

基于灰色关联模型的松花江流域大型灌区现状评价

崔亚锋¹, 陈菁², 代小平³

(1. 水利部松辽水利委员会流域规划与政策研究中心, 吉林 长春 130021;

2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 华北水利水电大学水利学院, 河南 郑州 450011)

摘要:通过实地问卷调查,获得松花江流域大型灌区运行现状基础数据,结合当地灌区实际情况,建立灌区现状评价指标体系,采用熵值法确定指标权重,并运用灰色关联模型对灌区运行现状进行评价,最终得出松花江流域大型灌区运行现状优劣程度,评价结果将为松花江流域大型灌区节水改造及其投资的优先次序确定提供参考依据。

关键词:松花江流域;大型灌区;熵值法;灰色关联模型;现状评价

中图分类号:F407.9

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2013)04-0054-05

2009年4月8日,国务院召开国务院常务会议,讨论并原则通过《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划(2009—2020年)》,会议指出,粮食安全始终是治国安邦的头等大事,也是当前扩大内需、应对国际金融危机的重要基础。必须坚持立足国内实现粮食基本自给的方针,建立粮食生产持续稳定发展的长效机制,保护和调动农民种粮积极性、科技人员创新积极性、地方政府抓粮积极性,着力提高土地产出率、资源利用率和劳动生产率,增强粮食综合生产能力和抗风险能力,确保国家粮食安全^[1]。

东北地区是我国粮食生产核心区,是我国最大的玉米、优质粳稻和大豆产区,包括黑龙江、吉林、辽宁三省,占全国粮食生产核心区县总数的31%。据国家统计局统计,2008年东北三省粮食产量约8925.3万t,占全国粮食产量的16.9%^[2]。东北地区为中国湿地资源最为丰富的地区,湿地类型以淡水沼泽和湖泊为主,总面积为673.78万hm²,占东北地区总面积的8.53%,占全国湿地总面积的17.51%。湿地与人类的生存息息相关,是天然的蓄水库和重要的基因库,因此,在保护东北地区湿地的前提下,增加粮食产量,需要在现有耕地的基础上,节约水资源,提高土地的利用效率和作物的产量。东北地区大型灌区众多,尤以松花江流域中的松嫩平原居多,其流域内的大型灌区分布广泛,对其运行

现状进行评价,及时反馈灌区存在的问题,对于灌区今后的节水改造具有重大意义,也为提高粮食产量作出贡献。

关于灌区现状的评价,国内外已经开展了大量的研究工作,1990年联合国粮农组织召开了关于性能评价研讨会,在实例应用研究中作了灌区比较评价。1990—2000年间,国外众多学者对该领域进行了研究,主要有 Molden 等^[3]、Svendsen 等^[4]和 Bos^[5]。Svendsen 等^[4]利用系统分析的方法对灌区评价进行研究,为灌区性能评价奠定了基础,此方法的优点在于将复杂的灌溉过程分为几个系统分开来研究。

国内对于灌区评价最早的研究者是茆智教授,他在研究我国的灌区现状时,提出了一套比较全面的评价指标,并且对湖北漳河灌区在改造之前的运行现状进行了评价,分析了灌区尚存在的不足之处,提出了一些相应的改进措施^[6]。周明耀等^[7]运用低阶多层次灰色评价方法对灌区管理现状进行了评价^[7]。王久顺等^[8]运用投影寻踪技术对灌区改造进行了评价。

笔者认为,对于灌区运行现状的研究若仅局限于单一灌区,不进行灌区之间的比较,则意义不大,通过灌区之间的比较,并且把分析结果及时反馈给灌区管理单位,使其了解到自身的问题所在以及与

基金项目:水利部公益性行业专项经费项目(201001023)

作者简介:崔亚锋(1986—),男,辽宁朝阳人,硕士,主要从事水土资源规划与管理研究。

其他灌区之间的差异,对灌区今后的发展将十分有利。

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{i=1}^m g_i} (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

1 熵值法及灰色关联评价模型

1.1 熵值法

指标权重确定一般分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法确定出的指标权重主要取决于专家的知识结构、工作经验及偏好,存在着主观随意性,可能影响评价结果的客观性。故本文采用客观赋权法中的熵值法,对指标进行赋权。

熵值法是一种根据各项指标观测值所提供的信息量的大小来确定指标权重的方法^[9]。其基本原理为:设有 m 个待评方案, n 项评价指标,形成原始指标数据矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$,对于某项指标 x_j ,指标值 x_{ij} 的差距越大,则该指标在综合评价中所起的作用越大;如果某项指标的指标值全部相等,则该指标在综合评价中不起作用。在信息论中,信息熵 $H(x) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \ln p(x_i)$ 表示系统的有序程度,一个系统的有序程度越高,则信息熵越大,反之,一个系统的无序程度越高,则信息熵越小。所以,可以根据各项指标值的差异程度,利用信息熵这个工具,计算出各指标的权重,为多指标综合评价提供依据^[9]。

熵值法基本步骤如下:

a. 计算第 j 项指标下,第 i 个灌区的特征比重

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (1)$$

对于越大越优型指标,指标值 x_{ij} 直接代入上式计算;对越少越优型指标,则先取指标值 x_{ij} 的倒数,再代入上式计算。

b. 计算第 j 项指标的熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (2)$$

其中 $k > 0, e_j > 0$ 。如果 x_{ij} 对于给定的 j 全部相等,那么 $P_{ij} = \frac{1}{n}$,此时 $e_j = k \ln(n)$ 。

c. 计算指标 x_j 的差异性系数

对于给定的 j, x_{ij} 的差异越小,则 e_j 越大,当 x_{ij} 全部相等时, $e_j = e_{\max} = 1 \left(k = \frac{1}{\ln n} \right)$,此时对于系统间的比较,指标 x_j 毫无作用;当 x_{ij} 差异越大时, e_j 越小,指标对于系统的比较作用越大。因此定义差异性系数 $g_j = 1 - e_j, g_j$ 越大,越应重视该项指标的作用。

d. 确定权重

1.2 灰色关联模型

灰色关联法是基于灰色系统和关联分析的一种评价方法。灰色理论是介于完全可知和完全不可知之间的,灰色性广泛存在于各种系统中;关联分析是根据系统各因素间或各系统行为间的数据列或指标列的发展态势与行为做相似或相异程度的比较,以判断因素的关联与行为的接近。关联分析具有以下优点,不追求大样本,不要求数据有特殊的分布,计算量比回归分析小,可以得到较多的信息(关联序、关联矩阵等)。

灰色关联模型符合本文评价松花江流域大型灌区运行现状的要求,可以使不同灌区间进行关联分析,另外对于同一个灌区而言,也能使其进行横向的等级关联分析,与其他模型相比,灰色关联模型更能突出灌区对比的重点,从而评价结果更接近实际情况^[10]。其基本步骤如下:

1.2.1 灌区状况与评价指标间的关联关系

灌区运行状况综合评价中,灌区的总体性能是通过诸多评价指标综合反映的。因此,灌区总体性能与评价因子之间存在一定的关联关系。从数学上描述,设灌区总体性能定义为 γ ,相应的 m 个评价因子记为 x_j ,则 x_j 与 γ 的关联关系可表示为

$$\gamma = f\{x_1, x_2, \dots, x_m; \theta(\oplus), T, S\} \quad (4)$$

式中: $f\{\cdot\}$ 为集合 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 相对于 γ 的关联测度函数; $\theta(\oplus)$ 称为灰量,表示这种关联函数中不确定信息或不完全的缺省部分; $S = (x, y, z)$ 为空间坐标量,表示不同空间的灌区; T 为时间坐标量。

1.2.2 关联模式识别模型的建立

a. 样本矩阵的建立。设有 n 个待评价灌区,共有 m 个评价指标,每个灌区的所有评价指标值用向量表示,记为 $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, $i = 1, 2, \dots, n$,从而得到原始评价矩阵 $\mathbf{X}_{n \times m} = (x_{ij})_{n \times m}$ 。

$$\mathbf{X}_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{n \times m} \quad (5)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个灌区第 j 个指标的观测值, $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

b. 评价指标标准矩阵的建立。设灌区运行状况按 C 个级别进行识别, C 个级别的指标标准特征值矩阵为

$$\mathbf{S}_{C \times m} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{c1} & \cdots & s_{cm} \end{bmatrix} = (s_{ij})_{C \times m} \quad (6)$$

式中: s_{hj} 为第 j 个指标第 h 级别的标准值, $h=1, 2, \dots, C; j=1, 2, \dots, m$ 。

c. 矩阵元素规格化。为消除指标物理量纲不同带来的影响,在评价之前需将样本矩阵和标准矩阵中各指标元素规格化。设 1 级为灌区运行状况很好, C 级为灌区运行状况很差,这两种状况的相对隶属度分别定为 1 和 0。第二级至 C-1 级为灌区运行状况很好与很差两个极点间的中间状态。灌区评价指标值与指标标准值对灌区运行状况的相对隶属度分别按线性内插式确定。

①对于指标数值越大指标性能越好的指标,如渠系水利用系数、收入支出比、水费实收率等,可按下列形式分别变换 \mathbf{X}, \mathbf{S} 矩阵

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \geq s_{1j} \\ \frac{x_{ij} - s_{Cj}}{s_{1j} - s_{Cj}} & s_{1j} > x_{ij} > s_{Cj} \\ 0 & x_{ij} \leq s_{Cj} \end{cases} \quad (7)$$

$$b_{hj} = \frac{s_{hj} - s_{Cj}}{s_{1j} - s_{Cj}} \quad (8)$$

②对于指标数值越小指标性能越好的指标,如单位灌溉面积灌溉用水量,可按下列形式分别变换 \mathbf{X}, \mathbf{S} 矩阵

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_{ij} \leq s_{1j} \\ \frac{s_{Cj} - x_{ij}}{s_{Cj} - s_{1j}} & s_{1j} < x_{ij} < s_{Cj} \\ 0 & x_{ij} \geq s_{Cj} \end{cases} \quad (9)$$

$$b_{hj} = \frac{s_{Cj} - s_{hj}}{s_{Cj} - s_{1j}} \quad (10)$$

样本矩阵 $\mathbf{X}_{n \times m}$, 标准矩阵 $\mathbf{S}_{C \times m}$ 规格化后分别记为

$$\mathbf{A}_{n \times m} = (a_{ij})_{n \times m}, \mathbf{B}_{C \times m} = (b_{hj})_{C \times m}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, C)$$

d. 关联离散函数的建立。将第 i 个被评价灌区指标向量 $\mathbf{a}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ 取为参考序列,即为母序列。对固定的 i ,将指标分级标准向量 $\mathbf{b}_h = (b_{h1}, b_{h2}, \dots, b_{hm})$ 分别组成被比较序列,即子序列,进行关联分析计算。记 \mathbf{a}_i 与 \mathbf{b}_h 第 j 个指标的绝对差为 $\Delta_h(j) = |a_{ij} - b_{hj}|$, \mathbf{a}_i 与 \mathbf{b}_h 第 j 个指标的关联程度可用关联离散函数 $\psi_j(a_i, b_h)$ 表示

$$\psi_j(a_i, b_h) = \frac{1 - \Delta_h(j)}{1 + \Delta_h(j)} \quad (11)$$

e. 关联度及综合评价关联矩阵的计算。第 i 个灌区与第 h 级标准之间的相似程度,可用关联度 γ_{ih}

$= (a_i, b_h)$ 表示,即

$$\gamma_{ih}(a_i, b_h) = \sum_{j=1}^m w_j \psi_j(a_i, b_h) \quad (12)$$

式中: w_j 为第 j 个指标的权重。

2 灌区现状评价指标体系

2.1 评价指标体系建立

世界银行推荐的一套灌区快速评价指标体系分为外部指标和内部指标。其中针对现状评价的指标总共 44 个,可以归并为水平衡指标、农业生产率 and 经济指标,以及环境指标 3 类^[11]。

国际水管理研究院 (IWMI) 在灌区性能评价方面做了很多工作,并且在为性能比较提出了 9 个关键性的指标,这套指标数目比较少,但是揭示了关于灌区的足够信息,详见表 1。

表 1 IWMI 推荐使用评价指标

评价性能	评价指标
生产效率	单位灌溉面积产值/(元·hm ⁻²)
	单位控制面积产值/(元·hm ⁻²)
	单位灌溉供水量产值/(元·m ⁻³)
	单位作物耗水量产值/(元·m ⁻³)
系统运行状况	供水满足率/%
	灌溉满足率/%
	输水能力/%
经济效益	投资回报率/%
	费用回收率/%

结合上述评价指标,从我国灌区的实际情况出发,结合松花江流域地域特点,提出适合松花江流域灌区的评价指标体系,详见表 2。

表 2 松花江流域大型灌区评价指标体系

评价性能	评价指标
工程状况	工程配套率/%
	骨干工程完好率/%
	田间工程完好率/%
用水效率与效益	渠道衬砌率/%
	渠系水利用系数
	田间水利用系数
管理状况	水分生产率/(kg·m ⁻³)
	用水户协会管理面积比重/%
	万公顷灌溉面积管理人员数/(人·万hm ⁻²)
	水价成本比
	水费实收率/%

2.2 评价指标目标值确定

根据本文第 2 节确定的指标体系,结合全国灌区各个指标的平均值和松花江流域灌区基本情况,以及松花江流域近期各项灌区规划,最终确定各个评价指标目标值,详见表 3。

表3 各评价指标目标值

等级	工程配套率/%	骨干工程完好率/%	田间工程完好率/%	渠道衬砌率/%	渠系水利用系数	田间水利用系数	水分生产率/(kg·m ⁻³)	用水户协会管理面积比重/%	万公顷灌溉面积管理人数/(人·hm ⁻²)	单位水价成本比	水费实收率/%
好	80	75	70	20	0.75	0.95	0.75	16	5	0.8	90
较好	65~80	60~75	55~70	15~20	0.65~0.75	0.9~0.95	0.65~0.75	12~16	5~10	0.6~0.8	70~90
中等	50~65	45~60	40~55	10~15	0.55~0.65	0.85~0.9	0.55~0.65	8~12	10~15	0.4~0.6	50~70
较差	35~50	30~45	25~40	5~10	0.45~0.55	0.8~0.85	0.45~0.55	4~8	15~20	0.2~0.4	30~50
差	<35	<30	<25	<5	<0.45	<0.8	<0.45	<4	>20	>0.2	<30

3 实例应用

通过实地调研,对松花江流域大型灌区有了更进一步的了解,根据世界银行和国际水管理研究院推荐的灌区评价指标体系,结合松花江流域灌区区域特点,建立了一套适合松花江流域灌区的指标评价体系,运用熵值法确定指标权重,基于灰色关联模型,对松花江流域26个大型灌区进行现状评价。灌区分布示意图如图1。

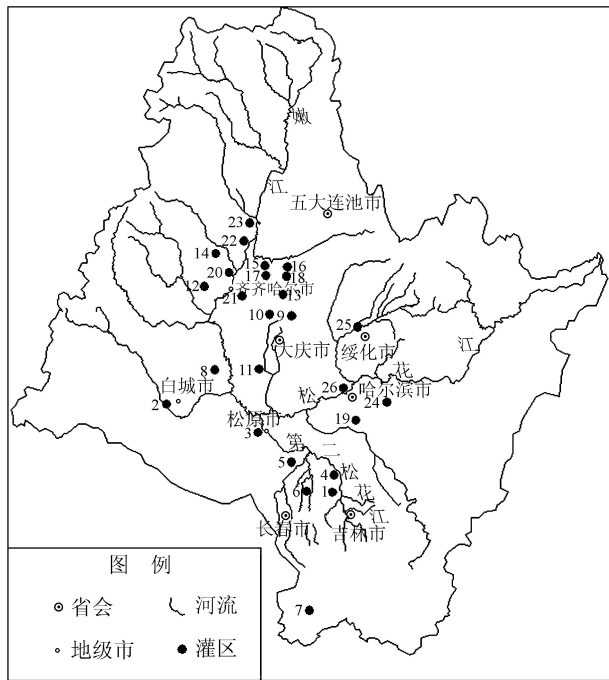


图1 松花江流域(哈尔滨市以上)大型灌区分布示意图

图1中,从1号到26号灌区分别为永舒榆灌区、洮儿河灌区、前郭灌区、松沐灌区、梨树灌区、饮马河灌区、海龙灌区、白沙滩灌区、引嫩灌区、东升灌区、南引灌区、红岸灌区、跃进灌区、查哈阳灌区、牧场灌区、富南灌区、富西灌区、龙安桥灌区、友谊灌区、音河灌区、江东灌区、兴旺灌区、卫星灌区、西泉眼灌区、永安灌区、洮州灌区。

3.1 指标权重确定

根据本文1.1节熵值法的具体步骤,结合对松花江流域大型灌区实地调研数据,最终确定11个指标权重如下:

$$W_j = (0.1237, 0.1141, 0.1658, 0.2792, 0.0074, 0.0024, 0.0084, 0.0676, 0.0879, 0.092, 0.0514)$$

3.2 灌区现状评价

根据1.2节中灰色关联模型的具体步骤,通过灰色关联评价模型对松花江流域灌区进行现状评价,得出灌区运行现状情况,详见表4。

表4 松花江流域大型灌区运行现状

灌区名称	关联度					所属级别
	好	较好	中等	较差	差	
永舒榆灌区	0.5940	0.5899	0.5919	0.4567	0.2291	好
洮儿河灌区	0.5341	0.4670	0.4128	0.4311	0.3839	好
前郭灌区	0.3512	0.4543	0.5371	0.5994	0.4858	较差
松沐灌区	0.4958	0.4592	0.4728	0.5353	0.3732	较差
梨树灌区	0.2229	0.3101	0.4736	0.5953	0.6777	差
饮马河灌区	0.3903	0.5684	0.5929	0.6038	0.3791	较差
海龙灌区	0.5339	0.5783	0.6557	0.4493	0.2680	中等
白沙滩灌区	0.3761	0.4618	0.5249	0.4608	0.5019	中等
引嫩灌区	0.4957	0.5054	0.4879	0.4259	0.3920	较好
东升灌区	0.4773	0.6580	0.4956	0.3892	0.3696	较好
南引灌区	0.3850	0.5263	0.4790	0.4464	0.4926	较好
红岸灌区	0.4570	0.4693	0.3942	0.4054	0.4728	差
跃进灌区	0.2028	0.3383	0.5553	0.6928	0.6338	较差
查哈阳灌区	0.5105	0.5591	0.4967	0.3873	0.3656	较好
牧场灌区	0.3917	0.5900	0.6046	0.5588	0.3838	中等
富南灌区	0.1954	0.3262	0.4670	0.6204	0.6857	差
富西灌区	0.2245	0.2771	0.3941	0.5314	0.7373	差
龙安桥灌区	0.4083	0.5406	0.6082	0.4967	0.3982	中等
友谊灌区	0.2595	0.3683	0.5099	0.6552	0.5886	较差
音河灌区	0.6919	0.6260	0.4204	0.2851	0.2218	好
江东灌区	0.5460	0.5766	0.4432	0.3633	0.3479	较好
兴旺灌区	0.4425	0.5905	0.5398	0.5057	0.3660	较好
卫星灌区	0.3041	0.3857	0.4776	0.5198	0.5902	差
西泉眼灌区	0.2600	0.3780	0.4569	0.5601	0.6303	差
永安灌区	0.3389	0.4462	0.5174	0.5188	0.5239	差
洮州灌区	0.2560	0.4044	0.5664	0.7346	0.5295	较差

4 结论

由表4可以总结出,目前灌区运行状况处于差和较差级别的较多,占受评灌区总数的一半,具体结果详见表5。

表 5 灌区等级统计表

等级	灌区	个数
1 级 好	永舒榆、洮儿河、音河	3
2 级 较好	引嫩、东升、南引、查哈阳、江东、兴旺	6
3 级 中等	海龙、白沙滩、牧场、龙安桥	4
4 级 较差	前郭、松沐、饮马河、跃进、友谊、涝州	6
5 级 差	梨树、红岸、富南、富西、卫星、西泉眼、永安	7

通过对松花江流域大型灌区现状进行分析和等级划分,可以为松花江流域大型灌区节水改造优先次序提供理论依据,从而提高灌区性能,加大灌区粮食生产能力,为早日实现全国增产千亿斤粮食计划多作贡献。

参考文献:

[1] 晋农. 国务院办公厅发布《全国新增 1000 亿斤粮食生产能力规划(2009—2020 年)》[J]. 当代农机,2009(11):46-46.
 [2] 侯聪. 2010 年东北地区粮食生产形势调查[J]. 农业展望,2010(7):29-32.
 [3] MOLDEN D J,GATES T K. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1990(6):804-823.

(上接第 50 页)

国家、省(市)、灌区要抓好一批较大规模的示范性样板协会建设。在抓样板协会培育的过程中,要正确处理政府引导、推动和农民自主参与的关系。在协会规模设计上,要以合理、可行、必要为原则,不要把必要的整合变为强行的凑合。建议财政安排专项资金,成立农民用水协会发展指导服务中心和信息网络,加强对协会的指导、监测、调查、评估。

参考文献:

[1] 中共中央 国务院. 中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定[J]. 中国水利,2011(4):1-2.
 [2] 水利部,中央机构编制委员会办公室,财政部. 关于进一步健全完善基层水利服务体系指导意见[EB/OL]. [2012-06-01]. http://www.gov.cn/gzdt/2012-06/09/content_2157245.htm.
 [3] 李国英. 强化措施 狠抓落实 全力推进基层水利服务体系建设[EB/OL]. [2012-08-17]. <http://www.mwr.gov.cn/>

[4] SMALL L E,SVENDSEN M. A framework for assessing irrigation performance[J]. Irrigation and Drainage Systems, 1990(4):44-50.
 [5] BOS M G. Performance assessment for irrigation and drainage[J]. Irrigation and Drainage Systems, 1997(1):35-42.
 [6] MAO Zhi. Identification of cause of poor performance of a typical large-sized irrigation scheme in south China[J]. Hydraulic Research, 1989(4):16-20.
 [7] 周明耀,陈朝如,彭怀英. 灌溉管理的递阶多层次灰色评价方法[J]. 系统工程理论与实践,2000(4):120-126.
 [8] 王顺久,侯玉,张欣莉,等. 灌区改造综合评价的投影寻踪模型[J]. 灌溉排水,2002(4):32-34.
 [9] 张卫民. 基于熵值法的城市可持续发展评价模型[J]. 厦门大学学报:哲学社会科学版,2004(2):109-115.
 [10] 朱秀珍,李远华,崔远来,等. 运用灰色关联法进行灌区运行状况综合评价[J]. 灌溉排水学报,2004(6):44-48.
 [11] 中国灌溉排水发展中心,世界银行学院. 灌区现代化理念与灌区快速评估方法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.

(收稿日期:2012-12-01 编辑:陈玉国)

cn/zwzc/ldxx/lgy/zyjh/201208/t20120817_328019.html.

[4] 翟浩辉. 培育农民用水户协会 推进新农村水利建设[J]. 求是,2006(3):33-34.
 [5] 冯广志. 完善农业水价形成机制若干问题的思考[J]. 水利发展研究,2010(8):26-32.
 [6] 楼豫红. 基层水利服务体系建设的有关问题的探讨[J]. 中国水利,2011(7):29-31.
 [7] 李代鑫. 中国灌溉管理与用水户参与灌溉管理[J]. 中国农村水利水电,2002(5):1-3.
 [8] 冯广志. 国外“用水户参与灌溉管理”及我国开展该项工作的建议[J]. 中国农村水利水电,1997(2):24-25.
 [9] 刘兴刚,管红宁. 会泽县发展农民用水户协会探索与实践[J]. 水利经济,2009,27(4):72-74.
 [10] 苏孝陆. 用水户协会在灌区体制改革中的地位[J]. 水利经济,2004,22(3):5-6.
 [11] 刘凤丽,彭世彰. 灌区参与式管理模式探讨[J]. 水利水电科技进展,2004,24(2):63-65.

(收稿日期:2013-01-10 编辑:张志琴)