

水资源管理决策支持系统的发展动态及特点

唐锡晋^① 顾基发

(中国科学院系统科学研究所)

【摘要】水资源管理决策支持系统(Water Resources Management Decision Support Systems—WRMDSS)是自80年代中期广泛而深入发展的决策支持系统的一个重要应用领域,旨在提高水资源管理水平以适应社会、经济和环境的发展和变化。本文对WRMDSS的发展简史、应用现状及今后的发展方向作了综述。文中列举若干国内外实例,以作对比。

关键词: 水资源管理、决策支持系统

决策支持系统(Decision Support Systems—DSS)自70年代初产生后的短短二十多年,应用面扩充到许多领域,水资源管理便是其中之一。系统分析方法的应用和计算机技术的普及是水资源管理决策支持系统(Water Resources Management DSS—WRMDSS)发展的良好基础。国外已有WRMDSS的广泛应用,国内的WRMDSS正在发展。本文概述了WRMDSS的发展简史、应用现状及今后的发展方向,列举若干WRMDSS,对比国内外WRMDSS。通过比较,指出了我国发展WRMDSS的努力方向。

1 DSS 应用于水资源管理的起步

70年代初MIT的学者提出了DSS,短短20多年,DSS得到迅猛发展,应用领域逐渐拓宽,水资源管理是其中之一。最早的WRMDSS应用于1976年出现,但直到80年代中期才真正赢得水资源管理者的赏识。究其原因,主要是当时水资源管理中计算机应用的费用效益比低,系统的可靠性不高。开发WRMDSS时,实际管理者由于对计算机知之甚少,有恐惧心理,并不情愿把其经验知识及有关的决策权转交给模型方面的专家和计算机编程者,而后者缺乏对实际的深入了解,缺乏对水资源管理问题的深刻体会,往往以一种“闭门造车”的方式构模编程,而把系统的使用者——实际管理人员摒弃在外了。这样最后得到的模型没有融入管理者的宝贵经验,结果也与实际不很相符,模型功能没有被管理者真正理解,故怨生载道,阻碍了DSS在水资源管理上的应用。然而,实际水资源系统的日益复杂和庞大,生态环境变化,社会因素影响,公众环境意识增强,使水资源管理

^①唐锡晋:中国科学院系统科学研究所,邮政编码:100080

者们认识到: 仅靠原有的人力和机构设施, 维持原有管理水平已远不能满足社会与环境发展的需要了。与此同步, 计算机技术在 DSS 诞生后发展的 10 多年间, 有两项重大突破: 一是微机的革命。计算机芯片制造技术及性能的提高, 大大降低了计算机应用系统的开发代价。二是人工智能(AI)技术尤其是专家系统(ES)技术走向实用。运用 ES 技术来开发系统时以水资源管理者为中心获取知识, 用户参与建模和系统设计, 可减少过去 WRMDSS 开发时实际管理人员被摒弃的倾向。技术、经济、社会和环境的变化及人们观念的转变加速了 DSS 在水资源管理上的应用。1985 年美国土木工程学会(ASCE)水资源规则及管理分会在科罗拉多的丹佛召开了专门会议, 评价了已开发的用于水资源管理上的计算机系统, 肯定了它们的作用: ①降低了水资源系统的管理操作费用; ②改善了管理系统的运行效率及生产力; ③能够处理以前认为不可能完成的任务; ④提高了水资源系统的可靠性^[1]。会议出版了论文集, 一些论文也在水资源规划与管理的权威杂志《Journal of Water Resources Planning and Management》第 112 卷 3、4 期上发表。

这次会议是 WRMDSS 发展的一个里程碑。会上, Johnson^[2] 较全面深入地分析总结了 WRMDSS 在水资源管理上的主要应用及今后的发展方向。时隔 8 年, 从各种报道来看, Johnson 的分析仍是全面的, 所列出的 7 个 WRMDSS 应用方面, 仍是目前及今后 WRMDSS 的方向, 这 7 个应用方面是:

(1) 水资源管理微机应用(Microcomputers Applications)

主要指一些基础性的应用, 如数据管理等一些日常水文数据处理及综合加工。简便易操作的软件包, 友好的操作平台, 在水资源数据采集、处理及传送上可节省大量的人力、物力。

(2) 区域水监控系统(Regional Water Monitoring Systems)

用于辅助防汛报警及其它有关水资源管理活动。主要指水文数据的观测、采集、处理和分析, 监控水资源系统的运行, 遇到异常情况报警。大量采用微处理器及微机技术。

(3) 供水系统操作(Water Supply System Operations)

主要指城市供水系统的管理。基于计算机仿真和优化模型、系统监测、交互式控制等手段, 有效地帮助处理系统操作所面临的复杂情况, 提高用水效率, 节约用水, 降低了供水操作及机会成本。较大的成功的例子是澳大利亚墨尔本市供水系统, 因采用计算机仿真而节约了三千万美元。

(4) 水库操作系统(Reservoir System Operations)

水库操作研究历史悠久, 涉及面广, 从单库到水库群, 从水力发电到水质保护等, 系统分析手段应用较多, 如各类线性规划、动态规划和仿真模型等, 以此为基础的 WRMDSS 也较多, 在水库兴利、供水可靠性、防洪、水力发电、航运、水质保护、鱼类及野生动物保护等方面均有切实可行的应用。这类 WRMDSS 强调数据采集及时, 处理有效, 模型灵活, 人机对话和图形显示等。

(5) 计算机辅助规划(Computer-aided Planning—CAP)

CAP 由美国 Cornell 大学研究人员提出, 专指用计算机辅助确定和评价水资源管理及土地利用规划对经济及环境的影响, 为分析型软件, Cornell CAP 是应用实例。

(6) 区域天气观测和预报(Regional Weather Observing and Forecasting)

这类系统收集处理由各种手段(卫星、雷达等)得到的天气及与水文有关的数据, 天气

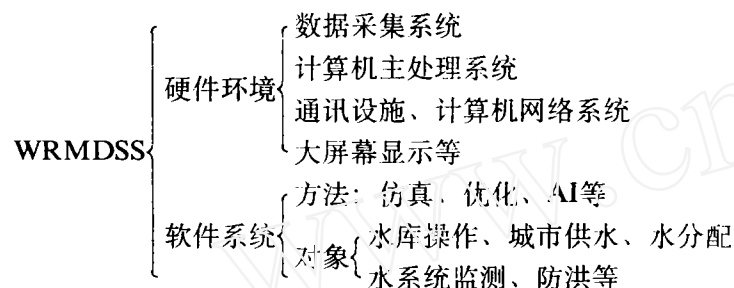
预报是水资源管理的一个前期工作。有关数据有助于水资源数据的加工, 是基于数据的 WRMDSS, 拥有先进的技术设施。

(7) 水资源管理的专家系统(Expert Systems in Water Resources Management)

基于 AI 技术的 WRMDSS 与现实更接近, 易为操作者接受。ES 有助于消除 DSS 开发人员和水资源管理人员之间的隔阂; 以自然语言方式设计交互式界面, 令 DSS 更显友好。

2 WRMDSS 的组成及应用实例

综合地讲, 一个 WRMDSS 由硬件环境和软件系统组成, 如下图所示:



因水资源管理的多元化、区域广, WRMDSS 也因管理功能呈多元性, 而系统设计则采用一般 DSS 数据—模型—对话的系统结构。在美国, 一些大型水资源管理及研究机构开发了一批成熟的基本软件, 供系统开发者直接运用。如 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition—监控与数据采集)系统, 可作为独立系统, 完成水文数据的实时采集、处理、传输及实时的监控, 又能作为水资源管理的数据子系统, 独立运行于计算机上, 通过网络与其它计算机(主控机)相连, 发送信息^[3]。还有比较完善而实用的模型体系, 如美国工程师兵团水文工程中心(Hydrologic Engineering Center—HEC)的 5 类模型软件^[4],

HEC-1: 洪水过程软件包(flood hydrograph package)

HEC-2: 计算水面线程序(steady state water surface profile programs)

HEC-4: 月径流仿真(monthly streamflow simulation)

HEC-5: 水库防洪兴利系统模型(reservoir system model for flood control and conservation)

HEC-PRM: 水库系统操作网络规划模型(Prescriptive Reservoir Model)

这 5 类模型软件有仿真、优化、水文预报及水力工程模型, 并有共同的数据接口 HEC-DSS(Data Storage System), 美国不少 WRMDSS 就采用其中的模型软件。

WRMDSS 的应用以美国最多, 地理环境、经济条件和技术水平是主要因素, 其系统分析方法也较普及。前苏联、前南斯拉夫及波兰亦有应用。亚太地区, 澳大利亚、印度、新加坡^[5]和中国等都有应用的报道。下面列表举例, 分为名称(对象), 数据(指数据的采集、处理及有关操作), 模型(方法), 对话管理(数据和模型之间的交互式操作管理、人机对话), 和计算机硬件环境、网络及软件系统环境, 以供比较。

名称(对象)	数据	模型	对话	硬件及软件环境
Lower Colorado River Operations (美国) ^[3]	微波通讯 SCADA	仿真模型(CRSS) 24-月计划操作 日操作	报表输出、发送	32 位 Gould 用于 SCADA
Tennessee Valley Authority(TVA) Management (美国) ^[6]	自动数据 获取(ADAS), VHF-radio 数据收集	WATERCHECK (水质管理、 仿真、优化 (LP、DP)、 洪水演算等)	报表、其它数据 扩散方式(电话、 teletype、电传 telecopier、 mail service)	HP / 1000E HP / 1000F HP D / S-1000 分布式系统固件 mainframe IBM
REZES(水库 分析智能 DSS) (加拿大) ^[7, 8]		专家系统, 各种规划模型 (DP、LP)		IBM / AT Personal Consultant Plus, AutoCad Prolog, Fortran
FC-ROS(单库) FC-VS(群水库) (水库防洪系统) (波兰) ^[9, 10]	在线输入	预报、优化、 仿真、水力等模型, 协调机制, 二阶段 随机控制模式	图形控制 编辑器, 图形显示、输出	IBM PC 图形软件包 Portran
墨尔本市 供水管理 (澳大利亚) ^[11]	遥测网络 监控	仿真、 水力模型	交互式彩色 图形显示	PDP 11 / 24 PDP 11 / 34 VAX 11 / 750 VAX 11 / 780
Catchment Policy Decision Making (印度) ^[12]	数据文件 在线输入	汇流 Catchment 模型 政策模型(AI、 评价方法)	菜单驱动 交互对话	IBM / AT Prolog
YRFCDS (黄河防洪 DSS) (中国) ^[13, 14]	遥测、遥讯 卫星云图接收 数据自动采集	洪水预报, 水力模型, ES	菜单 窗口 大屏幕显示	PRIME 550-II VAX 11 / 780 PC 386s, COM3+网 Turbo C, Turbo Prolog
QHEMIDSS (秦皇岛水资源管理) (中国) ^[15]	遥测、遥讯 遥控、遥调 数据自动 采集 Oracle DB	水库操作(DP), 水分配(GP), 防汛对策 (洪水演算、仿真), 预报模型	交互式 图形对话、 报表输出 大屏幕显示	SPARC II Sunview based 工作站图形软件包 PC 386S, TSP, C++

3 国外 WRMDSS 设计应用特点及发展趋势

从以上例子和 WRMDSS 组成说明来看, 国外 WRMDSS 设计与应用有以下特点:

(1) 自动数据采集, 趋向时空立体分析

数据采集趋于自动化, 提倡用 SCADA; 数据采集的手段越来越先进, 多用尖端科技, 如卫星、遥感、无线电遥测、通讯等。与地理信息系统(Geographic Information System)相结合, 或建立 Spatial WRMDSS, 可以作空间立体分析, 更适合水资源管理和规划^[16, 17, 18]。

(2) 单一模型→模型体系→智能化交互 WRMDSS

一方面一些专门机构开发了功能强化的模型套, 如 HEC 的 5 类工具软件 HEC-1、HEC-2、HEC-4、HEC-5 和 HEC-PRM, 美国环境署的 SWMM(Storm Water Management Modeling), 便于构成系列模型, 便于 WRMDSS 的快速开发。另一方面则注重模型功能的改进和集成, 为用户提供综合分析的手段。以 Simonovic 等研制的 REZES 为例。1988 年的文章^[19]仅描述了一个原型, 但已说明 REZES 将包含形成问题、选择恰当的优化算法和控制求解过程的必备知识, 1990 年介绍的 REZES^[8]则已是用 PROLOG 开发的智能交互水库分析决策支持系统, 它将 11 个关于水库设计、规划和运行等的模型集成在一起, 用于前南斯拉夫 Gruza 水库。其中的模型是以前的工作或其它的研究成果(包括美 Cornell 大学 Stedinger 开发的两个线性规划和动态规划程序, Simonovic 等的有关研究亦可追述到 70 年代)。HEC 更是这方面的表率, 他们在所编制的 HEC-1、HEC-2、HEC-4、HEC-5 和 HEC-PRM 等诸模型的基础上, 预计用 5 年的时间在先进的工作站上, 在流行的 UNIX 操作系统环境下开发名为 NexGen 的新一代水资源模型系统, 包括河流水力、流域径流、水库系统和洪灾分析 4 个技术领域, 在原有的模型中恰当地加入新算法, 运用图形界面, 使用户能够看到数据、计算, 并能最大程度地理解从而分析数据及水资源的物理系统。

(3) 微机普及与工作站的使用, 人机交互技术手段的强化

REZES、FC-ROS 和 FC-VS 都是在微机上实现的。HEC 最初的模型是在小型机上实现的, 为推广应用, HEC 系列模型移植到微机上并作了较大的改进和扩充, 如原来 HEC-1 发展演变为“模拟复杂河网与流域的水文过程”的软件包, HEC-2 变为“河流分析系统”^[20]。同时 HEC 又在工作站上开发集成模型软件 NexGen。

对复杂系统, 实时数据(命令)的传输与反馈, 模型的费时运算, 系统的集成, 为提高处理能力计算机系统趋于用先进的工作站, 主要作为实时系统的主控机, 操作系统亦选用流行的 UNIX; 采用先进的软件工具, AI、多媒体、语音识别、触摸屏、图形图象技术, 通讯设施等的应用, 用于提高 WRMDSS 的应用水平。

(4) 突出强调人一机交互(interactive, dialogue), 强调通讯(communication)

Interactive, intelligent 和 integrate(或 comprehensive)是 WRMDSS 描述中常出现的几个关键字, 这与(2)、(3)相吻合。进一步, Loucks^[21, 22]将交互综合为“通讯”, 他认为通讯的加强是近年来水资源管理系统研究及应用的重要特色, 即用户和模型的开发者加强自身、相互及同外界的联系, 增进理解, 增强模型的适应能力, 从而促进模型的应用, 他

本人早就倡导要加强通讯, 提倡交互式建模, REZES、Cornell CAP 均注重了这一点。

水资源管理问题的复杂性、动态性、多学科性, 内含的冲突等一直使研究者与管理者面临挑战, 也才使水资源的研究经久不衰。Fedra & Loucks^[23] 在 80 年代中期提倡交互计算机建模技术时就指出: 通过交互方式, 问题中软的元素(soft elements), 软的定性信息等(soft qualitative information, expertise, and experience), 和软问题能够溶入计算机模型中, 使模型能够真正反映客观现实。这与 Checkland^[24] 软系统方法和 Sawaragi 等^[25] 的 Shinayakana 系统方法的基调是一致的。水资源管理研究人员已普遍认识到: 水资源管理问题实则是所谓的议题(issue), 由其不确定性、多维化(multidimensional)、多目标(multiobjective)和多重机构(multiinstitutional)的介入所决定, 其中的工程性部分可量化, 而社会经济、环境和政治因素难以量化描述, 故建造 WRMDSS 须考虑诸多因素和目标, 倾向开发易操作、功能简单的小模型, 在进行模型集成、构建系列模型, 定性分析与定量计算相结合, 对水资源管理过程全面支持, 协调结果与现实, 争取实际用户的信任, 趋使他们主动运用系统。

4 我国 WRMDSS 的状况

我国将 DSS 的思想、方法和技术应用于水资源管理亦在 80 年代后期, 主要是系统分析方法在水资源管理上的广泛应用, 同时水利部门开始推广计算机技术。对比国外 WRMDSS 发展, 主要表现为以下几点:

(1) 大力推广和发展实际部门计算机应用, 建立起了水文数据收集通讯网络和数据处理系统

各水文总站相继引进小型机对水文数据进行综合, 便于水文数据的整编和利用。Xu et al.^[26] 研制开发水资源数据库系统是我国目前最大、最全及最复杂的水文数据系统, 在 IBM 4381 上实现。不少单位相继建立水文数据遥测通讯网络和数据处理系统, 为有效防洪或城市供水, 如湖南省大中型水库建立防汛通讯、水情自动测报和洪水预报系统^[27], 秦皇岛“引青自动化工程”软件系统^[15]‘日常管理子系统’等均在实际运行中取得显著成效。对于 DSS, 数据的及时更新是运转的必要条件, 考虑目前水文数据的采集状况, 我国 WRMDSS 大有潜力。

(2) 注重系统分析方法的实际应用与推广, 注意借鉴并运行 AI 等技术改进模型运用

我国的研究与应用多从问题入手, 已有不少的理论研究成果。清华大学、武汉水利电力大学等单位长期致力于系统分析方法的理论研究和实际应用, 如引滦工程系统水库群^[28, 29] 丹江口水库优化调度研究^[30, 31]; 董子敖^[32, 33] 在水库群长期调节中应用 ES 技术; 程根伟^[34] 的“智能水文预报专家系统”包含自然语言识别, 水文预报数值过程模拟, 实时校正, 模糊推理等模块, 是 AI 技术在水文预报上的应用。仲伟俊等^[35] 的“城市供水系统的计算机仿真”分别运用有限元素法和分层迭代计算的思想对假想城市供水系统进行静态和动态仿真, 模型运算合理, 并可在 IBM PC 上较快求解。

冯尚友^[36] 对水资源系统分析, 主要是规划技术作了综述; Dai, et al.^[37] 对系统工程理论方法在我国水资源系统的理论与实践作了全面介绍, 详细论述了水资源管理的主要应用领域: 水力发电、农业灌溉、水资源合理利用(水分配)、水质保护、防洪及水利建设

等。可以看到,我国水资源管理优化模型理论与实践较多,尽管强调理论与实践的统一,仍以实际问题为研究背景的多,运算结果付诸实施的少。仿真模型较优化模型少,且主要用于大型水利系统。这说明从系统分析模型发展为 WRMDSS 的模型,模型功能与接口设计需投入相当的劳动。

(3) 顺从单一模型→模型体系→智能化交互 WRMDSS,系统设计注重构造系列模型

合肥工业大学的俞嘉第^[38]作中小型水库优化调度,目前以农业灌溉为主,研制了一套预报操作模型,在安徽省有一些具体运算,并转向智能化调度,向大中型水库发展。黄委会防汛自动化测报计算中心最早开发了黄河三门峡—花园口区间的实时遥测洪水预报系统,即“黄河洪水预报软件系统”(YRFS)^[13],之后与西安交大合作开发“黄河下游防洪决策预案生成专家系统”^[39],直到“黄河防洪决策支持系统”(YRFDSS)^[14]。张超等^[40]在城市水资源开发利用规划中应用系列模型方法,从数据的处理到最后优化方案构造了一系列的模型。“引青工程”软件系统‘优化调度与防汛管理’^[41]以水预报→水库操作→水分分配的思路建立了系列模型套,可根据时间、目的和条件选用适当的模型套作决策支持。

(4) 水资源系统管理局部的计算机应用推动实现整个系统的全面计算机管理

这是我国 WRMDSS 发展的主要道路。目前,水情自动测报系统已在重要河段及大中型水库陆续兴建,联机实时洪水预报必然摆在水资源管理者面前,已开发的计算机软件在实践检验中又有完善和扩充的需求^[42, 43],防洪 DSS 也已研究^[44]。“京密供水系统工程”、“丹江口水利枢纽防洪预报调度系统”等都是多年水利系统计算机化管理的逐步发展的成果,其目的是使相应的水资源系统的管理适应物理环境变化和国民经济的发展,如“京密供水系统”完成首都地区主要的供水任务,而“丹江口水利枢纽”则是南水北调中线工程的起点。

长江“葛洲坝水库调度自动化系统”^[45]和“引青工程”软件系统则自始就是较全面的 WRMDSS。“葛洲坝水库调度自动化系统”包括数据采集、信息管理、信息检索、洪水预报、短期气象定量降水预报、中长期预报、图形监视、调度模型、调度计算与计划报表等 9 个子系统,水库大江电厂运用 SCADA 进行监控管理,均在 VAX 系列机上实现。“引青工程”是以系统工程的思想与方法建立一套以“遥测”、“通讯”、“遥控”与“遥调”四遥为方式,包括日常管理、优化调度与防汛管理、仿真等子系统的区域水资源管理决策支持系统。尽管上述系统堪称全面,但就水资源系统变化及我国管理现状来看,其应用潜能及系统的进一步完善都将吸引研究人员与管理人员作深入和长久的研究,如“引青工程”软件系统目前尚未考虑水质管理与监测。

(5) 计算机系统普及与先进相辅相承

我国 WRMDSS 多以微机为主,其优点是操作简便,费用较低,适合我国国情,如正在推广的区域水情自动测报与防洪系统,引青工程的日常管理也用微机。复杂系统的中心控制多采用工作站,象京密工程采用 HP-9000,引青工程用 SUN SPARC II,这是为提高系统的处理能力,而配备的值班机多用微机。YRFDSS 在微机网络上实现,而水文自动测报采用小型机(PRIME 550-II, VAX 11/780)及多台微机。

(6) 系统设计与开发强调人机对话,提倡系统集成,注意软、硬方法相结合

根据多年模型应用的实践经验和国外的发展趋势,已开始注重人机交互界面的设计,

操作方便、辅助管理与培训操作相结合; 偏重简单模型的系统功能集成化, 非大而全的单一模型设计, 如“引青工程”的软件系统。

然而 WRMDSS 在我国应用并不深入, 多数应用以系统分析理论和系统工程方法在水资源管理中体现决策支持的作用。交互式建模、系统集成虽倡导但很少实际运用。雨量遥测、洪水实时预报等因设备质量、地理条件等多处于初级使用阶段, 离防洪 DSS 尚有一段距离。由于针对具体问题, 模型各自分片搞, 尚无 HEC 那样通用的模型套, 信息交流少, 人为的阻碍, 故存在许多重复劳动。资金、技术设备和管理人员素质制约 WRMDSS 开发和实际使用。

5 我国发展 WRMDSS 的努力方向

我们认为:

(1) 我国的 WRMDSS 可以目前活跃的系统分析模型为基础来开发, 作好交互式人机界面, 明确数据的获取方式, 结果的用途, 建立相应的 DSS。这是条捷径。

(2) 我们水资源管理系统分析模型存在的缺点仍是计算结果与实际应用的脱节, 如不善改进, 开发成 DSS 则矛盾更为突出。所以一方面是模型建造者更深入地了解分析数学模型之外的环境约束、管理人员的经验, 双方认识问题以求达到建模及模型使用上的共识, 另一方面是提高管理人员的素质, 便于 Loucks 所说的通讯。

(3) 继续发扬理论与实践统一的传统, 提高模型应用水平, 促进理论发展。以随机规划(Chance-Constrained Programming-CCP)为例, CCP 在 50、60 年代研究很热, 但 70 年代理论研究不受重视了。水资源研究学者根据水资源的特点, 将其成功地用于水资源管理长期规划、水分配上^[46, 47], 从 CCLP 到 FCCP(Fuzzy CCP), 从 CCGP(Goal Programming)^[48]到 DCGP(Dependent-Chance GP)^[49], 本身就是 CCP 理论研究的深入。

(4) 制定(数据)标准, 对大中型水利系统提倡类似 SCADA 的监测管理模式, 使水库操作符合国际标准, 也为水库操作水平的提高打下基础。

(5) 开发类似 HEC 系列的模型, 倡导 HEC 那样集模型、程序及培训计划为一体的软件最终产品, 减少重复劳动, 从而根本上减少资金投入。

(6) 顺应国际潮流, 与 GIS 结合, 开发 Spatial WRMDSS, 有助于国土及水资源的综合开发和利用。

(7) 开发 WRMDSS 时, 运用交互式建模, 兼顾各方; 注意模型接口, 力求模型灵活, 对环境有一定的适应期; 提倡运用软方法, 基于协调设计系统, 提高 DSS 的设计水平, 构造简单系列模型, 实现系统集成^[50]。

现代的 WRMDSS, 集先进的计算机系统、通讯设备及其它辅助设备为一体, 以分析、操作能力强的仿真、优化模型为核心, 配以基于 AI 的模型调度控制策略, 实时获取数据, 以多媒体方式创造一个决策实验与试验的“灵境”, 会聚水资源利用利益群体各方, 使之直接对话, 参与设计, 实则是从定性到定量、综合集成研讨厅的一个应用^[51]。“京密供水系统”和“引青工程”的中心控制室均配有大屏幕显示设备, 系统已具有研讨厅的原型。

系统分析方法应用于水资源管理是必然的, WRMDSS 的开发是必然的, 发展到水资源管理与决策综合集成研讨厅也是一个趋势。我国水情自动测报系统技术的推广, 较长较深入的系统分析实践, 水利系统的兴建和改造, 为 WRMDSS 的开发及应用提供了天时、地利, 只要研究者和管理者冷静地面对环境及社会的挑战, 认清国内外水资源管理的状况, 加强通讯, 达到人和, 合理开发 WRMDSS, 从而为经济建设作贡献。

参考文献

- (1) Labadie, J. W. and C. H. Sullian. Computerized Decision Support Systems for Water Managers, J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1986, 112(3): 299~307
- (2) Johnson, L. E. Water Resources Management Decision Support Systems, J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1986, 112(3): 308~325
- (3) Stevens, D. Computer Models in Lower Colorado River Operations. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1986, 112(3): 395~408
- (4) Feldman, A. D.. Systems Analysis Applications at the Hydrologic Engineering Center, J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1992, 118(3): 249~261
- (5) Chan, W. T. and S. Y. Liang, Intelligent Decision Support for Water Resources Management, in U. Shamir & J. Q. Chen (eds). The Hydrological Basis for Water Resources Management, IAHS Publication 1990, (197): 305~315
- (6) Brown, B. W. and R. A. Shelton. TVA's User of Computers in Water Resource Management, J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1986, 112(3): 409~418
- (7) Simonovic, S.P., Reservoir Systems Analysis: Closing Gap between Theory and Practice. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1992, 118(3): 262~280
- (8) Savic, D. A. and S. P. Simonovic. An Interactive Approach to Selection and Use of Single Multipurpose Reservoir Models. Water Resour. Res., 1991, 27(10): 2509~2521
- (9) Karbowski, A.. FC-ROS—Decision Support Systems for Reservoir Operators during flood. Environmental Software, 1991, 6(1): 11~15
- (10) Niewiadomska-Szynkiewicz, E., et al.. FC-VS—a Decision Support System for Reservoir for Flood Control in Multireservoir Systems. Environmental Software, 1992, 7: 217~218
- (11) Cosgriff, G.O., et al., Interactive Computer Modeling, Monitoring and Control of Melbourne's Water Supply System, Water Resour. Res., 1985, 21(2): 123~129
- (12) Davis, J. R., et al., Prototype Decision Support System for Analyzing Impacts of Catchment Policies. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1991, 117(4): 399~414
- (13) 崔家骏、辛国荣. 黄河三门峡—花园口区间实时遥测洪水预报系统的建设与展望. 水利工程管理技术, 1991, (1): 44~47
- (14) 崔家骏等. 黄河防洪决策支持系统(YRFCDSS)的分析与设计. 系统工程, 1992, 10(5): 60~72
- (15) 中国科学院中国大恒公司, 秦皇岛引青自动化工程设计大纲, 1992, 4
- (16) Walsh, M.R.. Toward Spatial Decision Support Systems in Water Resources. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1993, 119(2): 158~169

- (17) McKinney, D.C., et al.. Expert Geographic Information System for Texas Water Planning. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1993, 119(2): 170~183
- (18) Leipnik, M.R., et al.. Implementation of GIS for Water Resources Planning and Management. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1993, 119(2): 184~205
- (19) Savic, D. A. and S. P. Simonovic. Pilot Intelligent Decision-Support System for Reservoir Optimization, Proceedings of the 3rd Water Resources Operations Management Workshop, 1988, 478~488
- (20) “美国在水文计算机应用的新进展”(张静兰摘编). 水利水电自动化, 1992, (1): 4~6
- (21) Loucks, D. P.. Water Resource Systems Models: Their Role in Planning, J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1990, 118(3): 214~223
- (22) Loucks, D. P., J. Kindler and K. Fedra, Interactive Water Resources Modeling and Model Use: An Overview. Water Resour. Res., 1985, 21(2): 95~102
- (23) Fedra, K. and D. P. Loucks. Interactive Computer Technology for Planning and Policy Modeling. Water Resour. Res., 1985, 21(2): 114~122
- (24) P. B. Checkland. Systems Thinking, Systems Practice. John Wiley & Sons, 1981
- (25) Sawaragi, Y., M. Naito and Y. Nakamori. Shinayakana Systems Approach in Environment Management. Proceedings of the 11th World Congress on Automatic Control, IFAC, Pergamon Press, 1990, 5: 511~516
- (26) Xu, Xinyi and Chen, Beiyu. Architectural Structure for a Water Resources Data Base System, in U. Shamir & J. Q. Chen (eds). The Hydrological Basis for Water Resources Management, IAHS Publication 1990, (197): 281~287
- (27) 金钟. 防洪通讯和水利调度自动化技术在湖南省的应用及展望. 水利水电技术, 1991, (6): 58~63
- (28) 胡振鹏. 供水水库群多年调节的多目标递阶分析. 系统工程学报, 1986, (2): 78~89
- (29) 林翔岳等. 综合利用水库群系统的优化调度研究. 清华大学水利系
- (30) 胡振鹏、冯尚友. 综合利用水库防洪与兴利的多目标风险分析. 武汉水利电力学院学报, 1989, (1): 71~79
- (31) 胡振鹏等. 丹江口水库兼顾发电与灌溉效益的水位控制措施. 水利水电技术, 1992, (4): 50~54
- (32) 董子敖. 水库群调度与规划的优化理论和应用. 山东科学技术出版社, 1989
- (33) 董子敖. 水库群长期调节中的径流处理问题和专家系统的应用. 北京水利电力经济管理学院学报, 1990, (1-2): 37~44
- (34) 程根伟. 智能水文预报专家系统. 系统工程学报, 1991, 6(2): 59~70
- (35) 仲伟俊. 城市供水系统的计算机仿真. 系统工程理论与实践, 1991, 11(3): 10~15
- (36) 冯尚友. 水资源系统分析应用的目前动态与发展趋势. 系统工程理论与实践, 1990, 10(5): 43~48
- (37) Dai, D. Z., et al.. Research / Application on System Engineering to Water Resources Systems. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1992, 118(3): 337~349
- (38) 俞嘉第. 水库系统运行管理决策支持系统的研究. 企业发展与系统工程. 中国科学技术出版社, 1992, 330~334
- (39) 张丰敏、冯耕中. 黄河下游防洪决策预案生成专家系统的设计与实现. 全国青年管理科学与系统科学

论文集. (第二卷). 湖南科学技术出版社, 1993, 592~599

- (40) 张超等. 系列模型方法在城市水资源开发利用规划中的应用. 水利学报, 1993, (2) 1~9
- (41) Gu, Jifa, X. J. Tang, et al.. A Set of Models on Reservoir Operations, Supply and Allocation for Qinhuangdao Water Resources System, Proceedings of the 2nd International Conference on Systems Science and Systems Engineering (Zheng, W. M. ed), International Academic Publishers, 1993, 47~950
- (42) 周玉瑶等. 柘溪水电站联机实时洪水预报. 中南水电, 1992, (4) 33~39
- (43) 陈维惠、柯金标. 柳塘水库洪水预报与防洪调度方案. 水利工程管理技术, 1992, 33~36
- (44) 徐宗学、林翔岳. 防洪调度决策支持系统初探. 决策与决策支持系统, 1993, 3 (3): 326~333
- (45) 赵云发、王玉华. 葛洲坝水库调度自动化系统. 水利水电技术, 1992, (9): 19~22
- (46) Askew, A. J.. Chance-Constrained Dynamic Programming and the Optimization of Water Resources Systems. Water Resour. Res., 1974, 10(6): 1099~1106
- (47) Houck, M. H.. A Chance Constrained Optimization Model for Reservoir Design and Operation. Water Resour. Res., 1979, (15): 1011~1016
- (48) Changchit, C. and M. P. Terrell. CCGP Model for Multiobjective Reservoir Systems. J. of Water Resour. Plan. and Mgmt., 1989, 115(5): 658~670
- (49) Liu, B. D. and J. F. Gu. Dependent-Chance Goal Programming and an Application. Chinese J. of Sys. Engr. and Sys. Sci., 1993, 4(2): 40~47
- (50) 唐锡晋、顾基发. 基于协调的DSS开发及系统设计. 决策与决策支持系统, 1993, 3(4): 31~38
- (51) 于景元. 从定性到定量综合集成方法及其应用. 中国软科学, 1993, (5): 31~38

The Characteristics and Development Trends of Water Resources Management Decision Support Systems

Tang Xijin Gu Jifa

Institute of Systems Science, Academia Sinica

Abstract: As one of extensively developing applications of Decision Support Systems, Water Resources Management DSS (WRMDSS) functions improving water resources management for its being adapted to socioeconomic, environmental and political needs. In this paper, the short history, design characteristics, application situation, and development trends of WRMDSS are described. Some examples are illustrated. By the comparison of WRMDSS between abroad and domestic, the endeavours for WRMDSS further developing are pointed out.

Key words: water resources management, decision support systems