

# 基于水质的水资源模型与水质经济学初探<sup>\*</sup>

陈吉宁 傅 涛  
(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘要** 在对传统的以水量为核心的水资源模型理论与实践矛盾的分析基础上, 阐述了水资源社会及自然循环规律, 提出城市- 流域系统中水资源利用的水质自然与人工再生过程和自然、人工修复的双要素。提出水质再生和水量循环的水资源模型及其假设和约束条件, 确定了模型适用的边际条件和范围, 据此进一步辨析了城市污水回用与再生水的异同, 将再生水置于流域尺度的城市群上下游用户层面, 提出污水回用(包括中水利用)是降低需求, 再生水是增加总量的基本结论。在以水质为核心的水资源模型基础上, 对现有水资源经济学定义进行了修正和补充, 提出了水质经济学的基础概念, 并讨论了水质经济学指导下的供水服务和价格模型结构, 重新定位了再生水的战略并提出以流域水体的净化成本和人工水质改善成本共同形成的全成本高低来表征流域水资源短缺程度的缺水等级划分新思路。

**关键词** 水资源; 再生水; 水质经济学; 城市; 流域

**中图分类号** F062.1      **文献标识码** A      **文章编号** 1002- 2104(2009)06- 0044- 05

谈到中国的水资源, 最常见的论点是: 中国是一个干旱缺水的国家, 淡水资源总量约为 27 000 亿  $\text{m}^3$ , 人均约 2 000  $\text{m}^3$ , 仅为世界平均水平的 1/4, 在世界上名列约 120 位<sup>[1]</sup>。这一结论是在传统水资源评价的定义基础上得到的, 即评价区内当地降水形成的地表、地下产水总量, 由地表水资源量与地下水资源量相加、并扣除两者之间互相转化的重复计算量而得<sup>[2]</sup>。在该方法中, 并不考虑评价区之外的客水资源, 是一个地区的发展应该立足于自产水资源保障可持续发展, 统计客水会影响客区的发展权<sup>[3]</sup>。基于这一水资源评价模型, 得出上海的人均水资源量为 200  $\text{m}^3$ /人, 仅为北京人均水资源量的 2/3, 是世界平均水平的 1/40; 位于江南水乡江苏省的人均水资源量只有 630  $\text{m}^3$ /人, 属于严重缺水地区; 而处于干旱、半干旱地区的新疆, 人均水资源量是 4 120  $\text{m}^3$ /人, 按照联合国的标准则属于富水地区<sup>[3]</sup>。显然, 这样的评价结果有悖于基本的常识。但是, 这一缺水标准的评价方法却是许多需水战略工程论证和实施的前提和基础<sup>[4]</sup>。另一方面, 这个运用于需水规划的评价和指导方法, 在具体城市的用水规划中, 却又不尽如此。事实上, 大城市几乎无一例外地在各自的城市用水规划中考虑并使用了客水, 如北京利用了河北的

客水, 而长江沿线的城市几乎无一例外都不同程度地利用了长江的水资源。

## 1 基于水质的水资源模型

### 1.1 水资源的循环与再生

水资源与石油、矿产资源一样是宝贵的自然资源, 但水资源因为具有循环再生的属性而有别于石油、矿产等不可再生资源<sup>[5]</sup>。但是, 这种循环再生性质受制于水的自然循环和社会循环规律。在水的自然循环中, 水以不同的形态存在于不同的空间, 而水资源则是在水的自然循环各环节中所呈现出的人类可以利用的部分。人类对于水资源的提取、净化、利用、排放作为水的社会循环, 容纳于自然大循环之中。

#### 1.1.1 水资源的再生过程

水资源的再生主要有两种形式, 一是在自然循环过程中通过汽态、液态的转变实现了自然再生, 这个循环受制于气候的变化规律; 二是在液态状态下由水质的变化而实现的污染与净化再生, 这个循环受制于社会循环和自然循环的共同作用。在多种形式的水资源利用中, 农业灌溉与农作物利用过程中存在着水的吸收、渗透、蒸发等自然循

收稿日期: 2009- 03- 25

作者简介: 陈吉宁, 博士, 教授, 博导, 主要研究方向为环境科学、水环境与水资源管理。

通讯作者: 傅涛, 博士, 副教授, 主要研究方向为城市水业政策及管理。

<sup>\*</sup> 国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号: 2008ZX07313- 008)资助。

环现象,与水的自然循环过程相互交融。农业用水所提取的水量一般不直接返回水体,而是通过土壤渗透、植物吸收、蒸散等过程实现循环和水量的转移。从这种角度理解,水资源的农业生产循环就是水资源自然循环的子系统。

但是,以城市用水和工业用水为代表的水资源社会循环系统中,其再生过程却有很大的不同。社会循环的大部分过程在封闭的管道系统中进行,人类社会在进行自然中取水、排水的过程时,与自然循环有着较为清晰的边界。用水主体对水资源的取用不会改变水本身基本的化学物理特性,所改变的是水的“质”,这也是水资源区别于石化资源的关键点。

#### 1.1.2 决定水资源再生的要素

水资源再生的核心是让使用后被改变了水质的水通过净化再次具有自然原水的水质特征。水资源的水质再生循环,需要有时间、空间、温度等要素的保证,这些要素来自自然和人工两个方面<sup>[6]</sup>。

(1) 水资源循环自然再生的生态环境要素。“流水不腐”解释了水质修复的自然规律,水资源也是一个具备“时间”和“空间”的联合概念,“流水”就是水自净,去除污染物,恢复水质的过程。水资源的水质循环是一个以水质变化为核心的修复过程<sup>[7]</sup>。在人类活动对水资源、水环境扰动较小的地区和时期,自然修复是完成水质再生的主导因素。水体的自然净化需要一定的水生态系统、动态流量、温度和时间作为保证。中国特有的河流长流程、大流域、高落差和高流动性特点,赋予了河流水资源良好的自然水质修复特性,为水资源的水质再生和多次循环利用提供了良好的自然条件。

(2) 水资源的人工水质修复——污水处理。随着人类社会系统取用水量的加大,排水水质的成分日益复杂和恶化,尤其是工业废水产生了大量自然难以消纳的污染物质,人类活动对自然资源和水环境的污染扰动日益加大,仅依靠水体的自然净化已经难以实现水资源的水质恢复。因此,污水处理作为一种人工强化的水质修复过程,开始进入水质循环的环节当中。污水人工处理的本质就是要通过来自外力的帮助来缩短水资源水质循环和修复的自然空间尺度和时间尺度。

在此基础上,可以得出城市从自然水体中取水,净化为自来水,是一次水质净化过程;自来水经过使用转变为污水是一次污染过程;而污水经过污水处理厂净化向自然水体排放则是一次消除污染的过程;污水处理厂排放的高度净化的处理水经过自然水体的进一步自净又成为再生的原水,这一完整的过程就形成了水质的再生循环。可见,污水处理是这一循环过程中的重要环节,处理后排放

的水质标准越高,则对自然水体的再净化所要求的时间就越短,空间就越小。

#### 1.2 基于水质的水资源模型

对于水资源社会循环的角度而言,水量盈缺仅是一定的时间和空间尺度内的现象,在长的时间尺度以及整体流域的范围之内,水资源会相对保持一定“量”的稳态供应。同时,由于城市用水并非完全封闭,城市取用1t原水净化为自来水使用后,80%的水量形成污水,剩余20%的水则通过其它渠道返回自然循环。由此,我们对以水量为基础的水资源概念进行了修正:在中国,以城市发展为重心的水资源稀缺本质上是一种“水质”的缺失,水资源再生根本上也是水“质”的问题,水质成为水资源评价的主导因素。

基于在城市区域,强化了水资源的再生循环特性后,本文认为需要从“水质”的角度来评价水资源,由此提出了基于水质的水资源模型。

##### 1.2.1 基本假设和主要观点

(1) 水资源作为一种重要的自然资源,在流域范围内其水量上保持相对稳定。

(2) 在以水质为核心的水循环过程中,人类对水资源的取用并非是简单的消耗,而是一个“借”与“还”的过程。“借”是指各用水主体通过不同形式取水,将受到总量的限制,限制的基数包括客水和上游用水主体返回的再生水;“还”是指各用水主体将水量返还水体,将受到水体能接纳的水质标准的限制<sup>[8]</sup>。

(3) 为了能够达到接纳水体的水质要求,“借”水主体需要对使用后的水进行不同程度的人工处理,使其所“归还”的水量通过自然净化,可以最终实现水质的还原和水资源的再生。

$$W = Q(T_{Quality}) \cdot \delta$$

在基于水质的水资源模型假设之下,水量不再成为水资源稀缺的绝对约束条件。我们将水质平衡作为水资源模型的特征变量( $T_{Quality}$ ),将流域内地区或城市可再生循环的基本水量作为基数( $Q(T_{Quality})$ ),把当地污水处理的技术水平和循环利用次数作为乘数( $\delta$ ),计算水资源的可利用总量( $W$ )。在这里,可再生循环的基本水量(可用总量)是评价地区或城市水资源丰度的基础值,它是一个城市可以提取的水资源总量,其以该区域包括客水在内的所有水资源为基数,所占比例决定于流态等因素。

##### 1.2.2 边际条件和适用范围

任何模型的提出,均需要有一定的边际条件,基于水质的水资源模型适用于以下范围:

(1) 模型适用于总量稀缺的流域和地区;

(2) 模型针对城市用水提出,不适用农业用水的分析,因此适用于城市用水占主导的流域和地区;

(3) 由于“借”与“还”的数量并不完全等量, 所以水质再生的次数会受到限制;

(4) 模型中水资源总量的核算单位是流域或城市群。

基于这一水资源模型, 我们认为, 在中国城市集中、人口密集的地区和流域, 解决水资源问题的关键在于水质的控制, 而不仅仅是水量的简单满足; 如果能够实现最大限度的人工净化, 就可以缩短水资源再生的时空尺度。在基本的水量保证的前提下, 水资源是可以有限制地多次重复使用的。为了保障基本水量, 水利工程建设的水量分配需要兼顾自然再生过程所需要的净化基本流量; 水资源量的循环本质上是一个“好借好还”过程, 上游用户排放的符合环境接纳要求的水质, 是下游用户“好借”的基础。

### 1.2.3 水资源模型应用的流域尺度

水资源的循环使用存在着家庭、小区、城市和流域不同的空间尺度。在家庭内部将洗涤用水用于冲刷, 是一种家庭节水措施; 在小区将“灰水”应用于小区绿化, 是一种水的综合利用措施; 在一个城市中将污水深度处理后回用于工业, 是污水回用措施; 在流域中上游的排水经过人工处理和自然净化成为下游的水源, 这才是水资源的再生。

因此, 从流域的上下游水资源共享与协同角度来看, 流域尺度最符合自然水体的水质循环再生规律。首先, 在自然状态下, 水资源自上游流向下游水的总量保持一定平衡(基本流量), 取水、用水、排水所产生的变化主要是水质的变化; 其次, 上游用户的排水是下游用户取水的基础; 第三, 污染治理和再生复原环节由上游用户完成, 下游用户受益。第四, 流域协同才能有效保证水体的流态, 下游用户的受益, 也必然惠及上游用户。如果不能在流域尺度上考虑水资源的循环再生, 必然造成流域上下游各自为政, 盲目拦截水资源, 各个地方通过污水最大限度的回用实现本地区的水资源的闭合循环利用, 没有提供给下游用户一定的水质再生基本流量, 剥夺了下游用户的再生权利。离开流域协调, 在单个城市实施的被称为“再生水”而实质上是污水回用的工程规划, 只会考虑自身的环境利益和自己的资源利益, 难以顾及下游的资源需要。

## 2 水质经济学的基本内涵

在基于水质的水资源模型之下, 流域水资源总量不仅受制于传统水资源总量, 而且受制于取水主体循环利用水资源的次数和利用量, 而循环利用的次数, 又取决于用水主体所排放水质的优劣以及水量损失的比例, 而排出水质的优劣取决于处理单位的经济成本。因此, 水资源的核心是水质问题, 而水质问题的核心是净化成本问题, 净化成本是经济问题, 基于此逻辑的经济价值分析是水质经济学的基本思想和理论基础。

### 2.1 水质还原的经济价值

在传统的水资源模型中, 由于忽略水资源的水质循环再生属性, 将水资源简化为单向取用, 这种模型中水资源的价值由两个因素决定: 一是水资源总量稀缺的程度; 二是通过调水增加区域水量的经济成本<sup>[9, 10]</sup>。

在基于水质的水资源模型中, 水资源的稀缺不是简单水量的稀缺, 而是附加在水量之内的水质变化所造成的可用水量的稀缺。因此, 在流域水资源总量稀缺, 但是能够满足单体城市或区域取水不影响流域生态流量的前提下, 水资源的价值不仅由流域的总体稀缺程度所决定, 还包括水质还原或部分还原的经济成本, 再生水的“归还”机会成本在内的全成本价值决定。在总量稀缺且达到不能满足单体取水的流域地区, 才需要跨流域调水, 在这种条件下, 水资源价值首先取决于调水的成本, 其次包括水质还原或部分还原的经济成本。

在这里, 水质的还原价值, 从系统热力学角度来看, 由清变浊是一个系统熵值的增加过程, 水质的还原则是一个通过外界能量的输入减少熵值的过程。因此, 水质还原的经济价值本质上应是水质变化的能量消耗的成本。

### 2.2 水质经济学指导下服务和价格模型

水质经济学概念的提出将促进城市水业产业性质的明确, 城市水业是一个水质净化的环境服务产业, 城市其服务价格本质上并不受到水量的影响, 而是受改变水质的成本影响。也就是说, 城市水业产业链中的各个主体购买或者出售“水”, 实质是转化“水质”的商业或者公共服务, 污染了水质就需要付费, 而净化了水质则获得收益, 服务的价值表现就是水价<sup>[11]</sup>。

目前中国的水价结构中由三个部分组成, 分别是基于稀缺的资源价格(水资源费)、基于成本的工程水价(引水和供水价格)和基于环境达标的环境水价(污水处理和污泥处理费)<sup>[12]</sup>。在水质经济学中, 以水质变化为主线的水循环过程所发生的服务成本, 将以新的组成内容统一纳入到水质经济学的价格体系中。它们分别是: 通过人工污水处理, 使水质还原到自然水体可以接受的成本价格(资源再生价格); 水资源提取、净化和服务的工程服务价格(工程水价); 水体再生水进入流域下游而非自身回用的机会成本价格(流量补偿价格)。

## 3 理论的创新应用

### 3.1 水资源总量的理论值与经济值划分

按照基于水质的水资源模型, 理论上如果包括客水的评价区的可利用总量( $W$ )能够满足城市或工业的单体取水总量要求, 并且用水单体排出的水质和水量均能满足流域水质自然净化的需要, 则该区域不存在着水资源量的制

约, 制约的只是水质净化和还原的经济成本。

但是, 在实际应用中, 则需要考虑以下因素: 一是返回量的制约, 即取用水量排回自然水体的比例, 排回水量的减少, 对下游单体取水量形成了制约; 二是取水量的制约, 即汲取水量所占总流量的比例, 它决定了自然水体的自然水质净化的能力; 三是空间制约, 即上下游不同取水单体之间的距离, 它也是自然水质再生的决定因素; 四是排出水的水质, 它决定了自然水质再生的时空要求; 五是温度、地质、生态等自然因素的制约。考虑这些制约因素的共同作用, 可以得出被评价区域的可利用水资源总量的理论值, 即生态允许的单体的取用水量上限值。

这个上限值并不能在实践中简单的应用, 它还受到经济成本和水价等因素的制约。我们把考虑了经济成本因素的核算的水资源可接受的成本值称为水资源的经济值, 与之对应的水量为水资源经济水量值。一般而言, 满足模型要求实现水质人工净化的成本越高、水价越低, 对应的水资源经济值越小。

### 3.2 再生水战略的重新定位

极度缺水的以色列通过 20 多年的投资和努力, 水的再生率达到 70%, 这受制于其有限的国土面积, 没有实现再生所需要的足够空间, 只能强化人工处理的作用, 来最大限度地缩小再生所需要的空间要求。相对而言, 中国水资源水质再生的自然条件要优越的多, 长流域、大水量的河流特征都提供了非常好的水资源再生条件。但是有两种因素束缚了中国水资源的水质再生, 一是达不到排放水质要求的污水处理排放, 极大地降低了再生的能力; 二是水资源管理的地域分割, 缺乏流域协调<sup>[13, 14]</sup>。缺乏流域协调已经成为水资源再生利用的关键制约因素, 在实际工程规划和政策文件中, 再生水战略已经被地区污水回用所替代。

污水回用不是真正达到水质目标或环境功能要求的再生水。污水回用将经过二级处理、符合基本环境标准的污水, 纳入区域内直接回用, 形成了“有借无还”的局面, 造成了流域径流的进一步减少, 虽然一定程度上控制了污染的转移, 但无法满足再生水所需的水体自净基本流量, 使河流失去新一轮循环再生的补给<sup>[15]</sup>。随着河流生态净化基本流量的丧失, 将进一步增加下游“借水”的再生复原的边际成本, 导致全流域水资源的紧张。因此, 污水回用(包括中水利用)实际是一种降低需求的措施, 而再生水则是一种增加有效总量的措施和战略。

### 3.3 缺水等级划分的新思路

在基于水质的水资源模型下, 水资源的缺水等级将以新的方式进行划分。在以水质为核心的水资源模型中, 基于不影响流域生态功能的前提下, 是否可以短期“借出”符

合取水水质要求的、满足区域经济发展水量要求的水资源。作为基准水资源量, 评价流域内一定区域或城市是否缺水、是否需要跨流域调水的基础和评判标准。

在此基础上, 将流域水体的净化(好借)成本和人工水质改善(好还)成本共同形成的全成本高低来表征流域水资源短缺的程度, 并进一步用等级来划分水资源稀缺的水平。在具体划分等级时需要考虑两个方面的因素: 一是满足地区需要取用的水资源总量的生态流量保障成本, 包括可能的、适当的调水成本, 这一成本将受到客水日最低流量的制约; 二是污水处理还原成自然水质再生能够接纳用水的全成本, 这一成本受到下游取水距离、生态流量、下游取水要求的制约。

## 4 结 语

基于水质的水资源模型和水质经济学是针对目前水资源模型中社会属性关联度不足而提出的, 在特定的条件下, 通过水质这一桥梁, 实现了水的自然循环和社会循环的统一, 实现了水在自然属性与社会属性的有机关联, 也实现了水质与水量的统一。

但是, 基于水质的水资源模型和水质经济学是刚刚提出的全新概念, 其理论体系远未完善。这一针对中国水资源特征而提出的全新理念, 会在水资源的经济、产业、管理以及环境政策领域中得到进一步的修正、发展和应用。

(编辑: 王爱萍)

### 参考文献(References)

- [1] 刘昌明, 何希吾等. 中国二十一世纪水问题方略[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 1~ 20. [Liu Changming, He Xiwu et al. 21 Century Water Problem Policy of China [M]. Beijing: Science Press, 2001. 1~ 20.]
- [2] 王双银, 宋孝玉. 水资源评价[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008. 54~ 78. [Wang Shuangyin, Song Xiaoyu. Water Resource Appraisal [M]. Zheng Zhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2008. 54~ 78.]
- [3] 吴季松. 中国可以不缺水[M]. 北京: 北京出版社, 2005. 46~ 67. [Wu Jisong. There is no Scarcity of Water in China[M]. Beijing: Beijing Press, 2005. 46~ 67.]
- [4] 申献辰, 邹晓雯, 杜磊. 中国地表水资源质量评价方法的研究[J]. 水利学报, 2002, 12: 63~ 65. [Sheng Xiancheng, Zou Xiaoxia, Du Xia. Assessment Method for Surface Water Quality [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 12: 63~ 65.]
- [5] 王浩, 秦大庸, 陈晓军等. 水资源评价准则及其计算口径[J]. 水利水电科技, 2004, 35(2): 1~ 4. [Wang Hao, Qing Dajun, Chen Xiaojun et al. Water Resource Evaluate Rule and Calculate Caliber [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(2): 1~ 4.]
- [6] 夏军, 王渺林, 王中根等. 针对水功能区划水质目标的可用水资源量联合评估方法[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 752~ 755. [XIA

- Jun, WANG Miaolin, WANG Zhonggen et al. An Integrated Assessment Method of Water Quality & Quantity Applied to Evaluation of Available Water Resources [J]. Journal of Nature Resources, 2005, 20 (5): 752~ 755. ]
- [ 7] Azevedo G, Gates T, Member ASCE et. al. Integration of Water Quantity and Quality In Strategic River Basin Planning [ J ]. Journal of Water Resource Planning and Management, 2000, 126( 2 ): 85~ 91.
- [ 8] 许保玖. 论水质科学与工程兼论 21 世纪的水处理科技 [ J ]. 工业水处理, 2000, 20( 1 ): 1~ 4. [ Xu Baojiu. On Water Quality Science and Engineering and the Water Treatment Technology of the 21st Century [ J ]. Indust Rial Water Treatment, 2000, 20( 1 ) 1~ 4. ]
- [ 9] 王春元, 杨永江. 水资源经济学及其应用 [ M ]. 中国水利水电出版社, 1999. 1~ 90. [ Wang Chunyuan, Yang Yongjiang. Water Resource Economics and It' s Application [ M ]. China Water Conservancy and Power Press, 1999. 1~ 90 ]
- [ 10] 扎玛, 赵远盼. 水资源价值理论及其应用 [ J ]. 内蒙古农业大学学报( 社会科学版 ), 2003, 5( 4 ): 2~ 4. [ Zha Ma, Zhao Yuanhan. Water Resource Value Theory and It' s Application [ J ]. Journal of Inner Mongolia Agricultural Univrsy ( Social Science Edition ) 2003, 5( 4 ): 2~ 4. ]
- [ 11] 傅涛, 陈吉宁, 常杪等. 城市水业改革的十二个问题 [ M ]. 中国建筑工业出版社, 2006. 59~ 67. [ Fu Tao, Chen Jining, Chang Miao et al. Twelve Questions of Urban Water Industry in Reform Process [ M ]. China Architecture Industry Press, 2006. 59~ 67. ]
- [ 12] 傅涛. 市场化进程中的城市水业 [ M ]. 中国建筑工业出版社, 2007. 64~ 74. [ Fu Tao. Urban Water Industry in Marketable Process [ M ]. China Architecture Industry Press, 2007. 64~ 74. ]
- [ 13] 郑在洲, 何成达. 城市水务管理 [ M ]. 中国水利水电出版社, 2003. 292~ 295. [ ZHENG Zaizhou, HE Chengda. Urban Water Industry Management [ M ]. China Water Conservancy and Power Press, 2003. 292~ 295. ]
- [ 14] Hooper B. Integrated River Basin Governance, Learning from International Experience [ M ]. London: IWA publishing, 2005: 1~ 276.
- [ 15] Kranz R, Gasteyer S, Heintz H et al. Conceptual Foundations for the Sustainable Water Resource Roundtable [ J ]. Water Resource Update, 2004, 127: 10~ 19.
- [ 16] 王忠静, 杨芬, 赵建世, 等. 基于分布式水文模型的水资源评价新方法 [ J ]. 水利学报, 2008, 39( 12 ): 1279~ 1285. [ Wang Zhongjing, Yang Fen, Zhao Jianshi, et al. New Approach for Water Resources Assessment Based On Distributed Hydrological Model [ J ]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39( 12 ): 1279~ 1285. ]
- [ 17] 贾仰文, 王浩, 仇亚琴, 等. 基于流域水循环模型的广义水资源评价 ( I ) —评价方法 [ J ]. 水利学报, 2006, 37( 09 ): 1051~ 1055. [ Jia Yangwen, Wang Hao, Qiu Yaqin, et al. Generalized Water Resources Assessment Based on Watershed Hydrologic Cycle Model I : Assessment Approach [ J ]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37( 09 ): 1051 ~ 1055. ]
- [ 18] 贾仰文, 王浩, 仇亚琴, 等. 基于流域水循环模型的广义水资源评价 ( II ) ——黄河流域应用 [ J ]. 水利学报, 2006, 37( 10 ): 1181~ 1187. [ Jia Yangwen, Wang Hao, Qiu Yaqin, et al. General Water Resources Assessment Based on Watershed Hydrologic Cycle Model II : Applications in the Yellow River Basin [ J ]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37( 10 ): 1181~ 1187. ]
- [ 19] 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, 2007, 17( 1 ): 12~ 17. [ Wang Hao, Wang Jianhua, Qin Dayong, et al. The Study on Water Resources Assessment and Subject System of Water Resources Study on Modern Times [ J ]. Advance in Earth Sciences, 2007, 17( 1 ): 12~ 17. ]

## Water Quality-oriented Water Resources Model and Water Quality Economics Frame

CHEN Ji-ning FU Tao

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** By analyzing the conflict between the theoretical model and the actual applications of traditional water resource evaluation, this article elaborates the process and essential elements of self-recovery and artificial recovery of water quality within the City-River basin Systems. This article proposes a water resource model of water quality recovery and water exchange and further defines the marginal conditions and applicable scope. In doing so, the comparison between urban wastewater reuse and recycle has been made, where water reuse has been defined at a river-basin level and can be expressed as increasing water volume, while wastewater recycling refers to reducing water demand. This article proposes an innovative model-Water Quality-Oriented Water Resources Model-for evaluating water resources, which takes into account the renewable nature of water quality and water recycling. Based on the Water Quality-Oriented Water Resource Model, this article brings out the idea of Water Quality Economics which modifies and expands the idea of the existed Water Resources Economics. Furthermore, water service pricing under Water Quality Economics is discussed. Moreover, the development strategy of reclaimed water is re-considered and a new conception of water scarcity grading is raised based on the sum of purification cost and artificial recovery cost for water body.

**Key words** water resource; reclaimed water; water quality economics; city; river basin