

郝宁湘 ○ 著

当代

科学前沿概览

刘海涛 李方 ● 主编

郝宁湘 ○ 著

当代科学前沿概览

课 程 与 学 科 教 学 丛 书

图书在版编目 (CIP) 数据

当代科学前沿概览/郝宁湘著. —北京: 中国社会科学出版社, 2002. 12

(课程与学科教学丛书)

ISBN 7-5004-3609-2

I. 当… II. 郝… III. 自然科学-发展-概况-世界
IV. N1-110.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 103395 号

责任编辑 李尔柔

责任校对 宗 和

封面设计 毛国宣

版式设计 王炳图

出版发行 中国社会科学出版社

社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号 邮 编 100720

电 话 010-84029453 传 真 010-64030272

网 址 <http://www.csspw.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京新魏印刷厂 装 订 广增装订厂

版 次 2002 年 12 月第 1 版 印 次 2002 年 12 月第 1 次印刷

开 本 850×1168 毫米 1/32

印 张 8.375 插 页 2

字 数 200 千字 印 数 1—2000 册

定 价 21.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

高师课程改革的理念与方法

——序《课程与学科教学丛书》

更新课程与教学理念，构建新的学科课程教学体系，编写新世纪高等教育和基础教育的换代教材，这是我国教育创新和教学改革的一个重要突破口。打开了这个突破口，中国教育的改革之路和希望之路将以一种光明的前景展现在人们面前。

追溯上个世纪以来的课程理论史，我们发现国外的课程理论专家根据各自不同的课程理念分别对“课程”作出过9种不同的阐释（见《国际课程百科全书》）。而美国的课程专家塞勒（Saylor, J. G.）和亚历山大（Alexander, W. M.）则对上述9种五花八门的课程理论分门别类归纳为四种：A. 课程是学科和教材；B. 课程是经验；C. 课程是目标；D. 课程是计划^①。看起来，这四种归纳各有不同的理论侧重点，但实际上它们的研究范式和研究方法都分别归属二大学派：一是科学主义学派，它依托自然科学和逻辑学的理论和方法，对课程的诸多构成要素进行拆解和剖析，然后提出课程编制的具体原则和技术。二是人文主义学派，它依托哲学的、现象学的、阐释学的、艺术学的等传统的社会科学的理论与方法，探讨课程的内在价值和规律性内容。虽然上个世纪这两派都为课程理论建设和课程学科做出了巨大的贡献，但它们实际上是从不同的角度研究了同一的课程客体——教材，它们或多或少忽略了课程主体——师生的能动性和互动性；它们注意到了课

^① 详见新玉乐：《潜在课程论》，江西教育出版社，1996年出版，第19页。

程论和学科教学论应该“学什么”和“教什么”，但没有很好地去探讨课程论和学科教学论应该“怎样学”和“怎样教”，即学生在课程教学中“怎样学”，教师在学科课程教学中“怎样教”。

不必讳言，上个世纪的课程论与教学论是分离的。课程常常是作为学习内容或者是有计划的学习结果来认识，而教学则是传播学习内容或实现学习结果的方法和手段。这样课程与教学相分离的最终结果——学生成了被动接受知识的容器，他们只能服从课程权威和教师权威。教师给学生单一传授事先已确定的课程内容，并采用强化监管、说教的方式，学生的主体性、能动性基本上被压抑和扼杀，学生们的创造潜力很难得到充分发挥。这种传统的陈旧的课程教学理念不但影响了中国的基础教育，而且在高等教育中，特别是在高师院校教师教育中也没有得到很好的改善。由教师一言堂式的系统讲授和“再现”知识的过程呈现为高师院校课程教学的主要特征。进入了新的世纪，课程与教学改革成为了世界和中国教育界的一个共同热点和话题。

随着教育部《基础教育课程改革纲要》（试行，2001）的颁布和实施，全国范围的一场轰轰烈烈的课改浪潮正与世界性课程改革浪潮同步。18套《课程标准》和各种版本各学科的新编教材正在全国基础教育的实验区开展实验。这是中国建国以来力度最大、范围最广的一次课程改革。课程改革是实现高质量的素质教育和创新教育的必由之路。基础教育的广大教师和教育管理者在这次课改浪潮中确立了一个很重要的课程教学理论——以生为本，改革“填鸭式”的课程教学方式，使学生从“被动式的学习”转变成成为“主动式的学习”。

面对基础教育中轰轰烈烈的课改浪潮，高等教育、特别是高师教师教育更应该以一种积极的态度和主动的精神来应对基础教育课程的改革。高等教育，特别是高师院校肩负着基础教育教师“专业化培养”的责任，高师的课程和学科教学理应为基础教育课

程改革服务。这就要求高师教育转变课程与教学理论,摒弃被动式的课程教学方式,倡导研究性学习课程与教学。也不必讳言,高师院校目前的课程改革相对滞后。知识的单一传授是常见的课程教育教学现象,那种学生们积极主动的探究式学习情景并未大面积出现。高师院校的教师们亟须领会英国课程理论专家斯滕豪斯(Stenhouse, L.)提出的观点——“教师即研究者”。教师不但是本学科的知识传授者,也是本学科的知识研究者和经营者;他的教学应该是一种启迪学生智慧、激活学生的创造性激情的研究性教学。他自己有科研课题、有科研成果,甚至可以让高师学生也参加自己的课题研究,他应该用这种研究性学习的课程理念改革自己的课程,编写新的体现新理念的课程教材,用自己的科研形象给学生树立一个榜样——跟他这样去学习、去研究、去教学,于是,这些高师生——21世纪的新师资将在这种课程与教学理念的熏陶、培育下,成长为承担基础教育新课改的生力军。

基于对基础教育课改和高师院校课改的这种认识,我们十分关注高师院校的课程改革进程,并积极投身于基础教育第八轮课改浪潮中。我们要用新的课程教学理念来审视以往的学科课程形态,编写新的学科换代教材,并改革高师院校的学科教学。2002年湛江师范学院教育科学研究中心和湛江师范学院从事学科教学的老师们,分别申请到了一项国家社科基金、一项全国十五教育科学重点项目(同时还获有五项全国十五教育科学规划项目子课题)和十项广东省十五教育科学规划项目。我们愿意将这些科研成果择优汇集出版,一方面作为凸现新思路、新观点的课程与学科教学的专著,另一方面也可用作高师院校开设研究型课程的教材。

刘海涛 李 方

2002年11月于广东湛江师范学院

目 录

第一章 理性的结晶

——现代数学科学	(1)
一、当代数学概观	(1)
(一) 代数学	(1)
(二) 几何与拓扑学	(3)
(三) 分析学与微分方程	(6)
二、理解数学	(8)
(一) 数学：一种智力游戏	(9)
(二) 数学：一种思维艺术	(11)
(三) 数学：打开机会大门的钥匙	(13)
三、数学大厦的基础	(17)
(一) 数学史上的三次危机	(17)
(二) 数学基础及其四大学派	(19)
四、从证明走向实验	(26)
(一) 四色定理：新世纪数学的钟声	(27)
(二) 实验数学的诞生	(28)
(三) 实验数学的意义	(30)

第二章 进化的逻辑

——现代系统科学	(36)
一、信息论、控制论与系统论	(36)
(一) 信息论	(36)

(二) 控制论	(42)
(三) 系统论	(45)
二、耗散结构理论与协同学	(48)
(一) 耗散结构理论	(48)
(二) 协同学	(52)
三、混沌学与新世界图景	(55)
(一) 混沌学的诞生及其成就	(55)
(二) 混沌概念的历史演变及其本质	(59)
(三) 混沌学的重大意义	(61)
四、走向复杂性	(63)
(一) 复杂性科学的孕育与发展	(63)
(二) 什么是复杂性	(64)
(三) 复杂性的各种“定义”	(67)
第三章 石破天惊的发现	
——现代物理科学	(70)
一、相对论与时空观	(70)
(一) 狭义相对论的创立与新的时空观	(70)
(二) 广义相对论的建立与引力之谜	(73)
二、量子力学	(76)
(一) 量子论的提出与物质波的发现	(76)
(二) 量子力学的建立	(82)
(三) 量子力学的哲学解释	(86)
三、粒子物理与物质探源	(89)
(一) 基本粒子的相继发现	(90)
(二) 基本粒子的分类和相互作用	(94)
(三) 基本粒子理论的探讨和发展	(96)
四、M 理论的兴盛	(99)
(一) 弦理论的发展	(99)

(二) M 理论的诞生	(101)
-------------------	-------

第四章 我们来自何处

——现代宇宙学	(104)
一、大爆炸：宇宙的起源	(104)
(一) 大爆炸：宇宙的开端	(104)
(二) 宇宙大爆炸之后的演化	(106)
二、地球的起源与演化	(109)
(一) 地球的形成与内部结构	(110)
(二) 大陆漂移理论与地球板块构造说	(112)
三、黑洞与宇宙的终结	(117)
(一) 黑洞理论	(117)
(二) 大挤压：宇宙的终结	(123)
四、霍金的新世界	(127)

第五章 生命的奥秘

——现代生命科学	(135)
一、生命的本质、起源与进化	(135)
(一) 生命的本质	(136)
(二) 生命的起源	(140)
(三) 生命的进化	(143)
二、人类基因组计划	(150)
(一) 什么是人类基因组计划	(150)
(二) 我们发现了什么	(153)
(三) 人类基因组计划的 ELSI 研究	(158)
三、生存的环境	(160)
(一) 生理生态学	(161)
(二) 种群生态学	(162)
(三) 群落生态学	(163)
(四) 系统生态学	(164)

(五) 应用生态学.....	(165)
----------------	-------

第六章 模仿智慧

——现代计算机科学.....	(169)
一、万能的图灵机.....	(169)
(一) 什么是计算与丘奇—图灵论点.....	(169)
(二) 算法论.....	(174)
二、时间、空间与计算复杂性.....	(175)
(一) 时间复杂性与 NP 问题.....	(176)
(二) 空间复杂性与并行计算.....	(180)
三、DNA 计算机.....	(183)
(一) DNA 计算的理论、特点和问题.....	(183)
(二) DNA 计算：计算方式的进化.....	(188)
四、量子计算机.....	(191)
(一) 量子计算机的概念与发展历程.....	(191)
(二) 量子计算机的计算本质与计算方式.....	(193)
(三) 量子计算机的重大意义.....	(196)

第七章 技术——科学的延伸

——现代技术概览与反思.....	(201)
一、高新技术：当代技术发展的新前沿.....	(201)
(一) 高新技术的产生.....	(201)
(二) 操作生命——生物工程技术.....	(203)
(三) 克隆生命——复制生命的技术.....	(207)
(四) 新世纪文明的基石——纳米材料技术.....	(212)
二、人类对现代技术活动的反思.....	(215)
(一) 对技术的哲学反思.....	(216)
(二) 现代技术对人的挤压.....	(218)
(三) 现代技术观对传统技术观的挤压.....	(219)
三、技术的社会价值.....	(221)

(一) 技术的生产力价值·····	(221)
(二) 技术的社会性价值·····	(222)
(三) 技术的精神文化价值·····	(223)
第八章 科学问题：未来科学的走向·····	(227)
一、问题：科学的起点与方向·····	(227)
(一) 科学始于问题·····	(227)
(二) 21 世纪 100 个科学难题·····	(229)
二、科学的问题及其对未来的影响·····	(231)
(一) 数学问题及其对未来的影响·····	(231)
(二) 物理学问题及其对未来的影响·····	(238)
(三) 生命科学问题及其对未来的影响·····	(243)
三、反思科学·····	(246)
(一) 科学的本质·····	(247)
(二) 科学的精神·····	(248)
(三) 科学的价值·····	(250)
参考文献·····	(253)
后 记·····	(255)

第一章 理性的结晶

——现代数学科学

一、当代数学概观

自 19 世纪以来，现代数学得到了迅猛的发展，如今已经形成了一个高度抽象、错综复杂、相互关联和有机统一的“数学网络”。要想全面而系统地介绍现代数学的全貌，可以说已经是一件十分困难的事了。这里我们只是有选择性的介绍几个当代数学中较有代表性的学科。

（一）代数学

20 世纪的代数学主要是指在初等代数学的基础上产生和发展而来的抽象代数学。它通过数系概念的进一步推广、或可以实施代数运算的对象的范围的进一步扩大，逐渐发展而成的；它自 18、19 世纪之交萌芽并不断发展，而于 20 世纪 20 年代建立起来。它研究的对象是任意元素集合和定义在这些元素之间的、满足若干条件或公理的代数运算，亦即以各种代数结构或代数系统的性质的研究为中心问题。

主要的基础代数结构有：群、环、域、模、代数、格，以及泛代数、同调代数、范畴等。当前代数学研究的较大部分集中在这些专门的代数结构上。这些结构最初被看作简单的例子，后来才得到开发，但是这个领域中的方法和结果已发展到这样一种程度：其中每个结构的研究分开来看都已成为一门主要的理论。下

面我们就要列举其中的一些结构。“泛代数”有其特殊性，其合成律并不遵从诸如定义群或环结构那样具有限制性的公理。至于“经典”代数即本质上是代数方程组的研究，如今是交换代数的一部分。

1. “抽象”群。群是只具有一个运算的抽象代数结构。如全体整数的集合对于加法就构成一个群。群论这一理论始于若尔当所著《置换和代数方程专论》(1870)，它已具有自己独特的方法和问题，并已成为一个庞大的分支。同样毋庸置疑的是它在数学所有领域中具有最多的应用，其程度有如人们所说：当你不很了解新的数学对象的性质，就应当试着在其上设置一个群结构。看起来这好像有点夸张，但事实上却已取得不止一次的成功。最接近于“抽象”群的数学领域是李群、代数几何、代数拓扑和微分拓扑以及数论，以这些结构为中介，群论使得数学中其他许多问题及其物理应用丰富多产。

2. 交换代数。它是关于交换环的研究，始于约 1860 年，也已成为代数学的一个独立分支。所谓环就是一个具有两种运算的代数结构，而交换环就是乘法符合交换律的环。交换代数也有自己的问题和方法，最重要的是，现在它同代数几何有紧密的共同生长关系，它向代数几何提供了专门的工具即交换环的性质，但是近来它转过来得益于自然的属于代数几何问题的直观考虑，因为现在有可能把交换代数问题翻译为格罗腾迪克概形论中的几何术语，它们是代数曲线和代数曲面概念的终极推广。

3. 结合非交换代数和非结合代数。这是可以追溯到 19 世纪中期的某些理论。它们涉及结合的、非交换的环（其中乘法不满足交换律，但满足结合律）或非结合环（其中乘法不满足结合律，但满足关于加法的左、右分配律）。四元数、向量乘法、矩阵代数等是结合非交换代数的重要类型；李代数、若尔当代数、交错代数等是非结合代数最重要的类型。非结合代数的一个特点是，其

乘法往往满足某种恒等式。它们已进入抽象群论、李群论、代数拓扑和泛函分析中。

4. 同调代数。它涉及这样的函子的构造, 这些函子使每类范畴的对象对应到另一些对象, 最常见的是交换群。这种理论与代数拓扑相联系, 大约诞生于 1943 年。它的应用领域不断扩展到几乎整个数学, 成为一种不可缺少的有力工具。可惜由于它所用概念极端抽象, 这里不可能对它进行更多的说明。

5. 范畴和函子。这是数学中最新领域之一, 诞生于 1943 年, 来自艾伦伯格和麦克莱恩关于代数拓扑的探索。数学的各个领域都有各自的研究对象。20 世纪中期, 数学家认为有必要将各个领域中的研究对象各自合在一起成为一个总体, 使之各个总体都是一种数学系统。这就是范畴思想。于是, 所有的集合与映射组成集合的范畴 S ; 所有的群与群同态组成群的范畴 G ; 所有的拓扑空间与连续映射组成拓扑空间的范畴 T 等等。范畴的定义是对提集合范畴 S 、群范畴 G 、拓扑空间范畴 T 的一些共同性质的归纳。此外, 在范畴与范畴之间存在着内在的联系与变换。这种内在的联系与变换, 提供了所谓函子的概念。这里实际上是做了一种“二阶抽象”, 在这种抽象中, 赋予结构和相互之间的映射的集合消失, 更正确地说“升华”为与“总合”或“法则”这些日常概念毫无关系的“对象”和“箭头”。这一理论先是在代数拓扑中十分有用, 然后在代数几何中成为具有根本重要性的工具。它推进到数学中别的许多领域, 最终成为自主发展的对象。

(二) 几何与拓扑学

20 世纪几何学的主体是微分几何, 它是用分析的方法来研究空间(微分流形)的几何性质的一门学科。从 17 世纪起, 数学家们就把微分学应用于研究平面曲线的局部性质, 诸如确定一点处的切线, 确定拐点和多重点, 定义曲率。这些结果在 18 世纪推广到空间曲线和曲面。然后黎曼于 1854 年大胆地使任何维数的“流

形”概念化，尽管它们已不再像曲线或曲面那样能由“具体形象”给出。黎曼的继承者发展了他的想法，并更加密切的着手研究整体问题。这一看来远离自然科学的理论，却在广义相对论和宇宙论(在这些理论中四维或更高维空间的观念起着基本作用)中具有完全意想不到的应用。

1. 微分几何学。1827年高斯发表了他的现代微分几何的奠基之作《关于曲面的一般研究》。在这篇论文中，高斯不仅论述了三维空间中曲面的微分几何，更重要的贡献是他提出了一个全新观念：一张曲面本身就是一个空间。这是一个里程碑，它的含义之深刻，远远超出了高斯当时自己的认识。在此之前，曲面一直是作为三维欧氏空间中的图形进行研究的。三维欧氏空间几乎是人们研究任何几何图形的绝对空间——参照系，各种曲线都处在这个绝对的空间或参照系中。1854年6月10日，黎曼在哥廷根大学哲学系作了一次空前的题为“论作为几何基础的假设”的就职演说。在这次誉为哲学性的数学演说中，他发展了一般空间的理论。虽然三维空间是十分重要的情形，但黎曼还是一开始就直接处理 n 维空间，并且他把 n 维空间叫做一个流形。 n 维流形中的一个点，可以用 n 个可变参数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的一组特定值来表示，而所有这种可能的点的总体就构成 n 维流形本身。这 n 个可变参数就叫做流形的坐标。流形的特点是：它在每一个局部中都是欧几里德空间，但其整体则不然。所以，流形是局部的欧几里德空间，黎曼对空间的研究是局部化的。黎曼之后，克里斯托费尔、里奇等人作了进一步的发展，尤其是里奇创立了张量分析的方法，这在广义相对论中起了基本的作用。1915年爱因斯坦创建了广义相对论，对黎曼几何的发展产生了巨大的作用，并导致了黎曼几何的种种推广。这方面的工作主要是由外尔开创的，他引入了一种更为广泛的仿射联络空间几何。另外还有芬斯勒推广的芬斯勒几何学等。近半个多世纪以来，黎曼几何的研究还从局部发展到

整体。在整体微分几何发展中, 纤维丛及其上的联络论的产生和发展, 占有显著的地位。华裔美籍数学家陈省身为此做出了重要贡献。他所推广的高斯——邦尼——陈定理、纤维丛的微分几何和示性类理论把现代微分几何带入了一个新纪元。这些理论不仅在微分几何、代数几何、复变函数、复流形理论与大范围分析学等方面有着深刻的应用, 而且在物理学中也有广泛的应用, 纤维丛就是表达规范场的合适的数学语言。

2. 解析几何学。19 世纪末期, 当数学家们希望把柯西、黎曼和魏尔斯特拉斯得到的关于单复变量解析面数的深刻结果推广到多复变量解析函数时, 他们遭遇到始料未及的困难。直到 20 世纪中期, 部分由于使用来自代数拓扑的新概念 (“层上同调”), 这些困难才得以克服。从那时以来, 多复变量解析函数论也出现了更加几何化的转变, 更加接近代数几何, 研究必须紧挨 “代数簇” 研究 “解析簇”; 例如, 两个复变量的方程 $F(x, y) = 0$ (其中 F 不再是一个多项式而是一个解析函数) 定义一条 “解析曲线”。因此, 如今把多复变量函数论称为解析几何学 (不同于如今初等数学中的称谓)。

3. 代数几何学。它的基本研究对象是在任意维数 (仿射或射影) 空间中, 由若干个代数方程的公共零点所构成的集合的几何性质。这样的集合通常叫做代数簇, 而这些方程叫做这个代数簇的定义方程组。通过一定的对应关系, 代数几何可以看成是用几何的语言和观点进行的有限生成扩域的研究。代数几何的起源是从关于平面曲线的研究开始的。对于一条平面曲线, 人们首先注意到的一个数值不变量是它的次数, 即定义这条曲线的方程的次数。19 世纪以来, 复值坐标和 “射影” 概念的引进给予较少依赖于使用坐标的想法以新的生命。这些想法取得了引人注目的成就, 使其理论在数学家中十分流行。同时黎曼通过他关于代数函数的深刻结果, 使代数几何学回到同复变量解析函数论和拓扑学的联

系上。这些联结比过去产生了更多成果,从大约 1930 年起,几乎全部把使用分析的证明代之以仅依赖于交换代数的另外的证明。它为这一理论带来巨大扩展,并使它接近数论,并为在这两种理论中同样有用的问题提供想法。

4. 拓扑学。这个数学领域开始于给出度量空间定义的 1906 年,它是研究几何图形在连续变形下保持不变性质的学科。最常用的拓扑结构(可度量化空间及其最简单的推广)的公理和一般性质如今已是大学基本的教学内容。20 世纪拓扑学的主要内容是代数拓扑和微分拓扑以及函数空间的主要理论。它们在近一个世纪的发展中是爆炸性的,或许它是数学中出现崭新概念最多的领域,其中许多概念在乍看起来距离极远的理论中得到出人意料的反响。它构成一个不断更新的壮丽大厦,其复杂程度使得极少有专家能全部掌握。

(三) 分析与微分方程

1. 泛函分析。数学中许多领域处理的是作用在函数上的变换或算子,这在接近 19 世纪后期已经很明显了。例如,常微分运算和它的逆运算(反微分),就是作用在一个函数上以产生新的函数。在变分法的典型问题中,人们处理形如

$$J(y) = \int_a^b F(x, y, y') dx$$

的积分,这个积分也可以看做是做用在一类函数 $y(x)$ 上的运算。微分方程提供了另一类算子 L , 微分算子 L 作用在一类函数 $y(x)$ 上,把它变换为另外的函数。积分方程中也存在着重要的算子。推动创立泛函分析的基本思想是,所有这些算子都可以在作用于一类函数上的算子的一种抽象形式下加以研究。这些函数可以看做是空间的元素或点。这样,算子就把点变成点;在这种意义下,算子就是普通变换的一种推广。上述算子中有一些是把函数变成实数,而不是变成函数。那些变到实数或复数的算子,如