：莲塘河、沙湾河、梧桐河、布吉河、福田河、皇岗河，其中梧桐河在香港境内。

1) 莲塘河

莲塘河是深圳、香港的界河，河道中心线为深圳与香港两地行政分区线，其左岸在香港境内。莲塘河是深圳河一级支流，发源于梧桐山的伯公坳的莲麻坑东面，自东向西流经罗湖区与香港的边界线，在三岔河口汇入深圳河。

莲塘河河长 13.24 km，流域面积 31.50 km²，深圳境内集雨面积 10.10 km²，其中城镇面积为 3.15 km²，河床比降为 10.60‰。

莲塘河深圳市境内共有 6 条主要支流，由上游向下游依次为：梧桐山沟、径肚沟、长岭沟、禾叫垄沟、庵妮坑、千年坑；香港境内主要支流为平原河。

2) 沙湾河

沙湾河是深圳河的一级支流，发源于黄牛湖水库上游海拔 214.50 m 的牛尾岭，亦即其支流李朗河的源头。李朗河与白泥坑沟在埔地吓汇合后称沙湾河。沙湾河流经丹竹头、沙湾后注入深圳水库，经深圳水库溢洪道出口，流经新秀村，在三岔河口汇入深圳河，其中深圳水库以下河段现称为深圳水库排洪河，在深圳境内；水库以上在龙岗区境内。

沙湾河干流河长 14.08 km（自埔地吓至三岔河口，包括水库库区长 4.42 km），河床平均比降为 3.40‰，流域面积为 68.52 km²，其中城镇面积为 12.94 km²，蓄水工程控制面积为 60.50 km²。

沙湾河有 6 条支流：李朗河、白泥坑沟、筒坑河、正坑水、梧桐山河、仙湖水。

沙湾河流域内有一段长为 4.20 km 的引水明渠，即起于雁田水库的雁田水闸，在丹竹头水电站附近汇入沙湾河的人工渠，为 1985 年完成的东深供水第二期扩建工程的一部分。自 1994 年底东深供水第三期扩建工程完成后，该段渠道已不再使用。

沙湾河中游有一中型水库——深圳水库：集雨面积为 60.50 km²。深圳水库是东深供水工程的主要调节水库。

3) 布吉河

布吉河是深圳河的一级支流。布吉河干流全长 10.00 km，龙岗区内长度为 3.08 km，其余区内 6.91 km。河床比降为 3.20‰，流域面积为 63.41 km²，其中城镇面积为 38.50 km²，蓄水工程控制面积为 13.20 km²。布吉河河口受潮水的影响较大，感潮河段长度约 2.70 km。

布吉河干流起点为水径水、塘径水的汇合处——布吉街道牛岭吓，河流自北向南流经布吉街道，罗湖草埔工业区、笋岗滞洪区、罗湖商业区，在渔民村处汇入深圳河。布