

社会网络视角下允许弃权的群决策权力分布

石瑞丽¹, 郭春香^{1†}, 顾新^{1,2}, 李小平¹

(1. 四川大学 商学院, 成都 610065; 2. 成都市软创智业研究会, 成都 610065)

摘要: 针对群体决策的权力分布问题, 考虑决策规则与网络效应的双重影响, 研究社会网络视角下权力的分析方法. 通过分析社会网络的结构、测度节点间的影响程度构建群体的影响网络, 以影响网络为基础对允许弃权的 Banzhaf 指数进行拓展, 提出网络决策权力的概念及测定方法, 并对其性质及影响因素进行分析. 结果表明: 处于网络中心的个体, 会因拥有更多“规则”以外的权力而成为关键决策者; 而“规则权力”较高的个体, 可能会因处于边缘位置而成为决策中的“弱者”. 所提出的决策权力考虑了决策个体对结果的直接及间接影响, 并提供一种准确反映决策成员贡献程度、识别关键决策者的方法.

关键词: 权力指数; 社会网络; 网络决策权力; 允许弃权; 群体决策

中图分类号: C931; F224

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.0346

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 石瑞丽, 郭春香, 顾新, 等. 社会网络视角下允许弃权的群决策权力分布 [J]. 控制与决策, 2020, 35 (11): 2599-2608.

Power analysis of voting games with abstention based on social networks

SHI Rui-li¹, GUO Chun-xiang^{1†}, GU Xin^{1,2}, LI Xiao-ping¹

(1. Business School, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Chengdu Soft Creation Intellectual Industry Research Association, Chengdu 610065, China)

Abstract: This paper proposes a novel power index considering the dual influence of voting rules and social network effect. We analyzed the influence of the change of voter's viewpoint on voting result based on the influence network which is designed by constructing the social network of decision group and measuring the degree of influence between nodes. The ability of voters to achieve their own decision purpose by influencing others' behavior is defined as the network power, and a network power measure method is proposed by extending the power index of Banzhaf. The properties and influencing factors of the network power index, and its difference from Banzhaf power and network centrality are analyzed. Results show that the individual at the center of the social network may become the key voter because of having more power outside the 'rule power', and a voter with higher 'rule power' may become a weak power person because of being on the edge of a group. The proposed power takes into account the direct and indirect effects of voters, which provides a method to accurately identify key voters.

Keywords: power index; social networks; network power; voting games with abstention; group decision-making

0 引言

随着科技信息的多样化及社会分工的专业化, 对于那些复杂且重要的决策问题, 往往需要多个决策者参与并通过投票作出抉择. 不同个体的专业背景、知识水平以及判断能力存在差异, 因而在集体决策中分配的投票数也不尽相同. 投票权重分配问题作为群体决策过程的一个重要环节, 一直受到学术界的广泛关注^[1-3]. 自 1954 年 Shapley 提出权力分析问题以来,

人们逐渐认识到, 个体对决策的实际影响程度与投票权重比例并不相等, 部分人的实际影响力较大, 是群体中的关键决策者, 而有些个体可能会出现看似有权而实际无权的情况^[1-2]. 近年来, 社交网络的兴起, 如微信、微博、Facebook 等, 使得个体之间的交流更加方便快捷, 在解决实际问题时个体之间更易形成特定的社会关系网络, 如信任网络、人际网络等^[4-5]. 这些网络中往往存在某些个体, 其地位特殊、影响广泛, 对

收稿日期: 2019-03-23; 修回日期: 2019-05-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71871150, 71471123, 71571126); 中央高校基本科研业务费研究项目 (skqy 201621); 四川大学创新火花项目 (2018hhs-35).

责任编辑: 唐万生.

†通讯作者. E-mail: guochunxiang@scu.edu.cn.

群体的观点或行为有较大的影响作用^[6-8],如明星大V、名人领袖等.这类基于网络的影响力已然成为了互联网时代个体权力的重要组成部分^[9],是权力分析时必需考虑的因素.本文着重关注社会网络视角下群体决策的权力分布问题.

权力分析一直是群体决策研究的焦点问题,在责任分摊、利益分配、冲突消解、股权配置、关键决策者识别等实际问题中具有重要的应用价值^[10-12].经典的权力指数,包括Shapley指数^[11]、Banzhaf权力指数^[2]等,是基于二元选择环境,以群体成员独立无交互为基本假设,被认为是只与决策规则相关的先验权力^[13-14],也称传统权力指数.独立性假设在现实中通常难以实现,作为个体对客观事物进行主观判断的决策过程,难免存在个体偏好及相互影响.因此,部分学者尝试放弃独立性假设,对权力指数进行了拓展研究,较具代表性的有:Owen等^[13]提出的一种基于理想点距离的权力测度方法,Gelman等^[14]提出的基于先验数据的权力分析方法.这些拓展相比传统权力分析更加注重个体的异质性,更加贴合决策的实际.

然而,群体决策活动是复杂的,决策个体之间往往存在一定的社会关系,决策者最终的决定常常受其社会关系的影响.图1描述了实际中常见的一种社会关系,A是独裁者,B、C、D是参谋官.按照传统的权力分析方法(如Banzhaf指数),A的权力指数为1,B、C、D的权力指数均为0.

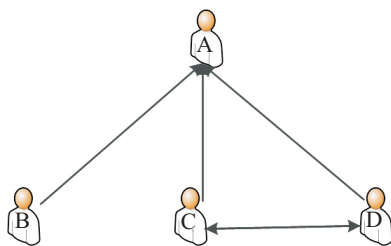


图1 “领导-追随”社会关系示意

事实上,B、C、D真的没有权力吗?熟知历史的人都知道,靠近权力中心的人往往也能拥有较多的权力,也就是说,权力分布与社会关系结构密切相关.Brink等^[15]研究了存在“领导-追随”关系时的权力分布问题,但仅考虑“领导-追随”关系显然不具有普适性.特别是在当今互联网日益普及的时代,人们的人际关系、决策环境复杂多变,权力分析问题亦日渐复杂,存在以下两个不可忽视的问题.

1) 随着互联网技术的发展,种类繁多、规模庞大的虚拟社会网络相继出现,个体之间的交互性增强,观点易受周围环境中其他个体偏好、行为或社会群体选择趋势的影响,且群体中往往存在某些影响力较

大的“意见领袖”^[7-8].在此情形下,决策个体对结果的影响力不再仅与决策规则相关,还与个体所处的社会网络及其在网络中的影响力有关.目前,已有部分学者借助社会网络分析方法研究了决策个体的网络影响力,并应用于关键决策单元的识别^[6]、社交网络中用户影响力的测定^[7-8]以及专家权重的确定^[4]等方面.但网络视角下的影响力主要测度个体在社会网络中的结构重要度,如节点度、中心性、 K -核度和PageRank等^[16],并不考虑群体决策的规则,不能反映个体的决策权力.

2) 决策活动有时涉及到多方案、多维度的选择判断,决策者可能会因难以判断或无法抉择而选择弃权.弃权在实际决策中具有广泛的应用,如联合国决议、总统选举以及行业组织投票等都允许弃权票的存在.基于弃权的普遍性,部分学者将权力分析问题扩展到了非二元环境^[17-18],Freixas等^[17]提出了允许弃权的概率型权力指数的计算方法,并阐述了Banzhaf与Coleman指数之间的关联,为允许弃权的权力分析问题提供了新思路.但目前允许弃权的决策问题的权力分析尚未考虑个体之间的社会关系及交互影响.

综上所述,以往社会网络视角下的节点影响力虽然测度了个体基于网络结构(社会关系)的重要度,但缺乏对决策规则的考虑;而现有权力指数仅反映了决策者的规则权力,未体现其网络影响力,允许弃权的投票问题更是较少涉及网络影响力的考虑.因此,在这样一个网络盛行又不乏规则的时代,分析网络环境下决策个体的权力分布就显得势在必行.

本文从社会网络的视角出发,拟构建体现决策规则及网络效应双重影响的决策权力分析模型,分别提出基于二元选择及非二元决策的权力测度方法,并对权力指数的性质进行探讨,试图准确分析交互式群体决策中成员间的权力分布,为关键决策者的识别提供参考.

1 问题描述

决策权力是指决策个体通过决策行为影响决策结果的能力.群体决策问题可以用有序二元组 $(X, v) = [q; w]$ 描述,其中 $X = \{1, 2, \dots, n\}$ 是决策成员的集合,其投票权重分别为 $W = \{w_i\}_{1 \times n}$, q 为获胜阈值.对于二元选择,即投票在两种观点之间进行且以简单多数为决策规则的情况下,Shapley-Shubik指数法和Banzhaf指数法是较为经典的两种权力测度方法^[18].两者的区别在于:Shapley-Shubik指数的

计算是基于个体排序获胜的概率,而Banzhaf指数的测度是基于组合获胜的概率。

具体而言,Banzhaf指数是指:在某种投票组合中,若个体改变投票将改变原有决策结果,则称该个体为摆动者或关键决策者,在所有可能的组合中该个体成为关键决策者的概率即为其Banzhaf权力指数^[18]。其计算方法为:设群体决策问题的行动集为 $L = \{Y, N\}$,分别表示赞成、反对, $C = (C_Y, C_N)$ 是一个决策组合分布, C_l 为选择 $l(l \in L)$ 的决策者的集合,映射 $v: 2^X \rightarrow \{0, 1\}$ 满足:对任意组合 $C \subseteq X$,当 $w(C) \geq q$ 时, $v(C) = 1$,当 $w(C) < q$ 时, $v(C) = 0$, q 为获胜阈值; v 是单调函数($C \subseteq S \Rightarrow v(C) \leq v(S)$)且有 $v(\emptyset) = 0, v(X) = 1$ 。则个体 i 的Banzhaf指数为

$$B_i = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{C:i \in C} (v(C) - v(C \setminus \{i\})). \quad (1)$$

Banzhaf指数可以扩展应用到允许弃权的决策问题中,令 C_Y, C_A, C_N 分别为赞成、弃权、反对的决策者集合,对于组合 $C = (C_Y, C_A, C_N), C \subseteq X$,当 $w(C_Y) \geq q$ 时, $v(C_Y, C) = 1$;当 $w(C_Y) < q$ 时, $v(C_Y, C) = 0$, q 为获胜阈值。则个体 i 的Banzhaf指数为

$$B_i = \frac{\sum_{C_Y:i \in C_Y} \{v(C_Y, C) - v(C_Y \setminus \{i\}, C_{\cup i})\}}{3^{n-1}}, \quad (2)$$

其中 $C_{\cup i} = (C_Y \setminus \{i\}, C_A, C_N \cup \{i\})$ 。

个体的Banzhaf指数由决策规则及投票权重决定,反映的是决策个体的规则权力。

随着社交网络的普及,决策个体之间的沟通、交流方式发生了巨大改变。理论与实践研究都表明,社会网络广泛存在于群体决策环境中,社会网络的结构与特性决定了人的行为及决策^[19-20]。个体基于社会网络产生的影响力成为权力分析时必然要考虑的因素。社会网络是社会行动者及彼此间关系的集合,群体决策成员之间的社会关系可以描述为一个以个体为节点的社会网络 $G = (X, K, M)$ 。其中: $X = \{1, 2, \dots, n\}$ 为决策成员集合; $K = \{k_i\}_{1 \times n}$ 为节点的权重集合,代表成员的个体属性; $M = \{m_{ij}\}_{n \times n}$ 为节点 i 与 j 之间的关系矩阵, M 为0-1矩阵且 $m_{ii} = 0$ 。

社会网络分析方法为识别群体中的关键决策者提供了新的途径。网络分析视角下的个体权力(影响力)不同于决策规则下的权力,其强调个体基于网络结构的中心性(占据更多的信息与人际关系等)^[6-8]。度中心性是应用最为广泛的网络影响力测度

方法。设在社会网络 $G = (X, K, M)$ 中,节点 i 的度(邻居节点数)为 d_i ,则节点 i 的网络中心度为

$$C_D(i) = \frac{d_i}{n-1}. \quad (3)$$

网络中心度主要体现个体在网络中所处的位置,反映的是行动者通过网络结构所获得的权力。然而,群体决策的结果是基于一定的决策规则产生的,个体对结果的影响程度受到决策规则的影响和限制,网络中心性显然没有反映节点的规则权力。社会网络视角下进行权力分析时不仅应考虑个体对决策结果的直接影响,还应考虑其基于社会网络影响其他个体而获得的影响力,即同时体现个体的网络中心性及规则权力。因此,社会网络视角下,应以群体的影响网络为基础分析个体对决策结果的影响及群体的权力分布。

2 模型构建

2.1 影响网络构建

群体决策过程中,决策个体之间往往存在观点的交互影响,即存在社会影响效应^[21-22]。受社会环境、个体属性(心理、性格、知识水平等)、社会关系(结构、紧密度)等多重因素的影响,个体之间的交互影响程度往往有所差异^[4]。个体之间的影响程度难以准确描述,学者们大多通过关键因素的获取和量化进行预测、衡量和推理^[4-5,20],譬如,根据历史数据进行估计,或用量表分析、因子分析等方法进行评估,亦可基于社会影响理论来衡量^[22]。

社会影响理论认为周围环境对个体行为或观点的影响依赖3个因素:组成信息源的个体数量、他们的紧密度以及他们的社会力量(包括说服力和支持度)^[22-23]。个体之间的影响则主要依赖节点的社会力量以及节点间的关系亲密度。其中个人的社会力量是指其在群体中的“权威度”。

2.1.1 权威度

权威度主要是指个体在群体中的专业性及影响力,主要与其专业知识水平、社会地位等相关。在网络视角下,综合考虑专业性及影响力和决策个体在网络中的相对重要性,给出权威度的定义。

定义1 在社会网络 $G = (X, K, M)$ 中,设节点 i 的专业知识水平为 k_i ,网络中心性为 $C_D(i)$,则 i 的权威度为

$$\lambda_i = k'_i \times C_D(i), \quad (4)$$

其中 k'_i 为 k_i 的规范化值, $k'_i = k_i / \max(K)$ 。实际应用中,个体的专业知识水平 k_i 可以根据专业技术等级、教育背景、职业经历等信息的量化获得。

个体的权威度越高,对他人的影响程度越高,其被说服的难度越大.

2.1.2 关系亲密度

关系亲密度是影响个体交互行为的重要因素.人们常常更愿意接受亲密朋友的观点或行为.社会网络中常用共同邻居的数量来评估节点间的亲密度.

定义2 在社会网络 $G = (X, K, M)$ 中,设节点 i, j 之间的关系亲密度为 γ_{ij} ,则 γ_{ij} 可以用节点 i, j 之间共同邻居的数量进行估计,即

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} \frac{n((\mu_i \cap \mu_j) \cup \{i, j\})}{n(\mu_i \cup \mu_j)}, & m_{ij} = 1; \\ 0, & m_{ij} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

其中: μ_i, μ_j 分别为节点 i, j 的邻居节点的集合, $n(\mu)$ 为集合 μ 中的元素的数量.

观点交互过程中,决策成员之间的关系亲密度越高,观点的相互影响越大,呈正相关.

2.1.3 影响网络

在社会网络 $G = (X, K, M)$ 中,设 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$ 为节点间的影响矩阵, t_{ij} 为节点 i 影响节点 j 的概率, $0 \leq t_{ij} \leq 1$. 决策个体之间观点的影响概率 t_{ij} 受到两者的关系亲密度 γ_{ij} 及个体权威度 λ_i 和 λ_j 的共同作用, $t_{ij} = F(\lambda_i, \lambda_j, \gamma_{ij})$ 且满足:

1) 对于任意决策者 $i, j \in X$, λ_i 与 λ_j 之间的差值增大,则影响概率 t_{ij} 随之增大;

2) 对于任意决策者 $i, j \in X$,两者的亲密度 γ_{ij} 越高,则影响概率 t_{ij} 越大;

3) 对于任意决策者 $i \in X$,设其邻居节点的集合为 μ_i ,则对于任意 $j \in \mu_i$,有 $t_{ij} \in (0, 1]$ 且 $\sum_{j \in \mu_i} t_{ji} \in (0, 1]$.

基于此,令 $\Delta\lambda_{ij} = \lambda_i - \lambda_j$,定义个体 i 影响 $j(j \in \mu_i)$ 的观点的概率为

$$t_{ij} = \frac{1}{1 + e^{-b\Delta\lambda_{ij}}} \frac{\gamma_{ij}}{\sum_{k \in \mu_j} \gamma_{kj}}, \quad (6)$$

其中 b 为影响调节系数,表示个体对权威度差异的敏感度, $b \geq 0$.

由决策个体之间的影响概率 t_{ij} ,构造节点间的影响矩阵 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$,并构建影响网络,作为测定社会网络视角下决策权力的基础.

2.2 网络决策权力测度

网络视角下的决策权力需体现网络影响力以及决策规则双重因素的影响.基于社会网络的决策权力(网络决策权力)可定义为:社会网络环境下,决策个

体通过影响他人行为以实现自身决策目的、满足自身利益需求的能力.

定义3 已知群体决策问题 $(X, v) = [q; w]$ 中群体的社会网络为 $G = (X, K, M)$,行动集为 $L = \{Y, N\}$. 设 $C_l^i(C_l^{\sim i})$ 为决策个体 i 选择 l (不选 l)时,选择 $l(l \in L)$ 的其他决策者的集合,即 $C_l^i, C_l^{\sim i} \subseteq X \setminus \{i\}$,组合 $C_l^i C_l^{\sim i}$ 出现的概率分别为 $\pi(C_l^i), \pi(C_l^{\sim i})$,且 $\pi(C_l^i) \geq 0, \sum_{C_l^i} \pi(C_l^i) = 1$. 决策个体 i 选择 l 时,记为 $O(i) = l$,设节点间的影响矩阵为 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$, t_{ij} 为节点 i 对节点 j 的影响概率,则节点 j 选择 l 的概率为

$$\begin{cases} p(O(j) = l | O(i) = l) = \\ p(O(j) = l) + (1 - p(O(j) = l))t_{ij}; \\ p(O(j) = l | O(i) \neq l) = \\ p(O(j) = l) - p(O(j) = l)t_{ij}. \end{cases} \quad (7)$$

当 $v(C_l^i \cup \{i\}, C) = 1$ 且 $v(C_l^{\sim i}, C) = 0$ 时,称个体 i 处于摆动地位,组合 $C_l^i, C_l^{\sim i}$ 的概率分别为

$$\begin{cases} \pi(C_l^i) = \prod_{j \in C_l^i} p(O(j) = l | O(i) = l) \times \\ \prod_{k \in C \setminus C_l^i} (1 - p(O(k) = l | O(i) = l)); \\ \pi(C_l^{\sim i}) = \prod_{j \in C_l^{\sim i}} p(O(j) = l | O(i) \neq l) \times \\ \prod_{k \in C \setminus C_l^{\sim i}} (1 - p(O(k) = l | O(i) \neq l)). \end{cases} \quad (8)$$

当 l 获胜时,记为 $O = l$,设 l 获胜的组的集合为 V^l ,则个体 i 的网络决策权力为

$$R_i = P(O = l | O(i) = l) - P(O = l | O(i) \neq l) = \sum_{C_l^i \in V^l} \pi(C_l^i) - \sum_{C_l^{\sim i} \in V^l} \pi(C_l^{\sim i}). \quad (9)$$

其相对权力指数为

$$R'_i = \frac{R_i}{\sum_{j \in X} R_j}. \quad (10)$$

当所有组合出现的概率相等,即 $\pi(C_l^i) = \pi(C_l^{\sim i}) = g^{1-n}$ 时,网络决策权力退化为 Banzhaf 指数, $R_i = g^{1-n} \times T_i = B_i$,此时 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n} = O$.

2.3 允许弃权的网络决策权力测度

在实际决策中,决策者可能会因无法抉择或不想表态而选择弃权.弃权在实际决策中的应用十分广泛,有必要对允许弃权时的网络决策权力进行分析.

允许弃权的群体决策可以用 $(X, v) = [q; w, 3, 2]$ 进行描述. 其中 $X = \{1, 2, \dots, n\}$ 为决策成员集, 投票权重为 w_i 且只能投一个选项, $L = \{Y, A, N\}$ 为行动集, 分别为赞成、弃权、反对, q 为阈值. $C = (C_Y, C_A, C_N)$ 是决策的一个组合分布, C_l 为选择选项 $l (l \in L)$ 的决策者集合. v 是单调函数 ($C_Y \subseteq S_Y \Rightarrow v(C_Y, C) \leq v(S_Y, S)$), 对任意组合 $C \subseteq X$, 当赞成票数不低于阈值 q , 即 $w(C_Y) \geq q$ 时, $v(C_Y, C) = 1$; 当 $w(C_Y) < q$ 时, $v(C_Y, C) = 0$, 且有 $v(X, (X, \emptyset, \emptyset)) = 1, v(\emptyset, (\emptyset, \emptyset, X)) = 0$.

在允许弃权的决策中, 决策个体赞成或反对时, 与二元选择时一样, 会试图说服其他个体以获得更多的权力; 当决策个体选择弃权时, 其自身处于无法抉择或不想表态的状态, 缺乏说服其他决策者的动力, 故假设个体弃权时不影响其他决策者的行为.

定义 4 在决策问题 $(X, v) = [q; w, 3, 2]$ 中, 设 $C_Y^i (C_Y^i \subseteq X \setminus \{i\})$ 为除个体 i 外投赞成票的决策者集合, 组合 C_Y^i 出现的概率为 $\pi(C_Y^i)$, 且 $\pi(C_Y^i) \geq 0, \sum_{C_Y^i} \pi(C_Y^i) = 1$. 设群体的社会网络为 $G = (X, K, M)$, 且节点之间的影响矩阵为 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$, 则 i 选择 l 时 j 选择 Y 的概率为

$$\begin{cases} p(O(j) = Y | O(i) = Y) = \\ p(O(j) = Y) + (1 - p(O(j) = Y))t_{ij}; \\ p(O(j) = Y | O(i) = A) = p(O(j) = Y); \\ p(O(j) = Y | O(i) = N) = \\ p(O(j) = Y) - p(O(j) = Y)t_{ij}. \end{cases} \quad (11)$$

令 $\pi(C_Y^{i=Y}), \pi(C_Y^{i=A}), \pi(C_Y^{i=N})$ 分别为个体 i 投赞成、弃权、反对票时组合 C_Y^i 的概率, 则

$$\begin{cases} \pi(C_Y^{i=Y}) = \\ \prod_{j \in C_Y^{i=Y}} p(O(j) = Y | O(i) = Y) \times \\ \prod_{k \notin C_Y^{i=Y}} (1 - p(O(k) = Y | O(i) = Y)); \\ \pi(C_Y^{i=A}) = \\ \prod_{j \in C_Y^{i=A}} p(O(j) = Y | O(i) = A) \times \\ \prod_{k \notin C_Y^{i=A}} (1 - p(O(k) = Y | O(i) = A)); \\ \pi(C_Y^{i=N}) = \\ \prod_{j \in C_Y^{i=N}} p(O(j) = Y | O(i) = N) \times \\ \prod_{k \notin C_Y^{i=N}} (1 - p(O(k) = Y | O(i) = N)). \end{cases} \quad (12)$$

令 V 表示使 Y 获胜的组的集合, 则个体 i 成为关键决策者的情形可以分为以下 3 种情况.

情况 1 $v(C_Y, C) = 1, v(C_Y \setminus \{i\}, C_{\downarrow i}) = 0, C_{\downarrow i} = (C_Y \setminus \{i\}, C_A \cup \{i\}, C_N), i \in C_Y$; 或 $v(C_Y \cup \{i\}, C_{\uparrow i}) = 1, v(C_Y, C) = 0, C_{\uparrow i} = (C_Y \cup \{i\}, C_A \setminus \{i\}, C_N), i \in C_A$.

情况 2 $v(C_Y, C) = 1, v(C_Y, C_{\downarrow i}) = 0, C_{\downarrow i} = (C_Y, C_A \setminus \{i\}, C_N \cup \{i\}), i \in C_A$; 或 $v(C_Y, C_{\uparrow i}) = 1, v(C_Y, C) = 0, C_{\uparrow i} = (C_Y, C_A \cup \{i\}, C_N \setminus \{i\}), i \in C_N$.

情况 3 $v(C_Y, C) = 1, v(C_Y \setminus \{i\}, C_{\downarrow i}) = 0, C_{\downarrow i} = (C_Y \setminus \{i\}, C_A, C_N \cup \{i\}), i \in C_Y$; 或 $v(C_Y \cup \{i\}, C_{\uparrow i}) = 1, v(C_Y, C) = 0, C_{\uparrow i} = (C_Y \cup \{i\}, C_A, C_N \setminus \{i\}), i \in C_N$.

第 1 种情形为个体在赞成和弃权之间摆动时成为关键决策者的情况, 称为 Y - A 网络权力指数, 个体 i 的 Y - A 网络决策权力为

$$R_i^{YA} = p(O = Y | O(i) = Y) - p(O = Y | O(i) = A) = \sum_{C_Y^{i=Y} \cup \{i\} \in V} \pi(C_Y^{i=Y}) - \sum_{C_Y^{i=A} \in V} \pi(C_Y^{i=A}). \quad (13)$$

第 2 种情形为个体在弃权和反对之间摆动时成为关键决策者的情况, 称为 A - N 网络权力指数, 个体 i 的 A - N 网络决策权力为

$$R_i^{AN} = p(O = Y | O(i) = A) - p(O = Y | O(i) = N) = \sum_{C_Y^{i=A} \in V} \pi(C_Y^{i=A}) - \sum_{C_Y^{i=N} \in V} \pi(C_Y^{i=N}). \quad (14)$$

第 3 种情形为个体在赞成与反对之间摆动时成为关键决策者的情况, 称为 Y - N 网络权力指数, 个体 i 的 Y - N 网络决策权力为

$$R_i^{YN} = p(O = Y | O(i) = Y) - p(O = Y | O(i) = N) = \sum_{C_Y^{i=Y} \cup \{i\} \in V} \pi(C_Y^{i=Y}) - \sum_{C_Y^{i=N} \in V} \pi(C_Y^{i=N}). \quad (15)$$

由式 (13)~(15) 可以看出, 3 种情形下的网络权力指数具有以下关系:

$$R_i^{YN} = R_i^{YA} + R_i^{AN}. \quad (16)$$

3 网络权力指数的性质分析

权力指数一般需满足对称性、单调性、哑元性以及有效性等几个性质. 本节将以 Banzhaf 指数的对称性、单调性、哑元性以及弱有效性等 4 个性质为基础

讨论网络决策权力指数的性质特征. 设 $t_i = \{t_{ij}\}_{1 \times n}$ 为节点 i 的影响矩阵, 令 $t_i \setminus t_{ij}$ 表示 t_i 中第 j 个元素等于 0 的矩阵.

定理 1 (对称性) 群体决策 $(X, v) = [q; w]$ 中, 已知影响矩阵 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$, 若 $w_i = w_j$, 则当 $t_i = t_j$, 或 $t_{ij} = t_{ji}$ 且 $t_i \setminus t_{ij} = t_j \setminus t_{ji}$ 时, 有 $R_i = R_j$.

证明 已知 $w_i = w_j$, 故 $\{C_l^i\} = \{C_l^j\}$. 当 $t_i = t_j$ 时, 个体 i 和 j 具有相同的邻居节点且对所有的邻居节点 $k \in \mu_i (\mu_i = \mu_j)$, 有 $t_{ik} = t_{jk}$, 则易得 $p(O(k) = l | O(i) = l) = p(O(k) = l | O(j) = l)$, 由此可得对于任意组合 C_l^i 均存在组合 C_l^j 使 $\pi(C_l^i) = \pi(C_l^j)$, 同理可知 $\{C_l^{\sim i}\} = \{C_l^{\sim j}\}$ 且对于任意组合 $C_l^{\sim i}$ 均存在组合 $C_l^{\sim j}$ 使 $\pi(C_l^{\sim i}) = \pi(C_l^{\sim j})$, 易知 $R_i = R_j$. 同理可证, 当 $t_{ij} = t_{ji}$ 且 $t_i \setminus t_{ij} = t_j \setminus t_{ji}$ 时, 有 $R_i = R_j$. \square

定理 2 (单调性) 群体决策 $(X, v) = [q; w]$ 中, 已知影响矩阵 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$, 若 $w_i \geq w_j$, 则当 $t_i \geq t_j$, 或 $t_{ij} \geq t_{ji}$ 且 $t_i \setminus t_{ij} \geq t_j \setminus t_{ji}$ 时, 有 $R_i \geq R_j$.

证明 当 $w_i \geq w_j$ 时, 对于任意组合 $C_l \subseteq X \setminus \{i, j\}$, 有 $v(C_l \cup \{i\}, C) \geq v(C_l \cup \{j\}, C)$; 又当 $t_i \geq t_j$ 时, 表明对于任意节点 $k \in X \setminus \{i, j\}$, 均有 $t_{ik} \geq t_{jk}$, 则 $p(O(k) = l) + (1 - p(O(k) = l))t_{ik} \geq p(O(k) = l) + (1 - p(O(k) = l))t_{jk}$. 由式 (7) 可知, $p(O(k) = l | O(i) = l) \geq p(O(k) = l | O(j) = l)$, 由此可得对于任意组合 C_l^i 均存在组合 C_l^j 使 $\pi(C_l^i) \geq \pi(C_l^j)$, 同理可知 $\{C_l^{\sim i}\} \geq \{C_l^{\sim j}\}$ 且对于任意组合 $C_l^{\sim i}$ 均存在组合 $C_l^{\sim j}$ 使 $\pi(C_l^{\sim i}) \geq \pi(C_l^{\sim j})$, 故 $R_i \geq R_j$. 同理可证, 当 $t_{ij} \geq t_{ji}$ 且 $t_i \setminus t_{ij} \geq t_j \setminus t_{ji}$ 时, 有 $R_i \geq R_j$. \square

推论 1 若 $w_i = w_j$, 则当 $t_i \geq t_j$ 或 $t_{ij} \geq t_{ji}$ 且 $t_i \setminus t_{ij} \geq t_j \setminus t_{ji}$ 时, 有 $R_i \geq R_j$.

定理 3 群体决策 $(X, v) = [q; w]$ 中, 已知决策个体的 Banzhaf 指数 $B = \{B_i\}_{1 \times n}$, 则对于任意决策个体 i , 当其邻居节点数小于等于 1, 即 $n(\mu_i) \leq 1$ 时, 有 $R_i = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j$.

证明 简单多数决策问题 $(X, v) = [q; w]$ 中, 每个决策者均能随机选择赞成或反对, 即 $p(O(j) = l) = 0.5$.

当 $n(\mu_i) = 0$ 时, 节点 i 不受任何节点的影响也不影响任何其他节点, 是网络中的孤立节点, $R_i = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j = B_i$.

当 $n(\mu_i) = 1$ 时, 设 j 是 i 的邻居节点, 对于任意组合 $C_l^i, C_l^{\sim i} \subseteq X \setminus \{i\}$, 显然有 $\{C_l^i\} = \{C_l^{\sim i}\}$. 故

$$R_i = \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ C_l^{\sim i} \in V^l}} \pi(C_l^i) - \sum_{C_l^{\sim i} \in V^l} \pi(C_l^{\sim i}) = \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ C_l^{\sim i} \in V^l}} \left(\prod_{j \in C_l^i} p(O(j) = l | O(i) = l) \times \prod_{k \in C_l^{\sim i}} (1 - p(O(k) = l | O(i) = l)) \right) - \sum_{C_l^{\sim i} \in V^l} \left(\prod_{j \in C_l^{\sim i}} p(O(j) = l | O(i) \neq l) \times \prod_{k \in C_l^{\sim i}} (1 - p(O(k) = l | O(i) \neq l)) \right) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ C_l^{\sim i} \in V^l}} \prod_{j \in C_l^i} (1 + t_{ij}) \times \prod_{k \in C_l^{\sim i}} (1 - t_{ik}) - \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{\substack{C_l^i \in V^l \\ C_l^{\sim i} \in V^l}} \prod_{j \in C_l^{\sim i}} (1 - t_{ij}) \times \prod_{k \in C_l^{\sim i}} (1 + t_{ik}).$$

因 $n(\mu_i) = 1$, 节点 i 只有一个邻居节点, 则易得

$$R_i = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_l^i}} (1 + t_{ij}) + \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_l^i}} (1 - t_{ij}) - \left(\sum_{\substack{C_l^{\sim i} \in V^l \\ j \in C_l^{\sim i}}} (1 - t_{ij}) + \sum_{\substack{C_l^{\sim i} \in V^l \\ j \notin C_l^{\sim i}}} (1 + t_{ij}) \right) \right\}.$$

此时, $B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j = B_i + t_{ij} \times B_j$, 即

$$B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_l^i}} - \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_l^i}} + \sum_{j \in \mu_i} \left(\sum_{\substack{C_l^j \cup \{j\} \in V^l}} t_{ij} - \sum_{\substack{C_l^{\sim j} \in V^l}} t_{ij} \right) \right\} = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_l^i}} (1 + t_{ij}) + \sum_{\substack{C_l^i \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_l^i}} (1 - t_{ij}) - \left(\sum_{\substack{C_l^{\sim i} \in V^l \\ j \in C_l^{\sim i}}} (1 - t_{ij}) + \sum_{\substack{C_l^{\sim i} \in V^l \\ j \notin C_l^{\sim i}}} (1 + t_{ij}) \right) \right\}.$$

故有 $R_i = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j$. \square

由定理 3, 可以得出以下结论.

推论 2 群体决策 $(X, v) = [q; w]$ 中, 已知决策个体的 Banzhaf 指数 $B = \{B_i\}_{1 \times n}$, 则对于任意决策个体 i , 当 $n(\mu_i) = 2$ 时, 若 $\exists j \in \mu_i, B_j = 0$, 则 $R_i = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j$.

推论 3 群体决策 $(X, v) = [q; w]$ 中, 对于任意决策个体 $i \in X$, 若 $R_i = 0$, 则 $B_i = 0$; 若 $B_i = 0$,

则 $R_i \geq 0$, 当且仅当 $\mu_i = \emptyset$ 时, $R_i = 0$; 当 $R_i = 1$ 时, $B_i \leq 1$, 当且仅当 $\mu_i = \emptyset$ 时, $B_i = 1$.

定理 4 群体决策 $(X, v) = [q; w]$ 中, 已知决策个体的 Banzhaf 指数 $B = \{B_i\}_{1 \times n}$, 则对于任意决策个体 $i, \exists \tau = (\tau_\Gamma)_{\Gamma \subseteq \mu_i}$ 使 $R_i = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j +$

$$\sum_{\Gamma \subseteq \mu_i} \tau_\Gamma \prod_{k \in \Gamma} t_{ik}.$$

证明 已知决策个体 $i \in X$ 的网络决策权力为

$$R_i = \sum_{C_i^j \cup \{i\} \in V^l} \pi(C_i^j) - \sum_{C_i^j \in V^l} \pi(C_i^j) = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_i^j}} \left((1+t_{ij}) \prod_{\substack{h \in C_i^j \\ h \in \mu_i}} (1+t_{ih}) \times \prod_{\substack{k \in C \setminus C_i^j \\ k \in \mu_i}} (1-t_{ik}) \right) + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_i^j}} \left((1-t_{ij}) \times \prod_{\substack{h \in C_i^j \\ h \in \mu_i}} (1+t_{ih}) \prod_{\substack{k \in C \setminus C_i^j \\ k \in \mu_i}} (1-t_{ik}) \right) \right\} - \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \in C_i^j}} \left((1-t_{ij}) \prod_{\substack{h \in C_i^j \\ h \in \mu_i}} (1-t_{ih}) \times \prod_{\substack{k \in C \setminus C_i^j \\ k \in \mu_i}} (1+t_{ik}) \right) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \notin C_i^j}} \left((1+t_{ij}) \times \prod_{\substack{h \in C_i^j \\ h \in \mu_i}} (1-t_{ih}) \prod_{\substack{k \in C \setminus C_i^j \\ k \in \mu_i}} (1+t_{ik}) \right) \right\}.$$

$$B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1+t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1-t_{ij}) - \left(\sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1-t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1+t_{ij}) \right) \right\} + \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{k, j \in \mu_i} \left(\left(\sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j, k \in C_i^j}} t_{ik} + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_i^j, k \in C_i^j}} t_{ik} + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_i^j, k \notin C_i^j}} (-t_{ik}) + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j, k \notin C_i^j}} (-t_{ik}) \right) - \left(\sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j, k \in C_i^j}} (-t_{ik}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \notin C_i^j, k \in C_i^j}} (-t_{ik}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \in C_i^j, k \notin C_i^j}} (t_{ik}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j, k \notin C_i^j}} (t_{ik}) \right) \right).$$

令

$$\begin{aligned} \sum_{C_i^j \cup \{i\} \in V^l, j \in C_i^j, k \in C_i^j} - \sum_{C_i^j \cup \{i\} \in V^l, j \in C_i^j, k \notin C_i^j} &= \tau_1^k, \\ \sum_{C_i^j \cup \{i\} \in V^l, j \notin C_i^j, k \in C_i^j} - \sum_{C_i^j \cup \{i\} \in V^l, j \notin C_i^j, k \notin C_i^j} &= \tau_2^k, \\ \sum_{C_i^j \in V^l, j \in C_i^j, k \in C_i^j} - \sum_{C_i^j \in V^l, j \in C_i^j, k \notin C_i^j} &= \tau_3^k, \\ \sum_{C_i^j \in V^l, j \notin C_i^j, k \in C_i^j} - \sum_{C_i^j \in V^l, j \notin C_i^j, k \notin C_i^j} &= \tau_4^k, \end{aligned}$$

则有

$$B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1+t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1-t_{ij}) - \left(\sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1-t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1+t_{ij}) \right) \right\} + \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{k, j \in \mu_i} (\tau_1^k t_{ik} + \tau_2^k t_{ik} + \tau_3^k t_{ik} + \tau_4^k t_{ik}).$$

易知当 $n(\mu_i) = 2$ 时, 有

$$R_i = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1+t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1-t_{ij}) - \left(\sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1-t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1+t_{ij}) \right) \right\} + \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{k, j \in \mu_i} (\tau_1^k t_{ik} (1+t_{ij}) + \tau_2^k t_{ik} (1-t_{ij}) + \tau_3^k t_{ik} (1-t_{ij}) + \tau_4^k t_{ik} (1+t_{ij})) = \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1+t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \cup \{i\} \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1-t_{ij}) - \left(\sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \in C_i^j}} (1-t_{ij}) + \sum_{\substack{C_i^j \in V^l \\ j \notin C_i^j}} (1+t_{ij}) \right) \right\} + \frac{1}{2^{n-1}} \left\{ (\tau_1^k + \tau_2^k + \tau_3^k + \tau_4^k) t_{ik} + (\tau_1^k - \tau_2^k - \tau_3^k + \tau_4^k) t_{ik} t_{ij} \right\} = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j - \frac{1}{2^{n-1}} (\tau_2^k + \tau_3^k - \tau_1^k - \tau_4^k) t_{ik} t_{ij}.$$

以此类推, 当 $n(\mu_i) \geq 2$ 时, 可得 $R_i = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j + \sum_{\Gamma \subseteq \mu_i} \tau_\Gamma \prod_{k \in \Gamma} t_{ik}$, 其中 Γ 为 μ_i 的子集且 $n(\Gamma) \geq 2, \tau_\Gamma$ 为与集合 $\Gamma \subseteq \mu_i$ 中节点相关的获胜概

率,且 $-\max_{m \in \Gamma}(B_m) \leq \tau_\Gamma \leq \max_{m \in \Gamma}(B_m)$. \square

定理5 群体决策问题 $(X, v) = [q; w, 3, 2]$ 中,网络决策权力指数满足对称性和单调性.

证明与定理1和定理2类似,此略.

定理6 群体决策 $(X, v) = [q; w, 3, 2]$ 中,已知群体的 Banzhaf 指数 $B = \{B_i\}_{1 \times n}$, 影响矩阵 $T = \{t_{ij}\}_{n \times n}$, 则对于任意个体 $i, \exists \tau = (\tau_\Gamma)_{\Gamma \subseteq \mu_i}$, 使 $R_i^{YN} = B_i + \sum_{j \in \mu_i} t_{ij} \times B_j + \left(\sum_{\Gamma \subseteq \mu_i} \tau_\Gamma \prod_{k \in \Gamma} t_{ik} \right)$, 其中 τ_Γ 为与集合 $\Gamma \subseteq \mu_i$ 中节点相关的获胜概率.

证明 决策过程中,每个决策者均能随机选择赞成、弃权或反对,即 $p(O(j) = l) = l/3, l \in L$. 其他证明过程同定理4,详细证明略. \square

4 数值应用

现有11人组成的决策小组 $X = \{1, 2, \dots, 11\}$, 对某一环保项目可行性方案进行投票表决,赞成票数权重过半方案获得通过,允许弃权且投票权重为 $W = \{5, 2, 1, 1, 4, 3, 5, 2, 3, 4, 3\}$. 群体的社会网络如图2所示,节点 v_i 代表决策个体 i , 节点权重即决策者的专业知识水平为 $K = \{9, 8, 4, 5, 3, 2, 8, 9, 6, 6, 2\}$.

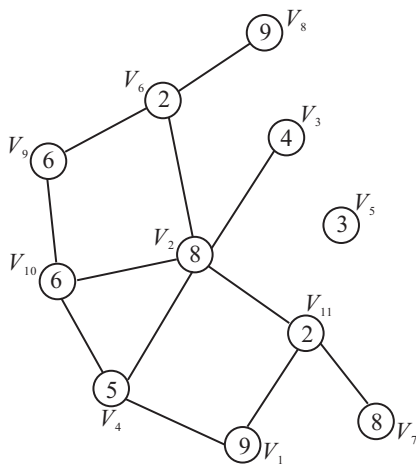


图2 决策群体的社会网络结构图

令影响调节系数 $b = 2$, 计算可得各决策者的网络中心度、Banzhaf 指数及网络决策权力, 结果如表1所示.

网络决策权力反映了决策规则及网络效应的双重影响, 与“规则权力”及网络中心度之间既有关联又有差异. 因为 R_i^{YN} 能更全面地反映决策个体对决策结果的影响程度, 故在此以 R_i^{YN} 指数为例, 主要分析 R_i^{YN} 权力指数与 Banzhaf 指数和网络中心度的差异.

1) 与 Banzhaf 权力指数的比较.

图3展示了各决策者的网络决策权力指数相对于 Banzhaf 指数的变化情况. 由图3可知, 考虑社会网

表1 个体的网络中心度、Banzhaf 指数及网络决策权力

决策者	$C_D(i)$	B_i	R_i^{YN}	R_i^{YA}	R_i^{AN}
v_1	0.2	0.245	0.289	0.283	0.006
v_2	0.5	0.088	0.218	0.188	0.030
v_3	0.1	0.041	0.047	0.045	0.002
v_4	0.3	0.041	0.157	0.126	0.031
v_5	0	0.188	0.188	0.188	0
v_6	0.3	0.137	0.233	0.213	0.020
v_7	0.1	0.245	0.286	0.279	0.007
v_8	0.1	0.088	0.123	0.114	0.009
v_9	0.2	0.137	0.196	0.183	0.013
v_{10}	0.3	0.188	0.257	0.244	0.013
v_{11}	0.3	0.137	0.356	0.312	0.044

络的交互影响时, Banzhaf 指数相对较小的个体11成为了网络决策权力最高的决策者; 而原本拥有最高权力的个体1和个体7, 其网络决策权力却变得相对较小. 特别地, 个体5为群体中的“孤立”节点, 不受网络效应的影响, 其网络决策权力与 Banzhaf 指数相同. 由此表明, 权力分析时, 不考虑社会网络的影响, 可能会造成对成员权责的误判, 不利于识别群体的关键决策者.

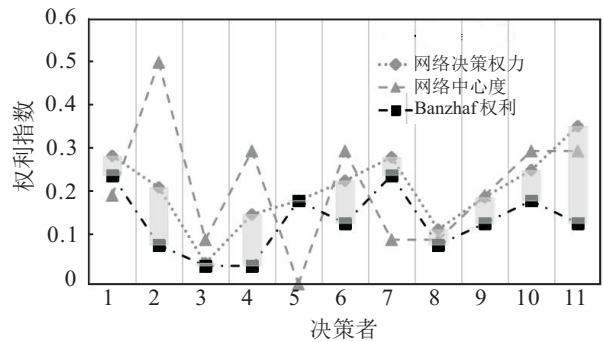


图3 网络决策权力指数、Banzhaf 指数与网络中心度

2) 与网络中心度的比较.

由图3可以看出, 网络决策权力相较 Banzhaf 指数的变动值与节点的网络中心度有较大的相关性, 较大的网络中心度会导致权力指数较大地变化. 为了进一步分析网络中心度对网络决策权力的影响, 令 $dif-power(i) = R(i) - B(i)$, 对于任意个体 $i \in X$, 在保持其他参数或条件不变而其邻居节点数量 d_i 分别为 $1, 2, \dots, 9$ 的情况下分析权力指数的变化情况, 结果如图4所示.

由图4可以看出, 随着邻居节点数量的增加, 个体的 $dif-power(i)$ 不断增加, 即个体的网络中心度越大, 其获得的“规则权力”以外的权力越多, 网络决策权力指数亦越高. 这表明社交广泛的个体更容易获得较高的决策权力. 但两者之间并不存在线性相关性, 主要原因是: 权力指数的变化不仅与节点的网络中心度相关, 还与邻居节点的权力相关, 是网络中心度及邻居节点权力双重影响的结果.

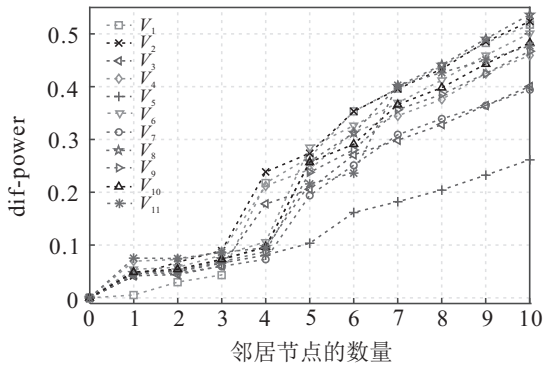


图 4 网络中心度对网络决策权力的影响

5 结 论

本文从社会网络视角出发,考虑决策群体成员之间的交互影响,提出决策权力不仅应体现其决策对结果的直接影响(即规则权力),还需包括通过影响他人而改变结果的能力的理论模型.基于此,界定了“网络决策权力”的内涵,并提出了网络决策权力的分析方法.通过构建社会网络并基于权威度和关系紧密度等因素衡量节点间的影响程度,探讨了决策群体影响网络的构建方法.基于影响网络分析了决策个体观点的改变对决策结果的影响,在此基础上对 Banzhaf 权力指数进行拓展,提出了网络决策权力的测定方法,并证明了网络决策权力指数的对称性和单调性.数值仿真分析结果表明:交互式群体决策问题中,处于网络中心地位的个体,会因比其他个体拥有更多的“规则权力”以外的影响力而成为关键决策者;拥有较高“规则权力”的决策个体,可能会因其处于群体边缘而成为群体中的“弱者”.

网络决策权力可发现经营管理中规则以外的权力,能更好地发掘问题的关键因素,准确掌控公司内部的重要成员,有利于决策效率的提高;也可应用于在线公开投票中关键投票者的识别,以及网络平台舆论发展趋势的预测与引导;对于复杂大群体共识决策中的共识引导、在线购物的网络推荐等亦具有较高的参考价值.影响网络的构建及网络决策权力的实际应用是后续需深入研究的重要内容.

参考文献(References)

[1] Shapley L S, Shubik M. A method for evaluation the distribution of power in a committee system[J]. American Political Science Review, 1954, 48(3): 787-792.

[2] Banzhaf J F. Weighted voting doesn't work: A mathematical analysis[J]. Rutgers Law Review, 1964, 19: 317-343.

[3] 何大义, 陈小玲, 许加强. 多属性群决策问题中基于最小叉熵的权重集成方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(2): 378-384.

(He D Y, Chen X L, Xu J Q. Weight aggregation method based on principle of minimum cross-entropy in multiple attribute group decision-making[J]. Control and Decision, 2017, 32(2): 378-384.)

[4] Wu J, Dai L F, Chiclana F, et al. A minimum adjustment cost feedback mechanism based consensus model for group decision making under social network with distributed linguistic trust[J]. Information Fusion, 2018, 41: 232-242.

[5] Guo C X, Shi R L, Jin M Z. Group decision opinion evolution and simulation based on community and Individual Importance power[J]. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2017, 33(5): 2667-2676.

[6] de Blas C S, Martin J S, Gonzalez D G. Combined social networks and data envelopment analysis for ranking[J]. European Journal of Operational Research, 2018, 266(3): 990-999.

[7] Son J, Kim S B. Content-based filtering for recommendation systems using multiattribute networks[J]. Expert Systems with Applications, 2017, 89: 404-412.

[8] 黄敏学, 王琦缘, 肖邦明, 等. 消费咨询网络中意见领袖的演化机制研究——预期线索与网络结构[J]. 管理世界, 2015(7): 109-121.
(Huang M X, Wang Q Y, Xiao B M, et al. A study on the evolutionary mechanism of the idea leader in the consumer advice network of the expectancy clue and the network structure[J]. Management World, 2015(7): 109-121.)

[9] 陈晓红, 赵翠翠, 杨立. 基于区间直觉模糊数的群决策模型及其在社交网络中应用[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(7): 1842-1852.
(Chen X H, Zhao C C, Yang L. A group decision-making model based on interval-valued intuitionistic fuzzy numbers and its application on social network[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2017, 37(7): 1842-1852.)

[10] Gao J, Yang X, Liu D. Uncertain Shapley value of coalitional game with application to supply chain alliance[J]. Applied Soft Computing, 2017, 56: 551-556.

[11] Yager R R. On using the Shapley value to approximate the choquet integral in cases of uncertain arguments[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2018, 26(3): 1303-1310.

[12] 计国君, 张灵, 杨光勇, 等. 基于战略顾客行为的不同权力结构下供应链绩效[J]. 控制与决策, 2016, 31(3): 458-466.
(Ji G J, Zhang L, Yang G Y, et al. Supply chain performance under different power structures based on strategic customer behavior[J]. Control and Decision, 2016, 31(3): 458-466.)

[13] Owen G, Shapley L S. Optimal location of candidates in ideological space[J]. International Journal of Game

Theory, 1989, 18(3): 339-356.

[14] Gelman A, Katz J N, Bafumi J. Standard voting power indexes don't work: An empirical analysis [J]. *British Journal of Political Science*, 2004, 34(4): 657-674.

[15] Brink R V D, Rusinowska A, Steffen F. Measuring power and satisfaction in societies with opinion leaders: An axiomatization [J]. *Social Choice and Welfare*, 2013, 41(3): 671-683.

[16] Morone F, Makse H A. Influence maximization in complex networks through optimal percolation[J]. *Nature*, 2015, 524(7563): 65-68.

[17] Freixas J, Lucchetti R. Power in voting rules with abstention: An axiomatization of a two components power index[J]. *Annals of Operations Research*, 2016, 244(2): 455-474.

[18] 胡培, 黄深泽, 郭耀煌. 加权投票制的权力分析及测度模型[J]. *管理科学学报*, 2001, 4(6): 66-70.
(Hu P, Huang S Z, Guo Y H. Analysis and measuring model of voting individuals' power on weighted majority rules[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2001, 4(6): 66-70.)

[19] Growiec K, Growiec J, Kamiski B. Social network structure and the trade-off between social utility and economic performance[J]. *Social Networks*, 2018, 55: 31-46.

[20] Lesser O, Naamani-Dery L, Kalech M, et al. Group decision support for leisure activities using voting and social networks[J]. *Group Decision and Negotiation*, 2017, 26(3): 473-494.

[21] Qiu L F, Whinston A B. Pricing strategies under behavioral observational learning in social networks[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2017, 26(7): 1249-1267.

[22] 肖璇, 王铁男, 郝凡浩. 社会影响理论视角的社交媒体持续使用研究[J]. *管理科学学报*, 2017, 20(11): 49-60.
(Xiao X, Wang T N, Hao F H. Research on the continuance of social media from a social influence theory perspective[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(11): 49-60.)

[23] Chang J H, Zhu Y Q, Wang S H, et al. Would you change your mind? An empirical study of social impact theory on Facebook[J]. *Telematics and Informatics*, 2018, 35(1): 282-292.

作者简介

石瑞丽(1988—), 女, 讲师, 博士生, 从事行为决策、群体决策等研究, E-mail: shr1407@163.com;

郭春香(1971—), 女, 教授, 博士生导师, 从事行为决策、运作管理等研究, E-mail: guochunxiang@scu.edu.cn;

顾新(1968—), 男, 教授, 博士生导师, 从事区域创新、知识链管理等研究, E-mail: gx6664@sina.com;

李小平(1976—), 男, 讲师, 博士, 从事组织绩效评价、企业社会责任等研究, E-mail: lixiaoping@scu.edu.cn.

(责任编辑: 孙艺红)

下 期 要 目

机器人抓取检测技术的研究现状 刘亚欣, 等

基于改进萤火虫算法的区域交通信号配时优化 柳长源, 等

基于改进堆叠自动编码器的循环冷却水系统工艺介质温度预测控制方法 左为恒, 等

FMM与改进GBNN模型相结合的多AUV实时围捕算法 陈铭治, 等

基于联合知识表示学习的多模态实体对齐 王会勇, 等

特征加工链选用规律的挖掘、修正及其在工艺决策中的应用 李春磊, 等

十字形二维稀疏混合MIMO相控阵雷达收发阵列设计 王布宏, 等

一种高匹配性的多层代价地图生成算法 张福海, 等

参数未知的离散系统Q-学习优化状态估计与控制 李金娜, 等

基于超级节点的分布式传感器节点定位算法 蒋俊正, 等

凸优化与A*算法结合的路径避障算法 陈光荣, 等

一种基于双编码遗传算法的机动微波接力网组网方法 陈克斌, 等