

洪水灾害分析与评估的综合集成方法

魏一鸣 杨存键 金菊良

(中国科学院科技政策与管理科学研究所 北京 100080)

(中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室 北京 100101)

摘要 从系统论的观点出发,提出了洪水灾害复杂大系统的概念,讨论了该系统的组成特征及其高维性、动态性、复杂性等特征和基于定性与定量的综合集成方法,探讨了洪水灾害系统模拟、预测、评估与决策的综合分析方法。为进一步开展洪水灾害的管理与调控方法的研究奠定了基础,并将有利于促进资源、环境与社会的协调发展。

关键词 洪水 洪水灾害 大系统 分析与评估 综合集成方法

分类号 P333.2

洪水灾害系统由于受到天、地、气等多种条件的约束和众多繁杂因素的影响和干扰,毫无疑问,它是一个典型的复杂系统。复杂系统的行为本质既包含“高维性”又包含“复杂性”。所谓“高维性”是指复杂系统因子繁多,往往需要做“多目标—多因子”分析;所谓“复杂性”是指确定性与不确定性、正态与非正态,定性与定量,静态与动态、宏观与微观、平衡与非平衡等特征。实践证明,传统的方法和手段已难以胜任洪水灾害复杂系统中涉及多因子、多层次的综合分析。只有把系统科学的理论和方法以及计算机、遥感等现代科学与技术中的新成果引入洪水灾害系统的研究中,系统地探讨洪水灾害的模拟、预测、评估与决策的综合分析方法,才能实现人类对洪水灾害的有效调控和科学管理,以促进资源、环境和社会经济之间朝着协调的方向发展^[1]。因此,本文首先从系统论的观点出发,提出了洪水灾害复杂大系统的概念和基于定性与定量的综合集成方法,探讨了洪水灾害系统的模拟、预测、评估与决策的综合分析方法。

1 洪水灾害复杂大系统

洪水灾害是自然界的洪水作用于人类社会的产物,是人与自然关系的一种表现。一般而言,形成洪水灾害必须具有以下条件: 存在诱发洪水的因子(称之为致灾因子)及形成洪水灾害的环境(称之为孕灾环境); 洪水影响区有人类居住或分布有社会财产(称之为承灾体)。它们三者之间相互作用的结果形成了通常所说的灾情。从系统论的观点来看,孕灾环境、致灾因子、承灾体、灾情之间相互作用,相互影响,相互联系,形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系,这就是洪水灾害系统^[2]。图1描述了洪水灾害系统的组成及其因果关系的逻辑结构。

收稿日期: 1997-10-28; 修改稿日期: 1997-12-26

* 中国博士后科学研究基金及“九五”攻关 96-B 02-02 课题资助项目。

针对上述洪水灾害系统，它具有以下几个方面的突出特点：

(1) 系统组成的高维特性 洪水灾害系统是由孕灾环境子系统、致灾因子子系统，承灾体子系统、灾情子系统等四个子系统组成，而每一个子系统又包括其各自的子系统。例如：承灾体子系统又包括人类子系统、建筑群子系统、工业子系统、农业子系统等。如此逐层分解，形成了洪水灾害的庞大的层次结构，显然，洪水灾害系统是一个“人—自然—社会”系统，毫无疑问，这样的系统具有极高的维数。

(2) 子系统之间关联复杂 洪水灾害系统内各个子系统或局部子系统之间相互作用，相互联系，形成了复杂的关联。这种关联的复杂性不仅表现在结构上，而且表现在内容上。它们可以是物质、能量或信息的关联，也就是说各子系统之间的关联的形成是多样的。图 2，描述了洪水灾害系统内各子系统之间的复杂关联关系。

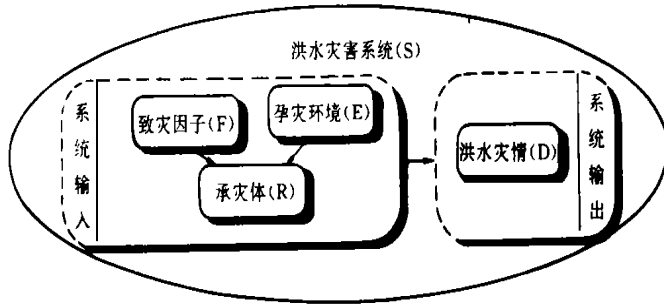


图 1 洪水灾害系统及其逻辑结构

Fig. 1. Flood disaster system and its logical structure

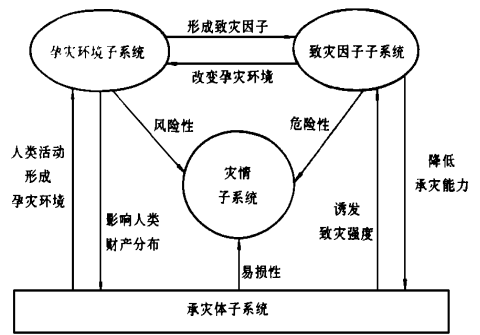


图 2 洪水灾害系统内各子系统之间关系

Fig. 2. Relationship among its subsystem

(3) 影响因素繁多、层次不明确 洪水灾害的形成受多种因素的影响，每一种因素又包含众多的表现形式，形成了洪水灾害系统内各因素之间复杂的因果表达关系，从而使得系统内部因素间因果层次关系不明确。例如降雨作为直接影响径流的重要因素之一，由于其时空分布的不同对经济的影响作用也不同。在相同降雨量的情况下，降雨越集中（如暴雨），则径流量越大，径流过程越大；反之，降雨历时越长（如淫雨），则径流量越小，径流过程越缓。若降雨集中在流域的下游，洪水上涨往往较快，且涨洪历时短，洪峰流量较大。再如暴雨中心移动方向顺流而下时，常会造成较大的流域洪水，从而可能形成较大的洪水灾害^[3]。

(4) 洪水灾害系统的不确定性 洪水灾害系统的不确定性概括起来，包括随机性、模糊性、灰色性与混沌性等几个方面的内容，洪水灾害系统不确定性突出表现在以下几个方面^[4, 5]。

- 雨洪的随机性 雨洪的随机性包括它在时间分布上的随机性和空间分布上的随机性两个方面。雨洪的这种时空分布的不确定性必然造成同等条件下的洪灾损失时、空分布的不确定性。
- 资产分布的不确定性 洪灾损失是洪水作用于财产而产生，同等雨洪的情况下，财产的分布不同，造成的洪灾损失也不同。
- 防洪措施运用的不确定性 防洪措施包括工程的水库大坝、堤防等和非工程的洪水警报、紧急撤离等，这些工程性措施在设计、施工和管理中存在不确定性，而洪水预报、紧急撤离等非工程性措施的实施又牵涉到洪水预报的准确性及公众的响应程度等，同样也是不确定的。防洪措施应用得当，洪水灾害损失就小。反之，则大。因此，在洪水灾害系

统中,不但洪水灾害的发生具有随机性,其成因难以预测,因此,洪水灾害发生的后果也难于判断和衡量,具有模糊性。

(5) 系统的开放性 洪水灾害系统是一个“人—自然—社会”系统,这一系统不断地与其环境发生着物质能量和信息的交换,体现了这一系统的开放性。一方面,洪水灾害的形成,需要一定的条件。例如:需要从其外部环境系统中得到能量、物质或信息。没有外部环境系统的作用,洪水灾害就不可能发生。另一方面,由于洪水灾害的发生,又对其外部环境系统产生影响,甚至产生或引起其灾害。例如,大气环流的变化,可以引起地面的洪水灾害,同时由于洪水灾害可能导致泥石流、滑坡等灾害的发生。洪水灾害系统是一个开放系统。

(6) 系统的动态性 洪水灾害系统的时间性强,它随着时间而不断地发生变化。这是由于它的周围环境系统不断地发生变化,引起了洪水灾害系统的输入输出强度与性质不断地变化,并进一步引起洪水灾害系统的结构与功能的变化,从而使洪水灾害系统呈现出显著的动态性。

(7) 洪水灾害系统的非线性 就是指洪水灾害系统的输出特征,对于输入特征的响应不具备线性叠加性质,例如,相同强度的洪水,在经济发展水平相近的地域,其规模量级大小与损害数量程度方面具有一定的对应关系,但其由于不同地域的背景条件,人口密度,经济发展水平等方面有差异,所以自然事件的规模和造成的损失之间不可能构成线性函数关系,又如:在特定的时空范围内,当降雨量和降雨强度处于一定水平以下时,不会发生洪水灾害,即无响应,随着降雨和降雨强度的提高,可能发生洪水灾害,但其灾情的大小并不一定与降雨量和降雨强度之间存在线性相关关系。这些都表现出了洪水灾害系统的非线性特征。

综上所述七个特点,突出表现了洪水灾害系统的高维性、复杂性、开放性以及动态性。因此,从系统科学的观点来看,洪水灾害系统是一个动态复杂大系统。毫无疑问,针对这一复杂大系统的控制与管理,无论是采用经典的控制理论,还是采用传统的运筹学技术,都将遇到困难。因此,必须采用新的概念和方法来探讨洪水灾害系统的模拟、预测、评估、决策这一多因子、多层次的综合分析问题。

2 洪水灾害的综合分析方法

2.1 定性与定量综合集成方法

由于大系统所具有的复杂性、开放性和动态性使得人们应用传统的系统工程方法和经典的控制技术,已无法解决其控制和决策问题。随着现代科学和计算机技术的高速发展,钱学森等杰出科学家提出解决复杂系统问题的新方法——从定性到定量综合集成方法^[5]。它是在社会系统、人体系统和地理系统等三个复杂系统研究的实践基础上,提炼、概括和抽象出来的综合集成方法。这种方法的实质就是将专家

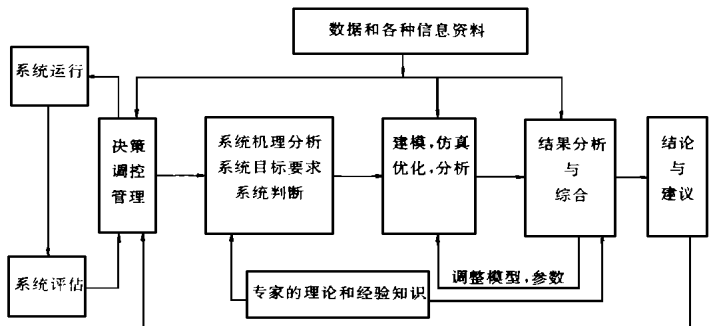


图 3 定性与定量综合集成方法^[6]

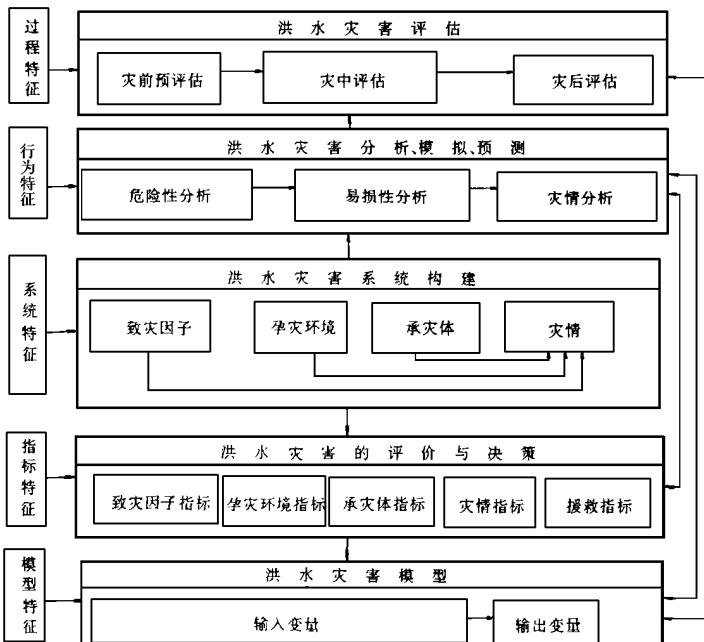
Fig. 3. Comprehensive methodology with qualitative and quantitative integration^[6]

群体（多方面有关专家）、统计数据和多种信息资料与计算机技术有机地结合起来。图 3 描述了定性定量综合集成方法的基本思想。

因此，运用从定性到定量综合集成方法对洪水灾害系统分析时，必须做到科学理论、经验知识和专家判断力相结合；人与计算机各自发挥所长、协同工作。具体的作法是，由各个领域专家参加，依据他们所掌握的科学理论和经验知识对系统中的有关问题进行研究，对系统分析的途径和方法作出决定性判断，并用系统思想和观点将其纳入到系统框架，界定系统边界，明确哪些变量是状态变量、环境变量、控制变量（政策变量）和输出变量（观测变量）。然后建立起用数学模型、逻辑模型等描述的洪水灾害系统的结构、功能、输入—输出关系，即系统模型。先按照功能、结构或属性将洪水灾害系统分解成为一系列子系统，对各子系统进行建模描述，再由它们综合成为总的系统模型。有了系统模型，再借助于计算机就可以进行系统功能的计算机仿真，它相当于在实验室内对系统作实验。由专家们对结果进行分析、讨论、判断甚至调整和修改，直至专家们认为结果可信为止。这时既有定性描述，又有数据依据；既是先验的判断和猜想，又有足够科学依据的结论。

综上所述，“综合集成”是靠人用计算机来综合专家群体的定性认识以及在大量数据、信息，经过综合加工处理，从而上升为定量的认识。所达到的定量认识是更完善的智能的一种体现，是“人一机”智能集成系统^[7]。而且这种“人一机”智能集成系统是在功能集成、技术集成的基础上实现的，其中技术的集成又包括模型的集成方法的集成和软件的集成三个方面。功能的集成是目的，技术的集成是手段。

2.2 洪水灾害系统定性定量综合分析



洪水灾害系统的定性定量综合分析的目的，一方面是使人类能更好地认识洪水灾害的性质与特点，发生的基础、时空分布规律及其发展变化趋势；另一方面要对洪水灾害给人类造成的破坏进行科学的评价。从而最终为减灾、救灾的决策服务。因此，这是一项依赖于多学科的综合研究，需要采用定性定量综合集成方法，以建立洪水灾害行为时空模拟模型、灾情分析与评价模型、辅助决策模型等模型，从而实现洪水灾害的预测、模拟、分析、评估与决策的综合集成。它们的有机结合形成了洪水灾害系统综合分析体系，如图 4 所示。

洪水灾害系统综合分析体

图 4 洪水灾害系统综合分析体系

Fig. 4. General system for flood disaster analysis

系是以洪水灾害系统为核心, 以洪水灾害的评估、模拟、分析、预测、决策为目标, 通过建立各种物理模型、数学模型、人工智能模型、图形模型等模型为手段, 实现对洪水灾害的综合分析。这一体系可以从五个特征来概括即: 过程特征、行为特征、系统特征、指标特征、模型特征。它们之间的关系如图 5 所示。

其中洪水灾害评估的过程特征分析和洪水灾害行为特征评估方法是这一体系中及其重要研究的两个方面。

(1) 洪水灾害评估的过程特征分析 洪水灾害评估, 按洪水灾害发展的不同的阶段和过程, 可分为洪水灾害的灾前的预评估, 灾中的跟踪评估, 灾后的调查评估。针对各个阶段, 洪水灾害评估的研究目的与用途、内容与方法均有所差异。

- 洪水灾害灾前预评估 洪水灾害的预评估是制定国土规划和社会发展计划以及减灾对策预案系统的基础。洪水灾害灾前的预评估的主要内容通过合理的科学方法, 定性或定量预测某一地区或某一部分未来洪水发生的强度、分布和可能造成的人员伤亡、经济损失、社会影响和减灾效益的预估。这一阶段的评估的方法与手段主要包括: 历史资料调查分析; 监测预报系统; 地理信息系统; 模型方法 (数学模型, 智能模型)。
- 洪水灾害灾中跟踪评估 灾中跟踪评估是在洪水灾害发生时, 对洪水灾害的灾情的快速评估。它是救灾决策和应急抗灾措施制定的基础。评估内容包括应用监测系统, 跟踪灾害的发展; 准确的成灾地点, 洪水强度; 灾情特征, 以及洪水灾害损失的跟踪评估 (已造成的灾害损失、扩大损失) 及减灾效益的预估。这一阶段的评估主要通过遥感和地理信息系统来完成。
- 洪水灾害灾后调查评估 灾后评估是确定救灾方案、制定灾后援灾计划的重要依据。其评估内容主要包括: 灾后现场调查、统计损失; 次生灾害的影响评估; 间接损失估算; 灾害对社会与环境影响的评估。这一阶段的评估主要通过现场调查与遥感方法来完成。

(2) 洪水灾害行为特征评估方法 洪水灾害行为评估是通过对洪水灾害的风险分析实现的, 它是指对风险区遭受不同强度洪水的可能性及其可能造成的结果进行定量分析和评估。它是建立在对洪水灾害系统中的致灾因子和孕灾环境的危险性分析和对风险区内的承灾体的易损性分析基础上而开展的。

- 致灾因子和孕灾环境的危险性分析 研究在一定的致灾因子和孕灾环境下, 某区域一定时期内特定强度 (例如, 洪水位、淹没水位) 洪水发生的概率 (可能性)。
- 承灾体的易损性分析 是研究洪水灾害系统内各承灾体在受到不同程度的洪水的破坏后, 其经济价值的损失程度。
- 灾情的风险分析 研究某一区域在一定时间段内可能发生的一系列不同强度的洪水给该区域造成的可能后果。估算该区域内的各个灾情指标; 并依据所得到的灾情指标应用所建立的在一定灾情指标体系下灾情综合评估模型, 对该区域的灾情进行综合评价。

在当前的技术水平下, 开发和研制洪水灾害分析与评估智能决策支持系统是实现洪水灾害分析与评估综合集成方法的有效手段^[8]。

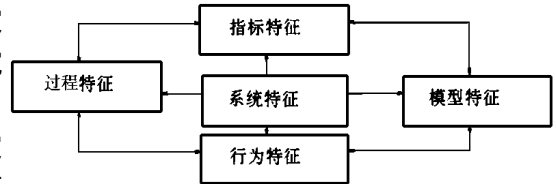


图 5 特征关系图

Fig. 5. Relationship between features

3 结 语

洪水灾害系统是一个涉及自然、经济与社会的复杂大系统,应用定性与定量综合集成方法,是实现洪水灾害分析与评估的有效途径,本文的研究工作为进一步研制洪水灾害分析与评估智能系统奠定了基础,并将促进这一领域的研究朝科学化、系统化以及定量化方向发展。

参 考 文 献

- 1 魏一鸣 矿床开发决策多目标集成方法 黄金, 1997, 3: 16~ 19
- 2 Wei Yim ing, et al The General system for Flood Disaster Analysis and Evaluation Proc of IEA. & WIS '97. Beijing 1997, 841~ 847
- 3 杨达源, 阎国年 自然灾害学 北京: 测绘出版社, 1993, 148~ 150
- 4 陈风兰, 王长新 施工导流风险分析 水科学进展 1996, 361~ 366
- 5 钱学森, 于景元, 戴汝为 一个新的学科领域—开放的复杂原系统及其方法论 自然杂志 1990, 1 3~ 10
- 6 戴汝为 从定性研究量的综合集成技术 模式识别与人工智能 1991, 1 5~ 10
- 7 涂序彦 智能管理 北京: 国防工业出版社, 1995 25
- 8 魏一鸣 基于 GIS 的洪水灾害评估智能系统总体设计 区域研究与开发 1997, 3: 6~ 12

A Comprehensive Methodology with Analysis and Evaluation Integration for Flood Disaster

Wei Yim ing , Yang Cunjian , and Jin Juliang

(Institute of Policy and Management , CA S , Beijing 100080)

(LREIS , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100101)

Abstract: From the viewpoint of system theory, the concept of complex large system for flood disaster is put forward, and some aspects of its characteristics such as high dimension, dynamics and complexity are discussed. Based on the comprehensive methodology with qualitative and quantitative integration, the comprehensive methodology of flood disaster analysis such as simulation, forecasting and evaluation as well as decision are investigated. Therefore, it will provide the scientific basis for investigating the methodology for the management and control on flood disaster, and it is helpful for improving the relationships among resource and environment as well as social development.

Key words: flood; flood disaster; large system; analysis and evaluation; comprehensive methodology.