

“走出舒适区，人一定要有梦想”

科研团队如何高质高产?这位世界顶尖科学家如是说

1997年,我到美国加州大学洛杉矶分校任教。当时得到的科研启动经费是十万美元,加上大约30平方米的实验室空间。

23年一晃而过,我的研究团队一直站在有机光电领域的世界前沿。我培养出48名博士、55名博士后,其中约40人成为散布世界各地的高校教师,还有40%的弟子进入苹果等高科技公司,其他人自行创业或加入创业公司。我发表了超过400篇经过同行评审的论文,引用量超过115000次。在谷歌学术搜索引擎上,截至2020年11月,我的H指数为156。我还拥有80多项正在申请或已授权的专利。2016年,我被汤姆森路透集团评选为全球最具影响力科学家之一。

我经常思考,我的科研团队高产的秘密是什么?可不可以当成某种小规模试验加以推广呢?因此,2018年5月,我应施一公校长的邀请加入西湖大学,希望把培养学生和科学研究紧密结合在一起,为中国未来的高等教育和通识教育提供路径。

2020年10月,我辞去西湖大学学院院长、讲席教授职务回到加州大学洛杉矶分校,但这些念头仍在发酵。我想,不妨先把我的科研之路和带领团队的经验如实记录下来,为年轻科研人员,特别是职业生涯刚开始的高校教师,提供一点参考。

走出舒适区,人一定要有梦想

我在台湾出生成长,1982年于台湾成功大学物理系拿到学士学位,1985年到美国马萨诸塞大学洛厄尔分校攻读研究生。

读本科时,我只是一个平均分不到70分的物理系学生,不会考试,也不知道怎样拿高分,虽然很努力,却始终不得其门而入。但到了美国后,尽管就读的大学排名将近第200名,但老师们个个鼓励学生讨论,就算意见不一样也很欢迎。我这人天生就喜欢问各种问题,这种鼓励学生发表看法的科研氛围,让我如鱼得水,一下子变成一个门门拿A的学生。

在美国读研,最大感触是做习题——规规矩矩地做,常常做完就是深夜,有时还会做到天亮,而且老师批改很严,不对之处都会挑出来。对学生来讲,这就是一个跨马步打基础的过程。因此我当老师后,通常不希望一年级研究生做科研,而要求他们专心修课,因为错过这个打基础的时期,对他们今后职业生涯有百害而无一利。

求学期间另一件对我人生影响很大的事,就是当了五年助教,让我深深体会到教书的乐趣和与学生交流的重要性。现在很多研究生认为当助教浪费时间,但换个角度看,它帮助我学会如何与学生打交道,锻炼沟通和讲演技巧,同时也让我认识到自己对教书有股热情。因为当过助教,我很早就认识到教学之所以令人着迷,就在于它借由人和人的互动,产生对一个人、一个班级或一个学校的重要改变。

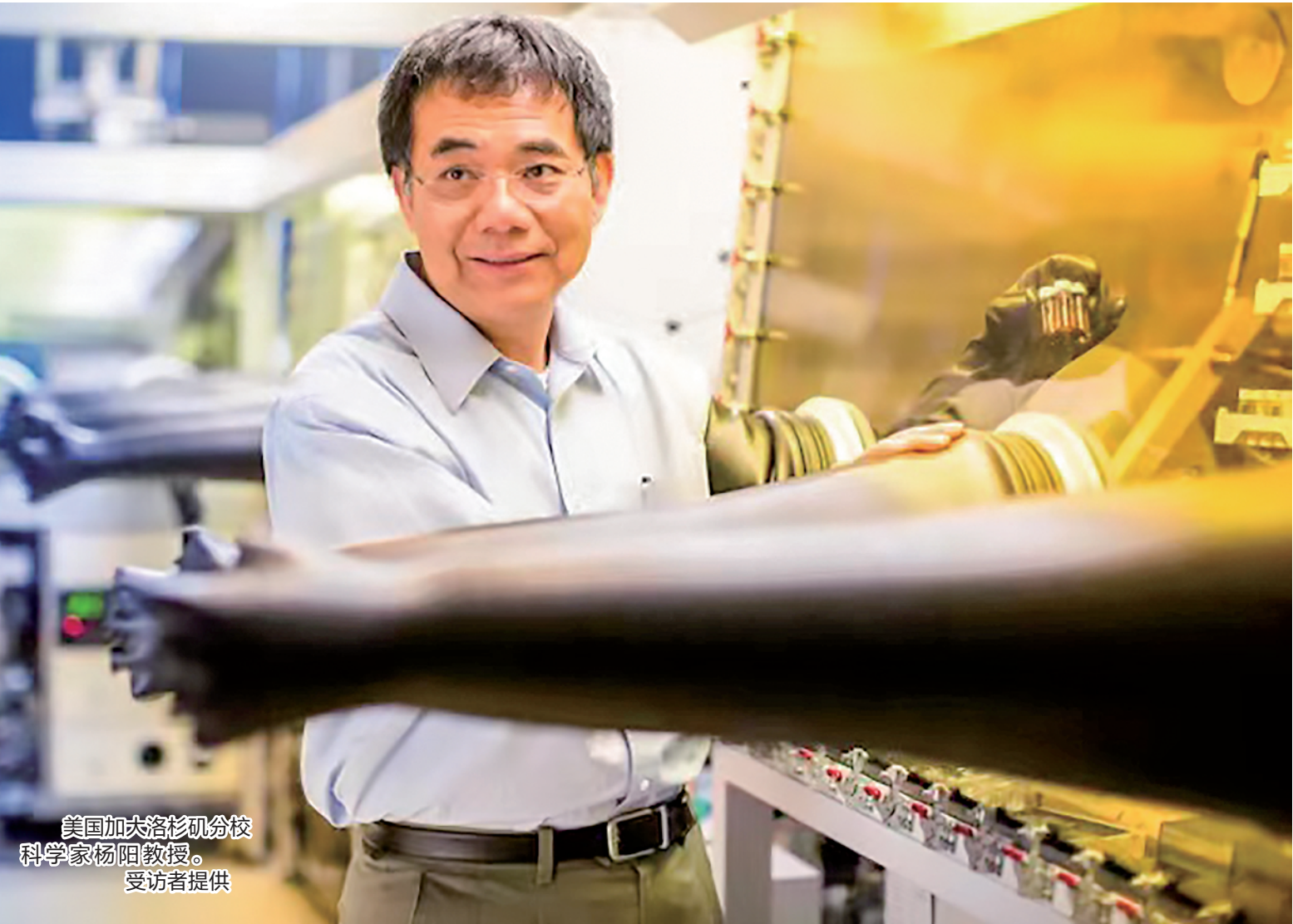
1992年取得博士学位后,我拿到多个工作机会。我想将来做教授,所以最后选择到加州大学河滨分校做博士后。当时博士后薪水只有一年2.2万美元,不到有家公司给我的一半,也不能拿到绿卡。我那时很穷,很需要一份好的收入,就连导师也劝我留在当地。但我太太非常支持我去加州,我们都认为,人一定要有一些梦想,不能只是为了赚钱。所以我们就租了一辆货车,从美国东北沿海出发,开了大约五千公里,穿越美国大陆搬到西海岸。回头看,这是我人生中一个重要转折点——我走出生活6年多的“舒适区”,到新的地方重新开始。

到加州大学河滨分校后,我开始从事光学物理研究。实验非常不顺利,我夜以继日地做,很累,可就是没有结果。10个月后才发现,我用的激光仪器头一天就坏了。虽然累惨了,却也练出一身功夫,知道如何发现和排除故障。我当时的老板布赖恩·科勒教授是德国后裔,十分重视自己动手,训练出来的学生动手能力也都特别强。

做博士后大概8个月,有一天我遇到一位读MBA的朋友,他在帮还有两年合约的博士后太太找工作。我问他为什么动手这么早,他说,你永远不知道机会什么时候来,如果没做准备,机会来了也会错过。这句话让我终生难忘,促使我也开始找工作。

当时,加州有家公司叫UNIAX,刚研发出柔性高分子有机发光二极管(OLED),老板阿兰·黑格教授后来成为诺贝尔奖得主。黑格教授邀请我去面试,但正式面试时,他直截了当告诉我,公司已决定录用一位来自英国剑桥的科学家,对我的面试只是走过场,因为美国移民局规定如从海外招聘,必须先面试当地3名同类人员。我听后,没有沮丧和放弃,而是想,我一定要表现最好的自己,让他们没有办法拒绝。两周后,黑格教授打电话通知我被录用,我高兴得不得了。

这是我人生另一个重要转折点。我在这家公司工作四年出头,是学到东西最多的时期。公司虽然不大,但聘请的科学家非常优秀,有物理学家、化学家、材料科学家,就像小型贝尔实验室。在世界一流的研究团队里,和外面的世界一流科学家竞争,好像加入职业棒球大联盟一样乐趣无穷。现在回头想想,人生这么有趣,就因为充满了不确定性。



●名校毕业和启动资金都不能决定未来,创造力和将科研坚持到底的精神和态度才是成败关键

●重视从头训练学生,让学生养成良好习惯,培育师生互动文化,自己也要以身作则、走正道

●始终坚持“每一个学生都是平等个体”,跳出框框思考,不要害怕探索舒适区以外的世界

●若问什么资质是成功关键,在天赋、勤奋、沟通技巧等选项里,我把积极态度列为第一要素

●在引导学生脚踏实地一步步去做的同时,相信他们,鼓励他们挑大梁,给他们更大的愿景

●把学生当劳动力使唤,学生将来就是劳动力,把学生当人才栽培、激发潜力,学生就可能成为千里马

不过,我跳槽第一年也相当不顺,虽然日夜努力,却几乎什么实验都做不出来,直到第二年,才总算熬过低潮期。在《科学》和《自然》杂志上发表一些文章后,我便开始投履历应征教授职位,但一年都没有下文。追究原因,我发现是自己就读的大学排名不佳。像我这种“出身”不够好的情况,必须有出色的研究成果,才有机会找到中意的工作。这一年我又做出些还算不错的实验成果,这对后来再找工作帮助很大。

1996年,机缘巧合之下,加大洛杉矶分校材料系主动找到我,给我两个选择,一是10个月后入职,直接担任有终身教职的副教授;二是立刻上班,先当没有终身教职的助理教授。我选择了后者,导师说我头脑不清楚,连送上门的终身教职都不要,但我觉得时机就是一切,有机光电领域正在起飞阶段,等不了我10个月。假如错过这个窗口,我也许会彻底错过在有机光电领域施展拳脚的大好机会。

1997年元旦,我终于到加大洛杉矶分校任教,当时待遇其实不太好——10万美元启动基金加30平方米的小实验室。现在,我很多学生去做助理教授,动不动都有几十万或近百万美元启动基金,相比之下,这笔启动经费实在少得可怜。

因为经费有限,只能争取一次成功。我花了半年时间构思新课题,坚持探索新的研究方向。第一个项目是用喷墨式方法打印有机高分子材料OLED,我说服日本精工益普生公司送了一台可以直接在玻璃上印出有机高分子材料的特制喷墨打印机,非常幸运地印出了高分子聚合物OLED标识。这个实验结果及后续创新让我们拿到项目基金,还获得美国国家科学基金会的奖项,算是站稳了脚跟。次年,我被提名为终身副教授,2002年成为终身教授。

从那时起,我陆续开拓了新的研究方向,如有机内存记忆体和有机垂直晶体管。2004年,我开始进行有机太阳能电池研究,之后15年间在这个领域发表了100余篇重要论文,多篇都被多次引用。从2013年开始,我们又进入新的领域——钙钛矿太阳能电池研究,不到一年,就实现了将近19%的光伏效率。2014年,我们在《科学》杂志上报告了这个令人兴奋的结果。到2020年,全世界钙钛矿太阳能电池最高效率已经超过25%,我们的课题组也达到24.5%的效率。

回头看,是否名校毕业、启动资金多少,都不能决定未来。我始终觉得,一个人的创造力和将科研坚持到底的精神和态度,才是决定成败的关键。

高产秘密之一:基本训练

60岁生日时,我问几个以前的学生,在加大洛杉矶分校求学时,什么经历改变了他们的一生?

黄劲松老师说,他印象最深的是“杨式骂”。他说,刚到加大洛杉矶分校读博时心高气傲,把考试成绩等同于将来的研究成就,觉得能拿奖学金加入杨阳团队已经证明了自己的能力,结果被批评得“从云端掉到地上”,这才静下心来扎扎实实做科研。

窦乐添老师说,他的最大收获就是我给他画了一个大饼——提出一个没人做过的方向;研究用于在有机光伏器件中专门吸收红外光的高分子。他花了将近一年时间追求这个梦,结果梦想成真。凭借这个研究成果及其一系列衍生物,我们团队两度打破有机光伏的世界纪录。

这两位弟子谈到的,其实不是单一事例,而是我们科研团队高产的秘密之一——重视从头训练学生,培育师生互动文化。

早在1997年进入加大洛杉矶分校后,除了寻找未来科研方向,我就在思考应该打造什么样的科研团队文化。起初,我在实验室手把手一步步教学生,但随后发现,假如样样都管,不但自己会累死,学生也很难独立。要想成为高产团队,必须从一开始就好好培养学生,形成团队文化的传承。

我对学生的第一个要求,就是打好基础并养成良好的科研习惯。对新来的研究生,我通常要求他们第一年专心修课、做习题,好好准备博士生基础考试。美国的博士生基础考试,从解題到备考模式等,都要求学生基础扎实,对知识有非常深入的理解和独立思考能力,对学生基本功的培养相对扎实很多。如果让研一学生从事大量科研工作,未免有点拔苗助长。

在习惯养成上,我很强调学生要诚实、谨慎、详尽地写实验工作记录本,教导他们把记录实验过程当成科研的“命根子”和个人研究生涯的观照。养成记个人实验记录本的习惯后,万一实验结果有问题,方便回过头来查找是什么步骤出了差错。更重要的是,实验记录本很难造假,因为数据本身会说话。

我的个人实验记录本现在有20本左右,从1986年学生时代开始,进实验室的记录都在上面。我不仅记录研究过程和结果,也把研究心得和想法,甚至一些日常事情也写在上面。此外,我把和人吃饭时在餐巾纸上写的讨论笔记、随手写在小纸片上的即兴创意,也都贴在记录本里。这些都是基本功训练。我后来发现居里夫人有同样的习惯,她甚至把煮意大利面的配方都写在实验记录本里。

我对学生的另一个基本要求,是阅读仪器的使用说明书,而且要读纸质版,这样可以写阅读笔记。学生往往对仪器如何运作不甚了解,这实际上是很危险的,有时仪器出问题,假如学生不知道仪器工作的基本原理,就会被故障误导。我在西湖大学时,有一天一个

课题组老师带着学生和我讨论实验中电流信号常有杂音的问题,我就问实验仪器有没有接地,他们说墙上三孔插座有一个孔是“接地”的孔,我就又问,“接地”的孔接到哪里、真的接地吗?后来发现,杂音正是接地不良、插座互相干扰造成。

培养学生很重要的一点,就是以身作则,走正道。

美国国家可再生能源实验室是美国能源部下属实验室,可以测试认证光伏电池的效率,但测试结果会把实验室数据拉低很多,所以很多研究人员都回避和他们打交道。2005年,我把光伏器件送到这个实验室,结果原本效率达5.2%的光伏器件认证后只剩4.0%。回校后我宣布今后要采用光伏行业认可的标准方法作为测量标准,团队成员就担心这会妨碍发表论文和申请经费,但我坚持。我认为对的事,我会坚持下去,不会退让。

最后,团队不但采用了美国国家可再生能源实验室的标准,还与实验室的基思·埃默里博士共同促成有机太阳能电池测量的标准化。这项成果迄今已被引用600余次,当今有机太阳能电池领域的研究仍遵循这些测试标准。

高产秘密之二:临别秋波

2002年前后,我开始尝试一种独特的学生培养模式,那就是在学生完成毕业论文之后,正式离开科研团队之前,鼓励他们提出异想天开的“点子”,既必须是以前没做过的,也不能完全偏离课题组的核心工作。讨论之后,我会提供一笔小小的“启动基金”来研究这些“点子”。

我把这种培养模式戏称为“临别秋波”,实际就是使用有限资源建立课题组,培养学生勇于冒险、敢于创造的精神,和学生一起开创并发展课题组新的研究方向。后来,我的团队实验设备越来越好,学生不再需要这笔基金,但“临别秋波”作为重要的团队文化,一直传承到现在。

这些“临别秋波”带来很多创意,甚至是神来之笔。比如陈方中老师跟我读研时,提议在有机太阳能电池中利用三线态分子掺杂进行深入研究,并申请3万美元资金购买相关设备。我觉得这个点子很有趣,于是向加州州政府提出经费申请。

有趣的是,同行评审时一名光伏专家坦率地说,他不相信有机光伏技术能成功,但他相信杨阳的科研记录,为此他支持加州提供经费,来证明他的观点错误。这位评审专家的思维方式,折射了美国科研常能产生革命性观念的某种奥秘。

虽说拿到资金,但研究结果不如预期,我

们开始深入研究其他材料,而这笔经费刚好够聘请李刚博士(现为香港理工大学教授)作为博士后研究员,研究高分子形貌及其对电子学特性的影响。相关研究结果于2005年发表,成为这一领域的重要里程碑,其后15年间被引用超过6000次。

李刚博士回忆说,从无到有的创业从来就不容易。当时,全球在这一领域研究都很肤浅,加大洛杉矶分校资源也非常有限,课题小组只能利用一台非常简陋、光斑不均匀的太阳光模拟器开展实验。在这种情况下,杨阳教授始终在各方面予以支持鼓励,“带着敢为领域先的强烈责任感”。最终,研究团队为全球有机太阳能电池领域作出了引领性贡献。

在不利条件下如何破局,李刚博士的答案是:不唯上、不唯书、只唯学,要敢于探索,走出领域的边缘。

叠层电池研发则来自洪自若博士开启的另一场“临别秋波”。洪自若认为,从物理角度,叠层电池可以更有效地运用阳光能量,能效一定会高于单层电池。他坚持自己的看法,我也相当鼓励和支持他做这样的尝试。两年后,研究团队运用叠层电池结构,第一次打破了有机电池10%效率的世界纪录。

“临别秋波”的时间窗口很理想。完成毕业论文的学生都有四五年的课题组工作积累,有很多很棒的想法。在离开前的几个月里,没有工作压力和论文压力,可以说是最高效的时候。但高产的关键原因不是时间窗口,而在于我们实验室始终坚持“每一个学生都是平等个体”,可以也应该有自己的意见,学生的创意和尝试得到鼓励。只要学生有能说服我的研究理由,我就会支持他们走下去。如果是我不熟悉的领域,我就和学生一起学习,请相关专家来共同评估学生的想法。

高产秘密之三:团队文化

我们团队还有这样几个特色:

一是经过我们训练的学生,都有相当强的独立性。我要求学生必须能够自己想出新点子、在一流期刊上发表文章,甚至必须能写出简单的研究计划,向政府机构申请基金,并能进行很好的自我陈述。

与此同时,我也要求学生一定要当助教,因为当助教是训练人和人沟通的最好方法。特别是将来到高校任教或自行创业,都需要有能够说服别人的能力。

另一个特色是,允许由学生主导研究方向。一个课题组有二三十人,来自不同领域,仅仅学生间的交流就可以产生一些跨领域的想法。我还会送学生参加学术会议,了解新的研究方向,他们往往会因此想出更多的新点子。

在教研中,我还不断强调要跳出框框思考,不要害怕探索舒适区以外的世界。我见过很多优秀的人,但并不是每个优秀的人都能成功。若问什么样的资质是一个人成功的关键,在天赋、勤奋、沟通技巧等选项里,我把积极的态度列为第一要素。

学生薛晶晶回忆说:“杨老师始终鼓励我们去接触不同领域,让思维保持新鲜。刚进课题组时,高度自由的课题选择方式对我真是艰难,但回过头看,正因为这样的经历,我才有广泛涉猎不同领域并独立思考的机会。成功也好,碰壁也罢,这样的过程让我淘洗到属于自己的金子。也正因如此,我毕业后愿意走出舒适区,去涉猎完全不同的生物医学领域。”

师者,首要任务是把学生教好。其实,观察学生成长、引导他们表达内心真实想法,是当老师的一大乐趣。这其中,最重要的是建立师生之间的互信和默契,发现学生“亮点”,鼓励他们找到自己的课题方向。这个过程并非一朝一夕,作为老师需要有耐心,因为研一学生要修基础课程,保守估计需要两年。

我是一个一次只能专注于一件事的人,曾经很羡慕有些同事可以又搞科研又开公司甚至于还做行政,但我只能在自己的一亩三分地上专心耕耘。但正因如此,我才能把时间和精力放到学生身上,在引导学生脚踏实地一步步去做的同时,相信他们,鼓励他们挑大梁,给他们更大的愿景。当学生发现未来可期,他们就会拼命向前。

这些,就是我在加大洛杉矶分校的大部分经验。总之,我过去20多年观察到的现象是:当我们把学生当劳动力来使唤,学生将来就是个劳动力。当我们把学生当人才来栽培,激发他们的潜力,学生就很可能成为千里马。学生各有不同,需要因材施教,但对师者而言,道理千变万化,原则存乎一心,那就是力求培养出能成为社会栋梁的人才。

人人皆知,教育是一件大事。改良教育制度,打造高产的科研团队,可以从根本上改变一个国家的未来。

(美国加利福尼亚大学洛杉矶分校教授杨阳口述,本报记者徐剑梅采访整理)