

黄河流域地表水资源可再生性模糊综合评价

李春晖, 杨志峰

(北京师范大学环境学院水沙科学教育部重点实验室水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 水资源具有可再生性。从水资源自然再生和社会再生角度, 选取 18 个指标建立黄河流域地表水资源可再生性评价指标体系, 利用二层模糊综合评价法对整个黄河流域及其 15 个分区地表水资源可再生性进行综合评价, 结果表明龙羊峡以上、湟水流域、洮河流域和渭河流域可再生性较强, 北洛河流域、泾河流域可再生性最弱。

关键词: 地表水资源, 可再生性, 综合评价, 黄河流域

中图分类号: TV 213

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0182-04

Fuzzy Comprehensive Assessment of the Surface Water Resources Renewability in the Yellow River Basin

LI Chun-hui, YANG Zhi-feng

(Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Water resources has renew ability. From the views of natural renewal and social renewal of water resources, an assessment index system of surface water resources renew ability in the Yellow River basin was built which includes 18 indices and 3 layers. Then the surface water resources renew ability assessments in 15 subregions of the Yellow River basin were finished with fuzzy comprehensive assessment method, and the results show that the sub-regions of upper Longyangxia Gorge, the Huangshui basin, the Taohe basin and the Weihe basin had the strongest renew ability. However, the Beiluohe basin and the Jinghe basin had the weakest renew ability.

Key words: surface water resources; renew ability; comprehensive assessment; the Yellow River basin

近年来由于全球水资源问题的凸现, 水资源可再生性引起广泛关注, 水资源可再生性研究已经成为水资源学研究的热点^[1]。水资源可再生性是水资源的基本特性之一, 其基本涵义是“水资源通过天然作用或者人工经营能为人类反复利用的特性”^[2-4]。水资源可再生性综合评价就是评价区域水资源可再生性的综合能力和水平。黄河流域是我国第二大流域, 水资源短缺水分严重, 进行水资源可再生性评价具有重要意义。夏军等基于河段水体提出水资源可再生性量化指数^[5]; 沈珍瑶等根据人工、自然、自然-人工三个方面建立指标体系对黄河流域水资源可再生性评价^[6-8]。吴泽宁等从水资源天然再生、水资源与社会经济生态环境协调和水资源调控风险因素三方面建立评价指标^[8]。考虑的出发点不同, 指标体系也不相同。由于地表水资源是黄河流域水资源主要部分, 评价各分区地表水资源可再生性的差异, 对合理利用地表水资源和其可再生性维持具有现实意义。本文则从自然再生和社会再生两个属性建立综合评价指标体系来评价黄河流域各区域地表水资源可再生性综合能力的区域差异, 以便

对黄河流域地表水资源合理利用提供宏观指导。

1 评价指标体系与评价标准

从水资源可再生性涵义可知, 从性质上, 地表水资源可再生分为水质恢复和水量再生。水质恢复包括自然净化引起的水质恢复和人工处理净化的水质恢复; 水量再生包括自然循环的水资源量再生和社会循环(如污水处理增加可用水量形式)的水资源量再生。自然再生的水量是地表再生水资源的主体。从属性上, 地表水资源可再生的分为自然再生和社会再生, 前者通过自然循环得到, 后者通过社会循环得到。流域地表水资源可再生性综合评价指标体系建立可以从两个角度考虑, 即从再生的性质, 构建水质恢复和水量再生两部分指标; 从再生的属性, 构建自然再生和社会再生指标。本文仅从自然再生和社会再生角度建立黄河流域地表水资源可再生性综合评价指标体系。

1.1 评价指标体系建立

根据科学性、完备性、可操作性、主导型、独立性、区域性

收稿日期: 2004-04-24

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(G1999043605); 中国博士后科学基金资助(No. 2004036209)

作者简介: 李春晖(1976-), 男, 安徽阜阳人, 博士, 主要从事水资源水环境评价研究。

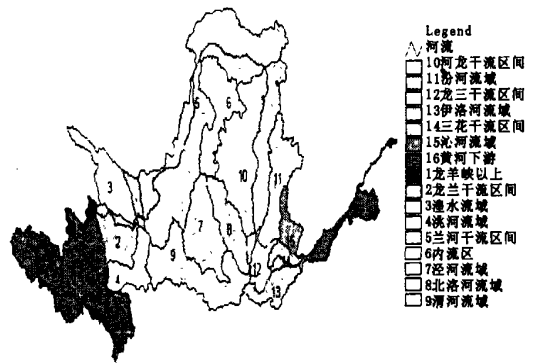
和指标数据可得性等原则建立了黄河流域地表水资源可再生性评价指标体系, 力求全面反映地表水资源可再生性的主要特征。建立黄河流域地表水资源可再生性评价指标体系见表 1。该指标体系由 3 层 18 个指标组成。该指标体系既能反映各区域水资源可再生性的单位再生能力又能反映区域整体再生水平, 总体上可以较好地对各区域地表水资源可再生性进行评价。

1.2 评价分区

根据黄河流域水资源条件的区域差异和河流体系的完整性, 本文把黄河流域划分为 15 个区域(不含内流区)(图 1), 并把整个黄河流域作为一个区域, 共 16 个区域, 分别评价各分区地表水资源的可再生性。

1.3 评价标准确定

根据黄河流域数据并参考全国数据等得到各指标评价分级标准, 这里采用五级标准, 一级表示地表水资源可再生性最强, 五级表示最差, 其余介于最差和最强之间。各指标标准见表 2。



1. 龙羊峡以上; 2. 龙兰区间; 3. 湟水流域; 4. 洮河流域;
5. 兰河区间; 6. 内流区; 7. 泾河流域; 8. 北洛河流域;
9. 渭河流域; 10. 河龙区间; 11. 汾河流域; 12. 龙三区间;
13. 伊洛河流域; 14. 三花区间; 15. 沁河流域; 16. 黄河下游;

图 1 黄河流域地表水资源可再生性评价分区

表 1 黄河流域地表水资源可再生性评价指标体系和权重

总目标层	次目标层 (权重)	指标层	涵义	权重(相对于中间目标层)	权重(相对于总目标层)
黄河流域地表水资源可再生性	自然再生能力 (0.7)	降水量/mm	反映地表再生来源大小	0.244	0.1708
		径流系数	反映地表水资源再生过程强弱	0.136	0.0952
		径流深/mm	反映单位面积再生能力	0.136	0.0952
		天然径流量/亿 m ³	反映水资源自然再生量	0.403	0.2821
		水质现状	反映影响水质自然恢复的大小	0.079	0.0553
	社会再生能力 (0.3)	万元产值工业地表水用量/(万元·m ⁻³)	反映用水/节水效率	0.088	0.0264
		万元产值农业用水量/(万元·m ⁻³)		0.073	0.0219
		农田灌溉单位面积地表水用量/(m ³ ·hm ⁻²)		0.073	0.0219
		万元产值废水排放量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	反映废水排放水平	0.090	0.027
		单位面积废水排放量/(万 m ³ ·km ⁻²)		0.090	0.027
		城市水资源重复利用率/%	反映城市污水处理能力	0.057	0.0171
		污水达标排放率/%		0.057	0.0171
		工业废水治理率/%		0.057	0.0171
		工业废水治理达标率/%		0.057	0.0171
		城市污水处理率/%		0.057	0.0171
		城市污水处理达标率/%		0.057	0.0171
		人均国民生产总值/(万元·人 ⁻¹)	反映水资源社会再生的支持能力	0.122	0.0366
		国民生产总值/亿元		0.122	0.0366

表 2 黄河流域地表水资源可再生性评价标准

	V 级(最弱)	I 级(最强)	II 级(较强)	III 级(中等)	IV 级(较弱)
降水量/mm	> 1500	1500~ 1000	1000~ 500	500~ 100	100~ 0
年地表径流系数	> 0.5	0.5~ 0.4	0.4~ 0.3	0.3~ 0.2	0.2~ 0
年地表径流深/mm	> 600	600~ 400	400~ 200	200~ 50	50~ 0
天然径流量/亿 m ³	> 100	100~ 50	50~ 20	20~ 10	10~ 0
水质现状	1~ 2	3	4	5	6
万元工业产值地表水用量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	0~ 50	50~ 200	200~ 400	400~ 800	> 800
万元产值农业用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	0~ 100	100~ 400	400~ 600	600~ 1000	> 1000
农田灌溉单位面积地表水使用量/(m ³ ·hm ⁻²)	0~ 1500	1500~ 4500	4500~ 7500	7500~ 12000	> 12000
万元产值废水排放量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	0~ 50	50~ 100	100~ 200	200~ 400	> 400
单位面积废水排放量/(万 m ³ ·km ⁻²)	0~ 0.2	0.2~ 0.4	0.4~ 0.8	0.8~ 1.2	> 1.2
水资源重复利用率/%	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	20~ 0
废水达标排放率/%	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	20~ 0
工业废水治理率/%	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	20~ 0
工业废水治理达标率/%	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	20~ 0
城市污水处理率/%	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	20~ 0
城市污水处理达标率/%	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	20~ 0
人均国内生产总值/(万元·人 ⁻¹)	> 1.0	1.0~ 0.8	0.8~ 0.6	0.6~ 0.4	0.4~ 0
国内生产总值/亿元	> 1000	1000~ 800	800~ 600	600~ 200	200~ 0

2 评价方法- 模糊综合评价

自 1965 年查德提出模糊集合概念以来, 经过几十年的发展, 模糊数学方法已经广泛地应用于自然科学和社会科学的研究中。运用模糊综合能对流域水资源可再生性进行客观、科学的评价。本文采用二层次模糊评价方法, 即先对各对每个子系统进行一级模糊综合评价, 再把各子系统作为因素进行二级模糊综合评价, 得出总体评价结果。其中隶属函数采用升降半梯形和三角形函数确定, 具体计算方法参见文献 [7]。采用层次分析法 (AHP) 确定黄河流域地表水资源可再生性的各指标权重 (见表 1), 即充分考虑专家知识经验, 根据各指标之间的相对重要性确定判断矩阵, 并进行一致性检验, 得到各指标的权重值^[8]。其中, 自然再生水量是区域水资源利用的主要来源。在区域水资源可再生系统中占主要地位; 社会再生水是自然再生的延伸和必要补充, 其规模相对较小, 对区域地表水资源再生系统贡献相对较低。

3 评价结果

3.1 自然可再生性评价结果

根据一级模糊综合评价, 得到黄河流域地表水资源自然可再生性评价向量及其评价结果如式 1。可见, 黄河流域地表水资源自然可再生性最强的是龙羊峡以上, 较强的区域是湟水流域、洮河流域、渭河流域和河龙干流区间, 北洛河流域、龙三区间和三花区间属于较弱区域, 其它属于再生能力中等区域。整个黄河流域相对而言属于再生能力最强。

	I	II	III	IV	V	级别	区域
$B_{自然}$	0.482	0.068	0.3961	0.0519	0	I	龙羊峡以上
	0.079	0.0943	0.5181	0.2904	0	III	龙兰区间
	0.1217	0.4173	0.2518	0.1282	0.079	II	湟水流域
	0.079	0.496	0.4176	0.0054	0	II	洮河流域
	0	0	0.4105	0.3604	0.2271	III	兰河区间
	0	0.0132	0.6149	0.1903	0.1796	III	泾河流域
	0	0.0264	0.2966	0.4892	0.1858	IV	北洛河流域
	0.1592	0.2941	0.259	0.2789	0.0068	II	渭河流域
	0.0218	0.3812	0.2908	0.2348	0.0694	II	河龙区间
	0	0.0186	0.6311	0.2013	0.147	III	汾河流域
	0	0.0522	0.2772	0.6142	0.0544	IV	龙三区间
	0	0.2441	0.5634	0.1905	0	III	伊洛河流域
	0	0.0527	0.3806	0.5647	0	IV	三花区间
	0	0.041	0.3124	0.5316	0.113	IV	沁河流域
	0	0.1798	0.6078	0.19	0.0204	III	黄河下游
0.403	0	0.3285	0.2529	0.0136	I	黄河流域	

3.2 社会可再生性评价结果

同样得到黄河流域各区域社会可再生性评价向量及其评价结果如式 2。显然, 除了渭河流域和三花干流区间社会再生性最强和较强, 龙羊峡以上、洮河流域、北洛河流域、河龙、沁河和黄河下游则最弱, 其余属于中等或较弱水平。

3.3 可再生性综合评价结果

根据二级模糊综合评价, 其结果如式 3, 龙羊峡以上综合可再生性最强, 渭河流域、湟水流域、洮河流域和河龙干流区间较强, 北洛河流域、沁河流域、三花干流区间和龙三干流区间较弱, 其余可再生性中等。

3.4 评价结果对比分析

为了检验评价的合理性, 我们又进行 TOPSIS 法评价, 其结果与模糊综合评价结果比较见表 3。

	I	II	III	IV	V	级别	区域
$B_{社会}$	0.1025	0.0775	0.1398	0.1971	0.4818	V	龙羊峡以上
	0.0123	0.1633	0.3047	0.3999	0.1198	III	龙兰区间
	0.0285	0.1631	0.1793	0.4028	0.2263	IV	湟水流域
	0.0981	0.2064	0.0205	0.2182	0.4568	V	洮河流域
	0.0946	0.2404	0.2717	0.1694	0.2239	III	兰河区间
	0.0133	0.2862	0.0592	0.3404	0.3009	IV	泾河流域
	0.0458	0.0833	0.1612	0.2129	0.4968	V	北洛河流域
	0.2545	0.2468	0.175	0.1579	0.1658	I	渭河流域
	0.1424	0.2458	0.0569	0.2641	0.2719	V	河龙区间
	0.205	0.2785	0.2892	0.1097	0.1177	III	汾河流域
	0.1956	0.1169	0.2101	0.3376	0.1397	IV	龙三区间
	0.1649	0.1495	0.3652	0.1164	0.204	III	伊洛河流域
	0.2071	0.3241	0.2194	0.1315	0.118	II	三花区间
	0.1154	0.1927	0.1496	0.1447	0.4064	V	沁河流域
	0.1118	0.1598	0.1334	0.1839	0.4111	V	黄河下游
0.1486	0.104	0.342	0.3105	0.0949	III	黄河流域	

	I	II	III	IV	V	级别	区域
$B_{综合}$	0.3682	0.0708	0.3192	0.0954	0.1445	I	龙羊峡以上
	0.059	0.115	0.4541	0.3233	0.036	III	龙兰区间
	0.0937	0.341	0.2301	0.2105	0.1232	II	湟水流域
	0.0847	0.4091	0.2985	0.0693	0.137	II	洮河流域
	0.0284	0.0721	0.3688	0.3031	0.2262	III	兰河区间
	0.004	0.0951	0.4482	0.2353	0.216	III	泾河流域
	0.0138	0.0434	0.256	0.4063	0.2791	IV	北洛河流域
	0.1878	0.2799	0.2338	0.2426	0.0545	II	渭河流域
	0.0579	0.3406	0.2206	0.2436	0.1301	II	河龙区间
	0.0615	0.0965	0.5285	0.1738	0.1382	III	汾河流域
	0.0587	0.0716	0.2571	0.5312	0.08	IV	龙三区间
	0.0495	0.2157	0.504	0.1683	0.0612	III	伊洛河流域
	0.0621	0.1341	0.3322	0.4348	0.0354	IV	三花区间
	0.0346	0.0865	0.2636	0.4156	0.201	IV	沁河流域
	0.0335	0.1738	0.4655	0.1882	0.1376	III	黄河下游
0.3267	0.0312	0.3326	0.2702	0.038	I	黄河流域	

表 3 两种评价方法的结果对比

区域	模糊综合评价	TOPSIS 法	区域	模糊综合评价	TOPSIS 法
龙羊峡以上	I	I	河龙区间	II	III
龙兰区间	III	III	汾河流域	III	III
湟水流域	II	II	龙三区间	IV	III
洮河流域	II	II	伊洛河流域	III	II
兰河区间	III	IV	三花区间	IV	III
泾河流域	III	IV	沁河流域	IV	III
北洛河流域	IV	IV	黄河下游	III	II
渭河流域	II	II	黄河流域	I	I

显然大多数区域的两种评价结果相同, 而且不同的区域相差一个等级。主要产水区域如龙羊峡以上、湟水流域、洮河流域和渭河流域等在两种评价方法中都是可再生性最强或较强的区域, 北洛河流域是最弱的区域。

4 结论

水资源可再生性评价是水资源利用与可再生性维持的基础。本文从水资源自然再生和社会再生的角度, 选取 18 个指标体系建立黄河流域地表水资源可再生性评价指标体系;

划分 5 级评价标准, 采用 AHP 法确定权重; 最后利用二级模糊综合评价对各区域地表水资源可再生性进行评价。结果表明: 主要产水区龙羊峡以上、湟水流域、洮河流域和渭河流域可再生性较强, 北洛河流域、泾河流域可再生性最弱。其中黄河流域地表水资源自然可再生性最强的是龙羊峡以上, 较强的区域是湟水流域、洮河流域、渭河流域和河龙干流区间, 北洛河流域、龙三区间和三花区间属于较弱区域, 其它属于再

参考文献:

- [1] Sandra L Postel Hum an appropriation of renewable fresh water[J]. Science, 1996, 271(9): 785- 788
- [2] 沈珍瑶, 杨志峰, 刘昌明 水资源的天然可再生能力及其与更新速率之间的关系[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 162- 165
- [3] 杨志峰, 沈珍瑶, 夏星辉, 等 水资源可再生性基本理论及其在黄河流域的应用[J]. 中国基础科学, 2002, (5): 4- 7.
- [4] 曾维华, 杨志峰, 蒋勇 水资源可再生能力刍议[J]. 水科学进展, 2001, 12(2): 276- 279.
- [5] 夏军, 王中根, 刘昌明 黄河水资源可再生性问题及量化研究[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 534- 541.
- [6] 沈珍瑶, 杨志峰 黄河流域水资源可再生性评价指标体系与评价方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 188- 197.
- [7] 沈珍瑶, 杨志峰 水资源的可再生性与可持续利用[J]. 中国人口资源与环境, 2002, 12(5): 77- 78
- [8] 左其亭, 吴泽宁 基于风险的黄河流域水资源可再生性评价指标[J]. 人民黄河, 2003, 25(1): 38- 40
- [9] 王蓬芬 层次分析法引论(第一版) [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990
- [10] 郑成德 流域水资源丰富度评价的模糊综合评判[J]. 地理学与国土研究, 1998, 14(1): 42- 46

(上接第 181 页)

复亲合力; 再者注重沿河景观和游憩场所的设计, 开发市民休闲活动空间, 为广州市民提供一个周末和假日游憩休闲的好去处。

(4) 总结, 河流流域是具有层次结构和整体功能的复合系统, 通过整个流域的整合开发, 是实现经济社会可持续发展和解决水环境和诸多生态问题的最佳出路。

文中根据流溪河的自然和社会环境现状, 对其进行三区段、不同功能的整合开发研究, 将使得流溪河流域的水资源整体功能得到开发。

4.2.2 流溪河科学管理机制

流溪河管理机制关系到流溪河整合开发的成效, 建议如下:

(1) 建立流溪河流域水资源管理机构, 协调沿河各镇和各部门的利益需要, 同时适应我国河流管理体制的特点, 该管理机构要取得政府官员支持, 使得沿河各镇有专人来进行河流管理工作, 实现自然区划管理和行政区划管理的协调统一。

(2) 建立流溪河的信息监控系统, 依靠科技进步, 应用现代化的高科技信息系统进行水质变化过程的监测和预测, 及时反馈, 预防污染事故的发生。同时, 城市河流综合治理必须紧紧依靠科技进步, 优先选用革新替代技术。

参考文献:

- [1] 宋庆辉, 杨志峰 对我国城市河流综合管理的思考[J]. 水科学进展, 2002, (5): 377- 382
- [2] 山本昌宏 河川环境行政の课题と展望[J]. 水环境学会志, 1998, 21(8): 10- 13
- [3] 陈家琦, 王浩 水资源学概论[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996 177- 204
- [4] 张雪松, 郝芳华, 杨帅英 我国流域水资源管理问题与对策[J]. 水利发展研究, 2003, (4): 20- 21.
- [5] 广州市政府 广州市流溪河环保规划纲要[Z]. 2003
- [6] 贺缠生, 傅伯杰 美国水资源政策演变及其启示[J]. 资源科学, 1998, 20(1): 71- 77.
- [7] Gerald E. Galloway, M. River basin management in the 21st century: Blending development with economic, ecological, and cultural sustainability[J]. Water International, 1997, 22(2): 82- 89
- [8] Assessment & Watershed Protection Division Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds U.S. EPA. Watershed Protection: a Statewide Approach[R]. 1995
- [9] 韦保仁 美国的流域保护方法[J]. 环境科学进展, 1998, 6(6): 56- 60

生能力中等区域。除了渭河流域和三花干流区间社会再生性最强和较强, 龙羊峡以上、洮河流域、北洛河流域、河龙、沁河和黄河下游则最弱, 其余属于中等或较弱水平。

由于水资源可再生性理论及其评价研究处于起步阶段, 本文对流域地表水资源可再生性综合评价进行初步探索, 其指标体系及其评价还需要进一步完善。

(3) 建立规范的公众参与制度, 鼓励公众参与城市河流规划, 成立公众监督小组, 为规划决策者提供更全面的信息, 避免决策失误。

(4) 健全流溪河管理的法律制度, 保障流溪河的综合规划的具体实施。“法治”是实现河流可持续发展的必由之路, 要紧尽快制定有关流域规划、流域管理以及公众参与等的系列法律。

5 结 论

从发达国家治河经验和我国的河流管理存在的问题的分析以及流溪河案例的应用研究可以看出: 科学的城市河流管理依赖于综合的河流规划、科学的管理机制以及治河的生态工程技术。综合的河流规划注重两个原则: 以河流流域为单位的纵向规划原则和多目标统一的横向协调原则; 科学的河流管理机制包括: 统一的流域管理机构并取得政府部门的支持, 依靠科技进步, 公众参与和法制保障。上述得出城市河流科学管理的统一准则和规律, 在应用研究中要有所变通, 有所侧重。以流溪河为例, 其综合规划的基础资料分析和规划目标有其自身的特点。城市河流科学管理中的治河工程技术方面本文并未多述, 有待于进一步的研究。