

文章编号: 1673-1719 (2008) 06-0330-06



## 气候变化对石羊河流域重点治理规划的影响

王忠静<sup>1</sup>, 郑航<sup>1</sup>, 任国玉<sup>2</sup>, 赵建世<sup>1</sup>(1 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室,  
北京 100084; 2 中国气象局国家气候中心,  
北京 100081)

**摘要:** 根据 IPCC 全球气候变化情景, 分析了石羊河流域未来可能气候变化趋势及其对流域河川径流量的影响。利用宏观经济水资源模型, 研究了不同径流变化情景对石羊河流域治理规划效果的影响。结果表明: 若石羊河流域未来径流量减少 15%, 对流域现状发展模式和治理模式经济影响将分别为 29.8% 和 7.2%。石羊河综合治理可提高流域应对气候变化风险的能力, 减小气候变化对流域社会经济的影响。

**关键词:** 石羊河流域; 流域治理; 气候变化; 影响

**中图分类号:** TV213.4/P467 **文献标识码:** A

## 引言

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部 (101°41' ~ 104°16' E, 36°29' ~ 39°27' N), 南依祁连山、北望沙漠, 总面积 4.16 万 km<sup>2</sup>。流域自东向西由大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河、西大河 8 条河流及多条小沟小河组成, 河流补给来源为山区大气降水和高山冰雪融水, 产流面积 1.1 万 km<sup>2</sup>, 多年地表径流量为 15.6 亿 m<sup>3</sup>, 地下水量为 0.99 亿 m<sup>3</sup>, 总径流量为 16.6 亿 m<sup>3</sup>。

石羊河流域在甘肃省河西内陆河流域中人口最多, 水资源开发利用程度最高, 生态环境问题最严重。2003 年流域水资源开发利用程度为 172%, 水资源净利用率为 109%, 水资源消耗量大于水资源总

量, 处于严重超载状态, 致使流域生态环境日趋恶化, 其危害程度和范围日益扩大。下游民勤的生态恶化形势极其严峻, 其湖区北部地区已显现“罗布泊”景象, 部分居民因无法生存而沦为生态难民, 远走他乡。

为缓解流域水资源矛盾和严峻的生态恶化形势, 不让民勤成为“第二个罗布泊”, 2005 年, 甘肃省水利厅和甘肃省发展和改革委员会完成了《石羊河流域近期重点治理规划》, 并通过国家相关部门审查。

本文以石羊河流域综合治理规划方案编制的技术方案为基础, 利用所建立的流域水循环模型、宏观经济模型以及有关成果数据, 结合中国气象局、中国科学院关于石羊河流域气候变化的分析成果, 建立恰当的气候影响指标, 依据不同气候变化情景,

收稿日期: 2008-04-09; 修订日期: 2008-10-08

基金项目: 国家发展和改革委员会中英合作项目“中国东方和西方: 给中国的水利部门建立一套适应性筛选工具”资助

作者简介: 王忠静 (1963-), 男, 教授, 主要研究方向为水资源规划与管理。E-mail: zj.wang@tsinghua.edu.cn

评估气候变化对流域综合治理规划的影响，为石羊河流域综合治理的气候变化风险评估提供依据。

1 气候变化趋势

研究表明<sup>[1-3]</sup>,过去50 a石羊河流域气温呈明显上升的趋势,年平均气温升高了约1.15℃。其中,冬季温度上升最为明显,约2.25℃;夏季温度上升幅度最低,只有0.50℃。无论从年平均气温还是从季节的气温变化看,石羊河流域的气温上升幅度与全国平均气温上升幅度相近。

在过去50 a,中国西北干旱地区的降水主要呈增加趋势,而黄土高原一带呈减少趋势,石羊河流域正处于这两大变化带的交汇区域。目前的观测结果表明,石羊河流域的降水没有明显改变,年平均降水仅增加了10 mm左右,其中夏季降水增加量约占50%。与全国多数地区一样<sup>[4]</sup>,石羊河流域过去50 a里蒸发皿观测的蒸发量呈下降趋势,且春季下降明显。

根据中国气象局国家气候中心总结的IPCC 7个

全球气候模式模拟结果,结合其他国内外模拟研究成果<sup>[2,5]</sup>,综合给出了A2、B2两种温室气体排放情景下全国典型流域未来气候变化可能趋势(表1)。其中,石羊河流域未来气候变化将呈气温升高、降水增加的趋势,并且A2、B2情景下变化范围基本一致,可概括为一种情景(表2)。

表2 石羊河流域未来气候变化趋势预估  
Table 2 Projected anthropogenic climate changes in the Shiyang River basin

| 年份   | 气温变化/℃  | 降水变化/% |
|------|---------|--------|
| 2015 | < 0.9   | 不确定    |
| 2025 | 1.5~1.6 | 2~3    |
| 2050 | 2.2~2.4 | 6~7    |

石羊河流域冰川融水占总径流量的比重仅为3%左右<sup>[6]</sup>,另外,由于影响蒸发的因素较为复杂,气候变化研究中对此预估的成果不多,故本文气候变化对径流的影响仅采用温度和降水两个因子组合进行预测。通过离散温度和降水因子并利用时间序列模型及多维相关分析<sup>[7]</sup>,得到不同气候变化情景下石羊河流域的径流量变化幅度预估值(表3)。

表1 中国部分流域气候变化情景

Table 1 Anthropogenic climate changes in some river basins in China under the SRES A2 and B2 scenarios

| 情景      | 年份   | 海河     |        | 淮河     |        | 石羊河    |        | 中国     |        |
|---------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |      | 气温变化/℃ | 降水变化/% | 气温变化/℃ | 降水变化/% | 气温变化/℃ | 降水变化/% | 气温变化/℃ | 降水变化/% |
| SRES A2 | 2025 | 1.5    | -1     | 1.3    | -1     | 1.6    | 3      | 1.5    | 2      |
|         | 2050 | 2.6    | 4      | 2.2    | 4      | 2.4    | 6      | 2.4    | 5      |
| SRES B2 | 2025 | 1.3    | 3      | 1.2    | 2      | 1.5    | 2      | 1.4    | 3      |
|         | 2050 | 2.4    | 5      | 2.0    | 3      | 2.2    | 7      | 2.1    | 6      |

表3 不同气候变化情景下石羊河流域河川径流变化预估(单位:%)

Table 3 Projected river flow changes (%) in the Shiyang River basin under various anthropogenic climate changes

| 降水变化/% | 温度变化/℃ |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0.0    | 0.5   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 2.5   | 3.0   | 3.5   | 4.0   |
| -10    | -8.7   | -12.7 | -16.8 | -20.8 | -24.8 | -28.9 | -32.9 | -36.9 | -41.0 |
| -5     | -4.4   | -8.5  | -12.5 | -16.5 | -20.5 | -24.6 | -28.6 | -32.6 | -36.7 |
| 0      | 0.0    | -4.2  | -8.2  | -12.2 | -16.2 | -20.3 | -24.3 | -28.3 | -32.4 |
| 5      | 4.2    | 0.1   | -3.9  | -7.9  | -12.0 | -16.0 | -20.0 | -24.0 | -28.1 |
| 10     | 8.5    | 4.4   | 0.4   | -3.6  | -7.7  | -11.7 | -15.7 | -19.8 | -23.8 |

注:本表数据来源于文献[7]

根据未来气候变化的可能情景(表2),将表3中最有可能发生的情况及相应的径流量及其变化幅度列于表4。据此,未来20 a到本世纪中叶石羊河流域的年径流量可能较现状减少5%~15%。

表4 石羊河流域未来可能的气候变化情景及径流量变化  
Table 4 Possible scenarios of climate and river flow changes in the Shiyang River basin

| 气候变化情景                   |        | 总径流量/ $10^8 \text{ m}^3$ | 径流量变化/% |
|--------------------------|--------|--------------------------|---------|
| 温度变化/ $^{\circ}\text{C}$ | 降水变化/% |                          |         |
| 1.0                      | 4      | 16.2                     | -5.0    |
| 1.5                      | 3      | 15.3                     | -10.0   |
| 2.5                      | 7      | 14.5                     | -15.0   |

必须指出,气候变化预估还存在不确定性,降水预估的不确定性更大。为说明气候变化对水资源管理的影响,本文将重点讨论气候变化对出山口径流减少的影响。

## 2 气候变化对石羊河流域治理规划的影响

### 2.1 不考虑气候变化情景时治理的效益成本分析

石羊河流域综合治理拟投资48.5亿元,以2010年为近期目标,2020年为中期目标。流域综合治理强调在重建用水秩序、进行节水型社会建设的框架下,要逐步停止目前的地下水超采并增加部分生态

用水,这必将减少社会经济用水。经宏观经济水资源模型分析,在强化节水、外调水和经济结构调整等综合措施作用下,这种社会经济用水量的减少,不会对流域社会经济发展产生大的不利影响,并且可以促进流域社会经济结构调整,有利于流域的可持续发展。

以2000年为基准年,2005、2010、2015和2020年为规划年,分析治理与不治理两种情景的流域宏观经济发展状况及石羊河流域综合治理的成本效益情况。

图1给出了石羊河流域有无综合治理措施下的GDP及效益随时间的变化曲线。可以看出,随着时间的推移,石羊河流域综合治理的成本在2010年以后增加趋缓,而效益越来越明显,效益成本比(益本比)越来越高。

### 2.2 气候变化对治理效果的影响分析

在气候变化情景下流域的径流量减少,将对石羊河流域社会经济与生态环境以及流域综合治理规划的效果产生影响。表5给出了在综合治理情况下,气候变化造成的径流量减少对石羊河流域GDP产生的可能影响。总体来说,在气候变化情景下,石羊河流域的GDP产出将随着径流减少而降低,从绝对量上看,气候变化也将降低石羊河流域综合治理的经济效益。

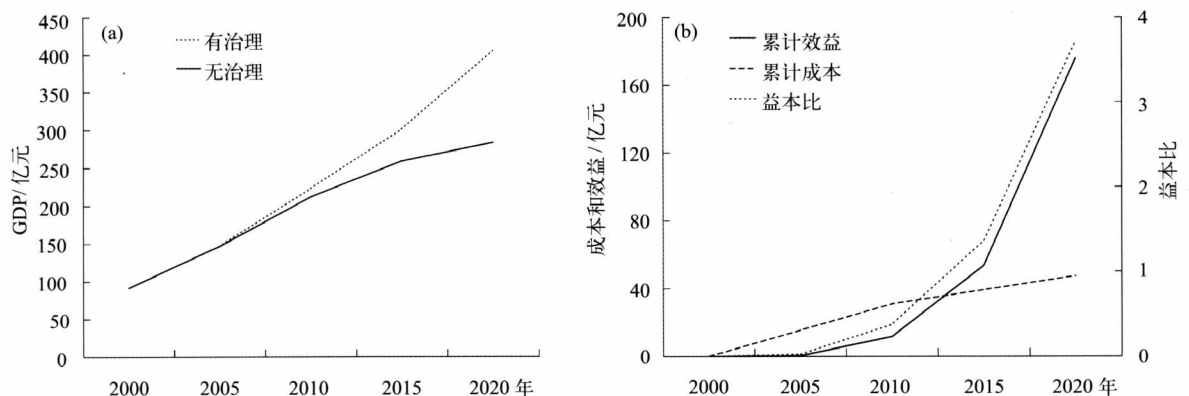


图1 石羊河流域有无综合治理的GDP产出(a)以及综合治理的成本效益(b)

Fig. 1 GDP with/without the restoration plan (a) and benefit/cost of the restoration plan (b) of the Shiyang River basin

表 5 石羊河流域气候变化对有综合治理规划的 GDP 产出的影响

Table 5 Impacts of anthropogenic climate changes on the restoration plan of the Shiyang River basin

| 年份   | 各情景 GDP / 亿元 |         |         |         | 与“100 水”的 GDP 差值 / 亿元 |       |       | GDP 变化率 / % |       |       |
|------|--------------|---------|---------|---------|-----------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|      | 治 -100 水     | 治 -95 水 | 治 -90 水 | 治 -85 水 | 95 水                  | 90 水  | 85 水  | 95 水        | 90 水  | 85 水  |
| 2000 | 91.6         | 91.6    | 91.6    | 91.6    | 0.0                   | 0.0   | 0.0   | 0.00        | 0.00  | 0.00  |
| 2005 | 147.4        | 146.4   | 145.5   | 142.8   | -1.0                  | -1.9  | -4.6  | -0.68       | -1.29 | -3.12 |
| 2010 | 223.4        | 219.1   | 214.9   | 210.0   | -4.3                  | -8.5  | -13.4 | -1.92       | -3.80 | -6.00 |
| 2015 | 301.2        | 297.1   | 292.5   | 289.7   | -4.1                  | -8.7  | -11.5 | -1.36       | -2.89 | -3.82 |
| 2020 | 405.7        | 397.5   | 389.0   | 376.5   | -8.2                  | -16.7 | -29.2 | -2.02       | -4.12 | -7.20 |

注：“95 水”、“90 水”和“85 水”分别表示气候变化情景下径流量减少至现状的 95%、90% 和 85%；“100 水”表示未考虑气候变化影响，即径流为现状的 100%；“治 -95 水”、“治 -90 水”和“治 -85 水”分别指有流域综合治理时气候变化使径流减少至原来的 95%、90% 和 85% 的情景

2.3 治理规划应对气候变化风险能力分析

表 6 给出了石羊河流域 2000—2020 年，各种气候变化情景下，无综合治理时石羊河流域 GDP 产出的情况。

从表 6 可以看出，没有综合治理情况下气候变化对石羊河 GDP 影响与有综合治理的情况（表 5）类似，即石羊河流域 GDP 均随径流量的减少而减少。在没有综合治理情况下，气候变化对石羊河流域 GDP 产出的影响比实施综合治理时大，而且时间越久，影响越大。在 2010 年和 2020 年治理方案下，来水减少 85% 的气候变化情景下的 GDP 较正常来水的 GDP 分别减少 13.4 亿和 29.2 亿元，减少幅度分别为 6.00% 和 7.20%（表 5）；不治理方案下，来水减少 85% 的气候变化情景下的 GDP 较正常来水的 GDP 分别减少 47.9 亿和 84.5 亿元，减少幅度分别为 22.6% 和 29.8%。这说明石羊河流域综合治理提高了流域应对气候变化风险的能力，可减小气候变化对流域发展的不利影响。

2.4 气候变化情景下的治理投资效益成本分析

为进一步分析石羊河流域治理工程对气候变化的响应，计算了石羊河流域综合治理工程在不同气候变化情景下的益本比（表 7）。图 2 给出了相应的变化趋势。其基本规律与前面所述一致，即气候变化造成的径流减少越剧烈，越能体现综合治理的效果。

表 6 石羊河流域不同气候变化情景下无综合治理规划的 GDP 产出（单位：亿元）

Table 6 The GDP of the Shiyang River basin without the restoration plan under various climate change scenarios (unit: 10<sup>8</sup> yuan)

| 年份   | 现 -100 水 | 现 -95 水 | 现 -90 水 | 现 -85 水 |
|------|----------|---------|---------|---------|
| 2000 | 91.6     | 91.6    | 91.6    | 91.6    |
| 2005 | 147.0    | 144.6   | 144.1   | 129.8   |
| 2010 | 212.1    | 208.8   | 189.5   | 164.2   |
| 2015 | 259.3    | 236.9   | 210.9   | 183.4   |
| 2020 | 283.5    | 256.9   | 229.9   | 199.0   |

注：“现 -95 水”、“现 -90 水”和“现 -85 水”分别指没有流域综合治理时气候变化使径流减少至原来的 95%、90% 和 85% 的情景

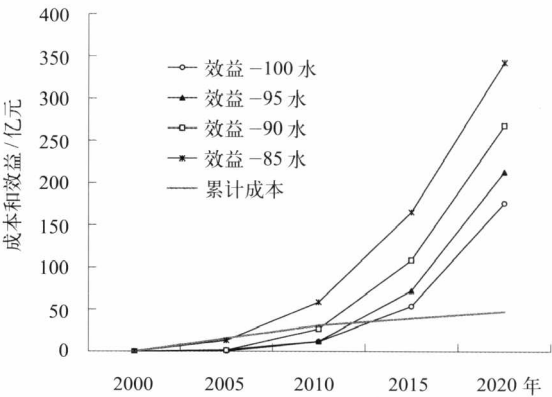


图 2 气候变化对石羊河流域综合治理成本效益的影响

Fig. 2 Impacts of climate change on the benefit/cost of the restoration plan of the Shiyang River basin

表7 石羊河流域综合治理在不同气候变化情景下的益本分析

Table 7 Benefit-cost of the restoration plan of the Shiyang River basin under various climate change scenarios

| 年份   | 气候变化情景 | 治理时<br>GDP/ 亿元 | 不治理时<br>GDP/ 亿元 | 累计效益/<br>亿元 | 累计成本/<br>亿元 | 益本比   |
|------|--------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-------|
| 2000 | 100 水  | 91.6           | 91.6            | 0           | 0           | 0     |
| 2005 |        | 147.4          | 147.0           | 0.4         | 15.5        | 0.026 |
| 2010 |        | 223.4          | 212.1           | 11.8        | 31.0        | 0.380 |
| 2015 |        | 301.2          | 259.3           | 53.8        | 39.3        | 1.370 |
| 2020 |        | 405.7          | 283.5           | 176.0       | 47.5        | 3.706 |
| 2000 | 95 水   | 91.6           | 91.6            | 0           | 0           | 0     |
| 2005 |        | 146.4          | 144.6           | 1.8         | 15.5        | 0.116 |
| 2010 |        | 219.1          | 208.8           | 12.1        | 31.0        | 0.390 |
| 2015 |        | 297.1          | 236.9           | 72.3        | 39.3        | 1.841 |
| 2020 |        | 397.5          | 256.9           | 212.9       | 47.5        | 4.483 |
| 2000 | 90 水   | 91.6           | 91.6            | 0           | 0           | 0     |
| 2005 |        | 145.5          | 144.1           | 1.4         | 15.5        | 0.090 |
| 2010 |        | 214.9          | 189.5           | 26.8        | 31.0        | 0.864 |
| 2015 |        | 292.5          | 210.9           | 108.4       | 39.3        | 2.761 |
| 2020 |        | 389.0          | 229.9           | 267.6       | 47.5        | 5.635 |
| 2000 | 85 水   | 91.6           | 91.6            | 0           | 0           | 0     |
| 2005 |        | 142.8          | 129.8           | 13.1        | 15.5        | 0.844 |
| 2010 |        | 210.0          | 164.2           | 58.9        | 31.0        | 1.898 |
| 2015 |        | 289.7          | 183.4           | 165.2       | 39.3        | 4.208 |
| 2020 |        | 376.5          | 199.0           | 342.7       | 47.5        | 7.216 |

3 结 论

气候变化通过对水文循环的影响,进而带来对水资源以及相应的社会经济的影响,这是当前水资源管理必须面对的问题。尽管石羊河流域气候变化预估表明未来降水增加的可能性较大,但由于气温升高在此流域对径流的影响更大,其出山口径流将一直呈减少趋势,因而影响石羊河流域水资源利用及社会经济发展,也影响石羊河流域综

合治理规划的效果。

从绝对量角度看,气候变化可能减少综合治理下石羊河流域的GDP产出,影响综合治理的宏观经济目标。相对而言,经过综合治理的石羊河流域应对气候变化的能力增强,其气候变化影响下的GDP减少幅度小于没有综合治理的减少幅度。因此,气候变化情景下,随着河川径流量的减少,石羊河流域综合治理工程的效果更加明显,必要性和重要性更加突出。 ■

## 参考文献

- [1] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 五十年来中国大陆近地面气候变化的基本特征 [J]. 气象学报, 2005, 63 (6): 942-956
- [2] 徐影. 人类活动对气候变化影响的数值模拟研究 [D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2002
- [3] 张存杰, 郭妮. 祁连山区近 40 年气候变化特征 [J]. 气象, 2002, 28 (12): 33-46
- [4] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰. 中国气候与环境演变 (上卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [5] 陈峪, 高歌, 任国玉, 等. 中国十大流域近 40 多年降水量的时空变化特征 [J]. 自然资源学报, 2005, 20 (5): 637-643
- [6] 杨针娘. 祁连山冰川水资源 [J]. 冰川冻土, 1988, 10 (1): 36-46
- [7] 胡兴林, 王静. 在全球气候变化的大背景下石羊河流域出山径流的可能演变趋势分析 [C] // 石羊河流域综合治理—2007 甘肃省科协年会论文集. 兰州: 甘肃科学出版社, 2007

## Impacts of Climate Change on the Comprehensive Restoration Plan of the Shiyang River Basin

Wang Zhongjing<sup>1</sup>, Zheng Hang<sup>1</sup>, Ren Guoyu<sup>2</sup>, Zhao Jianshi<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The Shiyang River Basin (SRB) Comprehensive Restoration Plan is a key strategy for protecting Minqin from desertification. Based on the SRES A2 and B2 scenarios, the trends of future climate changes and their impacts on the runoff of the SRB were analyzed. A water resource macroeconomic model was used to investigate the impacts of different runoff change scenarios on the SRB plan. It shows that if the runoff in the SRB reduces 15% in the future, the economic development (GDP) in present mode and in the restoration mode will be 29.8% and 7.2% lower than the normal, respectively. The comprehensive restoration of the SRB could enhance the capacity of resisting climate change risks, and mitigate climate change impacts on the socio-economy.

**Key words:** Shiyang River basin; river basin governance; climate change; impacts

### 消息

#### 《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书发表

2008 年 10 月 29 日, 国务院新闻办公室以中文、英文、法文、俄文、德文、西班牙文、阿拉伯文和日文等 8 种文字发布了《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书, 内容包括气候变化与中国国情、气候变化对中国的影响、应对气候变化的战略和目标、减缓和适应气候变化的政策与行动、提高公众应对气候变化的意识、加强相关的国际合作和制度建设等。

《气候变化研究进展》编辑部