

文章编号:0559-9350(2009)09-1025-08

基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划研究 I:理论

周祖昊,王浩,秦大庸,桑学锋

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所,北京 100038)

摘要:在分析国内外水资源规划的发展历程的基础上,基于广义 ET 耗水控制理念探讨了区域水资源水环境综合规划的理论、内涵及其规划理念。分析了其调控机制、规划原则以及规划目标。确定以目标 ET 制定一方案设置一情景模拟一方案评价一方案推荐 5 个步骤为基于 ET 的水资源规划的决策思路,进而提出了七大总量控制规划指标,建立了规划框架。为综合解决全球气候变化和人类活动影响下日益严重的水资源和水环境问题提供了探索途径。

关键词:广义 ET;耗水控制;水资源;水环境;综合规划

中图分类号:TV213

文献标识码:A

1 研究背景

水资源问题已成为 21 世纪全球关注的热点,随着人口的不断增长和经济的快速发展,以水资源匮乏和生态环境污染为特征的水危机已成为区域社会经济持续发展的重要制约因素,流域或区域的水资源规划管理也逐渐成为国内外研究的重点。国内外水资源规划发展历程虽然不尽相同,但大体可分为 6 种模式。

(1)“就水论水”的水资源规划^[1]。这个模式属于起步阶段,水资源规划考虑的关系相对简单,主要以水为核心和约束条件,以追求经济效益最大化或者缺水最少为目的,探索水资源如何满足经济发展需要^[2-4]。

(2)基于宏观经济的水资源规划^[5-7]。由于水资源开发与区域经济特点和发展模式非常密切,Booker 等^[5]将水资源管理与社会经济的发展综合考虑,许新宜等^[7]重点研究了水资源与宏观国民经济之间相互影响、相互制约的关系,提出了基于宏观经济的水资源合理配置理论方法,力图实现宏观经济和水资源合理利用的协调发展。

(3)面向生态的水资源规划。随着世界性人口爆炸和社会经济快速发展,水资源开发强度越来越大,水资源的过度开发带来了各种生态恶化问题,比如河道断流、湿地萎缩、地下水出现漏斗等等。随着人类生态保护意识的提高,生态系统和社会经济系统同等重要地纳入到水资源规划中^[8-11]。

(4)广义水资源规划。20 世纪 90 年代以来,水资源危机逐渐成为世界性难题,在水资源缺乏地区,提高降水的利用效率日益得到重视。因此,蓝水资源(或称狭义水资源,即地表水和地下水资源)和绿水资源(或称广义水资源,即能被生态系统和经济系统直接利用的降水)的概念被提了出来^[12]。在此理论基础之上,有学者提出了狭义水资源和广义水资源统一配置的水资源配置体系^[13-14]。

(5)基于耗水的水资源规划。以往的水资源配置主要将多种可利用水源在区域间和部门间进行调

收稿日期:2008-12-21

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2006CB403401);国家自然科学基金创新研究群体基金项目(50721006);世界银行全球环境基金(GEF)资助项目(TF053183)

作者简介:周祖昊(1975—),男,湖北武汉人,博士,高级工程师,主要从事流域水循环模拟、水质模拟、水资源评价及水资源规划研究。E-mail:zhzh@iwhr.com

配,缺乏对水资源消耗量(以下简称广义 ET)的控制。Dayid 等^[16]首次提出节水中的可回收水和不可回收水概念;Keller 等^[16]提出了“真实节水”系列概念,强调从整个水循环不可回收的水量中进行节水(而不仅限于用水过程中的节水),引发了“人们对水资源高效利用的新思考”^[17]。这一思想起先用于农业灌溉用水管理中^[18-19],后被在世界银行 GEF 海河项目中用于流域或区域水资源规划和管理实践^[17-18,20-23]。

(6)水资源与水环境综合规划^[1]。水资源的数量和质量都是其重要属性,两大属性密不可分,只有将水资源的数量和质量结合起来,才能实现水资源的科学管理。如果要想实现水资源的良性循环和可持续利用,须将供水、用水、排水和污染防治等与水有关的各个方面有机结合起来。目前,国内外学者主要在分质供水、保证环境流量、基于水资源配置模型的水质水量“双总量”控制等方面进行了一些研究^[24-29],研究对象和研究方式进行了大量简化。

目前基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划才刚刚起步。传统的水资源管理注重取水控制,基于“真实节水”对广义 ET 总量进行控制的理论、方法及措施体系尚在研究之中。水资源与水环境综合规划主要从水资源配置过程中考虑环境问题的角度出发开展了一些工作,没有真正体现水资源和水环境综合的理念。只有从水循环过程及伴随水循环的污染物迁移转化过程内在作用关系的基础出发,将水资源合理配置与污染治理紧密联系起来,才能真正实现水资源量和质的科学管理。本文以基于广义 ET 的水资源规划和水资源与水环境综合规划的理念为指导,初步构建基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划体系,包括规划理念、调控机制、规划原则、规划目标及决策思路。

2 基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划理论内涵

基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划理论内涵包括两个部分:

2.1 基于广义 ET 的水资源规划理论内涵 传统的 ET 是蒸发(evaporation)和蒸腾(transpiration)的合写词,最早用于农业用水管理,表示农业用水通过一切形式由液态转化成气态的过程。本文广义 ET 指的是区域内所有的耗水量,其组成包括:(1)通常传统意义下的 ET,即植被的蒸腾、土壤及水面的蒸发;(2)人类生产、生活过程中产生的蒸发;(3)工农业生产时固化在产品中,且被运出本区域的水(运出区域外的产品水对于本区域来说相当于消耗)^[32]。以下文中所用到的 ET 亦指广义上的 ET。

在世行 GEF 海河项目中^[33]，“真实节水”的概念进一步推广到全流域,提出基于广义 ET 管理理念的水资源规划,“真实节水”的含义为减少项目区广义 ET 消耗量,只有减少水分的蒸发蒸腾,才是区域水资源量的真正节约,这与传统的水资源规划是有区别的。传统的水资源管理,注重取水管理,节水的效果主要由取水量的减少来衡量,取水的减少量等同于节约的水量。因此在进行水资源规划时,主要在区域间和部门间分配各种可利用的水源,缺乏对广义 ET 总量的分配和控制。其结果是,发达地区或者强势部门通过提高水的重复利用率和消耗率,在不突破许可取水量的限制的条件下,将消耗更多的水量(增加 ET),在区域流域水资源总量(区域流域总的可消耗 ET)基本不变的情况下,这就意味着欠发达地区或者弱势部门如农业、生态等部门可使用的水资源将被挤占。越是在水资源紧缺的地区,这种矛盾越是突出。因此,按照传统水资源规划理念,水资源利用的公平性并不能真正得到保证,生态系统的安全也并不能真正得到保障。所以,只有对广义 ET 进行控制才能真正实现流域区域水资源的可持续利用。对广义 ET 进行控制,不仅需要从流域区域整体对广义 ET 进行控制,还需要对局部区域的广义 ET 进行分别控制。否则,即使整个流域区域广义 ET 得到控制,由于局部的广义 ET 控制没有实现,可能会造成局部的水资源问题。

与传统取水控制一样,对广义 ET 的控制并不意味着社会发展停滞不前。在不突破流域区域广义 ET 总量的前提下,通过调整 ET 在时空上和部门间的分配,通过提高各部门 ET 利用的效率,减少低效和无效 ET,增加高效 ET,仍然能够促进经济发展和社会进步。

因此基于广义 ET 的水资源规划理念包括两层含义:(1)ET 总量控制。从流域区域整体控制住总的 ET 量,确保流域区域总 ET 不超过可消耗 ET,实现水资源的可持续利用;(2)ET 效率提高。从流域

区域整体提高水分生产水平,促进社会经济持续发展。基于 **ET** 水资源规划首先要根据水资源本底条件确定流域区域可消耗 **ET** 量,然后从广义水资源角度出发,在综合考虑自然水循环的“地表—地下一土壤—植被”四水转化过程中产生的 **ET** 和社会水循环的“供水—用水—耗水—排水”过程中产生的 **ET** 的基础上,进行各区域、各部门 **ET** 的分配,确保区域总 **ET**(自然 **ET** 和社会 **ET**)不超过可消耗 **ET** 的要求。

2.2 水资源与水环境综合规划理念 水量水质联合配置的研究在近年得到了重视,从配酿模拟计算的角度分析,水量水质联合配置存在 3 个层次。第 1 个层次是基于分质供水的水量配置;第 2 个层次是在水循环基础上添加污染排放和控制等要素,实现水量过程模拟基础上的水质过程分析,进而进行水量配置;第 3 个层次就是在动态联合水量和水质实现时段内紧密耦合的动态模拟。目前的研究主要还集中在第 1 个层次,对于第 2 层次有所涉及,但是还不够系统,需要作更深层面的研究,到第 3 个层次才真正属于水资源与水环境综合规划的范畴。

水资源与水环境综合规划理念就是要在规划过程中同时考虑水资源配置与水环境保护相互影响的关系,包括两层含义:(1)满足用水户的水量和水质要求。从供水角度来说,不光要满足用水户的水量要求,还要按照不同用户对水质的要求不同,实现分质供水、优水优供;而要达到水体水质要求,污染排放应该按照水体水质要求进行严格控制,确保水质安全;(2)满足水环境功能区划的水质要求。从污染控制角度来说,一方面需要根据水环境功能区划的要求,按照环境容量进行削减,实现总量控制基础上的达标排放;另一方面,在水资源配置过程中要留足环境容量,以使得污染削减的代价切实可行;这两方面须综合考虑,确定最佳平衡点。

实现水资源与水环境综合规划要牢牢抓住两点:(1)水资源与水环境综合规划要基于统一的水环境功能区划。水资源配置按照水环境功能区划实施分质供水,并给每个功能区留足环境水量,污染排放按照水环境功能区划的要求削减污染排放总量。只有采用统一的水环境功能区划,水资源和水环境规划才有共同的基础;(2)水资源规划与水环境规划要基于水循环与污染迁移转化基础。水循环和伴随水循环的污染物迁移转化过程密不可分,这是水资源具有量和质两方面属性的基础,也是水资源与水环境综合规划的基础。因此,只有在充分分析水循环过程与污染物迁移转化过程的基础上,才能保证水资源与水环境规划的科学性。

3 基于广义 **ET** 的区域水资源与水环境综合规划调控机制

作为自然资源的水首先具有自然属性,同时具备为所在生态系统中承担功能的生态属性,在人类社会对水资源进行开发利用之后又增加了社会属性、经济属性和环境属性。因此,在现代水循环结构中,水资源具有自然、社会、经济、生态和环境五维属性。在水的资源、生态、社会、经济、环境五维属性之间充斥着矛盾与竞争,基于广义 **ET** 的水资源与水环境综合规划应当以 **ET** 为核心,针对不同维的需求建立相应的决策机制。

(1)以广义 **ET** 为中心的水平衡机制。流域水资源演化是诸多水问题产生的共同症结所在,过多的 **ET**(耗水)是造成水资源短缺、水生态退化的关键因素,因此基于广义 **ET** 的水资源与水环境综合规划首先要遵循广义 **ET**(耗水)为中心的水平衡机制。

水平衡决策机制包括 3 个层次:第 1 个层次是流域区域整体的水量平衡机制,是流域区域总来水量(包括降水量和从流域外流入本流域的水量)、广义 **ET** 量(即区域耗水量)、排水量(即排出流域之外的水量)之间的水量平衡,其目标是以水量平衡为条件界定满足流域区域水循环稳定健康的经济和生态总可耗水量。第 2 个层次是资源量平衡机制,包括径流性水资源量、经济用水耗水量和排水量之间的平衡关系进行分析,其目标是界定满足流域区域水循环稳定健康的国民经济取用水量、可消耗水量。第 3 个层次是社会水循环水量平衡,分析计算各种水源对国民经济各部门之间、不同时间段的供用耗排水平衡,其目标是界定满足流域区域水循环稳定健康的国民经济各部门取用水量、可消耗水量。

(2)以可持续为中心的生态决策机制。生态决策机制的核心是水资源利用的可持续性,要求在实现

经济用水高效和公平的同时,需要考虑水循环系统本身健康和对相关水生态系统的支撑。

在水资源紧缺地区,社会经济用水和生态环境用水竞争激烈,必须在经济社会发展与生态环境保护之间确定合理的平衡点。将水资源开发利用、社会经济发展、生态环境保护放在流域水资源演变和生态环境变化的统一背景下进行研究,以流域为基础,以经济建设和生态安全为出发点,根据水分条件与生态系统结构的变化机理,在竞争性用水的条件下,通过比较和权衡,确定合理的生态系统耗水量和国民经济耗水量,既能使生态系统保持相对稳定和功能的协调,又能使经济建设受到较小的影响。

(3)以公平为核心的社会决策机制。社会决策机制的核心是水量分配和污染治理的公平性,包括区域间的公平性、时间段上的公平性、行业间的公平性、代际间的公平性。通过社会决策机制能体现水资源配置和污染治理对不同地区、行业和群体利益的协调,保障社会发展的均衡性。

(4)以边际成本和社会净福利为中心的经济决策机制。经济决策机制体现水资源和水环境调控的高效原则,水资源合理配置与污染控制的经济决策机制是根据社会净福利最大和边际成本替代两个准则确定合理的水资源配置指标和污染控制指标。

经济决策机制包括宏观和微观两个层面。在宏观经济层次,抑制水资源需求、降低 ET (降低水资源消耗)和减少污染产生需要付出代价,增加水资源供给、增加可消耗 ET (从外部调水、增加海水利用)和加大污染治理力度也要付出代价,两者间的平衡应以更大范围内的全社会总代价最小(社会净福利最大)为准则。在微观经济层次,不同水平上抑制水资源需求、降低 ET 和减少污染产生的边际成本在变化,不同水平上增加水资源供给、增加可消耗 ET 和加大污染治理力度的边际成本也在变化,二者的平衡应以边际成本相等或大体相当为准则,从用水、耗水及治污产生的效益和社会福利基础上分析水资源和水环境调控的方向,通过不同的水资源利用方式和污染控制方式实现在公平基础上对水资源更高效的利用和水污染的防治。

(5)以水量水质联合配置为中心的环境决策机制。环境决策机制的核心是关注水环境质量对社会的综合效益。通过环境决策机制能在水量水质演化的基础上提出水环境承载能力下的行业最大可排水量准则,控制断面水环境要求以及水环境功能区划要求的水量利用和污水排放双重控制。同时,还需要在配置决策中量化水污染损失,确定污染负荷排放以及污水处理再利用的阈值指标。

4 基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划原则及规划目标

4.1 规划原则 基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划,以水资源的可持续性、高效性、公平性和系统性为原则进行科学综合规划。(1)可持续性原则表现在为实现水资源的可持续利用,区域发展模式要适应当地水资源条件,水资源开发利用必须保持区域的水量平衡、水土平衡、水盐平衡、水沙平衡、水化学平衡和水生态平衡;(2)高效性原则是通过各种措施提高参与生活、生产和生态过程的水量及其有效程度,减少水资源转化过程和用水过程中的无效蒸发,提高水资源利用效率及效益,增加单位供水量对农作物、工业产值和 GDP 的产出;减少水污染,增加要求水质等级的有效水资源量;(3)公平性原则具体表现在增加地区之间、用水目标之间、用水人群之间对水量和污染负荷的公平分配;(4)系统性原则表现在对地表水和地下水统一分配,对当地水和过境水统一分配,对原生性水资源和再生性水资源统一分配,对降水性水资源和径流性水资源统一分配,对水资源和污染负荷统一分配。

4.2 规划目标 基于 ET 的区域水资源与水环境的综合规划是从广义水资源的角度来进行区域 ET 总量控制及定额管理,主要体现在资源、生态、环境、社会、经济等五大目标上。(1)资源目标主要是实现水资源的可持续利用,体现在 ET 总量控制和地下水超采控制上;(2)环境目标主要是改善水环境,促使区域水环境质量达到水环境功能区划要求;(3)生态目标是促使区域生态系统逐渐得到修复,体现在生态用水的水量水质得到保障;(4)社会目标是在保证现代社会整体高速发展的基础上体现稳定、和谐的理念,主要体现为保证人饮安全,实现区域间的供水、治污的公平;(5)经济目标主要是保证粮食不减产、农民不减收、经济要发展。

5 基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划决策思路

5.1 决策方法 水资源与水环境系统属于典型的复杂巨系统,水资源与水环境综合规划属于半结构化的多层次、多目标、多决策者的决策问题。国内外对此类半结构化问题进行了大量研究,提出了很多求解方法,大体可以分为两类:一类是优化方法,即在一定的约束条件下通过设定某种寻优规则,对设定的目标进行自动寻优的方法,如线性规划、非线性规划、动态规划、大系统优化、多目标决策以及近些年发展起来的神经网络、遗传算法等等;另一类是模拟方法,即在计算机上模拟系统行为的方法,这种方法结合人工优选,可以获得决策问题的满意解。

优化方法和模拟方法各有优缺点,主要包括以下 5 个方面^[34]:(1)优化方法可以自动寻找问题的最优解,而模拟技术只能提供系统对特定输入的响应;(2)优化方法是一种全面搜索方法,而模拟技术仅对部分方案进行模拟;(3)优化方法一般需对模型结构和系统约束作出简化假设,因此复杂的问题的仿真效果将受到较大影响,而模拟模型对模型简化较少,对复杂问题的仿真性能要强得多;(4)优化方法寻优规则事先设定,不易结合专家知识和经验,而模拟方法能更加方便地融合专家知识和经验,因此更加灵活、适应性更强;(5)优化方法需要反复迭代,计算量大,对复杂问题计算效率较低,模拟方法可以通过人工优选去掉劣等方案,大大缩小寻优的范围。

基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划涉及到社会、经济、资源、环境、生态五大系统,同时又关系到多个目标、多个准则、不同层次多个利益主体之间的博弈和权衡,而且基于水资源与水环境综合规划理念要求规划过程要在详细进行水质水量耦合模拟的基础之上进行。如果采用优化方法,不仅多种目标、多种准则之间、多个决策者之间的权衡难以合理表现,构建模型时复杂的水循环及污染迁移转化关系也要作大量简化,势必影响规划的合理性,而且规划问题的决策变量众多,解空间太大,优化工作的计算量也是难以忍受的。因此,在如此复杂的规划问题决策过程中,推荐采用模拟方法,以便结合专家经验和决策者意图进行可行的决策。

5.2 决策思路 主要分为“制定目标 ET—方案设置—情景模拟—方案评价—方案推荐”5 个步骤,具体包括 5 个方面。

(1)制定目标 ET。基于广义 ET 的综合规划要进行广义 ET 总量控制,首先要以流域或区域水资源条件为基础,按照维持生态环境良性循环和满足社会经济的持续良性发展与和谐社会建设的用水要求,制定不同水平年的目标 ET。也就是降水、入境水、外调水、海水利用扣除满足下游生态和经济用水要求的水量,再加上特定水平年暂时允许的超采量。

(2)方案设置。针对流域区域水资源和水环境中存在的问题,分析提出各种可能的解决方案,包括水资源利用方案及流域区域目标 ET(在某个水平年允许耗水量)方案、有利于控制广义 ET 的节水方案、水生态修复方案、水环境修复方案,然后对各类方案进行组合筛选,形成备选的综合规划方案集。

(3)情景模拟。根据流域区域水循环和水环境特点,构建“地表水—土壤水—地下水—植被水”耦合模拟、“自然—人工”水循环耦合模拟、水量和水质耦合模拟的分布式模型系统,对备选的综合规划方案进行详细模拟,计算各种备选方案情景下,水循环和污染迁移转化过程的情况,包括水循环过程中自然和社会 ET 各项分量、河道断面流量、地下水位变化、各水源供水量、各部门用水量等指标,以及污染迁移转化过程中污染产生量、入河量、河道断面水质等指标,为规划方案评价优选提供基础。

(4)方案评价。首先根据基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划原则,对规划的五大目标细化成五大类指标体系(示例见表 1)。方案评价就是在情景模拟的基础上,对细化指标进行量化,然后进行比较优选。在细化指标中,一部分属于必须要满足的强约束,比如流域区域总 ET 应小于目标 ET 限制、地下水开采应小于目标开采量等等,这部分指标必须满足要求,否则方案属于不可行方案;还有一部分属于可以进行权衡的指标,如各种生态用水量、经济效益等等,不同的方案可以在这些指标上进行权衡。根据评价指标对每个方案进行综合比选,提出推荐的方案。

(5)方案推荐。进行区域水资源与水环境综合管理时,需要根据优选推荐出来的方案,进一步提出

表1 基于广义 ET 的区域水资源与水环境综合规划评价指标(以天津为例)

指标大项	指标细项	需要满足目标	指标类别
资源指标	总 ET	总 ET 小于目标 ET 要求,逐步达到可消耗 ET 要求	强约束指标
	地下水超采量	地下水超采量小于目标开采量,逐步实现采补平衡	强约束指标
环境指标	氨氮	入河排放量小于目标排放量,逐步使得河道水质达到水功能区要求	强约束指标
	COD		强约束指标
生态指标	城镇生态用水量	城镇生态用水达到建设生态宜居城市要求	权衡指标
	林草、湿地用水量	林草、湿地用水量满足林草、湿地适宜修复目标要求	权衡指标
	河道用水量	河道用水量满足河道生态适宜用水要求	权衡指标
	鱼苗生长期入海流量	4—6 月入海流量满足鱼苗生长期入海流量控制	权衡指标
	入海流量	入海流量满足河口盐度要求	权衡指标
社会指标	生活用水量	人饮安全得到保障	强约束指标
	粮食产量	粮食安全得到保障	强约束指标
	单位 GDP 用水量	各计算单元间单位 GDP 用水量均衡,以体现区域间公平性	权衡指标
	农业单位面积用水量	各计算单元间单位面积用水量均衡,以体现区域间公平性	权衡指标
经济指标	农民人均收入	农民人均收入逐步提高	强约束指标
	经济效益	区域经济效益最大	权衡指标

不同单元、不同部门、不同水源量化控制指标,通过这些指标实现广义 ET 控制及水资源与水环境协调持续发展。根据推荐的方案,提出各推荐方案对应的水资源与水环境综合规划指标,作为水资源与水环境综合管理的依据。

本文根据基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划要求,提出 7 项规划指标(即七大总量控制),这 7 项指标是:(1)ET 总量控制指标,包括生活、一产、二产、三产和生态系统 ET 控制指标,确保流域区域整体及局部 ET 不超过目标 ET 要求,各用水部门 ET 不超过目标 ET 要求,实现水资源可持续利用;(2)地表水取水总量控制指标,包括生活、一产、二产、三产和生态系统地表水取水量控制指标,确保地表水不被过度引用,保证河流健康;(3)地下水开采总量控制指标,包括生活、一产、二产、三产地下水开采量指标,确保流域区域整体及局部地下水超采得到控制并逐步实现采补平衡;(4)国民经济用水总量控制指标,包括生活、一产、二产、三产用水指标,确保各部门用水不超过分配的份额;(5)生态用水总量控制指标,包括河道内、河道外用水控制指标,河道外用水进一步细化为城镇绿化、城镇河湖、林草、河湖湿地用水控制指标,确保城镇生态逐步达到宜居要求,河道内生态、河湖湿地生态系统逐步得到修复;(6)排污总量控制指标,包括点源和非点源排污控制指标,点源又可细化为城镇生活和城镇二三产排污量等指标,非点源又可细化为农业、畜禽养殖、农村生活、城镇径流排污量等指标,确保河流水质逐步达到水功能区划标准;(7)重要断面水质水量控制指标,包括行政区界断面(省界、地市界、县界)及入海断面的水量水质控制指标,保证行政区之间协调发展,保证近岸海域生态安全。

6 结论

(1)通过本文建立的基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划既可实现区域总耗水量的控制,也可提高水资源的利用效率和效益;同时还可以满足各用水部门和生态环境功能区划的水量水质要求。(2)将基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划调控机制分为五个方面:以广义 ET 为中心的水平衡机制、以可持续为中心的生态决策机制、以公平为核心的社会决策机制、以边际成本和社会净福利为中心的经济决策机制、以水量水质联合配置为中心的环境决策机制。(3)将基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划原则设定为四个方面:可持续性原则、高效性原则、公平性原则、系统性原则。(4)将基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划目标分解成五大目标:资源目标、生态目标、环境目标、社会目标和经济目标。(5)将基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划决策思路确定为“目标 ET 制定一方案设置一情景模拟一方案评价一方案推荐”5 个步骤。(6)通过本研究可为基于广义 ET 的水资源与水环境综合模拟模型及应用研究提供理论基础和方法指导。

致谢:成文过程中得到中国水利水电科学研究院游进军博士、水利部发展研究中心张瑞美博士的帮助,特此表示感谢!

参 考 文 献:

- [1] 王浩.我国水资源合理配置的现状和未来[J].水利水电技术,2006,37(2):7—14.
- [2] 华士乾.水资源系统分析指南[M].北京:水利电力出版社,1988.
- [3] 冯尚友.水资源系统工程[M].武汉:湖北科学技术出版社,1991.
- [4] Lefkoff L J, Gorelick S M. Simulating physical processes and economic behavior in saline, irrigated agriculture: model development [J]. Water Resour. Res., 1990, 26(7): 1359—1369.
- [5] Booker J E, Young R A. Modeling intrastate and interstate markets for Colorado River water resources [J]. Environ. Econ. and Management, 1994, 26(1):66—87.
- [6] 翁文斌,蔡喜明,史慧斌,等.宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究及应用[J].水利学报,1995(2): 1—10.
- [7] 许新宜,王浩,甘泓,等.华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M].郑州:黄河水利出版社,1997.
- [8] Ziener R R, Lisle T E. River ecology and management: coast ecoregion, lessons from the pacific[M]. Springer Press, 1998.56—68.
- [9] McKinney D C, Cai X, Rosegrant M W, et al. Modeling Water Resources Management at the Basin Level: Review and Future Directions [N]. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 1999.
- [10] 王浩,陈敏建,秦大庸.西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [11] 中国工程院“西北水资源”项目组.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究[J].中国工程科学, 2003,5(4):1—26.
- [12] Noblesse F. The Green Function in the Theory of Radiation and Diffraction of Regular Water Waves by a Body[J]. Journal of Engineering Mathematics, 1982, 16(2): 137—169.
- [13] 王浩,王建华,秦大庸,等.现代水资源评价及水资源学学科体系研究[J].地球科学进展,2002,17(01):12—17.
- [14] 裴源生,赵勇,张金萍.广义水资源合理配置研究(I)—理论[J].水利学报,2007,38(1):1—7.
- [15] David C D, Robert M H. Agriculture and water conservation in California, with emphasis on the San Joaquin valley [M]. Technical report, Department of Land, Air and Water Resources University of California, Davis, October, 1982.
- [16] Keller A, Keller J, Seeker D. Integrated water resources system: Theory and policy implications [R]. Research Reports, Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute, 1996.
- [17] 蒋云钟,赵红莉,甘治国,等.基于蒸腾蒸发量指标的水资源合理配置方法[J].水利学报,2008,39(6):720—725.
- [18] 沈振荣,汪林,于福亮,刘斌.节水新概念—真实节水的研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [19] Nicolas Roost, David Molden. Identifying water saving opportunities: examples from three irrigation districts in China's Yellow River and Yangtze Basins [C]? Proceedings in the 1st International Yellow River Forum on River Basin Management. Zhengzhou, 2004.
- [20] 李彦东.控制 ET 是海河流域水资源可持续利用的保障[J].海河水利,2007(1):4—7.
- [21] 赵瑞霞,李娜.基于 ET 管理的水资源供耗分析——以河北省临漳县为例[J].海河水利,2007(8):44—46.
- [22] 汤万龙,钟玉秀,吴涤非,邓丽.基于 ET 的水资源管理模式探析[J].中国农村水利水电,2007(10):8—10.
- [23] 梁薇,刘永朝,沈海新.ET 管理在馆陶县水资源分配中的应用[J].海河水利,2007(4):52—54.
- [24] Thomann V R, Mueller J A. Principles of surface water quality modeling and control[M]. Harper and Row Publishers, New York, 1987.
- [25] 王同生,朱威.流域分质水资源量的供需平衡[J].水利水电科技进展,2003,23(4):1—3.
- [26] 吴泽宁,索丽生,曹茜.基于生态经济学的区域水质水量统一优化配置模型[J].灌溉排水学报,2007,26(2):1—6.
- [27] 严登华,罗翔宇,王浩,等.基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究—以河北省唐山市为例[J].自然资源学报,2007,22(3):322—328.

- [28] 张世法,汪静萍.模拟模型在北京市水资源系统规划中的应用[J].北京水利科技,1988,34(4):1—15.
- [29] 王浩,秦大庸,王建华.流域水资源规划的系统观与方法论[J].水利学报,2002(8):1—6.
- [30] 王浩,秦大庸,王建华,等.黄淮海流域水资源合理配置[M].北京:科技出版社,2003.
- [31] 王顺久,侯玉,张欣莉,丁晶.中国水资源优化配置研究的进展与展望[J].水利发展研究,2002,2(9):9—11.
- [32] 秦大庸,吕金燕,刘家宏,王明娜.区域目标 ET 的理论与计算方法[J].科学通报,2008,53(19):2384—2390.
- [33] 水利部世行项目办.“世行贷款节水灌溉项目”调查报告[R].2006.
- [34] 周祖吴.有限供水条件下水库和田间配水整合优化调度[D].武汉:武汉大学,2002.

Comprehensive water resources and environment planning based on generalized evaporation/transpiration water consumption control I. Theory

ZHOU Zuzhao, WANG Hao, QIN Daoyong, SANG Xuefeng

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Based on the concept of generalized evaporation-transpiration (ET) water consumption control, the theory, connotation and idea for comprehensive water resources and environment planning are investigated. The mechanism of regulation and control, principles and objectives of planning are analyzed. A five-step decision making process, including the determination of objective ET, formulation of schemes, simulation of situation, appraisal of schemes and recommendation of adopted scheme setting, is proposed. On this basis, seven indexes for controlling of the total amount of water volume and water quality are suggested for establishing the planning framework.

Key words: generalized evaporation-transpiration (ET); water consumption control; water resources; water environment; comprehensive planning

(责任编辑:韩 昆)

《水利学报》征订启事

《水利学报》创刊于 1956 年,是中国水利学会主办的综合性学术刊物,是水利行业创刊最早、国内外最具影响的学术期刊,在水利工程类核心期刊中排第一位,被国内外多家检索系统收录。《水利学报》刊登反映水利、水电、水运领域较高水平的学术论文、专题综述和工程技术总结,开展学术论文的讨论和评论,介绍国内外科技动态和消息。主要专业范围包括:水文及水资源、防洪、灌溉及排水、水力学、泥沙、河港及水运、岩土工程、水工结构及材料、水利水电施工及监理、水力机电、水利经济、水环境、水利史研究等。本刊邮局发行,邮发代号 2—183。每册 30 元,全年订价 360 元。

主 编:陈炳新 国内统一刊号:CN 11—1882 TV 国外代号:M216

地 址:北京海淀区复兴路甲 1 号院中国水利水电科学研究院院内 邮政编码:100038

投稿网址:<http://jhe.ches.org.cn>

联系电话:010—68786919;68786221;68786238;68786262

传 真:010—68786262

E-mail:slxb@iwahr.com

《水利学报》编辑部