

气候变暖背景下塔里木盆地水资源可持续利用

李 艳¹ 张鹏飞² 唐晓春¹

(1. 广东商学院资源与环境学院, 广东 广州 510320; 2. 广东嘉应学院地理科学与旅游学院, 广东 梅州 514015)

摘要:根据塔里木盆地水循环的特点,从系统的观点出发定义塔里木盆地水资源可持续利用的定量化概念,建立了水文循环的系统动力学模型。从模型可以看出,径流量主要由降水量、冰雪贮水量决定,而降水量又由内、外循环系数及系统贮水量决定。仿真模拟结果显示:在温度升高的背景下,系统贮水量减少,水资源系统恶化;水资源系统对内、外循环转化率变化非常敏感。因塔里木盆地降水转化率与全国相比很低,具有改善的潜力,考虑盆地独特地形条件及气候系统特征,从概念上分析人工影响塔里木盆地水文循环的可能及途径。

关 键 词:气候变化;塔里木盆地;系统动力学;仿真

中图分类号: TV213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)11-1403-06

引 言

水资源是人类赖以生存的重要资源,塔里木盆地由于水资源短缺,区域社会经济发展受到严重地制约。20世纪90年代以后,为解决当前人类为人口、资源、环境与发展问题所困扰,各个领域的学者不约而同的提出了可持续发展的概念^[1],而在全球气候变暖的背景下实现水资源的可持续利用无疑是塔里木盆地发展所首要解决的问题。塔里木盆地近50 a气候变化与全球同步上升,高山冰川加速融化,而气候变化为依赖高山冰雪融水的塔里木盆地的发展前景增加了更多的不确定性。目前,许多学者对塔里木河流域生态环境及水资源问题进行了研究^[2-6],这为加强整个盆地水资源的可持续利用提供了理论基础。本文从系统的观点出发,定义了塔里木盆地水资源可持续利用的标准,根据塔里木盆地水循环的特点建立了水文循环的系统动力学模型,分析在温度升高的背景下,盆地水资源的反馈响应,在模型仿真的基础上,探讨了人工影响塔里木盆地水文循环的可能及途径。

1 塔里木盆地水资源系统的系统动力学分析

由于地球环境是一个充满各种反馈机制的复

杂系统,保护地球环境的方法之一就是识别系统中引发环球气候系统失稳的正反馈机制,并设法消除激发这些正反馈的因素。由于温室气体排放和自然的原因造成的全球增温就会对气候系统产生一系列的反馈,如气温升高导致冰川消融,冰雪覆盖面积减小降低对太阳辐射的反射,进一步导致气温升高加速冰川消融,全球升温使得冻土融化,冻土的融化释放出起温室效应作用的气体进一步加剧冻土的融化,此为气温升高后形成的正反馈链之一。而气温升高导致全球水循环加速,在盆地产生更多的降水,降水增加又活跃了增发,增发的增加又使盆地水汽含量更高,产生更多的降水,此为气温升高的产生的负反馈链之一。塔里木盆地水资源系统的稳定性决定于气温升高所产生的正反馈能不能得到抑制。具体的说塔里木盆地内部的水循环可以概括为冰川(固态水)、地表水地下水(液态水)、大汽水(气态水)之间的循环平衡,在三种水体任何一个的平衡发生改变都会引发整个盆地水资源的变化。在气候变暖的条件下,固态水肯定会逐渐的减少,如果液态水也减少或不变,那么在连环反馈下气态水也会减少,降水量减少,这当然不利于当地的发展,也就是不可持续的。故本文中定义可持续利用就是当这固态水和液态水总量不变可增加才认为是可持续的。

收稿日期:2011-01-06; 修订日期:2011-03-08

基金项目:国家自然科学基金项目(41001019)资助。

作者简介:李 艳(1978-),女,新疆库勒人,讲师,博士,主要从事水文与水资源研究。E-mail: liyan2990@yahoo.com.cn

2 水资源系统动力学模型

系统动力学,简称 SD(System Dynamic),具有如下特点^[7-8]:① 擅长处理周期性问题;擅长处理长期性问题;② 擅长处理高阶、非线性、时变的问题;③ 在数据缺少条件下仍可进行研究。系统动力学提供了模拟复杂系统反馈动态复杂问题的方法。

塔里木盆地水资源变化的系统动力学模型,主要研究在气温升高、冰雪加速消融情况下盆地水资源系统的变化,基本目标是通过对盆地水资源系统的系统动力学描述,根据现有的数据对未来气候变化的各种情景下径流、系统贮水量进行了趋势模拟。分析在气温升高的情况下,盆地水资源变化趋势,同时基于模型对盆地水循环比较全面的描述,寻找盆地水资源利用可行方案。该模型把塔里木盆地的水文循环系统分为内循环子系统和外循环子系统,以输入水汽、温度变化、内循环系数、外循环系数4大因素为基础,以水量平衡为条件,从而

驱动水文循环模拟过程,预测径流、降水的变化。整个模型包含有5个状态变量,7个普通变量。在建模过程中使用的参数估计方法主要有:① 收集整理现有的流域统计数据,如冰川贮量、水汽流入量等;② 根据水资源管理部门和统计年鉴等确定模型中部分变量值,如盆地地下水、工业生活用水比、农业生态用水比等;③ 利用《新疆气候变化及短期预测》、《新疆水文手册》等预测成果或相关部门的估计决定参数的取值,如冰川消融率、气温升高量等;④ 根据水量平衡计算,在模型的初始参数先择中要求冰雪贮水变化、植被贮水变化、湖库贮水变化和地下水变化均为0,在此条件下可计算等一些参数,如内循环系数、外循环系数等;⑤ 对某些难以确定的变量,根据系统的实际情况做出合理的、有根据的估计推断,如气候升高后冰川消融率、农业用水转化成地下水的比例等。据此,在分析各要素间相互作用关系,建立模型因果作用关系结构的基础上(图1),利用系统动力学仿真软件 Vensim 4.0 a 实现该子模型的模拟与仿真。

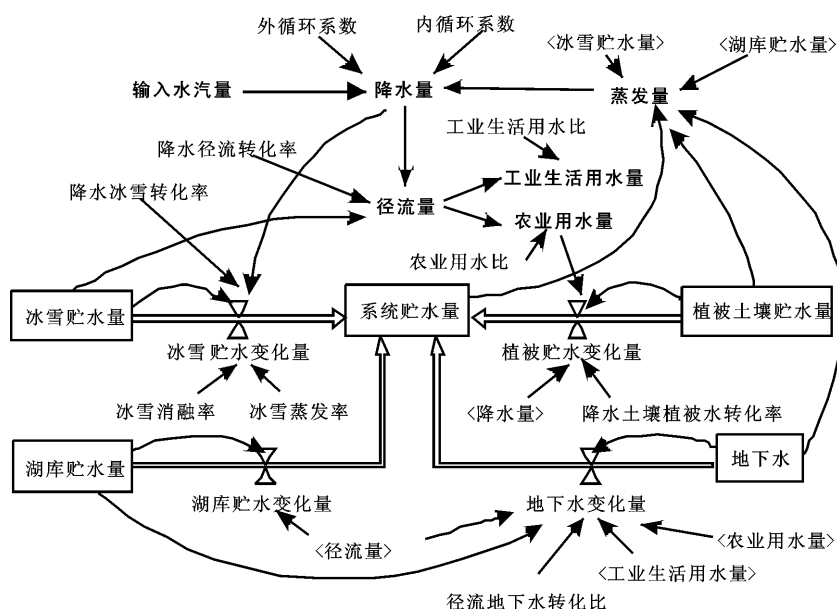


图1 塔里木盆地水文循环 SD 仿真模型

Fig.1 Hydrologic cycle System Dynamic simulation model in Tarim basin

3 塔里木盆地水资源可持续利用的定义

模型建立后,利用 Vensim 提供因果分析方法,可以看出径流量主要由降水量、冰雪贮水量决

定,而降水量又由内、外循环系数及系统贮水量决定。

系统贮水量:指盆地内可参加水循环的各种水体水量之和,如冰川积雪、地下水、库湖塘、植被含水等,记为 Q_0 。

内循环系数: 指区域内的蒸发水分再降落回本区域的百分比, 记为 p_i 。

外循环系数: 指进入研究区域内的外来水汽以降水或凝结的形式降落到区域内的百分比, 记为 p_0 。

区域蒸发量记为 E , 区域温度记为 T , 降水量记为 P , 系统贮水量变化记为 ΔQ_0 。

水资源系统可持续利用: 当 $\Delta Q_0 \geq 0$ 时, 认为系统的水资源利用是可持续的, $\Delta Q_0 < 0$ 时, 认为系统的水资源利用是不可持续的。据水量平衡, 可得:

$$E = f(Q_0, T) \quad (1)$$

其中 f 表示 Q_0, T, E 之间的函数关系

$$P = E \cdot p_i + q_0 \cdot p_0 \quad (2)$$

其中 q_0 为外界进入盆地的水气量

$$\Delta Q_0 = P - E = q_0 \cdot p_0 - E(1 - p_i) \quad (3)$$

4 模型仿真分析

因果分析得知, 盆地水资源量(径流)决定于系统贮水量和内、外循环系数, 下面分析内、外循环系数、冰雪消融率、冰雪蒸发率、用水制度发生改变条件下, 盆地水资源系统的响应。

在全球升温的背景下, 塔里木盆地水资源系统中首先变化的就是冰川的消融和蒸发, 图 2a 和图 3a 是调整冰川消融率和蒸发率后系统贮水量和径流的趋势模拟, 初始冰川消融率 0.007 627, 冰川蒸发率 0.001, 情景 1 将冰川消融率设为 0.008, 冰川蒸发率 0.002, 模拟的结果显示, 从一开始系统的贮水量就处于减少状态, 而径流量在开始阶段有个明显的增加, 随后开始逐渐下降, 到 40 a 以后径流量低于初始值。在模拟中本文对冰川的消融速率只做了个比较微小的调整, 增加了不到 5%, 联合国环境规划署在 2008 年 3 月 16 日声明中说, 从安第斯山脉到北极, 冰川消融速度加快。通过调查 9 个山区的近 30 片冰川发现, 2005 ~ 2006 年度的平均消融速度是 2004 ~ 2005 年度的两倍^[9]。虽然现在对盆地冰川消融率和蒸发率变化的准确值还不能确定, 但有一点可以肯定, 在全球气候变暖的背景下分布于塔里木盆地周边高山上固态冰川储备水分将会有更多的部分融化, 这对于在短期内缓解西北缺水状况有着重要的意义, 但高山储备的固态水资源并非取之不尽用之不竭, 我们须在消耗水资源储备的同时着眼未来, 否则盆地水资源状况恶化的结果不可避免。

分析盆地水文循环图, 盆地的降水决定于内、

外循环系数, 循环系数的变化直接决定盆地水资源变化。图 2b、c 和图 3b、c 是内、外循环系数变化的情况下, 系统贮水量和径流量的变化趋势模拟, 其中初始内、外循环系数均为 0.087 5, 情景 2 内循环系数改为 0.08, 情景 3 的内循环系数为 0.09, 情景 4 是外循环系数为 0.08, 情景 5 外循环系数为 0.09。从图中可以看出, 在内循环系数仅增加 0.002 5 的情景下, 系统的贮水量就开始明显增加, 而且这种增加是持续的, 既并没有在增加一段时间后达到新的平衡, 当然这是一种理想的状况, 这种情景发生在系统其它水体蒸发比率未发生变化的假设情景之下, 但也从中可以看出循环系数变化对系统水资源状况的巨大影响。同样当循环系数降低以后, 系统的贮水量和径流量立刻开始下降, 并且在这种变化情景下, 系统在短时间内达不到新的平衡, 可以称这种变化是持续的。

除自然条件变化引起水资源系统平衡会发生改变外, 人类活动对水资源系统也有显著的影响, 模型中这方面考虑较为简略, 但在模型通过调整工、农业用水比等条件, 我们还是可以看出用水制度对水资源系统的影响, 在这里仅给出调整农业用水比的模拟趋势。图 2d、图 3d 显示的是农业用水经调整后水资源的变化情况, 初始农业用水比为 0.54, 径流地下水转化比为 0.327, 情景 6 初始农业用水比 0.64, 径流地下水转化比 0.227, 情景 7 初始农业用水比 0.44, 径流地下水转化比 0.427, 模拟结果显示, 当农业用水比增加时系统贮水量会下降, 但在较短的时间内可以达到新的平衡, 而农业用水比减小时系统贮水量增加, 也会在较短时间内达到平衡, 而径流的模拟结果显示, 无论增加农业用水还是减小农业用水, 径流都会减小, 在达到平衡前, 增加农业用水径流量还有一个增加的过程, 减小农业用水径流量会减少, 而且在达到新的平衡后, 径流量趋于一致, 这主要是模型设置缘故, 在模型中, 减少的农业用水转化成了地下水, 而地下水蒸发比率未发生变化, 这样地下水的贮量是增加的。从水资源角度讲, 地下水资源增加了, 总的水资源量也是增加的, 与系统贮水量增加水资源是可持续利用的结果不矛盾。

5 塔里木盆地水资源可持续利用分析

从上面的分析可知, 气候变暖、冰川加速融化这一难以逆转的背景下, 如果系统的其它参量不发

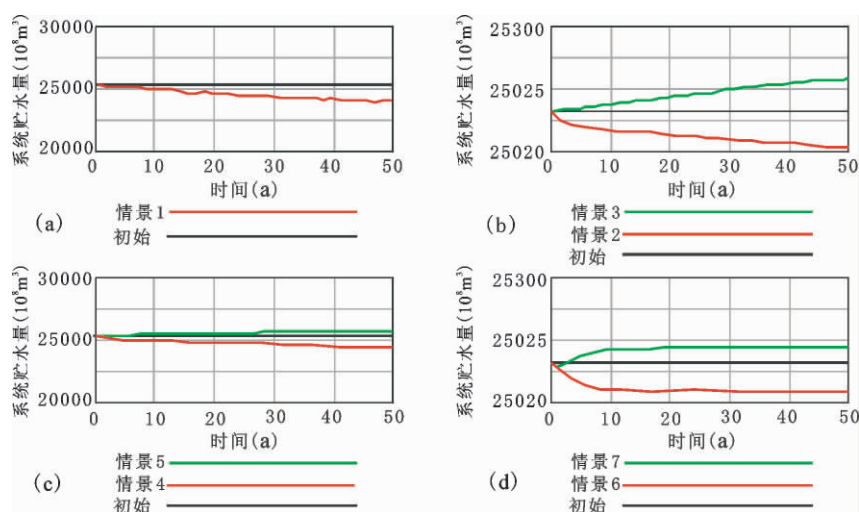


图2 各情景下系统贮水量的响应

Fig. 2 Response of water storage in different situation

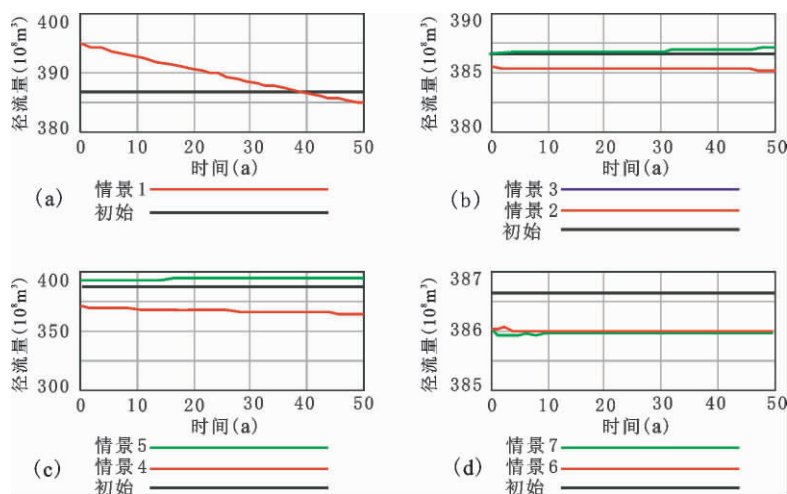


图3 各情景下径流量的响应

Fig. 3 Response of runoff in different situation

生变化的情况下,水资源状况在短时间改善的情况下将最终恶化,但至少从理论上讲我们可以通过改变内、外循环系数、用水制度等方式改善这一结果。下面分析改变这些条件的可行性。

5.1 改善塔里木盆地水分内循环的可能性分析

水文内循环是指区域内通过蒸发(散)进入空中的水汽通过降水形式返回地面的水文循环过程,其强弱程度主要体现在内循环系数的大小,内循环是一个相对的概念,如果把全球当作研究对象,那么水文循环过程就可以认为是一个内循环系数为1的内循环过程。以全球尺度来说,陆地水分内循环是一个内循环系数为0.11,即陆地降水量的11%是来源于陆地蒸发。实际上在内陆地区,这一

比例可能更高。据杨梅学^[10]等的研究结果,在青藏高原的安多地区,1998年6~9月海洋气团的直接输送而形成的降水量至多占总降水量的32.1%,而局地蒸发的水汽所形成的降水量至少占总降水量的46.9%,其它至少有21.0%的降水量可能来源于季风环流对沿途蒸发的水汽的输送。从以上研究结果可以看出内循环的重要作用。

高山与盆地、荒漠与绿洲构成了塔里木盆地的主要景观。盆地周边的高山挡住了水汽进入盆地,但同时也为人工影响水文内循环提供了条件。塔里木盆地独特的地形条件和在此条件下形成的特有气候条件是我们应该考虑利用的,而几十年来对盆地内人类活动的水文效应的总结也应该引起我

们足够的重视。

5.1.1 特殊气象现象的利用及人工影响

加大内循环降水量可通过两种手段,其一增大内循环系数,其二为加大循环速度。而加大循环速度意味着更多的蒸发。这对塔里木盆有限的系统贮水量来说是绝不适宜的,虽然加大循环速度在短期内可增加一定的降水量,但系统贮水量会减少,这种方式是不可持续的。那么我们只可能通过提高内循环系数来达到加大内循环降水量。

由于盆地特殊地形影响,盆地的天气气候与周围地区有比较明显的差别,天气系统在这里的移动性差,某些天气(现象)系统在盆地内部滞留的时间长,水分(水汽、云、蒸发、降水量)在盆地内部的循环比较明显等。而且形成了一些独特的天气现象如盆地的过热奇寒、稳定温度层结、气压日变化大、春季翻山大风、阴雾天气、类山谷风等^[11]。张学文分析认为,阿克苏河上游地区的降水增加特别明显,就是由灌溉量加大和类山谷风共同作用造成的^[12]。依据这种理论,在阿克苏源流山麓区扩大耕地(山谷风强),灌溉农田的水分蒸发可以促进山麓的降水量的增加,而在塔里木河下游离山远的地方扩大耕地(山谷风弱),蒸发的水分对形成当地降水的作用就小,相反它还可能使降水量减小,促进荒漠化发展。因此,对同样的人类行为在源流区和下游区气候做出的响应完全不同。如果这一认识正确的话,以后农业开发应尽量在山谷风较大的山麓地带进行,水分在这种地方的蒸发更易形成降水,从而提高内循环系数。

5.1.2 沙漠贮水效应的利用

世界大部分的沙漠地下都存在贮量不小的地下水,有估计说塔克拉玛干沙漠地下有超过 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的地下水^[13]。沙漠地区降水量虽然非常稀少,但沙漠特殊的下垫面利于地下水的保存,沙层空隙大利于降水下渗而缺少土壤毛细管沙层地下水极难被蒸发,通过凝结水和降水多年的持续补给,积累了相当可观的贮量。在上面的仿真结果显示,我们通过调整农业用水和地下水的比例关系得出,如果减小农业用,则系统贮水量会增加,水资源利用方式是向可持续利用方向发展。但由于经济发展的要求,大规模减少农业用水是不现实的。但在气候变暖的背景下,在冰雪消融高峰时期,会形成不少剩余水量,而且随气候变暖,大到暴雨出现的机率会大大增加,这些剩余水量除部分用来改善

一些重要的生态区外,大部分应贮入地下,形成地下水库,而且在气候变暖,潜在蒸发能力加大的条件下,部分地表水库也应该废弃或减小蓄水转而用地下水库来代替,从而减少无效的蒸发,提高盆地水资源利用效率。

5.2 改善塔里木盆地水分外循环的可能性分析

一个区域的降水量多少决定了该区域水资源丰欠而降水主要来源于空中水汽的输送和转化。据气候资料的计算,塔里木盆地上空从外界输入的水汽量比以前预估的要高,仅4、7、8三个月空中水汽输入量就达 $5\,221.4 \times 10^8 \text{ t}$,分别为4月 $1\,077.1 \times 10^8 \text{ t}$ 、7月 $2\,458.7 \times 10^8 \text{ t}$ 、8月 $1\,685.6 \times 10^8 \text{ t}$ 。这样的计算还只是进入沙漠上空的不包括被山区截留的水汽,故估计全年塔里木盆地水汽输入量超过 $10\,000 \times 10^8 \text{ t}$ 。前面模型中取4、7、8三个月水汽量二倍作为全年的水汽输入量,以此计算得塔里木盆地的水资源转化率只有8.75%,远低于全国的平均转化率34%,这说明盆地水分外循环很不活跃,降水的转化效率很低,有改善的潜力。

再从水汽压特性来看,水汽压是大气压的分压力,可以近似认为水汽增加导致水汽压升高多少大气压也就升高多少。如果有足够的水量,依靠盆地超强的蒸发能力,在季节性高温($20 \sim 35^\circ\text{C}$)条件下,在短时间之内可以使当地大气压升高 $5 \sim 40 \text{ hPa}$ (夏季整个国内气压相差不过 $2.5 \sim 5 \text{ hPa}$,冬季蒙古高压与海南台湾相差也不过 $18 \sim 20 \text{ hPa}$),形成超强暖湿高压。如果在盆地7月的平均环流情形下,能在盆地东部适当地点制造一个强大的暖湿气流,暖湿高压不仅增加风速,加强辐合的强度,暖湿气流在上升过程中,通过凝结释放大量潜热,使上升气流保持相对周边的高温而继续上升,这也是成云致雨的主要原因。在此暖湿高压帮助下,也许就可以打破使盆地极度干旱的局地系统。

6 小 结

通过本次研究,得到了以下成果:

1) 气候变化条件下塔里木盆地水资源的可持续利用是各方所关注的,本文给出了量化的可持续利用定义,为将来水资源利用评价提供一借鉴。

2) 以水量平衡为基础构建了盆地水循环的系统动力学模型,通过模型的对不同情景的模拟,分析水资源系统对参数变化的敏感性进行分析,寻求可持续利用的思路。

3) 立足于模型分析结果,对盆地独有的气象系统进行分析,试图从人工影响气候上寻找一些方法,实现盆地水资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] 王 铮. 陆地系统动力学研究的现状与动向[J]. 云南地理环境研究, 1995, 7(23): 1~13.
- [2] 徐海量, 叶 茂, 宋郁东. 塔里木河源流区气候变化和年径流量关系初探[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 219~224.
- [3] 李红军, 江志红, 魏文寿. 近40年来塔里木河流域旱涝的气候变化[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 801~807.
- [4] 赵万羽, 陈亚宁. 塔里木河下游断流河道整治引发的生态问题与重建对策分析[J]. 地理科学, 2008, 28(4): 496~500.
- [5] 左其亭. 博斯腾湖向塔里木河生态输水效果及风险[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 564~568.
- [6] 靳立亚, 符娇兰. 最近44年中国西北降水量变化对全球变暖的响应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567~572.
- [7] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [8] 李同升, 徐冬平. 基于SD模型下的流域水资源-社会经济系统时空协同分析——以渭河流域关中段为例[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 551~556.
- [9] 佚名. 世界冰川加倍消融欧洲损失最为严重[R/OL]. http://gzdaily.dayoo.com/html/2008-03/17/content_137742.htm.
- [10] 杨梅学, 姚檀栋, 何元庆, 等. 藏北高原地气之间的水分循环[J]. 地理科学, 2002, 22(1): 29~33.
- [11] 江 禾. 盆地气象学问题[J]. 新疆气象, 1986, (10): 2~4.
- [12] 张学文. 山前绿洲开发可以增加降水量[N/OL]. <http://xjqx-sc.idm.cn/zhangxw%20web/index.htm>.
- [13] 李耕拓. 沙漠中的地下水[N/OL]. http://app.cpst.net.cn/xkxj/khgd/2007_09/190942800.html.

Sustainable Utilization Analysis of Water Resources under the Background of Climate Warming in Tarim Basin

LI Yan¹, ZHANG Peng-fei², TANG Xiao-chun¹

(1. Department of Resources and Environment, Guangdong University of Business Studies, Guangzhou, Guangdong 510320, China;

2. Geography Science and Travel College, Jiaying University, Meizhou, Guangdong 514015, China)

Abstract: From the view of systemic theory, based on the water cycle character, the paper puts forward the quantitative concept of water sustainable utilization in Tarim basin, and builds up the System Dynamic (SD) model of water cycle in Tarim basin. From the model the conclusion can be drawn that water resource is decided by the quantity of precipitation and solid water from the mountains and the precipitation is decided by the recycle coefficient and water storage of the system. The computer simulating results show that the water storage decreased and water system degraded with the temperature rising, and the water system is sensitive to the recycle coefficient and that value is very small compares to the mean value of the whole country. Consider the unique topography and characters of climate system of the basin, the ways to impact the water cycle artificially in Tarim basin are proposed.

Key words: climate change; Tarim basin; System Dynamic; simulation; sustainable utilization