

企业车间系统结构与工艺复杂性多维度评价^①

宋华岭¹, 刘丽娟¹, 李金克¹, 彭永祥¹, Cornelis Reiman²

(1. 山东工商学院管理科学与工程学院, 烟台 264005; 2. 莫纳什大学管理学院, 墨尔本 澳大利亚)

摘要: 提出了信息力、能和结构复杂性信息量度量的基本概念、定义、基本原理和数学模型; 建立了企业生产系统结构复杂性评价的新尺度; 提出了评价方法和系统结构的简约化、复杂性减少原理; 并应用此理论与方法对井工企业掘进工作面系统结构复杂性评价进行了实证研究。

关键词: 工作车间系统; 结构复杂性; 掘进工作面系统; 信息量度量; 管理熵理论

中图分类号: N941.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2007)01-0054-10

0 引言

工作车间生产系统是企业系统的核心,它具有多种结构形式,如制造与加工企业的生产线、装配线,井工企业的采、掘进工作面,都具有不同的结构形式与特征。随着生产和机械技术的发展,工作车间生产系统布置的理念上有了根本性变化,其系统功能上的模块化、操作上的自动化、布置上的集成化,结构简约化,如自动生产线,自动化采煤工作面,减少结构复杂性,减少工程量和成本、提高建设与生产效率成为一种趋势。

目前,对工作车间生产系统结构的研究集中在结构形式的创新和系统的优化上。文献[1]在介绍生产系统结构内在要素的基础上,阐述了生产系统的功能,并就生产系统中各要素之间的现在组合和生产系统最佳模式的重建作了论证;文献[2]综述了工业企业生产理论在现代的新发展,结合微观投入产出理论对生产系统复合结构进行了分析,从而归纳出更适用于生产系统整体化管理的理论模型。文献[3]提出了现代社会的整体生产系统的新概念,论述了整体生产系统的结构与功能;文献[4]为降低企业决策风险,要求对生产系统的结构做出预期规划,指出应用计算机模拟技

术则是解决这一问题的有效途径等。

复杂性研究是一个新的科学,而工作车间生产系统结构及其复杂性评价这类研究较少,是一个有待探索的新领域。为对生产系统结构简约化研究做出理论上的支持,对其系统结构复杂性评价的研究是十分重要的。

作者几年来扩展了复杂性研究结构学派^[5]的研究方法,提出了基于复杂熵信息量度量的复杂性评价理论与方法,对企业系统特别是对井工企业系统的不确定性、可靠性、运行熵、复杂性进行应用研究^[6-14]。在本文中,作为上述研究的继续和理论的应用,作者从结构复杂性多维度来探讨企业车间生产系统的复杂性,提出了一个系统结构复杂性评价的新尺度,并建立了评价模型,对井工企业工作面系统结构进行了结构复杂性评价,尝试在对此问题的研究深度和广度上有所创新和拓展。

1 企业生产系统的结构复杂性分析与评价模型的建立

1.1 企业生产系统的结构复杂性分析

企业工作车间生产系统是全部产品生产与制

① 收稿日期: 2004-11-10; 修订日期: 2006-10-30。

基金项目: 山东省科技发展计划软科学资助项目(A200423-6); 山东省自然科学基金资助项目(Y2006H10); 国家软科学计划资助项目(2004DGQ3D090); 山东省社科规划研究项目(06BJJ005)。

作者简介: 宋华岭(1957—),男,吉林九台人,博士,教授, Email: songhl@ceec.edu.cn。

造的各个环节有秩序组合的集合体,其系统的结构依不同的结构形态,具有不同的复杂性.一些生产系统结构复杂,具有特殊的结构,包含着多个相互关联的子系统.整个系统的特性既体现在各个子系统的单独特性上,又体现子系统之间相互关联的特性上.主系统与子系统的联结关系,如串联、并联、混合等影响系统结构复杂性.为避免重复计算,本研究方法将子系统串联、并联、混合分解为其系统与环节复合关系,按其所具有的对系统整体结构复杂性信息贡献进行评价.

车间生产系统结构因素空间的基本元素 = {节点, 环节, 系统}. 依据复杂性研究局部到整体、微观到宏观的研究方法,应从节点→环节→系统的关系来综合评价复杂性.因此,得系统结构复杂性评价因素空间 = {系统的节点, 环节, 工艺系统, 工序, 各生产子系统的复合状态, 连接方式, 相互关系, 阶段, 层次, ...}, 并建立起系统结构复杂性评价维度模型图 1. 这是一个不同维次尺度评价问题,需要建立多维的尺度空间模型进行评价.

1.2 系统的复合性结构复杂性信息熵模型的建立

本研究方法的实质是依据信息熵的基本意义,求出每个基本评价要素平均复杂性信息量对总体复杂性的平均信息量贡献,即复杂信息量几率,建立几率与熵的相互关系.物理学家劳厄说过:熵与几率之间的联系是物理学最深刻的思想之一^[15].

定义 若几率为 $f_i = n_i/n$, 依几率、概率与仙农^[16] 熵函数的关系,则系统的复杂性信息量为

$$H = - \sum_{i=1}^i \frac{n_i}{n} \log \frac{n_i}{n} = - \sum_{i=1}^i f_i \log f_i$$

$$= - \sum_{i=1}^i p_i \log p_i \quad (1)$$

1.2.1 节点与环节

节点: 设系统在点 $V(i)$ 处发生功能的转换,即不同功能的系统环节输入 $v(i)$ 、输出点 $v(j)$,称为节点,如图 1 中所示的各点.

节点的权数: 进入和输出节点环节数. 设节点 i 的权数为 n_{mi} , 节点 i 的权数复杂性信息量为

$$h_{iq} = n_{mi} \left[- \frac{1}{n_{mi}} \log \left(\frac{1}{n_{mi}} \right) \right] = - \log \frac{1}{n_{mi}} \quad (2)$$

则系统节点权数的总复杂性信息量为

$$H_q = \sum_{i=1}^{n_m} h_{iq} = - \sum_{i=1}^{n_m} \log \frac{1}{n_{mi}} \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n_m; n_m$ 为节点总数.

环节: 两节点 $v(i)、v(j)$ 的连接结构单元叫环节.

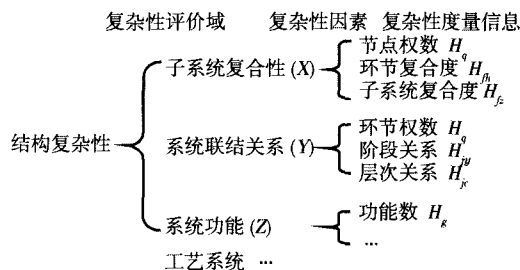


图 1 工作车间系统结构复杂性评价树图

Fig.1 The evaluating tree of structural complexity for working shop systems

1.2.2 系统复合

系统复合主要是指不同子系统间环节的共用性,即一个环节承载几个子系统的功能.子系统或环节的复合度越高,功能交叉,相对复杂.特别是井工系统,其供电、通风、采煤、运输、支护等多个子系统布置在同一巷道中,子系统部分或全部复合,复合特征更为明显.

复合环节: 承担两种或两种以上的子系统功能的系统环节称为复合环节,其相互关系称为复合关系.

复合矩阵: 由子系统与其子系统环节相互复合构成的矩阵 $[A]$ 称为复合矩阵.

$$|A| = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{子系统发生复合关系} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

此矩阵的行 i 表示与子系统发生复合关系的环节, $i = 1, \dots, n_k; 1 \leq n_k \leq n, n$ 为最大子系统的环节数,其余行元素为零,复合矩阵为行维数相同阵;列 j 的意义为子系统, $j = 1, \dots, m, m$ 为子系统总数.

环节复合度: 同一环节复合的次数,即承载子系统功能的个数与整个系统的环节总数之比定义为环节复合度.它是描述子系统复合环节的信息量对系统总体环节信息量贡献的指标,是评价

系统结构复杂程度的重要指标之一。

如果 $\epsilon = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij}$, 则环节 (i, j) 的复合度为

$$f_h = \frac{a_{ij}}{\epsilon} \quad (5)$$

环节复合度的复杂信息量为 $h_{ij} = -\frac{a_{ij}}{\epsilon} \log \frac{a_{ij}}{\epsilon}$, 环节复合度的复杂性信息总量为

$$H_h = -\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n h_{ij} \quad (6)$$

子系统复合度: 子系统发生复合关系的环节与子系统环节总数之比定义为子系统复合度, 它是度量子系统的复合环节对子系统环节总体信息量的贡献, 也是评价系统结构复杂程度的重要指标之一。

根据定义子系统复合度 $f_{sj} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n a_{ij}$, 那么, 子系统复合度的复杂信息总量为

$$H_{fs} = -\sum_{j=1}^m f_{sj} \log f_{sj} \quad (7)$$

1.3 子系统联结关系复杂性信息熵模型的建立

除了上述的子系统间的复合性外, 子系统内的环节间的相互关系复杂与否, 同样影响系统的复杂性, 本文重点描述子系统内部环节间的复杂性. 文献[17]曾对结构的熵评价问题进行过探讨, 这里进一步研究, 建立子系统环节的相互关系结构复杂信息量度量与评价模型。

设某个子系统构成环节的集合为 $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, 环节间二元系统的种类为 $r = (r_1, r_2, \dots, r_k)$, 这是一种二元关系, 即两两环节间的关系。

对一个子系统有如下关系: $r = \{r_1, r_2, r_3, r_4, \dots, r_n\} = \{\text{子系统环节间相关联, 直接从属关系, 间接从属关系, 在同一层次上并列关系, } \dots\}$. 这些关系实质上是子系统环节间串或并联关系的分解描述。

同理, 子系统环节关系可以形成一个关联矩阵, 这个环节关联矩阵的元素为 $r_i(e_j)$. 这样一些序对 $(e_j, e_{k1}), (e_j, e_{k2}), \dots, (e_i, e_{kt})$, 其中每个序对的关系都属于 r_i , 而 $e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kt}$ 是 e 的与 e_i 环节关联的其它环节。

用 L_{ij} 表示这些序对的个数, 并称为元素 e_j 上的关系 r_i 的外延长度. 依仙农的信息公式, 在元素

e_j 上的关系 r_i 的信息量定义为

$$h(e_j, r_i) = -p[r_i(e_j)] \cdot \log[p(r_i(e_j))] \quad (8)$$

其中, $p[r_i(e_j)] = L_{ij}/(n-1)$.

$n-1$ 表示元素 e_j 的最大可能的外延长度。

则有

$$h(e_j, r_i) = -L_{ij}/(n-1) \cdot \log[L_{ij}/(n-1)] \quad (9)$$

子系统的环节关系复杂性信息总量为

$$H(e, r) = -\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k L_{ij}/(n-1) \cdot \log(L_{ij}/(n-1)) \quad (10)$$

1.4 工艺系统与工序

进一步分析, 工序是构成工艺系统的基本单元. 对于工艺系统而言, 工序与其关系相当于与上述系统分析中环节与子系统的关系, 包括节点与工艺系统的结构与相互关系、工序间的相互关系、工序与系统环节关系、工序的数量等, 这些都是影响复杂性的重要因素, 需要分析与评价. 因为工作车间的有形系统是工序系统的承载体, 此部分复杂性分析的基本思路与方法子系统与环节相同, 建模过程这里略, 将在实证研究中给出具体评价过程。

同样, 对功能与结构复杂性评价问题进行一下分析. 一般来说, 结构是功能的内在依据, 功能是要素与结构的外在表现, 系统是功能的载体, 两者结合在一起, 密不可分. 功能复杂性反映在系统结构复杂性上, 如复合性反映的就是环节承担复合功能的性质. 对于所评价的车间生产系统, 它是一个功能和结构都固化的运行系统, 不存在功能的变化带来系统的结构改变这类系统设计阶段的问题. 因此, 功能复杂性影响的结构复杂性不必重复评价. 如果需要独立评价功能复杂性, 可借鉴上述评价方法。

1.5 生产系统阶段与层次的复杂性信息量度量

1.5.1 阶段

阶段是生产系统的重要特征, 反映了系统的多阶段结构. 这些都影响系统的结构复杂性, 阶段越多, 系统复杂性则越大。

若设 n_{jk} 是生产过程 j 内阶段数目, n_t 为阶段总数, 阶段 j 对阶段结构复杂性的复杂信息贡献为

$$H_{jy} = - \sum_{i=1}^{n_j} \frac{n_{ik}}{n_i} \log \frac{n_{ik}}{n_i} \quad (11)$$

1.5.2 层次

层次是企业生产系统的重要特征,反映了系统的多层次结构.层次结构越多,系统复杂性则越大.

若设 n_{jc} 是生产过程 j 内层次数目, n_c 为层次总数,层次 j 对层次结构复杂性的复杂信息贡献为

$$H_{jc} = - \sum_{i=1}^{n_c} \frac{n_{ic}}{n_c} \log \frac{n_{ic}}{n_c} \quad (12)$$

尽管不同形式的车间系统结构有所区别,但这些复杂性评价的基本要素具有普适性.

2 多维空间复杂性信息评价模型

依据上述的过程求得到复杂信息量的熵值,因为这是一个不同维次的评价问题,需建立多维信息熵尺度空间评价模型来度量统一信息量值,构建熵信息空间场来进行评价系统的复杂性信息综合值.

2.1 复杂信息分量信息能评价基本模型

设 $X_n(x_i, i = 1, 2, \dots, n)$ 为 H 熵空间上的 n 维矢量空间,即 $X_n(x_i, i = 1, 2, \dots, n) \rightarrow H^n$,分量 $x_i \in H^n$.对于这个在多维概念空间的复杂信息力场,由功的原理来建立评价模型,度量信息力能值,有

$$w = \|\vec{F}\| \|\vec{D}\| \cdot \cos\theta \quad (13)$$

而 $\|\vec{F}\|$ 是通过距离 D 所施加的信息力值, θ 是矢量由力的施加形成的角度,由此表示在一个特殊的矢量方向中的矢量 \mathbf{W} ,即“复杂信息能量值”的构成.若 $\vec{F} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 则有

$$\|\vec{F}\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}.$$

由多维矢量空间的欧几里德关系可得

$$\cos\theta = \frac{\sqrt{\|\vec{F}\|^2 - x_n^2}}{\|\vec{F}\|} \quad (14)$$

对于分量 W_i ,由上述公式得其在特定矢量空间中的能量方程式

$$\begin{aligned} w_i &= x_{in} \sqrt{\|\vec{F}_i\|^2 - x_{in}^2} \\ &= x_{in} \sqrt{x_{i1}^2 + x_{i2}^2 + \dots + x_{in-1}^2} \end{aligned} \quad (15)$$

那么,全部复杂信息 F 的能量信息量为

$$W = \sum_{i=1}^n w_i = \sum_{i=1}^n x_{in} \sqrt{\|\vec{F}_i\|^2 - x_{in}^2} \quad (16)$$

2.2 统一尺度模型的建立

如图 1 所示的模型,为得到全部复杂信息力能尺度,需要建立一个统一的尺度空间.这里给出 n 维的度量的统一尺度的数学模型.

定义一个 n 维复杂信息力能尺度空间, $W_1 \times W_2 \times W_3 \times \dots \times W_i \times W_n$ 为 n 维熵空间, n 为 W_1 的第一次划分 W_i 的维度, n_i 为分量 W_i 的维数.若设 Φ 是一个影像,由 $\Phi: W_1 \times W_2 \times W_3 \times \dots \times W_i \times W_n \rightarrow H^n$ 所定义, Φ 是 H^n 上的 n 维张量.

定义此张量为 $Tn(H)$,也是 H 上的一个矢量空间.如果定义一个 $n \times m$ 矩阵 $B_i (m = \max\{m_1, m_2, \dots, m_n\}; i = 1, 2, \dots, m)$,由 $W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_n$ 上的分量 $W_{ki} (b_{ij}^k) (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n)$ 的矢量对应行构成,如果某行的列数小于 m ,可用 0 元素补齐.那么 $\|\Phi_i\| = \|\Phi_i(W_{ki})\| = \|B_i\|$ 是张量的形式,表示各信息力能分量 W_i 的统一熵复杂信息力能值.

若设集合 $(Tn(H), \|\Phi_i\|)$ 为复杂信息力能 n 维空间,则 H 上的尺度或从 W_i 到 W_{i-1} 的距离定义为下式:

$$\begin{aligned} \|\Phi_i(W_{ki}) - \Phi_i(W_{ki-1})\| &= \|\Phi_i(W_{ki} - W_{ki-1})\| \\ &= \|B_i - B_{i-1}\| \end{aligned} \quad (17)$$

这是在能分量 W_{i-1} 的之后分量 W_i 需要产生的全部复杂信息力能信息量,则

$$\begin{aligned} \|w\|_{iT} &= \sum_{i=1}^n \|\Phi_i\| = \sum_{i=1}^n \|\Phi(W_{ki})\| \\ &= \sum_{i=1}^n \|B_i\| \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \|w\|_E &= \sum_{i=1}^n \|\Phi(W_{ki+1} - W_{ki})\| \\ &= \sum_{i=1}^n \|B_{i+1} - B_i\| \end{aligned} \quad (19)$$

是全部张量的熵值,为全部需要产生的复杂信息能量.

3 实证分析 —— 矿井掘进工作面系统的结构复杂性评价

为了实证上述理论与方法,作者已经进行了

多年的研究,进行了多种案例实践.在这里引用比较典型的井工企业车间——煤矿掘进工作面生产系统为例,进行关于其系统结构复杂性分析与评价.

3.1 双巷大断面掘进工作面系统复杂性分析

掘进工作面系统作为煤矿生产系统的重要组成部分,其复杂性评价对提高掘进效率具有重要意义.本文以世界上最先进的神府东胜煤炭有限责任公司的高产高效掘进工作面为例^[18],采用整体性与还原性研究相结合的方法,进行掘进工作面工作过程的复杂性评价.因为此掘进工作面的阶段与层次性特征并不明显,可以忽略这模型1中的两个复杂性因素(变量或参量).但此工作面的工艺系统的结构及过程是影响复杂性的重要因素,所以应给予分析与计算.此工作面掘进系统的还原性研究如下.

3.1.1 掘进工作面巷道布置

因为掘进工作面的生产系统与工艺过程的所有活动都发生在双巷内,巷道布置是决定此系统结构的重要因素和评价结构复杂性的重要参量.此综采工作面的运输与回风平巷采用双巷布置方式,锚杆支护顶板,如图2所示.

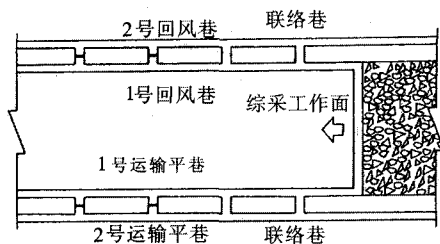


图2 工作面巷道布置

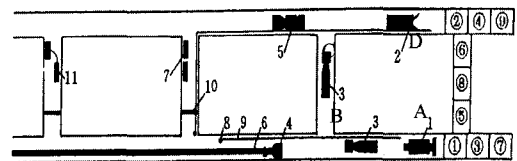
Fig.2 The headings layout

掘进工作面系统为:通风系统、供电系统、运输系统、支护系统.如前述的分析,系统与巷道环节的复合性、联结关系等都反映了系统的结构复杂性.

3.1.2 掘进工艺系统与工序

在巷道结构确定之后,掘进生产工艺过程系统成为复杂性评价的重要参量.本工作面采用最为先进的连续采煤机作为开掘工具,并配套先进系列支护与运输设备,连续采煤机和顶板锚杆平行作业.连续采煤机在1号运输平巷落煤;同时采煤机上的装载运输机把煤装到采煤机后部的运煤车内,煤由运煤车运入破碎机或平巷运输机.与采

煤机的落煤的同时,顶板锚杆机在2号运输平巷内进行支护作业,其顺序为定位、钻眼、安装锚杆.采煤机切割推进6m后退出1号运输平巷作业区,转移到邻近的2号平巷作业.这时,完成2号运输平巷进支护作业的锚杆机进入1号平巷进行锚杆支护作业,铲车跟随锚杆机进行清理.工作面平巷和联络巷的掘进顺序如图3所示.



①~⑨:掘进序号;1.连续采煤机;2.锚杆机;3.运煤车;4.破碎机;5.铲车;6.带式输送机;7.移动变电站;8.风筒;9.风筒;10.挡风窗;11.充电柜.节点:A, B, C, D.

图3 双巷掘进设备布置及掘进工艺

Fig.3 Equipment layout of excavation face

工艺系统及各工序环节:

掘进工艺系统:掘进工作面落煤 → 装载 → 破碎 → 运输 → 转移;

支护工艺系统:掘进工作面定位 → 钻眼 → 锚固 → 转移.

工艺系统的工序个数、相互关系和每个工序的占用的设备数量等都是影响此系统复杂性的重要因素.故依此分析,建立此问题的复杂性评价因素模型如图4所示.

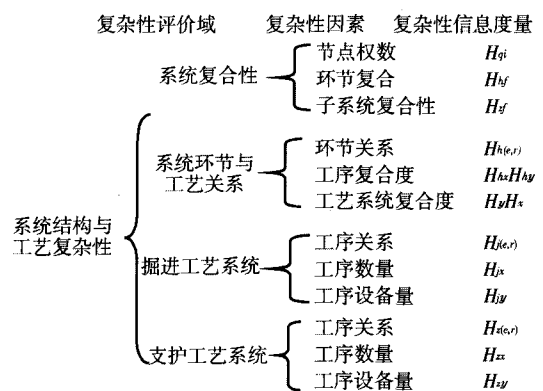


图4 系统结构复杂性评价树图

Fig.4 System structural complexity evaluation tree

此掘进工作面在现代化高产高效的采煤工作面的双巷布置系统结构复杂性评价上具有代表性、一致性和普适性,可以得出具有普遍意义的结论.因为,回风巷的掘进工作面系统与过程同运输

巷相同,故这里只研究运输平巷掘进工作面系统的复杂性.

3.2 各维度结构与工艺复杂性分量信息量值计算

分析各个生产子系统与巷道的环节关系,结合图 2、3、4,应用上述各数学模型计算各个复杂参数的信息量值,得评价参数值如下表 1.

工艺系统的复杂性评价应为工艺系统与巷道系

统的环节复合关系、工序间的关系、分解的每个工序使用设备数目,即工序内的平行工作环节关系等.如果两个工艺系统相互独立而不影响,取其中复杂性信息量大则可.但在此工作面系统中,一是两个工艺系统共用其它系统,如供电系统和通风系统等;二是两个工艺系统相互影响,甚至出现了等待和转移过程中的相互干扰,因此,两个工艺系统并不相互独立,故需累积其复杂性,如表 3.4 中所计.

表 1 系统复合复杂性信息量计算

Table 1 The complexity informational content of systematic multi-use

子系统 环节	子系统				节点	节点权数 $1/n_{m_i}$	节点权数信息量 $H_{q_i} = -1/n_{m_i} * \log 1/n_{m_i}$	系统环节 复合度	$H_{h_f} =$ $-A_{ij}/n * \log A_{ij}/n$
	通风	运输	掘进	支护					
1号运输平巷	1	1	1		A	1/2	0.150 5	3/4	0.093 7
联络巷	1				B, C	2 * 1/3	0.318 1	1/4	0.150 5
2号运输平巷	1	1		1	D	1/2	0.150 5	3/4	0.093 7
Σ	3/3	2/3	1/3	1/3					
子系统复合度 Σ	0	0.117 4	0.159 0	0.159 0	$H_f =$ 0.435 4		0.468 6		0.337 9

表 2 系统关系复杂性信息计算

Table 2 The complexity informational content of systematic relation

关系环节(e)	环节与工序关系									工艺系统复合度		H_x	(H_y)
掘进系统	工作面落煤		装载		破碎		运输		转移	5			
支护系统		(工作面定位)		(钻眼)		(锚固)		(转移)			(4)		
1号运输平巷	1	(1)	1	(1)	1	(1)	1	(1)	1	4/5	(3/4)	0.077 5	(0.093 7)
联络巷								(1)	1	1/5	(1/4)	0.139 7	(0.150 5)
2号运输平巷	1	(1)	1	(1)	1	(1)	1	(1)	1	4/5	(3/4)	0.077 5	(0.093 7)
Σ	2	(2)	2	(2)	2	(2)	2	(3)	3			0.294 7	(0.337 9)
掘进工序复合度	0.150 5		0.150 5		0.150 5		0.150 5		0.158 8	$H_{hx} = 0.760 8$			
支护工序复合度		(0.150 5)		(0.150 5)		(0.150 5)		(0.158 8)	$(H_{hy} = 0.610 3)$				

括号内为支护系统评价的相应数据值.

表 3 工艺系统关系复杂性信息计算

Table 3 The complexity informational content of technological system relation

工艺系统 环节(e)	工序关系					$L_{ij}/(n-1)$	$H_j(e, r)$	工序数量	H_{jx}	工序设备量	H_{jy}
	$r = (1, 2, 3)^*$										
	落煤	装载	破碎	运输	转移						
掘进											
落煤		1	3	3	2	4/4	0.000 0	1	0.106 0	1	0.129 6
装载			1	3	2	3/4	0.093 7	2	0.145 1	2	0.159 0
破碎				1	2	2/4	0.150 5	1	0.106 0	1	0.129 6
运输					1	1	0.415 2	1	0.106 0	1	0.129 6
转移								4	0.156 5	1	0.129 6
Σ								9		6	
Σ							0.659 4		0.619 0		0.677 4

表4 支护工艺系统关系复杂性信息计算

Table 4 The complexity informational content of support technological system relation

工艺系统环节(e)	工序环节关系 r = (1, 2, 3)*				L _{ij} /(n-1)	H _z (e, r)	工序数量	H _{zx}	工序设备量	H _{zy}
	定位	钻眼	锚固	转移						
支护										
定位		1	3	2	3/3	0.000 0	2	0.145 1	2	0.155 4
钻眼			1	2	2/3	0.117 4	2	0.145 1	2	0.155 4
锚固				1	1/3	0.159 0	2	0.145 1	2	0.155 4
转移							3	0.159 0	1	0.120 7
Σ							9		7	
Σ						0.276 4		0.594 3		0.586 9

$r = \{r_1, r_2, r_3\} = \{\text{直接续关系, 串联关系, 并列关系}\}$, 表示工序间的关系; 表中的数字表示关系的种类, 统计表中的数字个数, 而不是数字值。

3.3 多维度统一复杂性信息量的计算

以上进行了还原性研究得到各个子系统的复杂性信息量值, 需要进行整体性研究取得统一的此工作面生产系统的总体复杂性信息量值。

3.3.1 各复杂性分量的信息量计算

用表1、2、3、4中所得的各H值, 分别替换公式(15)、(16)中的 x_{1i} , x_{2i} 各相应值, 求得各复杂性分量 w_i ; 各个还原分量的复杂性信息量为

$$\begin{aligned} w_1 &= x_{1n} \sqrt{x_{11}^2 + x_{12}^2 + \cdots + x_{1n-1}^2} \\ &= H_{zf} \sqrt{H_{zi}^2 + H_{zf}^2} \\ &= 0.435 4 \sqrt{0.468 6^2 + 0.337 9^2} \\ &= 0.251 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_2 &= x_{2n} \sqrt{x_{21}^2 + x_{22}^2 + \cdots + x_{2n-1}^2} \\ &= H_{hy} \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_{hx}^2} \\ &= 0.613 \sqrt{0.294 7^2 + 0.337 9^2 + 0.760 8^2} \\ &= 0.541 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_3 &= x_{3n} \sqrt{x_{31}^2 + x_{32}^2 + \cdots + x_{3n-1}^2} \\ &= H_{jy} \sqrt{H_j^2(e, r) + H_{jx}^2} \\ &= 0.677 4 \sqrt{0.659 4^2 + 0.619^2} \\ &= 0.691 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_4 &= x_{4n} \sqrt{x_{41}^2 + x_{42}^2 + \cdots + x_{4n-1}^2} \\ &= H_{zy} \sqrt{H_z^2(e, r) + H_{zx}^2} \\ &= 0.586 9 \sqrt{0.276 4^2 + 0.594 3^2} \\ &= 0.382 6 \end{aligned}$$

3.3.2 系统整体统一复杂性信息量的计算

由式(17)、(18)得多维度统一复杂性信息量值, 因而得到系统的总结构复杂性信息量, 计算此问题的多维整体统一的复杂性信息量值, 过程如下

$$\begin{aligned} \|w\|_{1T} &= \sum_{i=1}^n \|\Phi_1\| = \sum_{i=1}^3 \|\Phi(W_{k1})\| = \|B_1\| \\ &= \sqrt{0.468 6^2 + 0.337 9^2 + 0.454 3^2} \\ &= 0.734 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \|w\|_{2T} &= \sum_{i=1}^n \|\Phi_2\| = \sum_{i=1}^4 \|\Phi(W_{k2})\| = \|B_2\| \\ &= \sqrt{0.294 7^2 + 0.337 9^2 + 0.760 8^2 + 0.610 3^2} \\ &= 1.073 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \|w\|_{3T} &= \sum_{i=1}^n \|\Phi_3\| = \sum_{i=1}^3 \|\Phi(W_{k3})\| = \|B_3\| \\ &= \sqrt{0.659 4^2 + 0.619 0^2 + 0.677 4^2} \\ &= 1.129 9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \|w\|_{4T} &= \sum_{i=1}^n \|\Phi_4\| = \sum_{i=1}^3 \|\Phi(W_{k4})\| = \|B_4\| \\ &= \sqrt{0.276 4^2 + 0.594 3^2 + 0.586 9^2} \\ &= 0.879 8 \end{aligned}$$

由式(19)得

$$\begin{aligned} \|w\|_E &= \sum_{i=1}^n \|\Phi(W_{ki+1} - W_{ki})\| \\ &= \sum_{i=1}^n \|B_{i+1} - B_i\| \\ &= \|B_2 - B_1\| + \|B_3 - B_2\| + \\ &\quad \|B_4 - B_3\| = 0.645 6 \end{aligned}$$

这就是掘进工作面生产系统结构与工艺系统的整体统一复杂性信息量。

3.3.3 复杂信息量分析

w_1, w_2, w_3, w_4 为结构与工艺系统的复杂性信息分量, 评价局部系统复杂性信息量; $\|w\|_E$ 则为统一的系统结构复杂性总值; 两者结合起来, 可作为一个评价的标准, 从系统的局部到系统的整体综合评价协同复杂性信息含量值。其值越大, 表示系统结构越复杂。由本文的分析和论证, w_2, w_3 大于 w_1, w_4 , 对复杂性贡献大些。因本系统的巷道系统相对简单, 但生产系统、环节、子系统多、复合关系复杂, 因而复杂性大, 降低该系统的复杂性应从这几方面入手。

4 结束语

成思危先生曾指出: 当前发展我国管理科学一定要注意鼓励百家争鸣, 在理论方法上要努力开拓创新, 尽可能吸收并移植自然科学的优秀成果, 探索适用的数学工具。管理科学的发展重点在于运用数量分析方法提高决策的精确度和管理的效率^[19]。

参 考 文 献:

- 企业生产系统设计可通过总结经验教训或借鉴于先进的模式, 吸收新的结构方面的知识信息, 应用于系统的改进, 使系统的结构优化, 以减少结构复杂性。生产系统结构复杂性评价研究作为复杂性评价的新内容, 尚无成型的理论。这里给出的生产系统结构基本形式和复杂性评价方法、评价模型是一个新的复杂性评价的模型、理论与方法。经过作者的多年实践应用^[6~15], 证明具有普适性, 在复杂性评价可操作层面实现上有所突破。同时, 本评价方法的量化复杂性指标体系同国际上现有的以 NGT (nominal group technique) 和 ISM (interpretive structural modeling) 技术为基础的米勒指标体系 (Miller Index)、观点差异指标体系 (The Spreadthink Index)、迪摩根指标体系 (The De Morgan Index)、情景复杂性指标 (The Situational Complexity Index (SCI)) 和阿里士多德指标体系 (The Aristotle Index) 有所不同。上述评价指标体系以整数数字为结果, 而本评价体系是复杂性信息量, 更符合实际, 并在维度和广度上有所拓展。依据此理论与方法对具体不同的系统进行结构复杂性评价, 如评价企业生产车间、现代化工厂的生产线等结构与工艺系统的复杂性, 可划分研究对象的复杂性分类级别, 为减少复杂性、实行简约化设计与管理提供理论依据。
- [1] 阎忠元. 生产系统结构设计 with 变革[J]. 重庆工学院学报, 1995, 2: 57—60.
Yan Zhongyuan. The changes and designs of production system structure[J]. Journal of Chongqing University of Technology, 1995, 2: 57—60. (in Chinese)
 - [2] 施卫策, 魏法杰. 现代生产理论中的企业生产系统结构[J]. 物流技术与应用, 1997, 1: 5—9.
Si Weiche, Wei Fajie. The enterprise production system structures in modern production theories[J]. Material Flow Technology and Application, 1997, 1: 5—9. (in Chinese)
 - [3] 卢曲元. 论现代社会的整体生产系统[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 1994, 5: 52—56.
Lu Qu Yuan. The whole production systems of modern society[J]. Journal of Social Science of Hunan Normal University, 1994, 5: 52—56. (in Chinese)
 - [4] 陈 旭, 巴 璞. 生产系统计算机模拟与优化分析[J]. 西南交通大学学报(自然科学版), 1997, 5: 564—570.
Chen Xu, Ba Pu. The optimization analyses and computer simulation of production systems[J]. Journal of South-west University of Transportation (Natural Science Version), 1997, 5: 564—570. (in Chinese)
 - [5] John N W. Twenty laws of complexity: Science application in organizations[J]. Systems Research and Behavioral Science, 1999, 10: 3—40.
 - [6] 宋华岭. 回采工作面生产系统随机模糊可靠性确定[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 17(1): 83—90.

- Song Hualing. The Fuzzy-random reliability determination of mining working face in mine[J]. *Journal of System Engineering Theories and Practice*, 1998, 17(1): 83—90. (in Chinese)
- [7]宋华岭, 王今. 广义与狭义管理熵理论[J]. *管理工程学报*, 2000, 19(1): 15.
Song Hualing, Wang Jin. The general and specific management entropy theories[J]. *Journal of Management Engineering*, 2000, 19(1): 15. (in Chinese)
- [8]宋华岭, 孙宝铮. 广义与狭义管理熵理论—高熵工程系统熵理论与应用[M]. 呼和浩特: 内蒙古科学技术出版社, 1999. 2.
Song Hualing, Sun Baozheng. The General and Specific Management Entropy Theories—the Entropy Theories and Application for High Entropy Engineering System[M]. Huhehaote: Science and Technology Publishing House of Inter Mongolia, 1999. 2. (in Chinese)
- [9]宋华岭, 翟从敏. 随机模糊环境下企业动态生产计划编制[J]. *系统工程学报*, 2001, 16(6): 411—417.
Song Hualing, Zhai Congmin. Under the fuzzy and random environments, the making out of enterprise dynamic production plan[J]. *Journal of System Engineering*, 2001, 16(6): 411—417. (in Chinese)
- [10]Song Hualing. The entropy evaluation of the high-entropy system and Its determination of operating entropy[J]. *Journal of System Science and Systems Engineering*, 2000, 9(3): 315—323.
- [11]宋华岭, 金智新, 白希军, 等. 矿井生产系统结构复杂性评价[J]. *煤炭学报*, 2005, 30(3): 403—408.
Song Hualing, Jin Zhixin, Bai Xijun, et al. The complexity assessment of mine production systems[J]. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(3): 403—408. (in Chinese)
- [12]宋华岭, 杨景才, 刘丽娟, 等. 回采工作面生产系统运行失序复杂性评价[J]. *煤炭学报*, 2003, 28(5): 459—464.
Song Hualing, Yang Jingcai, Liu Lijuan, et al. The operating disorder complexity assessment of production systems of working face [J]. *Journal of China Coal Society*, 2003, 28(5): 459—464. (in Chinese)
- [13]宋华岭, 刘全顺, 刘丽娟, 等. 管理熵理论——企业组织管理系统复杂性评价的新尺度[J]. *管理科学学报*, 2003, 6(3): 19—27.
Song Hualing, Liu Quanshun, Liu Lijuan, et al. The management entropy theories—the new metric of management systems complexity assessment for enterprise organizations[J]. *Journal of Management Science in China*, 2003, 6(3): 19—27. (in Chinese)
- [14]宋华岭. 企业系统管理复杂性评价[M]. 北京: 经济管理出版社, 2004.
Song Hualing. The Management Complexity Assessment for Enterprise Systems[M]. Beijing: The Publishing House of Economy and Management, 2004. (in Chinese)
- [15]王彬. 熵与信息[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994.
Wang Bin. Entropy and Information[M]. Xi'an: Publishing House of North-west Industrial University, 1994. (in Chinese)
- [16]Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. *Bell System Technology Journal*, 1948, 27: 379—423.
- [17]李伟钢. 系统结构有序度——负熵算法[J]. *系统工程理论与实践*, 1988, 4: 15—22.
Li Weigang. Negative entropy algorithm of system's order degree[J]. *Journal of System Engineering Theories and Practice*, 1988, 4: 15—22. (in Chinese)
- [18]王金力. 大断面煤巷快速掘进技术研究与探讨[J]. *煤炭科学技术*, 2002, 30: 55—57.
Wang Jinli. The discussion and research about high-speed excavation technology of the large-section coal headings[J]. *Journal of Coal Science and Technology*, 2002, 30: 55—57. (in Chinese)
- [19]成思危. 管理科学的现状与展望[J]. *管理科学学报*, 1998, 1(1): 1—6.
Cheng Siwei. The present situations and prospects of management science[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 1998, 1(1): 1—6. (in Chinese)

Multi-dimension metric assessments of structural and technological complexity for enterprise working shop systems

SONG Hua-ling¹, LIU Li-juan¹, LI Jin-ke¹, PENG Yong-xiang¹, Cornelis Reiman²

1. School of Management Science and Engineering, Shandong Institute of Business and Technology, Yantai 264005, China;

2. School of Management, Monash University, Melbourne, Australia

Abstract: This article puts forward the concepts, definitions, basic theorems and mathematic models of the information force, energy and the information measure of the structural complexity; establishes new metrics for assessing the production systems structural complexity; and proposes theorems of simplification and complexity decrease for production systems of enterprises. A case study of structural complexity assessment for excavation working face of mine has been illustrated.

Key words: working shop production systems; structural complexity; excavation working face; informational content measure; management entropy theories