

不同水资源利用模式的权衡率动态特性

何士华 程乖梅 邹 进

(昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650051)

摘要 将水资源开发利用看成是一个涉及经济、环境、社会效益等多个目标的连续过程, 根据水资源开发利用历程中决策者偏好结构的演变规律, 将多目标决策权衡率的基本涵义扩展到与时间相关, 揭示了不同水资源利用模式下经济效益目标和环境效益目标之间的权衡率随时间变化的动态演变特性, 并结合典型实例进行了计算分析。

关键词 权衡率; 水资源; 多目标决策; 可持续利用

中图分类号 TV213.9 **文献标识码** A **文章编号** 1006-764X(2007)01-0011-03

Dynamic characteristic study on trade-off rate under different water resource utilization modes//HE Shi-hua, CHENG Guai-mei, ZOU Jin(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract : Water resources development and utilization is taken as a mult-objective continuous process concerning economic, environmental, and social benefits. The basic connotation of the trade-off rate for multi-objective decision-making is extended to time-dependent according to the law of evolution of different decision-makers' preference structures during the process of water resources development and utilization. The dynamic time-dependent characteristics of the trade-off rate between the objectives of economic and environmental benefits are revealed under different water utilization modes, and some typical cases of calculation are given to verify the effectiveness of the theoretical framework.

Key words : trade-off rate; water resources; multi-objective decision-making; sustainable utilization

水资源开发利用是一个长时间跨度的连续过程, 这个过程的目的是保证在水环境容量和水资源承载能力的限度内, 实现经济效益、环境效益和社会效益等多个目标之间的统一与协调。因此, 水资源的开发利用可视为一个与时间相关的动态多目标决策问题。从这一角度出发, 文献[1]将区域水资源规划纳入宏观经济范畴, 建立了区域水资源规划的多目标集成系统, 并用于京津唐水资源规划分析; 文献[2-3]分别针对关中地区不同水资源开发利用方案和西安市水资源承载能力进行了多目标分析计算; 文献[4]将水资源承载能力纳入生态经济系统, 对黑河流域张掖地区水资源承载能力进行了多目标分析; 文献[5]建立了大连市宏观经济水资源发展多目标群决策模型, 并对不同的备选方案采用模糊切比雪夫多目标群决策方法进行了优选。

在水资源开发利用整体过程的任何时期, 经济效益、环境效益和社会效益之间的权衡取舍关系是始终存在的。对于与时间相关的动态多目标决策问

题, 当决策者的偏好选择随时间改变时, 表示目标间替代权衡关系的权衡率也将随时间发生变化。在相关研究的基础上, 本文进一步探讨不同水资源利用模式下目标间的权衡率随时间演变的动态特性。

1 不同水资源利用模式下的权衡率动态特性

从数学规划角度而言, 水资源开发利用是一个包含时间向量的多目标决策问题, 其数学模型的一般形式可表示为^[1-6]

$$\begin{aligned} & \max \{f_1(x, t), f_2(x, t), f_3(x, t)\} \\ & \text{s.t. } x, t \in S, x \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

式中: f_1, f_2, f_3 分别为经济效益目标、环境效益目标、社会效益目标; x 为由决策变量组成的向量; t 为由时间变量组成的向量; S 为约束条件集合。一般将 t 离散为不同的水平年对上述模型进行分析求解。

在多目标决策理论中, 凡牺牲一个目标值而换取另一个目标值的增加, 就叫做权衡。目标间的权衡一般通过权衡率来表达。不失一般性, 选取经济效益

目标函数 f_1 为基本目标函数,由 Kuhn-Tucker 条件^[7-8]可得经济效益目标 f_1 与环境效益目标 f_2 之间的权衡率 r_{12} 为

$$\lambda_{12} = - \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial f_2(\mathbf{x})} = - r_{12} \tag{2}$$

λ_{12} 称为 Kuhn-Tucker 乘子, $\lambda_{12} \geq \alpha$ (或 $r_{12} \leq 0$)。若将偏导数用增量比逼近,则

$$\lambda_{12} \approx - \Delta f_1 / \Delta f_2 \approx - r_{12} \tag{3}$$

显然,权衡率的负值刚好就是 Kuhn-Tucker 乘子。

由权衡率的表达式可知, r_{12} 表示相应于某一非劣解,决策者愿意牺牲单位环境效益来换取 r_{12} 个单位的经济效益的提高。在水资源的开发利用过程中,由于各目标间权益的相互矛盾和竞争,致使 $r_{12} \leq \alpha$ (或 $\lambda_{12} \geq 0$)。进一步地,在水资源开发利用的不同时期,决策者在权衡环境保护与经济效益的得失关系时,其主观价值取向和偏好选择将呈现规律性的变化,权衡率 r_{12} 随时间 t 的进一步扩展变化也将具有相应的特性,分析如下。

如果随着时间的推移 ($dt > 0$),决策者愿意牺牲单位环境效益来换取更大的经济效益的提高 ($dr_{12} > 0$) 或者认为牺牲单位经济效益所换取的环境效益的改善越来越小,那么 $dr_{12}/dt > 0$;如果随着时间的推移 ($dt > 0$) 和经济的发展,决策者愿意牺牲单位经济效益来换取更大的环境效益的改善,或者认为牺牲单位环境效益只能换取越来越小的经济效益的提高 ($dr_{12} < 0$),那么 $dr_{12}/dt < 0$ 。

从历史角度而言,水资源的开发利用可分为非可持续利用模式和可持续利用模式。水资源非可持续利用模式又可分为原始水资源利用模式和传统水资源利用模式。在不同的水资源利用模式下,人们对于经济 and 环境保护的偏好选择是不同的。

在原始水资源利用模式下,社会生产力水平较低,人口稀少,社会经济发展尚处于一种维系生存的状态,对水资源的需求量远小于水资源的可利用量。而且,人们对环境舒适的需求也不高。无论从数量还是强度上,水资源都使人们产生具有足够“裕度”的印象,进入传统水资源利用模式,区域经济加速发展,人类以大规模兴建水利工程为主要措施来满足社会经济发展对水资源的需求,决定工程方案取舍的主要依据是技术经济指标的优劣,对经济以外的其他方面较少考虑或使其处于较低水平。因此,在水资源非可持续利用的历史进程中,对某一时段而言,决策者主观上愿意牺牲一个单位的环境效益去换取经济效益的最大改善量 r_{12} ,并且随着时间的推移和对经济发展的渴望,希望这种改善量越大越好,即决策者愿意牺牲单位环境效益来换取越来越大的

经济效益的提高。因此,水资源非可持续利用模式下的权衡率 r_{12} 随时间的变化将呈现 $dr_{12}/dt > 0$ 的特性。

在水资源可持续利用模式下,随着社会收入和财富的逐步积累,区域经济变得相对发达,人们对环境舒适的要求增加,逐步觉察到环境舒适供给萎缩的失衡状态。在水资源的开发利用过程中,特别强调水的利用与经济、环境、社会的协调发展。随着环境意识的不断强化,环境管制变得更为有效,技术更为先进,环境治理得到加强,环境退化得以遏制。因此,在这一历史进程中,对经济发展与环境保护的权衡,决策者愿意牺牲单位经济效益来换取更大的环境效益的改善,或者认为牺牲单位环境效益只能换取越来越小的经济效益的提高,即决策者的偏向态度将具有 $dr_{12}/dt < 0$ 的特性。

2 实例研究

首先,本文利用水资源利用多目标规划模型^[6]对滇池流域进行了计算,在综合考虑水资源重复利用、掌鸠河引水和近期外流域补水条件下,得到水资源和经济、环境协调主要指标与期望值接近,为滇池流域可持续发展的优选方案,相应于不同水平年经济和环境目标的计算结果见表 1。将 COD 负荷取为负值,由式(3)计算出的经济与环境目标间的权衡率大小可见,随着时间的推移, r_{12} 呈减小态势,即 $dr_{12}/dt < 0$,前后结论一致,与实际相符。

表 1 滇池流域水资源多目标分析结果

年份	GDP/亿元	COD 负荷/万 m ³	权衡率 r_{12}
2000	60.64	1.46	
2010	96.70	2.43	- 37.18
2020	146.81	2.85	- 119.31

与此同时,本文还对其他区域水资源开发利用的多目标计算结果^[3-4]进行了进一步的分析。

文献[3]对西安市不同水平年的水资源承载能力进行了多目标分析计算,相应于经济目标 and 环境目标的相关计算结果列于表 2 的第 2、第 3 列,第 4 列为本文的计算分析结果(计算权衡率时, BOD 负荷取负值)。

表 2 西安市水资源承载能力多目标分析结果

年份	GDP/亿元	BOD 负荷/万 t	权衡率 r_{12}
2000	515.9	5.8	
2010	1578.1	7.3	- 708.13
2020	4002.9	26.9	- 123.71

从表 2 数据可见,西安市水资源承载能力中的经济和环境目标间的权衡率随时间推移而增大,即 $dr_{12}/dt > 0$,说明若不采取进一步的措施,西安市水

资源承载能力将不能满足宏观经济社会的可持续发展要求,水资源不能实现可持续利用。这也是与实际情况相符的。为此,文献 3 提出了进一步提高西安市水资源承载能力的主要工程和非工程措施。

文献 4 对黑河流域张掖地区不同水平年的水资源承载能力进行了多目标分析计算。类似地,相应于经济目标和环境目标的相关计算结果列于表 3 的第 2、第 3 列,第 4 列为本文的计算分析结果。

表 3 黑河流域张掖地区水资源承载能力多目标分析结果

年份	GDP/亿元	COD 负荷/(g·人 ⁻¹)	权衡率 r_{12}
2000	64.09	34.64	
2005	94.32	47.15	-2.42
2010	140.84	72.14	-1.86
2015	185.34	95.64	-1.89
2020	234.66	111.24	-3.16

从表 3 中的数据可见,黑河流域张掖地区在 2000~2010 年期间,经济和环境目标间的权衡率随时间推移而增大,即 $dr_{12}/dt > 0$,说明水资源的利用尚处于传统的模式;而在 2010 年以后,经济和环境目标间的权衡率随时间推移而逐步减小,而且这种趋势越来越明显,即 $dr_{12}/dt < 0$,说明水资源的利用逐步走向可持续利用的模式;另外,2010 年前后若干年将是该地区水资源开发利用从传统模式向可持续利用模式过渡的时段。

另外,本文还对文献 1 针对京津唐、文献 2 针对关中地区的水资源开发利用的多目标计算结果进行了相应的分析,从不同侧面验证了不同水资源利用模式下经济与环境目标之间权衡率随时间变化的一般特性。

3 结 语

水资源的开发利用是一个长时间跨度的多目标

决策问题,不仅涉及同时段内目标间的替代权衡,而且这种权衡取舍关系是随时间变化的。水资源开发利用需要同时兼顾经济、环境和社会效益,但在水资源开发利用过程中,即使考虑到社会与环境效益,决策者在权衡它们与经济效益的得失关系时,也可能使环境与社会效益处于很低的水平,本质上,这依然是水资源非可持续利用模式的偏好选择。本文对不同水资源利用模式下权衡率随时间变化规律的理论分析和实例研究所得出的结论,有利于克服常规水资源决策中割裂时间联系的片面性和一般陈述方式在理解水资源可持续利用上的随意性,对水资源的可持续利用决策和判断具有重要的指导意义。

参考文献:

[1] 蔡喜民,翁文斌,史惠斌.基于宏观经济的区域水资源多目标集成系统[J].水科学进展,1995,16(2):139-144.

[2] 薛小杰,于长生,黄强,等.水资源可持续利用模型及其应用研究[J].西安理工大学学报,2000,16(3):301-305.

[3] 薛小杰,惠泱河,黄强,等.城市水资源承载能力及其实证研究[J].西北农业大学学报,2000,28(6):135-139.

[4] 苏志勇,徐中民,张志强,等.黑河流域水资源承载力的生态经济研究[J].冰川冻土,2002,24(4):400-406.

[5] 陈守煜,黄完成,李登峰.大连市水资源利用与宏观经济协调发展规划多目标群决策模型与方法[J].水利学报,2003(3):42-48.

[6] 何士华,邹进,程乖梅.区域水资源可持续利用的多目标决策模型[J].昆明理工大学学报,2005,30(3):56-59.

[7] CHANKONG V,HAIMES Y Y. Multiobjective decision making: theory and methodology [M]. Amsterdam: North-Holland, 1983.

[8] HAIMES Y Y, HALL W A. Multiobjective in water resources system analysis: the surrogate worth trade-off method[J]. Water Resources Research, 1974, 10: 614-624.

(收稿日期 2006-02-27 编辑 熊水斌)

(上接第 10 页)

[16] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2000[M].北京:中国统计出版社,2000.

[17] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2001[M].北京:中国统计出版社,2001.

[18] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2002[M].北京:中国统计出版社,2002.

[19] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2003[M].北京:中国统计出版社,2003.

[20] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2004[M].北京:中国统计出版社,2004.

[21] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2005[M].北京:中国统计出版社,2005.

[22] 全国节约用水办公室.全国节水规划纲要及其研究[M].南京:河海大学出版社,2003.

[23] 蔡昉,郑真真,都阳.人口与劳动力绿皮书——中国人口与劳动问题报告 No.5:人口转变与教育发展[M].北京:社会科学文献出版,2004.

[24] United Nation Population Division. World urbanization prospect: 2001 revision [R]. New York: United Nation Population Division, 2002.

(收稿日期 2006-03-01 编辑 熊水斌)