

著名化学家徐光宪院士总结的科研创新的 16 条方法

国家最高科技奖得主、著名化学家徐光宪院士多年探索科研如何创新，并通过讲座等形式传递给学生后辈

●知识创新都有前因后果，来龙去脉。故而勤奋学习，建立知识框架，积累深厚基础；加上追根到底，万事逼问为什么的好奇心，就是创新的源泉。前者是学，后者是问。学而不问则殆，问而不学则茫。学而问，问而思，思而行，行而果，这就是创新。

●如果你梦想要做一个科学家，那么勤奋学习就是实现你的梦想之“舟”。但舟有快如宇航飞机，慢如蜗牛。所以勤奋必须是高效率的勤奋，不要去做“磨擦生热”的“无用功”，更不要做“负功”。

●在科学研究中常常会遇到“山穷水尽疑无路”时，粗心大意的人很容易放过这种机遇。只有具有敏锐眼光和扎实基础的科学家才能抓住它，取得重大的突破。

●实际的学科基础是金字塔，有比较广的知识，但是又要有塔尖，有高度，也就是你的专业知识高度。但是一条竹竿是站不直的，所以你除了“高”，还要有一些“宽”。

多年以来，我一直在实践中探索科研如何创新的方法，总结了 16 条。我可以告诉大家，我的天赋很平常，但“天道酬勤”，只要依靠勤奋，是可以取得科学成就的。大发明家爱迪生说：天才=98%的汗水+2%的灵感。而 2%的灵感也可用勤奋来培养。各位同学只要勤奋努力，相信都能成为出色的科学家。

1、创新与知识积累：中药铺的抽屉和知识框架

创新必须先有知识积累，这是创新和继承的关系。我幼年时常生病，生了病去看中医，到中药铺去抓药，看到中药分类归档，放在上百个抽屉里。从那时起就模糊认识到要把学到的东西放在脑中的抽屉里，并把众多抽屉有序排列，才能记住。以后就慢慢形成要在自己的头脑里建立知识框架的概念。知识框架即知识文档树，建立知识文档树便于知识存贮检索、记忆、联系比较、分析归纳和创新。

2、创新链和创新树

科学研究是接力赛跑，起跑点要在科学研究的前沿，要把前人的有关知识接过来。研究生的导师很重要，他把接力赛跑的棒交给你，你就可以在科学研究的

前沿起跑。牛顿说：“我是站在巨人的肩膀上，所以能看得远一些”。这是创新和继承的关系。

科学研究既然是接力赛跑，所以每一项科学创新都有前因后果。把这些前因后果串联起来，就构成一条“创新链”。创新链常有分支，于是构成“创新树”。建立创新树的方法，可以启发你的创新灵感，活跃你的创新思维，特别是在分枝点上，可以思考一下：还有什么新路可走？

3、分类研究法

“分类法”是一种重要的科学方法。科学(Science)原来的含义就是分科之学。例(1)动植物的宏观分类法——门，纲，目，类，科，亚科等。例(2)生物的微观分类法——基因分类法。例(3)萃取机理的分类。例(4)经济模式的分类——自由资本主义经济(如美国)，欧洲资本主义经济，中国特色社会主义市场经济等。

世界上的事物是非常复杂的巨系统，要探索这个巨系统，先要把它进行分类，才能找到其中的规律。现代科学发展的大趋势之一，是学科越分越细。例如 1900 年是 500 门学科，2000 年是 5000 门。100 年增加 10 倍。2100 年可能到 50000 门，2050 年到 20000 门，50 年中创建 15000 门新学科，我们中国人至少创建 3000 门。你们要有创建 3000 门新学科的雄心壮志。

4、学科交叉法

学科交叉法就是在不同的学科之间，进行“比较”、“类比”和“移植”的研究方法，从而产生新的研究领域或新的学科。

“比较法”是具有悠久历史的传统方法，也是科学研究中的重要逻辑方法。在语言学的研究中有一分支，叫做“比较语言学”，就是用比较的方法来研究两种或多种语言的异同。在生物学中有“比较生物学”。学科交叉的无人区是创新的生长点。

在比较语言学中，可以互相取长补短，促进本门语言学的发展。例如英文的 Crisis，中文是“危机”。危机有危险和机遇两层意思。处理得当可以把危险化为机遇，而 Crisis 只有危险的意思。中文有“做学问”一词，通常翻译为 Learning，但后者只有学习的意思，没有问的含义。做学问要既学又问，学而不问则殆，问而不学则茫。

5、移花接木法

“移花可以接木，杂交可以创新”，这是科学创新的“移植法”。科学可按照它的研究对象由简单到复杂的程度分为上、中、下游。数学、物理学是上游，化学是中游，生物、医学、社会科学等是下游。上游科学研究的对象比较简单，但研究的深度很深。下游科学的研究对象比较复杂，除了用本门科学的方法以外，如果借用上游科学的理论和方法，往往可收事半功倍之效。所以“移上游科学之花，可以接下游科学之木”。

例(1)量子化学是把量子力学的理论和数学方法移植到化学中来，因而产生的交叉学科。美国理论物理学家科恩和英国数学家波普尔，把量子力学的理论和计算数学的方法移到化学中来，解决了量子化学中的计算难题，因而获得1998年诺贝尔化学奖。

例(2)把数学方法移植到经济学中来，可以实现经济学的突破。1994年的诺贝尔经济奖授予纳什，他把数学中概率论之花，移到经济学中来，提出预测宏观经济发展趋势的“博弈论”。

例(3)移花接木创新法的另一例子是仿生学。例如第一架飞机就是模仿蜻蜓制造出来的。流线型的喷气飞机和高速火车的造型是模仿鱼类的，特别是海豚的皮肤表面有一种可吸收能量的弹性结构，借以消除流体的阻力，使湍流变为平流。

例(4)生物学与化学的交叉产生生物化学、分子生物学、生物物理学、结构生物学等。现在后基因组时代已经到来，生物学与化学之间又有一个新的交叉学科——蛋白质组学已经形成。

6、四两拨千斤法

中国有句成语，叫做“四两拨千斤”，这就是“力的放大”。例如杠杆、齿轮、千斤顶等，在搬运东西和机械工程中被广泛使用。在科学研究中，我们要把一种已知的方法尽量推广拓展到未知的领域，这就是“创新”。

例(1)三极管的发明可以实现电流的放大，上世纪三十和四十年代，是电子管的鼎盛时期，它曾为无线电、雷达、电子计算机和V型导弹的发明作出了贡献。1948年发明了晶体管，同样可以放大电流，但体积、重量、耗电量均比电子管减少100-1000倍。1959年又发明集成电路，从而产生了微电子学和微电子工业，导致20世纪的信息革命。

例(2)激光器的发明。电流的放大产生了如此重大的影响，于是人们联想到

光是不是也能放大呢？1954年汤斯首先实现了微波的受激辐射放大。1960年从事红宝石微波量子放大器研究的年轻人梅曼成功地研制出第一台红宝石激光器，实现了光波的受激辐射放大。

例(3)化学合成的自动组装放大，例如用 K. Ziegler 和 G. Natta 催化剂，可使单体自动定向聚合为高分子。又如自组装化学，也是化学发展的方向之一。

例(4)生命的放大——从卵细胞到生命的发育成长，发展成为现代的克隆技术。

7、逆向思维法

在飞机的设计中，要试验飞机的外形和材料在高速飞行中与空气阻力的关系。这种试验很难在空中飞行时进行。于是创造出“风筒”来模拟飞行。这是一种“反其道而行之”的逆向思维方法，即把飞机固定，让高速空气流向飞机，其效果是一样的。这就是在空气动力学和航空技术研究中常用的“风洞”实验室方法。又如在轮船的设计中，可以做一个缩小的模型，放在一个缩小的水槽中，用各种流速来试验船体的阻力。

8、柳暗花明法

在科学研究中常常会遇到“山穷水尽疑无路”时，粗心大意的人很容易放过这种机遇。只有具有敏锐眼光和扎实基础的科学家才能抓住它，取得重大的突破。

例(1)按照经典遗传学的观点，水稻是自花授粉，不能杂交的，“杂交水稻之父”袁隆平也相信这一点。上世纪60年代初，他在田间发现一株优势非常强的水稻，第二年他把它种下去，结果大失所望，跟上年选的植株完全不同，高的矮，矮的矮，生长期长的长，短的短。就在失望之余，他突然产生了震撼：为什么遗传会有这样大的分离呢？只有杂种才会有分离，纯种不会有分离。他于是大胆提出假设：他选的这株是天然杂交稻，推翻了经典遗传学认为水稻不能杂交的结论。当然这只是大胆的初步假设，还有待做艰苦的研究工作，培养出人工杂交水稻来证实。为避免自花授粉，他选择雄性不育植株来受粉，取得了很大成功，使我国水稻由亩产300公斤提高到500公斤。

例(2)光的本质是什么？是波动还是微粒？这个问题争执了200多年，互有胜负，不得解决，在20世纪初到了“山穷水尽疑无路”的地步。这是因为人们的思想受形式逻辑的限制，形式逻辑回答问题，非此即彼，非彼即此。爱因斯坦跳出了形式逻辑的框框，认为问题的答案可以“亦此亦彼”，于是“柳暗花明又

一村”，达到了完美的创新境界。这就是他在 1905 年提出的光子学说。

9、天上人间法

有些物质是天文学家在天上先发现，然后由化学家把天上之花，移植到地球人间的。

例(1)1868 年天文学家在观察日全蚀时，从日珥的光谱中发现一种未知原子的谱线，命名这一未知元素为“太阳元素(Helium)”。28 年后，化学家才从地球大气中把 He 元素气体分离出来。

例(2)天文学家用射电天文望远镜研究分子的转动光谱，发现了几十种星际分子，有一类是直线形的 HCN 分子。化学家 Smalley 想象宇宙中有闪电 CCCC₂C，空气中有氮气和氢气，企图用激光或电弧作用于石墨，在地球上来制备这类化合物，却意外地得到 C-60，并获得诺贝尔奖。但这类 HCN 分子，至今在地球上尚未合成。

10、傻瓜提问法

创新的第一步是“提出问题”。年轻人好奇提问往往是创新的开端。好奇性是科学发展的重要动力之一，所以“好奇心”也是科学家应具备的素质之一。

例(1)三角形的内角之和一定要等于 180 度吗？

其实，三角形的内角之和等于 180 度是平面上的几何学，即欧几里德几何学。人们发现用平面几何学经行大地测量，在范围较大时有偏差。这是因为地球是球面的。在地球上距离较大的三点之间，作三条直线，组成一个三角形，它的三个内角之和大于 180 度。这就是球面几何学。反之，在凹面上的三角形的内角之和小于 180 度。由此建立了一门新的学科：非欧几何学。

例(2)空间的维数是不是一定要整数？例如说一维、二维或三维空间。可不可以有分数的维度？这个看似傻瓜的提问，终于发展成为一门新科学：分形理论。弯弯曲曲的海岸线的维数就在一维和二维之间。

11、大胆假设、小心求证法

胡适在考古学研究中提出“大胆假设，小心求证”的科学方法，我认为也可用于自然科学研究，而且是一个很重要的科学创新的方法。如果你不明白为什么，对老师、专家、权威都可提出质疑，敢于好高骛远大胆假设，善于实事求是，小心求证。对于你的假设预期，要认真安排实验来小心求证。实验的结果不外四种：

(1) 证明了你的假设，于是进一步去寻求新的实验证明。证明越来越多，假设就能发展成为理论；

(2) 部分否定了你的假设，于是你可以部分修改你的假设，使之更为完善；

(3) 全部否定了你的假设，于是你可以根据新的实验结果，提出新的假设；

(4) 得到完全意外的结果。例如从设计合成一个新化合物的失败，到发现一个新的结构类型。如果你的运气好，可能发现新现象或新效应，但必须有敏锐眼光才能抓住它。

所以这四种可能性，在科学上都有收获。尤其是第四种，可能有巨大收获。

12、意外机遇法

例(1) 弗莱明发现青霉素。

例(2) X-射线的发现。

例(3) 宇宙的微波背景辐射。

13、灵感培养法

国学大师王国维在《词话》中写到治学的三个境界：“独上高楼，望尽天涯路”，这是第一境界，是治学或研究的开始，要找到学科发展的前沿，作为你科研创新的起点。“衣带渐宽终不悔，众里寻她千百度”，这是第二境界，正是科学研究的紧张阶段，遇到困难，不知如何解决才好。“蓦然回首，伊人正在灯火阑珊处”，这是第三境界，正在山穷水尽的时候，忽然灵感到来，蓦然回首，伊人(这里指你希望得到的结果，或解决困难的方案和办法)出来了，却在忽明忽暗的灯火阑珊处。

从中可以得到三点启发：(1) 开题的重要性；(2) 勤奋是成功的关键，如果你梦想要做一个科学家，那么勤奋学习就是实现你的梦想之“舟”。但舟有快如宇航飞机，慢如蜗牛。所以勤奋必须是高效率的勤奋，不要去做“磨擦生热”的“无用功”，更不要做“负功”；(3) 创新除了勤奋外，还要有一定的“灵感”。当你在科研中已“进入角色”，“身心投入”后仍然遇到难题，百思不得其解，这时你可以忘掉它，轻松愉快地去做别的工作，或看电影，或散步，或听音乐，然后好好睡一觉。睡眠中大脑会把白天困扰你的问题进行知识的反刍、酝酿和陈化的慢波处理，早上一觉醒来，往往就忽有所悟。听说开库勒就是在早上一觉醒来时，悟到苯分子的六角形结构的。

14、虚拟实验法

现在常用的虚拟现实法也是“建立模型”的方法之一。提出一个理论模型，用计算机虚拟现实，得到希望得到的结果。这一方法现已广泛用于科学研究和高新技术，例如：

- (1) 虚拟大气温度、湿度、气流的未来变化，做出近期和中期的天气预报；
- (2) 建立模型，虚拟小浪底水库放水冲洗黄河的泥沙，提供最优化实际放水时间和流量等参数；
- (3) 虚拟原子弹爆炸过程，代替实际爆炸实验，为原子弹设计提供基础；
- (4) 北京大学在稀土分离研究中，以串级萃取理论为模型，用计算机模拟“摇漏斗”的实验，获得稀土工艺设计的“一步放大专家系统”，并在全国推广应用。

15、综合集成法

系统科学是从传统科学中提出带有共性的问题来研究，因而产生的科学。它是最广泛的交叉学科。如果把自然科学、技术科学、社会科学看作科学分类的经线，那么系统科学就是横跨自然科学、技术科学、社会科学的纬线，所以也可称为横断科学。它包括系统论、控制论、信息论、耗散结构理论、非线性科学、协同学、运筹学、混沌理论、分形理论、突变论、超循环论等。下面仅以控制论为例，说明它是怎样发展起来的。

控制论是把自动调节、通信工程、计算机技术，以及神经生理学和病理学等学科，以数学为纽带联系在一起而形成的新学科。它是1948年美国数学家维纳创立的，他在二次世界大战期间，接受了研制防空火力的控制系统的任务，尝试用机器来模拟人脑的功能。他把生命机体和机器作比较研究，总结出自动机应具备的一些特点。他的研究还表明，无论是自动机器，还是神经系统、生物系统，以至经济、社会系统，反馈都对系统稳定起着至关重要的作用。他总结了这些思想，在1948年出版了《控制论》一书，把控制论定义为“关于机器和生物的通讯和控制的科学”。钱学森1954年在美国出版的《工程控制论》一书，是这个学科的奠基性著作。同年艾什比发表《大脑设计》，建立了“生物控制论”。

16、接近于“无中生有”的原始大创新

量子力学和相对论是突破当时牛顿经典力学的理论和传统概念，提出全新思维和理论的创新。但即使这样重大的原始创新，也不是完全“无中生有”，而是

有迹可寻的。

以量子力学为例，实现这一类创新的第一步是“提出科学问题”。正确敏锐地提出科学问题，本身就是重大的创新。

第二步是要有敏锐的直觉和灵感，提出一些前所未有的新概念，并重新审视旧理论中的概念。

第三步是要建立新理论的基本方程。既然微观粒子与光子一样具有波粒二象性，它们的基本运动方程也应相似。薛定谔把光的 Maxwell 电磁波方程与德布罗意关系式结合起来，得到量子力学的基本方程，即著名的薛定谔方程。

第四步是要有深厚的数学基础，从基本方程推导出可以由实验来检验的结果。

第五步，一个新理论的基本方程建立以后，还要回过头来看看这个理论体系是建筑在哪些基本假设的基础之上的。基本假设的要求是：物理概念要明确，表述要简洁，它的实验基础要巩固，条数要愈少愈好。这样才能建立简洁优美的理论体系。

徐光宪简介：

徐光宪，著名化学家，中国科学院院士。现任北京大学化学系教授、博士生导师。

徐光宪长期从事物理化学和无机化学的教学和研究，涉及量子化学、化学键理论、配位化学、萃取化学、核燃料化学和稀土科学等领域。通过总结大量文献资料，提出普适性更广的 $(nxc \pi)$ 格式和原子共价的新概念及其量子化学定义，根据分子结构式便可推测金属有机化合物和原子簇化合物的稳定性。建立了适用于研究稀土元素的量子化学计算方法和无机共轭分子的化学键理论。合成了具有特殊结构和性能的一系列四核稀土双氧络合物。

2008 年，徐光宪获得中国国家最高科技奖。