

水旱灾害风险评估方法体系及其实证研究

金菊良^{1,2}, 宋占智^{1,2}, 周玉良^{1,2}, 蒋尚明^{3,4}, 赵君⁵, 张明⁶, 何君⁷, 袁潇晨⁸

(1. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009;

2. 合肥工业大学水资源与环境系统工程研究所, 安徽 合肥 230009;

3. 安徽省·水利部淮河水利委员会水利科学研究院, 安徽 蚌埠 233000;

4. 安徽省水利水资源重点实验室, 安徽 蚌埠 233000;

5. 南京信息工程大学水文气象学院, 江苏 南京 210044; 6. 安徽工程大学建筑工程学院, 安徽 芜湖 241000;

7. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 8. 北京理工大学能源与环境政策研究中心, 北京 100081)

摘要:针对水旱灾害系统的不确定性,从系统论角度提出了水旱灾害致灾因子的危险性、承灾体的暴露、灾损敏感性和防灾减灾能力这4个子系统组成的水旱灾害风险系统及其定量表征。从方法论角度,提出了由水旱灾害危险性分析评估、脆弱性分析评估、损失风险分析评估、风险评价、风险决策分析这5类方法组成的水旱灾害风险评估方法体系,并归纳分析本文作者以往的实证研究。结果表明该方法体系具有通用性和有效性,在自然灾害风险评估中具有参考应用价值;今后亟须进一步解析该方法体系的物理成因机制,进一步丰富、发展、完善这些水旱灾害风险评估方法,特别是基于水旱灾害损失风险形成过程的损失风险曲线评估方法。

关键词:水旱灾害风险系统;水旱灾害风险评估;方法论;方法体系;实证研究

中图分类号:P426.616

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2015)05-0142-10

Risk assessment method system for flood and drought disasters and its application//JIN Juliang^{1,2}, SONG Zhanzhi^{1,2}, ZHOU Yuliang^{1,2}, JIANG Shangming^{3,4}, ZHAO Jun⁵, ZHANG Ming⁶, HE Jun⁷, YUAN Xiaochen⁸(1. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Institute of Water Resources and Environmental Systems Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Water Resources Research Institute of Anhui Province and Huaihe River Commission, Bengbu 233000, China; 4. Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources of Anhui Province, Bengbu 233000, China; 5. College of Hydrometeorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 6. College of Civil Engineering and Architecture, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China; 7. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 8. Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In view of the uncertainty of flood and drought disaster systems, a flood and drought disaster risk system, consisting of the disaster hazard, exposure of disaster receptors, damage sensitivity, and disaster resistance capacity, is proposed, and its quantitative characterization is examined. From the methodology point of view, a method system for flood and drought disaster risk assessment, consisting of five methods: disaster hazard analysis, vulnerability analysis, loss risk analysis and assessment, risk evaluation, and risk decision analysis, was established. The results obtained from these methods in empirical research done by the authors are summarized and analyzed. The results indicate that the method system has universality and effectiveness and can provide a reference for risk assessment of different natural disasters, that the physical mechanism of the method system should be further analyzed in the future, and that these risk assessment methods for flood and drought disasters should be enriched, improved, and perfected, especially the loss risk curve assessment method based on the risk process.

Key words: system of flood and drought disaster risk; risk assessment of flood and drought disasters; methodology; method system; empirical research

基金项目:国家自然科学基金(51409001, 51409141, 71273081)

作者简介:金菊良(1966—),男,江苏吴江人,教授,博士,主要从事水资源系统工程研究。E-mail: jinjl66@126.com

通信作者:周玉良(1982—),男,安徽舒城人,副教授,博士,主要从事水资源系统模拟与调控研究。E-mail: zyl54600@163.com

水旱灾害属于重大自然灾害,严重威胁全球安全和可持续发展^[1]。受季风气候、地形地貌和人类活动的综合影响,我国水旱灾害发生频繁、影响深远,自古以来是中国自然灾害的重中之重^[2-3]。在变化环境下,水旱灾害发生频度和成灾强度呈增加趋势^[4]。水旱灾害风险评估是科学认识水旱灾害风险、有效减轻水旱灾害不利影响的重要前提和坚实基础,在水旱灾害管理中具有重要的理论和实践意义^[2-3]。自农业文明以来水旱灾害一直是研究的热点,而有关水旱灾害风险研究则是最近 60 年才兴起的一个交叉研究领域。由于水旱灾害形成过程中充满不确定性^[5-6]、机理异常复杂,目前的水旱灾害风险评估方法和应用研究较为薄弱,迄今尚未有普遍可接受的水旱灾害风险评估方法体系^[2-3]。为此,本文从方法论角度系统总结笔者以往在水旱灾害方法体系方面的研究结果,该体系包括水旱灾害危险性分析评估、脆弱性分析评估、损失风险分析评估、风险评价和风险决策分析等 5 类方法,并归纳分析了笔者以往对这些方法的实证研究结果,以更好地构建遵循物理成因机理、具有系统性和可操作性的水旱灾害风险评估方法体系,进一步推动水旱灾害风险评估理论和应用的发展。

1 水旱灾害风险评估方法体系

a. 从系统论角度,提出水旱灾害系统是由洪水或干旱致灾因子、承灾体、防灾减灾措施和孕灾环境 4 个子系统组成的典型复杂系统,这 4 个子系统在灾害形成过程中缺一不可,它们都是形成灾害的必要条件^[2-3]。其中致灾因子反映灾害的自然属性,承灾体、防灾减灾措施反映灾害的社会属性,孕灾环境反映灾害的自然属性和社会属性,所以水旱灾害是多种自然因子和社会因子综合作用的结果,具有成因关联复杂性、时空多样性、不可避免性和可减轻性等显著特征^[2-3,7],水旱灾害客观上需要综合运用自然科学、社会科学和交叉科学的理论方法进行集成研究^[8-9]。孕灾环境的变动性、致灾因子的危险性、承灾体的暴露、承灾体的灾损敏感性和承灾体的防灾减灾能力这 5 个要素相互联系、相互作用形成的复杂系统,称为水旱灾害风险系统,其中后三者合称为承灾体的脆弱性^[2-3]。致灾因子危险性反映了致灾因子强度与其发生可能性之间的定量关系(又称洪水风险、干旱风险^[2-3]),承灾体脆弱性反映了承灾体损失与致灾因子强度之间的定量关系(又称脆弱性曲线^[6-12]),致灾因子危险性与承灾体脆弱性的合成作用结果,就是水旱灾害损失风险,反映了承灾体损失与致灾因子强度发生可能性之间的定量关系

(又称灾害损失风险曲线^[6-10]),反映了自然属性与社会属性相复合的情形。可见,承灾体脆弱性是把洪水或干旱风险与水旱灾害损失风险联系起来的中间环节^[3,6]。孕灾环境的变动性会对致灾因子危险性和承灾体脆弱性产生影响,承灾体的防灾减灾能力主要会对承灾体脆弱性产生影响,承灾体的暴露反映了承灾体与致灾因子在孕灾环境中时间和空间上的重合、接触,是致灾因子危险性与承灾体脆弱性合成作用的具体实现。

b. 从方法论角度,提出了水旱灾害风险评估方法论就是把洪水或干旱风险,经过水旱灾害脆弱性,转换到水旱灾害损失风险的一般过程,即:①确定某给定时间、给定空间的研究地区洪水或干旱强度的可能性分布函数,即洪水风险或干旱风险;②确定在一定孕灾环境和防灾减灾条件下各洪水或干旱强度与承灾体系统各种破坏程度之间一一对应的定量关系;③确定承灾体系统各种破坏程度与各种损失之间一一对应的定量关系;④综合①~③,得到某给定时间、给定空间的研究地区在一定孕灾环境和防灾减灾条件下水旱灾害损失的可能性分布函数,即水旱灾害损失风险^[2-3,10]。

c. 基于上述的水旱灾害风险评估概念和方法论分析结果,提出了由水旱灾害危险性分析评估、脆弱性分析评估、损失风险分析评估、风险评价、风险决策分析 5 类方法组成的水旱灾害风险评估方法体系^[2-3],该体系涵盖了水旱灾害风险系统的过程特征、行为特征、结构特征、系统特征、指标特征、模型特征等分析评估方法^[8,10]。

2 水旱灾害危险性分析评估方法

a. 为处理常规变点分析方法计算复杂、识别全部变点困难等问题,提出了用遗传算法进行水文时间序列多变点分析的一套新方法 AGA-CPAM。应用结果表明,AGA-CPAM 用于处理水文时间序列多变点诊断问题简便、可行和有效,在各种非线性时间序列灾变分析中具有推广实用价值^[13]。

b. 以暴雨强度公式参数优化为例,提出了一般非线性自然灾害模型参数优化的一种通用的数值方法——加速遗传算法,分析了该算法控制参数的优化特性,总结出了这些参数的简便设置技术,并给出了它在暴雨强度公式参数优化中的应用实例^[14]。

c. 提出了在全河段计算误差最小化下同时推求各断面的水位值这一优化问题,并用笔者提出的加速遗传算法成功地解决了这一仅给出隐含表达式的复杂非线性优化问题。实例计算的结果表明这一新方法是可行的、通用的和简便的,有效控制了全河段总

计算误差,与常用方法相比,明显提高了计算精度^[15]。

d. 提出了基于加速遗传算法的门限自回归模型^[16-17]、门限回归模型^[18]、双线性模型^[19]、遗传指数自回归模型^[20]、最近邻仿真模型^[21]、参数投影寻踪回归模型^[22]、R/S 分析模型^[23]和信息熵权马尔可夫链模型^[24],为模拟、预测各种实际洪水、干旱序列非线性变化情形提供了简便、适用性强的建模方法。

e. 应用水文随机模拟技术^[25]建立了洪水多站峰量同时模拟的随机模型^[26]、地区干旱频率分析模型^[27],为历史水旱灾害事件的重现期识别提供了简便、适用性强的建模方法。

f. 针对洪水、干旱变量的不确定性问题,提出了最大熵分布随机模拟模型^[28]、未确知数随机模拟模型^[29],提供了简便、适用性强的洪水、干旱风险分析建模方法。

g. 提出用加速遗传算法求解计算洪水过程与同次实测洪水过程残差最小化问题,以实现洪水瞬时单位线汇流模型^[30]、马斯京根洪水演算模型^[31]的参数优化估计,方法直观、简便,精度高,为洪水过程模拟提供了先进方法。

h. 提出用 Copulas 函数建立洪水^[32-33]、干旱^[34-35]多变量联合概率分布的整套方法,实现了洪水、干旱风险的定量分析建模。

3 水旱灾害脆弱性分析评估方法

a. 提出了灾害脆弱性是承灾体对致灾因子和孕灾环境的响应函数,建立了基于加速遗传算法的 BP 神经网络模型并用于洪水灾害承灾体易损性建模^[36],它可统一描述水稻各生育期的受淹减产函数并具有较高的精度,比传统的对各生育期分别建模方法要方便得多,通过简单地更新训练样本就可方便地实现该模型的更新,这就满足了自然灾害监测与评估业务运行系统对模型的自动化和快速更新的需求。

b. 以区域水量供需平衡分析为基础,提出了以不同来水频率下的区域抗旱能力系数来定量评价区域抗旱能力水平的方法,并在安徽省各地市^[37]、江淮丘陵区塘坝灌区^[38]实际抗旱能力评价中得到了验证,为抗旱标准制订、旱灾风险定量评估提供了关键技术。

c. 用灾害脆弱性评价指标体系方法建立了基于遗传算法的投影寻踪脆弱性评估方法^[39]、层次分析脆弱性评估方法^[40]和抗旱能力评价方法^[41],便于宏观评估灾害脆弱性的整体格局。

d. 通过对淮北平原受涝区进行实地大田农作

物受涝经济损失调查和取样综合统计分析,建立了主要农作物受涝淹没深度和淹没历时与受涝损失率之间的定量关系^[42]。

4 水旱灾害损失风险分析评估方法

a. 为构建农业旱灾损失风险曲线,以干旱期间供水满足需水的比例作为抗旱能力系数,分别建立了抗旱能力系数-来水频率、干旱频率-干旱烈度保证率的关系曲线,以干旱烈度保证频率表征来水频率,得到各次干旱过程的抗旱能力系数-干旱频率的关系曲线,再用 Copula 函数计算干旱频率,通过 EPIC 模型模拟水稻旱灾损失率,建立干旱频率-假定灌溉水平-旱灾损失率的关系曲线,根据抗旱能力系数和干旱频率的对应关系,并以抗旱能力系数反映灌溉水平,进而推得了现状水平年实际抗旱能力下的干旱频率-旱灾损失率曲线^[43],并在长江、黄河、海河和辽河流域试点地区得到了应用,便于模拟旱灾风险系统的各种不确定性,可以反映旱灾风险系统的形成、演化机理,适应旱灾风险系统的动态变化,为定量评估实际来水条件和抗旱能力水平下农业旱灾损失风险提供了重要途径。

b. 利用最大熵法^[44]、信息扩散法^[45]、自助法^[46]、水文频率曲线适线法^[47]和区域历史灾害损失资料序列,进行损失序列超越概率曲线的估计,以不同损失的概率水平反映水旱灾害风险。

c. 根据水旱灾害系统 4 个子系统各要素建立水旱灾害风险评估指标体系,采用系统工程^[48]的综合评价方法^[49-50]建立了洪涝^[51]、干旱^[52]灾害风险评估模型,从宏观上比较不同地区水旱灾害危险性、承灾体暴露、灾损敏感性、防灾减灾能力、风险指数的空间分布特征。

d. 在综合考虑水旱灾害控制、饮用水安全、粮食安全、生态环境、水资源供需矛盾、水资源管理等多种因素的水安全风险评价指标体系基础上,采用随机模拟方法模拟三角模糊数,把三角模糊数及其函数之间的运算简化为普通的实数之间的运算,建立了基于风险的区域水安全评价模糊数随机模拟模型^[53]。应用结果表明以置信区间形式表示的评价结果比现有常规方法的结果提供了更多评价结果可靠性方面的信息,评价结果更符合实际情况,而现有常规方法的评价结果只是一个确定的实数值,不能反映受多种不确定性因素综合影响的水安全系统综合风险分析的客观实际情况,而以置信区间形式表示评价结果的方法简便通用,可适应各种不同风险等级与风险重要性等级标准的实际情况,在具有随机性、模糊性和数据资料不精确的各种风险评估问

题中具有应用价值。

5 水旱灾害风险评价方法

a. 为了充分挖掘防洪标准方案评价指标样本中的数据信息,以合理确定各评价指标的权重,提出用基于加速遗传算法的投影寻踪方法^[48,54]提取方案之间各样本数据的变化信息所反映的各评价指标的权重,用基于加速遗传算法的改进层次分析法^[55]提取评价指标之间各样本数据的变化信息所反映的各评价指标的权重,综合这2种权重得到各评价指标的组合权重,进而建立了城市防洪标准方案优选模型(ICWM)^[56],结果表明:ICWM利用样本数据的信息比常规方法充分,所提供的决策信息比较丰富、客观,计算结果稳定,在各种实际工程方案优选中具有推广应用价值。

b. 在综合灾害危险性和脆弱性基础上,提出了用集对分析^[57-59]进行自然灾害风险度综合评价的新途径^[60],在全国各省自然灾害风险度评价中得到了应用。

c. 为有效处理自然灾害风险系统这一多种不确定性因素综合作用的评价问题,提出用自然灾害风险评价指标样本与评价标准等级的多元联系数表达式,来定量描述评价指标样本与评价标准等级之间隶属关系的层次性和模糊性,用三角模糊数和多元联系数理论相集成的方法处理自然灾害风险评价中以区间数形式表示的评价等级标准的模糊性,用三角模糊数定量表示联系数的差异度系数的连续变化特性和各评价指标权重的不确定性,进而通过三角模糊数的随机模拟方法建立了基于三角模糊数随机模拟的自然灾害联系数风险评价模型(CN-TFN)。应用结果说明:中国自然灾害风险等级的空间分布存在由西向东逐渐增强的趋势,沿海、经济发达、人口密集地区的自然灾害风险等级处于高风险等级以上的可能性很大,是当前中国自然灾害风险管理的重点地区;CN-TFN综合利用了自然灾害风险评价过程中各种主客观不确定性评价信息,以置信区间形式表示的CN-TFN评价结果比现有评价方法提供了更多评价结果可靠性方面的重要信息,能反映受多种不确定性因素综合影响的自然灾害风险评价的客观实际情况;CN-TFN方法简便、通用,在各种自然灾害风险评价问题中具有推广应用价值^[61]。

d. 针对系统等级评价中通常把评价样本值与标准等级之间的关系作为实数之间的数值接近性进行评价而易产生系统偏差的问题,提出了基于三角模糊数截集的联系数评价模型,并应用于湖南省29

个城市的涝灾影响等级评价中,结果表明:该模型不仅给出了评价指标的具体等级,所得的评价等级为一置信区间,评价结果更符合实际情况,在自然灾害综合评价中具有推广应用价值^[62]。

e. 针对灾害等级标准与评价指标之间的不确定性,提出用基于遗传算法的演化计算^[63]、投影寻踪方法^[64-65]实现灾害等级评价的有效建模。

f. 为有效处理灾害风险度评价过程中多种不确定性因素综合作用问题,根据评价对象和综合评价函数的实际含义,对自然灾害风险度评价指标与评价标准进行集对同异反分析、建立评价指标样本的联系数,对该联系数再进行集对同异反分析、建立评价指标的联系函数,进而建立了基于联系函数的自然灾害风险度评价模型。应用结果表明:该评价模型既考虑了自然灾害风险度评价指标本身的确定不确定性,又考虑了第一次集对同异反分析结果联系数的确定不确定性,充分考虑了系统评价过程的确定不确定性和综合评价函数的实际意义,减少了最终评价结果的不确定性,提高了评价结果的准确性和合理性,可反映受多种不确定性因素综合影响的自然灾害风险度评价的客观实际情况,在各种自然灾害风险评价中具有推广应用价值^[66]。

6 水旱灾害风险决策分析方法

a. 提出用加速遗传算法求解Stackelberg博弈模型中上下层决策者的最优决策,通过上、下层决策者之间动态调整决策逼近博弈均衡解,并用于模拟防洪投资决策中。结果表明:该计算方法可行、有效,能较好地反映博弈的动态过程,具有高效性和鲁棒性,可推广于线性和非线性二层规划问题中,具有较强的实用价值^[67]。

b. 提出了城市防洪工程经济风险分析的蒙特卡洛法,结果表明:蒙特卡洛法通过随机模拟模型可以比解析方法考虑更多的情况,因此其计算结果更为准确,而简化的解析方法的计算精度不高,在重要城市防洪工程经济风险分析时应慎重使用^[68]。

c. 内部收益率法是目前进行工程项目经济决策分析的一种重要分析工具,内部收益率的估计与工程项目现金流的符号改变情况有关,这一点在目前的工程经济学的理论和应用中常被忽视。为此,推导了计算工程项目内部收益率的两种实用公式,并提出了统一用加速遗传算法来优化估计内部收益率的新方法。应用结果说明,用该方法计算内部收益率简便、有效,计算精度高^[69]。

d. 针对AHP中判断矩阵的一致性问题,提出了基于加速遗传算法的改进层次分析模型(AGA-

AHP),利用该模型可同时计算系统各元素的排序权值和检验判断矩阵的一致性,结果表明,AGA-AHP模型的计算精度高、结果稳定,在流域防洪规划方案优选中具有推广应用价值^[70]。

e. 结合洪水灾害管理的特点提出了水库调洪演算的BP神经网络模型,阐述了建模的基本原理、给出了具体的实施算法,并应用于某水库调洪演算中,实例结果说明,模型更新方便,演算过程简便、精度高^[71]。针对汛期不同分期的设计入库洪水,在保证水库大坝工程安全的前提下,从水库实际调度方案和下游防洪标准角度出发,应用BP神经网络对各分期不同频率设计入库洪水进行逆时序调洪演算,充分挖掘水库汛期兴利效益,最大限度抬高汛限水位,由此提出确定水库分期汛限水位的神经网络调洪演算方法,结果表明该方法直观、计算量小,精度可满足实际工程需要,在水库汛限水位计算中具有推广应用价值^[72]。

f. 水库防洪调度是优化区域水资源配置进而实现社会经济可持续发展的一项重要研究内容,防洪调度风险分析可为评判水文预报方案精度、合理选择动态汛限水位进而制定水库防洪调度规则提供科学的决策依据。为全面合理地识别和估计水库防洪调度过程中的各种风险因子,将三角模糊数理论引入水库防洪调度风险分析研究领域,利用三角模糊数 α -截集技术将水库防洪调度风险识别指标模糊化、将风险识别指标由传统的确定值转化成与不同置信度水平 α 相对应的区间数,由此计算相应的模糊风险率区间值,进而提出了基于三角模糊数的水库防洪调度模糊综合风险分析模型,该风险分析方法物理意义明确、结果客观合理,在洪水资源安全利用系统风险分析中具有推广应用价值^[73]。

g. 利用基于Spearman秩相关随机变量模拟方法,将拉丁抽样法产生的独立洪峰洪量序列转换成满足特定相关结构的洪峰洪量序列,利用模拟的洪峰和时段洪量放大修匀典型洪水过程线作为入库洪水过程,建立了入库洪水过程随机模拟方法,据此模拟入库洪水过程,采用蒙特卡洛法估计水库防洪风险,构建了水库防洪风险估计模型。在潘家口水库汛限水位调整防洪风险估计中的应用结果表明:水库主汛期水位上限值控制在218.00 m,所建立的入库洪水过程随机模拟方法简便有效,可用于洪水过程随机模拟,构建的防洪风险估计模型计算结果客观合理,在洪水资源安全利用系统风险分析中具有推广应用价值^[74]。

h. 提出了用基于整数编码和基因换位变异、随机变异及倒位变异等遗传操作的单亲遗传算法解水

资源最优分配的方法,它不要求水资源最优分配问题提供诸如可微、连续和线性等信息,允许目标函数为用表格表示的隐式函数,它直接利用目标函数的数值信息,在解空间内进行自适应全局优化搜索,该法直观、简便、通用,不存在“组合爆炸”问题,可用来处理资源最优分配问题^[75]。

i. 不确定型决策问题的益损值矩阵各元素的变化信息反映了该问题的复杂性和不确定性,也反映了决策者所面临的收益和损失机会的风险信息,变化程度越大则对应的机会风险就越大,目前常用的方法利用益损值矩阵的信息都不充分。指出求解该问题的实质就是如何把益损值矩阵转换为压缩向量,该压缩向量的最大分量所对应的方案就是所求的最优方案。为全面处理这种机会风险,提出了基于遗传算法的投影寻踪方法的新途径,结果表明,根据益损值矩阵所反映的收益机会的风险与损失机会的风险的对比情况,投影寻踪方法可积极、稳妥地选取最优方案,利用益损值矩阵的信息比常用方法充分,根据决策者所面临的机会风险可进可退^[76]。

j. 提出了由方案评价指标数据驱动的投影寻踪方案优选模型(PP模型)。利用PP模型可把方案多维评价指标值综合成一维投影值,投影值越大表示该方案优选,根据投影值的大小就可对方案集进行优选。提出用实码加速遗传算法进行PP建模,简化了投影寻踪技术的实现过程,克服了目前投影寻踪技术计算复杂、编程实现困难的缺点,为投影寻踪技术的广泛应用提供了有力工具。在城市防洪标准方案优选等问题中的应用结果说明,直接由样本数据驱动的PP模型用于方案优选简便可行,PP模型的投影值比较分散、易于决策,适用性和可操作性强,不需确定评价指标的权重,优选结果较客观,在各种方案优选中具有推广价值^[77]。

k. 提出了直接根据各方案评价指标样本数据,用基于加速遗传算法的投影寻踪方法确定各评价指标的分类权重,用基于加速遗传算法的改进层次分析法确定各评价指标的差异权重,并把这2种客观权重进行综合得到各评价指标的组合权重,从而构造了方案优选的客观赋权法(OWM)。OWM中各评价指标的分类权重与相应的差异权重大体一致,说明这2种客观权重的计算方法是可相互比较、合理可行的。用OWM可识别各指标对综合评价的影响程度,便于各方案之间的相互比较,其计算结果较为客观、稳定、分辨率高^[78]。

l. 针对动态多指标决策中指标和时段的权重确定问题,提出了基于投影寻踪(PP)的理想点法模型(PP-IPM),投影指标函数取决策方案对理想点的

相对接近度的标准差,PP-IPM 利用决策矩阵样本的内部信息,把方案的三维决策矩阵综合成一维投影值,投影值越大表示该方案越优,根据投影值的大小就可对各方案进行综合排序决策,建议用实码加速遗传算法进行 PP-IPM 的建模,简化了 PP 技术的实现过程,克服了目前 PP 技术计算过程复杂、编程实现困难的缺点。实例计算的结果说明,直接由决策矩阵样本数据驱动的 PP-IPM 用于动态多指标决策问题简便可行,适用性和可操作性强,具有推广应用价值^[79]。

7 结 语

紧紧围绕水旱灾害系统中的各种不确定性及其量化问题,提出了水旱灾害系统、水旱灾害风险系统及其组成,水旱灾害风险系统各子系统在水旱灾害风险评估中的定量表征。提出了水旱灾害风险评估方法论就是把洪水或干旱风险,经过水旱灾害脆弱性,转换到水旱灾害损失风险的一般过程,据此提出了由水旱灾害危险性分析评估、脆弱性分析评估、损失风险分析评估、风险评价、风险决策等 5 类方法组成的水旱灾害风险评估的初步方法体系,并归纳分析了笔者以往这些方法的实证研究结果,说明该方法体系是基本可行的,这些方法具有一定的通用性、代表性与有效性。今后研究的重点是进一步解析该方法体系的物理成因机制,进一步丰富、发展、完善这些水旱灾害风险评估方法,特别是基于旱灾损失风险成因过程的旱灾损失风险曲线评估方法。

参考文献:

[1] AVEN T. On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience[J]. Risk Analysis, 2011, 31 (4) : 515-522.

[2] 金菊良,魏一鸣,付强,等.洪水灾害风险管理的理论框架探讨[J]. 水利水电技术, 2002, 22 (9) : 40-42. (JIN Juliang, WEI Yiming, FU Qiang, et al. A study on theoretic frame of flood disaster risk management [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2002, 22 (9) : 40-42 (in Chinese))

[3] 金菊良,酆建强,周玉良,等.旱灾风险评估的初步理论框架[J]. 灾害学, 2014, 29 (3) : 1-10. (JIN Juliang, LI Jianqiang, ZHOU Yuliang, et al. Research on the theoretical framework of drought risk assessment [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29 (3) : 1-10. (in Chinese))

[4] DAI A. Increasing drought under global warming in observations and models [J]. Nature Climate Change, 2013, 3 (1) : 52-58.

[5] 王文圣,张翔,金菊良,等.水文学不确定性分析方法

[M]. 北京:科学出版社, 2011.

[6] 金菊良,丁晶.遗传算法及其在水科学中的应用[M]. 成都:四川大学出版社, 2000.

[7] 魏一鸣,范英,金菊良.洪水灾害风险分析的系统理论[J]. 管理科学学报, 2001, 4 (2) : 7-11. (WEI Yiming, FAN Ying, JIN Juliang. System theory for risk analysis of flood disaster [J]. Journal of Management Sciences in China, 2001, 4 (2) : 7-11. (in Chinese))

[8] 魏一鸣,杨存建,金菊良.洪水灾害分析与评估的综合集成方法[J]. 水科学进展, 1999, 10 (1) : 25-30. (WEI Yiming, YANG Cunjian, JIN Juliang. A comprehensive methodology with analysis and evaluation integration for flood disaster [J]. Advances in Water Science, 1999, 10 (1) : 25-30. (in Chinese))

[9] 金菊良,王银堂,魏一鸣,等.洪水灾害风险管理广义熵智能分析的理论框架[J]. 水科学进展, 2009, 20 (6) : 894-900. (JIN Juliang, WANG Yintang, WEI Yiming, et al. Theoretical analysis frame based on general entropy and intelligence integration methodology for flood disaster risk management [J]. Advances in Water Science, 2009, 20 (6) : 894-900. (in Chinese))

[10] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等.洪水灾害风险管理理论[M]. 北京:科学出版社, 2002.

[11] 石勇.灾害情景下城市脆弱性评估研究[D]. 上海:华东师范大学, 2010.

[12] 章国材.自然灾害风险评估与区划原理和方法[M]. 北京:气象出版社, 2014.

[13] 金菊良,魏一鸣,丁晶.基于遗传算法的水文时间序列变点分析方法[J]. 地理科学, 2005, 25 (6) : 720-723. (JIN Juliang, WEI Yiming, DING Jing. Genetic algorithm based changepoint analysis method for hydrological time series [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25 (6) : 720-723. (in Chinese))

[14] 杨晓华,金菊良,张国桃.加速遗传算法及其在暴雨强度公式参数优化中的应用[J]. 自然灾害学报, 1998, 7 (3) : 71-76. (YANG Xiaohua, JIN Juliang, ZHANG Guotao. Accelerating genetic algorithm and its application to estimating parameters of storm intensity formula [J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7 (3) : 71-76. (in Chinese))

[15] 金菊良,杨晓华,金保明,等.计算天然河道水面曲线的新方法[J]. 水利学报, 2000, 31 (9) : 25-28. (JIN Juliang, YANG Xiaohua, JIN Baoming, et al. A new method for computation of flow surface profile in open channel [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 31 (9) : 25-28. (in Chinese))

[16] 金菊良,杨晓华,金保明,等.遗传门限自回归模型在气象时间序列预测中的应用[J]. 热带气象学报, 2001, 17 (4) : 415-422. (JIN Juliang, YANG Xiaohua, JIN Baoming, et al. Application of genetic threshold autoregressive model to forecasting meteorological time series

- [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2001, 17(4): 415-422. (in Chinese))
- [17] 金菊良, 丁晶, 魏一鸣. 基于遗传算法的门限自回归模型在浅层地下水位预测中的应用[J]. 水利学报, 1999, 30(6): 51-55. (JIN Juliang, DING Jing, WEI Yiming. Threshold auto-regressive model based on genetic algorithm and its application to forecasting the shallow groundwater level[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 30(6): 51-55. (in Chinese))
- [18] 金菊良, 杨晓华, 金保明. 遗传门限回归模型在河道洪水预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2000, 18(1): 1-4. (JIN Juliang, YANG Xiaohua, JIN Baoming. Application of genetic threshold regressive model to forecast river flood[J]. Water Resources and Power, 2000, 18(1): 1-4. (in Chinese))
- [19] 金菊良, 杨晓华, 金保明, 等. 双线性模型在江淮旱涝序列预测中的应用[J]. 气象, 2000, 26(9): 3-7. (JIN Juliang, YANG Xiaohua, JIN Baoming, et al. Application of bilinear time series model to drought and flood prediction series in Jianghuai Area[J]. Meteorological, 2000, 26(9): 3-7. (in Chinese))
- [20] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 预测日径流过程的遗传指数自回归模型[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(2): 87-89. (JIN Juliang, WEI Yiming, DING Jing. Genetic exponential auto-regressive model for predicting daily flow process[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2001, 17(2): 87-89. (in Chinese))
- [21] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 预测日径流过程的最近邻仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(11): 1494-1496. (JIN Juliang, WEI Yiming, DING Jing. Nearest neighbor bootstrap model for predicting daily flow process[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(11): 1494-1496. (in Chinese))
- [22] 张欣莉, 丁晶, 金菊良. 基于遗传算法的参数投影寻踪回归及其在洪水预报中的应用[J]. 水利学报, 2000, 31(6): 45-48. (ZHANG Xinli, DING Jing, JIN Juliang. Application of parametric projection pursuit regression based on genetic algorithm in flood forecasting[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 31(6): 45-48. (in Chinese))
- [23] JIN Juliang, CHENG Jian, WEI Yiming. Forecasting flood disasters using an accelerated genetic algorithm: Examples of two case studies for China[J]. Natural Hazards, 2008, 44: 85-92.
- [24] 汪哲荪, 周玉良, 金菊良, 等. 改进马尔可夫链模型在梅雨和干旱预测中的应用[J]. 水电能源科学, 2010, 28(11): 1-4. (WANG Zhesun, ZHOU Yuliang, JIN Juliang, et al. Applications of improved Markov Chain model to prediction of plum rain and drought[J]. Water Resources and Power, 2010, 28(11): 1-4. (in Chinese))
- [25] 王文圣, 金菊良, 李跃清, 等. 水文水资源随机模拟技术[M]. 成都: 四川大学出版社, 2007.
- [26] 金菊良, 潘金锋, 张礼兵. 洪水多站峰量同时模拟的随机模型[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 9-18. (JIN Juliang, PAN Jinfeng, ZHANG Libing. Stochastic model for flood peak discharge and multistation flood volume[J]. Journal of Catastrophology, 2003, 18(1): 9-18. (in Chinese))
- [27] 赵吴静, 金菊良, 张礼兵. 随机模拟方法在地区干旱频率分析中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(1): 1-4. (ZHAO Wujing, JIN Juliang, ZHANG Libing. Application of stochastic technique to frequency analysis of regional drought[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2007, 23(1): 1-4. (in Chinese))
- [28] 张明, 金菊良, 王国庆, 等. 基于最大熵分布模拟的干旱频率分析[J]. 水力发电学报, 2013, 32(1): 101-106. (ZHANG Ming, JIN Juliang, WANG Guoqing, et al. Drought frequency analysis using stochastic simulation with maximum entropy model[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(1): 101-106. (in Chinese))
- [29] 张明, 周润娟, 金菊良. 水文频率分析的未确知数随机模拟模型[J]. 水力发电学报, 2012, 31(5): 14-18. (ZHANG Ming, ZHOU Runjuan, JIN Juliang. Unascertained number model based on stochastic simulation for hydrological frequency analysis[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(5): 14-18. (in Chinese))
- [30] 金菊良, 丁晶, 魏一鸣. 瞬时单位线的优化估计[J]. 水力发电学报, 2003, 22(1): 70-75. (JIN Juliang, DING Jing, WEI Yiming. Optimal estimation of instantaneous unit hydrograph[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2003, 22(1): 70-75. (in Chinese))
- [31] 汪哲荪, 金菊良, 魏一鸣, 等. 加速遗传算法在马斯京根洪水演算模型参数估计中的应用[J]. 地理科学, 2010, 30(6): 916-920. (WANG Zhesun, JIN Juliang, WEI Yiming, et al. Application of accelerating genetic algorithm to parameter estimation of Muskingum flood routing model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(6): 916-920. (in Chinese))
- [32] 宋松柏, 金菊良, 康艳. Copulas 函数描述洪水多变量联合概率分布的几个问题探讨[C]//邓坚. 中国水文科技新发展: 2012 中国水文学术讨论会论文集. 南京: 河海大学出版社, 2013: 187-190.
- [33] 宋松柏, 蔡焕杰, 金菊良, 等. Copulas 函数及其在水文中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [34] 周玉良, 周平, 金菊良, 等. 基于供水水源的干旱指数及在昆明干旱频率分析中应用[J]. 水利学报, 2014, 45(9): 1038-1047. (ZHOU Yuliang, ZHOU Ping, JIN Juliang, et al. Establishment of hydrological drought index based on sources of regional water supply and its application to drought frequency analysis for Kunming[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(9):

- 1038-1047. (in Chinese))
- [35] YUAN Xiaochen, ZHOU Yuliang, JIN Juliang, et al. Risk analysis for drought hazard in China: a case study in Huaibei Plain[J]. Natural Hazards, 2013, 67: 879-900.
- [36] 金菊良, 魏一鸣, 杨晓华. 基于遗传算法的神经网络及其在洪水灾害承灾体易损性建模中的应用[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 53-60. (JIN Juliang, WEI Yiming, YANG Xiaohua. Genetic algorithm based on neural network and its application in modelling the vulnerability of flood hazard-affected body [J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(2): 53-60. (in Chinese))
- [37] 金菊良, 费振宇, 郦建强, 等. 基于不同来水频率水量供需平衡分析的区域抗旱能力评价方法[J]. 水利学报, 2013, 44(6): 687-693. (JIN Juliang, FEI Zhenyu, LI Jiangqiang, et al. Method for evaluating the regional drought resistance ability based on the analysis of water balance between supply and demand with different water frequencies[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(6): 687-693. (in Chinese))
- [38] 金菊良, 原晨阳, 蒋尚明, 等. 基于水量供需平衡分析的江淮丘陵区塘坝灌区抗旱能力评价[J]. 水利学报, 2013, 44(5): 534-541. (JIN Juliang, YUAN Xiaochen, JIANG Shangming, et al. Assessment of drought resistance ability for pond and retaining dam irrigated area of Jianghuai Hilly Area based on water supply and demand balance analysis [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(5): 534-541. (in Chinese))
- [39] 毛德华, 邹君, 李杰, 等. 基于遗传算法的投影寻踪方法在洞庭湖区洪灾易损性评价中的应用[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 389-396. (MAO Dehua, ZOU Jun, LI Jie, et al. Application of projection pursuit method based on genetic algorithm to vulnerability evaluation of flood disasters [J]. Journal of glaciology and geocryology, 2010, 32(2): 389-396. (in Chinese))
- [40] YUAN Xiaochen, WANG Qian, WANG Ke, et al. China's regional vulnerability to drought and its mitigation strategies under climate change: data envelopment analysis and analytic hierarchy process integrated approach [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2015, 20(3): 341-359.
- [41] 费振宇, 蒋尚明, 金菊良, 等. 安徽省易旱地区抗旱能力评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 29-33. (FEI Zhenyu, JIANG Shangming, JIN Juliang, et al. Assessment of drought prevention and resistance ability for Anhui drought-prone regions [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 29-33. (in Chinese))
- [42] 蒋尚明, 王友贞, 汤广民, 等. 淮北平原主要农作物涝渍灾害损失评估研究[J]. 水利水电技术, 2011, 42(8): 63-67. (JIANG Shangming, WANG Youzhen, TANG Guangmin, et al. Study on assessment of loss from waterlogging disaster for main crops within Huaibei Plain [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2011, 42(8): 63-67. (in Chinese))
- [43] 孙可可, 陈进, 金菊良, 等. 实际抗旱能力下的南方农业旱灾损失风险曲线计算方法[J]. 水利学报, 2014, 45(7): 809-814. (SUN Keke, CHEN Jin, JIN Juliang, et al. Calculation method of agricultural drought loss risk curve under the actual drought resistance ability condition in Southern China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(7): 809-814. (in Chinese))
- [44] 张明, 张建云, 金菊良, 等. 基于最大熵分布的洪灾受灾率频率分析方法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(5): 65-69. (ZHANG Ming, ZHANG Jianyun, JIN Juliang, et al. Frequency analysis method of flood disaster rate by maximum entropy distribution [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2009, 41(5): 65-69. (in Chinese))
- [45] 闫超君, 欧阳蔚, 金菊良, 等. 基于信息扩散和频率曲线适线的农业旱灾风险评估方法[J]. 水利水电技术, 2014, 45(7): 107-111, 116. (YAN Chaojun, OUYANG Wei, JIN Juliang, et al. Risk assessment method of agricultural drought disaster based on information diffusion and frequency curve fitting [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2014, 45(7): 107-111, 116. (in Chinese))
- [46] 欧阳蔚, 于艳青, 金菊良, 等. 基于信息扩散与自助法的旱灾风险评估模型[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 228-234. (OUYANG Wei, YU yanying, JIN Juliang, et al. Risk assessment model of drought disaster based on information diffusion and bootstrap: a case study in Anhui [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 228-234. (in Chinese))
- [47] 杜云, 蒋尚明, 金菊良, 等. 淮河流域农业旱灾风险评估研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(4): 1-4. (DU Yun, JIANG Shangming, JIN Juliang, et al. Agricultural drought disaster risk assessment for Huaihe River Basin [J]. Water Resources and Power, 2013, 31(4): 1-4. (in Chinese))
- [48] 金菊良, 丁晶. 水资源系统工程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002.
- [49] 金菊良, 魏一鸣. 复杂系统广义智能评价方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [50] 金菊良, 魏一鸣, 周玉良. 复杂系统综合评价的理论框架及其在水安全评价中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(4): 391-397, 402. (JIN Juliang, WEI Yiming, ZHOU Yuliang. Theoretics frame of comprehensive evaluation of complex system and its application to evaluating water security [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2008, 24(4): 391-397, 402. (in Chinese))
- [51] JIN Juliang, FU Juan, WEI Yiming, et al. Integrated risk assessment method of waterlog disaster in Huaihe River Basin of China [J]. Natural Hazards, 2015, 75(2): 155-178.

- [52] 刘航,蒋尚明,金菊良,等. 基于 GIS 的区域干旱灾害风险区划研究[J]. 灾害学,2013,28(3):198-203. (LIU Hang,JIANG Shangming,JIN Juliang,et al. A GIS-based approach to regional drought risk zoning[J]. Journal of Catastrophology,2013,28(3):198-203. (in Chinese))
- [53] 汪哲荪,金菊良,李如忠,等. 基于风险的区域水安全评价模糊数随机模拟模型[J]. 四川大学学报:工程科学版,2010,42(6):1-5. (WANG Zhesun,JIN Juliang,LI Ruzhong,et al. Risk based regional water security assessment method using stochastic simulation and triangular fuzzy numbers [J]. Journal of Sichuan University:Engineering Science Edition,2010,42(6):1-5. (in Chinese))
- [54] 金菊良,魏一鸣,付强,等. 农业生产力综合评价的投影寻踪模型[J]. 农业系统科学与综合研究,2001,17(4):1-3. (JIN Juliang,WEI Yiming,FU Qiang,et al. Projection pursuit model for comprehensive of agricultural productive capacity [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture,2001,17(4):1-3. (in Chinese))
- [55] 金菊良,魏一鸣,丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报,2004,35(3):65-70. (JIN Juliang,WEI Yiming,DING Jing. Fuzzy comprehensive evaluation model based on improved analytic hierarchy process[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2004,35(3):65-70. (in Chinese))
- [56] 金菊良,吴永林,汪明武. 城市防洪标准方案优选的组合权重方法[J]. 四川大学学报:工程科学版,2004,36(4):1-5. (JIN Juliang,WU Yonglin,WANG Mingwu. Combined weight method for optimal selection of city flood control standard schemes [J]. Journal of Sichuan University:Engineering Science Edition,2004,36(4):1-5. (in Chinese))
- [57] WANG Wensheng,JIN Juliang,DING Jing,et al. A new approach to water resources system assessment: set pair analysis method [J]. Science in China: Series E Technological Sciences,2009,52(10):3017-3023.
- [58] 王文圣,李跃清,金菊良,等. 水文水资源集对分析[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [59] 汪明武,金菊良,周玉良. 集对分析耦合方法与应用[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [60] 王文圣,金菊良,李跃清. 基于集对分析的自然灾害风险度综合评价研究[J]. 四川大学学报:工程科学版,2009,41(6):6-12. (WANG Wensheng,JIN Juliang,LI Yueqing. Risk degree assessment of natural disaster based on set pair analysis method [J]. Journal of Sichuan University:Engineering Science Edition,2009,41(6):6-12. (in Chinese))
- [61] JIN Juliang,WEI Yiming,ZOU Lele,et al. Risk evaluation of China's natural disaster systems:an approach based on triangular fuzzy numbers and stochastic simulation[J]. Natural Hazards,2012,62(1):129-139.
- [62] 吴开亚,金菊良,潘争伟. 基于三角模糊数截集的联系数模型在城市涝灾影响等级评价中的应用[J]. 水利学报,2010,41(6):711-719. (WU Kaiya,JIN Juliang,PAN Zhengwei. Set pair analysis model based on triangle fuzzy intervals and application to impact rating evaluation of urban flood[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2010,41(6):711-719. (in Chinese))
- [63] JIN Juliang,ZHOU Yuliang,WEI Yiming,et al. Evaluation method of flood disaster loss based on genetic algorithm of changeable structure [J]. International Journal of Risk Assessment and Management,2008,8(4):333-341.
- [64] ZHAO Jun,JIN Juliang,GUO Qizhong,et al. Dynamic risk assessment model for flood disaster on projection pursuit cluster and its application[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2014,28(8):2175-2183.
- [65] 金菊良,张欣莉,丁晶. 评估洪水灾情等级的投影寻踪模型[J]. 系统工程理论与实践,2002,22(2):140-144. (JIN Juliang,ZHANG Xinli,DING Jing. Projection pursuit model for evaluating grade of flood disaster loss [J]. Systems Engineering-Theoty & Practice,2002,22(2):140-144. (in Chinese))
- [66] PAN Zhengwei,JIN Juliang,LIU Li,et al. Risk evaluation of natural disasters based on connection function[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment,2013,11(2):118-124.
- [67] 李磊,王金赞,金菊良,等. 基于 AGA 防洪投资的 Stackelberg 博弈模型[J]. 水电能源科学,2009,27(1):148-150. (LI Lei,WANG Jinzan,JIN Juliang,et al. Stackelberg game model of flood-control investment based on accelerating genetic algorithm [J]. Water Resources and Power,2009,27(1):148-150. (in Chinese))
- [68] 金菊良,刘永芳,丁晶,等. 城市防洪工程经济风险分析的蒙特卡洛法[J]. 长江科学院院报,2003,20(1):40-43. (JIN Juliang,LIU Yongfang,DING Jing,et al. Monte-Carlo method for economical risk analysis in urban flood control engineering[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2003,20(1):40-43. (in Chinese))
- [69] 金菊良,魏一鸣,丁晶. 工程项目内部收益率的优化估计[J]. 系统工程学报,2003,18(1):87-90. (JIN Juliang,WEI Yiming,DING Jing. Optimal estimation of internal rate of return in engineering project[J]. Journal of Systems Engineering,2003,18(1):87-90. (in Chinese))
- [70] 金菊良,魏一鸣,付强,等. 城市防洪规划方案的综合评价模型[J]. 水利学报,2002,33(11):20-26. (JIN Juliang,WEI Yiming,FU Qiang,et al. Comprehensive evaluation model for municipal flood control programming schemes[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2002,33(11):20-26. (in Chinese))
- [71] 金菊良,杨晓华,魏一鸣,等. 神经网络及其在水库调洪演算中的应用[J]. 灾害学,1997,12(4):1-5. (JIN

- Juliang, YANG Xiaohua, WEI Yiming, et al. Neural network and its application to calculation of reservoir flood [J]. Journal of Catastrophology, 1997, 12 (4): 1-5. (in Chinese))
- [72] 吴成国,金菊良,周玉良,等. 确定水库分期汛限水位的神经网络调洪演算方法[J]. 应用科学学报,2009,27 (3): 288-293. (WU Chengguo, JIN Juliang, ZHOU Yuliang, et al. Application of neural networks to determine limited water level of reservoir flood routing[J]. Journal of Applied Sciences: Electronics and Information Engineering, 2009, 27 (3): 288-293. (in Chinese))
- [73] 吴成国,王义民,金菊良,等. 基于三角模糊数的水库防洪调度模糊综合风险分析[J]. 水力发电学报,2011,30 (4):30-35. (WU Chengguo, WANG Yimin, JIN Juliang, et al. Comprehensive risk analysis based on triangular fuzzy number for reservoir flood control operation [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 34 (4): 30-35. (in Chinese))
- [74] 程亮,王宗志,金菊良,等. 基于秩相关随机变量模拟的水库防洪风险估计[J]. 灾害学,2014,29 (4): 20-22, 42. (CHENG Liang, WANG Zongzhi, JIN Juliang, et al. Risk evaluation model of reservoir flood control based on sampling rank correlated random variables[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29 (4): 20-22, 42. (in Chinese))
- [75] 金菊良,张欣莉,丁晶. 解水资源最优分配问题的遗传算法[J]. 水利水运科学研究,2000 (4): 65-68. (JIN Juliang, ZHANG Xinli, DING Jing. Genetic algorithm for optimal distribution of water resource [J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 2000 (4): 65-68. (in Chinese))
- [76] 金菊良,丁晶,魏一鸣,等. 解不确定型决策问题的投影寻踪方法[J]. 系统工程理论与实践,2003,23 (4): 42-46. (JIN Juliang, DING Jing, WEI Yiming, et al. Projection pursuit method for uncertain decision-making problem [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2003, 23 (4): 42-46. (in Chinese))
- [77] 金菊良,刘永芳,丁晶,等. 投影寻踪模型在水资源工程方案优选中的应用[J]. 系统工程理论方法应用,2004, 13 (1): 81-84. (JIN Juliang, LIU Yongfang, DING Jing, et al. Application of projection pursuit model to optimal choice of water resources engineering schemes [J]. Systems Engineering Theory Method Methodology Applications, 2004, 13 (1): 81-84. (in Chinese))
- [78] 金菊良,张礼兵,魏一鸣. 水利工程方案综合评价的客观赋权法探讨[J]. 灌溉排水学报,2004,23 (1): 5-9. (JIN Juliang, ZHANG Libing, WEI Yiming. Objective weight based comprehensive evaluation method for water resource engineering schemes[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23 (1): 5-9. (in Chinese))
- [79] 金菊良,汪淑娟,魏一鸣. 动态多指标决策问题的投影寻踪模型[J]. 中国管理科学,2004,12 (1): 64-67. (JIN Juliang, WANG Shujuan, WEI Yiming. Projection pursuit model for dynamic multiple attribute decision problems [J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12 (1): 64-67. (in Chinese))

(收稿日期:2015-06-07 编辑:郑孝宇)

· 简讯 ·

第五届全国水工抗震防灾学术交流会将在宜昌举行

由中国水力发电工程学会抗震防灾专业委员会主办的第五届全国水工抗震防灾学术会议将于2015年11月6—8日在湖北省宜昌市举行。会议将就下列议题进行交流探讨:水工建筑物抗震设计、分析理论;地震震后水工建筑物震损调查、震害分析、灾害评估及修复加固;水工结构现场检测与监测、健康诊断与鉴定;水库引发地震、地震预测和预警;水电工程抗震措施、抗震安全评价体系;水工结构工程振动、爆炸与冲击等关键科学技术问题。

会议邀请水工抗震与地震工程领域院士、专家就本学科的研究与发展作报告,并将对以下专题进行交流和研讨:①水工(港工)建筑物抗震设计标准;②水工(港工)建筑物抗震分析理论与方法;③水工(港工)建筑物抗震试验研究方法和技术;④水工(港工)建筑物场地地震动输入;⑤水工(港工)建筑物与地基材料动态特性;⑥水工(港工)建筑物现场测试与动力性态检测、健康诊断与鉴定;⑦水工(港工)结构、金属结构振动、爆炸与冲击;⑧水工(港工)结构减震、隔震和控震技术;⑨强震震后水工建筑物震损调查、震害分析、灾害评估以及次生灾害影响;⑩震损水工结构的安全度及修复加固技术;⑪水库地震的预测、监测及其影响研究;⑫边坡与地下结构动力分析理论、方法、抗震设计及地质灾害防治;⑬水利水电工程安全评价方法、防灾减灾措施及应急预案。

(本刊编辑部供稿)