

问题：战斗机的发动机通过逆向工程不就能再制造出来了吗？

机械行业真的是一个非常奥妙的行业。

谢耳朵总是瞧不起霍华德，其实事实上霍华德的能力很不见得就比谢耳朵差。

系统级总工程师所需要的综合能力实际上要远远高于理论物理学家。

要害就在于误差。

加工一个零件，设计是 15.000mm 宽，其实不是。是 $15.000 \pm 0.008\text{mm}$ ，到底是多少，极难知道。因为你切割的端面根本不是平的，到底是多少，取决于你量哪里。

磨一个平面，在设计图上一平如镜，实际上也不是。打一束激光上去观察几米外的反射点，你会发现反射点偏离理想位置。那意味着这个面其实是坑坑洼洼的。你去商场可以观察一下，地面反射出来的灯光就常常是扭曲的。机械加工面幅度可能小，但本质上没什么区别。

钻一个深孔，笔笔直，实际上是微弯的，甚至是蛇形弯曲的。同心度并不够，如果你拿来做滑膛炮的炮膛的话，同心度不足意味着发射后炮弹对膛壁的摩擦不均匀，于是发热进一步的不均匀，不均匀的升温会进一步的加剧炮管扭曲，每一炮看慢动作炮管都要剧烈形变，并且迅速的被高温改变机械性能以至于不得不停止发射。

车一个圆，在最好的情况下也是一个实质的卵形，且实质上这最好的情况很少发生。

打一个轴心孔，不在正中心，就偏了那么微不足道的一点点，转子转动起来声音就不对。随后就会发现密闭不紧，功率不足。

拧上六个螺栓，紧固两块钢板。只因为你先拧紧了一个，再拧紧其它，钢板的应力就偏向一个角。稍遇震动，较紧的部位会最先金属疲劳，结构性撕裂。

你要把一根 6 米长，直径一米的轴装进一个内径一米的轴套，你要是横着往里插，你会发现轴是弯的，轴头垂着，轴套还是扁的——好像泡软的意大利空心面。

于是你只能把轴套和轴都立起来从上往下装。那要是你的厂房没这么大空高呢？你知道船用汽轮机主轴有多长吗？

然后是材料问题，无穷无尽的探伤、金相检验、性能测试。各种晶化、蠕变、疲劳、环境耐受问题。各种结构强度问题、抗拉性、高温性能迁移问题。各种导电问题、绝缘问题、压电效应、信号屏蔽、击穿、散热。防尘防水防酸防盐防高温防寒……一言难尽。

每一个环节都不理想，而且还会在工作中发生不同方向的偏移。这些误差之间的交互关系极其复杂，垂向有继承，横向有交联。不是一环扣一环，而是一环扣几环，几环扣几环。

工程师就是误差的巫师。控制得好，误差互相抵消，开动起来还有“磨合效应”——越跑越顺。甚至还有自维护性。

控制得不好，动都不动，硬动散架。

这些误差的处置和管理是一门极其复杂的艺术。误差在哪里，谁先谁后，谁在谁之上，对航空发动机这种复杂度的工业结晶而言，想要在没有主动传授的前提下纯靠测量和试错逆向破解，极其的困难。

如何准确的描述问题的复杂度呢？

我们打一个非常精准的比方——这在数学上非常类似基因组工程。

若干个基因共同决定生物的某一个性状，我们可以大概的知道某些基因与某些性状有关，但不知道具体是什么关联。而同一个基因还以不特定的形式参与到其它形状的表达中，具体机制也不清楚。改变一个基因位点，看似对整体性状有一个确切的结果——譬如会把黑皮肤变成白皮肤——但你如果再改动其它的位点，就有可能又突然把白皮肤变成黑皮肤而且生出一个大耳垂。再多动一个呢，生出来的大耳垂、黑皮肤、但却有先天性心脏病。如果你把后面几个基因都在这个状态下固定，然后你去修改最初的那个“白皮肤基因”呢，诶，肤色又没变。

将上述交缠扩大到几百基因规模。你就差不多明白航空发动机的误差工艺奥秘要破解起来是什么样的复杂度了。

(特别声明，以下内容是在 3.8K 赞数之后追加，不能认为赞同本答案的人一定赞同下面这一段话)

ok, 好像很多人对前面那一句“系统级工程师所需要的综合能力实际上要远远高于理论物理学家”反应很大, 那么我就掰开了说一下这个问题。

这涉及到认识论的本质——在理论物理(或者一切理论研究, 比如数学类研究)上的突破中, 能力和训练到底扮演什么样的角色?

究其本质, 人类只是“大脑信号处理机”。大脑中的念头本质上只是得到两阶段加工的随机放电现象。

首先不特定的因素促使你的大脑皮层放电, 这个信号则会被一些你无法直接控制的潜在机制——也就是潜意识——加工成一个“灵感”。

也就是到这里, 你才形成了一个“想法”。

到形成了有眉有眼的想法, 人的显式的思维过程才开始发生。到这里, 我们才开始有了“噢, 我来考虑一下这个可能性”的行为。从“我来考虑这个可能性”开始, 人的直接思考能力——也就是“聪明才智”, 才开始介入过程。

理论物理研究对这个过程高度的依赖。因为它是要在本来没任何人想到的地方趟出路来。因此这条路的第一推动一定是一种无迹可寻、无力可借的“天赐”。决定物理学家是否能抓住那一闪念的要素有两个, 第一是潜意识的过程能不能将那一次放电加工成一个灵感的蛋, 第二个是随后的显式的思维过程能不能顺利的将这个灵感的蛋孵化。

第一阶段是产生最初的闪念。如果最开始的闪念就没能加工成一个灵感, 那么也就根本不会启动思维过程, 自然也就没有下文了。

第二阶段, 是对闪念的初筛。如果闪念加工成了灵感, 却在脑子里稍微转了两下念头就发现了“难以解决的矛盾冲突”, 它就会被极其快速的放弃。这种被早期放弃的闪念, 甚至是不会留下什么明显的记忆的, 更加不必说被拿出来与人讨论以至于流入科学社区成为一个被广泛谈论的东西了。

只有连闯两关的优胜者, 才会进入第三阶段——引起思考者自己足够的重视, 被念念不忘, 不断的投入更多的思考资源。连这一关也闯过了, 它才会最后被投入学术声望资源进行发表, 被第二个人知道。——不只是投稿和公开发表, 实际上仅仅是与同僚进行口头讨论, 也已经是在拿自己的学术前途和名誉资本做赌注。

如果你仔细的查看这个过程, 你会发现人自己的聪明才智介入的时点是很晚的。上面谈到的第二阶段里, 人类做出最初判断所依赖的是一种直觉。这种直觉对待这些原始的灵感是什么态度呢? 很遗憾, 是“宁错杀, 勿放过”。道理非常简单——我们的智力资源极其有限, 如果这个初筛机制把每一个原始闪念都放行到显式思考阶段, 人将不会获得更高的思考效能, 而只会被无数的无意义的胡思乱想淹没。在客观第三者看来, 你的表现不是“充满智慧”, 而是如同精神病患者, 注意力涣散、逻辑混乱、思考缺少连贯性。恰恰是因为初筛机制的这种宁枉勿纵的特性, 才使得你能够对被它放行的灵感放心的投入资源。

那么高智能的人与普通人的差别在哪里? 在于长期的专注训练和积累使得他们的初筛机制对特定主题有更好的“直觉”, 潜意识运转时更不容易误判“有原则问题”, 因此能看到更多可能的潜在合理性。而一旦闯过这个潜意识判断的阶段, 那个灵感的雏形也很容易获得更多的资源成长为一种值得深究的假说。

但是——重点就在这个“但是”——但是最初的那个灵感本身是随机的, 是不受人控制的。

就如同人不能控制自己的梦境, 至关重要的、能启动这一切进城的第一推动——灵感——犹如风中的蒲公英种子。作为一块土壤, 你所能做的全部努力本质上不过是让自己的变得肥沃, 但无论你多么肥沃, 你的能力也只体现在一旦有种子落在你身上你能呵护它长大。

你不能命令风如何吹, 你对是否会有种子落在你身上没有决定权。

想清楚这一点, 投身于理论研究的人们才能摆脱一种致命的焦虑——研究没有结果, 思考没有突破, 并不是一个纯然的能力问题, 甚至可以说与你的能力并没有太大的关系。

所以你不要焦虑, 不要沮丧。你更首要的任务是决定你是否要在这样一种“自我肥沃, 长期等待”的游戏中坚持下去。

而越是理解“理论研究的关键并不在于能力, 而在于长期坚持的态度和上天的赐予”的人, 在心平气和、日拱一卒的等待游戏中才占据战略性的优势。而恰恰是因为他们能长期有效的坚持, 他们作为灵感的土壤才会真的不断更加的肥沃和有效, 以至于渐渐的充满生机, 万物生长——时常可以触类旁通, 跨越原有的专业界限, 无心插柳柳成荫。

简而言之——越是认定理论物理研究是靠能力，认为“出成果说明能力强，不出成果说明没能力”的人，越没有机会真的看到出成果的那一天。而恰恰越是做这一行的人，越不能将理论物理研究的关键定义为能力。越这样主张，自己的学术生命反而会越悲观——他们往往最早转行去投行。

将有建树的理论物理学家推上“绝顶聪明”宝座的观念，其实是一种大众流行文化，一种新时代表单方面的偶像崇拜。而且恰恰是这种偶像崇拜，扭曲了青年进入这个领域的动机和基本姿态。

其实很多年轻人的学术生命都不该那么早就夭折的。他们误以为没有成果是“自己不够聪明”，是“能力问题”。既然是“能力不足”，当然不如“及时止损”咯。

其实真正的问题是他们不够诚恳——理论物理研究更多的是一个“念念不忘，必有回响”的功夫，而不是什么“天才绝顶，一鸣惊人”的游戏。

是资质平平但因为念念不忘而走了运的诚恳者成功后被后人戴上了“天才”的皇冠，这才是理论物理研究的真相。要点在于智力正常而专注的念念不忘，不在于如何的“聪明”。

另一方面，单纯从智力挑战的艰难度而言，理论物理研究并不比复杂的工程问题挑战大。

首先，是问题的规模上复杂工程常常比理论问题规模更大。如果比较的是现代的尖端系统工程，那么可以说很多工程的问题规模都是超出单个人脑所能处理的规模上限的。系统工程师、总设计师们，除了要有一个极其宏观的认知能力、极强的思考力和判断力，还需要掌握极其完整的知识结构，完全不能自限于“自己的专业”。他必须还要是一个团队领导者和大师，有强烈的组织观念和协调能力。因为他必须要能成为多个子方向专业部门的可靠的桥梁，要为每一个子方向和子部门提供超出他们本地局限的上下文。传动不能这么做，可能是因为市场部门的局限，这个翼面布局不可行，不是因为空气动力学不可行，而是出于驾驶员的生理限制，这个结构不可用，不是因为它做不出来，而是因为考虑到行业的普遍水平，很难找到能做这种维护的维修工程师，强行做出来售后部门会爆炸。

第二个原因，是因为理论问题是公共问题，而工程问题却是一个私有问题。

理论问题之所以成其为问题，是建立在一种可以重复的、与时间和空间无关的普遍前提之上。所以是一种“公问题”。也因此理论研究者天生就有很多的可以相互沟通的同僚资源。

而工程问题之所以成其为问题，是建立在一个特定的特殊前提之上。是因为这条江、这座山、这种合金、这种工艺条件、这种市场态势、这种特定需求，才有了你这个工程问题。即使不考虑保密限制，能与你有效沟通的也只有与你分享同一工程前提的人。假如在另一个大洲有一座一模一样的山要挖这一模一样的一个隧道，那么你们彼此间才能享有理论物理学家那样的讨论条件。这种事情虽然不能说完全没有，但是即使有，又能有多少人呢？而这些人又为什么要无偿的向你分享他们的知识产权呢？在大多数时候，双方之间还是天然的敌我竞争关系，不但不能沟通，反而要绞尽脑汁的互相保密——设计歼 20 的设计师根本不可能指望 F22 或者 F35 的设计师给他任何指点。

本来问题就是在全世界范围内进行极限竞争，而能援助你的却只有极少的参与者。问题的难度和规模不在理论物理研究之下，但是学术条件却远比后者恶劣。那么当然可以说前者的综合能力要求要高于后者。

第三，总的来说，理论物理学家如果有所建树，往往比系统工程师享有卓越得多的名望。道理很简单——理论问题是一个普遍的问题，因此受益者也就是普遍的。而系统问题是“私问题”，哪怕是大到如三峡工程这种规模，它也仅仅只惠及到很少部分人的很少部分生活。因为在“可感知度”上的天然差异，导致了对理论物理学家并不对称的文化崇拜。这种崇拜其实与他们的能力并不对称，并不能因此推论出理论物理学家一定比系统工程师能力强。

题外话就说到这里。

下面的收藏夹最好看看：

科学答集

<https://zhihu.com/collection/304168613>

家族答集

<https://zhihu.com/collection/378738313>

评论区：

Q: 然而霍华德还是拆不下车轮

A: 那是编剧的锅。其实理论学者往往偏科，而架构级的工程师几乎没有不是万事通的。

不然分分钟被产品原型教做人。

B: 但我觉得就一把扳手的情况下拆不下卡死的螺丝是可能的

C: 除非是焊上的，我觉得后面用路标做动力臂应该可以下来了

D: 然后一下螺丝断了，霍华德还是背锅

A: 我有个螺栓，球头扳手的球头断在螺栓的六角槽里了。至今没有办法把球头挖出来。

E: 球头上钻孔，然后拧进个攻丝头（那种用于拆出断头螺栓的攻丝钻头，一般是反螺纹），然后往外拔。

A: 没办法，螺丝非常贵重。不敢破坏

F: E是说断丝取出器吧，丝扣是反的，打进要取出的断螺栓后，往松螺栓的方向拧，它就会越来越紧，不会松脱，而断螺栓就会松开。

工具材质是不是通常都比螺丝要硬一些，所以A怕在断的球头上钻眼，断球头受到的扭矩都由螺丝承受，而球头又比螺丝强度高，因此钻眼最终是损伤螺丝，这么理解对不对.....其实我只想知道是什么螺丝，这么贵重

A: 是一颗精密调节螺丝，用来精准固定一个滑块位置保证它不在剧烈震动下移位的。所以总是拧得很紧。它本身装在铝合金基底上哈哈，所以它自己的质地选材也很软。

G: 我也遇到几次内六角扳手断到螺丝里的情况，搞个强磁铁就吸出来了，要是螺丝直径够大，找个手艺好的电焊工，焊截细铁丝到断头上也搞的下来

A: 很难吸，我已经试过了。因为它之前上得实在太紧了，我怀疑球头已经与它发生了黏连。万能胶什么的完全不够力。强磁铁也不行

Q: 就剧论剧的话，霍华德从博的程度看比谢尔顿强得多，或者说我知道这个世界上真正存在着像谢尔顿这个水平的理论科学家，但是像霍华德这个几乎所有的应用类技术都能上手的工程师，除了爱迪生这类传说人物之外，想不到对标的。

A: 其实，是理论物理学家的成功主要靠运气，并不是靠能力。

工程学上，运气几乎没什么用。

B: 对理论物理学的认知仅限于这几个字怎么写的人也真敢说

A: 你不知道你在跟谁说话。

你的判断没有充分的依据。

C: (暂未发现相关评论)

A: 这是他的智慧。

这个我专门写一段说明一下吧。

认为理论研究靠能力是非常害人的，害了很多基础研究新兵，这个观念对基础研究并没有好处。

D: 靠运气不是靠能力这种话你都来了我真是服了，您眼中的理论物理学家是不是只有那一小撮正在最前面努力钻研量子物理相对论这种的物理学家？那我承认他们的突破确实靠天才，然后全世界每年那么多理论物理学的论文都是天才运气来的？那我寻思这运气天才也来的太容易了吧？我就想问世界上这么多精妙绝伦的实验有多少是理论物理学家设计的？你这种行为就好像当兵的觉得军师打架没他们厉害所以军师就是垃圾一样，特别好笑。

A: 你如果不是搞理论研究的无关人员，那就随便你怎么认为，无所谓。

你如果自己是搞理论研究的，你还这么想就是自我抑郁症。

Q: 而且发动机是个主要靠配合的东西，不是一堆紧固件生拉硬拽放一起做出来的

A: 如果我没记错，航发里有些部分在工作状态下是悬浮的。

Q: 嗯，空气轴承

Q: 作为一个搞航空工程的工程师，我很感动。留个标记，以便今后随时追更。顺便的，虽然我已经快40了，但依然觉得有必要称呼您为“先生”。不是恭维，达者为师，感谢您的文字

A: 中国的将来在你们身上

Q: 您关于材料和装配部分的描述太专业了，说实话我们这边很多刚毕业的硕士都不一定懂这么多，应该（或者曾经）也是相关方向有过很多工作的。平心而论，工程太难太苦，所以我虽然自己不算跑，但日常依旧劝退党……有些惭愧

A: 被劝就会退的，就该退。

劝了也不退的，才有资格做你的队友。

<https://www.zhihu.com/answer/1877070700> (#劝退#)

Q: 感觉这个机械系统设计的时候留的冗余度、富余量太少，一点误差可以扩散到全局？一般设计要求留足缓冲空间让误差不扩散，对吗？

A: 是的。一旦涉及流体状态就会很复杂。

要误差不扩散是很难的。体系复杂到一定程度，超出人的抽象思考能力极限了。

Q: 你说的流体包含潜水泵吗？我们产品的一个组件是潜水泵，用两到三年之后扬程变小，外表无漏水，厂家没给任何解释，到底是他们故意隐瞒，还是问题本来就很复杂？

A: 这一般是某些影响密封性的部位磨损了，密封性下降了。要换一些核心部件了。

好的设计会把易损件设计成耗材，给你很多备件。会把损耗都集中到一个部件上，这样维修压力会小很多。

不知道你的具体情况。这个问题要具体分析。诊断这个很复杂——比如，也可能是进水通道被水垢阻塞。

B: 飞机发动机叶片表面的加工误差对流动情况影响特别大，高马赫数时一丁点的凸起或凹陷都会形成湍流，湍流不断发展，情况好一些时只是效率降低，情况不好时直接喘振或失速，发动机失去工作能力

Q: 能不能设计成自磨合体系，像内燃机的活塞环和气缸壁这种，即使制造的有点不圆可以在运转初期磨合成圆？锯木头的电锯也是，80年代的新锯片一开始有毛刺不好用，先锯一段时间软木磨掉毛刺再锯硬木。

C: 答主是机械专业吗？我不清楚数学能对机械结构建模吗？

A: 建模当然可以，工程行业有大量的有限元分析工具。说白了就是搞物理仿真的。

事实上芯片设计所依赖的EDA工具就是干这个的。

仿真在目前还很难完全替代实物验证。并且，你怎么知道你仿的就是真呢？

Q: 说的通透，专家，赞！

A: 不是专家。只是有点肤浅的常识。

Q: 处理“复杂问题”的人也没资格轻视处理“简单问题”的理论物理，纯数学家。

这本身就不是能力上的问题。

A: 你错了。

理论问题不是在问题性质本身上面有多复杂，而是根本没材料，做不起实验。

现在的数据太残，得不出结论，或者可以支持的各种可能性太多，新提出无法验证的假设没有什么意义。

这不是人的智力可以解决的问题。没有足够数据，目前的理论物理研究前沿就已经是“莫须有”的纸上推演了，如果不得到充分的实验支持，在莫须有之上再建莫须有是没有意义的。

但是他们自己也清楚进一步的实验支持非几个超级大国支持是没有希望去尝试的，就算支持，那也首先是极端复杂的工程学问题。

绝非简单的“原则性可行”可以概括。

你看见问题的性质没有？能解决理论运算的理论物理学家有，甚至是大把。但是能解决实验工程学问题的工程学家，远非这些理论物理学家转职就可以办到。

能做这工程主管的总工程师当然透彻的理解理论物理学问题，理解前者仅仅是他资格的起步门槛而已。

孰高，孰低？

Q: 数学家们已经“莫须有”几百年了，并且还会继续“莫须有”下去。

然后我也不认为这些主管工程师理解理论物理学问题...

A:你是说对撞机的设计师其实不懂高能物理吗? ;目

Q: 不好意思, 我看成了泛指“主管工程师”...

做对撞机的设计师当然要懂高能物理, 但这也只能说明他:

1 很懂高能物理.

2 很懂大型工程设计;

同时满足条件 1, 2 的人当然比只满足条件 1 的人多, 条件 2 本身也比条件 1 更稀有没错, 但条件 2 对于工程师来说本来就比条件 1 对物理学家来说更苛刻。条件 1 大概是优秀高能物理博士毕业生的水平, 条件 2 远不是一个十年经验的工程师可以达到的。要类比的话, 条件 2 在物理学家里对应的也是少数能把理论留下来的那几个人。也就是说, 做对撞机的人理论物理足够好, 但比最好的理论学家肯定有差距。

比起这些, 我更想表达的是数学与理论物理有其本身的价值, 未必要拘泥于与现实的挂钩。

A: 对撞机项目的每一个子系统的设计师都需要懂高能物理。子系统的子系统都需要。

只是分解到零件这一级才不需要。这一级根本不需要知道自己做的东西到底做什么用。

另外, 让 sheldon 去做高铁, 做做就知道了。高铁不用高能物理, 但我打赌 sheldon 搞不定。

复杂工程问题真心的比理论探索和基础研究复杂, 需要的智力资源更多。

Q: 我也觉得 sheldon 搞不定。很多学高能物理, 纯数学的人觉得自己很聪明, 处理一些 "complex" 的问题很容易, 那显然是错误的。

其实我觉得根本是两个不同的方向, 对应不同的天赋, ”聪明“本来也不是一维的。

A: 理论问题都是提纯过的。提纯时把绝大多数的复杂性都去掉了。

在实验室里做出来跟在工厂里做出来在地面上立住, 完全是两个级别的概念。

Q: 你这个基因工程跟我改祖传代码一个样子

A: 代码攒到后来也是差不多哦。

Q: 问题的规模上复杂工程常常比理论问题规模更大。如果比较的是现代的尖端系统工程, 那么可以说很多工程的问题规模都是超出单个人脑所能处理的规模上限的。系统工程师、总设计师们, 除了要有一个极其宏观的认知能力、极强的思考力和判断力, 还需要掌握极其完整的知识结构, 完全不能自限于“自己的专业”。他必须还要是一个团队领导者和大师, 有强烈的组织观念和协调能力。

这段写得极好!

A: 实话实说

Q: 这不就是改 bug 嘛! 你改了这一行, 那另一行报错了, 你再去改那一行, 好几行都报错了。你把所有的报错都改完, 发现终于没有调试报错了, 系统崩溃了!

A: 关键程序有一个明确的执行流程, 状态也是自己定义的。

机械有它自己的主意。

Q: 哈哈, 我作为发动机总体, 认为最重要的是余量, 自己的产品几斤几两心里得有点 b 数

A: “总体”是什么

Q: 总体设计, 体制内的东西

Q: 所以就有了材料基因组工程, 有了数值模拟

A: 模拟仿真是一个非常了不起的东西

Q: 机械行业的加工工艺, 装配工艺细小差别, 直接影响机械性能。

A: 非常玄学

B: 我曾参与调试一个潜艇科研试验项目, 试验系统组装好后, 按照试验大纲做各种试验, 各种想的到想不到问题层出不穷, 只能现场摸索解决, 印象最深的是最后一个关键指标, 也是最决定性的指标, 噪声和震动, 怎么测都是超了 1 分贝, 那整个试验就不达标了, 现场好多专家, 博士都在分析解决, 就这一个问题, 从晚上 10 点熬到了凌晨 2 点多, 想了各种办法, 解决不了, 后来一个

安装工程师说，可能太紧了，把那几个安装螺栓稍微松一点试一试，诶，再一测就好了，刚好降了1点几分呗，达标了，太他妈玄乎了，玄学，很无语！在场各专家，博士都努力克制着一种难以宣泄的憋屈情绪，松了口气，解决了就好，解决了就好

Q: 长辈里面理论物理和工科背景的皆有之，确确实实是两个思维模式，就题中的描写的细致精准度，一看题主就是被三次元真实世界真真切切折腾过的_(:3」 ∠)_大佬大佬，膜拜之～

Q: 我能理解答主的回答。因为我干过两年的机械加工。就是用 6140 的车床加工挖掘机的液压伸缩臂都有 0.00mm 的公差。可以想像军品的精细了，键盘侠都可以滚了。没实际操作过的人没资格评论

Q: 复杂的就不说了，我拼个乐高机械组，拼好了都不能动……

A: 混用了国产组件？

B: 笑死

A: 这也不是吐槽。国产组建尺寸不准，结构复杂了就会有很强内部应力。有时候甚至一不小心会自己解体。

Q: 我觉得你没说点子，上正负三个缪的公差是可以保证的，最大的问题不在机械这，机械差点最多成品率低一点，成本高一点，还是能做出来的，最主要的是材料，就算你打色谱能测出来别人的材料组成，不知道材料加工工艺，做出来的效果还是差太远

B: 机械零部件的加工工艺、工序，各个工序间隔的时间，零部件安装顺序对产品性能都有有很大的影响。

A: 不是说材料不重要，这个举例举不完，只是没覆盖到这一块

Q: 我做个简单的翻译，理论物理学家属于那种看灵性不看学历的人，只不过学历越高知识越多灵性一闪而过的时候更有机会抓住。工程师就属于看学历和能力的人，把一项工程做好的极致。而且我认为学历不等于能力这句话是不对的，正确的说法应该是学历不等于灵性。因为学历高的人其专业能力和努力程度大多要强于学历稍低者，学历高者成功运气占比不大。而灵性不同，既取决于你的思维，又取决于你的环境，你哪怕不学习但你总要生活吧，每个人生活方式和环境都不同，这些都是不同的经验。总之来说，学历知识是你要去主动学的，但灵性每个人都会有，它取决于你的经验和运气，但你知识越高越容易抓住。（高学历人并不一定需要灵性，他们按他们所学知识去工作生活就可能已经强于别人了）点子，可不取决于你的学历哦，但至少需要基础知识。

A: 对。但是并不意味着你抓灵感的能力越强就一定有灵感可抓。

那要看老天爷是不是赏饭吃。

B: 而且还要活的到那一天，长期没有正向反馈，完完全全看不见希望，且手不能停，高度的抽象带来的就是难得有即时有效的反馈。基本理论里面，不抑郁都能归为心性异于常人了。但是确实实工程里面的拔尖的人的丰富程度，肯定远超一般。更不用提 jg 或者航天级，而且直面三次元的真实挑战。确实是两个思路。

Q: 关于灵感那一段，也许灵感随时都在，而把握灵感的能力大小不同，我的视角看你这一段描述时，感觉你认为灵感是很三三两两的，但如果灵感实际不是三三两两，而是一个水池，我们的能力大小只是决定舀水勺的漏洞大小，能力越强的漏洞小，成果也越多。

A: 灵感不是被动待舀的水池，而是需要上天赐予的东西。不是自己想就可以拿得到——能力再强也不行

Q: 无知者无畏

A: 是啊。

过个二十年再来吧。

Q: 国内的材料学不行！

A: 其实这是误解。国内材料学并不算差。如果仅以单国实力而言的话, 大概仅仅落后于美国, 恐怕都不在日本之后。

问题不在于中国的综合能力, 而在于在商业竞争之中在任何一项材料上只要有任何一个国家胜过你, 你来做这一项材料去投产就会在相当长的时间内处在亏本状态。

所以大量的中国材料学成果都没有被投入产业应用。没有产业反哺, 就会长期处在产量很低的实验室状态。

如果是谈论航空发动机的话, 就我所知, 目前瓶颈并不在材料学上。还是主要在工艺上。

Q: 最后更新的那段, 简直是醍醐灌顶! 以前模模糊糊的想法, 终于被你捅破窗户纸。

真的是年纪越大, 越感到复杂。

A: 谢谢赞赏

Q: 理论物理学家可以天马行空, 但是工程科学家是带着镣铐跳舞。

A: 八十斤的大枷

Q: 差不多。最近搞电池储能, 跟公司合作, 镣铐实在太沉, 成本, 大规模加工精度, 材料寿命三座大山压的死死的, 理论物理学家可能就搬山了, 我们只能在山路里慢慢摸索修路。

A: 坑还不止这些……分工不严谨、业务接口不规范、契约架构不完整, 意味着无数的坑。

这些压力最后都要工程师扛。没有一个肯买单的老板真的是很够呛。

Q: 我不是总工程师, 我就是单电池这个小系统的工程。没给咱开大 boss 钱, 操不了这么大的心, 哈哈。

A: 你还乐, 回头给你一个要飞上天的设计指标。最好不充电就续航一年, 而且抓把土捏一捏就能做好~

Q: 话说我今天早上开车来实验室的时候真的像理论物理学家一样开了这个脑洞。还真是巧啊。我设想是我有一个非常牛叉的催化剂可以电解或者光解水, 白天用太阳能不管是发电还是直接光解水, 产生的氢氧送进燃料电池里, 燃料电池的产物还是水, 收集起来循环用, 损失的部分可以通过收集空气中水蒸气弥补。白天可以存储多余的氢氧的燃料罐里, 晚上可以继续推动飞机继续飞。拿 UAV 就能改。我这玩意自带氢氧, 有氧化剂有还原剂, 可以飞到非常高, 加上燃料电池极其低的红外指征, 再给我涂个隐身涂料, 这就是廉价大气层内的海量卫星啊。这个世界简直对我们没有秘密。广告词我都想好了. Uncle Sam, we are watching you. 而且我惊喜的发现, 我这个脑洞没有违反物理定律啊, 现在万事俱备, 就等打钱了。撸起袖子的科学工程师已经在准备自己的扳手了。

A: 到“有这催化剂”这一步你已经把马斯克按到地板上摩擦了。

后面的不值得花你的脑力了; 目

这么牛的东西你就拿来飞无人机……

Q: 哈哈, 只是做 AIP 习惯了要秀一把军用。我后续脑洞就跟科学没啥关系了, 我还考虑了一下我这种第四次能源革命的东西会不会惹毛中东一夜破产的土豪来杀我, 到底多少个保镖够用, 可不可以找 Maggie Q 来做我的 detail director 之类的。

A: 所以你看, 我就啥也不说。其实, Q 才是杀手! 这样才有故事

Q: 你这个脑洞绝对违反基本的定律, 属于民科价格。Maggie Q 永远正义, 这是铁律, 你属于要发明永动机。

Q: 话说工程师们是很流皮, 但问题在于, 只要理论物理、数学停滞不前, 工程师们的流皮不管你多吊, 都有个上限, 到达这个上限的工程师们自己能突破么? 没错, 近些年来了理论成果变少, 尤其是没有重大突破, 大部分都在做一些缝缝补补的工作, 而且如今发展的理论, 可能得几百年验证, 甚至完全就是错的, 一坨垃圾。但, 一旦有所突破, 尤其是重大突破, 却可能改变你我乃至整个人类文明的发展, 决定了我们这个物种在茫茫宇宙中, 到底到底能生存、发展多久。如果把其比做游戏, 游戏最高等级是九十, 工程师们或许流皮到可以在九十级吊打一切, 但永远都是九十级, 而理论学者们, 却可能把等级推动到一百级, 从而把九十级的工程师们变成一百级。那么, 谁强谁弱呢?

A: 这个上限还差的远得很。现有的理论基础已经足够支持月球开发了。

Q: 差的远，也不影响理论带你工程师升级啊。或许理论数学出现一个大突破，能带动工程师们飞跃发展二十年呢，好让工程师们能把早几十年那群喊着要在本世纪殖民月球火星的那群人，带到上面种土豆。再说了，这还很远？随着理论发展近乎停滞，难道工程师们就没有感觉到发展受到阻碍？如果人类觉得当前理论上限已经很远，那仰望什么星空，心怀什么宇宙？造一个又一个望远镜就为过个眼瘾？

A: 很难很难。

理论要突破，可能需要科学哲学本身有突破。

B: 科学理论是人发明出来的，和工程师发明新事物本质上都是脑力创造的结果。一个学好理论人你给他 2019 年的时间他也不一定能成为顶尖的工程师，成为顶尖的工程师也是需要智商和运气的，例如氢弹的发明

A: 其实科学理论不是人发明出来的。这个是一个认知论问题。

B: 科学理论是发明还是发现，早就有人讨论过了，托马斯·库恩关于科学革命的一个著名论断是，科学理论是人类的智力发明而不是发现。

A: 他的理论不成立

B: 我的理解是科学理论是科学家对客观世界的认识总结，他需要科学家从已有的认知模型基础上搭建新的模型来解释一些现象，我是这么理解的。而这个搭建有点发明的味道。

A: 理论突破的最初驱动其实只是大脑皮层的随机放电。饱经训练、长期关切这些因素的贡献其实只是使得大脑的处理机制比较容易捕捉相关的放电，本身其实不是决定性的。

所以在已知理论的边疆之外“发现”、“发明”新疆域，是一种类似哥伦布探险的赌博。

更决定性的因素是运气。

Q: 除了公差（这还是各个环节中比较简单的一步），我觉得答主可以再分析分析：热处理、材料、表面处理、工艺编制等对逆向（shan）工程（zhai）的影响。

我觉得更多人对逆向工程的印象就是拿个卡尺量，上午量完下午出成品……但实际上其中复杂程度远不亚于理论物理——两眼一抹黑全靠碰的是常有的事。

A: 误差不只是指尺寸误差。成分误差、应力分布误差、密度分布误差……都在其列。

其实工程学最大的问题就是缺陷必然存在而且必然造成连锁问题。

Q: 请问现在 ws15 是什么水平，还落后很多吗？

A: 这个我了解的就不深了，得问专家了。

Q: 我很好奇答主是做什么工作的？

A: 同问

Q: 看得出来是个大牛

A: 半瓶水

Q: 我觉得貌似这个回答以及某些评论跑偏了。不说当今理论物理学情况，只说理论科学家和工程师之间，没有必要这么争论孰高孰低，只是工程师的话可以发现相对论吗，同样爱因斯坦也做不出航天发动机。我觉得开头的第一句话，才是答主想表达的吧。

A: 其实我没说孰高孰低，我是在说工程师并不见得比理论研究者笨一些，这个是偏见

Q: 这篇会让众多 wmg 有一种想死的冲动

A: warwick?

Q: 对不起，能控制梦境。14 岁无意间掌握的技能。

A: 如果是真的，这也不是能力，而更可能是问题

Q: 同感啊，工作和误差相关，天天接触误差，不接触这些的人觉得世上一切都在自己的掌控，接触误差发现，怎么啥都来影响结果。。。

A: 每天拿香拜瓦特

Q: 机械原理，机械设计，材料力学，理论力学，还有各种匪夷所思的方面。实践出真知啊，任重而道远而不挣钱

A: 很快会开始挣钱的

Q: 还会有自维护性?这么牛 x?

A: 比如渗铅青铜，一升温铅就会析出起到润滑作用。

又比如风扇叶，越转越紧。

Q: 看到你说数值误差的时候我就想起了那个太空马桶

A: 这什么梗

Q: 沃洛维茨不是设计了一个太空马桶，送上天之后发现有瑕疵会堵住屎么，我记得最清楚就是弹到天花板上那个派

A: 好吧，后几季我都没看，没时间了

Q: 基本认同。换句话说，系统工程师玩的是广度，是协调，理论玩的是深度，是钻研。不过我认为，就理论研究而言，还是存在智力差别问题的，天才的闪念特别多特别怪，更容易获取灵感，这种能力，后天培养效果微乎其微。

A: 这个问题就复杂了。其实搞理论研究最好学学音乐和美术之类的艺术科。

而且最好有些造诣，能沉浸进去。这个对于催生这些火花大有益处。

Q: 答主，你追加的回答，是什么知识框架下的内容？就是思维，念头，灵感...，这部分知识的认识你最初从哪里获知？盼复为谢

A: 这只是最基本的逻辑推论。事情只能是这样，无法是别样。因为如果是另一种方案，人类就完全不是这样了。

Q: 这只是最基本的逻辑推论。事情只能是这样，无法是别样。因为如果是另一种方案，人类就完全不是这样了。

A: 没关系，赞与不赞都行

Q: 我觉得你是学了生物改行的，但我没有证据

A: 我没有“行”，只是一个四不像的野人

Q: 现在在霍家吃着，眼里盯着谢家的，但是直觉这块真的很劝退...

A: 其实贸易战对工程人才是巨大利好

Q: 你才是知乎上的大牛，那些所谓的输出价值观的大 V 能有你万分之一水平知乎早就蜕变了

A: 这也太夸张了。没这么牛

Q: “巨烈形变”是什么我没听过的术语吗？

A: 输入法问题，改了

Q: 你这样叫随手答一下吗，你这根本就是科普。

A: 你看看科学答集里别的答案

Q: 谢耳朵看不起工程师和你看不起理论物理学家其实没什么区别

A: 谁会看不起爱因斯坦？

Q: 你对理论物理学家的的工作误解很深啊，难道做理论的都是是在冥想找灵感？其实更多的是大量的计算。而且误差分析在物理学尤其是实验物理学里面也是很重要的。

A: 这些话听得进去，救的是自己。

不多花力气说服人。

人各有命。

看完评论区里的回应。

理论圈是怎么表态的。

Q: 算是看完了，没看到理论圈怎么表态的，那我介绍一下吧，我们做物理的基本上每个实验室都有理论组，他们的工作就是为实验提供理论计算的数据，但是如果你说的理论物理学家只是指那些做唯象研究的粒子物理学家，那当我没说。

危言耸听可不是好习惯，尤其是你话没说清楚的情况下

A: 你就当是危言耸听吧。

Q: 其实没你说得那么复杂了，理论运用到实践时都会在理论值上加上或乘以一个很高的安全系数，就避开了那些误差损耗问题。在实践中经常运用的是经验公式而不是理论公式，就是这个道理。

A: 三避两避，耗油量飙升，航程只剩一半。

难在这里了

Q: 没有你说的这么邪乎，你所说的这些对于机械之外行业的人看来是莫大的难题，其实行业内都能找到解决方案，民用手机的振动马达，主轴公差是正负 4μ ，虽然我没有接触这么高大上的机械加工，但是外国人能量产的机械工件，我国也能加工出来，这是肯定的；而且第四代航空发动机，现世也有二十多年了，用如今的加工、测量、分析手段，再现 20 年前的工件，不是高不可攀的。

A:

说得轻巧啊。

光刻机呢

Q: 虽然片面 笔墨诚恳

A: 啥叫不片面？

Q: 有一个问题：这种不可控制的随机放电现象和聪明才智无关吗？一个傻子和一个科学家的这种放电现象作用范围是一样大的吗？一个傻子脑子里也产生过相对论的放电现象吗？答主说这个过程不可控，那么这种现象完全随机，大脑要放多少电，来让这么多人去根据自己潜意识产生合适的灵感？那么大脑得多大功率？得多少神经元去产生这种包容宇宙万物的随机放电现象？以机器学习角度看，这是多大的搜索空间？全靠随机不加聪明才智指引去缩小搜索空间，就能随便碰到真理吗？如何有效确定路径，聪明才智+聪明才智影响很大的随机现象才能去做高深理论吗？

A: 种子没区别，土壤不一样

更新于 2022/12/24