

水信息学与智能水力学

顾正华¹ 唐洪武¹ 李 云² 肖 洋¹

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098;2.南京水利科学研究院水工研究所,江苏 南京 210029)

摘要 对两个新兴边缘学科水信息学和智能水力学的产生背景、研究对象和主要内容作了介绍,指出智能水力学是水信息学的一分支学科,二者的发展和完善有利于水利信息化和数字化建设,并可促进水利行业的可持续发展。

关键词 水信息学 水力学 智能科学 水科学 信息技术

中图分类号 :TV131 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2003)05-0518-04

科学发展到今天,学科和学科领域之间的交叉在不断扩展和深化,许多具有很强生命力的新兴边缘学科在不断涌现,知识已经突破传统的学科界线^[1]。在任何一个学科都已不能孤立存在和发展的条件下,必须突破和重新组合一些学科领域。水利学科也不例外。随着高新技术的迅猛发展,信息技术与传统水科学相结合,诞生了一门崭新的学科——水信息学,而智能科学与水力学的融合,便形成了智能水力学。本文对水信息学和智能水力学的一些基本问题、研究对象、研究内容、发展前景及其相互关系进行论述。

1 水信息学

1.1 发展历史

水信息学出现于 20 世纪 80 年代初,直到 1989 年,才出现 Hydroinformatics 的名称。1991 年,荷兰 IHE 学院 Abbott 教授出版了《Hydroinformatics: Information Technology and the Aquatic Environment》一书。该书的出版标志着这一学科的正式形成^[2,3]。1991 年,在马德里召开的第 24 届国际水力学研究会上,Abbott 倡议将原来的“计算水力学委员会”改名为“水信息学委员会”,并得到了广泛的认可。1992 年,丹麦水力学研究所的“计算水力学中心”更名为“水信息中心”^[2]。1994 年 9 月 19 日~23 日在荷兰 Delft 水力研究所召开了首次“水信息学”国际学术会议(International Conference on Hydroinformatics),取得了很好的成果。之后该会议每两年召开一次。最近一次会议是 2002 年 7 月 1 日~5 日在英国卡迪夫市召开的第五届国际水信息学学术讨论会。该会议取得了一系列的成果,得到了国际水利界的广泛赞扬。如今,水信息学委员会已成为 IAHR 协会下面最活跃的学术分会之一。水信息学还具有自己的专门期刊——Journal of Hydroinformatics(1999 年创刊,由 IWA 和 IAHR 联合出版)。

1.2 研究对象和主要内容

水信息学出现之初是研究与水环境相关的数据收集、处理、存储、传播、分析和图形显示等的一门学科,它通过综合数学、计算机科学和传统水环境科学和工程学的方法来揭示大量复杂的水环境变化规律,解决水环境问题^[3]。然而,随着研究问题的深入发展,水信息学的学科范畴扩大了,它的研究对象已不仅仅局限于水环境问题,而是包括了所有的水科学问题,且面向水利工程应用。中国水利水电科学研究院的李桂芬教授在参加第五届国际水利信息学学术会议的报告中认为,水信息学的含义是数学模拟、物理模拟相结合,应用 3S 技术和现代信息技术,把水利研究课题的目的、方法及成果成功地显示出来。Abbott 将它定义为在水范围内运用知识的新途径、元知识^[4]。笔者认为,如果从水信息学的研究内容上进行理解,水信息学主要研究如何实现水科学的信息化、智能化、自动化和实用化,并通过信息科学解决传统水科学研究手段中的一些瓶颈问题。

水信息学的研究领域极为广泛,包括数据的获取和分析(例如 SCADA、遥感、遥测、数据模型、数据管理

和数据库技术等)先进的数值分析方法和技术(例如一维、二维和三维计算水力、水质和水生态模型,参数估计和过程识别)控制技术和决策支持(例如基于模型控制、不确定性处理、决策支持系统、分布影响评价和决策、Internet 和 Intranet 等)标准软件的开发(例如海岸和河口污染物扩散的过程分析、水资源的流域管理、城市给水排水系统、计算机辅助教学软件等)以及智能科学理论和最近出现的新技术的应用(例如人工智能、专家系统、人工神经网络、进化计算、模糊逻辑、数据挖掘技术、数据仓库技术、数据融合技术、并行计算技术、分布和扩散模型、面向对象和代理等)^[3~11]①②。

1.3 研究现状和商业化发展趋势

水信息学已开始走向商业化发展的道路,并开发了大量的商业软件。国际上著名的水力实验室,如 HR. Wallingford, Danish Hydraulic Institute(DHI)和 Delft Hydraulics 等,都有自己的商业软件研究机构。目前流行的水信息学商业软件产品有:HR. Wallingford 的 Hydro Works;DHI 的 MOUSE 和 MIKE11;Heastad Method Inc. 的 WaterCAD, SewerCAD, StormCAD 系列;Brigham Young 大学工程计算机图形实验室与美国陆军工程兵团水道试验站(WES)合作研制的“Fast TABS”等。它们已成功地达到商业办公系统的标准,并在世界水信息系统软件市场上占有相当大的比例。这些产品的显著特征是使用了高级图形用户界面,其数据输入设备包括视窗、图标、菜单、数字化仪等,同时图形具有随意移动和进行各种比例变化的功能。国内在引进国外成熟水信息学软件系统的同时,应考虑到由于国内外设计规范、设计标准、设计方法、管理思想以及用户的要求、价格、人员的培训、软件维护等方面的不同,使得国外的软件系统在国内难以推广和应用的问题,开发出适合本国国情的水信息学软件系统^[3]。

当前国内水信息学的发展,与国外相比,还有很大差距,主要表现在如下几个方面:(a)投入的人力、物力和财力不够;(b)对该学科跟踪不够,目前还很少有人对水信息学进行系统的描述;(c)研究单位各课题组之间协作不够,缺乏统一的规划与管理,形成不了生产力和生产规模;(d)研究人员的系统化、商业化、产品化意识不强。

水信息学是一门新兴学科,它的许多概念体系和内容范畴至今还处于模糊阶段,但随着学科发展的深入,水信息学的研究对象和内容将更为丰富。总之,水信息学在不断地成长、发展和完善。

2 智能水力学

水信息学的研究特别强调智能科学的应用,智能科学的出现是以 1956 年问世的前沿学科——人工智能(Artificial Intelligence,即 AI)为代表的。为了突破岩石力学“数据有限”和“变形破坏机理理解不清”的“瓶颈”,冯夏庭等^[12]变革思维方式,另辟蹊径,提出了智能岩石力学这一新的交叉学科,并在工程应用中取得了较好的经济效益和社会效益。作为水利科学的核心学科和基础学科——水力学,与智能科学的交叉融合也是必然的。不可否认,由于水流边界条件等问题的复杂性和水体的流动性,使得水流问题比岩石等固态问题更为复杂,但水流本身的自组织性和自调整性与智能科学理论中的人工神经网络等方法联系更为紧密,因此,运用智能科学理论研究水流问题是一条有广阔前景的新途径。

智能水力学是运用智能科学方法研究水流运动规律、解决水力学问题的一新的交叉学科,是笔者在研究水流模拟智能化问题时提出的。结合研究中的心得和体会,笔者感到确实有必要将这一研究问题上升到学科理论高度。

2.1 研究出发点及内容

智能水力学的 3 个基本出发点是:(a)组成水流问题的基本元素是数据、信息和知识。这里的数据是指通过物理模型试验、数学模型模拟及原型观测等手段获得的关于水流世界的原始资料,它本身没有任何意义,将水流数据赋以某种内涵、意义和关联,即形成水流信息,如流速、压强、Froude 数等。水流知识就是从水流信息中提取的一些水流运动规律、法则等,从数据到知识是一个加工处理的复杂过程。(b)水流黑箱系统假设,即不必弄清水流的内部结构和中间过程,而是根据工程应用需要,通过考察水流系统的输入、输出及其动态

① Liang S J, Molkenthin F, Huang C C, et al. A gis-based 3d hydrodynamic model of Tamshui river. In: Proceedings of the 11th Hydraulic Engineering Conference. Taipei, 2000. B1—B6.

② Babovic V, Keijzer M. Computer supported knowledge discovery—a case study in flow resistance induced by vegetation. In: Proceedings of the XXVIII Congress of the International Association for Hydraulic Research. Graz, Austria, 1999. 1—7.

过程,来定量或定性地认识水流系统的功能特性、行为方式并探索系统的内部结构和机理等。(c)水流问题解答系统的智能是通过学习获得的,这种学习过程可以通过水流智能模拟过程来表达。根据这3个出发点,即可引入智能科学和系统科学中的原理方法,从而建立整个智能水力学的理论体系。

智能水力学的核心内容是水流智能模型理论。所谓水流智能模型(Flow Intelligent Model,即FIM),是指利用智能科学方法构造的用来解决工程水流问题的模型。从广义上讲,任何在水流问题研究中使用了智能方法的模型均称为水流智能模型;从狭义上讲,水流智能模型指水流的智能模拟,即采用智能方法建立非线性模型替换传统的数学模型和物理模型。水流智能模型的理想模式是水流全智能模型(图1),它是一个完全智能的水流问题解答系统,包括智能化模型生成、智能模拟、智能分析和智能决策4个部分。智能化模型生成是指数学模型基本方程、基本参数、求解方法的智能选取以及物理模型试验的辅助设计等,智能模拟包括数学模型的数值计算和水流智能模型的训练学习和工作等,而智能分析和智能决策主要是指模拟过程和模拟结果的可视化、模拟结果的智能数据处理和水流知识发现以及根据模拟分析结果做出决策。水流全智能模型是一种从建模到模拟结果分析处理的全过程都使用了智能方法的模型,它在计算机上的表现形式便是水流模拟综合集成智能系统。当解决了复合模型接口处的实时耦合和物理模型试验装置的自动控制及试验数据的自动采集等问题后,将综合集成智能系统与物理模型连接起来即成为一体化水流问题解答系统,从而可实现水流模拟的自动化。

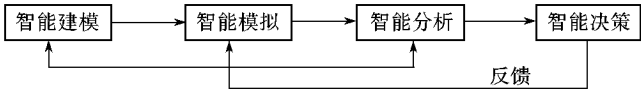


图1 水流全智能模型

Fig.1 Fully intelligent flow model

智能水力学的研究内容相当广泛。按水力学的体系来划分,智能水力学可包括智能明渠水力学、智能管道水力学、智能河流动力学、智能河床演变学等;按研究的手段和途径来划分,智能水力学可包括水流智能模型、智能原观技术、智能试验技术等;按智能科学方法的应用来划分,智能水力学可包括水流专家系统、水流知识发现系统、水流神经网络系统、水流模糊系统、水流机器学习理论等。智能水力学的理论体系和概念内容还处于萌芽状态,与水信息学一样,它本身也是开放的、发展的。

2.2 初步应用

将智能水力学的思想实践在升船机水力学和透水框架式四面体的空间尾流场模拟上,建立的NNCM-MFWS-SLC-TGO和NNCM-MLHF-SLC-TGO模型基本解决了卧倒门启闭时升船机承船厢水动力特征量的计算问题^[13,14],为升船机水力学的研究找到了一种新的方法,建立的透水框架式四面体空间尾流场智能模型,用于其水流结构仿真,为空间流场的快速模拟提供了一条新的途径。与传统水力学相比,智能水力学是一种完全更换传统思路和思维方式的新的学科方向,它的正式形成还有许多基础工作要做。

3 智能水力学与水信息学的关系

水流模拟发展的最终道路是走向实用化、智能化和自动化。作为水流模拟智能化的支撑学科——智能水力学,其研究的最终目标就是借助物理模型、数学模型和水流智能模型等工具,塑造一个解答水流问题的专家的大脑(称之为水流大脑),它可以作为水科学信息化工程的“神经中枢”。而水信息学的发展,需要将水信息学分成许多分支学科,智能水力学就是其中的一个分支学科。智能水力学既属于水力学范畴,又属于水信息学的范畴,它是将水力学和水信息学联系在一起的纽带。

4 结 语

国内几个大流域机构相继提出并正在积极实施“数字黄河”、“数字长江”等工程,从概念上讲,这些工程可统一视为“数字流域”工程。“数字流域”作为“数字地球”概念的延伸,是中国水利现代化的一个重要组成部分。作为信息技术与水科学紧密结合的交叉学科——水信息学,应在水利信息化和数字化建设上发挥更大作用,而作为水信息学分支之一的智能水力学,对水流模拟的智能化、自动化、数字化发展具有重要的理论指导作用。为了进一步促进水利的可持续发展,应对这两门学科的成长完善予以足够的重视。

参考文献：

[1] 国家自然科学基金委员会 . 自然科学学科发展战略调研报告 :水利科学[M]. 北京 :科学出版社 ,1994. 1—20.

[2] 陶建华 . 计算水力学和水力信息学[A]. 94 全国水动力学研讨会文集[C]. 北京 :海洋出版社 ,1994. 803—807.

[3] 李树平 . 水信息学概述[J]. 给水排水 ,2003(4) :90—94.

[4] ABBOTT M B. Introducing hydroinformatics[J]. Journal of Hydroinformatics ,1999 ,1(1) :3—19.

[5] ABBOTT M B ,BABOVIC V M ,CUNGE J A. Towards the hydraulics of the hydroinformatics era[J]. Journal of Hydraulic Research ,2001 (4) :339—349.

[6] 许世刚 ,索丽生 ,陈守伦 . 计算智能在水利水电工程中的应用研究进展[J]. 水利水电科技进展 ,2002 ,22(1) :62—65.

[7] 李义天 ,李荣 . 具有河网水沙运动特点的人工神经网络模型[J]. 水利学报 ,2001(11) :1—7.

[8] 艾萍 ,王志坚 ,索丽生 ,等 . 水文数据在线分析与知识发现系统模型研究[J]. 水利学报 ,2001(11) :15—19.

[9] 金菊良 ,杨晓华 ,金保明 ,等 . 遗传算法在均质土坝渗流计算中的应用[J]. 长江科学院院报 ,2001(1) :38—40.

[10] 吴中如 ,顾冲时 ,胡群革 ,等 . 综论大坝安全综合评价专家系统[J]. 水电能源科学 ,2000(2) :1—5.

[11] 黄明 ,余达征 ,王明海 . 防洪调度智能决策支持系统的研究现状及问题[J]. 人民黄河 ,2000(1) :5—7.

[12] 冯夏庭 . 智能岩石力学的发展[J]. 中国科学院院刊 ,2003(4) :256—259.

[13] 顾正华 ,唐洪武 ,李云 . 升船机厢内船舶最大纵向系缆力的计算模型[J]. 水运工程 ,2003(11) :10—13.

[14] 顾正华 ,唐洪武 ,李云 . 卧倒门承船厢内水面最大升降值神经网络计算模型[J]. 长江科学院院报 ,2003(2) :10—12.

Hydroinformatics and intelligence hydraulics

GU Zheng-hua¹ , TANG Hong-wu¹ , LI Yun² , XIAO Yang¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;
2. Hydraulic Engineering Department , Nanjing Hydraulic Research Institute , Nanjing 210029 , China)

Abstract: An introduction is given to two new interdisciplinary subjects , i. e. hydroinformatics and intelligence hydraulics , including the background of their generation , objectives to be studied , and main contents. It is pointed out that intelligence hydraulics is a branch of hydroinformatics. The development of the two subjects is beneficial to digitized water conservancy construction , and can promote the sustainable development of the water trade

Key words : hydroinformatics ; hydraulics ; intelligence science ; hydrosience ; information technology