

一朝相遇，受益终生

高志强 美国克利夫兰州立大学电机及计算机科学系



图1 <https://www.ssi-sensors.com/perch/resources/productImages/feature-hvac.jpg>

我来美读博、任教第10个年头的时候，生活和事业渐渐稳定。就是控制这个专业让我有点儿迷惘，有点儿找不着北。于是我决定到周边的企业转转，看看人家在做什么，接接地气。

克利夫兰是个工业城市，不缺工厂；工厂也不缺问题，缺的是懂行的，特别是懂控制的。工程师们大多是一天到晚忙着调PID参数，没有时间深究。称得上懂行的还真不多。典型的知其然，不知其所以然。

那学者们呢？就是那些著书立说的学者们，他们懂吗？他们要是真懂，真能搞出点能够指导实践的理论，工程师还用这么辛苦地、几十年如一日地调参数吗？

那到底谁懂呀？想来想去，还真想起

一个人来, Charles E. Rohrs, 他懂!

说来话长。我1985年留美, 是Rohrs教授给我上的第一堂课, 讲的是古典控制论。他的纽约口音重, 我英文水平有限, 里外里能听懂50%就不错了。不过这就够了, 够我莫名其妙地走到控制这个独木桥上。

给我们上课时Rohrs用的是讲义, 相应的教科书1993年才出版, 前言是这么开始的……

I took my first course in Control Theory from the classical text on which this book is based. I learned the basic techniques of both modern and classical control theory. When I finished the book I could design a controller which would meet a set of specifications in both the time domain and frequency domain. However, I was left with a nagging question. “Why don’t we make it better and faster?” I didn’t understand what stopped me from making a system respond arbitrarily fast. In graduate school I learned that, for many plants, the most important factor that limits a control system’s speed and performance is the inability of the linear time invariant model of the plant to accurately predict how a plant behaves.

大致的意思是“我初学控制理论的时候就有个挥之不去的问题: 为什么我们不能做得更好更快? 我不明白什么会阻止我把系统做得任意快……后来读研时才发现, 原来问题出在模型……”

天呀, 一个本科生居然看出了教科书的破绽, 还说得让人心服口服: 1) 根据你的理论我能设计出无穷快的控制系统; 2) 这在工程实践中是不可能的; 3) 因此你的理论一定有漏洞!

Rohrs的质疑让我耳目一新: 原来书还可以这样读! 我后来有幸修了他开的自适应控制, 并且帮他带本科控制实验课、审稿。我审的第一篇稿就是他给我的, 开始读的时候有如天书, 一周以后才有点明白人家说什么呢, 又感觉有什么地方不对却一下说不出来所以然。经过反复思考, 最后发现问题出在深藏在里面的一个隐性前提。

Rohrs对我的意见比较欣赏, 当面没说什么, 背后净说好话。闹得我们办公室的同学Victor直问我怎么回事。不知道有没有关系, 那年的毕业班把我选为优秀教学助理。我毕业时, Rohrs给我写

了一封非常给力的推荐信, 使我顺利找到现在这份教职。

听Rohrs授课是一种享受, 让我感到一种带有诗意的美: 数学的抽象揭示工程的实质, 浑然一体, 无缝结合。记得他留了一个回路整形法的大作业让我做得流连忘返。等我和来自澳门的邓雪梅同胞一起完成了任务, 他的批语是: “This is exactly what I wanted.” 就这样, 我进入了控制领域。

上Rohrs的课并不轻松, 我特别怕他布置口头作业, 听不懂干着急。一次期中考试卷子回来上面画了个大叉子, 吓了我一跳。仔细一看边上却写着Great idea!两个字。原来是一道题我忘了公式, 没法按他的方法做, 急中生智换了个招。他冷眼一看觉得是错的, 仔细一看有道理, 所以是先否定后肯定。老师一个不经意的鼓励可以影响学生的一生。

记得他的期末考试也别具一格。一上来就说大家不要紧张, 把这次期末考试当做学习的过程。然后他从一个实际问题出发, 一连串的发

问，把问题的解决和课程的主线牢牢地联系起来，从头到尾一气呵成。于是考试变成了一个融会贯通的经历，让人回味无穷。

Rohrs 1976年圣母大学电机系本科毕业，1982年麻省理工博士毕业，师从Michael Athans。他毕业后回到母校圣母大学任教，让我赶上了。他的博士论文闻名于世，其实一点儿都不奇怪。看出了古典控制论破绽的他，百思不解就去读博；读博的他又在一篇文章中把自适应控制理论的漏洞给捅了出来：

IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL. AC-30, NO. 9, SEPTEMBER 1985
**Robustness of Continuous-Time Adaptive Control
 Algorithms in the Presence of Unmodeled Dynamics**
CHARLES E. ROHRS, LENA VALAVANI, MICHAEL
 ATHANS, AND GUNTER STEIN

Rohrs做这个工作的时候还只是个博士生，却敢挑战自适应控制的宗师级人物Karl Astrom，指出自适应控制理论的漏洞。他的这篇文章以理服人，先从工程现实入手建立共识：物理系统的动态是不确定的，模型不可能完全准确；理论推导出来的算法应该实用。后面的事儿就简单了：用反例指出，自适应控制理论的前提和算法与现实不符，从而做出如下结论：

Hence, it is concluded that existing adaptive control algorithms as they are presented in the literature referenced in this paper, cannot be used with confidence in practical designs where the plant contains unmodeled dynamics because instability is likely to result. Further understanding is

不寻常的是Rohrs这篇文章后边还附着Astrom的评语：查理，好样的，有种！舍得一身剐敢把皇帝拉下马，我长知识了：

In closing I would like to thank you, Charles, for sticking your neck out as a young Ph.D. and challenging “the adaptive establishment.” I have personally enjoyed our discussions. I have learned a lot from them and from trying to understand what happens in your simulations.

其实钱学森先生早在1954年就在《工程控制论》（见图2）第15章里反复强调：工程控制的设计不能基于模型。这本书在Astrom和Kumar 2014年Automatica上发表的综述文章里得到高度评价，说它预见到了控制理论1954年后的发展：

“An engineering view of cybernetics was however given in Tsien's book Engineering Cybernetics (Tsien,1954), which anticipated much of the development of control after 1954.”

Astrom 2012年在美国控制会议上做大会报告的时候还曾说，他对自适应控制在工业应用上的进展表示失望，建议大家多多关注理论的基础，并指出基础不牢固的理论有坍塌的危险。话说回来，我听老生

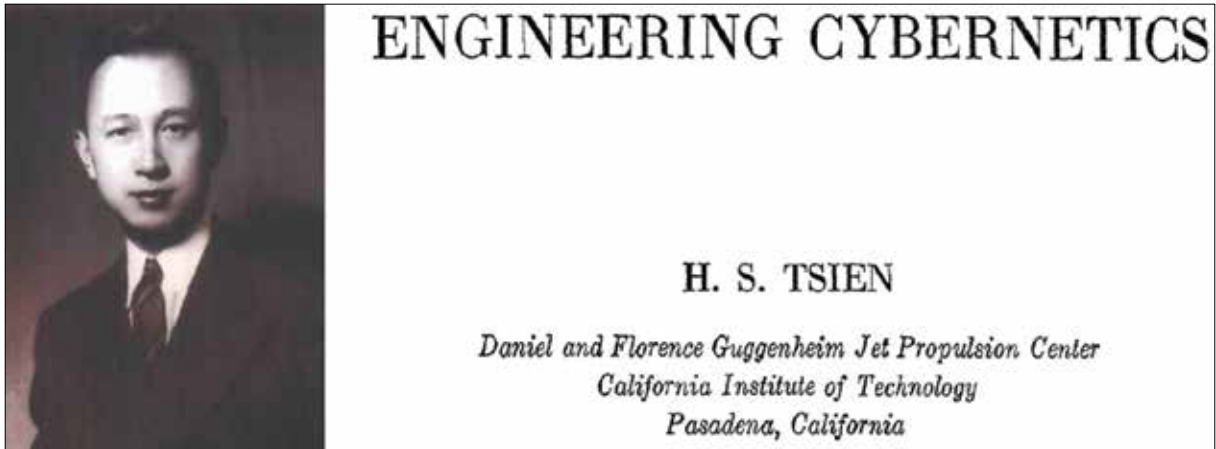


图2 钱学森和他的《工程控制论》部分封面

们说Rohrs上大学的时候就是个传奇。听说有一次他和同学打赌，赌的什么不得而知，反正他一次课没上，直接参加有机化学的期末考试，结果在这个公认最难的课上拿了个A回来。

不知道为什么Rohrs回母校任教没几年就离开了学术界。据说有一次几个毕业班的学生在他的课上作弊，被他处理了无法毕业，引起了家长们的不满和学校的不便。也许是在学术上直言不讳，“水土不服”。不管是什么原因，他很快就去工业界发展了。回想起来，我在美国留学第一

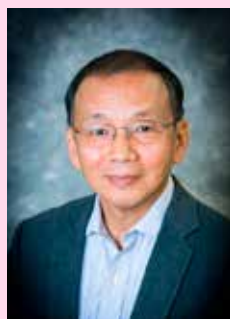
天上课就赶上Rohrs真是幸运至极。他的激情，他的勇气，他的反叛精神，特别是他锐利的眼光，让我终生难忘。我希望每个学子在求学的过程中都能遇到这样一位高人；每一位老师都能像他那样教书育人，像他那样眼里揉不进砂子，像他那样做学问不计得失。

图3 圣母大学校园景致之（图片来源：
<https://latinostudies.nd.edu/assets/311909/original/ndspring.jpg>）





图4 圣母大学校园景致之二（图片来源：
https://nrotc.nd.edu/files/2017/06/Home_NROTC_Notre_Dame.png）



【作者简介】高志强于 1987 年和 1991 年在美国圣母大学分别获得电机工程的硕士和博士学位，1990 年起在美国俄亥俄州克利夫兰州立大学任教至今。1995 年起与中科院系统所韩京清研究员合作，致力于自抗扰控制的研究和推广。他通过学术讲座，短期课程，以及在 QQ、微信、微信公众号、Youtube、Researchgate、B 站建立的自抗扰控制（ADRC）群和频道，普及知识，传播理念，激发人们对这一新兴技术领域的兴趣和对工程控制论的反思。