

# 塔里木河流域水资源脆弱性演变趋势 及适应性对策研究

姜海波<sup>1</sup>, 冯斐<sup>2</sup>, 周阳<sup>1</sup>

(1. 石河子大学水利建筑工程学院 新疆 石河子 832000; 2. 塔里木河流域管理局 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 塔里木河流域受自然因素和人为因素的影响,局部地区生态退化严重。人类对水资源的不合理利用,加剧了水资源脆弱性的演变过程,影响了干旱区的生态安全。以塔里木河流域水资源脆弱性为主线,首先分析国内外水资源脆弱性研究进展,研究塔里木河流域从20世纪60年代至21世纪初水量和水质两个方面的源脆弱性成因和表现,并对其变化趋势进行了分析,提出了适应性对策。从分析结果来看,塔里木河流域经过近50年的变化,水量沿程逐渐锐减,造成了下游水量减少,地下水位逐渐减低,水质逐年恶化,引起了一系列生态环境问题。

**关键词:** 水资源; 脆弱性; 演变趋势; 塔里木河

中图分类号: TV211

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)02-0081-04

## Study on trends of water resources vulnerability and adaptive strategy in the Tarim River Basin

JIANG Haibo<sup>1</sup>, FENG Fei<sup>2</sup>, ZHOU Yang<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2. Tarim River Valley Administration, Korla 841000, China)

**Abstract:** The ecological environment degradation is very serious in some areas of Tarim River basin because of the influence of natural and artificial factors. The unreasonable utilization of water resources by human beings aggravated the evolution process of water resources vulnerability and affected the ecological security in arid zone. Taking water resources vulnerability as the main line, it systematically summarized the major progress of water resources vulnerability both at home and abroad, studied the manifestations and causes of water resources vulnerabilities form 1960s to the beginning of 21 century, and analyzed the variable trend of water resources vulnerability, and proposed adaptive countermeasure. From the analysis results, surface water and underground water is reduced, groundwater levels falls, water quality obviously worsen year by year through the change of 50 years in the basin, which caused a series of ecological environment problems.

**Key words:** water resources; vulnerability; evolution trend; Tarim river

## 1 研究背景

自20世纪80年代以来,我国西北干旱地区出现了明显的气候变化:由暖干气候向暖湿气候变化<sup>[1]</sup>。气候的变化直接导致了西北干旱区内陆河流域的水资源和生态的脆弱性。塔里木河流域是一个相对独立的生态环境系统。进入21世纪以来,塔里木河干流及其源流的径流运行每年的特点各不相同<sup>[2-10]</sup>。20世纪末至21世纪以来,塔里木河

域内的气象、水文要素变化以及人类活动,对流域塔里木河的水资源和生态环境的影响引起社会的广泛关注。随着塔里木河流域水土资源的大规模开发利用,引起了一系列水文和生态环境问题:天然水体萎缩退化,水质恶化,水资源承载能力减弱等,一直是影响西北干旱区生态安全的核心问题。

国外水资源脆弱性的研究起源于20世纪60年代法国 Albinet 和 Marget 提出的地下水脆弱性的概念<sup>[11]</sup>,随后众多学者及研究机构都对地表水、

收稿日期:2013-11-13; 修回日期:2013-11-25

基金项目:石河子大学科学技术研究发展计划项目-团队创新项目(2011ZRKXTB-0305)

作者简介:姜海波(1982-),男,湖南人,博士,副教授,从事水文水资源研究。

地下水资源脆弱性概念、评价指标体系和评价方法进行了深入的研究<sup>[12-14]</sup>。近年来,气候变化背景下水资源脆弱性的研究引起了国外学者与研究机构的高度关注,如1996年Kenneth等<sup>[15]</sup>在气候变化背景下分析了埃及尼罗河流域水资源的脆弱性。2008年IPCC“气候变化与水”的技术报告<sup>[16]</sup>中提出了加强气候变化下对水资源影响的适应性管理的对策研究的要求,以减缓全球及区域气候变化对水资源的影响。另外一些学者和研究机构将高新技术如GIS也逐渐应用到水资源脆弱性评价中,以便构建区域水资源脆弱性图,脆弱性图的构建是脆弱性评价的一个拓展,这对于区域水资源脆弱性演变趋势、可持续利用及风险管理均具有较好的参照作用。

塔里木河作为西北干旱区最为典型的一条内陆河流,由于气候变化和人类活动所导致的水资源脆弱性和生态脆弱性问题,引起了国内学者的高度关注。1998年王让会等<sup>[17]</sup>对塔里木河流域的生态脆弱性进行了评价和研究,从景观生态学的干扰性质理论和恢复生态学的观点出发,选择水资源系统、土地资源系统及植被资源系统及其10个综合性敏感因子对流域生态的敏感性及恢复力进行分析,并对流域生态脆弱性进行了划分。2003年王顺德等<sup>[18]</sup>研究了塔里木河流域近40年来气候、水文变化及其影响,塔里木河干流上、中游区间耗水量严重,中、下游水量来水量在近40年中持续减少,导致下游生态环境急剧恶化。2005年叶茂等<sup>[19]</sup>通过时间序列分析了塔里木河流域山区1961-2002年的降水和温度变化,分析研究表明随着山区降水和温度的上升,源流水量有一定程度的增加,但是干流来水量和沿程各站水量不增反降,反映了塔里木河流域特殊的流域水文特点。在水质恶化方面,樊自立等<sup>[20]</sup>对塔里木河水水质盐化及改善途径进行了研究,研究结果表明造成塔里木河水矿化度升高的原因,除气候干旱、蒸发强烈、土壤含盐量高等自然因素外,主要是灌溉、排水不合理和上游3条主要支流灌溉引水的增加。

在气候变化和人类活动的影响下,塔里木河流域水土资源的大规模开发和利用,引起了一系列水资源脆弱性和生态环境脆弱性问题:天然水体萎缩退化、中下游水量减少、水质恶化、水资源承载能力减弱、植被退化、土壤质量降低、灾害频率频繁等方面,而它们不同程度地反映了水资源和生态脆弱性的状况。为了揭示塔里木河流域水资源脆弱的原因和演变趋势,寻找其适应性对策,系统分析了塔里木

河流域地表水、地下水水量和水质的脆弱性成因,并探讨了塔里木河流域水资源脆弱性的演变趋势。这对于科学认识塔里木河水资源水循环时空演变规律,评估气候变化对水资源安全的影响,保障我国社会经济可持续发展,具有重要科学意义与应用价值。

## 2 塔里木河流域水资源脆弱性分析

水资源的脆弱性是指水资源系统易受到人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态,且受损后难于恢复到原来状态和功能的性质。导致水资源脆弱性的主要原因是下游水量逐渐减少、地下水水位下降、荒漠化和盐分的积累,而且在人类社会经济活动聚集的地区存在水资源的污染等问题。

### 2.1 塔里木河流域地表水与地下水水量脆弱性

塔里木河是我国最长的内陆河,干流起始于叶尔羌河、阿克苏河及和田河的交汇口肖夹克,河流沿塔克拉玛干沙漠北缘自西向东,到恰拉附近折向东南流,到阿拉干折向正南,归宿于台特马湖,全长1321 km,干流流域面积1.76万 km<sup>2</sup>。塔里木河干流自身不产水,主要由阿克苏河、叶尔羌河、和田河、开都河-孔雀河四条源流补给维系其生态环境。塔里木河历史上是一条自然耗散型河流,多年平均上游耗水量为16.69亿 m<sup>3</sup>,中游耗水量为22.96亿 m<sup>3</sup>,下游耗水量为6.33亿 m<sup>3</sup>,上中游是塔里木河最大的耗水区段,耗水量达39.65亿 m<sup>3</sup>,占阿拉尔水文站多年平均年径流量45.98亿 m<sup>3</sup>的86.2%,仅有6.33亿 m<sup>3</sup>,即13.8%水量进入下游。

现在阿拉尔站以上有阿克苏河、叶尔羌河、和田河三条源流汇入,20世纪50年代平均径流量为50.0亿 m<sup>3</sup>,90年代减少到42.0亿 m<sup>3</sup>,减少了8.0亿 m<sup>3</sup>,减少幅度达16.0%,平均每年以1860万 m<sup>3</sup>速率减少<sup>[21]</sup>,2000-2006年有所增加,见图1。但是塔里木河干流上、中游耗水严重,导致下游水量减少,水质恶化。2009年是塔里木河流域的枯水年,干流来水大幅度减少,塔里木河新渠满站以下断流长度达1100 km,占干流总河长1321 km的83%,这在历史上是罕见的,生态环境不容乐观<sup>[22]</sup>。

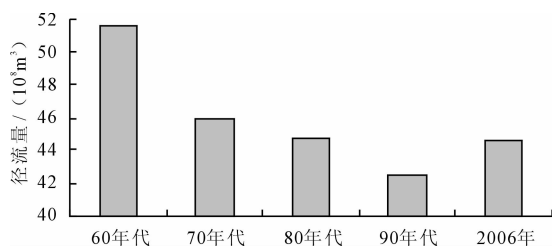


图1 塔里木河上游阿拉尔站各年代径流量变化趋势

由于上游来水连年减少,塔里木河下游的地下水位不断下降。据实测,英苏、阿拉干、库尔干等地的地下水位与 20 世纪 50 年代相比下降了 4~6 m,分别达到了 9.50、11.2、11.6 m。已经不存在开采地下水的可能。地下水位的持续下降已经造成塔河下游大面积胡杨林死亡、盐分的积累、沙漠化加剧。

## 2.2 塔里木河流域水质脆弱性

随着塔里木河流域水文情况的变化,加之人类活动对水资源的影响,塔里木河普遍存在着水质恶化的现象。表现在中游、下游天然水体不断咸化和人为污染两个方面。流域水资源利用程度的提高,加速了地表水与地下水之间的转化过程,水资源重复利用率得到提高,加之中游水量大量散失,导致进入下游的水量大大减少,使流域下游区地表水与地下水均表现出明显的矿化度趋势,见图 2。

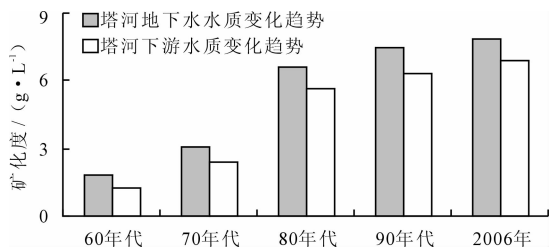


图 2 塔里木河流域水质矿化度变化趋势

塔里木河在 20 世纪 60 年代以前是一条淡水河,干流河水矿化度均未超过 1.0 g/L。由于源流输送给干流下游的水量逐年减少,流域上游、中游灌区农田向下游排泄大量高矿化度水,导致河水矿化度不断升高,水质持续恶化。根据统计资料分析,1985-1998 年监测研究结果表明,阿拉尔、新渠满及卡拉年平均矿化度分别为 1.85、1.37 和 1.34 g/L;河水矿化度仅 8 月小于 1.0 g/L,其余各月均大于 1.0 g/L;其中 1~3 g/L 的微咸水占年径流的 44.2%,3~5 g/L 半咸水占 16.9%,大于 5.0 g/L 的咸水占 4.0%,小于 1 g/L 的淡水仅占年径流量的 34.9%。

多年以来由于塔里木河流域沿岸随意开荒,无序引水状况严重,大量农田排放的盐碱水回流入塔里木河,使得塔里木河水质持续恶化,造成水环境问题突出。从表 1 可以得出:截止 2006 年塔里木河水系 pH 值均值为 7.9;总硬度均值为 339.4 德国度;悬浮物均值为 481.2 mg/L;氯化物均质为 721.3 mg/L;硫酸盐含量均质为 267.8 mg/L。

经过多年的水质监测表明,塔里木河水系 pH 值、总硬度、悬浮物、氯化物和硫酸盐等盐碱离子呈现上升的趋势,导致了塔里木河流域全年平均为 V 类重

污染水,这种状况的发展,已严重地威胁流域人民群众的生产和生活,并引起了一系列生态环境问题。

表 1 塔里木河流域水质污染统计表

监测指标 (平均值)	20 世纪				2006
	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	
pH 值	6.50	6.80	7.40	7.60	7.90
总硬度 (德国度)	197.57	213.56	251.84	300.49	339.4
悬浮物	312.5	364.1	405.2	472.1	481.2
氯化物	356.2	453.9	589.2	718.7	721.3
硫酸盐	178.2	195.6	215.3	264.5	267.8

## 3 塔里木河流域水资源脆弱性发展趋势

从总体上看,塔里木河流域水资源呈现脆弱性加剧的趋势。主要体现在流域的下游地区,包括土地沙漠化、天然水体萎缩、湖泊干涸、下游河道断流、天然草地大面积退化、天然植被遭到破坏等环境问题。塔里木河流域水资源脆弱性演变趋势表现在以下 3 个方面:

(1) 由于气候变化和人类活动的影响,塔里木河流域水资源时空分配已发生改变,随着流域上、中游水量大量散失,导致进入下游的水量大大减少,造成了流域下游绿洲急剧萎缩、荒漠化速度加快而且有向四周蔓延的趋势,引起了生态脆弱性问题。

(2) 随着地表水文情势的变化以及人为大量开采活动,地下水位在塔里木河流域中下游平原地带普遍出现显著变化,在下游地区及中游绿洲外围地带呈现地下水位持续下降的趋势。

(3) 随流域水文情况的变化,加之人类活动对水资源的影响,塔里木河流域普遍存在水质恶化的现象。主要体现在中游、下游天然水体(地表水和地下水)不断咸化和人为污染。水资源重复利用率得到提高,加之中下游来水量的减少,使流域下游区地表水与地下水均表现出明显盐化趋势。

## 4 适应性对策

(1) 实行流域水资源统一规划。塔里木河流域上游、中游和下游是一个完善的地表水和地下水相互转化和相互联系的生态系统,统筹协调流域上、中、下游用水关系,兼顾地表水与地下水联合开发的关系,才能实现水资源的可持续高效利用,逐渐缓解水资源的脆弱性,防止生态环境恶化。

(2) 加强干流水资源管理。要巩固塔里木河干

流治理成果,仍以巩固下游绿色走廊生态恢复为主要目标,保护沿岸胡杨林植被和绿洲,控制上、中、下游水量分配,疏通大西海子水库向下游的河道,使上、中、下游水量畅通。

(3) 防止水质恶化,开展防污改水工程。对于河流水质污染,应进一步加强地表水环境监测工作,随时掌握本区水环境质量及其变化趋势,加强水环境管理及污染源的治理工作,减少污水排放量,控制二次污染。

## 5 结 语

对塔里木河流域水资源脆弱性的定量分析和演变趋势研究结果表明,该区域的水资源具有明显的脆弱性加剧的趋势,随着气候的变化和人类活动的影响,水资源的不合理利用,地下水的大规模开采,地表水和地下水矿化度和污染逐步加剧。流域中下游水量锐减,天然水体萎缩退化,地下水水位下降,水质表现出明显的盐化趋势。而在人类社会经济活动聚集的地区存在水资源的污染等问题。

在流域水资源的开发和利用中,应以生态环境的可持续发展为优先原则,以求得生态效益和经济效益的统一,进行水资源的合理配置。流域上游、中游和下游是一个完善的地表和地下水相互转化和相互联系的生态系统,统筹协调流域上、中、下游用水关系,兼顾地表水与地下水联合开发的关系,才能实现水资源的可持续高效利用,逐渐缓解水资源的脆弱性。

### 参考文献:

- [1] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.
- [2] 王彦国,李敏学,王进,等. 塔里木河流域2001年四源—干河川径流运行分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 401-408.
- [3] 毛炜峰,陈潮,段建军,等. 2002年塔里木河流域“四源—干”地表径流情势[J]. 冰川冻土, 2004, 26(4): 488-495.
- [4] 王顺德,李红德,胡林金,等. 2002年塔里木河流域四条源流区间耗水分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(4): 496-502.
- [5] 王顺德,张洪,魏琳,等. 塔里木河流域2003年“四源—干”河川径流及输水运行分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 715-721.
- [6] 阿迪力·艾则孜,王建文,张建岗,等. 塔里木河流域

- 2004年“四源—干”河川径流情势及输水运行分析[J]. 冰川冻土, 2006, 28(6): 931-940.
- [7] 谢富明,毛炜峰,张建岗,等. 塔里木河流域2005年四源流对干流供水径流情势分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(4): 559-569.
- [8] 张建岗,王建文,马辉明,等. 塔里木河流域2006年“四源—干”河川径流及输水运行分析[J]. 冰川冻土, 2008, 30(4): 569-577.
- [9] 王进,张雄文,刘湘,等. 塔里木河2007年“四源—干”供输水运行分析[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 732-740.
- [10] 王进,刘湘,龚伟华,等. 2008年塔里木河流域“四源—干”径流运行与河道断流成因分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(3): 593-601.
- [11] 姜桂华. 地下水脆弱性研究进展[J]. 世界地质, 2002, 21(1): 33-38.
- [12] 张昕,蒋晓东,张龙. 地下水脆弱性评价方法与研究进展[J]. 地质与资源, 2010, 19(3): 253-258.
- [13] National Research Council(U S). Ground water vulnerability assessment predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty [M]. Washington D C: National Academy Press, 1993.
- [14] Doerfliger N J, Eannin P Y, Zwahlen F. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools[J]. Environmental Geology, 1999, 39(2): 165-176.
- [15] Strzepek K M, Yates D N, El QUOSY D E D. Vulnerability assessment of water resources in Egypt to climatic change in the Nile Basin[J]. Climate Research, 1996, 6(2): 89-95.
- [16] Bates B C, Kundzewicz Z W, WU S, et al. Climate Change and Water[M]. Geneva: IPCC Secretariat, 2008.
- [17] 王让会,樊自立. 塔里木河流域生态脆弱性评价研究[J]. 干旱环境监测, 1998, 12(4): 218-223.
- [18] 王顺德,王彦国,王进,等. 塔里木河流域近40a来气候、水文变化及其影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 315-319.
- [19] 叶茂,徐海量,宋郁东. 塔里木河流域水资源面临的主要问题[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 388-392.
- [20] 樊自立,马英杰,张惠,等. 塔里木河水水质盐化及改善途径[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 719-725.
- [21] 吴素芬,韩萍,李燕,等. 塔里木河源流水资源变化趋势预测[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 708-711.
- [22] 龚伟华,王彦国,赵成义,等. 2009年阿克苏河枯水年水文特征及其对塔里木河干流生态环境的影响[J]. 冰川冻土, 2010, 32(3): 602-608.