

疏勒河流域灌区水资源开发利用潜力研究

赵春红, 黄跃飞, 韩京成, 王光谦

(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)

摘要:运用模糊综合评判和层次分析法对疏勒河流域昌马灌区、双塔灌区和花海灌区水资源开发利用潜力进行了分析评价。结果表明:昌马、双塔和花海三大灌区水资源开发利用潜力各不相同。昌马灌区水资源开发利用处于高级阶段,开发潜力最小,进一步开发应以深度开发为主,同时加强水资源的综合管理;双塔灌区和花海灌区均处于中级阶段,进一步开发潜力较大,其中花海灌区开发潜力最大,水资源开发方式应逐渐从广度向深度转变,耗水型向节水型过渡。研究结果对疏勒河流域灌区尺度水资源的可持续利用提供了科学依据和决策支持,具有重要的实用价值。

关键词:水资源;开发利用潜力;模糊综合评判;灌区;疏勒河流域

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)05-0029-04

1 引言

我国是一个水资源短缺的国家,人均水资源只有世界平均水平的四分之一,特别是干旱半干旱区,不仅降雨稀少,而且蒸发强烈,水资源更是珍贵和稀缺^[1-2]。疏勒河流域作为我国典型的干旱内陆河流域,是严重干旱缺水的区域^[3]。流域内用水以农田灌溉为主,分布有昌马、双塔和花海三大灌区。近年来,随着灌区人口的增长和国民经济的发展,灌溉面积不断扩大,灌区内农业生产、城镇生活和生态环境等用水需求显著增加,水资源供需矛盾越来越突出^[4-6]。为保证疏勒河流域三大灌区水资源的持续开发利用,确保区域经济和社会的持续稳定发展,有必要对其水资源开发利用潜力进行评价,使灌区水资源在允许开发利用范围内进行。因此,本文主要针对疏勒河流域三大灌区的水资源问题,对其开发利用潜力进行分析评价,以便为该区水资源合理配置、区域发展和生态环境保护等研究提供基础信息和科学依据。

2 研究区概况与评价方法

2.1 研究区概况

疏勒河流域位于甘肃省河西走廊西端,流域面积

为 $4.13 \times 10^4 \text{ km}^2$,多年平均降雨量47~63mm,年蒸发量2897~3042mm,年平均气温6.9~8.8℃,属于典型的内陆干旱性气候^[7]。疏勒河发源于祁连山脉的岗格尔肖合力岭冰川,介于 $38^\circ 00' \sim 42^\circ 48' \text{ N}$ 、 $92^\circ 11' \sim 98^\circ 30' \text{ E}$ 之间。东起嘉峪关与讨赖河为界,西与新疆维吾尔自治区毗邻,南起祁连山与青海省相邻,北与蒙古共和国和我国内蒙古自治区接壤,是走廊内三大内陆河流域之一,干流全长670km^[8]。疏勒河流域是甘肃省主要商品粮基地,素有“西部粮仓”之称,具有重要的经济战略地位。

昌马、双塔、花海灌区是疏勒河流域管辖的三大灌区,承担着玉门市、瓜州县22个乡镇、6个国营农场130多万亩耕地的农业灌溉及生态用水等。其中昌马灌区属国家大型自流灌区,灌区内灌溉方式以大水漫灌、串灌为主,水资源利用率较低^[9];双塔灌区是甘肃省大型灌区之一,灌溉以疏勒河地表水为主,地下水进行补充,已基本形成了渠、路、林、田相配套的灌溉体系^[9];花海灌区灌溉面积在三个灌区内最小,灌溉面积在20万亩左右。目前,灌区有昌马、双塔、赤金峡三座水库,总库容为 $4.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2 评价方法

2.2.1 理论基础^[10-11]

采用模糊综合评判方法对疏勒河灌区水资源开

收稿日期:2015-09-16

基金项目:水利部公益性行业科研专项项目(201301081);国家“十二五”科技支撑计划重点项目(2013BAB05B03);中国博士后科学基金面上资助项目(2015M570117)

作者简介:赵春红(1987-),女,山东菏泽人,博士后,主要从事水土资源高效利用研究。Email:zhaochunhong1987@163.com

通讯作者:黄跃飞(1973-),男,教授,博士后导师,主要从事区域水资源规划和流域管理研究。Email:yuefeihuang@tsinghua.edu.cn

发利用潜力进行评价。其理论基础为设给定两个有限论域:

$$U=\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}; V=\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\} \quad (1)$$

式中: U 为综合评判因素所组成的集合, 为因素集; V 为评语所组成的集合, 为评语集。

模糊综合评判是一个模糊变换问题, 即:

$$B=A \cdot R \quad (2)$$

式中: A 为 U 上的模糊子集; B 为 V 上的评价子集。可分别表示为:

$$A=\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}, 0 \leq a_i \leq 1; B=\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}, 0 \leq b_j \leq 1 \quad (3)$$

式中: a_i 为单因素 u_i 在总评定因素中所占的权重, 满足

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1; b_j \text{ 为等级 } V_j \text{ 对综合评定所得模糊子集 } B \text{ 的隶属度, 它代表综合评判的结果。评价矩阵 } R \text{ 可表示为:}$$

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中: r_{ij} 为第 i 个因素 u_i 的评价对等级 V_j 的隶属度; $r_{in} = \{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{in}\}$ 则为 u_i 的单因素评判结果。

2.2.2 评判指标的分级和评分

基于水资源开发利用的三个阶段对评判指标进行分级。区域水资源的开发是在一定的自然和社会经济条件约束下进行的, 在整个时间进程中呈现阻尼因子下的增长模式, 可用 Logistic 模型表示。根据模型的表现结果, 可将水资源的开发利用过程分为三个阶段。第一阶段 V_1 为初级阶段, 该阶段水资源开发利用程度低, 开发潜力大; 第二阶段 V_2 为中级阶段, 该阶段水资源的开发利用已具有一定规模, 但进一步开发利用的潜力仍然较大; 第三阶段 V_3 为高级阶段, 该阶段水资源开发利用的程度已接近极限, 进一步开发潜力小。

将 V_1, V_2, V_3 三个阶段作为三个等级, 对所选取的指标做相应的分级。为了定量反映各级因素对水资源开发利用潜力的影响, 对 V_1, V_2, V_3 进行了 0~1 的评分, $\beta_1=0.95, \beta_2=0.5, \beta_3=0.05$, 数值越大, 表征开发利用潜力越大。

2.2.3 评判矩阵 R 的计算

评判矩阵 R 中 r_{ij} 为因素 u_i 对应等级 V_j 的隶属度, 因此, 计算 R 关键是求出评价因素 u_i 对 V_j 的隶属度值, 这可以根据隶属函数计算公式来实现。

正作用指标的各评价隶属函数计算公式分别为:

$$\begin{aligned} \mu_{V_1}(u_i) &= 0.5[1 + (k_1 - u_i)/(k_2 - u_i)], u_i < k_1 \\ &0.5[1 - (u_i - k_1)/(k_2 - k_1)], k_1 \leq u_i < k_2 \\ &0, u_i \geq k_2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_{V_2}(u_i) &= 0.5[1 - (k_1 - u_i)/(k_2 - u_i)], u_i < k_1 \\ &0.5[1 + (u_i - k_1)/(k_2 - k_1)], k_1 \leq u_i < k_2 \\ &0.5[1 + (k_3 - u_i)/(k_3 - k_2)], k_2 \leq u_i < k_3 \\ &0.5[1 - (u_i - k_3)/(u_i - k_2)], k_3 \leq u_i \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mu_{V_3}(u_i) &= 0.5[1 + (u_i - k_3)/(u_i - k_2)], k_3 \leq u_i \\ &0.5[1 - (k_3 - u_i)/(k_3 - k_2)], k_2 \leq u_i < k_3 \\ &0, k_2 > u_i \end{aligned} \quad (7)$$

负作用指标的各评价隶属函数计算公式为:

$$\begin{aligned} \mu_{V_1}(u_i) &= 0.5[1 + (k_1 - u_i)/(k_2 - u_i)], u_i \geq k_1 \\ &0.5[1 - (u_i - k_1)/(k_2 - k_1)], k_2 \leq u_i < k_1 \\ &0, u_i < k_2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mu_{V_2}(u_i) &= 0.5[1 - (k_1 - u_i)/(k_2 - u_i)], u_i \geq k_1 \\ &0.5[1 + (u_i - k_1)/(k_2 - k_1)], k_2 \leq u_i < k_1 \\ &0.5[1 + (k_3 - u_i)/(k_3 - k_2)], k_3 \leq u_i < k_2 \\ &0.5[1 - (u_i - k_3)/(u_i - k_2)], u_i \leq k_3 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mu_{V_3}(u_i) &= 0.5[1 + (u_i - k_3)/(u_i - k_2)], u_i \leq k_3 \\ &0.5[1 - (k_3 - u_i)/(k_3 - k_2)], k_3 \leq u_i < k_2 \\ &0, u_i > k_2 \end{aligned} \quad (10)$$

式中: k_1 为 V_1 和 V_2 等级的临界值; k_2 为 V_2 等级区间中点值, $k_2 = (k_1 + k_3)/2$; k_3 为 V_2 和 V_3 等级的临界值。

3 疏勒河灌区水资源开发利用潜力评价

3.1 评价指标选取

影响水资源开发利用潜力的因素很多, 评价指标的选取要建立在区域水资源系统及其影响因素综合分析的基础上, 指标能够从不同方面、不同角度客观反映区域水资源供需关系和开发利用状况。根据疏勒河流域水资源特征, 参照相似区域开发利用的评价指标体系, 选取了以下 6 个评价指标:

- (1) 水资源利用率 U_1 : 现状年区域用水量与水资源总量之比;
- (2) 灌溉率 U_2 : 区域灌溉面积与土地总面积之比;
- (3) 人均占有水量 U_3 : 区域水资源总量与总人口之比;
- (4) 生态环境用水率 U_4 : 区域生态环境用水量与总用水量之比;

表1 疏勒河中游水资源开发利用评价因素指标数值集

Table1 The index value set of water resources utilization evaluation factors in the middle reaches of the Shulehe River

地区	$U_1 / \%$	$U_2 / \%$	$U_3 / \text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	$U_4 / \%$	U_5	$U_6 / 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$
昌马灌区	131.37	5.33	2 847	3.69	0.68	4.68
双塔灌区	105.51	5.06	6 404	3.89	0.64	6.52
花海灌区	82.87	3.00	4 259	4.33	0.67	4.67

表2 评价指标分级临界值^[10-11]

Table2 Grade thresholds of the each evaluation factor

评价指标	单位	V_1	V_2	V_3
水资源利用率 U_1	%	<20	20~60	>60
灌溉率 U_2	%	<15	15~50	>50
人均占有水量 U_3	$\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	>3 000	1 050~3 000	<1 050
生态环境用水率 U_4	%	>5	2~5	<2
渠系水利用系数 U_5		<0.55	0.55~0.73	>0.73
供水模数 U_6	$10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$	<10	10~15	>15
评分值		0.95	0.5	0.05

表3 判断矩阵标度及含义

Table3 The scale and meaning of the judgment matrix

标度 g_{ij}	含义
1	表示 g_i 与 g_j 比较,具有同等重要性
3	表示 g_i 与 g_j 比较, g_i 比 g_j 稍微重要
5	表示 g_i 与 g_j 比较, g_i 比 g_j 明显重要
7	表示 g_i 与 g_j 比较, g_i 比 g_j 强烈重要
9	表示 g_i 与 g_j 比较, g_i 比 g_j 极端重要
2,4,6,8	2,4,6,8 分别表示相邻判别 1-3,3-5,5-7,7-9 的中值
倒数	表示 g_i 与 g_j 比较得 g_{ij}, g_j 与 g_i 比较得 $g_{ji}=1/g_{ij}$

表4 构造的判断矩阵

Table4 The structure of the judgment matrix

	A	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
U_1		1.000	7.000	7.000	5.000	3.000	6.000
U_2		0.143	1.000	1.000	0.333	0.167	1.000
U_3		0.143	1.000	1.000	1.000	0.200	1.000
U_4		0.200	3.000	1.000	1.000	0.333	3.000
U_5		0.333	6.000	5.000	3.000	1.000	5.000
U_6		0.167	1.000	1.000	0.333	0.200	1.000

(5)渠系水利用系数 U_5 :进入到田间的水量与渠首引水量之比;

(6)供水量模数 U_6 :区域供水量与土地面积之比。

疏勒河流域昌马、双塔和花海三个灌区 2012 年 6 个评价指标数据如表 1,其相应的指标分级临界值如表 2,临界值是参照以往文献中相似区域的等级值确定的^[10-11]。

3.2 权重确定

利用层次分析法确定各指标权系数。首先对各指标进行两两比较,构建重要性判断矩阵 $[g_{ij}]_{n \times n}$,以 g_i 表示评价指标, g_{ij} 表示 g_i 对 g_j 的相对重要性(或标度), g_{ij} 的取值按表 3 进行。根据本地调研和专家打分确定疏勒河灌区各评价因素相对重要性矩阵 U 如表 4。计算判断矩阵 U 的最大特征值 λ_{\max} ,即求解 $U \times A = \lambda_{\max} \times A$, λ_{\max} 对应的单位特征向量 A 即为各指标的权重向量, A 各分量即为各评价指标相应的权系数。计算的权重分配: $A=(0.47, 0.05, 0.06, 0.11, 0.26, 0.05)$,经一致性检

验, $CR=CI/RI=0.04/1.24=0.03<0.3$,说明结果可用。

3.3 评价结果分析

根据隶属度计算公式,计算出昌马灌区、双塔灌区和花海灌区的评价矩阵 R 如下:

$$R_{昌马} = \begin{pmatrix} 0 & 0.11 & 0.89 \\ 0.68 & 0.32 & 0 \\ 0.42 & 0.58 & 0 \\ 0.06 & 0.94 & 0 \\ 0 & 0.78 & 0.22 \\ 0.84 & 0.16 & 0 \end{pmatrix} \quad R_{双塔} = \begin{pmatrix} 0 & 0.15 & 0.85 \\ 0.68 & 0.32 & 0 \\ 0.89 & 0.11 & 0 \\ 0.13 & 0.87 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.79 & 0.21 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{花海} = \begin{pmatrix} 0 & 0.23 & 0.77 \\ 0.70 & 0.30 & 0 \\ 0.78 & 0.22 & 0 \\ 0.28 & 0.72 & 0 \\ 0 & 0.83 & 0.17 \\ 0.84 & 0.16 & 0 \end{pmatrix}$$

表5 疏勒河中游三个灌区水资源利用程度评价

Table5 Evaluation of the water resources utilization in the 3 irrigation areas in the middle reaches of the Shulehe River

灌区	V_1	V_2	V_3	综合评分值
昌马灌区	0.1078	0.4167	0.4755	0.3345
双塔灌区	0.1412	0.4593	0.3995	0.3838
花海灌区	0.1546	0.4393	0.4061	0.3868

在评价模型基础上,对各灌区水资源开发利用进行综合评判,并进行归一化处理,结果如表5。

由表5可知,疏勒河流域三个灌区水资源开发利用潜力不尽相同。昌马灌区水资源开发利用程度最大,为 V_3 阶段,综合评分值最小为0.3345,进一步开发的潜力最小;双塔灌区和花海灌区水资源开发利用均处于中级阶段 V_2 ,花海灌区综合评分值稍高于双塔灌区,为0.3868,在三个灌区中水资源开发潜力最大,双塔灌区的水资源开发潜力稍低于花海灌区。

4 结论与建议

运用模糊综合评判和层次分析相结合的方法对疏勒河流域灌区尺度水资源开发利用潜力进行了分析评价。结果表明三大灌区水资源开发利用潜力各不相同。昌马灌区水资源开发利用处于高级阶段,开发潜力最小;双塔灌区处于中级阶段,进一步开发潜力较大;花海灌区也处于中级阶段,水资源开发潜力最大。对于水资源开发利用处于高级阶段的昌马灌区,进一步的开发方式应以深度开发为主,提高水资源利用率,工农业及整个经济应以节水为主,同时也要加强水资源的综合管理;对于双塔和花海灌区,水资源的开发方式应逐渐从广度向深度开发转变,耗水型向节水型过渡,并开始重视水资源的综合管理。

参考文献:

[1] 刘佳骏,董锁成,李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011,26(2):258-269. (LIU Jiajun, DONG Suocheng, LI Zehong. Comprehensive evaluation of China's water resources carrying capacity [J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(2):258-269. (in Chinese))

[2] 鲍超,方创琳. 干旱区水资源开发利用对生态环境影响的研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2008,27(3):38-46. (BAO Chao, FANG Chuanglin. Impact of water resources exploitation and utilization on

eco-environment in arid area: progress and prospect [J]. Progress in Geography, 2008,27(3):38-46. (in Chinese))

[3] 丁宏伟,尹政,李爱军,等. 疏勒河流域水资源特征及开发利用存在的问题[J]. 干旱区资源与环境, 2002,16(1):48-54. (DING Hongwei, YIN Zheng, LI Aijun, et al. Features of the water resources and the problems in development and utilization in Shule River basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2002,16(1):48-54. (in Chinese))

[4] 龙训建. 基于时间尺度的区域水资源优化配置研究—以甘肃省瓜州县为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2008. (LONG Xunjian. Studying on the Rational Allocation of Regional Water Resources on Time Scales—Taking Guazhou County of Gansu Province as Example [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008. (in Chinese))

[5] 王海峰. 建设节水型社会实现花海灌区水资源供需平衡[J]. 甘肃农业, 2010,11:6-8. (WANG Haifeng. Building water-saving society and realizing water resources supply-demand balance in Huahai irrigation area [J]. Gansu Agriculture, 2010,11:6-8. (in Chinese))

[6] 张明月,彭定志,钱鞠. 疏勒河流域昌马灌区水资源脆弱性分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012,10(2):104-106+128. (ZHANG Mingyue, PENG Dingzhi, QIAN Ju. Analysis of water resources vulnerability in the Changma irrigation area of Shule River basin [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012,10(2):104-106+128. (in Chinese))

[7] 程斌强. 疏勒河流域水资源承载力评价 [J]. 甘肃农业科技, 2015, (4):34-38. (CHENG Binqiang. Evaluation on water resource capacity in the Shule River basin [J]. Gansu Agriculture Science and Technology, 2015,(4):34-38. (in Chinese))

[8] 邹悦. 基于 SWAT 模型的疏勒河中游径流模拟研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2012. (ZOU Yue. Runoff Simulation Using SWAT Model in the Middle Reaches of the Shule River Basin [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2012. (in Chinese))

[9] 李曼,杨建平,谭春萍,等. 疏勒河流域双塔灌区种植结构变化及其原因[J]. 中国沙漠, 2014,34(5):1417-1423. (LI Man, YANG Jianping, TAN Chunping, et al. Change of agricultural planting structure and its causes in the Shuangta irrigation district in the Shule River basin [J]. Journal of Desert Research, 2014,34(5):1417-1423. (in Chinese))

[10] 张凯,韩永翔,张勃,等. 黑河中游水资源开发利用的阶段潜力研究[J]. 地理科学, 2006,26(2):179-185. (ZHANG Kai, HAN Yongxiang, ZHANG Bo, et al. Stage potential of development and utilization for water resources in the middle reaches of the Heihe River [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006,26(2):179-185. (in Chinese))

[11] 贾嵘,薛小杰,薛惠锋,等. 区域水资源开发利用程度综合评价[J]. 中国农村水利水电, 1999,(11):22-24+46. (JIA Rong, XUE Xiaojie, XUE Huifeng, et al. Comprehensive evaluation and development level of regional water resources [J]. China Rural Water and Hydropower, 1999,(11):22-24+46. (in Chinese))

- Advances in Water Science, 2012,(4):475-484. (in Chinese))
- [11] 孙银凤,陆宝宏. 基于 EEMD 的南京市降水特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2013, (3):5-9. (SUN Yinfeng, LU Baohong. The characteristic analysis of precipitation in Nanjing based on EEMD method [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013,(3):5-9. (in Chinese))
- [12] 刘可群,王海军,王凯,等. 我国中部年、季平均气温变化的趋势性分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2010,(S1):62-66. (LIU Kequn, WANG Haijun, WANG Kai, et al. Variation trend analysis of the annual and seasonal average temperature in central China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010,(S1):62-66. (in Chinese))

Characteristics and Trend Analysis of Annual Precipitation and Mean Temperature in Changde City under Changing Environment

HUANG Jichen¹, LU Baohong^{1,2}, XU Lingling³, HOU Pan¹, QIAN Chunchun¹, XU Wei¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Jiangsu Province Water Engineering Sci-tech Consulting Co. LTD, Nanjing 210029, China)

Abstract: Based on the precipitation and mean temperature series in Changde City from 1968 to 2012, one-dimensional linear regression, Nonuple-Quadratic-Smooth filters, Mann-Kendall test, Yamamoto method and Morlet wavelet analysis were used to analyze the trend, abrupt change, periodicity of precipitation and temperature series, and then Hurst index were calculated using R/S analysis method to do some prediction of the change trend. The results show that the annual precipitation have a slightly increasing trend, no abrupt change was found in this series; it has 3 periods of 6, 15 and 28 years, and the precipitation will increase in the future; while the annual mean temperature appeared significantly rising trend at the 0.01 significance level, the abrupt change happened in 1994; temperature series have a primary period of 28 years, and the temperature will rise in the future.

Key words: precipitation; temperature; Changde City; trend; Yamamoto method; Morlet wavelet; Hurst index

(上接第 32 页)

Potential of Development and Utilization for Water Resources in Irrigation Areas of Shulehe River Basin

ZHAO Chunhong, HUANG Yuefei, HAN Jingcheng, WANG Guangqian

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

Abstract: The potentials of development and utilization for water resources in the Changma, Shuangta and Huahai irrigation areas of the Shulehe River Basin were evaluated by using fuzzy synthetic judgment method and analytic hierarchy process. The results show that there are different potentials in the 3 irrigation areas. The development and utilization of the water resources in the Changma irrigation area is situated in the advanced stage, while the Shuangta and Huahai irrigation areas are in the intermediate stage. The exploitation potential in the Huahai irrigation area is the most and the Changma is the least. Further development in the Changma irrigation area should focus on the depth exploitation and strengthen the water resources integrated management, while width exploitation and water consumption in water resources should be gradually shifted to depth exploitation and water saving in the Shuangta and Huahai irrigation areas.

Key words: water resources; development and utilization potential; fuzzy synthetic judgment; irrigation area; Shulehe River Basin

(上接第 96 页)

natural runoff, and to analyze the factors of precipitation, temperature, population, industry, principal industry. The results show that (1) There are rising trends of the precipitation and temperature changes in the Jinghe River Basin. The runoff is stable, the trend line is almost parallel to X axis of the linear slope of 0.001. (2) The runoff mutated point appears in 1988, passing 0.01 significance test, and there is a significant upward trend after 1999. The runoff anomaly change in recent 54 years can be divided into two stages: smaller change range from 1958 to 1966, greater change range from 1966 to 2012. (3) The analysis of the impact factors show that the influence of the human activities on the runoff is great, with contribution rate of 48.98 percent, which is much higher than other factors.

Key words: Jinghe River; Mann-Kendall test; mutation point test; principal component analysis; runoff