

第十八章 智能的人-机结合综合集成理论

我们认为，未来的人类社会，必定是一个高度智能化的人与高度智能化的“工具”有机结合的社会；未来的智能系统，必定是一类人-机结合的综合集成智能系统；未来的问题解决系统，也必定是汇集了人类智慧和机器智能、汇集了人类专家群体和各类（智能化）信息（处理）系统的集成式综合问题解决系统。这既是当前智能系统研究和开发的有效途径，也应是智能科学研究未来的主导思想。智能科学，要研究人类智能，要研究机器智能，更要研究人-机结合的综合集成智能。

本章的内容，有不少内容是以钱学森院士和戴汝为院士等所做的工作为基础的，并依现有技术的飞速发展进行了改动。我们关注人-机结合、“从定性到定量”的综合集成智能系统的研究，更看好人-机结合综合集成的多智能体系统理论和超智能体系统理论的发展。关于人-机结合综合集成的超智能体系统的基本架构和部分理论研究，我们将在下一章给出。

18.1 人-机结合的综合集成智能系统的提出

钱学森院士早在1992年就指出：“智能系统是非常重要的，是国家大事，关系到下一个世纪我们国家的地位。如果在这个问题上有所突破，将有深远的影响”。

当时，日本第五代计算机的研制未能达到预期的目标，曾对传统人工智能的研究造成了冲击。它从一个侧面表明，传统的人工智能研究本身存在着一定的局限性。在当时技术条件下，希望让智能计算机来完全代替人是不现实的。而把“智能机（智能系统）”与“人”相结合，充分发挥人的心智和“智能机（智能系统）”的高性能，才是智能系统研究的一条可靠途径。换句话说，在当前阶段，我们要重点研究的，应是“人”与“机器”相结合的智能系统，应该是人-机智能系统。因为在现实生活中，人的意识活动是很丰富的，包括自觉的意识和下意识等，人就是靠这些丰富多彩的意识活动来认识世界的；在认识世界和改造世界的过程中，人始终发挥着主导作用。由于时代和技术条件的限制，我们现在还很难实现单纯的“机器智能”，因而只能做些“妥协”，尽量拓展智能科学和计算机科学已有的成果，使“智能机（智能系统）”尽可能多地帮助人来做些工作。这便是大力开发“人-机结合”的智能系统。

需要指出的是，我们提倡大力开发“人-机结合”的智能系统也并非只是一时的“权宜之计”，而应是人类智慧综合集成的一个“持久的”发展方向和策略。人类智慧综合集成的方式，包括人类智慧的“社会实体组织”综合集成，以获得人类的社会和组织智能；人类智慧的“人-机”综合集成，以获得人与智能机器相结合的综合集成智能；人类智慧的“广义时空”综合集成，以形成可充分利用各类知识资源和专家资源的“超智能体”广义动态综合集成智慧等。而人-机结合的广义时空综合集成智慧系统，应是人类智慧综合集成的最主要的、也是最有发展前景的一种集成方式。

一般认为，在人-机结合的综合集成方面，存在着的三类“人-机”结合的综合集成方案：一是，基于人类智慧开发的“自主”机器智能系统。这是人工智能的研究者们一开始就致力实现的目标，无论是 Turing 还是 Wiener，都是以“自主机器智能系统”作为他们研究的最终目标，而将人在“机器”工作期间的作用仅考虑为一种由于“机器性能不完善”才不得已而采取的“补救措施”。如果这种“自主系统”是生活在一个“干净”的环境中，比如是在太空中运行的可自动采集和分析星系资

料的有限运行状态系统，或是只是做一些纯逻辑的“下棋活动”，那它将是大有用处并可有效地运行的。但是，如果让它生存在“复杂”的人类社会环境中，并希望它能处理人类社会问题，要使它有效运行并保持长期不变，在目前则几乎是不可能的。二是，“人助机”机器智能系统。“人助机”机器智能系统的提出是基于如下的考虑：面对复杂的自然和人类社会环境，让机器单独处理所有复杂问题目前确实是不现实的，智能机器的运行目前确实还离不开人的干预。这就意味着，在“机器”自主运行的同时，“人”将在多个方面发挥“帮助”作用：例如，当“机器人”在自主运行中遇到了无法解脱的困难（比如，卡在了路障里），由“人”帮它解脱这一困境并教会它未来遇到相似情况时解脱的方法；在机器自主解决某一问题十分吃力或可能会付出极大代价时，“人”帮助机器尽快解决此问题或尽量减少可能会付出的代价等。三是，以“人”为主的人-机结合智能系统。这就意味着，系统的主体是“人”，但人与智能机器要发挥各自的长处，共同构成一个高智能的信息处理系统，共同来解决现实世界的各类现实问题。比如，先由“人”给出问题或解决问题的一些初步的想法(主意)；“机器智能系统”或提出解决这些问题的可能方法，或对这些想法和方法在现有条件下“验证”它的合理性并预测其可能的结果，反馈给“人”；由“人”不断修改想法或解决问题的方法，并最后得到可接受的解。这就需要“人”和“智能机器(智能系统)”要在共同的目标下不断进行协作与交流、传授与学习、相互支持与启发，从而形成一个可“集思广益、优势互补、共同提高”的问题求解系统。显然，第三种集成方案目前是最可行的。而要实现此目标，就需要解决两个方面的问题：一是人与“智能机器(智能系统)”之间如何实现自由交流，即人-机交流界面问题，我们需要人-机之间在图像识别、语言交流和其他感知方面的突破性的研究成果；二是人和“智能机器(智能系统)”应如何有效互动、综合集成，从而构成一个可有效解决现实问题的综合系统。更进一步讲，在由人和“智能机器(智能系统)”综合集成而构成的集成智能系统中，一是要有“人”和“人”之间、“智能机器(智能系统)”与“智能机器(智能系统)”之间进行“集思广益，博采众长”的实现条件，其实质就是能进行人-机之间的相互理解和交流。二要有“人”和“智能机器(智能系统)”之间的“优势互补”和“意见集成过程”；即，既要把各类“智力资源”——具有各种不同专长的“专家群体”或“智能系统”——有目的地、有机地汇集(联合)起来，发挥它们各自的长处；又要能通过“人”和“智能机器或智能系统”之间的互动，将多个具有不同知识背景 and 不同能力的“人”(专家或团体)的智慧，以及多个不同功能的“智能机器(智能系统)”的知识和智能综合起来，从而形成一个针对某一领域问题的优化的集成求解系统，以便得到针对某一领域问题的更好的解答；它需要一个在“人类专家群体”及“智能机器(智能系统)”间的一个动态的“交互”过程。

由于智能化的信息处理有理性的一面，也有非理性的一面；在由“人”和“机器”所构成的综合集成智能系统中，本质上也应有理性和非理性两方面的综合集成。但人们所期望的，目前主要还是其理性的一面。并且，这一理性的综合集成，最主要地应是充分发挥出“人”和“智能机器”各自的优势，恰当地实现“人”和“智能机器”的优势互补。“人”和“智能机器(智能系统)”各自的优势[部分]，可如表 18.1.1 所示。

表 18.1.1 人和智能机器在信息处理时各自的优势领域

处理层次	人	智能机(智能系统)
认识层次	感受	知识
表示层次	联想机制	物理符号机制
操作层次	思维、反馈、自组织	搜索、推理

信息层次 不精确(定性)处理 精确(定量)处理

仔细分析人和智能机器在信息处理方面的互补优势,我们就会发现,对信息做“定性”和“定量”的综合处理,应是人-机优势结合综合集成的一个核心问题,因为它们是智能化信息处理过程中理应具有的两重性。人-机结合综合集成智能系统最重要的考虑之一,应是能在不同层次上将“人”和“机器”的各种优势都有效地发挥出来,并在综合集成的过程中获得问题的最优解决方案或创造出新的模型。也许,在综合集成的智能化信息处理系统中,综合集成的过程是非常复杂的,但相互发挥其优势和互为补充,应是最起码的要求。我们确信,综合集成系统的集成智能行为,必将产生于多方优势互补的综合集成过程之中。

18.2 人-机结合的综合集成智能系统的主要特征

构建人-机结合的综合集成智能系统的根本任务,就是要在理解人类的需要和已有解决问题的智能方法的基础上,提出构建各类集成智能系统的正确思路,研制出各种集成智能系统的开发工具和实现方法,从而构建出各种实用的综合集成智能系统。有研究认为,这类集成智能系统,应具有下述显著特征:

1. 人-机结合的综合集成智能系统首先应是信息、知识和思维的综合集成系统

综合集成智能系统首先应是信息、知识和思维的综合集成系统。信息和知识是智能的基础,系统的综合集成应首先应是信息和知识的综合集成;而在解决问题的过程中,“专家群体”的经验知识和解决问题的思路,或许起着更重要的作用。在以前,这一综合的过程,还无法使用“机器”或“互联网工具”,建立模型或提出方案主要是靠“人”动脑子思考。随着社会的发展和技术的进步,人类已创造出了各种“机器”来代替“人”从事部分体力劳动和部分脑力劳动,具有智能行为的机器—智能机器,特别是各类(网络)信息数据库和(网络)知识系统的出现,已使信息和知识的存储、运用和集成变得更加容易,这无疑已为信息、知识和思维的人-机综合集成创造了有利条件。但这也涉及到了各类信息和知识的机器表达和处理,即知识工程的问题了。知识工程作为人工智能的一个重要分支,其解决问题的办法即在于能合理地组织与使用知识,从而构成一个“机器可理解和存储”“人-机可自由交互”的知识系统。“专家系统”就是一种典型的知识系统。在人-机结合的综合集成智能系统中,“专家”的一部分作用,应该是可以通过“专家系统”来实现的。

把数据库技术、自然语言理解技术、智能技术、知识工程等引入人-机结合的综合集成智能系统,就意味着,对于信息和知识的集成,我们除了要广泛汇集“人类专家”的意见之外,汇集各种相关信息和知识的范围也要扩大,可以从各类数据库、知识库,特别是当今庞大的网络信息库和知识库—Internet上来搜集和汇集各类信息和知识。要搜集和汇集这些信息和知识,采用人工的方法来完成将是十分困难的,但是用“智能机器(智能工具)”却可以很容易地做到。而尽可能详尽地把一切有用的东西都集成起来,建立各类(网络)信息库和知识库,应是实现人-机结合的综合集成智能系统的第一步。

人-机结合的综合集成智能系统更应是“思维”的集成系统。思维是人类智慧的核心,是问题解决的关键所在。从思维的类型看,要解决问题,即使是比较简单的日常生活中的问题,单靠一种思维方式,如抽象思维,通常是不够的,我们至少需要用形象思维与抽象思维相配合,亦即解决问题的思维通常是多种思维方式的集成;从思维的过程看,要解决一个问题,必须依靠各种知识和信息,而且要在思维的过程中不断地使用各种思维方法。至于一个问题解决系统,其要解决的,已经不是

单一的问题而是问题群,是有互相关联的问题群;参与问题解决的,也不是一、两个人,而是一个“群体”。这样,集成化的思维和智慧就显得更为重要了。这种思维的集成过程必然会是一个非常复杂的过程,其运行会比单个思维系统更加复杂,应是一个**开放的集成思维系统**。建立和启动这样一个开放的集成思维系统,将是一项崭新的“**思维工程**”。有了思维集成的技术,人-机结合的综合集成智能系统才能构成一个有效集成社会思维与群体智慧的复杂智能系统。这里,社会思维是指“人”作为社会整体对客观现实的认识,它是在特定社会历史和社会关系的基础上,众多个人思维和群体思维交互作用、多元复合而形成的观念体系。社会思维是以“人”作为社会主体的一种整体思维,从思维主体范围的角度来看,社会思维包括个人思维和群体思维。群体思维是以若干思维个体组成的群体作为思维主体形成的特定思维功能,从而可产生出单个个体所不能达到的整体思维能力。也可以说,群体思维就是在个体思维差异之合理配合的基础上,充分发挥各自优势,通过思维互补而形成总体思维功能的一种思维方式。它能够综合个别主体之长,弥补个别主体之短。它既能形成一种个别主体所没有的新的认识能力,又能使群体中诸个体的认识能力得以扩大。而群体思维的相互配合、相互激发、反复促进,将可产生出**集体智慧**,给我们带来新的扩大了的认识能力。

社会思维理论认为,人的思维是集体的,人是作为集体的一员来进行思维的;如此,思维的主体就不再是个体而是集体;**集体讨论和交流**是社会思维的一种最主要的形式,集体成员之间的相互交流、讨论、反驳和自省等,都是激发群体及个体智慧的有效手段;**“民主集中制”**曾是社会思维集成的一项较为合理的规则,在人机交互及思维集成中合理利用这一集成规则,或许也能互相启发、互相激励,从而使集体远胜过一个个的单个个体。

集体的智慧所形成的过程,体现了多人进行集体思维的过程,也成为了集体思维实现和群体智慧涌现的有效形式。社会思维要解决现实中的实际问题,就需要把有关“专家群体”,各类知识库和信息库,计算机系统及信息技术,以及互连网络等,形成一个综合集成智能系统,实施以人为主,人-机结合,从“定性”到“定量”、从“初步”到“深入”的探讨;它既可充分发挥“专家群体”集体讨论的整体优势,提出各种认识和意见;又可把专家的认识和意见,个体思维的火花所激发出来的“定性”认识,通过“机器”的大量的信息与知识的论证,形成初步的人-机共识,并不断的进行新一轮的处理,由初步是“定性”的认识,逐步上升为确定的问题解决方案。这就是采用**思维系统工程**的办法来解决复杂的决策问题的有效办法。

2. 人-机结合的综合集成智能系统应是“活的”信息、知识和思维综合集成系统

问题解决过程是一个信息、知识和思维的反复互动和集成运用的过程,是一个逐步由不确定到确定,由模糊到清晰的互动过程。由人及智能机器所构成的综合集成系统,也必然是一个“活的”人-机交互系统。在系统中,需要多“人”之间的相互交流,也需要“人-机”之间的即时交互和协调配合。这就需要“人”和“机器”都能以各种方便的方式,例如自然语言、文字、图形等,进行人-机通讯和交流,从而形成一个和谐的信息、知识和思维交流系统。这一综合集成系统在处理复杂问题时所采取的人-机结合的综合集成策略的核心,就在于能把人的“心智”与智能机器(智能系统)的高效信息处理功能结合起来。若按照我国科学家熊十力的观点,人的心智是由“性智”和“量智”两部分组成的。“性智”是一种从定性的、宏观的角度,对总的方面巧妙加以把握的智慧,与经验的积累、形象思维有着密切的联系,是人们在长期的生活实践活动中通过感受而得以形成的;“量智”是一种定量的、微观的分析、概括与推理的智慧,与严格的训练、逻辑思维有着密切的联系,是人们在科学实践活动中通过训练而得以形成的。所以,从信息处理的角度来看,综合集成就

是把人的“性智”和“量智”与具有智能化信息处理功能的机器的高效信息处理性能相结合，以达到定性的（不精确的）与定量的（精确的）信息处理互相补充。比如，在解决复杂问题的过程中，能够形式化的工作，尽量让具有智能化信息处理功能的机器去完成；一些关键的、无法形式化的工作，则靠人的直接参与或间接作用。如此，即可构成一个活的“人-机”结合系统。在此系统处理问题的过程中，关键之处，由人—比如权威专家—来指导、决策；而重复繁重的数据处理等工作，则由机器来进行。这种系统，既发挥了“心智”的关键作用，也发挥出了智能机器的特长。这样一来，人们不仅能够处理极为复杂的问题，而且可以通过“从定性到定量的综合集成”，达到“集智慧于大成”。

人-机结合的综合集成智能系统研究的重点，即在于在充分了解人的心智、积极模拟人的心智的基础上，把人的智能和智能机器的高性能相结合，构建人-机一体化的综合集成智能系统。人-机结合的综合集成智能系统强调人类的“心智”与“机器的智能化信息处理能力”相结合，追求的是“人”与“机器”相结合的集成智能。从体系上讲，它是把“人”作为一个成员综合“集成”到了整个系统中去，利用并发挥人和智能机器（智能系统）各自的长处，把人和智能机器结合起来形成一个新的体系。它强调“人”在智能系统中的主导作用，认为人作为智能系统的成员，具有界面与体系两方面的含义。这里所说的人-机界面，其含义已不同于那种基于图形学的人-机界面，而是包含了模式识别等这类涉及感知方面问题的更广义的人-机界面，是实现人-机交互的必要条件，其代表性的研究可有“自然语言理解”、“多媒体技术”和“虚拟现实”（virtual reality）技术等。

综合集成智能系统的集成，不仅仅是多学科知识的交叉、多种技术的融合、多种资源的互补等一般意义上的集成，而是将“人”作为系统的组成部分，人与机器共存，人-机分工，各自发挥自己的优势的集成。综合集成系统将“人”和“机器”作为被综合集成的对象所产生的问题，将是综合集成研究中最复杂、最困难的课题之一。因为在此集成中，综合集成将从算法、模型的综合集成扩展到感知、认知、思维等方面的综合集成。在这里，综合集成的意义已不仅仅是简单的由多种模块组成一个系统，而是要根据问题在某一时刻的需要，在系统理论意义下动态地构成社会系统的若干个子集，在不断的交流的过程中求得问题的解决。这一动态的系统更具有进化的特征，它可以学习、不断成长、不断提高，它将是一个可按照人类的意愿不断发展的“活的”智慧系统。

3. 人-机结合的综合集成智能系统应是一个开放的复杂系统

综合集成智能系统，若按其知识体系结构划分，有人曾将其大致归结为三类：一是（相对）封闭的智能系统（知识系统）。该类方案的设计者认为，目前的智能系统缺少智能，主要是因为其所包含的知识太少。因此，他们设想，如果在一个智能系统中包含数以百万计甚至亿万计的有机组织起来的知识，则其就可能表现出达到一定程度的智能行为。为此，他们提出了知识的阈值理论。而现今各类知识大模型的开发，也应是实现这一设想的基础工程之一。二是半开放的智能系统（知识系统）。其设计者认为，智能行为不仅取决于系统中“个体”的发育，更是一个在一定社会环境中各个“个体”间相互作用的结果，即协同合作来解决矛盾的过程。因此，集成智能系统除了要考虑将不同领域的知识和技术集成在一起以形成更加有效的超大规模集成智能系统之外，也要考虑适度的开放。该类系统的一个显著特点就是允许在系统中存在矛盾，并可在系统的执行和进化中逐步消除矛盾。三是开放的集成智能系统（知识系统）。钱学森等所提出的构建“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”的设想，可以认为就是这类系统的一个典型方案。这种方案不仅要考虑在系统中出现矛盾时处理的办法，而且还将“人”作为智能系统中的成员而被综合集成。无论在研制过程还是问题

求解过程中，“封闭”的智能系统可看作是一个“自洽型”的智能系统，而“开放”的集成智能系统则是一个“社会型”的系统。

“开放”的综合集成智能系统强调“人”作为被综合集成的对象在智能系统中的重要性，其本质是改变对完全“自主”系统的追求而研制以人-机协作为目标的智能系统。它具有如下特点：① 系统中的成员不仅包括基于“计算机”（智能机器）的信息系统和知识系统，也包括人，由此也导致了要研究人在智能系统中的作用及人-机交互和智能集成等问题。② 系统中的成员在实际问题求解中有可能会动态地组成层次结构，同时，这些层次在问题求解过程中也会是不断变化的。③ 在系统中，成员的知识、能力和个性，包括其知识的表示、推理的方法甚至结构组成等，都是多种多样的。④ 系统组成自身也是动态的和发展的。

一般认为，**开放的复杂系统**有3个显著的特征：一是**系统的组成复杂**：不仅子系统的数量巨大，而且是多层次、多阶段的，它们之间又形成各种不同的相互作用。二是**开放性**：系统与外部环境以及子系统之间存在着能量、信息或物质的交换，就系统与环境的关系而言，常表现出复杂的、带有不确定性的、动态的关系。复杂性不仅体现在系统本身，而且体现在环境。**是环境的复杂性造就了系统的复杂性**。三是**涌现性**：复杂系统是由时空交叠或分布的组件构成的。肩负不同角色的组件间通过多种模式、按局部或全局的行为规则进行交互；组件类型与状态、组件之间的交互以及系统行为，常随时间不断改变；系统中子系统或基本单元之间的交互，经过一定的时间之后，在整体上常常会演化出一些独特的新性质，形成某种宏观表现模式。人-机结合的综合集成智能系统，显然也具有上述特征。在系统中，人既是系统的高级智能组件，也是系统演化发展的关键因素；对问题的处理，不仅要靠“机器”，更需要发挥系统中个人和群体的知识、智慧与创造性。

4. 人-机结合的综合集成智能系统解决复杂问题的恰当方法应是“从模糊到清晰”、“定性定量相结合”的综合集成方法(Methodology of metasynthesis from qualitative to quantitative)

作为一个开放的复杂系统(Open complex giant system OCGS)，人-机结合的综合集成智能系统，不仅子系统众多，子系统之间交互作用的方式复杂，还具有开放性。子系统和系统分别与外界有着各种形式的信息交换，用常规方法很难处理，需要新的处理方法。钱学森等人认为，对复杂系统中信息的处理，一个较好的方法是综合集成法，而且，综合集成的过程应是一个“从模糊到清晰”、“从定性到定量”的循环递进的复杂过程。

首先，系统的创建，将不是单纯走“由下而上”的路线，即由简单系统的分析上升到复杂系统的研究；也不是单纯走“自上而下”的路线，即首先研究复杂系统，在各种不同条件下，解析出简单的系统及其处理方法；而是“上下结合，综合考虑”。在研究和应用中，其研究方法和过程将是：将科学理论、经验知识和专家判断力相结合，先提出经验性的假设（判断或猜想）或模型；当然，这些经验性假设在没有被严谨的科学方式加以证明前，往往只是“定性”（粗糙、模糊）的认识，但可以用经验性数据和资料以及多参数的模型对其正确性和确定性进行检测和验证；这些模型也就在不断地检测、验证和修正的过程中逐步建立在了经验和对系统的实际理解之上了；再经过“定量”（精细）的计算，通过反复的对比，最后可形成一个比较可靠的“结论”（可认可的模型）；而这样的“结论”常常就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的“最佳结论”，得出这样“结论”的过程无疑就是一个“从定性上升到定量”（从“粗糙”上升到“精准”）的认识过程。

“定性定量相结合”的综合集成法，就其实质而言，是将专家群体（相关的多个类型的专家）、各种相关数据和信息与“智能技术”（智能系统）有机地结合起来，将各类学科的科学理论和人的

经验知识结合起来。这一方法可以成功的运用，就在于它可发挥（复合）系统的整体优势和综合优势，是“定性”（性智）方法与“定量”（量智）方法相结合的。

定性（性智）与定量（量智）相结合的综合集成方法的优势更集中体现在了思维的集成过程中，充分显示了其动态、辩证的特性，也就是人的认知从感性认识到理性认识，从定性的、不全面的感性认识到综合的、定量的理性认识的过程。在这一过程中，智能和知识可以发挥重要作用。从方法论来看，这一方法是把还原论与整体论结合了起来，既超越了还原论也发展了整体论。其理论基础是思维科学；其方法基础是系统科学与应用数学；其技术基础是以“计算机”（高速信息处理系统）为主的现代信息技术；其哲学基础是辩证唯物主义的实践论与认识论；其实践基础则是系统工程理论等的实际应用。

综合集成方法的研究主要包含三个方面的内容：① 要研究在计算、模型、感知及认知等不同层面上综合集成的方法；② 要根据实际环境及综合集成的需要，提出新的具体实现方法，这些方法也是综合集成的必然产物；③ 要研究在不同主体和对象间进行综合集成的方法。

智能问题的解决需要突破单纯“还原论”方法的束缚，接受“从定性到定量”综合集成的方法是必然的。因为从人的认知过程和当前“计算机（智能机器）”的功能来看，仅仅采用当前的“计算机”（智能系统）来构建处理复杂问题的自主智能系统目前还是不可行的，复杂智能系统的可行的构建方法是综合人的“性智”（如直觉、灵感、模式识别能力等）与“计算机”可以做到的“量智”（如逻辑推理、分析等），实现“从定性到定量”的综合集成。综合集成法本质上也是思维科学的一项应用技术，因为人的心智（mind）原本就包括“性智（qualitative intelligence）”和“量智（quantitative intelligence）”两部分。其中，“性智”是一种从定性的、宏观的角度，对总的方面巧妙加以把握的智慧，表现为判断和把握全局的智慧，与经验的积累、形象思维等有密切的联系。量智是一种从定量的、微观的角度，进行分析、概括与推理的智慧，与严格的逻辑思维等有密切的联系，是通过分析、计算与推理展现的智慧，是可以利用目前的计算机（智能系统）加以模拟与实现的智慧。从信息处理的角度来考虑，人-机结合的综合集成方法把人的“性智”、“量智”与“计算机”的“高性能”信息处理能力相结合，实现定性的（不精确的）处理与定量的（精确的）处理相结合，应是实现“从定性到定量”认知的恰当途径。在解决复杂问题的过程中，能够形式化的工作尽量让“计算机”去完成，一些关键的、无法形式化的工作，则靠“人”的直接参与或间接作用来处理，这样构成的人-机系统，既体现了“心智”的关键作用，也体现了“计算机（智能信息处理系统）”的特长。采用“从定性到定量”的综合集成法，把各方面有关专家的知识及才能、各种类型的信息及数据、以及“计算机”（智能系统）的处理功能有机地结合，所构成的系统，无疑会具有解决问题的整体优势和综合优势。

5. 人-机结合的综合集成智能系统实现的现实基础是“人”、“计算机（智能机器）”及其（互联）“网络系统”

信息技术与网络技术的发展，尤其是Internet和网络信息系统的快速发展，为综合集成技术的体系化和采用“从定性到定量”的综合集成方法来解决复杂问题，无疑已奠定了现实的技术与环境基础。我们可以把Internet看作是人类在研究和发展技术的过程中为服务于人类自身而创造出来的集合了“千万台智能机器”与亿万家人类个体（包括各类专家）的具有特定网络功能的全球最大的复杂社会信息和知识系统，同时也是一个群体智能系统。这个系统汇聚着人类对自然和社会研究的过去、现在和未来，关系着人们的日常工作与生活。这个系统具有极强的技术性和工程性，呈现着

少有的人文与科技相融合的态势，是典型的OCGS（开放的复杂系统）。若按一定的体系规范，在一定的目标指引下，在特定的“专家”的控制和参与下，将人、设备、服务、数据、信息、知识、网络等按应用的需求进行恰当的配置与整合，就很容易构成一个人-机结合的综合集成系统。因此，Internet和/或Intranet系统，（当然也包括各类大模型系统），无疑已为我们构建综合集成智能系统提供了现实的技术与环境，是当前最佳的实现基础。蓬勃发展的Internet不但是构建和实施“研讨”和“综合集成”的理想场所，其丰富的信息资源、知识资源和有序的内部结构，也为在“研讨”中综合集成数以百万计的“网民”的智慧，进而“集智慧之大成”创造了条件。当然，智能技术、“计算机软、硬件技术”的发展，也为实现这一复杂的智能系统提供了必需的工具。

18.3 关于人-机结合的综合集成研讨系统的研究

18.3.1 关于人-机结合的综合集成研讨系统的研究概述

为了探索人-机综合集成，众多学者做了大量的研究。其中最突出的是钱学森院士和戴汝为院士等所做的工作。钱学森不仅提出应该发展人-机结合的智能系统，还提出把人的思维、知识、智慧以及各种相关的信息统统集成起来，把当今世界上千百万人的聪明才智和已经不在世的古人的智慧都综合起来，构成一个大的**智能工程系统**。这一综合集成的思想在其后来的“综合集成研讨厅体系”的研究中得到了充分的发挥。按中国文化的习惯，把一个非常复杂的事物的各个方面综合起来叫做“集大成”，所以，当时该系统也被称为“大成智慧工程”。在上述思想基础上，戴汝为等在人-机结合的“综合集成研讨系统”的研究方面做了不少开拓性研究，他们除了把其智能系统放在“从定性到定量的综合集成法”和“大成智慧”的基础上来进行研究外，还把它作为研究复杂系统的一种重要方法，在智能科学与复杂性的结合研究领域也做了不少工作。这些研究成果，构筑了一个具有中国特色的人-机结合的智能系统研究新领域。

综合集成法的提出，是系统科学和思维科学（认知科学）交叉发展的产物，它从思维科学（认知科学）的角度，阐述了研究OCGS（开放的复杂系统）及相关问题所应采取的思路。沿着这一思路，钱学森等进一步提出了人-机结合、“从定性到定量”的“综合集成研讨厅体系”模型（hall for workshop of metasynthetic engineering，简称**HWME模型**）。“研讨厅体系模型”的理论基础包括：从定性到定量的综合集成法、人工智能、灵境技术（虚拟现实）、人-机结合的智能系统理论和系统科学等。“这个‘研讨厅体系’的构思，是把人集成于系统之中，采取人-机结合、以人为主的技术路线，充分发挥人的作用，使研讨（交互）的集体在讨论问题时互相启发，互相激活，使集体创见远远胜过一个人的智慧。通过‘研讨厅’体系还可把今天世界上千百万人的聪明智慧和古人的智慧（以知识工程中的知识的形式表现出来）统统综合集成起来，以得出完备的思想和结论。这个‘研讨厅’体系不仅具有知识采集、存储、传递、共享、调用、分析和综合等功能，更重要的是具有产生新知识的功能，是知识的生产系统，也是人-机结合精神生产力的一种形式。”

“从定性到定量的综合集成研讨厅（HWME）”，既是人-机结合的综合集成智能系统的一个理论框架，也是一个人类专家们同“计算机”和信息资料系统等一起讨论和工作的“厅”。它包括“**专家体系**”、“**机器体系**”和**知识体系**。其中，专家体系是核心，整个体系的成效，将有赖于专家，即人的精神状态，是处于高度激发状态，还是处于慵懒状态；只有前者才能使体系高效运转。激发状态，是一种超乎平常思维的敏感度而发展出来的状态，“这个敏感度就像网孔细密的网，能搜集思维之流中不易察觉的意义；正是这个敏感度才是真正智力产生的根源”。“机器体系”是系统的

物质和技术支撑系统，专家体系和机器体系都是知识的载体。作为一项应用技术，“综合集成研讨厅”体系无疑是构筑人-机结合的复杂智能系统的一个较理想的可选模型。

钱学森等就处理复杂系统行为的“定性-定量”方法进行了概括，认为这种方法通常是半经验半理论的，并指出**经验性假设、猜想与判断是建立复杂行为系统模型的出发点**。从经验性假设出发，通过“定量”方法途径获得的结论，仍然具有半经验-半理论的属性。在这之中，人、人的聪明才智与实践活动经验，具有特别的重要性。其综合集成是希望用计算机和网络的功能来帮助我们综合专家群体的定性认识及大量专家系统所提供的结论，以及各种数据、信息与知识，经过加工处理后使之上升为对总体的一个“定量”的认识，并且希望此过程是一个反复研讨（交互）的过程。这种方法，充分体现了人-机结合的思想，可有效发挥系统的整体优势与综合优势。当然，在综合集成的过程中，人始终处于主导地位。

18.3.2 人-机结合的综合集成研讨厅体系的基本构想

在综合集成法的基础上，针对如何完成思维科学的任务，提高人的思维能力这个问题，钱学森院士等概括出了人-机结合、以人为本、从定性到定量的“综合集成研讨厅”的理论框架。提出，综合集成研讨厅是人类专家同计算机和信息资料系统一起工作的“厅”，是把人类专家和各类知识库、数据库、各种人工智能系统、各种计算机系统像“作战指挥厅”那样组织起来，构成一个“人-机结合”的智能系统。这里，“组织”二字代表了逻辑、理性；而人类专家和“人工智能专家系统”代表了以实践经验为基础的部分非逻辑或非理性的智能。该理论框架把综合集成法中的个体智慧明确上升为了群体智慧。而其后续的探讨，又从智能系统的角度，对综合集成研讨厅的理论框架进行了具体化，其要点包括：研讨厅是由人与计算机系统组成的；人与计算机系统可以统称为成员；研讨厅的能力是所有成员综合集成的表现，成员对客观世界具有特有的看法及经验；成员之间对客观世界的认识可有共识并可存在矛盾，成员有向其他成员学习的愿望，并具有独立思考能力；“研讨厅”存在着根据问题的需要构造互相协作的小团体的能力，小团体中的成员根据问题求解进程动态地变化；“研讨厅”是有层次的，这些层次有些是固定的，例如责任大小，有些则是动态的，例如辩论中的理由申诉；“研讨厅”中的一些特殊成员[某些人]有对问题求解所得结论的最后解释权；“研讨厅”自身是开放的，其意义是对一个问题的求解过程；“研讨厅”自身是动态变化的；“研讨厅”应有详细的信息索引，这个索引的使用过程也是动态的，它既可以来源于研讨厅已知的信息，也可以来自成员的即时推荐；“研讨厅”有能力接受实际环境变化的所有信息，研讨厅的通讯是畅通且方便的，这包括研讨厅与实际环境的通讯及研讨厅内成员之间的通讯；“研讨厅”问题求解过程是通过研讨厅成员之间及研讨厅与外界的信息交互来完成的；等等。

总之，钱学森院士等所提出的“从定性到定量的综合集成研讨厅”的构想是，以人为本，人机结合，使参加研讨的集体在讨论问题时互相启发、互相激活，并充分利用信息技术不受时空的限制，把大量的各种信息与知识（包括经验知识）及千百万人的聪明才智和古人的智慧，通过书本的记载或知识工程中的专家系统，统统综合集成起来，从而得到科学的认识与结论。综合集成研讨厅体系是复杂问题决策的可行方法，是决策支持系统的高级形式。从综合集成研讨厅的这一理论框架可以看出，综合集成研讨厅体系是将社会思维、集体思维、知识工程的思想引入系统，并希望用综合集成的方法来解决开放复杂巨系统的问题。它的技术关键在于两个方面：一是如何从海量的信息中获取关于问题的知识；二是如何使人的经验知识浮现出来或激发出来并应用于群体智慧。人脑与电脑相结合的信息处理方法在这个系统中居于核心地位。在构建实际的综合集成研讨厅系统的时候，他

们也是以此为首要指导原则。一方面,要为人的信息处理和计算机的信息处理提供沟通路径和接口,另一方面,要从各种途径获取尽可能丰富的信息,使系统变得“聪明”。

利用“综合集成研讨厅”体系求解复杂问题的大致步骤如下:

- ① 明确问题和任务。
- ② 搜集大量的有关文献资料,认真了解情况,召集相关专家利用研讨厅体系的软硬件平台对问题进行研讨。
- ③ 通过研讨,结合专家自己的经验和直觉,获得对问题的初步认识。
- ④ 依靠专家的经验 and 形象思维,在问题求解知识的帮助下,提出对复杂问题结构进行分析的方案。
- ⑤ 根据复杂问题结构的特点,结合领域知识和前人经验,把问题分析逐步或者逐级量化。
- ⑥ 在量化或者半量化的情况下,用“计算机”建立问题的局部模型或者全局模型,这些模型既是对相关数据规律的一种验证,也包含了专家们的智慧和经验。
- ⑦ 在局部模型和全局模型基本上得到专家群体的认可后,讨论如何合成这些模型以生成系统模型。
- ⑧ 系统模型建立后,通过计算机的测算和专家群体的评价验证模型的可靠性,如果群体对模型不满意,那么需要重复上述的②-⑦,或者其中的某几个步骤,直到专家群体基本满意,建模过程才能结束。

上述方法表明,综合集成研讨厅体系,也是处理系统复杂性的方法论,它阐述和归纳了如何发挥专家群体智慧、计算机的高性能以及知识、信息的作用,以提高人的认识能力,处理那些采用传统方法无法处理的、极其复杂的问题的方法。这个方法综合了许多专家的意见和大量文献资料的内容,不是某一个专家的意见,而是专家群体的意见,是把定性的、不全面的感性认识加以综合集成。这样,综合集成研讨厅体系就明确地将综合集成中的个体智慧上升为群体智慧。按照这种思路构建的“综合集成研讨厅”,即是一个综合了专家体系、计算机体系(高速信息处理系统)和知识信息体系的人-机结合的巨型智能系统。

18.3.3 人-机结合的综合集成研讨厅体系的理论框架

自从人-机结合、从定性到定量的综合集成研讨厅体系提出后,戴汝为院士等开展了多方面的研究与实践工作。该课题被最终提炼为:针对某复杂问题,致力于构建以综合集成为基础的智能工程系统,作为可操作的工作平台。对于不同的复杂问题,则更换平台的有关专家与数据即可处理,以实现该平台的通用性。并最终初步建立了一个这样的可操作平台。其研究的内容包括:开放的复杂系统理论、从定性到定量的综合集成技术、研讨厅中专家的群体行为规范、群体专家的思维分散化处理与意见的综合、集成人工智能中的定性推理、基于internet的综合集成研讨厅构建、以及采用智能Agent技术构建基于internet的综合集成研讨厅等。根据其研究的设想,一个实际的研讨厅系统,主要由3个部分组成:专家体系、知识/信息体系和机器体系。其中,专家体系是由参与研讨的专家组成的群体,它是研讨厅的主体,是复杂问题决策、咨询、求解任务的主要承担者。专家体系作用的发挥主要体现在各个专家“心智”的运用上,尤其是其中的“性智”,是计算机所不具备的,但往往是问题求解的关键。机器体系是由专家所使用的计算机软硬件以及为整个系统提供各种服务的服务器所组成的。它具有高性能的计算能力,包括数据运算和逻辑运算能力,在定量分析时可发挥重要作用。知识/信息体系则由各种形式的信息和知识组成,它包括与待解问题相关的领域知识和信

息，问题求解的知识和信息等。专家体系和机器体系是这些信息和知识的载体。综合集成系统运用综合集成方法把这三个部分组合成为一个整体，构成了一个统一的、人-机结合的集成智能系统和问题求解系统。这一智能系统所构成的综合集成研讨厅，是基于网络的智慧集成平台，同时也是基于社会化思维的群体智慧涌现的平台，并可在应用中成为科学决策和咨询的工作平台。

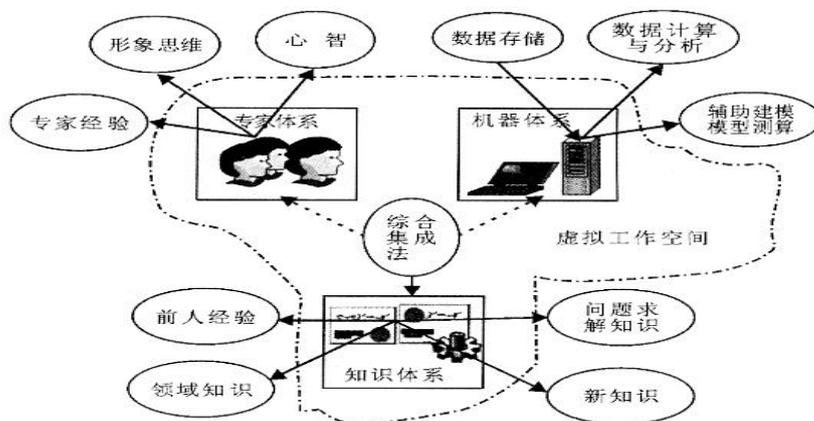


图18.3.1 HWME 框架结构示意图

图18.3.1 为研讨厅的一个框架结构示意图。在实际实现时，综合集成研讨厅体系可以视为一个由专家体系、机器体系、知识体系三者共同构成的一个虚拟工作空间。一方面，专家的心智、经验、思维能力及由专家群体互相交流、学习而涌现出来的群体智慧在解决复杂问题中起着主导作用；另一方面，机器体系的数据存储、分析、计算以及辅助建模、模型测算等功能是对人类心智的一种补充，在问题求解中也起着重要作用；知识体系则可以集成不在场的专家以及前人的经验知识、相关的领域知识、有关问题求解的知识等，还可是以这些现有知识经过提炼和演化所形成的新的知识，使得研讨厅成为知识的生产和服务体系。

从对综合集成研讨厅体系的描述可以看出，作为一项集成智能系统技术，与其它各种系统所不同的是，综合集成研讨厅体系不是一系列的知识规则的汇总，也不是以几条公理为基础搭建起来的抽象框架；其核心是指导人们在处理复杂问题时，如何把专家的智慧、计算机的智能和各种数据/信息有机地结合起来，把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来，构成一个统一的、人机结合的集成智能系统和问题求解系统。其核心在于人的心智与机器高性能的取长补短、综合集成。其中，对人的性智的利用，要涉及到思维科学的研究，对机器智能的运用要涉及到对人工智能的研究，二者之间的结合则有赖于人-机交互技术。

网络技术的飞速发展，也使钱学森院士等所提出的综合集成研讨厅的概念发生了改变。其研讨厅的“厅(Hall)”原本是专家们同计算机和信息资料情报系统一起工作的“厅”，是把专家们和知识库、信息系统、人工智能系统、高速计算机等像作战指挥厅那样组织起来，形成巨型的人-机结合的集成智能系统的厅。研讨厅最初的构思类似于会议厅。随着Internet和网络技术的迅速普及，“Cyberspace(赛博空间)”已成为一个重要的概念，它可使参与者跨越时间和地域的限制，随时随地就所关心的问题进行研究、交流和探讨，并可随时利用网络上的大量资源，无论是本地的，还是远程的。信息技术的这一发展，是对传统“厅”的一种扩展，也为综合集成研讨厅的实现提供了一种新的、可能的形式。因此，综合集成研讨厅后来也相应地扩展为了基于Cyberspace(赛博空间)的综合集成研讨厅，即 Cyberspace for Workshop of Metasynthetic Engineering。从HWME到CWME，

是在信息技术快速发展条件下，对HWME的一种具体化。一方面意味着信息技术尤其是网络技术的飞速发展，为实现这一人-机结合的集成智能系统和工作空间提供了可能；另一方面，也说明，要建立实际可用的研讨厅系统，切实可行的方案应是充分利用信息技术和网络技术的成果，特别是充分利用人工智能技术发展的成果，来构建一个分布式的人-机综合集成智慧系统。图18.3.2 即为CWME 体系结构的一个示意图

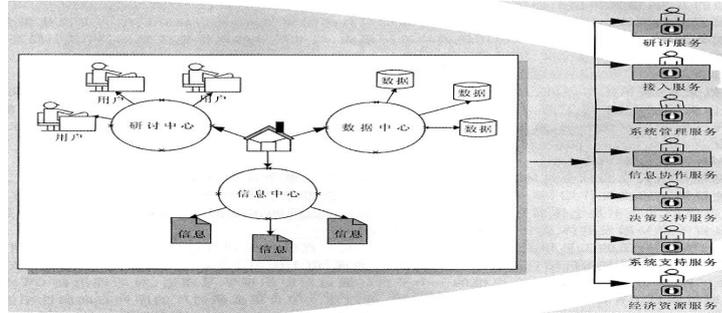


图18.3.2 CWME 体系结构示意图

至此，我们也就不再使用人-机结合的综合集成研讨厅体系的名称，而泛称为**人-机结合的智慧综合集成的交互和研讨系统**，简称**综合集成研讨系统**。

18.3.4 人-机结合的智慧综合集成研讨系统实现需要解决的关键技术

人-机结合的智慧综合集成研讨系统的成功应用，就是要发挥这个系统的整体优势和综合优势。因此，要讨论综合集成研讨系统的实现问题，需要逐个考虑“专家体系”、“机器体系”和“知识/信息体系”这3个体系（系统）的实现问题。其中，“专家体系”的建设涉及到“专家群体”的角色划分，“专家群体”不良思维模式的预防及纠正，“专家”个体之间的有效交互方式，研讨（交互）过程的组织形式和“智慧”的融合等问题；“机器体系”的建设涉及到基本系统（包括软、硬件）框架的设计，功能模块和软件模块的分析与综合，软件系统开发方法的选择等问题；“知识/信息体系”的建设则涉及到知识—尤其是定性知识和非结构化知识的表达与抽取问题，知识的共享、重用和管理问题，信息的获取和推荐问题等，当然，也会包括“知识/信息体系”的“活化”问题。

研究者认为，在综合集成（交互）研讨系统中，除了可充分发挥人（专家）的智能和海量网络资源相结合的整体优势和综合优势外，“交互”是智能涌现的最主要的手段。人的思维是社会性的，具有动态复杂性。**思维本质是集体过程**，要使“人”和“机器”在交互（研讨）中都处于“激发”状态，需要某种合理的组织引导。交互是发挥整体优势，涌现群体智慧的唯一途径。群体表现出来的群体智能产生并存在于群体的互动（研讨）中，通过交互会导致群体智慧的涌现。通过“个体”（人或机器）之间的交互，会在高层次上涌现出群体智能（集成智慧）。而通过群体智慧的涌现，将有可能实现复杂问题的求解。

从构建基于综合集成的智能工程系统，实现可操作的“研讨”出发，该系统研究的重点在于：

1. 人-机如何结合

人-机结合的基本观点是：**人构成系统的组成部分之一，人与“机器”根据各自特长与优势进行功能与过程的分工。即人-机一体，各取所长，人-机分工。**系统中人-机之间是双向的交互关系，人-机的结合程度依据具体问题而定，以人为主主要体现在复杂问题的求解需要充分发挥人的经验，以组织和控制动态系统各个环节的顺利推展，如研讨中方案的归纳、整理，何时进行表决等。人-机分工表现在，充分发挥人的感受与认知，定性处理，非结构化的分析等特长；充分发挥“机器”的精

确处理、数学计算与数据处理的能力，以及信息和知识来源等，从而形成将人的心智与“机器”的智能、感受与知识、感性与理性、定性与定量、形象思维与逻辑思维等人-机各自的优势进行互补协作的新的体系，构成人-机智能系统。人-机结合的手段是人-机交互技术。值得高兴的是，互联网的普及与技术的发展，已使得原来所强调的研讨中的“人”由“专家群体”可以拓展为“广大群众”了，广泛听取与收集群众的意见，可作为系统研讨决策的直接参考，并且可以根据研讨主题的性质与要求将广大群众、专业人士、具有高度水平的专家等参与的研讨设置为不同的层次，分别授予不同的权限，并设定从群众到专家的不同的意见权重，从而可真正实现民主集中制，使得综合集成研讨系统的应用具有更普遍的意义。

2. 如何实现定性与定量相结合

对于一个给定的问题，“专家”在其获得综合知识的基础上，会形成一些“只可意会，不可言传”的感受，这种感受是定性的，非精确的，属于非理性范畴，是形象思维的结果，具有经验性与不精确性。解决这一问题的标志是形成可定量（精准）、可用清晰的定义与指令（或语言）进行描述的知识，从而迈向理性的范畴，具有逻辑思维的特征。可见，处理问题的步骤就是一个从定性（粗糙）到定量（精准）的过程。从定性（粗糙）到定量（精准）的过程表现为将“专家”凭经验得到的定性认识以及各种信息与其他知识，通过“计算机”及相关的技术进行综合，建立模型，反复修改，最终上升为对全局的定量（精准）的认识。这个过程是非常复杂的，即使掌握了大量的定性认识，也不是通过几个步骤、几次处理就能达到对总体的定量（精准）的认识的。在此过程中，可能需要多层次的反馈。从定性（粗糙）到定量（精准）的过程，体现了人类思维包括逻辑思维与形象思维的特点与规律性，反映了定性（性智）与定量（量智）之间在认知特别是感知方面的关系与转换。在研讨系统的设计中将主要体现在如何处理定性（性智）与定量（量智）的关系，实时动态建模，系统工作流程与调度机制的组织等方面。

3. 关于系统的需求分析与总体功能设计

决策的信息化是一项系统工程，需求分析与总体设计是其中的重要环节。应用综合集成研讨系统来处理的问题主要是复杂问题。经验表明，需求分析与总体设计是设计针对这类问题的系统模型的过程中极其关键的环节。对于要采用综合集成研讨系统处理的实际问题，需要在深入领会人-机结合、从定性到定量的综合集成研讨的精神实质的基础上，对问题的提出、问题的描述、问题的背景、追求的目标、涉及的人员，以及涉及的信息系统和知识系统（设备、数据、信息、知识、技术）等，进行细致、透彻、流程式的分析，编写需求分析说明书；需要按照软件工程、系统工程与工程设计规范等的要求，整理出任务模块；需要制定体现人-机结合、“从定性到定量”的系统规范、研讨方式、研讨流程；需要充分利用现有的技术成果制定综合集成系统的技术设计方案，从而形成系统的总体需求与设计方案。

通过长期研究，研究者认为，实现综合集成研讨系统，其实质就是针对与OCGS相关的某一类问题，构建一个以综合集成为基础的智能（智慧）工程系统，作为可操作的工作平台。例如对于宏观经济决策支持问题，其解决途径就是建立一个包含宏观经济数据、知识、模型、建模方法的综合集成支持体系，作为操作平台。对于不同的复杂问题，则只需更换与问题有关的“专家”、数据库、知识系统和研讨方法即可，如此，则可使得该“平台”可以解决一类由OCGS所派生出来的复杂问题。

与此相适应，作为可操作的平台，一个综合集成研讨系统的实际结构与所提供的功能可被概括为3个中心、7种服务（见图18.3.2）。其中，研讨中心为研讨系统中的“研讨专家”提供接入服务

和研讨服务,包括输入/输出方式,多媒体会议,资源共享等;信息协作中心为“研讨专家”提供信息协作服务,包括信息的获取、筛选、过滤等;数据中心为“研讨专家”提供专业资源服务和决策支持服务;系统管理服务和系统支持服务则是为“系统管理员”提供的系统管理、资源调配接口。系统的整个结构以及研讨中心和信息协作中心是与具体问题无关的。面向不同研讨问题时,只需要更改数据/知识中心的内容,因而整个系统可视为一个“通用”的平台。

4. 关于综合集成研讨规范的制定

为了将人-机结合的从定性到定量的综合集成技术和综合集成研讨的指导原则应用到实际问题中,构建工程性的解决方案,就必须遵循一定的系统规范。这些系统规范应是充分体现综合集成的思想,切入到研讨问题的规律性,符合工程实施原则的。在构筑基于综合集成研讨,支持处理特定问题的综合集成研讨平台时,有必要形成并落实以下几点基本要求:**行为规范**—指参加研讨的“专家”和“大众”应该遵守的基本行为准则,如国家的有关法律法规、道德文明规范、网络安全条例等,以维持研讨的秩序,保证研讨健康、有序的进行。还有,也要有为了保障研讨正常进行所应履行的本研讨的管理守则、研讨步骤及流程控制的一般性要求;为了科学、高效地实施研讨,保证研讨质量与决策效率,参加研讨的“专家”和“大众”应避免的常见不良行为或思维习惯等。**研讨规范**—指针对研讨的具体问题制定的研讨问题的具体规则,问题的专用术语,研讨步骤、流程及循环递进的时机,“研讨人员”的角色与权限划分,研讨意见的归纳与整合的原则,研讨意见收敛的算法,形成供决策的意见或方案的整理原则与发布形式等。**决策规范**—指针对研讨的具体问题和研讨流程的进展情况,“主持人”决定启动决策过程的合适的时机与适当的方式,就供决策的几项意见或方案进行“表决性”的研讨时意见的归纳与整合原则,为了产生高效、高质量的决策结果所采用的群体意见一致性收敛的算法,决策结果的输出形式等。**工程规范**—指针对具体问题实施综合集成研讨系统平台建设时应遵循的软件工程规范和工程设计、施工与管理规范等,包括国际、国家、行业制定的(软件)工程实施与管理技术规范、体系指标等。

5. 关于综合集成研讨交互方式的设定

综合集成研讨平台应支持在线研讨与离线研讨。在线研讨即所有参加研讨的人可利用网络进行实时研讨,实时获得研讨数据与信息支持,在线建模计算,研讨意见与结果汇总等。离线研讨则指所有参加研讨的人可利用网络进行分散或集中的非实时研讨,非实时获得研讨数据与信息支持,但研讨意见与结果可经过专门处理后与研讨人员见面。按是否有人干预,研讨可分为自由式研讨、引导式研讨和协同式研讨。**自由式研讨**指研讨中无人干预,类似自由论坛;**引导式研讨**指主持人控制研讨与决策流程的进行、结果的归纳与发布,研讨人在主持人的引导下参加相应环节的研讨,获取相应的信息支持;**协同式研讨**指研讨人员主动参与和共同控制研讨与决策的各个环节,主持人启动研讨进程,宣布决策结束,整理决策结果,发布决策方案。按研讨规模与专业,研讨可分为点对点研讨、分组研讨、多方协同研讨和多方对抗研讨等。点对点研讨指研讨中某研讨人可选择一人进行交流、互相佐证或对抗;**分组研讨**指按专业类别或权限等某一原则进行分组、组内研讨,各组的研讨结果提交总主持人供总研讨表决之用。分组研讨中可能还针对各组研讨结果进行层次性总研讨表决。**多方协同研讨**指将支持同一观点的研讨人划为一方,这些人合作佐证、阐明己方立场。**多方对抗研讨**指针对问题将研讨人分成几方,各方之间处于对抗关系。在实际应用综合集成研讨系统解决具体问题时,应根据问题的需求与特点,选择上述一种或几种研讨方式构建研讨系统。

6. 关于综合集成研讨交互流程的设计

交互研讨流程是指研讨进行的步骤和方式。为了提高研讨效率,有效控制研讨进程,优化研讨结果,有必要在交互研讨过程中对研讨人的行为、研讨方式进行一定的规范。同时调用其它一切可以利用的数据、信息和知识资源辅助“研讨专家”对所讨论问题进行分析、研究、论证。研讨流程与所采用的研讨方式密切相关。研讨方式不同,研讨流程可能差别较大。但是,体现智慧综合集成思想的研讨流程应是有一定规律与要求的。分析清楚这些规律性的流程,就可以结合所选研讨方式制定相应的研讨流程,体现智慧综合集成思想的研讨流程主要包括以下方面:

- 根据议题,选择合适的研讨平台、研讨模板与交互方式;
- 研讨开始时,明确研讨的主要议题及各位参与研讨者的身份及其权限;
- 为了有效控制研讨进程,需要事前提出研讨注意事项并对研讨状态进行统一管理;
- 明确主持人(或秘书)在研讨流程控制中的参与度和调度作用,要求主持人置身于流程中;
- 各位研讨者发言权的获取和释放机制;
- 研讨阶段的控制与过渡;
- 研讨意见的归纳整理和专家群体思维的收敛;
- 经过多轮螺旋式上升的循环交互与研讨后,供决策用的(初步)方案的形成;
- (基于共识的)决策方案的形成,可经由协商或表决确定。

在研讨流程中,需要考虑的一个问题是,“研讨专家”分散化的思维如何通过研讨达成共识,从而形成决策。面对一个复杂问题,群体成员在研讨开始时的看法往往各不相同,这是(群体)分散化思维的表现。在研讨中,除了数据、模型及知识外,还必须综合所有参与研讨者——包括专家、群众(群体),以后还要包括人工智能系统——的意见(智慧)。由于群体中个体(或系统)的知识背景、看待问题的价值观、社会背景的不同,以及群体中的成员对包含在复杂问题中各种因素的重要性的感知或信念、看法不同,面对同一问题或几个可选的方案,他们也许不容易取得共识。这就需要进行意见综合也叫“**共识形成(Consensus building)**”,就是如何达成一致的意见。目前国际上已有许多学者从各自不同的角度进行了研究,比如从社会科学角度、群决策角度、系统科学角度等,并已经提出多种形成共识的理论、方法和工具等。其中,“专家群体一致性算法”是这一过程的一种近似解决方法。该算法在分析研究群体思维收敛问题的基础上,进一步考虑专家的权值,通过应用这种方法,可使专家及群体的意见最终可达成一种综合性的一致意见。

7. 关于综合集成研讨系统的具体实现技术

如何充分利用现有的一切信息技术(核心是智能技术、大模型技术、网络技术和计算机技术)来构建一个智慧综合集成研讨系统;如何从软硬件体系和组织结构上来实现该系统,使之应用于复杂问题的研究实践,是构建一个综合集成研讨系统必须考虑的问题。其中所涉及到的关键问题包括:综合集成系统的开发方法;思维与知识(经验)的集成机制;人-机信息交互及获取方式;人-机结合导致群体智能涌现的方式;研讨过程中研讨的组织方法和群体的有效交互规范;知识与思维动态管理;信息/知识协作及智能推荐技术等。

目前,已开发的研讨系统已可采用多媒体技术、大数据与知识仓库技术(用于汇集以往的和现有的知识、研讨中所得到的知识、各种相关数据与信息、专业知识和经验知识等)、(事物)模型构建技术(用于汇集已有模型、参数、算法、事例,或现场构建系统模型等)、多通道人-机交互(语音、视频交互或多媒体交互)技术等,这为建立一个“研讨专家”位于不同地方甚至不同国家的分布式交互和研讨创造了基础条件。这种研讨系统(智慧集成系统)具有数据、信息和知识综合利用,

智慧在交互中涌现等特点，也具有较强的可操作性。主要表现在：

① **人-机结合，以人为本。**系统是以人为中心并提供各种不同的辅助手段，人在该系统中始终起中心作用，它比现实社会中单纯的人和人的交流更为“先进”，可形成一种“人-机分工、各尽所长、以人为本、人-机一体”的人-机智能（集成）系统。所构建的系统可采用网络技术和多种多媒体输入方式，研讨终端可自由移动，使各位“研讨专家”可“自如探讨”。

② **系统面向网络及赛博空间，可采用各种最新通讯方式和各种易用的协同工作平台。**世界上任何地点的人们，都可以通过网络实现实时的文本、数据、语音、视频交流。只要授权，在任何地点、任何时间，有研讨需要的一切企业、单位和个人，都可参与实时交流、沟通和问题探讨。

③ **可实现多种形式的资源共享以及智能系统之间的互操作。**资源共享系统中可共享已有的文档、数据、图表等显性知识；通过研讨参与者可共享存在于它人大脑里的隐性知识和智慧。

④ **可实现实时跨平台协作。**研讨系统的开发平台可从Windows延伸到Mac、Unix和Linux，并可继续向更多平台拓展。可做到“研讨无人不可参与”、“研讨无处不在”，改善了现有网络会议系统在研讨、决策和资源共享等方面的一些缺陷。

⑤ **界面友好，有多媒体接口设计。**可使用即时语音交流、视频会议等多媒体手段，方便研讨，激化思维，引导深入。

⑥ **结合了信息系统和知识管理系统。**还可进一步结合人工智能系统和大模型系统等。

综合集成研讨系统是一个知识和智慧的生产与服务系统，是一个实现“民主集中”的工作空间。基于专家体系、知识体系与（智能）机器体系所构成的综合集成研讨系统，可发挥其智慧综合优势来实现对设定问题的研讨。这种以网络为载体的分布式综合集成研讨系统，可实现人-机结合与综合集成方法的具体化。通过引入知识集成管理和思维融合管理技术，并运用现代信息技术，可使其既具有先进性，又具有可操作性；因此，它在复杂问题决策、专家会诊、科学探索与咨询等方面，具有广阔的前景。

18.4 基于网络及赛博空间的人-机结合综合集成智能系统

当代信息技术和智能技术，尤其是云计算、大模型和网络技术的迅速发展和普及，使得依托“大网络空间”建立体现智慧综合集成思想的网络空间集成智能系统成为可能，并将会将系统集成技术推向基于网络及赛博空间的综合集成的智能时代。也一定会让人-机综合集成智能系统成为未来构建信息系统和智能系统的指导思想与发展趋势。建立基于网络和赛博空间的人-机结合综合集成智能系统，不仅是因为当今技术的发展趋势已经转向以Internet作为系统运行平台，并大量涌现出多种创新性的技术方案与技术路线，只有基于这种开放的全球性的网络框架的应用与服务，才具有生命力与竞争力；还因为复杂系统的处理往往涉及分时、异地、多对象、并行性、巨型性等复杂情况，难以在单项、独立的环境中完成。利用网络技术及其所运行的赛博空间，可以精简、高效、分布地应付上述难点。而且，Internet的庞大的数据/知识资源库，也为发挥全球的、全人类的智力与知识成就解决复杂问题创造了可行性。这正体现了智慧综合集成的思想。而系统设计者的任务，就是根据需求分析与总体设计的要求，从系统论出发，广泛了解与选择可用的技术和资源，构筑人-机一体的以互联网络为运行平台的分布式的人-机结合综合集成智能系统。

18.4.1 基于互联网络及大模型的人-机结合综合集成智能系统中的“专家”群体与信息/知识协作系统

1. 未来, “专家群体”的有效交互空间—(赛博)网络空间

网络技术的快速发展,使网络日益成为群体和组织交互的重要工具。有研究认为,尽管知识的产生基于面对面的交互,但网络技术已使交互更为便捷,尤其是显性知识的融合、共享和传播。网络更适宜隐性知识的浮现与共享、大群体的头脑风暴等知识管理的种种努力,已是知识产生、共享、传播和重用的重要工具。网络已给人-机结合综合集成智能系统中的“专家群体”提供了基于学习型组织的有效对话及互动的空间,成为了专家有效互动对话模型的应用空间。在丰富的情报/知识资源的支持下,以系统思考、反思式开放、探询为基础的深层次对话和讨论,将是人-机结合综合集成智能系统中基于学习型组织的专家有效互动的最适用工具。以智慧集成理论和学习型组织理论为基础,应用信息技术和人工智能技术,融合系统思考、深层次对话等社会思维方法,即可构成人-机结合综合集成研讨系统中专家群体的有效互动空间。

在人-机结合综合集成研讨系统中,(互联)网络给专家群体提供了自由、开放的交互空间。在人-机结合综合集成(研讨)系统中,专家与专家交互的平台首先应是(组织)内部网络。在嵌入专家群体有效互动的内部网络中,系统会要求专家在认真考究他人见解的基础上,通过系统思考、反省和深层次思虑,更敏感地发掘与其思维的不一致之处,并发布自己的见解,同时也引发其本身的反省和深思。通过内部网络,专家们可以在没有事先建立私人关系的基础上进行毫无顾忌的坦率交流,这比面对面地交流增加了更加多样化的交流机会,这种无心插柳般的“偶发交流”,往往是参与者对问题的理解有突破性进展的星星之火。通过网络交流,参与者的心理更加自由,较少地受社会心理的束缚,在有效互动的引导下,能够进行更深层次的思维交互。同时,在综合集成研讨系统中,内部网络具有与外部网络的互通接口,这为专家们提供了全部互联网络上开放的、能够方便快捷访问的、丰富的信息资源。另外,内部网络还还为知识的记录、存储、快捷访问、传播、重用等提供物理空间。内部网络可记录并发布专家群体有效互动的全部过程,为知识的重用提供资源,通过统一的知识表达方式动态存储不断浮现出的专家经验智慧,从整体交互过程出发获取动态扩展的专家群体对问题的共识,利于知识的重建和重用。所以,在综合集成研讨系统构建中,内部网络应是专家群体基于学习型组织的一个有效互动空间,它可为专家群体有效互动及引入丰富的信息/知识资源提供支持。

在人-机结合综合集成研讨系统的构建中,系统构建及专家交互的平台,目前基本上都是基于Internet的。Internet可以看作是人类在研究和改造世界的过程中为服务于人类而创造出来的具有公共交互功能的复杂社会(信息交互)系统。这个系统汇聚着自然和社会研究的过去、现在和未来。在综合集成研讨系统中,Internet不仅是交互空间和数据/知识宝库,更是基于问题的特殊专家。它可将“普通专家群体”扩大为“广义专家群体”,它更可给“专家群体”呈现亿万群众关于(可议)问题的各个方面的有代表性的见解或者研究方法和方案。这样,通过Internet,可使专家们拥有更开阔的视野和更丰富全面的知识资源,有利于克服其局限性的思考。

2. 集成智能系统中相互研讨的主体,从“专家群体”到“广义专家群体”

在人-机结合综合集成研讨系统中,原来的研讨主体是“专家群体”。但在基于互联网络和赛博空间的人-机结合综合集成智能系统中,“专家群体”将会扩充为“广义专家群体”。Internet是一个充满链接的网络结构环境,在网络(赛博)空间中,web网页的超文本组织显然已包含了网页创建者们对某个或者某些问题的认识、理解和判断,融入了个体或者部分群体的经验和智慧。从统计意义上讲,它的内容是独立的,它的超链接是无法预测的,是随机无序的,但是,这种web网页之间

的超链接已导致了一个链接的网络结构。这一网络超链接结构已蕴涵了关于超链接网页内容的丰富信息，几乎集成了全人类自古至今各方面的经验智慧。若围绕着将要研讨的问题，通过互联网络获得针对该问题的“权威（Authority）网页”和“中心（Hub）网页”，则这些网页的集合以及与其相关的人群，即可构成一个“广义的专家群体”。基于Internet的赛博空间的人-机结合综合集成智能系统，将是一个“广义专家群体”充分利用信息技术进行交互作用的场所。

在基于Internet赛博空间的人-机结合综合集成智能系统中，Internet及其赛博空间，是综合集成智能系统建立的基础，也是其重要的组成部分。一方面，建立在Internet基础上的互联网络信息/知识资源，几乎集成了全人类自古至今各方面的经验与智慧，蕴涵了人类文明各个方面的信息与知识，是由亿万Web用户的形形色色的复杂行为驱动的不断成长的庞大信息网。拥有海量信息的网络赛博空间，是一个巨大的信息/知识资料库，是人们开阔视野的最强有力的工具。它可协助专家思考，可给“专家”提供重要的资源，就像一位渊博的专家，给请教者提供关于某个问题的咨询。大量的、丰富的资料是激活专家思维的必要手段，也是综合集成得以实现的关键因素。如何将网络赛博空间的信息为专家所利用，是综合集成研讨系统在激活丰富的网络资源时需要考虑的关键技术。另一方面，互联网络是赛博空间的Web网页通过超链接导致的整体层次上的网络链接结构，在整体层次上蕴涵了被链接内容的丰富信息，已呈现出了一种自组织的智能群落，涌现出了可代表群落成员集体见解或特征的“权威网页”和“中心网页”（或某一知识库），体现出了一种群体智慧。我们可将它们看作是（某一领域群体）专家所提供的见解。因此，基于Internet的赛博空间也可以理解为基于问题的一种特殊专家群，关于某个特定主题的“权威网页”（或知识库）也可视为某个特殊专家针对该问题的代表性意见，它和人类专家群体一起，构成了综合集成智能系统的“广义专家群体”。在综合集成智能系统中，如何应用搜索引擎（Search Engine）、机器学习（machine learning）、文本挖掘（document analysis和text mining）等技术，获取网络或专家对所研讨主题的有代表性见解，获取关于某个确定主题的网页（或知识）集合，从该网页（或知识）集合中总结出关于某个主题有代表性的群体见解，是实现综合集成的关键。现在，常用的获取“权威网页”和“中心网页”（或知识库）的搜索工具有很多。这些工具或算法可通过链接结构分析，而不详细分析网页的内容，就可以理解和推理网络上所涌现出的该查询的智能群落：Authority 群落和Hub群落。提取出关于查询的权威性的网页和好的链接，即提取出网络中关于某个主题的群体经验和智慧。

由此，在综合集成研讨系统中，网络（赛博）空间不仅是协助专家思考的庞大数据库，还是代表亿万群体见解的面向特定问题的“特殊专家”。特殊专家的存在，使由有限人类专家组成的群体扩大为广义专家群体，使综合集成研讨系统能够综合集成参与研讨的普通专家群体和广大网民的集体优势和综合优势，既让我们利用了一切可以利用的信息和智慧资源，又吸收了成千上万人的经验和智慧。

赛博空间的知识 and 见解，是数以百万计的网民及古今专家群体智慧的体现，这些特殊“专家”与研讨系统中的人类专家形成了“广义专家”，彼此可以“任意”交互。这样就使得研讨系统讨论的成果不仅仅是若干个人类专家智慧的集结，而且包含了成千上万的网民群体的智慧和古今人类的智慧。而网络协作推荐技术则可用于解决特殊“专家”的“邀请”问题。

3. 综合集成智能系统中的信息/知识协作与推荐系统

在智慧集成系统的研讨过程中，为了把特殊专家—网络上的权威网页和中心网页（包括现今的大模型）—“请”进来，综合集成研讨系统就需要有“信息协作及推荐系统”。推荐系统（Recommender

系统。其应用情况表明：从网络获得的权威信息资料，即所谓“特殊专家”面向特定主题的“发言”，可以给研讨专家以启发和促进。一方面，它们是经过成千上万的网民以及研讨系统内的专家多次进行协作过滤和推荐而获得的结果，权威性和可信度都比较好；另一方面，它们可与当前的研讨话题密切配合，或者可以解答专家的某些疑惑，或者能够引发专家的联想，使得专家可以采用更广阔的视角来看待问题。此外，由于该系统可以主动感知当前的研讨话题，自动在网络上进行搜索，将最权威、最有价值的资料主动推荐给各个研讨专家，较之传统的信息库而言，也更好地体现了人—机结合的精髓。

18.4.2 综合集成智能系统中“专家”群体的动态交互

综合集成研讨系统可实施的关键：一是信息和信息网络的高效化；二是如何使人的经验知识浮现出来，综合集成为“专家群体”的经验和智慧。为创造使专家处于“激发状态”的交互环境，综合集成研讨系统以学习型组织理论为基础，建立了专家有效互动的规范：**专家的有效互动是在丰富的信息/知识资源的支持下的以系统性思考、反思式开放思路和相互探询为基础的深层次对话和讨论。**

1. 综合集成研讨与集成智慧

我们知道，集成智慧来源于群体的通力合作。社会思维理论认为，人在集体讨论时其思维应是集体性的，是作为集体的一员来进行思维的；此时，**思维的主体不应是个体而是研讨集体**。其思维和形成的思想，应是研讨者作为一个“认知整体”对客观现实的认识，是在研讨的基础上，多个个体思维和智慧交互作用、多元复合而成的。“**集体讨论**”是社会思维的主要形式，集体成员之间的相互对话、讨论、反驳、自省等都是激发群体及个体智慧的有效手段。

人—机结合、以人为主的综合集成研讨系统的核心因素是人，或者说“专家群体”，而人的因素常表现出高度的不确定性和复杂性。有人做过研究，一群人就某个问题进行讨论决策，他们最终达成的决策意见要优于他们的个体决策平均水平。如何使“专家群体”的集体优势充分发挥出来，真正做到综合集成专家点点滴滴的个人智慧，达到从感性认识到理性认识的飞跃，是关系到综合集成研讨系统的效率与性能的关键环节。在系统开发过程中，需要对群体思维和研讨组织方法进行多方面的研究。

基于学习型组织互动规范下的专家群体研讨过程，是产生知识的过程，集体智慧可通过专家群体互动而涌现出来。能提供丰富信息/知识资源支持的专家有效互动空间—Internet网络，为社会思维的应用研究提供了一条有效途径。充分利用人工智能的研究成果，融合系统思考、深层次对话等社会思维技术，建立人—机交互的专家有效互动对话机制，引导专家群体克服思维障碍，实现超越自我和群体交互，即可涌现出集体（集成）智能。

过去，由于缺乏合适的工具和手段，对社会思维的研究一直没有找到一条可行的思路。综合集成研讨系统可充分体现出社会思维，其中人—机结合导致的群体智慧的涌现，由于采用了信息技术，尤其是计算机技术和网络技术，可实现智能化的综合集成研讨系统，这也便有了研究社会思维的一个平台。通过对组织学习理论、对话理论在综合集成智能系统中的应用和实验，通过观察综合集成智能系统中群体智慧涌现的过程，通过建立综合集成研讨系统的序列有向属性图模型，描述专家思维之间的交互作用关系，综合集成研讨系统将有可能成为社会思维研究的一个实验场，由此而获得的结果，对社会思维的研究，将具有积极的启发意义，并很可能为之开辟出一条可行的道路。

2. 综合集成研讨系统内“专家”的不同角色划分

(1) **主持人**。在一般会议与学术讨论中，主持人都是一个重要的角色，具有重要作用。专家群

体讨论中,主持人的作用尤为重要。因而,在综合集成智能系统中,也设定了“主持人”这一角色。主持人是各个具体研讨的管理者。他的职责包括开启会议、暂停会议、关闭会议等会议管理功能;研讨阶段的转换、相关资源的发布与分派等研讨管理功能;研讨者发言权、投票权的设定与更改等现场权限管理功能;发言、投票、填写问卷等研讨功能;调用方法、模型、建模、数据分析等问题求解功能;登录系统、察看历史会议记录等辅助功能。

主持人应由对问题具有较全面了解的、知识渊博、威望较高的“专家”担任,他对保证研讨的正确思路,统观全局起着重要作用。而一般专家是研讨的主体,其功能是主持人的一个子集,主要包括上述的研讨功能、问题求解功能和辅助功能。

(2) **专家**。主持人和一般专家这两种角色并不是绝对的,二者可以互相转化,例如在研讨时,主持人可以像一般专家那样进行讨论;如果需要分组研讨,即具有相同兴趣或者意见的专家自发地构成了一些小团体,那么可以开设只有几个专家的(小组)研讨;在几个专家的(小组)研讨中,一些专家的角色会被调整为主持人,以便对子研讨(小组研讨)进行管理。

(3) **秘书**。为了配合研讨,及时总结研讨内容,综合集成智能系统还允许设定“整理员”这一角色,密切关注研讨进程,不断整理专家们的发言,概括、归纳其要点,并定时(或随时)予以发布,使得研讨参与者可以随时了解研讨的动态,当前的焦点问题等等;该角色对于提高系统的可操作性具有积极的意义。

3. 关于交互(对话研讨)的基本理论和模型

在对话基本理论的指导下,对话模型的研究集中在了三个方面:对话语法(dialogue grammars),基于计划的对话模型(plan-based models of dialogue),对话共同行动理论(joint action theories of dialogue)。**对话语法研究**起源于对对话的观察。通过观察发现,对话有序列规律性。研究者认为,对话是一些动作序列的集合,并提出了描述对话行为的基于短语结构的对话语法。其规则和接受态约束类似于句法语法规则;终止态元素是典型语内表现行为的行为名称;非终止态描述模型化对话的不同阶段类型。**基于“计划”的对话模型**同样基于对话观察。对话不是简单的字符串,它是可见的交互行为的表演。通常讲话者为达到一定的目的,会设计他们的动作来吸引听者注意力。基于“计划”的对话模型认为,说话是“计划”的一部分,听者的任务是理解说话中暗含的“计划”并且对“计划”做出适当响应。它的系统实现包括估计“计划”和“计划”识别,需要针对领域多层次的“计划”设计与识别。**对话共同行动理论**认为,对话是所有参与者共同行动的结果,对话参与者有责任使对话持续下去,有义务相互理解所参与的对话。共同行动的理论模型表明,该理论可以使动态行动过程中群体成员的努力代价和群体不确定态最小化;为明确对话参与者在对话过程中应该做什么提供了可能,能够为对话管理提供引导和评价。随着语音识别和语音(语言)理解技术的发展,特殊语义领域的对话模型也得以在系统中实现。结构化对话模型是目前唯一能建立简单spoken dialogue系统的工具,但它需要对话设计者对某个领域定义完备的用户和系统之间的对话行为,对用户限制较多。文献[1803]提出了超越结构化的对话模型,将对话分解成关于某专业领域知识的任务包,以摆脱设计者对领域知识的依赖。

4. 综合集成研讨系统中专家之间的有效互动

为处理复杂系统问题而组织起来的“专家群体”需要经常处于“激发”状态。这意味着该群体必须在一段时间内共享学习目标和学习过程,追求单个个人无法企及的、超出个人智慧总和的群体智慧的境界。这是“组织学习”的目标,也是集成研讨的目标。组织性学习和集成研讨,都是通过

组织中的个人和集体的学习，产生、获取、传播知识，创造出超出个体智慧总和的集体智慧的过程。

但是，由于人类群体中成员之间的关系是错综复杂而又极其微妙的，有许多影响个人和群体学习的障碍，例如，**片面性思维**：考虑问题时只见树木不见森林；**自我防护**：出问题时习惯归咎于外界；**过于依赖集体**，习惯于为团体行为辩护等等。为了有效防止这些思维的障碍，有研究者借鉴“交互式管理”的研究成果，结合综合集成研讨系统自身的特点进行处理，提出了**专家群体有效互动的概念**。认为在综合集成研讨系统中，**群体的有效互动是在反思式的开放环境中的交谈**，交谈可有两种类型：**深层次对话**和**讨论**。而在这种环境中的交谈，需要有许多相关技术来协作完成。

(1) **思路的反思式开放**。思路开放有两种不同的面貌：参与式开放和反思式开放。参与式开放是指所有参与者可自由说出自己的见解，你陈述你的想法，我陈述我的观点，所有参与者看起来都致力于解决问题。然而，真正的功效却少之又少，因为这种方式的开放沟通，不能使大家在思维模式层次上改变。如果必须对问题做出决定，那么这个决定若不是一个七折八扣的“共识”，就是代表一两位最重要人物的主张。参与式开放对某些问题较易达成决议，但很少产生品质佳的决议。反思式开放以挑战自己的思考为起点，是创造从隐式知识转化为显式知识以及从显式知识转化为隐式知识的环境。通过反思式开放，可以发现曾经被视为理所当然的事实，常常只是一种先入为主的成见，一种对实际情况的假设。

(2) **讨论**。讨论是透过参与者所提出的许多看法，对共同感兴趣的课题加以分析和解剖，综合各种见解，并从其中选择一个较好的想法，这可能对问题整个状况提供有用的分析。讨论中，参与者各抒己见，分析问题综合见解，将所有资源的显式知识转化为新的重新组合的显式知识。讨论的目的通常是为了使个人的看法获得群体的接受，想使自己的看法胜过别人，为了强化自己的观点，或许偶尔接受别人的建议，但很少产生个人思考问题的思维模式的变化，根本上是个人仍然运用平常的思维模式来看问题。因此，讨论中很少有将显式知识转化为隐式知识的过程。讨论将胜利视为最优先，无法将追求真相视为第一优先，需要深层次对话来改变这种优先顺序。

(3) **深层次对话**。深层次对话，是彼此用心聆听，坦率诚恳地说出在发表见解时心中自以为是的假设条件，彼此检验和自我反省思考问题的思维过程，从而揭发思维和真实之间的不一致性，主动观察自己的思维模式。在深层次对话时，大家推出心中的假设，以多样的观点探讨复杂问题，心灵自由地交换见解，在这种无拘无束的探索中，人人将深藏的经验 and 想法完全浮现出来，把隐式知识转化为显式知识，经过彼此检验和自我反思，将显式知识转化为隐式知识，进一步将隐式知识转化为新的隐式知识，从而实现了对复杂问题认识的自我超越，群体进入一种个人无法单独进入的不断发展与改变的大的“智慧的汇集”。

深层次对话的过程体现了思维的集体本质。在学习型组织理论中，曾这样描述集体思维：“集体思维是一个过程，像是源源不断的水流；见解像是浮在水流表面被冲上岸边的叶子，是这个思维过程所产生的结果；人们收集叶子，并把它们当作自己的见解。因为人们看不见这在两岸之间流动的水流，所以误以为见解就是自己的”。在深层次对话中，人们开始看见这个在两岸之间流动的水流，开始加入这个可以不断发展、改变的共同意义的汇集。有研究认为，平常的思维过程就像一个网孔很大的网，只能网住最粗最大的要素；深层次对话时，超乎平常思维的敏感度发展出来，这个敏感度就像网孔细密的网，能搜集思维之流中不意察觉的意义，正是这个敏感度才是真正智力产生的根源。

进行深层次对话存在跳跃性推论等障碍，需要以下必要条件：① 所有参与者将他们心中的假设

推出,以便彼此检验和自我反省心中的假设条件;②所有参与者视彼此为工作伙伴,有助于消除由社会性心理带来的对话障碍;③必须有一位精通深层次对话精义的“辅导者”,在缺乏熟练“辅导者”的情况下,过去的思维习惯会不断把大家拉向讨论,拉离深层次对话。这三个必要条件可以降低深层次对话的阻力,使参与者主动观察自己的思维,增强个人和群体对思维不一致性的敏感度,为知识的产生铺平道路。

进行系统思考、反思式开放的深层次对话和讨论,需要反思、相互探询等技巧;这就要求参与者在认真聆听他人发言的基础上,以挑战自己的思考为起点,推出心中的假设,明确陈述自己的观点并说明观点的推理,接受公开检验,然后探询别人的看法和看法背后的假设与推理。

(4) **有效互动的技术**。反思式开放并非有良好的意愿就可以达成,深层次对话的条件也不能够一蹴而就,讨论目的的优先顺序也不能说改就改,互动障碍不能被自动克服,它们的实现需要这样的技术:反思、探询、探询与辩护相结合。**反思**,是放慢思考过程,使人们因而更能发觉到自己的思维模式是如何形成的,发觉自己的思维模式是如何影响人们行动的,主动审视自己的思维,能够增强揭发思维和真实不一致的灵敏度,使显式知识转化为隐式知识,进一步把隐式知识转化为新的隐式知识。**探询**,是关于人们如何跟别人进行面对面的互动,特别是处理复杂和冲突的问题时。**相互探询**,即探询和辩护相结合。每个人清楚地说出自己的思考,接受公开检验。这可创造出真正不设防的气氛,每个人先明确陈述自己的观点并说明观点的假设和推理,然后探询别人的看法和看法背后的假设与推理,如此就会削弱或消除习惯性防卫。通过相互探询,浮现出心中的经验,将隐式知识转化为显式知识。

应用信息技术具体化反思式开放的深层次对话等专家有效互动规范,必须结合人工智能和计算语言领域中的对话研究成果。基于人工智能领域对话基本理论,采用对话模型研究的概念和思路,融合系统思考和深层次对话等社会思维技术,才能建立基于Web空间的人-机结合的综合集成研讨系统的专家有效互动对话模型。

5. 综合集成研讨系统中专家群体互动的规范

通过以上专家群体有效互动的描述可以清楚的看出,综合集成研讨系统中专家群体的有效互动规范是以**反思探询**为基础的**反思式开放环境中的深层次对话和讨论**。因为它可以融入学习型组织的概念和方法,所以,它有时也被称之为基于学习型组织的专家有效互动规范。当然,它的系统实现更需要人工智能的对话理论来支撑。

在研讨中,在精通深层次对话和讨论含义的“辅导者(或主持人)”的主持下,“专家群体”会交互运用有效深层次对话和讨论,通过以探询和反思为基础的深层次对话,依据心中的认知和假设,毫不隐藏地清楚表达自己的见解和见解背后的假设以及推理,将隐式知识转化为显式知识;而后,彼此检验,主动审视自己的思维模式以发现思维和真实的不一致性,自觉修正各自的思维模式,将显式知识转化为隐式知识,进而将隐式知识转化为新的隐式知识。系统或“秘书”会配合讨论,将显式知识转化为新的显式知识并用“计算机”(智能系统)记录下来,从而不仅扩大并丰富了个人和群体的知识,也使“计算机”(智能系统)的知识得到了扩充。因此,专家研讨的过程就是一个知识产生的过程,它形成并不断扩大对复杂问题认识的共同意义的汇集,凝聚群体力量推进对复杂问题的认识。

6. 综合集成研讨系统中专家群体智慧的涌现

在研讨过程中,参与者可能会毫不隐藏地公布出自己的假设和背后的推理过程,反思自己的思

考过程, 检验他人发言的假设和推理, 并且鼓励别人也这样做; 如此以来, 习惯性防卫便无从发生作用, 可以使参与者视彼此为真正的工作伙伴。在这样一个相互平等信任有十足安全感的反思开放的交互环境中, 彼此共享经验和心智模式, 主动观察个人和群体对复杂问题的思维过程, 会增强思维的敏感度, 容易产生出创新性的思维成果; 而凝聚群体的求真力量, 创造性地扩大群体共同认识的汇集, 更易涌现出群体智慧。群体智慧产生并存在于专家群体的有效互动过程中。因此专家研讨过程是知识产生的过程, 也是群体智慧不断涌现的过程。

18.4.3 综合集成研讨系统中专家间的有效研讨模型研究

在综合集成研讨系统中, 专家间有效研讨数学模型的构建是一个困难问题。由于研讨系统的复杂性, 不可能仅仅采用数学方法对其进行建模, 因此, 戴汝为院士等采用类似语义句法模式识别的有向属性图描述方法, 提出了一种理性与非理性相结合的研讨系统专家研讨过程模型, 为定量分析和研究研讨系统提供了一种“可视化”工具。他们更结合对开放的复杂巨系统的研究, 探讨了其中群体智慧涌现的方式, 并将这种方式引入综合集成研讨系统, 以促进研讨系统中群体智慧的涌现。

1. 对综合集成研讨系统中专家群体研讨交互的认知

专家群体是综合集成研讨系统中最具有能动性的成员, 在专家群体中存在微妙的随时间推移的动态复杂性。参与者个人的行为与判断不同程度地影响着周围每个人的思维判断, 周围每个人和环境对他的思维也都有不同程度的影响。这种相互作用的关系包括着专家和网络的交互、专家个体之间的交互等。

专家群体的交互有两种: 专家个人之间的交互、专家和“网络”空间中基于问题的“特殊专家”的交互。专家和“网络”空间的交互有两种: 一方面“网络”为专家提供重要的资源, 协助专家思考; 另一方面, “网络”给专家群体提供“赛博空间参与者群体”关于某个主题的代表性的认知和见解。由于“网络”为协助专家思考而提供的资源综合了“网络空间参与者群体”的经验和见解, 所以专家和“网络”的这种交互类似于学生向老师请教, 老师提供了大量的参考书; 这可以理解为“专家”和一位“特殊专家”(如今已是诸多大模型了)进行的特殊交流。当然, 这也可类比为专家和对等专家交互的关系。“网络”为专家群体提供的关于某个问题的“网络空间参与者群体”的有代表性的见解, 分别代表了不同部分群体对问题的认识, 综合了不同部分群体的经验和智慧, 可以理解为“特殊专家”的部分见解, 从而这种专家和“网络”的交互可以认为是专家们针对某个问题进行的畅所欲言的交互。专家群体中个体之间的互动是动态复杂的, 只有通过专家群体某种组织下的互动才能激发专家思考问题的个人能动性, 使专家主动审视思考问题的模式, 提高思维敏感度, 创造新的对问题的认识, 同时使专家个人的经验知识从隐式转化为显式浮现出来, 从而不断丰富专家个人的知识, 实现对复杂问题认识的自我超越, 形成并不断扩大群体对问题认识的共同意义的汇集, 通过某种互动充分发挥个人和群体创造性; 这是综合集成研讨系统充分发挥成员优势的要求, 也是理解群体智慧的关键。

对于专家个人之间的交互, 由于人是社会的, 思维也是社会的, 所以, 可能会存在习惯性防卫和跳跃性推论等交流障碍, 需要引入学习型组织理论和对话理论来规范专家的有效互动。根据管理学中学习型组织的概念, 结合在科研实践活动中让人受益非浅的Seminar思想规范, 专家的有效互动应是以反思和探询为基础的反思式开放环境中的深层次对话和讨论。反思式思维模式, 可增强思维的敏感度, 发现思维和真实的不一致性, 自觉修正固有思维模式, 将显式知识转化为隐式知识, 进而将隐式知识转化为新的隐式知识; 如此反复, 不仅扩大和丰富了个人的知识和思路, 也使群体

的知识和智慧得到了扩充。因此,专家群体在基于学习型组织理论和对话理论的有效互动规范下的研讨过程,是知识和思维产生的过程,是群体智慧涌现的过程。从思维的集体本质和知识产生的社会角度,就可以理解群体智慧产生并存在于专家群体的有效互动中。

应用管理科学中学习组织的概念和方法,规范综合集成研讨系统的专家群体的互动是以反思和探询为基础的。交互运用在反思式开放环境中的有效深层次对话和讨论,就能在有效互动的研讨中产生群体智慧。如此,通过专家有效互动规范,使专家在互动过程中实现有效深层次对话,主动观察自己考虑问题的思维模式,揭示思维与真实的不一致性,就有可能产生创新性的思维成果,实现个人见解的自我超越;同时又使专家群体有创新性、协调一致共同思考扩大对问题共同认识的汇集,从而产生新的知识。

广义专家群体中的这种互动,在个体层次上是独立的,包含了自己对问题的判断、认知和推理。在综合集成研讨系统中,广义专家群体的有效互动过程,是无法完全预测的、随机无序的。我们无法预测哪个专家会发言,无法预知专家会说什么,也无法预测专家会对以前谁的发言有评价或者响应。但在整体层次上,这种相互响应会导致综合集成研讨系统充满有向链接的网络(有序)结构,显然,这种有向链接结构蕴涵了丰富的关于交互内容的信息。从中也可以看出,综合集成研讨系统中发挥综合优势和整体优势涌现群体智慧的关键问题:广义专家群体采用哪种互动更能有效地激发个体探究复杂问题的能动性,促使群体共同致力于复杂问题的解决?如何理解由专家群体互动导致的综合集成研讨系统的网络结构?如何理解综合集成研讨系统中的群体智慧?

在广义专家有效互动过程形成的有序网络链接结构中,我们可以把专家的每次发言都理解为一个节点,“网络”所提供的“网络空间参与者群体”关于问题的几种有代表性的见解,也可理解为相应数量的节点。这里的每个节点都包含着两个属性:见解质量属性和响应质量属性。专家发言中对以前发言的响应或者评价可理解为专家代表发言的节点之间的有向边,从而广义专家互动过程形成的网络链接结构可以用有向属性图表示。

在广义专家互动过程中,若和网络赛博空间相比较,专家的发言也类似于网络赛博空间中的一个“网页”,包含了个人对问题的认知和推理,专家发言中对其他发言的评价或者响应,也可类似于赛博空间中“网页”之间建立的超链接,而专家也就相当于“网页创建者”。在集成智能系统和网络空间中,这种个体层次上的交互都包含了“创建者”的对问题的认识和理解,是无法预知和预测的、随机无序的,但却导致了一个充满链接的网络结构。此网络结构中蕴涵了丰富的信息,群体智慧可形成并存在于此网络结构之中。因此,广义专家群体互动过程形成的“网络链接结构”和“网络空间的网络链接结构”有结构相似性。但是,广义专家群体的互动过程面向特定问题,而网络空间是面向方方面面问题的;所以,综合集成研讨系统中网络结构的有向属性图的节点集合相当于HITS理解网络空间信息时的T集合,应用HITS理解和推理网络空间信息的概念,可建立理解集成系统研讨时的链接结构的分析方法,从系统角度用计算方法理解并使得蕴涵在系统研讨中的群体智慧涌现出来。所产生和涌现的群体智慧,即是是可用于求解复杂问题的知识。

2. 专家群体研讨中有效互动的氛围

在“面对面”的研讨中,专家群体,可充分发扬学术民主,无保留地敞开思想,与他人进行交流。但在“众目睽睽”之下阐明自己的观点,或许会有所保留。只有在“网络”上这种沙龙式的自由开放及可反思的氛围中,才能使得“求真”的力量变得更为强大。这可以从思维的本质出发通过知识的产生过程来理解。

David Bohm 认为,思维起源于人与人之间如何互动和深层次对话,思维本质上是集体的。他认为,由于个体思维(包括专家)处理问题的模式很多已固定化了,或者思维会停止追求真相,或者思维回拒绝任何交流的加入,这会导致思维和真实世界的不一致性。人与人之间必须通过某种有效的互动或交流才能揭发思维与真实之间的不一致性,才能使个人超越自我,才能使群体有创造性又协调一致共同努力地探求复杂问题的真相,才能实现知识从显式到显式、从显式到隐式、从隐式到显式、从隐式到隐式的产生。我们知道,知识有两类:显式知识和隐式知识。显式知识指可以用正式语言清楚明白表达的,包括理论、数学表达、说明等。隐式知识是很难用正式语言表达的,它深深嵌入个人经验中,和个人的信仰、洞察力、价值观等有复杂关系。知识从显式到显式的产生,是指通过分析不同资源的显式知识,组合或者综合得到关于问题的新的知识。知识从隐式到显式的产生,是指对话(研讨)的参与者可通过对话、前提明确表述和建立模型等使经验知识浮现出来,把隐式知识转化为显式知识。知识从显式到隐式的产生,是指通过共享思考问题的模式、经验和技巧,对话(研讨)的参与者可主动发现自己思维中的不一致性,从而使显式知识转化为隐式知识。知识从隐式到隐式的产生,是指对话(研讨)参与者发现了自己思维模式的不一致,主动修改自己的思维模式。

显然,自由、开放、反思的沙龙式探讨就是有效互动的一种。必须结合管理科学中学习型组织理论和对话理论才能产生能够创新的有效互动。综合集成研讨系统中的专家有效互动为反思式开放环境中的深层次对话和讨论,通过这种有效互动可以克服专家互动的障碍,主动审视思维模式,产生对问题的新认识,不断扩大研讨群体对问题共同认识的汇集。

在研讨过程中个体之间实现深层次的互动可能存在的阻力,主要有Chris Argyris 所称之为的习惯性防卫的互动障碍,以及跳跃性推论。**习惯性防卫**,是根深蒂固的习性,用来保护自己或他人免于因为说出心中真正的想法而受窘或感到威胁。Chris Argyris 认为,习惯性防卫的根源是惧怕暴露出自己想法背后的思维。防卫性心理使大家失去检验自己想法背后思维是否正确机会。对大多数人来说,暴露心中真正的想法是一种威胁,因为害怕别人或者自己发现它的错误。**跳跃性推论**,是将假设当作事实,直接从观察转移到概括性的视为理所当然而不再加以验证的定论。有意识的心智在处理大量具体细节时,常有顾不周全的地方。例如让人们看一百个人的照片,大多数人无法记住每张脸孔,但可以记得各种类别:高、矮、男、女、西方人等等。心理学家Gorge Miller 曾指出,人能同时专注的不同类变数是有限的,大约只有7个左右;人常常以简单的概念替代许多细节,然后用这些概念来进行推论。如果人自己并没有觉察自己从具体细节跳跃到简单概念,而用概念来进行推论的话,就会使思维拒绝交流的加入而不自知。因此,基于网络的综合集成研讨系统,有助于克服深层次交互的障碍,也有助于克服研讨过程中易于出现的群体不良思维模式。

4. 综合集成研讨系统中专家之间的有效互动的一个研讨模型

在学习型组织和对话理论的基础上,综合集成研讨系统的研究者建立了一个专家有效互动的对话模型。所谓**有效互动**,就是要求专家毫无拘束地、明确地对以前自己或者他人的发言予以响应或评价,并且毫不隐藏地清晰表达自己的见解,以及见解背后的假设以及推理。据此要求,结合Grosz和Sidner的对话理论和对话共同行动理论模型,按照对话参与者—专家们关注的焦点和表达顺序,在综合集成研讨系统中,专家的有效对话可归结如下的一个两段式组织结构,见图18.4.2。

响应部分 → 参与者现在针对问题的见解

图18.4.2 “专家”发言的两段式结构图

“发言”的第一段描述专家对以前发言的明确响应或者评价，称为响应部分。响应部分，是专家在用心聆听前面发言的基础上阐述自己对以前发言（自己和他人的发言）的直接响应或评价；如果是对以前发言的评价，就要阐明如此评价的理由。它可引导专家们“彼此检验和自我反省”，考虑与问题产生相互作用的因素及其包含的内部及外部的诸多反馈回路，将自己的视野扩展到自己的常规教育专业范围之外，分析自己的研究行动和研究成果在本专业范围之外可能造成的各个领域的不易察觉的后果，有助于专家们采用系统思考，从整体出发，克服局限思考和专注于个别事件的交流障碍，认清复杂问题的整个变化形态。

第二段描述专家本人现在对问题本身的见解。在第二段的表述中，考虑反思式开放环境中有效深层次对话的必要条件和反思、探询的技巧，结合Mann和Thompson的修辞结构理论和Mackeown的围绕中心分级组织理论，专家的有效互动要求专家围绕观点，在一定假设和原始论据下通过推理过程展开专家本人对问题见解的表述。因此，可将对话的第二段（见解部分）分成三个组织部分：**观点，假设，论据或者推理过程**，它们应保持同一粒度。这里，**假设**通常指心中自以为是的对问题的主观假设，而不是逻辑推理中的客观假设条件；逻辑假设包括在推理过程中。这样，专家们摊出心中的假设，以多样的观点探讨复杂问题，可以引导专家们以反思开放的方式，放慢自己认知变化的步调，深思熟虑，内省自己认知方面的缺失，注意到那些细微以及不太寻常的变化，系统客观地观察现实，学习看出缓慢、渐进的过程，发现那些自己将假设当作事实，直接从观察转移到概括性的视为理所当然而不再加以验证的定论，揭示真实和思维的不一致性，从而自觉地接受思维交流的加入，修正自己的思维模式，克服跳跃性推论的交流障碍，将深藏的经验 and 想法完全浮现出来，产生知识从隐式到显式，从显式到隐式，从隐式到隐式的转化，实现对复杂问题认识的自我超越。专家群体克服归罪于外、局限思考和只专注个别事件的群体交流障碍，进入一种个人无法单独进入的不断发展与改变的群体“智慧的汇集”。



图18.4.3 参与者针对问题的见解

以上将对话规范为“两段三部分”的对话模型，可以引导和鼓励所有的对话参与者——专家们视彼此为工作伙伴，心灵自由地说出对问题的真正想法，暴露出自己想法背后的思维，削弱习惯性防卫，放慢思维的步调，把镜子转向自己，以挑战自己的思考为起点，借此发掘内心世界的图像，使这些图像浮上表面，并严加审视；可以发现曾经被视为理所当然的事实，常常只是一种先入为主的成见，一种对实际情况的假设，克服Argyris指出的跳跃性推论；由此，在一种反思式开放的环境中，专家群体可进行深层次对话和系统思考，克服局限思考和只专注于个别事件的群体学习障碍，发展出超乎平常思维的敏感度——正是这种敏感度才是真正智力产生的根源；搜集思维之流中不意察觉的意义，激发群体比个体的总和更聪明的情况，涌现出群体智慧；从而推进群体一致努力，共同探索问题的真相。

上述基于系统思考的“对话模型”，以对话共同行动理论模型为指导，采用响应段和自我见解表达段的对话组织结构，可使动态行动过程中群体成员的努力代价和群体不确定态最小化，使对话

参与者在对话过程中的所说、所做清楚明确，引导进行深层次对话。另外，该对话模型可以方便地嵌入人-机交互界面，提供了高效应用信息技术的接口；该对话模型采用分段结构，摆脱了设计者们对专业领域知识的依赖，简化了系统的后继处理，只需应用简单的文本理解和分析技术，例如长度优先匹配算法等，来搜索响应段文本中参与者ID，就可以提取专家个体之间的互动关系，应用链接结构分析方法，获取综合集成研讨整体层次上的获取整体优势和综合优势。

在综合集成研讨系统中，专家通过对话互动。尽管无法预测或预知对话参与者们会说什么，但专家群体的对话是所有参与者的共同行动，具有序列规律性；在有效结论未得出之前，主持人有责任和义务使对话持续进行下去。

专家群体的有效互动是反思式开放环境中的深层次对话和讨论，它可以使得专家群体主动审视思维模式，产生对问题的新认识，不断扩大群体对问题的共同认识。反思、探询和相互探询是实现这一目标的重要工具，合理使用这些工具，可以把讨论引导为深层次对话。

深层次对话的关键在于：明确假设，以多样的观点探讨复杂问题，毫无拘束地交换见解，在这种无拘无束的探索中，人人将深藏的经验 and 想法完全浮现出来，把隐性知识转化为显性知识，经过彼此检验和自我反思，再将显性知识转化为新的隐性知识，实现知识的更新、扩展，起到不断提高对问题的认识的效果。

通过在综合集成研讨系统中应用该模型，可以观察到：对话成为参与者的共同行动。它引导参与者用心聆听以前的发言内容，反思自己的思考过程，在此基础上按照自己的关注焦点，首先明确表达对他人或者自己发言内容的响应或者评价；然后以观点为中心，摊出心中的主观假设，通过原始资料或推理过程来清楚论述自己目前对问题的见解，从而促使专家群体产生更高层次的对话和交流，推进群体一致努力共同提高对复杂问题的认识，促进群体智慧的涌现。另外，通过该模型，可建立起专家发言的链结构，进而应用研讨的序列有向属性图模型，对研讨厅中的专家交互关系进行定性的和定量的描述与分析。

18.4.4 综合集成研讨系统研讨过程中的链接结构分析

综合集成研讨系统中的链接结构可借鉴万维网网页链接的办法，通过广义专家群体的有效互动建立；并根据个体之间的响应关系建立广义专家群体的用有向图表示的有向链接结构，把有向图扩大为“有向属性图”。有向属性图以专家每一阶段的发言为一个节点。节点是带有属性的，即专家发言的内容称为内容属性，两个节点链接边的箭头指向作为边的属性，称为响应属性，在互动过程中，见解质量高的发言会有越来越多的评价和响应。

借鉴万维网中从整体考虑链接的方法，考虑“专家的发言”类似于“万维网的一个网页”，而“专家”是“网页”的“创建者”；这样一来，广义专家的研讨过程或者进一步说广义专家互动形成的网络链接结构，可以用有向属性图表示。由于HWME的结构和万维网网页具有结构相似性，所以，可以采用网络中“超链接导致主题搜索(HITS)”的思想与方法，**建立综合集成研讨的链接结构分析方法。**

在综合集成研讨中，“网络”为专家群体提供“网络空间参与者群体”关于问题的几种代表性见解，可把它理解为基于问题的特殊专家，它和专家群体构成了综合集成研讨的广义专家群体。广义专家群体在基于学习型组织的专家有效互动规范的引导下，明确表述对以前发言的检验或者响应；这种响应在个体层次上是独立的，包含了自己对问题的判断、认知和推理；虽然无法预测哪个专家会发言，无法预知专家会说什么，也无法预测专家会对以前谁的发言有评价或者响应；但在整体上

这种响应导致了综合集成研讨可形成一个有向链接的网络结构。这种有向链接结构，蕴涵了丰富的关于交互内容的信息，群体智慧形成并存在于链接结构中。下面分析综合集成研讨的链接结构，从系统角度用计算方法理解综合集成研讨的群体智慧。

1. 综合集成智能系统研讨过程的有向序列属性图[研讨的链接结构分析方法]

作为一个人-机结合的复杂智能系统，如果能建立一种刻画研讨动态行为的模型，将有助于人们对研讨的深入研究和理解，也可用于提炼出研讨的轨迹和结论。由于“人”是研讨的主要成员，对研讨进行建模就涉及到对人的思维描述的问题；因而不可能仅仅采用数学方法就可以实现这一任务。在这种情况下，采用了一种语义句法描述方法，使用有向属性图来刻画研讨的动态行为，就成为定量分析和研究研讨轨迹和内容的工具。

有向属性图采用节点来描述发言的专家，用节点的属性表示该专家在一定时间段的发言内容，使用边来描述发言之间的响应关系，使用属性来描述二者的某些或全部特征，使用链分析算法来分析有向属性图的特征，这些表达方式和分析方法具有一定的通用性和可操作性。

研讨的链接结构是通过广义专家群体的有效互动建立起来的。在互动性的研讨过程中，专家发表对以前某个专家发言的评价或者响应，同时发表自己对问题的见解，通过这种响应，可建立起研讨中个体之间的链接关系（如链接 $pt \rightarrow qt$ 表示专家的发言 pt 对以前的发言 qt 有响应），再根据多个个体之间的链接关系建立专家群体研讨过程中的有向链接结构。这种链接结构就构成了对特定问题的有向属性研讨序列图。研讨的过程，就是该序列图不断生长、变化的过程，而专家发言的内容，专家之间的交互关系，可被这一有向序列属性图清晰描述，因此它就构成了研讨的一个动态模型。通过该模型，一方面，可以研究广义专家在研讨中各种属性的动态实现，以及专家群体如何才能处于互相激发的状态；另一方面，也可以观察到新的见解被提出、受到关注、进而被增强或者削弱的过程。在这一过程中，高质量的见解随时间推移会有越来越多的被响应，高质量的响应随时间推移会响应更多的高质量见解，高质量的见解将不断被增强，低质量的见解将不断被抑制，从而群体智慧的涌现可被分析和观察。

链接结构中，专家每次的发言为一个节点，“网络”提供的关于某个问题的“网络空间参与者群体”关于问题的几种有代表性见解，也可作为相应数量的节点，每个节点可确定两个属性：一个为见解质量属性，一个为见解响应[评价]属性。专家对“网络”“特殊专家”见解的响应，也用有向边来表示。从而整个研讨过程都可以用有向属性图来表示。

研讨的链接结构有向属性图和“万维网的网页超链接结构”具有结构相似性。在广义专家群体有效互动过程中，面对一个复杂问题，专家对问题本身认知的清楚表述相当于网页创建者按照自己的意愿建立一个关于复杂问题的网页，而专家的每次发言就相当于一个网页，可称之为“类网页”或者“类web页”，专家发言中对以前的发言内容毫无顾忌地明确评价或响应，相当于建立一个网页超链接，可称之为“类web页链接”或者类网页超链接，而发言的专家就可以理解为网页创建者。因此，从链接结构的角度看来，由复杂问题驱动的专家群体有效互动过程，类似于网页和网页超链接的建立过程，广义专家群体互动形成的网络结构类似于万维网网络结构。研讨中的有向属性图中的节点对应万维网中的网页节点，它的有向属性图相当于HITS描述万维网的有向属性图。因此，用于推理和理解万维网的链接结构的分析方法，也可用于分析研讨的链接结构，进而从系统角度用计算方法理解群体智慧在综合集成系统中的涌现过程。

在广义专家研讨形成的有向属性图中，节点的两个属性之间存在一种彼此加强的关系。根据深

层次对话理论, 通过互动, 参与者会主动审视自己的思维模式, 更敏锐地揭示思维和真实的不一致性, 修正或者改变思考问题的思维模式, 创造出新的见解, 对问题有更深入的认识。有效深层次对话的过程形成不断创新、不断加深对问题认识的正反馈效应。这在互动过程中具体表现为, 随着时间的推移, 见解质量高的发言会有越来越多的评价或者响应, 而具有高质量响应的发言也会评价越来越多的高质量见解, 见解质量高和高质量响应二者彼此加强, 形成正反馈效应。

但是, 研讨的链接结构有向属性图和万维网的网页超链接结构也有不同之处。万维网的网页超链接结构通常是分散的, 以近乎无政府主义的方式增长, 这种增长方式导致了大量没有逻辑关系或实质内容联系的超链接的出现。在网络世界中, 面对一个问题, 应用Google、HITS等搜索引擎搜索到的, 是关于该问题表述的广义的主题的集合。在集成系统的研讨中, 专家是围绕特定问题作集体思考, 所建立的类web页和类web页链接都是关于这一特定问题的。因此, 集成系统的研讨相当于搜索引擎在web上对特定问题的查询结果的集合, 综合集成系统有向属性图中的节点集合相当于HITS中的网页基础集合—T集合。由此, 我们可以认为, 广义专家研讨过程形成的综合集成系统的链接结构和万维网具有结构相似性, 它的研讨过程有向属性图和HITS描述万维网的有向属性图相似, 它的有向属性图的节点集合相当于HITS中的网页基础集合—T集合。因此, 可以应用HITS推断万维网的概念和方法来分析综合集成系统的链接结构。

在有向属性图中, 节点之间存在着互动关系, 例如一个节点受到多个节点较强烈的响应, 说明该条发言的质量较高, 反过来, 也说明那些响应的节点响应质量比较高, 这样, 会引起其它专家的关注, 如果该条发言的质量的确很高, 那么会有新的节点加入响应, 从而形成正反馈, 高质量的见解和高质量的反馈彼此加强, 使得属性图自组织出某种结构。而这种结构正是研讨厅中群体智慧的涌现的一种反映。这点可以万维网为例来进行理解: “网络”是充满链接的网络结构环境, 在web页层次上, web页超文本组织包含了网页创建者们个人对某个或者某些问题的认识、理解和判断, 从统计意义上讲, 它的内容是独立的, 它的超链接是无法预测的, 是随机无序的, 但是这种web页之间的超链接导致了一个充满链接的网络结构的出现, 这一网络超链接结构蕴涵了关于网页内容的丰富信息。Google和HITS用链接结构分析方法非常成功地理解了万维网的结构, 并且可提取大家公认的权威性网页和好的链接, 即提取万维网中关于某个主题的群体经验和智慧。对于研讨过程的有向属性图的分析, 也可以采用类似HITS的链接结构分析方法。通过该方法隐含的技术—特征向量可以发现与特定主题相关的多个群落: 一个基本群落和许多稀疏的非基本群落, 而某些非基本群落可能更集中于被探讨的子主题; 构成复杂问题的子主题群落会出现部分嵌套和重叠, 并具有不同响应。导致复杂问题细化的因素可能就集中在这些由链接结构发现的群落上。

若用 $D^{\nabla t_1}$ 表示在相对独立的交互时段 ∇t_i 内专家群体进行的系列交互, 在研讨中, 面对复杂问题, 专家群体的整个交互过程

$$D = \{D^{\nabla t_1}, D^{\nabla t_2}, \dots, D^{\nabla t_m}\}$$

就形成了一个有向属性图序列:

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$$

这个有向属性图序列是随着时间推移的, 是在专家群体 $S = \{S_i \mid i=1, 2, \dots, n\}$ 共同驱动下成长的, 所以, 该有向属性图序列可进而表示为:

$$G = \{S, G, t\} = \{t, S_i \mid i=1, 2, \dots, n; G_j \mid j=1, 2, \dots, m\}。$$

研讨系统中研讨的过程, 就是该序列图不断生长、变化的过程, 而专家发言的内容, 专家之间

的交互关系可被这一序列有向属性图清晰描述,因此它就构成了综合集成系统研讨的一个动态模型,通过该模型,一方面可以研究广义专家在研讨过程中各种属性的动态实现,另一方面,可以观察到新的见解被提出、受到关注、进而被增强或者削弱的过程。

综合集成系统研讨过程的链接结构分析方法,从基础集合T开始。这里基础集合T指专家研讨过程中所建立的类网页的集合。每个类网页有两个属性指标,见解质量属性authority值和见解响应属性hub值。

(1) 每个类网页 pt 的响应质量属性值为 $h(pt)$,其见解质量属性值为 $a(pt)$,所有属性值初始化为1。令 $pt \rightarrow qt$ 为类网页 pt 评价或者响应了类网页 qt ,用下面的迭代公式来计算见解质量属性值和响应质量属性值。

$$a(pt) = \sum (qt \rightarrow pt) \quad h(qt) > 0; \quad h(pt) = \sum (pt \rightarrow qt) \quad a(qt) > 0$$

(2) 按步骤1迭代更新每个类网页的两个属性值。

迭代计算结束后,对所有类网页,把它们的见解质量属性值 $a()$ 从大到小进行排序,按需要或者意愿选取前几个或者更多 $a()$ 值大的类网页。考虑到同一个人对同一个问题的见解在很短的时间内一般会有很大的相似性,如果同一个人在一个时间段内的几次发言的见解质量属性值相邻而且差值很小,那么就只输出其中最近时间的发言。

已证明,这种链接结构分析方法的 $a()$ 值和 $h()$ 值收敛于链接结构有向图的两个邻接矩阵 M_{auth} 和 M_{hub} 的主特征向量。这里主特征向量值对应关于某个主题研讨形成的群落。这些充满链接结构的群落和HITS在www上得到的群落有相似的特点。分析方法具有鲁棒性:对一个广义主题,即使从相关类网页的少量采样开始,算法仍然能产生稳定的群落,因为少量采样和基本集合T具有结构相似性。研讨内容所隐含的主题层次可以通过链接结构分析方法得到。显然,其抽象和收敛性概括的过程就是主题层次产生的过程。通常,最一般的主题靠近根部,它们的分支代表子主题。通过链接结构分析方法,其主题层次(即主题树)可自动获得。

2. 研讨中专家群体意见一致性的计算方法[智慧集成度计算方法]

面对一个复杂问题,群体成员在开始时的看法各不相同,这是由于群体中的个体成员对于该复杂问题有各种不同信念(看法),以及群体中的成员对包含在复杂问题中各种因素的重要性的感知不同。要解决这个问题,促进群体注意力的集中,需要有一个衡量群体意见发散(或者一致性)程度的工具。为此,我们可以给出一种计算群体一致性的算法,该算法以层次分析法(AHP)为基础,其具体实现如下:

(1) 计算每个专家的排序向量

① **构造判断矩阵** 假设由 m 个决策者(专家)组成的决策群体对 n 个备选方案进行评价。当专家对商定的方法分别进行判断,由此给出的判断矩阵可表示为: $A_k = \{a_{ij}\}_{n \times n}$ 其中, A_k 表示第 k 个专家给出的判断矩阵, $k=1, 2, \dots, m$; A_k 为反对称矩阵,满足条件: $a_{ij} > 0$, $a_{ij} = 1/a_{ji}$; $a_{ii} = 1$ 。

② **计算排序向量** 由判断矩阵 A 可以求出排序向量 W 。用几何平均法求每个方案的排序的算法为 $W = [(\prod_{j=1}^n a_{1j})^{1/n}, \dots, (\prod_{j=1}^n a_{nj})^{1/n}]$ 将得到的向量归一化即得专家的排序向量。

③ **一致性检验** 计算一致性比例C.R. (consistency ratio)

$$C.R. = C.I. / R.I.$$

其中, C.I. 为一致性指针,可通过 A_k 的最大特征值计算得到; R.I. 为随机一致性指针,可通过查表得到。当 $C.R. < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的;当 $C.R. > 0.1$ 时,认为判断矩阵的

一致性是不可接受的，需对判断矩阵进行修正。

(2) 群体意见一致性算法

定义如下概念：群体强一致指标GAI—群体中成员一致水平的计算值。群体强不一致指标GDI—群体中成员不一致水平的计算值。个体强一致指针IAIt—第t个个体与群体中其他成员间的一致水平。个体强不一致指针IDIIt—第t个个体与群体中其他成员间的不一致水平。用向量之间的夹角表示向量之间的接近程度。定义两向量之间夹角的余弦：

$$AG_{t,r} = (w_t \cdot w_r) / (\|w_t\| \times \|w_r\|)$$

由此可定义如下群体一致性/ 不一致性指标计算方法：

$$GAI = \sum_{(t \in T)} \sum_{t < r} 2 \times \eta(t,r) / (m \times (m - 1))$$
$$GDI = \sum_{(t \in T)} \sum_{t < r} 2 \times \gamma(t,r) / (m \times (m - 1))$$

同样可定义个体一致性/ 不一致性指标如下：

$$IAI_t = \sum_{(r \in T, r \neq t)} \eta(t,r) / (m - 1)$$
$$IDI_t = \sum_{(r \in T, r \neq t)} \gamma(t,r) / (m - 1)$$

其中， $\eta(t,r)$ 和 $\gamma(t,r)$ 的值由 $AG_{t,r}$ 和对应的门限值确定。

通过该算法，可以有效地衡量专家群体对于某几个问题的意见一致性（不一致性）程度，发现意见最不一致的问题和与群体意见相差最大的专家个体，有利于专家群体发现分歧之所在，并鼓励有不同见解的专家详细阐述自己的意见，使得专家个体见解的突破可被其他专家察觉，并予以详细研究。

18.5 一个基于AGENT的综合集成研讨系统（具体实现）模型

在我们分析了一个综合集成研讨系统的架构之后，接下来的问题就是如何构建一个具体的复杂系统。利用现有的哪些技术成果可构建支持具体问题决策的综合集成智能系统。我们的目标是在综合现有最新技术成果的基础上，采取按需选择与前瞻性的原则，针对某一具体复杂问题，构建一个综合集成的智能系统构架（集智系统），该系统可运行在互联网平台之上，它可将相关的人员、数据、信息、知识以及各种可用的设备与技术等充分、无缝地集成到一起，形成一个由分布各地的子工作空间组成的和谐、动态、交互、分布、协同及智能化的研讨空间与集成智慧系统，成为在新的信息技术背景下对复杂系统进行求解式决策时设计信息/知识系统的应用体系与设计范式。

18.5.1 综合集成研讨系统（集智系统）实现的软件系统

一个综合集成研讨系统实现的软件系统，应包括以下几个主要部分：

(1) 通信与计算基础平台：综合集成智能系统的实施首先需要通信与计算基础设施，即可进行计算和交流的软硬件设施，包括计算机系统、物理网络、网络协议，以及构建于其上的一些基本计算和通信服务，如操作平台、信息管理平台、搜索服务等。该基础平台可利用现有的计算机和通信设施（如，Intranet系统、Internet系统等）和通信协议（如TCP/IP、HTTP等），然后，根据具体要求，在应用层上添加一些必要的模块，如流媒体传输、身份认证等。

(2) 多媒体信息共享平台：为给综合集成智能系统内的广义专家群提供的资源支持，综合集成智能系统需要各类数据库和资源库，也需要数据管理和服务系统，如文本/音频/视频数据的压缩与

传送, 文件共享, 应用程序共享, 计算机的互操作等。它们是广义专家之间讨论、交流的基础平台, 研讨中心将直接建立在该平台的基础之上。

(3) **研讨服务平台**: 该平台包括多个子模块, 例如:

① **群体智慧的涌现及可视化模块**, 该模块以研讨系统的序列有向属性图模型为基础, 采用超链接引导的主题搜索算法 (HITS), 分析专家发言之间的响应关系, 发现、并用图形的方式展示专家群体智慧涌现的过程。

② **研讨组织模块**, 为主持人引导、规范、组织讨论过程以及专家之间的交互提供支持, 其功能包括研讨秩序的维持, 研讨流程的设定、转换与控制, 专家群体的有效互动对话规范和防止群体思维过度发散等, 其根本目的在于促进专家之间的互相激发, 集思广益, 消除不必要的隔阂, 创造良好的讨论氛围, 促进问题的深入讨论。

③ **广义专家**, 万维网 (WWW) 汇集了人类有史以来所能利用和创建的海量信息、知识, 它本身构成了一个开放的复杂巨系统, 具有深刻的内部结构。万维网中面向特定问题的权威网页可以看做是某些特殊“专家”针对该问题的观点, 这些权威网页是万维网经过自组织“推荐”出来的, 是数以百万计的网民群体智慧的体现。这些特殊“专家”与研讨系统内的人类专家组成了广义专家群体, 彼此可以交互, 这样就使得研讨系统讨论的成果不仅仅是若干个人类专家智慧的集结, 而且包含了成千上万的网民智慧。

④ **信息过滤模块**, 研讨系统的专家 (包括广义专家) 来自于与复杂问题相关的多个领域, 每个人研究的重点不同, 需要不同的相关信息。万维网上丰富的信息资源为信息获取带来的极大的便利, 但同时, 信息的爆炸性增长, 使得通过一般搜索技术得到的大部分信息是无用的 (何况还有有害信息)。信息过滤模块则利用兴趣相似的专家之间的“推荐”作用, 采用协作过滤的方法, 通过提供个性化的建议来克服信息过载问题。

⑤ **模型支持模块**, 这里的模型支持模块并非针对具体的模型, 而是指现有模型的可视化组合与重用。对于一些现有的、同类型的模型可以使用该模块进行集成, 通过操作 (如, 简单的鼠标拖放), 将多个局部模型与全局模型相连, 形成一个整体模型。不同模型间的输入/输出连接、权值可以在交互界面中进行调整, 同时触发各个模型的重新计算, 实现模型重组的“所见即所得”。

(4) **人-机交互界面**: 提供人、机界面, 是专家进行研讨、检索、建模等所有工作的前端模块, 提供发言文本/ 音频/视频/电子白板等输入、输出工具, 共享资源的使用工具, 计算机互操作工具, 建模、模型运算结果的显示, 群体智慧涌现过程的可视化显示, 意见分析的可视化显示等, 它是研讨系统中专家的“研讨终端”, 是广义研讨专家 (网络客户) 参与研讨的前端平台。

18.5.2 基于Agent开发综合集成研讨系统的一些考虑

复杂智能系统的特点是系统的分布性、全局性与交互性。处理复杂问题的信息与知识系统正变得越来越开放、复杂、面向网络及需要人-机协作。处理这类系统的有效且可行的方法是构建人-机结合的综合集成智能系统。系统处理问题的可行方法是综合集成法, 其实质是按照综合集成的思想构建处理复杂问题的人-机协作智能信息系统。

作为一个复杂的问题求解系统, 若采用传统的面向对象的软件技术来分析、设计本质上是复杂系统的综合集成智能系统的支撑环境, 会遇到很大困难, 这些困难主要表现在:

① **表达的困难**, 系统对象本质上是被动的, 需要消息来激活, 难以主动适应环境, 也难以描述复杂软件系统内部各模块之间错综复杂的动态关系;

② **行为选择困难**，对象封装了状态和行为，但是无法封装对行为的选择，因此任何对象都可以访问另一个对象的所有公用方法，这使得对象缺乏自主性，无法根据自身状况和外界环境等因素自主地选择行为；

③ **粒度问题**，对象的抽象粒度过于精细，其抽象程度不足以为复杂软件系统的建模和分析提供合适的概念和机制。因此，“对象、类、模块”为复杂系统提供了基本的但是不充分的抽象手段。

而近年来兴起的Agent技术，在处理开放的、分布式、多信息的复杂问题方面有显著的优势；所建立的基于Agent的系统可以综合多种技术，使系统具有智能性、分布性、反应性、移动性、人机交互与协作等能力，可为构建大规模、开放式、专家群体参与的集成智能系统提供技术基础。根据需要，综合多种类型与功能的Agent技术，即可封装集成系统中除资源库之外的实体与功能，并赋予研讨专家和主持人与Agent的交互能力，发挥Agent的分布计算与灵活的智能处理优势。因此，Agent技术作为一种新的强大的计算模式，综合了基于逻辑与基于算法的交互计算能力，很适合用于构建综合集成智能系统。**这类基于Agent的分布式复杂信息处理系统的优势，可以归纳为4个方面的综合：算法与规则的综合；跨学科的多类型的Agent技术的综合；多种面向Agent设计模式的综合；多种工作机制的综合。**基于Agent的多智能体综合集成系统，是一个分布的、交互式信息系统。我们要设计综合集成智能系统，采用基于Agent的多智能体综合集成模式应是一个恰当的选择。充分利用多智能体系统的软件环境和设计策略，充分发挥智能体[Agent]的特性来封装系统中的任务、应用、算法、角色、控制与管理以及数据操作，并充分利用Agent的移动性与交互计算能力，就可以很便利地实现一个基于Agent的综合集成智能系统。

18.5.3 基于Agent的综合集成研讨系统的开发

戴汝为院士等给出了一个基于Agent来设计综合集成研讨厅系统的实例，并为此专门开发了基于Agent的复杂软件设计方法MESSIA。MESSIA的出发点有3点：① 充分利用基于Agent的软件工程(AOSE)带来的软件分析和设计的灵活性；② 继承并融合两种流行的AOSE方法GAIA和MESSAGE的优点，克服其局限性；③ 将复杂软件系统的结构特点引入AOSE方法，使之更能适应复杂软件系统设计的需要。MESSIA这一名称来源于MESSAGE和GAIA的融合。

MESSIA的主要概念大都是从GAIA和MESSAGE借用和发展而来，这些基本概念包括：角色/Agent/组织、行为、交互/交互协议、任务/目标、资源等。图18.5.1是MESSIA的基本框架。显然，该方法由两个阶段组成：分析和设计。**分析阶段**的目的是分析系统及其结构以获得对系统的全面、具体的理解，这一阶段不涉及实现细节。这种理解来自对系统组织的分析和观察。此时组织被视为处于某种相关关系之中的一系列角色的集合。这些角色与其它角色进行系统化的、制度化的交互。分析阶段获得的最终结果是角色模型和交互模型。前者用于描述一个角色的职责、许可和行为，后者用于描述不同角色间交互的消息组织形式。为了能够从系统描述中获得角色模型和交互模型，分析中引入了MESSAGE的视角概念。同时利用MESSAGE的细化策略，对这些视角进行两级细化以精确界定不同角色、Agent和组织的任务、行为和交互关系。由此而获得的不同结果被综合起来用于角色模型和交互模型的构建。通过这些步骤，弥合了系统描述与最后需要的设计模型之间的巨大裂缝，使得对复杂软件系统的分析步骤具有可操作性。

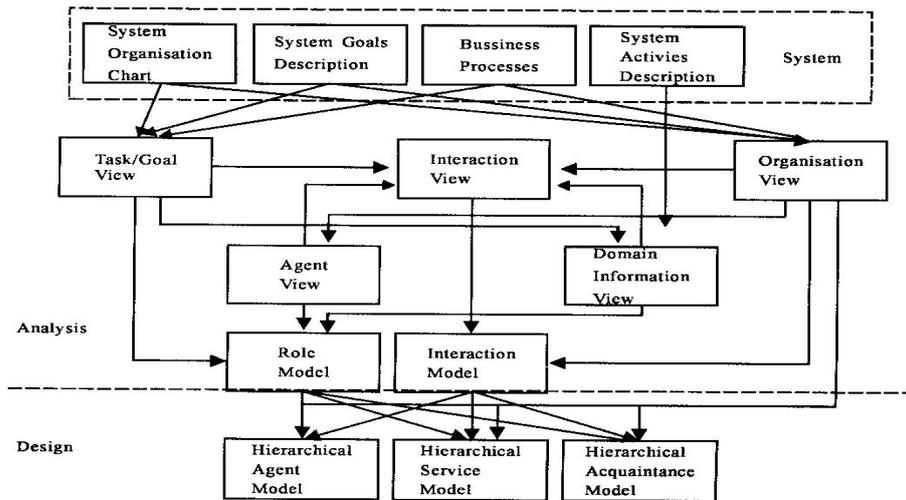


图18.5.1 MESSIA的基本框架

MESSIA的**设计阶段**与GAIA的相似。它的目标是将抽象的分析模型尽量具体化，使得这些Agent可用传统的设计技术（包括面向对象的技术）实现。换言之，这一阶段考虑的是Agent社会如何互相协作来实现系统级别的目标，以及为了做到这一点，对每个单个的Agent有什么要求。至于每个Agent如何实现其服务则超过了MESSIA的范围，这依赖于Agent的具体应用领域。MESSIA设计阶段涉及到构建3种模型：层次Agent模型、层次服务模型和层次熟人模型。这些模型是对GAIA的Agent模型、服务模型和熟人模型的扩展，它强调了复杂软件系统的层次结构，因而可用一种树状结构来描述这种结构特点。这些模型的建立过程相对比较简单，利用设计模型和系统的不同视角，二者互相参照就可很容易地得到这些层次模型。

层次结构是MESSIA考虑的一个重点，它与复杂软件系统的层次结构相对应，举例来说：系统中的用户会得到系统提供的大量服务，其中大部分服务都以计算机软件的形式存在。那么，很自然的，所有为用户提供服务的软件集合可视为一个Agent，我们可将其命名为TotalServiceAgent。

TotalServiceAgent的职责是帮助用户完成整个问题求解过程。随着求解阶段和目标的不同，其任务又可以划分为研讨支持、决策支持、资源访问支持等多个方面，因而可以用多个Agent对这些任务进行支持和实现，例如，研讨支持Agent（Discussion Support Agent）、决策支持Agent（Decision Support Agent）等等，此时，TotalServiceAgent就成了一个Agent组织，它由Discussion Support Agent、Decision Support Agent等组成，这些Agent互相配合，协同工作以完成TotalServiceAgent的总体任务和职责。相应的DiscussionSupportAgent的功能也可以进行细分，例如发言传输功能Agent（Speech Relay Agent），发言显示功能Agent（Speech Display Agent）等，形成了嵌套的层次结构。

在实例中，作者采用MESSIA方法有效地解决了研讨软件系统的描述、分析、综合问题，使得各模块的职责、功能、生命周期、交互关系可以得到清晰的定义，有力地指导了系统的实现工作。图18.5.2为采用Agent描述方式得到了综合集成研讨系统的组织结构图，图18.5.3为系统的工作流程图。

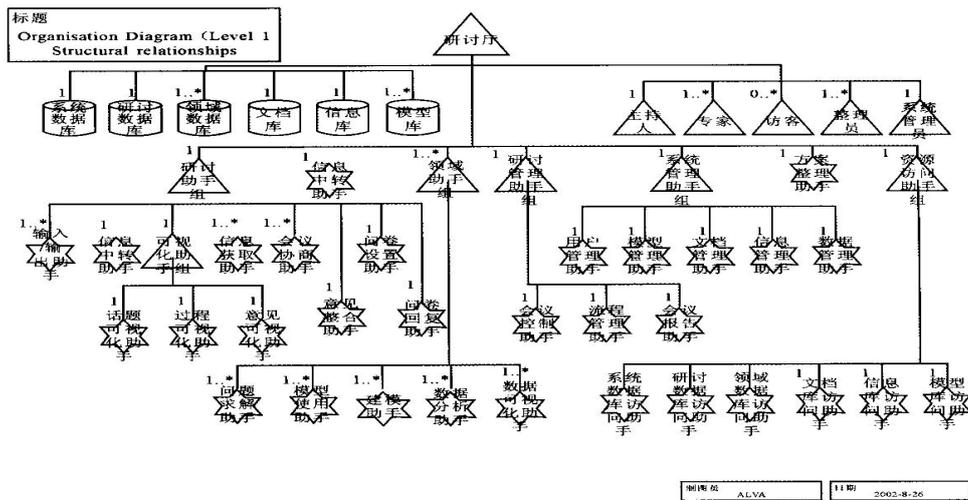


图18.5.2 研讨系统组织结构图

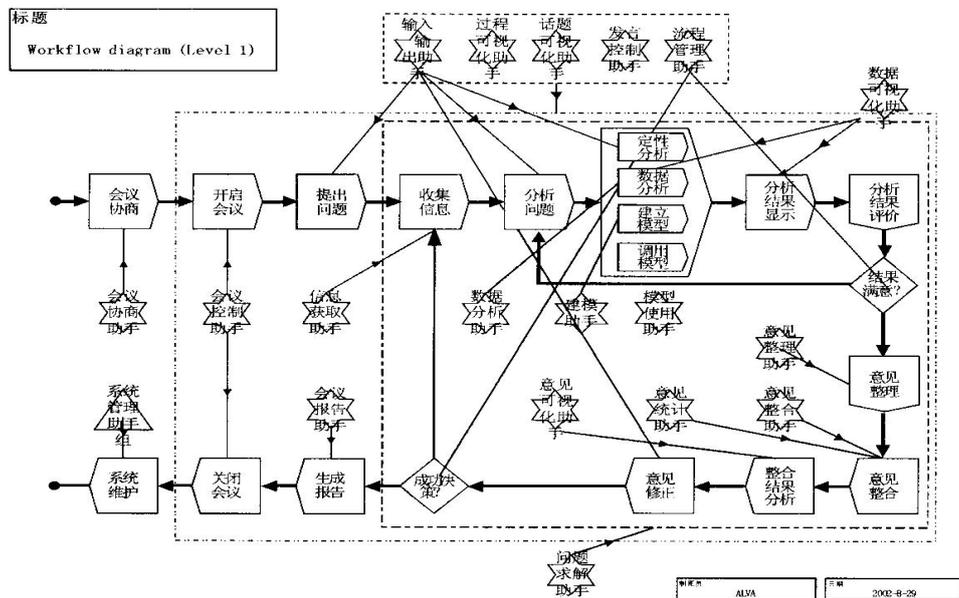


图18.5.3 研讨系统工作流程图

在上述系统的实例设计中，首先以研讨系统的组织结构图、目标描述、研讨流程和系统行为描述为出发点，采用自顶向下的方法将整个系统分解为6层。在每个层次采用5个视角（组织视角、目标任务视角、角色视角、交互视角和领域视角）来抽取该层次中的实体，描述实体的角色，它的任务和目标，实体间的交互关系，以及在实体的生命周期中涉及到的与具体领域相关的概念等。这个5个视角是对同一个系统（或子系统）不同侧面性质的描述，经过互相参照，逐步进行细化和改进，即得到了各层次的角色模型和交互模型。在设计阶段，将这6个层次的两模型自底向上的逐层综合起来，便得到了系统的层次Agent，层次服务模型和层次熟人模型，这三种模型都以各个具体的Agent为核心，并用图表的方式表示，这样就给开发人员提供了系统、子系统、各个部件的结构和功能的清晰参照。

在已经完成的设计中，系统自上而下分别是界面层、决策层、综合集成层、网关层、资源层与基础设施层。**界面层**是专家与其Role/Interface Agents 进行交互的地方，这些Agents支持大量的

用户接口, 如可视化的查询工具、建模工具、知识开发器、数据分析工具等。**决策支持层**为决策目标与分析提供服务。系统中的资源服务包括数据库及其管理系统、模型方法库与管理系统、知识库与管理系统, 由不同的Application/Gateway/Coordinator Agents 协作访问。进行分主题研讨的分布式研讨厅通过分厅协作网关连接, 并经中介层进行封装协作, 确定哪个资源具有相关的研讨信息, 分解并发出请求, 综合从分布资源得到的部分结果。系统所运行的基础平台由Internet与Intranet组成。

系统按照上述功能层次与嵌套的client/agent/server计算模式设计, 研讨系统包括主持人端、专家端、模型/方法库、知识库、数据库与系统数据库端等, 通过Internet分布于多个节点, 节点上的每台计算机安装一个Agent服务器。主持人通过移动Agents向专家端发送研讨支持服务, 各端利用Coordinators进行信息检索、查询与协作、请求与响应的传递。值得指出的是, 专家与主持人是系统的组成要素, 参与在线研讨, 并通过代理Role Agents 与系统中其他Agents 进行交互, 授权Role实施自己的计划与动机。为了降低对系统网络连接性与带宽等性能需求, 提高系统灵活性, 分别在相关的数据库与资源服务器上建立数据库网关与应用Gateway Agents。Gateway 等候在相关资源节点, 监视与服务进入的请求Agents 的动机与需求, 作为供应端向中介端广播相关服务功能接口与本地的变化。

18.5.4 基于Agent的分布式信息交互与资源集成系统的设计

基于Agent的分布式资源集成系统是一个包含着若干基础数据库、系统运行数据库和知识库, 多个决策支持应用工作站、中介服务器和多个专家客户机等集成系统。系统的一个典型工作过程如下:

调用模型[比如, Model12]的专家在请求端通过Interface Agent 向中介端发送Startup请求移动Agent(s1); 中介端收到后检查支持该请求端运行的所有研讨服务Agents是否已经发送, 并检查是否所有的供应端均已注册并报告了可用资源服务信息(如网络位置、安全证书等); 如果没有, 则向相应的供应端并行地发送Register Agents, 通知各端立即进行注册与服务广播, 中介器对所收到的供应端信息进行分类处理, 并向上述请求端发送准备好信息(s2);

请求器接收并向中介端传送用户输入参数和调用模型[Model12]的服务请求(s3); 中介器辨识并检验请求的有效性, 将服务请求分解为对应系统数据库、知识库和模型[Model12]应用的多个操作请求, 然后向各服务端发送Coordinator(s4);

到达各服务端的Coordinator与本地Agents进行交互, 执行模型[Model12]的请求; 在此执行过程中, 模型[Model12]上的Coordinator采用消息机制与该应用所涉及的数据库端和发出调用的请求端上Coordinator 协作执行模型[Model12]所需的数据与规则等(s5);

模型[Model12]的执行结果报告到发出请求的请求端, 并以可视化的形式显示在用户界面上(s6); 通知中介端本次访问操作结束(s7), 中介端决定是否销毁所有发出的移动Agents 而退出系统(s8) 或者继续执行其他的请求。

从s6-s8 的操作主要通过消息机制完成, 系统对其他资源的请求的执行过程或多或少地类似于上述工作过程。

驻留在各数据库上的Gateway Agents 可以动态地获得所采用的JDBC 驱动程序、数据源和安全信息等, 充当所进入的Coordinators 与数据库管理系统之间的媒介, 并与数据库管理系统进行交互。应用Gateway Agents 驻留在资源服务器端, 维护该应用运行所需的数据信息, 向中介端广播服务与

变化信息等, 监视并协助进入的Coordinators 执行应用, 响应用户请求。

在系统的分布式信息访问与资源集成功能设计中, 系统综合了Agent的移动性与消息传递机制。移动Agent实现的移动计算能力集成到分布式计算中。但是, 当移动Agents到达目的地后, 许多功能是通过消息传递机制完成的。另外, 系统综合应用了多种针对Agents旅行、任务实施和交互的设计模式以优化系统性能, 如执行任务的主从模式、Agent旅行的巡游模式和Agent交互的信使模式等的集成应用。系统中的移动Agents具有复制性与层次性, 即一个移动Agent可以根据需要克隆出多个Agents, 或者产生子移动Agents。这些性能使得动态灵活地组织Agent 执行相应的任务成为可能。

系统对哪些功能应由移动Agents执行而另一些功能由静态Agents 或消息传递完成进行了分工。其用户端不像传统的客户/服务器模式中那样“肥”而且专门化, 变得轻便而且可移动。在初始化阶段, 多种功能性的移动Agents 通过多线程的并行机制被发送到相关的客户; 在运行过程中的信息交换与任务的实施可以通过消息机制完成, 这样就降低了网络带宽与响应时间。在分布式体系结构方面, 系统计算模型中的中介层是研讨系统主持人角色的需要, 充当着用户请求与服务供应之间的媒介, 可将所有相关的资源与应用关联起来, 是移动Agents 的调度器与生命周期的管理器, 是分布式计算的业务逻辑中心; 新增的处于Agent层的各端间的Coordinators 处理全局性操作, 使得系统虽然有一个Mediator层但是各Agent的活动却是相对自由的, 从而削弱了分布式计算中存在一个主导进程与流程的控制中心的弊端。而那些Gateways为远程用户访问异种资源提供了透明网关, 可以避免异种数据库JDBC 驱动程序的下载与连接信息的初始化, 并避免经常从中介端下载移动Agents, 使得系统支持弱连接网络, 并且增强了通用性。智能信息Agent是智能的主动组件, 具有自主与反应能力, 可以根据动态网络环境调整路线与活动, 如当数据库信息变化或者Agent服务器服务失效时, Agent可以自行决定如何处理。

总之, 上述系统将移动Agent实现的移动计算集成到分布式计算中, 灵活地综合了Agent 的移动性与消息机制、算法与交互、多种类型的Agent技术、多种Agent设计模式。这种基于Agent的分布式系统的设计模式, 与通常的客户/服务器和浏览器/服务器计算模式相比, 具有更大的灵活性、更快的响应性能、对网络性能的低需求等优点, 对处理分布式复杂智能信息系统是有效的。

18.5.5 基于Agent的综合集成研讨系统的构成框架和工作机制

从具体功能上讲, 综合集成研讨系统所实现的核心功能即在于人-机结合和综合集成思想的具体化, 设计工作主要体现在人-机交互界面、人-人交互工具、研讨管理、研讨流程、意见综合算法、模型运算、模型共享、数据共享、资源调度、基于Internet的信息搜索、信息推荐等模块和算法的实现上。系统实现的重点是研讨环境的开发。在借鉴、吸收国内外网络会议系统的基础上, 研究者曾作为一个“示例系统”开发了一个多媒体的远程会议系统作为研讨环境, 其主要特点包括: ① 它以Internet为载体, 采用当前流行的多层业务逻辑和Java技术调度各种资源和设备, 实现各种必需的功能, 提供了灵活的扩展接口和方便的接入方式; ② 它有丰富的交互方式。专家可以选择视频、音频、手写板、键盘作为输入手段, 有效地降低了系统使用的门槛, 提高了系统的易用性, 此外系统还支持无线设备的接入, 使得移动研讨成为可能; ③ 它可实现数据级的共享功能。专家不但能够利用音频、视频和文字交流区域以及电子白板共享信息, 而且还能通过应用程序共享和屏幕共享查看其他专家运行其本地程序的情况, 在进行必要的设置之后, 得到授权的专家甚至可用远程控制另外一个专家的计算机, 调用其各种程序和模型, 查看其数据和资料, 由此实现彼此间的实时数据共享; ④ 专家的动态交互关系实现了可视化。该视图以前述研讨模型为基础, 描述了研讨过程中由专家的

发言所形成的动态网络,以及权威意见形成的过程,为专家随时了解研讨的状况提供了生动的界面。

示例系统的研讨厅系统综合采用了多媒体技术、数据与知识仓库技术(汇集以往的和现有的知识、研讨中得到的知识、各种相关数据与信息,专业和经验知识等以及数据库管理系统)、模型库技术(汇集模型、参数、算法、事例、现场建模等以及模型库管理系统)、多通道人机交互技术(手写与语音、视频输入)等,所建立的分布式研讨系统可让专家,无论处于何处,都可很方便地进入研讨系统之中。

根据研讨系统的需要,示例研讨系统还定义了如下几类Agent组件:① Role Agent。Aglet类扩展,针对专家、主持人、管理员3个角色提供不同的权限、功能、资源等支持界面与工具;具有主从、公私等地位之别。② Interface Agent。提供Role Agent完成研讨所需的研讨模板、方式、记录、报告显示、数据分析、信息显示、资源调用、可视建模、知识开发等交互界面。③ Administrator Agent。Aglet类扩展,位于主持人所在的中介端执行控制与业务逻辑调度,进行全局交互,如研讨启停、角色与权限的定义与控制、流程与状态管理、业务逻辑与资源调度等。④ Application Agent。Aglet类扩展,位于特定资源节点上封装模型、方法、意见综合等算法,以及这些资源的信息交互与管理等。⑤ Coordinator Agent。Aglet类扩展,由Role、Interface、Mediator等调度(静态)或以个体/包的形式派遣到相应节点上(移动),执行请求、发布或搜索信息、报告服务、执行 workflow,根据所达节点的需求,可能还会移动到其他节点上执行特定功能(如秘密研讨)。⑥ Resource Gateway Agent。位于各资源端,与进入的资源请求Agents协作,与资源库和/或应用服务交互完成资源请求。有了这些Agent,研讨系统中的各项功能可很方便的设计和执行的。

研究者作为示例开发的综合集成研讨系统的软件体系结构采用了请求器-中介器-供应器(requester-mediator-provider)计算模型,并扩展成嵌套的client/agent/server计算模式,即请求层、中介层、供应层。该嵌套的多层计算模式的工作机理如下:请求层是用户与机器的交互端,完成用户请求/响应;研讨所需的移动Agent是从中介层以移动包发送到请求层;这些移动Agent与本地静态Agent交互,或者继续传递到下一节点。中介层是主持人端,控制研讨进程与业务逻辑调度;由多个Administrator和Coordinator Agent组成,是研讨系统中移动Agent的发源地与控制中心,而且是分布计算与应用集成的调度器与业务逻辑中心;发布移动Agent到目标节点,管理移动Agent的状态、巡游计划与生命周期;注册资源与服务;协调请求层与供应层的协作。供应层包括多种资源服务与管理,向中介层报告应用与数据服务;通过Gateway/Coordinator Agent与相关节点协作,提供决策支持服务,给请求端返回结果。同时,网络上的每台计算机也都构成了client/agent/server三层模式:一个预装的Tahiti Aglet服务器构成本机的计算服务器;客户服务是本地静态Agent和/或到达的移动Agent,运行在Agent服务器上;一个由Coordinators组成的Agent中间层用于全局交互。

18.6 人-机结合综合集成智能系统研究的未来发展

在人-机结合的综合集成智能系统的研究和构建方面,综合集成研讨系统的提出和研究无疑是一个可贵的尝试。其所提出的:“针对某一复杂问题,致力于构建以综合集成为基础的智能工程系统,作为可操作的工作平台。对于不同的复杂问题,则更换平台的有关专家与数据即可处理,以实现该平台的通用性;在建立的综合集成研讨系统中,参加研讨的人与人,人与智能系统(计算机),智能系统与智能系统密切合作,籍助网络与数据仓库/知识库等技术对所研究的复杂问题进行研讨与反复论证”等观点,很有自己鲜明的特色。综合集成研讨系统综合了计算机网络技术、数据融合

技术、知识与信息的共享技术以及专家群体智能的优势，把智能系统的研制建立在了综合集成的基础上，并实现了从定性到定量的综合集成研讨系统，这无疑是智能技术发展的一次突破，推动了人-机结合智能系统的发展。

当然，我们也要看到，人-机结合的综合集成智能系统的研究和实现，还有许多问题需要进一步的探讨。比如，人-机优势如何充分互补的问题，因为将人作为被综合集成的对象所产生的问题，将是综合集成研究中最复杂的课题。这将涉及到把人的不精确处理和机器的精确处理在认知、表示、系统和操作等不同层面上进行综合集成的问题。再如，专家群体的知识、思维和智慧的综合集成问题。人的思维和智慧如何才能有效集成，也是一个需要深入研究的问题。还有，就是综合集成过程中的动态集成问题。虽然我们可以根据复杂问题求解的特点，对集成和研讨过程预先进行定义、划分和规范化，但是这种划分通常都是比较模糊的，对动态的过程和步骤转换的条件都难以进行严格的描述，这将增加系统动态综合集成的难度，并有可能在实际应用中产生分歧。要解决这些问题，一方面，需要深入研究**思维动态集成**的有效方法，需要深入研究人-机智慧综合集成的方法；另一方面，也需要深入研究开放的复杂系统本身的运行规律，以及解决复杂问题时群体智能涌现的有效方法等。

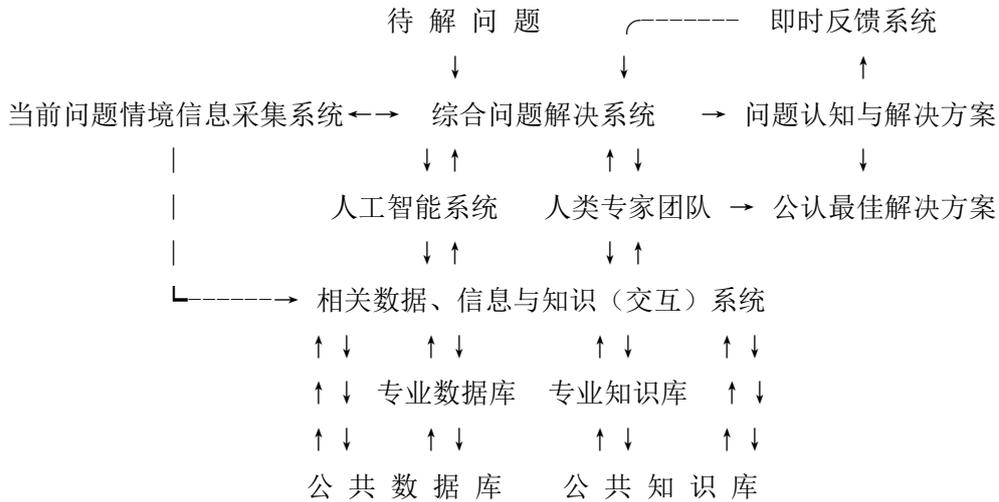


图 18.6.3 人-机结合的综合集成问题解决系统

我们认为，未来的问题解决系统，必定是汇集了人工智能和人类智能、汇集了人工专家系统和人类专家系统的集成式的综合问题解决系统。它可以有多种不同的实现方式，但其通用的模式，必定会是如图18.6.3所示的形式。当前，信息技术、网络技术已经为我们提供了必要的条件。在系统构建方面，我们努力的方向，应是首先建设各类公共和专业数据/信息/知识资源库，构建各类便捷的信息采集系统、信息交互系统，构建各类人工智能系统（特别是通用人工智能系统），构建各类人-机结合的综合问题研讨/学习/解决系统。而其技术的核心，一是可便于采集、交互和理解的信息表达技术；二是信息和知识的集成和综合运用技术；三是人-机信息、知识和思想的交互技术。特别是不确定性信息和知识的表征、集成和综合运用等。

对于人-机综合集成智能系统未来的发展，我们关注人-机结合、从定性(粗糙)到定量(精准)的综合集成研讨系统的研究，更看好人-机综合集成的超智能体系统理论的发展。关于人-机综合集成的超智能体系统的基本架构，我们将在下一章给出。

参考文献

- 1800 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]自然杂志, 1990, (01)
- 1801 戴汝为 王钰 关于智能系统的综合集成 科学通报1993年7月 第38卷第14期
- 1802 操龙兵, 戴汝为 综合集成研讨厅的软件体系结构 软件学报 Vol.13, No.8
- 1803 崔霞, 李耀东, 戴汝为 HWME中基于学习型组织的专家有效互动对话模型 管理科学学报 第7卷第2期2004年4月
- 1804 崔霞, 戴汝为, 李耀东 群体智慧在综合集成研讨厅体系中的涌现 系统仿真学报 Vol. 15 No. 1 Jan. 2003
- 1805 戴汝为, 李耀东. 基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, (04) .
- 1806 戴汝为. 支持科学决策和咨询的技术——思维系统工程[J]. 中国工程科学, 2005, (01) .
- 1807 戴汝为, 操龙兵. Internet——一个开放的复杂巨系统[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2003, (04) .
- 1809 戴汝为. “人机结合”的大成智慧[J]. 北方工业大学学报, 1996, (03) .
- 1810 崔霞, 戴汝为. 以人为中心的综合集成研讨厅体系——人工社会(一)[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006, (02) .
- 1811 崔霞, 戴汝为. 以人为中心的综合集成研讨厅体系——人工社会(二)[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006, (02) .
- 1812 戴汝为. 从基于逻辑的人工智能到社会智能的发展[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006, (02) .
- 1813 戴汝为. 系统科学与思维科学交叉发展的硕果——大成智慧工程[J]. 系统工程理论与实践, 2002, (05) .
- 1814 戴汝为. 复杂巨系统科学——一门 21 世纪的科学[J]. 自然杂志, 1997, (04) .
- 1815 戴汝为. 系统科学及系统复杂性研究[J]系统仿真学报, 2002, (11)
- 1819 卢格尔 (Luger. G. F) 人工智能: 复杂问题求解的结构和策略(英文版)(第 6 版) 机械工业出版社 • 2009 年 03 月
- 1820 戴汝为 人-机结合的智能科学和智能工程 《中国工程科学》 2004 年 05 期
- 1821 钱学森, 戴汝为著 论信息空间的大成智慧: 思维科学、文学艺术与信息网络的交融 上海交通大学 2007-01
- 1822 陈鹰 杨灿军 人机智能系统理论与方法 浙江大学出版社 2006 年 01 月