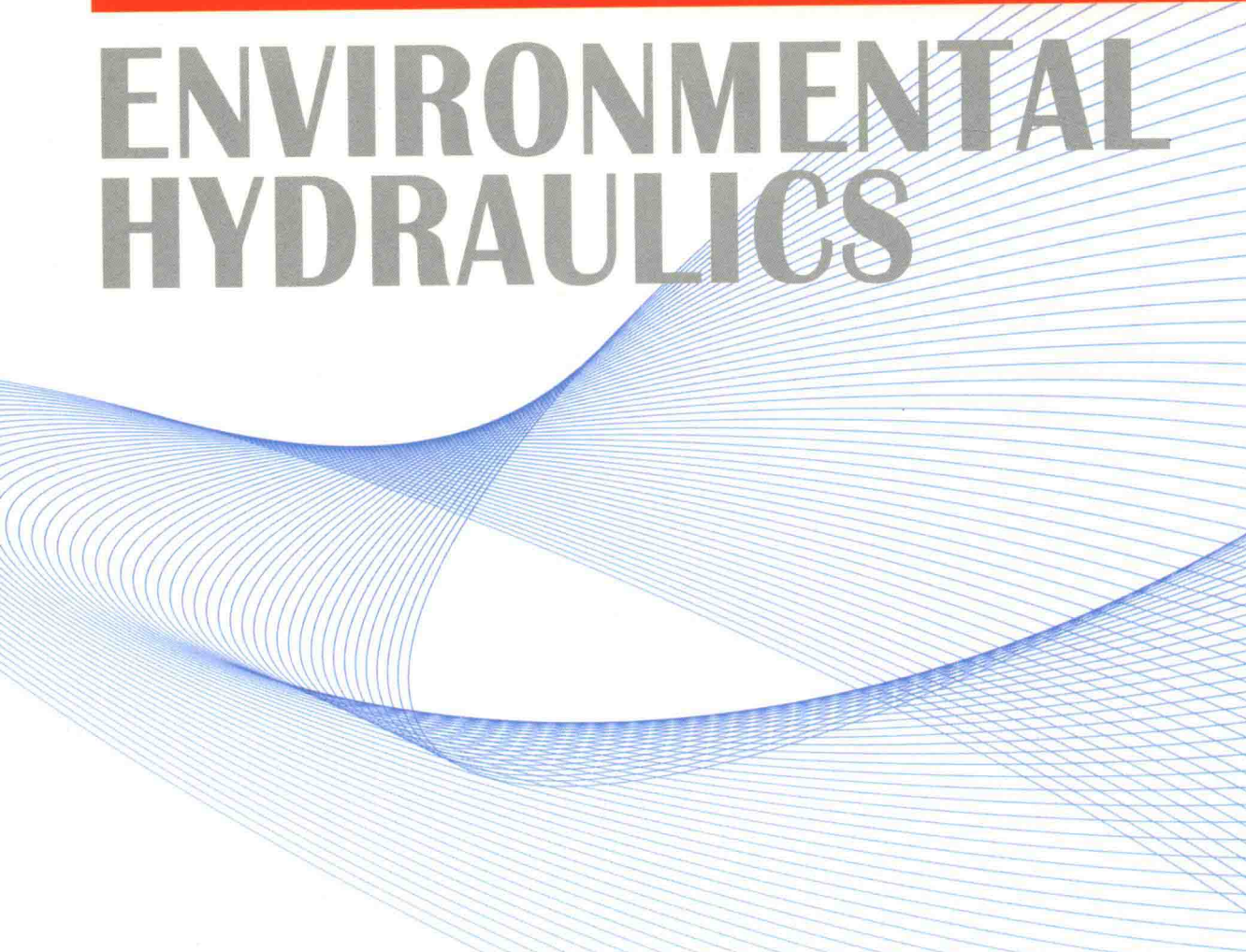




环境水力学

王玉敏 高海鹰 朱光灿·编著

ENVIRONMENTAL HYDRAULICS



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

环境水力学

王玉敏 高海鹰 朱光灿 编著

东南大学出版社
• 南京 •

内 容 简 介

本书系统地阐述了环境水力学的基本概念及基本理论,全书共分为六章:绪论,分子扩散,紊动扩散,剪切流的离散,污染物质在河流中的扩散与混合,射流、羽流及浮射流。授课时数为40学时左右。

本书注重理论联系实际,紧密结合环境水力学课程在工程实际中的应用,所选的例题贴近生活实际,深入浅出。为便于读者学习,书中需要详细推导的部分在附录中予以说明,每一章后附有一定数量的习题。

本书可作为水利类、环境类专业高年级本科生和研究生的教材,也可作为其他专业和有关科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

环境水力学/王玉敏,高海鹰,朱光灿编著. —南京:
东南大学出版社,2017.2

ISBN 978-7-5641-6818-6

I. ①环… II. ①王… ②高… ③朱… III. ①环境
水力学-高等学校-教材 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 260328 号

环境水力学

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼2号 邮编 210096

出 版 人 江建中

网 址 <http://www.seupress.com>

电子邮箱 press@seupress.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 兴化印刷有限责任公司

版 次 2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 10.75

字 数 222 千

书 号 ISBN 978-7-5641-6818-6

定 价 39.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

前 言

本书编写目的是指导学生学习掌握环境水力学的基本理论及研究方法,在今后实际工作中能够加以灵活运用。本书系统地介绍了环境水力学的基本概念、基本理论和分析问题的基本方法,在编写过程中,理论推导力求严谨、清晰、明确,问题分析尽量形象、贴切、生动。本书由六章组成,第一章,绪论;第二章,分子扩散;第三章,紊动扩散;第四章,剪切流的离散;第五章,污染物质在河流中的扩散与混合;第六章,射流、羽流及浮射流。

本书可以作为环境、水利、市政及能源动力等专业的本科生和研究生的教材,也可以作为相关专业的教师和工程技术人员的参考书。

本书由主编统一撰稿审定。参加编写的有:东南大学王玉敏(第一、二、三、四章)、东南大学朱光灿(第五章)、东南大学高海鹰(第六章),主编是王玉敏。在编写过程中,得到了校内外有关专家的热情鼓励和支持,同时本书也得到了“十二五”国家科技支撑项目(2013BAJ10B13)的资助,在此致以衷心的感谢!

由于作者水平有限,错误与疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2016年8月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 环境水力学的任务以及与其他学科的关系	1
1-1-1 环境水力学形成的背景	1
1-1-2 环境水力学的形成与发展	3
1-1-3 目的和任务	3
1-1-4 研究方法	6
§ 1-2 环境水力学的基本概念	7
1-2-1 浓度与水域中的污染物	7
1-2-2 稀释度、密度与密度分层水体	9
§ 1-3 物质在水体内迁移的主要方式	10
§ 1-4 环境水力学研究的主要领域及发展趋势	11
1-4-1 研究的主要领域	11
1-4-2 发展趋势	12
习题	12
第二章 分子扩散	13
§ 2-1 物质的传递与扩散现象	13
§ 2-2 分子扩散的费克定律	13
§ 2-3 扩散方程——费克第二定律	16
2-3-1 静止水体中的扩散方程	16
2-3-2 层流运动水体中的扩散方程	18
§ 2-4 静止水体中瞬时平面源一维扩散方程	19
2-4-1 静止水体中一维扩散方程求解	19
2-4-2 静止水体中一维扩散方程求解结果的分析	24
§ 2-5 静止水体中瞬时点源在二维及三维空间的扩散	27

§ 2-6 静止水体中瞬时分布源的扩散	28
2-6-1 一维起始无限分布源的扩散	28
2-6-2 一维起始有限分布源的扩散	30
2-6-3 二维起始有限分布源的扩散	31
2-6-4 三维起始有限分布源的扩散	32
§ 2-7 静止水体中时间连续源的扩散	32
2-7-1 时间连续点源的一维扩散(等强度连续点源的一维扩散)	32
2-7-2 时间连续点源的三维扩散	35
2-7-3 变强度连续点源的一维扩散	36
2-7-4 变强度分布连续源的一维扩散	37
§ 2-8 层流水体中移流扩散方程的解	37
2-8-1 瞬时点源的移流扩散	37
2-8-2 时间连续点源的移流扩散	39
§ 2-9 有边界反射情况下的扩散	42
2-9-1 一侧有边界的一维扩散	42
2-9-2 两侧有边界的一维扩散	43
§ 2-10 应用	44
§ 2-11 用随机游动(Random Walk)来分析分子扩散现象	46
习题	48
附录 2	51
附录 2-1 关于误差函数的基本知识	51
附录 2-2 瞬时点源一维扩散方程的推导	52
附录 2-3 浓度分布特性	55
附录 2-4 时间连续源扩散方程解的推导	57
 第三章 紊动扩散	 59
§ 3-1 紊流的时间平均与统计平均	59
§ 3-2 紊流的脉动强度及相关系数	60
3-2-1 欧拉空间相关和紊流尺度	60
3-2-2 拉格朗日时间相关和紊流尺度	61
§ 3-3 紊动扩散的泰勒理论——拉格朗日法	62
§ 3-4 紊动扩散的欧拉法	66
§ 3-5 河流中的紊流扩散系数	68
习题	70

第四章 剪切流的离散	72
§ 4-1 剪切流的离散方程	73
§ 4-2 圆断面管流中的离散	76
4-2-1 圆管层流中的离散	76
4-2-2 圆管紊流中的离散	80
§ 4-3 二维明渠中的离散	82
§ 4-4 河流中的纵向离散系数	86
习题	94
附录 4	95
附录 4-1 柱坐标系下圆管层流的方程推导	95
附录 4-2 圆管层流中扩散物质流量推导过程	96
附录 4-3 圆管紊流中断面平均流速推导过程	96
附录 4-4 圆管紊流中纵向离散系数 E 的推导	97
附录 4-5 圆管紊流中纵向离散方程的推导	97
第五章 污染物质在河流中的扩散与混合	98
§ 5-1 污染带计算	99
5-1-1 污染带浓度分布	99
5-1-2 污染带宽度的确定	102
5-1-3 达到全断面均匀混合的距离	102
§ 5-2 用累积流量坐标计算天然河流中二维扩散	106
5-2-1 用累积流量坐标表达的二维扩散方程	107
5-2-2 关于横向扩散因素 K 及无量纲累积坐标 p 的计算	108
习题	109
第六章 射流、羽流及浮射流	112
§ 6-1 概述	112
6-1-1 射流的一般概念	112
6-1-2 紊动射流的特性	114
6-1-3 射流问题的分析途径	115
§ 6-2 平面淹没紊动射流	116
§ 6-3 圆形淹没紊动射流	121
§ 6-4 静止液体中的浮力羽流	127
§ 6-5 静止均质(无密度分层)及线性密度分层环境中的圆形浮射流	135

§ 6-6 静止均质(无密度分层)及线性密度分层环境中的二维(长方孔)
浮射流 151

习题..... 157

附录 6 159

 附录 6-1 静止均质环境中圆形浮射流轨迹及射流厚度求解图 159

 附录 6-2 静止均质环境中圆形浮射流稀释度求解图 161

参考文献..... 163

第一章

绪 论

§ 1-1 环境水力学的任务以及与其他学科的关系

1

1-1-1 环境水力学形成的背景

水是维持地球上一切生命和社会发展的至关因素,地球上各种形态的水体共 1.36×10^{10} 亿 m^3 ,其中海洋储量 1.32×10^{10} 亿 m^3 ,占全球总储量的 97.24%,陆地上各种水体为 3.75×10^8 亿 m^3 ,仅占 2.76%,而陆地水储量中,储存在河流、湖泊及浅层地下水的可利用的水资源量约有 3.84×10^5 亿 m^3 ,仅占淡水总量的约 0.1%。我国水资源总量为 2.8×10^4 亿 m^3 ,居世界第六位,但人均占有量仅为世界人均占有量的 1/4。随着工业发展和城市化进程的加快,目前全球大部分水体正遭受着人类活动造成的各种危害,面临各种环境问题。

1. 海洋环境问题

全球共有 35 个主要海域,有的与大陆相连,有的由陆地环绕。在所有海域中,受人类“比较严重影响”“严重影响”和“非常严重影响”的比例加起来是 41%。所谓“比较严重影响”,意指海洋的现状已经让人难以接受,有些物种可能已经从海洋食物链的顶端彻底消失,而珊瑚礁和其他栖息地也发出警报。而侥幸未受人类活动侵害的海洋只占不到 4%。

海洋环境污染具有以下特点:

- (1) 海底生物镉、铅、铜超标,珊瑚礁消失,生物多样性减少,鱼类产量减少。
- (2) 石油污染,海面形成油膜,阻碍海面与大气的交换,影响海水中鱼类生存。

2. 河流环境问题

河流是陆地上最重要的水体,既是工农业用水水源,又是生活污水、工业废水的排放场所。城市和大工业区大都沿河建立,因此,在工业地区和人口密集城市的河流大多受到不同程度的污染。

河流环境污染具有以下特点:

(1) 污染程度随径流变化,径污比(河流的径流量与污水量之比)越大,河流稀释能力越强,污染程度较轻,因此丰水年河流污染较枯水年轻微。

(2) 污染影响范围广,河流从上游到中下游历经不同的省市,导致河流一旦受到污染,必然影响其下游广大地区。河流是主要的饮用水源地,河水中的污染物会通过饮用水直接危害人类的健康,还会通过食物链和河水灌溉农田造成间接危害。

(3) 自净能力较强,河流的流速较大,在流动过程中,污染物质与河流的底质、大气发生各种物理、化学和生物的作用,使得水体得到自净。但是河流自净能力是有限的,当河水污染物超过河水的环境容量时,会对河流水质造成不可逆的影响。

3. 河口污染问题

入海河口是海洋与河流的交汇段,是河流的排泄与海洋潮汐两种动力相互作用,相互消长的区域。在狭长河口,潮汐起主要作用。而在宽阔河口,风力也是主要作用之一。这些动力因素的组合造成河口的水文情势和污染物迁移扩散较为复杂,具有其独特的特性。

入海河口往往有三角洲和冲积平原,土地肥沃,人口稠密,工农业生产比较发达,排放污染物也较集中。入海河口由于流量大,比降小,容易受到海洋潮汐的影响和台风暴雨的袭击,发生海水倒灌,河水漫滩等问题。

河口区咸淡水的盐度、密度、含沙量不同,咸淡水的混合程度用混合指数—— MI (mixing index)表示,即涨潮期内进入河口区的淡水量与涨潮量的比值。若 $MI \geq 1$,咸淡水分层清楚,常出现在弱潮河口,河道径流量大,淡水从上层流向海洋,海水密度大,沿底层向河口上游延伸。若 $MI \leq 0.1$,潮汐作用占主导地位,咸淡水之间混合强烈,断面上的等盐度线近乎垂直。若 $0.1 < MI < 1$,即介于弱混合和强混合之间,即咸淡水之间无明显的交界面,但是上层和底层盐度仍有差别。

河口区的泥沙粒径一般很小,由于化学作用,细颗粒泥沙在淡水中发生电离现象,呈负电,颗粒间负电相斥,泥沙分散,呈胶体状,很难在重力作用下下沉。而海水是含电解质的液体,即含有正离子,表面带有负电荷的泥沙胶粒与海水中的离子发生离子交换,致使部分泥沙颗粒之间产生引力,从而颗粒变大,当紊动垂向速度小于其沉降速度时泥沙下沉,这就是絮凝作用,是入海河口泥沙沉积的重要因素。

4. 湖泊水库污染问题

湖泊与河流的水文条件、形成成因不同,湖泊污染的特点如下:

(1) 湖泊水面面积大,接纳的污染物来源广,途径多,种类多。

(2) 流速缓慢,其稀释和输运污染能力弱,易发生富营养化。

(3) 对污染物的生物降解、积累和转化能力强,可以使得重金属在食物链中富集。

水库的形成与地形、水文地质条件有关,狭长形水库具有与河流相似的特性,宽阔形水库具有与湖泊相似的特性。深水湖泊、水库会出现水温分层,水质也呈现不均匀性。

5. 热污染问题

热电厂、核电站、冶炼等企业产生的温水排放到天然水体中会造成热污染,破坏水生生物的生态环境,不利于鱼类产卵,造成水草丛生、藻类暴发。热水的排放,使得水体温度上升,对物理过程和生物过程都有重要影响,水质也会受到影响。目前为了改善热污染问题,很多机组已经更新换代,采用空冷机组代替以前的水冷机组。

6. 地下水污染

地下水的水文地质条件复杂,流速缓慢,一旦受到污染,其影响大、过程缓慢,属于间接污染,由于地下水埋藏在地下,在不同的水文地质条件下,污染原因、污染程度、污染分布范围各异,表现出不同的特征。因此,对于地下水资源的利用和污染防治要因地制宜,合理采用相应的对策和措施。

7. 城市水环境问题

目前城市化进程加快,导致城市的不透水地面增加,径流条件改变,径流系数显著增加,城市截留污染物的能力下降,加剧了点源污染和面源污染,从而使城市水环境严重恶化。

1-1-2 环境水力学的形成与发展

环境水力学就是适应水环境保护的需要而发展起来的,于 20 世纪 70 年代逐步成为水力学的一个重要分支学科,同时又是一门交叉学科,其内涵较丰富,主要包括污染物在水体中的扩散、迁移及转化规律以及水生物与水流之间的相互关系等。它是水力学与环境科学、环境工程、水利工程、生态学等学科相互交叉、相互渗透的产物,是进行水质评价、水质预报、水生态修复等水环境问题的理论基础。

环境水力学产生 30 多年来,发展速度惊人,无论是广度还是深度,发展都十分迅速。国际水利研究协会(International Association for Hydraulic Research, IAHR)成立了环境水力学组,每两年召开一次环境水力学国际研讨会,并出版环境水力学会议论文集,中国水利学会水力学专业委员会每两年也召开一次环境水力学会议。

1-1-3 目的和任务

环境水力学是形成和建立不久的一门水力学的分支学科,它的主要任务是研究污染物在水体自然过程中的浓度变化规律及其应用。这些过程可以分为两大类:迁移和转化。迁移指通过物理方法在大气圈和水圈中运输物质的过程。类似于邮政快递,运输就是一封信从一个地方到另一个地方,流体就类似于邮政运输车,而信本身就类似于被运输的化学物质。环境水力学中两种基本的运输是对流(与流体流动相关的运输)和扩散(与流体随机运动相关的运输,包括分子扩散、紊动扩散、剪切流离散)。第二个过程转化,指的是将一种物质转化成另一种物质的过程。仍以以上例作为例子,转化就是废旧回收厂将

信转化为鞋盒的过程。转化的两种基本模式是物理变化(由物理规律引起的转化,如放射性衰变)和化学变化(由化学反应或生物反应引起的变化,如溶解和呼吸)。转化过程不是本课程的主要内容,本课程主要研究的是示踪物质(在水体内扩散和输移时不发生转化的物质),其存在不影响流场特性的改变。

污染物浓度在水体的分布状况,是进行水质评价的基本依据。过去一段时间内,人们在研究水资源的利用和开发时,多着眼于对水量进行预测和规划。可是目前水污染现象比较严重,只对水量进行研究显然不能满足国民经济发展的需要,环境水力学的研究成果将会在水质评价、水质规划与水资源保护等工作中得到广泛的应用。

环境水力学的主要研究及应用领域涉及:

(1) 海洋水体:包括污水排海工程的设计规划、冷却水取、排水工程设计、事故情况下溢油的运动规律、河口盐水入侵问题等。

(2) 河流流域:包括污染带计算、排放口形式及位置、射流理论、分流比、湍流理论、河口盐水入侵问题等。

(3) 湖泊、水库:包括水库建库前后的水质变化、水环境预测,水温变化、富营养化问题等。

(4) 其他领域:包括氧化塘的优化设计、沉淀池的沉淀效率、过滤池的过滤机理、氧化沟的水力模拟等。

这里,我们介绍几个典型问题及其与环境水力学的关系,用以激发后续学习的兴趣,并给接下来的学习做一个引导。

例 1-1 室内空气污染 在“9·11”事件后不久,美国邮电业面临着炭疽热问题,关于武器级别的炭疽热会在空气中扩散的讨论有很多。典型的炭疽孢子由于质量较大因而很难发生远距离传播。然而,若炭疽能由气溶胶颗粒(体积足够小,没有明显沉降速度的颗粒)传输,则会带来更大的威胁。扩散,尤其是在第三章将会讲到的紊动扩散,对密闭空间内气溶胶的扩散起着非常重要的作用。实际上,扩散是人们闻到湿油漆、烟气或者香水的主要原因。若炭疽能在空气中扩散,则也会在密闭空间中充分扩散,这也提高了进入这个空间中的人被感染的几率。

图 1-1 为在房间的左下角有一点源释放,通过通风系统和气体的随机运动,使得进出房间的气流达到混合。当工程师设计室内通风系统时,他们要使室内空间空气充分混合和快速更新(避免污染物质集中的死角),环境流体力学为计算空气混合速率及设计更有效的空气系统提

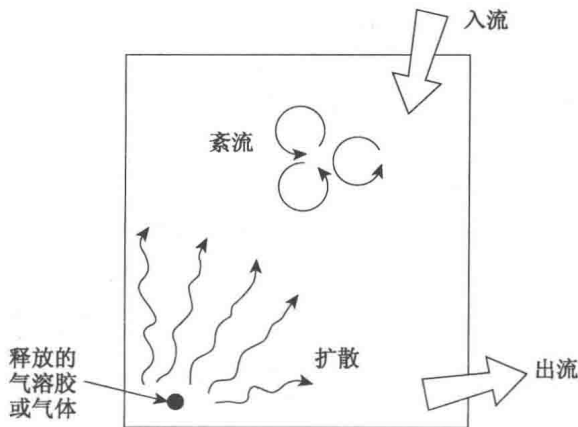


图 1-1 在封闭空间内的混合过程图

供了研究手段。

例 1-2 河流排放污染物 河流接受污染物质且能将其向下游输送,是大量的工业废水和市政污水最主要的接纳水体(见图 1-2)。而且,社区污水处理厂很可能将处理后的污水直接排至当地的河流或者水库,尽管水已被处理过,但是仍有可能含有营养污染物质从而导致下游藻类和细菌滋生,这也反过来会影响水体的溶解氧水平,促进湖泊水体富营养化。

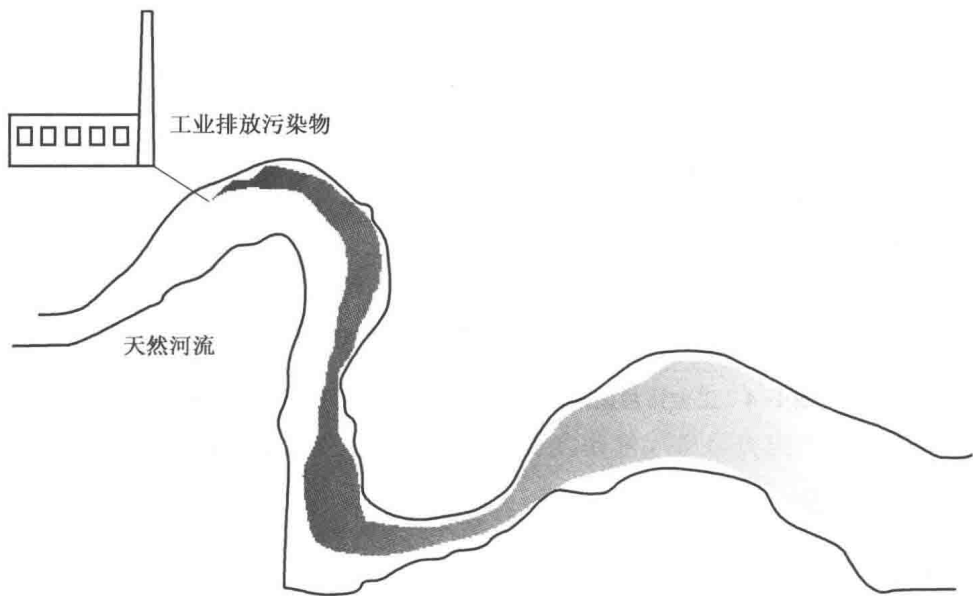


图 1-2 工业副产物通过点源输送至天然河流中的示意图

为了控制点源污染物排放产生的影响,工程师们必须对点源附近的区域(近区)和下游不受排放点驱动力影响的较远区域(远区)的影响进行评估。近区污染物质与环境水体快速混合,主要受扩散过程影响。远区则主要受离散和随流输移过程影响。在后面的章节中,会对以上每一个专题进行详细讨论。

例 1-3 氧交换 环境流体力学所研究的物质并不都是有害物质。我们将要研究的另一种重要的物质为氧气,是呼吸所必需的物质。通过水体的生物降解可降低其中的氧气浓度,这主要是因为水体和空气之间比较缓慢的交换速率无法弥补由于生物降解所消耗的氧气。当污染物浓度降低时,氧气则会从空气中溶解到水中进而扩散到水体,如图 1-3 所示。

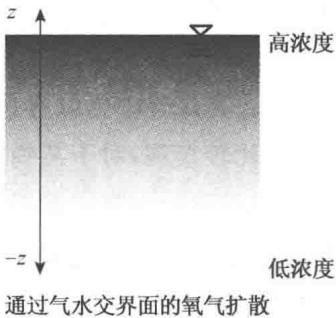


图 1-3 氧气通过气水交界面扩散到水体中的示意图

扩散的重要特征之一是,它能使污染物质从高浓度区向低浓度区迁移。在图 1-3 中,深色部分表示氧气的高浓

度区,浅色部分则表示氧气的低浓度区。

例 1-4 气体混合 污染物质释放到环境中的最主要的途径是通过化工厂和电厂排放烟气(如图 1-4 所示)。污染气体由于自身的冷凝,会形成烟气或者云的可见形式排放。寒冷的冬季,汽车尾气也以可见的形式排出。在夏天,汽车尾气均不可见,我们很少在夏天会注意到汽车四周的污染物质。然而,一旦受到冷空气的作用使废气可见时,其效果是令人吃惊的。环境流体力学被用来预测夏季和冬季气体浓度,辅助设计汽车尾气和工业废气系统,以使其达标排放。

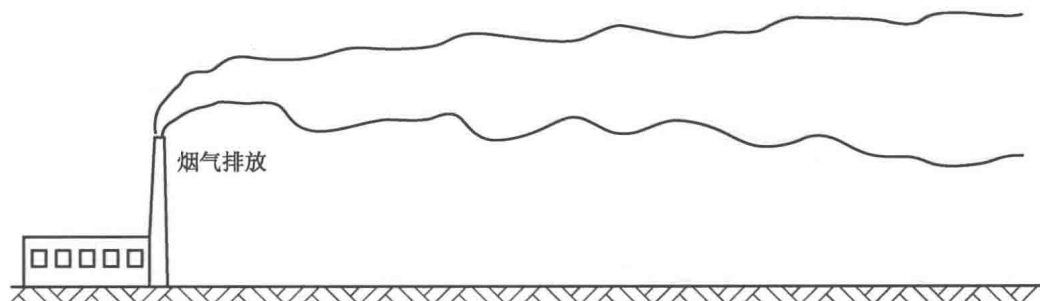


图 1-4 工业排放副产物通过烟囱释放到大气中的示意图

1-1-4 研究方法

概括来说,环境流体力学的研究方法分为以下三种:

1. 理论分析法

对原型或模型中的流体运动现象,用肉眼或仪器进行观察,将影响流体运动的因素分清主次,抓住主要因素,概括、抽象成环境流体力学的模型,根据物理学的普遍定律,结合流体物性及污染物运动特点,建立环境流体运动的基本方程,给出相应的初始和边界条件,借用数学工具分析问题的解。在分析流体运动、建立模型时,根据所取研究对象的不同,通常采用微元分析法或元流分析法。

2. 实验模拟法

复杂边界条件下的环境流体力学问题也常采用缩小尺寸的物理模型(实物模型)进行试验研究。在试验中可以直接观察流动和扩散的现象,测取流速和扩散质浓度的分布。物理模型比较直观,对于某些现象和影响因素不甚明确,因而对于未能建立数学模型的情况,只要对问题的主要因素抓得正确,即可设计物理模型。但是由于扩散的影响因素太多,物理模型的边界只适用于某一特定问题,模拟结果缺乏通用型。

3. 数值模拟法

随着计算机的出现及计算方法的发展,使得数值计算方法求解流体运动偏微分方程组成为可能,并得到越来越多的应用。如有限差分法、有限元法、有限体积法、边界元法等

等,这些方法能够快速、准确、有效地求解环境流体力学问题,可参阅计算水力学或计算流体力学方面的书籍。目前已有许多现成的计算机程序(实用分析软件)供选用。与实验模拟方法比较,数值模拟法大大节约了人力物力,具有通用型,但是数值模拟法的结果需要实验和实践的检验,才能应用于实际问题。

理论分析、实验、数值计算这三种方法各有优缺点。在具体的科研和工程设计中,应结合具体的目的和要求,选择所介绍的方法,创造性地解决问题,完成任务。往往要采用几种途径相互配合或补充,结合起来解决问题。

§ 1-2 环境水力学的基本概念

1-2-1 浓度与水域中的污染物

1. 浓度

(1) 浓度与质量分数

评价水环境质量时,污染物浓度是一个最重要的指标。令 C 代表单位体积水中含有物的质量浓度,则给定时刻某一点的浓度定义为:

$$C = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (1-1)$$

式中, ΔV 表示以被研究点为中心所取无限小水体的体积; ΔM 为 ΔV 体积内所含物质的质量。浓度 C 的量纲为 $[ML^{-3}]$, 常用单位为 mg/L 或 g/L , 对于一维、二维系统而言, 浓度也可表示成单位长度的质量 $[ML^{-1}]$, 或者单位面积的质量 $[ML^{-2}]$ 。

在工程中常用 ppm(parts per million)和 ppb(parts per billion)来表示浓度,严格意义上来说, ppm 和 ppb 是质量分数的表示方法,即这种物质的质量 M_i 与混合物总质量 M 之比,质量分数是无量纲量, $1 \text{ ppm} = 1 \text{ kg}$ 水中含有 1 mg 物质的浓度; $1 \text{ ppb} = 1 \text{ kg}$ 水中含有 $1 \mu g$ 物质的浓度。由于水的密度为 1 kg/L (4°C 纯水), 所以使浓度单位 mg/L 和质量分数单位 ppm 完全一样, 但是其他溶剂如海水或者空气, 其单位 ppm 和 mg/L 则不一样。

向水体中排放超标准的热量也属于对水环境的污染,热污染浓度 C_h 表示单位体积水中含有的热量,

$$C_h = \rho C_p T \quad (1-2)$$

式中, ρ 为水的密度; C_p 为定压比热; T 为水温。当压力和温度变化范围不大时, 水的密度和比热相对变化很小, 因此热污染浓度主要取决于水温, 可见, 水温值的大小是热污染浓

度的标志。

(2) 平均浓度

对于某段时间平均浓度, 定义为:

$$\bar{C}_t(x, y, z, t_0) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} C(x, y, z, t) dt \quad (1-3)$$

对于某个空间的平均浓度, 定义为:

$$\bar{C}_v(x_0, y_0, z_0, t) = \frac{1}{V} \iiint_{\Delta V} C(x, y, z, t) dV \quad (1-4)$$

如某一过水断面上, 其流速和浓度分布都是不均匀的, 设断面上任意点处的流速为 u , 相应的含有物浓度为 C , 通过该断面水流的流量为 Q , 则流量平均浓度 $\bar{C}_f$ 定义为:

$$\bar{C}_f = \frac{\int_A C u dA}{Q} \quad (1-5)$$

式中分子部分 $\int_A C u dA$ 为通过断面的含有物流量(即单位时间通过的含有物质量)。

若在某污染水体中共取得 n 瓶水质样品, 各样品体积分别为 $V_1, V_2, \dots, V_n$; 其浓度分别为 $C_1, C_2, \dots, C_n$; 则样品组合平均浓度 C 定义为:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n V_i C_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1-6)$$

2. 水域中的污染物

(1) 无毒有机物

主要来自轻工业污水和生活污水中的有机物, 如淀粉、蛋白质、糖类等。这类污染物在水体中经生物降解, 可以分解为 CO_2 、 H_2O 和硝酸盐等。这类物质降解时会消耗水体中的溶解氧(DO)(未受污染的自然水体常压下 DO 约为 9.17 mg/L)。过多的无毒有机物会造成水体缺氧, 形成富营养化, 导致大量水生物因缺氧死亡。

(2) 无毒无机物

主要指各种无毒的中性(或弱酸性、弱碱性)无机盐, 如食盐等。

(3) 有毒有机物

主要指酚、醛、多氯联苯、有机磷、有机氯等农药及其他化工产品。这类物质化学稳定性强, 难分解, 能在水体中存留很长时间, 且能在生物体内累积、传递。

(4) 有毒无机物

主要指氰化物、氟化物、亚硝酸盐等剧毒无机物。这类物质一旦进入生物体内, 会导

致生物功能紊乱或丧失,引起急性中毒死亡。但这类物质易氧化分解,在水中存留时间不长。

(5) 重金属

来自重工业、化工、造纸、制漆以及有色金属开采、加工的三废(废水、废气、废渣)。主要有汞、镉、铬、铅、锌、锑、钴、锡、钨及其氧化物。水体只要含微量浓度(1~2 mg/L),就具有毒性。此类物质不能被微生物降解,一旦进入生物体内,就会长期积存在某些器官中,危害极大。

(6) 放射性物质

来自铀开采、核工业、反应堆等设施排放的污水,以及各种放射性同位素的研制和应用。这类物质在相当长时间内放射 α 、 β 、 γ 射线,伤害各种生物体组织,诱发恶性贫血、肿瘤和胎儿畸形等。

(7) 细菌

尤指大肠杆菌,主要由各种动物(含人、畜等)的排泄物带入水体。可引起各种肠道疾病、皮肤病和其他传染性疾病。

(8) 热污染

主要来自热电厂、核电厂、冶炼厂、焦化厂以及印染、纺织、制革等工业的热废水。当水体温度升高时,会破坏水生生物的生态环境,溶解氧(DO)下降,厌氧菌繁殖,会使水体中有毒物质的毒性加剧。

1-2-2 稀释度、密度与密度分层水体

1. 稀释度

稀释度也可作为反映纳污水体被污染程度的一种指标,稀释度 S 定义为:

$$S = \frac{\text{样品总体积}}{\text{样品中所含污水体积}} \quad (1-7)$$

若 $S=1$,则表明污水未得到任何稀释; $S=\infty$,则样品中所含污水体积为零,样品为纯净水体。

2. 相对浓度

相对浓度是用样品中所含污水体积的相对比例来反映水体被污染程度的指标,相对浓度 P 定义为:

$$P = \frac{\text{样品中所含污水体积}}{\text{样品总体积}} \quad (1-8)$$

若 $P=1$,则表明污水未得到任何稀释; $P=0$,则样品为纯净水体。显然,稀释度 S 与相对浓度 P 互为倒数,即 $P=\frac{1}{S}$ 。