

水资源合理配置及其水量调控模式

方红远¹, 王 浩², 甘 泓²

(1. 扬州大学 水利与建筑工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

【关键词】 水资源合理配置; 四水转化; 水量调控

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1671-1408(2003)06-0014-06

1 水资源合理配置涵义及特征

1.1 水资源合理配置涵义

水资源既是国民经济发展不可替代的必备资源, 又是人类和生态环境系统赖以生存的基础物质条件, 它具有资源的、社会的和环境的属性特征。在一定的区域范围内, 水资源总量基本上是定数, 这体现了水资源的有限性; 随着社会经济的发展, 水资源用途和用量的扩大, 供需矛盾逐渐突出, 水资源的稀缺性也愈来愈明显。水资源合理配置不仅涉及水资源及水资源系统概念的界定, 而且与社会经济系统运行、生态环境系统变化以及社会可持续发展思想、科学技术水平等诸多因素有关。思考问题的出发点不同, 对水资源合理配置涵义的理解有所不同, 但水资源合理配置内涵应该包括这样几个内容: (1) 水资源配置应限定在一定的地域范围内 (区域或流域); (2) 用以配置的水资源的形式是多样的 (地表水、地下水、外调水、回用处理污水、微咸水等); (3) 水资源配置须遵守一定的分配原则; (4) 水资源配置的措施包括工程的和非工程的; (5) 实行水资源配置的区域存在多种利益集团 (不同的用水户或开发利用要求者); (6) 水资源配置系统的功能是综合的、多目标的 (不仅仅是供水, 而是兴利与除害兼顾); (7) 水资源合理配置系统的状态应是动态变化的 (要考虑社会发展、技术进步水平、社会可持续发展要求等); (8) 生态环境用水应与国民经济生产用水一样, 作为需水结构中的重要组成部分; (9) 根据区域范围的大小和水资源系统结构及其边界

条件的复杂性, 水资源配置还应具有层次内涵。

因而, 《全国水资源综合规划技术大纲》对水资源合理配置的定义是: 水资源合理配置是指在流域或特定的区域范围内, 遵循有效性、公平性和可持续性的原则, 利用各种工程与非工程措施, 按照市场经济的规律和资源配置准则, 通过合理抑制需求、保障有效供给、维护和改善生态环境质量等手段和措施, 对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的调配。

1.2 水资源合理配置的特征

水资源配置除了具有一般资源配置的特征以外, 还具有其本身的一些特点: (1) 资源配置的社会公平性原则, 不仅要强调社会各经济部门和社会各阶层的需要, 更要强调水作为生物生命的基本保障而要求的每个个体生命对水的获取权利; 因此, 水资源配置的有效性原则必须在此公平性原则的基础上达到。 (2) 水资源的环境属性要求作为环境资源重要组成部分的水资源, 在配置的公平性原则上, 还要考虑生态环境系统对水的需求权利; 环境资源对自然生态系统的平衡和演化以及人类社会发展的影响及支撑作用是不言而喻的, 但这种影响和支撑作用尚难以量化, 这也表示着生态环境的需水要求不能通过市场机制的调控来满足。 (3) 水资源的多属性特征和水资源系统的生态经济复合系统特征都寓示着, 水资源配置的原则和方法不能等

收稿日期: 2002-11-26

作者简介: 方红远 (1963—), 男, 副教授。

同某些一般自然资源的配置,它必须考虑人类社会、自然生态系统和水资源技术系统之间的关系协调,谋求水资源生态经济复合系统的最佳综合功能。

从本质上说,水资源合理配置的目标是要妥善处理“社会—经济—环境”这一复杂的综合系统在其发展演变过程中,人类社会系统、宏观经济系统、生态环境系统等与水资源系统相互依存和相互制约的定量关系。用水竞争性和投资竞争性是水资源合理配置中的主要矛盾焦点。水资源量不足、工程容量有限以及水环境恶化导致水质下降等原因在用水数量、用水时间、用水地区和用水部门上普遍产生了冲突,具体表现在国民经济各部门之间和各地区之间的水资源分配上,以及国民经济生产和生态环境之间对水资源的要求上^[1-2]。水资源合理配置的根本解决途径又是要依据系统性、有效性、公平性、可持续性目标,在水资源开发利用上实施合理的工程措施和非工程措施;而这些工程措施和非工程措施的运用又必将引起社会经济发展和水资源利用之间的投资竞争。

2 水资源合理配置中的科学基础和技术手段

2.1 水资源合理配置中的科学基础

水资源合理配置研究与实践从根本上说,是一个具有多学科、多层次、多目标和复杂理论结构的综合专业领域。在一定区域范围内的水资源合理配置要统筹考虑宏观经济系统、生态环境系统和水资源系统组成的复合系统,应以社会、经济及环境协调发展为目标,运用多学科理论和技术方法妥善处理各目标在水资源开发利用上的竞争关系,实现区域社会经济和生态环境的综合良性发展。要确保水资源合理配置目标的实现,必须从宏观经济理论方面研究区域合理产业结构及其需水结构,从水资源转化机理和水利工程学方面研究区域供水规模及保证程度,从生态学、环境学理论方面研究区域水环境承载力、生态系统平衡及其保护,从经济学、资源学方面研究区域水资源开发利用程度,从决策科学、系统学和多目标规划理论方面研究区域水资源分配以及不同目标在水资源开发利用上竞争关系的处理。

水文学理论是研究水资源转化机理的重要手段,是研究分析水资源合理配置中可持续利用目标能否实现的基础理论之一。流域或区域水循环的正常永续进行是水资源可持续利用的自然法则,应用

水文学理论研究区域水资源形成转化模式、气候变化对水资源形成转化的影响、人类活动对水资源形成转化的影响、水文预报信息的可靠性及其对水资源合理配置的影响、水情信息的量测实验及水信息系统中水文参数和水文模型构建等,都是水资源合理配置研究中的重要基础内容。

水资源合理配置的生态学意义在于强调区域水资源开发利用不仅要促进社会经济发展,而且不能忽视维持生态系统平衡和保护。要保持“社会—经济—生态”复合系统协调发展,就必须重视生态系统与水资源系统间的关系,通过研究水资源时空变化对生态系统的影响、满足区域生态保护目标的最小生态需水及适宜生态需水等,达到面向生态的区域水资源合理配置目标。

无论从区域社会经济发展给生态环境带来的危及人类生存的负面影响方面,还是从水质恶化所造成的水资源短缺方面,都要求水资源合理配置必须考虑环境效益,与区域水资源承载能力相适应的水资源开发利用方式和规模本质上应包含区域水环境承载能力也得到满足的概念。通过水资源合理配置,不仅要增强区域水资源承载能力,而且要约束社会经济发展应在水环境承载能力之内。因此,环境学之所以构成水资源合理配置的科学基础之一,其意义是显而易见的。一般来说,一个区域的水环境通常由河道水环境、湖泊(湿地)水环境、河口水环境、地下水环境等组成,而以上各部分水体又是地表和地下水量的组成部分。

在工程性和非工程性措施组成的水资源配置系统中,工程性措施是实现水资源合理配置的基础条件,离开工程性措施及其组成的体系就无法达到合理配置的目标。水资源合理配置的工程性措施包括水源工程(蓄、引、提工程,地下水井群)、输水工程(管线、涵闸、渠道、河道)、制水工程(自来水厂、泵站)、排水工程(雨洪系统、工厂污水系统、生活污水系统)、污水处理工程(一级处理、二级处理、排海工程)以及水源涵养工程(雨水利用工程、地下水回灌工程)等^[3],以上各项工程的相互关系、工程容量、结构形式、设计标准、工程布局、建设投资顺序等均是工程学的研究内容。

宏观配置和微观配置是水资源配置中的两个概念层次。基于宏观经济学理论中投入产出分析的产业结构调整,是确定区域社会经济发展规模及其相

应需水结构的依据,根据宏观经济理论得出的区域社会经济发展计划和目标以及区域水资源规划是否恰当,是衡量宏观水资源合理配置的具体标准。各经济门类及产业部门内的水资源配置应运用微观经济理论加以分析研究,水资源在多个用户之间的分配应符合边际成本与边际效益相等的原则。水价格与水资源配置、水投资与水资源配置的合理关系确定,都需要经济学理论的广泛支撑。

水资源合理配置要通过工程性和非工程性措施来解决区域内不同用户对多种水源的分配,以及满足其对水资源开发利用的不同要求。水资源系统的复杂性和水资源开发利用的多功能性,必然要求多部门或多个利益集团参与水资源配置决策,这就决定了水资源合理配置的多目标决策特性。多目标决策方法已成为现代水资源复杂系统优化规划及运行研究的重要手段,水资源合理配置中的水源分配、工程系统布局及建设、工程性和非工程性配置措施优化组合、水资源约束下的区域“社会—经济—生态”系统协调发展模式确立等均离不开决策学理论和方法,具有多目标、多层次、多阶段以及多决策者、风险性特征的决策手段在其中更具有实用价值。

属于自然资源范畴的水资源具有有限性、再生性、流动性及分布不均匀性,而属于社会、经济、生态范畴的水资源尚具有不可替代性、多用途性、文化性、环境资源性等。水资源合理配置不仅受到水资源的自然资源特性影响,也受到其社会、经济、生态属性特征的影响,因此,资源科学与资源利用方面的理论方法也构成了水资源合理配置的理论基础。但是,水资源配置的原则、目标和方法具有其他多数自然资源所没有的特征。

流域或区域社会经济的完整性、水资源系统的整体性、流域水循环及水资源转化的连续性、水资源配置的层次性和全局统筹性,毫无疑问都要求水资源合理配置必须遵循系统学原理。现代水资源系统的“社会—经济—生态”复合系统特征尤其强调系统内部各子系统间相互作用、相互依存的协调关系。水资源合理配置的多层次、多目标特性以及复杂系统结构处理也标志着系统科学理论在这一领域必须占有重要地位。

2.2 水资源合理配置的技术手段

尽管水资源合理配置研究中有许多理论,如合理配置内涵、原则、目标、科学基础范畴、方法以及与

合理配置相关的领域界定等仍需要进一步深化和完善,但水资源合理配置的技术手段在总体上不外乎水文学理论、水资源系统分析方法、水资源经济学、信息理论和计算机应用技术。具体地说,这些技术手段包括区域基础水文分析、水量转化机理描述及降雨径流模拟、水量调控数学模型描述、系统调度模型优化求解、信息管理系统、决策支持系统、生态环境学理论、技术经济分析、定量定性评价方法、多目标决策分析等。

3 水资源合理配置中的水量调控与“四水”转化关系

3.1 天然水循环中的“四水”转化机制

在地球引力、热力、毛管作用力等多种外力的作用下,地球水圈中的水不断运动,并在气态、液态和固态三者之间交替变化。在质量守恒定律的支配下,水的这种循环往复运动始终保持着连续性^[4]。水通过水文循环,往复于陆地、海洋、大气层之间,支持物质循环、能量转换和信息传递的运转,也保持着可恢复更新的自然资源特性。水循环是一个完整的有序动态系统,它把水圈中的所有水体——地表水、土壤水、地下水、海洋水、生物水等联系在一起,影响着地球物理化学生物演变过程,也是全球气候变化的重要影响因素。水循环与人类社会经济活动也有着相互作用,人类利用水循环不断获得再生的水资源使社会经济发展,同时,人类对水资源的开发利用又不断地对水循环产生影响。

水循环是一个可以分解成若干个子环节的复杂系统,每一个子环节都可构成一个子系统。能将水循环过程特征化的“四水”或“五水”转化机制,就是对水循环系统的一个典型分解。“四水”转化是指大气、地表、土壤(包气带)及地下水(饱和带)中水分之间的交换或转化。大气水分通过凝结作用变成液态和固态降水,大气水进而转化为地表水、土壤水及地下水,而地表水、土壤水及地下水又通过蒸发、蒸腾等作用,上升到大气层形成大气水分。

3.2 国民经济生产用水侧支过程

社会经济生产用水以“供水—用水—耗水—排水”形式构成了社会经济侧支水循环过程。该过程中的水循环通量值大小主要取决于社会经济规模及其发展速度,随着人口增长及社会经济发展,这一人工侧支水循环过程对天然水循环过程的影响越来越

大。我国未来社会经济发展格局决定了国民经济用水结构和总量,人口增长与城市化进程、城市产业结构变化与工业总产值提高以及农业发展与灌溉面积增长是未来社会经济发展的主要特征,也是影响水资源需求增长的重要方面。

3.3 人类活动对水文过程的影响

人类活动对自然水文过程的影响是多方面的,它主要包括人类经济活动所导致的土地利用变化、大农业结构调整及其生产方式改变、区域工业化和城市化迅速发展、矿产资源开发以及区域水资源开发利用等,其中尤以土地利用变化的影响为甚。土地利用或土地覆被变化是全球变化的重要组成部分,土地资源的利用与其他自然资源的利用关系密切,尤其是与水资源利用关系更为紧密,而我国的水土资源分配极不平衡,水资源是土地利用的重要限制因素,特别是在严重缺水地区^[5]。土地利用变化改变了地面植被结构,使得蒸发、土壤含水量、径流、下渗等水量循环因素发生了变化,区域水量转化受到较大影响。

而水资源开发利用本身对流域水文过程的影响也不容忽视^[6]。随着社会经济的发展,水资源需求量越来越大,因而区域水资源的开发利用程度也越来越高,尤其在水资源紧缺而国民经济发展规模较大的区域,水资源开发利用程度已经接近或达到极限,如华北的海河流域已高达99.7%。在流域内拦河筑坝、修库建闸、开采地下水、跨流域或区域引水等都是水资源开发利用过程中不可缺少的工程措施,对调节区域水量以满足社会经济的发展需要作用巨大,但在另一方面,对区域水资源的形成转化也产生较大的影响。对于一个流域,水资源开发利用中的水利工程建设无疑会改变河川径流的时空分布,但由于蓄水工程的增加也使得流域蒸散发量增大;河川径流总量减少和径流系数变小是流域中水资源开发利用所造成的直接影响,许多研究成果都证明了这一点。

3.4 水资源循环转化与社会经济用水过程间的相互影响

天然状态下流域水资源的形成与“四水”转化过程紧密相联^[2]。大气降水 P 一般转化成河川径流 R 和蒸散发 E 两部分,其中河川径流 R 包括地面产流 R_s 和地下径流 R_g (由壤中流 R_{g1} 和河川基流 R_{g2} 构成)两部分;蒸散发 E 包括水面蒸发 E_w 和陆面蒸发 E_s ,

而陆面蒸发又包括土壤(裸地)蒸发 E_b 和植被腾发 E_v 。在水平方向上,由降雨产流(蓄满产流或超渗产流)机理知,降水在下垫面将形成坡面流 R_s 和壤中流 R_{g1} ,同时地下水不断排泄形成河川基流 R_{g2} ,三者共同组成河川径流。在垂直方向上,降水对地下水的补给包括两部分,一部分补给量最终以潜水蒸发 E_g 的形式排泄,另一部分补给量最终以河川基流 R_{g2} 的形式排泄。降水中除去形成地表径流和入渗补给地下水以外的部分,还有一部分土壤水,这部分水分有的能被植物直接吸收利用,其余的则在土壤介质中滞留一段时间后又以包气带蒸散发的形式返回到大气中。

上述天然状态下的“四水”转化过程,在社会经济生产侧支用水过程的影响下会发生较大变化,且这种影响表现在时间和空间两个方面。图1为天然“四水”转化过程与社会经济侧支用水过程在水量交换上的相互关系示意。取水系统根据国民经济需水结构和需水量要求,从地表水和地下水中提取水量,并经过输水系统在时间和空间上进行分配;这一过程将极大地改变流域或区域内天然状态下原有的地表、地下水体蓄存量,山区水资源量向平原地区大量转移,流域的水面和陆地蒸发经受干扰以及由于水量下渗的时空变化而导致地表—地下水转化(在水平和垂直两个方向上)的特征改变,流域土壤含水量及其分布发生变化,从而影响后期降雨径流过程中“四水”转化规律。

用水系统的不断扩大和强化,不仅使水资源消耗量逐渐增大,促使取水系统不断加大取水量,也由于用水系统管理不善和效率低下,致使用水过程中的无效蒸发加大。这将使原有的大气水与地表水、土壤水及地下水之间的水量交换过程发生改变。

退水(或排水)系统主要将社会经济用水在耗用过程之后产生的废污水退回到天然接纳水体。社会经济用水产生的废污水除一部分经处理后回用外,其他作为退水又汇集到天然水体,退水系统的运作与取水系统、输水系统及用水系统的运作共同构成一个完整的过程,实现社会经济生产侧支用水过程对引用的水资源进行时空调配。这一不断进行的动态过程对天然“四水”转化过程一直发生着作用,而天然“四水”转化过程的变化(如丰、平、枯年分水量的变化及其各自相异的“四水”转化特征)同样影响着这一侧支用水过程,使社会经济用水需求受到限制。

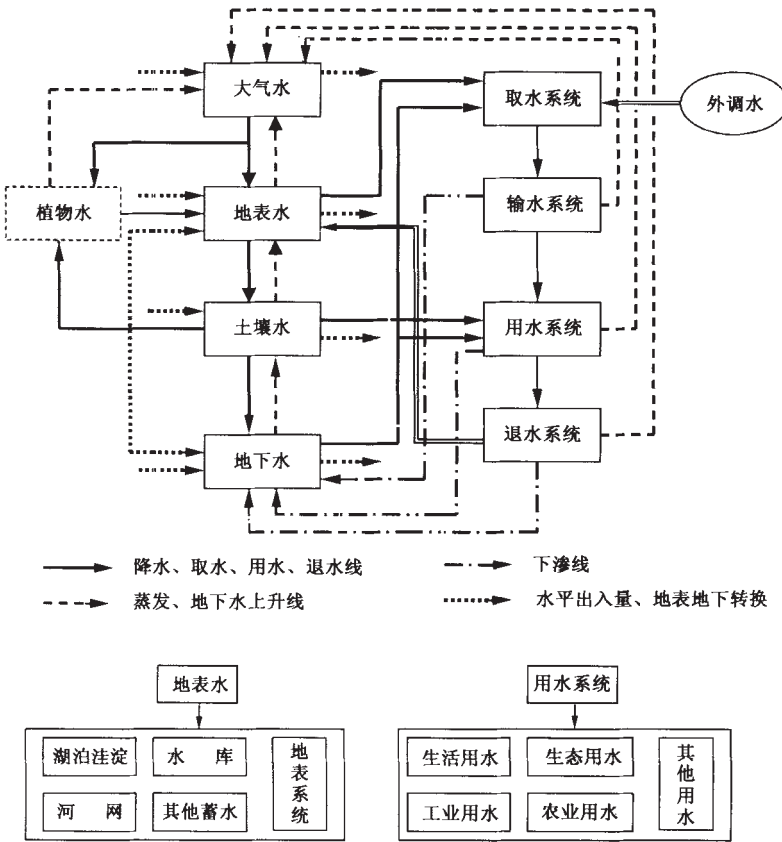


图1 天然与人工水量循环过程关系示意

天然“四水”转化过程与社会经济生产侧支用水过程的这种互相影响、互相作用的关系,使得其在水资源质与量的时空分配上具有耦合作用,切断它们之间的水量分配和运移作用即可实现两种过程的分离。而联接它们之间的这种作用,将两种过程当作一个完整的系统,通过流域水资源合理配置(地表水、地下水、外调水、回用处理污水、咸水和微咸水多种水源在不同用户间的合理分配),完善和优化社会经济用水过程以维持和保护正常的天然水循环过程,恢复和改善生态环境系统平衡。同时,通过一定的调控手段来维持天然“四水”转化过程机能,保证流域或区域水资源量的正常产出,保障社会经济持续发展。只有通过这两种过程的同时有效调控、使之互相适应,才能真正实现“社会—经济—环境”复杂大系统的协调发展,相应的水资源在社会经济过程中的分配才是真正意义的合理配置。

3.5 水资源合理配置的水量调控模式

流域水资源在天然“四水”转化过程与社会经济生产侧支用水过程中的合理运移和调配,是通过两

者之间耦合环节的调控实现的。从天然“四水”转化过程向社会经济生产侧支用水过程的水量运移主要由取水系统完成,而从社会经济生产侧支用水过程向天然“四水”转化过程的水量运移则基本发生在社会经济生产侧支用水的整个过程。取水系统根据社会经济需水要求,通过流域地表水—地下水联合调度运用从天然“四水”转化过程中获得必要的水量;而社会经济生产侧支用水过程的各子过程特征决定了向天然“四水”转化过程返回水量的时空特性和数量。显然,这就是两种水量运动过程间的耦合作用。

对于一个流域或区域,根据上述天然“四水”转化过程与社会经济生产侧支用水过程组成的系统特征,可将其系统水量调配运行优化模型表述为

$$\text{Max } Eval = \{S, G, E\} \quad (1)$$

$$\text{S.T. } P_t - R_s - R_{g1} - R_{g2} - E_t - ET_1 = 0, \quad t=1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$DW_t - DI_t - DD_t - DA_t - DE_t - DO_t - ET_t - FT_t + RW_t + EX_t + CW_t = 0, \quad t=1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$R_s + R_{g1} + R_{g2} - E_t + EX_t - DW_t - ET_t + FT_t + RW_t = \Delta W_{s_t} + \Delta W_{g1_t} + \Delta W_{g2_t} \quad t=1, 2, \dots, T \quad (4)$$

$$gh_i(P_t, R_s, R_{g1}, R_{g2}, E_t, ET_t, \Delta W_{s_t}, \Delta W_{g1_t}, \Delta W_{g2_t}, t) \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, I \quad j=1, 2, \dots, T \quad (5)$$

$$gs_j(DW_t, DI_t, DD_t, DA_t, DE_t, DO_t, ET_t, FT_t, RW_t, EX_t, CW_t, t) = 0 \quad j=1, 2, \dots, J \quad j=1, 2, \dots, T \quad (6)$$

式(1)为目标函数,评价函数 $Eval$ 中 S, G, E 分别表示社会效益、经济效益和环境效益; $P, R_s, R_{g1}, R_{g2}, E$ 分别为降雨量、地表径流量、壤中流量、地下径流量和天然循环过程中蒸发量; DW, DI, DD, DA, DE, DO 分别为流域内取水量、工业用水量、生活用水量、农业用水量、生态环境用水量和其他用水量; ET, FT, RW, EX, CW 分别为社会经济生产过程蒸发量(等于当地取水蒸发量 ET_1 和外调水蒸发量 ET_2 之和)、下渗量、经济用水退水量、流域外引水量和重复利用水量; $\Delta W_s, \Delta W_{g1}, \Delta W_{g2}$ 分别为流域地表水蓄变

(下转第 49 页)

制下,如何树立风险意识,建立风险机制值得探讨。事业单位办的企业、公司也多半是国有独资,名义上叫公司,实际上人事制度按事业管理,分配制度按企业管理,出现了亏了是国家的,赚了是自己的现象,实际上是国有资产遭受损失。经营项目很少是通过市场竞争得来的,而是通过主管部门等行政对口关系得来的,没有压力或者压力不大。这种“政事不分”的直接结果是“事企不分”,间接结果是“政企不分”。这就是为什么水利事业单位办的企业风险意识不强,没有建立风险机制紧迫感的症结所在。一位私企老板形象地比喻:国有单位就像国家的儿子,到什么时候都有保障,没钱花找父母要。私营企业就像野生动物,自强不息,自我发展,否则就自生自灭。东艺鞋业有限公司的老总说,国有单位和私营企业出国考察的目的和结果完全不一样。我们去意大利考察,抓紧时间,一丝不苟地学习意大利的制鞋技术和工艺,回来马上改进,应用到生产中去;国有单位的考察人员去了之后忙着去威尼斯玩,回来交一份考察报告就没事了。

民营企业产权机制和风险意识启示我们,要解

决事业单位“等、靠、要”的习惯势力,以及由此带来的人员臃肿、人浮于事、效率低下等顽症,最根本的是要改革现行体制和机制,进行体制创新和机制创新,真正实行政事分开、事企分开,彻底解决事业单位人员对本单位发展的关切度问题。

综上所述,为什么民营企业蓬勃发展,水利事业单位几经改革仍存在种种弊端,道理很简单,民营企业是自己的,水利事业是国家的。这是问题的本源,也是对水利事业单位改革的重大启示。这个启示向我们提出了一个尖锐且不可回避的问题:国有的水利事业单位如何进行体制创新,真正解决人们对本单位发展的内在动力与关切度?

诚然,事业单位的改革是一项庞大的系统工程。不但要有内部的机制和政策,还要有外部的环境和保障。国家对此已有统一部署,并正在制定有关政策和开展有关试点工作。每个事业单位,要按照国家的有关部署,在有关配套政策没有出台前,积极进行内部的各项改革,不断适应各项事业的发展需要,为我国全面建设小康社会提供应有的服务。

(责任编辑 尹美娥)

(上接第 18 页)

量、土壤水蓄变量和地下水蓄变量;式(2)为流域天然水量平衡方程;式(3)为社会经济用水过程水量平衡方程;式(4)构成上述两个过程的耦合条件,其中 DW 、 ET 、 FT 、 RW 、 ΔW_s 、 ΔW_{g1} 、 ΔW_{g2} 等为耦合变量;式(5)为流域天然水文循环过程中的约束条件函数,包括流域水循环过程规律、流域“四水”转化数量关系、水循环要素组成结构特征、流域产生汇流机制等作用条件;式(6)为社会经济用水过程中的约束条件函数,包括社会经济结构布局规划、多种需水特征、地表水及地下水联合优化运行调度策略、工程和非工程措施等作用条件,式中 t 为时间变量, T 为规划期, i 、 j 为约束条件数变量, I 、 J 分别为两类约束条件总数。

4 结 语

从可持续发展观点出发,水资源合理配置应在社会经济系统和生态环境系统构成的复合系统上进行。以往的保障社会经济发展占主导地位的水资源开发和配置模式,不仅不能有效保证社会经济的可

持续发展,而且还不断削弱和破坏与社会经济发展密不可分的自然资源环境的生存能力。在完整的社会—经济—环境复合系统上,根据水资源循环转化过程和社会经济用水侧支过程的各自特点以及两者之间的相互影响关系,进行水资源合理配置研究在理论及方法上均具有相当的合理性和现实意义。

参 考 文 献

- [1] 钱正英,张光斗主编. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] 水利部南京水文水资源研究所,中国水利水电科学研究院水资源研究所. 中国 21 世纪水供求[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [3] 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.
- [4] 黄秉维,郑度,赵名茶等. 现代自然地理[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [5] 侯学煜. 中国自然生态区划与大农业发展战略[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [6] 沈振荣等. 水资源科学实验与研究——大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.

(责任编辑 刘洁)