

## 李衍达院士

### 访谈录

#### 人物小传



李衍达，男，汉族，1936年10月12日出生于广东东莞。中国信号处理和生物信息学专家，中国科学院院士。清华大学教授、IEEE Fellow、中国电子学会会士。

1959年本科毕业于清华大学计算机与自动控制系，1958年7月在清华大学任教至2018年10月退休。1978—1981年作为文革后第一批赴美访问学者在麻省理工学院访问学习。历任清华大学自动化系系主任、信息学院院长、校学术委员会主任、校务委员会委员，校学位委员会副主任等。1991年当选中国科学院学部委员（院士）。曾担任国务院学位委员会委员和控制科学与工程学科评议组召集人，中国科学院信息技术科学部常委会主任，中国科学院学部主席团成员、教育部高等学校电子信息与电气科学教学指导委员会主任、《电子学报》主编。

李衍达在波抵达时延估计、信号重构等方面的理论、算法及应用中取得重要成果。他提出了一种时延估计的新方法，放宽了信号重构理论的应用条件。他将信号重构理论和人工智能技术引入地震勘探数据的处理和解释，提出综合地震剖面、测井与地质知识预测地下油层的新方法，取得一系列开拓性的成果并在实际应用中取得显著效果，为我国石油地球物理信号处理事业做出了重要贡献。1998年后，他致力于生物信息学方面的研究，他把基因组看作信息系统，在基因组和生物分子系统分析中引入信息论和复杂系统的思想，在基因调控分析与建模，中医药理论分析，疾病与靶点的分析等方面取得了若干研究成果，是我国生物信息学领域的开拓者之一。

## 一 我的童年是在战乱中度过的

我的父亲李禄荣祖籍广东南海,在行政机关中做过职员,后来又投靠亲戚在上海做过店员。我的外祖父是前清举人,家境富裕,我的母亲张瑞文继承了外公的聪慧,她上过学,当过小学教师;她思维缜密,遇事有主见,在父亲长年在外,全家就由母亲全力支撑。

1936年,我出生在外婆家——东莞县城,我是家里的第一个小孩,不久又有了第二个——我的弟弟。我的童年是在战乱中度过的。我在东莞沅涌小学上学到三年级后跟随全家迁到广州继续上小学和初中。到初二时插班考入广雅中学,这是贫寒家庭子弟都希望进入的学校,从初二起我就进入这所全寄宿的学校直到高中毕业,中间经历了广州的解放(1950年)。解放后,由于家庭经济困难,我是全靠国家助学金支持而坚持学习的。

## 二 难忘广雅

广雅中学前身是广雅书院,由两广总督张之洞于1888年创建,名字取自“广者大也”、“雅者正也”,寓意培养学识渊博、品行雅正的人才。在广雅中学,我学会了独立生活,自己管理自己,愉快地自由发展,并且培养了自己很好的自学习惯和自强的精神。

### 1 我最感兴趣的莫过于物理课了

我生性好奇,喜欢探索未知,在广雅中学,我最感兴趣的课程莫过于物理课了。物理老师吴蔚棠先生的课讲得富有逻辑,引人入胜,给我们展示了一个崭新的世界。课余借阅课外书尤其是物理方面的参考书是我的一大乐趣。结果一段时间以后在中学图书馆我再也找不到可继续借阅的物理课外书了。看课外书使我学得主动、深入。

我的日记记录了我印象深刻的一堂物理课。在那课堂上,吴老师提问让大家解答,“现在提第四个问题,请大家解答一下,电池内部电流是由什么构成的呢?请李衍达同学说说。”对这个问题我已想了一会,在站起来前几秒钟把要说的意思略略组织了一下,我回答:“荷电的离子受两极所造成的电场的吸引而作有规则的运动,负电离子向正极移动而正离子向负极移动,组成电池内的电流。”吴老师不断点头表示赞同:“他所说的是完全对的,答得很好,很圆满。我再提一个问题,如何将导体中电流的意义扩大起来结合电池内部电流的构成,概括出电流的意义呢?”说着望望大家。我也早已想着,最后我认为电子与离子都是有质量的极小的微粒,可用微粒来代表它们。这时,老师的眼睛望着我说:“可否请李衍达同学再来解答这个问题?”我站起来简短地回答:“带电的微粒受电场吸引而作有规则的运动便组成电流。”吴老师马上点头说:“回答得完全对而且能概括起来。你想到了电子和离子一样是微粒吗?这次回答得很好,十分难得。李衍达同学一定事前看过很多参考书,对这个问题有完全深入的了解,我教高中物理二年来未有同学回答得这么完整这么概括的,这是难得的。你们大家对物理都很用功,可是概括力不够,这就要向李衍达同学学习,他概括得很好,要知道这次他回答是一点也没错,完全对。”这样的夸奖,对吴老师来说是极其罕见的。课外书对我确实有很大帮助,我在课外书中看过一些有关溶液电流问题,我已想到离子可能运动,而物理课上老师曾提及“在金属中电流只是电子移动,离子是不动的,但在其他物体中情形可不是这样。”这几句话,其他同学听起来可能感到没什么,却触动了我的思想,更肯定了我的理解,这次课堂上的答问我是结合看课外书与上课时的心得而回答的,因为这些问题当时在高中物理课上是不会讲的。

### 2 博览课外书的习惯让我受益匪浅

我看课外书的范围很广,绝不仅是在物理方面。例如,我看过《列宁生平事业简史》,看过《玛琳娜的

生活道路》<sup>①</sup>，并做了笔记。我在日记上写道：“这本书太好了，给我很大的启示，我这时期很喜欢看书，人简直不可以缺少书，我尤其喜欢看关于英雄成长的书，关于崇高品德的典型的书，我喜爱那些英雄人物。一个人的美丽不但表现在外表上，更主要是在他的内心、他的品格是否高尚。玛琳娜的好是在她有不断的向上心、忠诚的性格、勇敢坚毅的精神。”

每每读过好书之后，我便与伙伴们探讨关于人生的话题。好的书对我是这样的重要以至于我在日记上感叹：“我简直不能离开书本一天而生活，图书馆是最迷人的地方，这种感觉早在高一时已深切感到了。”我喜爱马克思说过的一句话：我愿意做一条蛀书虫。

由此时起，爱看书、爱看各种各样的书成了我一生的嗜好，也帮助我形成了一种自学的本领。高中一年级时，我因病住院近一个月，所缺的课程都是自学补上的。尤其是当时正值学几何阶段，我在医院里看一本《几何解题一百道》，竟然也跟上了进度。因为书看得杂，又有兴趣，所以总觉得时间不够用。虽然也订了读书计划，但总是完不成。加之作为班长，更是诸事繁多、忙忙碌碌，渐渐地我习惯了有效安排自己的时间，做事、看书往往注意抓要点，提高效率。这种方法用到课程学习上很有效，一门课下来，我往往用一页纸便可提纲挈领地把它整理出来，复习时也很容易。因此，即使在复习考试期间，我仍然抽空看课外书。这种习惯，使我在后来的学习与工作中受益匪浅。

### 三 学在清华

#### 1 在大学，练就了一套独特的听课与复习的本领

高中毕业后，我考入了清华大学电机工程系。

我起初对清华大学并不了解，最早形成的印象有两点：一是清华是个适合勤奋读书的好地方，尤其是清华大学的图书馆，大大地满足了我对书籍的需求；二是清华大学的老师很好，钟士模先生<sup>②</sup>、赵访熊先生<sup>③</sup>、童诗白先生<sup>④</sup>等等，不仅课讲得好，而且人格魅力出众。

在清华大学这个严格要求的环境中，我不仅在基础知识方面打下了坚实的基础，而且思想方法、学习方法也有了发展。由于大学里学习的自由度大，学习的难度也很大，我为了适应紧张的大学生活，练就了一套独特的听课与复习的本领。由于我善于抓要点，在听课时一旦抓住了要点，便容易明白；在课堂上往往觉得老师讲的内容有很多繁冗、重复之处，只盯着老师，学习效率就低，不如利用这些听课间隙时间，开动脑筋将老师的方法与自己的想法相比较，列出自己的疑点。为了更快地抓住课堂知识的要点，我在复习时往往抽时间多看一些书，做些预习，在上课前5分钟，我回想一下预习的内容，便可大概地对这堂课的中心内容有了印象。这样一来，我边听边想，边听边分析、边记下要点与异同，大大地提高了听课效率。日积月累，课堂就不再是死记硬背知识的地方，而是我做分析、比较的场所。因此，我往往能提出一些自己的看法，也能将课外书的知识融入到学习的课程内容里。人的一生，知识都是慢慢积累的，只有自己十分感兴趣、经过认真思考的知识才会在脑中积累下来。要做到这一点并不难，只要有心并养成习惯，则其结果将是必然的。

#### 2 辩证法为我打开了一扇新的窗子

我喜欢读课外书的学习习惯到大学时期便成了积极参加课外活动了。记得在大学二年级时，我参

<sup>①</sup> 玛琳娜·米哈伊洛夫娜·拉斯科娃 Marina Mikhailovna Raskova (1912年—1943年)，苏联空军少校，苏联第一位女性飞行领航员，也是世界上第一个女子战斗飞行团指挥官。

<sup>②</sup> 钟士模(1911年—1970年)，电机工程和自动控制工程学家，中国自动控制学科和教育的开拓者之一，中国自动化学会的创建人之一。

<sup>③</sup> 赵访熊(1908年—1996年)，中国著名数学教育家和计算数学家，最早提倡和从事应用数学与计算数学的教学与研究的学者之一。

<sup>④</sup> 童诗白(1920年—2005年)，清华大学自动化系教授，中国电子学学科和课程建设的主要奠基人。

加了关于“电磁场本质”的课外科技活动。这是关于物质的本质的学习,在有些人看来,电磁场的出现使物质“消失”了。为了讨论这个问题,我特别学习了自然辩证法。我很喜欢看老子的《道德经》,辩证法的思维方法为我打开了一扇新的窗子,一个人如果没有辩证思想,不仅在科学上难以登堂入室,在生活上也难以经受挫折。辩证法的思想使我理解了成功与失败、上升与下降的辩证关系,使我能坦然面对失败,也重视从失败中学习。当顺利、上升时,我往往意识到危机,同时为下一个飞跃做出部署。我往往能从大处、整体去分析观察一个问题,从发展、变化的观点去看待新的技术与潜力。这都在我日后的工作中发挥出难以想象的作用。将辩证法思想与研究工作自觉地结合,这也是我在大学时期最重要的收获之一。

大学毕业后我有7年时间从事科研工作,在实践中摸索,边干边学,学到了在书本上学不到的东西。重视实践提出的问题,研究的成果要能应用于实际,了解书本知识与实际的差距等等,这些认识和体会都是在这段时间学到的,我也是这样逐渐成熟起来的。探求未知和好奇是我一生的兴趣与追求,也是形成思维方法的无穷的动力。

### 3 开阔眼界,登高望远

随着涉猎知识的增多和涉及的领域逐渐扩大,我的见识也在不断增长,发现很多事情具有类似的性质,不同领域间具有内在的联系,我的眼界也随之渐渐开阔,对学科界限和学科发展的理解和认识也有豁然开朗的感觉,并且渐渐有了自己的见地。

我在大学时学的是自动控制,毕业后搞了十多年电子学与数字控制。1959年我参加了我国首台机床程序控制计算机的一些维护与运行工作。虽然当时清华的一批青年对程控计算机知之甚少,但一群敢想敢干的年轻人经过一两年的奋战,也可自己设计、制造程控计算机了。这对于我进一步解放思想、敢想敢干起了很大的启发作用。接着我带领研究生研制出我国首台钻床程控计算机并投入了生产。

## 四 MIT 进修两年

1978年,我通过了考试成为第一批赴美访问学者,有机会到美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)进修。由于一些其他原因,我的研究方向从电子学转到了信号处理领域。我虽然在MIT只待了两年,但有很多收获,最重要的是拓宽了眼界,同时也让自己进入了新的研究领域,找到了新的方向。

我原来主修的是电子线路,在童诗白先生手下工作。出国前童先生布置我去学微处理机,要求回来能开这门课。当时出国需要两个人写推荐信,我找了常迥先生<sup>①</sup>,他是MIT硕士和哈佛博士。常先生让我去学信号处理,也要把课带回来。所以在申请表上写了:第一志愿微处理机,第二志愿信号处理。

我去MIT本来选择的导师是李凡教授,他是MIT微处理机实验室主任。但当时是新中国第一次往美国派遣访问学者,有几个机构并没有明确表态会接收这些人,其中就包括MIT。据说,当MIT教授们讨论是不是收这批访问学者的时候,林家翘先生<sup>②</sup>力主接收,但也有一些在MIT很有势力的犹太裔教授提了一些刁难的问题,例如他们提出:访问学者的基础条件是要有博士学位,而这批中国人没有博士学位<sup>③</sup>,只能作为学生来MIT,不能作为访问学者。作为学生就必须交学费,这实际上还是不接收。林家翘先生据理力争,指出中国没有博士学位这一情况,并强调这些人的水平满足要求。双方争执不下,最

<sup>①</sup> 常迥(1917年—1991年),中国科学院院士,无线电工程学、信息科学家,清华大学教授。

<sup>②</sup> 林家翘(1916年—2013年),美国艺术与科学院院士、美国国家科学院院士、中国科学院外籍院士、麻省理工学院荣誉退休教授,是国际公认的力学和应用数学权威。

<sup>③</sup> 1980年2月12日,国务院颁布《中华人民共和国学位条例》,条例规定中国学位分学士、硕士、博士三级。1983年2月27日国务院学位委员会和北京市人民政府在人民大会堂联合召开我国首批博士和硕士学位授予大会。

后一个叫奥本海默<sup>①</sup>的犹太裔教授提出一个折中方案：不妨让他们先进来看看再决定。最后 MIT 教授们决定：以一年为期进行考察，如果这些人够格就按访问学者对待，不够格就按照学生对待，收学费。因为是奥本海默教授提出的这个建议，他要以身作则收一个中国人，然后一年后向其他教授报告考核结果。他是信号处理专家，看了所有访问学者的申请材料，发现只有我选了信号处理，虽然是放在第二志愿，他还是选了我。所以我来 MIT 就被“分配”到奥本海默教授那里。

那年我 42 岁，同奥本海默教授同年。第一次见面我就跟他说：我们同年大学毕业，但我刚刚经历了十年文革，而你读了博士，开辟出自己的科研方向，所以我们两个人已经岔开了十几年。当时我的首要任务是把课程学好，回国可以继续开这门课。

在奥本海默教授实验室里面学习并不容易，实验室的计算机系统我从未见过也不知道如何操作。有一次我在学习指令集，一个个尝试各个指令的功能，最后一个指令是：关机，我一执行，把整个实验室的计算机系统都关掉了，一时全实验室哗然，有些人就有意见，对中国人有看法。但后来的一件事使我的处境得以改观。

虽然我在奥本海默教授那里改学信号处理，但仍有学微处理机的任务。正好暑假期间李凡教授的实验室提供一个关于微处理机的 Intensive Course，一个半月，有三十多位高级工程师听课。学这门课的过程很紧，作业很重，当时我的英语不好也听不太懂。最后的考试是给这三十多人每人一个芯片，要求大家自己搭一个电路，能读取芯片中的信息并显示出来就算通过。我对电路很熟，两三天后第一个做出来，通过了考试，让一些人很是吃惊。这个课的辅导教师是个研究生，跟奥本海默教授的实验室联系很密切，消息就传了过来，从此奥本海默组里的人对我的态度变化很大。

在奥本海默组里过了大半年，通过看书看录像，把《信号处理》等两三门课都自学了，感觉自己应该做科研，就去找奥本海默教授说要参加组里的科研工作。奥本海默教授很吃惊，他一直以为我会只学课程，就问我想去哪个课题组，我选择了地震勘探。奥本海默教授表示要先考察一下，给了我一个题目，要求我自己找资料做计算。一周后我把结果交上去，他又给了我一篇博士论文让我去读。一个多月之后我看明白了论文，还提出自己的改进意见，这才进入了他的研究组。奥本海默教授是研究如何应用相位谱的专家，我当时意识到相位谱同波的延迟密切相关，而利用波延迟可以获得地层结构的信息。我的工作也让奥本海默教授有了新的体会，原来他提出的相位函数居然还可以用在波延迟和地质结构的研究。奥本海默教授对我的工作是认可的，我们这批人在各自的领域也有很好的表现，因此，我们都得到了访问学者待遇，不用交学费了，以后 MIT 又接受了新的访问学者。

出国前我在清华主要是做教学，科研主要是跟踪模仿。在 MIT 我才明白应该如何做科研——做新东西！在 MIT 两年，我的科研从电子线路转到信号处理，开辟了新的科研方向，也学会从一个更高的层次考虑问题。不论是电子线路还是信号处理还是反馈控制，其实都是信息传递和处理的问题。从一个层次考虑它们是相通的。我后来研究互联网，也是从信息控制的角度来研究，解决拥塞问题；再后面研究生物信息学，本质还是研究 DNA 信息的遗传，信息遗传决定物质遗传。生命的本质也是信息过程。我后来所有的工作都是沿着这样一条线开展的。

MIT 两年的访问大大拓宽了我的眼界，也使我看到了国外科技的迅猛发展和我们的落后，同时也坚定了自己解放思想、敢想敢干的信心。但是，最重要的收获是：自己站的高度不同了，有了登高望远的感觉。

## 五 回国后探索地震勘探数据处理技术新道路

回国以后，我致力于运用信号处理新方法为国家寻找石油与天然气，即油气勘探的数据处理工作。用计算机处理大量的油气勘探数据，以寻找埋藏于地下几千米的油层，这是一件十分复杂和困难的事

<sup>①</sup> Alan V. Oppenheim, 麻省理工学院 (MIT) 电子研究实验室 (RLE) 首席研究员, 信号处理算法、系统和应用领域专家。

情。现在寻找油气有几种途径,主要靠所谓“地震勘探”的方法。地质学家通常是根据地质考查,分析地区的生油、成油的条件,然后在有可能生油与储油的地区,通过人工爆炸产生地震波。地震波向下传播到几千米的油层再反射到地面,在地面装上检波器便可收到反射波,再经计算机处理便可得到地下构造的断面图。地质工程师分析这些构造,根据经验或已知的知识找到可以藏油的构造,最后通过打井加以证实。但是,勘探初期,打井的成功率往往是很低的,我们的任务是协助地质工程师更好地判断油层,提高打井的命中率。用计算机处理勘探数据在 60 年代、70 年代有很大的发展,取得了巨大的成功。到 80 年代,这种方法变得越来越复杂,而取得的成效已越来越小了。

经过一段时间的研究,尽管我们花了很大力气,但收效并不很理想,我开始对我们工作的路线重新进行思索。我的思索并不是只限于目前的具体课题,而是对整个勘探方法的思考。我想,用地震勘探的方法确定的井位,往往打不出油,其根本原因是什么呢?我的结论是,其主要原因不是计算机处理得不够精细,而是用地震勘探得到的数据并不足以确定地下油层的位置,从信息论的观点看,就是信息量不足的问题。对于这个问题无论怎样研究计算机的处理方法都是不能解决的。解决这一问题的基本方法是增加信息量,也就是说从其他方面来补充新的有关地下油层的知识。这样的知识补充得越多,对问题的解决越有效。当我环顾勘探的全过程时,发现对地下油层的了解,还有几个重要的途径:一个是打井、测井提供了地下的局部详细信息;另一个是地质工程师根据地质条件对地下油层的推断和分析。那么,将测井的数据和地质工程师的经验所提供的信息纳入到地震勘探数据中来,不是正好解决了信息量不足的问题吗?但是,由于地质学、测井学和地震勘探技术三者各自都是很复杂的学科或技术,自成体系,通常一个工程师只会其中的一项,学科的分隔造成了这三者在一定程度上的相互分隔。其次,在技术上三者也有很大的不同,地质工程师的知识比较模糊,难以准确的定量描述;测井的数据的分辨率很高,但只是“一孔之见”,在空间上作用范围很窄;地震数据在空间上的作用范围很宽,但在局部深度上分辨率较低;更重要的是地震数据的数据量十分庞大,要用大型计算机处理,其处理过程复杂,人工难以干预,在大型机上要结合处理其他数据十分困难。因此,当我意识到如果能将测井和地质工程师的知识结合到地震数据中来就有可能取得新成果时,便开始考虑如何实现这一方案。然而当我向一些专家提出要把这三者综合起来时,他们大都摇头,说很困难。在大型计算机的环境和限制下实现三者的综合是不容易的。

80 年代中期,常迥教授出国访问回来,兴奋地告诉我,国外出现了一种新型计算机——工作站。它的性能相当于中、大型计算机,但体积小,易于人工操作和人机交互。我立即意识到,难得的机会来了——在工作站上一定有可能实现这三者的结合。我已经预感到传统的地震勘探数据处理技术快要走到尽头了,需要大胆做出决断,走出一条新路,这就是上述三者的结合。这样的分析坚定了我克服一切困难,走出一条新路的决心。经过几年的努力,我和我的研究生们开拓了一条新路,初步实现了三者的结合,且效果明显。用这种新方法已在胜利油田上打出了三口新的高产井。与此同时,国际上也是按这一方向在发展。现在,在工作站上将地震勘探、地质工程师解释与测井数据同时处理,人机交互或相互结合,已成为通常的工作方式,成为油气勘探的重要手段。

## 六 对科研工作的几点体会

### 1 不要做别人做过的事

当我在 MIT 做研究工作时,曾有机会与著名学者林家翘教授接触,他是我十分钦佩的学者,在数学上的贡献是世所公认的。我曾向他请教做学问应注意什么,对我今后的研究有什么建议。他告诉我:“别人做过的事,你不要做。”这句话对我来说有很大启发。我理解他的话并不是说别人做过的事你就不要去,很多工作,你要学习、理解它,就必须重复人家已做过的工作,很多开发性、产品化的工作更是在别人工作的基础上来做的,这是不言而喻的。我想他的话的本意是:你确定的研究课题、研究目标应是前人未做过的,真正具有探索性和开拓性。如果只在别人已做的基础上低水平地重复,做一些修

补,在研究上是没有什么大意义的,只会浪费了大量的精力,这不应该是一个科研工作者所看重的。

在我从事科研工作的初期,只是参加到已有的项目中,或跟着老师做项目,没有认真考虑这个问题,等到80年代初从美国回来后,眼界和看问题的高度都不同了。林家翘教授这一指点可以说是点到了要害,使我的研究工作提高到了一个新水平。我正是从“没有人做过”这一基本点出发来确定我的研究目标和方法的。与以往相比,同样都是全力以赴,但结果却大不相同,真是受益匪浅。

## 2 抓住关键,全力以赴

对待研究工作,我也采用在学习中所用的方法。当研究课题确定以后,我习惯于抓要点、抓关键,把问题简化为一两个关键性问题,然后全力以赴,集中精力去解决它。由于问题集中成一两个关键问题,你的全部精力就可聚焦在一两点上,像锥子一样形成极大的贯穿力。例如我在MIT进修信号处理方法时期,指导我的教授是信号处理学界很著名的学者,他的研究工作达到当时世界最先进水平。由于我的基础较弱,他希望我能多学一点课程,进一步能了解他的博士生所做的工作就不错了。但我认为“不入虎穴,焉得虎子”,我不仅要学习先进的理论和已有的成果,还要能运用甚至发展它,有所创造,这才是我的目标。根据我的分析,指导教授在信号重构上有新的创造,最重要的一点是利用相位函数重构信号。我就抓住这一点深入研究;另一方面,我又选择油气勘探数据处理作为应用领域,在这一应用领域中要解决的一个关键问题是求取信号的到达时间的延迟问题。我模糊地感觉到这两者之间有某种联系,经过反复思考,发现信号到达时间正是由相位函数所决定的,因此本质上可以利用相位函数来确定延迟时间。找到了这一内在联系,我十分兴奋,接着就反复思考如何将这两者用数学来表达其联系,从建立模型开始,到写出一般表达式。经过不断思考,我终于找到了用相位函数重构信号来估计延时问题的一种新方法及新的表达式,并用仿真数据证明了这种新方法的可行性。这一成果使指导教授十分高兴,亲自带我到有关研究中心,让我报告这一成果,并将这一成果写入他的总结报告中。后来这一成果也发表在国际著名的刊物上。抓住关键全力以赴,这一方法不仅使我在学习上深受其益,而且也是我在研究工作中最重要的武器。

## 3 及时提出新目标,不怕失败

一个学科有它的发生、发展及衰退的过程,一个人从事某一领域的研究也要经历类似的过程。一个人在他到达成功的高峰时,也正意味着他可能要走下坡路了。这时他应该警惕了,应该有危机感了,要及时给自己树立新的目标。另外,我认为,若要探索,就不要怕失败,我的一次成功往往是建立在几十次失败之上。我不怕承认失败,在我提出一些新想法时,也常常遭到一些人的讥讽、反对,有时甚至是尖刻的批评。对这些我都不放在心上,只是一笑了之。我认为这是我的一个很大的优点。

为什么我总是在不断探索呢?我觉得一方面是由于好奇,而另一方面是看到了更大的机遇。从1981年回国后开始,十多年来我主要从事地震勘探数据处理工作,我的小组从小到大,研究工作几经波折,终于取得了一定的成绩。从1993年开始,当我的研究成果获得奖励,也正在承担较大的项目时,我感到在这一领域我十多年的工作已经从开始发展到了一个高峰,正在走下坡。我有了危机感,我认为到了应该给自己提出新目标的时候了。我的感觉告诉我,网络信息正是一个迅速发展的新领域,有大量的机遇。因此我着手建立了一个网络信息研究小组,将我们多年研究的智能信息处理方法,用于网络的控制和网络信息的检索。虽然在网络信息方面我们是初学者,但在智能信息处理与智能控制方面我们却有了多年的知识积累。这个研究小组的建立,使我们有了新的目标,激发了我们新的研究思想。随着世界因特网以及我国信息高速公路的发展,我们新的网络信息研究组也随之迅速发展起来,吸引了一批有作为的年轻人,我们的研究也很快取得了成果并在国内外重要刊物上发表了论文。从1996年开始,随着人类基因组工程的实施,出现了大量的基因信息与数据,亟待信息学家作进一步的分析。生物信息学的研究将是21世纪的重要课题,我们的另一个生物信息学研究小组也正在与生物学家密切合作,进行新的研究。

我认为,交叉学科、学科的边沿正是我们大有作为的地方。在信息时代,我们不能固步自封、夜郎自大,而要十分敏感,要十分注意世界科技的发展,充分利用通过交流与开放从世界各地所得到的信息,跟上时代的步伐。

#### 4 建立一支有理想、科学民主的队伍

当今的科学研究总是集体的行为。经验和见识、敏锐和勤奋的结合,往往也是在一个集体中才能更充分体现出来。一个有为的学者也应是一个善于组织的人。由于我在中学、大学常常担任班长、团支部干部等职务,培养了我团结、组织方面的能力,也为以后的学习与工作积累了社会工作的经验。常老师对建立一支有理想、科学民主的队伍寄予了很大的期望,也做了大量的工作,这也对我产生很大影响。我们把敢于向世界一流水平挑战的精神带到研究小组中来,树立起高标准,在研究小组里鼓励探索、允许失败、发扬民主、平等讨论,并逐渐形成一种气氛。通过全组人员的努力,我们建立了共同的目标,并树立了民族自信心与自豪感。在这里,作为组织者,具有理想与信念、坚忍不拔、不计较个人得失是最重要的。幸运的是,我经常工作在这样一个集体中,这个集体也常是我的创新思想与灵感的来源,是我的视觉、触觉的最敏感部分。在这样一个年轻的集体中做研究与探索工作,其乐无穷。

#### 5 关于基础研究

一直以来困扰我国科技界的一个问题就是科技与经济两张皮,两者不能很好结合。多年来,我们一直强调“任务带学科”,“科学技术要为经济服务”,并采取了很多措施,但是在创新方面原创性成果不多,在科技与经济结合方面仍存在“两张皮”的情况。如果在已经发现了问题并且高度重视的情况下仍长期没有明显改变,那么很可能是我们在解决问题的指导思想出了问题。

1944年第二次世界大战即将结束时,人们都在思考如何将科学技术从服务战争转为服务和平时期的社会发展。时任美国总统罗斯福将这个任务交给了美国科学研究发展局主任布什博士。经过深入地研究布什博士与一批杰出的专家提出了一份报告——“科学——没有止境的前沿”。这份报告对其后几十年美国的科学研究与经济发展影响巨大,这期间,美国的科技一直站在世界前沿,而美国的经济也得到科技的支持而不断创新、迅速发展。当我国开始走出外部强大的压力和各种战争的困扰,在相对和平环境下进行改革开放时,我们很值得研究这份报告提供的经验。

这份报告最主要的着眼点就是关于基础研究的重要性,它指出基础研究将导致出新的知识。它提供科学上的资本,它创造了这样一种储备,而知识的实际应用必须从中提取。新的产品和新的工艺流程并不是一出现就是完全成熟的。它们是建立在新的原理和新的观念基础之上,而这些新原理和新观念又是在科学的最纯粹领域中的研究工作中艰辛地开发出来的。今天基础研究已成为技术进步的带路人,这比以往任何时候都更加明确了。一个在新的基础科学知识方面依靠别国的国家,其工业发展将是缓慢的,在世界贸易竞争中所处的地位将是虚弱的,而不管它的机械技艺多么高明。报告要求政府用于基础研究的经费必须保持一种稳定增加的趋势。布什博士还提出:对基础研究应予以特殊的保护和特别有保证的支持。1968年,在美国国会授权国家科学基金会在支持基础研究之外还要支持应用研究时,布什的科学公共福利委员会提出警告:有一条顽强的支配科学研究的规律:在要求取得立竿见影的成果的压力下,应用研究必然会排斥纯科学研究,除非制定深思熟虑的政策以防止这种情况的出现。教训是明确的:正是纯科学研究应该得到并也需要予以特殊的保护和特别有保证的支持。

报告还特别关注人才培养问题,在“更新我们的科学人才”这部分中,引用了科南特校长<sup>①</sup>的话:“——在可以合适地称为‘科学’的整个领域的每一方面,其限制的因素是人。我们在某个方向进展的快慢取

<sup>①</sup> J·B·Conant(1893年—1978年),美国著名的教育家、科学家、政治家和外交家,曾任美国哈佛大学校长。其教育思想是立足于美国教育历史和传统,重视公共教育和普通教育、主张天才教育、提倡综合中学、改革师范教育、重视黑人教育等,被认为是美国20世纪最伟大的教育家之一。

决于从事所说工作的真正第一流人才的人数。——所以归根到底，我们的基础教育政策将决定这个国家的未来。”

至于加强工业研究问题，报告指出“政府能够加强工业研究的最简单有效的方法就是支持基础研究和开发科学人才”，报告指出：“影响大量地进行工业研究的最重要的因素之一就是税法”，报告建议应该修改国内税法以消除对研究与发展经费扣除的不确定性。

我想，很清楚，我们可以从这个报告中学到点什么。

“科学的前沿和它的潜在利益仍然是没有止境的”。

## 七 关于人才培养

### 1 人品、学识与才干

人才培养，研究生教育一直是我心中思考的问题，到底学生在学校要学习什么？对自动化系一年级研究生我曾说过以下一段话：

清华的老学长高士其同志<sup>①</sup>晚年回清华时曾写下以下感言：

“清华园八载攻读，六十年风雨迎新，

今之奉献，源于昨之汲取，

老之成就，来于少之勤奋。”

看来，只有善于汲取，才能当好研究生，只有善于汲取，才能自强不息，不断进步。

在读研究生期间，应该汲取什么呢？

我想，应该在读书与研究中学习“人品、学识与才干。”其中，最难学与最有用的是人品，其次是学识与才干。

其实，清华对人们影响最大的还是清华人的人品。在暑假，很多来清华参观旅游的人问我，清华的荷塘月色在哪里。荷塘月色，表现了清华人的优雅情操，而闻一多先生的拍案而起<sup>②</sup>，则体现了清华人的正气与骨气。对我们这一代印象最深的还有王淦昌先生<sup>③</sup>，当组织上希望他参加研制原子弹以回击美国的核威胁时，王淦昌的回答是：“我愿以身许国。”这体现了清华人的人生目标与传统。情操、正气与人生理想，这些品格影响了几代人。读书如不提高品格，便是不曾读。这正如大儒程颢<sup>④</sup>所言：“今人不会读书。如读‘论语’，未读时是此等人，读了后又只是此等人，便是不曾读。”希望我们通过读书提高自己的品格。

其次，我想说的是提高学识。这里面包括了学问与见识，在我看来，知识易学，见识难求。学识是有不同境界的。

于右任先生<sup>⑤</sup>写过两句诗：

① 高士其(1905年—1988年)，原名高仕，中国著名科学家、科普作家和社会活动家，科普事业的先驱和奠基人。1925年毕业于清华大学。

② 闻一多(1899年—1946年)，本名闻家骅，中国现代伟大的爱国主义者，坚定的民主战士，中国民主同盟早期领导人，新月派代表诗人和学者。1912年考入清华大学留美预备学校。“闻一多拍案而起，横眉怒对国民党的枪手，宁可倒下去，不愿屈服”。毛泽东同志指出：闻一多“表现了我们民族的英雄气概”。（《毛泽东选集》第四卷1449页）

③ 王淦昌(1907年—1998年)，核物理学家、中国科学院院士，中国核科学的奠基人和开拓者之一、“两弹一星功勋奖章”获得者，世界激光惯性约束核聚变理论和研究的创始人之一。1929年毕业于清华大学物理系。

④ 程颢(1032年—1085年)，北宋理学家、教育家，理学的奠基者，“洛学”代表人物。

⑤ 于右任(1879年—1964年)，中国近现代高等教育奠基人之一，民国四大书法家之一，被誉为“当代草圣”、“近代书圣”，中国近代民族民主革命先驱。

“放鹤云千顷，钓鱼溪一湾。”

这是两种境界，一鹤冲天，目尽天涯。而钓鱼则只需在河湾。有此等视野才有此等见识。一般而言，正如黄子卿教授<sup>①</sup>所说：科学只能问“*How*”（怎样），不能问“*why*”（为什么）。学生们戏说：科学只能说“好”，不能说“坏”。但我想，科学应既能问“*How*”，也能问“*Why*”。

但如果问“*Why*”，那往往是更大的问题，它的思考需要有眼光，有见识，有想象力，而且往往没有答案。因为如果问“*Why*”，可能是问“道”，老子有言，“道可道，非常道”<sup>②</sup>。小一点来说，如果你把别人尚未知或不能解决的问题作为自己的研究方向，这就需要见识，需要想象力。

读书与研究如果不仅能从老师与同学身上学到知识，而且还能增长“见识”，那就“不枉此行了”。

第三便是才干，即解决实际问题的能力。能与人沟通，能言辞达意，通情达理，尊重别人，善于团结人等等。有人办什么都顺顺当当，有人什么都办不成，这便是有无能力的表现。

有人说，做研究生，出篇好论文才是一切。但是，好论文是怎样出来的。如果你是真正作研究，其实就是在未知的领域进行探索。其过程有如在黑暗中摸索房子的出口，你常常会四处碰壁，但门口可能就在你的手边，而你恰巧擦边而过。那时，你可能会十分懊恼，甚至非常失望，那么我建议你，如果你足够坚强，那就再坚持一下吧。或者，你可能想那是天意，回宿舍睡觉吧，下周换了房子再找，也是可行的。但切不可造假、抄袭。据我的经验，80%的情况，“上帝”是会给你一个出口的。

因为我们大多数人的研究，只能算是“在小溪里钓鱼”，而不是如冲天鹤般云游四海，因此，找到出口并不难。但是，人品、学识和才干不是“上帝”会给的，只有这三样，才是成功做人的真谛，才是永远帮你找到出口的本领，希望大家留心。

## 2 研究生教育要真正面向未来

为什么我国长期以来总是模仿、跟踪多，科研低水平重复多，自主创新少，新的前沿学科发展慢，高水平的拔尖人才，特别是带领一个学科发展的帅才少？我觉得除了受我国经济发展水平限制以及投入不足的限制外，研究生教育也应承担一部分责任。

新的前沿学科的人才应在研究生中培养，而不应只是培养已有学科的人才。研究生向前沿学科培养，成熟后自然会带到本科教育，从而推动本科课程的更新。

我国本科教育的课题内容更新慢、内容老化是一个众所周知的问题。究其根源，与研究生没有大力培养新的前沿学科人才有很大关系。新的学科领域的发展，自然就会有新的学科带头人出现，这就是帅才。我们在科技领域的拔尖，在一个领域有重大影响的帅才少，也是与研究生教育中不能敏感地培养未来新学科人才有关。

大家都知道从交叉学科中会有大批突破性课题，但过去我们常常感叹交叉学科发展难，并归之为管理制度不完善等问题。其实，从根本上说，是研究生教育的指导思想没有真正面向未来。这可以说是影响研究生培养质量，影响真正帅才培养的一个重要问题。这不是具体管理方法的问题，而是思想观念的问题。没有先进的理念自然就不会产生新的人才培养模式，这是值得我们深入思考的。

以生物信息学这一学科为例，做一个具体剖析。从九十年代人类基因组计划实施以来，生物学特别是分子生物学正在经历一个重大的变化，从过去只着眼于一个基因或一个蛋白质的生物学转向新的系统生物学，通过识别几万个基因和成百上千万的单核酸多态性，使基因组学有助于揭示问题的根本，从而找到很多遗传性疾病的最佳疗法。基因组学、转录组学、代谢组学、蛋白组学等“组学”的浪潮正在推动这一转变。这是催生新的前沿学科和成长新的学科带头人的大好机会。但是，很多在这一领域的研究生适应不了这一转变，问题在哪里呢？美国明尼苏达大学的 David R. Brown 教授（药理学、神经科学

<sup>①</sup> 黄子卿（1900年—1982年），物理化学家、化学教育家，中国科学院院士。1919年考入清华留美预备班。

<sup>②</sup> 出自《道德经》。

和毒理学教授)认为“部分是教育问题”,因为我们培训的是意识到了基因组学与蛋白组学进展的药物工作者吗?我们培训的是会参与药物发现过程的分子生物学工作者吗?都不是。在这一新的学科里,分子生物学工作者和药物工作者,不仅要变成信息科学工作者,而且,基因组学、蛋白组学、生理学、医学和生化之间的信息都必须可以互相转换,这就是“生物信息学或 In Silico”学科的意义。

美国、英国、日本的有识之士,先进的大学与教授很快就抓住这一领域,以新的教学内容来培养这一新学科人才,新的研究生团队又大力推动这一领域的发展,教授们按照科学前沿的要求,从未来需要出发来培养一批新人已成为一些一流大学的共识,多年来已经发展出相应的管理方法。

如果我们仅仅认为这是交叉学科问题,我看是不够的。教育的确应认真贯彻教育要面向现代化、面向未来的思想。

在科学技术日新月异的今天,科技的发展为我国经济的发展提供了大好机会,也为我国科技的赶超提供了大好的机会。但是为什么我国创新能力与世界相比一直难以提高,长期以来缺乏真正的帅才与大师呢?恐怕不是我们中国人的智力不够,我看部分问题出在教育上,尤其是研究生教育上。

## 八 生物信息学-开拓新领域

1996—1997年前后,人类基因组计划进行得如火如荼,大量的基因组数据涌现,对于“数据”已十分敏感的我自然不会错过如此机遇。

### 1 对疾病的诊疗正在由还原论走向系统论

我们对疾病的诊疗正在由还原论走向系统论,目前对生命科学研究大多仍然停留在局部细节上。未来对生命科学研究应当上升到一个整体的、系统的高度,因为生命是一个整体。我们需要将微观与宏观结合起来!人类基因组计划使我们对人体系统的分析进入了基因层次,进入一个前所未有的领域。为了了解疾病的产生,我们急切希望了解基因和蛋白质的功能。但是,除了少数基因和蛋白质外,多数基因与蛋白质不是单个起作用的。大部分基因和蛋白质常常是相互协同发挥作用,他们之间的关系像是一个非常复杂的网络。

我们面临的问题是:在复杂的生物分子网络中寻找导致遗传疾病的基因变异,从基因蛋白质网络中寻找治疗疾病或症状的药物靶点,继而寻找癌症的标志物。

如何分析这个网络呢?我们不能把网络拆散,分成多个部分来分析,而必须要将之视为一个整体来加以分析;然而,通常我们仅仅了解这个复杂网络的一小部分,如何从网络的一部分分析其中基因或者蛋白质所起的作用呢?这个问题困扰了我们近十年!

### 2 关联分析---关系推断是一个突破

关联分析是一个突破!这个问题的早期突破在于:寻找非家族型遗传病的突变基因。对于家族型遗传病,可以寻找相应的家族,通过连锁分析找到其特殊的基因突变;但是,对于非家族型遗传病,传统方法不再适用,无奈之下,人们想出了关联分析:同时出现就是关联。

把病人与健康人分为两群,找到病人中出现而健康人群不出现的基因突变。这些基因突变与遗传病“有关联”。当然只找到有关联的基因突变还不够,还要通过先验知识,机理分析,实验验证等方法,从中确认真正与疾病相关的基因突变,最好还要通过第三方的独立验证。最终,这种方法被证明是可行的,随着试验人群不断扩大,扩展到全基因组分析,取得了显著的效果。

我们把关联分析进一步扩大为关系推断,提出了 CIPHER 算法。我们设想:表型更相似、相关的基因更靠近,即“表型相似性的分布”与“基因邻近性的分布”一致,给定表型,可寻找与之相应的基因。这种方法的关键是:把宏观与微观结合起来,把表征与生物分子相互联系,利用表型相关性,已知基因突变

可以从已知表型寻找相似表型的基因突变,可以寻找疾病的药物靶点,利用“关系推断”方法,我们已在一些应用上取得成功。

对疾病的诊疗由还原论到系统论的变化是医疗事业的一个重大发展,对疾病的早期诊断、精准医疗和药物研发等都有重要意义。这个方面已经有了实质性进展。

### 3 大数据更多是关系大数据

关系推断使我们能更深刻理解大数据的意义——提供各方面的“关系”,这对解决复杂系统问题起了关键作用!

分子生物学的各种组学数据很多,而疾病与医药的数据也很多,是名副其实的大数据;但当我们检索癌症数据时,发现其样本量却很小,因为即使同是肝癌,也有很多的亚型,因为发生突变可能的组合非常之多,它们之间有密切的关系,但不是同一类的样本;大数据得到的其实是高维小样本,是“关系”大数据!正是因为有了大数据提供的“关系”,才使关系推断大有用武之地。大力发展关系推断对于生物系统、社会系统、社交系统、金融系统、经济系统和军事系统的预测与干预都是十分重要的。

科学技术发展到今天,经历了牛顿力学、爱因斯坦的相对论与量子力学,看来已发展得非常丰富而深刻,数学也发展得十分完美,科学分支越来越多、越来越专。在科学好像是无所不能的时候,当人们真正面对复杂的世界时,忽然发现全部的科学技术竟是如此的局限和简单;当人们用完美的规律来解释世界时,竟发现常常碰壁,世界发展的偶然性竟是如此之大!这究竟是怎么一回事呢?现在,甚至连基础的问题,人们都在对以往的“真理”发生了信念上的动摇。例如,宇宙是怎么产生的?生物是按照达尔文的进化论以适者生存的原理而演化的吗?生命的奥秘是什么?诸如此类,这真是一个奇妙的时代。在我看来,各个学科的界限变得越来越模糊,交叉学科成了发展最快的学科,计算机的发展、人类基因组计划的实现、全球网络的出现、信息的高速交流,使人类社会的科学技术正在以前所未有的速度向前发展,我们正在面临一个科学的新时代。随机的、非线性的新的分析方法,正在使过去的各种学科的分析方法和结论产生极大的、甚至是根本性的变化。这是一个给从事科学探索的人们提供了极大机遇的千载难逢的时代!我们正是生活在这样一个幸运的时代。在这样的年代,敢于设想、善于交叉研究,敢于从本质上、总体上把握事物是十分重要的。只有这样才能最大限度地抓住这种时代的机遇,才能无愧于这个时代。我希望这样的人才更多地出现在东方,出现在中国。