



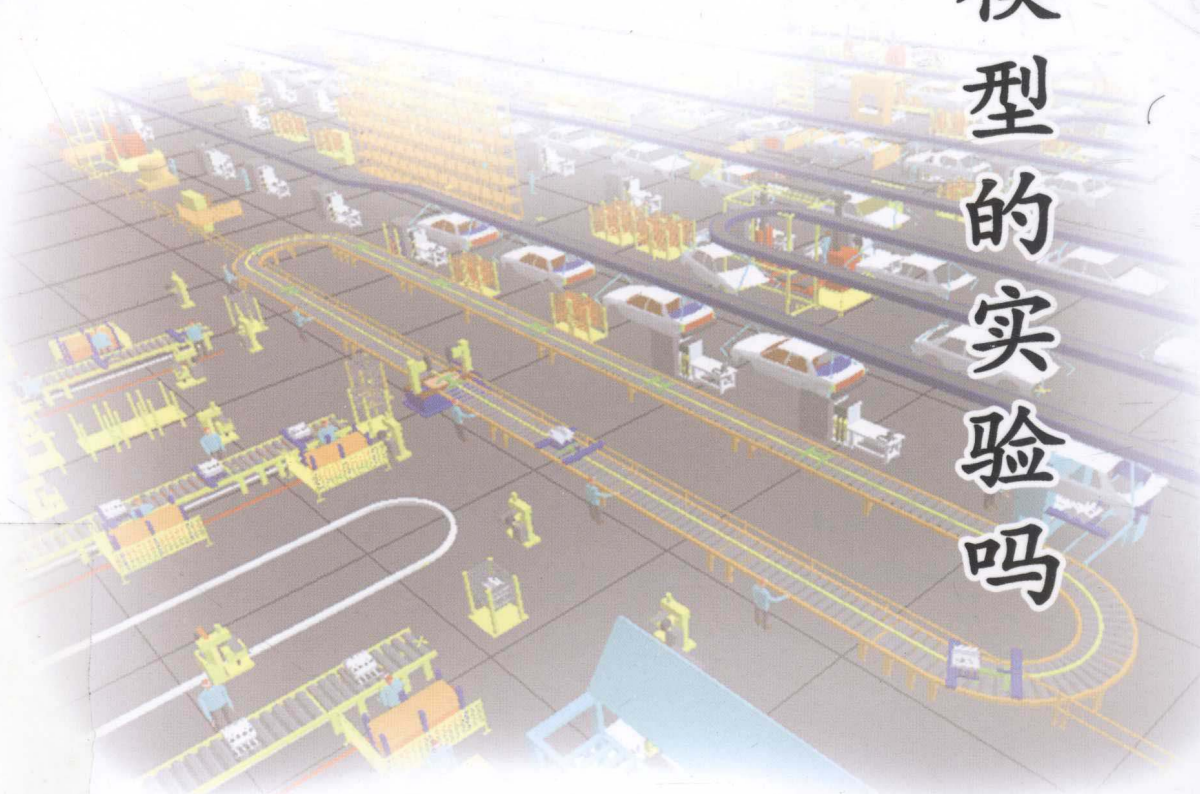
中国科协学会学术部 编

新

观点新学说学术沙龙文集

37

仿真是基于模型的实验吗



中国科学技术出版社

新观点新学说学术沙龙文集③⑦

仿真是基于模型的实验吗

中国科协学会学术部 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

仿真是基于模型的实验吗/中国科协学会学术部编.
—北京:中国科学技术出版社,2010.4
(新观点新学说学术沙龙文集;37)
ISBN 978-7-5046-5028-3

I. ①仿… II. ①中… III. ①仿真-研究 IV. ①N032
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 030227 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081
电话:010-62173865 传真:010-62179148
<http://www.kjpbbooks.com.cn>
科学普及出版社发行部发行
北京迪鑫印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:6.625 字数:200 千字
2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷
印数:1-2000 册 定价:18.00 元

序 言

近年来,发达国家对仿真技术非常重视。在 2005 年前后,美国总统信息技术顾问委员会交给总统一个咨询报告——《计算科学确保美国赢得竞争》。该咨询报告有一个观点:“计算科学与理论和实验并列为科学研究的第三个重要手段”。其中特别指出:“计算科学是研究各类复杂系统的有效手段。”他们认为,“计算科学”由三部分组成:计算机科学和信息科学、建模仿真技术、计算设施。美国科学院、美国国防部也有不少类似的文章或报告。

众所周知,建模仿真技术已成功地应用于高新技术领域及国民经济和国家安全各个方面。目前,建模仿真技术的应用向“三全”(被研究对象的全系统、全生命周期活动、管理全方位)发展。我国的建模仿真技术经过 40 多年的发展,已取得很大的进步。但是从整体上看,与先进国家相比,我们在建模仿真的理论、方法、技术、工具等方面还有阶段性的差距。所以我们国家还要大力加强建模仿真技术的研究和应用。

2007 年中国科协的第八期新观点新学说学术沙龙的主题是“仿真是信息时代认识和改造实践的第三种方法吗”,本期沙龙的主题是“仿真是基于模型的实验吗”,是上次沙龙的延续和发展。其主要内容是进一步探讨仿真技术的内涵和作用,特别是探讨仿真与科学实验的关系。具体地讲,仿真技术的内涵到底是什么?仿真和科学理论与实验的关系是什么?仿真对世界的认识和改造的作用是什么?我们国家在该领域的发展思路是什么?

本期沙龙围绕仿真的内涵及其发展,对仿真与实验的异同等,展开了热烈和认真的探讨,总的概括起来有如下几类观点:

(1) “仿真是基于模型的实验”的提法是合适的。

(2) “仿真是基于模型的实验”的提法不够全面,而应提为“仿真是基于模型的活动”;或“仿真是一种基于模型运行的科学研究活动”。

(3)“仿真是基于模型的重要的科学研究手段”;或“仿真成为继理论与实验后认识世界的第三种基本活动”的提法更为确切。

(4)“仿真是基于模型的科学研究”的提法更为合适等。

这些观点不尽统一,但通过研讨,我们对仿真的内涵与发展以及仿真与实验的异同等有了进一步的认识,表现在下面八个方面:

第一,“仿真科学与技术”学科是以相似理论、模型理论、系统技术、信息技术以及建模与仿真应用领域的有关专业技术为基础,以计算机系统、与应用相关的物理效应设备及仿真器为工具,根据对系统仿真的目标,建立并利用模型,对系统(已有的或设想的)进行研究、分析、试验、运行和评估(系统全生命周期活动)的一门综合性、交叉性学科。

第二,各类模型是进行仿真的基础。模型按其被建模的系统类型分为人体模型、环境模型和实体模型等。按仿真的处理流程可分为被仿真的系统模型以及在仿真系统上求解系统模型的仿真模型等。仿真模型按其实现方式可分为计算机仿真模型、物理仿真模型、半实物仿真模型、人在回路中的仿真模型等。按照建模方法与技术又可将模型分为基于机理的模型、基于数据的模型、面向对象的模型、面向组件的模型、面向服务的模型等等。

第三,仿真活动本质上是一种知识处理的过程,它可分为四类活动,即以模型为基础的活动,与模型行为有关的活动,与仿真活动质量有关的活动以及与仿真活动管理有关的活动。

第四,仿真是信息时代在科学与工程、社会科学、管理科学、生命科学、军事等等领域的系统论证、实验、分析、设计、运行、维护、辅助决策、人员训练、教育等活动中一种具有特色的、有效、重要、不可缺少的研究手段。

第五,在应用需求的牵引下,在相关技术发展的推动下,仿真科学与技术已持续地发展为一个相对独立的学科。目前,它已形成了独立的知识体系,包括学科的理论基础、知识基础、方法论、学科结构、学科课程体系等。

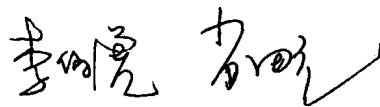
第六,在仿真科学技术的发展中,要充分重视与计算机科学、信息科学、计算机设施的融合。同时,要积极开展仿真科学与技术嵌入其他科学技术的前沿

性研究。

第七，在认识和改造世界的活动中，理论研究、实验研究与仿真研究之间各有特色，但又相辅相成。

第八，本期沙龙提出了值得进一步探讨与主题有关的问题。包括：① 信息时代，认识改造世界对研究手段总的需求是什么？应该如何发展仿真科学与技术去顺应这种需求？② 在信息时代认识、改造世界的活动中，要进一步总结和深化理论研究、实验研究、仿真研究之间的异同和关系的认识；③ 要不断总结和完善仿真科学技术的内涵、理论、方法和技术，尤其要加强建模、验模的理论和算法研究。

相信本次沙龙对促进人们对仿真的认识和发展我国的仿真事业将起到积极作用，这也是这次沙龙最终的期望效果。希望仿真学会和仿真工作者为推动我国仿真科学技术的研究、应用、产业和人才的培养作出新的贡献。任重道远，前途光明，让我们共同努力吧！

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李明' (Li Ming), followed by a long, sweeping horizontal stroke.

2010年1月2日

目 录

仿真是基于模型的活动	肖田元(3)
仿真是一种重要的基于模型的实验	刘藻珍(10)
仿真是一种基于模型运行的科学及工程活动	刘兴堂(12)
仿真的进行可能先于系统完全建模	金炜东(14)
仿真是基于模型的实验	梁炳成(18)
计算机博弈是作战模拟的关键技术之一	徐心和(21)
计算机仿真有独立的生命吗 ——计算机仿真是一种独立的科学实验	范文慧(31)
数字仿真是基于模型的实验吗	张 霖(41)
实体上的科学实验属于仿真活动	康凤举(48)
仿真是基于数学模型的一种科学方法	荣起国(50)
模型是建模与仿真理论/本体论的核心	王正中(55)
仿真不是基于模型的实验,而是基于模型的第三种认识 世界的基本活动	费敏锐(66)
仿真是一种基于模型运行的科学研究活动	李伯虎(84)
专家简介	(86)
部分媒体报道	(96)



会议时间

2009 年 10 月 16 ~ 17 日

会议主题

仿真是基于模型的实验吗

会议地点

厦门港湾大酒店

主持人

李伯虎 肖田元

李伯虎：

由中国科学技术协会学术部主办的中国科协第 37 期新观点新学说学术沙龙现在开始。

我首先代表组织者热烈欢迎各位的光临,同时衷心感谢大家的支持。大家知道,近年来发达国家对仿真技术非常重视,在 2005 年前后,美国总统技术顾问委员会给总统一份咨询报告叫做《计算科学确保美国赢得竞争》。其中有一个观点是“计算科学与理论和实验并列为科学研究的第三个重要手段,特别是成为研究各类复杂系统的有效手段。”他们认为“计算科学”由三部分组成:第一部分是建模仿真技术,第二部分是计算机科学和信息科学,第三部分是计算设施。

众所周知,当今建模仿真技术已成功地应用于高新技术领域及国民经济和国家安全各个方面。目前,建模仿真技术的应用向“三全”(被研究对



象的全系统、全生命周期活动、管理全方位)发展。我们国家在建模仿真技术、高性能计算机、仿真应用技术等方面经过 40 多年的发展,取得了很大的进步。但是整体上和先进国家相比,我们的理论、方法、技术、工具还是有一些阶段性的差距。所以,我们国家还要大力加强建模仿真技术的研究和应用。

“沙龙”是倡导大胆创新、交流互动的一个好的形式。2007 年中国科协的第八期新观点新学说学术沙龙,其主题是“仿真是信息时代认识和改造实践的第三种方法吗”,本期沙龙是上次沙龙的延续和发展。本期沙龙的主题是“仿真是基于模型的实验吗”,其主要的内容是进一步探讨仿真技术的内涵和作用,特别是仿真跟科学实验的关系。具体地讲,还提出了一些更细的具体问题,比如说仿真技术内涵到底是什么?仿真和科学理论与实验的关系是什么?仿真对世界的认识和改造的作用是什么?我们国家在该领域的发展思路等。大家可以对这些具体问题展开讨论。

有一个特殊的情况:有几位国家重点实验室的负责人今天不能够到会,但是我们还是想将他们的一些专题发言稿编入文集,以供大家研究。



仿真是基于模型的活动

◎ 肖田元

很高兴参加今天的沙龙。李院士要我作第一个发言,我先树个靶子,谈一家之言,希望可以引起大家的争论。我的发言题目是“仿真是基于模型的实验吗?从定义的演变看仿真的内涵发展”。

这次沙龙的主题“仿真是基于模型的实验吗”,给人的感觉“仿真”只是“实验”的一部分,实验有很多种,仿真只是实验的一种方法。

我的观点是:仿真科学已经成为与理论科学、实验科学并行的第三种科学研究方法,如果现在仅仅把仿真作为实验的一个子集,就会束缚仿真科学的发展。

美国科学院给总统的报告中,将计算科学作为第三种科学方法。美国前国家科学基金会主任 Rita Colwell 说,“过去认为科学通常包含理论和实验两方面的努力,现在科学还包含第三个方面的内容,即计算机仿真,并由计算机仿真将理论和实验两方面连接起来”。美国能源部科学办公室主任 Dr. Raymond L. Orbach 也说,“在 21 世纪的科学中,仿真和高端计算是理论和实验学的平等伙伴。”“仿真是一种与实验和理论对等的方法论”。日本庆应义塾大学物理系教授 Fumiko Yonezawa 也认为,“Computer-assisted physics (Numerical simulation) can be considered the third approach besides experimental and theoretical physics”。

因此,在讨论这个问题的时候,我们应该把它放在科学范畴里面。到底什么是科学呢?按照 Wiktionary 字典的解释,科学是一种基于科学方法探寻知识的系统,也是通过这种研究所获取的知识体系。科学可以分为纯科学与应用科学,应用科学是把学术研究运用到人类的具体需求中。仿真这个学



科主要归到应用科学里面,当然,仿真可以借鉴纯科学的方法论。我从应用科学来谈仿真和实验的关系。

要讲仿真和实验的关系,首先要清楚在科学范畴什么叫实验。美国有词典对实验的定义是:实验是在受控条件下为演示一项真理、检验假设的正确性或确定以前未试用过的某物的效能而做的试验。实验是一种方法论,产生了实验科学。实验科学的历史发展背景对我们来理解仿真和实验的关系是有益的。实验科学是指18世纪以前的经典自然科学中以实验方法为基础的科学,它是理论自然科学以后从12世纪开始由培根倡导的。培根认为,科学实验必须是实验的、归纳的,一切真理都必须以大量确凿的事实材料为依据,并提出一套实验科学的“三表法”,即寻找因果联系的科学归纳法。20世纪以来,由于现代科学的高度综合性质,现在数学工具,特别计算机技术的发展,一般只是把那些实验性较强的科学称为实验科学(狭义)。

实验即科学实验的定义是:“通指运用一定的仪器设备,在人工控制的条件下观察研究自然现象及其规律性的特殊的社会实验形式,是获取经验事实和检验科学假说、理论真理性的根本途径”,有三个要素:作为主体的实验者、作为客体的实验对象、作为联系主客体桥梁的实验手段(仪器、设备等)。狭义的科学实验包括模拟实验,它把仿真、模拟放在实验范畴里面。

按照“第三种方法”的观点,仿真可以称为仿真科学。我们讨论仿真是不是基于模型的实验,该命题的含义是:在科学方法论意义上讨论仿真的内涵是什么?从这个意义上来讲我认为仿真科学已经不是局限在实验科学的一部分了。

现在,如果我们还是把仿真、模拟放在实验范畴里来认识,会带来什么负面的作用呢?对我们科学发展到底是有利还是不利?这些问题值得探讨。

我的观点是:如果现在仅仅把仿真作为实验的一个子集,就会束缚仿真



科学的发展。

研究仿真的都知道,“仿真是基于模型的实验”这一提法是科恩于 20 世纪 70 年代提出来的。当然仿真的历史更早,我们不妨从仿真定义的演变这个角度,来看看仿真的内涵从过去到现在是怎么发展的。

我查了一些资料,说起来搞仿真的人应该很羞愧,为什么羞愧呢? Robert South(1643—1716)说,历史上“仿真(Simulation)”这个词曾经具有负面的含义,即用动作、手势、行为进行欺骗。后来“仿真(Simulation)”与假装之间的联系减弱了,而现在只有语言学家感兴趣了,一般人不会把“仿真”和“假装、欺骗、撒谎”联系起来了。当然如果语言学家把仿真当成造假,我们也无话可说。

从现代意义上或者从科学意义上的仿真定义有很多。就我所查到的资料来讲,Morgenthaler 先生在 1961 年是这么来定义的,“仿真是指缺乏系统或活动的真实情况下复现其本质”。这个定义强调仿真不是造假,目的是为了认识这个系统最本质的东西,要复现系统本质的东西。这个定义指出了现代仿真的目的,是发现自然规律,而不是造假。

Naylor T. H. 先生在 1966 年给出的定义是:“Simulation is a numerical technique for conducting experiments on a digital computer, which involves certain types of mathematical and logical models that describe the behavior of a business or economic system(or some component thereof) over extended periods of time.”这个定义当中明确了仿真就是一种实验,这种实验是在计算机上进行的,是一种包括某类数学与逻辑模型数字技术。这个定义把仿真看成是实验技术当中的一种技术。

Graham F. Wallace 先生在 1967 年给出的定义是:“Given a system and a model of that system, simulation is the use of the model to produce chronologically a state history which is interpreted as a state history of the modeled system.”仿真是利用模型以产生按时间排序的状态历史。与“仿真是基于模型的实



验”基本相近,但是在强调的程度上有区别。

Abelson 先生 1968 年的定义是“The term simulation refers to ‘... the exercise of flexible imitation of processes and outcomes for the purpose of clarifying or explaining the underlying mechanisms involved.’”该定义用了“演练”(exercise)这个词,跟模仿的本意是一致的,对过程和结果进行灵活的模仿。没有明确提出模型这个概念,而是强调结果,演练和实验是比较相似的。

Gordon 先生 1969 年给出的定义是:“System simulation is the technique of solving problems by following the changes over time of a dynamic model of a system.”他强调系统仿真是按动态模型随时间变化来求解问题的技术。

Schmidt 先生于 1970 年对仿真的定义是“Simulation is the action of performing *experiments* on a model of a given system.”这大概是最早出现的与本次沙龙讨论的命题最接近的肯定的定义。

McLeod 在 1972 年的定义做了进一步说明,“The term simulation, strictly speaking, should be reserved to mean the use of a model to carry out “*experiments*” specifically designed to study selected aspects of the simuland, i. e., the real – world or hypothesized system that has been modeled.”

Fishman(1973), Pritsker(1974), R. E. Shannon(1975) Schruben(1978) 等在 20 世纪 70 年代也都分别给出过仿真的定义,虽然表达均有区别,但“模型”、“实验”均成为定义仿真的关键词。其中 G. A. Korn 与 J. V. Wait 在 1978 年的定义“仿真就是用能代表所研究的系统的模型做实验”是 20 世纪 80 年代前最具代表性,反映了当时人们认为“仿真”只是“实验”的一种。

在 20 世纪 80 年代左右,人们对仿真的定义发生了某些变化,Pritsker 对其 1974 年的定义进行了修订,1979 年他给出的定义是“Simulation is the representation of the dynamic behavior of the system by moving it from state to state in accordance with well – defined operating rules.”“实验”这个词没有作为关



关键词出现。下面是 1980 年代以后出现的典型的仿真定义：

“所有支持模型建立与模型分析的活动即为仿真活动 (Spriet, 1982)。

仿真是一种基于模型的活动 (Orén, 1984)。

The act of imitating the behavior of some situation or some process by means of something suitably analogous (especially for the purpose of study or personnel training), (The American Heritage[®] Dictionary of the English Language)

Simulation—(computer science) the technique of representing the real world by a computer program; “a simulation should imitate the internal processes and not merely the results of the thing being simulated”. (The Free Dictionary)”

所以,从 20 世纪 80 年代以后明显地感觉到实验跟仿真的关系慢慢淡化了,而模型和仿真之间的关系越来越明确了,仿真所涉及的内涵扩展到了一种基于模型的活动,“活动”的范围比“实验”大大地延展了。

2008 年,中国系统仿真学会在向教育部申请一级学科的报告当中对仿真的定义是,“仿真是基于模型的活动,应用共性或专用支撑技术建立仿真系统对研究对象进行试验、分析、评估。有三个基本活动:建立研究对应模型,构造与运行仿真系统,分析与评估仿真结果”。所以“活动”的范围已经大大超过了“实验”。这是对一般意义下的仿真的定义。

对于仿真科学,我们当时用的是“仿真科学与技术”这个术语,其定义是:“‘仿真科学与技术’学科是以建模与仿真理论为基础,以计算机系统、物理效应设备及仿真器为工具,根据研究目标,建立并运行模型,对研究对象进行认识与改造的一门综合性、交叉性学科”。这与一般意义下的仿真的定义应该是不同层面的。

稍微归纳一下,在 20 世纪 70 年代以前一般是通用性的定义,强调对本质的复现,在 20 世纪 80 年代以前大多是“仿真是基于模型的实验”,80 年代以后到 2000 年之前是将建模纳入了仿真的体系,强调基于模型的活动,是第三种方法。从学科来说,认为目前已成为一个独立的学科。



我们不妨从认识论角度来比较一下实验研究与仿真研究的相同点和不同点。认识论有三个要素：对象、中介（工具）、目标，从这三个方面进行比较。

实验研究的对象是已有的系统，仿真研究既可以是已有的系统，也可以是假想的系统。实验研究的中介（工具）是可控条件下的实际对象及仪器设备，仿真的中介（工具）主要是计算机和仿真设备。从它的理论或技术基础来说，实验研究是理论指导下对实际对象的实验，采用归纳法。仿真研究基于模型，是计算机程序的实现与执行，既可以演绎，也可以归纳。实验研究的目标是演示、检验或确定结论。仿真的目标除了演示、检验或确定结论外，训练人、改造或提升实际系统的性能亦为其主要目标。

从这个意义上讲，我认为仿真作为科学来说，在早期是被包含在实验研究当中的，到了一定阶段以后，仿真和实验研究是并行的，现在仿真和实验研究发展到了相对独立、对等的阶段了。

最后谈几点看法。从科学发展历史上来看，仿真研究和实验研究经历了从被包含、非独立性支持到独立三个阶段。20 世纪 80 年代前是被包含，90 年代可以是相对独立的。现在仿真已经成为科学研究的第三种方法。仿真研究与理论研究、实验研究的认识对象相同，目标相同，都是认识世界或者人的主观世界的本质，但是采用中介的工具是完全不同的，是具有时代特征的，现代主要是以计算机作为中介工具。从能力来说，仿真可以解决理论与实验不能解决的问题。有一些问题可能只靠理论研究是解决不了的，但是仿真可以解决。有一些问题仿真解决不了，理论可以解决。当然也有一些是实验可以解决的，但是仿真不能解决。相互之间是一种并行的关系。

从认识论的角度来说，仿真是信息时代产生的新方法，仿真是以计算机为工具的理论研究和实验研究交叉融合的结果，现在来谈仿真和实验关系的时候我们强调它的独立性，但是也不能替代它，三种方法互相支持，互相借鉴。如果现在仍然把仿真看成实验一部分的话，就不利于仿真的发展。



所以我是赞成“仿真是一种基于模型的活动”这样一种定义,这样有助于仿真科学的发展,也是目前仿真科学发展的事实。我的看法就是这样,希望引起大家争论。

徐心和:

从我想谈最后一个结果形式,结果形式里面仿真包括两个内容,一个是信息,另一个是培育人。而实验仅包括信息没有包括培育人,我想实验也包括培育人,从这点上来讲实验研究还是涵盖了仿真研究。

蓝 斌:

我们这里讲的“仿真”的“实验”和“模型”,与“概率统计”等学科中的“试验”和“模型”既有共同点也有不同之处,用哲学的方法,用辩证的思维去探究,研究起来很有趣,我相信会有思考借鉴意义。



仿真是一种重要的基于模型的实验

◎刘藻珍

仿真是不是一种实验？对实验本身要有一个界定，我感觉肖教授一开始说它不属于实验的一个分支，是把实验的定义放得非常小，其实实验本身的范畴是很大的。实验区别于理论研究，它是在人为可控制的条件下，利用仪器设备观察被研究对象行为的一种科学。从这个观念来讲，我认为仿真是一种重要的基于模型的实验。如果说得窄一点，仿真是通过建立实际的（或者是还不存在的）系统的模型，以计算机和各种物理效应设备为工具，利用所建的模型和部分实物进行动态实验研究的学科。我认为，仿真应该是一种把模型加进去的实验，以前的实验基本上只考虑采用实际的仪器设备对被研究对象进行观察，而没有把模型作为一种工具加进去，而仿真就把模型加进去了。

我说三点意见。第一，仿真利用基于模型的实验为我们提供了一种认识、理解复杂系统的工具。一般来说，人们在做实验的时候往往不能把多学科的各种条件放在一起做，然而一个复杂系统可能是由属于很多学科的子系统构成的，通过仿真建模可以把各个子系统的模型放在一起进行仿真，从而可以研究属于各学科的子系统之间的相互耦合、相互影响、相互作用，从这点来讲仿真作为一种基于模型的实验是提供了一种了解和理解系统的重要的工具。第二，由于建立了多学科的仿真系统，从而为多学科的系统设计提供了一种工具。近来发展出来各种各样的虚拟样机设计与协同仿真平台，借助这些平台，可对所设计的系统进行多学科的优化。第三，我认为仿真还有一个特别的地方，刚才已说到的，仿真实验时，不仅有模型，有计算