

我国环境水力学研究的现状和展望

Research on Environmental Hydraulics in China

黄真理

(清华大学水电系)

一、环境水力学概况

环境水力学是近几十年,特别是70年代以来逐渐形成的一门边缘学科,是环境科学与现代水力学交叉渗透的产物。它的主要任务是研究污染物质在水体中的扩散输移规律及其应用。

环境污染与保护是当今世界所面临的严重问题之一。所谓环境,一般是指大气环境、水环境和生态环境,三者之间有着密切的联系。由于社会经济的发展,大量有害于人类和其他生物的工业废物、生活污水和农业废水排入江、湖、水库与海洋,使天然水体受到严重污染。污染物质通过在水体中溶解扩散,或随水流的输移而扩展。因此,为了保护环境,减少污染的危害,必须了解这些污染物质的扩散输移规律。环境水力学正是在这样的背景下逐渐形成和发展起来的。近几年来,几乎所有的流体力学和水力学的国际(内)专业学术会议都把环境水力学问题作为一个重要内容。

应该说明的一点是,有一个学科名称叫做环境流体力学,也常常在专业刊物中见到。一般认为,环境流体力学所研究的范围要大一些,它涉及人类生存环境中的所有流动问题,如噪音污染的力学分析,以及火灾、风沙和泥石流等。也有的学者把环境水力学和环境流体力学等同看待,认为只是叫法的不同。持这种观点的学者往往把现代水力学和流体力学等同起来。事实上,现代水力学的研究方法和手段确实与现代流体力学相似。但水力学主要研究的是水,而流体力学研究的对象要广一些,如水、气以及许多非牛顿流体等。因此,如果以水体为研究对象,环境水力学与环境流体力学这两个概念是等同的。

环境水力学已经走过了40多年的发展道路,大致可分为三条线:一是射流混合机理的研究;二是异重流和分层流的研究;三是自然环境中污染物扩散、输移和衰减的研究。

射流混合机理的研究目的主要是为了解决所谓“近区”稀释问题。“近区”是指射流喷口附近紊动和混合占主导地位的区域。劳斯(Rouse)等1950年研究了射流进入静止环境的扩散。以后大批学者又研究了浮射流(包括负浮射流)、单孔和多孔射流、均匀或分层环境中的射流,以及有横流的射流等,发表了大量的论文。这项研究的一个主要应用就是污水(包括电站冷却水)排江排海技术。

异重流(又称为密度流)是指两层密度不同、流速不同的流体的相对运动。下层较重,上层较轻。例如在一定条件下,盐水与淡水、热水与冷水之间形成交界面。在水流的紊动输移中(包括热和污染物质的输移),由于垂向上密度分布的差异,引起了横向和垂向扩散的差异,又影响到热与污染物质的输移。这在环境水力学中是比较复杂而又十分重要的问题。50年代,柯隶根(Keulegan)开始了异重流的试验,探讨了模型律和盐水入侵河口的机理。最初的研究主要考虑无界面混合的两层流动问题。哈利曼(Harleman)1961年讨论了许多应用问题,如电厂冷却水取水口的布置以防止回流产生等。另外,很多学者进行了界面阻力和混合的深入研究,将简单的两层流动扩展到了多层乃至连续密度梯度流动(即分层流)。

对污染物的扩散、输移和衰减的研究,首先由泰勒(Taylor)在1954年进行了开创性的工作,他考虑了紊动管流中瞬时投放污染物时的扩散问题。以后,1959年埃尔德(Elder)将泰勒的分析推广到二维明渠流中。1973年,费希尔(Fischer)等学者研究了天然河流中的纵向离散问题。以后,又有很多学者在此基础上进行了广泛、深入的研究,得出了一些理论上和实用上均有重要意义的成果。另外,针对不同的污染物和环境水体,发展了各种各样的水质预测模型。例如:考虑到污染物(BOD, COD, DO, 重金属, 有机物等)在水体中的化学物理作用,发展了不同用途的模型;考虑到

水库温度随季节变化对水生生物和水库运行管理的重要性,研究了一维、二维和三维的温度模型;针对海洋浮油的运动特点发展了多种溢油预报模型,等等。一般认为,对污染物的扩散、输移和衰减的研究属于所谓“远区”问题。“远区”是相对于“近区”而言的。这样划分,是为了便于数学模型的简化,节约计算机内存和计算时间。

二、我国环境水力学研究的现状

我国开展环境水力学问题的研究是与经济发展水平和对环境问题的重视同步的。早在50年代末期,由于电力发展的需要,大量修建火电站,冷却水的排放,特别是排水口和取水口的布置,成了电站修建必须考虑的因素,国内有的单位(如水利水电科学研究院)开始了这方面的研究,主要是解决生产实际问题,也进行了一些理论研究。当时,这种研究主要是出于工程需要而非环境方面的考虑。70年代,河海大学等单位也开展了这方面的研究。80年代以后,由于工农业的迅速发展和人们环境意识的提高,环境污染的危害越来越受到重视,使得环境水力学研究蓬勃发展,国内的很多高校和研究院相应成立了环境水力学研究室(组),积极加强与国外同行的科研合作和交流,结合国家自然科学基金、国家“六五”和“七五”攻关以及横向生产项目等的经费资助,开展了多方面的研究,拓宽了环境水力学研究领域,缩小了与国外的差距。同时翻译、编著了许多专著,在有条件的高校中为环境、水电等系的本科生和研究生开设了《环境水力学》的课程。现在,已有多所高校和科研院所招收环境水力学方向的硕士生和博士生。1988年5月,中国水利学会水力学专业委员会设立了环境水力学学组。1989年4月,在武汉水利电力学院举办了首届全国环境水力学学术会议。会议共收到论文30余篇,论文涉及基本理论和工程应用、数值计算和试验研究,其中相当大部分出自青年学者之手。1991年12月在香港召开了环境水力学的专门国际会议。会议收到来自30多个国家的230篇论文,内容包括射流和羽流、排海工程、紊动混合机理、水动力学和水质模型、洪水水力学和水文学、资料收集和整理等6个专题。收到的论文中,国内占了相当大的比重。目前,国内开展环境水力学研究的单位主要有水利水电科学研究院、中国环境科学研究院、河海大学、武汉水利电力学院、成都科技大学、清华大学、中山大学、同济大学、青岛海洋大学、华南环境科学研究所等。

下面从两个方面简单介绍国内已开展的理论和应用研究。

1. 射流混合机理、异重流及分层流的研究

射流混合机理,国内早些时候有人做过一些工作。但从环境科学的角度作系统研究则是80年代以来以清华大学余常昭教授为主的科研小组开始的。这个小组开展了非恒定环境中的紊动射流、多孔射流、有横流情况下的浮射流等多方面的研究,水槽试验和数值计算结合,取得了一些成果。近年来,又尝试用数字图像处理技术来解决速度场和浓度场的测量困难。武汉水利电力学院李炜教授为主的研究组侧重于用数学模型方法来探讨紊动浮射流在分层环境中的精细结构,发挥了数学模型的优势。在温差异重流和分层流方面,水利水电科学研究院陈惠泉教授和河海大学张书农教授领导各自的研究人员开展了较深入的模型理论和试验研究,取得了系统的研究成果,解决了很多火(核)电站的温排水工程问题。如陈惠泉教授等人1978年提出的温差异重流形成或消失的临界条件等理论成果受到广泛重视和引用。另外,现代紊流模型在温差异重流和分层流中的应用也取得了较好的成果,如倪浩清高级工程师等人用湍浮力回流 $k-\varepsilon$ 双方程模型及SIMPLE算法对浅水明渠温差异重流的产生及界面掺混规律进行了成功的数值预报。

射流混合机理研究的一个重要应用是计算排江排海的稀释扩散能力,以指导扩散器的设计和布置。目前,国内正在积极开展研究和修建排江排海工程。

广义的排江排海概念是指大量的生活和工业废水(包括电站冷却水)的集中排放,利用大江大河和近海的强大稀释、输运等自净能力,通过一定的工程措施使污水有控制地科学排放,达到既经济地处置污水又保护环境的双重功能。在电站冷却水的排放(即温排水)问题上,通过近30年的努力,我国已积累了较为丰富的经验。但在污水的排江排海方面,还处于起步阶段。国外在污水排海工程设计、建设与维护,以及环境影响评价、控制与管理等方面积累了近百年的经验教训。最早的污水深海排放设施于1898年在英国建成。美国1906年建造了第一根污水排海管。到目前为止,很多沿海国家都建有污水排海工程。如英国的大型排海工程超过40处,新西兰的大型排海工程近20处,美国东西海岸共有排海工程250多处。据1991年9月28日《科技日报》报道,为整治悉尼海滩污染,澳大利亚经过6年的建设,在邦迪地区建成了一个离岸深海排污系统,并已投入使用。近年来,我国相继在深圳、宁波、上海、青岛、威海、烟台、厦门及丹东等地规划了排海工程,有些已投入使用,如深圳的排海一期工程等。除了电站冷却水外,目前还未见到有大型内陆河流的污水排江工程的报道。因为江河的稀释自净能力相对于海洋来说较小,大量

污水排入江河易于形成严重污染。因此,很多国家对排江污水要求进行高级处理。

可以预见,随着我国污水排海工程的发展,会给环境水力学提出更多、更复杂的课题。

2. 自然环境中污染物的扩散、输移和衰减

1984年,张书农教授对天然河道横向扩散进行了研究,改进了约楚库拉(Yotsukura)和塞尔(Sayre)在计算扩散因素时的假定。1986年,结合国家“六五”攻关课题,清华大学的科研小组对天然河流纵向离散系数的计算方法进行了系统的研究和改进。近年来,他们又对非恒定环境中污染物的离散特性进行了研究。所有这些,为“远区”的数学模拟计算奠定了基础。另外,国内有的学者正在开展所谓“全场模型”的研究,即在计算中不人为地划分“近区”和“远区”,避免了衔接上的问题。这项工作还有待进一步的深入。

在水质模型的应用上,国内很多单位结合具体的工程问题和科研课题开展了生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、溶解氧(DO)、重金属、水库温度、大气复氧等方面的大量水质预报模型研究,积累了一定的经验。如苏州河的污染预测、云南昆明滇池的富营养化问题等。

对于海洋,石油污染是污染的主要形式之一。据统计,世界上每年流入海洋的石油多达600万吨。这些石油漂浮海面,阻止水体从大气中摄氧,毒害水生生物,影响港湾及海岸的景观。1980年,国家海洋局海洋环保研究所对我国沿海污染源和污染状况的调查结果表明,石油是我国近海海域的主要污染物。随着经济的发展,石油海上开采和运输在不断增加,海上石油污染问题变得日益突出。因此,研究和预报石油在海面的输移、扩散和降解具有重要意义。以成都科技大学赵文谦教授、中山大学唐永鑫教授、青岛海洋大学陈时俊教授为主的各研究小组分别独立地开展了海上石油运动的预报研究,取得了可喜的成果,如珠江口和渤海湾溢油的模拟计算等。中国科学院南海海洋研究所等单位针对南海海域石油开发的需要,进行了石油稀释扩散实验,从而为有效地回收和清除海上石油污染提供了溢油漂移的预报信息。目前,海洋环境水力学研究的焦点大都集中在诸如河口、海湾等近岸水域中的环流及其对污染物的输移规律,以及对污染物浓度分布的探讨和预测。除了现场观测和模型试验以外,数值计算已成为海洋环境水力学的主要研究手段。

另外,结合污水处理构筑物,国内也有人进行了水力效率及其优化的研究,对改进污水处理构筑物的设计具有指导意义,如氧化塘和沉淀池的研究等。这些方面,还需进一步加强。

回顾环境水力学在中国的发展过程,令人兴奋。环境水力学研究内容和手段正在不断拓宽和发展,洪水水力学、水质管理和规划等也成了环境水力学专家们关心的对象。量测方法的改进和发展,为环境水力学学科的发展开辟了广阔的前景,如激光测速仪和数字图像处理技术使我们能够精细地了解紊流的结构和解决非恒定流场、浓度场的量测困难。另一方面,尚存在着下述需要解决的一些主要问题:

1. 加强理论研究和工程实际的结合,具有重大的经济价值。这方面存在两点不足,一是许多研究人员苦于不能将其成果用于解决实际工程问题;二是许多工程设计人员仍按照传统的理论进行设计,缺乏有关新理论、新成果的信息。产生这种现象的原因在于研究人员和工程设计人员之间缺乏沟通和理解,其原因既有个人偏见和利益分配上的原因,更有科研体制上的弊端。现在的各种学术会议上,很少有来自工程设计单位和工程第一线的科技人员,这使得工程设计人员不能与研究人员面对面地交换意见,也不了解理论研究取得了那些新成果。而研究人员也失去了听取工程设计人员意见和建议的机会。

2. 在加强数学模型研究的同时,应加强试验研究,特别是新的试验手段和方法的研究。重数学模型轻试验研究的现象,近几年在青年学者和研究生中较为突出,须引起足够的重视。

3. 加强复杂数学模型在工程实际中的应用研究。近20年来,计算机技术和紊流理论的飞跃发展使得数学模型特别是复杂模型的研究成为现实。现在的许多国际(内)会议中,数学模型所占比重很大,但是真正能够解决工程问题或为工程设计提供服务的复杂模型则较少,很多模型还处于“缺乏验证”或“把握性不大”的阶段。

4. 加强对紊流精细结构的研究,这对处理排江排海中的稀释问题和“混合区”的计算等尤为重要。在紊流精细结构的研究中,需要注意引入新的科学思想,如混沌和分形。新思想的引入和发展,对学科的突破有着重大意义。

综上所述,就国际范围来说,污染问题并未得到有效的控制,生存和发展问题已成为世界各国日益关注的焦点。在我国,水体的严重污染已经影响到了千家万户的正常生活和工农业的发展。防止和治理污染的任务还很重,污染预报变得愈来愈重要。所有这些,都给环境水力学研究者提出了严峻的挑战。

(责任编辑 蔡 今)