

结构工程师对计算机的滥用——一个明显存在的危险

Leroy Z. Emkin 博士

计算机辅助结构工程中心奠基人、董事

乔治亚理工学院土木与环境工程学院教授

亚特兰大，美国乔治亚州 30332-0355

(Tel: +1-404-8942260, FAX: +1-404-8948014)



(E-Mail: leroy.emkin@ce.gatech.edu)

翻译：北京大学力学系陈璞副教授

摘要

公众的安全日益受到滥用计算机的威胁，但只有极少的人愿意，而且也只有极少的人有能力来改变这种现状。在这种情况下，有责任感的工程师必须勇敢地站出来。结构工程师们定会严肃的对这种不负责任及无能的做法进行反击，必须认真地反思，必须创造出免受所谓“计算机是一种知识的源泉，计算机是解决工程问题的源泉，计算机具有令人信赖的‘人工智能’”这些迷信影响的办法。这些迷信都大大背离了事实。一句话，世界上没有什么能比真理走得更远。人们不能简单地信赖计算机。

有些人自称是结构工程师，但他们把计算机作为知识，经验，思维的替代品，而把自己对结构工程的无知隐藏在计算机的黑匣子里。有责任感的工程师必须保护公众免受这些人滥用计算机所带来后果的影响。

绪言

有一种类似童话般的浮夸，即所谓的电子信息革命是处理结构工程信息的灵丹妙药。这种浮夸让那些受尊敬的结构工程计算机专家，计算机科学家，管

理权威，结构工程服务的用户，以及受计算机导向的政客们沉醉和痴迷。甚至有些人格高尚的专业人士宣称：在解决结构工程问题的细节计算中，比起用高水平工程师来密切和集中地参与计算，人与电子技术的相互作用显得更可靠和更有效。这种说法实在是过于简单，太不负责任，也有极大的破坏性和反生产性。高质量的结构工程只能运用知识，智慧，激情和创造性，并用有大量实践设计经验的结构工程师来完成，而不是靠一边看着计算机操作说明，一边击打键盘和移动鼠标的计算机技术员来完成。

一个明显存在的危险

纵观当今世界，在从事实际工作的结构工程师中，有一种非常令人不安的观点正在逐渐蔓延，那就是把计算机看成是知识，经验和思维的替代品。这些工程师似乎相信计算机能使他们对工程作出正确的判断，而根本不管，在没有计算机的时代，做这样的工作需要什么必要的知识和经验。现在，有一些工程师认为：他们解决工程问题的专业知识也就是使用计算机以及了解计算机的专业知识。这样的工程师越来越多。在结构工程中，把会使用计算机当成能胜任工作的证明，这种观点正象传染病一样蔓延。大量的结构工程师确实相信，他们仅仅依靠计算机就可以“解决”工程问题，而没有认识到高质量的工程只能是渊博的工程理论，大量经验以及艰辛脑力劳动相结合的产物。

问题在于我们以削弱实际知识为代价而过于强调自动化技术，这种过分的强调变成了不学习实际知识的借口。就教育和实践两方面来说，对计算机如此过分地强调给朝气蓬勃的年轻工程师一个错误的信息，那就是：工程学习和工程实践就是轻松地使用菜单和用计算机生成五颜六色的画面。

在工程设计环境中利用信息自动化工艺有很严重的负面影响，这样，信息自动化工艺就变成了一门能轻易诱使大脑相信其虚幻的安全性，知识性和能力的工艺。在这些自动化工艺对设计工程师真正有用之前，工程师必须不用计算机，而用学识和经验去解决工程问题。不幸的是，我们变得太依赖计算机，以至于结构工程师们不依赖计算机进行任何计算工作的技能正在迅速失去。

与某些只有依赖计算机才能“解决”工程问题的人讨论问题时，一个称职的结构工程师什么样的痛苦和挫折没有经历过？这些人（不要跟真正的工程师混淆）已不再或者从来没有学习过不依赖计算机解决工程问题。他们根本不懂得，计算机不能记录下一些与模型、分析和设计相关的技巧。他们应记住这样的观点：**除了快捷的计算速度，计算机程序只是一些分散的知识。**这些人似乎没有认识到，知识已经远远超过了有限的计算机指令所能编程的界限。他们似乎没有想到，真正的工程知识是经验，直觉，灵感，领悟力，创造力，想象力，以及比计算机程序和程序员所“理解”的工程含义更深的一个大系统。相反，他们认定世界是一个巨大的有限元模型，而计算机能够并且也应该自动建模，分析，设计，打印出最后结果。而“工程师”仅仅应该区分规格和需求，给顾客开发票，计算利润，还应该快速开发新项目。

今后，越来越少的工程师能独立地（即不依赖计算机）正确解决结构工程问题，这种对计算机的依赖性将会带来巨大的问题。随着对计算机的依赖不断增加，谁将来解决工程问题？是那些没有或只有很少结构工程知识和实践经验，或是有其他专业学位而不是结构工程学位的程序员来做？计算机不是，也永远不会是解决工程问题的源泉。只有合格的工程师才能正确地解决工程问题。如果结构工程师们继续制造这样的氛围，认为在结构工程实践中，靠计算机，而不是靠有学识、有创新和丰富经验的结构工程师本身，就能够解决结构工程问题，那他们就是自欺欺人，也欺骗了他们的服务对象。

如果假设计算机被严格限制使用（通过立法上适当的民事和刑事的惩罚），只能由那些在工程计算的理论和细节上能胜任并有经验的人使用，人们就会常常惊奇地听到来自各位能轻易按计算机键的人，对限制使用计算机做出的荒谬反映。这种防御性和荒谬反映的最好诠释出自最近的一所著名工业大学的一个航空工程教授的例子。

“你的观点容易接受。但是为什么只停留于此呢？让计算者也失去法律保护吧。我们大家都知道：所有工程师在被称为工程师前都能在头脑中进行加，减，乘法和大数字的开方运算。那样的话，我们最好把书本也抛掉，因为它们也会减损人们的相互作用和面对面地探讨。最好让我们都围着桌子坐下来，靠相互交谈来探讨怎样分析分子，原子，靠双手做出解决的方法。”

然而，事实上，计算机与计算器，与书本，与其他非程序化的装置有很大区别，也就是说，没有人能够想象或预料，在计算机出现之前，工程师一直在做由书本和计算器执行的复杂计算并得出结果。不幸的是，自从计算机的引入，特别是广泛使用 PC 机，如今的工程师不仅能想象，而且他们绝对希望和要求计算机来执行所有的这些过程。

工程学今天的现实是：结构工程师找到了为顾客服务既非常有效又方便的方法，它不需要花费大量的精力去学习或理解结构工程模式，分析，设计的复杂细节。而“通道”就是计算机。工程师现在的行为方式符合宇宙的自然规律，即用最低的能量消耗前进。越来越多的结构工程师现在对自动化技术的回报就是让计算机工作，而他们自己解除了操心细节的责任。

一个同样无理的大学教授做了这样的评论：“我猜想一个真正的工程不需要有限元程序，扩展程序，CAD 软件以及其他应用软件。当然，这个工程师也永远找不到工作，所以我认为这没关系。”

这个教授快接近真相了。真正的结构工程师并不需要应用软件。相反，真正的结构工程师能做出复杂结构系统的简化模式，并在此基础上执行相应的分析，做出设计。人们对这些简化模式的安全性，节省和实用性相当信任。任何没有计算机就不能完成这些的结构工程师都不是真正的结构工程师。必须禁止他们用计算机进行工程分析和设计。虽然计算机在真正的结构工程师手中是相当有用的工具，但是在缺乏计算机就不能解决问题的人手中，它们比大规模的破坏性武器更危险。最近，日本神户地震造成的死亡和破坏，是对此最好的说明。与那些将来会发生的潜在灾难相比，这些整体建筑物的部分倒塌不算什么。那些潜在的灾难将由不合格的工程引发，而这些不合格的工程又是那些只有尽可能借助计算机才能完成程序结构模式，分析和设计的工程师做出的。

依靠计算机的工程学并不能给人们提供有关现代工程学中复杂理论细节方面有价值的学习经验。靠现代计算机运算的范围和速度，太容易使工程学变得死沉。有谁能抵抗这样激动和解脱的感觉——不用人们太多的辛苦劳动就能解开成千上万个方程式？又有谁能抵抗那些用自动化技术来取代自己在“解决”工程问题中所负责任的事情？只有不用计算机工作的真正的结构工程师能有这样的抵抗力。这些真正的工程师看到了计算机的实质，它仅仅是能进行大

量信息排列运算的很不完善的工具，这些运算是以光速进行的，是根据大多没有经验的程序员靠大量猜测定义下的程序规则执行的。在光速运行中，受动力负荷的影响，无弹性次序会变形，不正确的结果能在屏幕上带着彩色分界线以最赏心悦目的形式展示。如此这般，人们用计算机得到这样的结果，只需看计算机程序的使用说明，或更方便，只需有一本简易使用手册选择合适的菜单就行了。事实上，这些人如果是“坐下来靠互相交谈来研究怎样分析简单的原子，分子，并徒手做出相应的结果”，这样会很有利

已经有人推测，以上评论只能证明这个作者一定是计算机的根本反对者，或是他并没有意识到现代计算机信息工业潜在的美好未来，也许是他对那些用神奇的创意利用这种工业的专家不屑一顾。然而，并不仅仅是这样。即使认识到计算机的潜力，工程师也不能不看到危险。结构工程是对安全性吹毛求疵的职业。世界上物体整体各部分的完整性是由结构工程设计的质量决定的。在实际操作中，产生了越来越多的结构工程师，他们已经建立了以大量想象力为基础的系统，并对计算机给他们带来东西产生了难以置信的也是有害的期盼。随着这一趋势的延续，工程失败的威胁也会成倍增长。

一个简单的例子就是世界各地多数的工程公司对 CAE/CAD 软件都有越来越多的需求和期盼，希望它能把结构工程设计程序完全自动化。现在，越来越多的结构工程师希望他们只在解决问题时区分规格和情况，而 CAE/CAD 计算机程序能自动生成必须的数理模型，能完成复杂而重复的分析和设计程序，然后，经过结果设计到能产生建造和施工制图功能的草案。在这种环境中，结构工程师唯一的责任就是明确所要解决的问题，然后评价最后的设计“结果”。这些注定是个大灾难。然而，大量的软件开发商为满足市场的需求，不断开发和传递被注明有如此这些用处的软件，于是，不那么称职的工程师就接受了市场的兜售：即他们确实相信这种软件用很少的人力投入就能做出工程。

软件开发商经常收到这样的要求，提高结构工程的分析和设计软件水平，使软件使用者不需要了解许多技术知识细节就使用。例如，软件使用者要求开发者能创制出不用阅读使用手册的环境。因为，高质量的结构工程软件包括使用者参考手册，其中又有多卷页的关于软件的内容细节，限制范围，以及它计算所依据的理论和假设。结构工程师是不愿意使用这样的软件的。现在的现实

是，许多结构工程师不想受细节的困扰。他们希望又愿意支付的是一种窗口界面，这种界面能让他们把信息进行排列，然后把结果以彩色图表形式展示，要尽可能生动，要把众多信息用漂亮的图表形式打印出来。对于是否能查明复制结果的正确性；在获得系列分析结果时是否用了充分的模型；用来代表行为非线性元素的理论是否正确；或者是对几何学的有限元组织和软件中元素公式的组合形式这些的分析结果是否敏锐；或者这种理论对部分分析结果的瞬间稳定性是否确切，等等方面的考虑是很少的。如此这些，都是当今工程师如何使用计算机的表现。

越来越多的这些工程师的这种态度是因为他们仅仅是没有时间，或是不愿付出，或是不关心那些细节。但是，靠计算机，他们确实相信他们能达到顾客对他们的设计要求。为什么不会有这种简单化的想法???/!!!每次当你输入数据，按键，就能得到结果。而且，几乎没有有人力消耗。

当然，计算机技术本身并不是天生就坏。然而，那种结构工程计算中的计算机使用方法，以及不断增加的对计算机滥用的趋势，是个问题。在高级工程师和工程管理者中，强调知识，专业技能，以及工程实践经验的重要性，而非计算机使用者的“性别”，这是一个重要得道德责任问题。在结构工程实践中，了解设计“为什么”是关键，而不是仅仅知道“怎样”使用计算机。专业的结构工程师必须重视手工操作的原理，基础和模型技术，强调怎样认识计算中的错误，重视解决结构工程问题时选择的方法，强调计算结果的有效性，对计算机又敬又畏，强调对计算结果持有怀疑，强调珍重工程实践中的经验，重视通过做工程来学习工程学的需求，（而不是通过“世界的有限元分析”，或是靠过于简化现实去适应那些不合格的结构工程软件的限制条件），强调从那些更高级更有经验的结构工程师那里学习结构工程学的重要性，（也就是那些，数量越来越少，但仍记得不靠计算机，怎样解决工程问题的真正的工程师）。只要通过训练专业工程师，而不是通过训练工程技术人员（即计算机操作员），结构工程专业将完全能担负起它所服务的大众所需的责任和义务。

为什么对计算机的不当使用不该担心呢？纵观整个过程，工程专业对待计算机的态度正暗藏着危险，难道对这些还存在疑问吗？虽然计算机对人类有

很大得潜力，但如果结构工程师继续按照当前这样破坏性的趋势使用计算机，那么这些潜力就得不到实现。

做什么才能使结构工程专业改变当前的这种过分依赖计算机，大量滥用计算机的趋势？这些没有现成的答案。然而，所有称职的，经验丰富的高级工程师都有机会去影响年轻的后辈，告诫他们明白这些道理：计算机的危害；一个真正的工程师绝对需要的不用计算机解决工程问题的能力；对计算机常有的怀疑；没有广泛的论证从不使用计算机的结果；在被工程证实是正确之前，对计算机提供的结果总怀疑它是错误的；“了解”答案，仅仅用计算机对结果做细微调整；看低计算机，而崇尚知识和经验；提倡全面了解工程理论和实践中的所有细节；避免为那些只了解用计算机，而不了解用受过训练的经验丰富的优秀工程师来完成工程的客户服务。

计算机不可能，而且永远不可能被接受，作为人类知识，经验，远见，灵感，创造力，独立思维以及具有古老优良传统的辛苦工作的替代品。虽然在结构工程实践中，计算机是非常有用的工具，但是，结构工程师必须认识到对工程学的细节（即，原理，方法，标准，道德等等）的全面了解，比懂得怎样在计算机屏幕上游逛重要的多。更重要的是，警告操作工程师，如果他们对结构工程学不用计算机就能完成工程，这一点没有足够的理解，那他们就没有资格使用计算机。（如若不然，那不仅是不道德，而且是犯罪）。

因为所有称职的，经验丰富的工程师都意识到，并不是优秀的计算机程序造就出称职的结构工程师，而只有称职的工程师才能使用优秀的计算机程序。虽然这似乎自身就表现明显，可悲的是，它并不是今天计算机怎样使用的现实。因此我们需要暴露出这些危险，并实现和完善保护措施。当然，虽然计算机技术并不是天生就坏，但是，从结构工程问题中用计算机计算的精确结果的角度来衡量时，计算技术存在的很多基本因素就会使它成为极度危险的技术。尤其是，众所周知，对任何合理的复杂工程计算程序来说，拥有当今速度最快的商业计算机硬件，拥有大量通过计算程序的可能排列组合路径，也不可能确定通过计算程序的所有信息操作路径的准确度。所以，不可能百分之百肯定地说，任何特殊的程序不会有严重的错误。实际上，百分之百肯定地说：所有结构工

程计算程序都有一个或多个严重错误，更可能有大量严重错误，这样说更现实。换句话说，在某种程度上，任何工程计算程序中这类软件的质量和可靠性更值得关注。

不幸得是，计算机领域的现实是，所有（无一例外）商业应用的计算机和计算机软件都受制于许多因素，在解决结构工程问题中，做出正确的解答时，它们的能力都会受到不同程度的影响。更值得注意得是，当不正确的结果产生时，它们通常不会显示出很大“错误”以至于被立即发现是错误。更进一步说，有时结果是相当错误的，但是，如果工程师对应当是“正确”的结果没有意识（无论是因为无知还是缺乏经验），也就不可能意识到错误。计算机的危险在于，很多工程师总是确信（并且几乎所有的工程师确实希望）计算机总是产生“正确”的结论。这种确定和希望常常会降低工程师对错误的警惕和敏感，而这些潜在的和经常性的错误是由计算机产生的！

虽然对软件的质量和可靠性存在严重的忧虑，但你会吃惊地发现很多结构工程师对这些忧虑表现得多么天真，无知和不负责任。这些天真，无知和不负责任在许多结构工程师购买和使用软件时表现得显而易见。例如，它表现在过去选择结构工程软件的最基本判断标准包括：软件广告出现的频率；肆意宣扬超凡技术能力的印刷精美的大幅广告；低成本；便于使用引人注目的可视性窗口菜单和生动的界面形式；便于使用的简化结构系统的自动化模型；无论如何只需很少或根本不用学习；简化的使用说明（例如：一二小册的使用说明被认为是好的，而九，十大册的使用说明就被认为很差！）；彩色包装的软件媒体。而这些选择判断标准却少有：诸如，对软件开发者和其技术支持者的技术资格证明的要求；对保证软件质量的要求；对软件开发者的质量保证（QA），质量控制（QC）和实用程序的核查；对软件开发者的QA/QC程序手册严格地评价；对软件中声称有用的技术因素的理论依据做严格地评价；对测验结果的基本依据和一般根据做严格评价并与其他独立解决方案进行比较，对证实工程软件质量有规律和持续地顺应一个或多个通行的国际标准做严格评价，而这些标准是成熟的，是通过专业技术核查员和经验丰富的专业结构工程师一系列独立和规范性核查证实的。

在软件的实际应用方面，是那些只有极少经验，极少学识，最年轻的结构工程师靠基本的责任感，依靠计算机软件来解决极度复杂的结构分析和设计问题。而那些经验丰富的高级工程师正忙于自己公司的经营和管理。经常有这样的情形：使用计算机的缺乏经验的年轻工程师在机械结构的原理和数字设计预备基础方面的知识很有限。这些工程师最困难在于：判断计算机本身固有程序的计算函数的假设和过程；对计算机操作所做结果的质量和是否切题的最后判断。更不愿意对计算机做出的所有结果有疑问，也不愿证实所有结论与那些独立创造的解决方法是相对立，那缺乏经验的工程师经常由于受到挫折或缺乏常识，宁愿相信，无论计算机程序产生的任何结果都是正确的。令人难堪的是，结构工程师有意识或下意识把自己的无知藏进计算机的黑匣子里，这种情形你时常会轻易看到。

对滥用的一剂良药：解决问题的开始。

虽然，解决计算机滥用这样严重的问题并不容易，但通过严格要求所有的结构工程师在如下按规律设定的基础下经过训练和反复训练，就有可能解决问题。

1. 理解数学，科学，机械，材料行为，系统行为，模型技术，分析方法，设计过程和规范，错误评估，风险分析，道德规范和合理的工程操作的基础理论。

2. 了解成为工程师的绝对要求——不靠计算机。

3. 总是对计算机存疑，没有经过大量证实永不使用计算机的结论，在工程师证明计算机认识到计算机的巨大危害。

4. 显示的结论正确之前，总是确信它是错误的。

5. 对答案已经了然，仅仅用计算机对答案做细微调整。

6. 看低计算机，而推崇知识，经验，推崇对工程系统行为细节，模型，理论，实践全面的了解。

7. 避免从那些只能给学生提供学习计算机机会，而不是由具有丰富实际经验，丰富的工程知识的教育者来对学生进行工程学基本原理的内在指导的工程小组那里接受教育。

8. 避免为那些只愿意通过计算机来学习而不愿从经验丰富，学识渊博的工程师那里接受教育的雇主工作。

9. 认识到缺乏经验的工程师在用计算机作为工程模型，分析和设计的工具之前，必须不靠计算机的帮助来提高专业技能。

10. 认识到只有经验和学识都非常丰富的工程师才有资格把计算机作为一种工程模型，分析和设计的工具。

11. 认识到“只有”工程师才能解决工程问题，而计算机却不能。

减低对计算机相关质量的需求

滥用计算机的清楚又现实的危险是，它会引起结构工程质量的严重下降和增加对公众安全的威胁。在实践操作中要求用计算机作为结构分析、设计的自动化工具时，要特别小心谨慎。同时要求经常关心与普通民用工程师和特别结构工程师有关的，计算机使用方面相关的专业工程的社会和政府规范。因此，为了确保结构工程师尽可能减少使用计算机的环境，必须严格做到：

1. 如果计算机软件卖方没有适当的资格证书和证明文件，不能考虑购买这种软件产品。

2. 除非具备被工业接受的工程软件的 QA 和 QC 标准的完整和合格的证明，否则计算机软件产品不能用于结构工程计算。

3. 对应用的软件的精确性和实际结果的检验，以及在用时间测验和传统的方式检查计算机硬件时，结构工程师必须同样高度地仔细和小心。（即对每一个细节，数据的真实，推理过程和计算都必须检查又检查，才能使用）。

4. 在使用计算机时，结构工程师必须调动他（她）的最佳判断和全部的学识、经验。任何人，如果没有丰富的结构工程知识；没有能证明他具有结构工程设计方面丰富的、合格的经验；没有合格的、经验丰富知识渊博、有责任心的结构工程人员仔细的全面监督，、他就不允许使用计算机软件。换句话说，好的

计算机程序并不能创造出优秀的工程师，只有优秀的工程师才能使用好的程序。

5. 当计算机卷入时，工程管理部门必须比以往任何时候更加关心结构工程计算的质量问题。工程管理人员必须对结构工程设计和产生结果的过程，设定实例和提供有目的、综合性训练项目。那些管理者们想用工程质量来换取通过使用计算机而确保增长的产品和利润，这真是自欺欺人，也欺骗他们的公司和顾客。为了获得计算机带来的利益，既要有较多的承诺又要有时间和财力的投入。获得成功和收获是没有捷径可走。

6. 工程教育协会必须认识到：在他们设定的课程里，迫切需要加入这些项目：计算机环境怎样影响工程责任，工程计算的质量，确保软件质量的程序以及对工程计算课程的限制。

7. 工程专业学会必须建立和不畏困难地提倡结构工程师适当使用计算机的指导原则。滥用计算机造成的结构工程质量的严重下滑和不断增加的对公共安全的威胁，这已经是清楚又迫切的危害。

8. 负责一般公共安全的政府职能部门必须制订规则（和适当的惩罚），以保护公众免受结构工程分析和设计过程中，不当使用计算机带来的危害

致谢

本论文最初发表在第一届结构工程世界大会的会刊上，美国加州旧金山 1998 年 7 月 19-23 日，由 Elsevier 科学有限公司出版。ISBN: 0080428457.

作为重点演讲论文，本论文在第一届土木工程新信息技术全球会议的会刊上再次发表，加拿大蒙特利尔 1998 年 10 月 11-13 日，由 Elsevier 科学有限公司授权。

作为重点演讲论文，本论文在由美国计算工程协会主办的工程计算机应用全球研讨会上发表，巴西里约热内卢 1998 年 11 月 9-10 日，由 Elsevier 科学有限公司授权。