



开拓性课题的探索与形成

FORMATION OF EXPLORATION TASK

吴建民

编者按 本文是根据吴建民教授1985年5月应邀回国讲学时在北京航空学院所作报告的录音整理的。经本人审阅后同意在本刊发表。

两个值得注意的倾向

我几次访问中国，觉得在中国的研究工作中，有两个值得注意的倾向：

1. 从事验证性研究工作的多。许多研究人员正在进行的所谓“课题研究”，大量的的是把外国学者已经得到的研究成果拿过来，进行些验证和补充，或充其量在某些方面作一些改进。真正由中国学者自己提出的创新性的开拓性的研究课题甚少。

2. 注重数学演算的多。不少研究人员似乎都把推演数学方程看得很重，而或多或少不太重视建立物理概念的研究。这也是中国研究工作缺少创新性课题的原因之一。其实，建立物理概念比数学演算重要得多，开拓性课题要从物理概念中去探索，数学演算只是解决问题的一种工具或方法。我在学生时期一度也十分迷恋于数学推演，后来看到了一本参考文献《可压缩流理论中的数学方法》。令我惊讶的是，这一本专讲数学方法的文献中，从头至尾没有一个数学公式，谈的全都是物理概念。更引起我深思的是，论文中的每一概念，只要读懂了，都可以很准确地依此写出描述它的数学公式。

上面这两项工作并不是不重要，也必须有人去做，但如果研究人员都集中在这两项工作上，或者把它们作为重点，那么就不可能产生具有中国特色的独创性课题。因而下面我要谈的重点就是如何去开拓那些探索性的课题。当然，我主要是谈应用科学的研究，即把自然界发生或形成的物理现象转化为可供应用的结

果的课题，基点在于应用。这一点与那些纯理论研究课题有本质上的不同。另外，由于我的专业，所谈内容主要针对航空科学研究的特点。但是对其他的科目原理还是相同的。

研究工作的主要类型

目前我们所从事的研究工作，大致可分为以下七种类型：

1. 新概念的探索。一个新的物理概念或一种新的计算方法的建立都属于这一类型，是所有研究工作中最难的，也是最基本的。

2. 新模型的建立。即用简单的物理或数学模型对一个复杂的物理问题作出解释，或通过简单的计算方法求解一个复杂的模型，如用准一维(Quasi-one dimensional)模型、平板或圆柱、圆球来解释复杂的三维流场现象。

3. 对复杂的现象，即对一些难以简化或根本不能简化的现象，作出合理的解释。

4. 对别人的概念和方法(包括硬件)进行改进，包括对别人的计算方法进行简化，加快计算速度，提高计算精度；对国外一些新布局的参数进行优化等。这类研究工作的难度有时也是出人意料的。例如，美国在研制“长矛”导弹时，为了增大航程，曾提出一个直接延长后体加强喷流的方案，认为这种改动既简单又“必然地”会增大航程。不料试验结果是，因后体加长，喷流角扩大，后体分离流浸没了尾段控制面，致

吴建民(J.M.Wu) 田纳西大学宇航研究院戈沙特(Goethert)讲座教授，北京航空学院名誉教授。

使导弹发射后失控。

5. 产品设计前的预先性研究和试验后的改进性研究。

6. 为解决产品投产或使用中出现的紧急问题进行的研究。这种问题是大量的, 有的也十分棘手。如波音-747投入航线使用后发现驾驶舱后天花板在飞行中出现明显的上下振动, 经研究后作了加固。又如C-5A在使用中发现飞机机身阻力过大, 公司耗费了大量的精力进行减阻措施的研究。

7. 基本资料的汇编与积累。这是一项十分重要但又相当枯燥的工作, 需要十分耐心和仔细。许多国家都设有专门机构从事这项研究工作, 如建立各种设计规范, 收集和完善的翼型系列特性等。

研究工作的优先次序

以上所列各类研究工作都很重要, 但一个研究机构, 一个研究人员就必须根据自己所从事工作的特点, 确定出研究工作的优先次序。所依据的原则就是价值观念, 即在时间、资源和问题性质的限制下, 去做最重要、最有价值的研究, 尽可能不做那些锦上添花的工作。

但是, 这里所说的价值观念, 常常要受到习惯和传统的影响(对一个学校要受到校风的影响)。因此, 不同文化、民族、科学传统的国家, 在建立优先次序时就会有不同的价值观念, 其中包含着复杂的内在的和外在的影响因素。甚至同一个国家在不同时期, 其价值观念也是不同的。今天认为是十分重要的工作, 过几年后也许就被认为毫无价值。所以说优先次序所依据的准则不是一成不变的, 而是动态的。这就要求每一个研究者, 必须保持清醒的头脑, 应根据当时当地的具体情况和特性, 作出最有价值的优先次序决策。例如, 一项研究工作的指标应该订得先进些, 还是保守些? 一般总认为当然是越先进越好。如果以此作为确定优先次序的准则, 很可能就会犯决策性的错误。因为并不是所有研究工作都应该把先进性放在首位。实际上国外绝大多数飞机制造公司都保守得很, 除非为维持一定竞争能力所必须, 所有研究工作都是以不过分冒险为指导思想。一般而言, 新产品的冒险系数不能大于10~15%。(参看本刊1985年第2期《系统管理学的第二步——筹划学》一文), 大于这个冒险系数的计划, 一般都将失败。如果一定要跃进, 那就先得做原型机来验证。

基础、发展和应用研究的特点与相互关系

前面列出的七种研究工作, 就其目的而言又可分为基础研究、发展研究与应用研究三类。许多国家针对这三类研究都有相应的机构。

制造工业部门研究机构 这些机构的研究工作主

要是从事应用研究, 而且是针对本部门产品的发展, 因而保守性强。

大学及其研究所 他们所承担的研究课题大都是(也应当是)属于基础研究, 着眼于开拓性、通用性的新概念, 具有较高的先进性。

国家研究机构 这些机构基本上是上述两种研究机构之间的桥梁, 即把基础研究得到的通用性新概念转化并推广给工业部门使用。

图1给出了三种研究机构各自的特点和相互的关系。研究机构之间信息的沟通和流动非常重要, 中国形成的各自为政的局面, 必须打开, 要加强联系。

对于一个部门, 甚至一个国家, 究竟把研究工作的重点放在哪一类研究上, 这也是动态的。就以日本

特点	大学研究所	公立研究所	制造公司研究所
部门特点	探索通用性新概念	两者的桥梁	针对具体产品发展
研究侧重点	基础研究	工程预研究	实用性研究
工作性质	建立新理论或概念	开发新技术	发展新产品
工作特点	进取性强, 必须不断创新	新旧折衷兼顾两者	保守性强, 不能过于冒险
全发展过程	从新概念到产品需投资大量的时间和资金		
中间发展过程		先抄再改是日本的优先次序, 是他们赶上先进国家的国策	

为例, 他们研究工作的重点是放在发展性研究与应用性研究上, 几乎不搞基础研究。他们充分利用别国已经搞出来的基础研究(甚至发展研究)的成果, 改进成自己的更好更先进的产品。举一个简单的例子, 算盘起源于中国, 并流传了几千年, 但就其功能与式样至今仍没有实质性的改进。而当算盘传到日本后却不断地被革新: 先是把两个上珠子改成了一个, 接着又把五个下珠子改成了四个, 后来又把珠子的外形切成了有角菱, 最后变成了既便于携带, 又适于用指甲盖拨珠的日本式小算盘, 计算速度也提高了许多。可以说, 日本战后的兴起, 把优先次序放在后两种研究工作上不能不说是一个很重要的原因。由此也可看出, 应用性研究是整个研究工作中一个很重要的环节, 如果忽略了, 尽管有大量的通用性基础研究成果, 看上去很漂亮, 有很多论文, 但对国家的建设与强盛却不会带来太多的实质性的好处。这一点对中国的国家研究机构和各制造公司的研究所尤为重要。但对象北京航空学院这类高等院校和科学院的研究工作, 还是应当把重点放在基础研究上, 探索新课题, 不断提出新概念。一个新概念的产生往往会带动一代工业的发展。如激光和半导体技术首先就出自于院校的研究。

新课题的探索与形成

培养一个研究人员, 首先应使他具有两种探求精神:

1. Why? 即对每一个现象要习惯地问一个为什么。

2. How? 即对每一个概念要想到怎么去实现它。

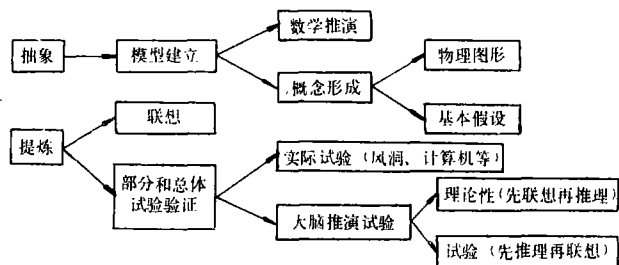
前一种精神，它可以改写历史。后一种精神可以创造历史。西欧一些国家，前一种探索工作开展得多，也很出色；而美国对后一种探索工作更为重视。牛顿问了许多个Why，而爱迪生回答了许多个How。所以，我们要找新概念（即why），可以多去查找英、法、联邦德国的资料；而要找怎么做（即How），则要重点去查找美国的资料。

航空院校要探索的新课题，还应注意航空工业研究中的特点。这可归纳为两点。

1. 每一项大的研究（或工程）都是由许多精细的小研究（小工程）所组成，换言之，都可以按网络图分解成一个个小课题分别进行研究。

2. 绝大部分问题都可以抽象、提炼并模拟。

根据第一个特点，大学研究机构可以和工业部门（或国家研究所）明确分工，重点放在局部性的，概念性较强并有一定深度的课题上，而由工业部门去进行总体性的匹配与折衷研究。另外，对每一个课题本身也可分解成许多个小课题，动员尽可能多的研究力



量（包括研究生）各自开展研究。

第二个特点更是院校研究机构必须紧紧抓住的关键，要能从各种问题上抽象和提炼出新的课题，并设法把它们模拟出来，许多开创性的课题都是从这个过程中产生的。图2是从抽象与模拟出发，形成探索性课题的大致过程。

从该图可以看出，在课题探索与形成过程中，大脑推演（在屈西曼的《飞机的空气动力设计》一书中，直接称之为“大脑试验（Mind Experiment）”）占有相当重要的地位，可以说贯穿于整个过程。大脑推演实际上是一个典型的康德哲学的思考循环过程。即从大脑先提出一个推测，然后再找各种理由加以反驳，再提出一个新的推测，再对它进行新的反驳。研究工作的创造性劳动（即课题的形成）就是寓于这种多次推测→反驳，反驳→新推测……反复循环的过程中。对于任何一种假设、命题，乃至对自然界的任何一种现象，都要习惯于从反面去问一个为什么，这可以说是一个研究工作者必须具备的基本素质之一。为什么会是这样？如果不是这样，又会怎么样？经常地对某个物理现象提出反问，经常地对自己某个认识提出反驳，就会使我们对问题的认识越来越深刻，常常会从中悟出一个

新的思想和概念。

一般说来，一个新课题的形成要走完以下三步：

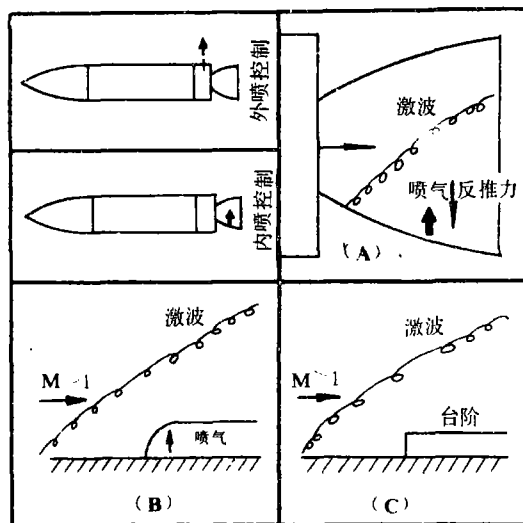
Hypothesis→Conjecture→Assumption

这三个词译成中文都是“假设”；而实际上它们的含义却大不相同。

1. Hypothesis是指哲学上的抽象或“假设”。也可以说是建立新课题首先要提出的一个前提。例如流体力学中的“无粘性流体”的“假设”。在这个“假设”中，不涉及这种流体的具体性质如粘性等。

2. Conjecture是指物理或数学模型中的抽象或“假设”。例如“对于粘性小的流体，可以假设其粘性系数趋于零”。

3. Assumption是指为了演算和推理的需要，在具体方程和计算过程中所作的“假设”。例如，对于无粘性



流体，可令其粘性系数等于零，以消去所有的粘性项。

特别要指出，在课题形成过程中，千万不要受一般常理的困扰。也就是说，在建立一个新概念时，不要去考虑它是否符合现有的常理。实际上，许多新概念在其产生时常常是违背当时的常理的。如伽里略提出“地动说”时，被认为是疯子；爱因斯坦的“四维空间说”在当时也很难被人（包括一些科学家）所理解。但经过严格试验和证明，这些不合乎当时“常理”的假设、理论和定律最终都被人们所承认和接受，成为“新”的常理。所以，一个新概念是否符合常理，是一个事后认识的过程，决不要因为它似乎不符合当时的常理而束缚了自己的思考。

抓住问题的本质

在形成课题的过程中，另一个关键是要抓住问题的本质，而不要纠缠在一些细微末节上。下面是我自己的一个经历。

那还是在美研制“北极星”导弹的时期。由于这个导弹是从潜艇在水下发射的，因而要求其外形尽可

可靠的合作伙伴

——中国航空技术进出口公司

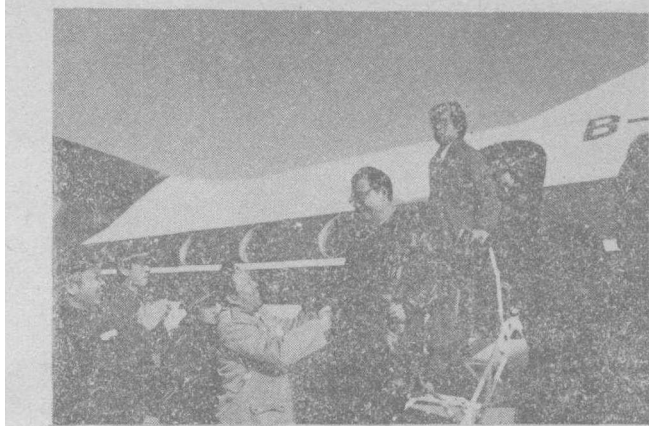
谁都愿意找到一个实力雄厚、信誉可靠的贸易公司作为自己的合作伙伴，中国航空技术进出口公司正是您所需要的这种伙伴。

中国航空技术进出口公司 (CATIC) 是经过国家批准成立的中国军工系统的第一家进出口公司，是工贸结合、技贸结合、独立对外具有经济法人资格的专业贸易公司，隶属于中国航空工业部，以建国三十六年来逐步发展壮大的航空工业为后盾，具有相当完整的科研、生产和教学体系并具有相应的勘测、设计建筑安装力量。不仅可以设计、建设航空工厂，制造各种用途的飞机、发动机及与之配套的各种航空仪表、电器、机械设备和附件，而且可以生产包括汽车、自行车和精密机床在内的众多非航空民用产品，实力相当雄厚。其中不少航空产品，包括飞机、发动机和非航空产品已出口到世界各国。除苏联外，不少世

界航空大国的飞机上都有我们为其生产的零部件。与国外同行们的技术合作领域则更加广阔。目前中国航空技术进出口公司已与世界上50多个国家和地区建立了广泛的贸易和科技合作关系，在伦敦、巴黎、东京、安曼、阿联酋和科威特等地设有分公司和代表机构。在纽约、洛杉矶、汉堡设有代理机构。在香港办有合资的华南航空技术公司。这就使我们与世界各国之间增强了信息交流，缩短了距离，促进了了解，为双方合作建立了可靠的基础。

中国航空技术进出口公司还愿意竭诚为国内的合作伙伴服务，在开发沿海特区以及促进各项专门技术的发展上，贡献自己的力量。我们在广州、上海、福建、厦门、深圳、珠海设有自己的分公司或工贸中心。

如果您有意与实力雄厚、信誉可靠的中国航空技术进出口公司合作，我们将竭诚为您服务。



李鹏副总理乘国产 Y 7—100 型客机

能光滑，以减小它在水中的阻力，不能设置作为控制方向的小翼操纵面。可是导弹穿出水面后又必须控制方向。这里可用的有两种方法：1. 装置可在空中弹开的小翼，但设计复杂，还要增加弹体的重量；2. 设置反作用方向控制喷嘴。“北极星”当时选用了第二种方案。按一般常理考虑，这种喷嘴理所当然应当是向外喷气，利用喷气反作用力控制导弹方向。可是，有一个法国人却提出了一个违反一般常理的，似乎是异想天开的方案——向内喷气。试验结果出人意料的好，不仅反作用力大得多，控制性也好得多。美国得知这个情报后，十分感兴趣。但当时除了两张照片外，没有别的资料。于是我的导师和我被邀请来解决这个问题，要我们推导出能计算这种方案的喷气反作用力的方程和估算公式。我与导师在黑板前整整想了一天，终于把这个十分复杂的问题提炼成一个准二维问题（图3）。首先他把锥形喷管中喷气与激波的复杂的干扰流场（图3（A））转换为超音速流流过一个激波与喷气流体的流场（图3（B）），然后用一个台阶代替喷气流（图3（C））。这样，当超音速来流流过这样一个台阶时，就会产生类似喷管实际激波的激波，而调节台阶的高度就相当于调节了喷流火焰的高度。显然这种被大大简化的流动模型完全抓住了实际流场的本质。以这个模型为基础，再加上一个抛物线分离区的假设，很容易就算出整个流场的压力分布，并通过积

分求得喷气的反作用力。由此导出的计算方程与公式最终都成功地应用于“北极星”导弹的设计。

从简到繁和再从繁到简

作为科学研究工作的总体，各种类型的研究工作都需要有人去做。但研究类型的选择、题目的难易程度，必须根据个人的能力、基础（即功力）、环境、条件等各种因素来考虑。只有对自己有正确估计的人，才能选择最能发挥自己特长的的工作。另外，要想能创立新的思想与概念，必须踏踏实实地掌握基础知识。不然，任何好的思想都将成为无本之源。每一个人从学习到研究都是一个从简到繁，再从繁到简的过程。当我们刚学习基础学科时，要从一个单摆、一块平板开始，逐步深入到一台完整的机器或一架完整的飞机。这个从简到繁的过程是今后研究工作的基础。只有在这个过程中吃透每一个环节，掌握每一个概念，才有可能在以后的研究工作中，从那些错综复杂的现象中提炼出最本质的东西，找到最基本的模型。那时，你也许又会回到一个平板问题上来，但这时你所了解的平板与初学时的已大不一样了。初学时你也许认为平板问题是那么简单，而现在你就会感到平板中有许多现象仍然是个谜，当你对其某一个现象作出解释时，一个新概念也许就此产生了。

△