

架起科技成果产业化的“铁索桥”

■王恩哥

编者按

近日，中金公司“2021 科技创新与产业链论坛”在北京举行。物理学家、中国科学院院士王恩哥应邀作主旨报告。

王恩哥曾经担任北京大学校长、中国科学院副院长、中国科学院物理研究所所长，为中国科研领域培养了大量优秀人才。2018 年，王恩哥开始担任松山湖材料实验室理事长，探索以新的体制机制推动材料科学研究以及应用。

以下是王恩哥此次演讲全文。

我作为一个从事物理研究的人，也可以说是物理学家，从读大学算起已经差不多快有 45 年了。

在过去几年中，我在广东参加了一个新体制的科研机构建设。我想把过去三四十年的科研工作经历结合近几年的应用实践体会，跟大家讲一讲。我一直在想，我真体会到，从科研到商业应用，科技成果只是其中的一件事，能否转化成功是另一件事。

我们常用一张图来描绘科技成果转化中的“死亡谷”。科技成果转化向产业转化的过程中，肯定会有这样的“死亡谷”，再好的科技成果都会有很多因素让它在中途停下来。一旦陷入“死亡谷”，无论科技成果做得多好，甚至达到顶峰，都没有用。

我去广东“帮忙”之前，跟一些科技界领导探讨过这一情况，他们都不约而同地让我去试一试。为什么中国科技成果在产业转化时会这么艰难？一段时间以后，我真正体会到，从科研到商业应用，科技成果只是其中的一件事，能否转化成功是另一件事。

在过去几年里，我也在想这其中有没有规律，我觉得有些人可能找到了规律。但这个规律能不能被驾驭甚至被复制，我一直困惑着我。

我先泛泛地讲一讲，为什么需要一些人做科学研究。这些人把自己称作科学家。主要原因是人类在追求生存和发展道理的过程中，有一批人思考得深入一点，他们就逐步变成了科学家。

举个有趣的例子，最近几年我们谈论很多的一件事就是集成电路。但从半导体体的发明到信息社会实际上已经走了近一百年，走到今天，这中间有非常清晰的分界：大致可以说科学家做了 30 年，工程师做了 30 年，最后企业家、金融家把科技成果成功地推广到市场上，从而进入了信息社会。这三段非常清楚，所以我举这个例子。

最早讨论一些自然界奥秘的人，他们把自己称为物理学家。仔细看的话，其中很多人不属于今天意义上的物理学家。他们研究的重要题目是“世界的本源是什么”，换句话说就是“世界是由什么组成的”“所有的人、所有的物质都是由什么组成的”。有人说是火组成的，有人说是水组成的，有人说这二者都太简单，应该是水、火再加上其他什么共同组成的。

但只有一个人很奇怪，这个人是德谟克利特，是个希腊人。我大概十多年前在希腊议会做过一个关于纳米科学技术的讲座，他们给我一个奖牌，上面有一个大胡子的人。我不认识希腊语，后来我才知道那个大胡子就是德谟克利特。

德谟克利特说他们考虑的都不对，实际上这个世界是由一种最小的、小到不可分的东西组成的，希腊语里叫“埃特姆”(atomos)，就是原子。所以希腊人很自豪，认为原子是希腊人首先想到的。直到 20 世纪初，人们才证明原子中间是一个核，外面是电子。后来有人进一步发现，原子核又可以分为中子和质子。

所有这些发展好像和量子力学没有直接关系，其实它们在并行地进行着。但是在重要的拐点上，原子模型却

解释了“量子”的概念为什么会出现。

量子力学最主要的 3 位推动者是普朗克、玻尔和薛定谔。起初，人们碰到的很大难题是 20 世纪初物理界的两朵乌云。其中一朵乌云叫“紫外灾难”，这个现象用经典物理理论是不能解释的。普朗克猜想有没有一种可能，即能量是不连续的呢？这就是量子的概念。这篇论文是 1900 年 12 月 19 日发表的，他也因此被称作“量子之父”。

在此之后，有人一直问为什么要有量子？而一直以来原子模型也存在困惑：核在中间带正电，外面的电子带负电，离得这么近，正负吸到一起不就完了吗？这些问题都无法解释。这时候出现了另一位伟大的物理学家，我个人认为他热爱爱因斯坦是上世纪物理界最了不起的两个人，他就是玻尔。

玻尔发现原来电子只能在特定轨道上运动，不能轻易离开轨道，变换轨道时需要吸收和放出能量，因为两个轨道之间不是靠在一起的，能量自然就是不连续的，这就是量子产生的原因。回头想一想，这些话似乎非常简单，没有什么太多的奥秘。

既然有了量子论，大家都在想，我们能不能从量子论的角度重新认识身边物质的物理性质？人们自然而然就没想到要找到一个方程，这个方程实际上是 1925 年薛定谔在一次会上讲的，他说已经想好这个方程，但是相关文章是 1926 年发表的。

物理学里有 10 个非常漂亮的公式，学过物理的人至少能够知道牛顿方程，经典物理学里很多事情都可以从牛顿方程出发得到解释。但是进现代物理学，就要靠薛定谔方程。其他重要的公式还包括欧拉方程和麦克斯韦方程等。

科学研究的这段路走了 30 年。接下来有人讲，这么漂亮的公式，如何用它去算一下周围的材料？结果发现，有一种材料是金属，电子可以自由移动；有一种是半导体，电子跃迁的 Gap 不大；还有一种叫做绝缘体，电子跃迁的 Gap 很大。这样一算出来以后，大家就知道了，原来导电要找导体，绝缘要找绝缘体防止导电。

后来有人想，把半导体做掺杂，使它一边多电子，另一边少电子，这就做成了 PN 结。做成 PN 结以后，如果把它加上正电压，PN 结就是导通的，电子可以流过去；如果加的是反向电压，PN 结就是不导通的，电流就会截断。这就是晶体管的基本单元。

简单地讲，你可以认为晶体管就是开关。集成电路就是把很多个开关放在一起，最后比谁做的开关多、谁控制开关最灵敏。这就是集成电路的基础，大家努力把开关做好。

接下来有人问一直在往前走，二战期间也没有停下来。他们首先在一个固体上做了一个开关。后来有人想这是不是很浪费，于是又在固体上做了一堆开关，这就是集成电路。这条技术驱动的创新路又走了 30 年，这 30 年跟我们老百姓没有直接关系，用不上。

后来就出现了 8 个叛逆者，年龄都在 30 岁左右，他们跑到旧金山附近的一个沙漠地区办起工厂，这就是仙童半导体公司。这件事发生在 1957 年，我也是这一年出生的。此后与仙童半导体相关的公司不断地分设出来。

我很感谢最早创立这家公司的人，因为那 8 个叛逆者实在有趣，里面有大名鼎鼎的摩尔，还有诺贝尔获得者。他们有一点很开明，就是鼓励大家分开，分开以后你做我的上游或者下游，大家合作。甚至最后他们还参与成立了红杉资本，红杉资本到今天都赫赫有名。

为什么会有“硅谷传奇”？我想研究机构、大学、风险资本的共同作用在这里扮演了重要角色，多方一起实现了人才、技术、资本、管理方面的强强结合。

大家都知道，科学和技术越来越不可分割，科技解决的是不可能以及如



松山湖材料实验室供图

何高效地实现这种可能，而风险资本加速实现了科学技术的转化。这就是我呼吁的“铁索桥”。

为什么美国在科技成果转化上做得比较好，一个重要原因就是美国在科技成果转化产业化的所有关键环节上都不差钱。为什么它们(美国)在每个关键环节上都不差钱？我认为这是今天中国需要认真研究和解决的。

硅谷是不是唯一的呢？下面说一说我访问英国曼彻斯特的故事。

二维材料石墨烯是明星材料，是两个俄罗斯人在曼彻斯特做出来的。前几年他们一直在约我去交流合作，但是由于我原工作时间的要求，一直没有成行。退下来后我首先想到要去曼彻斯特大学，我们一起举办了一个中英双边研讨会。我与安德烈·海姆教授两个人坐在一起聊了两天半。

我也很自豪，他们专门把曼彻斯特博物馆的顶层租了下来，作为招待我晚宴的场所。我想这主要是因为他们认为中国是有认真的科学家的，我们做出的工作也是受到国外同行尊敬的。这些都是话外事。

在会议中间，我专门去了曼彻斯特工业博物馆。世界工业革命开始时最重要的蒸汽机，就是在曼彻斯特旁边的一个小镇上生产的。曼彻斯特周围聚集着当时最有名的蒸汽机公司。

我回来后一直在想，可能硅谷不是第一个科技转化中心，曼彻斯特也不是第一个，前面可能还有其他成功推动实现产业革命的例子，但是每次也许要经过百年才能出现一个。有时候我想，我们至少不能浮躁，中国的“谷”现在不是少，是太多了，所以也就不可能达到这个层面。

2015 年初，我从北京大学去了中国科学院，参加了国家科创中心的筹建工作。我们选择了合肥的科学岛，它主要研究“人造小太阳”(全超导托卡马克核聚变实验装置，EAST)，还选择了上海张江。当时北京的想法是把中关村升级，大家都认为不合适，还是希望重新按照高标准打造，于是就有了现在的怀柔科学城。

我 60 岁时从行政岗位完全退下来了。2017 年开始，广东省提出打造几个省级实验室。刚才北京副市长陈伟讲要做几个新机构，我觉得比较成功的新体制机构应该是广东第一批建设的 4 个省级实验室。

广东省提出建设生命健康、智能制造、信息科学还有材料科学，他们找到我问能不能帮忙。我说帮忙可以，但我已经没有力气做主任了，就做了一个理事长。为什么我会参与松山湖材料实验室，我告诉大家，特别是金融界的朋友，因为最后所有技术应用都跟材料有关。

我想“铁索桥”很可能是一种软实力，用一个新词叫做“创新策源能力”。

我开过一个玩笑，到医院换一颗牙齿，治了半年，最后医生一定问你要进口的还是国产的材料？又比如机器人，它身上所有的东西，胳膊、腿、眼睛、鼻子、嘴、耳朵……每个地方只要被卡住，就是与材料有关。

材料的重要地位，就像是一棵树的树干，树冠上结的是各个领域科技的果实。

2018 年在实验室成立时，我曾说过一句话，“谁掌握了材料，谁将掌握未来。”所以大家投资的时候要认准一点，比如这个公司究竟有没有拿手材料、其成果与哪个材料突破有关。

人类文明的进步，一般常用数字年代作里程碑，如 1900 年量子力学诞生，1926 年薛定谔方程诞生；除了数字之外，恐怕只有材料能代表了。比如我们经过了石器、铜器、铁器……直到今天，一直走向未来，每一个时代都与一代材料革命有关。而其他的東西，比如今天人人都离不开的手机，也只出现了几十年，根本表征不了人类的文明进程。

在我们实验室的参与及推动下，后来国家设立了粤港澳大湾区国际科创中心，我们在核心的先行启动区。这个地方当时的优势是具有散裂中子源大装置。

最近我们正在筹建一个新的国家重大科技基础设施。现在还在筹划南方光源。很多大型企业，包括华为研发总部等逐渐聚集过来，与深圳“光明科学城”连在一起，成为第四个国家科创中心，我相信这是值得期待的一个地方。

在松山湖材料实验室，我一直想在这里做一个“样板工厂”，通过它来探索科技成果转化产业的规律。那么“铁索桥”又是什么呢？

我想“铁索桥”很可能是一种软实力，用一个新词叫做“创新策源能力”。就是在这个地方聚集各种创新转化的充足资源，包括新型研发机构、人才、资本、活跃产业集群、政府新机制、新政策导向等等，将它们整合在一起，形成一种健康的有利于科技成果转化化的环境。

回到具体工作来看，我们在新能源领域布局了 3 个方向：锂离子电池、柔性及锌电池、高效晶硅电池。

对锂电研究而言，中国科学院物理研究所(以下简称物理所)是开拓者，现在钠离子电池也是我们首先在做，而且我们一直在研究下一代电池。锂电池方面，我们追求的目标是风能、太阳能等未来新能源的大规模储能应用，这一目标是非常重要的且有前景的，目前还有较长期的研究工作要做。

半导体方面，我们瞄准的是第三代半导体，设立了 SiC 外延材料、器件、模块封装等研究方向。

1997 年我在物理所提出来做 SiC

单晶，最早投资支持我们的是新疆生产建设兵团。经过多年的发展才有了今天的天科合达，现在成为北京亦庄第三代半导体的旗舰公司。在松山湖材料实验室，陈小龙等几个团队致力于把单晶切片外延做成高性能器件，我相信我们会做成一个闭合的研发产业链。

金属材料方面，我们建立了高端铜材料、高温合金材料、特种铝合金材料、绿色非晶合金材料几个团队。很多电子产品的电路基板都是铜的，但铜箔一定是多晶的。

最近我们团队发展了一个非常巧妙且具有革命性的技术，把多晶铜箔做成了单晶铜箔。这个成果非常重要，这是未来超级铜的基础。

光电器件方面，我们主要研究目的是做探测器和传感器。研究探测器的团队来自中国科学院西安光学精密机械研究所，现在做得很好，比如晚间可以把夜景看得很清楚。做传感器的是来自北京科技大学的团队。

另外，我们尝试在硅基上把电子的性质和光子的性质结合起来，物理所团队现在已经能够小批量供货一些材料。如果未来能成功突破材料制备难关，很可能实现弯道超车。

生物医学方面，活体器官目前无法广泛用于临床医疗，主要因为它的保存期一般不超过 2 天，如何保存好活体器官是件大事。

中国科学院化学研究所有个团队正在尝试通过仿生控冰的方法延长活体器官保存期限，首先成功实现了脐带血保留，现在又在做卵子精子以及干细胞的保存。如果这条路走通，相关药的市场开发会有大前景。另外，骨水泥的动物试验也在进行中。

二维材料方面，我们可以实现碳、硼氮、硼碳氮等各种纳米纤维的批量生产，以及制备大面积石墨烯单晶。石墨烯这么多年都说有用，但实际它的本征性质都没有充分用上。我们团队正在做一项突破性研究，将重新给石墨烯产业研究注入活力。

接下来说说先进陶瓷材料。大家都在讲碳中和，碳中和最重要的一点就是如何减排，即减少各种有害排放。付超团队经过长期努力，发展了一种多孔碳化硅的陶瓷材料，实验室检测超过 1 万次，结构性能都保持不变。美国大概只能做到 1500 次，德国也只有 3000 次，都不如我们。通上天然气，点燃后在孔里燃烧，没有产生了原来的大火炬。

它的好处在于，第一，大火炬中间燃烧不充分，浪费能源，而我们发展的多孔燃烧技术可以充分利用能源，做到节能。第二，空气中充满氮气和氧气，它们以分子形式存在。大火炬周边的高温会把氮分子和氧分子分解成原子，之后氮氧容易结合在一起，就形成了 PM2.5 最大的元凶 NO 化合物。而我们的多孔燃烧技术在小火苗燃烧过程中，保持氮气和氧气不分解的温度，因此大大减少了 NO 化合物的产生。

这种技术被称为 21 世纪新的燃烧技术，在实际工业生产线上使用，节能高达 50%，NO 排放每立方米低于 30 毫克。这是符合北京、上海这样一线城市最高标准的。这种材料目前已经投入产业应用，如已经使用在韶冶炼锌、东阳光炼铝的工厂生产线上，以及胜利油田采油方面。我们最近刚刚跟宝钢和东风汽车签完合作协议。

我们另一个团队研发的透明陶瓷在新一代发光应用方面也取得了成功，实际应用表明我们一盏灯的亮度相当于 12~15 盏普通 LED 灯之和，显然可以大大降低电耗。在工业废气治理上我们也布局了两个团队，进展非常顺利。

科学仪器方面，我们团队制造的高端科学仪器已经超过了商业仪器。

先进制造方面，德国制造业 60%、70%都采用激光加工。而我们杨小君团队已成功开发并加工了陶瓷、飞机发动

机叶片等。我们另一个团队可以实现 10 米、20 米的管子内外同时电镀，内径可以做到很小很细。

我很感激有广东这样一个学习实践的机会。走出大学校门、走出科研院所的大门，使我懂得了政府政策多重要、金融资本多重要、市场机会多重要，甚至老百姓的习惯多重要。

我也很感激国家开发投资集团给我们设立第一个定向新材料基金，它一定会在科技成果转化中发挥巨大作用。

过去我总隐隐感觉中国的科技界跟企业界是存在隔阂的，科技界和企业界与金融界也有隔阂。

去年我们举办了松山湖新材料高峰论坛(2020)，国家开发投资集团董事长白涛代表金融界出席，华为董事兼研究院院长徐文伟代表企业界出席，中国科学院副院长高鸿钧代表科技界出席。

我们今年将继续举办这个论坛，目前预定的时间是 11 月 25~26 日。我们希望通过这个高峰论坛让更多的科学家与金融家、企业家坐在一起交流，欢迎大家参加。

去年，曾任科技部领导的张景安同志来实验室调研，他跟我说松山湖材料实验室是“八不像”，我说您这是批评我吗？可他接着说：“八不像就对了，你不像政府、不像过去传统的科研院所、不像大学、不像公司……否则你们就做不成事啦。”

我想，那么“八不像”究竟要像什么呢？

去年我提出了“三品论”：样品、产品、商品。我认为传统的大学、研究所通常做的是“样品”，比如做 1 个话筒，做了 100 个以后挑出 1 个好的，在国际上发 1 篇优秀的论文。但在松山湖，我们觉得话筒有用，就会找这个团队问他们愿不愿意出校门或研究所大门，到我们实验室这个平台上试一试。

因为在高校和研究所，再把这 100 个话筒做得一样是不符合它们的定位的。但是在我们这儿不一样，我们的追求不仅仅是发文章，我们是希望把 100 个话筒都做得一样好，使它成为产品。

所以我突然想到，我们作为新体制的研发机构主要是做“产品”，这才是我们的定位啊！但是“产品”还不是“商品”。产品只能表明所有的工业生产环节都走通了，完成了中试甚至比中试都走得更远一些，不再是实验室的样品。但是产品还需要资本和市场，需要投入和扩大，才能真正做成商品，最终解决产业链供应链的问题，也就是“卡脖子”问题。

我们究竟是不是这样呢？去年我们松山湖材料实验室拿到 3 个国家的优秀产品奖，我自己觉得我们已经摸索出了新型研发机构的一条路子，它有别于大学和传统国家研究机构的定位，我很自豪！

过去中国很多科技企业都做得非常成功，但是仔细看一看，很多还是以商业模式、服务模式为主导，这是我们的历史上有过欠债的原因，也可能是一个必须经历的发展阶段。

但是随着利润空间、人口红利等因素变化的影响，将来这种缺乏产业关键核心技术的软科技模式不会像以前那样容易。设想一下，如果我国不是 14 亿人口，是 1.4 亿或者 1400 万人口，估计很多大公司就不会是今天的样子。

但是，我相信未来 10 年甚至更长一段时间，一定是硬科技的窗口期。过去国内一个科学家的研究成果是好是坏没人知道，因为无法即时应用、无法在市场上检验。但是未来市场将会很快把科学家的科研成果拿出来检验，这时是真是假就无法再打马虎眼了。

硬科技开始投入很大，肯定要砸钱，但硬科技的寿命很长，往往会带来结构性商机，一旦突破就会带来巨大的成功和丰硕的果实。于我个人而言，我常常觉得坚持做硬科技会很踏实。

科学家揭示植物抗病性与繁殖力平衡机制

本报讯 近日，中国科学院分子植物科学卓越创新中心何祖华研究团队在《细胞》在线发表论文，揭示了水稻钙离子感受器 ROD1 精细调控水稻免疫，从而降低水稻因广谱抗病引发的生存代价，平衡水稻抗病性与生殖生长和产量性状。

水稻是我国重要的粮食作物之一。但近年来，水稻病虫害发生情况严重，对我国农业生产和粮食安全构成严重威胁。但高抗的水稻品种往往生殖发育受到限制，导致产量降低。那么，如何在提高水稻抗病性的同时不影响其产量性状，维持好植物抗病与生长发育的平衡？此外，面对病原菌的

不断进化，如何让植物的免疫屏障有效抵御不同病原菌的反复进攻？

研究人员发现 ROD1 作为一个新的植物免疫抑制中枢，通过降解具有免疫活性的超氧分子(ROS)，从而抑制植物的防卫反应。因此，在没有病原菌感染时，植物的基础免疫维持在较低水平，有利于水稻生殖生长，进而提高产量。但当病原菌感染时，植物进化出了聪明的免疫激发新途径：通过降解 ROD1 减弱其功能，保证植物在抵御病原菌时能产生有效的防卫反应，不至于迅速发病枯死，并能繁殖后代。

另一方面，病原菌和植物长期处于

“军备竞赛”的协同进化过程中。研究发现水稻稻瘟病菌会进化出模拟 ROD1 结构的毒性蛋白，在植物体内盗用 ROD1 的免疫抑制途径，实现侵染的目的。由于植物无法逃避病原菌的侵染，因此进化出了与病原菌共同生存的策略：通过适当减弱植物的抗病能力，来保证其生长繁殖、延续后代，让植物抗病性与繁殖力维持相对平衡的水平。这就是植物聪明的生存之道。

“以往相关研究聚焦了钙离子信号如何激活植物免疫的问题，但这项成果揭示了一条以钙离子受体 ROD1 为核心的免疫抑制新通路，以及植物与病原菌利用蛋

白质结构模拟介导的协同进化机制，为植物免疫领域研究提供重要的新启示。”何祖华告诉《中国科学报》，该研究首次说明作物能够选择与气候或栽培条件相适应的免疫策略，让植物抗病能力与生长发育即环境适应性达到最佳平衡。

该研究组进一步挖掘 ROD1 的育种应用价值，通过对 3000 多种不同水稻品种的基因序列分析，发现 ROD1 单个氨基酸的改变可以影响其抗性和地理分布，说明作物抗病性受地域起源的选择，丰富了作物驯化的理论基础。（黄辛）

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.09.009>



何祖华(左一)带领学生在田间调查水稻抗病性。课题组供图