

博斯腾湖向塔里木河生态输水效果及风险

左 其 亭

(郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 为了挽救濒临毁灭的塔里木河下游生态环境, 中国政府 2000~2003 年实施 5 次向塔里木河下游生态应急输水, 结束塔里木河下游 300 km 河道近 30 年的断流历史。文章基于大量数据资料, 简单介绍塔里木河断流过程; 再分析近期博斯腾湖向塔里木河下游输水效果; 最后从博斯腾湖来水水文特性分析、博斯腾湖调节计算和输水风险分析等方面, 阐述博斯腾湖向塔里木河下游输水的风险及控制措施。

关 键 词: 塔里木河; 博斯腾湖; 干旱区; 生态输水; 水文分析; 风险

中图分类号: P343 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2006)05-0564-08

本文所研究的博斯腾湖和塔里木河位于中国西部干旱区。博斯腾湖是中国目前最大的内陆淡水湖, 塔里木河是中国最长的内陆河。博斯腾湖所在的河流——开都河是塔里木河流域的一个支流。但是由于上游用水增加, 耗水增多, 近几十年来开都河与塔里木河基本没有直接的水力联系。由于自然因素和人为因素导致塔里木河干流来水量减少, 引起下游断流 300 km, 严重危害塔里木河下游生态环境。

中国政府根据博斯腾湖从 1999~2003 年处于丰水期、湖泊处于高水位的契机, 从 2000 年 5 月到 2003 年 6 月实施 5 次向塔里木河下游生态应急输水, 共输水 $23.23 \times 10^8 \text{ m}^3$, 结束塔里木河下游 300 km 河道近 30 年的断流历史, 挽救了濒临消亡的沙漠植被^[1]。

2000 年以来, 之所以能够通过博斯腾湖向塔里木河下游生态输水, 主要是由于开都河流域处于丰水期, 博斯腾湖处于高水位。那么, 平水期、枯水期能否实现持续输水, 特别是长时段的枯水期、博斯腾湖长时段处于低水位时能否持续输水, 这是需要关注的问题。

1 研究区概况

塔里木河流域位于中国新疆维吾尔自治区的南部, 地处天山和昆仑山之间, 流域包括塔里木盆

地周围向心聚流的九大水系, 即开都河—孔雀河水系、迪那河水系、渭干河—库车水系、阿克苏河水系、喀什噶尔河水系、叶尔羌河水系、和田河水系、克里雅河小河水系、车尔臣河小河水系。该区介于 $73^\circ 10' \sim 94^\circ 05' \text{E}$, $34^\circ 55' \sim 43^\circ 08' \text{N}$ 之间。流域面积 $43.55 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是中国第一大内陆河流域, 自西向东绕塔克拉玛干沙漠北缘贯穿塔里木盆地^[2]。

流域内, 1998 年人口 825.7 万, 耕地 $136 \times 10^4 \text{ km}^2$, 国内生产总值 350 亿元, 流域经济以农业为主体, 农业自然资源相对丰富, 但生产水平较低, 工业基础薄弱, 以石油化学工业为主。

塔里木河干流是典型的干旱区内陆河, 从肖夹克至台特玛湖全长 1321 km (图 1), 水资源量约为 $45.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。阿拉尔水文站视为干流的进口。从阿拉尔至英巴扎作为上游段, 英巴扎至卡拉为中游段, 卡拉以下为下游段。区内三面环山, 西高东低, 气候干旱, 降水稀少, 属于典型的暖温带大陆性气候。

塔里木河干流 (肖夹克—台特玛湖) 自身不产流, 依靠各源流汇入补给, 历史上曾有九大水系可汇入塔里木河干流。由于人类活动与气候变化等因素影响, 20 世纪 40 年代以前, 车尔臣河、克里雅河、迪那河相继与干流失去地表水联系, 之后喀什噶尔河、开都河—孔雀河、渭干河也逐渐脱离干流。目前与塔里木河干流有地表水联系的只有和田河、

收稿日期: 2005-04-14 修订日期: 2005-08-20

基金项目: 水资源与水电工程科学国家重点实验室开放研究基金 (2003B007 和 2005B016)、河南省杰出青年科学基金 (512002500)、中国科学院新疆生态与地理研究所“绿洲学者计划”、河南省高校青年骨干教师资助计划项目资助。

作者简介: 左其亭 (1967-), 男, 河南固始人, 博士, 教授, 主要从事水文水环境与水资源管理的研究、教学。E-mail: zuoq@zzu.edu.cn

叶尔羌河和阿克苏河三条源流, 孔雀河通过博斯腾湖扬水站从博斯腾湖抽水经库塔干渠向塔里木河下游灌区输水, 形成“四源一干”的格局。

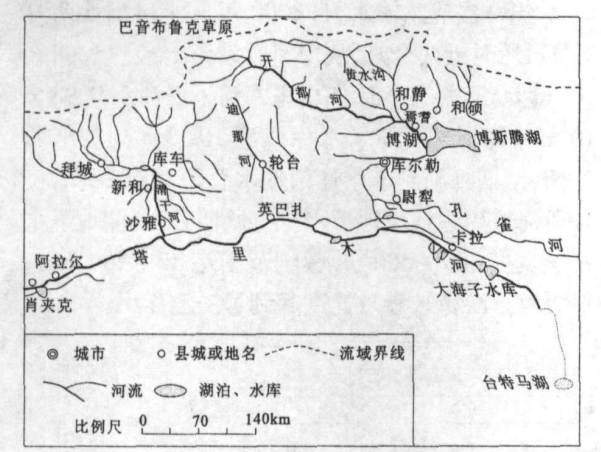


图 1 塔里木河干流概况图^[3]

Fig 1 Sketch of the mainstream of the Tarim River

塔里木河下游生态系统非常脆弱, 下游生态环境是在气候干旱、降水稀少、蒸发强烈的条件下经历了长期的演变而形成的, 维护生态的天然荒漠植被依赖于地下水位的高低, 具有明显的生态环境脆弱性^[4 5]。

博斯腾湖位于开都河 – 孔雀河水系, 既是开都河的尾间, 又是孔雀河的源头, 是目前中国最大的内陆淡水湖泊。兼有开都河来水的水资源调控、孔雀河灌区农田灌溉、工业及城乡生活用水、流域生

态环境保护和向塔里木河下游紧急调水等多种功能。

博斯腾湖分为大、小两个湖区, 大湖区是湖体的主要部分。博斯腾湖东西长达 55 km, 南北平均宽 20 km。在水位 1 048.5 m 时, 平均水深为 7.5 m, 最深为 16 m。湖盆呈深碟状, 中间底平, 靠近湖岸水深急剧变浅。

2 塔里木河断流过程及解决途径

《西域水道记》(1823 年) 记载当时的塔里木河为“河水汪洋东逝, 两岸旷邈, 弥望苒泽”。至 19 世纪末, 水量还很大, 河流一直延伸到台特玛湖。但到 20 世纪初之后, 塔里木河水量开始减小。

《新疆图志》(1910 年) 记载“水势日渐分流, 无复昔日浩大之势”^[1]。

新中国成立 (1949 年) 后, 塔里木河源流和干流进行大规模开荒造田, 修建水库, 组建农场, 进行水土开发, 使径流补给干流的水量及干流各段的水量发生很大变化。塔里木河三源流多年平均径流量并没有明显增减趋势, 但塔里木河干流来水量 (阿拉尔水文站观测) 却有明显减小趋势。干流上、中游段在沿河两岸随意掘口引水达 138 处, 使到达下游起始端 (卡拉水文站) 的水量锐减。导致塔里木河下游大西海子水库以下从 20 世纪 70 年代初期开始出现断流, 断流河段超过 300 km。塔里木河干流主要水文站观测的年径流量如表 1。

表 1 塔里木河干流主要水文站观测的历年径流量 (10⁸ m³)

Table 1 Annual runoff at the main hydrological stations along the mainstream of the Tarim River											
年份	阿拉尔	新其满	英巴扎	卡拉	大西海子	年份	阿拉尔	新其满	英巴扎	卡拉	大西海子
1957	48.35	40.37	33.50	14.61		1978	69.59	57.90	45.20	11.00	1 574
1958	48.31	42.64	35.40	10.77		1979	36.95	25.48	19.80	4.56	1 025
1959	51.40	46.80	38.80	10.82		1980	38.80	27.60	21.30	3.64	0
1960	49.70	42.21	35.00	10.52		1981	59.90	47.00	36.20	3.24	0
1961	66.55	57.63	47.80	7.88		1982	43.20	38.20	29.40	3.49	0
1962	48.84	40.03	33.20	7.80		1983	47.00	39.40	29.00	4.31	0
1963	42.12	34.66	28.50	7.50		1984	49.00	40.50	31.80	4.82	0 853
1964	53.41	43.37	35.60	7.80	0 277	1985	30.00	27.00	20.50	2.76	0 628
1965	34.75	28.98	23.80	7.87	0 191	1986	47.50	33.70	24.90	3.40	0
1966	63.77	54.56	44.20	11.90	0 358	1987	45.70	31.70	23.10	5.46	0
1967	55.69	48.40	39.50	13.00	0 498	1988	53.80	41.43	29.70	4.70	0
1968	49.90	49.33	39.90	12.00	0 457	1989	32.71	25.30	20.00	3.38	1 043
1969	51.87	51.20	41.00	11.84	0 403	1990	42.70	35.63	24.90	4.03	0
1970	39.46	39.14	31.30	8.90	0	1991	35.80	30.88	21.60	3.74	0
1971	56.36	47.95	38.40	7.87	0 072	1992	31.60	21.91	15.10	2.81	0
1972	37.26	29.98	22.00	7.34	0 493	1993	25.58	16.49	8.19	1.83	0
1973	52.09	43.17	33.90	7.56	0 612	1994	60.84	49.32	31.78	2.71	0
1974	38.70	31.26	26.70	5.34	1 011	1995	38.74	33.51	27.77	3.36	0 280
1975	32.18	25.47	20.70	4.25	0	1996	49.61	33.25	23.02	1.93	0
1976	32.37	25.64	19.80	5.05	0	1997	38.05	30.21	19.61	2.50	0
1977	49.44	40.81	30.50	5.16	0	1998	54.83	44.39	27.30	2.28	0

导致塔里木河下游断流的主要影响因素是上游引水量增加,补充给下游的河流量锐减。塔里木河下游起始端(卡拉水文站)的来水量变化曲线见图2。20世纪70年代以后,塔里木河下游来水量明显减少,这是导致下游河段断流和生态环境恶化的直接原因。为了解决这一问题,主要有两种途径:一是通过一些措施(如节水、减小用水规模)减小耗水量,增加下游河道入流量;二是通过外河道输水,增加来水量。2000~2003年,实施从博斯腾湖向塔里木河下游生态输水,就是抓住博斯腾湖高水位、处于丰水期的有利时机,增加来水量。

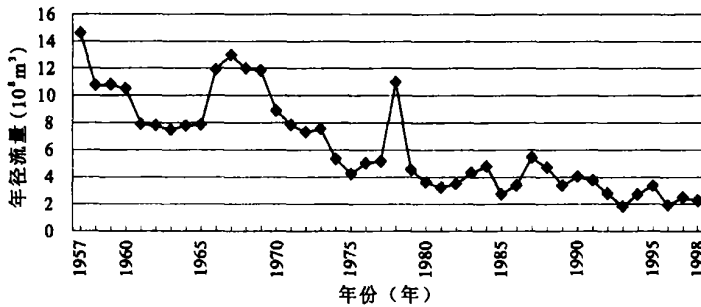


图2 卡拉水文站年径流量变化曲线图

Fig 2 Change chart of the annual runoff at the Kara hydrological station

第二次应急输水,自2000年11月3日至2001年2月5日,历时近100天,从博斯腾湖输出生态水 $4.75 \times 10^8 \text{ m}^3$,从大西海子水库向塔里木河下游泄水 $3.25 \times 10^8 \text{ m}^3$,到达大西海子水库以下215.6 km的阿拉干处,从博斯腾湖到阿拉干输水总距离786 km,周边地下水位最高回升4.5 m,单侧地下水影响宽度超过500 m,影响面积超过200 km^2 。为挽救塔里木河下游绿色走廊提供了有效水量,取得了良好效益。

第三次应急输水,自2001年4月1日至7月6日、9月12日至11月8日,历时165天,累计从博斯腾湖输出生态水 $6.69 \times 10^8 \text{ m}^3$,从大西海子水库向塔里木河下游泄水 $4.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,大西海子以下输水距离363 km,水流到达塔里木河尾间——台特玛湖,博斯腾湖到台特玛湖输水总距离963 km,输水使绿色走廊地下水位普遍回升,输水河道一侧500~800 m范围内地下水平均回升3 m,最高回升5 m,使河道两侧大约600~800 m范围内的胡杨林受益,使绿色走廊植被的生存条件改善。

第四次应急输水,自2002年7月20日至10月20日,历时90天,从博斯腾湖输出 $5.2 \times 10^8 \text{ m}^3$

3 博斯腾湖向塔里木河输水过程及效果

第一次应急输水,自2000年5月14日至7月12日,历时近两个月,从博斯腾湖调出水量 $1.49 \times 10^8 \text{ m}^3$,大西海子水库向塔里木河下游泄水 $0.98 \times 10^8 \text{ m}^3$,到达大西海子水库以下102 km处的卡尔达依,博斯腾湖到卡尔达依输水总距离602 km,使该段河道周边地域地下水位有所回升,单侧地下水影响宽度400~500 m,影响范围达80~100 km^2 ,对缓解下游植被衰败速度起到了一定作用。

生态水历经963 km,再次到达台特玛湖。从大西海子水库向塔里木河下游泄水 $4.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这次应急输水整个影响范围超过200 km^2 ,再次为地下水的回升提供了补充。

第五次应急输水,自2003年5月2日至6月15日,历时43天,从博斯腾湖输出 $5.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 生态水,从大西海子水库向塔里木河下游泄水 $3.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。历经963 km,再次到达台特玛湖。此次生态输水进一步补充地下水,有效巩固河道两侧受益范围,生态环境进一步得到改善。

5次向塔里木河下游应急输水的有关监测工作均在塔里木河下游中下段进行,即大西海子以下至台特玛湖段,塔里木河流域管理局组织有关专家,共建立了4个水文监测断面,9个地下水监测断面,33眼地下水观测井,对整个输水过程地表水、地下水进行了全程观测,了解输水后河道的地下水位回升情况及影响范围。根据实测资料分析,通过输水,塔里木河下游沿河地下水位明显回升;河道两侧地下水矿化度逐渐下降,水质明显改善;输水结束后,河道两岸植被均已恢复生长,枯死多年的胡杨枝干上又发出新绿,生态环境开始出现生

机^[1]。

4 博斯腾湖向塔里木河输水风险分析

上文对塔里木河下游断流过程、博斯腾湖向塔里木河下游应急输水过程和效果进行分析。可以看出,博斯腾湖向塔里木河下游应急输水具有重要的意义,实践证明也具有很好的效果。现在的问题是,这种输水能持续吗?保持一定的输水量有多大的风险呢?下面,将从博斯腾湖来水水文分析、持续输水风险计算两方面进行研究。

4.1 对博斯腾湖来水进行的水文分析

博斯腾湖输水风险分析需要关注的一个重要因素是其来水量变化。为了摸清博斯腾湖历史和未来水文变化趋势,需要对其来水量变化进行水文分析。基本思路是,选择控制性水文站;根据历史观测数据,建立序列预测模型,预测未来径流量大小;分别对历史和未来预测数据列进行水文统计计算,对比二者的水文统计参数的变化。

根据博斯腾湖流域实际情况,选择主要控制性断面大山口水文站,也是本流域控制性水文站。本文将针对大山口水文站月径流量,进行建模和预测,对未来30年来水频率进行分析。

以大山口水文站1956~2002年观测的年径流量为序列,采用改进的周期叠加预测模型,建立模型,计算的拟合曲线也比较接近(此略),总平均相对误差为1%,可见拟合效果较好。

根据建立的模型,计算未来30年该断面年径流量变化趋势。尽管对未来某一年的径流量值很难预测准确,但从水文变化规律来看,预测的水文系列应该能大致反映其丰平枯交替的水文特性,特别是从统计学来认识水文规律应该会比较科学的。

根据1956~2002年观测数据,计算统计学参数,得到的平均值为 $34\,118 \times 10^8 \text{ m}^3$,变差系数为0.170。根据计算的未来30年数据,计算得到平均值为 $35\,417 \times 10^8 \text{ m}^3$,变差系数为0.164。二者水文参数比较接近。这说明:(1)博斯腾湖水文变化有明显的丰平枯周期波动规律,最近几年特殊丰水期在水文事件中是短暂的,很快会遇到枯水年份,在不远的将来还会遇到类似的丰水期;(2)未来水文变化频率分布规律与历史数据统计计算结果比较接近,可以用历史数据得到的水文风险特征值来计算博斯腾湖可持续输水的风险概率;(3)计

算结果也间接说明,在现状用水条件下博斯腾湖向塔里木河下游持续输水存在着风险,或者说,在某些条件下博斯腾湖可能不能承担向下游输水的任务。

4.2 持续输水的风险

博斯腾湖是一个“天然湖泊”。在早期,人们对该湖泊的调控能力较弱,基本是按天然规律运行;随着社会的进步、经济的发展、人们改造自然的能力提高,人们对该湖泊的调控能力不断增强,在一定程度上,使湖泊按照人的意愿运行。因此,人们又常常把它看成是一个水库。

针对一个水库,特征水位的确定主要取决于三方面:水库来水特征、水库库容特征、水库用水特征(包括水面蒸发、向下游输水等)。通过这三方面的调节计算和论证,得到特征水位。

反过来说,假如水库来水、水库库容特征一定,在水库特征水位确定的情况下,水库可以向下游输水量多大?更进一步说,不同输水量对应的风险有多大?

这一反问题仍然主要是为了兴利目的,可以考虑兴利调节计算的反问题进行试算。基本思路是:(1)先确定入库来水量(按月计算)系列,这也是水库兴利调节计算需要确定的系列;(2)再确定本地总毛用水量(包括水量损失,不包括输水量)过程(按月计算);(3)选择特征水位和特征库容;(4)根据入库水量、本地总毛用水量和特征水位和库容变化关系,采用试算法,计算不同输水量对应的可持续风险大小。这种计算方法,基于水量平衡原理,利用兴利调节计算反问题,以时间序列为对象,进行逐段试算得到,作者称此为“时历试算法”(记为T&E方法)^[6]。

根据现状来水和用水条件计算,博斯腾湖向塔里木河下游输水 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ (根据新疆巴音郭楞蒙古自治州人民政府文件(巴政函[2002]12号)规定的输水量)的风险率达到91.72%。可见,在目前情况下保证向塔里木河下游持续输水的可能性很小,只有在个别年份有多余水量可以进行输水。因此,为了保证向塔里木河下游输水,必须采取一定措施,如采取节水措施,减小博斯腾湖上下游灌区引用水,增加入湖水量,减小本地用水量;修建上游山区水库,增加调节库容等。

在其它条件不变的情况下,通过一些措施,不断增加入湖水量,计算的输水风险率减小很快,当

增加入湖的水量接近 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 时, 风险率降到 0.70% (这是在孔雀河灌区用水按照现状不变的情况下计算的结果)。可见, 通过增加入湖水量来保证向塔里木河下游输水是十分有效的方法。

另外, 随着博斯腾湖下游孔雀河灌区用水量增加, 计算得到的输水 (按输水 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 计算) 风险率急剧上升。

根据计算论证, 当博斯腾湖入湖水量增加 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 孔雀河灌区用水量增加 $2.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ (相对现状水平) 的情况下, 向塔里木河下游输水 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的风险率为 0.70%^[6]。这是合理配置水资源, 采取上游节水, 保持上下游可持续发展, 实现向塔里木河下游输水 $4.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 目标的优化方案^[7]。

5 结 语

本文基于大量数据资料, 论证说明博斯腾湖向塔里木河下游生态输水的效果; 并从博斯腾湖来水水文特性分析、博斯腾湖调节计算和输水风险分析等方面, 阐述博斯腾湖向塔里木河下游输水的风险; 提出降低风险的有效措施和方法。为博斯腾湖向塔里木河下游输水的科学论证提供依据, 为跨区

域调水风险分析提供技术方法, 为抵抗调水风险提供措施。也可一般为干旱半干旱地区调水论证提供参考。

参考文献:

[1] 夏 军, 左其亭, 邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用——理论·方法·实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2003

[2] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000.

[3] 左其亭, 周可法, 吴泽宁. 西部干旱区生态环境调控模式综合研究 [J]. 水土保持学报, 2003, (5): 23~27

[4] 姜逢清, 朱 诚, 穆桂金, 等. 新疆绿洲当代人地关系紧张态势与缓解途径 [J]. 地理科学, 2003, 23(2): 157~163

[5] 钟 巍, 熊黑钢, 王立国, 等. 塔里木盆地南缘策勒绿洲近 4 000 年来的环境变化 [J]. 地理科学, 2004, 24(6): 687~692

[6] 左其亭, 李 静, 马军霞, 等. 博斯腾湖向塔里木河输水风险分析方法 [J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 361~366

[7] Xia Jun, Zuo Qiting, Pang Jinwu, Enlightenment on sustainable management of water resources from past practices in the Bositing Lake basin, Xinjiang, China [A]. Regional Management of Water Resources, IAHS Publication No. 268 [C]. London: IAHS Press, 2001. 41~48

[8] Daniel D Chiras. Environmental Science [M]. California: The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc. 1994.

Effect and Risk of Ecological Water Transportation
from Bosten Lake to Tarim River

ZUO Qiting

(School of Environment & Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract In order to resume and protect environment of lower reaches of the Tarim River, Chinese government determined to transport water 5 times from Bosten Lake to Tarim River from 1999 to 2003. The history that about 300km length of river in the lower reaches of the Tarim River was discontinuous near 30 years was over. First, this paper introduces the courses of discontinuous flow of the Tarim River. Second, the paper discusses the effect of water transportation from Bosten Lake to the Tarim River. Finally, the paper discusses sustainability, risk and control measures of water transportation from Bosten Lake to the Tarim River.

Key words Tarim River, Bosten Lake, arid land, ecological water transportation, hydrological analysis, risk