

多属性决策在小流域坡面治理中的应用

王真, 郭怀成, 王丽婧, 王金凤

(北京大学 环境学院, 北京 100871)

摘要: 小流域坡面治理工程优化配置是一个多属性决策问题, 但由于信息缺乏, 决策往往由专家主观判断, 结果依赖专家的经验。采用多种方法对海西河流域的坡面治理进行排序, 并对排序结果进行综合分析, 识别出林地与水平梯田结合的治理方式为当地坡面治理的最佳措施, 解决了不完备信息下的决策问题和单一方法的决策结果随意性问题。研究结果可为当地坡面治理决策提供科学的决策依据。

关键词: 坡面治理; 多属性决策; 海西河流域; 不完备信息

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2006)06-0074-05

中图分类号: S157.2

Application of Multi-attribute Decision-making Methods in Slope Improvement of Small Watershed

WANG Zhen, GUO Huai-cheng, WANG Li-jing, WANG Jin-feng

(College of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The slope improvement in a small watershed is a problem of multi-attribute decision-making. However, the decision-making is often a subjective judgment due to lack of information, which largely depends on the experience of decision makers. Several multi-attribute decision-making methods are presented to deal with decision problems in slope improvement of the Haixihai watershed under incomplete information and the arbitrary decision by a single method. Constructing woodlands and building level terraces are the most suitable measures for local slope improvement. The result provides the local decision makers with a scientific support in their decision-making.

Keywords: slope improvement; multi-attribute decision-making; Haixihai watershed; incomplete information

小流域坡面治理工程是水土保持最为关键的工程措施之一, 它的实施效果直接影响到整个小流域的水土保持、水利工程建设, 以及生态环境改善等多方面。坡面治理工程的优化配置是具有投资、经济效益、生态效益、环境效益等多种属性的决策问题。但由于小流域一般缺少必要的工程试验, 缺乏精确的分析数据, 在决策制定和规划编制过程中, 工程措施的优化配置往往都沦为个人的经验判断, 其实施效果严重依赖决策者或专家的经验, 实际实施过程中甚至可能出现国家投入大量的人力、物力仍然达不到好的治理效果的情况。

我国是一个水土流失比较严重的国家, 水土流失面积大, 各地气候、地质地理状况差异明显, 许多地方目前还没有专门针对水土流失的工程试验。因此, 如何在不完备信息条件下对当地坡面治理工程的优化进行科学决策, 减低决策失误的风险对我国水土流失治理具有重要的意义。

多属性决策(MADM) 又称多指标决策或离散的多准则决策, 是在 20 世纪 60 年代, 管理学和运筹学的通径分割研究(path-breaking research) 基础上发展起来的^[1-2]。由于实际工作中的问题常常都具有多种决策属性, 因此 MADM 方法受到越来越多的关注。经过 30 a 多的发展, MADM 已经形成约 30 种决策方法, 这些方法大体可以分为 3 类: 多属性效用理论方法、超序关系方法和交互方法^[2-3]。其中较为常见的方法有 SWA, AHP, TOPSIS, ELECTRE 系列和 PROMETHEE 系列等。随着 MADM 理论的发展, 其应用的领域也越来越广, 经济、环境、农业、林业等领域都得到不同程度的研究与应用^[1, 4-8], 但是鲜见国内外有关于 MADM 方法在水土保持方面的研究与应用^[9]。

本文基于不完备信息下, 构造描述性判断矩阵, 再对描述性语言进行模糊量化处理, 运用多种 MADM 方法分别对坡面治理工程进行评价, 并对各种 MADM 方

收稿日期: 2005-08-15

修稿日期: 2006-06-04

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973) 项目专项经费资助(2005CB724205); 云南省资助项目

作者简介: 王真(1980—), 男(汉族), 四川宜宾人, 在读博士生, 从事区域环境规划与管理研究。E-mail: wangzpk@ gmail.com。

通讯作者: 郭怀成(1953—), 男(汉族), 北京市人, 教授, 博士生导师, 从事环境系统分析与规划, 水资源规划管理, 水污染控制与技术等方面研究。E-mail: hcguo@ pku.edu.cn。

法排序的不一致进行了综合分析, 识别出海西河流域坡面治理的优化方案措施, 提出了决策建议。

1 研究区概况

海西海小流域大部分位于云南省大理州洱源县东北部, 小部分位于鹤庆县境内, 流域面积 224 km², 属澜沧江水系。海西海南北长平均 4 km, 东西宽平均 1.6 km, 死水湖面面积 2.24 km², 最深处为 16 m, 多年来水量为 1.08 × 10⁸ m³, 总库容为 6.19 × 10⁷ m³, 水质功能定位为饮用水源, 即 Ⅲ类地表水, 但近年来水质为 Ⅳ类, 并呈恶化趋势。流域内多为灰岩、石灰岩山体, 山体坡度大, 地质结构破碎, 坡耕地面积大。森林覆盖率 29.91%, 多为次生林与灌木林, 主要分布在流域山体上部。流域属北亚热带高原湿润季风气候, 阳光充足, 四季温差较小, 旱季、雨季分明, 5—10月雨天多, 降雨量大, 多年平均气温 13.9℃, 多年平均降水 742.4 mm。这 2 条主要支流东大河和西大河泥沙含量很高, 年输送泥沙 2.30 × 10⁴ t, 主要来源于东西大河两侧山体下部的坡耕地。目前由于流域人口大多居住在山区、半山区, 为保证粮食需求, 大多坡耕地短期内不能实行退耕还林, 因而坡面改造成为海西海上游小流域治理的主要途径。

2 研究方法

2.1 方法框架

运用 MADM 分析方法解决实际问题时, 通常分为以下 4 个步骤: (1) 资料收集与构造决策矩阵; (2) 计算决策偏好信息; (3) 运用某一种或几种 MADM 方法评估各个方案; (4) 提出决策建议^[3]。本文通过查阅文献、专家咨询与实地调查的方法, 选定减流量、减沙量、投资、维护等 8 个指标对 5 种不同

的坡面治理措施进行评估, 得到描述性决策矩阵。其中文献[10—13]中各种坡面措施的保水保沙效益试验不在海西河流域内, 其确切数值不能直接移植到该区域, 而是经过文献综合判断后, 将其治理效果进行两两对比转化为描述性语言, 再分别对成本型指标与效益型指标进行模糊量化和归一化处理。偏好信息计算中, 采用主观与客观相结合的决策者偏好信息修正的最大熵权法计算各指标权重。

目前还没有一种完善的多属性决策方法, 对同一问题, 采用不同的方法可能得出不同的排序结果, 因此本文选取了 TOPSIS, ELECTRE, CGT, SWA 和 LAM 5 种 MADM 决策方法, 分别对各种不同的工程措施进行评价, 然后进行综合分析, 得到最终的方案排序, 并给出优化后的推荐实施方案。研究方法框架详见图 1。表 1 是通过资料收集得到的海西海小流域坡面治理方案的描述性决策初始矩阵。

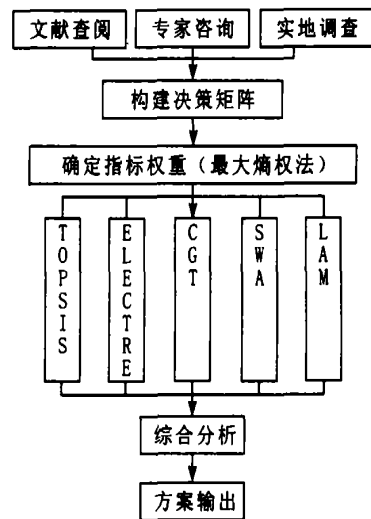


图 1 研究方法框架

表 1 决策初始矩阵

项目	减流量	减沙量	投资	维护	经济效益	生态效益	适宜性 ¹	需求度 ^④
水平梯田	H	H	H—VH	H—VH	H	L	L—M	H
隔坡梯田	M	M—H	H	M—H	M—H	L	M	H
果园地	L	L	H	H	H	M	H	H
林地	M	M	M	L	L	H—VH	H	M
牧草地	L—M	L—M	L	VL	VL—L	H—VH	VH	L

注: ¹ L= low, M= medium, H= high, V= very, L—M= low to medium, H—VH= high to very high, M—H= medium to high, VL—L= very low to low; ^④ 适宜度代表措施在该地区实施的难易度; ^⑤ 需求度代表公众基于生活生产对该种措施的需求。

2.2 决策者偏好信息修正的熵权

最大熵权法是通过各方案的指标值本身提供的信息量作为基础的一种权重计算方式, 它能够识别出模糊指标值本身蕴涵的信息。通过决策者偏好信息

修正的熵权不仅能够有效利用模糊指标的信息量, 而且能反映出决策者的偏好信息。其计算方法为:

$$q_j = \frac{\lambda_j \beta_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i \beta_i} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中: λ_i —— 决策者对 i 指标的偏好; β_i —— 最大熵权法确定的 i 指标的权重。

2.3 多属性决策分析

(1) TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)。TOPSIS 是使用正负理想点距离作为评判标准的一种多属性决策方法, 其决策程序为: ① 将决策矩阵归一化; ④ 计算带权的决策矩阵 $v_{ij} = w_j r_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ 。其中 w_j 为权重, r_{ij} 为归一化矩阵; ④ 确定正负理想点 A^+, A^- :

$$A_j^+ = \{(\max_i v_{ij} \mid i \in I),$$

$$(\min_j v_{ij} \mid i \in I') \mid j = 1, 2, \dots, m\}$$

$$A_j^- = \{(\min_i v_{ij} \mid i \in I),$$

$$(\max_j v_{ij} \mid i \in I') \mid j = 1, 2, \dots, m\}$$

式中: I —— 效益型指标; I' —— 成本型指标。④ 计算贴近度。贴近度越大代表方案的排序越靠前。计算方法为:

$$c_i = \frac{C_i^-}{(C_i^+ + C_i^-)}$$

式中: $C_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2}$, $C_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2}$

根据 c_i 的大小可以排定各可行方案的优先次序, c_i 越大, 其对应的方案越优。

(2) ELECTRE (Elimination et Choice Translation Reality)。ELECTRE 是最早基于超序关系的多属性决策方法, 目前演变出 ELECTRE iv, ⑥, ⑦, ⑧, TRI 等决策方法。本文应用的是改进型 ELECTRE 方法 (complementary ELECTRE), 其决策过程为: ① 决策矩阵归一化和带权矩阵算法与 TOPSIS 方法相同; ④ 计算优势集 $C_{jj'} = \{i \mid x_{ji} \geq x_{j'i}\}$ 与劣势集 $D_{jj'} = \{i \mid x_{ji} < x_{j'i}\}$; ④ 计算优势矩阵 $c_{jj'}$ 与劣势矩阵 $d_{jj'}$:

$$c_{jj'} = \sum_{j \in C_{jj'}} w_i \quad d_{jj'} = \frac{\max_{i \in D_{jj'}} |v_{ij} - v_{ij'}|}{\max_{k \in I} |v_{kj} - v_{kj'}|}$$

④ 计算净优势 c_j 与净劣势

$$d_j: c_j = \sum_{j'=1}^m c_{jj'} - \sum_{j' \neq j} c_{j'j}, \quad d_j = \sum_{j'=1}^m d_{jj'} - \sum_{j' \neq j} d_{j'j}$$

最后根据 c_j 与 d_j 的值确定排序关系。

(3) CGT (Cooperative Game Theory)。CGT 方法与 TOPSIS 类似, 以“安全距离”作为决策制定的依据, 它们的区别在于 TOPSIS 考虑方案与正负理想点的距离, 而 CGT 只考虑方案远离负理想点的程度。CGT 决策过程分两步: ① 确定负理想点, 这与 TOPSIS 相同; ④ 计算方案的效用函数:

$$U_j = \prod_{i=1}^n |x_{ij} - x_i^-|^w, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

式中: x_i^- —— 指标的最低值。效用函数值越大, 方案的优先级别越高。

(4) SWA (Simple weighted addition)。SWA 是最简单的 MADM 方法之一, 因此也是应用最为广泛的 MADM 方法之一。其效用函数计算方法为:

$$U_j = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

SWA 方法认为效用函数最高的方案就是决策者最偏好的方案。

(5) LAM (Linear Assignment Method)。LAM 方法的基本思路是由决策矩阵和权重信息构造排序优势度矩阵, 即计算方案 i 排在第 j 位的评价指标的权重和构成的矩阵, 然后将其转化为整数规划问题。

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \Pi_{ij} p_{ij}$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^m p_{ij} = 1 (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^m p_{ij} = 1 (j = 1, 2, \dots, m)$$

$$p_{ij} = 1, \text{ 或 } 0 (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m)$$

式中: Π_{ij} —— 排序优势度矩阵。解决该整数规划问题就可以得到方案的排序。

3 结果与讨论

各种 MADM 方法计算结果以及使用 1~5 标度的排序结果参见表 2 (ELECTRE 以 c_j 优先于 d_j 进行方案间排序; LAM 方法计算结果即为排序值)。CGT, SWA 和 LAM 都认为林地是海西河流域最优的坡面治理方案, 而认为其它 4 种方案都不“安全”, 其中 CGT 对任何有“不安全”指标的方案没有分辨能力, 只能鉴别最优方案。本文在排序时对“不安全”的方案采用平均序 (即 2~5 位采用平均位次, 以表示 CGT 在这些位次上没有分辨力)。TOPSIS 认为最好的方案是水平梯田, 林地应该排在隔坡梯田之后的第 3 位, ELECTRE 则认为水平梯田优于林地。5 种方法中, SWA 与 LAM 排序结果完全一致, 而其它 3 种方法排序结果虽然有相同趋势, 但位次却不完全相同, 这与每一种决策方法本身的性质有关: TOPSIS 和 ELECTRE 都是双判断准则的决策方法, 这 2 种方法都同时考虑方案好的一面与差的一面 (TOPSIS 使用正、负理想距离; ELECTRE 使用净优势和净劣势), 其排序具有相似性, 认为水平梯田是最优方案。而其它 3 种方法都是单判断准则的决策方法 (CGT

使用负理想点的安全距离;SWA 使用方案带权指标和;LAM 使用优势度目标最大化作为判断依据)。同

样,这3种单准则方法也有共同的偏好,即认为林地具有明显优势。

表2 计算结果与排序

项目	TOPSIS		ELECTRE			CGT		SWA		LAM
	计算值	排序	净优势	净劣势	排序	计算值	排序	计算值	排序	排序
水平梯田	0.583 5	1	0.644 1	-0.408 6	1	0.000 0	3.5	0.475 9	2	2
隔坡梯田	0.527 9	2	0.247 8	0.288 3	3	0.000 0	3.5	0.369 5	5	5
果园地	0.380 8	5	-1.020 5	1.859 7	5	0.000 0	3.5	0.376 2	4	4
林地	0.526 9	3	0.431 3	-0.165 8	2	2.309 9	1.0	0.546 2	1	1
牧草地	0.470 7	4	-0.302 7	-1.573 5	4	0.000 0	3.5	0.473 6	3	3

单种 MADM 方法的排序结果仍然具有随意性,这是由方法本身所决定的。例如如果决策者只采用 CGT 方法决策,会出现除了林地区分不出其它方案的优劣,导致决策制定的困难。多种 MADM 方法共同使用时,各种方法的随意性最终导致排序结果的不一致。由于缺少客观公正的尺度来衡量各种评价方法的优劣,因此不能武断地认为一种方法的排序结果是合理的,而其它方法排序不合理。尽管如此,从各方案的排序结果中仍然能得出一些结论。

不难发现,水平梯田无论在哪种方法下排序位次都优于隔坡梯田。同样,林地优于果园地和牧草地两种方案,但水平梯田和林地2种方案在各种方法下各有优势,相互之间的优劣无法比较,都是方案的解空间上的非劣解。5种方法中虽然有3种方法认为林地最优,2种方法认为水平梯田最优,但不能认定林地方案比水平梯田具有明显的优势(5种方法的排序只有限反映了最优趋势,譬如不考虑 CGT 方法排序结果再对比2个方案将会导致水平梯田优于林地),而且在本身决策信息不完备条件下,精确排序可信度本身应受到质疑。

因此,作者认为划分各种不同的方案到各个不同的集合内,定性比较分析各种方案的优劣是合理的,在最终决策过程中,决策者通过决策偏好从非劣解集选取满意的方案进行决策(当然这个解集应该较小,否则仍然具有决策难度)。根据图2,可以认为林地和梯田在决策者偏好下是较理想的方案。

恢复山区森林植被是最为常见也是有效的满足海西海水质保护要求,防止水土流失和恢复流域自然生态的方案,而将坡耕地改造为水平梯田虽然投资巨大,但能达到水质保护,水土保持和满足流域内居民的粮食需求的目的。

林地与水平梯田各有优势,且它们能够分别满足不同的决策需求,因此在实际治理中应该将林地与水平梯田结合配置。海西海流域上游水土保持坡面治

理措施推荐实施方案是:25°以上坡耕地退耕还林,25°以下坡耕地改造为梯田,在保证粮食供给前提下努力发展林业经济。

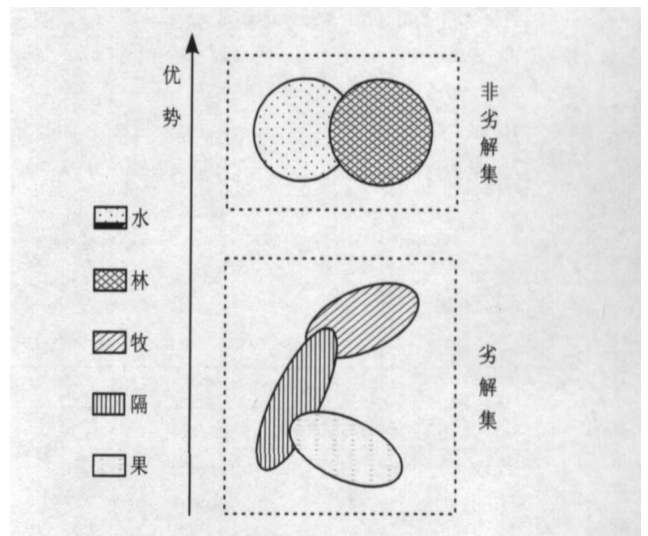


图2 方案优势图

4 结论

用多种 MADM 方法对统一问题进行决策可能得到不同的排序结果,运用综合分析可以识别出方案的非劣解集,为进一步决策提供基础。

本文提出的文献查阅、专家咨询、实地调查相结合,基于决策偏好和最大信息熵的权值和多种 MADM 综合排序的方法,可以在没有确切试验数据支撑下,最大限度获取决策信息,降低决策风险,为决策制定与规划编制提供依据。

运用 MADM 综合分析对海西海上游小流域坡面治理工程的方案排序结果符合流域实际情况。多属性决策分析表明,海西海上游小流域的坡面治理最优方案是林地结合水平梯田。

本文提出的研究思路不仅为海西海流域的流域生态系统可持续健康发展提供了有力的决策支持,也对其它领域的决策制定提供了参考。

[参 考 文 献]

- [1] 张运涛, 苗泽伟. 多标准决策法 (MCDM) 在农业系统管理上的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 1995, 2(3): 185—188.
- [2] Bernard R, Daniel V. An overview on “The European school of MCDA: Emergence, Basic features and current works” [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 99: 26—27.
- [3] Guitouni A, Martel J M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 109: 501—521.
- [4] Ute S, Rainer B, Stefan P. Aspects of decision support in water management—example Berlin and Potsdam (Germany) I—spatially differentiated evaluation[J]. Water Research, 2004, 38: 1809—1816.
- [5] Nijs J D, Frank M. Assessment of technologies for disposing explosive waste[J]. Journal of Hazardous Materials, 2002, 90: 137—153.
- [6] Raju K S, Kumar D N. Multicriterion decision making in irrigation planning [J]. Agricultural System, 1999, 62: 117—129.
- [7] 孙见荆, 王应明. 经济效益综合评价中的简单方法——序时多属性决策方法[J]. 中国管理科学, 1996(1): 52—58.
- [8] 廖显春, 张新华, 杨祖达, 等. 多属性决策法在小流域防护林体系效益评价中的应用[J]. 华中农业大学学报, 1998(17): 404—408.
- [9] 王宏兴, 王晓, 杨秀英, 等. 多目标决策灰色关联投影法在小流域水土保持生态工程综合效益评价中的应用[J]. 水土保持研究, 2003(10): 43—45.
- [10] 袁希平, 雷廷武. 水土保持措施及其减水减沙效益分析[J]. 农业工程学报, 2004(20): 296—300.
- [11] 赵合理, 蒋定生, 范兴科. 不同水土保持措施对坡面降水再分配的影响[J]. 水土保持研究, 1996(3): 75—83.
- [12] 黄河水利委员会黄河上中游管理局. 黄土高原水土保持实践与研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1995. 261—277.
- [13] 黄河水利委员会黄河上中游管理局. 黄土高原水土保持实践与研究(二)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 287—292, 314—323.

(上接第 73 页)

表 1 生态修复项目区 2001—2003 年遥感监测结果及变化

土地类型	2001 年		2003 年		图斑变化	面积变化/ hm ²	变化率/ %
	图斑数	面积/hm ²	图斑数	面积/hm ²			
居民地	54	126.88	57	130.13	3	3.25	2.56
梯田	13	269.66	15	527.34	2	257.68	95.56
坡耕地	450	3775.89	479	3105.07	29	-670.82	-17.77
菜地	13	291.41	14	289.40	1	-2.02	-0.69
果园	9	27.67	52	172.64	43	144.97	523.92
乔木林	136	16843.15	191	16810.14	55	-33.01	-0.20
灌木林	832	7125.89	835	7187.67	3	61.78	0.87
草地	771	3920.43	769	4158.52	-2	237.44	6.06
水域	6	226.23	6	226.30	0	0.07	0.03
难利用地	30	119.27	30	119.26	0	-0.01	-0.01
总面积	2134	32726.48	2448	32726.48	134	0.00	0.00

5 结 论

经过在研究区近 3a 的水土保持生态修复, 区内植被状况发生了很大变化, 植被覆盖率提高, 植物群落向着正向(进展)演替的方向发展, 水土流失面积和程度有所降低, 各项生态因子明显改善。

(1) 生态修复遥感监测技术是一个新的研究领域, 还有许多问题诸如高分辨率遥感影像处理方法、判读精度分析、土地利用结构分析、景观格局变化分析、驱动力分析等需要进一步的研究和讨论。

(2) 在生态修复监测工作中, 地面常规监测数据(点数据)和遥感监测数据(面数据)进行耦合的方法和方式, 水土流失模型及相关参数的确定及在生态修复区域适合性等问题值得进一步的研究和探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 刀红英. 对云南生态修复监测的思考[J]. 中国水利, 2004.
- [2] 蒲勇平. 长江流域生态修复工程的意义及对策[J]. 水土保持通报, 2002.