

# SPA 的同异反系统理论在人工智能研究中的应用

赵克勤

(诸暨市联系数学研究所,浙江 诸暨 311811)

**摘要:**把有同一性、差异性和对立性的系统定义为同异反系统,通过分析同关系、异关系、反关系的联系与转化研究同异反系统,由此形成同异反系统理论.把此理论用于智能的定义、知识创新、模式识别、同异反推理、智能管理、多 Agent 协同分析、同异反诗词创作,说明不同的人工智能问题可以抽象出同异反系统,也为不同人工智能问题中的同异反联系与转化研究提供了一种新的系统理论.

**关键词:**人工智能;同异反系统;同异反系统理论;集对分析

**中图分类号:**TP18 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2007)05-0020-16

## The application of SPA-based identical-discrepancy-contrary system theory in artificial intelligence research

ZHAO Ke-qin

(Zhuji Institute of Connection Mathematics, Zhuji 311811, China)

**Abstract:** A system with identity, discrepancy and contradiction is defined as an identical-discrepancy-contrary system (IDCS). IDCS theory is developed by studying the connection and transformation of identical relations, discrepant relations, and contrary relations. This theory can be used in definitions of intelligence, knowledge innovation, pattern recognition, IDC inference, intelligent management, multi-agent synergetic analysis, IDC poetry creation and so on, which shows that many artificial intelligence problems can be abstracted as IDCS theory. This theory offers a new systematic method for studying IDC connections and transformations in artificial intelligence issues.

**Keywords:** artificial intelligence; identical-discrepancy-contrary systems (IDCS); identical-discrepancy-contrary systems theory (IDCST); set pair analysis (SPA)

对立同一及其中介过渡是客观世界的一个基本规律,也是存在于人工智能中的一种普遍现象.例如,机制主义者给出的“信息—知识—智能”假说<sup>[1]</sup>,从方法论的角度看,显然是一个去粗取精、去伪存真、由表及里、由浅入深、从低级到高级的过程.这里的信息与知识、知识与智能、信息与智能,以及粗与精、伪与真、表与里、浅与深、低级与高级,都是既对立又同一又有中介过渡的2个方面.还有智能技术与标准、智能系统与环境、智能的演化与期望,信息的有序与无序、数据的连续与离散、机器人或多 Agent 的协同与不协同、逻辑思维与形象思维等,也都是既对立又同一又有中介过渡的例子.通常,人们

在哲学层面上抽象地研究对立同一及其中介过渡这个规律,在实践中自觉或不自觉地应用这一规律.笔者在用集对理论(set pair theory, SPT)分析确定性与不确定性的辩证关系时<sup>[2-3]</sup>,用系统和联系数学的方法研究和应用这个规律,在形成不确定性系统理论(侧重于对系统不确定性的分析)的同时形成同异反系统理论(identical-discrepancy-contrary systems theory, IDCST,侧重于对系统同一性、差异性和对立性联系、可变与转化的分析),IDCST的基本点是把具有同一性、差异性、对立性的系统定义为同异反系统,通过分析同关系、异关系、反关系的联系、可变与转化来研究同异反系统,利用同异反联系数刻画这个系统的同异反状态和发展趋势,从而使得对立同一及其中介过渡规律的应用在系统和数学层

收稿日期:2007-01-15.

面上具有可操作性<sup>[4]</sup>. 到目前为止, 同异反系统理论已在包括人工智能在内的一些领域得到应用, 如徐忆琳把其用于知识创新规律研究<sup>[5]</sup>; 蒋云良等把其用于不确定推理研究<sup>[6-9]</sup>; 成科扬在逻辑研究、软件测试中应用同异反系统理论<sup>[10-11]</sup>; 李志辉等把其用于产品设计<sup>[12]</sup>; 黄德才等把其用于网络计划<sup>[13-15]</sup>; 楚威等把其用于 multi-Agent system (MAS) 协作效率提高的分析<sup>[16]</sup>; 白扬文把其用于平面图形的模式识别, 给出的同异反模式识别技术<sup>[17]</sup>; 高洁等把其用于系统聚类预测<sup>[18]</sup>; 余国祥把其用于教学测量与评价<sup>[19]</sup>; 徐金尧、张林凤把其用于体育科学研究<sup>[20]</sup>; 陈绍顺、张琳、刘佳昀在战场防空态势分析中应用同异反系统理论<sup>[21]</sup>; 赵克勤把其用于决策和社会科学一些问题的研究<sup>[22]</sup>; 阎理把其用于相似系统分析<sup>[23]</sup>; 刘以安等把其用于多雷达数据融合<sup>[24]</sup>; 郑贤斌、周家红等把其用于安全综合评价<sup>[25-26]</sup>; 胡波等把其用于通讯网络 P2P 信誉度算法的改进<sup>[27]</sup>; 邓红霞等把其用于生态承载能力综合评价<sup>[28]</sup> 等. 从系统科学的角度看, 可以把智能看成是系统为了达到预期目的的一种高度自协同能力. 系统有了这种能力, 就能在相同、相异、相反及其相互联系的信息 (同异反信息) 中获取知识 (同异反知识)、形成决策 (同异反决策)、付诸行为 (同异反行为), 并达到预期的目的 (包括在正常、异常、反常各种情况下的目的, 同异反目的), 因而具有同异反特征, 相应的智能系统也因此可以抽象为同异反系统. 为此, 文中对同异反系统理论作系统阐述, 并把其用于什么是智能的探索、同异反知识创新、模式识别、同异反推理、智能管理、多 Agent 同异反协同分析、同异反诗词创作, 说明不同的人工智能问题可以抽象出同异反系统, 也为不同人工智能问题中有关同异反联系与转化的研究提供了一种系统理论.

1 同异反的概念

同异反是集对分析中根据对立同一的哲学原理, 在常见的同异性思维基础上给出的一个概念<sup>[29]</sup>. 同, 泛指同一、协同、等同、相同. 按集对分析, 是指组成集对  $H$  的 2 个集合  $E$ 、 $F$  在问题  $W$  背景下的交集非空.

$$E \cap F \neq \emptyset \quad (1)$$

设  $E \cap F = S$ , 则称  $S$  为集对  $H$  中集  $E$  与集  $F$  的同集. 当 2 个集合的交集非空时, 所论 2 个集合存在同关系, 也称集对  $H$  存在同关系. 反之, 当所论 2 个集合存在同关系时, 这 2 个集合的交集必非空. 见图 1.

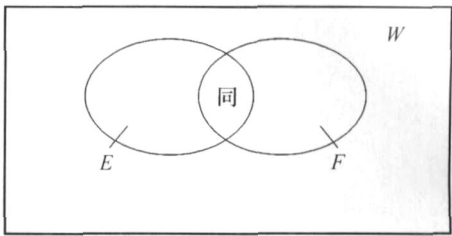
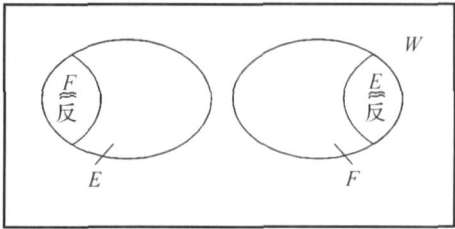


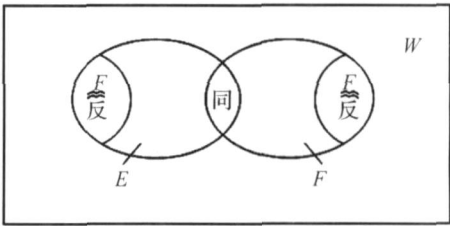
图 1 2 个有同关系的集合交非空  
Fig. 1 The intersection set unempty for two sets with identical relation

2 个集合若具有同关系, 则必具有同一性, 因此具有同关系的 2 个集合也称同一性集合.

反, 泛指对立、否定、矛盾、逆向、反对. 按集对分析, 就是给定的 2 个集合  $E$ 、 $F$  在问题  $W$  背景下, 存在相互背离、否定、反对对方的子集, 简称为反集, 反集用一个大写字母下加双波浪线表示. 如  $\underline{Q}$ , 注意, 一个集合的反集总是存在于与之成对的另一个集合内, 一个集对因此有 2 个反集, 例如, 在由  $E$ 、 $F$  组成的集对中,  $\underline{E} \subseteq F$ , 同理  $\underline{F} \subseteq E$ . 当一个集对存在反集时, 集对中的 2 个集合存在反关系. 反之, 当所论 2 个集合存在反关系时, 这 2 个集合的反集必非空. 见图 2.



(a) 没有同关系的 2 个集合具有反关系

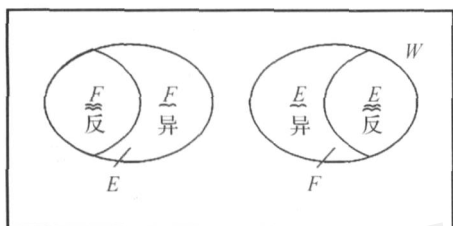


(b) 有同关系的 2 个集合具有反关系  
图 2 2 个有反关系的集合示意图

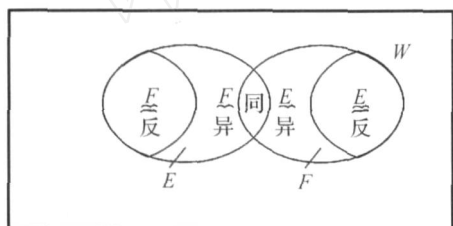
Fig. 2 Sketch map of two sets with contrary relation

异, 泛指非同非反、同反之间的中介过渡、差异、不确定等. 按集对分析, 就是集对  $H$  中 2 个集合  $E$ 、 $F$  在问题  $W$  背景下, 各自存在既不与对方同一, 也不与对方对立的子集, 简称为异集, 异集用一个大

写字母下加一条波浪线表示. 如 $\underline{E}$ , 一个集合的异集总存在于与之成对的另一个集合内, 一个集对因此有2个异集, 如, 在由 $E$ 、 $F$ 组成的集对中,  $\underline{E} = F$ , 同理 $\underline{F} = E$ . 当一个集对存在异集时, 集对中的2个集合存在异关系. 反之, 当所论2个集合存在异关系时, 这2个集合的异集必非空. 见图3.



(a) 没有同关系的2个集合具有异关系



(b) 具有同关系和反关系的2个集合具有异关系

图3 2个有异关系的集合示意图

Fig. 3 Sketch map of two sets with discrepancy relation

显然, 2个集合 $E$ 、 $F$ 的同集、异集、反集的并就是集对 $H$ 关于问题 $W$ 的论域. 记此论域为 $N(H)$ , 则有

$$N(H) = S \quad \underline{E} \quad \underline{F} \quad \underline{\underline{E}} \quad \underline{\underline{F}} \quad (2)$$

式中: $N(H)$ 表示了集对 $H$ 中2个集合在问题 $W$ 意义下同异反关系的总和.

容易看出, 2个集合的“同”有明确的集合论意义, 可以通过2个集合的交集非空得到“同”的定义, 既直观也可靠; 异是通过非同非反来界定的, 所以如何定义“反”显得十分重要. 但“反”的内涵比较复杂, 难以严格定义. 初步的研究表明, 常见的“反”有倒数型( $R \times 1/R = 1$ )、无型( $R \times 0 = 0$ )、正负型( $1 \times (-1) = -1$ )、虚实型( $1 \times (-1)^{1/2}$ )、互补型( $f(x) + f(y) = 1$ )5种类型<sup>[30-31]</sup>; 文献[32]对以上分类作了进一步研究. 实际应用中还有“设定型”, 就是根据某种需要或认同设定什么是“反”, 也就是当某个指标的值达到和超过了一定的“阈值”, 就进入到与某个参考状态相对立的状态. 例如文献[33-34]根据环境评价标准把环境无污染(一级)定义为“同”, 轻度

污染(二级)定义为“异”, 重度污染(三级)定义为“反”; 文献[35]在医院综合评价中, 把指标完成得好定义为“同”, 指标完成得一般定义为“异”, 指标完成得差定义为“反”; 文献[36]在投票决策研究中, 定义赞成“同”, 弃权为“异”, 反对为“反”; 这样的设定, 虽然显得有些粗糙, 但符合实际情况, 也有哲学中的“量变质变原理”作为依据, 应该给予肯定, 并且可归纳为“相邻为异、相隔为反”判定准则; 不少研究成果表明, 在此基础上建立评价对象的联系数和作进一步的分析所得之结论也确实符合客观实际.

由于正负型对立较为常见, 某些设定型的“同”与“反”也可以作为“正负型对立”作数学处理, 因此本文在不作特别说明时的“同异反”就指正负型对立意义下的“同异反”.

## 2 同异反系统

### 2.1 同异反系统定义

**定义** 具有同一性、差异性、对立性的系统称为同异反系统.

由于系统的“性”比较抽象, 前面又指出了“同关系”、“异关系”、“反关系”与同一性、差异性、对立性的对应性, 所以在具体的研究中, 就根据系统是否具有同关系、异关系、反关系去判定一个系统是否是同异反系统; 在一些比较简单的问题中, 有时也直接根据系统中是否有同点、异点、反点去判别这个系统是否是同异反系统.

根据系统科学对系统所下的定义, 系统是由2个或2个以上要素所组成的有机整体<sup>[37]</sup>. 据此可知, 由2个集合所组成的集对是一个系统, 称集对系统<sup>[38]</sup>. 又由于只有2个集合, 所以集对系统也称为元系统, 是各种系统中最基本的一种系统. 进一步可知, 集对系统中由同关系集(同集)、异关系集(异集)、反关系集(反集)所组成的同异反系统, 应当是这个集对系统的一个子系统, 这也是前面没有把集对中2个集合 $E$ 、 $F$ 的同集、异集、反集的并定义为这2个集合 $E$ 、 $F$ 并的原因. 用式子表示为

$$\underline{E} \quad \underline{F} \quad S \quad \underline{E} \quad \underline{F} \quad \underline{\underline{E}} \quad \underline{\underline{F}} \quad (3)$$

因此, 一个集对系统, 相对于该系统的同异反系统来说是一个母系统, 也称为原象系统, 集对系统中集合的元素称为原元素; 对这个集对系统的分析, 有时会涉及到集合元素多少(也就是集合基数)的问题<sup>[39-40]</sup>; 反之, 同异反系统相对于集对系统而言, 是一个抽象系统, 对这个抽象系统的分析, 主要是对同关系、异关系、反关系联系可变与转化的分析, 其中

同关系数、异关系数、反关系数的和称为联系范数<sup>[41]</sup>,显然,联系范数与集对系统中集合基数是 2 个不同的概念.从理论上说,原象系统与抽象系统也可以构成一个集对,母系统与子系统也构成一个集对,所以有时候也把集对分析称为同异反分析,但二者有区别.

2.2 常见的同异反系统

2.2.1 一维同异反系统

当只关心原象系统中一个研究对象时,相应的同异反系统是一维同异反系统,这是一类很常见的系统.例如当约定学生成绩在 90 分以上为优,60 到

89 分为中,60 分以下为差,那么这个优中差标准就构成一个一维同异反系统.“90 分以上为优”作为参考集  $E$ ,90 分以上为优,60 到 89 分为中,60 分以下为差作为对象集  $F$ , $E$ 、 $F$  于是有了同(优,优),异(优,中)反(优,差)关系,因而构成一个一维的同异反系统.同理,某个年级的全体学生成绩(对象集  $F$ )与参考集  $E$ (90 分以上为优)也构成一个一维同异反系统.一维同异反系统可以在普通的实数轴上表示,根据同异反系统在数轴上的空间位置,又分为一维正同异反系统(图 4(a))、一维负同异反系统(图 4(b))、一维正负同异反系统(图 4(c)).

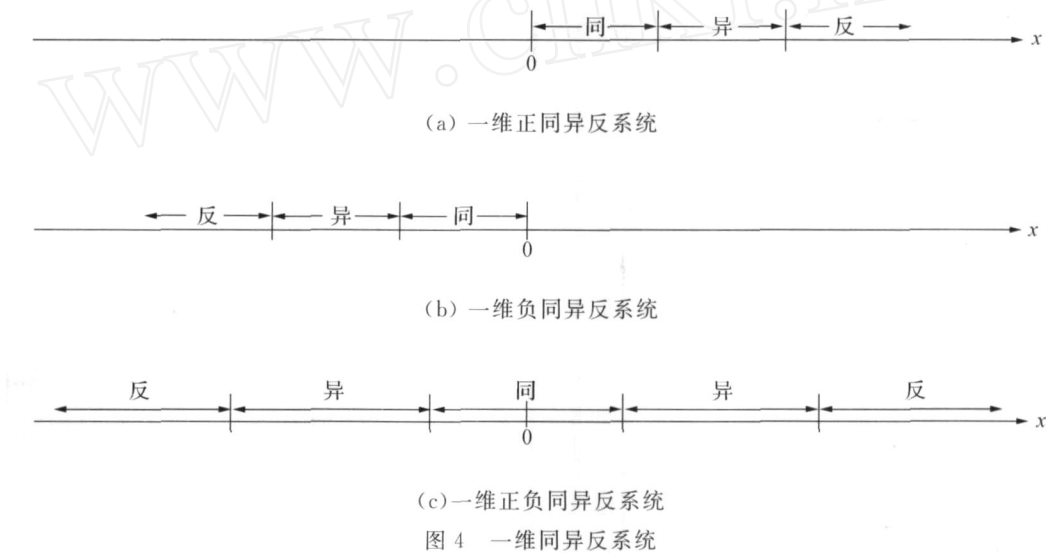


图 4 一维同异反系统

Fig. 4 One-dimensional identical-discrepancy-contrary systems

其中一维正同异反系统的例子,如前面说的学生成绩优中差标准或某个年级的学生成绩.一维负同异反系统的例子,如亏损企业分类标准,把年亏损在 50 万元以上设为非常严重亏损(定义为反),年亏损在 10 万元到 50 万元设为严重亏损(定义为异),年亏损在 10 万元以下为略有亏损(定义为同),在这里,是以略有亏损作为参考集  $E$ ,研究中存在的略有亏损、严重亏损、非常严重亏损这 3 类企业构成对象  $F$ , $E$ 、 $F$  就有了同异反关系,类似地,某地一批亏损企业的全体(对象集)与事先给定的参考集也会有同异反关系,也因此会构成一个一维的负同异反系统.一维正负同异反系统的例子如决策中的投票结果(赞成票为同、反对票为反、弃权票为异),某次投票决策中出现的赞成票数、反对票数、弃权票数构成一个一维同异反系统,在这里,只要设投赞成票为参考集  $E$ ,实际投票集为  $F$ ,则  $E$ 、 $F$  有同异反关系,这些同异反关系构成一个一维正负同异反系统,这个同异反系统中的“异”由“偏赞成(异偏同,或异偏

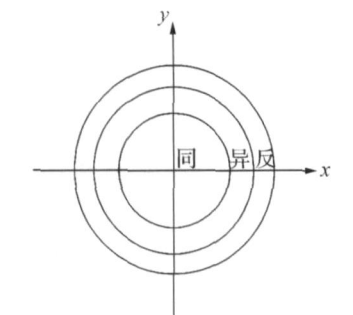
正)”、“偏反对(异偏反,或异偏负)”、“偏居中”(异居中)3 部分组成.

一维同异反系统可以在实数轴上表示这件事,反过来说明了普通的实数轴其实就是一个一维的同异反系统.这是由于:实数轴上的原点  $O$  表示正数集与负数集存在“同关系”;根据某个实际问题给出“阈值”和  $-$ ,则  $(- , - ]$  与  $[ , )$  构成“反关系”, $[- , 0]$  与  $[0 , ]$  是介于“同关系”和“反关系”之间的“异关系”;这样一来,实数轴所表示的  $(- , )$  区间,就是一个一维的同异反系统,至于“阈值”设置的不确定性,则由联系数中的  $i$  来承载.

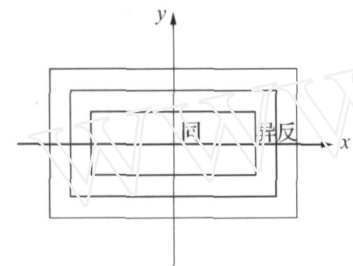
2.2.2 二维同异反系统

当关心原象系统中的二个研究对象时,相应的同异反系统是二维同异反系统.二维同异反系统也是一类常见的系统,又分为封闭型二维同异反系统,见图 5(a)、(b),开放型二维同异反系统,见图 5(c)、(d).

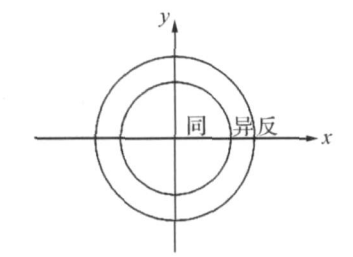
例如,要研究教师素质和学生素质的同异反关



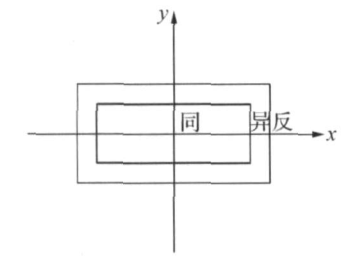
(a) 非线性封闭型二维同异反系统



(b) 线性封闭型二维同异反系统



(c) 非线性开放型二维同异反系统



(d) 线性开放型二维同异反系统

图 5 二维同异反系统  
Fig. 5 Two-dimensional identical-discrepancy-contrary systems

系,则教师素质的同异反和学生素质的同异反就构成一个封闭的二维同异反系统,因教师素质的同异反和学生素质的同异反内含并不相同,各有不同的参考标准,且各自的参考标准都是有限的、封闭的,所以称这个系统是封闭的.反之,如果要研究一个机器人在一个开放的环境中能否完成指定任务的问

题,则机器人性能的同(优)、异(中)、反(差)与环境的同(正常)、异(异常)反(反常)的同异反关系就组成一个开放的二维同异反系统.

由于实数轴是一个一维的同异反系统,因此由  $X$  轴与  $Y$  轴垂直相交构成的二维直角坐标系是一个二维同异反系统.

2.2.3 三维同异反系统

当关心原象系统中 3 个研究对象时,相应的同异反系统是三维同异反系统.前面提到的“信息—知识—智能”这个过程系统就是一种三维同异反系统.这是因为,首先,一般意义下的信息包括同信息、异信息和反信息,由于这 3 类信息通常情况下是相互联系、可变与转化的,因而具有复杂性,并把这种复杂性概括为同异反;其次,由于信息的复杂性,人们认识的局限性,以及处理信息的各种客观条件限制,人们从信息中得到的知识在一般意义上也包括正确的知识(与客观实际相符,同知识)、错误的知识(与客观实际相反,反知识),既不是完全正确,也不是完全错误的知识(与客观实际相异,异知识),因此也具有同异反特征;不仅如此,同样的知识在不同的人中产生的智能也会有高、中、低之分,以“高”作为参考,高、中、低也转换为同异反,因此“信息—知识—智能”这个过程系统是一个三维同异反系统.

三维同异反系统也可以是从二维同异反系统展开而来.例如在机器人与环境所构成的二维同异反系统中再考虑一个机器人能否完成预期任务的问题,则因为智能化的预期任务包括了最理想的任务、最不理想的任务和一般任务 3 类,因而构成“机器人—环境—预期任务”这样一个三维同异反系统.同理,在教师素质—学生素质这个二维同异反系统中增加“教材”这个对象,由于教材的多样性和复杂性,相对于某种标准而言也是可以分成适用(同)、部分适用(异)、不适用(反),因而教师素质—学生素质这个二维同异反系统就变成“教师素质—教材—学生素质”三维同异反系统.三维同异反系统也可以分成封闭型和开放型、半闭半开型 3 类.显然,只要根据问题的具体要求定义“异”,则由  $X$  轴、 $Y$  轴、 $Z$  轴相互垂直相交构成的迪卡尔三维直角坐标系就是一个三维同异反系统.见图 6.

2.2.4 高维同异反系统

当关心原象系统中 3 个以上的研究对象时,相应的同异反系统是高维同异反系统.一般来说,高维同异反系统可以看作是三维同异反系统展开或演化而来.也可以理解成是高维空间中的同异反系统.常

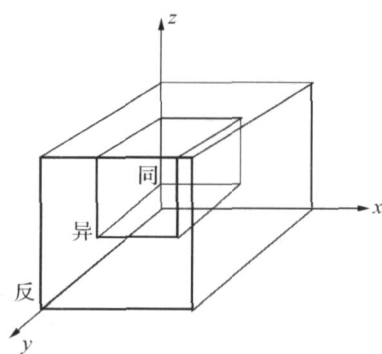


图6 三维同异反系统

Fig. 6 Three-dimensional identical-discrepancy-contrary systems

见的高维同异反系统有四维同异反系统、五维同异反系统等等。例如在“教师素质 - 教材 - 学生素质”这个三维同异反系统中增加一个研究对象“教学管理”,则得到一个“教学管理 - 教师素质 - 教材 - 学生素质”四维同异反系统,若再要考虑“教育方法”与其他研究对象的同异反关系,则得到一个“教学管理 - 教师素质 - 教育方法 - 教材 - 学生素质”五维同异反系统。类似地,把“信息 - 知识 - 智能”展开为“信息 - 知识 - 智能决策 - 智能行为 - 预期目的”,就得到了一个五维同异反系统,如此等等。

以上是从同异反系统所具空间维数的角度对常见同异反系统的一种分类;还可以根据“反”的分类把同异反系统分成倒数型同异反系统、有无型同异反系统、正负型同异反系统、虚实型同异反系统、互补型同异反系统等等,这种类型划分与维数类型结合,又可以分成更为具体的  $N$  维  $X$  型对立同异反系统,在此不再详述。

概言之,一维到高维同异反系统也可以统称为  $N(N-1)$  维同异反系统。根据问题要求在  $N$  维空间中定义具体的“同”、“异”、“反”,则常见的  $N$  维空间就是一个开放的  $N$  维同异反系统。

### 2.3 同异反系统的同异反分解

从系统科学的角度看,同异反系统中的同、异、反是3个不同的层次。例如在正负型同异反系统中,同是正的(+),反是负的(-),异介于正和反之间。在虚实型同异反系统中,“同”是实(1)的,“反”是虚 $(-1)^{1/2}$ 的,“异”介于实和虚之间等等。但在不少问题中,对2个集合的关系作同异反3个层次刻划仍显得过于粗糙,不能满足问题要求的精度,因此需要对同异反这3个层次作进一步的分解,例如对一个系统的智能程度作高度智能、一般智能、有些智能、没有智能的4个层次刻划,对国民体质作优、良、一

般、及格、差5个层次刻划<sup>[42]</sup>等等。具体作多少层次的刻划视具体问题而定。

容易看出,尽管一个同异反系统可从理论上作无穷层次分解,但一些实际的同异反系统层次往往是有限的。如用百分制记述学生成绩,最多只能设100个“层次”,超出100个就没有了实际意义,事实上对学生成绩分为优、良、一般、合格、较差、差这样6个“层次”时,已满足大部分问题分析的需要。这说明实际的同异反系统存在“同、异、反”的“最小颗粒”。

### 2.4 同异反系统的数学模型

#### 2.4.1 一维同异反系统的联系数模型

对一维正负型同异反系统来说,其数学模型就是同异反联系数:

$$u = A + Bi + Cj. \quad (4)$$

式中: $A$ 、 $B$ 、 $C$ 依次称为同一数、差异数、对立数,以及对式(4)作归一化处理得到的联系度:

$$\mu = a + bi + cj. \quad (5)$$

式中: $a$ 、 $b$ 、 $c$ 依次称为同一度、差异度、对立度,它们分别是对一维同异反系统同一程度、差异程度、对立程度的刻画,统称为联系分量,式(4)和式(5)也称为三元联系数。为方便计,以下仅以式(5)作进一步讨论,由于式(5)可以写成向量的形式,所以一维同异反系统还有以下的向量模型:

$$[a, b, c] \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ bi \\ cj \end{bmatrix}. \quad (6)$$

#### 2.4.2 二维同异反系统的数学模型

##### 1) 线性模型

$$u_x = a_x + b_x i + c_x j. \quad (7)$$

$$u_y = a_y + b_y i + c_y j. \quad (8)$$

$$u_{(x,y)} = \min(a_x, a_y) + [1 - \min(a_x, a_y) - \max(c_x, c_y)]i + j\max(c_x, c_y). \quad (9)$$

##### 2) 二次函数型

$$u_{xy} = f(a_x, a_y) + f(b_x, b_y)i + f(c_x, c_y)j. \quad (10)$$

或

$$u = a^2 + b^2 i + c^2 j. \quad (11)$$

##### 3) 向量型

$$U = \begin{bmatrix} a_x & b_x & c_x \\ a_y & b_y & c_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix}. \quad (12)$$

#### 2.4.3 三维同异反系统的数学模型

##### 1) 线性模型

$$u_x = a_x + b_x i + c_x j, \quad (13)$$

$$u_y = a_y + b_y i + c_y j, \quad (14)$$

$$u_z = a_z + b_z i + c_z j, \quad (15)$$

$$u_{(x,y)} = \min(a_x, a_y, a_z) + [1 - \min(a_x, a_y, a_z) - \max(c_x, c_y, c_z)] i + j \max(c_x, c_y, c_z). \quad (16)$$

2) 三次函数型:

$$u_{xyz} = f(a_x, a_y, a_z) + f(b_x, b_y, b_z) i + f(c_x, c_y, c_z) j. \quad (17)$$

或 
$$u = a^3 + b^3 i + c^3 j. \quad (18)$$

3) 向量型

$$U = \begin{bmatrix} a_x & b_x & c_x \\ a_y & b_y & c_y \\ a_z & b_z & c_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix}. \quad (19)$$

#### 2.4.4 同异反系统分解的数学模型

这里仅给出一维同异反系统分解数学模型:

$$\mu = a_1 \oplus a_2 \dots \oplus a_n + b_1 i_1 \oplus b_2 i_2 \oplus \dots \oplus b_n i_n + c_1 j_1 \oplus c_2 j_2 \oplus \dots \oplus c_n j_n, \quad (20)$$

或写成 
$$\mu = a_k \oplus i \quad b_k \oplus j \quad a_k. \quad (21)$$

二维和二维以上的同异反系统分解数学模型读者可自行导出。

### 3 同异反系统理论

1) 层次性. 同异反系统是一个层次系统. 见图7. 这是由于从同异反系统的数学模型看, 在一级联系分量中,  $A$  是正的,  $CJ$  是负的,  $BI$  处在正负之间; 从图7看, 每一个二级同异反显然与一级同异反存在层次关系; 下一级的同异反联系与转化与上一级的同异反联系与转化也“层次分明”。

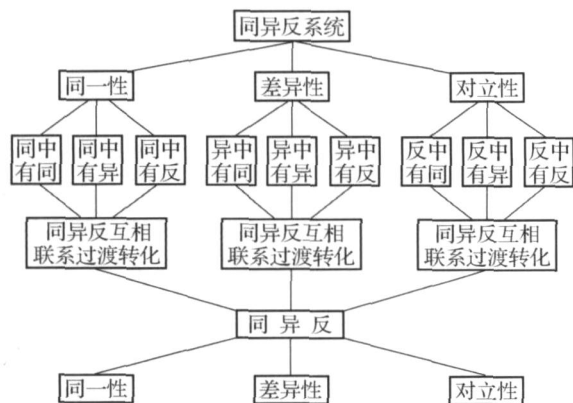


图7 同异反系统展开示意图

Fig. 7 Sketch map of expansion of identical-discrepancy-contrary systems

2) 网络性. 同异反系统是一个网络系统. 其网络性主要体现在同异反系统中的不同层次仍具有直

接和间接的联系。

3) 复杂性. 同异反系统是复杂系统. 这种复杂性主要体现在不同层次上的同异反相互嵌套。

4) 转化性. 同异反系统中的同异反在一定条件下相互转化。

5) 无限可分性. 从理论上说, 同异反系统具有无限可分性, 但实际同异反系统可能是有限的, 原因是实际同异反系统可能存在“同、异、反”的“最小颗粒”。

6) 叠加性. 对  $N$  个同异反系统作叠加、交叉、加权等变换, 所得的系统一般仍是同异反系统。

7) 分形性. 体现在同、异、反的每个部分各自都可以分出“同、异、反”。

8) 不确定性. 二者的区别在于: 不确定性系统突出的是不确定性与确定性的联系与转化, 同异反系统突出的是在不计不确定性条件下同异反的联系与转化。

9) 同异反系统与系统所在环境的物质、信息、能量交换一般也具有同异反特征。

10) 同异反系统状态及其态势, 由联系数中同异反联系分量的大小关系刻划。

对于展开后的同异反系统, 其同异反系统态势排序规模庞大; 为此, 这里对异部  $bi$  作“ $b_1 i_1 + b_2 i_2$ ” (这里是把  $bi$  分成“ $b_1 i_1, b_2 i_2$  两部分的意思) 展开的同异反系统作一说明. 由于这时的同异反系统数学模型是:

$$\mu = a + b_1 i_1 + b_2 i_2 + c_j. \quad (21)$$

为方便计, 把(21)式改写成:

$$\mu = a + bi + cj + dk. \quad (22)$$

式(22)也称为同异反四元联系数, 简称四元联系数, 其中  $a, bi, cj, dk$  依次称为四元联系数的同部、偏同部、偏反部、反部, 根据联系分量  $a, b, c, d$  的大小关系可得到基于四元联系数的同异反系统状态及态势排序<sup>[43-44]</sup>。

需要注意的是: 王霞在文献[45]中指出了同异反系统状态的代数排序与数值排序并非一致, 数值排序更为精确, 有关代数排序与数值排序的关系还有待进一步研究。

11) 同异反系统是发展着的系统, 其发展趋势用一阶或多阶偏联系数刻划<sup>[40,46]</sup>。

12) 联系熵是同异反系统的一个重要参数. 同异反系统中有同熵、异熵、反熵概念, 但同熵、异熵、反熵是一个熵系统, 称为同异反联系熵或简称联系熵, 据此可以把一些概念统一起来<sup>[47-49]</sup>。联系熵已在多

方面得到应用<sup>[50-52]</sup>。

### 13) 同异反系统的优化

文献<sup>[2]</sup>给出了同异反系统的优化理论: 极大极小优化理论. 这一理论认为, 只有当同异反联系数中某个或某几个联系分量取极大或极小时, 当事人才能获得最大收益. 例如令  $A$  表示某产品的合格率,  $B$  为不良品率,  $C$  为废品率, 显然  $A$  越大越好, 而  $B$  和  $C$  越小越好. 同一对立平衡优化理论. 这一理论认为, 只有系统中的同关系与反关系达到某种平衡时, 当事人才能获得最大收益. 例如在合作开发和合作经营中, 一般有“利益共享, 风险共担”原则. 同异反黄金分割优化理论. 这一理论认为, 只有当系统的同异反联系分量符合黄金分割比率时, 该系统将达到最优. 状态—趋势优化理论. 这一理论认为, 不刻意地追求或维持系统的某个状态或趋势, 可使维护系统的成本降到最低.

### 14) 同异反系统的预测

同异反预测已有以下几种类型. 多元回归模型. 特点是进入模型的因素需作预处理. 思路是在某次预测中, 把决定事件  $W$  出现与否的  $N$  个随机因素, 分成有利于  $W$  出现 ( $A$ ), 不利于  $A$  出现 ( $C$ ), 以及是有利于还是不利于不能确定 ( $B$ ) 3 种类型, 其中  $B$  需分解成  $[A/(A+C)]$  (偏向  $A$ , 取正值)、 $[C/(A+C)]$  (偏向  $C$ , 取负值) 2 个部分, 再作  $A + [A/(A+C)] - [C/(A+C)] - C$  的运算, 再把所得的值输入回归模型进行预报, 文献<sup>[53]</sup>据此作出梅雨时节降水预报, 取得较好预报效果. 同异反斜率相关型. 思路是根据自变量  $X$  与因变量  $Y$  在各时段中的对应斜率有同  $I$  (正, 正)、(负, 负) (0, 0), 异  $I$  (正, 0)、(负, 0), 反 (正, 负) 这 3 种情况, 统计得出该系统历史上的同异反联系数, 再根据同异反系统的态势作出预测<sup>[54]</sup>. 主因子对应型. 思路是先把系统历史上的自变量  $X$  作同 (大) 异 (中) 反 (小) 或同 (大)、偏同 (偏大)、偏反 (偏小)、反 (小) 等分类, 明确其与因变量  $Y$  的对应关系, 当自变量在系统的未来中出现某种具体的同异反类型时, 就得出与之相对应的  $Y$  值<sup>[55]</sup>. 动态预测型. 又分为利用马尔可夫转移矩阵的动态预测<sup>[56]</sup>、基于同异反聚类的动态预测<sup>[57]</sup>和基于联系数  $I$  动态取值预测<sup>[58]</sup>. 综合评价预测型. 根据综合评价所得联系数中最大联系分量作出预测<sup>[59]</sup>. 作者认为除以上同异反预测外还应当有“同异反区间型预测”和“同异反组合预测”等其他同异反预测方法.

### 15) 同异反系统决策

同异反系统决策有: 同决策. 仅根据同一性程度 (同一度  $a$ ) 的大小作出决策, 此时的决策相当于常规决策<sup>[60]</sup>. 同异决策. 就是根据同异程度 ( $a+bi$ ) 作出决策. 与同决策不同的是, 同异决策要考虑“异”的不同情况, 表现在  $i$  取不同的值<sup>[61]</sup>. 同异反决策. 就是利用同异反联系数 ( $a+bi+cj$ ) 作出的决策, 包括以联系数 ( $a+bi+cj$ ) 为元素的同异反矩阵运算结果而作出的决策、同异反联系数分解运算结果作出的决策<sup>[62]</sup>. 同异反趋势决策. 根据同异反联系数的偏联系数所揭示的趋势作出的决策<sup>[63]</sup>.

基于集对分析的区间数决策<sup>[64]</sup>. 同异反集成决策. 把多种决策方法作同异反综合集成后作出决策等等. 同异反系统决策已在包括军事领域在内多方面得到应用<sup>[65-68]</sup>.

### 16) 同异反系统的控制

分局部控制和全局控制 2 类. 局部控制主要是同异反某个参数的控制. 全局控制又分为全局状态控制和全局发展趋势控制, 在控制方法上分综合控制与集成控制. 综合控制是同时控制同异、或同反或异反, 集成控制是指多种同异反控制手段集成的控制, 同异反系统控制的理论方法在社会经济系统控制研究中已有初步应用<sup>[69]</sup>.

## 4 同异反系统分析的基本步骤

- 1) 确定所要研究的对象及所在的集对系统, 界定同异反的概念;
- 2) 分析所研究对象各自具有哪些特性;
- 3) 根据界定的同异反概念和研究对象特性的同一性、差异性、对立性, 确定研究对象之间的同、异、反关系;
- 4) 用联系数刻画研究对象之间的同异反程度和同异反相互之间的联系;
- 5) 根据需建立相应的联系数学模型, 对模型作适当的分析和运算;
- 6) 不确定性分析. 通过联系数中  $I$  的取值分析, 考察同异反系统的稳定性和波动性;
- 7) 把以上分析结果与其他方法所得结果作同异反比较, 得出可靠结论.

## 5 应用

### 5.1 智能的定义

一般认为, 智能是指个体对客观事物进行合理分析、判断及有目的地行动和有效地处理周围环境事宜的综合能力. 也有人认为智能是多种才能的总



和. Thursteme 认为智能由语言理解、用词流畅、数、空间、联系性记忆、感知速度及一般思维 7 种因子组成. 涂序彦教授曾在《广义智能学》中从不同的角度对什么是智能作了系统性的研究<sup>[70]</sup>. 本文前面根据同异反系统理论, 从系统的角度给出了智能的一个简明定义: “智能是系统为了达到预期目的的一种高度的自协同能力”, 这个定义首先说明了“智能寓于系统”<sup>[70]</sup>; 其次是“自协同”而不是他协同, 其中含有自组织、自学习的意思, 并且这种自协同还指系统在各个层次上的自协同, 也就是通过同异反信息处理获取同异反知识, 根据同异反知识作出同异反决策, 由同异反决策实施同异反行为, 最终达到预期目的. 而智能意义上的预期目的, 一般也应该是同异反的, 既包含正常情况下希望达到的目的, 也包含异常情况下能达到的目的, 也包含在反常情况下达到的目的; 再次是定义了这种在系统各层次上的自协同能力是“高度”的而不是一般的, 这里说的“高度”是指不论系统在何种环境中都能达到预期目的, 尽管这种目的是同异反的. 可见, 智能应当是能动的, 能自组织、自学习、自适应、自繁衍、自控制, 这又反过来赋予自协同深层次的意义, 换句话说, 系统的这种自协同能力是通过自学习、自适应、自组织、自繁衍、自控制获得. 最后的“能力”两字点明了智能的本质特点是不论何种情况下都达到预期目的, 这从一个侧面说明了智能确实是能够“自适应”的. 这样的智能定义, “同”是贯穿由系统现状集与预期目的集这个集对始终的一条主线, “异”是由系统现状集到目的集之间一系列中介过渡的统称, “反”是指这一系列的中介过渡每一步都可能存在矛盾和转化, 包括系统现状集与预期目的集的矛盾和转化, 在这样的意义上, 上面关于智能的定义可以进一步简化成智能是系统的一种同异反能力. 但系统的这种智能如何测算, 还需深入研究.

## 5.2 知识的同异反表示与创新

无论是从信息—知识—智能的角度看, 还是从上面关于智能是“系统为了达到预期目的的一种高度自协同能力”这个新的定义看, 智能的一个特点是能够知识创新. 这又涉及到什么是知识和如何表示知识的问题. 尽管人类对客观世界的认识远未穷尽, 但人类已有的知识已呈现出无限多样性, 而且还在爆炸式地产生, 如何恰当地表示知识因此成为人工智能研究的核心问题之一. 由于人的知识用来认识和改造客观世界, 所以从集对分析的同异反系统理论看, 可以把知识进一步分为符合性知识(与客观实

际符合, 简称同知识, 即被实践证明是正确的知识)、差异性知识(与客观实际有一定差异, 简称异知识, 即被实践证明是部分正确的知识)、对立性知识(与客观实际相反, 简称反知识, 即已被实践证明是错误的知识), 这一方面说明了知识可以看成是主观世界对客观世界同一性认识、差异性认识和对立性认识的总和; 另一方面也得以在一定的认知过程和一定的认知空间中把知识抽象成同异反及其各种组合, 如: 同异反、同同异异反、同同同同同反、同同反反同同同等等. 知识的这种同异反抽象为一般性地研究系统为了达到预期目的而进行的各种问题求解给出了新思路. 例如: 按照既定程序解决了问题是一个“同同同”过程, 这里的第 1 个“同”是已知的信息和已有的条件, 第 2 个“同”表示按照既定程序的解题过程, 第 3 个“同”表示问题解决达到了预期目的; 如果虽然利用了已知信息和已有条件, 但需要通过变换给定的解题程序和思路、通过所谓的知识创新去解决问题, 则可以抽象为一个“同异同”或“同反同”过程; 从给定条件出发, 用了错误的程序或错误的方法解题, 使问题一时得不到解决, 则是一个“同异反”或“同反反”过程.

知识的同异反表示也为探索知识创新规律提供了新思路, 文献[5]根据同异反系统理论, 给出了知识创新的 3 个基本规律. 这里把其中的第一规律作了改进, 叙述如下:

规律 1: 网络化创新. 因为无论是在认知过程中还是在认知空间中, 知识总是按同异反系统层次展开见图 7. 但图 7 实质上是同异反系统作无穷层次展开的一张断面图. 在一般情况下, 人们的认识总是停滞在某一个层次上, 稍作深入研究, 所得到的认识将有别于已有层次上的认识. 事实上, 图 7 所示的层次展开与一般的层次展开有一个明显的不同是, 层与层之间是一个网络结构, 这说明知识创新具有网络性, 网络化创新因此是知识创新的一个基本规律.

规律 2: 同异反排列组合创新. 如前面概括的问题求解过程和后面介绍的同异反诗词创作.

规律 3: 同异反分析与同异反综合集成创新. 如果用 s 表示同、d 表示异、c 表示反, 则得知识的同异反分析创新规律, 见图 8.

如果把图 8 从下往上看, 则得同异反知识综合创新规律.

把知识分析与知识综合再集成, 分析中有综合, 综合中有分析, 或者先分析后综合, 或者先综合后分析等等, 这是知识创新第 3 规律的一个特点. 不难看出

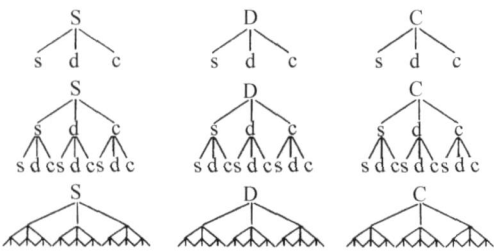


图 8 同异反分析创新示意图

Fig.8 Sketch map of innovations of identical-discrepancy-contrary analysis

出,知识创新的第 3 规律也是对第 1 规律的一种细化,之所以把它单独列出,原因是知识是一个庞大的开放的复杂系统,在日常工作中,人们更习惯于按知识创新的第 3 规律进行知识创新.

5.3 同异反模式识别

白杨文最早研究同异反模式识别.思路是:先把同异反联系数看成同异反向量,记为  $\mu = (a, b, c)$ ,再定义 2 个同异反向量  $\mu_1 = (a_1, b_1, c_1)$ 、 $\mu_2 = (a_2, b_2, c_2)$  的距离为  $= [(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]^{1/2}$ .现设  $\mu_i$  为第  $i$  个模式系统  $A_i$  与相应理想系统所成集对的同异反向量,  $\mu = (a, b, c)$  为待判系统  $B$  与理想系统所成集对的同异反向量,  $r_i$  为同异反向量  $\mu_i$  与  $\mu$  的距离,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,若  $k = \min(r_1, r_2, \dots, r_n)$ ,则认为待判系统  $B$  与模式系统  $A_k$  最相似,从而应优先把  $B$  归入模式  $A_k$  之中,此判别法称为同异反模式识别的择近原则.

5.4 同异反推理

同异反推理最早由笔者在 1992 年提出<sup>[71]</sup>.其基本思想是:从已给条件集  $A$  (内含同异反 3 类因素)出发,经同(与条件集同)、异(与条件集有所不同)、反(与条件集相反)推理,可以得到与  $A$  相同、相异、相反 3 种结果,这 3 种结果组成集  $B$ ,这样的推理也称为正向推理;反之,如果从结果集  $B$  去推理条件集  $A$  是由哪些因素构成,则称之为反向推理;按同异反系统理论,还应当有一种介于正向推理和反向推理之间的中介推理,例如在不少情况下,人们总是根据一个系统的当前状态去推理该系统的过去和未来;反向推理也有很强的实际工程背景,例如在不少情况下,通过对引进设备的“解剖”,去推理设计者的设计思想甚至设计原理,并称这样的工程为“反求工程”.在这个意义上,同异反推理显然有“集成推理”的含义.其推理模式如图 9 所示.

虽然同异反推理已有不少应用成果<sup>[72-76]</sup>,但总的说来,同异反推理还有待作深入研究,例如,同

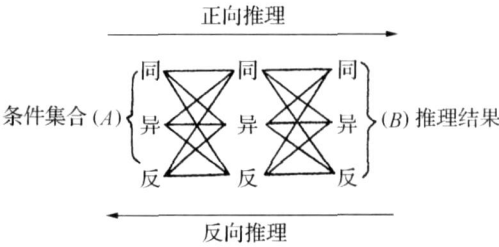


图 9 基于集对分析的同异反推理图

Fig.9 The identical-discrepancy-contrary inference map based on the set pair analysis

异反推理也应包括系统的同异反状态推理和趋势推理,同异反推理应遵循的一般逻辑规则等等.

5.5 智能管理

智能管理是人工智能理论方法在管理中的应用.智能管理不仅仅是指通常情况下的优化管理,还包括异常和反常情况下的优化管理.黄德才等最早把同异反系统理论用于工程施工管理用网络计划的创新,给出了能同时适应正常、异常、反常情况的同异反网络计划方法<sup>[78]</sup>,其特点是用同异反联系数  $A + Bi + Cj$  中的  $A$  表示某工序在正常情况下施工所需要的时间,用  $B$  表示某工序在异常情况下施工需增加或减少的时间,用  $C$  表示某工序在反常情况下施工必须追加的时间,据此提出“关键路线集”的概念,集中的主关键路线、次关键路线、最次关键路线在一定的条件下相互转化,从而使事先制订的网络计划适应了施工实际情况的各种变化,受到国内外工程管理界的重视<sup>[79]</sup>.

5.6 多 Agent 协同的同异反分析

系统的协同与否是一个普遍的问题.在各种智能系统中,不论是机器人足球赛,还是智能水下机器人和月球车,还是 MAS (multi-Agent system) 等智能系统,都有局部与局部、局部与全局,或者个体与个体、个体与整体,或者系统与要素、系统与环境,或者现状与目标、状态与趋势的协同与否和如何提高协同效率的问题.因而可以把同异反系统理论用于多 Agent 协同分析<sup>[79]</sup>.

5.7 同异反诗词创作

诗词是自然语言的精华.如何让机器人理解诗词中的意境,甚至与人对诗作词,应答成章,是一个颇令人感兴趣的课题.利用同异反系统理论可以开辟具体的研究思路,

例 1 “一片二片三四片,五片六片七八片,九片十片十一片,飞入林中都不见”.这首诗可以说是典型的同异反诗.首先是“同中有异”,异在数量不

一;但同时又是“异中有同”都是在写“雪”;最后是“同”连着“异”向“反”的转化,“都不见”。如此归纳,简明扼要,指出了其中的写作规律不外乎是同异反的巧妙运用。

例2 “横看成岭侧成峰,远近高低各不同,不识庐山真面目,只缘身在此山中”。第一句是典型的“异”,第二句是标准的“反”,第三、第四两句说出了产生“异”与“反”的原因在于人与山的“同”,可见也是同异反的一种巧妙运用而已。

以上是文献[80]中用集对分析研究汉语的2个例子。这里再取作者2007年3月16日在上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院作题为“集对分析与中西医结合”讲演时给出的一首对子诗:“集对分析看西医,西医是异中求同,同同同同同同同,一同到底不回头。集对分析看中医,中医是同中求异,同异反联系转化,辩证施治活对活”。不论其看法是否正确,但从作诗规律看,也无非是“同异反”的一种运用罢了。由此可见,同异反是诗词创作的一个规律。这个规律不难让机器人掌握和运用。

## 6 结束语

同异反系统是存在同一性(同关系)、差异性(异关系、不确定性)、对立性(反关系)及其对立同一与中介过渡和转化的系统,因而是一类复杂系统,同异反系统理论也因此是一种关于复杂系统的理论。也因其复杂,该理论需要从多角度、多层次、多方面作进一步的深入研究、不断发展、逐步完善<sup>[81-82]</sup>。另一方面,同异反又是人工智能所面对的各种问题的共同特征,以至于不同的人工智能问题都可以抽象出同异反系统,同异反系统理论因而可以用于不同人工智能问题中同异反联系与转化的研究。由于从某种意义上说,人工智能希望解决的问题是人类要解决的各种问题的总和,这是一个庞大的问题群。要为企图解决这个问题群的人工智能提供一种系统理论,不得不从哲学上去思考,例如从对立统一规律得出的启示;不得不借鉴系统科学的理论,例如复杂系统的理论、方法;不得不寻找新的数学工具,例如联系系数和粗糙集、遗传算法等新算法。集对分析的同异反系统理论是融哲学、系统科学、数学于一体的一种新理论,它与集对分析的不确定性理论相辅相成,既是集对论的组成部分,也为创建一种适应人工智能需要的系统理论提供了新思路。特别是 IDCST 是讲同异反联系与转化的理论,易与遗传算法、粗糙集、模糊集等其他理论联系起来作同异反结合,去处理

各种不同的实际问题<sup>[83-89]</sup>。此外,该理论还不同程度地寓于同异反联系系数的有关运算和分析之中,这也为该理论在有关智能问题研究中应用带来某种方便,至于有关同异反联系系数的算法理论及算法与同异反系统统计等,将另文介绍。

## 参考文献:

- [1]钟义信. 机制主义:人工智能的统一理论[A]. 中国人工智能进展 2005[C]. 北京, 2005.  
ZHONG Yixin. Mechanism :a unified theory of AI[A]. Progress of Artificial Intelligence in China (2005) [C]. Beijing, 2005.
- [2]赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科技出版社, 2000.
- [3]赵克勤,宣爱理. 集对论——一种新的不确定性理论方法与应用[J]. 系统工程, 1996, 14(1): 18-23.  
ZHAO Keqin, XUAN Aili. Set pair theory—a new method of uncertainty and its application[J]. Systems Engineering, 1996, 14(1): 18-23.
- [4]赵克勤. 社会科学研究的一种新方法体系[J]. 社会科学总论, 1994(4): 46-48.  
ZHAO Keqin. The new method system of study in social sciences[J]. Social Sciences General, 1994(4): 46-48.
- [5]徐亿琳. 用 SPA 同异反系统理论研究知识创新规律[J]. 科学学研究, 2002, 20(3): 327-329.  
XU Yilin. Research on the law of knowledge innovation using IDC-SPA theory[J]. Studies in Science of Science, 2002, 20(3): 327-329.
- [6]蒋云良,张裔智,潘云鹤,等. 基于集对分析的定量推理初探[J]. 计算机工程, 1996, 22(3): 286-290.  
JIANG Yunliang, ZHANG Yizhi, PAN Yunhe, et al. First exploration of quantitative inference of identity-discrepancy-contrary based on the set pair analysis[J]. Computer Engineering, 1996, 22(3): 286-290.
- [7]杜春彦,柴春红. 基于 SPA 的不确定推理模型[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(9): 130-134.  
DU Chunyan, CHAI Chunhong. Uncertain reasoning model based on SPA [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2004, 34(9): 130-134.
- [8]王万军. 集对分析推理评优及其应用[A]. 中国人工智能进展 2005[C]. 北京, 2005.  
WANG Wanjun. Plan optimization based on set pair analysis[A]. Progress of Artificial Intelligence in China (2005) [C]. Beijing, 2005.
- [9]熊渝江. 基于同异反产生式规则的非精确推理及应用[A]. 2002 中国控制与决策学术年会论文集[C]. 郑州, 2002.  
XIONG Yujiang. The uncertainty inference based on IDC

- production rules and its application [A]. Collected papers of China Control and Decision[C]. Zhengzhou, 2002.
- [10]成科扬. 基于集对分析的模糊逻辑研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(增刊): 210 - 213.
- CHENG Keyang. Research in fuzzy logic on set pair analysis [J]. Journal Huazhong University of Sciences and Technogy (Nature Sciences Edition) 2004, 32 (Supl): 210 - 213.
- [11]成科扬. 论集对分析(SPA)在软件质量评价体系建立中的应用[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(3): 117 - 119.
- CHENG Keyang. Founding a software quality estimation system based on set pair analysis[J]. Computer Applications and Software, 2004, 21(3): 117 - 119.
- [12]李志辉, 查建中, 张英. 同异反产品设计方法[J]. 工程设计学报, 2003, 10(1): 1 - 6.
- LI Zhihui, CHA Jianzhong, ZHANG Ying. Same-indefinite-contrary product design method[J]. Journal of Engineering Design, 2003, 10(1): 1 - 6.
- [13]黄德才, 赵克勤. 用联系数描述和处理网络计划中的不确定性[J]. 系统工程学报, 1999, 14(2): 112 - 117.
- HUANG Decai, ZHAO Keqin. Using the connection number of the SPA to express and process the uncertainties in network planning[J]. Journal of System Engineering, 1999, 14(2): 112 - 117.
- [14]赵克勤, 黄德才, 陆耀忠. 基于  $a + bi + cj$  型联系数的网络计划方法初探[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(2): 29 - 31.
- ZHAO Keqin, HUANG Decai, CHENG Yaozhong. A new network planning method based on the connection number  $a + bi + cj$  [J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(2): 29 - 31.
- [15]赵克勤, 黄德才, 陆耀忠. 同异反网络计划的不确定性分类与分析[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(11): 72 - 74.
- ZHAO Keqin, HUANG Decai, LU Yaozhong. The classifying of uncertainty and analysis in the network planning based on the IDC connection number[J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(11): 72 - 74.
- [16]楚威, 程显毅, 赵克勤. 一种基于 SPA 提高 MAS 协作效率的方法[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(5): 41 - 43, 45.
- CHU Wei, CHENG Xianyi, ZHAO Keqin. A method of increasing cooperation efficiency in MAS based on SPA[J]. Application Research of Computers, 2004, 21(5): 41 - 43, 45.
- [17]白扬文. 平面图像的同异反模式识别技术[A]. 1996 年中国智能自动化学术会议论文集[C]. 呼和浩特, 1996.
- BAI Yangwen. IDC pattern recognition technology of plane image[A]. Proceedings of National Conference of Intelligent Automation China[C]. Huhehaote, 1996.
- [18]高洁, 盛昭瀚. 集对分析聚类预测法及其应用[J]. 系统工程学报, 2002, 17(5): 458 - 462.
- GAO Jie, SHENG Zhaoan. Method and application of set pair analysis classified prediction[J]. Journal of System Engineering, 2002, 17(5): 458 - 462.
- [19]余国祥. 加权综合教育评估模型的失效与改进[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2006, 29(4): 26 - 28.
- YU Guoxiang. On invalidity and improvement of weighted aggregative teaching assessment model[J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2006, 29(4): 26 - 28.
- [20]徐金尧, 张林风. 同异反态势排序表在体育科学研究中的应用[J]. 中国体育科技, 1999, 35(4): 9 - 11.
- XU Jinyao, ZHANG Linfeng. The application of similarity difference and counter tendency sequence form in physical education research[J]. China Sport Science and Technology, 1999, 35(4): 9 - 11.
- [21]陈绍顺, 宁伟华, 张琳. 防空战战斗中的态势评估模型[J]. 空军工程大学学报, 2004, 40(5): 29 - 33.
- CHEN Shaoshun, NING Weihua, ZHANG Lin. The model of situation assessment in anti-air Fight[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2004, 40(5): 29 - 33.
- [22]赵克勤. 集对分析与同异反决策[J]. 决策探索, 1992, 13(2): 14 - 15.
- ZHAO Keqin. Set pair analysis and IDC decision[J]. Decision Exploration, 1992, 13(2): 14 - 15.
- [23]阎理, 阎滨. 相似系统集对分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2000, 11(3): 9 - 14.
- YAN Li, YAN Bin. The set pair analysis for similarity system[J]. Journal of Institute of Command and Technology, 2000, 11(3): 9 - 14.
- [24]刘以安, 牛媛媛, 刘同明. 集对分析在多雷达数据融合中的应用研究[J]. 华东船舶工业学院学报(自然科学版), 2005(2): 64 - 67.
- LIU Yian, NIU Yuanyuan, LIU Tongming. Application of multi-radar data fusion with set pair analysis[J]. Journal of East China Shipbuilding Institute (Natural Science Edition), 2005(2): 64 - 67.
- [25]郑贤斌, 陈国明. 基于 SPA 安全综合评价方法及其应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(2): 290 - 293.
- ZHENG Xianbin, CHEN Guoming. Safety comprehensive assessment method Based on Set Pair Analysis and its Application[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(2): 290 - 293.
- [26]周家红, 许开立, 修世军. 危险品物流系统危险性评价[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(1): 44 - 47.

- ZHOU Jiahong, XU Kaili, XIU Shijun. On the risk evaluation with logistics system of hazardous goods [J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(1): 44 - 47.
- [27] 胡波, 王汝传, 王海艳. 基于集对分析的 P2P 网络安全中的信誉度改进算法[J]. 电子学报, 2007, 35(2): 244 - 247.
- HU Bo, WANG Ruchuan, WANG Haiyan. A modified security solution based on SPA for servers reputations in P2P systems[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(2): 224 - 247.
- [28] 邓红霞, 李存军, 朱兵, 等. 基于集对分析法的生态承载力综合评价方法[J]. 长江科学院院报, 2006, 23(6): 35 - 38.
- DENG Hongxia, LI Cunjun, ZHU Bing, et al. Integrative assessment of eco-carrying capacity based on set pair analysis[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2006, 23(6): 35 - 38.
- [29] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[J]. 大自然探索, 1994, 13(1): 67 - 72.
- ZHAO Keqin. Set pair analysis and its preliminary application[J]. Exploration of Nature, 1994, 13(1): 67 - 72.
- [30] 赵克勤. 基于集对分析的对立分类、度量与应用[J]. 科学技术与辩证法, 1994, 11(2): 26 - 30.
- ZHAO Keqin. The contrariety, classification, degree and applications of set pair analysis[J]. Sciences, Technology and Dialectics, 1994, 11(2): 26 - 30.
- [31] 赵克勤. 集对分析的不确定性理论在 AI 中的应用[J]. 智能系统学报, 2006, 1(2): 16 - 25.
- ZHAO Keqin. The application of uncertainty systems theory of set pair analysis (SPU) in the artificial intelligence[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2006, 1(2): 16 - 25.
- [32] 刘颖, 于冬梅, 程显毅. 联系数学中的几个问题[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(10): 77 - 82.
- LIU Ying, YU Dongmei, CHENG Xianyi. Several questions in connection mathematics [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2004, 34(10): 77 - 82.
- [33] 李凡修, 陈武. 海水水质富营养化评价的集对分析方法[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2): 72 - 74.
- LI Fanxiu, CHEN Wu. The set pair analysis method for seawater eutrophication assessment [J]. Marine Environmental Science, 2003, 22(2): 72 - 74.
- [34] 沈珍瑶, 张征, 谢彤芳. 集对分析在环境质量评价中应用的探讨[J]. 环境保护, 1999(10): 20 - 21.
- SHEN Zhenyao, ZHANG Zheng, XIE Tongfang. Application of set pair analysis in environmental quality assessment[J]. Environment Protection, 1999(10): 20 - 21.
- [35] 覃杰, 赵克勤. 同异反联系数在医院综合评价中的应用[J]. 中国医院统计, 2003, 10(2): 85 - 87.
- QIN Jie, ZHAO Keqin. The application of same-indefinite-contrary connection number in synthetic evaluation and sorting of hospital service [J]. Chinese Journal of Hospital Statistics, 2003, 10(2): 85 - 87.
- [36] 赵克勤, 曾伟. 基于集对分析 (SPA) 的弃权问题研究[J]. 管理科学学报(决策与决策支持系统), 1995, 5(3): 86 - 94.
- ZHAO Keqin, ZENG Wei. Research of abstain from voting based on the set pair analysis [J]. Journal of Management Sciences in China (Journal of Decision Making and Decision Support Systems), 1995, 5(3): 86 - 94.
- [37] 许国志, 顾基发, 车宏安. 系统科学[M]. 上海科技教育出版社, 2000.
- [38] 周成武, 王正平, 陈洪兴, 等. 病案质量考评结果集对分析研究[J]. 中国医院统计, 2006, 13(3): 217 - 220.
- ZHOU Chengwu, WANG Zhengping, CHEN Hongxing, et al. Study on evaluation of medical record by set pair analysis[J]. Chinese Journal of Hospital Statistics, 2006, 13(3): 217 - 220.
- [39] 冯祥树. 关于集对论数学基础的一些问题[J]. 石家庄师范专科学校学报, 1999, 1(2): 45 - 48.
- FENG Xiangshu. Problems of mathematical basis on SPT [J]. Journal of Shijiazhuang Teachers College, 1999, 1(2): 45 - 48.
- [40] 张鹏, 王光远. 新集对论[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(3): 1 - 5.
- ZHANG Peng, WANG Guangyuan. New theory of set pair[J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture, 2000, 33(3): 1 - 5.
- [41] 冯祥树. 联系数定义的改进[J]. 石家庄师范专科学校学报, 1999, 1(4): 24 - 26, 44.
- FENG Xiangshu. Improved definition of relative number [J]. Journal of Shijiazhuang Teachers College, 1999, 1(4): 24 - 26, 44.
- [42] 张林凤. 基于五元联系数的浙江省国民体质态势分析[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2003, 26(4): 402 - 405.
- ZHANG Linfeng. A situation-oriented order analysis of people's constitution in Zhejiang on five-element connection number[J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2003, 26(4): 402 - 405.
- [43] 张清河, 张云波, 赵克勤. 工序作业时间实现可能性的新判定法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(10): 1225 - 1227.
- ZHANG Qinghe, ZHANG Yunbo, ZHAO Keqin. A new method for judging the possibility of realizing a working procedure duration [J]. Systems Engineering and Elec-

- tronics, 2003, 25(10): 1225 - 1227.
- [44] 郭瑞林, 陈现臣. 品种区试的四元联系数多因素态势排序分析法[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(3): 218 - 222.
- GUO Ruilin, CHEN Xianchen. Analysis method of multifactor situation sequent for four-element connection number in variety regional test[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2003, 19(3): 218 - 222.
- [45] 王 霞. 联系范数为4与6的四元联系数态势排序与应用[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(7): 107 - 112.
- WANG Xia. The permutation and use of four unit relation number systems situation numerical value of relation model number 4 and 6[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2004, 34(7): 107 - 112.
- [46] 赵克勤. 偏联系数[A]. 中国人工智能进展 2005[C]. 北京, 2005.
- ZHAO Keqin. Partial connection number [A]. Progress of Artificial Intelligence in China (2005) [C]. Beijing, 2005.
- [47] 赵克勤. 集对分析与熵的研究[J]. 浙江大学学报, 1992, 6(2): 69 - 73.
- ZHAO Keqin. Study entropy based on the set pair analysis [J]. Journal of Zhejiang University, 1992, 6(2): 69 - 73.
- [48] 赵克勤. 基于集对分析的联系熵与熵的联系[A]. 熵理论的一场大辩论[C]. 成都, 1993.
- ZHAO Keqin. Connection entropy on the set pair analysis and connection of entropy[J]. Big Argumentation of Entropy Theory [C]. Chengdu, 1993.
- [49] 赵克勤. 基于集对分析的联系熵在方案评价中的应用[A]. 熵、信息与交叉学科[C]. 昆明, 1994.
- ZHAO Keqin. The application of connection entropy in the design review based on the set pair analysis [J]. Entropy, Information and Intersecting Science [C]. Kunming, China, 1994.
- [50] 郑岁华, 蒋云良. 联系熵在教学测量与评价中的应用[J]. 湖州师范学院学报, 2004, 26(1): 111 - 115.
- ZHENG Suihua, JIANG Yunliang. Application of connection entropy in the teaching test and evaluation[J]. Journal of Huzhou Teachers College, 2004, 26(1): 111 - 115.
- [51] 荣盘祥, 金鸿章, 韦 琦, 等. 基于脆性联系熵的复杂系统特性的研究[J]. 电机与控制学报, 2005, 9(2): 111 - 115.
- RONG Panxiang, JIN Hongzhang, WEI Qi, et al. Research on the characteristic of complex system based on brittle link entropy[J]. Electric Machines and Control, 2005, 9(2): 111 - 115.
- [52] 王 莉, 田水承, 王晓宁. 联系熵在煤矿安全预评价中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(9): 129 - 133.
- WANG Li, TIAN Shuicheng, WANG Xiaoning. Application of connection entropy in safety pre-evaluation of coalmine [J]. China Safety Science Journal (CSSJ), 2006, 16(9): 129 - 133.
- [53] 薛根元, 王国强. 不确定性理论集对分析在预报模型建立中的应用研究[J]. 气象学报, 2003, 61(5): 592 - 599.
- XUE Genyuan, WANG Guoqiang. The application research of the theory of uncertainty-set pair analysis in establishment of weather forecast models[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(5): 592 - 599.
- [54] 赵克勤, 谢婉芳. 浅说集对分析在系统预测中的应用[A]. 系统工程与市场经济[C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1996.
- ZHAO Keqin, XIE Wanfang. Application of set pair analysis in the systems forecast by elementary introduction [A]. Systems Engineering and Market Economy [C]. Beijing: Scientific and Technical Documents Publishing House, 1996.
- [55] 李秀央, 陈 坤, 赵克勤. 用基于联系数的主因子分析预测法预测流行性乙型肝炎[J]. 中华流行病学杂志, 2005, 26(3): 218 - 220.
- LI Xiuyang, CHEN Kun, ZHAO Keqin. A connection number-based principal factor analysis forecast method to forecast the encephalitis B epidemics [J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2005, 26(3): 218 - 220.
- [56] 周 泽, 赵思毅. 基于 SPA 的数据结构同异反分析在农业上的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 139 - 140.
- ZHOU Ze, ZHAO Siyi. The application of data structural I.D.C analysis based on SPA in agriculture[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2002, 18(2): 139 - 140.
- [57] 孙晋众, 陈世权. 一种集对分析的动态模型及其应用[J]. 系统工程, 2004, 22(5): 35 - 38.
- SHUN Jinzhong, CHEN Shiquan. A dynamic model of set-pair analysis and its application [J]. Systems Engineering, 2004, 22(5): 35 - 38.
- [58] 黄德才, 赵克勤, 陆耀忠. 同异反网络计划的工期预测方法[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(5): 24 - 27.
- HUANG Decai, ZHAO Keqin, LU Yaozhong. Forecasting and controlling method of the time limit for a project of identical-discrepancy-contrary network planning [J]. Systems Engineering and Electronics, 2001, 23(5): 24 - 27.
- [59] 卢宏伟. 煤与瓦斯突出综合预测的集对分析模型与应用[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(1): 3 - 5.
- LU Hongwei. Set-pair analysis model for comprehensive

- prediction of coal and gas outburst and its application [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2007, 34(1): 3 - 5.
- [60] 赵克勤. 一种简明的方案综合评价方法[J]. 有色冶金设计与研究, 1994, 15(2): 60 - 63.
- ZHAO Keqin. A concise method of comprehensive evaluation of project [J]. Nonferrous Metals Engineering and Research, 1994, 15(2): 60 - 63.
- [61] 高淑萍, 刘三阳. 基于联系数的多资源应急系统调度问题[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(6): 113 - 115.
- GAO Shuping, LIU Sanyang. Scheduling problem in multi-resource emergency systems based on the connection number [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2003, 23(6): 113 - 115.
- [62] 金华征, 程浩忠, 杨晓梅, 等. 基于联系数模型的电网灵活规划方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(12): 16 - 20.
- JIN Huazheng, CHENG Haozhong, YANG Xiaomei, et al. Transmission network flexible planning based on connection number model [J]. Proceedings of the CESS, 2006, 26(12): 16 - 20.
- [63] 覃杰, 赵克勤. 联系数在医院医疗质量发展趋势分析中的应用[J]. 中国卫生统计, 2006, 23(6): 502 - 504.
- QIN Jie, ZHAO Keqin. The application of connection number in the analysts of developing trend of medical quality of hospital [J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2006, 23(6): 502 - 504.
- [64] 叶跃祥, 糜仲春, 王宏宇, 等. 一种基于集对分析的区间数多属性决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(9): 1344 - 1347.
- YE Yuexiang, MI Zhongchun, WANG Hongyu, et al. Set-pair-analysis-based method for multiple attributes decision-making with intervals [J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 28(9): 1344 - 1347.
- [65] 程启月, 邱宛华. 射击准备策略的决策分析[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(11): 134 - 137.
- CHENG Qiyue, QIU Wanhua. Decision making analysis of pre-shooting strategy [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2001, 21(11): 134 - 137.
- [66] 汪新凡. 基于联系数的纯语言多属性群决策方法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2006, 23(6): 579 - 584.
- WANG Xinfan. Pure linguistic information multi-attribute group decisionmaking method based on connection number [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2006, 23(6): 579 - 584.
- [67] 陈晓洪, 张光辉, 龚进. 集对分析在舰艇动力装置生命力决策中的应用[J]. 船舶工程, 2006, 35(1): 40 - 43.
- CHEN Xiaohong, ZHANG Guanghui, GONG Jin. Application of set pair analytical thorly to the survivability [J]. Ship & Ocean Engineering, 2006, 35(1): 40 - 43.
- [68] 龚士良. 集对分析及其在城市地面沉降研究中的应用[J]. 上海地质, 1997, 16(4): 43 - 47.
- GONG Shiliang. Set pair analysis and its application in study of urban land subsidence [J]. Shanghai Geology, 1997, 16(4): 43 - 47.
- [69] 闵文杰, 贺仲雄. 模糊可拓经济控制及变换发展理论研究[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(6): 73 - 78.
- MIN Wenjie, HE Zhongxiong. Fuzzy extension economic control & transition [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2001, 21(6): 73 - 78.
- [70] 涂序彦. 广义智能学[A]. 中国人工智能进展 2005 [C]. 北京, 2005.
- TU Xuyan. Generalized intelligence science [A]. Progress of Artificial Intelligence in China (2005) [C]. 2005.
- [73] 王晓原, 张敬磊. 区域物流需求分析集对聚类预测模型研究[J]. 软科学, 2004, 18(5): 11 - 13, 17.
- WANG Xiaoyuan, ZHANG Jinglei. Study on the set pare analysis classified prediction model for analyzing regional logistics demand [J]. Soft Science, 2004, 18(5): 11 - 13, 17.
- [75] 董樑, 李光军, 贺仲雄. 复杂系统的集对模式识别方法[J]. 现代电子技术, 2007, 30(2): 68 - 70.
- DONG Liang, LI Guangjun, HE Zhongxiong. Pattern recognition based on all set in complex system [J]. Modern Electronics Technique, 2007, 30(2): 68 - 70.
- [71] 赵克勤. 试论集对分析在人工智能中的应用[A]. 第7届全国人工智能学术研讨会论文集[C]. 西安, 1992.
- ZHAO Keqin. Applications of the set pair analysis in artificial intelligence [A]. Proceedings of 1992 National Conference on Artificial Intelligence (CAAI - 7) [C]. Xi'an, 1992.
- [72] 蒋云良. 基于 SPA 联系数的同异反定量推理路径选择[J]. 微电子学与计算机, 2000(5): 6 - 9.
- JIANG Yunliang. The path select of IDC quantitative inference based on SPA number of contact [J]. Microelectronics & Computer, 2000(5): 6 - 9.
- [73] 赵克勤, 黄德才, 朱艺华, 等. 含有突发性的网络关键路线问题[J]. 管理工程学报, 2000, 14(2): 33 - 34.
- ZHAO Keqin, HUANG Decai, ZHU Yihua, et al. Analysis on critical path of a network planning in which accidents be involved [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2000, 14(2): 33 - 34.
- [74] 张峻瑜. 集对逻辑探索[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版), 2004, 18(3): 20 - 21.
- ZHANG Junyu. Exploration of set pair logic [J]. Journal of Gansu Lianhe University (Natural Sciences), 2004,

- 18(3):20 - 21.
- [75] 陈悦莲. 集对分析推理评优应用[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版), 2006, 20(5):46 - 48.
- CHEN Yuelian. Plan optimization based on set pair analysis and its applications[J]. Journal of Gansu Lianhe University (Natural Sciences), 2006, 20(5):46 - 48.
- [76] 余国祥. 课堂教学信息的同异反传递规律研究[J]. 绍兴文理学院学报, 2003, 23(10):97 - 100.
- YU Guoxiang. A study of identity discrepancy and reverse transmitting law of classroom instructional messages [J]. Journal of Shaoxing University, 2003, 23(10):97 - 100.
- [77] 赵克勤, 黄德才, 朱艺华, 等. 含有突发性的网络关键路线问题[J]. 管理工程学报, 2000, 14(2):33 - 34.
- ZHAO Keqin, HUANG Decai, ZHU Yihua. Analysis on critical path of a network planning in which accidents be involved[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2000, 14(2):33 - 34.
- [78] 孟文清, 张亚鹏, 邹景磊, 等. 考虑影响因素的 AHP-联系数网络计划[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 27(4):96 - 98.
- MENG Wenqing, ZHANG Yapeng, ZOU Jinglei, et al. AHP-the connection number network planning based on influence factors[J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science & Technology, 2006, 27(4):96 - 98.
- [79] 程显毅. 多 Agent 计算[M]. 哈尔滨:黑龙江科技出版社, 2003.
- [80] 应 俏, 闵珊华. 集对分析与界壳论的研究与应用[M]. 北京:气象出版社, 2002.
- [81] 张 斌. 同异反集合理论及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(2):126 - 130.
- ZHANG Bin. The theory and application of same-indefinite contrary set [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2000, 20(2):126 - 130.
- [82] 蒋云良, 徐从富. 集对分析理论及应用研究进展[J]. 计算机科学, 2006, 33(1):205 - 209.
- JIANG Yunliang, XU Congfu. Advances in set pair analysis theory and its applications[J]. Computer Science, 2006, 33(1):205 - 209.
- [83] 高金莲, 杨 杰, 李春书. 基于遗传算法的装配作业优化[J]. 机械设计, 2007, 24(1):43 - 45.
- GAO Jinlian, YANG Jie, LI Chunshu. Optimization of assembling operation based on genetic algorithm [J]. Journal of Machine Design, 2007, 24(1):43 - 45.
- [84] 张春英, 刘保相. 基于 SPA 的不完备信息系统的双向 S 粗集模型[J]. 计算机应用研究, 2006(11):96 - 98.
- ZHANG Chunying, LU Baoxiang. Two direction S-rough sets of information system based on SPA[J]. Application Research of Computers, 2006(11):96 - 98.
- [85] 刘保相, 张春英. 基于 SPA 的双向模糊决策分析[J]. 模糊系统与数学, 2006, 20(4):74 - 78.
- LIU Baoxiang, ZHANG Chunying. Both-branch fuzzy decision-making analysis based on SPA[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2006, 20(4):74 - 78.
- [86] 李祚泳, 沈仕伦, 邓新民. 社会、经济与环境协调发展指数评价模型[J]. 上海环境科学, 2000, 19(5):201 - 204.
- LI Zuoyong, SHEN Shilun, DENG Xinmin. Assessment model of community, economy and environment coordinative development index[J]. Shanghai Environmental Sciences, 2000, 19(5):201 - 204.
- [87] 金华征, 程浩忠, 曾德军, 等. 基于集对分析的柔性电网规划方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3):7 - 12.
- JIN Huazheng, CHENG Haozhong, ZENG Dejun, et al. A novel method of flexible transmission network planning based on set pair analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3):7 - 12.
- [88] 马建华, 王坤华, 靳树昌. 同异反决策原理对炮兵射击目标效益评估方法探讨[J]. 炮兵学院学报, 2000, 20(4):9 - 11.
- MA Jianhua, WANG Kunhua, JING Shuchang. Exploration method of Evaluation to the artillery fire benefit of goal based theory of IDC decision[J]. Journal of Artillery University, 2000, 20(4):9 - 11.
- [89] 叶义成, 张一敏, 王 军. 矿山公司内部经济效果综合比较的集对分析模型[J]. 中国锰业, 2001, 19(3):17 - 19.
- YE Yicheng, ZHANG Yimin, WANG Jun. The SPA model for the comprehensive evaluation of operation state of mining company[J]. China's Manganese Industry, 2001, 19(3):17 - 19.

#### 作者简介:



赵克勤,男,1950年生,浙江省诸暨市联系数学研究所研究员,中国人工智能学会理事,人工智能基础专业委员会副主任,集对分析联系数学专业筹备委员会主任,主要研究方向为联系数学,1989年提出集对分析(联系数学),已出版《集对分析及其初步应用》专著1部,发表论文80余篇。

E-mail: zjzhaok@sohu.com.