

丘成桐

清华大学丘成桐数学科学中心主任，美国哈佛大学数学与物理学教授，美国国家科学院院士，美国艺术与科学院院士，中国科学院外籍院士，菲尔兹奖、克拉福德奖、沃尔夫奖、马塞尔·格罗斯曼奖得主。发展了强有力的偏微分方程技巧，使得微分几何学产生了深刻的变革，解决了卡拉比(Calabi)猜想、正质量猜想等众多难题，影响遍及理论物理和几乎所有核心数学分支。

丘成桐：文化与创新

承蒙科协的邀请，在这个“我是科学家”的年度庆典上谈谈“创新和文化”这个问题。

我想科协对这个问题有兴趣，大概是这几年来中国工业界发现，在最尖端的科技上，中国始终落后西方国家一步，还没有足够引领世界工业的技术。近年来科技产品发生的剧烈竞争，使政府和工业界了解到我国的创新能力不够。西方的高等教育机构和美国的公司，却不断地在创新，不断地从基础上改变原有的技术。

创新恐怕是一个相当深入的文化问题，这里包含着我们民族价值观的探讨。一般中国家庭对于孩子的期望，认为民生

的问题高于一切，孩子日后生活能够丰衣足食，就很满足了。至于有家业的，更希望他们继承家业，或许升官发财。至于孩子个人的兴趣和理想，却往往不在父母的计划里，更遑论鼓励孩子去寻找科学中真和美的理想了！

在这十多年来，我每年都会主持中学生的科学竞赛，和全国优秀的学生多有接触。他们的工作和外国相比，绝不逊色。很多得奖的学生很有天分和能力，假如继续做科学研究的话，应该会有成就的。但是相当多的学生决定去读金融，或是最有可能赚钱的科目。很多同学向我诉说，他们的决定由家长

和老师指引。

在浓厚的功利主义氛围下，即使创新也只能产生二流的结果。究竟我们想达到创新的什么境界？值得我们深思。一个学者只是创造出一些普通的理论，发表一些普通的论文，是不是有很大意思呢？我们的高校和政府机关，要看论文多少、帽子多少来决定一个学者的职位。在某些学术方向，中国的论文数目已经超过其他国家，但是做这些学问的学者，却往往知道我们在这些方向的学问深度不如人！由中国学者创作而又领先的学问实在不多，但是我们在别人创作出来的基础上再上一层楼，却还是不错的。

政府大概也是很清楚这个状况，尤其是在美国的排挤下，政府极力要求学者创新。

其实要创新必须要注意一个重要的事情，就是不单单走前人走过的路，还要走一条有意义的路！很不幸的，中国文化传统不喜欢这样。中国三千多年来，都重视孝道。孔子说：三年无改父之道，可谓孝矣！这样的孝道之后发展成对老师及其派系的盲从。大部分中国古人为了家族的利益，会不顾一切。扬名声、显父母是古代中国人的毕生志愿。直到今天，大部分人心底里还是这么想。在寻求真理的路径上，很多人都不愿意偏移对于某些老教授的盲目尊崇，即使这些老教授已经几十年不做科研，只在说一些空洞的话。

我们也知道，科学史上记载的重要工作都是在巨人的肩膀上完成的，所以我们要在巨人肩膀上走出新路来。路固然由我们自己去摸索，但最重要的是走出一条有意义的路。这条路必须能够更深入地了解大自然，而不是哗众取宠，让媒体甚至是学校或政府来吹捧。

我本人很感激我的父母。在我们家境极度穷困的时候，他们仍然尽心尽力地支持我去读书。在我十岁的时候，我父亲开始教导我文学诗词历史和

哲学。中国古代的经学和文学，给我提供了处身立世的规范，培养了我做人的气质。从历史事实中，我学习了在处事和研究学问时应对进退的方法。至于哲学思想，尤其是希腊的哲学，让我始终对学问保持宏观的看法。少年时代的教育影响了我一辈子！

我十四岁时，父亲去世。对于我来说，这是我一生最艰难的日子。但是它也让我极快地成熟。以后我做学问，不怕艰难、不畏强权，择善固执，而又能够苦中作乐，都是从这段日子训练出来的。

上述这些锻炼，对于我来说，可以说是我学习创新的基础。

我从父亲的教导里，开始知道什么是不朽的学问。他写了一本书，叫做《西洋哲学史》（丘镇英著，岳麓书社，2011年），其中引用《文心雕龙》的几句话：

嗟乎！身与时舛，志共道申！

标心于万古之上，而送怀于千载之下！

做好学问至于不朽，使我感动不已！

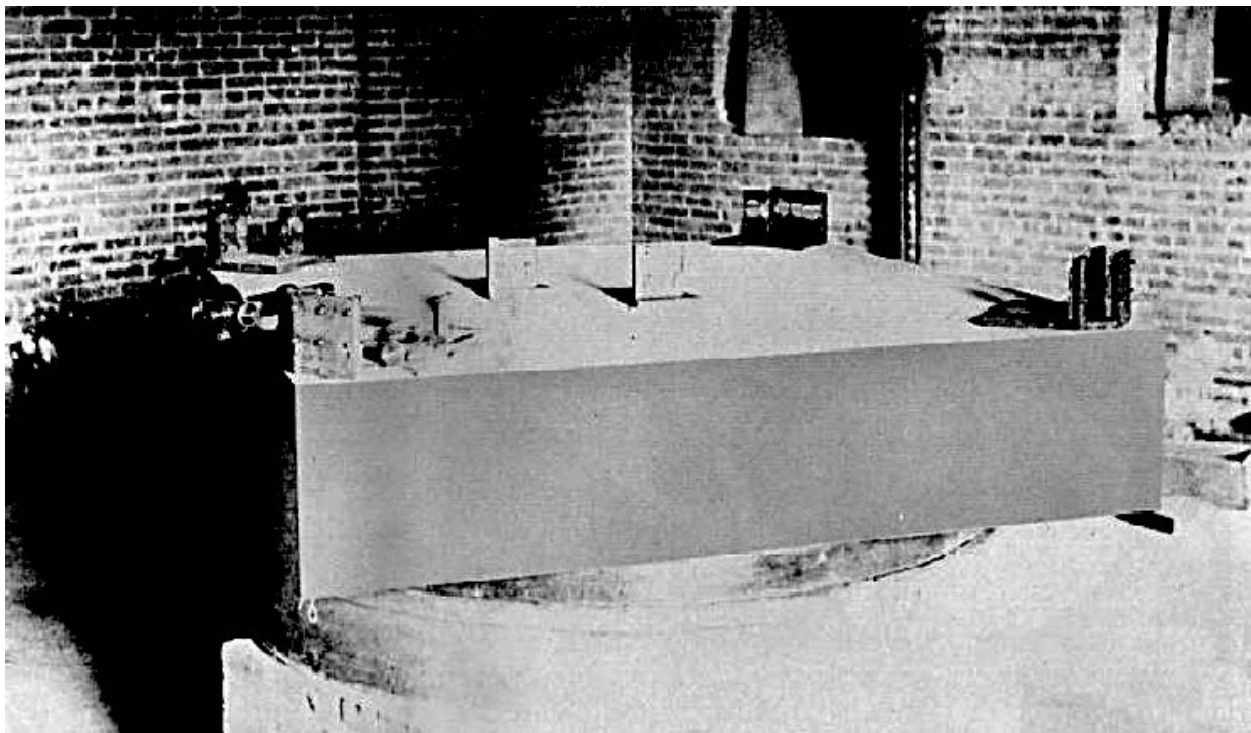
我最感激我父母的地方，在于他们对于我的教育和期望，精神为重，物质次之。他们认为对我的教育，应该顺着我的兴趣来发展，不用计较我成长以

后的收入。所以我以后做学问时，都希望能够深入了解大自然的奥妙，发现前人之所未知，影响后人，垂久不息。

我生平第二件重大的事情，是到美国加州柏克莱大学读研究院。初到美国时，我知道的学问实在太过肤浅了。于是我一方面大量学习经典著作，一方面揣摩古代大师的想法，终于找到自己喜欢的学问。在研究院一年班时，我决定学习几何学，因为我觉得几何学是一门深刻的学问，同时它和其他科学有着密切的关系，值得花一辈子的工夫。

在我刚开始学习几何学时，我整日泡在图书馆里。在博览群书后，我终于找到了几何学中一个有意思的问题，并且解决了它。

这件事情使我在研究院中略带名气。所幸我不以为傲，继续找寻更有前途更能够深入了解几何学的方向。当时柏克莱大学有一位叫做莫里(Charles Morrey)的老师教导我偏微分方程的方法，他教导的工具使我终生受用不尽。深思熟虑后，我决定将几何学和分析学（尤其是非线性方程的方法）融合起来，主要目标是产生新的观点，用新的工具来解决几何学上一些悬而未决的重要问题。



迈克尔孙和莫雷的干涉仪装置（来源：Wiki）

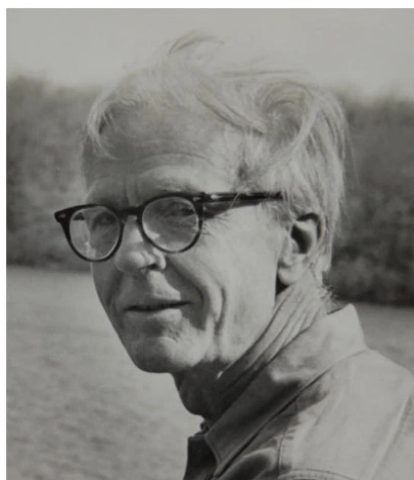
这个时候我拜陈省身教授为我的博士导师。陈先生是纤维束理论的创始人之一。这个理论在拓扑学上由惠特尼(Hassler Whitney)建立，在物理学上，则是由20世纪最伟大的数学物理学家魏尔(Hermann Weyl)在1929年创立。他提出的规范不变原则成为现代物理学一个最重要的准则，当时叫做规范理论。后来陈先生在1945年发展了这项理论中最重要的陈类，使其成为现代物理学极为重要的一项数学工具。

我对陈先生构造的陈类极为景仰，因此我认为要发展我想象的几何分析的第一步，可以

从分析的立场上彻底理解陈类开始。我认为这一步可以让我建立起几何、分析和代数的主要桥梁。而这个计划的第一步就是了解陈类中的第一类。我对第一陈类情有独钟，终生不渝。

为什么呢？

在1933年，陈先生在德国汉堡大学做研究生时，跟随布拉施克(Wilhelm Blaschke)和凯勒(Erich Kähler)两位教授学习几何学。凯勒教授在这



惠特尼(左)，魏尔(右)（来源：Wiki）

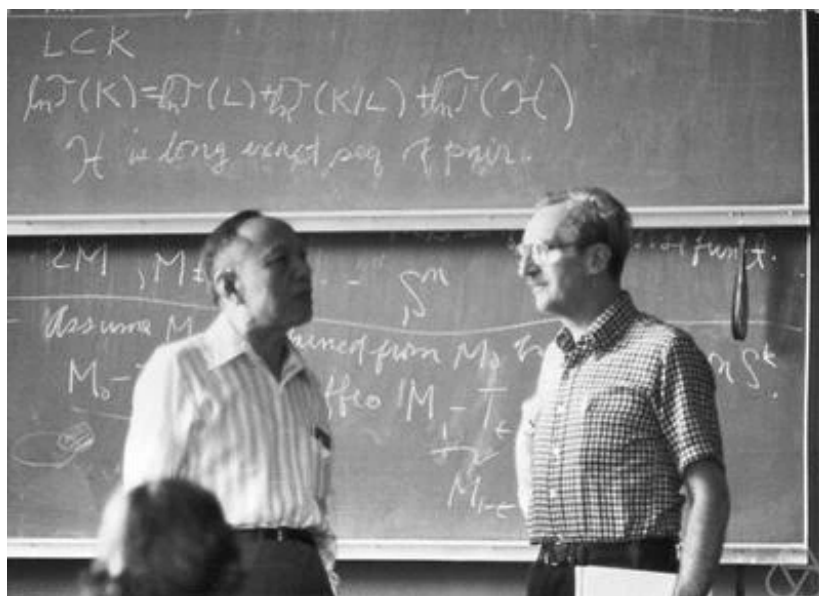
一年发表了一篇重要论文，为 Kähler 几何奠基。在这篇文章里，我们已经看到第一陈类的曲率表示。凯勒发现在 Kähler 空间中，爱因斯坦方程的表述特别简洁而又美丽。

我做研究生时，对于爱因斯坦方程极感兴趣。但是爱氏方程极为复杂，直到上世纪七十年代，学者们仍只知道这个方程少数的解。正在这时，我在图书馆翻读旧期刊时，看到卡拉比 (Eugenio Calabi) 教授的一篇文章。他发挥凯勒文章的内容，建议在 Kähler 空间中解决爱因斯坦的重力方程。他大胆地做了一个猜测，提出一个很漂亮的想法，有系统地去构造没有物质的时空。

当我看到卡拉比教授的建议时，极为激动！因为我认为几何学发展的瓶颈在于构造大量有意义的空间，这些空间又必须要具备良好的曲率。我当时想，几何学要有突破，必须要找到这些空间！而卡拉比猜测正好提供了我梦寐以求的解决方法。

但奇怪的是，当我向陈先生解释卡拉比猜想的时候，他的回答让我失望：他说数学上猜测多如牛毛，不用太过在意区区一个卡拉比猜想。

但是我自己已经形成了自己对几何学的看法，我认为卡拉比猜想无论是对的还是不对



陈省身与卡拉比 (Dirk Ferus 摄, 1976 年)

的，都必须解决！就如一块大石在江河的中心，不移开的话，水流不会通畅。所以我还是继续努力去考虑这个问题。

陈先生真是伟大，对好的学问愿意兼容并蓄。当我的研究进展顺利时，他开始改变他的看法（这样胸怀的中国学者并不多见！中国科学的崛起，恐怕需要年长的学者都有这样的胸襟）。

其实对某些现象或者学术方向的好奇，固然是创新的开始；但是在没有完全了解真理以前，我们没有办法肯定如何去发掘它。一般来说，深刻的洞察力要看学者本身学问的深度。有了长年累积的经验，加上对最新科学发展不断的接触，学者才能看到问题的远景。

历史上很多划时代的贡献，完成的时候可能和出发时候的目标想法完全不一样。很多人觉得没有完成原本定下来的目标，就是一个极大的失败。这是错误而不科学的观点。他们忘记了严格证明某种事情是不可能达到的，本身就是一个很有意思的成就。

在这里可以举个例子：19 世纪以前很多物理学家相信以太的存在。在 1887 年时，迈克耳孙 (Albert A. Michelson) 和莫雷 (Edward W. Morley) 在美国俄亥俄州做了一个实验，证明以太并不存在。对于很多人来说，没有找到任何东西，这个实验是失败的。但是事实上，这个实验对于光的性质有深入的了解，它为相对论奠定了最重



作者与孙理察 (Michael Eichmair 摄)

要的基础。这个实验可以说是人类有史以来最重要的实验之一。

尽管当时的大物理学家在解释光的波动时需要以太这种介质来帮忙，深信以太的存在，但是真理毕竟是真理，所谓伟人的意见在真理面前都会变得渺小。我们找寻真理，必须要有崇高的志愿，也需要经得起失败的挫折！

我在做研究生时要解决卡拉比猜想，可谓朝思暮想，因为这是微分几何领域中流砥柱的问题。我年轻，将所有精力

放在这个问题上。我以后描述当时的心境：苟真理之可知，虽九死其犹可悔！

在开始做这个问题时，我随波逐流，和大家一样，认定这个猜想的结果太过美妙，不可能正确，拼命找寻反例。三年后，在一个大型的国际会议中，我竟然宣布我已经找到反例。当时大家都同意我这个论断。但是真理不是由众人来决定的。过了三个月后，卡拉比先生和我讨论我的论点时，一下子找到了其中的毛病。我极为焦急，

于是上穷碧落下黄泉地找寻反例，有两个礼拜几乎不眠不休地工作，结果都不行。经过这番痛苦的经验后，我终于认定这个猜想应该是对的。但是我的其他朋友不相信，还是继续在找寻反例。

找到了正确的方向后，是不是灵感来了，问题就解决了呢？不是的！

要证明卡拉比猜想比找反例困难得多！因为我们需要解一个非线性的偏微分方程，同时要在弯曲的空间上解这个方

程。以前从来没有人做过这样的事情。所以我要从基础做起，一步一步地摸索。

刚好我这时已经在斯坦福大学做教授。我有极为杰出的博士生，他的名字叫做孙理察（Richard Schoen）。他的创造力和想法都远远超过我教导的其他学生。还有当时的同事西蒙（Leon Simon）和在附近柏克莱大学的郑绍远，都可以说是一代英杰。我们互相交流，再加上伊利诺伊大学的乌伦贝克（Karen Uhlenbeck）和康奈尔大学的汉密尔顿（Richard Hamilton），我们努力地将几何分析这门学科一步一步地建立起来。我终于在1976年新婚不久，解决了卡拉比猜想。

它的解决很快就引起数学界的重视。因为它建立了从非线性分析到代数和几何的一条重要的桥梁，好几个悬而未决的几何大问题由它解决成功。

八年后，物理学家发现它可以用来构建弦理论中的基本时空，他们将这些空间叫做卡拉比-丘（Calabi-Yau）空间。

好多人问：它究竟是什么空间？简单地说，它是一个不包含物质而又有内对称的空间（内对称有时也被称为超对称）。

什么时候空间存在内对称呢？我现在试着用一个通俗的例子来描述空间的内对称这个

观念：

假如空间中不同的地方有两个不同的天文台A和B，这两个天文台都在观察同样的天象，但是我们需要比较他们观察的结果，于是我们将望远镜放在一部车子中，从A运到B，让望远镜在移动时，尽量保持它的方向，但是车子可以走不同的路径，把它们叫作路径a和路径b吧。我们发现：当空间的曲率不是零的时候，在路线a和路线b移动望远镜时，得出来的结果不一样！它们转了个角度！路线很多，转的角度也很多！

现在来看看什么时候，空间存在内对称：

我们在天文台A和天文台B可能都有十个望远镜，但是天文台A的十个望远镜可以分为两组C和D，每组五个。天文台B的十个望远镜也可以分为两组E和F，每组也是五个。

假如每次移动天文台A的望远镜到天文台B时，无论走任何路线，C组望远镜的方向总是移动到E组望远镜中的一个方向，D组的望远镜总是移到F组望远镜中的一个方向。有这样性质的空间，我们说它存在内对称。

在近代物理学中，内对称是一个很重要的观念。它对研究时空量子化起了十分重要的作用。而卡拉比-丘空间恰恰有

这样的内对称！美妙极了！

所以在完成卡拉比猜想后，我心里的感觉可以用两句宋词来表达：

落花人独立，微雨燕双飞！

物理学家和数学家共同努力的结果，产生出重要的想法，解决了一大片重要的问题，覆盖面愈来愈全面，其中包括代数和数论。


在这个过程中，我需要深入思考，在挫败之后再站起来，学习新的知识，创造自己的路径，寻求朋友和学生的帮忙……这些都是不可或缺的。

我本人相信没有通过个人的努力，没有办法达到宏大的目标。要经得起挫折，才能够成功！

我们中学时每学期开始时都会唱一首青年向上歌：

我要真诚，莫负人家信任深。

我要坚强，人间痛苦才能当！

科研创新带来无比的快乐，但是没有经过火的考验的创新，往往深度不够！愿新一代的中国学子能够体会和享受大自然真和美的欢乐！

（本文是作者为中国科协举办的“我是科学家”年度盛典准备的原始讲稿，原文刊登于《数理人文》杂志。）