区域水资源承载力概念及研究方法的探讨

段春青[1], 刘昌明[1,2], 陈晓楠[3], 柳文华[2], 郑红星[2]
(1. 北京师范大学水科学研究院，北京 100875;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101;
3. 南水北调中线干线工程建设管理局，北京 100053)

摘要：在总结区域水资源承载力研究历史和现状的基础上，阐述了水资源承载力的内涵和特点，对目前各种水资源承载力的定义进行比较，分析其中深层次的联系，提出了以“可支撑的合理规模”来描述水资源承载能力的概念。在此基础上，从“社会经济—水资源—生态、环境”复合系统角度综合分析了节水措施对水资源承载力的影响，提出了基于现代进化算法的思想的水资源承载力计算思路。将该模型应用于辽河流域水资源承载力的研究中，分析计算了该地区在规划水平年水资源可承载的规模。实例证明，该模型能够综合反映出水资源的承载规模，可以为当地的发展提供科学依据。

关键词：水资源承载力；可持续发展；评价方法；辽河

1 承载力概念的发展

承载力原为一个物理量，指物体在不产生任何破坏时所能承受的最大负荷。在生态学中，其特定含义是指一定环境条件下某种生物个体可以存活的最大数量，1921年帕克和伯吉斯首次将其应用于研究人口问题，并指出在某一地区特定的环境条件下 (主要是指生存空间、营养物质、自然资源等因子的配合)，人口数量存在的最高极限[1]。社会科学中的承载力概念最早出现马尔萨斯时代，马尔萨斯在他的人口增长理论中认为食物是人类生存的必需品，是限制人口增长的主要限制因子。这种资源有限并且限制人口增长的理论对后来的科学研究产生了很大的影响[2, 3]。

20世纪60年代以后，随着人口、资源和环境问题日趋严重，承载力的概念有了进一步发展，并应用到社会—经济—生态复合系统中。20世纪80年代，联合国教科文组织 (UNESCO) 提出了资源承载力的概念：一个国家或地区的资源承载力是指在可以预见到的期间内，利用本地能源及其自然资源和智力、技术等条件，在保证符合其社会文化准则的物质生活水平条件下，该国或地区能持续供养的人口数量[4]。资源承载力包括很多方面，其在实践中的最初应用领域是草地畜牧业。在北美、南美以及亚洲草原地区，由于草地开垦、过度放牧等原因，土地开始退化，为有效管理草原和取得最大经济效益，一些学者将承载力理论引入到草原管理中，他们认为自然生态系统的承载力应该以载畜量来衡量，并且提出了草地承载力、最大载畜量等概念[5]。在资源承载力中研究较早并且研究较充分的是土地承载力，其原因主要是随着全球人口不断增加，一些地区出现了环境恶化和资源短缺，最终导致了粮食危机，面临饥饿威胁，土地粮食生产引起了各国政府的高度重视，于是生物学家和生态学家将承载力的概念发展并应用到人类生态学中，以研究现有土地到底可以承载多少人口[6]。

收稿日期：2009-07-03; **修订日期：**2009-11-03
基金项目：中国科学院学部水问题研究咨询项目 [**Foundation:** Consultation Project for Water Problem Research of the Chinese Academy of Sciences]
作者简介：段春青 (1980-), 女, 博士后。E-mail:xyz5451_cn@sina.com
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

经过几十年的发展，资源承载力已经涉及很多资源领域，例如生态承载力、环境承载力、水资源承载力以及上面提及的草地承载力、土地承载力等等。水资源承载力是承载力概念在水资源领域的应用，是继土地承载力后在资源承载力方面研究最多的内容，已引起学术界高度关注，并成为当前水资源科学中的一个重点和热点研究问题，已有广泛的论述与文献记载。但是，水资源承载力涉及不同地区、不同自然条件的水资源系统、社会经济系统和生态、环境系统，具有不确定性和复杂性，其概念和内涵的界定仍然不够清楚，至今尚未形成统一的认知与理论体系。此外，缺乏能够同时描述水资源承载力模型的不确定性和复杂性的综合模型，致使理论应用不足。本文在总结目前水资源承载力概念和研究方法的基础上，对其定义和内涵以及计算模型进行分析探讨，以期能进一步明确水资源承载力概念，提高评价模型的实用性，为水资源合理配置和可持续发展战略提供技术支撑。

2 水资源承载力定义的研究进展

国外对于水资源承载力的专门研究较少，一般仅在可持续发展文献中简单地涉及。国内的研究成果主要集中在水资源承载力概念、内涵的探讨、水资源承载力评价指标体系的探索以及水资源承载力评价模型和方法的研究等方面。

2.1 关于水资源承载力的已有定义

已有许多学者对水资源承载力提出了各自的见解，但目前为止还没有一个统一的表达，其中具有代表性的解释有以下8种：

(1) 施雅风[7]等解释“水资源承载能力是指某一地区的水资源，在一定社会历史和科学技术发展阶段，在不破坏社会和生态系统时，最大可承载 (容纳) 的农业、工业、城市规模和人口的能力，是一个随着社会、经济、科学技术发展而变化的综合目标。”

(2) 惠泱河[8]对水资源承载力的解释是“某一地区的水资源在某一具体历史发展阶段下，以可以预见的技术、经济和社会发展水平为依据，以可持续发展为原则，以维护生态环境良性循环为条件，经过优化配置，对该地区社会经济发展的最大支撑能力。”

(3) 冯尚友[9]解释水资源承载力为“在一定区域内、在一定物质生活水平下，水资源所能够持续供给当代人和后代人需要的规模和能力。”

(4) 国家“九五”科技攻关“西北地区水资源合理配置与承载能力研究”项目大纲认为水资源承载力[10]为“在某一具体的历史发展阶段下，以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据，以可持续发展为原则，以维护生态与环境良性发展为条件，经过合理的优化配置，水资源对该地区社会经济发展的最大支撑能力。”

(5) 阮本青[11] 解释水资源承载力为“在未来不同的时间尺度上，一定生产条件下，在保证正常的社会文化准则物质生活条件下，一定区域 (自身水资源量) 用直接或间接方式表现的资源所能持续供养的人口数量。”

(6) 何希吾[12]认为水资源承载力是“一个流域、一个地区或一个国家，在不同阶段的社会经济和技术条件下，在水资源合理开发利用的前提下，当地天然水资源能够维系和支撑的人口、经济和环境规模总量。”

(7) 夏军[13]等认为“水资源承载力指某一区域在特定历史阶段的特定技术和社会经济发展水平条件下，以维护生态良性循环和可持续发展为前提，当地水资源系统可支撑的社会经济活动规模和具有一定生活水平的人口数量。”

(8) 许有鹏[14]认为“水资源承载力是指在一定的技术经济水平和社会生产条件下，水资源可最大供给工农业生产、人民生活和生态环境保护等用水的能力，也即水资源最大开发容量，在这个容量下水资源可以自然循环和更新，并不断地被人们利用，造福于人类。同时不会造成恶化。”

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

2.2 水资源承载力概念的分析

综合上述水资源承载力的概念，分析如下：

(1) 可以看出水资源承载力的概念大体可分为三类观念：一种观点是将其定义为“水资源的最大支撑能力”，另一种观点认为应以“水资源的最大支撑规模”来刻画，还有用“水资源的最大开发容量”来描述。三类定义各有优缺点：

以“水资源的最大支撑能力”或“水资源的最大开发容量”来描述水资源承载力的概念比较直观，直接评价水资源的支撑能力或最大开发容量，但不能反映出可以支撑的社会、经济的规模以及满足生态环境的良性发展的程度；“最大支撑规模”能够清楚提供水资源可支撑的发展规模，更方便为发展决策提供依据，但“最大规模”概念难以界定，而且规模涉及到社会、经济、环境多个方面，各类规模大小的确定基于水资源的优化配置，规模确定属多目标决策问题。

(2) 虽然上述三个主要观点从不同的角度出发，但也具有深层次的联系。“最大支撑能力”评价水资源对当前或未来一段时期的社会、经济系统发展规模的承受能力或支撑程度。承载能力的高低反映出这种发展规模是否合理，这种定义只能够评价发展规模的合理性而不能找出可承受的最大的发展规模；“最大支撑规模”则想直接找到在承受能力限度内的最大的社会、经济发展规模；“最大开发容量”从一个侧面反映出最大的发展规模。在一定的社会、经济背景，一定的技术条件下，能提供水资源越多，支撑的发展规模就能越大。“发展规模”或“支撑规模”将上述水资源承载力的定性描述联系起来。

研究水资源承载力的目的是要为区域的经济发展战略提供理论和技术支撑，应根据本区域水资源状况筹划未来经济社会发展布局，以水定发展 (近乎“以供定需”)。因此，基于“最大支撑规模”的定义能够清楚提供水资源可支撑的发展规模，更方便为发展决策提供依据。

(3) “最大支撑规模”必须基于可持续发展条件。在可持续发展理论的指导下，资源的可持续利用、人与环境的协调发展取代了以前片面追求经济增长的发展观念 (即“以需定供”)。水资源所能承载的最大规模要以可持续发展为前提。过度开采水资源虽能支撑一时的发展规模，却不能后续，实现资源的可持续利用，经济的可持续发展，那么此时的发展规模不能认为是水资源系统可支撑的规模。

(4) 水资源承载力必须基于生态与环境良性发展的条件，要为生态与环境留有必需的水资源。应从可提供的水资源量中扣除维持生态与环境功能的最小需水量，扣除这一部分水量后的水资源来为社会经济发展服务。

(5) 发展规模的评价是一个多目标、多层次问题，具有高度随机性、不确定性和复杂性，正如在非劣解中只能找出满意解，我们实际中是难以得出所谓的 “最优发展规模”，仅能通过节水高效利用水资源来找出比较合理、科学的发展战略。因此，用“支撑合理规模”比“支撑最大规模”更合适。“合理规模”指既要充分利用资源，尽可能的去发展，又要保护资源，实现资源可持续利用的发展规模。

综合以上分析，我们认为区域水资源承载力可以定义为：区域在一定经济社会和科术发展水平条件下，以生态、环境健康发展和社会经济可持续发展协调为前提的区域水资源系统能够支撑社会经济可持续发展的合理规模。

3 水资源承载力的研究方法

经过国内外学者20多年深入研究，承载力的研究方法已经由过去单一指标、静态分析发展到系统多目标、动态综合分析。目前研究水资源承载力的方法很多，代表性研究方法主要有常规趋势法、综合评价法、系统动力学法及多目标分析法等。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

(1) 常规趋势法[7]是一种采用统计分析的方法，是选择单项或多项指标，反映区域水资源现状和阈值的简便方法。例如用区域人均占有水量和水资源开发利用率来大体反映区域水资源承载力的现状与潜力，这些指标基本上可以反映区域水资源承载力的状况，并且具有直观、简便的特点。但是这种方法不能根据各个指标值对水资源承载能力进行综合判断，忽略了各个指标之间的相互关系，不能全面地反映一个区域的水资源承载力。施雅风等用该方法分析了乌鲁木齐河流域水资源的承载能力[7]。

(2) 综合评价法[15-17]是通过建立评价指标体系对水资源承载能力进行综合评判，将各个指标值的评价结果综合起来，得出一个比较全面的水资源承载能力的判断。评判的过程一般分为评价指标选择、指标权重确定、评价方法的选择。张鑫等利用模糊综合评判方法研究了关中平原地下水资源承载力[15]；朱一中、夏 军等利用此方法分析了西北地区水资源承载力[16]；闵庆文等利用此方法研究了山西省河津市水资源承载力状况[17]。

目前，综合评价的方法很多，如模糊综合评价、可拓物元模型、数据包络模型、灰色评价模型等[18]，并已较好地应用于水资源承载力的评价之中。这种方法的关键在于要建立科学的评价指标体系，评价指标能够切实反映出水资源承载能力的大小，目前指标的选择多是根据专家的经验主观确定，对于评价指标体系的建立和评价研究还有待深入。以模糊综合评判模型为例，说明水资源承载力综合评价的思想。

设给定两个有限论域 $U = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\}$ 和 $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_n\}$，其中 代表评价因素 (评价指标) 集合；$V$代表评语集合，则模糊综合评判为下面的模糊变换：$B = A \otimes R$，其中$A$为模糊权向量，即各评价因素 (评价指标) 的相对重要程度，B是V上的模糊子集，表示评价对象对于特定评语的总隶属度，R为由各评价因素u_n对评语V的隶属度V_{ij}构成的模糊关系矩阵，其中第i行，第j列元素r_{ij}表示某个被评价对象从因素u_i来看对v_j等级模糊子集的隶属度，$\otimes$为一种合成运算，如$\{\times, +\}$, $\{\wedge, \vee\}$ 。

(3) 系统动力学法[19]是麻省理工学院Jay.W.Forrester教授于1956年创立的。这是一种研究复杂系统的计算机实验仿真方法，结合了定性与定量分析，集成了系统分析、综合与推理。陈冰等用该方法分析了柴达木流域水资源承载状况[20]。

基于系统动力学的水资源承载力模型通过微分方程组来模拟预测社会经济、生态、环境和水资源系统多变量、非线性、多反馈与复杂反馈等过程，把经济社会、资源与环境在内的大量复杂因子作为一个整体，对一个区域的资源承载能力进行动态计算。这种方法分析速度快，而且具有系统的观点，但是该方法结构复杂，变量众多，对数据的需求量也很大。具体模型如下：

第1步：分析系统因果关系。系统各组成部分之间的关系是一种因果关系，这种关系决定了系统内部的运行规律。

第2步：绘制系统流图。将系统当作信息反馈系统，并将其所有组成部分及相互关系、状态以及对状态的控制用规定的符号和方法进行描述，通过这种描述得到的图称为系统流图。

第3步：建立系统方程式。在系统动力学模型中，水准方程式主干，它系统描述了水准 (状态) 变量 (流位) 的变化规律，其一般形式为：

$$L_k = L_j + (IR_{jk} - OR_{jk}) \times DT \tag{1}$$

式中：L_k，L_j分别为k，j时刻的水准；IR_{jk}，OR_{jk}分别为k，j时刻之间的时段的流入速度和流出速度；DT为k，j时刻之间的时段。

(4) 多目标分析法[21]是在选取能够反映水资源承载力的人口、资源、经济社会、生态与环境等若干目标的基础上，列出这些目标的主要约束条件，按照社会可持续发展的原则，不追求单个目标的优化,而追求整体最优。薛小杰等人用该方法分析了西安市水资源承载力[21]。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

多目标分析法是一种规划方法，它与评价方法的区别在于：评价模型是先制定出方案，然后对其进行评判，而规划则是通过建立多目标模型，直接求解出满意的结果。多目标分析法一般要通过降维手段，将问题转化成单目标规划，在利用优化算法进行求解，目标函数的确立以及降维算法选择是一个难点和重点。具体模型如下[22]

$$\text{Max } g(x) = \{f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)\}$$
$$\text{s.t.} \quad x \in S \quad x \geqslant 0$$

式中：$f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)$ 分别为目标函数人均国内生产总值最大、污水处理达标率最大、林草覆盖面积最大和人均粮食产量达到预期值；x 为决策向量，包括第一产业增加值、第二产业增加值、第三产业增加值、人口总量、城市化水平、草地增加面积、林地增加面积、灌溉面积中粮食作物种植面积比例；S 为可行域，约束条件从水资源供需平衡、社会经济发展速度与结构平衡、生态环境保护和土地资源约束。翁文斌等在“华北地区水资源管理”项目中将这一方法首次应用到了我国的水资源管理中[22]。

综合上述方法，本研究的分析思路如下：

(1) 水资源承载力的计算方法大体分成两大类：一是评价方法，综合评判水资源对某种发展规模的支撑程度；二是规划方法，直接寻找最优的发展方案。这两类方法对应于水资源承载力“最大支撑能力”和“最大支撑规模”的概念。根据前文我们对水资源承载能力概念的分析，这两类方法可以结合在一起。如果制定出尽可能多的备选方案，并对每个方案逐一进行综合评价，选择出最满意的方案，通过“评价”实现了“规划”，这实际上就是穷举法。目前，许多进化算法都是在此基础上发展形成，如遗传算法、混沌优化算法、粒子群优化算法[23-25]等。这些方法的基本思想都是首先产生一定数量的可行解，其次按照某种进化规则使得可行解逐步朝着好的方向发展，需要利用评价函数评价解的好坏，最终经过多次迭代得出最优解。不同的算法主要是进化规则不同。基于上述，提出水资源承载力计算思路如下：

第1步：初始化若干可行方案。量化发展方案，并制定多个初始方案。

第2步：建立评价模型。利用此模型综合评判各个方案的优劣。对发展方案进行综合评价具有高度复杂性和不确定性，需要以可持续发展为前提，建立科学的评价指标体系，指标多、约束多，难以利用简单的评价函数实现，需要专门建立综合评价模型来完成此项功能。

第3步：发展方案进化。按照某一进化算法的规则使方案逐步朝着好的方向发展。

第4步：得出最终发展方案。经过多次迭代，得出最优或最满意的发展规模，即水资源的承载能力。

(2) 区域是具有层次结构和整体功能的复合系统，由社会系统、生态系统和水资源系统组成。“社会经济—水资源—生态、环境”复合系统理论是水资源承载力研究的基础。研究水资源承载力的目的是为了实现“社会经济—水资源—生态、环境”的和谐发展。因此，模型应当体现水资源在自然和社会中的循环转化规律，将水资源作为纽带贯穿整个系统中，探明社会经济、水资源以及生态、环境的互动关系。弄清这些关系才能正确计算出生态环境需水、社会经济需水以及水资源系统供水情况，才较好地得出各发展方案评价指标的量值。

(3) 在节水和发挥水资源的管理内涵，即不再扩大开源条件下，提高水资源利用率的手段，包括一切工程措施、非工程措施都属于提高水资源承载力的措施。不仅仅是降低工业、农业的用水定额是节水，还有通过污水治理、减少渗漏以及通过调整产业结构，优化配置水资源都可以看作提高水资源承载力的手段。其中节水是最主要的。节水措施是人类社会的行为，通过节水手段作用于社会系统自身。节水措施作用于经济社会系统直接影响社会经济的需水量，这体现在降低用水定额或者产业结构调整等等；社会经济系统的变化

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

影响生态系统，主要由于排放的污染物量改变以及污水处理、回收利用率提高，从而改变生态需水量；社会经济系统对水资源系统影响，体现在提高自产水、地表水或地下水的综合利用率，从而提高可供水量；生态、环境的水源保障、为水体自净和良性水循环提供条件，直接影响着可以利用水量。因此，在研究水资源在自然和社会中的循环转化规律时要对节水措施的影响给予充足重视。

综合以上分析，水资源承载力研究思路框架如图1所示。

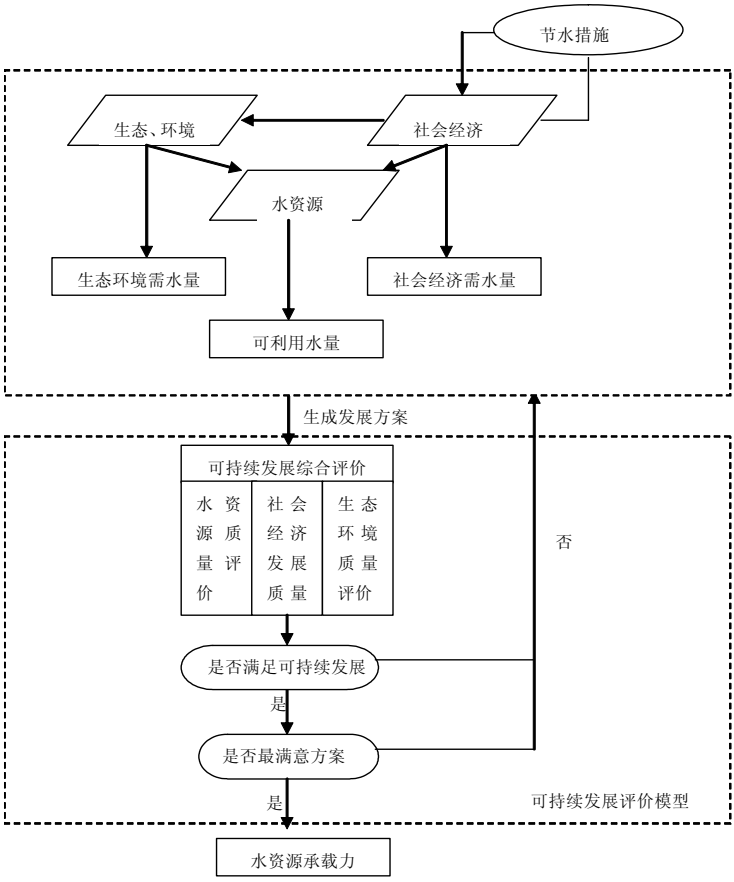

图1　水资源承载力研究思路图

Fig. 1　Sketch of water resources carrying capacity

4　辽河区的计算案例

辽河区位于中国东北地区西南部。辽河区包括辽河 (含浑太河)、鸭绿江 (中国侧) 及东北沿黄渤海诸河等流域。流域面积31.44万 km^2，占松辽流域面积的25.17%。辽河区工业基础雄厚，能源、重工业产品在全国占有重要地位。石油石化、煤炭、电力、钢材、造船、塑料和重要军品生产工业地位突出，交通基础设施较发达，铁路和公路密度位于全国前列。形成了以沈阳市、大连市为核心的辽中南经济圈。辽河区的森林、草地、土地资源丰富，光热条件适宜，是我国粮食主产区。

辽河区处于温带大陆性季风气候区，冬季严寒、夏季温热。气温由西北部向东南部递增，多年平均气温为4 ℃~8 ℃。辽河区多年平均降水量在300~1000 mm之间，地区差异较大，由东向西递减。辽东地区年降水量高达1000 mm以上，西北部的科尔沁草原为300 mm。辽河区水资源总量498.2亿 m^3，其中地表水资源量

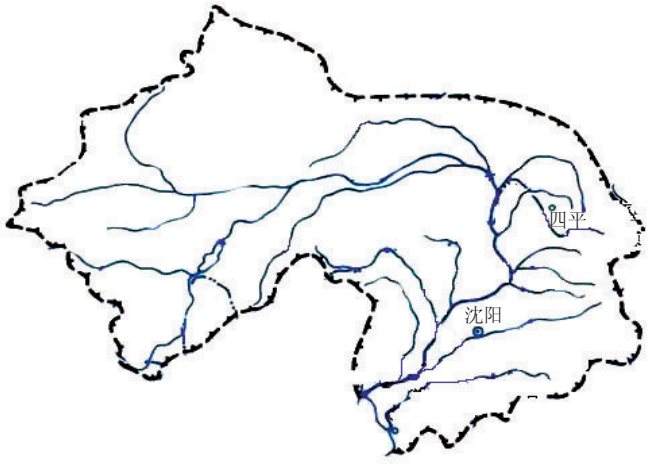

图2　辽河区水系图

Fig. 2　Sketch of drainage basins in Liaohe River Basin

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

408.0亿 m^3，不重复量90.2亿 m^3。水资源可利用总量为239.71亿m^3，水资源可利用率为48.12%。其中，地表水资源可利用量为175.37亿m^3。目前，辽河区水质污染严重，水资源效率不高，水资源承载能力偏低。辽河水系如图2所示。

根据《辽河区水资源综合规划报告》，2020年人均GDP目标将实现55394.38万元，预测总人口将达到5848.35万人，扣除河道内生态环境用水量，预计2020年可供水量为236.28亿 m^3。以经济最大化、承载人口最多、环境污染最小为目标，根据2020年发展情景参数(表1)建立多目标模型，计算时优先考虑河道外的生态环境用水，利用遗传算法这种比较成熟的进化算法[23-25]进行求解，得出2020年辽河区水资源承载的经济、人口规模和对环境的影响程度(表2)。

表1 辽河区2020年发展情景

Tab. 1 Development scenario in the Liaohe River Basin in 2020

参数	单位	数据
单位水资源的第一产业产值	元/m^3	12.79
单位水资源的第二产业产值	元/m^3	307.23
单位水资源的第三产业产值	元/m^3	1673.55
工业用水入河排放系数		0.23
城镇生活用水入河排放系数		0.33
污水处理率	%	55.4
污水中的COD含量	t/万 m^3	3.18
灌溉农田单位面积粮食产量	t/hm^2	13.01
灌溉定额	m^3/hm^2	5970
耕地面积	万 hm^2	673.2

表2 辽河区2020年水资源承载规模

Tab. 2 Carrying scale of water resources in the Liaohe River Basin in 2020

承载规模	单位	数据
第一产业供水量	亿 m^3	158.34
第二产业供水量	亿 m^3	36.81
第三产业供水量	亿 m^3	11.95
城镇生活供水量	亿 m^3	20.31
乡村生活供水量	亿 m^3	5.29
河道外生态供水量	亿 m^3	3.58
总供水量	亿 m^3	236.28
第一产业产值	亿元	2025.13
第二产业产值	亿元	11309.2
第三产业产值	亿元	20001.49
城镇人口数	万人	3891.49
乡村人口数	万人	1956.86
人均GDP	元/人	55408.92
COD排放量	万t	21.51

5 结论

(1) 本文在总结国内外水资源承载力相关研究的基础上，深入分析了目前水资源承载力的概念和内涵，将区域水资源承载力定义为“区域在一定经济社会和科术发展水平条件下，以生态、环境健康发展和社会经济可持续发展协调为前提，区域水资源系统能够支撑社会经济可持续发展的合理规模”。这一定义能够很好反映可持续发展的理念，可实现统筹经济社会与生态、环境的良性发展。

(2) 在此定义的基础上，从“社会经济—水资源—生态环境”复合系统角度，探讨了水资源承载力的计算方法，考虑节水措施对水资源承载力的影响，并基于现代进化算法，提出了建立水资源承载力计算模型的基本思路。

(3) 将区域水资源承载力的研究思路框架应用于辽河区，在优先满足生态环境需水量条件下，将供水量在社会、经济、环境进行优化配置，并利用遗传算法求解此多目标模型，分析计算出规划水平年辽河区水资源可承载的规模，证明了模型的实用性和有效性。

参考文献 (References)

[1] Cheng Guodong. Evolution of the concept of carrying capacity and the analysis framework of water resources carrying capacity in northwest of China. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(4): 361-267. [程国栋. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架. 冰川冻土, 2002, 24(4): 361-367.]

[2] Irmi Seidl, Clem A Tsidell. Carrying capacity reconsidered: From Malthus' population theory to cultural carrying capacity. Ecological Economics, 1999, 31: 395-408.

[3] Zhang Li. Theory and Application of Water Resources Carrying Capacity and Ecologic Water Demand. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2005: 7-11. [张丽. 水资源承载能力与生态需水量理论及应用. 郑州: 黄河水利出版社, 2005: 7-11.]

[4] UNESCO, FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: A resource accounting methodology for sustainable development. Paris and Rome, 1985.

[5] Liu Dongxia, Zhang Bingbing, Liu Xinshi. Progress and prospect of on ecological carrying capacity of grassland.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(1): 91-95. [刘东霞, 张兵兵, 卢欣石. 草地生态承载力研究进展与展望. 中国草地学报, 2007, 29(1): 91-95.]

[6] Guo Xiurui, Mao Xianqiang. Review of land carrying capacity calculating method in China. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(6): 705-711. [郭秀锐, 毛显强. 中国土地承载力计算方法研究综述. 地球科学进展, 2000, 15(6): 705-711.]

[7] Shi Yafeng, Qu Yaoguang. Water Resources Carrying Capacity in Urumqi River Basin and Its Rational Application. Beijing: Science Press, 1992. [施雅风, 曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用. 北京: 科学出版社, 1992.]

[8] Hui Yanghe, Jiang Xiaohui, Huang Qiang et al. On system dynamic simulation model of water resources bearing capacity in duality model. Geographical Research, 2001, 5(2): 191-198. [惠泱河, 蒋晓辉, 黄强 等. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究. 地理研究, 2001, 5(2): 191-198.]

[9] Feng Shangyou, Liu Guoquan. Frame of sustainable water resources utilization. Advances in Water Science, 1997, 8(4): 301-307. [冯尚友, 刘国全. 水资源持续利用的框架. 水科学进展, 1997, 8(4): 301-307.]

[10] Wang Hao, Chen Minjian, He Xiwu et al. Rational allocation and research of water resources carrying capacity. China Water Resources, 2004, (22): 43-45. [王浩, 陈敏建, 何希吾 等. 西北地区水资源合理配置与承载能力研究. 中国水利, 2004, (22): 43-45.]

[11] Ruan Benqing, Shen Jin. Calculating model for moderately bearing capacity of regional water resources. Journal of Soil Water Conservation, 1998, 4(3): 57-61. [阮本青, 沈晋. 区域水资源适度承载能力计算模型研究. 水土保持学报, 1998, 4(3): 57-61.]

[12] Sun Honglie. Encydopedia of Resources Sciences of China. Beijing: Encydopedia of China Publishing House, 2000. [孙鸿烈. 中国资源科学百科全书. 北京: 中国大百科全书出版社, 2000.]

[13] Xia Jun, Zhu Yizhong. The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 262-269. [夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269.]

[14] Xu Youpeng. A study of comprehensive evaluation of the water resource carrying capacity in the arid area: A case study in the Hetian river basin of Xinjiang. Journal of Natural Resources, 1993, 8(3): 229-237. [许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究: 以新疆和田河流域为例. 自然资源学报, 1993, 8(3): 229-237.]

[15] Zhang Xin, Wang Jike, Cai Huanjie. Comprehensive evaluation on resources carrying capacity of regional groundwater. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(3): 24-27. [张鑫, 王纪科, 蔡焕杰. 区域地下水资源承载力综合评价研究. 水土保持通报, 2001, 21(3): 24-27.]

[16] Zhu Yizhong, Xia Jun, Tan Ge. Measurement and evaluation of water resources carrying capacity of northwest of China, 2003, 25(4): 43-48. [朱一中, 夏军, 谈戈. 西北地区水资源承载力分析预测与评价. 资源科学, 2003, 25(4): 43-48.]

[17] Min Qingwen, Yu Weidong, Zhang Jianxin. Fuzzy-based evaluation of water resources carrying capacity and its application. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(3): 14-16. [闵庆文, 余卫东, 张建新. 区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用. 水土保持研究, 2004, 11(3): 14-16.]

[18] Qing Shoukang. Theory and Application of Synthetic Evaluation. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. [秦寿康.综合评价原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2003.]

[19] Forrester J W. Industry Dynamic. Cambridge: MIT Press, 1961.

[20] Chen Bing, Li Lijuan, Guo Huaicheng et al. System analysis on water resources supporting alternative for Chaidaimu basin. Environmental Sciences, 2000, 21(3): 16-21. [陈冰, 李丽娟, 郭怀成 等. 柴达木盆地水资源承载方案系统分析. 环境科学, 2000, 21(3): 16-21.]

[21] Xue Xiaojie, Hui Yanghe, Huangqiang. Research of water resources carrying capacity and its practical example. Acta Universitatis Agriculturalis Boreali-Occidentalis, 2000, 28(6): 135-139. [薛小杰, 惠泱河, 黄强. 城市水资源承载力及其实证研究. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 135-139.]

[22] Weng Wenbin; Cai Ximing, Wang Hao et al. Development of the macro-economic based water resources multiple objective analysis approach and its applications. Jounal of Hydralic Engineering, 1995, 26(1): 1-11. [翁文斌, 蔡喜明, 王浩 等. 宏观经济水资源规划多目标分析方法研究及应用. 水利学报, 1995, 26(1):1-11]

[23] Chen Xiaonan, Huang Qiang, Qiu Lin et al. Crop water product function based on genetic programming. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(3): 6-9. [陈晓楠, 黄强, 邱林 等. 基于遗传程序设计的作物水分生产函数研究. 农业工程学报, 2006, 22(3): 6-9.]

[24] Duan Chunqing, Qiu Lin, Huang Qiang et al. Model for predicting reference evaportranspiration based on genetic programming with chaos algorithm. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(4): 499-503. [段春青, 邱林, 黄强 等. 基于混沌遗传程序设计的参考作物腾发量预测模型. 水利学报, 2006, 37(4): 499-503.]

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

[25] Chen Xiaonan, Duan Chunqing, Qiu Lin et al. Application of large scale system model based on particle swarm

optimization to optimal allocation of water resources in irrigation areas. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 103-106. [陈晓楠, 段春青, 邱林 等. 基于粒子群的大系统优化模型在灌区水资源优化配置中的应用. 农业工程学报, 2008, 24(3): 103-106.]

Preliminary Research on Regional Water Resources Carrying Capacity Conception and Method

DUAN Chunqing[1], LIU Changming[1, 2], CHEN Xiaonan[3], LIU Wenhua[2], ZHENG Hongxing[2]

(1. *College of Water Sciences*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*;
2. I*nstitute of Geographic Sciences and Natural Resources Research*, *CAS*, *Beijing* 100101, *China*;
3. *Administration of the South-to-North Water Diversion Middle Route Project*, *Beijing* 100053, *China*)

Abstract: This paper discusses current concept of water resources carrying capacity. Furthermore, different definitions are compared and relations among these conceptions are analyzed in this study. It is suggested that the definition should consider abundant practicability besides on ecology, environment and sustainable development. Meanwhile "reasonable development scale" is applied to describe the conception of water resources carrying capacity. Based on the definition, the influences of water saving operations are analyzed, and a new calculation system of water resources carrying capacity is suggested to employ advanced evolution algorithms. This paper uses the model to carry out the research into water resources in the Liaohe River Basin, and the results show that the model is efficient.

Key words: water resources carrying capacity; sustainable development; evaluation methods; Liaohe River Basin

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww