

专论与综述

用于流域水环境规划的计算机图形模拟

陈 循*

傅国伟

(中国科学院系统科学研究所) (清华大学环境工程系)

摘要 本文论述计算机图形技术用于复杂的流域水环境规划的优越性及可行性,介绍了国外有关动态及技术,并简要探讨了实现交互式图形模拟技术的条件,为在微机上实施流域水环境规划的图模拟技术做好了准备。

关键词: 流域水环境规划;计算机图形;水污染模拟;计算机辅助规划;决策支持系统。

水环境规划方法和技术在近三十年里有了长足的进步^[1-3]。水环境规划工作也被视为我国政府部门的基本职能之一^[9]受辽宁省委托,我们承担了“浑太流域城市群水系综合治理”课题的部分研究任务。该流域有几十条大小河流,三座大型水库,六个大城市(抚顺、沈阳、本溪、辽阳、鞍山、营口),几百个污染排放口。有关部门很希望预先看到某一规划方案实施后的直观形象。为此,本文在综述前人工作的基础上讨论了交互式计算机图形辅助规划,并提出一种图模拟方法的基本思想;认为这一类方法可以改善人-机,决策者-专业人员之间的关系,清除环境规划技术和方法进一步发展的障碍。

一、计算机图形是流域水环境规划的有力工具

随着人们越来越多地依赖于复杂的数学模型和计算机进行流域规划,最终计算机的信息处理能力将要超过人类把握决策信息的能力。在这里,人对信息的把握能力是指:人对输入计算机的数据和模型的甄选、组织和查验能力;对计算机输出结果的鉴别、理解和确认能力。人(包括模型建立者、规划人员、管理人和决策者)做为规划的主体有可能被机器和模型挤到规划过程之外。同时,随着

技术手段的日趋复杂,需要把握全局并承担责任的决策者与必须埋头于机器和模型之中、有一技之长的专业人员之间,也会因缺少有效的沟通手段而疏远。这些已成为环境规划技术进一步发展和应用的障碍^[10]。

因此,重新调整人-机-模型关系,创造一种能为建模者-规划人员-管理者-决策人共同使用和相互沟通的计算机应用方式,就成为关键。这是向建模者提出的挑战^[11]。

计算机程序和系统的图形化和交互性化是克服上述障碍的一种有效手段^[12,13]。

图形化是当前和未来计算机应用的潮流。自五十年代中期开始,计算机图形学经历了孕育期、幼年期和少年期,目前已日趋成熟,正步入应用研究阶段^[14]。

计算机图形化应用适合于那些具有复杂现象,涉及到事物的空间关系和结构,强调视觉效果和直观性的问题和领域。对这样的问题,图形是人与计算机通讯的最自然、最有效的方式之一。比起传统的颇受限制的字符通讯技术,多数人更乐于采用交互式图形技术^[15]。如果数据用图形表示,那么人类非常完善的眼-脑模式识别机构允许我们快速、有效地理解和处理多种形式的的数据。人对图形

* 原清华大学环境工程系博士生。

的理解力是阅读文字的 50 000 倍^[46]。

流域水环境规划问题适合于用计算机图形方法辅助进行。这是因为(1)流域水环境规划有极强的空间性;(2)流域水系(包括与人类活动有关的水库、城市污水系统)结构复杂,参数变量众多;(3)决策者在进行流域范围的方案选择时,除了精确的数字,还需要对全局的直观了解。

交互性化是解决弱或非结构性决策问题的有效手段。水环境规划问题是弱结构性决策问题,它的求解是一种反复进行的探索和再学习过程,规划主体要经过不断的试错来寻求答案。交互性化为水环境规划问题在计算机辅助下进行提供了途径。

人与计算机和模型的恰当关系应当是:对于人的某种探索性构想,模型和计算机能相应进行复杂和大量的计算,并以最有效的方式迅速提供“一目了然”的结果。美国环保局水处已制定目标,要在州或区域范围内,在废水负荷分配模型以及以水质为根据的许可证发放模型中采用交互式程序。进一步努力开发交互式计算机图形程序,用一种水质管理者易于理解的方式显示模型预测的结果,提高模型的实用性和质量^[47]。葡萄牙国家土木工程实验室于 1983 年开始一项历时五年的“水资源政策分析方法”研究计划,该计划的最终目标是使其提供的方法,不仅能为技术人员使用,而且能为规划者和决策人使用。他们在项目即将完成时决定,要重新着手开发具有交互式图形功能的 CAP (Computer Aid Planning) 系统^[48]。

鉴于计算机图形方式的优越性,我们有必要进行技术跟踪,开发适合我国国情的用于流域水环境规划的计算机图形技术和系统。

二、计算机图形方法和有关系统

用于流域水环境规划的计算机图形模拟技术来源于计算机图学技术和系统,但又有

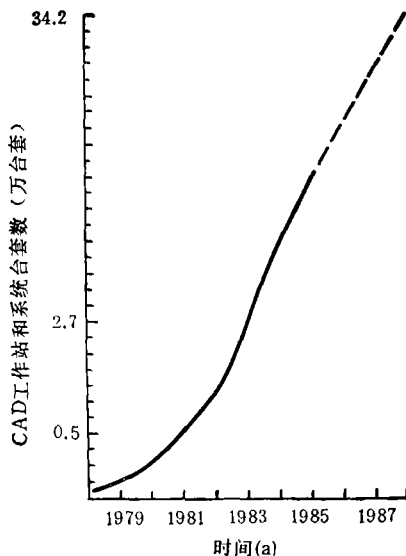


图1 计算机图形设备的增长(美国)

所不同。下面介绍图形模拟技术的几个思想和技术来源。

CAD (Computer Aid Design) 称计算机辅助设计,是用来处理设计问题的辅助工具。工程师可以利用 CAD 创造、观察、检验他们的设计,并可在屏幕上反复修改直至满意为止。自从 1964 年 CAD 首次商业化至今,实际使用的 CAD 工作站或系统的数量猛增(图 1),软件技术的更替已经历四代,目前正向第五代发展^[19-21]。

CAD 发展中的可视模拟技术 (Visinal Simulation Techniques) 和人工智能辅助设计引人注目,它们为图模拟技术提供了思路。目前,国际上流行的 CAD 软件包不下几百种^[19,22,23],还有一批是面向微机开发的,这为我们充分利用现有软件资源,开发低成本应用软件提供了机会。

地理信息系统 (GIS, Geographic Information system) 是用计算机采集、组织、使用特定地理数据的信息管理系统和技术的总称^[24]。这些地理数据可以是地面标高、坡度、地理环境、土壤类别、地下水状况、市政区划、土地利用情况、人口密度、河流、铁路和公路

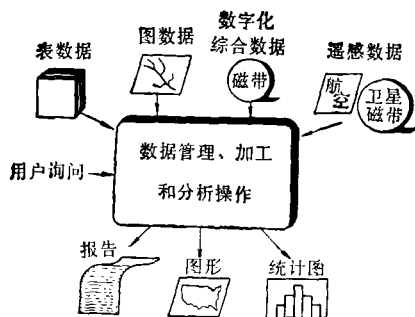


图2 GIS的基本结构

等。GIS是一个含义广泛的术语，不同的部门为各自的目的和用途、以不同的规模和相异的功能建立和应用他们各自的GIS系统^[30,31]。

就水环境规划所涉及大量的地理空间因素来说，GIS是最适用的图形系统。但一般情况下，GIS系统的软硬件价格远高于相同规模的CAD系统；GIS的主要数据信息有赖于航空和卫星遥感图片和磁带，费用昂贵；由于GIS图像多采用光栅型数据格式，灵活性较差等原因，不宜用作流域规划的基础。

决策支持系统（DSS, Decision Support System）是由Sprague和Carlson（1982）定义的，是指能帮助使用者利用数据和模型解决非结构性或未明确定义的问题的交互式计算机系统^[27]。DSS可以帮助决策者制定和实施决策。DSS使决策者（可是领导、管理人或系统的任何操作者）了解在他的决策下，系统运行可能达到的结果，从而使他的判断能力进入模型的分析过程，提供了人-机交互协调的机会^[28]。传统的记录-保存式的一般文字处理和信息管理系统着眼于数据；DSS着眼于决策，必须在使用者和计算机之间进行协调才能取得效果。DSS的结构由三部分组成：（1）数据库系统，用来获取、处理和存储数据；（2）模型系统，用于分析、预测和引导决策；（3）对话管理界面，进行人机间的交互协调。结构的关键在数据库与模型库的直接连接。

与CAD和GIS相比，DSS不一定具有图形或图象功能，它强调的是系统的交互性而不是图示性。

为水资源管理建立的DSS称为水资源管理决策支持系统（WRMDSS），它们可以成为水环境规划管理决策支持系统的榜样。现已有用于不同目的多个系统如：ALERT-1和ALERT-2洪水警戒系统^[29]，供水操作系统^[30]，水库调度系统^[31]，水源管理专家系统（KBES）^[32]，以及计算机辅助规划（CAP）系统^[12]。

计算机辅助规划（CAP, Computer Aid Planning）是Cornell大学的研究者们创造的术语，它实际上是一个具有图形功能的，用于水资源管理和环境规划的决策支持系统。它的主要功能有：水库调度策略分析、洪水控制构筑物设计、水质改善规划、降雨径流关系模拟、土地利用效果分析、工程项目的可见影响分析、地下水水质管理等。

为了开发CAP系统，Cornell大学的研究者们投入了大量人力、物力，到1985年他们用8年时间换了三套计算机设备，至今仍在进行新的开发研究^[33]。该系统后在AEDS-11系统硬件环境中实现，使用767彩色光栅显示器，配用10兆容量LSI11/23温氏硬盘驱动器，操作系统是DEC公司的RSX-11M。该系统全部软件用FORTRAN写成。主要软件包有CAPLIB、MAPEDT、MAPOVL等，可由二次开发者用FORTRAN调用，在DEC或IBM的各型微机上运行。Cornell大学投入如此多的时间研究开发CAP系统，可见其价值和难度。

三、计算机图形模拟

用于流域水环境规划的计算机图形模拟（CGS, Computer Graph Simulation）思想和技术受惠于下述四种系统：CAD的图形处理技术，GIS的地理信息管理，DSS的交互式决策咨询方式，以及CAP针对水系统

问题的功能。CGS 的特点在于它的图形不仅是设计或规划结果的表现,而且是规划过程中可控制操作的伪物理对象。CGS 的图形不仅记录了模型的几何形体和空间位置,还载有模拟对象的物理性能和机制(如河流系统的污染、自净规律和特性参数)。对于这样的图形模型,决策者可以在计算机屏幕上加以调整和操作,以致进行某种物理实验。实验结果可立即在屏幕上以图形(包括文字注释)方式显示出来。

图象是一种直观的模式。构成模型的三要素是:(1)符号系统;(2)模型、原型间元素的一一对应;(3)符号系统内诸元素间的关系(规律)与原型内对应元素间的关系同构。如果按载体或符号系统分类,图模型即是以图形或图象为其载体的模型。

表 1 模型的种类

按载体分类的模型	符号元素系统
物理模型	元件、部件、试剂等
图像模型	视觉形体、色彩、空间位置
数学模型	字母、数字、符号
语言模型	词汇

表 1 中模型抽象性,分析速度,变化简便程度自上而下增加;而真实感,所需费用自上而下减小。图模型比物理模型便宜,比数学模型、语言模型更有真实感。模型的优劣不依抽象程度而论,要看模型的使用目的。对于复杂,有空间关系,有直观要求的事物(如人的容貌、电子线路、流域水污染状况等),图象模型(相片、电路图、污染分布图等)具有更大的优越性,它常可以使人“一目了然”。

模拟是模型的状态随时间发生与原型同构的变化过程。模型的状态由符号元素的属性值所确定和表现,即如果要改变模型状态,则必须也只需改变符号元素的属性值。

图模型中图素的形状、色彩、空间位置若随原型中相应元素发生变化,即是图形对原型的模拟,称为图模拟。

描述一个流域水环境系统的状态,需要记录包括空间信息和物理参数在内的所有状态变量值,需要二维以上的信息记录空间。以流域中一小段河流为例,需要记录河段的诸多属性,如河段所处地理位置、河流流向、河床标高、流量、流速、河水中溶解氧浓度、各种污染物浓度(BOD, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, 酚, 油等)以及河段的复氧系数、降解系数等等。每一项属性均需占用一维信息记录空间。计算机图模型能够使局限于二维计算机显示屏的流域图模型记录和传递二维以上的信息。

平面上的一点(POINT), $P(X, Y)$ 已经提供了二维信息。在计算机中,点的颜色可以改变,在不同的硬件系统中,点的颜色种类有 2^{bit} 种,其中 bit 为图象深度。尽管点的颜色不连续,但有色点提供了二维以上的信息是肯定的。我们用 $c(\text{color})$ 表示有限离散的彩色维。此外,一般的图形软件还提供了标高(Eleve)、厚度(Thick)、图层(Layer)的记录方式,它们独立于平面位置 X, Y 和色彩 c , 分别记作 E, T 和 l 。那么,一个点所能记载和表达的信息就有六维:

$$\dim \mathcal{D}_P = 6$$

$$\text{其中 } \mathcal{D}_P = \{X, Y, E, T, c, l\}$$

为点 P 所在的空间。

同样,对于计算机图形中的线段(Line)和迹线(Trace),分别多了离散属性线型 l_i (linetype) 和连续属性线宽 W (Width),所以它们有七维信息记录空间:

$$\dim \mathcal{D}_L = \dim \{X, Y, E, T, c, l, l_i\} = 7$$

$$\dim \mathcal{D}_T = \dim \{X, Y, E, T, W, c, l\} = 7$$

在一些图形软件包中,最有效的图形实体是带有属性标注 A (Attribution) 的图形块(Block)。由于软件中没有限制块所能带有的属性标注个数,可以认为块所能传达的信息维数足以满足任何实际需要。

$$\dim \mathcal{D}_B = \dim \{X, Y, E, T, A_1, A_2, \dots, A_n, c, l\} = 6 + n$$

所以, 我们不必担心图模型描述复杂的流域水环境系统的能力, 只要合理选择适当图形实体(符号元素, 如点、线、块)使之与原型相应元素对应即可。

最后, 图模拟在计算机上实现的条件还有: (1) 有可为计算机所控制和改变的图素属性; (2) 图形的状态和属性值可以在计算机屏幕或其他介质中加以记录和保存; (3) 这些记录能够为人和机器共同“理解”和读出^[23]。

参 考 文 献

- [1] Linsley, R. K., *Journal of the Water Resources Planning and Management Division*, ASCE, **105** (WR1), 113 (1979).
- [2] Schad, T. M., *ibid.*, 9(1979).
- [3] Ortolano, L., *ibid.*, 65 (1979).
- [4] Hey, D. L., Waggy, W. H., *ibid.*, 121 (1979).
- [5] Willeke, G. E., *ibid.*, 79 (1979).
- [6] Burges, S. J., *ibid.*, 91 (1979).
- [7] Schwarzz, H. E., *ibid.*, 27 (1979).
- [8] James, L. D., Rogors, J. R., *ibid.*, 47 (1979).
- [9] 曲格平, 中国环境问题及对策, 第 14 页, 中国环境科学出版社, 北京, 1984 年。
- [10] Rogors, P. P., Fiering, M. B., *Water Resources Research*, **22**(9), 146 (1986).
- [11] Loucks, D. P., Kindler, J., Fedra, K., *ibid.*, **21** (2), 95 (1985).
- [12] Fedra, K., Loucks, D. P., *ibid.*, **21**(2), 146 (1985).
- [13] Loucks, D. P., Jaylor, M. R., French, P. N., *ibid.*, **21**(2), 131 (1985).
- [14] 吕孟文, 中国计算机学会计算机图学与辅助设计学术会议论文集(一), 第 24 篇, 1985 年。
- [15] Foley, J. D., A. Van. Dam 著, 唐泽圣, 周嘉玉译 交互式计算机图形学基础, 第 3 页, 清华大学出版社, 北京, 1986 年。
- [16] Donald, D. V., *Computer-Aided Drafting and Design-Concepts and Applications*, McGraw-Hill Inc., New York, 1987.
- [17] Sontherland, E., Spooner, C. S., *Computer Applications in Water Resources*, pp. 940—952, ASCE, New York, 1985.
- [18] Santos, M. A., Costa, J. R., *Water Science Technology*, **19**(9), 119(1987).
- [19] Sabin, M. A. *Methodology in Computer Graphics*, pp. 49—63, North Holland Amsterdam, 1979.
- [20] David Corvan, *Computer Aided Design*, **17**(10), 5(1985).
- [21] Sim, R. M., *ibid.*, **17**(10), 11(1985).
- [22] CAD International Directory 1986, *ibid.*, **17**(10), 31(1985).
- [23] *The HI Connection Software Systems Abstract*, Houston Instrument, 1986.
- [24] Gates, W. E., Heil, R. J., *Journal of Surveying and Mapping Division, Proceedings of ASCE*, **106**(SU1), 105(1980).
- [25] Teicholy, E., *Journal of the Surveying and Mapping Division*, **106**(SU1), 119(1980).
- [26] 李海晨, 专题地图与地图集编制, 第 169 页, 科学出版社, 北京, 1985 年。
- [27] Sprague, R. H., Carlson, E. D., *Building Effective Decision Support Systems*, p. 4, Englewood Cliffs, 1982.
- [28] Lynn, J. E., *Journal of Water Resources Planning and Management*, **112**(3), 308(1986).
- [29] Curtis, D. C., Greechan, H., *Proceedings of ASCE Conference on Emerging Computer Techniques in Stormwater and Flood Management*, pp. 67—78, New York, 1982.
- [30] Cosgriff G. O. et al., *Water Resources Research*, **21**(2), 95(1985).
- [31] Toebes, G. H., Shepherd, A. A. eds. *Proceedings of a National Workshop on Reservoir System Operations*, ASCE/OWRT, Boulder, Colo. 1979.
- [32] Fenves, SJ, Mather, M. L., Sriram D., *Civil Engineering Magazine*, **54**(10), 44(1984).
- [33] Loucks, D. P., Salewicz, K. A., Codner, G. P., *Strategic Planning in Energy and Natural Resources*, North Holland, Amsterdam, 1987.

(收稿日期: 1989 年 12 月 20 日)

demonstrated that these pesticide compounds belonged to the compounds of the dissociative model of capturing electron. The minimum detection limits of this system are 0.2ng/L (α -BHC) and 0.8ng/L (methylparathion). All the linear ranges are at the level of 10^3 times. The standard recovery is 82.5—100%.

Key Words: simultaneous detection, chlorinated pesticide, organophosphorus pesticide, GC-ECD.

Environmental Planning for A River Basin Aided with Computer Graphic Simulation.

Chen Xun (Institute of Systems Science, Academia Sinica, Beijing); Fu Guowei (Dept. of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing). *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(5), 1990, pp. 61—65

Made in the present article is a discussion on the availability and advantages of computer graphic simulation applied to a complicate environmental planning for a river basin. Some external trends and techniques abroad have been introduced, and the conditions to realize the interactive computer graphic simulation on a computer also discussed briefly.

Key Words: environmental planning river basin, computer graphic simulation.

Application of Quantitative Structure Activity Relationship (QSAR) in Environmental Chemistry.

Bai Naibin (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(5), 1990, pp. 66—70

This paper reviews some approaches of QSAR in environmental chemistry in the literature abroad during past ten years, and introduces the author's work concerned in some aspects. QSAR is indeed a useful means for assessment of chemicals. Meanwhile, the limitations of its application and the probable prospects are discussed as well.

Key Words: quantitative, structure, activity, relationship, chemistry.

Polonium-210 in Tobacco and Lung Cancers.

Kou Rongchun (Hebei Provincial Institute of Radiation Hygiene, Shijiazhuang): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(5), 1990, pp. 70—74

Besides the carcinogenic compounds of aromatic hydrocarbons and mutagens, tobacco also contains several radioactive nuclides, among which ^{210}Po can be inhaled

into human respiratory system, and causes the risk of lung cancers. This article introduces radioactive levels of ^{210}Po in tobacco in China and other countries, the results of animal tests in which the animals that inhaled smog containing ^{210}Po led to come on of lung cancers, and estimation of carcinogenesis caused by lower dose α particle exposure.

Key Words: polonium-210, tobacco, lung cancer.

A Review on the Researches of Offensive Odor and Odor Measurement with the Sense of Smell.

Yao Renyu (Beijing Municipal Research Institute of Machinery and Electricity): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(5), 1990, pp. 74—78

This article introduces some research results on the formation, interaction and intensity of offensive odor and the research methodology. An effective odor-measuring method with the sense of smell, namely the triangular odor bag method has been described. In the method, odor index, choosing and training a panel, sampling and measuring procedure, criterions for controlling the sense, and the data treatment are described.

Key Words: offensive odor, odor measurement, sense of smell.

A Survey on the Cause of Nitric Radical (NO_3^-) Pollution in Matan Water-Supply, Source Site of Lanzhou City.

Zhang Mingquan, Gao Hongxuan, Wu Kejian (Research division of Water Resources & the Environment, Lanzhou University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(5), 1990, pp. 79—82

The data of ground water quality in Mutan, Lanzhou City, show that NO_3^- pollution is getting worse. It is found that a close relation exists between the pollution tendency and environmental deterioration in the water-supply-source site. By analysis, the essential cause of NO_3^- pollution in ground water is derived from fertilizing the farmland around with a huge amount of nitrogenous manure.

Key Words: nitric radical pollution, ground water, nitrogenous manure.