

通过学生的探究和研究活动培养科学人才——着眼于探究技能和思维培养的课程

演讲人_戴耘 录音整理_胡晓蕾



戴耘博士，现任纽约州立大学（Albany）教育与咨询心理学系正教授，博士生导师，持终身教职。20世纪80年代就读于华东师范大学中文系，获学士、硕士学位。90年代初赴美国Purdue University攻读心理学，获硕士、博士学位，毕业后在美国人才培养国家研究中心（NRC/GT）从事博士后研究，师从美国“英才教育”著名学者兰祖利。现为美国英才教育主要学术刊物《超常儿童季刊》、《超常教育季刊》、《罗尔珀评论》等的编委，出版有关一般心理学、教育心理学和人才培养的专著和主编文集8种，并发表研究报告、论文、书章等90余篇。戴耘博士长期从事人才的个体和社会发生，以及教育对策和模式方面的研究，他于2008—2009年间作为美国国务院选派的富布莱特学者（Fulbright Scholar）到中国从事教育研究。近年兼任华东师范大学紫江讲座教授，从事中国普通高中阶段拔尖创新人才培养的理论和实践探索。2015—2016年度，他再次被选为富布莱特学者赴德国从事有关人才培养的教学和研究。

探究是人类科学活动的核心所在。科学探究的认识过程和方法必须通过特定的教学活动和手段得以传达和实践。本报告将通过2个实例，介绍如何突破以介绍知识内容为主的教学方法，使学生应用知识解决现实问题，甚至创造新知识。第1个实例是“项目引领学习”，是由美国大学研究的高中学生在科技领域的“基于项目的学习”课程。第2个实例是由美国伊利诺伊州数学科学高中（IMSA）开发的“学生探究研究计划（SIR）”，这个计划要求学生在校内或校外专家指导下从事1项长达1年乃至2年的研究计划，并用论文和报告的形式汇报研究成果。通过这2个实例，本报告旨在说明2点，首先是学生的科研能力和科学创造力是如何培养的，其次是这样的学习活动需要怎样的管理、资源和技术方面的支持。

◎ 美国 STEM 高中的课程

美国数理科技高中

美国数理科技特色高中联盟（NCSSMST）成立于1985年左右，联盟下有近百所高中，这些高中有各种各样的类型，规模有大有小，但是他们却有一些共同特点。比如，纽约市的3所STEM高中到目前为止贡献了14位诺贝尔奖获得者——Bronx科学高中走出8位诺贝尔奖得主，其中7位物理学奖、1位化学奖；Stuyvesant科学高中贡献了4位诺贝尔奖得主；Brooklyn技术高中有2位诺贝尔奖得主。如果出现一两位可能是概率问题，然而出现14位诺贝尔奖获得者恐怕就不是简单的概率问题了。

美国科学高中课程的特点

- 课程和教学宗旨强调探究和应用。
- 课程结构呈梯队状，有必修课和选修课，有 AP (Advanced Placement) 课程，也有一些“后 AP”课程，而且很重要的是有研究课程。
- 学生可以选择 5 ~ 6 个“专业”。
- 课程与大学“接轨”，学生在高中时就接触非常尖端的科研课题。高中课程里，研究、实践占有突出地位。
- 宽松、自由的环境。
- 走班制的灵活性。

◎ “项目引领学习”课程

高校联合研发的科学与工程课程

“项目引领学习”是一套由美国大学研究的高中学生在科技领域的“基于项目的学习”课程。它是一个世界级课程，非常前沿而且基础扎实，涉及一些核心概念，还涉及要怎么去做。同时课程还强调教师发展。另外，这套课程非常强调伙伴关系和网络，必须要有一个团队，课程要求高中和大学合作密切。这里的网络指的是企业，企业同样很重要。

“项目引领学习”课程分 3 个层次。第 1 个层次是学前到小学 5 年级，这时学生会进入“项目引领学习”课程的轨道，就像是卫星、火箭发射前要进入轨道一样。第 2 个层次是初中，这时强调的是入门，学生开始产生探索的兴趣，但是只有兴趣还不够，还需要有一点入门。第 3 个层次是高中，高中跟前 2 个层次就完全不同了，主要是 3 门课程——生物医学科学、计算机科学和工程学。

“项目引领学习”已经开发了一些课程，但是目前只有美国在使用，每个学区付一定的费用就能使用已经开发的教材。这套教材很全面，想得非常细致，教材会提供全套需要的工具和素材，不需要使用者再自己动手开发。

案例：“老鼠夹”项目——在设计中学习

“老鼠夹”项目是 2012 年新泽西的一个高中（11 年级）



图 1 “老鼠夹”项目使用的材料

做的工程设计课程，要将老鼠夹弹簧的能量转化为驱动两轮车的动能（图 1）。老鼠夹上有 1 个弹簧，另外再提供 2 张光盘，用这些材料做 1 辆车，最后大家比赛。这个工程设计要学生探究怎么做两轮车才能够开得快、开得远，当然，开得快、开得远不是最主要的，主要的是在制作过程中不仅学到知识，还要学到工程设计的理念。

◎ 项目学习程序

第 1 步，设计原理与论证。学生开始做初步准备工作，研究做这个设计需要什么知识（图 2）。可能是力学的知识，也可能是数学的知识，

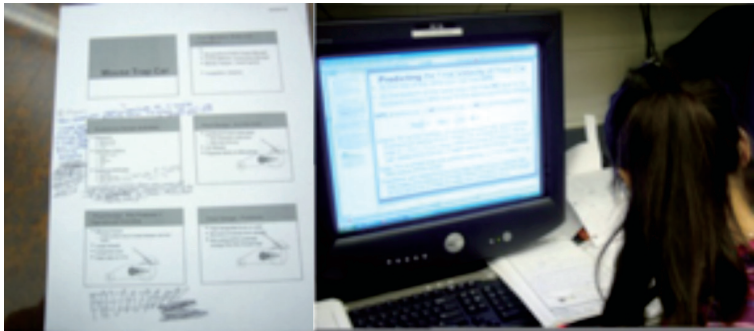


图 2 学生正在进行对原理的设计与论证



图3 记录设计方案

在制作之前首先要想明白主要应用的原理，然后用几个星期时间去论证想法，而不是急于动手去做。最后会要求学生速度进行预测。

到了预测这一步实际上就是学习程序的第2步——设计方案具体化和执行。探究过程中的每一个细节学生都要掌握，不仅要画图纸，还要进行计算，并且要把这些详细记录下来（图3）。

第3步，设计过程评价。课堂上，每组有3~5个学生，教师巡视时会问学生“你有什么问题”“你怎么设计解决问题”这类的问题。教师手上有一个课程设计好的、很具体的记录，学生必须要通过评价才能继续进行下一步的探究（图4）。

第4步，设计产品竞赛。大家一起比赛，看谁设计的小车走得最远，计算出能够释放多少能量。这一步是为了引发大家的兴趣，最后设计的小车什么样子，从学习的角度来说并不是最重要的，重要的是在学习的过程中能够领悟什么。

项目启示

- 设计活动与知识的有效建构。真正好的教育一定有设计在里面，像“老鼠夹”项目，需要整合很多知识，包括数学、力学、材料学等。所以，知识的有效建构很重要。

- 课程4要素。课程一般有4个要素，第1个是核心内容，指概念体系的掌握。第2个是贯通宗旨，指各种知识的融会贯通。第3个是实践导向，要在问题中、实践中学习。否则有可能很多学生学了一脑子的数理

化，最后却不知道如何去应用，所以遵循实践导向是很重要的。第4个是自我认同，指的是自我情感与价值取向，这一点也非常重要。

◎ 自主选择的研究课程（学生探究与研究）

周期

纽约的高中生很多都是到校外学习，时间从9月到次年的5月，如果有兴趣还可以再做1年。美国的高中是4年，从高中3年级开始，高中3年级、4年级都有研究课程。

程序

- 研究建议和导师。前期工作由学生自己做，提出建议，希望做哪方面的研究，希望跟着哪位导师做研究，根据自己的兴趣，选择研究方向和导师。

- 探究实践（研究笔记）。当学校同意了学生的建议就可以做探究实践了。学生根据自己的研究笔记，做很多探究工作，每一步都需要很详细的记录，记录对后面的评估起着非常大的作用。

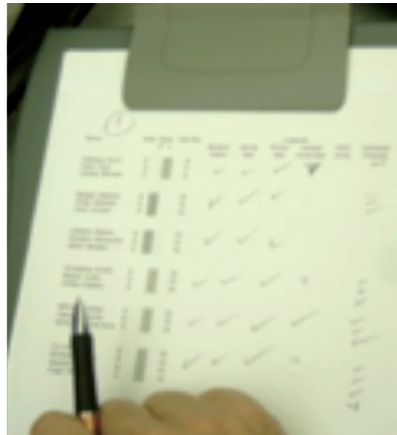
- 进展报告。在中期时会要求学生提交一个进展报告，一般在第1学期末。

- 提交摘要。第2学期中期，需要学生提交项目探究的摘要。

- 口头报告。在第2学期末，会要求学生



图4 课堂上的设计过程评价



口头报告项目进展。

- 提交论文。在第2学期末学生提交论文，如果教师或者导师觉得论文需要修改，一般会给学生2星期时间修改，然后重新提交，最后教师评分。

探究标准

探究标准主要分为以下4类。

- 计划。在制订计划时就要考虑问题的价值和复杂度，要利用原始文献，计划中要预见需要的步骤及可能结果。评估时会考查计划是否周全。

- 探究。探究时需要步骤清晰、方法得当，还需要与导师每星期当面讨论问题和解决办法。

- 分析。分析时要考虑每部分的关系，通过变量和因果分析，得出恰当结论。在分析问题时需要注意分析方法的局限性，这会直接影响到结果。

- 表达。表达时要求简洁传达要点，最好能够利用视觉材料进行表达，需要平衡证据和讨论，回答问题要得当。

评估和评价

在评估和评价方面，学生的笔记会起到很大的作用。整个项目研究过程中，都要求学生非常详细地记录数据和观察到的现象，记录数据收集方法、查阅到的参考文献，记录探究过程中的思考，包括和导师的讨论，以及讨论后解决了什么问题。最后的评分倒是简单的，评分就是超出期望值，或达到期望值，评分积累了学生在整个过程中的表现，教师综合起来评估学生是否能通过。

学生探究论文样本

以下是某个美国高中2015年学生的一些研究报告的题目，这所学校共有650人左右，收到了184篇报告，基本上毕业班的学生全员参加了。美国许多高中教师很有经验，有能力来支持这些项目。另外，美国高中和大学联系非常紧密，以下研究课题大部分是学生在西北大学和芝加哥大学做的，都处于世界前沿水平。美国的高中生星期三不安排课程，这也使得他们有时间到实验室去做研究。

- 改进在Fluorescence-Guided脑手术中对癌细胞的辨识度

- 乳腺癌的分子水平分类和Ki-67蛋白质

在肿瘤生长中的作用

- 在高压下利用SIS技术改变高分子结构的特性

- 设计在仿真情境中能胜过人类的人工智能算法

- 美国的天然气价格对空气质量和公共健康的影响

- 用一种新的核磁共振技术对脊椎底部作三维分析

- 功能性电刺激对手的控制效应

- 量子计算语言的更有效的新算法（数学）

- 将核磁共振与EEG结合观察不同睡眠时段大脑活动区域

自主选择的个人化探究项目的启示

- 科学实际上是社会实践。知识是社会实践的产物，要真正了解科学，必须去实践，只有实践才能够继续创新。

- 个人能动性的充分发挥。美国教师比较放手让学生自己去思考问题，然后得出他们的结论。

- 导师的作用非常重要。如果没有导师的指导，可能这些高中生到了实验室也学不到知识。而且自主选择的研究课程有巡视制度，会派教师到各个实验点去看学生做得怎么样，这是非常重要的一个质量控制机制。

- 评估对学生的探究态度有非常重要的影响，是探究质量的保证。

◎ 探究课程的资源要求

大学在探究课程中起到了主导作用

首先，大学有社会义务、社会责任。

第二，从自身角度来说，大学也需要好生源，这些专业如果没人来接着做，就会处于后继无人的局面。

可持续的伙伴关系

这些项目都是几所大学一起花了很多年研究的，是非常重要的项目，也是持续性项目，这些高中配合大学做这些项目已经十几年了，甚至有的已经二十几年了。

教师培训和教师发展

美国非常注重对教师的培训，这样他们才有能力支持高水平的研究项目。■