

聚类分析方法在企业班组管理中的应用

沈小伟¹ 王飞跃¹ 程长建¹ 刘希未¹

摘要 定量分析班组人员行为及其与生产管理的作用关系对做好企业的班组管理具有重要的指导意义. 本文采用社会网络分析方法, 对某石化企业的人员行为和管理制度数据进行了聚类分析. 分析结果表明, 在人员行为方面, 不同班组之间的凝聚程度差异较大, 同班组中某个人对整个班组的凝聚程度有较大影响; 而在管理制度方面, 同类管理制度具有相似的表现, 但存在特殊的节点, 对总体表现有较大影响; 与管理制度相比, 人员行为具有更小的最小方差分组指数, 说明人员行为比管理制度能够更均匀地进行分类. 上述的量化评估结果对班组人员行为管理和制度的改进具有指导意义.

关键词 社会网络, 聚类分析, 班组管理, 量化评估

引用格式 沈小伟, 王飞跃, 程长建, 刘希未. 聚类分析方法在企业班组管理中的应用. 自动化学报, 2012, 38(4): 563–569

DOI 10.3724/SP.J.1004.2012.00563

Application of Clustering Analysis to Team Management

SHEN Xiao-Wei¹ WANG Fei-Yue¹ CHENG Chang-Jian¹ LIU Xi-Wei¹

Abstract Quantitative behavior pattern analysis of workers and its application to operation are very significant for team management. In this paper, clustering analysis of workers and management rules are implemented respectively via social network analysis method. The results indicate that the divergence of teams' cohesion is significantly high, and the behavior of some individual workers has great influence on the cohesion of the team as a whole. To management system, the rules in the same category have similar performance, but some solo rules have disparate performance to others in the same category. Comparing with the management system, the behavior of works has smaller minimum variance grouping coefficient, which indicates that it can be grouped more equably. Above quantitative evaluation can be used in supervising the behavior of workers and improving the management rules.

Key words Social network, clustering analysis, team management, quantitative evaluation

Citation Shen Xiao-Wei, Wang Fei-Yue, Cheng Chang-Jian, Liu Xi-Wei. Application of clustering analysis to team management. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(4): 563–569

班组是企业创造价值的最小组织单元, 是企业安全稳定的第一道防线. 也是企业管理的出发点和最终落脚点, 班组管理的好坏直接关系到企业的执行力和竞争力, 关系到企业生产任务的完成和各项经济指标的实现^[1].

为实现管理目标, 各个企业往往制定了一系列的班组管理制度, 约束或激励班组人员的行为, 促使工作目标的实现. 然而, 要实现对班组的良好管理, 需要定量分析班组人员的行为规律及其与班组管理制度的相互关系, 只有这样, 才能对班组进行有针对性的管理.

但是, 作为一种群体组织, 班组各个成员的职能

不同, 并且存在复杂的相互影响关系, 在进行定量分析时, 不能简单地还原为对每个成员的分析, 需要从整体上研究其组织行为特性. 社会网络分析方法从“关系”的角度出发, 着眼于系统的结构和状态, 能从整体上把握系统的特性, 进行多层次的分析, 在微观、宏观之间建立连接, 可以将定量资料、定性资料和图表数据结合起来, 使分析更加透彻和深入, 因此在组织行为的研究中受到人们的重视, 并得到广泛应用^[2–4]. 如著名的霍桑试验就建立了一个继电器装配车间里的 14 名工人的友谊和游戏网络, 对其组织行为进行了分析研究^[4–5]. 又如 Kapferer 通过对赞比亚卡布韦镇一家服装厂的社会网络数据的分析, 成功地预测了工人的罢工运动^[6]. 然而, 以往基于社会网络的研究, 多集中于对如友谊关系、信任关系等非正式或隐含的组织关系研究, 这类研究常常面临数据匮乏、数据难以获取等困难^[7–10].

中国石油化工股份有限公司茂名分公司经过几代人艰苦卓绝的努力和长期实践, 建立了一套切实可行的标准化管理考核体系. 贯彻这种管理体系, 茂名乙烯创造了 79 个月的连续安全生产的运转记录, 具有极大的经济学价值和管理学价值. 为了更为深

收稿日期 2011-05-23 录用日期 2011-10-27
Manuscript received May 23, 2011; accepted October 27, 2011
国家自然科学基金 (70890084, 60921061, 90920305) 资助
Supported by National Natural Science Foundation of China (70890084, 60921061, 90920305)
本文责任编辑 刘成林
Recommended by Associate Editor LIU Cheng-Lin
1. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室 北京 100190
1. State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

入地挖掘其价值,中国科学院自动化研究所以平行系统理论^[11-17]为指导,把平行管理方法^[18-20]应用到石化企业的生产实践之中,与茂名石化合作研究开发了分析和评估企业管理制度的平行管理系统,并收集了大量的员工工作行为数据,为班组人员的行为规律及其与班组管理制度的相互关系的相关研究提供了丰富的基础数据。

本文以茂名乙烯裂解车间收集到的实际数据为依据,对班组人员和管理制度进行了聚类分析.文章首先介绍了聚类分析方法,并定义了聚集性指数、特异性指数和最小方差分组指数等指标,为班组人员行为和管理制度的定量分析提供量化的标准;然后对收集的人员行为数据进行数据处理,构建了企业班组人员和管理制度的二分网络;最后对人员行为和管理制度进行聚类,分析了结果的管理学价值,并对人员管理和制度完善提出了切实可行的建议,为进一步提升车间的班组管理提供了指导。

1 分析方法描述

企业生产系统是一个多指标、多层次的复杂系统,系统的表现受到多种不确定甚至不被认知的因素的影响.聚类分析作为一种多元分析方法,与诸如回归分析、判别分析等分析方法相比,一方面可以克服单变量分析方法不能全面、综合地描述系统的不足,另一方面不需要预先知道待分析的系统类别个数和结构等先验信息,因此适合于对复杂生产系统的分析.该算法将指定样本分组成为由类似的对象组成的多个类,通过定义样本之间的距离,保证距离近的对象聚为一类,从而最终实现一个满意的聚类结果.在机器学习、数据挖掘、模式识别等多个领域存在着广泛的应用^[21-25].

聚类方法有多种,本文采用系统聚类法.该方法是最常用的聚类方法,且可以清晰地展现聚类的过程,便于观察和分析.系统聚类法按聚集方向的不同,可以分为自底向上的凝聚法和自顶向下的分割法.在本文中采用凝聚法,初始时把每个样本作为一类,通过不断地合并两个距离最近的类,最终把所有节点聚为一类.

当采用系统聚类法进行分析时,样本间距离和类间距离的定义是计算结果有效性的关键.本文首先依据文献[25]给出了样本间距离和类间距离的定义.为了量化分析结果,本文还定义了聚集性指数、特异性指数以及最小方差分组指数三个量,用来量化分析车间班组的管理效果.下面分别介绍各个概念的定义.

1.1 样本间距离和类间距离

样本间距离表明了样本之间的相似相异性程度.

常用的样本间距离有:绝对值距离、欧几里得距离、闵可夫斯基距离、契比雪夫距离、定性变量样本间距离等多种定义方式,鉴于本文所研究的人员—管理制度网络网络权值的离散性质,采用定性变量样本间距离方式定义样本间距离.设样本为

$$\mathbf{x}_{(i)} = (\delta_i(1, 1), \delta_i(1, 2), \dots, \delta_i(1, r_1), \delta_i(2, 1), \delta_i(2, 2), \dots, \delta_i(2, r_2), \dots, \delta_i(m, 1), \delta_i(m, 2), \dots, \delta_i(m, r_m))^T, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中, n 为样本的个数, m 为项目的个数, r_k 为第 k 个项目的类目数, $r_1 + r_2 + \dots + r_m = p$,

$$\delta_i(k, l) = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 个样本中第 } k \text{ 个项目的数} \\ & \text{据为第 } l \text{ 个类目时} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

称 $\delta_i(k, l)$ 为第 k 个项目的类目 l 在第 i 个样本中的反应.两个样本 $\mathbf{x}_{(i)}, \mathbf{x}_{(j)}$, 若 $\delta_i(k, l) = \delta_j(k, l) = 1$, 则称这两个样本在第 k 个项目的第 l 类目上 1-1 配对;若 $\delta_i(k, l) = \delta_j(k, l) = 0$, 则称其在第 k 个项目的第 l 类目上 0-0 配对;若 $\delta_i(k, l) \neq \delta_j(k, l)$, 则称其在第 k 个项目的第 l 类目上不配对.记 m_1, m_0 和 m_2 分别为 $\mathbf{x}_{(i)}$ 和 $\mathbf{x}_{(j)}$ 在 m 个项目上所有类目中 1-1 配对、0-0 配对和不配对的数目.显然有

$$m_0 + m_1 + m_2 = p \quad (3)$$

则样本 $\mathbf{x}_{(i)}$ 和 $\mathbf{x}_{(j)}$ 之间的距离可定义为

$$d_{ij} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

本文采用离差平方和法定义类间距,基于方差分析思想,即如果分类分得正确,则同类样本之间的离差平方和应该较小,不同类样本之间的离差平方和应该较大.设类 G_K 和 G_L 合并成新的类 G_M , 则 G_K, G_L, G_M 的离差平方和分别为

$$\begin{aligned} W_K &= \sum_{i \in G_K} (\mathbf{x}_{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_K)^T (\mathbf{x}_{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_K) \\ W_L &= \sum_{i \in G_L} (\mathbf{x}_{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_L)^T (\mathbf{x}_{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_L) \\ W_M &= \sum_{i \in G_M} (\mathbf{x}_{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_M)^T (\mathbf{x}_{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_M) \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $\bar{\mathbf{x}}_K, \bar{\mathbf{x}}_L$ 和 $\bar{\mathbf{x}}_M$ 分别是 G_K, G_L 和 G_M 的重心.所以 W_K, W_L 和 W_M 反映了各自类内样本的分散程度.如果 G_K 和 G_L 这两类相距较近,则合并后所增加的离差平方和 $W_M - W_K - W_L$ 应较小;反之,则应较大.于是定义 G_K 和 G_L 之间的平方距离为

$$D_{KL}^2 = W_M - W_K - W_L \quad (6)$$

它的递推公式为

$$D_{MJ}^2 = \frac{n_J + n_K}{n_J + n_M} D_{KJ}^2 + \frac{n_J + n_L}{n_J + n_M} D_{LJ}^2 + \frac{n_L}{n_J + n_M} D_{KL}^2 \quad (7)$$

其中, n_K, n_L, n_M 和 n_J 分别为 G_K, G_L, G_M 以及另外任何一个类 G_J 中节点的个数, 利用该式可由未合并 G_K 和 G_L 两类之前的各类间距离计算出合并之后的各类间距离.

1.2 聚类结果量化评估指数

设 A 为所有 N 个节点的总体, $A_i \subset A$ 为由标签为 i 的节点组成的子类, $A_{ij} \in A_i$ 为 A_i 中的第 j 个节点, a_{ij} 为 A_{ij} 在聚类结果中所处的位置. 为了描述子类的凝聚程度, 用以定量揭示班组凝聚程度或者同类管理制度之间的相似性程度, 本文定义标签为 i 的节点子类 A_i 的聚集性指数为

$$C(A_i) = \frac{E \left(\sum_{j=1}^{N_i-1} \sum_{k=j}^{N_i} |a_{ij} - a_{ik}| \right)}{\sum_{j=1}^{N_i-1} \sum_{k=j}^{N_i} |a_{ij} - a_{ik}|} \quad (8)$$

式中, $\sum_{j=1}^{N_i-1} \sum_{k=j}^{N_i} |a_{ij} - a_{ik}|$ 为 A_i 中所有节点两两距离之和, $E(\sum_{j=1}^{N_i-1} \sum_{k=j}^{N_i} |a_{ij} - a_{ik}|)$ 为假设节点均匀分布时, A_i 中所有节点两两距离之和的期望值, 当节点总数 N 足够大时, 其值近似为 $\frac{NC_{N_i}^2}{3}$. 由式 (8) 的定义可知, 当子类 A_i 中的个体在聚类树中相距越远时, $C(A_i)$ 的值就越小, 因此该值能够用来度量子类的凝聚程度. 而增加期望一项后便排除了节点规模因素的干扰.

为了寻找具有特殊行为的班组人员或者具有特殊表现的管理制度, 本文定义了特异性指数, 其定义为

$$O(A_i) = \max_{j=1, \dots, N_i} \left(\left| \frac{a_{ij} - \sum_{k \in A_i, k \neq j} a_{ik}}{N} \right| \right) \quad (9)$$

同时, 定义使得 $O(A_i)$ 取得最大值的对应节点 A_{ij} 为特异节点. 由式 (9) 可以看到, 当子类 A_i 中存在某个离其他节点的平均位置距离较远的节点时, $O(A_i)$ 的值就比较大, 因此特异性指数 $O(A_i)$ 表征了 A_i 中某节点与其他节点中心的最大偏移, 可用于计算 A_i 中的特殊节点. 对于一维序列, 特异节点只在两边缘取值.

在实际应用中, 往往要求按一定的规则对节点进行分组, 如为了对企业员工进行有针对性的培训, 就要求将具有相近行为方式的员工均匀地分为几组. 为了同时满足分组的均匀性 (每组结点个数相差尽量小) 和相近性 (同组内节点距离尽量小) 并保证分组个数在允许的范围, 本文采用如下算法对聚类结果进行分组:

步骤 1. 设定分组个数的允许范围为 $r_1 - r_2$;

步骤 2. 从聚类结果树状图的树根开始, 使其左右两支各为一组, 记此分组为 R_2 ;

步骤 3. 选取分组 R_i 中基数最大的一组, 使其在聚类结果中对应子树的左右两支各为一组, 得到新的分组 R_{i+1} ;

步骤 4. 重复步骤 3, 直到把所有节点分为 r_2 个组;

步骤 5. 选取组数为 $r_1 - r_2$ 的分组, 计算最小方差分组指数 $D(A)$, 满足最小方差分组指数的分组即为最优分组.

其中, 最小方差分组指数定义为

$$D(A) = \min_{R_i(A) \in \mathfrak{R}} (\text{Var}(P(R_i(A)))) \quad (10)$$

式中, $R_i(A)$ 为对节点集合 A 的一个分组, \mathfrak{R} 为满足分组方式约束的所有分组组成的集合, $P(R_i(A))$ 为 $R_i(A)$ 中各组基数组成的集合, $\text{Var}(P(R_i(A)))$ 为 $P(R_i(A))$ 的样本方差. 该指数可以很好地评估分组的均匀性, 指导寻找最合理的分组方式.

2 数据描述与处理

为了解决复杂工业过程中面对的管理难题, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室依据平行管理方法, 为中国石化茂名分公司开发了平行管理系统^[19-20], 得到了成功的应用. 本文所用数据即为由平行管理系统收集的茂名乙烯裂解车间五个班组分离主操的班组考核记录. 考核结果记录在考核表中, 表格由考核日期、考核人、岗位、被考核人、班组、理由、分值、性质、制度标准号等内容构成. 通过考核表格可以清楚地获取某人在什么时间贯彻或违背了哪条管理制度, 因而得到加分或扣分. 需要指出的是, 由于考核记录中扣分项目用得很少, 本文的分析主要针对的是加分的情况.

在此基础上, 通过对原始数据进行处理, 可以构建由班组人员和管理制度组成的二分网络, 数据的具体处理过程为:

1) 把考核记录上涉及到的人员和管理制度提取出来, 用两类节点表示;

2) 分别对人员和管理制进行编号. 人员编号依据其所在班组, 管理制度编号依据其在岗位守则中

所属大类;

3) 定义人员和管理制度之间的连接权重. 如果某员工获得了某条管理制度规定的加分, 则认为该员工与该管理制度之间存在联系并赋权值为 1, 否则为 0.

4) 由以上方式构建的二分图即为人员和管理制度的二分网络.

图 1 为该二分网络图. 图中, 圆圈代表五个班组的分离主操; 方框代表管理制度; 圆圈与方框之间的连线代表员工和管理制度间的联系, 即如果第 i 个圆圈与第 j 个方框之间存在连线, 则代表第 i 个员工得到了第 j 条管理制度的加分, 这些连线决定了聚类过程中如式 (1) 所示的样本的值.

3 结果分析

对原始数据进行处理后, 分别利用式 (4) 和式 (6) 计算样本间距离和类间距离, 通过重复实施把类间距最小的两类归为一类, 最终把所有节点归为一类, 实现聚类分析. 图 2 为用 R 软件绘出的班组人员的聚类结果树状图^[26], 其中节点标号的第一个数字代表该员工所在的班组. 图中展示了节点逐渐聚为一类的过程, 图中在横轴上相邻的节点其样本间距离也比较小.

为了进一步量化分析, 根据聚类结果, 分别计算

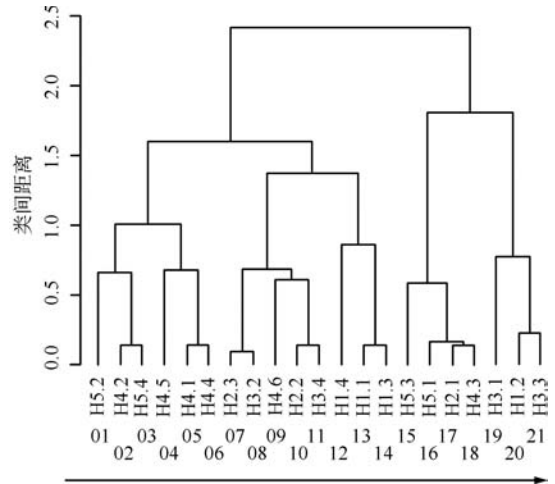


图 2 班组人员的聚类分析结果树状图

Fig. 2 Dendrogram of the clustering analysis of workers

各个班组的聚集性指数、特异性指数和最小方差分组指数, 计算结果如表 1 所示.

从表 1 来看, 在聚集性指数方面, 一班最高, 五班最低, 其他各班均接近于 1. 这说明一班班组人员具有较高的班组凝聚度, 某种程度上反映出一班比五班团结, 这在实际调研中得到了印证; 在特异性指数方面, 除四班外其他各班的特异性指数均小于 0.5, 而四班的特异性指数达到 0.6095, 这表明四班的特异节点 H4.3 对班组影响较大. 通过调查, 发现在

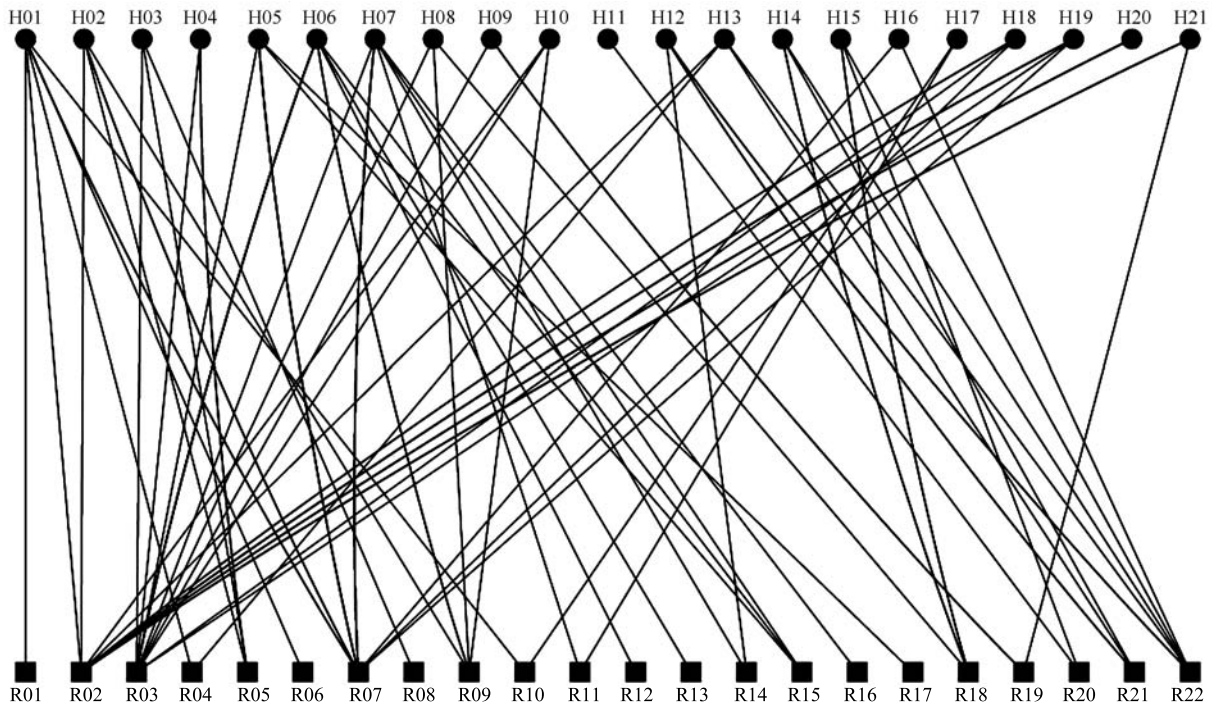


图 1 人员和管理制度组成的二分网络

Fig. 1 The 2-mode network constitutes by workers and rules

本文考察的时段里 H4.3 请过多次病假, 应该引起关注; 通过聚类结果把所有节点分为 3 组: 1~6, 7~14 和 15~21, 最小方差分组指数为 1.0000, 分组均匀. 这样在平时培训时便可以以此为依据对员工进行有针对性的分组培训, 而且在班组之间需要换岗替岗时可以选取分在同组的人员进行调换, 使得调换对班组影响最小.

采用类似的思路对管理制度进行聚类, 便得到如图 3 所示的管理制度聚类结果树状图, 其中节点标号的第一个数字代表管理制度所在的大类. 根据聚

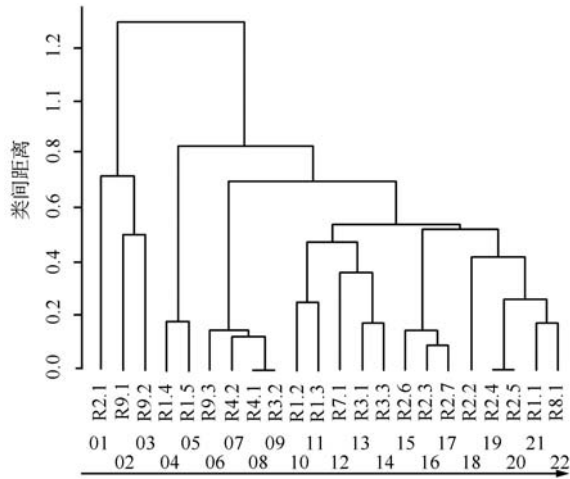


图 3 管理制度的聚类分析结果树状图

Fig. 3 Dendrogram of the clustering analysis of rules

类结果, 分别计算各类管理制度的聚集性指数、特异性指数和最小方差分组指数等指标, 计算结果如表 2 所示.

从表 2 来看, 第 4 类管理制度的聚集性指数最高, 第 3 类和第 9 类较高, 第 1 类和第 2 类接近于 1, 这表明第 4 类管理制度约束的员工属性比较接近, 订立得比较合理, 而第 2 类管理制度约束的是员工的不同属性, 应该对第 2 类管理制度进行更深入地细化或重新归类. 第 1、2 类的特异性指数均比较大, 分别为 0.6136 和 0.7500, 因此 R1.1 和 R2.1 需要特别关注, 通过查看原始资料发现 R2.1 为“全月工作积极, 认真做好干燥器切换工作”, 这条制度显然太笼统, 容易过多地引入主观因素, 建议对其改进; 通过聚类结果把所有节点分为 5 组: 1~3, 4~5, 6~9, 10~14 和 15~22, 最小方差分组指数为 5.3000, 分组不均匀. 通过观察管理制度聚类结果树状图可以发现其表现为一种不对称的自相似结构, 这说明各条管理制度之间存在高度的耦合, 建议在订立管理制度时尽量保持各条制度的独立性. 由于第 7、8 类制度只有一条, 因此不计算其聚集性指数和特异性指数, 也没有特异节点, 表 2 中用 \emptyset 标出.

4 结论

以往的班组管理研究, 一般都只能提供原则性的指导意见, 缺乏有针对性和可拓展性的量化分析结果^[1, 27-28]; 或者只关注生产数据的获取过程, 只对

表 1 班组人员聚类分析指数表

Table 1 Table of the clustering analysis indexes of workers

	一班	二班	三班	四班	五班
聚集性指数 $C(A_i)$	1.6800	1.0500	0.8936	1.0938	0.7368
特异性指数 $O(A_i)$	0.3333	0.4048	0.4286	0.6095	0.4921
特异节点	H1.2	H2.3	H3.2	H4.3	H5.1
最小方差分组指数 $D(A)$	1.0000				
最优分组 (2~5 组)	3 组: 1~6; 7~14; 15~21				

表 2 管理制度聚类分析指数表

Table 2 Table of the clustering analysis indexes of rules

	第 1 类	第 2 类	第 3 类	第 4 类	第 7 类	第 8 类	第 9 类
聚集性指数 $C(A_i)$	0.9167	1.1493	2.2000	7.3333	\emptyset	\emptyset	2.7500
特异性指数 $O(A_i)$	0.6136	0.7500	0.2045	0.0455	\emptyset	\emptyset	0.1591
特异节点	R1.1	R2.1	R3.2	R4.1	\emptyset	\emptyset	R9.3
最小方差分组指数 $D(A)$	5.3000						
最优分组 (2~5 组)	5 组: 1~3; 4~5; 6~9; 10~14; 15~22						

数据表层分析,而不探究数据包含的深层含义^[29-30]。本文依据平行系统理论,以实际获取的生产数据为基础,在数据进行了严格的处理后,深入地挖掘了这些数据的深层含义,可以为班组管理的研究提供一个新的范式。

本文通过构建的人员和管理制度二分网络,实现了对班组人员和管理制度的聚类分析,所得结果可以很好地展示班组的实际状态。通过定义聚集性指数、特异性指数、最小方差分组指数等一系列指标对聚类结果进行分析,能够实现对班组管理的量化评估,并在最后给出了班组管理的相应改进建议。

本文对平行管理方法在企业班组管理中的应用进行了具体而深入的研究。与传统管理方法相比,平行管理方法能够克服复杂生产系统难于建模,甚至不能建模的问题,能够实现对复杂生产系统的量化评估。平行管理方法就是要把人工系统和计算试验的方法引入现代企业管理中,最终通过人工系统和真实系统的平行执行,实现对企业管理的分析和优化。

在后续的研究中,我们将在继续讨论其他计算实验方法的基础上,逐步展开对企业班组的人工系统建模和平行执行方法的研究。

References

- Liu Shou-Hong. *Refined Team Management*. Beijing: Xinhua Publishing House, 2009
(刘寿红. 班组精细化管理. 北京: 新华出版社. 2009)
- Kilduff M, Tsai W. *Social Networks and Organizations*. California: Sage Publications, 2003
- Hanneman R A, Riddle M. *Introduction to Social Network Methods*. Riverside: University of California, 2005
- Carrington P J, Scott J, Wasserman S. *Models and Methods in Social Network Analysis*. New York: Cambridge University Press, 2005
- Roethlisberger F J, Dickson W J. *Management and the Worker*. Cambridge: Harvard University Press, 1939
- Kapferer B. *Strategy and Transaction in an African Factory: African Workers and Indian Management in a Zambian Town*. Manchester: University of Manchester Press, 1972
- Granovetter M. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 1973, **78**(6): 1360-1380
- Granovetter M. Economic action and social structure: the problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, 1985, **91**(3): 481-510
- Krackhardt D, Hanson J R. Informal networks: the company behind the chart. *Harvard Business Review*, 1993, **71**(4): 104-111
- Hansen M T. The search-transfer problem: the role of weak ties in sharing knowledge across organization subunits. *Administrative Science Quarterly*, 1999, **44**(1): 82-111
- Wang Fei-Yue. Artificial societies, computational experiments, and parallel systems: a discussion on computational theory of complex social-economic systems. *Complex Systems and Complexity Science*, 2004, **1**(4): 25-35
(王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统关于复杂社会经济系统计算研究的讨论. 复杂系统与复杂性科学, 2004, **1**(4): 25-35)
- Wang Fei-Yue. Parallel system methods for management and control of complex systems. *Control and Decision*, 2004, **19**(5): 485-489
(王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制. 控制与决策, 2004, **19**(5): 485-489)
- Wang Fei-Yue. Computational experiments for behavior analysis and decision evaluation of complex systems. *Journal of System Simulation*, 2004, **16**(5): 893-897
(王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估. 系统仿真学报, 2004, **16**(5): 893-897)
- Wang F Y. Toward a paradigm shift in social computing: the ACP approach. *IEEE Intelligent Systems*, 2007, **22**(5): 65-67
- Wang Fei-Yue. On the modeling, analysis, control and management of complex systems. *Complex Systems and Complexity Science*, 2006, **3**(2): 26-34
(王飞跃. 关于复杂系统的建模、分析、控制和管理. 复杂系统与复杂性科学, 2006, **3**(2): 26-34)
- Wang Fei-Yue, Zeng Da-Jun, Yuan Yong. An ACP-based approach for complexity analysis of e-commerce system. *Complex Systems and Complexity Science*, 2008, **5**(3): 1-8
(王飞跃, 曾大军, 袁勇. 基于 ACP 方法的电子商务系统复杂性研究. 复杂系统与复杂性科学, 2008, **5**(3): 1-8)
- Wang F Y. Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2010, **11**(3): 630-638
- Wang Fei-Yue, Li Le-Fei, Huang Xing, Zou Yu-Min. A discussion of fundamental theory of long period continuous production emphasizing effectiveness, safety and energy saving. *Computers and Applied Chemistry*, 2007, **24**(12): 1711-1713
(王飞跃, 李乐飞, 黄星, 邹余敏. 关于长周期连续安全节能有效生产基础理论的探讨. 计算机与应用化学, 2007, **24**(12): 1711-1713)
- Cheng Chang-Jian, Cui Feng, Li Le-Fei, Xiong Gang, Zou Yu-Min, Liao Chang-Yong. Parallel management systems for complex productions systems: methods and cases. *Complex Systems and Complexity Science*, 2010, **7**(1): 24-32
(程长建, 崔峰, 李乐飞, 熊刚, 邹余敏, 廖昌勇. 复杂生产系统的平行管理方法与案例. 复杂系统与复杂性科学, 2010, **7**(1): 24-32)
- Xiong Gang, Wang Fei-Yue, Zou Yu-Min, Cheng Chang-Jian, Li Le-Fei, Liao Chang-Yong, Cui Feng, He Li-Jian. Parallel evaluation method to improve long period ethylene production management. *Control Engineering of China*, 2010, **17**(3): 401-406
(熊刚, 王飞跃, 邹余敏, 程长建, 李乐飞, 廖昌勇, 崔峰, 何力健. 提升乙烯长周期生产管理的平行评估方法. 控制工程, 2010, **17**(3): 401-406)

- 21 Omran M G H, Engelbrecht A P, Salman A. An overview of clustering methods. *Intelligent Data Analysis*, 2007, **11**(6): 583–605
- 22 Xu R, Wunsch D II. Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2005, **16**(3): 645–678
- 23 Yue Feng, Sun Liang, Wang Kuan-Quan, Wang Yong-Ji, Zuo Wang-Meng. State-of-the-art of cluster analysis of gene expression data. *Acta Automatica Sinica*, 2008, **34**(2): 113–120
(岳峰, 孙亮, 王宽全, 王永吉, 左旺孟. 基因表达数据的聚类分析研究进展. *自动化学报*, 2008, **34**(2): 113–120)
- 24 Pan Tian-Hong, Xue Zhen-Kuang, Li Shao-Yuan. An online multi-model identification algorithm based on subtractive clustering. *Acta Automatica Sinica*, 2009, **35**(2): 220–224
(潘天红, 薛振框, 李少远. 基于减法聚类的多模型在线辨识算法. *自动化学报*, 2009, **35**(2): 220–224)
- 25 Xue Yi, Chen Li-Ping. *Statistical Modelling and R Software*. Beijing: Tsinghua University Press, 2007
(薛毅, 陈立萍. 统计建模与 R 软件. 北京: 清华大学出版社, 2007)
- 26 The R project for statistical computing [Online], available: <http://www.r-project.org>, February 21, 2012
- 27 Blanchard K, Parisi-Carew E. *The One Minute Manager Builds High Performance Teams*. New York: Harper Collins Business, 2000
- 28 Guo Xue-Ying, Hao Yan-Ping. Two-dimensional management in team-building. *Enterprise Management*, 2009, (2): 44–45
(郭学英, 郝燕萍. 班组建设二维管理. *企业管理*, 2009, (2): 44–45)
- 29 Lam H E, Maheshwari P. Task and team management in the distributed software project management tool. In: *Proceedings of the 25th Annual International Computer Software and Applications Conference*. Chicago, USA: IEEE, 2001. 401–408
- 30 Zhang Kui, Huang You-Rui. The design and realization of team management system in power plant based on web. *Control and Management*, 2006, **22**(36): 15–17
(章魁, 黄友锐. 基于 Web 的发电厂班组管理系统的设计与实现. *微计算机信息*, 2006, **22**(36): 15–17)



沈小伟 中国科学院自动化研究所博士研究生. 主要研究方向为复杂系统的建模与分析. 本文通信作者.

E-mail: neusxw@126.com

(**SHEN Xiao-Wei** Ph.D. candidate at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers modeling and analysis of complex systems. Corresponding author of this paper.)



王飞跃 中国科学院自动化研究所研究员. 主要研究方向为智能系统和复杂系统的建模、分析与控制.

E-mail: feiyue.wang@mail.ia.ac.cn

(**WANG Fei-Yue** Professor at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers modeling, analysis, and control of intelligent systems and complex systems.)



程长建 中国科学院自动化研究所助理研究员. 主要研究方向为平行管理理论与应用, 行为运作管理.

E-mail: changjian.cheng@ia.ac.cn

(**CHENG Chang-Jian** Assistant professor at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers parallel management theory and applications, and behavioral operations management.)



刘希未 中国科学院自动化研究所助理研究员. 主要研究方向为复杂系统建模与分析, 人因工程学.

E-mail: liuxuu@hotmail.com

(**LIU Xi-Wei** Assistant professor at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers modeling and analysis of complex systems, and human factors engineering.)