

黑河流域水资源承载能力分析

袁 伟¹, 郭宗楼^{1,*}, 吴军林², 楼章华¹

(1. 浙江大学, 浙江 杭州 310028; 2. 浙江省上虞市环境保护局, 浙江 上虞 312300)

摘要:黑河流域属资源性缺水地区,区域水资源难以满足当地社会经济发展和生态平衡的需要。随着西部大开发战略的逐步实施,西北干旱内陆河地区水资源的支撑作用将显得愈来愈重要。因此分析黑河流域水资源现状条件下对区域经济、社会发展的承载能力,显得极为重要。根据黑河流域具体情况,结合流域经济社会发展特点、生态环境状况,以遏制并逐步改善流域生态环境为基本前提,以流域水资源承载能力为约束。首先利用水资源承载压力指数计算了现状条件下黑河流域水资源承载压力度,得出目前黑河流域水资源承载能力属于超负荷承载。水资源将成为制约黑河流域社会经济发展和保证生态平衡的重要因素。当前必须立足于当地的水资源条件,按照以供定需的原则,合理安排生活、生产和生态用水,才能实现流域经济社会和生态环境的协调和可持续发展。然后针对超载现状,对黑河流域规划水平年(2010年)水资源承载能力作进一步的分析评价,根据相关预测资料设计了3种可能情景,利用流域评价的发展系数、协调系数、公平系数和可持续发展系数,从水资源开发利用方式、社会发展方式、经济发展模式、生态恢复程度等方面分析水资源承载能力,并计算其水资源承载压力度,同时结合水资源的可持续发展建立流域可持续发展评价指标体系,进行方案组合和各种发展模式的水资源优化配置。满足流域水资源支撑经济社会可持续发展判据的方案的承载能力指标即为该方案下的水资源可持续承载能力指标。

通过对黑河流域现状及规划水平年的水资源承载能力及可持续发展度分析评价,利用水资源可持续发展战略分析,选取出了最优发展模式,为流域的可持续发展提供了基本依据。通过寻求情景方案中水资源承载能力和可持续发展度的最佳组合,实现了经济、社会与生态的可持续发展目标。结果表明:通过努力,谋求经济和社会与水资源承载能力协调发展是有可能实现的。
关键词:黑河流域;水资源承载能力;可持续发展;生态平衡;评价指标

文章编号:1000-0933(2006)07-2108-07 中图分类号:TV213,F062.2 文献标识码:A

Analysis of water resources carrying capacity of Heihe river basin

YUAN Wei¹, GUO Zong-Lou^{1,*}, WU Jun-Lin², LOU Zhang-Hua¹ (1. Zhejiang University, Hangzhou 310028, China; 2. Shangyu Environmental Protection Agency Provincial of Zhejiang, Shangyu 312300, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2108 ~ 2114.

Abstract: Heihe river basin is an area where its local water resources are extremely lacking. Its water resources can't meet the need of its social and economic development and the ecological environment balance. With the strategy of Development of Western China implemented step by step, the outstanding role of the water resource in drought areas in inland river of Northwestern China is becoming more obvious. So it is an urgent task to analyze the carrying capacity of the local social and economic development under the current water resource condition. Based on the information about the feature of social and economic development and state of ecological environment in Heihe river basin, and under the premises of controlling the worsening of ecological environment and improving it, and in consideration of the water resources carrying capacity, the value of the current water resource carrying-pressure index is calculated. The result indicates that the water resources carrying capacity is beyond its carrying capacity. The social and economic development and ecological environment balance will be greatly obstructed by the limited water resource. At

基金项目:国家“十五”重大科技专项资助项目(2002AA601021)

收稿日期:2005-12-07;修订日期:2006-05-20

作者简介:袁伟(1977~),男,河南郑州人,博士生,主要从事水资源与水环境研究.E-mail:yuanwei114@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:zlguo@zju.edu.cn

Foundation item: The project was supported by special item of fundamental science and technology belonged to the “tenth-five year” of state development, China (No. 2002AA601021)

Received date: 2006-12-07; Accepted date: 2006-05-20

Biography: YUAN Wei, Ph. D. candidate, mainly engaged in water resource and water environment. E-mail: yuanwei114@126.com

present, just distributing water appropriately among daily life, production, and ecological environment, the harmonious and sustainable development in this area can be realized. To solve the current problem, more analysis about the water resources carrying capacity of planning year is made. The planning year is 2010. Based on predicted data, three possible development program scenes in planning year are formulated. Besides water resource carrying-pressure index, other four indexes-development coefficient, equilibrium coefficient, equitable coefficient and sustainable coefficient-are calculated to analyze the water resource carrying ability. The four indexes reflect respectively the code of water resource utilization, ways of social and economic development, and the degree of ecological environment's recovering from its increasingly worsening state. The best development program is determined out from the three ones by the most optimum value of the water resources carrying capacity. Water resources are properly distributed among daily life, production, and ecological environment under the best development program.

This research provides a basic reference for the sustainable development of the Heihe river basin because the optimum development mode is selected through the strategical analysis and evaluation of the current state of Heihe river, its water resources carrying capacity and its sustainable development in the planning year. The goal of sustainable development among society, economy and ecological environment will be achieved under the best development program scene. The result suggests that the harmonious and sustainable development among society, economy and ecological environment within water resources carrying capacity can be realized with certain effort.

Key words: Heihe river basin; water resources carrying capacity; sustainable development; ecology balance; index of analysis

黑河上游地区由于超载放牧,草场已经严重退化,鼠害严重,水源涵养能力大幅度下降,源头地区已经发生断流;在中游,从汉武帝开始就对河西地区进行了大规模开发(当时河西设四郡,张掖即为其中之一),从那时至今,由于人口急剧增长,导致土地开荒面积随之不断增大;中游用水的急剧增加,减少了下游来水,致使下游地区生态环境恶化,东、西居延海相继干涸。

诚然,经济在发展,社会在进步,人口增加,绿洲扩大,用水增多的趋势是必然的,但这有一个限度,有一个承载能力能否承受的问题。但过去对水资源的承载能力,特别是基于上中下游统筹考虑的水资源承载能力考虑得很少,因此需要吸取中亚咸海地区造成的生态灾难教训,采取严格的水资源合理配置、高效利用和科学管理的流域措施,才能在现有基础上提高流域水资源的承载能力,并使流域生态系统逐步转入良性循环。

1 水资源承载能力概述

“承载能力”一词源于生态学,原用以衡量特定区域在某一环境条件下可维持某一物种个体的最大数量。在对资源短缺和环境污染问题的研究中,“承载能力”概念得到延伸发展并广泛用于说明环境或生态系统承受发展和特定活动能力的限度^[1]。

关于水资源承载能力(Water Resources Carrying Capacity, 即 WRCC)的理论研究,我国这方面研究起步较晚,自 20 世纪 80 年代施雅凤明确提出了水资源承载能力的概念^[1],迄今为止仍然没有形成一个系统的、科学的理论体系,即便是关于水资源承载能力的定义,国内外也没有统一的认识,许多学者都提出了自己的观点^[2]。典型的区域水资源承载能力定义有以下几种:(1)某一历史发展阶段,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,以维护生态良性循环发展为条件,在水资源得到合理开发利用下,该地区人口增长与经济容量的最大容量^[3]。(2)一个流域、一个地区、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,当地水资源能够维系和支撑的人口、经济和环境规模总量^[4]。(3)某一区域的水资源条件在“自然-人工”二元模式影响下,以可预见的技术、经济、社会发展水平及水资源的动态变化为依据,以可持续发展为原则,以维护生态良性循环发展为条件,经过合理优化配置,对该地区社会经济发展所能提供的最大支撑能力^[3]。

因此水资源承载能力可理解为是一个度量区域社会经济发展受水资源制约的阈值,它通常采用满足生态需水的可利用水量和社会经济可持续发展有限目标需求水量的供需平衡,退化到临界状态所对应的单位水资源量的人口规模和经济规模。本文所采用的水资源承载能力的概念为:在未来不同的时空尺度上,以可

预见的社会、经济、技术发展水平为依据,以可持续发展的思想为指导,以不破坏生态环境为原则,经过合理的水资源合理配置,某一区域内水资源所能支撑的区域经济发展规模。

2 黑河流域水资源承载能力现状分析

黑河是我国西北地区第二大内陆河,发源于祁连山北麓,流经青海、甘肃、内蒙古3省(区),干流全长821km,流域面积约14.29万 km^2 。现拥有耕地26.76万 hm^2 ,农田灌溉面积19.29万 hm^2 ,粮食总产量99.4万t。这里是西部地区重要的商品粮、蔬菜和制种基地。流域战略地位也十分重要。中游的张掖地区,地处古丝绸之路和今日欧亚大陆桥之要地,农牧业开发历史悠久,享有“金张掖”之美誉;黑河下游的额济纳旗有我国重要的国防科研基地——酒泉卫星发射中心和长达507km的边境线,额济纳绿洲还是我国北方地区的一道重要生态屏障。

自汉代以来,黑河流域即进入了农业开发和农牧交错开发时期,为满足地方经济社会发展的需要,中游地区兴建了大规模的水利工程发展绿洲农牧业。然而,黑河流域处于我国西北的干旱地区,年降水量小,蒸发量大,有水则为绿洲,无水则为荒漠,属资源型缺水地区,区域水资源难以满足当地经济社会发展和生态平衡的需要。由于社会发展没有充分考虑水资源承载能力,导致黑河下游额济纳绿洲在最近的40多年时间里,面积从6940 km^2 锐减到3328 km^2 ,戈壁沙漠面积增加了460多 km^2 。黑河尾间湖泊西、东居延海也先后于1961年和1992年完全干涸。干涸的居延海和萎缩的额济纳绿洲成了影响我国北方约200万 km^2 的沙尘源地。

当前必须立足于当地的水资源条件,按照以供定需的原则,合理安排生活、生产和生态用水,才能实现流域经济社会和生态环境的协调发展。因此分析黑河流域水资源现状条件下对区域经济社会的承载能力,显得极为重要。由于承载能力为承载媒体对承载对象的支持能力,故本文采用水资源承载压力指数^[7]用以描述水资源系统的承载状况。

2.1 水资源承载能力判定指标与计算方法

(1)承载指数 假设承载媒体S的承载能力大小取决于 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 等n个因子,则该承载媒体的承载能力大小CCS可用数学式表达为: $CCS = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$

设 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 的相应承载分值分别为 $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$,每个因子所占的权重 W_i ,则承载指数CSI为:

$$CSI = CCS = \sum_{i=1}^n S_i \cdot W_i$$

式中, S_i 为水资源特征要素,分别代表补给量、存储量、实际开采量、排泄量;n为要素相对应的权重值。从中可见,承载指数的大小取决于各承载分量的大小和各分量的权重值。CSI越大,表示承载能力越大。

(2)压力指数 假如承载对象P的压力是客观存在的,P的大小取决于 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 等n个因子,其压力大小为CCP,其表达式为 $CCP = f(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$,若 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 的相应承载分量或承载分值分别为 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$,对各分量进行无量纲化处理,设每个因子所占的权重为 W_i ,则压力指数CPI为:

$$CPI = CCP_1 + CCP_2 + CCP_3 = \sum_{i=1}^n P_{1i} \cdot W_i + \sum_{i=1}^n P_{2i} \cdot W_i + \sum_{i=1}^n P_{3i} \cdot W_i$$

式中, P_1 为人口增长率; p_2 为社会经济要素,分别代表GDP增长率,灌区面积,灌溉水利用系数; p_3 为生态特征要素,分别代表退耕还林还草面积,高中盖度植被面积比例; W_i 为相应要素的使用量权重值;CPI越大,表示对系统的压力越大。

(3)承载压力度 承载指数表示承载媒体的客观承载能力大小,当以承载对象和承载媒体的相对大小表示时,称为承载压力度或承载负荷度,简称承压度。假设承载媒体S的承载指数为CCS,承载对象C的压力指数为CCP,那么:

$$CCPS = \frac{CCP}{CCS} = \frac{CPI}{CSI}$$

式中,CCPS为水资源压力度;当 $CCPS = 1$ 时,表明源承载压力度达到平衡;当 $CCPS < 1$ 时,表明水资源

承载压力能力低负荷;当 $CCPS > 1$ 时,表明承载能力压力高负荷。

2.2 黑河流域水资源承载能力分析评价

(1)概况 黑河流域水资源有关数据见表 1。

表 1 黑河流域社会经济及生态概况表

Table 1 The generalization of water resource in Heihe river basin

流域面积 (万 km ²)	补给量 (亿 m ³)	存储量 (亿 m ³)	开采量 (亿 m ³)	降水量 (亿 m ³)	径流量 (亿 m ³)	地下水量 (亿 m ³)
Area of river basin	Supplement amount	Storage amount	Exploitation amount	Precipitation	Runoff	Groundwater
14.29	3.33	13.81	6.72	126.08	25.11	21.77
供水量(亿 m ³) Supply amount	人口增长率(%) Percentage of population	GDP 增长率(%) Percentage of GDP	灌区面积 (万 hm ²) Area of irrigation	灌溉水利用系数 Coefficient of water usage in irrigation	退耕还林还草面积 (万 hm ²)Area of returning infield back into forest and grass	高中盖度植被面积比例 (%)The percentage of high and middle coverage area of forest
32.41	0.009	9.90	26.76	0.48	2.65	19

摘自甘肃省计委“甘肃省河西经济区国土综合开发整治研究(2004年)”

(2)矩阵一致性判断 黑河流域水资源承载能力弹性指数有影响的决定性因素是补给量 S_3 、存储量 S_2 、实际开采量 S_1 。因此得 $T-C$ 判断矩阵:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

计算 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0017 < 0.10$,说明 $T-C$ 矩阵符合一致性要求。

(3)根据前述模型计算得到黑河流域水资源承载压力度为: $CCPS = \frac{CPI}{CSI} = \frac{29.87}{17.71} = 1.69$ 。

3 黑河流域规划水平年水资源承载能力分析评价

从上文计算得出的黑河流域水资源承载压力度可知,目前黑河流域水资源承载能力属于超负荷承载。水资源将成为制约黑河流域社会、经济发展和保证生态平衡的重要因素,应采取切实措施,系统全面的考虑流域较长时期的生态环境建设要求和流域经济社会发展需要,进一步协调生活、生产和生态用水,进行综合治理,逐步实现黑河流域水资源的可持续发展。

下面,将根据黑河流域的实际情况,结合流域经济社会发展特点、生态环境状况,对黑河流域规划水平年(本文选取 2010 年作为规划水平年)水资源承载能力作进一步的分析评价。

3.1 水资源承载能力分析的思想

对多种水资源开发利用方式和社会经济发展模式,进行水资源优化配置,并判别水资源系统是否能够支撑各种模式的可持续发展,找出可持续发展的模式组、不可可持续发展的模式组及其临界点,在临界点以内的发展模式,没有超出水资源可持续承载力,有安全余地,是合理的;在临界点以外的发展模式,超出水资源承载能力,是不合理的;在临界点上的社会经济发展模式,为该水资源开发利用方式下水资源系统所能支撑的最大规模,即水资源承载能力,该方案相应的人口及其生活质量指标即为该水资源系统承载能力指标或水资源系统的最大承载能力指标。

3.2 水资源承载能力分析步骤

针对黑河流域水资源承载能力超载的现状,根据有关预测资料^[10]设计 3 种情景,设计规划水平年水资源开发利用方式和社会、经济、生态环境发展模式,进行方案组合和各种发展模式的水资源优化配置。然后计算其水资源承载压力度,同时结合水资源的可持续发展建立流域可持续发展评价指标体系,通过水资源可持续利用战略分析,选取最优发展模式。

3.3 黑河流域整体发展模式集生成

针对黑河流域具体情况,对流域经济社会发展和生态改善,从水资源开发利用方式、社会发展方式、经济发展模式、生态恢复程度等方面,分别考虑1~3种可能情景,用于构造流域整体发展模式集(本文研究采用2004年为现状水平年,2010为规划水平年)。

3.3.1 水资源开发利用方式 农业用水方式考虑3种情景:

情景一,退耕还林还草3.83万 hm^2 ,其中中游山前灌区1.27万 hm^2 、干流灌区2.2万 hm^2 ,下游鼎新0.13万 hm^2 、东风场区0.09万 hm^2 、额济纳旗0.14万 hm^2 ,灌溉水利用系数提高到0.52左右,发展高新技术节水灌溉面积4.66万 hm^2 。

情景二,加大退耕还林还草力度,面积达到5.03万 hm^2 ,其中中游山前灌区1.27万 hm^2 、干流灌区3.33万 hm^2 ,下游鼎新0.20万 hm^2 、东风场区0.09万 hm^2 、额济纳旗0.14万 hm^2 ,节水力度同情景一。

情景三,在情景二基础上,进一步强化节水,提高灌溉水利用系数,增加高新节水灌溉面积。

3.3.2 社会发展方式 人口增长率考虑3种情景:

情景一,严格计划生育政策,人口低速增长。

情景二,考虑少数民族比例偏高,人口以低于现状的速度,但高于情景一的速度增长。

情景三,考虑人口控制力度不够,流域人口以现状速度增长。

3.3.3 经济发展模式 GDP增长速度考虑2种情景:

情景一,适度发展模式,流域GDP年增长率为8.5%。

情景二,快速发展模式,GDP年增长率中游为11.5%、上游和下游为10.5%。

3.3.4 生态恢复程度 额济纳旗天然绿洲恢复考虑2种情景:

情景一,高中盖度植被面积由现状的约25%增加到规划水平年的40%。

情景二,高中盖度植被面积由现状的约25%增加到规划水平年的50%。

对上述各种情景进行组合,形成2010年黑河流域整体发展模式集,共有 $5 \times 3 \times 2 \times 1 = 30$ 个方案。

水资源承载力分析以可持续发展为目标,在评价流域的发展系数、协调系数、公平系数的基础上,计算流域可持续发展系数,分析水资源承载力,推荐最优发展模式。

发展系数 反映整个流域综合发展的持续状况及发展的强弱程度,采用流域上、中、下游各分区的城镇化程度、科技水平、基础设施、人均GDP、人口发展系数等13项具体发展指标,进行分区、流域综合集成,获得流域级发展系数。

协调系数 反映整个流域社会、经济、生态环境子系统与水资源的协调程度。用各子系统各用水部门的供水量与需水量之比,反映各子系统部门需水与水资源系统供水之间的协调关系,并进行子系统、分区以及流域综合集成,获得流域级协调系数。

公平系数 反映流域区域间的资源使用以及发展的公平程度。以各分区入境水量与分水指标之比反映各分区资源使用公平,以各分区发展系数与流域发展系数之比反映各分区发展公平,并进行分区、流域综合集成,获得流域级公平系数。

可持续发展系数 是对流域发展、协调、公平等准则的综合反映,由流域级发展系数、协调系数、公平系数综合集成。

按照上述研究思路,在建立了水资源支撑经济社会可持续发展评价指标体系,并对多方案进行流域水资源支撑经济社会可持续发展评价之后,满足流域水资源支撑经济社会可持续发展判据方案的承载能力指标即为该方案下的水资源可持续承载能力指标。

3.4 水资源支撑经济社会可持续发展评价

针对上述30个方案进行水资源支撑经济社会可持续发展评价,计算各个方案的发展系数、协调系数、公平系数和可持续发展系数。根据水资源利用方式将30个方案分为3组。对于满足水资源支撑经济社会可持续发展判据的方案,按照可持续发展系数最大原则,对每组方案进行评价,初步优选方案。

初选结果如下:

第 1 组推荐方案 适度退耕还林还草,退耕还林还草 3.83 万 hm^2 ,灌溉水利用系数提高到 0.52 左右,增加高新技术节水灌溉面积 4.66 万 hm^2 ;人口低速增长;经济适度发展,流域 GDP 年增长率为 8.5%;额济纳绿洲高中盖度植被面积由现状的约 25% 增加到规划水平年的 40%。

第 2 组推荐方案 加大退耕还林还草力度,退耕还林还草 5.03 万 hm^2 ,灌溉水利用系数提高到 0.52 左右,增加高新技术节水灌溉面积 4.66 万 hm^2 ;人口低速增长;经济适度发展,流域 GDP 年增长率为 8.5%;额济纳绿洲高中盖度植被面积由现状的约 25% 增加到规划水平年的 40%。

第 3 组推荐方案 加大退耕还林还草力度,退耕还林还草 5.03 万 hm^2 ,进一步强化节水,提高灌溉水利用系数,增加高新节水灌溉面积;人口低速增长;经济适度发展,流域 GDP 年增长率为 8.5%;额济纳绿洲高中盖度植被面积由现状的约 25% 增加到规划水平年的 50%。

3 组初选方案的发展系数、协调系数、公平系数以及可持续发展系数计算成果(见表 2)。3 组初选方案的投入力度是逐渐增加的,其发展系数也是逐渐增长的,相应各组初选方案的协调水平也是逐渐提高的。由于各初选方案均满足流域分水指标要求,各组初选方案的公平系数基本接近。在此基础上综合集成的流域可持续发展系数也是逐步提高的。

表 2 2010 年黑河流域水资源承载能力分析指标

Table 2 Analysis index on water resource capacity of Heihe river basin in 2010

初选方案 Initial program	发展系数 Development coefficient	协调系数 Unisonous coefficient	公平系数 Equitable coefficient	可持续发展系数 Sustainable development coefficient	天然林草面积 Natural area of forest and grass	水资源承载压力度 CCPS Quotient between pressure and carrying capacity of water resource
第 1 组 The first group	1.0307	0.9943	0.9998	1.0052	下游绿洲高中盖度面积提高到 40% The high and middle coverage area of oasis in the lower reaches were both increased by 40%	0.98
第 2 组 The second group	1.0325	0.9963	0.9998	1.0068	下游绿洲高中盖度面积提高到 40% The high and middle coverage area of oasis in the lower reaches were both increased by 40%	0.95
第 3 组 The third group	1.0364	1.0000	0.9997	1.0098	下游绿洲高中盖度面积提高到 50% The high and middle coverage area of oasis in the lower reaches were both increased by 50%	0.91

3.5 结果分析

对上述满足水资源支撑经济社会可持续发展判据的方案,计算其水资源承载能力指标。各组优选方案的承载人口数量均为 154.86 万人(2004 年为 139.83 万人),人均 GDP 均为 12400 元(2004 年为 6524 元),第 1 组和第 2 组初选方案额济纳绿洲,高中盖度林草面积恢复到 40%,第 3 组初选方案额济纳绿洲,高中盖度林草面积恢复到 50%。

水资源承载能力分析方案是在通过可持续发展评价和不同水资源利用方式组初选基础上得到的。在保障投入、措施可能的情况下,3 个初选方案水资源均可支撑流域经济社会的可持续发展,水资源承载能力均小于 1,均为可选方案。3 个初选方案由于措施规模不同、投入力度不同,对流域经济社会的承载程度也不同,主要差别在于额济纳绿洲恢复程度,第 1 组、第 2 组初选方案额济纳绿洲高中盖度林草面积恢复到 40%,第 3 组初选方案则提高到 50%。考虑到黑河流域退耕还林规模、节水投入力度及额济纳绿洲生态恢复程度的可行性,并且第 1 组初选方案的水资源承载能力最接近 1,说明承载压力度达到平衡,故第 1 组初选方案为水资源承载能力适宜的方案。

4 结语

本文根据黑河流域的现状,结合流域经济社会发展特点、生态环境状况,以遏制并逐步改善流域生态环境为基本前提,以流域水资源承载能力为约束,利用水资源承载能力判定指标对黑河流域现状及规划年的水资源承载能力进行了评价,为流域水资源承载能力的可持续发展提供了基本依据。

但水资源承载能力由于受多种因素影响,也是可变的,是个多变量的函数。因为实践证明,人口增长、城市化水平的提高、产业结构调整,都会引起用水结构和用水方式的改变,从而导致用水总量的变化。因此,对流域或地区而言,在一定水资源可利用量条件下,可以通过调整产业结构、改变用水方式、节约用水、降低用水定额,提高用水效率等多种有效措施,提高水资源的承载能力,实现从水资源超载状态向不超载状态的转变。说明通过努力谋求经济和社会与水资源承载能力协调发展是可能实现的目标。

References:

- [1] Weng W B, *et al.* Contemporary programming of water resources-theory, method and technique. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.273 ~ 292.
- [2] Lei X D, *et al.* Some present situation and perspective in study on the regional carrying capacity of water resources. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2004,(3): 10 ~ 14.
- [3] Li L Y, *et al.* Remark on the Relationship between water resources rational allocation, Carrying capacity and Sustainable Development. Advances in Water Science, 2000,(9): 303 ~ 317.
- [4] Liu Y H, *et al.* Ecological environment protection and appropriate utilization of water resources in Chaidamu basin. Beijing: Science Press, 2000.
- [5] Zhu Y Z, *et al.* A primary study on theories and process of water resources carrying capacity. Progress in Geography, 2002,(3):180 ~ 188.
- [6] Mou H S, Liu C M. A preliminary study on the coordination between regional water resources and its new cities setting up in China. Acta Geographical Sinica, 1994,7(4): 338 ~ 342.
- [7] Jia H Y, *et al.* Study and application of semiarid area water bearing capacity. Journal of Liaoning Technical University, 2003,8(22): 46 ~ 48.
- [8] Wang H, Chen M J, *et al.* Water resources rational allocation and carrying capacity study in northwest area. Zhengzhou: Huanghe River Water Conservancy Press, 2003.20 ~ 47.
- [9] Feng S Y, *et al.* Water Resources Sustainable Utilization and Management. Beijing: Science Press, 2000.213 ~ 216.
- [10] The People's Republic of China. Programming of Heihe River Basin Harness in Near Future. Beijing Ministry of Water Resources, 2001.
- [11] Environmental Stewardship & Planning. El Dorado County River Management Plan Carrying Capacity White Paper.
- [12] Xia J, Zhu Y Z. The measurement of water resources security: A study and challenge on water resources carrying capacity. Journal of Natural Resources, 2002,5(3):262 ~ 269.
- [13] Xia Jun, K Tackeuchi. Barriers to sustainable management of water quantity and quality. Hydrological Science Journal, 1999,44(4):503 ~ 505.

参考文献:

- [1] 翁文斌,等.现代水资源规划——理论、方法和技术.北京:清华大学出版社,2004.273 ~ 292.
- [2] 雷学东,等.区域水资源承载能力研究现状与发展趋势.水资源与水工程学报,2004,(3):10 ~ 14.
- [3] 李令跃,等.试论水资源合理配置和承载能力概念与可持续发展之间的关系.水科学进展,2000,(9):303 ~ 317.
- [4] 刘燕华,主编.柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护.北京:科学出版社,2000.
- [5] 朱一中,等.关于水资源承载能力理论与方法的研究.地理科学进展,2002,(3):180 ~ 188.
- [6] 牟海省,刘昌明.我国城市设置与区域水资源承载能力协调研究分议.地理学报,1994,7(4):338 ~ 342.
- [7] 贾惠艳,等.半干旱地区水资源承载力研究及应用.辽宁工程技术大学学报,2003,8(22):46 ~ 48.
- [8] 王浩,陈敏建,等.西北地区水资源合理配置和承载能力研究.郑州:黄河水利出版社,2003.20 ~ 47.
- [9] 冯尚友.水资源持续利用与管理导论.北京:科学出版社,2000.213 ~ 216.
- [10] 中华人民共和国.黑河流域近期治理规划.北京:中华人民共和国水利部,2001
- [12] 夏军,朱一中.水资源安全的度量:水资源承载能力的研究与挑战.自然资源学报,2002,5(3):262 ~ 269.