DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2017.011.015

基于气候改变情况下的水资源动态承载力分析

陈丽萍　赵华东　赵华军

（山东临沂水利工程总公司，山东 临沂　276006）

【摘　要】 气候变化是全球性主要环境问题之一，在未来一段时间内，气候变化将加深我国水资源的供需之间的矛盾，对水资源动态承载力产生重要影响。基于此，笔者结合实际情况以及多年的水利工作经验，对水资源动态承载力的概念进行分析，对后期的动态承载力的计算提出一些研究方法与理论框架，并以细河流域为实例进行相关分析。

【关键词】 气候改变；水资源；动态；承载力

中图分类号：TV214　　文献标识码：A　　文章编号：2096-0131(2017)011-0055-04

Analysis on the dynamic carrying capacity of water resources based on climate change

CHEN Liping, ZHAO Huadong, ZHAO Huajun

(*Shandong Linyi Hydraulic Engineering Corporation*, *Linyi* 276006, *China*)

Abstract: Climate change is one of main global environmental problems. Climate change will deepen the contradiction between the supply and demand of water resources in our country and produce important influence on the dynamic bearing capacity of the water resources within a period of time in the future. On the basis, the author combines with the actual situation and the water conservancy work experience for many years for analyzing the concept of water resources dynamic bearing capacity, some research methods and theoretical frameworks are proposed for calculating subsequent dynamic bearing capacity, and carrying out related analysis with small river basin as an example.

Key words: climate change; water resources; dynamic; bearing capacity

气候情况的改变影响着水资源的动态承载力，进而加剧我国水资源的供需矛盾。本文通过构建 PSO-COIM 动态回归模型[1]，对水资源的动态承载力进行分析与计算。

1　研究背景

现阶段，由于气候变化对水资源的影响涉及气象、生态、人文等多方面的学科问题，是一项复杂、庞大的工程，因此，目前的研究主要集中在气候变化对水循环过程的响应以及水量的影响上，对水资源动态承载力方面的研究还很少。由于研究的针对性与侧重性，气候变化情况下对水资源的演变以及适应性方面的应对策略研究已经相当完善[1-2]，但是有关水资源动态承载力的文献相对而言还非常少。随着研究范围的扩展，水资源的动态承载力也逐渐进入人们视野，其计算一般以序列水文、气象变化为依据，得到未来水平年不同保证率水资源可利用量[3-4]，计算出未来一段时间内的水资源承载力。但是，这种计算方式由于计算依据是

不精确的历史资料,缺少现代科学对其的考究,因此计算结果不能作为研究可行对策的依据。面对资源匮乏的加剧以及环境的日趋恶劣,开展气候改变情况下的水资源动态承载力分析研究对于应对气候变化具有积极意义。

2 水资源动态承载力概念及内涵

水资源动态承载力概念:承载力从字面分析为物理概念,指的是物体在不被破坏的前提下能够承受的最大负荷。该概念在水资源领域经过扩展,就变为自然资源承载力的一部分。虽然国内外有关专家学者针对该概念的表述有些不同,但是殊途同归,都提出了关于水资源的可开发规模以及水资源对经济社会的支撑能力等概念。水资源动态承载力概念的重新提出改进了传统计算方式存在的弊端。传统方式以未来水平年不同保证率水资源可利用量[4]为依据,一旦未来一段时间气候发生变化,水资源情势就会随之变化,这种计算方式也就失去了意义。水资源动态承载力的计算根据是未来年份当气候变化或者人类活动变化下水资源的量进行承载力的计算。

水资源动态承载力的内涵:着重考虑水资源在受到气候变化以及人类活动的影响时的动态变化,即内因与外因,自然与社会的循环方式;区别于传统的水资源承载力概念,不仅明确了水资源承载对象,还突出了其动态性,即在不同的时期水资源量能够为经济社会承载的最大规模,对水资源的变化以及经济社会的发展进行综合考虑;提出承载标准的评价依据,既要保证可持续发展,又要维持整个水流生态系统的良性循环,实现经济与自然的协调发展;确定了水资源承载力评价的时间与空间范围,应该将时间限定在人类科学技术能够企及的时间范围内,将空间限定在以某一具体的区域为基本研究单位。

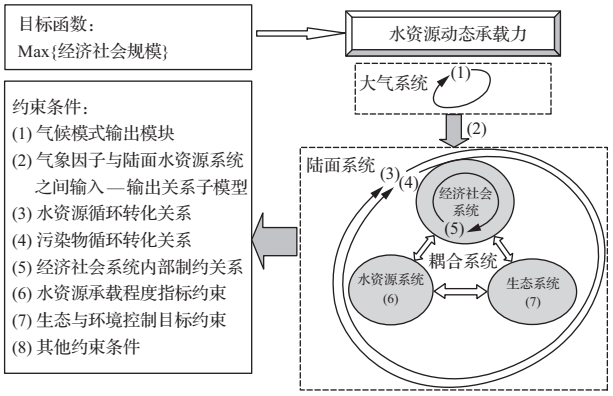
3 水资源动态承载力计算方式

3.1 水资源动态承载力计算方法介绍

当前不乏关于水资源动态承载力的计算方式,具体包括经验公式法、综合评价法与系统分析法。经验公式法相对简单,对水资源、自然环境、经济社会之间的综合考虑较少。综合评价法虽然通过与评价标准的比较得出水资源承载力,有一定的数学依据,但是没有考虑到水资源的整体性。系统分析法对水资源承载力的主体与对象进行综合考虑,研究承载状况,但是在系统模拟上仍有不足。针对这种情况,笔者在研究大量资料的基础上,提出"基于模拟和优化的控制目标反推模型"法,英文简称COIM。不仅能够将水循环、经济社会、自然系统三者之间的关系体现出来,而且能够计算出水资源的承载能力。

3.2 水资源动态承载力计算框架

参照上文提出的COIM方法,笔者仔细研究了水资源动态承载能力的概念与内涵,综合考虑内因与外因对整个水系统的影响,提出水资源承载力的计算框架。该框架为"基于预测—模拟—优化的控制目标反推模型",英文简称PSO—COIM。具体计算过程如下图所示,该计算方法得出的结果,充分考虑到气候与人类的不确定因素,体现出动态的变化特征,既能体现出过去水资源动态承载力的动态演化过程,也能反映出未来的变化趋势。



基于PSO—COIM的水资源承载力计算框架图

3.3 PSO—COIM一般表达式及说明

3.3.1 气候模式输出模块

该计算模型能够考虑到气候变化时以及水资源的变化对经济社会的影响。因此,在该模型中要考虑到气候变化这个变量本身的影响。由于气候变化自身是一个非常复杂的综合性问题,在此不作过多的研究,直

接在模型中引用现阶段认可度较高的气候模型，将不同气候的变化进行动态模拟。

3.3.2 气象因子与陆面水资源系统之间的输出与输入关系

气候模式的输出，关系着不同时间段与空间区域上不断变化的气象因子，例如降雨量、温度等。这些因素促使陆面水资源发生着变化，改变水资源的径流量以及水资源量。所以，建立气象因子与陆面水资源系统之间的输入输出模型是很有必要的，如此才能更加客观、精确地将气候变化带来的水资源动态承载力的变化反映出来。该模型的建立方法多样，但是仍然存在很多难点，例如：水文模型与气候模型之间耦合的程度问题。虽然已经有大量的研究文献，但是仍然受到所需资料与技术的限制。

3.3.3 污染物循环转化关系

污染物从产生与排放，再到转化、吸收，整个过程十分复杂。在水资源动态承载力计算模型中，需要将污染物循环转化关系包含在内，将人类影响下水质变化的程度进行定量。例如：可以建立排放污染物量的计算方式，水质变化的模拟计算，来表达污染物的产生与转移的过程。

3.3.4 经济社会相互制约

在经济社会中，各个因素之间是相互联系的，甚至互相制衡。例如：人口数量的增长必然促进农业的发展，当人们的饮食问题得以解决就会想更进一步提高生活质量，因此工业得到了一定的发展。人口的增长促进工农业的发展，但是所需的资源更多，污染物也随之增多。由此可见，这些因素之间互相关联又互相制约。因此，需要建立它们之间互相制约的工程。

4 应用实例

4.1 所选区域

所选流域（泗河）总面积 1047km^2，发源于蒙山腹地新泰南部太平顶西麓，西南流入泗水县境后改向西行，至曲阜市和兖州市边境复折西南，交通位置优越，工业门类以铁矿采选业、钢铁加工业、绿色食品加工业和机械零部件加工业为主。河流众多，有多条支流，流域面积超过 2000km^2，但是水资源的利用率很低，上游工矿企业排污严重，生态环境已经相当恶劣。由此可见，在泗河流域开展该研究具有重要的现实意义。

4.2 资料来源

采用国家气象局近 50 年来对该流域进行观测的气象资料；采用该区域水文局近 50 年实测水文资料；气候模式的变化预测相关数据从《中国地区气候变化预估数据集》获得。

4.3 水资源动态承载力计算

以上文中提到的 PSO-COIM 模型为依据，建立该流域的水资源动态承载力的计算模型，利用迭代数值方式计算出 2011 年、2015 年、2020 年、2025 年、2030 年不同气候情况下水资源承载力，结果见下表。

不同气候情况下的水资源承载力表

指　标	权　重	2011 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
供水紧张程度	0.411835	0.465933	0.271855	0.140601	0.077758	0.043853
工业增加值	0.176718	0.046673	0.08163	0.155777	0.269661	0.446259
人口数量	0.076931	0.187357	0.192659	0.199497	0.206577	0.21391
农田灌溉面积	0.076931	0.052136	0.097252	0.203958	0.299554	0.347101
三产增加值	0.176718	0.021969	0.040981	0.101973	0.249539	0.585538
城市绿地面积	0.048408	0.018861	0.039109	0.097317	0.242155	0.602558
牲畜数量	0.032460	0.120865	0.146911	0.187501	0.239303	0.305419
综合承载能力	—	0.227278	0.162592	0.145289	0.182202	0.282639
综合承载能力变化率	—	1	0.715386	0.639255	0.801671	1.24358

由结果可知：这几十年间该流域的水资源动态承载力一直呈现动态变化，虽然有些支流的承载度变化不明显，但是在经济社会的持续发展下一直处于承载力的边缘。通过联系实际情况以及计算结果，所得的结果具有科学性与合理性，客观地反映出泗河流域水资源的变化趋势。

5 结 语

综上，本文先初步提出水资源动态承载力的研究成果与现状，又阐述了动态承载力的有关概念，再结合多年的研究经验，提出了 COIM 方法与 PSO—COIM 模型，以细河流域为例对其进行验证。虽然气候改变情况下的水资源动态承载力的计算涉及多个学科，比较复杂，难以操作，但是在科学技术的进步以及行业人员的不断研究下，更多、更新、更先进的计算方式已经逐渐问世，对于提高计算结果的精确性具有促进意义。

参考文献

[1] 王永超，焦树林，黄福卫. 基于主成分分析和熵的中国水资源承载力动态变化研究[J]. 城市地理，2015(20)：182-184.

[2] 魏光辉. 基于熵权理想解法的中国水资源承载力动态变化研究[J]. 浙江水利水电学院学报，2016，28(1)：28-31.

[3] 郭晓英，陈兴伟，陈莹，等. 基于粗糙集和 BP 神经网络组合法的水资源承载力动态变化分析[J]. 南水北调与水利科技，2015(2)：236-240.

[4] 王建华，姜大川，肖伟华，等. 基于动态试算反馈的水资源承载力评价方法研究——以沂河流域(临沂段)为例[J]. 水利学报，2016，47(6)：724-732.

(上接第 80 页) 1087.49m 和 1091m 时的断面面积分别减少了 271m^2 和 293m^2，三湖河口在水位 1019.13m 和 1020m 时的断面面积分别减少了 709m^2 和 917m^2。

3.3 平滩流量降低

过水面积的减小，使得平滩流量降低。20 世纪 90 年代以前，巴彦高勒平滩流量变化在 4000～5000m^3/s 之间，三湖河口在 3000～5000m^3/s 之间；20 世纪 90 年代以来平滩流量持续减少，到 2004 年在 1000m^3/s 左右，部分河段 700m^3/s 即开始漫滩。昭君坟站平滩流量 1974—1988 年在 2200～3200m^3/s，到 1995 年仅约为 1400m^3/s。

3.4 同流量水位抬升

河道淤积使得同流量水位抬升，加重了防洪负担。1986 年 10 月上游龙羊峡水库运用以来至 2010 年，巴彦高勒—昭君坟 2000m^3/s 同流量水位升高 1.35～1.72m。同水位过流量减少，如：水位在 1050.5m 时，1985 年的过流量为 2500m^3/s，而 2002 年的过流量仅为 200m^3/s 左右。

4 主要结论

1986 年龙羊峡水库运用后调节径流泥沙，改变了出库流量过程，使得进入黄河宁蒙河段流量大于 2000m^3/s 的洪水很少出现，小流量持续时间延长，汛期水量大幅度减少。水沙变化导致黄河宁蒙河段冲淤演变也发生了相应变化，1986 年后，黄河宁蒙河段同流量水位抬升，河床持续抬高，主河槽淤积萎缩，平滩流量减小，输沙能力降低，造成小洪水漫滩、凌汛灾情严重等，这些新问题是长期水量枯、流量小的必然结果，也进一步说明了水库运用对下游干流河道带来的负面影响。从河流健康的意义出发，流域水资源的开发必须兼顾流域防洪、防凌等河流输水排沙的基本功能，需要科学的调控洪水，建立完善的水沙调控体系，推进流域水沙一体化管理。

参考文献

[1] 胡春宏. 黄河水沙过程变异及河道的复杂响应[M]. 北京：科学出版社，2005.

[2] 胡春宏，陈绪坚，陈建国. 黄河水沙空间分布及其变化过程研究[J]. 水利学报，2008，39(5)：518-527.

[3] 张原峰，刘晓燕，张晓华. 黄河下游中常洪水调控指标[J]. 泥沙研究，2006(6)：1-5.