

Risk Management of Total Water Withdrawal Control in the Middle of Heihe River Reach

Caihong Hu, Jianju Gao, Zening Wu, Xinjian Guan

College of Water Conservancy and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou
Email: hucaihong@zzu.edu.cn

Received: Jul. 11th, 2012; revised: Jul. 29th, 2012; accepted: Aug. 12th, 2012

Abstract: Total water withdrawal control is able to realize coordinated development of the social economic and ecological environment through the reasonable distribution and total amount control. The Heihe River is the early implementation of total water withdrawal control. Due to the uncertainty of flow runoff and water demand, the risk of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach is objectively exist, and the corresponding risk management research is also necessary. Based on the analysis of the risk factors, combining with the actual situation of the middle of Heihe river reach, the risk evaluation index system of total water withdrawal control was proposed and the risks were analyzed. The results show that the risk level of total water withdrawal control in the middle Heihe River reach is in a controllable state, but the agricultural and ecological water use are limited in certain extent. The main risk factors and counterforce factors are given which could provide guidance for risk management and implementation of total water amount control in this region.

Keywords: The Middle of Heihe River Reach; Total Water Withdrawal Control; Risk Factor; Risk Management

黑河中游取水总量控制风险管理研究

胡彩虹, 高建菊, 吴泽宁, 管新建

郑州大学水利与环境学院, 郑州
Email: hucaihong@zzu.edu.cn

收稿日期: 2012年7月11日; 修回日期: 2012年7月29日; 录用日期: 2012年8月12日

摘要: 取水总量控制是通过取水量的合理分配和总量控制, 实现流域经济社会和生态环境的协调发展。黑河是我国较早实施取水总量控制的流域之一, 由于上游来水、区域取水以及用水等过程的不确定性, 黑河中游取水总量控制系统不可避免存在着风险, 有必要开展相应的风险管理研究。本文结合黑河中游实际情况, 从黑河中游取水总量控制的风险因子出发, 构建了黑河中游取水总量控制风险评价指标体系, 并对风险进行了估算和分析。结果表明黑河中游的取水总量控制风险处于可控状态, 但中游的农业和生态用水受到一定的限制。并辨识主要致险和承险因子, 提出相应的风险管理措施, 为取水总量控制在黑河中游的实施提供指导。

关键词: 黑河中游; 取水总量控制; 风险因子; 风险管理

1. 引言

黑河是仅次于塔里木河的中国第二大内陆河, 内

作者简介: 胡彩虹(1968-), 女(汉), 山西平遥人, 博士, 教授, 主要从事水文学及水资源方面的教学和科研工作。

陆河是一个以水资源为联系纽带的, 关联度较高、整体性较强的区域^[1], 水资源成为流域经济社会发展和生态环境保护的主要限制因子。黑河流域以莺落峡和正义峡为上、中、下游的分界面, 干流中游包括张

掖市的甘州区、临泽县和高台县。黑河流域各区间用水量存在此消彼长的关系^[2], 中游取水对下游用水及生态修复具有重要影响。要解决黑河中游面临的水问题必须加强流域水资源管理, 取水总量控制是最严格水资源管理制度的重要手段, 通过对取水量的合理分配和总量控制实现区域的可持续发展。

取水总量控制风险是由于上游来水、取水和用水方面的不确定性, 使实际取水量出现大于或小于取水许可量的状况以及由此产生的损失程度。风险管理是指为了使系统收益最大, 损失最小, 而对系统的不确定性事件所进行的识别、评估和控制^[3]。黑河中游具有地貌单元多样、水资源转化关系复杂, 生态环境脆弱、水资源短缺日益突出而又十分敏感的特点^[4], 结合黑河中游取水总量控制风险因子识别, 构建科学的评价指标体系和估算方法, 进行合理的风险评价, 对促进黑河中游取水总量控制风险预警与防范具有重大意义。

2. 黑河中游取水总量控制系统风险描述

2.1. 黑河中游概况

黑河发源于青海省祁连县, 从祁连山发源地到尾间居延海, 全长约 951 km, 涉及青海、甘肃、内蒙古三省(自治区), 共 14 个县(市、区、旗), 流域总面积为 $14.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。黑河中游为莺落峡至正义峡区段, 河道长 206 km, 控制流域面积 $2.56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。中游区包括张掖市的甘州区、临泽县和高台县, 是甘肃省重要的灌溉农业区, 黑河中游地区绿洲、荒漠、戈壁、沙漠断续分布, 地势平坦, 是河西走廊的重要组成部分。光热资源充足, 昼夜温差大, 是甘肃省重要的灌溉农业区。但干旱严重, 年降水量仅有 140 mm, 多年平均温度 $6^\circ\text{C} \sim 8^\circ\text{C}$, 年日照时数长达 3000~4000 小时, 年蒸发能力达 1410 mm, 人工绿洲面积较大, 部分地区土地盐碱化严重。

黑河流域用水量主要集中在中游, 总用水量 $22.34 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占流域总用水量的 70.7%, 农业灌溉用水占中游总用水量的 63.26%, 水事矛盾突出, 是研究黑河流域的主要区域。为解决黑河流域上、下游用水矛盾以及经济社会发展与生态环境用水之间的矛盾问题, 原国家计委和国务院先后批复了“九二”和“九七”分水方案。而黑河中游取水总量控制是在“九

二”和“九七”分水方案基础上, 扣除正义峡断面向下游分水的指标后, 根据经济社会发展规划, 在制订生活、生产和生态用水之间的指导性用水比例的基础上, 将剩余的可利用水资源量作为张掖市的用水总量, 逐级分配到各县(区)、各乡(镇)、各村社, 层层实行总量控制, 以实现流域经济社会和生态环境协调发展的目的。

2.2. 黑河中游取水总量控制系统风险描述

黑河中游取水总量控制分析管理分析示意图见图 1, 黑河中游取水总量控制系统是一个涉及自然降雨和来水过程、人类参与取水以及人和社会用水的“自然-人-社会”的复合系统。由于系统的开放性和复杂性, 导致系统产生风险的影响因素众多, 既有内因也有外因, 既有自然因素也有人为因素, 深入分析各风险因子是建立风险评价指标体系和风险管理的基础。黑河中游取水总量控制风险形成受水源的形成及其时空分布、取水系统、用水户用水、人类活动和管理等因素的影响。根据系统风险管理的概念, 系统风险因子可归结为致险因子和承险因子^[5]。取水总量控制系统涉及来水系统、取水系统和用水系统。取水设施和引水设施的不完备性, 来水、取水和用水的波动性以及部分用水户的用水脆弱程度是导致取水总量控制系统风险产生的主要原因, 它们构成取水总量控制系统风险的致险因子。致使风险发生的概率称为致险率。尽管系统不可避免的受到致险因子的致险作用, 但系统所具有的动态性和开放性使得系统能够对面临的风险产生一定的抵抗和调节作用。系统自身通过取水系统本身的设施优化和开源措施等所具有的可靠性, 系统在长期的运行过程中通过节约用水及

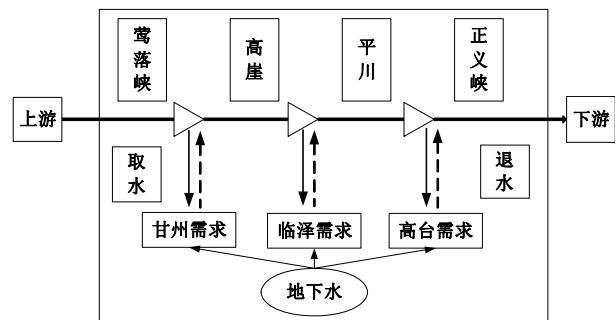


Figure 1. Systematic diagram of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach
图 1. 黑河中游取水总量控制系统图

水资源调控管理措施对风险事件形成的适应性以及风险发生时人为采取的应急管理措施, 都是对致险因子进行的反馈, 引导取水总量控制系统对潜在风险进行抵抗从而消减风险产生及损害, 将这一反馈及抵抗性质称为承险能力, 系统在致险与承险因子相互作用下, 当致险压力大于承险能力时, 风险就产生了。结合黑河中游概况, 概化的黑河中游取水总量控制风险作用过程见图2。

3. 黑河中游取水总量控制风险评价指标体系及估算方法

3.1. 风险评价指标体系构建

黑河中游取水总量控制风险评价要达到的目的是风险估算, 分别从致险性和承险性两个风险属性方面进行描述, 风险属性表征层有: 系统性能、波动性、脆弱性、可靠性、适应性、应急性。遵循科学性、完备性、现实可行性、相对独立性和定性定量相结合的原则构建风险评价指标体系。结合黑河中游的实际情况, 充分考虑取水总量控制系统风险描述, 经过层层筛选得到14个风险评价指标, 具体见表1。

3.2. 估算方法

结合上述风险评价指标体系, 根据Tobin和Montz^[6]提出的风险评价方法, 参考文献[5]运用风险损失参数 DI 的平方根 WRI (风险指数) 来表征风险:

$$WRI = \begin{cases} \sqrt{DI} & DI > 0 \\ 0 & DI \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$DI = (RBI - RSI) \cdot CI \quad (2)$$

$$RBI = \sum_{i=1}^9 WR_i \cdot R_i \quad (3)$$

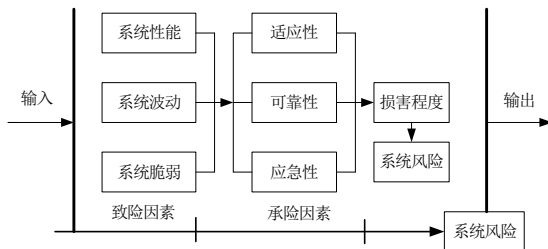


Figure 2. Risk process of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach
图2. 黑河中游取水总量控制风险过程

Table 1. Evaluation index system of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach
表1. 黑河中游取水总量控制风险评价指标体系

目标层	风险属性层	属性表征层	评价指标层	
黑河中游取水总量控制风险	A1 致险性	B1 系统性能	C1 取水设施不完善程度	
			C2 灌溉水损失系数	
			C3 取水指标未完成率	
		B2 波动性	C4 降水波动性	
			C5 上游来水波动性	
			C6 控制断面下泄水量未完成率波动性	
	A2 承险性	B3 脆弱性	C7 农田损失度	
			C8 生态损失度	
		B4 可靠性	C9 地下水超采率	
			C10 取水许可量满足程度	
		B5 适应性	C11 取水可靠程度	
			C12 节水率	
			B6 应急性	C13 水资源的调控管理能力
				C14 紧急限水措施

$$RSI = \sum_{i=10}^{14} WR_i \cdot R_i \quad (n > m) \quad (4)$$

式中: RBI 和 RSI 分别表示系统致险因子和承险因子对系统作用程度的致险率和承险率, R_i 表示系统风险因子的指标值, WR_i 表示系统风险因子对于系统的贡献大小, 即对系统风险权重。

在风险评价指标体系中, 脆弱性因子既代表引起风险发生的致险因子, 又反映对取水总量控制系统的损害程度, 因此, 在表征损害程度属性时, 需要构建区别于致险率表征的损害性表征参数, 即脆弱性(CI), 指标权重(WS)区别于致险承险体系的指标权重 WR , 即表达为:

$$CI = \sum_{i=7}^9 WS_i \cdot R_i \quad (1 \leq k \leq m) \quad (5)$$

式中: WS_i 表示系统风险的发生及传递对系统损害率在相关评价指标体系上的指标权重的分配值。

参考美国军用标准(MIL-STD-882)^[7]提供的定性分析方法, 考虑系统的致险因子与承险能力的相互关系, 根据风险指数将取水总量控制系统风险定性划分为5个级别: 可接受风险($\leq 15\%$)、约束性风险($\leq 40\%$)、损害性风险($\leq 60\%$)、严重破坏性风险($\leq 85\%$)、毁灭性风险($> 85\%$)。

4. 风险评价

4.1. 风险估算

2008年莺落峡、高崖和平川三断面的来水量分别为 $18.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $11.23 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $12.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由黑河流域取水总量控制指标体系计算得到2008年甘州、临泽、高台三县区的取水指标分别为 $4.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据2008年黑河中游的社会经济发展情况和水利设施状况,得到黑河中游三县(区)的指标值见表2。

基于层次分析法(AHP)^[8]比较指标两两之间的重要性,确定每一个评估指标针对目标层贡献大小(WR)和(WS),计算结果见表3。

4.2. 估算结果及讨论

将各指标值及指标权重代入风险估算方法中,得到2008年黑河中游的取水总量控制系统致险率(RBI)、承险率(RSI)、脆弱性(CI)、风险(WRRI)、风险损失(DI)分别为:18.16%、8.73%、28.36%、16.36%、2.68%。表明在恢复性指数为0.0873的情况下,黑河中游取水总量控制系统仍面临着16.36%的风险,并会

给流域农业和生态带来2.68%的风险损害。对照取水总量控制风险级别得黑河中游取水总量控制系统风险处于II级风险水平。

三地区风险大小和风险损失对比可知,甘州、临泽、高台三地区的取水总量控制风险大小和风险损失依次增大。表明为满足取水总量控制指标,保证下泄指标的顺利完成,中游三地区用水受限程度不同,呈依次增大趋势。黑河中游取水总量控制的风险和风险损失大小对比结果如图3。

从黑河中游取水总量控制风险系统的致险因子构成(图3)来看,取水不满足程度(C3)的贡献最大,占总致险率的46.49%;其次农田脆弱性(C7)和生态脆弱性(C8)以及地下水脆弱性(C9)三者,对取水总量控制系统的潜在危害占总致险率的28.64%,三者作用由大到小分别为农田脆弱性、生态脆弱性、地下水脆弱性;而取水设施不完善程度(C1)和灌溉水损失系数(C2)占致险率的13.87%;控制断面下泄水量未完成率波动性(C6),占总致险率的7.29%;上游来水波动性(C5)占总致险率的3.0%,降水波动性(C4)占总致险率的0.74%,黑河流域降雨较少,几乎形不成径流,对河流的补给作用很小。从黑河中游取水总量控制风险

Table 2. Risk index value of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach in 2008
表 2. 2008年黑河中游取水总量控制风险指标值

指标值	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
甘州	0.1300	0.4800	0.2075	0.1830	0.1270	0.1513	0.3209
临泽	0.1300	0.5000	0.0835	0.1830	0.3000	0.1584	0.5547
高台	0.1300	0.4450	0.1713	0.1830	0.5000	0.1068	0.3785
中游	0.1300	0.4800	0.1669	0.1830	0.3000	0.1068	0.4014
指标值	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
甘州	0.0000	0.0778	0.7307	0.2533	0.0590	0.8000	0.3000
临泽	0.0511	0.3478	0.4888	0.2155	0.0676	0.8000	0.3000
高台	0.4390	0.2065	0.6230	0.1328	0.1047	0.8000	0.3000
中游	0.1097	0.1605	0.6323	0.4727	0.0733	0.8000	0.3000

Table 3. Risk index weight of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach
表 3. 黑河中游取水总量控制风险评价指标权重

指标权重	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
WR	0.0332	0.0791	0.3768	0.0060	0.0243	0.0590	0.1326
WS							0.5714
指标权重	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
WR	0.0663	0.0332	0.0352	0.1055	0.0231	0.0116	0.0143
WS	0.2857	0.1429					

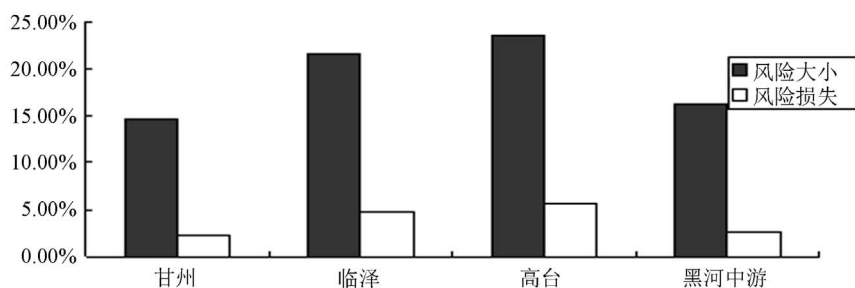


Figure 3. Size of risk and risk loss of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach in 2008
图 3. 2008 年黑河中游取水总量控制风险及风险损失

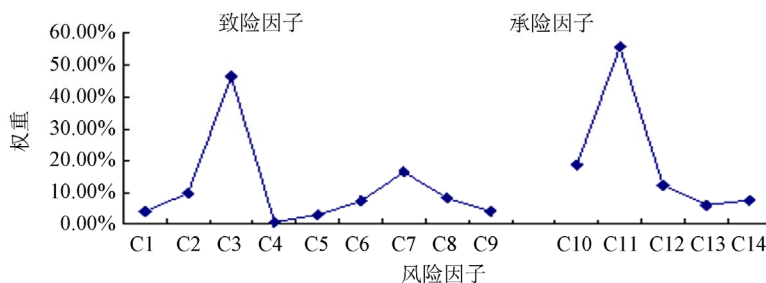


Figure 4. Risk factor weights of total water withdrawal control in the middle of Heihe River reach
图 4. 黑河中游取水总量控制风险因子贡献

系统来看, 系统属性、波动性、脆弱性对致险率的贡献分别占 60.35%、11.02%、28.64%, 取水总量控制系统风险主要来源于系统性能不完备, 即由于取水设施不完善、渠系水渗漏损失严重等引起的取水量不能满足用水要求的现象。从十年的水量调度情况来看, 控制断面下泄水量完成率直接影响取水总量控制实施效果; 上游来水波动性使系统面临风险, 表现在遇到丰水年份占统计年份的比例越大, 则水量调度则较难完成, 这同时也反映了分水方案自身的特点。脆弱性贡献数值较小, 但是脆弱性表征多年的社会、经济、环境的潜在破坏性, 更多影响系统输出过程和结果, 因此更受到人类社会的关注。

从黑河取水总量控制系统的承险因子构成及贡献来看(图 4), 对系统起最重要承险作用的是取水可靠程度(C11), 其贡献率为 55.64%; 其次是取水许可量满足程度(C10), 对承险率的权重为 18.55%; 节水率(C12)对减小黑河取水总量控制系统风险具有相当重要作用, 占承险率的权重为 12.20%; 紧急限水措施(C14)对承险率的贡献达 7.52%; 水资源的调控管理能力(C13), 对承险贡献达 6.10%, 承险作用也不容忽视。

黑河中游取水总量控制系统的风险损失为 2.68%, 该损失在农田损失、生态损失和地下水方面

的损害程度值为 7.15%、21.23%、2.29%, 占脆弱性的比重分别为 57.14%、28.57%、14.29%。

5. 风险管理措施

由黑河中游取水总量控制风险估算结果可知, 2008 年黑河中游取水总量控制风险处于可约束的风险级别, 需要通过控制水资源的利用来防范风险的发生。通过风险因子分析得到三大主要致险因子是取水未完成率、农田损失度、灌溉水损失系数, 三大主要承险因子是取水可靠程度、取水许可量满足程度、节水率。风险控制的目的降低致险因子的致险作用, 提高承险因子的作用。因此, 黑河中游取水总量控制系统风险控制可从以下几个方面进行:

1) 进一步推进节水型社会建设。立足黑河中游现有的水资源条件采取工程和非工程措施进行节水; 调整作物种植结构, 降低高耗水作物的种植面积, 如用制种玉米对带田的替代等可以降低单位面积灌溉定额; 结合黑河流域目前的工程现状, 进行大中型灌区改造配套工程规划; 改变以往“大水漫灌”的灌溉方式, 推行喷灌、滴灌、低压管灌等高新节水措施, 减少田间灌溉水的无效损失量。

2) 在上游修建骨干水利工程(如规划中的黄藏寺

水库), 减少上游来水波动对取水总量控制系统的影响; 对于废弃或取水效率低的引水口门进行合并改造, 在各个口门安置水量测量仪器, 实现引水口门“三监系统”(监视、监测、监控)运行, 提高取水可靠程度; 加快河道治理和干、支、斗、农渠系加固工程, 减少输水过程中不必要的渗漏损失。

3) 实施最严格的水资源管理。加强水资源开发利用控制红线管理, 严格实施取水许可; 在取水总量控制指标体系建设的基础上, 制定年度用水计划, 依法对本行政区域内的年度用水实行总量管理; 对水资源实行统一调度, 建立水资源统一管理与分级管理结合、流域管理与区域管理结合、总量控制与定额管理结合的取水许可制度; 制定取水总量控制保障系统应急预案预案, 配置风险预警与监测系统, 并加强应急能力。

4) 实施“虚拟水战略”^[9], 利用“配置”手段解决黑河水资源取用水矛盾问题; 落实取水许可证的发放, 建立水市场, 完善水权交易和水量流转机制, 运用市场机制合理配置水资源并激励农民的节水意识, 并发挥用水户协会的作用, 以公众参与自主管理强化水资源的末端管理。

参考文献 (References)

- [1] 吴秀芹, 徐苏宁. 黑河流域水资源分析与合理利用[J]. 南水北调与水利科技, 2006, 4(1): 38-41.
WU Xiuqin, XU Suning. Analysis of water resources and rational utilization in Heihe basin. South-to-North Water Transfers

- and Water Science & Technology, 2006, 4(1): 38-41. (in Chinese)
- [2] 徐中民. 黑河流域水资源管理方式的初步探索[J]. 地域研究与开发, 2000, 19(1): 17-20.
XU Zhongmin. A study on the water resources management in Heihe valley. Areal Research and Development, 2000, 19(1): 17-20. (in Chinese)
- [3] 于义彬, 王本德. 水资源系统风险管理的分析与研究[J]. 人民黄河, 2002, 24(7): 18-20.
YU Yibin, WANG Bende. Analysis and study on risk management of water resources system. Yellow River, 2002, 24(7): 18-20. (in Chinese)
- [4] 程国栋. 黑河流域可持续发展的生态经济学研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 335-343.
CHENG Guodong. Study on the sustainable development in Heihe River watershed from the view of ecological economics. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(4): 335-343. (in Chinese)
- [5] 张士锋, 陈俊旭, 华东, 等. 水资源系统风险构成及其评价——以北京市为例[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1855-1863.
ZHANG Shifeng, CHEN Junxu, HUA Dong, et al. Research on the assessment of water resource system risk—A case study of Beijing. Journal of Natural Resources, 2010, 25(11): 1855-1863. (in Chinese)
- [6] TOBIN, G. A., MONTZ, B. E. Natural hazards: Explanation and integration. New York: The Guilford Press, 1997.
- [7] MIL-STD-882, System Safety Program for System and Associated Subsystems and Equipment.
- [8] 吴泽宁, 张文鸽, 管新建. AHP 中判断矩阵一致性检验和修正的统计方法[J]. 系统工程, 2002, 20(3): 67-71.
WU Zening, ZHANG Wenge and GUAN Xinjian. A statistical method to check and rectify the consistency of a judgment matrix. Systems Engineering, 2002, 20(3): 67-71. (in Chinese)
- [9] 张凯, 宋连春, 韩永翔, 等. 黑河中游地区水资源供需状况分析及对策探讨[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 842-848.
ZHANG Kai, SONG Lianchun, HAN Yongxiang, et al. Analysis on supply and demand of water resources and related countermeasures in the middle reaches of Heihe River. Journal of Desert Research, 2006, 26(5): 842-848. (in Chinese)