

不同干旱等级下的叶儿羌河流域水资源优化配置

薛联青^{1,2,3}, 杨明智¹, 孙超⁴, 杨晓军¹, 王金山⁴, 杨广²

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 石河子大学 水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000; 3. 河海大学 文天学院, 安徽 马鞍山 243000; 4. 新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要:以叶尔羌河流域作为研究对象,选取叶尔羌河流域河川径流量的标准径流指数 SRI(Standardized Runoff Index)作为干旱评价指标,划分了干旱等级,并针对不同干旱等级情况对流域水资源进行了缺水分析。综合考虑了多种开源节流措施,建立了基于综合效益满意度的评价方法,最终在 6 种方案中确定了考虑经济、环境、社会三个目标的综合效益最优的应急调配方案。结果表明:重度干旱条件下叶儿羌河流域的缺水率可由原来的 20.7%降低到 6.2%,最优方案(方案六)大大减小了该流域在干旱发生时的严重缺水状况,可有效缓解流域水资源的供需矛盾。

关键词:叶儿羌河流域; 干旱; 水资源配置; 三标度法; 总体满意度

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0242-04

Optimal Allocation of Water Resources at Different Drought Grades in Yarkand River Basin

XUE Lian-qing^{1,2,3}, YANG Ming-zhi¹, SUN Chao⁴, YANG Xiao-jun¹, WANG Jin-shan⁴, YANG Guang²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,

Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Conservancy & Architectural

Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3. Wentian College of Hohai University,

Ma'an Shan, Anhui 243000, China; 4. Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: The standardized runoff index(SRI) of river runoff was selected as drought evaluation index for the description of drought severity grade in Yarkand River Basin. Water shortage in Yarkand River Basin was calculated at the different drought grades. An optimal assessment model was developed to aim at comprehensive benefit satisfaction index with respect to different increasing income and reducing expenditure measures. Based on the model, six optimal emergency deployment plans of water resources that well considered the optimization of the overall benefit including economic, environmental and social demand were assessed in Yarkand River Basin. The results show that water shortage rate can be reduced from 20.68% to 6.23% during very serious drought periods, the sixth emergency plan can significantly reduce water shortage situation and effectively ease the contradiction of water supply and demand in Yarkand River basin.

Key words: Yarkand River Basin; drought; water resources allocation; three-demarcation method; overall satisfaction

随着我国西部干旱区经济的发展和人口的快速增长,水资源的消耗越来越多,经济活动所依赖的生态环境质量在不断遭到严重破坏,生产、生活、生态供水矛盾尖锐^[1]。与此同时,旱灾频次明显提高,河道断流天数也有所增加,已直接威胁工农业生产,对流域生态造成较大破坏。为了解决不同干旱年下的叶尔羌河流域的水资源短缺问题,本文结合我国内陆干旱区水资源极端匮乏、干旱频繁发生的实际情况,从研究区的供需现状和缺水形势着手,分析研究干旱

等级与流域来水频率的关联及对区域社会发展的影响。

基于多项开源节流措施,构建不同工程措施实施下的水资源配置方案,提出采用综合效益满意度法建立数学模型,对不同干旱等级情况下的叶儿羌河流域 6 个方案进行优选,实现水资源的优化调配,充分发挥水资源的经济、生态综合效能,为当地水资源优化配置、流域社会经济与生态环境可持续发展提供科学依据。

1 材料及研究方法

1.1 研究区概况

叶儿羌河流域位于塔里木盆地西南边缘,地理坐标为东经 74°28′—80°54′,北纬 34°50′—40°31′,由叶儿羌河、提孜那甫河等 4 条河流组成,流域地跨 4 个地州 12 个县市,是新疆境内地跨州市最多的流域,总面积 9.89 万 km²[2]。境内有新疆最大、全国第四的大型灌区,灌溉面积 50.23 万 hm²。叶儿羌河流域干旱少雨,蒸发下渗强烈,水资源总量不足,仅占全疆水资源总量的 9.28%。加之水利设施标准低,老化失修,节水设施不到位,渠系渗漏异常严重,综合灌溉水利用系数仅为 0.41,低于全疆平均水平。近 20 a 来,随着社会经济的快速发展,叶儿羌河流域工、农业用水需求增长很快,供需水矛盾尖锐。

1.2 干旱等级划分

新疆地区降雨稀少、蒸发强烈,但平原区的降雨量变化并不能客观反映干旱规律性变化,河道天然来水量的变化才是真实意义上的干旱变化波动。但新疆地区的河流大多是混合补给型河流,绝大部分河流径流量不仅与流域平均高程有关系,还与流域地理位置和自然气候特点有关,因此河道出山口处天然来水量的多少才能比较真实地反映叶尔羌河流域的干旱程度。故选取基于河川径流量[3-4]的 SRI(Standardized Runoff Index)[5]作为干旱评价指标。SRI 是将

偏态分布的径流量转化为标准正态分布,以进行不同时空尺度下的对比分析。首先通过 Box-Cox 转换[6]将径流量序列转化为正态分布:

$$Z=\begin{cases} \frac{X^\theta-1}{\theta} & \theta\neq 0 \\ \ln(X) & \theta=0 \end{cases} \tag{1}$$

将转换后的序列进行标准化:

$$SRI=\frac{Z-\bar{Z}}{\sigma_Z} \tag{2}$$

式中: X ——径流量; θ ——Box-Cox 转换系数; Z ——经 Box-Cox 转换后序列; \bar{Z}, σ_Z ——其均值和标准差。计算叶儿羌河流域主要代表水文站——卡群站(叶儿羌河)和玉孜门勒克站(提孜那甫河)1957—2009 年的 SRI 值,其对比结果如图 1 所示。采用 P—Ⅲ型曲线对以上水文站 53 a 的长系列来水数据进行适线,参照干旱等级划分标准(表 1),对照找出 SRI 值分别为 0, -1, -1.5, -2 的来水年份及各年份对应的来水频率,如表 2 所示。从表中可以看出,叶尔羌河流域在来水频率小于 50% 时无旱,来水频率 50%~80% 时为轻度干旱,来水频率 80%~90% 时为中度干旱,来水频率 90%~95% 时为重度干旱,来水频率大于 95% 时为特大干旱。为便于水资源配置计算,分别选取 80%, 90%, 95% 来水频率的径流量代表中度干旱年、重度干旱年和特大干旱年的河道来水量。

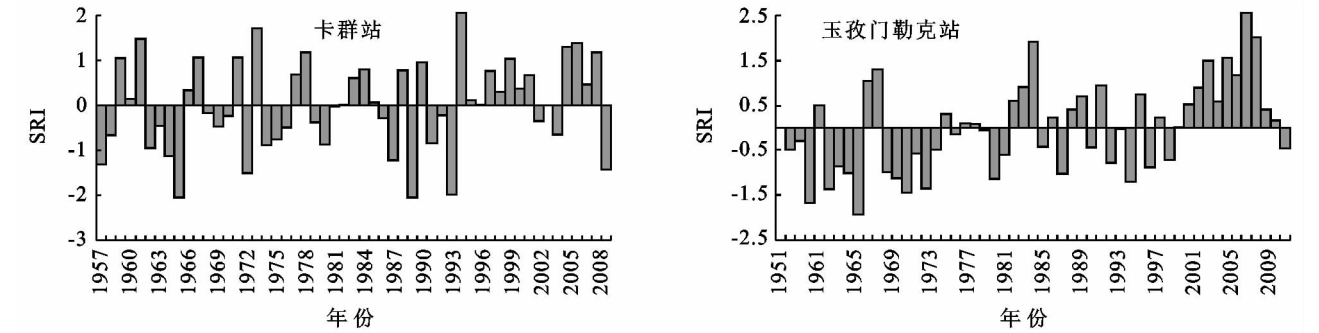


图 1 研究区主要代表水文站 1957—2009 年 SRI 指标值

表 1 干旱等级划分标准

SRI 范围	干旱等级
-1.0<SRI≤0.0	轻度干旱
-1.5<SRI≤-1.0	中度干旱
-2<SRI≤-1.5	重度干旱
SRI≤-2.0	特大干旱

表 2 叶儿羌河流域的干旱等级和来水频率范围对应表

SRI 值	卡群站		玉孜门勒克站		干旱等级
	年份	来水频率/%	年份	来水频率/%	
0	1996	50	1998	50	轻度干旱
-1	1974	81	1968	80	中度干旱
-1.5	1972	92	1970	90	重度干旱
-2	1993	97	1965	95	特大干旱

1.3 水资源优化配置模型构建

水资源优化配置涉及多个决策主体,社会、经济、生态环境等多个决策目标[7-10],因此水资源优化配置要遵循可持续发展原则,解决区域内水资源在生活、生产、生态之间最优分配,既要追求社会效益和经济效益,又要顾及生态效益。引入三标度法计算经济效益、社会效益和生态环境效益三方面的权重,将社会效益、经济效益和生态效益三个目标的满意度[11]转化成一个个目标的综合满意度,最终建立以综合效益满意度最大为目标函数的水资源优化配置模型。其模型表达式如下:

$$P=\omega_1 \cdot P_1+\omega_2 \cdot P_2+\omega_2 \cdot P_3 \tag{3}$$

式中： $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——社会效益、经济效益和生态效益的权重，由三标度法^[12]确定，且 $\omega_1+\omega_2+\omega_3=1$ ； P ——综合效益满意度函数； P_1, P_2, P_3 ——社会效益、经济效益和生态效益满意度函数， $0\leq P_i\leq 1, i=1, 2, 3$ ，其表达式如下：

社会效益满意度： $P_1=P_{\max} \tag{4}$

经济效益满意度： $P_2=\begin{cases} 1 & E(x)\geq Ex \\ E(x)/Ex & E(x)<Ex \end{cases} \tag{5}$

生态效益满意度： $P_3=\begin{cases} 1 & C(x)\geq Cx \\ C(x)/Cx & C(x)<Cx \end{cases} \tag{6}$

式中： Ex, Cx ——工业产值、地下水开采量的期望值； $P_{\max}, E(x), C(x)$ ——社会目标函数、经济目标函数和生态目标函数，表达式如下：

社会目标： $P_{\max}=\max\{\frac{\sum_{k=1}^k\sum_{j=1}^{J(k)}(\sum_{i=1}^{I(K)}x_{ijk}+\sum_{c=1}^Cx_{cj k})}{\sum_{K=1}^K\sum_{j=1}^{J(K)}D_{kj}}\} \tag{7}$

经济目标： $E(x)=\max(\sum_{k=1}^k\sum_{j=1}^{J(k)}\sum_{i=1}^{I(k)}x_{ijk}m) \tag{8}$

生态目标： $C(x)=\min\sum_{i=1}^n C_i \tag{9}$

式中： k ——分区数量； $J(k)$ ——第 k 分区的用水部

门数量； $I(k)$ ——第 k 分区的独立水源数量； c ——公共水源数量； D_{kj} ——区域在 k 分区第 j 用水部门的需水量(万 m^3)； x_{ijk} ——区域第 i 独立水源给第 k 分区第 j 用水部门的供水量(万 m^3)； $x_{cj k}$ ——区域第 c 公共水源给第 k 分区第 j 用水部门的供水量(万 m^3)； m ——工业万元产值(万元/ m^3)； C_i ——第 i 灌区的地下水全年开采总量(亿 m^3)。

约束条件主要有可供水量约束、需水量约束和供水能力约束等，另外还包括地下水可开采量约束、机井提水能力约束、水库库容限制、输水能力约束、供水优先顺序约束、需水优先顺序约束等其它约束条件。

2 结果与分析

2.1 基准年供需分析

为了清晰地描述在无节水工程投入情况下区域水资源的供需前景，以充分暴露发生不同干旱程度中的水资源供需矛盾，从而为发生区域水资源供需矛盾的解决奠定基础，对研究区现状水资源作一次平衡供需分析。在现状年的基础上，扣除现状供水中损失的部分水量，对需水、来水按不同频率进行供需分析。研究区不同干旱等级下的一次供需平衡结果见表 3。

表 3 研究区不同干旱等级下的供需平衡分析

分区	干旱				重度干旱				特大干旱			
	需水量/	供水量/	缺水量/	缺水率/	需水量/	供水量/	缺水量/	缺水率/	需水量/	供水量/	缺水量/	缺水率/
	亿 m^3	亿 m^3	亿 m^3	%	亿 m^3	亿 m^3	亿 m^3	%	亿 m^3	亿 m^3	亿 m^3	%
叶城分区	10.2	7.7	2.5	24.4	10.2	7.1	3.0	30.0	10.2	7.1	3.1	30.5
泽普分区	6.0	4.5	1.5	24.4	6.0	4.2	1.7	28.9	6.0	4.2	1.7	28.7
莎车分区	20.7	18.0	2.7	12.9	20.7	16.8	3.9	18.7	20.7	16.6	4.1	20.0
麦盖提分区	8.8	7.6	1.2	13.7	8.8	7.0	1.8	20.5	8.8	6.8	1.9	21.9
岳普湖分区	1.1	0.9	0.2	20.4	1.1	0.8	0.3	26.7	1.1	0.8	0.3	29.3
巴楚分区	14.6	12.5	2.1	14.6	14.6	11.6	3.0	20.6	14.6	10.9	3.7	25.5
前海分区	10.0	9.6	0.4	4.2	10.0	9.0	1.0	10.0	10.0	8.8	1.2	12.3
合计	71.3	60.7	10.6	14.9	71.3	56.6	14.7	20.7	71.3	55.2	16.1	22.6

注：不同干旱等级下研究区的需水量相同。

从表 3 中可以看出，叶儿羌河流域现状可供水量在发生不同程度干旱时均不能满足流域内现状的用水需求，干旱年下流域缺水率在 14%左右，重度干旱年下缺水率为 20%左右，特大干旱年缺水率接近 23%。由于各分区的水利工程分布不均匀、水资源量和需水不同，各分区缺水情况各有不同：叶儿羌河流域现状缺水地区主要是上游分区。缺水率最大的是叶城分区，干旱年下缺水率达到了 24.4%，在重早年和特大旱年下的缺水率在 30%左右；其次是泽普分区，干旱年下缺水率达 24%左右，在重早年和特大旱年下的缺水率在 28%左右。中部分区水利条件最好，在干旱年下缺水率在 13%左右，在重早年和特大旱年

下的缺水率在 20%左右，但中部区用水量基数较大，几乎占了整个流域用水量的一半，随着流域生产发展对水资源需求的高速增长，未来缺水情势不容乐观。

2.2 方案设定

解决水资源供需矛盾的基本思路就是增加供水和抑制需水。通过详查叶尔羌河流域的引、蓄、提、排等现状水利工程，绘制流域水利工程节点布局图，干旱情况下可能采取的流域开源节流措施包括适当增加流域内的地下水开采量和改变农业用水比重(目前流域的农业用水比重为 95%)。根据对叶儿羌河流域现状工程情况下的缺水状况、节水潜力和新增供水能力的分析，参考《塔里木河流域近期综合治理规划报

告》和《新疆维吾尔自治区抗旱规划报告》,围绕以上开源节流措施,从方式和规模上进行多种组合,并适当取舍,组成 6 个方案(表 4)。

表 4 叶儿羌河流域的六种配置方案

方案	各方案内容
一	农业用水比重 88%,增加地下水可开采利用量的 50%
二	农业用水比重 88%,增加地下水可开采利用量的 60%
三	农业用水比重 85%,增加地下水可开采利用量的 50%
四	农业用水比重 85%,增加地下水可开采利用量的 60%
五	农业用水比重 80%,增加地下水可开采利用量的 50%
六	农业用水比重 80%,增加地下水可开采利用量的 60%

2.3 方案优选

按照三标度法的计算公式和步骤,计算得到社会效益、经济效益和生态效益的权重分别为 0.540, 0.163和 0.297。根据总体满意度计算公式,对拟定水资源配置方案对应的不同干旱程度下的配置结果进行评价计算,求得不同干旱等级条件下 6 个方案的总体满意度,结果见表 5。由表中可以看出,方案六在不同干旱年下的总体满意度值均高于其他方案,即方案六是在极端干旱年下综合考虑社会效益、经济效益和生态效益的水资源调配最优推荐方案。

2.4 配置结果和分析

利用 WEAP (Water Evaluation and Planning System,水资源评估和规划系统)^[13]模型对推荐方案(方案六)进行水资源配置,由于篇幅所限,仅列出重

度干旱情况下的叶儿羌河流域的水资源配置结果,见表 6。极端干旱年的水资源配置应遵循以人为本、民生优先的原则,按照生活用水、工业用水、农业用水的配给顺序,优先供给居民生活用水,其次是工业,最后考虑农业,所以在干旱发生情况下农业将会出现缺水现象,相应的缺水出现在农业灌溉需水上。

表 5 研究区不同干旱等级下各方案的总体满意度

方案	干旱	重度干旱	特大干旱
一	0.771	0.761	0.762
二	0.771	0.763	0.763
三	0.786	0.777	0.777
四	0.788	0.779	0.779
五	0.814	0.805	0.805
六	0.815	0.806	0.806

配置方案六作为推荐方案,同时考虑了增加地下水开采量和改变农业用水比例。通过各种生活、工业和农业节水措施,尤其灌溉节水,加强灌区水利工程基础设施建设,提高灌溉水的利用效率,叶尔羌河流域的缺水状况得到了明显缓解,重度干旱条件下流域灌溉需水量减少到 57.7 亿 m³。从表 3 和表 6 的对比中可以看出,生产生活供水量增加到 65.4 亿 m³,流域缺水 4.4 亿 m³,缺水率由原来的 20.7%降低到6.2%,已经大大缓解了流域的干旱缺水状况,可有效地缓解流域的供需矛盾,这对于缓解极端干旱条件下的水资源供需矛盾,遏制生态环境恶化的趋势具有重要意义。

表 6 重度干旱条件下研究区的水资源优化配置计算结果

分区	供水量/亿 m ³				需水量/亿 m ³						缺水量/ 缺水率/	
	蓄水	引提水	地下水	合计	生活	农业	牲畜	渔业	工业	合计	亿 m ³	%
叶城区	0.4	5.1	2.9	8.4	0.1	8.2	0.1	0.1	0.8	9.3	0.9	9.8
泽普区	0.5	2.9	2.8	6.1	0.1	4.9	0.0	0.0	1.8	6.8	0.7	10.6
莎车区	1.6	11.4	5.7	18.7	0.2	16.5	0.1	0.7	2.2	19.7	1.0	5.1
麦盖提区	0.5	5.0	2.2	7.7	0.1	7.2	0.1	0.0	0.5	7.8	0.1	0.8
岳普湖区	0.1	0.6	0.3	1.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.2	1.1	0.0	3.4
巴楚区	1.6	8.1	3.1	12.8	0.1	12.0	0.1	0.0	1.1	13.3	0.5	3.7
前海区	7.2	0.0	3.4	10.6	0.1	8.0	0.1	0.3	3.3	11.7	1.1	9.4
合计	11.9	33.1	20.5	65.4	0.6	57.7	0.5	1.1	9.9	69.8	4.4	6.2

3 结论

(1) 结合流域水文特点,证实了叶尔羌河流域的干旱程度取决于河道出山口处的天然来水量这一结论,选取基于河川径流量的 SRI 作为干旱评价指标,划分了干旱等级,揭示了干旱等级与流域来水频率的关联程度。

(2) 采用三标度法确定社会效益、经济效益和生态效益的权重。三标度法是对传统的层次分析法的一种改进,使判断矩阵简化,使用简单,无需建立复杂的数学模型,层次清晰,可操作性强,避免了构建判断矩阵时权重选择的模糊性,使得评价结果更加符合客观实际。

(3) 建立了能全面反映区域经济与生态协调发展状况的评价指标体系,构建了以人—生态环境—社会—经济协调发展的,以综合效益满意度最大为目标函数的水资源优化配置模型,并确定每个评价指标的参照标准,为客观准确地评价经济与环境协调发展状况奠定了基础。引入综合效益满意度模型,对各方案在社会、经济、生态环境各方面的效果进行了有效的度量,并根据效果的优劣,选择最优方案,可使配水方案产生的综合效益最大,促进水资源的合理有效利用。结果表明,最优方案使流域严重的缺水情况得到了很大的缓解,可有效地缓解流域的供需矛盾。

同时以陕西省凤县5条泥石流沟为例验证模型有效性,评价结果与实际吻合良好。

(2) 模型依据影响泥石流易发性的各因素及当地的地质构造和环境,将影响泥石流易发性的因素概化为三个方面(地貌条件、地质条件、水文条件)7个指标(沟谷断面形状、沟床纵坡降、植被覆盖率、单位面积固体物源储量、岩性、雨季降雨量、汇水面积),体现了一定的综合性,但由于泥石流灾害本身的复杂性,评价指标的选取尚不能程序化、模式化、标准化,评价指标与评价对象之间的密切性和各指标之间的独立性方面还有待于深入研究。

参考文献:

- [1] 史正涛,祁龙. 甘肃省文县关家沟泥石流综合治理[J]. 山地研究,1997,15(2):124-128.
- [2] 谢洪,钟敦伦,韦方强,等. 我国山区城镇泥石流灾害及其成因[J]. 山地学报,2006,24(1):79-87.
- [3] 曾思伟,王得楷. 泥石流研究与展望[J]. 甘肃科学学报,2003,15(S1):10-14.
- [4] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛,等. 基于粗糙集原理的泥石流危险度区划指标选取方法[J]. 地质力学学报,2006,12(2):236-242.
- [5] 刘勇健,刘义建. 基于粗糙集的范例推理在泥石流危险

性评价中的应用[J]. 山地学报,2008,26(2):223-229.

- [6] 王念秦,姚勇. 基于模糊数学和权的最小平方方法的泥石流易发性评价方法[J]. 灾害学,2008,23(2):5-9.
- [7] 李大鸣,罗浩,刘江川. 基于粗糙集理论的泥石流危险度评价模型[J]. 中国农村水利水电,2012(6):34-39.
- [8] 柳金峰,欧国强. 泥石流危险性评价的耗散结构分析[J]. 水土保持研究,2004,11(1):123-125.
- [9] 汪明武. 基于神经网络的泥石流危险度区划[J]. 水文地质工程地质,2000,27(2):18-19.
- [10] 孟凡奇,李广杰,李明,等. 逐步判别分析法在筛选泥石流评价因子中的应用[J]. 岩土力学,2010,31(9):2925-2929.
- [11] 侯兰功,崔鹏. 单沟泥石流灾害危险性评价研究[J]. 水土保持研究,2004,11(2):125-128.
- [12] 吕学军,余猛. 泥石流堆积物粒度分维的讨论[J]. 水土保持研究,2007,14(4):105-108.
- [13] Pawlak Z. Rough set approach to knowledge-based decision support[J]. European Journal of Operational Research,1997,99(1):48-57.
- [14] 曹秀英,梁静国. 基于粗糙集理论的属性权重确定方法[J]. 中国管理科学,2002,10(5):98-100.
- [15] 王洪凯,姚炳学,胡海清. 基于粗糙集理论的权重确定方法[J]. 计算机工程与应用,2003,36(2):20-21.
- [16] 薛喜成. 西秦岭矿山泥石流发育规律与环境效应[D]. 西安:西安科技大学,2010.

(上接第245页)

(4) 渠道是叶尔羌河灌区灌溉最主要输水方式,而传统的土渠输水渗漏损失量大,因此,在叶尔羌河灌区发展渠道防渗技术,降低渠道输水损失是缓解水资源紧缺的重要途径。通过发展高效节水工程及渠系防渗工程,减少渗漏,提高渠系水利用系数,将有效降低农业灌溉用水的损失,提高农业用水效率。但目前叶尔羌河流域渠系水利用系数还不到0.45,田间灌溉技术应用率较低,应用工程技术措施的节水潜力仍比较大。

参考文献:

- [1] 卢晓杰,张克斌,李瑞. 柴达木盆地香日德绿洲水资源优化配置研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):232-236.
- [2] 董永仲. 叶尔羌河流域水资源的合理开发和有效利用[J]. 水利建设与管理,2007,27(1):82-83.
- [3] Mohan S, Rangacharya N C. A modified method for drought identification[J]. Hydrological Sciences Journal,1991,36(1):11-21.
- [4] Dracup J A, Lee K S, Paulson E G. On the statistical characteristics of drought events[J]. Water Resour. Res.,1980,16(2):289-296.

- [5] Lampros V, Athanasios L, Nikos L. A Water Balance Derived Drought Index for Pinios River Basin, Greece[J]. Water Resource Manage,2011,25(4):1087-1101.
- [6] 韦博成,林金官,谢锋昌. 统计诊断[M]. 北京:高等教育出版社,2009:71-78.
- [7] 耿福明,薛联青,吴义锋. 基于净效益最大化的区域水资源优化配置[J]. 河海大学学报:自然科学版,2007,35(2):149-152.
- [8] 任政,郑旭荣,罗明. 石河子地区水资源时空合理配置模型研究[J]. 水土保持研究,2007,14(5):174-177.
- [9] 邸利,窦学成,成自勇,等. 甘肃省生态环境建设与水资源合理配置研究[J]. 水土保持研究,2007,14(2):176-178.
- [10] 黄金林,丁元芳,迟宝明. 岔路河流域水资源合理配置研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):235-238.
- [11] 刘长顺. 流域水资源合理配置与管理研究[D]. 北京:北京师范大学,2004.
- [12] 沈晓娟,徐向阳,刘翔. 三标度法在水资源配置方案优选上的应用[J]. 水电能源科学,2006,24(4):16-18.
- [13] Ojekunle Z O, Lin Z, Manzhou L I, et al. Application of WEAP Simulation Model to Hengshui City Water Planning[J]. 天津大学学报,2007,13(2):142-146.