

KEJI CHUANGXIN YU XIANDAI SHUILI

科技创新 与现代水利

—2007 年水利青年科技论坛

河南省水利学会 编



黄河水利出版社

编辑委员会

名 誉 主 任：李国英 李福中 高丹盈 石春先 张 超 刘正才

于合群 戚绍玉 时明立

主 任 委 员：翟渊军

副主任委员：吴泽宁 张会言 王 伟 董德忠 解 伟 孙觅博

王继新 戚世森

主 编：翟渊军

副 主 编：胡润亭 石长青 荆国强

委 员：王庆伟 王庆斋 王家永 王有生 王洪伟 刘云生

马绍军 任汝成 闫朝阳 肖用海 向广银 李相朝

李景全 李永秋 陈维杰 赵庆民 张中锋 严 军

张西瑞 杨永革 周虎照 徐 宏 荆国强 胡立中

胡润亭 石长青 耿传宇 贾守喜 高 峰 韩德全

雷存伟 黄喜良 常建华 崔联华 曹永涛 裴宗杰

王怀柏 王成伟 李高升 崔元钊 仝孟蛟 张永行

杨勇新 张经济 杨天喜 郭雪蟒 胡献宇 蒋黎明

黄修桥 魏家红 王 骏 郑 惠 杨志超

坚持以人为本，加强科技创新，构建和谐水利

(代序)

在这丹桂飘香的季节里，河南省水利学会青年科技工作委员会编纂的《科技创新与现代水利》即将付印，这是我省水利系统有志青年们在不同的专业领域里所取得的累累硕果。

今年我国气候异常，降雨分布极不均匀，极端灾害性天气事件频繁，洪涝和干旱灾害严重。我省同样如此，特别是淮河流域发生了流域性大洪水，一些中小河流发生了超历史记录的特大洪水，山洪、泥石流、滑坡等局部灾害频繁发生，部分地区还发生了历史罕见的特大干旱。党中央、国务院高度重视防汛抗旱工作，胡锦涛总书记、温家宝总理、回良玉副总理等中央领导同志多次对防汛抗洪和抗旱救灾工作作出重要批示，并亲赴一线视察汛情、旱情和灾情，指导工作，极大地鼓舞了广大干部群众。我省各地各部门坚持以科学发展观为指导，坚持以人为本，依法防控，科学防控，群防群控，重要堤防无一冲决，水库无一垮坝，减灾效益十分显著，尤其是治淮骨干工程，更是发挥了显著的经济效益和社会效益。继续进行淮河及其他流域的防洪除涝供水工程及其相关设施建设，仍然是今后相当长一段时期的重要任务。

近几年来，山洪灾害造成人员伤亡的事件屡有发生，这是值得特别关注的大事，特别是今年夏季豫西卢氏极端天气事件引发的山洪灾害令人铭记在心。因此，要切实做好山洪灾害的防御工作，要强化山洪灾害监测和预警，认真落实各项应急预案和防御措施，提前转移受威胁地区群众，确保人民生命财产安全。

水利是造福人民的伟业，是治国安邦的大事，是国民经济重要的基础设施。水利工作涉及人民群众最切身的利益，事关城乡之间、区域之间、经济与社会、人与自然等多方面的和谐发展。水利人肩负着崇高的使命和历史的重任，尤其是青年水利科技工作者，是水利事业的未来和希望。

近年来，我省水利系统在贯彻落实科学发展观、促进社会主义和谐社会建设方面，进行了积极的实践和探索。在治水思路上，确立了人与自然和谐相处的可持续发展水利理念，倡导人与水相亲，给洪水以出路，注重水资源的节约和保护，充分发挥大自然的自我修复能力，努力促进经济社会发展与水资源承载力和水环境承载力相适应、相协调；坚持以人为本，把人民群众的最根本利益作为水利工作的出发点和落脚点，最大限度地减轻旱灾损失，积极解决人民群众的饮水困难，努力保障饮水安全，妥善处理水利建设与征地补偿、移民安置等方面的矛盾；全面规划，统筹兼顾，稳定农田水利基本建设，加强灌区续建配套和节水改造，实施泵站改造，发展农村水电，加大了中西部地区以及粮食主产区、“老少边穷”地区、生态保护任务较重地区的水利投入，促进了水利工作的协调发展。

但是,我们也清醒地认识到,与落实科学发展观、构建社会主义和谐社会的要求相比,水利发展中还存在着不少矛盾、困难和问题。防洪减灾综合体系还不完善,特别是中小河流、中小水库的洪水威胁严重,平原低洼地区的涝灾相当频繁;水资源短缺和水环境问题仍然突出,全省农村还有不少地方饮水不安全,水质问题严重影响着群众身体健康;农村水利基础设施薄弱,灌排系统不完善,老化损毁严重,制约着农业综合生产能力的提高,对国家粮食安全将带来不利影响;在水利施工、科学管理、自动化操作、信息化控制等方面现代化水平还比较低。我省水利发展任重道远,水利在构建和谐社会中任务还十分艰巨。

构建社会主义和谐社会对水利工作提出了新任务、新要求。我们必须认真贯彻党的十七大会议精神,以科学发展观为统领,在统筹做好防汛抗旱、重点水利工程建设、节水型社会建设等各项水利工作的同时,以解决人民群众最关心、最直接、最现实的利益问题为重点,着力实施病险水库除险加固、山洪灾害防治和农村饮水安全保障,积极推进灌区“两改一提高”,大力加强水利现代化建设,全面推进可持续发展水利,以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发展,促进社会主义和谐社会建设。

科技创新能力是一个国家科技事业发展的决定性因素,是国家竞争力的核心,是强国富民的重要基础。要坚持“科学技术是第一生产力”的指导方针,深化科研管理体制,加强科学研究、技术开发和成果转化应用,研究探索新理论、新方法、新模型,大力开发推广新技术、新材料、新工艺,不断提高水利科技水平。近年来,我省水利科技水平日益提高,2006年我省水利系统自主研发了“基于分布式水文模型的山洪灾害预警预报系统研究”等19项获奖科技成果,其中多数处于国内先进水平,为我省水利现代化工作做出了积极贡献。

青年科技工作者要在推进水利科技创新的征途上,在贯彻落实科学发展观、践行可持续发展治水的事业里,在加快水利改革与发展、构建社会主义和谐社会的伟大进程中,积极奉献自己的青春年华和聪明才智。

是为序。



2007年10月

目 录

坚持以人为本, 加强科技创新, 构建和谐水利(代序)

李福中

水质水量统一优化配置的理论与模型体系框架	吴泽宁 胡润亭	(1)
结构动力可靠度中相关性研究	解 伟 王 恒 胡润亭等	(7)
交互式水文规划分析模拟系统	刘德波	(13)
电子档案综合管理系统在工程设计行业中的应用	杜 华 李润民 马曼曼	(19)
南水北调中线工程潮河线路隧洞线方案比选研究	黄喜良 石长青 马新霞	(23)
河道内采砂对涡河堤防安全的影响	闫长位 王贵生 曹东勇	(30)
水面工程库区渗漏及防渗措施探讨	史 瑞 李文洪 李若鹏	(33)
双排带桩基础在砂基河道险工治理中的应用	史 瑞 李一兵 王和顺	(40)
水保综合治理已成为新县经济发展的重要支撑	张 建 连光学	(42)
龙飞山小流域综合治理机制与成效	连光学 张万清 付 莉	(46)
鹤壁市城市生活节水潜力分析	姚慧军	(49)
BGAN 卫星通信技术与防汛应急通信	任建勋 李延峰 杨 栓	(53)
YJ-302 混凝土界面处理剂在灌区技术改造工程中的运用	逯林方 王秋旺 周在美	(57)
国家重点灌溉试验站(许昌站)发展规划	闫朝阳	(60)
基于 GIS、GPS 和 GPRS 网络构建河南省防汛应急指挥系统	黄喜良 刘念龙	(66)
基于移动代理的入侵检测模型在水利信息化中的应用	宋 博 张琦建	(69)
居安思危厉行节约用水 真抓实干建设节约型社会	王东旗	(74)
开封市引黄灌区节水发展对策	董 楠 马 静	(78)
开封市水资源可持续利用存在的问题及对策	马 静 董 楠	(82)
利用 IPSTAR 卫星建立防汛应急通信体系	张琦建 宋 博	(86)
漯河市双龙污水提排站工程穿澧河倒虹吸管道安装施工技术	朱寅生 周卫军 冀联群	(90)
浅析灌溉节水的途径	李金虎	(93)
浅析水利基础设施建设规划在农村基础建设总体规划中的重要性	吴小强 刘清河 方 亮等	(98)
浅议小型水电站二次设备的技术改造	卢祥斌	(100)
现代通信技术在水利工作中的应用及问题	杨 栓 任建勋 王 晶	(105)
小清河水资源保护与平舆县城市建设发展关系探讨	刘清河 方 亮 吴小强等	(109)
大棚西瓜滴灌最佳灌溉制度研究	张佳男 韩献忠 杨志超	(111)
混凝土薄壁防渗墙模板施工技术	周卫军 朱寅生	(116)

浅谈水电站综合自动化系统改造	石爱莲	(118)
电站调压室滑模的应用	胡 亮 雷振华 杜晓晓	(121)
关于提高桥梁梁(板)安装质量的探讨	李岩玲 赵宪孔	(126)
河南省燕山水库输水洞工程施工测量控制网	蔡 彦 胡 亮	(129)
水利企业安全文化建设探讨	雷振华	(132)
喷射混凝土技术的应用	赵宪孔 张国锋	(137)
浅谈混凝土工程质量控制及通病防治	苏 航 丁 鑫	(139)
室内装修产生的有害物质及控制	易祖明 李志峰 林亚一等	(144)
燕山水库输水洞洞身混凝土衬砌的施工	张国锋 赵宪孔 李 磊	(147)
移动多媒体通信技术在防汛应急通信中的应用	刘念龙 马广亮	(151)
分体式挖槽机在黄河堤防边埂埋设施工中的应用	张 军 陈明章 郑松涛	(155)
浅谈内地中小城市洪水的成因与防洪措施	马 超 杨新颖 王秀娟等	(158)
浅谈白沙水库水资源安全	任夫全 赵丽鹏 张爱锋	(160)
浅谈施工电气维修技术	马 超 杨新颖 王秀娟等	(164)
土工合成材料在防汛抢险中的应用	王卫宁	(166)
虞城县农村饮水安全工程建设与管理探索	展东升 张进宝	(171)
浅谈农村饮水安全工程的管理	张伟晓 郭便玲 董会利等	(175)
浅谈伊川县水利工程管理现状及建议	罗莉姣 张君慧 郭便玲等	(178)
人民胜利渠灌区信息化建设及近期规划	尚德功 马喜东	(181)
浅谈水库汛前检查在防汛工作中的重要性	李悦锋 郭便玲 张改利等	(184)
一种亟待推广的小型挡水坝——人字闸	李孟奇 陈维杰 李重新等	(187)
南水北调中线工程应河渠道倒虹吸岩溶发育规律浅析	张 帆 刘福明 王双锋	(189)
循环冷却技术供水在西霞院反调节电站的应用	孔卫起 李国怀 田武慧	(193)
小浪底水轮机稳定运行技术措施	张建生 詹奇峰 徐 强	(197)
小浪底水力发电厂通信系统组网应用	徐江平	(202)
水利移民项目质量管理探索	游建京	(208)
水库生态影响研究和生态调度对策探讨	肖金凤 梁 宏 杨治国	(213)
可持续的水资源管理策略探讨	梁 宏 肖金凤	(218)
气吹法敷缆技术在黄河通信光缆施工中的应用	王小远 尚德全	(223)
河南黄河通信专网的网络管理建设方案探讨	崔 峰 赵凤高	(230)
加快防汛信息化建设 提高现代防汛水平	郭兆娟 张红霞 卢晓莉等	(232)
基于 Hopfield 网络的水质综合评价及其 Matlab 实现	崔永华	(236)
河南省陆浑灌区水资源平衡分析	何阵营	(242)
对大花水水电站水击计算方法的思考	王利卿 刘云生	(246)
人民胜利渠灌区井渠结合现状及评价	杨英鸽 周在美	(250)
渠井结合合理利用水资源	周万银 原永兴 王中涛	(254)
地下水补给量的分析与计算	周万银	(258)

河南省节水型社会建设探索	张瑞锋 高啸尘 赵树坤等	(260)
濮阳市水环境建设初探	孙保庆 酒 涛 郝庆霞等	(264)
城市防洪与先进防洪技术探讨	孙保庆 酒 涛 宋红霞等	(268)
人居和谐的生态城市建设探讨	宗正午 李明星 王俊姣等	(271)
节水型社会建设是缓解人类生存环境危机的战略选择	张瑞锋 贺素娟 宋红霞等	(277)
实时移动采集系统在河南黄河防汛中的应用	崔 峰	(283)
安阳市城市水系环境建设及水资源配置探讨	孟红军	(287)
从 2000 年洪汝河洪水论滞洪区工程建设的必要性	付战武 高 尚	(292)
数字化测图之浅见	高 尚 付战武 冯煜民	(295)
正确处理业主与参建方的关系是搞好质量控制的关键	陈维杰 常延斌 李孟奇等	(298)
安阳城市防汛现状分析及对策的探讨	李洪斌 李红兵 王福现	(302)
城市居民生活节水的技术与方法	韩建秀 周朝鑫 白乐宁	(306)
关于城市水环境综合治理与开发的探讨	魏国红 张双景	(312)
监理工程师如何利用检测数据控制和评估施工质量	姜仁东	(316)
农业灌溉节水在节水型社会建设中的地位和作用	郭兵托	(319)
土坝帷幕灌浆技术在陆浑西干渠除险加固工程施工中的应用	郭便玲 张改利 张伟晓等	(323)
郑开大道沿线地区防洪规划研究	马俊青 丁永杰	(326)
水文缆道控制台(EKL 型)调速故障的分析与排除	赵新智	(330)
浅谈节水灌溉工程实用技术	周 彬	(333)
南阳市农村供水现状、问题及对策	周 彬	(338)
基于共享的水资源实时监控与管理平台设计构想	王 骏	(346)
信息化技术在石漫滩水库闸门控制系统中的应用	齐翠阁 袁自立 王培超	(351)
水击基本方程的改善研究	杨玲霞 李树慧 侯咏梅等	(355)
水文新技术在河南省水文测报工作中的应用与发展	赵恩来 孙 霞	(361)
ADCP 在河道流量测验中存在的问题与对策	赵恩来	(364)
信息技术在水利工程建设管理中的应用	毋芬芝	(367)
鸭河口水库水情自动测报系统更新改造方案	杨晓鹏	(370)
网络视频监控系统在工程管理中的应用思路	张 战 何心望	(377)
基于 MapServer 技术的防汛抗旱预警系统	冉志海 田海河 孙 霞等	(381)
对南水北调中线工程沙河南—漳河南渠段膨胀岩(土)渠坡处理技术问题的思考	石长青	(385)

水质水量统一优化配置的理论与模型体系框架

吴泽宁¹ 胡润亭²

(1. 郑州大学环境与水利学院; 2. 河南省水利科学研究院)

摘 要: 提出了水质水量统一优化配置的概念和水质水量统一优化配置的原则; 分析了水资源生态经济系统的规模阈和配比阈, 提出了水质水量统一配置方案拟定的基本原则; 基于生态经济系统结构优化限制性因素原理, 从水资源生态经济系统输入输出关系的角度, 建立了水质水量统一优化配置的概念模型; 构建了由核心模型和多个辅助模型组成的水质水量优化配置模型体系框架; 提出了确定性评价和不确定性评价构成的配置方案评价框架。

关键词: 水资源 水质水量 统一优化配置 模型体系

1 水质水量统一优化配置的概念和内涵

1.1 配置要素的内涵

水资源配置中水量要素的内涵是人们所熟知的。然而, 水资源配置的水质要素的内涵, 尚无系统完善的认识。因此, 水质要素的内涵是进行水质水量统一优化配置必须明确的问题。

(1)水质及其表现形式。水体是水质要素的载体, 离开了水体就无从谈及水质, 这说明水量和水质是耦合在一起的。由于水体质量受到自然界及人类活动排入污染物的多寡影响而呈现出不同特点, 所以水体中各种污染物质含量的高低就成为评价水质状况的依据。

若界定一定水质状况对应的水体容纳污染物的数量为水环境容量, 则可用水环境容量表征水环境资源的多少。

(2)水质要素的价值体现。水质要素的价值主要通过水环境容量是重要的环境质量资源体现出来。具体表现在水环境质量变化引起的水资源生态经济系统整体效益的变化。按生态经济价值观的要求, 在水质水量优化配置时这部分效益必须计入系统的总体效益, 以反映水质要素不同配置的系统效果。

1.2 水质水量统一优化配置的概念与内涵

1.2.1 水质水量统一优化配置的概念

基于水资源的生态经济特点和功能, 按照生态经济学的基本观点, 水质水量统一优化配置是指在特定的水资源生态经济系统内, 考虑各种系统资源要素的相互依存、影响、制约和转化关系, 遵循生态经济规律, 通过多种措施, 将有限的水资源数量和

可利用水环境容量在区域间和用水部门间进行合理调配,实现水资源生态经济系统的整体效益最大化。

1.2.2 水质水量统一配置的生态经济学内涵

从生态经济学角度理解,上述概念包含着如下三方面的含义:

(1)水质水量统一优化配置是在水资源生态经济系统内,以水资源数量和质量配置为中心,同时包括经济资源和社会资源的配置,即以水质水量为中心的水资源生态经济系统的系统总资源的配置。其中,除水质水量以外的其他资源要素的配置是通过它们与水质水量要素间的相互依存、相互影响、相互制约和相互转化关系来体现的。

把水质水量配置理解为是对水资源生态经济系统总资源的配置,较好地克服了从传统经济学出发对水资源配置的狭义理解。这是因为,水资源生态经济系统总资源既包括经济资源,又包括社会资源和自然资源,只有重视水资源生态经济系统总资源的优化配置,才能避免单纯的经济资源配置所带来的种种生态经济问题,实现水资源的可持续利用与经济、社会和生态环境的协调发展。

(2)在按一定的比例将系统内各种资源实行组合和配置的过程中,其不断组合的资源主要是紧缺资源,而这些紧缺资源中不仅包括水质和水量,也包括部分经济资源和社会资源,还包括部分自然资源和生态环境资源。

(3)以水质水量优化配置为中心进行的系统总资源配置的目标,是通过水资源生态经济系统内各种经济、社会 and 自然资源的最佳组合,生产和提供品种结果合理、数量适度的产品和劳务,以满足人类自身不断增长的生存需要、享受需要和发展需要。这样界定水质水量统一优化配置的目标,一方面是生态经济全面需求观的客观要求;另一方面是在水质水量统一优化配置中,要重视水量和水质要素的生态环境价值。

2 水质水量统一优化配置的基本原则

2.1 整体性原则

水质水量统一优化配置整体性原则是由水资源生态经济系统的整体性决定的。其整体性主要表现在:水资源与其他自然资源、水资源与经济活动、地区水资源与流域水系等相互间存在着内在联系,以及相互影响、相互制约的关系。很明显,水资源状况的重大改变(如形态、数量、质量、水事活动等变化)将引起生物和非生物资源因子的相应变化;水资源的综合开发和利用,将大大促进社会、经济发展;流域内不同区域的水事活动,对河流的干支流和上下游将产生一定的影响。这就要求对水资源生态经济系统进行整体的开发利用和保护。

2.2 可持续性原则

可持续性是社会可持续发展的核心特征,也是维持生态系统良性循环的最基本的要求。水资源是再生资源,因此在水质水量配置时,必须遵循可持续性原则。

水资源配置中的可持续性原则,就是要求实现水资源的永续利用,从生态经济阈的概念理解,就是要将水资源的数量和质量限制在水资源生态经济阈的限值之内。如此才能实现水资源生态经济系统的正常运转。

具体讲,可持续性原则要求水量和可利用水环境容量应在区域内的不同子区和不同

用水部门之间进行合理分配,既要考虑区域远、近期经济、社会和生态环境持续协调发展,又要考虑区域内不同子区之间的协调发展;既要追求以提高水资源总体配置效率为中心的优化配置模式,又要注重效益在全体用水部门之间的公平分配;既要注重水资源的合理开发利用,又要兼顾水资源的保护与治理。

2.3 “三效益”协调统一原则

根据生态经济学的基本理论,水质水量不同配置方案对应不同的水资源生态经济系统结构,可实现不同的系统功能——经济效益、社会效益和生态效益,系统优化的目标是实现经济效益、社会效益和生态效益的协调统一。根据生态经济系统结构优化原理,水质水量统一优化配置是通过调控水量和水质要素在不同子系统与部门间的配比关系,影响其他资源在水资源生态经济系统内不同层次的配比关系,达到水资源生态经济系统的动态平衡,实现系统的最佳整体功能。

2.4 高效利用原则

提高资源的利用效率是资源配置的核心,显然也是水质水量优化配置应遵循的原则。高效利用指水质水量的配置中要追求高效率,它包括两方面的内容:一是提高单位水资源量的产出量或降低单位产出的水资源消耗量;二是降低单位产出的污水水排出量。前者相当于间接增加了水资源数量,从而增加了有限水量的经济、社会效益;后者相当于减少了水资源生态系统的承载压力,即提高了水环境质量,从而增加水资源的生态环境效益。

3 水质水量统一优化配置的理论框架

3.1 水质水量统一配置方案的生态经济阈值

3.1.1 水资源生态经济系统阈值

(1)水资源生态经济系统的规模阈。指水资源生态经济系统的生态经济要素数量聚集程度上的界限。它又具体包括以下三个方面的内容:

①再生能力限制阈。表示水资源生态经济系统中水资源的自我更新能力的极限,从而成为人类开发利用水资源时利用量的上限。如地表水资源可利用量、地下水资源可采量等。

②水环境容量限制阈。表示水体对工农业生产和城乡居民生活中排泄的污染物质所能降解或稀释的能力的最大量。

③水资源开发利用的生产规模阈。包括各种利用水资源的产业部门同步取得良好生态效益、社会效益和经济效益所需水量的上、下限。

(2)水资源生态经济系统的配比阈。是水资源生态经济系统中,各个生态和经济要素之间都存在着一定的比例关系,当这种比例关系的变化超过一定的界限之后也会引起该系统生态经济结构和功能的质变,这种比例界限就是水资源生态经济阈值的配比阈。具体包括如下几个方面:

①水资源开发利用与区域水资源基础设施(供水、排水、水污染治理等建设)之间的配比阈。它表示在水资源利用要与区域的水资源基础设施建设总体水平之间相互制约、相互促进的配比数量极限。

②水资源开发利用规模同财力、物力、人力承受能力间的配比阈。它表示水资源开

发利用的规模同支持资源开发的经济系统的承受能力之间的配比数量极限。

水资源生态经济系统的规模与配比阈之间有着不可分割的内在联系,前者是后者的基础,后者是前者发展的必然产物。两者相结合,就构成了水资源生态经济系统的生态经济阈的丰富内涵。

3.1.2 水质水量统一配置可行方案拟定的原则

基于水资源生态经济系统的生态经济阈,拟定水质水量统一配置可行方案时,应遵循如下原则:

(1)水资源可承载原则。分配到系统内生活、生产和生态环境用水量之和不超过水资源生态系统供经济和社会使用的可利用水资源水量。包括地表水资源量、地下水资源量和污水资源化数量等。

(2)水环境可承载原则。系统内所有生活和生产用水部门排入各水功能区的各种污染物之和不超过规定的水体纳污能力。

(3)经济可承受原则。水质水量配置方案投入的措施所需的资金投入量之和不超过经济子系统可用于水质水量配置措施投资的总量。

(4)其他资源相匹配原则。分配给某部门的用水量不超过系统内其他自然资源和社会经济资源的限制。如农业用水要受灌溉面积的限制;工业用水要受企业生产规模的限制等。

3.2 水质水量统一优化配置概念模型

水质水量统一优化配置的目的是针对特定的水资源生态经济系统,以系统的经济、社会和生态环境综合效益为优化准则,寻求水量和可利用水环境容量在子区和各用水部门间的最佳配置比例。根据水资源生态经济系统投入的产出关系,可建立如图1所示的概念模型。

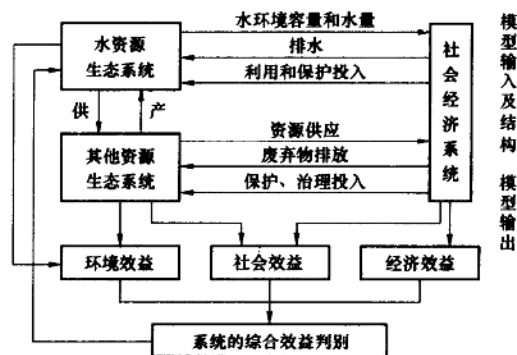


图1 水质水量统一优化配置概念模型

图1表明:①水质水量配置模型由输入和输出两大部分组成。其中输入部分是由组成水资源生态经济系统的水资源生态子系统、其他资源生态子系统及社会经济系统间多种相对的输入和输出关系构成,反映了各子系统间和各种资源要素间的相互影响、相互制约关系。输出部分指系统的总输出,包括由水资源生态子系统产生的环境效益和社会

效益、水资源生态子系统与社会经济子系统生产的社会效益和经济效益。②水质水量统一优化配置过程是个反复协调的调控过程,即模型通过系统综合效益的判别,并将判别信息反馈给输出部分,输出部分根据反馈信息调整系统的输入,进而改变模型的输出,根据输出又可产生反馈信息,如此循环,直至系统取得最佳的输出——系统的综合效益最大。

4 水质水量统一优化配置的模型体系

4.1 生态经济系统结构优化限制性因素原理

在整个生态经济系统中,各子系统以及各因素之间,是相互关联、相互影响的,但并非所有因素的作用都是相同的,其中必有一个或几个因素成为限制性因素,它们的状况以及发展变化,制约着其他因素乃至整个系统的状况和发展变化。

在水资源短缺区,水资源已经成为经济社会可持续发展的制约因子,根据生态经济系统结构优化限制性因素原理,在这些地区可将水质(可利用水环境容量)和水量作为限制性因素来研究水质水量的统一优化配置问题,即可以水质水量为主来建立优化配置核心模型,水资源生态经济系统中其他资源要素的配置可通过其与水质和水量间的相互影响及制约关系的基础模型来实现。

4.2 水质水量统一优化配置模型体系框架

按图1所示概念模型,将模型体系中的模型分为水质水量配置方案生成核心模型和辅助模型两类。核心模型用于生成水质水量在系统内子系统和各部门的配比关系,辅助模型用于为核心模型提供输入参数、建立水质水量间的耦合关系和不同水质水量配比与经济、社会和生态环境效益间的耦合关系。水质水量统一优化配置模型体系见图2。

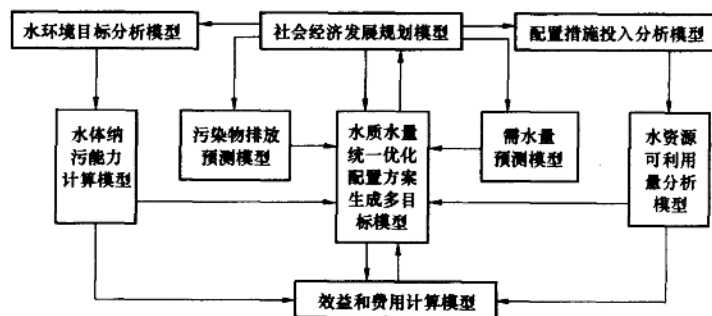


图2 区域水质水量统一优化配置模型体系框架

图2所示的模型体系中,水质水量统一配置方案生成多目标模型是核心模型,它根据各辅助模型提供的参数和关系,生成水质水量在区域内子区和部门间的优化分配比例。其他模型作为辅助模型。

4.3 配置方案效果的确定性和不确定性评价

由于水资源生态经济系统的效益,尤其是社会效益和生态环境效益构成复杂,部分可以直接或间接量化,部分尚不易量化。在水质水量统一优化配置模型的目标中不可能

包括效益的所有方面,其得到的仅是模型目标意义下的优化配置方案,仅据模型目标数值的大小来推荐水质水量配置方案,是不全面的。为了判别目标意义下的优化配置方案是否是经济、社会和生态环境综合效益最佳的方案,在优化配置模型提供的配置信息的基础上,要用更多的反映经济、社会和生态环境效益的指标对方案进行综合评价,推荐合理的水质水量统一优化配置方案。

为了反映确定性条件下水质水量统一配置效果和系统不确定因素对配置效果的影响,配置方案效果评价应包括确定性评价和不确定性评价两大部分。所谓配置方案确定性评价,是在配置方案对应的配置方案生成模型输入、配置措施确定不变情况下,对配置模型得到的水质水量配置效果所进行的评价。其目的是对不同配置措施构成的方案所实现的经济、社会效果,以及系统发展的可持续性水平作出分析和判断,预测各配置方案的总体效果。所以,确定性评价内容应包括水资源利用效果评价和发展可持续性评价两个方面。水资源利用效果评价是从水资源利用产生经济、社会效益的角度,对配置方案实现的经济社会效益的大小所进行的分析判断;发展可持续性评价则是从区域水资源生态经济系统可承载和发展的程度方面,对配置方案相应的系统发展可持续性水平进行分析判断。

在水资源生态经济系统中,无论是水质水量,还是经济社会要素本身,以及要素间的投入产出关系都广泛地存在不确定性,必将对水质水量的统一配置结果产生影响,导致各配置方案实现的效果与确定性条件的效果存在偏差,对这种偏差产生的原因、程度及其可能性进行分析和判断,即配置方案的不确定性评价,亦称配置方案的风险分析。

5 结语

本文从生态经济角度,运用生态经济学的有关原理,在分析水质水量统一优化配置的概念、原则和水资源生态经济系统的规模阈与配比阈的基础上,构建了水质水量统一优化配置的理论和模型框架体系,为开展水质水量统一优化配置理论和应用研究开辟了新的途径。

参考文献

- [1] 吴泽宁. 基于生态经济的区域水质水量统一优化模型和方法[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(2).
- [2] 唐建荣. 生态经济学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 冯尚友. 水资源可持续利用与管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

【作者简介】吴泽宁, 1963年1月出生, 博士研究生, 2004年毕业于河海大学, 获工学博士学位, 郑州大学环境与水利学院教授、博士研究生导师。

结构动力可靠度中相关性问题的研究

解 伟¹ 王 恒¹ 胡润亭² 杨志超²

(1. 华北水利水电学院; 2. 河南省水利科学研究院)

摘 要: 在分析了当前结构动力可靠度领域里存在的一些基本问题之后, 系统地研究了结构动力反应过程的相关性及动力失效的相关性。提出了结构动力反应过程“完全相关形式”的唯一性(一致性), 并给出了该性质的证明。解决了目前难以解决的体系动力可靠度问题, 建立了求解结构体系动力可靠度更精确的理论模式——动力 PNET 模式。

关键词: 动力过程相关性 动力失效相关性 相关形式一致性 质点失效相关 一致条件概率 随机过程

1 问题的提出

结构动力反应过程的相关性及动力失效的相关性是结构动力可靠度领域里的基本性问题, 但由于动力问题的相关性涉及反应全过程的相关性, 研究起来十分复杂。很久以来, 结构动力可靠度的分析中无不采用了十分简化的处理方法, 这种简化有时会给结构动力可靠度的计算带来较大的误差。

1.1 当前结构动力可靠度分析的基本思路及不足

在结构动力可靠度分析中, 一般先把实际结构简化为质点体系^[1], 进而计算质点反应过程的谱密度函数及其导数过程的谱密度函数, 然后在给定的可靠性界限下利用有关的可靠度公式求出各质点的动力反应失效概率, 最后以控制点的失效概率作为整个结构体系的失效概率^[2, 3]。

由于结构的动力作用过程(风、地震等)是具有很强随机性的过程, 所以结构动力反应过程也具有很强的随机性, 即使某时刻控制点的反应落在可靠性范围之内, 非控制点的反应却不一定也落在可靠性范围之内, 它仍会以一定的概率(由于是非控制点, 此时的超越概率不会很大)超越可靠性界限, 那么仅以控制点的失效来代表整个结构的失效是不精确的。

1.2 动力失效的相关性问题

由前所述, 以控制点的动力可靠度来衡量整个结构的动力可靠度会带来一定的误差, 那么就有必要研究多个质点共同决定的体系动力可靠度问题, 而多质点体系动力可靠度研究关键在于质点动力失效间的相关性(本文研究的主要问题), 它体现质点失效事件间的条件概率关系, 是计算体系动力可靠度问题的基础。

在动力可靠度问题的分析中, 要定量地确定质点的失效间的相关性是困难的。静力可靠度中, 由于有明确的功能函数 Z_1 、 Z_2 来表达两个不同事件的失效意义, 因而也就可以用相关系数 $\rho_{Z_1 Z_2}$ 的大小来刻画 Z_1 、 Z_2 之间相关程度的大小^[4]。而动力问题的研究对象

是不同的质点随机过程 $X(t)$ ，它不同于随机变量，它在反应中的任意时刻超越可靠性界限质点即认为是失效，所以对于随机过程质点是没有明确的功能函数来表达其全过程的失效意义的，因而也就不能用简单的相关系数来确定随机过程质点失效间的相关性，那么如何来研究两质点动力反应失效间的相关性呢？

2 基于条件概率的动力失效相关性

2.1 相关性问题的转化

在静力体系可靠度分析的 PNET 法思想中，求任两个功能函数 $Z_i=f_i(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ， $Z_k=f_k(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 对应的随机变量间的相关系数 ρ_{X_i, X_k} ——它代表相关性——最终是为了确定对应的失效事件之间的条件概率关系，简单讲，即当一事件 Z_i 小于 0 时，另一事件 Z_k 小于 0 的概率有多大；或当 Z_k 小于 0 时， Z_i 小于 0 的概率有多大。而恰恰是这种关系决定了能否用“大”的失效概率代替“小”的失效概率。动力可靠度问题既然不能用相关系数刻画相关性，那么可以直接从随机过程质点失效事件的条件概率关系入手来寻找这种能否用“大”的失效概率代替“小”的失效概率的关系（它也是相关程度的一种体现）。

质点的失效与质点随机过程中每一时刻 t 的截面随机变量 $X(t)$ 的失效概率是紧密联系的，那么质点失效间的条件概率关系也就紧密联系于截面随机变量间 Z_i 的条件概率关系，但是二者不能等价。作为问题的简化，本文只研究在什么情况下可以用截面随机变量间的条件概率关系代替质点失效间的条件概率关系。两随机过程在任意时刻所对应的截面随机变量 $X_1(t)$ 、 $X_2(t)$ 失效的条件概率值一致（相等）的情况下这两种关系等价。

下面证明任意时刻 t 两随机变量失效的一致条件概率（条件概率值相等）需要满足的数学条件。

给定两随机过程：

$$X_1(t), X_2(t) \quad t \in T$$

将 $X_1(t)$ 、 $X_2(t)$ 主振型展开^[5]（为后面论述的方便）

$$X_1(t) = \sum_{j=1}^n S_{1j} q_j(t), \quad X_2(t) = \sum_{j=1}^n S_{2j} q_j(t)$$

取 t_1 时刻为截面，得两截面随机变量

$$X_1(t_1) = \sum_{j=1}^n S_{1j} q_j(t_1), \quad X_2(t_1) = \sum_{j=1}^n S_{2j} q_j(t_1)$$

设 $X_1(t_1)$ 、 $X_2(t_1)$ 的联合概率密度函数为 $f[X_1(t_1), X_2(t_1)]$ ，所对应的 $q_j(t_1)$ 的联合概率密度函数为 $g[q_1(t_1), q_2(t_1), \dots, q_n(t_1)]$ 。则当 $X_1(t_1)$ 失效时， $X_2(t_1)$ 失效的条件概率（ R_n 为可靠性界限）：

$$P\{X_2(t_1) > R_n | X_1(t_1) > R_n\} = \frac{P\{X_1(t_1) > R_n \text{ 且 } X_2(t_1) > R_n\}}{P\{X_1(t_1) > R_n\}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\iint_{\Omega} f[x_1(t_1), x_2(t_2)] dx_1(t_1) dx_2(t_1)}{\iint_{x_1(t_1) > R_n} f[x_1(t_1), x_2(t_2)] dx_1(t_1) dx_2(t_1)} \\
 &= \frac{\iiint_{\Omega} g[q_1(t_1), q_2(t_1), \dots, q_n(t_1)] dq_1(t_1) dq_2(t_1) \dots dq_n(t_1)}{\iiint_{x_1(t_1) > R_n} g[q_1(t_1), q_2(t_1), \dots, q_n(t_1)] dq_1(t_1) dq_2(t_1) \dots dq_n(t_1)} \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中 Ω 为两随机变量失效的公共交域, 如图 1(图中表示 X 按二阶振型展开)。

对于时不变问题, 可靠性界限 $R_n(t)$ 为常数, 故任意时刻 t 的 Ω 域是不变的, 从式(1)中可以看出: 要保证任意时刻 t 由 $P\{X_2(t) > R_n | X_1(t) > R_n\}$ 所表达的条件概率值恒定, 联合概率密度函数需要满足: 或者(a) $g[q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)]$ 是 t 的不变函数; 或者(b)在 $X_1(t) > R_n$ 的区域内 $g[q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)]$ 只在 Ω 域内有显著值(即在 $X_1(t) > R_n$ 的区域内除 Ω 外 g 值为 0 或接近于 0), 此时, 条件概率值 $P\{X_2(t_1) > R_n | X_1(t_1) > R_n\}$ 不仅不变, 而且对于任意 t , $P\{X_2(t) > R_n | X_1(t) > R_n\} = 1$ 。至此, 我们得到两随机变量任意时刻 t 一致条件概率所需满足的条件(a 或 b 只一条件成立即可)。

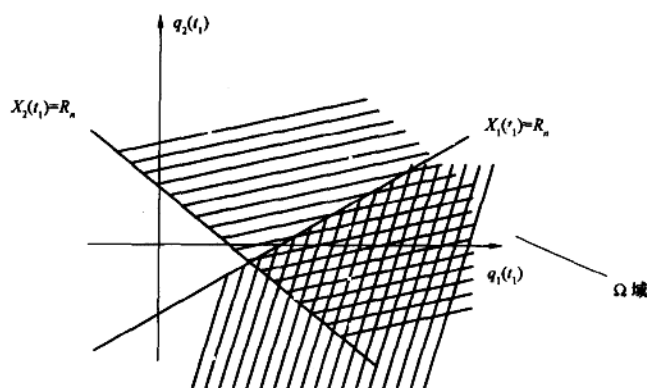


图 1

注: 图中阴影部分分别为 $X_1(t_1) > R_n$ 的区域及 $X_2(t_1) > R_n$ 的区域, 交叉部分为 Ω 域。

2.2 一种特殊情况的讨论

对于一般的结构反应过程, 条件(a)是苛刻的, 实际情况中一般不会出现, 而条件(b)则是常遇的。所有振子的均值均为零的两随机过程且任意时刻所对应的两截面随机变量完全相关即是符合条件(b)的一个特例(在实际工程中常用到的就是具有 0 均值输入的地震波, 此情况下所得到的振子过程 $q_i(t)$ 的均值均为 0)。对于只用到完全相关或独立的体系可靠度分析方法(如 PNET 法), 这个特例情况足可以为研究体系动力可靠度问题提供圆满解答。

下面给出这一特殊情况满足条件(b)的证明。

给定两随机过程:

$$X_1(t), X_2(t) \quad t \in T$$

某时刻 t (t 为任意值) 两截面随机变量完全相关, 得到(仍利用前述的振型展开):

$$\rho_{X_1 X_2}(t, t) = \frac{\sum_{j=1}^n S_{1j} S_{2j} \sigma_{q_j}^2}{\left(\sum_{j=1}^n S_{1j}^2 \sigma_{q_j}^2 \sum_{j=1}^n S_{2j}^2 \sigma_{q_j}^2 \right)^{\frac{1}{2}}} = 1$$

式中: $\sigma_{q_j}^2$ 代表 $\sigma_{q_j(t)}^2$ 。

将上式整理后得到

$$\sum_{j=1}^n S_{1j} S_{2j} \sigma_{q_j}^2 = \left(\sum_{j=1}^n S_{1j}^2 \sigma_{q_j}^2 \sum_{j=1}^n S_{2j}^2 \sigma_{q_j}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

两侧取平方

$$\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n S_{1j} S_{2j} S_{1l} S_{2l} \sigma_{q_j}^2 \sigma_{q_l}^2 = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n S_{1j}^2 S_{2l}^2 \sigma_{q_j}^2 \sigma_{q_l}^2$$

展开得

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n S_{1j}^2 S_{2j}^2 \sigma_{q_j}^4 + \sum_{\substack{j, l=1 \\ j \neq l}}^n S_{1j} S_{2j} S_{1l} S_{2l} \sigma_{q_j}^2 \sigma_{q_l}^2 \\ &= \sum_{j=1}^n S_{1j}^2 S_{2j}^2 \sigma_{q_j}^4 + \sum_{\substack{j, l=1 \\ j \neq l}}^n S_{1j}^2 S_{2l}^2 \sigma_{q_j}^2 \sigma_{q_l}^2 \end{aligned}$$

消掉相同项得

$$\sum_{\substack{j, l=1 \\ j \neq l}}^n (S_{1j} S_{2j} S_{1l} S_{2l} - S_{1j}^2 S_{2l}^2) \sigma_{q_j}^2 \sigma_{q_l}^2 = 0 \quad (2)$$

由于主振型是振动系统本身固有的属性, 故 S_{ij} 的值是预定的。上式若成立, 则 $\sigma_{q_j}^2$ ($j=1, 2, \dots, n$) 中至多有一个不为 0, 而其余全部为 0。这说明: 振子 $q_j(t)$ 中至多有一个为随机过程, 其余为固定的函数过程。设具有随机过程性质的振子为 $q_i(t)$ 。

这样

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^{i-1} S_{ij} q_j(t) + S_{ii} q_i(t) + \sum_{j=i+1}^n S_{ij} q_j(t) \quad (3)$$

$$X_k(t) = \sum_{j=1}^{i-1} S_{kj} q_j(t) + S_{ki} q_i(t) + \sum_{j=i+1}^n S_{kj} q_j(t) + \dots \quad (4)$$

式(3)、式(4)中, i, k 表示振动系统中的任意两个质点。

另外, 由于所有振子的均值为 0, 那么固定函数过程 $q_j(t) = 0, j \neq i$ 。