

一万小时天才理论

——谈谈精深学习

郑泉水



郑泉水，清华大学工程力学系教授，清华学堂人才培养计划“钱学森力学班”首席教授，微纳力学中心主任，航院学术委员会主任，教育部长江特聘教授

分享学术之路，谈谈“精深学习”是因为前人或者大师的经验可以影响人的一生，我自己就受益于此。再者是在我与钱学森力学班同学，尤其是一、二年级同学的交流中，越来越意识到帮助同学们认识自我，确立和提升自信，是我作为老师，尤其是首席最重要的挑战之一。三是同学们在高考时只凭成绩，而大学则对综合素质和研究、实践能力有更高的要求，如何帮助大家面对和解决这个问题？四是大学所学的学科专业其实只是一种人为的划分，在毕业后真正从事什么，既和专业有关，也没有太大的关系。我看到很多人不知如何长期打算，也没有花足够的时间选择与规划自己的学术人生。因此，我借着一些关键词——选择、主动学习、精深学习、通过研究来学习等，结合认知科学、心理学以及一些例子，包括我本人的例子，谈谈我的学术之路以及给同学们的建议。

一万小时天才理论

最近我看到一本很有意思的书，《一万小时天才理论》（*The Talent Code*, Daniel Coyle, 2009）。这本书收集了丰富的事例，表明如果想要成为某个领域内世界级的专家，需投入一万个小时练习。一万小时等于连续3年，每年365天、每天10小时；或者连续10年，每年365天、每天3小时。

比尔·盖茨中学时投入了1万个小时用于编程。爱因斯坦、莫扎特等都是如此，只不过莫



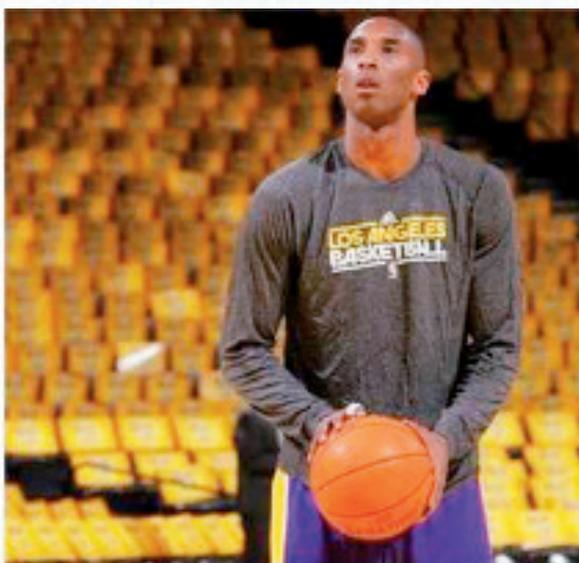
扎特是更早地专注投入而已。而且这一万小时不是简单地投入，而是设定清晰目标，确定适当难度，在自己的能力边缘，不断犯错以获得精进的一种练习。这种练习有大的框架，有对框架的细分，有反馈和自己的领会，作者称之为“精深练习”。“一万小时天才理论”（下简称为“一万小时理论”）是由心理学家埃里克森（Anders Eriksson）提出，并与心理学家、诺贝尔奖获得者西蒙（Herbert Simon）共同验证的。这“一万小时”不是一个恰好为10000的数字，但达到此程度所需投入的练习时间，大体上不会差很远。

我还喜欢看篮球，尤其喜欢看科比打球。“一万小时理论”也适用于科比。他有时输球了，凌晨四点钟就起来练球，一练就是几个小时。他的成就跟他的付出有很大的关系。在主帅菲尔·杰克逊的眼里，十年前科比就是湖人队中

最勤奋的球员，十年过去了，仍然没有人能比科比训练得更刻苦。

这个理论是有生理学依据的。人体神经元的突起可以分为树突和轴突。髓鞘质（myelin）是包裹轴突的一层物质，如果把轴突比喻成导线，那么髓鞘质就好像包裹在导线外层的绝缘体。有髓鞘包卷的轴突即为有髓神经纤维，与无髓鞘质包围的神经纤维相比，它最高可使信号处理能力提高3000倍。髓鞘质越厚，人的即时反应能力越强，人的技能（才能）等级也越高。通常情况下，一般的练习不会产生“增量”，因此对髓鞘质刺激不大。只有精深练习所产生的“增量”——突破原来的水平——才能刺激髓鞘质的增长。因此，简单的重复、反复、持续对髓鞘质的增长作用不大，而有“增量”的重复、反复、持续才是有效的练习。“精深练习是建立在悖论之上的：朝着既定的目标挣扎

“ 在主帅菲尔·杰克逊的眼里，十年前科比就是湖人队中最勤奋的球员，十年过去了，仍然没有人能比科比训练得更苦。”



十年磨一剑

前进，挑战自己的能力极限，不断犯错、纠错，就像爬冰山，刚开始的时候会滑倒，会跌跌撞撞，最后不知不觉中变得敏捷自如。”

因此，“一万小时理论”的关键词是“一万小时”和能带来“增量”的“高强度训练”，而没有热情是不可能做到长时间高强度训练的。有的老师评价我有热情，其实清华里很多老师都有热情，清华的同学也很有热情，这个热情是使人能够坚持的重要原因。中国有句古话：十年磨一剑。这句话就把这个道理说得非常清楚。这里所涉及的两个概念“十年”和“一剑”，“十年”是时间，“一剑”是专注，讲的就是长时间在一个方面专注地投入。

不同寻常的成长路径

我自己的学习和研究之路在中国可能是不多见的。因此，我一直不愿对外多谈，怕误人子弟。即使今天，我依然认为我的经历不会适合所有人。好在《学术之路》其他5位首席的经历和思考为同学们提供了立体性、多样化的借鉴。在担任“钱学森力学班”首席教授的过程中，我读了很多相关的书和资料，发现它们所揭示的规律正是我体会过的，所以我现在讲起来才能比较有自信。虽然未必适合所有人，但既然这些规律是有科学道理的，那么谈谈我的经历和体会，希望能够帮助同学们在这个信息爆炸的时代找到适合自己的学习和研究之路。

1977年恢复高考，我成为了江西省金溪县当年唯一考取大学的应届高中毕业生，进入当时的江西工学院土建系学习。我在上大学之前，除了中学课本，没有机会看到近现代的科技书籍。高中物理上的是农业机械，就是学农机，几乎没有学过化学和英语，经常被组织去水利工程挖运土地。我每年还出去打一个月的篮球，画半个月的画，这期间都不在学校。我家旁边有一条很宽的河，抚河。我当时最大

的梦想就是架一座桥到河对岸去，这就是我上大学时为什么选择土木工程专业的的原因。

上大学以后，我感到自己基础很差。我入学时是16岁，班上已有8个同学是30岁上下。当时我也没有感觉自己特别聪明。不过，我有两个长处：一是我有自学能力，二是很自立。这两个都是逆境培养的。我小学三年级的时候近视得厉害了，坐第三排都看不清黑板，那时我不知道可以戴眼镜。我父母没有文化，也不知道要给我配眼镜。再加上我个子长得高，不能再往前挪了，所以没办法，我只能看书自学。再有就是受到“文革”的影响，我不想要家里的钱，所以我都是自己去赚钱，从小学五年级开始就自己赚钱。这些经历都对我起到了很大的作用。

当年12月的高考，我本以为自己没有考上，所以考后就在家自己看数学书，整个冬天都在自学一本偶然获得的高难度几何书。我高考的数学成绩本来是全班倒数第一（38分，班里成绩最好的是96分），但是等自学了数学再进大学之后，我发现自己几乎快成班里数学最好的学生了。这是我的“第一桶金”，使我建立了很大的自信。所以我当时决定先集中精力学好一门课——高等数学。为此，我自学了图书馆里能找到的很多本高难度的数学课外读物，并且做了适度的习题。这之后，我的数学就远远跑在年级同学的前面了。

我于是发现这好像是个办法——尽管我不觉得比他们更聪明，但

我学好一门课总是可以的吧。实际上，学好我喜欢的一门课是容易的。这样一来我就比较专注，看了许多课外书，做了许多练习。我发现只要我把全部的力量集中在一个“针尖”上，我还是可以超过许多人的。我相信所有的人都有这样的特点。

在大一的第二学期，深深影响我35年学术之道的爱因斯坦出现了。因为一个机缘，我看到了《爱因斯坦传》，我被他深深迷住了。我感觉自己跟爱因斯坦在很多方面很像，这大大强化了我的自信心，也深深影响了我一生的学术之路和模式的选择。

Maxwell方程组是一个包含20个变量、20个方程的复杂系统，即使是写成矢量场的形式也不简单。它在1865年被提出之后，很多人包括当时的很多教师都不懂。爱因斯坦16岁时，大学的入学考试失败，但是他有梦想，其中一个就是想知道假如他跟着光跑，能够看到什么？这是他的梦想，也是他与电磁的缘分。他1900年大学毕业于苏黎世高工，大学阶段对Maxwell



爱因斯坦

的电磁场理论十分着迷。他把主要的时间都投入到对这个理论的自学、思考和讨论上。他花了大量的时间，以至于很多课都荒废了，他的数学甚至还抄作业。他还花了很多时间讨论哲学问题，也花时间拉小提琴。但是他大三的时候就开始写论文，毕业前完成了一篇学术论文。当时的电磁场理论还不是大学课程，爱因斯坦对这个理论的理解超越了他的老师。五年以后，爱因斯坦提出光量子假说，解决了光电效应问题；还独立而完整地提出狭义相对论，开创了物理学的新纪元。十年后的1915年，爱因斯坦运用黎曼几何（黎曼几何是1864年提出并逐渐发展起来的新的数学）和张量分析，创立了新的引力理论——广义相对论。

爱因斯坦好像不是什么特别“天才”，尤其记忆力和外语都不很强。数学靠抄同学的笔记。绝对不是一个每门课都优秀的“好学生”。但他着迷于电磁场论，通过自学，对刚刚出现的电磁场理论有了超过教授的深刻理解。

爱因斯坦对我的影响非常大，他的很多想法，包括他对和谐、对统一的追求都对我有很大的影响。我感到学土木没有学力学有意思，力学是很优美的。这样我就转变了方向，这使我的梦想从架桥转到了以建立力学的公理化体系为宗旨的“理性力学”。他一生努力着建立统一的物理场论，我则希望能建立力学的统一，那时候我只能看到这一点点，我没有那么多机遇看到更多。那时没有英特网（我恨不得晚生一点点，笑）。为了梦想，我按照一学期“精深学习”（大部分为自学高难度内容）一门课的节奏，在目标引导下长驱直入，提前考试或者老师特许免考，完成了大部分与数学、物理和力学相关的主干课程。我大三的时候就自学完了研究生都认为高难度的“张量分析”和1993年过世的中科院院士、北大郭仲衡先生的“非线性弹性理论”。郭教授写信给我说，你是我知道的在中国第一个看明白这本书的人。

我太高兴了！大三时我就开始发表论文了，在成长历程上和爱因斯坦是相像的。

我遇到了很多非常好的老师，比如杨德品老师、熊祝华老师等。他们鼓励我去看书，专门为我组织提前考试，还邀请我给他们上《张量分析》、《非线性弹性理论》的课。这对于一个学生来讲，鼓励是巨大的。我认为一个真正卓越的老师能激发起学生的兴趣和自信，像父母对待自己的孩子那样让学生的成就超过自己，我的老师们就做到了这一点。二十年后，在这个领域我做出了一些成绩，解决了理性力学若干历史难题，如：创建了本构方程的现代张量函数表示理论体系，解决了半个世纪未被解决的普遍具有二阶精度的细观力学模型难题和非椭圆夹杂 Eshelby 理论难题，以及140多年未解决的 Cauchy 平均转动表示的难题。在相关领域建立了世界声誉。我要感谢我的老师。

再讲讲比尔·盖茨。他从13岁开始着迷于软件，中学阶段花了一万小时编程。大三时，盖茨决定从哈佛大学休学去创业。他在一个新的学科花了一万小时，已经超过了他的老师。他把全部精力投入到他与孩提时的好友保罗·艾伦创办的微软公司中。在“计算机将成为每个家庭、每个办公室中最重要的工具”这样信念的引导下，他们开始为个人计算机开发软件。

盖茨说过一句话，“在我看来，大学完全是为我设计的。我旁听了大量的麻省理工学院的公开课，数量超过我所知道的任何人。”同学们，你们有这种感觉吗？我知道我的很多学生很痛苦。而在盖茨看来，大学完全是为他设计的，这是为什么？因为他知道自己要学什么，自主学习是非常重要的。

总结前面讲述的爱因斯坦、比尔·盖茨和我的成长经历，会看到一些共同之处：我们都有热爱或着迷的领域，有明确的学术或创业的目标（爱因斯坦：电磁场/统一场论，比尔·盖茨：编程/个人计算机，郑泉水：理性力学/力

学的统一)；都在各自的领域自学和自主学习，专注地投入一万小时；都在特定的方面超越了老师的水平；都初步出了成果(论文或者公司)。

再看看我们的差别在何处？第一是我们的远见和机遇不同：爱因斯坦做全新的电磁场理论，比尔·盖茨为刚刚出现的个人计算机构建软件平台，他们有机遇做开创性的工作。我做了一点理性力学，当时我就只看到那么一点点。理性力学在上个世纪五十年代已经发展得非常成熟，而我不知道。等到上个世纪九十年代时，不夸张地说，我在领域里面是做得最好的，但这个领域已经不是一个最好的领域了，所以我决定转方向，而一转向我前面投入的一万小时就没有了。第二是我们的导师和学校不同：爱因斯坦当时所在的欧洲是全世界的科研中心，苏黎世高工是全欧洲顶尖大学之一；盖茨在信息技术中心的美国，他在哈佛大学和MIT学习；我的大学根本不出名。我的眼界不够也因为当时我的老师们对最新科技的了解比我知道的多

不了多少，因为文革他们荒废了整整十年。

精深学习和通过研究来学习

讲“一万小时理论”的生理学基础时提到了“精深练习”，应用于学习层面，就是“精深学习”。新的研究表明，杰出的表现是多年刻意练习和指导的产物，不是任何与生俱来的天赋或技能。

知识有三重境界。最低的境界是信息(Information)：我了解到了。第二层是技能(Skill)：我能够应用信息解决问题(习题、实际问题)。第三层是态度(Attitude)：成为我可发挥自如的一部分，得以创造新的知识。我们以前常说“知识就是力量”。现在的问题是知识太多了，如果单纯以知识衡量，人是超不过计算机的。所以问题是知识能不能转变成技能，达到第二层境界；又能不能创造新的知识到第三层境界。对创造性具有决定性影响的不是知识的量，而是对知识理解的深度以及组织



在知识爆炸的时代，追求深度学习

方式。只有“活”的知识才有助于学习者以新颖的方式理解和解决问题，“死”的知识反而会束缚学习者的思维。

Carl Wieman (卡尔·韦曼, 著有 Why not try a scientific approach to science education) 很年轻时就获得了诺贝尔物理学奖。他对认知很着迷, 这些年了解认知已成为他最主要的兴趣。他做了很多实验, 发现从深度理解(类似于知识的第二层境界)到把握(类似于第三层境界)的关系是30%—70%。这是指不管老师讲得多好, 学生对于一门课能够理解的东西只占30%。这个结论让人很失望, 但的确是一种规律。怎么超越30%而到70%呢? 他实验的结论是在课上提问。他设置了很多问题, 先讲一些知识, 再提问。通过这种方式, 花同样的时间, 能够使学生的课堂认知达到70%。所以小班上课非常重要, 提问也非常重要。

在钱学森力学班的教学中, 我一直提倡要从被动、痛苦地学习, 转向主动、快乐地学习; 要目标明确、自主地学习, 要有挑战性地学习; 最后通过研究以及团队协作来学习。因为通过研究去学习是效率最高的学习方式, 它不仅最大程度地调动起学习者的能力和激情, 并且通过研究学习到的知识容易达到最高境界。

阅读只是一种简单的获取, 关键是要练习建立技能, 再通过研究建立解决创造性知识的能力。而我们面临的是一个知识爆炸的年代, 应该怎么办? 要理解问题本身, 做研究, 达到知识的深度, 不停留在研究本身, 只有这样才能把根扎下去, 否则就会浮在水面, 浅浅地知道一点, 成为过眼云烟。但我们又不可能对任何课程都投入一万小时, 我们不是生活在爱因斯坦理论衍生的科幻超光速世界, 时间不能变多, 四年时间不吃不睡也就是三万个小时, 所以一定要有所选择。

看看清华力学专业的课程, 要学数学, 又

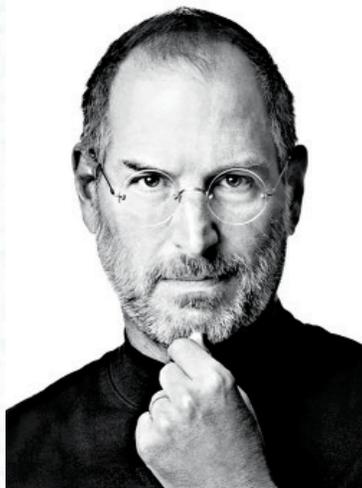
学物理、工程、机械等知识, 这还只是其中一点点。如果拼命去学全部, 你就死掉了, 为什么? 每门课都学得一样, 你就成了模具或流水线下的普通产品, 而不是精心创作雕刻的杰出作品。不管喜欢不喜欢都学, 学得很痛苦, 学完了以后又全忘得干干净净。这样的结果是不是令人非常遗憾?

再看看我的大学知识结构: 从高等数学、高等代数开始, 直达弹性力学、张量分析, 直到论文发表, 然后是看高等弹性力学、微分几何和非线性场论, 再做前沿研究。这其中一大半都是研究生课程。这样的知识面有一定的局限性, 但是理解得有深度、目标贯彻一致, 这样便于建立自信。你知道自己不比别人差, 这个很重要。慢慢地再建立宽度。我现在做的研究实际上很宽, 跟物理、化学、生物、材料、制造等都有关系(多学科交叉), 但是这些领域我自己达不到那个深度, 因为很简单, 我没有一万小时的投入。虽然没有一万小时, 但你可以有朋友、有合作者。所以我与不同专业的很多人都有合作。这些人来自各行各业, 有得过诺贝尔奖的教授, 有大企业的老板。他们为什么与你合作? 因为你在某个方面做的最好。道理就是这样。如果你有的人家都懂, 他们为什么要跟你合作呢? 合作的前提是因为你在每个方面最好, 同时你有与他们沟通、理解他们的思路等等, 就是这么简单。

除了与人合作, 我还向我的学生学习。我要求学生半年之内要成为一名“专家”, 即在他的研究方向了解的要超过我, 否则就不合格。一个同学虽不能在所有领域都超过我, 但在一个领域超过我就可以。你可以不用样样在行, 我自己也是这样。我学高等弹性力学, 我在这个领域是专家, 我的统计就不在行。我有一个朋友, 他物理方程的书写得很好, 他就成为这方面的专家。你总可以找到你的长处, 你永远可以找到你的长处。



比尔·盖茨



乔布斯



埃里克·施密特

抓住机遇 开始自己的一万小时

这里还要谈到另一本书《异类》，讲述 Microsoft、Apple 和 Google 的创始人、总裁的故事，他们分别是比尔·盖茨、史蒂夫·乔布斯和埃里克·施密特。除了都是计算机行业的，他们三位还有什么关联？他们出生于同一年，1955 年。这不是偶然。这本书举出了很多必然——就像《大众电子》的封面——机遇：个人计算机发展历史上最重要的时刻，1975 年，第一台个人计算机出现了。那时这三人都 20 岁，都血气方刚、精力充沛、勇于挑战。这本书举了许多例子来说明机遇的重要性，一些看上去资质平常的人最后取得了杰出的成就，而另一些看上去资质非常好的人最后一事无成。

另外一个例子是在历史上通过个人奋斗取得财富的 75 个人当中，比尔·盖茨只名列第 37 位。约翰·洛克菲勒位居榜首，亨利·福特位列第七。这其中有 14 位美国人出生在 1831 至 1840 年这十年间，因为 19 世纪 60-70 年代是美国历史上最大的经济变革。由此前的爱因斯坦、比尔·盖茨和我的对比以及上面两个例子，相信同学们能够明白机遇的重要性。我对在座的同学非常羡慕，你们需要更好地抓住机会。中

国目前是前所未有的好机遇，这是可遇而不可求的。

同学们，你们找到了自己的爱好、擅长与热情所在吗？你的远见与视野如何？有多少时间你是在做自己想做的事情，是在主动地做事情？你有多少时间就只是为了学分而学习？清华有巨大的资源，你利用了多少？在清华有那么多上乘的学术报告，你听了多少？清华有许多优秀的学生，他们可能在你今后的人生中对你有很大的帮助，你交往了多少？这么多、这么好的资源，你利用了多少？

你如果没有专注地投入“一万小时”，没有不断挑战自我能力极限地致力于一个明确的方向，你难以成为世界级的专家。你可能很忙，但漫无目的，必然一事无成。学校的课程培养和培养方案不可能是针对你个人设置的，只有当你明确了你要选择什么，学校才可能是“为你专设的”。在座的每一位同学，你的智商与思维远远超出你成功所需要的，你可以在一、两个方向成为世界级的专家，就看你自己了！

（本文根据作者在“学术之道”讲座上的内容整理。本刊记者 曾卓崑 编辑整理）