

基于开放世界预设和概念空间的概念演化

郭佳宏

中山大学逻辑与认知研究所, 广州, 510275

摘要：由于世界的开放性，主体认知形成的概念及分类处于不断变化之中，这就需要某种合适的方式来描述这种变化过程。本文首先借鉴开放世界模型和概念空间模型，说明和概括相应的概念演化的某些特点，并指出各自的优缺点；然后结合上述两种方法，提出一种从较小的已知到部分无知再到较大的已知的概念进化模型。

关键词：开放世界；概念空间；分类；概念扩张；概念进化

中图分类号：B81 **文献标识码：**A

1 概述

概念是人类思维的基础。在认知的过程中，人们往往先对某个事物或某种关系形成概念，然后把它们作为既定的成分形成句子，进而进行推理和思想的交流；与此同时，人们也关注概念之间的关系，并且利用已有的关系进行概念推理。从逻辑的角度看，这样过程的某些简单部分可用一阶逻辑表达，原子概念对应谓词，包括一元的和多元的；逻辑联结词和量词把它们组成复杂的概念表述形式以及句子。在自然语言中，概念对应的词类主要为名词、形容词、动词、副词等实词。

不过在主流逻辑和语言学界，静止的观点曾占据主导地位（van Benthem 1996），因此传统逻辑与语言学认为概念是反映对象固有属性的思维形式。固有属性是指一类对象普遍、必然具有的属性。一旦某个概念确定，它的内涵和外延也就确定，不会随着时间和语境变化而变化。但事实上，由于人类认知是一个跟认知对象互动的过程，任何认知对象的改变和认知方式的改变均可以引起人类认知结果的变化，所以从这个意义上不难得出，跟认知相关的“概念”一定处于不断的变化中。这表现为，某个概念本身在绝对地发生着变化，许多概念相互作用形成的复合概念的含义也不是其成份概念含义的逻辑组合。

那么，如何用严谨可靠的方法来描述上述概念的动态过程？鞠实儿（以下简称鞠）（1997，2001，2003）的开放世界预设模型和 Gardenfors（2000）的概念空间模型可以作为不错的方法。本文先给出上述两种模型，然后用它们分别来描述概念演进，接着结合两者的优点，整合出一种更为切合实际、更加细致的模型。

2 开放世界预设及其对概念扩张过程的描述

由于认识论和本体论的原因，存在其成员可增加的集合，称为开放集合（Opening Set）；而且由于认知主体认知能力的局限性，它们无法枚举开放集合的所有成员。因此，在最基本的集合层面上，认知主体对研究对象处于部分无知状态；对开放集合的描述亦应采用一种有别于经典逻辑的方式。鞠（2003）认为如果某个集合是由“性质”定义的并且它的成员数目会增加，那么它可称为开放集。假定 U 是由性质 U 决定的开放集，对某个个体 α 而言， $\alpha \in U$ 当且仅当 α 具有 U 性质。在此基础上，鞠（2003）提出开放世界的概念。设 W 为一类现存的或物理上存在的个体，它可能是某个概念已知的外延，也可能是某个自然类的现有的成员； W 为 W 中所有的成员共享的性质。但是，本体论上承诺存在或潜在地有个体 a ，使得 a 具有 W 性质且不属于 W 应是合理的；令 W_R 是一个类，其中的成员均为具有上述特点的个体。

令 $W^* = W_R \cup W$ 。称 W^* 为开放域， W_R 和 W 分别为潜在世界和开放世界。

具体地，对于某个由性质定义的概念 C 而言，先考虑性质 P ，令 C 为现有的或已知的具有性质 P 和具有性质非- P 的个体集（主体在认知过程中把当下的已知域用某个性质 P 来划分，划成具有性质 P 的和不具有性质 P 的两块；不具有性质 P 的已知部分一定具有与 P 不相容的性质，因此也称作具有非- P 性质），记已知的具有性质 P 的集合为 P ，具有性质非- P 的集合为 $\text{not-}P$ ，有 $P \cup \text{not-}P = C$ ； C^* 为开放域， C_R 为潜在域， $C^* = C_R \cup C$ 。当新的个体出现时，它可能具有性质 P ，可能具有性质非- P ，也可能两者都不具有。随着时间和认知地进行， C 的内容会不断地扩充。（见图 1）

比如对于“颜色”概念，当下已知个体总共有三条两两不相容性质：红、绿和蓝。我们只考虑红的性质。对于当下已知个体，如果具有红的性质，就称其为红色的；如果具有绿的或蓝的性质就称其为非红的。当新的个体出现时，可能有红、非红以及既不是红也不是非红，比如后来出现的黄，因为当下新出现的此类个体在已知的二分法中无法归类，尽管在后来的二分中我们又会把它归到非红中。

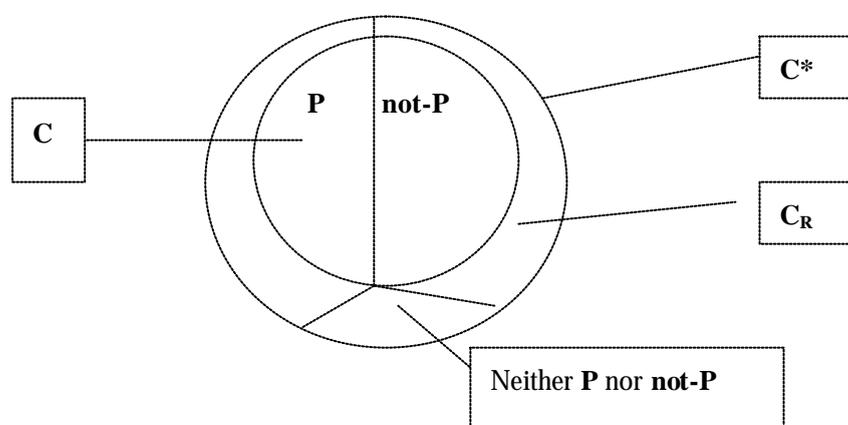


图 1：开放世界下的概念扩张模型

从上述模型不难看出，对于某个概念，随着认知的进行，它的外延会不断地扩充；而且逻辑上存在着无知的个体，这就有可能丰富概念的性性质组成，也就是说，随着概念的扩张，划分的标准会变得更加细致。

不过开放世界模型仅仅说明了这一发展的可能性，它并没有给出整个变化过程以及在扩张时产生新的划分标准后重新划分的结果；而且这里的划分标准不够细致，当碰到具体问题，主体可能难以操作。而 Gardenfors 的概念空间模型则可以克服上述不足。

3 概念空间理论及其基于此的概念演化

3.1 概念空间理论概述

按照 Gardenfors (2000)，一个概念空间可以用一个或多个质维 (quality dimensions) 来定义。质维的主要功能用来表征个体所具有的各种性质，比如温度、重量、时间等。每一个质维被赋予某种几何结构 (拓扑的或次序结构)。不同的质维组合成不同的坐标系，用作赋予具体个体某种性质，并且具体化它们之间的关系。我们之所以可以区分质维，是由于跟维度相对应的不同形式的刺激会被主体判断为相似的或者不同的。在许多情况下，对相似性和差异性的判断会产生有关刺激的次序关系。比如时间表征可以表示成：



图 2：时间维度

不过这一表征不是心理普遍的，而是在某种程度上依赖于文化。当然，并非所有的质维是线性的和连续的：有些是圆形，比如颜色色调维度；有些是离散的，比如生物学中物种发展树。有了几何结构的质维，便可以组合成空间系统，称之为概念空间。比如颜色，根据瑞典自然颜色系统（SNCS），我们把它描述成三个维度：色调（hue）、彩色度（chromaticness）、亮度（brightness）。色调的几何结构为圆，称其为色圈（color circle），用极坐标的角度来描述之；彩色度从灰（0 强度）到最强，几何结构类似实线的一段，如图 3。亮度从白到黑，几何结构也是一条线段。不过彩色度和亮度不是完全独立的，当亮度取极端黑或极端白的时候，对比度的变化率就会下降。由上述三维构成的空间是一个“纺锤”，称之为色锤（color spindle）。它的水平切面就是色圈。（见图 4）

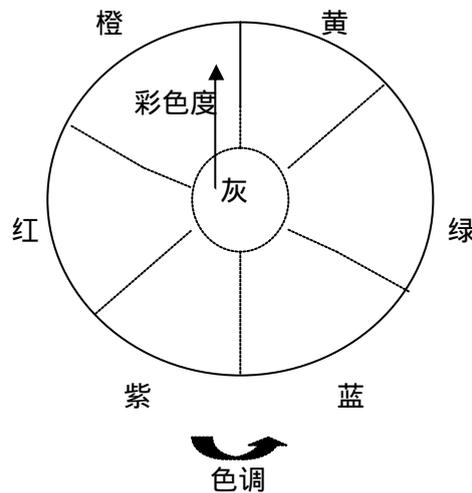


图 3：色圈（color circle）

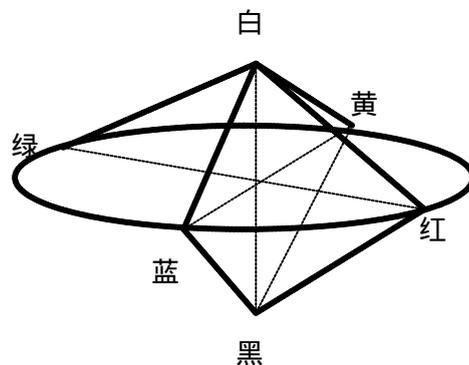


图 4：色锤（color spindle）

有了概念空间结构，我们可以在空间中找到描述概念所涉及的对象（比如性质、个体等）对应的结构。根据 Gardenfors（2000，2001），“域”表示一组整合的维度，概念空间中的域并非是完全独立的实体，而是可以通过不同方式关联起来；“性质”是域中的区域，即域的

子集；空间中的每一点表示某一可能个体。

3.2 有关空间几何结构的几个重要数学定义

定义 1：令 S 表示空间中所有点的集合。“之间”(betweenness) 关系是 S 上的一个三元关系 B 使得 B 满足下列基本条件：

?B0: 如果 $B(a, b, c)$, 那么 a, b, c 是两两不同的点。

?B1: 如果 $B(a, b, c)$, 那么 $B(c, b, a)$ 。

?B2: 如果 $B(a, b, c)$, 那么非- $B(b, a, c)$ 。

?B3: 如果 $B(a, b, c)$ 且 $B(b, c, d)$, 那么 $B(a, b, d)$ 。

?B4: 如果 $B(a, b, d)$ 且 $B(b, c, d)$, 那么 $B(a, b, c)$ 。

这样便可以用“之间”来定义直线和平面(Gardenfors 2000, Borsuk and Szmielew 1960)。

定义 2：等距(Equidistance)是 S 上的一个四元关系 E 使得 E 满足下列基本条件 (Borsuk and Szmielew 1960):

?E1: 如果 $E(a, a, p, q)$, 那么 $p=q$ 。

?E2: $E(a, b, b, a)$ 。

?E3: 如果 $E(a, b, c, d)$ 且 $E(a, b, e, f)$, 那么 $E(c, d, e, f)$ 。

说明： $E(a, b, c, d)$ 直观表示“点 a 到 b 距离与点 c 到 d 一样远。”

为了更细致地描述空间，有必要给出空间距离度量。

定义 3：实值函数 $d(a, b)$ 被称为空间 S 的距离函数，如果对 S 中任意的点 a, b, c , 满足下列条件：

?D1: $d(a, b) \geq 0$ 并且只有当 $a=b$ 时，才有 $d(a, b)=0$ 。(最小性)

?D2: $d(a, b)=d(b, a)$ 。(对称性)

?D3: $d(a, b) + d(b, c) \geq d(a, c)$ 。(三角不等性)

如果某一空间有距离函数，那么就称其为可度量空间(metric space)。为了研究方便，本文只考虑 Euclidean-距离。这一度量空间满足“之间”和“等距”的基本条件。对于 Euclidean-空间，如果给出其中任意两点的坐标，那么就可算知这两点的距离，如对于 n 维空间 R^n ,

两点 a 和 b 的坐标分别为 (x_1, \dots, x_n) 和 (y_1, \dots, y_n) 那么它们之间的距离是 $\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$ 。

概念信息的描述很大程度上是依赖于相似性的，对于具体概念空间的度量需要经验科学的研究；不过一旦有了距离的定义，就可以把相似性作为距离的函数。如指数衰减函数 $S_{ij} = e^{-cd_{ij}}$, S_{ij} 表示个体 i 和 j 的相似度， d_{ij} 是它们的距离； c 是广义的敏感系数(Shepard 1987 等)。

接下来是对空间区域结构某些特殊性质的定义。

定义 4：称某个概念空间的子集 C 是

1 连接的，如果其任意分解成的两个非空集 C_1, C_2 之和满足 $C=C_1 \cup C_2$ 。我们有 $\neg C_1 \cap C_2 = C_1 \cap \neg C_2 \neq \emptyset$, $\neg C$ 是 C 的闭包(closure)。也就是说，如果 C 不是两个非空闭集的不相交并，那么 C 是连接的。

2 相对于点 P (称之为核心点) 是星形的，如果对 C 中的所有点 x , 任意处于点 P 和 x 之间的点也在 C 中。

3 凸形的(convex), 如果对于 C 中的任意两点 x 和 y , 所有在 x 和 y 之间的点也在 C 中。

当然上述三条最终取决于空间中“之间”的定义。Gardenfors (2000) 的一个核心观点是：自然性质在概念空间中的区域是凸形的，称之为标准 p 。他认为这一标准较好地符合经验并且能够产生最大数量的经验预测，他相信认知经济原则可为此提供辩护。在这样的标准下，许多自然类的空间被某些性质划分成一块块凸区域，称之为 Voronoi 方格。

定义5 概念空间中的 Voronoi 方格由三元组 $\Delta(P, d, C)$ 给出 P 是生成点(generator point) 集合 $\{p_1, \dots, p_n\}$, d 是 C 上的距离度量, 由生成点生成的对应方格区域为 $c(p_i)$ 。对于自然类, p_i 相当于子类中的某个原型(prototype), 那么 $c(p_i) = \{x | d(p_i, x) \leq d(p_j, x) \text{ for } j = 1, 2, \dots, m\}$; 如果不考虑原型的权重, p 相当于空间中一点, $d(p, x)$ 即为 x 到 p 的距离; 如果考虑原型的权重, 那么原型在空间中对应某个区域, 记为 P , 半径为 r_p , 则 $d(P, x) = d(p, x) - r_p$ 。也称 $c(p_i)$ 为 p_i 产生的划分。如下图:

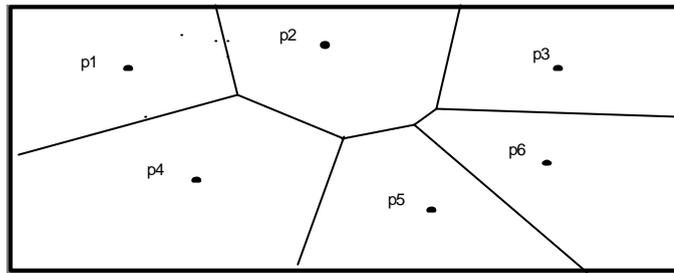


图 5 : Voronoi 方格

3.3 概念的学习和扩张

在概念空间中, 每一个例子对应的是一个点, 那么如何根据感知的例子来确定子概念原型的位置, 进而划分整个概念域呢? Gardenfors (2000) 认为, 首先根据相似性把已知的距离比较近的例子归为一族, 然后根据所有例子的坐标计算出原型的坐标。设 x_{ik} 为 P 族中第 k (k 为自然数) 个例子的 i 维坐标, 那么 P 的原型的 i 维坐标 $p_i = \sum_k x_{ik} / n$ 。 p 在事实上可以不存在, 但在概念空间中一定可以找到它的位置。有了各自概念的原型坐标, 整个已知的概念空间便被划分成 Voronoi 方格, 见图 6。

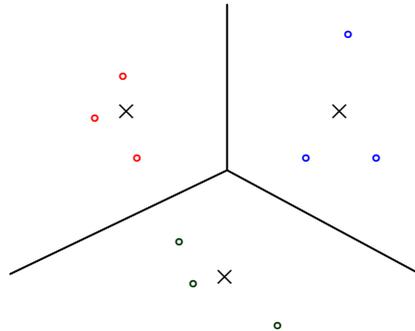


图 6 : 三类例子生成的 Voronoi 方格, \times 表示各族原型。

这一格局形成后, 如果某一族又出现了新例子, 那么它对应的原型坐标就发生移动, 进而导致边界的变化。对于每一维 i , 设 x_i 为新出现的例子的第 i 维坐标, 那么原型在这一维发生的变化量 $\Delta p_i = (x_i - p_i) / (n + 1)$ 。由此不难算出新原型的坐标, 于是图 6 变成图 7。

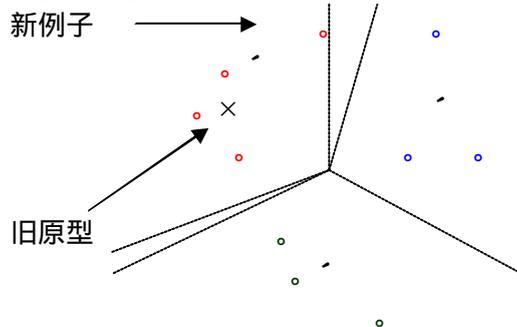


图 7 : 图 6 增加新例子后的 Voronoi 方格。

另外, Gardenfors (2000, 2001) 还给出了原型权重变化及坐标轴尺度变化的模型(分

别见图 8 和图 9)

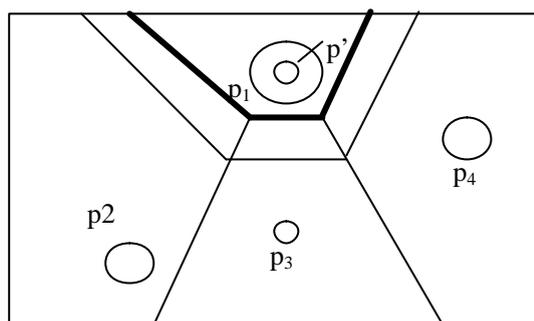


图 8：原型权重的变化引起整个划分的变化 (p_1 变为 p')

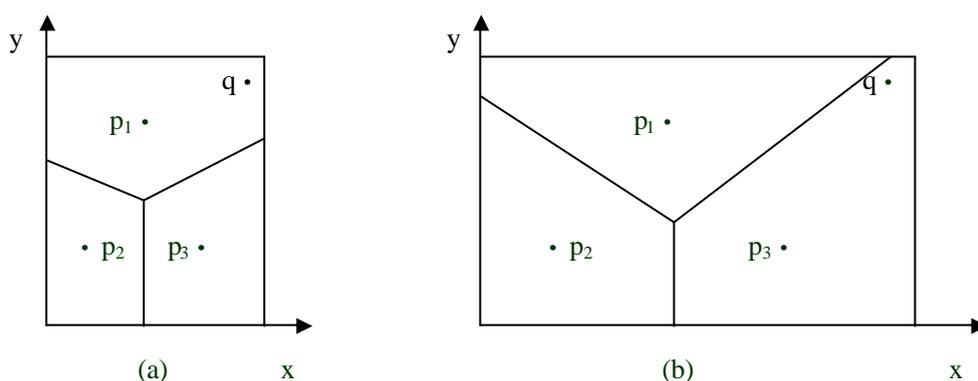


图 9：x 轴的尺度变为原来的 2 倍，使得 q 在(a)中属于 p_1 的变为在(b)中属于 p_3 。

概念空间模型确实能细致地描述分类、概念学习和变化过程等问题，但这里所涉及的主要是对已有知识的描述，新的例子和子概念的产生被看成是预先给定的，而并没有考察从无知到已知的过程。但主体在认知过程中，必然有无知的成份存在。所以接下来我们结合开放世界和模型，试图给出能够描述从无知到已知过程的概念空间模型。

4 开放世界下的概念空间模型及概念进化

原概念空间模型的主要问题有：新例子的归属问题，子概念的增加问题。原模型中的子概念只是根据相似性从经验得到的，当主体用这样的模型去面对新的例子时，根据开放世界预设，可能存在某些新例子无法落入原有的任何一个子概念中。在这种情况下，并且这样的新例子不断出现，而它们之间却有较强的相似性，那么主体就有理由断定产生了新的子概念和新的原型。然后用这一新原型回过头来结合原有原型对整个已知(知识已比初期扩充了)概念空间进行重新划分。这样，原有概念的信息增加了，而且主体对原有概念的划分也变得更加细致了。

下面以颜色色调空间为例，来说明主体有关颜色的知识是如何增加的。

我们假定，在初期主体知道的颜色内容很少，它对已知的所有颜色例子形成了三种原型：红色、黄色、蓝色，而且仅有这三种。那么根据 Gardenfors (2000) 标准 p ，主体把已知的颜色空间划分成三个凸区域，分别对应红色范畴、黄色范畴和蓝色范畴。见图 10。

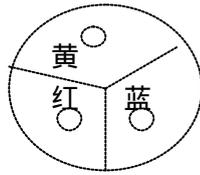


图 10：主体用三种原型（红、黄、蓝）对已知颜色进行分类。

由于颜色域的开放性，主体接下来面对扩充了的颜色域，它将对新的内容进行分类。主体按照原有分类标准，先把扩充了的区域大致地分成三块，然后逐个验证。对于比较类似红、黄、蓝原型的新例子，主体能较容易地把它归入相应的范畴；不过新的例子中有可能出现无法归入已有的范畴的“异类”，如在红黄之间、红蓝之间、黄蓝之间均有可能出现。根据开放世界理论，我们把这样的例子组成的区域为不确定区域，于是图 10 演化成图 11。

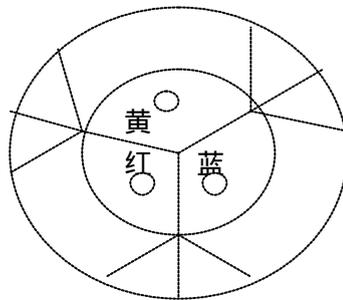


图 11：对新的例子的归类（出现无法归入原有范畴的不确定区域）。

随着认知的进行，通过比较和归纳，主体会发现在每个不确定区域中有许多例子非常相似，于是它就把它归入一类，并用新的名字命名，比如分别用橙、绿、紫来命名不确定区域产生出的新颜色类，然后选出或计算出相应的原型。这样图 11 演化成图 12。

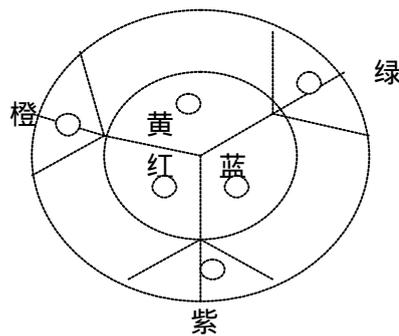


图 12：不确定区域产生新原型

不确定区域产生的原型跟原来的原型红、黄、蓝有同等的地位，而图 12 的划分显然已经不能满足 p 标准，因此主体必须重新考虑扩充空间的划分。一般的做法是按照 p 标准重新划分出 Voronoi 方格。于是图 12 演变为图 13。

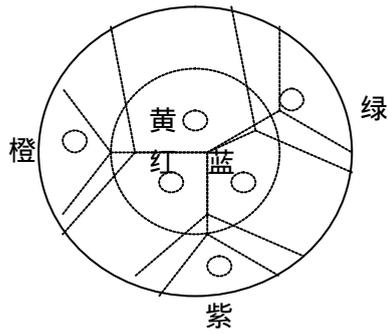


图 13：新老原型把扩充的整个区域重新划分。

这样，主体有关颜色概念的知识变得比原来丰富了。如此不断的发展过程，便是概念知识不断扩张和进化的过程。

5 结论与展望

开放世界预设表达了概念和知识不断变化的事实，而概念空间理论则为描述概念信息提供了一个灵活的几何模型。本文的第 4 部分给出了部分概念在开放世界预设下扩张和进化的简易几何模型。由于概念本身的复杂性和多样性，并非所有的概念的扩张和进化都可以用上述模型来表达。我们可以尝试为某类概念构造出相应的扩张模型。为了进一步细致地刻画概念扩张的过程，并且能使计算机模拟这样的认知过程，我们有必要用刻画过程的逻辑来形式化上述模型。

参考文献：

- [1] van Benthem, J. Exploring Logical Dynamics (M). CSLI Publications 1996, p3.
- [2] Borsuk, K. & Szmielew, W. Foundations of Geometry (M). Amsterdam: North Holland, 1960.
- [3] Gardenfors, P. Conceptual Spaces: The Geometry of Thought (M). MIT Press, Cambridge Massachusetts, 2000.
- [4] Gardenfors, P & Williams, M. Reasoning about Categories in Conceptual Spaces (A), in the Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference of Artificial Intelligence (C). Morgan Kaufmann, 2001.
- [5] 鞠实儿. 论可能世界集合的封闭性与否定联结词的关系(J). 自然辩证法研究, vol. 13, 1997, p. 9 -13.
- [6] 鞠实儿, 刘虎. 基于开放世界预设的 3-值逻辑(A). 智能计算机研究进展(C). 北京:清华大学出版社, 2001.3.
- [7] Ju S. E. & Liu H. The Logical Structure of the Open Sets(J). Social Sciences in China. Vol. XXIV, Autumn 2003. p99-109.

Conceptual Dynamics Based on Open World Assumption and the Theory of “ Conceptual Spaces”

GUO Jia-hong

The Institute of Logic and Cognition, Zhongshan University, Guangzhou, 510275, China

Abstract: For the opening of the world, concepts and categorizations in agents through cognition are always changing. So we need some proper approaches to characterize those procedures of change. The

article at first introduces two such models based on open world assumption and the theory of “conceptual spaces” respectively, indicating some merits and demerits of their own. Then the author integrates the two methods above, putting forward a kind of concept evolution model, that is, from the less known state to partial unknown state and again to the more known state.

Key words : open world; conceptual spaces; categorization; concept expansion; concept evolution

收稿日期：2004-03-09;

作者简介：郭佳宏（1976-），男，浙江舟山人，中山大学哲学系逻辑与认知研究所博士生。