DOI:10.3880/j.issn.1003-9511.2018.03.004

基于 Shapley 值修正的跨区域水电项目收益分配研究

曹文英,袁汝华

(河海大学商学院,江苏 南京 211100)

摘要:跨区域水利水电建设项目因涉及众多利益主体,在各自区域内难以通过行政、经济等手段协调,导致项目长期搁置。依据公平兼顾效率、收益与风险对称等原则,运用修正的 Shapley 值模型来分析跨区域多个主体之间的合作对策问题,对各参与方最终分配到的收益比例进行修正协调,解决跨区域水电项目建设过程中收益分配不均的问题,达到收益公平化的结果。

关键词:修正 Shapley 值模型;跨区域;水电项目;收益分配

中图分类号:F283 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-9511(2018)03-0016-05

2016 年国务院发布了“十三五”攻坚扶贫计划,强调可以通过水库移民、修建水电工程等方式有效消除贫困,改善民生。在水电项目的开发过程中,跨区域水电项目的建设最为复杂,涉及众多项目参与者。为了促进多方共同参与水电项目的开发,需对水电项目的收益进行合理划分。本文根据“动态博弈”理论中的 Shapley 值模型,对水电项目跨区域建设过程中所得收益的合理分配进行研究,并结合实际情况,对模型进行修正,以确保各主体之间合作的顺利进行。

目前,学者们对于收益分配理论的研究多聚焦于产学研、供应链和虚拟企业等领域。

a. 从产学研的角度对收益分配进行优化。刘云龙等[1]在研究如何对产学研领域中联盟各方的收益进行分配时,提出先分析影响联盟中收益分配方案的因素,再建模求出联盟中各方的收益分配比例。梁喜等[2]引入多重系数,利用 Shapley 值法分析不同模式下的产学研联盟收益分配状况。李巍等[3]利用合作博弈的分析框架,建立初始状态下的利益分配模型,对产学研协作共同体进行研究。张根明等[4]将控制权配置与再谈判机制引入传统产学研协同合作机制中,对技术价值不确定状况下的利益分配进行最优化。陶丹等[5]在传统博弈论模型中,加入纵向一体化、纵向合作和政府补贴优化路径,对产学研收益分配进行对比分析。

b. 从供应链的角度对收益分配进行改进。Giannoccaro 等[6]对供应链领域各企业之间的合作模式进行了分析,从中找出对该合作模式最终收益分配结果产生影响的各因素,并建立基于各因素基础之上的方案模型。范德成等[7]探讨了 Shapley 值法在造船供应链收益分配中的应用,并进行改进。房进军等[8]基于文献[7],建立了 Stackelberg 博弈模型,对旅游供应链上不同企业的收益分配进行计算与协调。黄勇[9]利用 Shapley 值法对供应链上各合作者的贡献度进行计算,提出并完善了目标价格制度与收益分配机制。常宏远等[10]基于 Shapley 值法构建了供应链协同联盟体的收益分配模型,降低了各主体间的不平等。

c. 从虚拟企业的角度对收益分配进行研究。王愚等[11]根据管理学和谐管理理论中的和谐度概念,利用 Shapley 值法改进了原有模型中无差异参与人的不足。包国宪等[12]基于“均衡性”与“功能性”原则,构建了适用于虚拟企业的收益分配指标体系。

综上所述,有关跨区域水电项目领域中收益分配问题的研究较少,没有形成一个主流、系统的收益分配方法。通过参考相关文献,发现多数的收益分配方案考虑影响因素单一,建立的模型较为简单,求解过程不够严谨,不能广泛应用在具体的项目案例中。基于以上情况,运用修正的 Shapley 值模型,拟定基于考虑众多影响因素的跨区域水电项目收益分配方案,并用实例验证,将理论与实际情况相结

基金项目:国家自然科学基金(71774048)

作者简介:曹文英(1993—),女,硕士,主要从事水利水电技术经济及管理研究。E-mail:cwy0525@163.com

合,以期为相关研究提供理论参考,也为跨区域水电项目运行过程中涉及的收益分配问题提供解决方案。

1 影响跨区域水电项目收益分配的因素

在跨区域水电项目建设过程中,其项目的参与者包括多个政府部门以及社会企业,其中政府部门是主要的参与者,因此本文研究对象重点为两个省市的政府部门。两个省的政府部门既有合作的意愿又有利益方面的冲突。为了保证水电项目的顺利运行实施,在对项目所获收益进行分配时,有必要对影响收益分配的各主要因素进行分析。通过查阅相关的文献,本着"风险与收益对称"的原则,认为影响跨区域水电项目收益分配的主要有以下4个因素。

a. 投入比重。水电项目中的投入包括土地、水资源、资金、劳动力等要素。在项目实施过程中,各参与方的投入不仅影响项目整体的收益情况,也直接影响对各参与者最终利益和责任义务的分配。在其他影响因素不变的情况下,项目参与者在项目中获得的收益应与其项目投入成正比[13]。

b. 风险分担。跨区域水电项目建设周期较长,未知的风险也较复杂。结合跨区域水电项目在实际运营中遇到的风险并参考相关文献,将风险分为五类,包括政治风险、市场风险等。在每一类风险下对应着多个细分的风险因素。分担风险时,对于自身实力较强、能够承受并把控风险的项目参与者,应多承担一些项目的风险,相应地,也获得更高的项目收益。

c. 价值贡献。跨区域水电项目属于大型公益工程,建设和使用跨区域水电项目过程中涉及诸多项目参与者,各项目参与者自身的能力和对项目运行实施的贡献度不同。在项目周期内,水电项目可能产生发电、防洪、供水、航运、旅游等贡献,有些贡献仅针对特定的地区与人群(利益相关者)。为了确保项目的持续进行,有必要采用恰当的收益分配方法激励各项目参与者做出必要的贡献或牺牲,所以在拟定各项目参与者最终所能获得的收益分配比例过程中,需要将价值贡献度作为衡量标准之一。

d. 合同执行度。在跨区域水电项目的建设和运营期间,如果某一方不能很好地按照合同要求履行自身的义务,做出假公济私等不道德行为,将使整个项目的收益受到影响,也会直接影响其他项目参与者最终所能分配的收益[14]。为了杜绝这种情况的发生,将参与者对合同的执行程度纳入项目收益分配的考核指标中,激励项目参与者在项目周期内采取积极有效的行为。

2 跨区域水电项目收益分配的Shapley值模型

Shapley值模型在博弈论中是一种普遍适用的、用于解决多个参与者之间合作问题的主流方法,依据贡献度对各参与者的收益比例做出合理分配。本文主要研究跨区域水电项目中两省通过合作所能获得的最终收益分配比例,同样适用于该模型。考虑到项目实际运行过程中其他影响收益分配的因素,对Shapley值模型进行补充完善,使其更贴合实际,可以有效地运用到跨区域水电项目的实践中。

项目合作过程中,当各参与者采取的经济活动没有矛盾冲突时,参与者数目的增加也会带来项目整体收益的增加。各参与者最终获得的收益分配比例可以运用Shapley值模型根据各参与者对项目的价值贡献度来确定[15]。定义如下:

a. 假设$I=\{1,2,\cdots,n\}$是项目中n个参与者的集合,I中任意一个子集s均有相对应的一个实值函数$v(s)$,符合以下条件:

$$v(\varphi)=0 \tag{1}$$

$$v(s_1\cup s_2)\geqslant v(s_1)+v(s_2)\quad(s_1\cap s_2=\varphi,s_1,s_2\subseteq I) \tag{2}$$

b. 设$v(i)$为参与者i单干项目时所得的收益;$\varphi_i(v)$为参与者i选择与其他参与者以合作方式开发项目所获得的收益,满足:

$$\sum_{i=1}^{n}\varphi_i(v)=v(I) \tag{3}$$

$$\varphi_i(v)\geq v(i)\quad(i=1,2,\cdots,n) \tag{4}$$

则在集合I中各参与者最终获得的收益为

$$\varphi(v)=\{\varphi_1(v),\varphi_2(v),\cdots,\varphi_n(v)\} \tag{5}$$

$$\varphi_i(v)=\sum_{s\in si}\frac{(n-|s|)!(|s|-1)!}{n!}[v(s)-v(s\backslash i)] \tag{6}$$

式中:s_i表示集合I中包含参与者i的所有子集;$|s|$表示子集s中的元素数量;$v(s)$表示子集s的整体收益。

3 Shapley值修正的跨区域水电项目收益分配模型

3.1 模型建立

运用Shapley值模型对项目收益进行分配是建立在考虑合作中各参与者对项目总收益的贡献程度上的,在计算过程中,假设各参与者承担的风险是一样的,未考虑实际情况中风险等因素对收益分配比例的影响。将各参与者投入比重、风险分担等因素纳入收益分配方案的影响因素中,对Shapley值模型完善并修正,得到一个趋于合理、更符合实际的项

目收益分配方案。

在对 Shapley 值模型进行修正过程中,影响收益方案的各因素构成集合 $L=\{j\}$,其中 $j=1,2,3,4$,分别代表投入比重、风险分担、价值贡献、合同执行度等 4 个对项目收益产生直接影响的要素。假定在集合 D 中第 i 个参与者对第 j 个影响因素的修正测量值为 a_{ij},则 4 个因素经过修正后的测量值见表 1。

表 1　Shapley 值修正的测量值

参与者	投入比重	风险分担	价值贡献	合同执行度
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}

依据表 1 可知在跨区域水电项目中,对收益分配比例产生影响的 4 个因素测量值形成的系数矩阵 $\boldsymbol{A}$ 为

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} a_{11},a_{12},a_{13},a_{14} \\ a_{21},a_{22},a_{23},a_{24} \end{bmatrix} \tag{7}$$

矩阵 $\boldsymbol{A}$ 归一化之后,得到矩阵

$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix} b_{11},b_{12},b_{13},b_{14} \\ b_{21},b_{22},b_{23},b_{24} \end{bmatrix} \tag{8}$$

跨区域水电项目修建运行过程中,为了拟定项目各参与者最终所能获得的收益比例,需要邀请专家对 4 个影响因素的重要程度进行打分,整理数据后确定这 4 个因素对分配比例的影响程度,得出系数矩阵 $\lambda=[\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,\lambda_4]^{\mathrm{T}}$,则:

$$\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{\lambda}=\eta=[\eta_1,\eta_2]^{\mathrm{T}} \tag{9}$$

式中:η_1,η_2 分别为 4 个影响因素对项目中两省所能获得收益份额的综合影响系数。两省分配到的最终收益为

$$\varphi_1(v)'=\varphi_1(v)+\left(\eta_1-\frac{1}{2}\right)v(s) \tag{10}$$

$$\varphi_2(v)'=\varphi_2(v)+\left(\eta_2-\frac{1}{2}\right)v(s) \tag{11}$$

式中:$v(s)$ 为两省合作开发跨区域水电项目所获得的总收益。

3.2　参数的修订过程

a. 投入比重向量的确定。计算两省修建跨区域水电项目的投入不仅包括初始资金投入,还包含了修建过程中追加的资金,以及其他资本的投入,如人力、土地等。对于投入比重的确定,很难以准确的数值衡量,在双方合作之初,需要通过协商来确定投入比重向量 a_{11}、a_{21}。

b. 风险分担向量的确定。构建风险评价指标体系,在体系构建过程中通过层次分析法对每一层指标确定权重,请相关专家对每层风险因素打分,从而得到跨区域水电项目中两省政府部门对于项目风险的分担向量,分别为 a_{12},a_{22}。风险评价指标体系构建见图 1。

计算过程中,将跨区域水电项目中两省政府承担的风险因素划分为五类,列为二级指标,记为 $C_i(i=1,2,\cdots,5)$;再将每一类二级指标 C_i 细分为三级指标,列出每一类二级指标下的子风险因素,记为 $C_{ij}(i,j=1,2,\cdots,5)$。构建指标体系后请专家两两比较每一层风险因素相对重要程度后打分,分值取为 1 ~9,1 代表该风险因素对项目影响极小,3 代表影响较小,5 代表影响一般,7 代表影响较大,9 代表影响极大。进而确定 C_i 所含低层风险因素相对于 C_i 的权重,以及 C_i 的权重向量,依此类推,最终得到跨区域水电项目中两个政府部门的风险分担向量。

c. 价值贡献向量的确定。跨区域水电项目中两省政府部门对该项目运行实施所贡献的价值,也

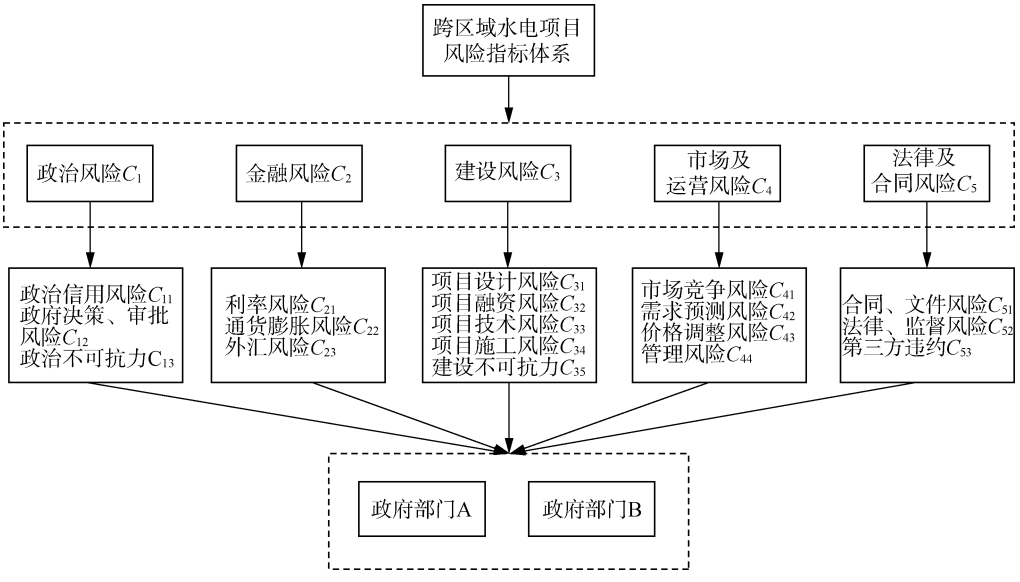

图 1　风险评价指标体系

被纳入项目收益分配方案的影响因素。价值贡献度主要反映两省政府部门对项目的积极性,价值贡献指标的确定可以请专家打分。两省的贡献向量分别为 a_{13},a_{23}。

d. 合同执行度向量的确定。合同执行度的评判主要依据两省政府部门按照合同规定完成任务的进度情况。可以邀请专家或独立的第三方对项目的任务进度情况打分,进而确定两者的合同执行度向量 a_{14},a_{24}。

e. $\boldsymbol{\lambda}$ 的确定。鉴于每个项目的外在和内部环境不一样,不同的收益分配影响因素对项目的影响程度也不一致。如在偏远落后地区,投入比重对项目最终收益分配方案会产生更大的影响,因此,对于综合影响系数矩阵 $\boldsymbol{\lambda}$ 的确定,需要因时、因地制宜。本文采用专家打分法确定 $\boldsymbol{\lambda}$。请相关人员对 4 个因素进行评分,再对打分表汇总整理以及归纳,最终确定 $\boldsymbol{\lambda}$。

4 实例应用

4.1 工程概况

黑山峡河段地处中国西部甘肃省和宁夏回族自治区的交界地带,是最后一个可以在黄河上游地区建造峡谷高坝大库的河段,在该河段修建水电项目可以响应国家 2016 年 12 月提出的"十三五"脱贫攻坚计划,改善西北地区的贫困局面。因对河段开发的功能定位和收益分配方案的认识不完全统一,尚未对黑山峡河段的开发方案做出决策。河段目前的开发方案倾向一级开发方案。本文就一级开发方案对宁甘两省(区)的收益分配问题进行有针对性的分析,以期为宁甘两省(区)及有关部门对黑山峡河段开发达成共识提供基础和支撑[16]。

在一级开发方案中,项目全生命周期为 57 年(建设期 7 年,生产期 50 年)。在第 6 年年底,项目逐渐投入使用。生命周期内累计税后利润,即两省合作开发项目所获得的总收益 $v(s)$ 为 357.76 亿元,若由宁夏单独负责项目建设运行,需要补偿甘肃因水库淹没带来的损失,即 $v(1)$ 为 198.26 亿元。而由甘肃单独负责项目建设运行所带来的收益等于四级开发方案整体收益扣除方案中建设宁夏大柳树低坝电站带来的全部收益和小观音低坝的一半收益,即 $v(2)$ 为 140.09 亿元。

4.2 运用 Shapley 值模型的收益分配方案

由式(6)可知宁甘两省(区)在此次共同开发水电项目中所分配到的利润分别为:$\varphi_1(v)$ = 207.97 亿元;$\varphi_2(v)$ = 149.80 亿元,即宁夏可以获得利润 207.97 亿元,甘肃可以获得利润 149.80 亿元。通过对比两省合作前后各自获得的收益,可以看出合作后收益均有一定幅度的增加,说明两省合作开发该水电项目的必要性。

4.3 运用修正 Shapley 值模型的收益分配方案

考虑影响收益分配的各因素,对两省获得的初始收益数值进行补充完善,得到最终的收益分配数值。

投入比重向量的确定。根据两省在合作过程中对资金、物力、人力等的投入,经双方协商确定宁夏区所占投入比重 a_{11} 为 0.58,甘肃省所占投入比重 a_{21} 为 0.42。

风险分担向量的确定。利用层次分析法以及请专家打分评价可得两省在合作中的风险分担向量 a_{12}、a_{22} 分别为 0.55、0.45。

价值贡献向量的确定。鉴于合作双方在该水电项目建设过程中均需依据合同规定尽力完成项目建设,同时应对某些未知状况的发生,所以无法精确衡量其贡献度,假设两省贡献相同,a_{13}、a_{23} 均为 0.5。

合同执行度向量的确定。需要在该水电项目完工之后做出评价,检查两省是否严格依据合同规定完成相应的任务,暂定两省在项目建设过程中均严格按照合同的各项规定,即 a_{14}、a_{24} 均为 0.5。

$\boldsymbol{\lambda}$ 的确定。依据各专家对 4 个因素的重要程度进行打分,结合在项目施工过程中的实践经验,最终确定各因素的重要程度,得出 4 个影响因素对该水电项目的影响向量 $\boldsymbol{\lambda} = (0.4, 0.25, 0.15, 0.2)^{\mathrm{T}}$。

依据式(7)可知,跨区域水电项目中对项目的收益分配方案产生影响各因素构成的矩阵 $\boldsymbol{A}$ 为

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 0.58, 0.55, 0.5, 0.5 \\ 0.42, 0.45, 0.5, 0.5 \end{bmatrix}$$

则各因素对两省最终收益分配结果的综合影响向量 $\boldsymbol{\eta} = [\eta_1, \eta_2]^{\mathrm{T}} = \boldsymbol{A} \times \boldsymbol{\lambda} = [0.54, 0.46]^{\mathrm{T}}$。

在确定 η_1,η_2 后,根据式(10)、(11)确定两省分配的最终收益为:$\varphi_1(v)'$ = 222.28 亿元;$\varphi_2(v)'$ = 135.48 亿元。

5 结 论

跨区域水电项目的建设涉及多方利益博弈。为了保证项目顺利实施,本文运用修正 Shapley 值模型对项目收益进行合理分配,实例验证并得出以下结论:

a. 运用修正 Shapley 值模型的收益分配方案体现公平合理原则。根据 Shapley 值理论,收益分配主要依据各参与者对项目的贡献,忽略了项目实际修建运营中各参与者对风险的承担以及各种资金与非资金投入等。在项目实际建设运行中,合作双方

对于风险承担的能力和比例不尽相同,对项目的投入和对合同的执行力度也不一样,将投入比重等其他三方面因素列入收益分配方案的考核因素中,可以使分配方案趋于公平合理。

b. 运用修正 Shapley 值模型的收益分配方案可以有效促进各参与者采取积极措施投入项目建设中。通过案例可以看到,各参与者选择合作开发水电项目可以增加项目整体收益,且采用 Shapley 值模型的收益分配方案可以使各自所获项目收益比之前有显著增加,这样就会促使各参与者为了谋求自身和项目整体收益而寻求合作者,选择最佳的合作方式;另外,在收益分配方案中考虑诸多因素的影响也可以激励各参与者采取更积极的态度和方法来参与项目建设,促进各参与者加大对项目的资金和技术投入,管理手段更加多样性,以更积极的态度和更好的解决方案应对项目过程中的风险。因此,笔者认为在跨区域水电项目的合作中运用修正 Shapley 值模型来制定项目最终的收益分配方案具有优越性。

参考文献:

[1] 刘云龙,李世佼. 产学研联盟中合作成员利益分配机制研究[J]. 科技进步与对策,2012,2(3):23-25.

[2] 梁喜,马春梅. 合作创新与利益分配比例对产学研联盟利润的影响[J]. 科技进步与对策,2015,5(16):21-28.

[3] 李巍,花冰倩. 合作博弈框架下产学研协同创新的利益分配策略研究:社会网络分析视角[J]. 商业研究,2016,62(9):39-45.

[4] 张根明,杨思涵. 技术入股型产学研合作创新的利益分配研究:基于技术价值不确定性的新视角[J]. 软科学,2017(10):1-5.

[5] 陶丹,朱德全. 产学研协同创新中产出分享利益分配方式的优化路径[J]. 统计与决策,2017(7):36-40.

[6] GIANNOCCARO I, PONTRANDOLFO P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts[J]. International Journal of Production Economics, 2004, 89 (2): 131-139.

[7] 范德成,胡钰. 造船供应链利益分配问题的 Shapley 值法分析[J]. 哈尔滨工程大学学报,2014(5):649-653.

[8] 房进军,刘玲. 基于 Shapley 值法的旅游供应链利益分配[J]. 物流技术,2015,34(16):114-117.

[9] 黄勇. 基于 Shapley 值法的猪肉供应链利益分配机制研究[J]. 农业技术经济,2017(2):122-128.

[10] 常宏远,邓蕾,涂志刚. 基于合作对策的三级逆向供应链利益分配[EB/OL]. 北京:中国科技论文在线[2017-04-07]. http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201704-71.

[11] 王愚,陈冬梅,张小敏. 基于和谐度的虚拟企业利益分配策略研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版),2010,24(3):294-297.

[12] 包国宪,王学军,柴国荣. 虚拟企业的利益分配与协调研究[J]. 科技进步与对策,2012,29(24):123-126.

[13] 白红飞,王刚. PPP 收益分配模型研究[J]. 合作经济与科技,2015(10):72-74.

[14] 方茜,陈菁,代小平,等. 基于合作收益的跨区域水源保护补偿额测算方法研究[J]. 水利经济,2011,29(2):38-40.

[15] 樊亮. 基于 Shapley 值修正的 PPP 项目利益相关者收益分配研究[D]. 天津:天津大学,2014.

[16] 朱军. 中国水力发电史:1904—2000 第 3 册[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

(收稿日期:2017-11-30 编辑:胡新宇)

(上接第 9 页)

模糊聚类方法对单元堤段的定性指标和定量指标进行相似性度量,构建单元堤段模糊相似矩阵,采用平方法计算出模糊相似矩阵对应的模糊等价矩阵。通过不断调整设置阈值,对单元堤段进行分类,再采用 Mixed-*F* 法和模糊划分熵对分类结论进行了验证,得到单元堤段划分为 6 类的最优分类方式,实现了减少堤防日常管理与安全评价工作量的目的。

参考文献:

[1] 马晓忠,彭雪辉,张友明,等. 基于单元堤段洪泽湖大堤风险分析[J]. 水利水电技术,2015,46(4):143-147.

[2] 杨德玮,盛金保,彭雪辉. 堤防工程单元堤安全等级评判及风险估计[J]. 水电能源科学,2016,34(2):77-81.

[3] 张清明,徐帅,周杨. 堤防工程安全评价单元堤段选取方法研究[J]. 人民黄河,2012,34(1):16-18.

[4] 欧斌. 土质堤防渗流和稳定性状剖析与安全评测方法[D]. 南京:河海大学,2016.

[5] 肖汉光,蔡从中. 特征向量的归一化比较性研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(22):117-119.

[6] 罗兰星. 模糊聚类分析中传递闭包法及其应用[J]. 四川省卫生管理干部学院学报,2005,24(2):108-110.

[7] 周玉新,周志芳,孙其国. 岩体结构面产状的综合模糊聚类分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(13):2283-2287.

[8] BEZDEK J C. Pattern recognition with objective function algorithms[M]. New York:Plenum Press,1981.

[9] 孙才志,王敬东,潘俊. 模糊聚类分析最佳聚类数的确定方法研究[J]. 模糊系统与数学,2001,15(1):89-92.

(收稿日期:2017-12-28 编辑:胡新宇)