

张志平
译

发明与教育

中国发明创造者基金会
中国预测研究会

发明与教育

〔美〕G·巴格利亚尔罗 编译

张志平
张翁放

译校

中国发明创造者基金会
中国预测研究会

一九八五年十月

引言

这本小册子是美国工程教育学会一九七六年六月十六日在田纳西州诺克斯维市年会上举行的座谈会的会议录。由于社会上,特别是大学中,对于发明的过程这个问题不太重视,因此促使了这次座谈会的召开。

当我们大家从发明者的伟大成就之中获得巨大利益的时候,我们对于引起发明的条件、动力和途径仍然是毫无所知。总的说来,我们的教育系统对于发明的过程和有望成为发明家的大学生并不感兴趣。例如,能够使学生经常与“发明”这个概念相接触和使学生们参与发明过程的工程课是很少的。甚至象想方设法拥有一名“诗人导师”或“作家导师”那样而感到有必要拥有一名“发明家导师”那样的大学更少。

当然,正象不是任何人都可以成为诗人一样,也不是每个人都可以成为发明家的。“诗人导师”和“作家导师”的职责不是把每个学生都培养成诗人或作家,而是逐渐陶冶学生对诗和文学作品的情趣和欣赏能力,给那些天资高的学生提供活的模型;促使他们热爱和从事这些艺术事业。象在那些艺术领域中的“诗人导师”和“作家导师”一样,“发明家导师”在最能体现人类进化发展的领域之一的创造力这个领域中不是起着同样的作用吗?

这个座谈会上的四位发言人已经在不同的发明方面——

材料方面、航空和航天导航系统方面、化学方面和微波方面取得成就。此外，他们四位都以不同的方式同大学保持着联系，这样，就起到了“发明家导师”的作用。这种作用始终是存在的，学校应该完全承认这种作用，把它利用到教学上来。常常用“国家的先知者”来形容发明家，也用来形容他们的贡献。学校应该做特别的努力把发明家请进来，给他们提供机会来表达他们自己在发明和创造方面的思想和观点。

这个座谈会就是做一次这样的努力。唯一感到遗憾的是下面要发表的简短而富有启发性的讨论中，未能把口头探讨记录下来。

纽约工艺学院院长 G·巴格利亚尔罗

目 录

引言—G·巴格利亚尔罗.....	(II)
1. 材料方面的发明：给未来工程师的一封信—M·A·科勒.....	(1)
2. 关于发明者的教育问题—C·S·德雷帕.....	(13)
3. 化学方面的发明—S·鲁宾.....	(21)
4. 电力工程方面的发明—E·韦伯.....	(33)
作者简介.....	(46)
附录：解决问题和创造性——J·M·索里 C·W·特尔福德.....	(49)

1、材料方面的发明：给未来

工程师的一封信

M·A·科 勒

一五〇八年三月，伦纳多（即达·芬奇——译者注）在他的笔记本的开场白中，对于缺乏经验、空话连篇的权威者们，做了如下的评述：

“假使我们确实不能如实地从作家们进行引证，那么根据这些大师们的教导即经验的总结进行理解，是非常重要的和更为值得的。那些不靠自己的劳动而借助于别的办法，到处招摇炫耀和矫揉造作的人们，甚至于不允许我发挥自己的力量，而且看不起我的发明创造。如果自己不发明创造而只靠抄袭和吹捧别人的作品，那么他们本身又该受到多大的谴责呢？”

那些把自然和人联系起来的发明家和解释家，在把他们与抄袭和吹捧别人作品的人们相比较的时候，可以简单地比拟为镜外物体和镜中成像，一种是物体本身，另一种是虚无的幻影。对于自然界欠下债务的人们是很卑鄙的，由于只是偶然的机会，他们才披上人类的外衣，要不是这个原因，可以把他们划归兽类。”

伦纳多讲的也许有点尖锐，但是从他的评论具有一定道理这个意义上来看，似乎要我们更多地注意大约五百年的历

史时期里发明者的教育问题，而不是过多地注意发明这个问题的本身。

在准备这次会议的时候，起初，那些发明的事实激起了我的兴趣，后来，又给予我极深的印象。“发明者的教育”似乎包括如此多的类型以至于几乎要公然反对对它分类了。这次小组讨论会的部分会议议程将是在小组内讲述航空和航天导航系统、电子学、化学和材料等方面的发明情况。

我所创立的公司以发明和发展新材料为基础。这些材料在电子设备中几乎是绝无仅有地使用着，而这些电子设备多年来又主要用在航空和航天工程上。象马里诺 (Mariner) 和包括喷气发动机控制登陆舱的阿波罗 (Apollo) 的全部工作阶段中等均采用这些电子设备。我们还发明了人们想象不到的与化学无关的新材料。

我确信大会小组的其他成员也能提供许多在本领域中有代表性的、对其它许多领域有贡献或成为这些领域的基础的发明的例子。

当然，从伦纳多的评述中我们也能领会到：虽然自然界在整体上可能已被注意到了，但是我们所观察到的可能主要来源于自然界的重复部分，自然界中还存在着大量叫做“课题”的未完善的部分。为此，我们已经通过著书立说、积累数据、教学和演讲等，凭借力量和习惯来处理这些“课题”。

然而，非凡的发明家最终处理的应该是自然界，而不是方便的分类。

在发明和教育的几个问题上——按照法拉第的意思是“结合”——就已经耗去了我的大部分专业生涯。

在剩下的二十分钟里表达我想要表达的东西，使我感到象一个律师似的，这个律师在陪审团退席商讨判决之前所限定的十五分钟时间内，从冗长而复杂的案件，通过判断，向该团陈述证据之要点。如果一般化的东西和老生常谈太多的话，所陈述的判断就会缺乏趣味而使人失去耐心，如果细节太多的话，案情和结论就会含糊不清。

我喜欢运用伽里略对话的技巧。因为既缺少时间又缺乏文学素养，所以我希望会议允许我以给未来的工程师的一封信的形式做下面的发言。我的发言是非正式的，但是是经过仔细考虑的。如果会上有人提出问题，我将尽力提供资料和说明。

我相信爱尔德·普林尼说的那句话：“如果我有更多时间的话，我就会给它写一封短信”。

亲爱的科勒先生：

我刚刚被工程学校录取。

我对当发明家特别感兴趣，我愿意献身于新材料的发明事业。

你给予我的任何建议都将使我十分感激。

谨启

一个未来的工程师 马克

亲爱的“未来工程师”：

我很高兴收到你的来信。象你那样的年轻人，想专门从事于发明创造事业，并且很早就做了打算，这是难能可贵的。依我看来，即使晚些时候修改计划甚至完全改变计划，也比

象没有航向的轮船虚度最重要的学习和发展时期为好。

首先，让我强调一下，我的关于发明的教育问题的评论是我本人现在的想法。我的这些想法不仅取决于我个人做为一个发明者和教育工作所具有的经验，也来源于其它方面的大量经验。你可能会想起我做为纽约大学科学教学大纲的创立者和指导者差不多十五年了。

我的这些想法不是一成不变的，除非我在知识上停滞不前。我在关于发明者的教育问题上的考虑随着时间的推移会有所变化，以适应社会的要求和未来知识的更新。

同样，由于有些杰出的发明家和革新家可能不赞同我的某些观点，因此，强调我的想法不是一成不变的更是我义不容辞的了。

许多年以前，当爱迪生在世时，为青年人举行比赛活动，把试验做为判决结果的依据。爱迪生亲自负责这项工作的本身就对青年人选择他们的专业——可能是当发明家——起了鼓励作用。那次试验着重强调了技术上的细节知识。当爱因斯坦早期访问这个国家时，出版了试验的记录副本。记者们询问了爱因斯坦对那次试验的看法，爱因斯坦并没有评论试验本身，而是漫不经心地指出了那本手册可以用来为这样的资料编目录，人们的头脑不应该被这么繁杂的数据弄混乱。

因为爱迪生和爱因斯坦在不同领域进行不同风格的发明，因此，虽然它们的价值体系不同，但仍然存在着一致性。大概爱迪生把公式汇制成表，并且对于数学和理论方面的问题请教了参考书。

因此，作为一点实际的建议，我劝你通过听讲或阅读来寻求不同的观点——不同于我的观点。事实上，只要你希望

继续保持发明家所具有的专业上的活力，那么即使当你已经完成了你的正常学业时，也应该继续做这件事。

学校将通过杰出革新家的讲演以及通过外部会议和学生的实地旅行考察，为象你这样的学生提供同杰出的革新家接触的机会，我希望学校为你们创造条件，并希望你业已成了这些学生中的一员。

当然，暂且只有你自己才能对你所获取的知识负责。首先，你必须得到它们。然后，从这些纷杂的知识中选出于你有用的部分。如果你的兴趣已经改变了，或者项目应该变化了，或者二者兼而有之，那么你就应该经常返回到那个项目上来看看它。

我也相信，如果允许你“专攻”发明的话，那么，如何选择学校将是十分重要的，并且在你的前进过程中这个选择也将会是时常变化的。并不是每一个想成为发明家的人都能如愿以偿。

你可以从体育运动领域分析一下。一个优秀的体育教学大纲能够帮助你获得最佳的体育能力，但是它不能在大多数人中造就出来一个奥林匹克冠军，大概也不能把一个碰巧是天生素质极好的矮个子运动员造就成为一个成功的职业篮球运动员。

为了进一步阐明这个问题，正象在任何运动场上杰出的奥林匹克教练员的数量有限一样，能够有效地教育、鼓舞和引导年轻发明家的教师和其他大师（不论他们来自大学还是来自外界）的数量也是很少的。此外，与奥林匹克教练员不同，发明领域的这些大师通常是积极地工作着，并且他们都参加了革新和发明活动，因此他们用于在教育界里直接协助培养年

轻发明家的时间更有限。

简言之，给他们这些未来的发明家有效地而不是敷衍了事地在教育方面提供的宝贵的时间、努力、精力及费用，将要求你们和你们的学校不仅要根据可能性也要根据连续性来选择学校的课程，这是十分必要的。至于过多地招收不太合格的入选人，将有碍于更有价值的候选人的接收。

目前还没有十分简单明瞭的选择标准。也许你在你们学校和其它学校的整个专业生涯过程中包括你和其他人合作而分析总结出来的经验，能够通过提供那些“基本原则”来帮助你充分地运用选择方法。无论如何，肯定存在着过去和现在都能采用的标准。

让我来讲一个属于根本不同领域的故事，这个故事可以使得出重要的观察和处理问题的方法：在第二次世界大战期间，我遇见一个在水下基地工作的海军军官，他是神经科医生，他的主要工作是对战时在海上潜艇中服役的申请人加以选拔。当然，一般人很可能主要关心候选人在特别长时间的高压条件下的智力稳定性，这样的连续高压条件是预先设计好的真实的和假设的危险环境，候选人确信自己是处于水下。在实战时，某个潜水艇乘员的恐惧会带来很大的传染性，会使全体船员、船和战斗任务发生惨败的后果。

我自然要问他是如何解决这个复杂的关键问题的。他说，通过问“你为什么想当潜水艇乘员”这个简单问题，就能筛选出几个优秀的候选人，淘汰其他众多候选人，而十分容易地完成这个鉴别工作。不用说，几乎一个候选人一种回答。但是，刚好有几个答案被认为是没问题的。指出由于在战争时期无论如何必须在武装部队服役，在后期可由此得到酬金

保证职业的人，这至少讲得很现实。类似地，说想复员后当一个身体完好的人而不是被截肢者或其他残废人，或者根本不想复员的人，或感到当潜水艇乘员比当步兵更好的人，这些人在考虑之列。可是，由于被女朋友抛弃或因学习考试不及格而想成为潜水艇员从而当英雄的人，这些人是明显的怀疑对象。战争时期的潜水艇不是逃难者的避风港。

同样道理，我觉得你应该问你自己，并且你的学校也应该问你：“你为什么想当发明家？”合乎情理的回答应该是，理想的目标是我能进入我希望进入的领域的先决条件。如果你把发明看成是难得的形影不离的业余消遣，或者希望灵机一动一下子很容易地交好运气，当你如此把发明当成玩笑的时候，那么虽然你总是争取得到它们，也最好是倾力于某些其它课程或工作来维持你自己或你的家庭吧。

你也应该验证一下你自己的气质——专业发明家使人联想起长跑的人。时常有许多奋力坚持着的独立长跑者（纵然你是一个大科研项目课题组的成员），通常所需的是持久力。然而，从反面来讲，如果你确实被相反的论据说服了，那么你就必须准备迅速放弃你已经工作多年的项目，再选择根本不同的道路来进行重新学习和努力。

虽然不可能象潜水艇在战时状态那样存在着生与死的问题，但是无论如何你必须准备接受你在专业上的名誉和你一直在寻求着的报酬——心理上的，金钱上的，等等；准备经历时常会由竞争者正常活动而带来的威胁——市场行情难以预测的变化，政治上的机会主义，等等。简而言之，你必须在现实世界中生存，接受由于这些挑战而带来的许多威胁。当你已经在专业方面完成一项优秀的工作时，你也许不得不放

弃专业上的创造活动，这时你会变成其它领域的业余推销员，会计或律师，在这个领域中你的思想要思索着你应该做什么。

你可能感到我正在试图给你泼冷水，反对从事任何前途似乎渺茫的专业。实际上，我仅仅在试图极力主张你和你的学校注重现实——象在潜水艇中服役一样——如果适于航海的话，那就献身于海洋。

我觉得建立以发明为基础的职业，特别需要采取这样小心谨慎的态度。我知道在工程领域中没有这么多浪漫的废话，没有这么多无理性的赌金独得的赛马场上存在的综合病症，没有这么多对于已长期废弃不用的陈规的信任，虽然这些陈规曾是真理。我指的是象神话故事里关于那个较好的扑鼠器那种众所周知的事。多年以前我甚至放弃了寻找那个较好的扑鼠器！为了成为一个真正成功的发明家，你或者你正为之工作的单位或者合适的代理人，必须知道或创出一条从你的门口通向市场的路子来。

我最后评述的重要推论的言外之意是工程学校能够通过可以得到的事实来做许多事情，以代替那些不可靠的见解。例如，众所周知，对于发明家来说，大多数专利甚至不能维持收支平衡，即不能赢利。我相信你的学校至少能够通过提供在发明教育方面的讲课或专家讨论会来帮助你成为一个较好的发明家。你说不定早已惊奇地发现，生产管理者在他们能委托公司组织进行开发之前应该如何注视着发明。

大概我自己曾受到的最大教训是尽管我确信我所喜欢的几项发明具有很大的技术优点，但是却不止一次地得到了令人沮丧的结论，并且它们也不适于通过我以前建立和指导的

公司来开发。此外，作为主要的行政人员，我不得不签署那些更多的、不引起重要人物的极特殊的注意就不可能被许可或不可能卖给其它公司的“失败的”成果。

至此，你所表示的特殊感兴趣的“新材料的发明”这个问题，我根本没有讲到。但是我已经仔细考虑这个问题了。目前，我正开始执行一项将从新材料的研制中获取很大的实在价值的新计划。看来，为使你成为一个新材料领域的发明家，好象用那些仅能使你增加现实嗜好的有关才能和潜力方面的吸引人的技术细节来使你接受或积极说服你，那是太容易的事了。在材料技术方面可以公开得到的文献，包括专利，已经多得不可胜数了。

在许多情况下，你的地位同那些希望成为作曲家的音乐专业学生有共同之处。首先，你必须获得音乐方面的基础训练——你必须成为一个训练有素的工程师。其次，沿着你应该走的路，在指导之下，用你的才能和训练场创作相当数量的作品——努力对那些已经被解决了的问题发明新的解决办法，也对那些尚未解决的重要问题发明解决办法。再次，把你的作品拿到有代表性的听众面前去检验，看看大家有什么反应。

要准备应付意外的事发生，要准备接受机遇的奇缘，要准备在时间和兴趣上应付超出你的控制之外的意想不到的现象。但是，不要忘记，在任何时候都不要指望侥幸成功。

如果你打算将来成为一个新材料的发明家，并且孜孜不倦地从事你的事业、你的要求，实现你的理想，那你也不要排除其它可能性。如你在发明新设备上或在其它发明领域，可能具有更好的天才和兴趣，或者你已经发现你当一个发明

家的管理者比当发明家更好等等，不要象实际上不喜欢医生职业的医生那样，虽然他在事业上小有成就，但是他在45岁时对自己说：“我为什么必须当医生呢？难道就是因为一个十八岁的年轻人决定了应该去投考医学学校吗？”

我已经强调了作为一个优秀工程师和优秀发明家的象征，主要并不取决于你是否正在专门研究新材料的发明这个问题。然而，由于你已经表达了你在这一领域中有特殊的兴趣，所以在此我应该通过强调材料的发明这个问题来做些不完整的议论。

工程师必须关心价值——包括下面要介绍的教育上和发明上的任何新的不同价值。应证明一种推荐的新材料必须能象所被代替的材料那样同样胜任工作，且价格便宜，当价格相同时工作完成得更好，如果成本高的话，那就应该具有无可匹比的有价值的特性。新奇性和奇异性本身并不具有特殊的意义，捏起来的杯子碎片可能会是很“新”的。

我喜欢把我们的知识想象得象具有未知湖泊和河流的广阔大陆一样，而事物的真实状态非常接近于浩瀚太平洋中的小岛。

当我象你那个年纪的时候，普通工作常识是除了放射性之外，原子是不可改变的；除了九十二个元素之外，合成元素、裂变及核聚变在生活中不存在；甚至更近些时候，还认为：“惰性气体从来没有组成过化合物”；当我第一次在布鲁克哈文那儿看到白色粉末结晶，认出是四氟化氙时，几乎震惊起来，“金属的导热性总是比非金属为好”，然而，铍的氧化物比许多金属和铯及钨的氧化物显示了更高的导热性，也即对许多金属呈现了高的导电性；硫氧聚合物不仅具有导电

性，而且呈现出某种超导电性；从前——不是很久以前——一定的磁性被认为是与金属导体分不开的，例如，变压器铁芯由绝缘片状材料制成，为最大限度地减少涡流，具有微量导电性的陶瓷磁性材料现在正普遍使用。

传统上，玻璃质材料是非晶体的，而金属材料是晶体的。现在，我们已经拥有重要的结晶玻璃质材料和急冷超高强度非结晶材料。通常认为玻璃是高熔点材料，塑料不是高熔点材料，但目前，人们能在某些抗热性较高的塑料上烧烤，某些较新的低熔点玻璃能在这些塑料的坩埚中熔化。

轰动一时的新知识可能成为常规惯例，而常规知识可能被废弃，这个事实并没有把材料发明家——对情况变化判断敏锐的工程师——从他们今天相信是可靠的熟知的知识里面解脱出来，虽然这些知识明天可能是完全无用的。

我应该指出，材料发明至少有一个重要方面能够同许多其它工程发明区别开来。在一九七三年国际发明家理事会蒙特雷会议上，我在这方面讲道：“让我举两个极端的例子。如果有两个机械设备，通常是勿须证明这设备是怎样的（尽管它可能要求小心地试验）或可能的结构及如何实现操作的，如果不是这样，而要看看结构等，往往容易损坏机器。

“另外，让我举个化学方面的例子。这个例子是催化剂方面的。甚至在大范围里取得专利权的公司中间，某些催化剂的详细资料，制造和混合催化剂的详细方法等，可能被当成秘密武器。这就是为什么‘知道怎样’常常正象知道了有关的专利——如果不是在法律上的话就是在技术上——那么重要。”

最后，我极力主张你用哲学的思想研究工程科学。我希

望你们的工程学校考虑一下，也要为你们创造个良好环境而发挥作用。许多工程师（和其他人员）倾向于把“哲学”看成一种不着边际的东西，“在哲学上才用它”，“哲学方法连饼干都不能弄碎”。实际上，假若你回想得起的话，“哲学”一词最初在文字上的派生含义上有热爱知识和追求智慧的意思。

如果你和你的老师在关于知识这个问题上还没有这样的看法和热情，那么未来的工作对你来说将会是太费力了。振奋人心的挑战可能受到很小的挫折会变成创伤性的经验，这样，你就会退入平凡之中。

请记住，你若不划进小船的话，那就仅能发生两种情况：入干船坞和沉入海底。

祝你未来一切顺利。

谨启

M. A. 科勒