

从工程控制论到综合集成研讨厅体系 ——纪念钱学森归国 50周年^{*}

戴汝为

(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

1 前言

《工程控制论 (Engineering Cybematics)》一书是钱学森于 1954 年在美国加州理工学院喷气推进中心任教时用英文发表的一本专著。2004 年是该书出版 50 周年纪念, 这本专著被公认为是自动控制领域的经典著作之一, 50 年来也是该领域中引用率最高的文献之一。

1990 年钱学森发表了《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》^[1] 开创了我国科学家在系统科学和系统复杂性研究的新领域, 为 10 年后蓬勃发展的国际互联网和在中国大地上兴起的数字城市所证实。1992 年他适时地提出综合集成研讨厅的构思, 至今经过我国两代科学家的努力, 通过智能技术已经建成综合集成研讨厅体系。“我们比他们 (司马贺和 SFI 的研究人员) 高一个层次^[2]”, 从而走在了国际系统复杂性研究的前列。

2 奠定我国自动控制研究的基础

1955 年钱学森冲破重重阻碍从美国返回祖国, 回国后任刚建的中科院力学所所长, 并任中国自动化学会理事长, 历时 20 年。他回国后就在中关村化学所礼堂讲授工程控制论, 听众来自中科院的一些研究所、北大、清华等高校的教师与高年级学生约 200 余人。作者当时刚到力学所工作, 有幸参加听课, 并负责整理笔记分发听课人员。在美国学习工作了 20 年的钱学森, 刚回国给大家讲工程控制论, 给大家印象很深。他讲的是地道的普通话, 既流畅又清晰, 没有一个英文字, 这是花了很大功夫才做到的。记得他多次向所里一位副研询问索要用到的英文术语的中文译名, 如 random 这个字, 他花了不少功夫琢磨汉语应如何翻译, 在课堂上用了“随机”二字。他的讲课能够引人入胜, 既有概括又有提高, 不带书, 粉笔字写得工整秀丽。北大的教师和同学反映, 以前很少听过讲得这么好的课。

《工程控制论》是继美国科学家维纳于 1948 年发表的著名《控制论》(关于在动物和机器中控制和通讯的科学) 一书后, 以火箭为应用背景的自动控制方面的著作, 书中充分体现并拓展了《控制论》的思想。据记载维纳曾经于 1935 年在清华数学系与电机系做过访问教授, 所以后来有人认为“控制论”的思想可能是作者在中国清华大学时开始的。《工程控制论》是继《控制论》之后, 对控制与制导方面进行创造性论述的专著, 中国科学家成为推动控制论科学思想的重要代表人物。当时前苏联哲学界, 由于《工程控制论》的问世, 才从原来对控制论的批判转为后来加以赞扬, 可见这种学术思想的效应是多么深远。这一事实于 1960 年在莫斯科举行的第一届国际自控联 (IFAC) 大会上对维纳的倍加赞扬而得到证实。

《工程控制论》于 1956 年获中国科学院自然科学一等奖。1956 年该书的俄文版问世, 1957 年德文版刊出, 1958 年中文版正式出版。它是由何善培与戴汝为在整理 1955 年钱学森在力学所讲授《工程控制论》的笔记, 参照英文原书, 并吸收俄文版所添加的俄文文献整理而成。《工程控制论》中的一些内容被纳入专业教科书, 它成为自动控制领域的一本经典著作。

^{*}: 原载《自然》杂志, 2005, 27(6)。

同时《工程控制论》的讲授和钱学森在科研及工程上的指导为我国培养了一代自动控制方面的专家。他们分别在各自的岗位上取得成就,有的并且从教,担任了大学校长,如西北工业大学原校长戴冠中、汕头大学原校长戴景成、国防科技大学原校长郭桂蓉都是受该书的影响转而从从事自动控制研究的。可以说《工程控制论》及钱学森的教学和科研实践奠定了我国自动控制研究领域的基础。

3 前瞻性的学术思想

众所周知,《工程控制论》以学术思想的前瞻性而闻名于世,美国斯坦福大学的 D. G. Luenberger 教授及哈佛大学何毓琦(Y. C. Ho)等教授认为,工程控制论的学术思想在科学界超前 510 年,开辟了一系列控制方面的新方向。前苏联的伊万赫年科等则陆续发表了同名的专著,并明确地介绍这是中国钱学森开创的新领域。我国自动控制专家、已故的高为炳曾撰文论述过工程控制论是自动控制领域中引用率最高的著作。

直到近年来,2004 年 11 月在清华大学举行的 International Symposium on Intelligent and Networked Systems 会上,瑞典科学院院士、国际著名的自动控制专家 Karl Åström 在他的报告中介绍了自动控制发展过程中的四本专著,一是詹姆斯·尼克斯与飞利浦斯合著的《伺服系统理论(H. James N. Nichols R. Phillips Theory of Servomechanisms)》,二是维纳的《控制论(N. Wiener Cybematics on Control and Communication in the Animal and the Machine)》,三是钱学森的《工程控制论(H. S. Tsien Engineering Cybematics)》,四是贝尔曼的《应用动态规划(R. Bellman Applied Dynamic Programming)》。Åström 还向作者介绍了他当时就读于加州理工学院的情况。《工程控制论》于 1954 年出版前后,该校就开设工程控制论的课程,但当时不是钱学森自己讲,而是他让另外一位年轻的教授讲,他自己与学生坐在一起听,讲得不对或不恰当之处他站起来发言加以阐述,颇为生动有趣。另外,Åström 等于 2000 年编著的一本名为《Control of Complex System》一书中引用了《工程控制论》一书中的观点。

2000 年 7 月在美国马里兰大学举行了一个控制领域现状及其未来的机会的讨论会,由 Richard M. Murray 为首的一个五人专家小组提出的“控制技术在信息丰富的世界中未来的发展方向”中,在有关机器人技术和智能机械方面有下面一段话:“控制论工程的目标,在 20 世纪 40 年代甚至更早就已经被明确表达,就是使系统能展现出高度的灵活的展示或对变化的环境作出‘智能’反应。在 1948 年,麻省理工学院的数学家 Norbert Wiener 给出了一个对控制论进行了广博的虽然是完全非数学的描述。钱学森通过与控制导弹有关的问题的驱动,于 1954 年提出了可作更多数学解释的《工程控制论》。这些工作及那时候其它的工作的聚合,形成了在机器人技术和控制的现代工作中大部分智力的基础”。

科学的真知灼见表现在其对发展的前瞻性,50 年前问世的《工程控制论》一书中对这门新的科学的论述至今仍让人难以忘怀。该书的前言中有如下一段话:

“这门新科学的一个非常突出的特点就是完全不考虑能量、热量和效率等因素,可是在其它各门自然科学中这些因素却是十分重要的。控制论所讨论的主要问题是一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质,以及整个系统的综合行为”。

4 青出于蓝而胜于蓝

钱学森在美国东部的 MIT 取得硕士学位后,就到西部的加州理工学院师从应用力学大师冯·卡门,他在攻读博士学位期间已经取得了优异的成绩。当时在可压缩气体方面所提出的卡门——钱学森公式,后来成为空气动力学方面教科书中的内容而传之后世。1955 年钱学森冲破重重阻力准备返回中国大陆之前,曾经由夫人蒋英、儿子永刚和女儿永真陪伴,并且带着在加州理工学院的物理力学讲义和不久前出版的《Engineering Cybematics》等材料 and 书籍向恩师告别。冯·卡门接过材料翻阅后,说了大意如下的一段话:“你在学术上的成就已经超过了。因为有你这样一位学生我感到骄傲”。几十年后,当 1991 年钱学森获国家杰出贡献科学家奖时,有记者采访问他获得大奖是否很激动,回答出人意料,他说并不激动。因为自己一生已经激动过三次了,第一次激动就是与导师告别时导师所说的上述一段话。当时自己感到在美国学习和工作

了 20 年将回大陆为祖国人民服务,在学术上国际大师认为超过了自己,所以感到十分激动。实际的情况正是这样,在此之前在应用力学方面,冯·卡门已经把自己所承担的工作大都交给达到自己水平的钱学森了,而这位学生又在物理力学及工程控制论等方面,自己未进行过的研究工作领域做出了卓越的成绩,真是青出于蓝而胜于蓝了。

5 对系统科学三个层次的杰出贡献

钱学森于 1955 年返回祖国后,在我国的“两弹一星”及航天技术的发展方面所做出的贡献是家喻户晓的,不仅如此他还以学识的渊博受到大家的尊敬。他在 20 世纪中期有过一个预言:可以预料,从某种意义上说,本世纪末到下个世纪初,将是一个学科交叉的时代。我们回顾钱学森近 30 年来的科学研究活动,可以看到他在系统科学、思维科学及复杂性科学等等方面都有开创性的及奠基性的工作。他所阐明的现代科学技术体系设想,更加体现了钱学森在众多领域中的博大精深。这里只略述在系统科学领域的贡献。

按照钱学森关于现代科学体系的观点,他认为自己对于工程控制论的工作是系统科学的技术科学层次,系统工程是工程应用层次,而开放的复杂巨系统理论则属于系统科学的基础科学层次,他给我们留下了珍贵的科学著作:

《Engineering Cybematics》	1954 年
“组织管理的技术——系统工程”	1978 年
《论系统工程》	1982 年
“一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”	1990 年
《智慧的钥匙》钱学森论系统科学	2005 年

总之钱学森从工程控制论开始,进一步解决工程应用的问题,1990 年提出开放复杂巨系统 (OCGS) 及处理这类系统的方法论,即以人为主、人机结合,从定性到定量的综合集成法。这里,需要做一点解释:1990 年提出综合集成法表达为“定性与定量相结合的综合集成法”,后经过讨论,改为“从定性到定量的综合集成法”。

钱学森在系统科学领域以技术科学层次开创;在实践中不断地拓宽工程应用;在这种深厚的技术和工程背景下,发展到系统学的基础层次,从而对系统科学做出了全面的贡献。

当前,国内提出科学的发展观,在中华民族振兴屹立于世界的伟大进程中,我们面对着许多急需处理的与开放的复杂巨系统 (OCGS) 相联系的复杂问题,如社会经济发展,自然环境的生态保护问题,一些关键领域发展的决策以及构建和谐社会等重大问题。近年来大家开始了解到,Internet 及其用户就是 OCGS 的典型。大家关注的数字城市,由大量城市楼宇住户及城市中的住户与居民,以及商务系统、政务系统等等组成的城市也就是一个 OCGS 因而开放的复杂巨系统科学是 21 世纪的科学^[3]。钱学森在 1991 年发表的“再谈开放的复杂巨系统”一文中曾强调过他的看法:中国的社会主义建设必须考虑国际的影响,只有从一个一个具体的开放复杂巨系统入手进行研究,当这些具体的开放复杂巨系统的研究成果多了,才能从中提炼出一般的开放复杂巨系统理论,形成开放的复杂巨系统学,作为系统科学的一部分。20 世纪 50 年代形成工程控制论就是采用这个办法,是从一个一个自动控制技术中提炼出来的。在进行科学研究的过程中,从实际出发是个十分重要的问题,在开放的复杂巨系统及系统复杂性的研究中应以此为鉴。对开放的复杂巨系统而言,实践经验和资料累积最丰富的是社会系统和人体系统,前者是关系到国家事务的大问题,后者是涉及人民健康发展的大问题。这正是今天构建和谐社会当中的重要问题,而钱学森十几年前就提出了处理开放复杂巨系统的方法论,我们不禁更加为他的关心国家民族振兴并且为之无私奉献的精神所折服。

6 推动思维科学、系统科学的交叉发展

钱学森早在 20 世纪 80 年代就提出开展思维科学的研究,并提出思维科学研究的突破点在于“形象思维”的研究。他在 1991 年的“再谈开放的复杂巨系统”一文中,明确地论述了研究这类系统要有正确的指导思想,要用思维科学的成果从定性到定量的综合集成技术,实际上是思维科学的一项应用技术,研究 OCGS

一定要靠这个技术。应用技术发展了,也会提炼,上升到思维学的理论,最后上升到思维学的哲学——认识论。在思维科学研究的策略上,再次表现出了钱学森依托技术背景,重应用、讲效果,在不断实践中发展并上升到理论的科学务实作风。

1992年3月2日,钱学森给他当时的秘书王寿云将军的信中提出“从定性到定量的综合集成研讨厅”的构思,汇总了下列成功的经验:

- 1) 几十年来世界学术讨论的 Seminar;
- 2) C^3/I 及作战模拟;
- 3) 从定性到定量的综合集成法;
- 4) 情报信息技术;
- 5) “第五次产业革命”;
- 6) 人工智能;
- 7) “灵境”技术;
- 8) 人一机结合的智能系统;
- 9) 系统学等;

.....

在信中并认为,这又是一次飞跃。

在该信发出后,他于3月6日又给当时863计划智能计算机主题的负责人汪成为写信,谈到:最近我向王寿云提出一个新名词,叫“从定性到定量综合集成研讨厅体系”,是专家们用计算机(可能几十亿次/秒)和信息资料情报系统一起工作的“厅”,这个概念行不行请您们研究。一个星期后的3月13日,钱学森又给作者写信,信中谈到:最近我已告王寿云和汪成为,现在再向您说,我们的目标是建成一个“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”。这是把专家们和知识库信息系统、各种AI系统、几十亿次/秒的巨型计算机,像作战指挥演示厅那样组织起来,成为巨型人机结合智能系统。组织二字代表了逻辑、理性,而专家们和各种AI系统代表了非逻辑、非理性智能。所以这个厅是21世纪的民主集中制工作厅,是辩证思维的体现!自本世纪初以来,发达国家中成功的科学研究中心,都有所谓 Seminar 我在 Caltech 就有幸参加过这种活动,印象很深,这真是民主集中!在社会主义中国,我们应该把这个宝贵经验与毛泽东思想加现代科学技术结合起来,这就是厅。10天之后钱学森从思维科学的角度给作者写了另一封信,信中主要谈到:我想到一个问题,人的思维能力是不断发展的。1) 人类的历史含有此意;2) 一个人的思维能力也如此。那么它又是怎样发展的呢?第一是人脑这个开放的复杂巨系统就有很强的可塑性,是活的不是死的、不变的;第二是加实践的作用。.....而思维科学的任务就是从思维的角度找出思维能力发展的途径并付诸实施,当然这里首先要解决什么叫思维能力,也就是什么叫聪明、智慧?我们要研究的从定性到定量的综合集成研讨厅体系就是完成思维科学这一任务的一个建议^[4]。

这样,把思维科学的应用技术,综合集成法来处理系统科学的基础科学开放的复杂巨系统有关问题,推出它在应用层次的实践形式,从定性到定量的综合集成法研讨厅体系,这是钱学森在思维科学和系统科学交叉研究中的贡献,是自然科学和人文科学交融的体现。正如马克思所预言:“自然科学往后将会把关于人类的科学总括在自己下面,正如同关于人类的科学把自然科学总括在自己下面一样”^[5]。

7 构建综合集成研讨厅体系

钱学森对构建综合集成研讨厅(HWME)赋予了极大关注与多方面的指导,在1992年到1999年当中他在给作者的几十封信中多次提到综合集成研讨厅的关键和特点并对之进行了深刻的论述,例如谈到:辩证思维、社会思维、“泛化”的形象思维、研讨厅体系是同时结合形象思维和逻辑思维,因而是创造思维的好范例;人机结合的重要作用和深远意义;研讨厅体系就是知识发现技术等方面,从而形成了综合集成研讨厅的理论框架。

在国家自然科学基金委员会的大力支持与资助下,作者所在科研集体对OCGS和综合集成研讨厅进行

了十多年的研究,经过智能系统的综合集成、知识工程的应用、人机结合理论的实践以及研讨厅的结构设计、信息技术软硬件的开发与具体构建等阶段。目前,已经研制成功了一个可用的研讨厅系统,已通过有关部门的验收,并多次在国内外进行演示,正在一些领域推广应用^[6]。

作为思维科学(认知科学)的一项应用技术,与其它各种方法论不同的是,综合集成研讨厅体系不是一系列的公式的汇总,也不是以某几条公理为基础搭建起来的抽象框架。其实质是指导人们在处理复杂问题时,把专家的智慧、计算机的高性能和各种数据、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、人机结合的巨型智能系统和问题求解系统。这个方法论的成功应用在于发挥该系统的整体优势和综合优势。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,涉及到思维科学(认知科学)的研究,机器智能涉及到人工智能研究,二者之间的结合则有赖于人机交互技术。从这几种角度出发,通过长期研究,认为实现综合集成研讨厅体系,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,则更换与问题有关的专家与数据、方法即可处理,使得该平台可以解决一些 OCGS 所派生出来的复杂问题。

从构建基于综合集成的智能工程系统,实现可操作的平台出发,研制重点在于:1)充分利用信息技术(核心是网络技术和计算机技术);2)从软硬件体系和组织结构上实现该系统,使之应用于复杂问题的研究实践。涉及到的关键问题包括:人机结合导致群体智慧的涌现、研讨组织方法研究和专家群体的有效交互规范、知识管理、系统开发方法、模型集成机制、人机交互方法、信息协作推荐技术等。

在综合集成研讨厅的概念中,“厅(Hall)”的含义在于:研讨厅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智能系统。其最初的构思类似综合了上述系统的会议厅。

随着 Internet 和网络的迅速普及,深入人们工作和生活的每一个层面,“Cyberspace(电子空间或数字空间)”成为一个重要的概念,它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。信息技术的这个发展,为综合集成研讨厅的实现提供了一种新的、可能的形式,是对传统“厅”的一种扩展。因此,可建立基于 Cyberspace 的综合集成研讨厅,即 Cyberspace for Workshop of Metasynthetic Engineering。从 HWME 到 CWME 是信息社会条件下,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,为实现这一人一机结合的巨型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,切实可行的方案是充分利用信息技术的成果,构建一个分布式系统。

钱学森预见到这种空间的扩展,他指出:“有关老词是 noosphere(思维圈),新词的 virtual reality 似宜仍用‘灵境’;而 Cyberspace 是人一机结合的思维思想活动世界,似可称为‘智慧大世界’,简称‘智界’”^[7]。通过基于综合集成研讨厅体系的建成,实现了钱学森的科学构思,从综合集成研讨厅体系广阔的应用前景中,我们更加体会到钱学森对我国系统科学、思维科学和系统复杂性研究领域的高瞻远瞩。

8 创新思维在碰撞中闪光

近年来,国际科学界“复杂性研究”崛起^[8],被称为是 21 世纪的重要科学领域之一。认知科学,以其和人类自己发展的紧密联系以及与环境结合凸显出来的“现场”作用而昭示了日益重要的作用,因而成为当前的四大基础研究领域之一。因为钱学森提出:“复杂巨系统只能用‘从定性到定量的综合集成法’和‘综合集成研讨厅’加以处理解决”,所以我们比人工智能和认知科学家美国的司马贺,和国际上在复杂性研究领域享有“厄采的狂放世界”之称的 SFI 的研究人员高一个层次。这意味着在处理复杂巨系统有关问题的方法论和可操作性领域,我们走在国际前列。

钱学森在思维科学方面的许多精辟论述,例如人的思维能力的提高、人一机的相互作用、从定性到定量综

合集成法、对于认知科学和系统复杂性研究阐述的一些重要的观点等,这些对我们开展认知科学与思维科学结合进行研究起到指导性的作用。同时,他为我们研究方法和注重实践、体现可操作性方面树立了一个典范。正如《文汇报》对钱学森的报导中所说:“从科学史上看,大科学家变成大思想家的也不乏其例,但钱学森与他们又有些不一样。他没有离开工程科学的本色,即他提出的思想很有操作性,他不光是提出一个思想原则就算了,而且有一整套操作的技术,从思想方法一直到最后技术上的实施,有一整套的方法”^[9]。这值得我们认真学习。

现在看来,钱学森的一些学术观点,已在其后的科学实践中得到证实。回顾半个世纪以来他在学术上的创新观点,从其提出到被学界所认识,再到通过工程实践加以实现,这个过程充满着发现、置疑、非议、探讨和认同,这也正是许多前瞻性的学术思想、观点在科学史上的共同经历。50年前《工程控制论》问世之初并未受到重视,15年前“开放的复杂巨系统及其方法论”发表时,也曾面临一度淡漠。但时间的烟尘并未掩盖思想创新的光芒,现在这些学术思想的前瞻性已为科技的发展和社会的进步得到证实。这次综合集成研讨厅体系的构建得以实现其中应该特别提及的是我国科技体制改革所建立的“香山科学会议”对创新思想的支持。“香山科学会议”以其前沿性、前瞻性和交叉性、综合性而著称,曾有人媲美美国的高登会议(Golden Research Conferences)。从1994年7月第20次会议对开放复杂巨系统方法论展开讨论;1997年1月第68次会议对其在理论与实践上的进展进行大视野、多角度、高层次的学科交叉和研究讨论,钱学森在会议的书面发言当中,从科学方法论的高度再次论证了开放的复杂巨系统及其方法论的有效性;1998年12月第110次会议上,以控制论与科学技术革命为题,阐述了控制论、工程控制论对科技进步的巨大影响并缅怀了维纳和钱学森的杰出的科学贡献;紧接着,4个月之后的第112次会议以“复杂性科学”为主题,沟通各领域科学家对复杂性科学的认识,探讨我国复杂性科学研究的方向,对系统概念的重要以及开放的复杂巨系统的观点进行了深化的探讨^[10]。历时6年,经过了对开放的复杂巨系统的具体研究和构建综合集成研讨厅的工程实践,在开发出可操作的平台的基础上,于2005年9月举行了262次“香山科学会议”,主要由军事系统工程科技人员参与,主题是“从定性到定量综合集成研讨厅的理论与实践”。会议对“从定性到定量综合集成方法”和研讨厅体系的重要方法论意义和实践价值进行了充分探讨和认识。认为现代军事系统是典型的开放复杂巨系统,运用“从定性到定量综合集成研讨厅体系”的理论和解决方法解决军事系统的科学决策问题,有着十分重要的现实意义^[11]。这几次香山科学会议贯串着对钱学森的开放复杂巨系统和综合集成研讨厅等学术观点的探讨与深化,在其实践和发展中发挥了重要作用。正如香山会议十年历程文集的标题所示:“创新思想在碰撞中闪光”。

最后,结束本文时,作者衷心感谢钱学森从20世纪80年代近二十年来,给作者指明研究方向,探讨学术问题,使作者深受教益。“尊其所闻,行其所知”,钱学森的科学思想将永远鼓舞着我们在实现中华民族伟大复兴的科学研究道路上不懈前进!

参考文献:

- [1] 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,1990,13(1):3—10.
- [2] 钱学森.致戴汝为信件[Z].1998年7月4日.
- [3] 戴汝为.复杂巨系统科学——一门21世纪的科学[J].自然杂志,1997,19(4):187—192.
- [4] 钱学森.致王寿云,汪成为,戴汝为信件[A].开放的复杂巨系统[M].杭州:浙江科学技术出版社,1996.278—282.
- [5] 马克思.经济学一哲学手稿[M].北京:人民出版社,1957.91.
- [6] 戴汝为.基于智能技术的综合集成研讨厅体系[R].北京:香山科学会议第262次学术讨论会中心议题报告,2005.
- [7] 钱学森.致戴汝为信件[Z].1995年2月2日.
- [8] 戴汝为,沙飞.复杂性问题研究综述:概念及研究方法[J].自然杂志,1995,17(2):73—78.
- [9] 文汇报,2001年3月21日,11版.
- [10] 创新思想在碰撞中闪光.中国环境科学出版社,2003.
- [11] 香山科学会议简报,247期,2005年10月26日.