

# 构成知识空间的现象及范畴的粒结构模型

赵健<sup>1,2</sup>, 刘磊<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 计算机科学与技术学院, 130012 长春; 2. 长春工程学院 软件学院, 130012 长春)

**摘要:** 为建立时间维度下知识运动及演化的动态模型, 将现象理解为构成知识的基本要素, 并将概念、直观(时间-状态)及关联逻辑作为组成现象的基本范畴, 同时将粒结构作为现象形式化表示的基本结构. 基于形式概念分析与粗糙集理论之间的同构关系建立了现象中概念范畴及直观范畴的粒结构模型, 并给出了形式化现象之间的关联关系及关联逻辑. 结果表明: 基于对现象的形式化表示, 可以构建比概念模型在语义描述上更完整的知识表示模型.

**关键词:** 形式概念分析; 粗糙集; 知识空间; 现象

**中图分类号:** TP182      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0367-6234(2012)05-0120-05

## Phenomenon constituting knowledge space and granular structure models of its three categories

ZHAO Jian<sup>1,2</sup>, LIU lei<sup>1</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China;

2. College of Software, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** To establish the dynamic models of knowledge movement and evolution under time dimension, the phenomenon was understood as the basic element to constitute knowledge in this study, where the concept, intuition (time-state) and relevance logic were taken as the basic categories of phenomenon composition, and meanwhile the granular structure was taken as the basic structure of phenomenon formalized representation. Based on the isomorphism between formal concept analysis and rough set theory, the granular structure models were established in concept and intuition category of phenomenon, and the correlation and relevance logic were given among formalized phenomena. Based on the formalized representation of phenomenon, the knowledge representation model can be established more completely than conceptual model in semantic description.

**Key words:** formal concept analysis; rough set; knowledge space; phenomenon

在知识工程中, 知识被理解为以不同方式将概念、事件、过程关联并组织起来的结构. 知识是现实世界在人的意识中所形成的映像, 人通过对知识的获取和处理来认识及分析现实世界, 并解决其中的各种问题. 基于对人类思维能力的不同理解, 已经建立了多种理论对意识在获取知识及处理问题的方式上进行模拟, 比如粒计算等<sup>[1]</sup>理

论就将复杂的问题分解为不同粒度的简单问题来求解. 而为了对知识进行更有效的组织和处理, 就要对知识进行合理的表示, 首先要对知识的形成进行研究.

人们对知识的获取主要来源于两种情况: 1) 来源于感觉经验, 即通过对现实世界中事物的观察而获得的印象; 2) 来源于人们对知识空间中的诸多知识对象的采纳与融合, 这里的知识空间是指所有承载知识的知识主体所共同构成的网络化系统, 而这个系统中所包含的知识对象是具有边界和结构的单元. 本文中, 无论是现实世界中的事物表象, 还是知识空间中的知识对象, 都被理解为

收稿日期: 2010-11-08.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60873044).

作者简介: 赵健(1980—), 男, 博士研究生;

刘磊(1960—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 赵健, zhaojian08@mails.jlu.edu.cn

由“现象”作为基本材料所构成的,如自然界中可观察的现象,或意识形态等现象.在第1种情况中,人对客观世界中的现象进行观察从而获得整体的、连续的印象,比如对一支铅笔的观察而获得的外形、材质、颜色等整体印象.在第2种情况中,人对知识空间中大量的知识现象进行关联,并进行排异处理,或吸附出诸多具有共性的特征,从而形成具有知识内核及边界的知识共同体.同时,由于整个知识空间并不是静态的,而是动态的扩展并演化的,所以还要描述在时间进程中知识的状态.

本文首先将现象的变化理解为发生在某时间片断内,并基于FCA给出了时间片断及时序的形式化表示.基于FCA<sup>[2-3]</sup>和RS<sup>[4-5]</sup>理论之间的同构关系对现象的内容进行形式化表示,并嵌入了时间要素,同时研究了现象之间的关联性质及关联逻辑.

## 1 现象的形式化

根据哲学的认识,本文将现象分为3种范畴:“概念范畴”、“直观范畴”以及“关联逻辑”.于是,知识的获得就可以简单描述为:人们将直观的框架作用在客观现象上,并通过使用该现象的概念范畴与其他概念范畴之间的关联逻辑,进行概念层面上的融合或排异,从而形成知识对象.

### 1.1 粒结构及现象中的概念范畴

根据粒计算的观点,人类的智能具有全局分析能力,即处理不同粒度世界中问题的能力,可以在不同粒度下对客观现象进行观察和分析<sup>[6]</sup>.而“粒度”则指的是该现象中蕴含的所有内容可根据不可分辨性或相似性在不同层次下组织起来.

**定义1(粒结构)** 粒结构用一个三元组  $(E_c, I_c, R)$  来描述.这里  $E_c$  和  $I_c$  是集合,  $E_c$  和  $I_c$  相应地被称为粒外延和粒内涵.二元关系  $R \subseteq E_c \times I_c$  称为蕴含关系,表示粒结构在特殊背景下的上下文关系.

粒结构作为表示现象中3种范畴的基础形式.在某特定背景下,粒外延表示在论域中被某粒结构所涵盖的元素;粒内涵则表示粒结构中元素所具有的属性及其相似性等,而蕴含关系反映了粒外延与粒内涵之间具有的特定关系.

首先构造现象的概念范畴以作为最基本的知识表示,这种形式表示给定论域中对象的集合,这些对象通过不可辨关系聚合在一起,体现了粒内对象彼此之间的相似性和一致性.本文将基于RS理论和FCA理论的同构性来构造概念范畴的粒结构.粗糙集理论通过不可辨关系来处理不完备

和不充分的信息,可以将知识论域划分为不同的等价类,即根据现象的不同属性或特征将其分类,从而使其具有了颗粒性.同时,FCA中的标尺理论能够刻画对象与属性之间的精确关系.下面先给出这两种理论的同构关系.

**命题1** 给定任意知识库  $(U, A)$ ,  $U$  为论域,  $A := \{B_m \mid m \in M\}$ . 已知  $S(U, A) := ((U, A, W, I), (S_B \mid B \in A))$ , 其中  $S_B$  为额定标尺,其导出背景  $(U, N, J)$ , 令  $\gamma$  为背景  $(U, N, J)$  的对象概念映射,于是,如果  $(u, v) \in IND(P) ((u, v) \in U^2, P \subseteq A)$ , 则有  $\gamma(u) = \gamma(v)$ .

**证明** 设  $[v]_P = \{v \in U \mid uJ(m, n) \Leftrightarrow vJ(m, n), P \subseteq A\}$ . 且  $v \in [u]_P$ , 往证  $[u]_P = [v]_P, (u, v \in U)$ .

事实上,如果  $(u, v) \in IND(P)$ , 则对任意  $m \in P$ , 有  $I(u, m) = I(v, m) = w$ , 其中,  $w \in W_m$ , 且有  $wI_m n (n \in M_m)$ , 由  $uJ(m, n) \Leftrightarrow vJ(m, n)$ , 知  $v \in [v]_P$ , 即  $[u]_P \subseteq [v]_P$ . 另外, 如果  $v \in [v]_P$ , 由  $uJ(m, n) \Leftrightarrow vJ(m, n)$  可知必存在  $w_1, w_2 \in m(U)$ , 有  $I(u, m) = w_1$  且  $w_1 I_m n \Leftrightarrow I(v, m) = w_2$  且  $w_2 I_m n$ . 于是  $w_1 = n \Leftrightarrow w_2 = n, w_1 = w_2 = n, I(u, m) = I(v, m)$ . 根据不可辨关系定义, 有  $(u, v) \in IND(P)$ ,  $v \in [u]_P$ , 即  $[v]_P \subseteq [u]_P$ , 于是有  $[u]_P = [v]_P$ . 从而对  $\forall B \in P$ , 有  $[u]_B = [v]_B$ .

于是可重新定义  $J$ , 有  $[u]_B = [v]_B \Leftrightarrow B(u)J[v]_B \Leftrightarrow uJ(B, [v]_B)$ . 即  $S(U, A)$  的导出背景  $(U, N, J)$  可表示为  $(U, \{(B, [u]_B) \mid B \in A, [u]_B \in U/B\}, J)$ . 同时可得,  $(u, v) \in IND(B) \Leftrightarrow uJ(B, [v]_B) \Leftrightarrow \gamma(u) = \gamma(v)$ . 证毕.

由命题1可知,给定知识库  $(U, A)$ , 则在标尺算子作用下可产生多值背景,且多值背景的导出背景为:  $(U, \{(B, [u]_B) \mid B \in A, [u]_B \in U/B\}, J)$ . 即知识库  $(U, A)$  可通过形式概念多值背景的导出背景来表示,从而在形式上表征了两种理论中基础概念的一致性,同时也作为构建粒结构的基础.基于该命题,给出概念范畴的形式化描述,称之为概念元.

**定义2(概念元及其粒结构)** 给定一知识库  $(U, A)$ , 概念元是一个四元组:  $\chi := (G, M, W, I)$ . 其中,有  $M \subseteq A, G \subseteq U/M, W := \{[u]_B \mid u \in G, B \in M\}$ , 且  $I \subseteq G \times M \times W$ . 概念元的粒结构为其额定标尺的导出背景:  $(G, \{(B, [u]_B) \mid B \in M, [u]_B \in U/B\}, J)$ . 满足:  $uJ(B, [v]_B) \Leftrightarrow [u]_B = [v]_B$ . 其中,  $\forall u, v \in U$  且  $u \neq v$ .

### 1.2 现象的直观范畴

为保证某现象单元的个体持续性及唯一性,必须阐明其状态的定义以及其状态的改变是发生

在时间维度下的,比如,要确定一个新鲜的苹果和腐烂的苹果是同一个对象,需要在时间和状态上给予重新确认.于是,本文认为现象的直观范畴即是由状态片断和时间片断所共同构成的.

首先考虑对时间的定义.在真实的世界中现象在时间中的变化是连续的,如生物的成长和衰败过程,或太阳在时间的流逝中“平滑”地落到地平线以下,等等.

而在本文设定的语境下,即知识空间中,时间是离散的.知识对象由于环境的改变,随着时间而从一个状态跃迁到另一个状态,所以说,知识的运动存在于一种“时间片断”之中,而不是物理世界的均匀时间之中.为了将时间也纳入到粒结构中,首先将这种时间片断形式化地定义为一个多值形式背景(如表1所示), $\tau := ((G_T, M_T, W_T, I_T), (S_t | t \in M_T))$ .

表1 时间片断的多值形式背景表示

| 序号 | 年    | 月 | 日  | 小时 |
|----|------|---|----|----|
| 1  | 2008 | 5 | 19 | 14 |
| 2  | 2010 | 1 | 12 | 16 |
| 3  | 2010 | 5 | 14 | 7  |

在表1中,1、2、3分别为时间论域  $G_\tau$  中的元素,代表了时间片断,称之为时间对象.  $G_\tau$  为一个间隔内所有时间点的集合,其元素可以使用序数表示,也可以使用如“1010914(代表2010年10月9日14时)”的字符串表示有含义的时间点.其他的时间属性是对时间对象(年、月、日)的具体描述.该多值背景可以按不同粒度的需求使用多种标尺(scale),比如可以使用额定标尺对时间的粒度性进行精确的表示,也可以使用其他标尺(如顺序标尺)对时间进行模糊表示.

其次讨论“状态”的概念.在真实世界的系统中,对状态的定义是多维度的.比如一个正在运动中的人的状态可以在物理学、生物学或心理学等角度进行描述.如需要研究某物体的机械运动状态,则将其理想化为一个质点,其状态可以简单地用位置和动量来描述.而在充满现象的知识空间中,某现象的“状态”蕴含在某时间片断下的概念范畴当中,即需要给出现象的时间-状态描述.

在某一时间点下,在讨论“概念元的两个状态相同”的情况时,可将其理解为在两个不同时间点的概念元具有的“状态值”<sup>[7-8]</sup>相等.由于概念元是由FCA的多值背景描述的,所以概念元的值是由其标尺  $S_m := (W_m, M_m, I_m), (m \in M_\chi)$  来表达的,即如果  $\forall m, n \in W_m$  是等值的,当且仅

当  $m, n$  在  $S_m$  中具有相同的对象概念.于是,如果在两个不同时间点  $g_1, g_2$  下概念元  $\chi$  的两个状态是相同的,即相应的对象概念的内涵是相同的.所以概念元的状态用对象概念的内涵来表示.

**定义3**(时间-概念元的粒结构及其状态) 给定一知识库  $(U, A)$  以及时间论域  $G_\tau$ . 给定概念元  $\chi := (G_\chi, M_\chi, W_\chi, I_\chi)$ . 则定义时间-概念元为  $\chi := (G, M_\chi, W_\chi, I_\chi)$ . 其中  $G = G_\chi \times G_\tau$ . 则其粒结构为导出背景:  $K_\chi := (G, \{(B, [u]_B) | B \subseteq A, [u]_B \in U/B\}, J)$ . 对  $\forall g \in G_\tau$ , 并定义概念元  $\chi$  的状态为形式背景  $K_\chi$  的对象概念  $\gamma_\chi(g)$  的内涵.

在定义3中,可将粒结构赋予给时间,即一个时间“粒”是一个时间片断(时间论域  $G_\tau$ ),其中包含了若干时间点.本文将时间“织入”到概念元内部,即  $G = G_\chi \times G_\tau$  为时间-概念元的对象论域.而概念元的状态用对象概念  $\gamma_\chi(g)$  的内涵来表示,即表示在某时间点下某对象所包含的不同类别属性的集合.

## 2 现象的关联逻辑

现象之间的关联关系是现象之间进行聚合,构成更高级的组织,以及进一步构成知识空间的基础.本文将现象之间的的关联理解为现象中知识层面,即概念范畴(概念元)之间的关联.

### 2.1 现象概念范畴之间的关联关系

**定义4**(概念元关联) 在知识库  $(U, A)$  下,给出任意两个概念元  $\chi := (G, M, W, I)$  和  $\chi' := (G', M', W', I')$ . 两概念元的粒结构为其相应的额定标尺导出背景,分别为  $(G, \{(B, [u]_B) | B \in M, [u]_B \in W\}, J)$  以及  $(G', \{(B', [v]_{B'}) | B' \in M', [v]_{B'} \in W'\}, J')$ , 且有  $\exists C \subseteq M, \exists C' \subseteq M'$ . 如果满足以下条件:

- 1)  $N \cap N' \neq \emptyset$ .
- 2)  $\bigcup_{Y \in X/C} \{u \in G | [u]_C \subseteq Y\} \cap \bigcup_{Y' \in X'/C'} \{v \in G' | [v]_{C'} \subseteq Y'\} \neq \emptyset$ .

称两概念元是关联的. 并将  $C(C')$  称为概念元  $\chi(\chi')$  中的相关知识集. 其中的元素称为相关知识.

**定义5** 在给定知识库  $(U, A)$  下,给出任意两个概念元  $\chi := (G, M, W, I)$  和  $\chi' := (G', M', W', I')$ . 两概念元的相应额定标尺的导出背景分别为  $(G, \{(B, [u]_B) | B \in M, [u]_B \in W\}, J)$  和  $(G', \{(B', [v]_{B'}) | B' \in M', [v]_{B'} \in W'\}, J')$ . 如果在概念元  $\chi, \chi'$  分别存在相关知识集  $C, C'$ , 则存在  $B \in C$ , 若满足:

$$\bigcup_{Y \in \mathcal{X}/(C' - |B|)} \{u \in G \mid [u]_C \subseteq Y\} = \bigcup_{Y \in \mathcal{X}/C'} \{u \in G \mid [u]_C \subseteq Y\}.$$

则称  $B$  为  $M$  中  $M'$  - 可约知识, 否则称  $B$  为  $M$  中  $M'$  - 不可约知识. 同样也可定义  $M'$  中  $M$  - 可约知识.

**定义 6 (知识核)** 如果对于任意两个概念元  $\chi := (G, M, W, I)$  和  $\chi' := (G', M', W', I')$ .  $B \in M (B' \in M')$ ,  $B (B')$  既是不可约知识又是相关知识, 则称知识  $B (B')$  为核内知识. 所有关联概念元的核内知识组成一个集合, 称之为知识核, 记为  $core(A)$ .

知识核同时也作为具有关联关系的现象所形成的更高级知识粒的边界及特征标识.

### 2.2 关联逻辑

为了模拟人类对现象进行加工整理从而形成知识的过程, 以及在某特定领域对知识的推理, 除了对现象的直观范畴及概念范畴进行形式化表示, 还要研究现象之间如何互相吸纳整合而形成了粒状的知识“块”. 以上所给出的关联关系体现了现象之间所存在的“先天”关系, 而要体现现象之间运动的本质, 就需要提供相应的规则和逻辑, 从而使各个现象有机的联络起来.

关联逻辑表达了这样的事实: “每个具有知识集  $A$  的现象, 就一定具有知识集  $B$ ”, 或使用现象的概念范畴(概念元)来表述, “概念元  $\chi$  中的元素  $u$  具有知识  $B$ , 意味着概念元  $\chi'$  中的元素  $v$  具有知识  $B'$ ”.

在定义 4 中, 条件 2 反映了在各自子论域下的两个概念元的相关性取决于相关知识背景下论域中元素的相关性, 为了不失一般性, 将两个子论域元素之间的相关关系记为  $R_U$ : 如果  $\forall u \in G, \exists v \in G'$ , 满足  $uR_U v$ . 在这里将  $G$  和  $G'$  的元素之间的相关关系  $R_U$  用一个多值映射关系  $\eta$  来表示:  $\eta: G \rightarrow 2^{G'}$ . 即  $\eta(u) = \{v \in G' \mid uR_U v\}$ . 反之也成立.  $\eta(u)$  是  $G'$  中所有与  $u$  相关的元素的集合,  $\eta$  映射反映了在两个概念元知识相关的前提下,  $G$  中的子集与  $G$  中元素相关的  $G'$  中的元素所组成的子集是相交(包含)的.

**定义 7** 给定知识库  $(U, A)$ , 其中两概念元  $\chi := (G, M, W, I), \chi' := (G', M', W', I')$  是关联的, 两概念元的相应粒结构分别为  $(G, \{(B, [u]_B) \mid B \in M, [u]_B \in W\}, J)$  和  $(G', \{(B', [v]_{B'}) \mid B' \in M', [v]_{B'} \in W'\}, J')$ . 则有相关知识集  $C \subseteq M, C' \subseteq M'$ , 一个关联逻辑是由  $\langle C, C' \rangle$  表示. 如果满足:  $(\forall B \in C)[u]_B \Rightarrow (\exists B' \in C')[u]_{B'} J'B'$ , 则称概念元  $\chi$  中的元素  $u$  符合关

联逻辑  $\langle C, C' \rangle$ .

#### 例

1) 如关联逻辑  $\langle \{a, b\}, a \rangle$  在任何情况下都成立, 将这种关联逻辑称为平凡的.

2) 有  $\langle C, C' \rangle$ , 则当  $C'' \subseteq C'$  就会产生  $\langle C, C'' \rangle$ , 这种关联逻辑是由其他关联逻辑产生的.

3) 设有指标集  $N$ , 对  $i \in N$ , 如有  $\langle C_i, C'_i \rangle$ , 则会产生  $\langle \bigcup_{i \in N} C_i, \bigcup_{i \in N} C'_i \rangle$ , 称之为并集逻辑.

**定义 8** 给定知识库  $(U, A)$ , 设  $M \subseteq A, M$  与关联逻辑  $\langle C, C' \rangle$  相关是指  $C \not\subseteq M$  或  $C' \subseteq M$ . 设  $L$  是一个关联逻辑的集合, 如果  $M$  与  $L$  中每一个关联逻辑都相关, 则称  $M$  与  $L$  相关. 如果每一个  $M_i$  都与  $\langle C, C' \rangle$  相关, 则称  $\langle C, C' \rangle$  在集合  $\{M_1, M_2, \dots\}$  中成立. 如果  $\langle C, C' \rangle$  在现象的状态(概念对象内涵)组成的集合中成立, 则称  $\langle C, C' \rangle$  在知识库  $(U, A)$  中成立.

**定义 9** 如果每个在知识库  $(U, A)$  中成立的关联逻辑都可以由  $(U, A)$  中某个关联逻辑的集合  $I$  产生, 即与  $I$  相关的每个  $M \subseteq A$  都是知识库  $(U, A)$  中某概念元的一个概念对象内涵, 则称  $I$  是完备的.

为了说明  $I$  的完备性, 首先去除一些显而易见的规则, 如平凡的、由其他关联逻辑所产生的, 以及并集逻辑. 为此, 命题 2 中在  $(U, A)$  下构造一个最小的相关知识集  $C'$ , 使其包含在  $f(g(C))$  中但不包含在  $C$  中或  $C$  的真子集闭包中, 同时证明基于这种构造的  $I$  的完备性.

**命题 2 (关联逻辑集合  $I$  的完备性)** 知识库  $(U, A)$  中的某相关知识集  $C \subseteq A$ , 令  $C' = f(g(C)) - (C \cup \bigcup_{c \in C} f(g(C - \{c\})))$ , 则规则集合  $I := \{\langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset\}$  是完备的.

**证明** 令  $A'$  是  $A$  的有限子集, 设  $A'$  与  $\{\langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset\}$  中的每一个  $\langle C, C' \rangle$  都相关, 往证  $A'$  是内涵, 即  $f(g(A')) = A'$ . 因为  $A'$  与  $\{\langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset\}$  中的每一个  $\langle C, C' \rangle$  都相关, 当  $C \subseteq A'$  时有  $C' \subseteq A'$ , 即有  $\bigcup \{\langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset\} \subseteq A'$ , 于是有  $\bigcup \{\langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset \wedge C \subseteq A'\} \cup A' = C'$ . 假设  $f(g(A')) \neq A'$ , 则显然有  $A' \subseteq f(g(A'))$ , 设  $a \in f(g(A'))$ , 且  $a \notin A'$ , 取满足  $a \in f(g(C))$ , 同时  $a \notin f(g(C''))$  (其中  $C''$  是  $C$  的任何真子集). 因为  $a \notin A', C \subseteq A'$ , 所以  $a \notin C$ , 有因为  $a \notin f(g(C''))$ , 所以  $a \notin f(g(C - \{c\}))$ , 于是有  $a \notin X \cup \bigcup_{c \in C} f(g(X - \{c\}))$ . 显然  $a \in A'$ , 即  $C' \neq \emptyset$ . 由于  $a$  是  $f(g(A')) - A'$  中的任一元素, 又  $a \in C'$ , 且  $C' \neq \emptyset$ , 于是  $\bigcup \{C' \mid C' \neq \emptyset \wedge$

$C \subseteq A' \cup A' = A' = f(g(A'))$ , 所以  $A'$  是内涵, 即每个与  $\{ \langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset \}$  相关的  $A$  的子集  $A'$  都是内涵, 由定义 9 可知  $\{ \langle C, C' \rangle \mid C' \neq \emptyset \}$  是完备的. 证毕.

以上给出了现象及其范畴的形式化表示, 由上述讨论可知, 现象的直观范畴表现为时间 - 状态, 而其中状态是由现象的概念范畴来体现的, 即概念元中对象概念的内涵. 同时, 关联逻辑作用于对象概念的内涵. 于是, 现象的这 3 种范畴被纳入了统一的粒结构框架中.

### 3 结 论

1) 基于形式概念分析 (FCA) 与粗糙集构造了概念元作为现象的概念范畴, 即在 FCA 的多值背景下加入不可辨关系, 使概念范畴具有处理不完备和不充分信息的能力, 即可以根据现象的不同属性或特征将其分类的能力.

2) 在此基础上加入了时间元素, 将现象的直观范畴描述为不同时间点下概念元中所蕴含的等价类的集合.

3) 同时, 将现象之间的关联理解为其概念范畴的关联, 并给出了关联的条件及规则, 并证明了关联逻辑集合  $I$  的完备性. 关联逻辑可作为构造相对现象更高级的知识粒结构以及研究知识在时间中运动的基础.

### 参考文献:

[1] YAO Y Y. Granular computing: basic issues and possible solutions [C]//Proceedings of the 5th Joint Conference on Information Sciences. Atlantic, NJ: Association for Intelligent Machinery, 2000: 186 - 189.

[2] GANTER B, WILLE R. Formal concept analysis: mathematical foundations [M]. Berlin: Springer, 1999: 15 - 37.

[3] GANTER B, WILLE R. Conceptual scaling [C]//Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. New York: Springer-Verlag, 1989: 139 - 167.

[4] PAWLAK Z, SKOWRON A. Rough sets: some extensions [J]. Information Sciences, 2007, 177(1): 28 - 40.

[5] SKOWRON A, STEPANIUK J, PETERS J F. Rough sets and infomorphisms: towards approximation of relations in distributed environments [J]. Fundamenta Informaticae, 2003, 54(2/3): 263 - 277.

[6] YAO Y Y. A partition model of granular computing [J]. Transactions on Rough Sets, 2004, (1): 232 - 253.

[7] WOLFF K E. A conceptual view of knowledge bases in rough set theory [C]//Proceedings of the Second International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing. Berlin: Springer, 2000: 188 - 192.

[8] WOLFF K E. Temporal concept analysis [C]//Proceedings of the 9th International Conference on Conceptual Structures. USA: Stanford University, 2001: 91 - 107.

(编辑 张 红)

(上接第 119 页)

[2] GALEOTTI M, LANZA A, PAULI F. Reassessing the environmental kuznets curve for CO<sub>2</sub> emissions: a robustness exercise [J]. Ecological Economics, 2006, 57(1): 152 - 163.

[3] WAGNER M. The carbon kuznets curve: a cloudy picture: emitted by bad econometrics? [J]. Resource and Energy Economics, 2008, 30(3): 338 - 408.

[4] RELOCK R C, STREAM C. Environmental protection versus economic development: a false trade-off? [J]. Public Administration Reviews, 2001, 61(3): 313 - 321.

[5] GEDDES P. Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and the study of civicism [M]. New York: Howard Ferug, 1915.

[6] MUMFOND L. The city in history: its origin, its transformation, and its prospects [M]. Haccourt: Brace&World, Inc, 1961.

[7] 孙志芬, 郝润梅. 呼和浩特市城市人居环境评价指标体系的构建 [J]. 内蒙古师范大学学报, 2008, 37(4): 105 - 108.

[8] 鲁春阳, 宋昕生, 杨庆媛, 等. 城市人居环境与经济协调度评价 [J]. 西南大学学报, 2008, 30(6): 121 - 125.

[9] 邢兰芹, 曹明明. 西安城市人居环境可持续发展趋势研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 59 - 63.

[10] 吴良镛. 人居环境科学导论 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[11] 翟凤勇, 王要武. 中国股市新股评价指标及其多元分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(4): 574 - 576.

(编辑 张 红)