

柴达木盆地水资源承载方案系统分析*

陈冰¹, 李丽娟², 郭怀成¹, 孙海林¹ (1. 北京大学环境科学中心, 北京 100871, E-mail: hcguo@ces.pku.edu.cn; 2. 中国科学院地理研究所, 北京 100101, E-mail: lilj@dls.iog.ac.cn)

摘要: 利用系统动力学对柴达木盆地的水资源承载力进行了深入研究. 根据该地区的特点以人口为主要承载目标建立了柴达木盆地水资源系统动力学仿真模型(SDIMWRSCCB). 通过该模型对柴达木盆地 2020 年和 2050 年的水资源承载力以及承载人口进行了预测和分析, 提出高、中、低 3 个方案. 并进一步分析比较得出一个经济和环境协调发展的综合方案, 从而为决策者提供了科学的决策依据.

关键词: 系统动力学, 水资源承载力, 人口, 柴达木盆地.

中图分类号: X37 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)03-0016-06

System Analysis on Water Resources Supporting Alternatives for Chaidamu Basin*

Chen Bing¹, Li Lijuan², Guo Huaicheng¹, Sun Hailin¹ (1. Center for Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China E-mail: hcguo@ces.pku.edu.cn; 2. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China E-mail: lilj@dls.iog.ac.cn)

Abstract System Dynamics (SD) was used for further studying the water resource supporting capacity of Chaidamu Basin. According to the characteristics of the basin, the System Dynamics Imitating Model of Water Resource Supporting Capacity of Chaidamu Basin(SDIMWRSCCB) was built based on the main supporting projective of population. The water resource supporting capacity and supporting population of Chaidamu Basin in 2020 and 2050 were forecasted and analyzed by means of the model. Three alternatives, High, Middle and Low Alternatives, were put forward, and then a synthesis one under which environment and economy can be developed in harmony was made. So the decision-maker can use it to make more scientific and dependable decision.

Keywords: system dynamics, water resource supporting capacity, supporting population, Chaidamu Basin.

选择系统动力学(System Dynamics, SD)模型研究水资源与经济协调发展是切实可行的^[1, 2]. 只要通过因果关系的分析, 建立符合实际情况的因果链及反馈环, 追踪水资源的动态信息, 就可以对水资源环境系统及其所支持的区域经济发展两者之间的关系进行定量研究和计算机仿真模拟, 逐时段地展现出水资源系统多变量之间相互作用、相互影响的动态行为, 模拟未来政策实施后的结果, 从而对区域水资源与经济相互关系的发展趋势进行预测评估, 提出水资源对经济发展较高支撑能力的方案, 以供决策者选择^[3~5].

1 柴达木盆地水资源系统动力学仿真模型

1.1 柴达木盆地水资源概况

柴达木盆地处于我国青藏高原东北部, 是一个四面环山中间低陷的高原闭合内陆盆地. 盆地所有河流均发源于四周山区, 大小河流共计 160 多条, 呈辐合状向盆地中心汇聚. 据 1956~1995 年 40 年同步系列分析, 多年平均

* 国家“九五”重点科技攻关项目(The National Key Science and Technology Project during the Ninth Five-Year Plan Period): 96-912-04-01-03

作者简介: 陈冰(1974~), 男, 硕士, 主要研究方向为水环境规划, 多目标规划.

收稿日期: 1999-05-07

径流量为 44.1 亿 m^3 , 平水年(50% 保证率) 为 43.42 亿 m^3 , 偏枯年份(75% 保证率) 为 37.37 亿 m^3 , 特枯年(95% 保证率) 为 29.70 亿 m^3 . 盆地地下水总资源量为 38.97 亿 m^3 , 扣除重复计算量, 水资源总量共为 51.96 亿 m^3 ^[6-7].

1.2 柴达木盆地水资源系统动力学仿真模型 (System Dynamics Imitating Model of Water Resource Supporting Capacity of Chaidamu Basin, SDIMWRSCCB) 建立及检验

本研究系统范围东起希里沟, 西至茫崖镇, 南以昆仑山分水岭为界, 北至当金山口, 东西长约 800km, 南北宽约 300km, 总面积 25.6 万 km^2 , 取整个自然地理边界即为 SD 建模系统的边界. 为了数据采集和研究方便, 首先把整个盆地按照水资源特点分为 7 个子区: 茫崖冷湖荒漠区、鱼卡河大小柴旦区、巴音河德令哈区、都兰河希赛区、那棱格勒乌图美仁区、格尔木区和柴达木河都兰区. 然后, 又根据 SD 模型的需要和柴达木盆地实际情况, 在每个区建立 5 个子系统: 人口、工业、农业、水污染及治理和水资源子系统. 正是这 5 个子系统的相互作用构成了水环境系统复杂行为. 模型中共选取了 250 多个变量及参数, 其中包括 13 个水平变量. 经过历史回顾性验证和参数灵敏度分析之后表明, 模型参数以及模型结构是合理的, 基本反映了整个区域系统的实际动态行为特征, 可以用它来预测决策行为结果的变动趋势, 从而为决策者提供可靠的辅助信息*.

1.3 模型运行结果及柴达木盆地水资源承载方案总体分析

为了探讨柴达木盆地水资源承载力与经济发展相协调的途径, 笔者利用 SDIMWRSCCB 模型仿真了 3 种发展方案, 即以经济发展为主要目标的高方案, 以经济和环境发展并重为主要目标的中方案, 和以环境质量的改善为主要目标的低方案. 其运行结果反映的是整个区域在 3 种方案设计情况下区域系统的行为, 下面分别从人口、经济、水资源供需和水环境污染及治理等 4 个方面来考察柴达木盆地社会经济进一步发展与水环境承载力的关系(计算值均取高方案运行结果, 各种

产值均按 1995 年价格计算).

(1) 人口 柴达木盆地总用水人口由 1995 年的 39.8 万人增加到 2020 年的 80.9 万人, 到 2050 年人口又增长了 59.4%, 达到 129.0 万人. 其中非农业人口从 30.6 万人增加到 2020 年的 55.9 万人和 2050 年的 90.4 万人, 2 个阶段分别增长了 82.5% 和 61.9%, 农业人口由 9.2 万人分别增加到 25.1 万人和 38.5 万人, 增长率分别为 172.7% 和 53.8%. 分析 2 类人口的增长率明显下降的原因为: ① 2020 年左右为柴达木盆地资源大规模开发时期, 农村和城镇都有大量政策性的外来劳动力涌入, 导致人口机械增长量扩大, 而到了 2050 年之时, 整个地区经济发展将趋于稳定, 人口也逐渐稳定下来; ② 从人口的自然增长量上看, 由于现行的计划生育政策在控制人口方面起到了作用, 有资料表明, 柴达木地区自然增长的人口数量在 2020 年达到高峰, 而后将稳中有降. 另外, 流动人口数占总人口数的比例从 1995 年的 29.7% 增加到 2020 年的 51.5% 和 2050 年的 70.4%, 由此可知, 流动人口的比重越来越大, 并逐渐成为人口的主流, 这与城镇二、三产业的发展有着密切关系, 从长远看对整个地区的经济发展是有好处的, 但同时必须注意到这样的人口增长模式也给环境带来了更大的压力.

(2) 经济 柴达木地区人均国民生产总值由 752.7 美元/人增加到 2658.9 美元/人和 12042.5 美元/人(按 1998 年比率 1: 8.27 计算), 根据《World Development Report, 1992》对国家类别的界定标准看, 柴达木地区的人均收入水平在 2020 年和 2050 年将分别达到中等发达国家和发达国家水平.

工业总产值从 1995 年的 27.7 亿元分别增至 2020 年的 170.1 亿元和 2050 年的 595.0 亿元(见图 1), 其中乡镇工业产值占总工业产值的比重在 3 个水平年分别为 1.2%、1.1% 和 1.4%, 其发展规模较为稳定, 而一般工业(主要

* 刘磊. 区域系统环境规划方法及应用研究——以洱海流域为例. 北京大学环境科学中心论文, 1997

是国有大中型企业)的产值占总工业产值的比重在 3 个水平年里一直居高不下,甚至还略有上升(分别为 97.3%、98.7% 和 98.6%),可见国有的石油天然气工业、制盐工业和冶炼工业等资源工业不仅现在是占绝对主导地位,今后它们将依旧决定着该地区的经济发展进程和方向。

农业总产值增长速度较快,2 个阶段分别为 245.7% 和 295.2%,这是政策移民农业人口、大力发展农业的结果。人均粮食产量由 1995 年的 145.4kg/人 增至 2020 年的 278.0kg/人和 2050 年的 325.8kg/人(见图 2),但还远低于全国平均水平(1995 年为 385.3kg/人),因此目前乃至未来较长时期内粮食供应不能自给,必须从外部调运补充。分析造成粮食产量低的原因主要是耕地面积较少,现在耕地面积占可利用耕地面积的比例较低,平均为 13.6%,可进一步开垦和改良的土地潜力很大。

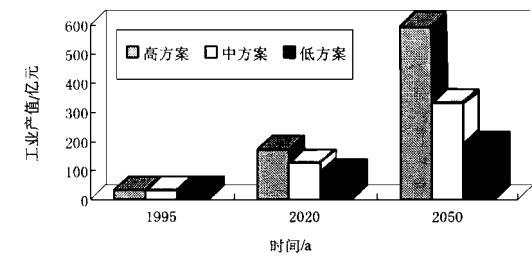


图 1 柴达木盆地工业产值变化

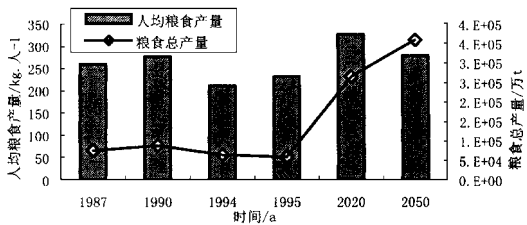


图 2 历年粮食产量变化

(3)水资源供需 由于柴达木盆地地广人稀,现有水资源量相对人口数量而言较为丰富,地表水资源量 44.1 亿 m³,地下水资源量 38.9 亿 m³,扣除重复计算量后总计为 51.9 亿 m³,1995 年人均占有量为 13052m³,分别相当于世界和中国平均水平的 1.9 倍和 2.0 倍。但从总统计表上可看出,如按照高方案运行人口数 2020 年和 2050 年此数分别下降为 6420m³ 和 4028m³,故发展前景不容乐观。

工业:如把工业分为火电工业、乡镇工业和其他工业计算需水量,结果如表 1。如按 1995 年用水比例,工业用水约占总用水量的 7.0% 计算,2020 年和 2050 年工业可供水量分别为 13566 万 t 和 13979 万 t,而 2010 年高方案和 2020 年低方案的工业总需水量均已超标,即使按照 2050 年理论最大可供水量 15426 万 m³ 计算,2020 年 3 种方案需水量也均超标。要解决这个矛盾,必须从降低工业取水量和提高重复

表 1 工业分类需水量随时间的变化/万 m³

工业分类		1995	2000	2010	2020	2050
火电工业	高	507.98	507.98	900.48	857.6	643.2
	中	507.98	507.98	900.48	857.6	643.2
	低	507.98	507.98	900.48	857.6	643.2
乡镇工业	高	63.972	70.627	239.19	441.55	1148
	中	63.972	70.627	134.04	225.67	440.34
	低	63.972	70.627	86.289	78.223	150.55
其它工业	高	4418.1	6855.7	15360	36060	65390
	中	4418.1	6365.9	12710	25680	36210
	低	4418.1	6142.2	11200	18590	20060
总 计	高	4990.052	7434.307	16499.67	37359.15	67181.2
	中	4990.052	6944.507	13744.52	26763.27	37293.54
	低	4990.052	6720.807	12186.77	19525.82	20853.75

利用率等方面入手,3 个水平年高方案的万元 工业取水量为 342.9m³/万元、221.4m³/万元和

113.6m³/万元,而全国1995年平均水平的万元取水量分别为159m³/万元、24m³/万元和7m³/万元^{*}。由此可见,柴达木地区的单位产值的工业取水量过高,还需大幅度降低。另外,工业用水重复利用率也较低,目前为56.2%,虽然略高于全国平均水平(1995年50%),而2050年全国平均计划应达到75%,故距离该目标还有较大差距,需要增加投资引进先进的设备和技术,提高重复利用率,以减少耗水量。

农业:农业一直是最大的用水部门,1995年用水量占了总用水量7.0亿m³的90.3%,其中农林牧灌溉用水分别占农业用水量和总用水量的98.9%和89.3%。按照预测的3个水平年农业可供水量(75%保证率)分别为14.7亿t、15.4亿t和14.2亿t,则刚可以满足需要;但如按照95%保证率3个水平年的可供水量分别为11.2亿t、12.2亿t和11.3亿t,则出现了供需矛盾,供水量冗余度过小甚至为负势必会阻碍本地区的农业顺利发展。分析导致需水量偏高的原因,笔者认为主要是农业用水定额过高的缘故,至于各类型农业的规模则不应缩小,而要进一步提高。

生活:生活用水量1995年为1880万t,用水部门中占总用水量的比例最低(为2.6%),其中以城镇生活用水量为主(占85.7%),农村生活用水量较少。从用水定额看,本地区属于低水平,但与发达国家相比则差得更多,例如1993年世界高收入国家的人均生活用水就已达到470L/(人·d)。因此在尽力提高人均生活用水量、改善人民生活水平的同时要注意到,当用水定额提高时,会导致总用水量加大,容易引发供水不足的问题,所以根本还是在于控制人口和提高供水能力。

(4)水污染及治理 由于柴达木盆地经济发展尚处于资源大规模开发前期阶段,水环境污染还不很严重,只是个别工业区和小范围流域存在较重的水质污染问题,但人们普遍的环境意识和环境保护水平却很低,到目前为止本区还没有一座污水集中处理厂,大量工业废水未经处理或仅经过简单处理就排放到环境中。

目前造成水污染最主要的就是工业和城镇生活用水,虽然1995年只占总用水量的9.8%,但排放的污水和污染物对柴达木脆弱的生态环境影响很大。如果不从思想和环保措施上进行较大程度的改善,今后随着资源大规模开发和经济的进一步繁荣发展,环境污染问题将日益严重。

目前柴达木地区还处于经济不很发达的状况,水污染治理的投资所占工业固定资产总投资的份额很小。污染治理投资率近几年呈现下降趋势,其中污水总量和工业污水治理投资率历年平均值分别为0.2%和0.7%,在这样的投资率下的总污水和工业污水处理率历年平均值分别只有14.6%和24.9%。模型中按照该地区历年污染治理投资的平均水平进行仿真预测,得到2020年和2050年污水处理率分别为20.5%和45.1%,而同时期全国平均水平为40%和70%,由此说明污水治理投资率必须大幅度提高,污水处理率才可追上全国的平均水平。为此,模型中把1995~2020年和2020~2050年2个阶段的污水投资率分别提高到1.5%和1.6%,由于投资率的提高,污水处理率也得到了显著的提高,并可达到全国预期的平均水平。另外,目前柴达木地区的污水回用率较低(如1993年为14.2%,而全国水平为20%),故提高污水回用率亦是一个节约用水的有效方法,模型同样作了模拟,效果亦是很好。

2 柴达木盆地水资源承载方案比较分析

2.1 经济发展型规划方案(高方案)

(1)人口和经济增长最为迅速 经济的发展必然需要与其规模相应的劳动力资源,资源的加速开发导致相关的劳动力大量涌入,农用地耕地的增长也离不开农业移民的加入,而经济的繁荣亦会吸引外地人口的迁入,因此人口规模迅速扩大,2020年和2050年分别达到80.9万人和128.9万人,成为3个方案中最高者。由

* 王浩,杨小柳.水资源态势报告(修改版).中国水利水电科学研究院水资源研究所,1997

于本方案是以发展经济为主要目标,而把保护环境放在次要的地位,故工业固定资产投资率和农业增长率均最大,到 2020 年和 2050 年国内生产总值(GDP)迅速增长为 177.9 亿元和 1284.6 亿元,其绝对量比中、低 2 种方案分别平均高出 1.5 和 2.2 倍,1995~ 2050 年历年平均增长速度为 8.3%,而同时期中、低方案的增长速度分别为 6.9% 和 5.6%。随着大规模的资源开发,石油天然气、冶金、制盐等主导工业迅速发展,使工业总产值平均以 8.7% 的速度猛增。随着农业移民对都兰等农业区的大面积开垦,耕地面积由 1995 年的 36333.2hm² 增加到 2020 年的 97866.7hm² 和 2050 年的 133066.5hm²,粮食总产量也分别达到 26.37 万 t 和 35.8 万 t,分别比中、低方案平均高出 1.5 倍和 2.0 倍。

表 2 3 种方案的总需水量和供需差比较/亿 m³

年 份	总需水量			供需差		
	高方案	中方案	低方案	高方案	中方案	低方案
1995	7.05	7.05	7.05	9.68	9.68	9.68
2020	21.13	15.35	11.27	- 1.75	3.6	3.74
2050	25.67	16.31	10.88	- 5.69	3.22	4.72

2.2 环境保护型规划方案(低方案)

(1)人口和经济增长最为缓慢 从人口发展状况分析,由于缓慢的经济增长无法吸引更多的劳动力迁入,而柴达木地区的人口机械增长量一直占据最大的比例,因此导致总人口与另外 2 个方案相比有所减少,2020 年和 2050 年分别达到 79.5 万人和 115.5 万人。从经济发展状况看,由于把环境保护放在发展的首位,各方面经济的发展均需服从于环境质量改善的要求,所以工业投资中用于环境方面的比例最高,用于经济发展的自然相对减少,同时为了防止资源的过度耗竭,资源开发程度有所减缓,这些导致工业总产值和农业总产值与高、中方案相比明显减少,2020 年减少量分别为 49.2 亿元和 82.8 亿元,2050 年减少量分别为 266.7 亿元和 413.6 亿元。由于乡镇企业一直是污染大户,故此方案下,乡镇企业的发展明显受到遏制。另外,农业耕地面积的增加为 3 个方案中最

(2)水环境污染最为严重 因为有利于环境保护的设施和措施都需要大量的资金投入,这样固定资产投资用在其它方面的比例势必减少,为了短时期内尽快加速经济发展,本方案就要尽量减少这种有长期效益的环境投入,因此环境保护措施只能维持目前水平,这样导致污水处理率一直处于较低的水平。

(3)水资源供需矛盾最为明显 工业和农业上高投入、高产出和水环境投资上低投入的综合作用下,导致了高方案需水量的异常巨大,2020 年和 2050 年分别达到 21.1 亿 t 和 25.7 亿 t,分别比中、低 2 种方案高出 1.5~ 2.1 倍,供水剩余量将在 2020 年达到负值,造成严重的水资源供需矛盾,这必然反作用于经济发展,致使工农业发展均处于缺水状态,在很大程度上阻碍了经济的持续发展。

低的,与高方案相比,2020 年和 2050 年分别减少了 38066.7hm² 和 63266.7hm²,与中方案的粮食总产量相比,亦分别减少了 25.1 万 t 和 40.0 万 t。

(2)环境质量最高 环境保护方面的高投入,使水利工程、用水设备、污水治理设施等在量和质两方面都得以明显改善,具体表现为工业万元取水量、万元排污量、万元 COD 排放量、农业用水定额都得到大幅度降低,并接近全国平均水平,重复利用率、污水处理率都有了较大程度提高,使污水处理量在 1995~ 2020 年和 2020~ 2050 年 2 个阶段分别增加了 6848 万 t 和 16764 万 t,污水处理率 2020 年和 2050 年分别为 40.3% 和 69.9%,已达到同时期全国平均水平(40% 和 71%)。又由于总的污水排放量是 3 方案中最低的,如 2020 年分别比高、中方案少排放了 1.3 亿 t 和 0.5 亿 t 污水,故水污染程度是最低的,水环境质量也自然是最好的。

(3) 水资源供需矛盾最轻缓 由于用水定额的降低和重复利用率提高, 工业和农业需水量大幅度减少, 总需水量自然随之减少, 2020 年和 2050 年总的供水剩余量分别为 3.7 万 t 和 4.7 万 t, 比高、中方案的数值小得多, 且一直为正值, 说明用水供需矛盾已得到解决。

2.3 经济环境并重型规划方案(中方案)

从以上分析中可以清楚地看到: 单方面追求经济的高速增长、资源的大规模开发的高方案和把环境保护放在首位、从而降低经济发展速度的低方案都是不可取的。因此各个决策变量的取值应介于高、低方案之间, 如工业固定资产投资率取 30%, 污染治理投资率取 0.70% 等。这样使工农业生产总值达到一个适当的程度, 人均 GDP 分别达到 15918.70 元/人和 59754.20 元/人, 分别于 2020 年和 2050 年达到小康水平和中等发达国家水平。农业开发程度也介于高、低方案之间, 耕地面积到 2050 年将达到 96433.3hm², 粮食产量达到 23.74 万 t。由于加大了环境污染治理的投入, 使得污水处理程度达到较高的水平, 污水排放总量也介于高、低方案之间, 2020 年和 2050 年分别为 2.23 亿 t 和 5.73 亿 t, 污水处理率分别为 29.8% 和 64.1%, 接近于全国水平, 该方案下, 环境质量得到了一定程度的改善, 同时又保证了经济的迅速发展。由于经济 and 环境的协调发展, 使得人民生活水平迅速提高, 并使人口数量维持在一个较为合理的水平上, 总人口数 2050 年达到 121.69 万人, 而同时期高、低方案的人口总数分别为 128.99 万人和 115.46 万人。该方案充分考虑水资源开发对人口承载量的影响、国家政策对人口迁移量的影响、经济发展对劳动力的需求影响以及环境质量对人口死亡率的影响等因素。因此可以认为, 此方案的人口预测量是最佳的, 与水资源承载的期望人口 131.34 万人相比还留有一定的余地。水资源的供需情况与高方案相比有较大程度的改善, 总供水剩余量 2020 年和 2050 年分别为 3.60 亿 t 和 3.22 亿 t, 介于另 2 个方案之间, 供水量基本能够满足

各方面发展需要。

总之, 中方案既保证了柴达木盆地国民经济的持续增长, 又使环境质量得以稳步改善, 且人口总量和人口迁移规划也有效控制在水资源承载容量之内。因此, 笔者认为经济与环境并重型方案是最优的规划方案。

3 小结

综上所述, 柴达木地区水资源量相对于人口而言较为充足, 但利用效率较低, 用水量偏大。虽然供水量目前能够满足需水要求, 但从长远看, 按照模型的仿真结果, 将出现水资源量紧缺的不利局面, 阻碍经济的高速发展。另外, 污水排放量增加迅速, 污水处理投资率较低, 导致处理量不高, 且目前全部是分散处理, 没有污水集中处理厂, 长此以往, 将造成地表水和地下水的污染, 从而影响人民生活环境的质量, 导致环境恶化。因此, 要通过降低农业用水定额、工业万元取水量、工业万元排污量和提高工业水重复利用率、污水处理投资率、污水处理率、渠系利用系数、水利工程蓄水供水能力等措施, 尽可能地降低需水量和耗水量, 提高供水能力, 从而缓解以至解决水资源供需矛盾, 为柴达木地区资源的大规模开发铺平道路, 也为迅速提高该地区人民生活水平和加快经济的发展提供有力保障。

参考文献

- 1 Forrester J W. Urban dynamics. The M. I. T. Press, 1969. 285.
- 2 王其藩. 系统动力学. 北京: 清华大学出版社, 1995. 25~38.
- 3 郭怀成. 洛阳城市水污染控制系统研究. 地理学报, 1988, 1(4): 318~328.
- 4 达庆利等. 区域水环境-经济系统建模的原则和方法. 系统工程理论与实践, 1989, 1(1): 3~6.
- 5 郭怀成, 唐剑武. 城市水环境与社会经济可持续发展对策研究. 环境科学学报, 1995, 1(3): 363~369.
- 6 郭武. 柴达木盆地水资源开发利用现状分析. 干旱区地理, 1997, 1(3): 82~89.
- 7 中国土地资源生产能力及人口承载力研究. 自然资源综合考察委员会. 北京: 中国人民大学出版社, 1991.