

基于AHP-DEA模型的土地整治项目规划方案比选

程文仕, 乔蕪强, 刘学录, 黄 鑫

(甘肃农业大学管理学院, 兰州 730070)

摘要: 为了提高土地整治项目实施的综合效益, 从众多规划方案中选择最优方案成为项目规划设计的关键。论文以甘肃省庆阳市西峰区肖金镇双桐村土地整治项目为例, 从不同的角度设计出了4种项目工程建设方案, 在此基础上根据建设工程内容和投资水平等资料, 构建了层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 约束锥的数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 模型, 对4个可行方案的土地整治综合效益进行评价。结果显示: 方案1~4的最优值依次为1.000 0、0.864 5、0.652 7、0.963 8, 方案1为最优, 方案4次之。研究表明: AHP-DEA模型将传统DEA方法对输入输出数据的客观分析与决策者的主观偏好结合起来, 评价结果客观准确, 在土地整治项目规划方案比选中是一种理想的方法。

关键词: 土地整治; 规划方案; 层次分析法 (AHP); 数据包络分析模型 (DEA); 庆阳市

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2017)09-1615-12

中国自1997年大力推行土地整治工作以来^[1], 不仅提高了土地利用效率、增加了耕地面积、提高了耕地质量、改善了农村生产生活条件, 而且有效地缓解了我国工业化、城镇化带来的耕地保护压力和粮食安全问题^[2-3], 在优化土地利用结构和城乡统筹发展等方面发挥了重要的作用^[4-6], 土地整治成为建设美丽乡村和强村富民的“民生工程”的有力支撑^[7-8], 已逐步成为保发展、守红线、促转变、惠民生的重要举措和基础平台。然而, 目前我国土地整治项目以“自上而下”的规划管理模式, 致使土地整治工程在方案设计与论证、实施效益评价等环节缺乏多方案比较论证的依据和标准, 严重影响土地整治项目的实施效果。因此, 如何合理安排土地整治项目并科学地进行项目规划设计, 实现土地整治资金使用效用的最大化已成为亟待解决的问题^[9]。

目前, 学者们对土地整治效果评价的研究较多, 如环境影响评价^[4,10]、效益评价^[5,9,11-13]、可持续评价^[14]、实施后评价^[15]和绩效评价^[7,16]等, 其中效益评价大多是针对土地整治项目实施的单效益和综合效益评价, 在单效益评价方面逐渐由经济效益评价转向生态环境影响评价, 很少有学者注重社会效益的评价^[11]。针对土地整治综合效益的评价, 学者们借助不同的方法和指标体系对不同的区域进行了研究, 采用比较多的方法有模糊综合评价法^[6,13-15]、能值分析^[17]、格序结构^[18]、熵权可拓物元模型^[11]、云模型^[19]、因子分析法^[20]、灰色关联投影法^[21]、结构方程模型^[22]、数据包络分析^[5]等。但是, 还没有针对一个区域设计

收稿日期: 2016-08-03; 修订日期: 2017-03-30。

基金项目: 甘肃省教育科学“十二五”规划课题 (GS[2013]GHB0849, GS[2015]GHB0167); 国家自然科学基金基金地区项目 (41161066/D010702)。[Foundation items: Education Science “12th Five-Year” Planning Program of Gansu Province, No. GS[2013]GHB0849 and GS[2015]GHB0167; National Natural Science Foundation of China, No. 41161066.]

第一作者简介: 程文仕 (1976-), 男, 陕西南郑人, 副教授, 主要从事土地资源评价、土地利用与规划、土地整治工程方面的教学和研究工作。E-mail: tgchwsh@163.com

出众多规划方案、从中比选最优方案的研究报道,同时这些评价方法各有优缺点,都不能将输入输出数据的客观分析与决策者的主观偏好有机结合起来,难以确保评价结果的客观准确。本文以甘肃省庆阳市西峰区肖金镇双桐村土地整治项目为例,根据相关学者的研究成果^[23]和区域的实际情况,从不同的角度设计出生态经济并重型、经济效益主导型、基础设施配套型、民生服务保障型4种方案,采用层次分析法约束锥的数据包络分析模型 (Analytic Hierarchy Process-Data Envelopment Analysis, AHP-DEA),对4种方案的预期实施效益进行评价,比较和选择最优的方案,确保实现人地和谐发展和经济、社会和生态三效益协调统一。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

庆阳市西峰区肖金镇双桐村土地整治项目位于 $107^{\circ}38'10'' \sim 107^{\circ}39'09''E$, $35^{\circ}32'07'' \sim 35^{\circ}33'09''N$ 。距离西峰区8.5 km,属黄土高原残塬沟壑区,总体地势西北高、东南低,坡度较大,相对高差31.4 m;属温带半干旱半湿润地区,具有明显的大陆性气候特点,年平均气温 $8^{\circ}C$,多年平均降雨量530 mm,年平均蒸发量1 519.1 mm,无霜期160 d。区域耕作土壤主要为黄绵土,水土流失严重,土壤pH值8.12,土壤理化性能好,保水保肥性能强。区域主要种植冬小麦、玉米、油菜和黄豆等,项目区境内生物种类多、分布广,荒沟有零星刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、臭椿 (*Ailanthus altissima*) 和山杏 (*Armeniaca sibirica*) 等,并夹杂着天然植被冰草 (*Agropyron cristatum*)、铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*) 和野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia*) 等。

项目区总面积 116.32 hm^2 ,其中:旱地面积 80.43 hm^2 ,水浇地面积 0.30 hm^2 ,果园 0.20 hm^2 ,有林地 0.13 hm^2 ,农村宅基地 4.25 hm^2 ,废弃窑洞 13.26 hm^2 ,殡葬用地 0.06 hm^2 ,公路用地 0.87 hm^2 ,农村道路面积 1.65 hm^2 ,沟渠用地 0.79 hm^2 ,设施农用地 0.55 hm^2 ,田坎占地 13.83 hm^2 (图1)。区域属于典型的旱作雨养农业区,道路设施和生态环境保护体系不完善,道路分布凌乱,甚至部分田块无道路相通,不能满足机械耕作的需要;田块植被稀少,缺少基本的农田防护体系,抵御旱灾、霜冻、暴雨和冰雹等自然灾害的能力较弱。

1.2 数据来源

项目区的基本数据主要来源于2011—2013年西峰区统计年鉴和肖金镇农业年报;土地利用现状基本数据是在西峰区2013年土地利用更新调查数据库、项目区实测地形图、变更影像图的基础上,于2014年9月对项目区实地踏勘分析而来;规划设计方案是根据《土地开发整理项目规划设计规范》(TD/T 1020—2000),遵循农户意愿,生态、经济和社会效益相统一的原则设计而来;各设计方案中的项目总投资、劳动力投入是根据《土地开发整理项目预算定额标准》(财综[2011]128号)和《庆阳市2014年第二期材料价格》,严格按照各设计方案的工程量估算而来;各设计方案的新增耕地率、植被覆盖率是按照规划布局调整方案严格测算而来;各设计方案的单产增加值是根据西峰区肖金镇及其周边的土地整治项目实施效果调查(2014年9月的实地调研资料)测算而来;各设计方案静态投资收益率根据年净收益和项目总投资的比较测算得出,人均年纯收益增量是按照各方案的投资估算、单产增量、项目区人口情况和农业年报等测算而来;各设计方

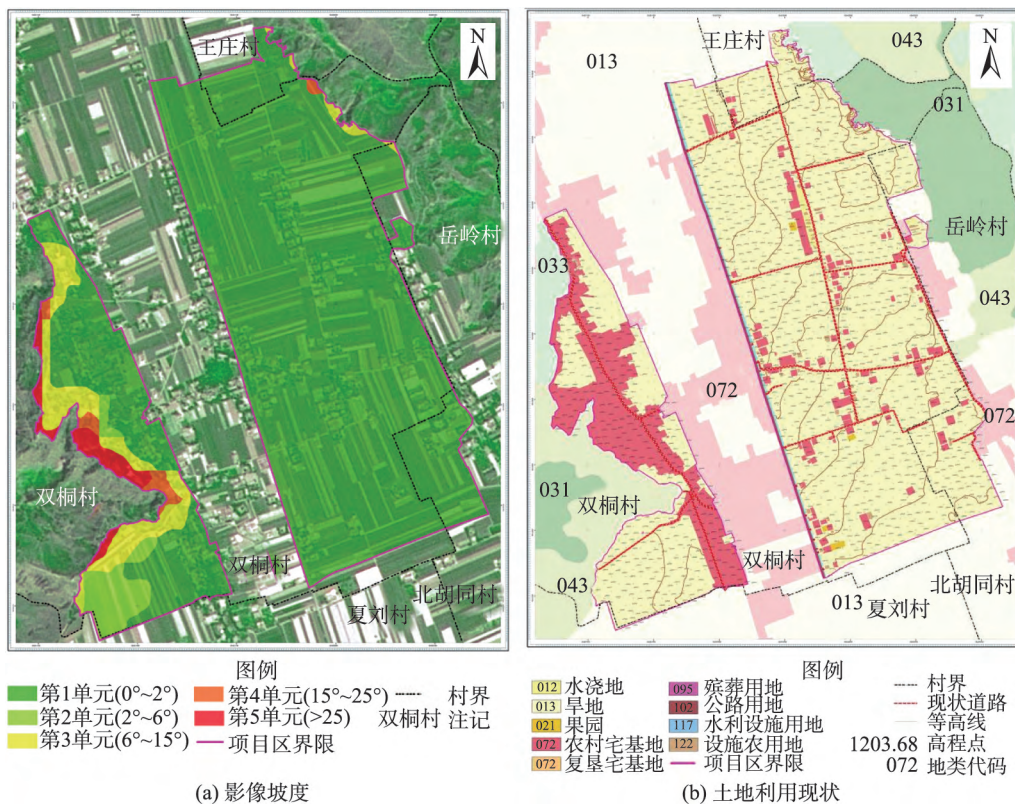


图1 项目区影像坡度和土地利用现状

Fig. 1 Image with slope map and present land-use map of the project area

案的工程量是严格按照《土地整治项目工程量计算规则》(TD/T 1039—2013)，运用ArcGIS、CASS、GLAND等专业软件量算获取；其余相关民众意愿等资料来源于2014年9月的项目区实地调研成果。

2 研究方法

2.1 AHP-DEA 模型

数据包络分析 (DEA) 是美国运筹学家 Charnes 等提出的一种以输入输出指标的权重为变量，按照最有利于被评单元的角度自由地设定权重，评价相同类型的决策单元 (Decision Making Unit, DMU) 间相对有效性的客观评价方法^[24-25]。利用这种模型判断一个决策单元的相对有效性时，实际上是选取对该决策单元最有利的输入、输出权系数。然而，在现实研究中，客观赋予的指标权重有时会反映不出农户的偏好。为此，Charnes 等提出了一种锥比率 DEA 模型，这一模型体现了对输入、输出权系数选取的限制，同时也体现了对不同决策单元的偏好^[26]，见式 (1) 和式 (2)。

由于不同项目或不同规划建设方案的总投资和劳动力投入存在差异，如果简单地用传统 DEA 模型计算，就无法准确反映项目投入与产出的效益差异。本文采用 AHP-DEA 模型，在专家咨询基础上，运用层次分析法对投入产出进行人为赋权重^[26]，再运用能够体现偏好性的锥比率 DEA 模型进行计算，从而既能发挥 AHP 反映投入与产出的差异，又

能够运用DEA客观计算土地整治规划方案的综合效益,二者优缺点互补,有利于更好地开展土地整治项目设计方案比选。

在多投入和多产出的评价系统中,某种“生产”活动可以用一组投入指标和产出指标表示。假设有 n 个评价单元 DMU_j ($j=1, 2, \dots, n$), 每个DMU都有 m 种输入和 s 种输出, 分别用不同的经济指标表示, 这样就构成了 n 个评价单元的多指标投入和多指标产出的评价系统。其中 $X_j=(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$, X_{ij} 为对第 j 个DMU的第 i 种输入的投入量, $Y_j=(Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{sj})$, Y_{ij} 为对第 j 个DMU的第 i 种输出的产出量^[27]。根据选定的输入、输出指标体系, 对于决策单元 DMU_j , 使用AHP方法对权重选择加以一定的偏好限制, 由此构造出AHP-DEA模型^[28]。

$$\begin{aligned} \max P_{j_0} &= \mu \cdot Y_{j_0} + \delta \cdot \mu_0 & (1) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \omega^T X_j - \mu^T Y_j - \delta \cdot \mu_0 \geq 0 \\ \omega^T X_{j_0} = 1 \\ \omega \in U = \{\omega | C \cdot \omega \geq 0, \omega \geq 0\} \\ \mu \in V = \{\mu | B \cdot \mu \geq 0, \mu \geq 0\} \end{cases} & (2) \end{aligned}$$

式中: $\omega^T=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$; $\mu^T=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s)^T$; P_j 为某评价单元的效率值; ω^T 为某项投入的权重; μ^T 为某项输出的权重。

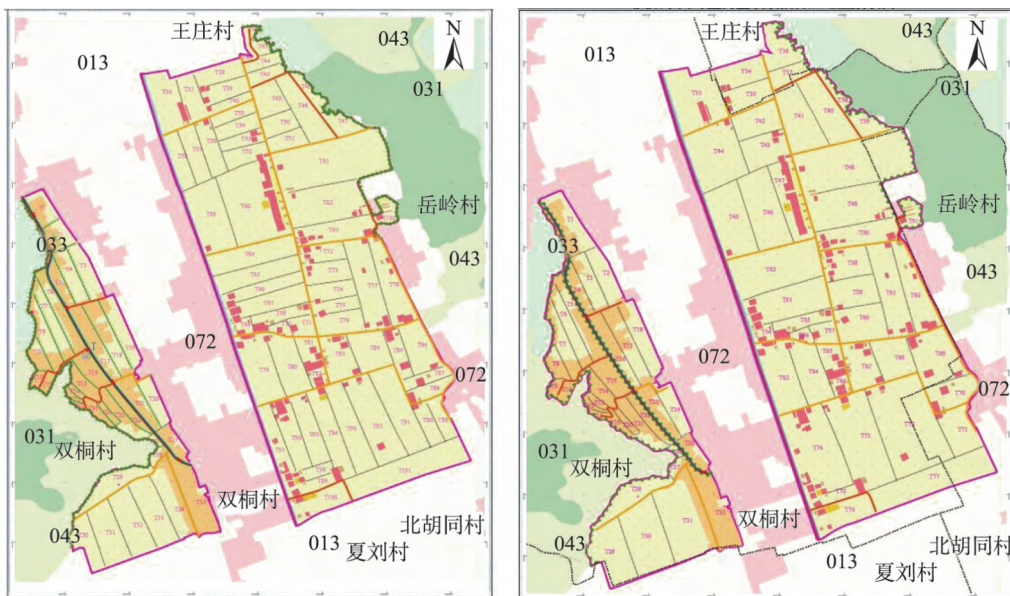
按照一般DEA模型的基本原理, δ 为参数, $\delta=0$ 为技术规模有效模型, $\delta=1$ 为技术有效性模型; 最优值 $P_{j_0}^*=1$, 则评价单元为有效, 否则无效^[29]。如果线性规划存在最优解 ω^* 、 μ^* 满足 $\omega^{*T} Y_0=1$, $\omega^* \in \text{int } U$, $\mu^* \in \text{int } V$, 则称决策单元 DMU_{j_0} 为DEA有效。

2.2 备选方案(评价单元)确立

研究区位于黄土高原残垣沟壑区, 坡度较大, 水土流失严重, 废旧窑洞集中, 土地利用率低, 水资源有限, 难以满足灌溉用水所需。方案设计时, 在各项指标符合规范的基础上, 充分考虑研究区实际情况, 以增加耕地面积、提高土地利用率和产出率、改善农村生产生活条件为目标, 根据农户意愿要求, 依据目的性、系统性、合理性和可比性原则, 推进田、水、路、林、村综合整治, 优化用地结构和布局, 改善和提升土地生态景观服务能力, 根据侧重点的不同共设计并确定了生态经济并重型、经济效益主导型、基础设施配套型、民生服务保障型4种方案作为备选方案。

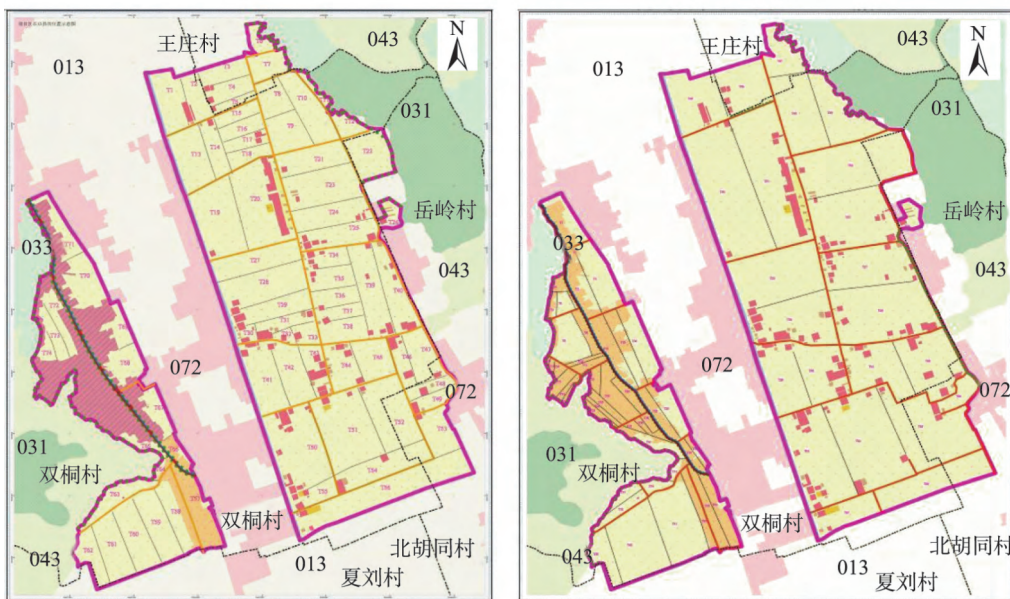
方案1: 生态经济并重型。充分考虑西部生态环境脆弱和经济发展较为落后的现实, 注重整治的生态效益和经济效益, 二者并重。从生态环境整治上, 强化水土流失治理, 硬化田间道, 修建蓄水池和排水沟, 在项目区塬边和田间道两侧种植农田防护林; 从经济发展上, 复垦全部废旧窑洞, 修建梯田, 在梯田田坎上栽植田坎经济林, 增加耕地面积, 提高土地利用率和产出率。按照此规划思路, 复垦全部废旧窑洞87眼(占地面积13.26 hm²), 动工总面积109.41 hm², 通过整治, 修建梯田田块101个, 修建田间道(砂石路)1.07 km, 改建、新建生产路(土路)6.55 km, 修建排水沟1.06 km, 修建涝池1座, 种植国槐(*Sophora japonica*, 田间防护林)1 764株, 种植沙棘(*Hippophae rhamnoides*, 梯田埂坎防护林)2 256株[图2(a)]。此方案设计建成纵横交错的生态景观廊道, 确保水土流失治理率和土地利用率达到100%, 新增耕地面积11.49 hm², 经济效益大幅度提高。

方案2: 经济效益主导型。为了发展地方经济, 切实实现精准扶贫脱贫的目标, 以



(a) 方案1

(b) 方案2



(c) 方案3

(d) 方案4



图2 项目区不同土地整治方案设计

Fig. 2 Different land management plan for the project area

经济效益为中心, 社会、生态效益辅之。整治中, 复垦全部废旧窑洞, 充分利用现有道路等农田设施, 修建梯田, 硬化田间道, 修建排水沟, 在项目区外围和田间道两侧种植农田防护林, 增加耕地面积, 提高土地利用率和产出率。按照此规划思路, 复垦全部废旧窑洞 87 眼 (占地面积 13.26 hm^2), 总动工面积 109.41 hm^2 , 通过整治, 修建梯田田块 77 个, 修建田间道 (砂石路) 1.06 km, 改建、新建生产路 (土路) 6.37 km, 修建排水沟 1.05 km, 种植国槐 (农田防护林) 2 698 株 [图 2(b)]。此方案设计确保水土流失治理率和土地利用率达到 90% 以上, 新增耕地面积 13.10 hm^2 , 产出率大幅度提高。

方案 3: 基础设施配套型。为了改善区域生产生活条件, 切实提高基础设施配套水平, 以合理布局田间道路、改善农田水利设施和维护农田生态系统为主。整治中, 保留部分仍然用于家畜或家禽养殖、农机具存放、柴草堆放等的窑洞, 修建梯田, 强化水土流失治理, 提高田间道路标准, 修建蓄水池和排水沟, 在项目区四周和田间道两侧种植农田防护林。按照此规划思路, 复垦废弃窑洞 21 眼 (占地面积 3.12 hm^2), 总动工面积 99.28 hm^2 , 通过整治, 共修建梯田田块 74 个, 修建田间道 (水泥路) 1.06 km, 改建、新建生产路 (土路) 7.18 km, 修建排水沟 1.05 km, 修建涝池 1 座, 种植国槐 (农田防护林) 2 537 株 [图 2(c)]。此方案设计改变了区域的基础设施配套条件, 新增耕地面积 3.87 hm^2 , 使区域生产生活条件大幅改善。

方案 4: 民生服务保障型。充分考虑服务民生意愿, 按照民众需要确定建设内容和建设标准, 满足民众所需。整治中, 复垦全部废旧窑洞, 修建梯田, 硬化道路, 修建蓄水池, 在田间道两侧种植农田防护林。按照此规划思路, 复垦全部废旧窑洞 87 眼 (占地面积 13.26 hm^2), 总动工面积 109.41 hm^2 , 通过整治, 共修建梯田田块 68 个, 修建田间道 (水泥路) 1.06 km, 改建、新建生产路 (土路) 7.32 km, 修建涝池 1 座, 种植国槐 (农田防护林) 1 887 株 [图 2(d)]。此方案设计, 保障民生服务, 新增耕地面积 16.85 hm^2 , 项目实施的群众基础更牢固。

2.3 投入产出指标选取

综合考虑土地整治项目的经济、社会、生态效益, 结合国内外已有的土地整治效益评价的指标体系研究成果, 根据 DEA 模型要求选取项目总投资 (为预算总投资扣除劳动力投资的剩余部分)、劳动力投入作为投入指标; 产出指标从社会角度选取新增耕地率、人均年纯收益增量, 从经济角度选取单产增加值、静态投资收益率, 从生态角度选取植被覆盖率。各方案投入产出数据见表 1。

表 1 方案投入产出数据

Table 1 Input and output data of each schema

评价指标		方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
投入	项目总投资/万元	213	209	243	210
	劳动力投入/工日	9 281	8 424	9 894	8 992
	单产增加值/(元/ hm^2)	1 420.78	1 446.54	973.54	2 603.69
	静态投资收益率/%	7.94	8.00	5.84	11.22
产出	新增耕地率/%	10.50	11.97	3.90	15.40
	人均年纯收益增量/%	2.03	2.01	1.71	2.83
	植被覆盖率增量/%	1.00	0.58	0.55	0.52

注: 因预算定额中, 人工费取费标准偏低, 单独以劳动力投入的形式出现; “项目总投资”为预算总投资扣除劳动力投资的剩余部分。

3 结果与分析

3.1 传统DEA方法

采用传统的DEA方法,运用DEA p2.1平台从产出角度用BC²模型对4个方案进行效率分析,结果见表2。可以看出:方案1和4达到了DEA有效,规模效益不变;方案2只有纯技术效率有效,但其规模效益递增;方案3各项效率均未实现有效且其规模效益递减。因此,方案1和方案4均为可选方案,但这两个方案到底哪一个最佳,无法选择,更不能体现决策者的意愿。

3.2 对输出指标建立9标度AHP判断矩阵并测算结果

根据AHP模型分析需要,以产出指标为准则层,以4个备选方案为方案层,以最优方案为目标层,建立层次结构模型,逐层采用两两比较确定因素间的相对重要性值,建立判断矩阵,并进行权重测算。

构造出产出指标判断矩阵(其判断矩阵和一致性检验结果见表3),可以看出5个产出指标的权重为 $\omega_{i0}=(0.497, 0.105, 0.245, 0.105, 0.047)$ 。以单产增加值为例构建4个方案的判断矩阵(其判断矩阵和一致性检验结果见表4),可知4个方案的单产增加值权重 $\omega_{i1}=(0.128, 0.395, 0.060, 0.417)$;依次测算得出4个方案的静态投资收益率、新增耕地率、人均年纯收益增量、植被覆盖率的权重依次为: $\omega_{i2}=(0.067, 0.533, 0.128, 0.273)$ 、 $\omega_{i3}=(0.171, 0.401, 0.055, 0.373)$ 、 $\omega_{i4}=(0.304, 0.429, 0.061, 0.205)$ 、 $\omega_{i5}=(0.658, 0.085, 0.145, 0.113)$,其一致性检验结果指标CR依次为0.075、0.046、0.039、0.065,均符合 $CR < 0.1$,满足一致性检验要求,故判断矩阵构建合理,权重可用。将5个产出指标的权重与4个方案的5个产出指标权重综合得到最终4个方案的综合权重 $\omega_i=(0.175, 0.400, 0.070, 0.355)$ (表5)。

3.3 AHP-DEA模型计算结果

在进行AHP-DEA模型测算之前,为了保证计算效率值不大于1,将每项投入和产出指标分别以其最大值、最小值为基值,进行标准化处理,结果见表6。

表2 不加AHP约束DEA运算结果

Table 2 DEA operation results without AHP constraint

方案	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模效益状态
1	1.000	1.000	1.000	不变
2	0.932	1.000	0.932	递增
3	0.657	0.711	0.924	递减
4	1.000	1.000	1.000	不变

注:规模效率反映的是实际规模与最优生产规模的差距,纯技术效率反映的是DMU在一定(最优规模时)投入要素的生产效率。综合技术效率=纯技术效率×规模效率。

表3 产出指标判断矩阵

Table 3 Judgment matrix of output indicators

产出指标	单产增加	静态投资收益率	新增耕地率	人均年纯收益增量	植被覆盖率
单产增加值	1	5	3	5	7
静态投资收益率	1/5	1	1/3	1	3
新增耕地率	1/3	3	1	3	5
人均年纯收益增量	1/5	1	1/3	1	3
植被覆盖率	1/7	1/3	1/5	1/3	1

注:权重 $\omega_{i0}=(0.497, 0.105, 0.245, 0.105, 0.047)$,一致性比例 $CR=0.028 < 0.1$,满足一致性检验。

表4 判断矩阵(单产增加值-方案)

Table 4 Comparison matrix (yield added value-scheme)

单产增加值	方案1	方案2	方案3	方案4
方案1	1	1/3	3	1/5
方案2	3	1	7	1
方案3	1/3	1/7	1	1/5
方案4	5	1	5	1

注:权重 $\omega_{i1}=(0.128, 0.395, 0.060, 0.417)$, $CR=0.039 < 0.1$,满足一致性检验。

表5 综合权重

Table 5 General weight

方案	单产增加值	静态投资收益率	新增耕地率	人均年纯收益增量	植被覆盖率	ω_i
	0.497	0.105	0.245	0.105	0.047	
方案1	0.064	0.007	0.042	0.032	0.031	0.175
方案2	0.196	0.056	0.098	0.045	0.004	0.400
方案3	0.030	0.013	0.013	0.006	0.007	0.070
方案4	0.207	0.029	0.092	0.022	0.005	0.355

表6 输入输出指标标准化处理结果

Table 6 Standardized processing results of input and output indicators

方案	投入指标		产出指标				
	项目总投资	劳动力投入	单产增加	静态投资收益率	新增耕地率	人均年纯收益增量	植被覆盖率
1	0.876 5	0.938 0	1.459 4	1.359 6	2.692 3	1.187 1	1.923 1
2	0.860 1	0.851 4	1.485 9	1.369 9	3.069 2	1.175 4	1.115 4
3	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.057 7
4	0.864 2	0.908 8	2.674 5	1.921 2	3.948 7	1.655 0	1.000 0

应用AHP法对输出指标两两比较建立判断矩阵，经计算该矩阵为一致性判断矩阵，其特征根为 $\lambda\omega=5.126 9$ ，相应的特征矩阵为

$$B = \begin{bmatrix} -4.127 & 5.000 & 3.000 & 5.000 & 7.000 \\ 0.200 & -4.127 & 0.333 & 1.000 & 3.000 \\ 0.333 & 3.000 & -4.127 & 3.000 & 5.000 \\ 0.200 & 1.000 & 0.333 & -4.127 & 3.000 \\ 0.143 & 0.333 & 0.200 & 0.333 & -4.127 \end{bmatrix}$$

对于方案1，建立AHP-DEA模型：

$$\begin{cases} \max P_1 = 1.459 4\mu_1 + 1.359 6\mu_2 + 2.692 3\mu_3 + 1.187 1\mu_4 + 1.923 1\mu_5 \\ 0.876 5\omega_1 + 0.938 0\omega_2 - 1.459 4\mu_1 - 1.359 6\mu_2 - 2.692 3\mu_3 - 1.187 1\mu_4 - 1.923 1\mu_5 \geq 0 \\ 0.860 1\omega_1 + 0.851 4\omega_2 - 1.485 9\mu_1 - 1.369 9\mu_2 - 3.069 2\mu_3 - 1.175 4\mu_4 - 1.115 4\mu_5 \geq 0 \\ 1.000 0\omega_1 + 1.000 0\omega_2 - 1.000 0\mu_1 - 1.000 0\mu_2 - 1.000 0\mu_3 - 1.000 0\mu_4 - 1.057 7\mu_5 \geq 0 \\ st \quad 0.864 2\omega_1 + 0.908 8\omega_2 - 2.674 5\mu_1 - 1.921 2\mu_2 - 3.948 7\mu_3 - 1.655 0\mu_4 - 1.000 0\mu_5 \geq 0 \\ 0.876 5\omega_1 + 0.938 0\omega_2 = 1 \\ B \cdot \mu \geq 0 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0 \end{cases}$$

式中： $\omega = (\omega_1, \omega_2)^T$ ； $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5)^T$ 。

应用Matlab的inprog函数对方案1求解，得到其最优解为：

$(\omega_1, \omega_2) = (0.131 6, 0.003 6)$ ， $(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5) = (0.108 6, 0.090 9, 0.525 4, 0.102 8, 0.029 9)$ ，目标函数的最优值 $P_1 = 1.000 0$ 。

同样建立其他3个方案的AHP-DEA模型并应用Matlab对其求解，方案2、3、4的最优解依次为：

$(\omega_1, \omega_2) = (0.527 0, 0.473 0)$ ， $(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5) = (0.648 5, 0.524 4, 0.326 3, 0.681 8, 0.517 0)$ ，目标函数的最优值 $P_2 = 0.864 5$ ；

$(\omega_1, \omega_2) = (0.972\ 9, 0.027\ 1)$, $(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5) = (0.167\ 6, 0.199\ 8, 0.066\ 2, 0.234\ 0, 0.314\ 3)$, 目标函数的最优值 $P_3 = 0.652\ 7$;

$(\omega_1, \omega_2) = (0.511\ 4, 0.820\ 8)$, $(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5) = (0.364\ 7, 0.285\ 5, 0.001\ 0, 0.348\ 5, 0.041\ 6)$, 目标函数的最优值 $P_4 = 0.963\ 8$ 。

3.4 结果分析

从计算结果可以看出, 方案1、2、3、4的最优值分别为1.000 0、0.864 5、0.652 7、0.963 8, 说明方案1为最有效方案, 方案4次之, 方案2和方案3效率太差, 为无效方案。

根据评价结果反思具体设计方案: 方案1生态经济并重型, 重点是在项目区塬边和田间道两侧种植国槐构建农田防护林, 复垦窑洞, 在复垦后的田坎上种植沙棘形成生态经济廊道, 不仅加强了生态建设, 而且沙棘除了超强的抗旱、防风固沙等生态价值外, 沙棘果具有很高的营养价值、药用价值和经济价值, 能使区域农民增产增效, 为区域经济快速可持续发展奠定了坚实的基础, 实现了生态效益和经济效益显著提升。

方案4民生服务保障型, 在长期惯性思维等的影响下, 农户对土地利用方式难以很快做出重大的改变, 但农民在长期的生产实践中, 最了解区域情况、最清楚各项工程建设对“三农”发展的重要作用和建设重点, 所提出的建设方案最符合当地民众所需, 所需成本低, 实现的效益最高; 另外, 通过基础设施配套建设、涝池建设等, 提高了蓄水保塬能力, 改善了生产生活条件, 使土地整治的服务功能充分发挥出来, 实现了生态、经济、社会三效益的有机统一, 具有较好的示范带动作用, 方案较为可行。

方案2经济效益主导型, 充分利用了现有的资源, 投资成本最低(比方案4略少), 实现的新增耕地面积比方案4少, 可实现的经济效益最高, 可实现的生态和社会效益远不如方案4, 方案的可行性较差; 方案3基础设施配套型, 重在基础设施的建设, 投入成本最高, 保留部分窑洞, 新增耕地面积最低, 植被覆盖率较低, 可实现的经济效益最低, 社会效益和生态效益与方案4相当, 方案的可行性更差。

通过传统的DEA模型和AHP-DEA模型对土地整治项目设计方案的评价结果对比可知, AHP-DEA模型的评价结果更加贴合实际, 最终在该项目的实施中采取了第一种方案, 由此说明方案比选的结果与实际情况完全相符。从AHP-DEA模型选取方案的测算过程可以看出, 此研究方法在土地整治工程设计方案论证、比较和实施评价等环节, 能得出较为客观的综合效益评价结果, 为土地整治工程设计方案比选评价提供了比较的依据和标准。

4 结论与讨论

1) 本文以庆阳市西峰区肖金镇双桐村土地整治项目为例, 设计出了4种较为合理的项目工程建设方案, 并在选择2项投入指标和5项产出指标构建评价指标体系的基础上, 采用AHP-DEA模型, 对4个可行方案进行了比选, 结果与实际情况相符。

2) 采用AHP-DEA模型, 对生态经济并重型、经济效益主导型、基础设施配套型和民生服务保障型4种方案进行评价, 结果显示该4种方案的最优值依次为1.000 0、0.864 5、0.652 7、0.963 8, 表明方案1(生态经济并重型)为最优方案, 方案4(民生服务保障型)次之。

3) 从研究可知, 要切实提高土地整治项目的实施效果, 在方案设计中要充分兼顾生

态经济效益,注重民生服务意识,一味地强调经济效益、基础设施建设等某一方面,都会造成土地整治项目实施效益低下。同时,在评价指标选择时,指标体系必须具有多投入、多产出特性,所选择的产出指标要充分考虑经济、社会、生态3个方面,不能顾此失彼。

4) AHP-DEA模型把传统DEA方法对输入输出数据的客观分析与决策者的主观偏好结合起来,综合了层次分析法和数据包络分析模型的优点,又使缺点互补,评价结果符合实际,说明AHP-DEA模型用于土地整治项目设计方案比选切实可行。在指标的选取上概括而又具体,从而构建的指标体系更加科学,这为开展土地整治项目设计方案的比选提供了更为科学合理的手段,从土地整治项目工程设计的主要角度提出了建议,搭建了土地整治项目设计方案与项目实施效益评价的桥梁,为合理评价、更好地开展土地整治工作提供了参考和借鉴。

参考文献(References):

- [1] 鄯宛琪,朱道林,汤怀志. 中国土地整治战略重塑与创新 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 1-8. [YUN W Q, ZHU D L, TANG H Z. Reshaping and innovation of China land consolidation strategy. Transactions of the CSAE, 2016, 32(4): 1-8.]
- [2] 刘彦随. 科学推进中国农村土地整治战略 [J]. 中国土地科学, 2011, 25(4): 1-8. [LIU Y S. Scientifically promoting the strategy of reclamation and readjustment of rural land in China. China Land Science, 2011, 25(4): 1-8.]
- [3] 管棚,金晓斌,杨绪红,等. 中国农用地整理项目安排与耕地资源分布的协调性研究 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(2): 226-234. [GUAN X, JIN X B, YANG X H, et al. Study on the coordination between farmland consolidation and cultivated land resources in China. Journal of Natural Resources, 2015, 30(2): 226-234.]
- [4] CHENG W S, DU Z Q, CAO C, et al. Assessing rural land consolidation based on ecosystem service: A case study of Qingyang in Western China [J]. Remote Sensing and Smart City, 2015, 64: 423.
- [5] 程文仕,乔麒强,刘志,等. 基于RAGA-PPC模型的土地整治综合效益评价——以庆阳市15个土地整治项目为例 [J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 257-261. [CHENG W S, QIAO H Q, LIU Z, et al. Assessment of comprehensive benefits from land remediation based on RAGA-PPC model—A case study of 15 projects in Qingyang city of Gansu Province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016, 36(4): 257-261.]
- [6] 黄辉玲,吴次芳,张守忠. 黑龙江省土地整治规划效益分析与评价 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 240-246. [HUANG H L, WU C F, ZHANG S Z. Benefits analysis and evaluation on land consolidation planning in Heilongjiang Province. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 240-246.]
- [7] 杜鑫昱,夏建国,章大容. 四川省土地整理项目绩效评价 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 514-524. [DU X Y, XIA J G, ZHANG D R. Evaluation of performance of land consolidation projects in Sichuan Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(4): 514-524.]
- [8] 龙花楼. 论土地整治与乡村重构 [J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1019-1028. [LONG H L. On land remediation and rural space reconstruction. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(8): 1019-1028.]
- [9] 谢向向,张安录,杨蒙. 土地整治绩效空间差异及投入优先序——以湖北省为例 [J]. 资源科学, 2016, 38(11): 2058-2071. [XIE X X, ZHANG A L, YANG M. Spatial differences in land consolidation performance and investment priority in Hubei Province. Resources Science, 2016, 38(11): 2058-2071.]
- [10] 罗畅,夏春光,杨庆媛,等. 灾毁土地复垦的经济效益研究——以重庆市北碚区为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2005, 30(6): 1138-1141. [LUO C, XIA C G, YANG Q Y, et al. Disaster research—The economic benefits of land reclamation in Chongqing Beibei District, for example. Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition), 2005, 30(6): 1138-1141.]
- [11] 吴冠岑,刘友兆,付光辉. 基于熵权可拓元模型的土地整理项目社会效益评价 [J]. 中国土地科学, 2008, 22(5): 40-46. [WU G C, LIU Y Z, FU G H. Social benefit evaluation of land reconsolidation projects based on entropy weighted extentic matter element model. China Land Science, 2008, 22(5): 40-46.]
- [12] 严金明,夏素华,夏春云. 土地整理效益的分析评价与指标体系的建立 [J]. 国土资源情报, 2005(2): 36-42. [YAN J

- M, XIA S H, XIA C Y. Analysis and evaluation of land consolidation benefit and the establishment of index system. *Land and Resources Information*, 2005(2): 36-42.]
- [13] 吴明发, 周飞, 胡贵明, 等. 土地整理效益评价——以湛江市丰收农场土地整理项目为例 [J]. *资源开发与市场*, 2011, 27(11): 995-997. [WU M F, ZHOU F, HU G M, et al. Evaluation of land consolidation benefits in Zhanjiang Harvest Farm Land Consolidation Project, for example. *Resources Development and Market*, 2011, 27(11): 995-997.]
- [14] 祁瑶, 蒲春玲, 陈英杰, 等. 土地整理综合效益评价研究——以阜康市滋泥泉子镇为例 [J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(3): 557-564. [QI Y, PU C L, CHEN Y J, et al. Analysis on the evaluation of comprehensive benefit of land consolidation—A case study of Ziniquanzi Town, Fukang city. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(3): 557-564.]
- [15] 杨俊, 王占岐, 金贵, 等. 基于 AHP 与模糊综合评价的土地整治项目实施后效益评价 [J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(8): 1036-1043. [YANG J, WANG Z Q, JIN G, et al. Post-benefit evaluation of land consolidation project implementation based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation. *Resources and Environment in Yangtze Basin*, 2013, 22(8): 1036-1043.]
- [16] 张贞, 魏朝富, 李萍, 等. 西南丘陵山区土地整理方案比选研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(10): 98-105. [ZHANG Z, WEI C F, LI P, et al. Comparisons of land consolidation projects in the hilly and mountainous, southwestern China. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(10): 98-105.]
- [17] 刘元芳, 郑艳东, 赵娇娇, 等. 基于能值分析方法的农村土地整治效益评价 [J]. *水土保持研究*, 2013, 20(2): 191-195, 200. [LIU Y F, ZHENG Y D, ZHAO J J, et al. Research of benefit evaluation of rural land remediation based on energy analysis method. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(2): 191-195, 200.]
- [18] 赵微. 基于格序结构的土地整理效益评价 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(S2): 338-343. [ZHAO W. Benefits assessment of land consolidation projects based on lattice order theory. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(S2): 338-343.]
- [19] 樊敏, 刘耀林, 吴艳娟, 等. 基于云模型的土地整理生态影响评价研究 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2008, 33(9): 986-989. [FAN M, LIU Y L, WU Y J, et al. Ecological impact evaluation for land consolidation based on cloud mode. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(9): 986-989.]
- [20] 李国安. 因子分析法在土地整理后效益分析与评价中的应用 [J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2005, 18(1): 20-23. [LI G A. Application of fact analysis method to benefit analysis and appraisal of land redevelopment. *Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition)*, 2005, 18(1): 20-23.]
- [21] 潘珍妮, 刘应宗, 高红江. 农村土地综合整治项目效益评价方法研究 [J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2012, 12(5): 45-48, 60. [PAN Z N, LIU Y Z, GAO H J. Evaluation method for benefit of comprehensive consolidation of rural land resources. *Journal of Northwest A & F University (Social Science Edition)*, 2012, 12(5): 45-48, 60.]
- [22] 王云霞, 南灵. 基于 SEM 的土地整理项目“三农”效益评价 [J]. *中国土地科学*, 2015, 29(3): 75-81. [WANG Y X, NAN L. Benefits evaluation of the land consolidation project based on SEM in the context of the “Three agricultural issues”. *China Land Sciences*, 2015, 29(3): 75-81.]
- [23] 吴小庆, 王亚平, 何丽梅, 等. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(6): 714-719. [WU X Q, WANG Y P, HE L M, et al. Agricultural eco-efficiency evaluation based on AHP and the DEA model—A case of Wuxi city. *Resources and Environment in Yangtze Basin*, 2012, 21(6): 714-719.]
- [24] 王羽佳, 李华强, 刘沛清, 等. 基于改进 DEAHP 模型的支路综合脆弱性评估方法 [J]. *电网技术*, 2016, 40(4): 1249-1256. [WANG Y J, LI H Q, LIU P Q, et al. Branch comprehensive vulnerability assessment method based on improved DEAHP model. *Power System Technology*, 2016, 40(4): 1249-1256.]
- [25] 钱龙霞, 张韧, 王红瑞, 等. 基于 Logistic 回归和 DEA 的水资源供需月风险评价模型及其应用 [J]. *自然资源学报*, 2016, 31(1): 177-186. [QIAN L X, ZHANG R, WANG H R, et al. Monthly risk assesment model of water supply and demand based on Logistic regression and DEA and its application. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(1): 177-186.]
- [26] 朱茵, 孟志勇, 阚叔愚. 用层次分析法计算权重 [J]. *北方交通大学学报*, 1999, 23(5): 119-122. [ZHU Y, MENG Z Y, KAN S Y. Determination of weight value by AHP. *Journal of Northern Jiaotong University*, 1999, 23(5): 119-122.]
- [27] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006. [YE Y C, KE L H, HUANG D Y. *System Comprehensive Evaluation Technology and Its Application*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006.]
- [28] 盛昭瀚, 朱乔. 数据包络分析理论方法应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1995. [SHENG Z H, ZHU Q. *Data Envelopment Analysis (DEA) Theory Application*. Beijing: Science Press, 1995.]

Comparison and Selection of Land Consolidation Planning Schemes Based on AHP-DEA Model

CHENG Wen-shi, QIAO Hong-qiang, LIU Xue-lu, HUANG Xin

(College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To promote the comprehensive land consolidation results of specific land consolidation project, the key is to design different schemes and select the best one. In this paper, the project of land consolidation for Shuangtong Village in Qingyang city of Gansu Province, China, was chosen as an example. Four schemas were designed for the land consolidation project for different perspectives: schema equally emphasizing on ecology and economy, schema dominated by economic benefits, schema matched with infrastructure and schema guaranteeing people's livelihood. Two indicators, total investment and labor input, were chosen according to the items, the investment level and efficiency measurement of the project. Another five indicators were chosen according to yield to set up indicator system, which are the yield added value per unit area, the static return on investment return, the rate of increased farmland, the increment of annual net income per capita and the increment of vegetation coverage. With the two groups of indicators, a DEA model with AHP constraint cone was created and then the four schemes were compared. The values of the four schemes from No. 1 to No. 4 were as follows: 1.000 0, 0.864 5, 0.652 7, 0.963 8, suggesting the first scheme (the schema equally emphasizing on ecology and economy) was the best one, followed by the fourth scheme (the schema guaranteeing people's livelihood), then the second scheme (dominated by economic benefits) and finally the third scheme (schema matched with infrastructure). The study showed that the DEA model could combine the traditional objective analysis of input and output data with the subjective preference of decision-maker and adopt the advantages of AHP and DEA could produce more objective and accurate evaluation results than that only by AHP or DEA. The study also demonstrated that both ecological and economic benefits should be considered to promote the result of land consolidation. People's wish to improve livelihood should also be considered when designing land project scheme. The study provided scientific methods for comparing and selecting the design scheme of land consolidation project, put forward suggestion for the main perspective of designing land consolidation plans, and provided preference for reasonable evaluation and conduction of land consolidation.

Key words: land consolidation; planning scheme; analytic hierarchy process model (AHP); data envelopment analysis (DEA); Qingyang city