



专家挖掘与综合集成方法

顾基发 刘怡君 朱正祥 著



科学出版社

专家挖掘与综合集成方法

顾基发 刘怡君 朱正祥 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在钱学森综合集成方法的基础上,针对存在不同类型专家的隐知识、经验、活的思想及其创造性思想的挖掘与集成,提供专家挖掘相应的基本理论、方法和工具。特别结合一般群体的专家意见,即社会舆论,有经验的名老中医专家经验、学术思想和战略型专家的方向性战略思想(主要以钱学森在系统科学方面部分战略思想为例),针对不同具体对象给出了一些有用的专家挖掘的方法及其应用和分析。

本书可供高等院校系统科学、系统工程、信息科学以及管理科学等专业的师生以及科研单位的研究人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

专家挖掘与综合集成方法/顾基发,刘怡君,朱正祥著. —北京:科学出版社,2014

ISBN 978-7-03-040767-2

I. 专… II. ①顾… ②刘… ③朱… III. 系统科学-研究 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 112022 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:张凤琴
责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2014 年 6 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:287 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

社会系统、经济系统、军事系统、地球系统和人体系统都是极为复杂的系统。它们涉及的元素、子系统和分系统数量巨大,而且系统和外面环境的沟通是开放的,随着时间、场景的变化而动态变化的。钱学森称这种系统为开放复杂巨系统。与其有关的信息往往是不太确定的、模糊的、多变的,同时由于有人介入,有时还带有对抗性和情意性,所以在处理这类系统时单用定量的、逻辑的方法就显得无能为力。在处理开放复杂巨系统时,钱学森等提出要运用综合集成方法论。综合集成方法要求将数据、信息、知识和专家经验及智慧结合起来,要人一机结合但以人为主。其中,前两个(数据和信息)是一般系统工程常用的偏定量模型和逻辑思考需要的,往往大量应用计算机完成。后三个(知识和专家经验及智慧)中的知识可以有显知识和隐知识。隐知识与人的经验累积和应用有关,而智慧则是人类创新和妙用知识的来源。如果说从大量的数据、信息中去挖掘知识主要是数据挖掘、文本挖掘和网络挖掘的任务,那么利用人们的理性和逻辑思考通过构建多种模型及计算同样能推出很多新的符合逻辑的知识,这个可以称为模型挖掘。知识存在于两类载体之中,一是物质的载体,如书籍、期刊、磁性与光学媒体(磁盘、光盘)等;另一类则是生命载体,也就是掌握知识的人,特别是拥有丰富领域理论和实践经验的专家。数据挖掘、文本挖掘和网上挖掘以至模型挖掘方法是通过将存在于物质载体中可编码的数据和信息作为研究对象,运用适当的挖掘算法发现潜在知识的过程。后三个整合对象(隐知识、经验和智慧)与人特别是专家密切相关。挖掘专家个人的思想、经验和智慧,进而挖掘一群专家的集体思想、经验和智慧就是专家挖掘的任务。

处理社会、经济系统时,会发现最难的是如何利用专家的经验 and 发现专家的智慧,特别是集智慧之大成。1999年,我们参加了国家自然科学基金委员会重大项目“支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究”。2004年,我们参加了中国科学院的创新项目“社情统计分析”和“社会稳定预警系统”项目。2006年,我们参加了“十五”国家科技攻关计划“名老中医学术思想、经验传承研究”中子课题“名老中医学术思想群体规律分析挖掘方法的研究”。如果说前面三个项目我们是一边找有用的知识,一边找好的专家,那么第四个项目面临的的就是针对经过挑选的一百位名老中医专家,如何去挖掘出他们的好思想。通过这些项目的研究我们逐渐形成和丰富专家(意见、思想、知识、智慧)挖掘(简称专家挖掘)的思想、概念、方法,并且积累了一些实例。

作 者

目 录

前言

第 1 章 专家挖掘简介	1
参考文献	6
第 2 章 钱学森综合集成方法	7
2.1 意见综合	10
2.2 综合集成流程(M-A-M')	11
2.3 群体研讨工具	12
2.3.1 群体研讨环境	12
2.3.2 电子公共大脑	21
2.3.3 Pathmaker 决策研讨软件	23
2.4 模型集成	33
参考文献	37
第 3 章 专家挖掘	39
3.1 为什么提出专家挖掘	39
3.2 与专家挖掘有关的工作	39
3.2.1 从数据挖掘走向专家挖掘	39
3.2.2 从网络挖掘走向专家挖掘	40
3.2.3 从模型挖掘走向专家挖掘	40
3.2.4 从综合集成走向专家挖掘	40
3.3 什么是专家	41
3.3.1 专家的定义	41
3.3.2 专家意见的表示	41
3.4 什么是专家挖掘	42
参考文献	44
第 4 章 专家意见的共识及专家挖掘的几种常用方法和工具	45
4.1 专家意见的共识	45
4.1.1 国际上对共识的研究情况	45
4.1.2 共识的一般定义及共识的形式	49
4.1.3 共识的数量定义	51
4.1.4 社会科学中的共识	70

4.1.5	共识的过程	71
4.1.6	取得共识的若干方法和工具	78
4.1.7	共识的两个案例	84
4.1.8	争辩	88
4.2	几种专家挖掘的途径	88
4.2.1	利用文本将几种意见综合集成	88
4.2.2	利用会议将几种意见综合集成	89
4.2.3	几种研讨方式	91
4.2.4	利用模型将意见综合集成	100
4.2.5	利用心理学方法将几种意见综合集成	100
4.2.6	社会网络分析与专家挖掘	100
4.3	几种挖掘的基本思路	101
4.4	挖掘技术	101
	参考文献	102
第5章	舆论群体行为选择的建模与仿真	106
5.1	舆论群体行为综合集成建模方法	106
5.1.1	突发事件下的群体行为	106
5.1.2	群体性突发事件	107
5.1.3	综合集成建模方法	108
5.2	基于定性推理仿真算法的舆论群体行为模拟	109
5.2.1	定性推理仿真算法	109
5.2.2	舆论群体行为模拟	110
5.3	基于多主体仿真方法的舆论群体偏好选择	114
5.3.1	多主体仿真方法	114
5.3.2	舆论群体的偏好选择	115
5.3.3	基于多主体仿真方法的舆论演化建模与仿真	116
	参考文献	126
第6章	舆论领袖识别判定的方法与应用	128
6.1	舆论领袖	128
6.1.1	社会行为熵理论中的心理平衡和情商共鸣原则	128
6.1.2	舆论领袖及其作用	128
6.2	基于群体研讨环境的意见领袖判定	129
6.2.1	群体研讨环境中的一致性矩阵	129
6.2.2	基于群体研讨环境的意见领袖判定——案例应用	130
6.3	基于社会网络分析的舆论领袖识别	132

6.3.1 社会网络分析	132
6.3.2 基于社会网络分析方法的舆论领袖识别——案例应用	134
6.4 基于动态网络分析的舆论领袖识别	136
6.4.1 动态网络分析	136
6.4.2 基于动态网络分析方法的舆论领袖识别——案例应用	139
参考文献	144
第7章 专家挖掘与中医专家经验挖掘	145
7.1 基于医案的中医学术思想挖掘特点	146
7.2 基于综合集成方法的挖掘过程分析	147
7.2.1 综合集成方法论	147
7.2.2 基于综合集成的领域驱动数据挖掘系统架构	147
7.3 名老中医学术思想挖掘方法研究	150
7.3.1 对应分析共识知识	150
7.3.2 基于权重的二分图网络投影算法的专家意见相似度计算	161
7.3.3 非线性映射算法	167
7.3.4 双聚类算法	168
7.4 名老中医学术思想挖掘平台研究	171
7.4.1 挖掘平台系统框架	171
7.4.2 知识库	174
7.4.3 名老中医学术思想挖掘平台	175
7.4.4 许建中教授学术思想挖掘	176
参考文献	181
第8章 钱学森系统科学思想挖掘	183
8.1 挖掘、继承和发展钱学森系统科学思想	183
8.1.1 钱学森系统科学思想国际反映和对比	184
8.1.2 钱学森系统科学思想国内研究情况	187
8.1.3 研究钱学森系统科学思想的现实意义	189
8.2 挖掘钱学森系统科学思想几个案例	191
8.3 钱学森系统科学思想数据挖掘平台	205
参考文献	219

第 1 章 专家挖掘简介

如果说一般提到的数据挖掘是指在大样本或海量数据中挖掘有用的知识,它们的数据结构较好且较单一,那么专家挖掘思想就是以小样本多结构的复杂数据及活生生的专家为对象,使用多种分析方法,有定性的、定量的,或半定性半定量的,而且综合集成地、多角度和多层面地深入分析某领域少量专家或者更为少量的名老专家的知识结构、思想方法、共性和特性,从而使这些专家经验更好地得以挖掘或传承甚至有所创新的一种系统方法。当然有时专家本身就是一般群众,但这时要求数量很大(如网上的舆论),也可从中挖掘出有用的知识及其中个别很有见地的专家或舆论领袖。

对著名专家思想挖掘的研究目的和宗旨是使领域专家独特的学术思想和经验能够更好、更快地被后学者传承,并防止这些宝贵的经验随着专家的消亡而消亡。名老中医的经验传承就是一个非常典型的例子。其研究内容包括全面深入地总结显性的或隐性的知识结构、学术思想、经验教训,也可以通过比较多个专家的思想,找到共性和特性。这与人工智能或专家系统的研究领域有所不同。在人工智能领域中,人们是为了让计算机完成专家的工作而形成一套计算机系统,主要对专家本人的共性知识进行总结,但无法支持这些专家的经验,以及专家本人的感情和心理行为。在研究一群专家的意见和思维时,应关注社会思维。在分析群体专家的意见时,往往着眼于共识和统计意义上的多数,但实际上有时真理会在少数人那里,因此那些看似孤立和少数的观点与思想可能正是创新所在,也要引起足够的重视。

我们曾长期从事运筹学、系统工程的研究,开始处理的对象以硬系统为主,喜欢和已有的数据、信息打交道,方法是以定量的数学模型和方法为主,直到 20 世纪 80 年代开始才更多地注意软系统方法和半定性半定量的方法。随后,近些年的一些实际问题的处理经验使我们越来越重视专家的经验 and 处理专家意见的方法。

(1) 区域发展战略(北京、吕梁地区)——需要理解领导意图

20 世纪 80 年代,为了构建北京城市发展战略,我们充分利用专家调查的方法,一共发出 400 份调查问卷,最后用统计方法加以汇总得出发展战略的具体方案。但后来北京市领导没有接受,尽管事前也曾向他们中的一些人发过调查问卷,而且也汇总到结果中,只是没有去强调他们的身份。后来我们又做了聚类分析方法,结果发现领导与问卷专家的意见有明显的差异。在搞吕梁地区发展战

略时,我们既注意搜集各方面领域专家的意见以及一些数学模型计算出来的结果,又特别听取了地区领导的意见,将两者意见适当的整合形成了各方都认可的战略方案。

(2) 水资源管理系统——定性与定量,人一机结合,人—人结合

在为秦皇岛引入水资源管理决策支持系统决定水库的合理库存和调度规则时,我们提出一个满意度的准则函数 $\pi(x)$, 含有 5 个参数 x_D 、 x^* 、 x_F 、 a 、 b (图 1.1), 但当时一个参数也定不下来。先向一位当地年轻专家请教, 他什么也无法确定, 后来向一位有 30 年经验的当地老专家请教, 他根据经验很快确定其中 3 个参数 x_D 、 x^* 、 x_F 。后来, 参数 a 和 b 利用试凑法很快也找到了。在确定如何制订各个月份的雨量预报模型时, 我们与那位老专家开始也曾发生分歧, 最后我们利用历史数据在计算机上作出各个月份的概率分布图, 在共同观测这些图后, 双方很快达成了共识(Gu et al., 1995; 唐锡晋, 1995)。

$$\pi(x) = \begin{cases} \exp\left(-\left(\frac{x^* - x}{x^* - x_D}\right)^a\right), & x < x^* \\ 1, & x = x^* \\ \exp\left(-\left(\frac{x - x^*}{x_F - x^*}\right)^b\right), & x > x^* \end{cases}$$

其中, x_D 为偏旱库容; x_F 为偏涝库容; x^* 为最满意的库容; a 和 b 为曲线的形状参数。

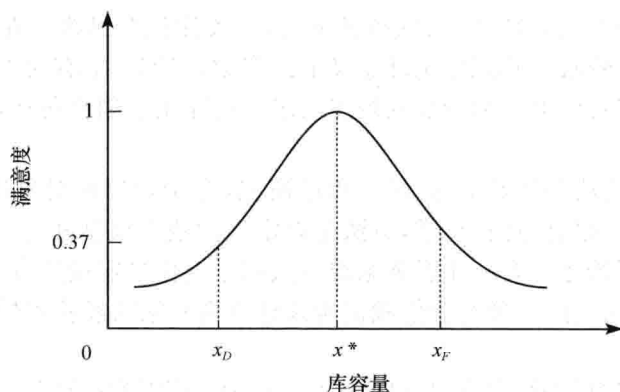


图 1.1 满意度的准则函数图

(3) 商业设施与技术装备标准体系制定

这是当时国家科学技术委员会和内贸部(现为商务部)组织研究的一个项目, 因为很多行业, 如机械部、化工部等已制定了各自行业的标准体系, 但是商业系统

却没有,而且原有的商业方面标准基础工作也不理想。我们参加项目后,用系统工程思想作指导,同时决定对商业方面行业已有标准进行调查,更主要的是依靠大量的文献调查和专家调查。标准体系制定流程如图 1.2 所示。在多次专家调查基础上完成了该项目的要求。项目采用了 Delphi 法和聚类分析法,同时还采用了计算机信息系统帮助人一机对话(Gu et al., 1997;顾基发等,1997)。

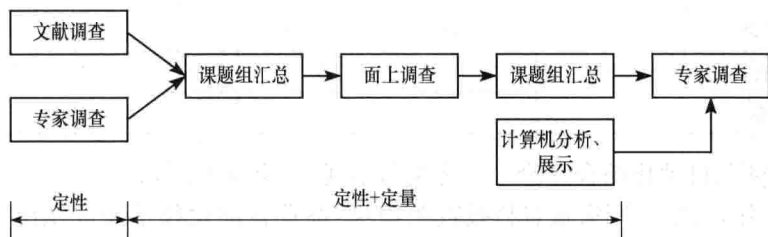


图 1.2 标准体系制定流程图

(4) 全球气候变暖——认知专家意见汇总

我们曾经参加过中国科学院组织的一个中国全球变化预研究的项目(叶笃正, 1992)。为了搞清全球变化,就要了解影响气候变化与地球的各个子系统及其相互作用和作用大小。在向参加项目的几个不同领域的专家进行咨询调查时,要求他们对各个子系统的重要性打分(越小越重要),但却发现他们的意见很不统一(表 1.1)。根据一些重要变量对全球气温进行预测,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)1990 年预测全球气温将以每十年 0.3°C 增加,预计在 2025 年高 1°C 左右,当然他们也承认预测中有不确定性,所以不排除意外。我们也试着做了一个模型,很遗憾没有得出增温的结论,因此没有被项目组采用(陈占锋, 1991;顾基发等, 1993)。有意思的是,这些年开始有些专家对变暖说表示怀疑,甚至有人认为可能部分赞成全球气候变暖专家有意夸大其事。2012 年 2 月 13 日科学网新闻报道:全球 16 位科学家联合撰文质疑全球变暖说,2011 年 9 月,诺贝尔奖得主物理学家伊瓦尔·贾埃弗发表了一封公开信,宣布退出美国物理学会。信的开头这样写道:“我没有延续(我的会员资格),因为(美国物理学会政策)声明中的一些说法我不敢苟同。美国物理学会称:‘无可辩驳的证据表明,全球变暖正在发生。如果不采取行动缓和这一趋势,地球的物理和生态系统、社会体系、安全和人类健康可能会严重受损。我们必须从现在开始减少温室气体排放。’美国物理学会可以讨论质子的质量是否会逐渐变化,也可以讨论多重宇宙如何运行,但全球变暖的证据果真是无可辩驳的吗?”(科学网, 2012)

表 1.1 地球系统子系统一览表

地球系统子系统	选择专家数	7 个专家的重要性判断分值	重要性判断总分/专家个数
大气	7	2 1 5 5 3 4 1	21/7
土壤	5	4 4 2 5 1	16/5
水体	7	3 5 3 3 4 3 1	22/7
生物圈	7	6 3 1 1 1 2 1	15/7
人类活动	7	4 2 2 4 2 1 2	17/7
天文、地质	3	5 6 2	13/3
岩石圈	3	5 5 2	12/3

(5) 商业自动化综合评价——客观与主观, 专家意见汇总

1997 年,“九五”国家重点科技攻关项目“商业自动化技术集成及综合示范工程”中一个专题是“商业自动化系统的综合评价系统研究”,要求建立自动化系统的综合评价指标体系。为此,我们采用一系列调查,包括上级部门、专业部门、文献调查,并组织了一系列专家会议最后达成了共识,其中经历了 5 个阶段的咨询、调查和仔细讨论修改(图 1.3)。在定指标体系时,尽量考虑代表不同利益、不同知识的专家意见。中间还多次深入示范点进行面对面访谈,并在现场参观。最后在上海召开了专门研讨会议,邀请了上级领导、6 个示范点的代表、信息领域专家加上项目内专家共计近 30 位代表采用汇聚了大部分人的意见作为评价指标体系主要框架。评价指标体系尊重群体大多数人的意见,使用的方法有 Delphi、聚类分析以及 AHP 法等。注意到个别单位专家有一些不同看法,会后我们又专门去听取了他们的意见。我们还建立了商业自动化系统评价支持系统,特别便于人机对话,有利于专家对一些指标的深入理解和及时修改(Gu et al., 1998;顾基发等, 2006)。

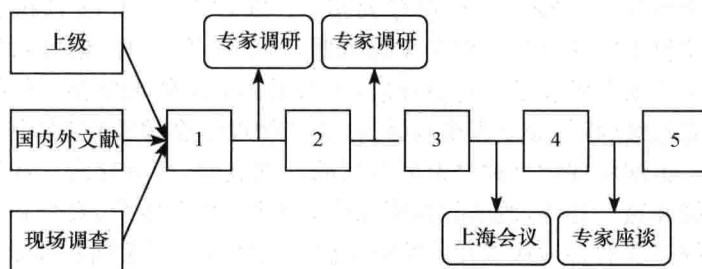


图 1.3 建立指标体系流程图

我们将这些案例主要结果汇总如表 1.2 所示。

表 1.2 与专家意见挖掘相关的几个案例

案 例	专家个数	方 法	目 的
战略发展	400	Delphi,统一规划法(unified program planning,UPP)	形成战略
水资源管理	2,3	定性与定量结合	确定目标
标准体系	3,6,30	智暴、Delphi、聚类	制定标准体系
全球气候变暖	7	Delphi、解析结构建模(interpretive structural modelling,ISM)	搞清气候变暖的机理
商业信息系统的评价	3,6,30	物理事理人理 WSR、调查	制定评价指标和评价方法

其他案例,如国家高新技术开发对评价专家心理活动的描述(欧阳资力,1998),科技周转金项目评估(赵丽艳,1997),航天安全性评估(Fragola et al.,1995;赵丽艳,2000)和大学的评价(山本明久,2001;顾基发等,2006)等项目的研究中都有专家经验的合理应用。

航天安全性评估关系到航天系统的风险与安全领域的研究,因为涉及的部件和分系统元件的数量巨大,引起故障的因素众多,相互间的关系又极为复杂,但是总系统的实验数据直接可用的又很少。因此,综合应用各种可用的分系统数据,定量的、定性的、客观的和专家主观判断的分析都是十分必要的。概率风险评估(probabilistic risk assessment,PRA)提出的方法论实质上是一种从定性到定量的综合集成过程。它基于实验数据、多种信息、数学模型和专家知识,合成一体对空间系统的安全性加以评估。目前在美国国家航空航天局(NASA)和欧洲空间局(ESA)都在应用 PRA 方法(图 1.4)。美国的核工业部门也在应用。

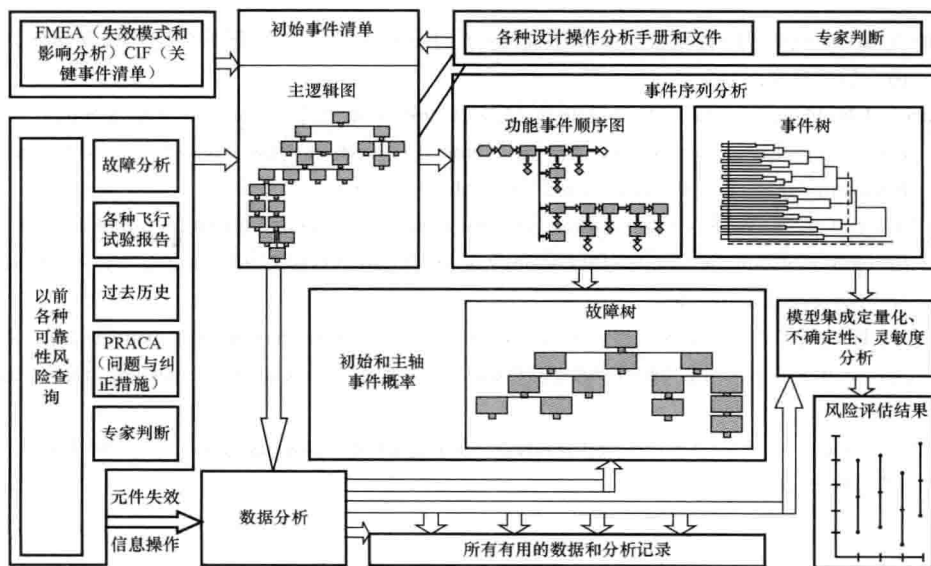


图 1.4 NASA 的 PRA 工作框图(Fragola et al.,1995)

此外,还有其他各种评价项目,如评价组织(研究所、学会、开放室)、评价项目(平塑煤矿、宝钢、上海石化)、评价自然资源(三峡工程的生态环境评价)等都涉及大量应用专家意见汇总的研究工作。

参考文献

- 陈占锋. 1991. 全球变化系统分析与气温数学模型研究. 中国科学院系统科学研究所硕士学位论文.
- 顾基发, 陈占锋. 1993. 地球系统的复杂性. 复杂性研究: 257~265.
- 顾基发, 唐锡晋. 2006. 物理-事理-人理系统方法论: 理论与应用. 上海: 上海科技教育出版社.
- 顾基发, 王林, 唐锡晋, 等. 1997. 物理事理人理方法论在建立商业设施与技术装备标准规范体系表结构中的应用. 系统工程理论与实践, 12: 134~137.
- 科学网. 2012. 全球十六位科学家联合撰文质疑全球变暖说. <http://news.sciencenet.cn/html-news/2012/2/259700.shtm>[2012-2-13].
- 欧阳资力. 1998. 国家高新技术开发区考核评价的系统思考. 中国科学院科技政策与管理科学研究所博士学位论文.
- 山本明久. 2001. 日本と中国の大学機能の比较と评价. 日本北陆先端科学技术大学院大学修士论文.
- 唐锡晋. 1995. Soft System Approach to Computerized Decision Support for Water Resources Management. 中国科学院系统科学研究所博士学位论文.
- 叶笃正. 1992. 中国的全球变化预研究. 北京: 气象出版社.
- 赵丽艳. 1997. 评价方法论及其在项目评价中的应用. 中国科学院系统科学研究所硕士学位论文.
- 赵丽艳. 2000. 概率风险评估方法及其在航天安全性分析中的应用. 中国科学院系统科学研究所博士学位论文.
- Fragola J R, Maggio G. 1995. Probabilistic Risk Assessment of the Space Shuttle, A Study of the Potential of Losing the Vehicle During Nominal Operation. New York: Science Application International Corporation, Advanced Technology Division.
- Gu J F, et al. 1998. WSR system approach to the study of synthetic evaluation of commercial information systems in China//Proceedings of 3rd International Conference on System Science and Systems Engineering.
- Gu J F, Tang X J. 1995. W-S-R system approach to a water resources management decision support system// Systems Methodology: Possibilities for Cross-Cultural Learning and Integration.
- Gu J F, Yang J L. 1987. MCDM and strategic development. Towards Interactive and Intelligent DSS: 280~287.

第2章 钱学森系统集成方法

在近代科学向现代科学的发展过程中,自然科学采用了从定性到定量的研究方法,所以自然科学又被称为精密科学。社会科学和人文科学由于研究对象的复杂性,通常采用的是从定性到定性的思辨、描述的方法,所以这些学问也被称为描述科学。这种趋势随着科学技术的发展也在变化,有些学科逐渐向精密化方向发展,如经济学、社会学等。

系统集成方法处理复杂系统问题要求将数据、信息、知识和专家经验及智慧结合起来,要人一机结合以人为主(钱学森等,1990)。系统集成方法的实质是把专家体系、信息与知识体系以及计算机体系有机结合起来,构成一个高度智能化的人—机结合体系。这个体系具有综合优势、整体优势和智能优势。它能把人的思维,思维的成果,人的经验、知识、智慧以及各种情报、资料和信息集成起来,从多方面的定性认识上升到定量认识(钱学森等,1990)。

系统集成方法是以思维科学为基础的。从思维科学角度来看,人脑和计算机都能有效处理信息,但两者有极大差别。人脑思维的一种是逻辑思维(抽象思维),它是定量、微观处理信息的方法;另一种是形象思维,它是定性、宏观处理信息的方法。人的创造性主要来自创造思维。创造思维是逻辑思维和形象思维的结合,也就是定性定量相结合、宏观与微观相结合,这是人脑创造性的源泉。今天的计算机在逻辑思维方面确实能做很多事情,甚至比人脑做得还好、还快,善于作信息的精确、快速、大规模处理。在形象思维方面,现在的计算机还不能给我们太多的帮助,至于创造思维主要依靠人脑。计算机在逻辑思维方面毕竟有优势,如果把人脑和计算机结合起来就有新的优势,且如果把人脑和计算机结合起来并以人为主,那就更有优势,人将变得更加聪明,这也是 $1+1>2$ 的道理。这种人—机结合,以人为主的思维方式和研究方式具有更强的创造性和认识客观事物的能力,如图2.1所示。

信息、知识、智慧是三个不同层次的问题。有了信息未必有知识,有了信息和知识也未必就有智慧。信息的系统集成可以获得知识,信息和知识的系统集成可以获得智慧。人类有史以来就是通过人脑获得知识和智慧的。由于以计算机为主的现代信息技术的发展,可以通过人一机结合以人为主的方法来获得知识和智慧,在人类发展史上,这是具有重大意义的进步。系统集成方法就是这种由人一机结合获得知识和智慧的方法。

从认识论角度来看,通常是在已有的科学理论、经验知识基础上结合专家判断

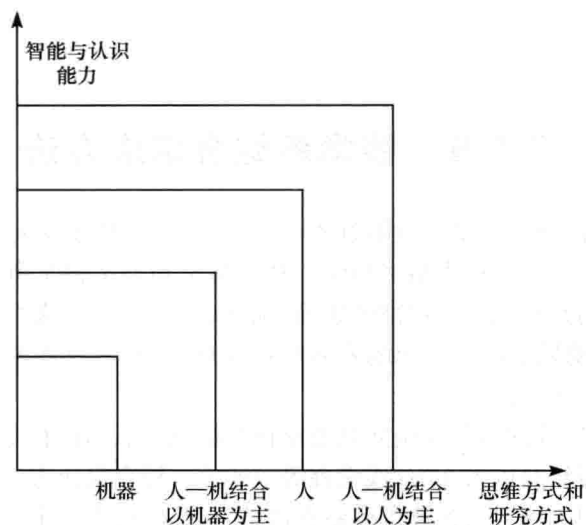


图 2.1 各种思维方式比较(于景元,2009)

力(专家的知识、智慧和创造力),对所研究的问题提出和形成经验性假设,如猜想、判断、思路、对策、方案等,这种经验性假设一般是定性的。经验性假设是因为其正确与否、能否成立还没有用严谨的科学方式加以证明。在自然科学和数学中,这类经验性假设是用严密的逻辑推理和各种实验手段来证明的,体现了从定性到定量的特点。

对复杂系统来说,由于其跨学科、跨领域的特点,通常由不同领域、不同学科专家构成的专家体系,依靠群体的知识和智慧,对所研究的复杂系统问题提出经验性假设与判断。但要证明其正确与否,仅靠自然科学中所用的各种方法就显得力不从心了。例如,社会系统、地理系统中的问题,不是简单的逻辑推理,也不能进行实验。但我们对经验性假设又不能只停留在思辨和从定性到定性的描述上,这是社会科学常用的方法。系统科学是要走精密科学之路的,那么出路在哪里?这就是人一机结合以人为为主的思维方式和研究方式。机器能做的尽量由机器去完成,极大扩展人脑逻辑思维处理信息的能力(包括各种能用的数学方法和工具)。通过人一机结合以人为为主,实现信息、知识和智慧的综合集成。这里包括了不同领域的科学理论和经验知识、定性知识和定量知识、理性知识和感性知识,通过人机交互、反复比较、逐次逼近,实现从定性到定量认识,从而对经验性假设的正确与否做出明确结论,无论是肯定还是否定经验性假设,都是认识上的进步,然后再提出新的经验性假设,继续进行定量研究,这是一个循环往复不断深化的认识过程(钱学森等,1990;戴汝为,2009)。

综合集成方法的运用与工作方式是专家体系的合作以及专家体系与机器体系合作的研究方式。具体地说,是通过先进行定性综合集成形成一定的假设和想定,

然后经过定性、定量相结合的综合集成将假设进行严格的定量和逻辑地论证,最后到从定性到定量综合集成,即通过专家和实践确认,通过这样三个步骤逐步来实现的。这个过程不是截然分开,而是循环往复、逐次逼近的。复杂系统与复杂巨系统问题,通常是非结构化问题。通过上述综合集成过程可以看出,在逐次逼近过程中,综合集成方法实际上是用结构化序列去逼近非结构化问题(于景元,2009)。

综合集成特色概括起来有以下特点:

- ① 把数据、信息、知识和专家经验与智能结合起来(D, I, K, E, W)。
- ② 把人脑与计算机结合起来(人机结合)。
- ③ 把大家意见集成起来(群体知识)。
- ④ 把左脑与右脑结合起来(定性与定量结合)。
- ⑤ 把真实与虚拟结合起来(实体与计算机实验结合)。
- ⑥ 把微观和宏观结合起来(局部与整体)。
- ⑦ 把还原论与系统论结合起来(分析与综合)。

这套方法是目前处理复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统)的有效方法。已有成功的案例证明其有效性。综合集成方法的理论基础是思维科学,方法基础是系统科学与数学,技术基础是以计算机为主的现代信息技术,哲学基础是马克思主义的实践论与认识论。

综合集成研讨涉及的学科如下:

- ① 各种思维(思维科学),包括直觉思维、逻辑思维、联想思维、灵感思维、社会思维(群体思维)、发散性思维(水平思维)与收敛性思维(垂直思维)。
- ② 利用系统学、模型套帮助思维(系统科学)。
- ③ 利用知识转换帮助研讨(知识科学)。
- ④ 将知识分类、储存、加工和可视化(信息科学)。

国家自然科学基金委员会 1999 年 7 月 9 日正式批准“支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究”重大项目(79990580)。在这个项目中我们运用了各种知识提取、汇总的方法和工具,例如从大量数据中提取知识的 KDD(knowledge discovery based on data);从过去大量经济案例经验中形成案例库(case base);开发了从专家开会中提取有用的意见和知识的群体研讨环境和电子公共大脑;从大量模型知识中形成模型集成(model integration)后的知识。最后,利用系统重构方法将数据、信息、模型和专家知识集成起来等(顾基发等,2007)。

综合集成与知识的层次 $D-I-K-E-W$ 以及相应的工具如表 2.1 所示。

表 2.1 综合集成与知识的层次以及相应的工具

知识表现形式	处理知识的方法、工具
数据	数据处理(DP)、数据挖掘、KDD
信息	管理信息系统(MIS)、文本挖掘、网上挖掘

续表

知识表现形式	处理知识的方法、工具
知识	隐显知识转化模型(SECI model)、知识库(KB)
经验	专家挖掘
智慧	思维科学、大成智慧、专家挖掘

2.1 意见综合

复杂系统问题的解决单靠数据、信息和模型是不够的,钱学森等提出综合集成方法要把专家、决策者的意见、经验都综合进去。首先我们要把专家的意见乃至经验和其他隐含的意见、情绪(包括心理行为)尽可能都收集起来。有时这些专家的意见和经验未必相同,因此要利用一群专家,让他们互相取长补短,还有些意见需要通过争辩来找到更为正确的意见,当然还有个别有独特见地的意见应该允许保留或者以后再议。其次,由于人脑的记忆有限,思考的范围不够广,速度也不快,这就需要机器帮助查询各种已有的专家意见和信息,以及数据库里存储的数据和信息,还可以通过构建各种模型和数据加工手段进行大量的逻辑运算来得到一些合乎逻辑的结论,这就要求人一机结合。最后将他们的意见都科学地综合起来,再由一些专家认真讨论以期达成共识,这就有很多工作要做。本章和第4章的部分内容与我们参加的相关研究工作密切相关。当时项目第一主持人戴汝为院士向我们提出一个问题,即综合集成时要吸取很多专家的意见,专家的意见收集来如何加以合成。后来我们就把这个问题作为一个重要研究方向。应该说开始我们没有想到有太多的研究工作要做。当时顾基发正在日本先端科学技术大学工作。最早对共识这个名词的接触和引起注意的是一篇该校的博士论文,题目是 *A Study of Group Decision Support System Based on Individual Viewpoints Related to the Process of Consensus Building*,其中“Consensus”在日文中译成“合意”,没有想到用这个词作主题词在网上查询时竟查出不少相关条目。特别是,国际上还有不少以共识为名的研究机构存在,这引起了我们极大的兴趣。于是我们试图在基本概念、方法和有关工具等多方面加以整理和开发。这个综合过程也可以用图2.2来表示。



图 2.2 思维演化过程