20200316 在线研讨

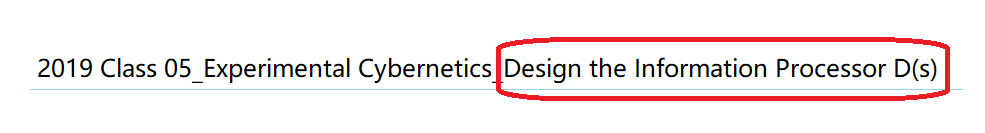
Q：我想问一下 能不能说pid feedback只是把低频的noise转化到了gain bandwidth的位置，总的noise并没有变？

----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

这个问题很好，我们以后还可以继续讨论。

上次同学问了一个很好的问题，我们做反馈控制到底是消灭了noise的总量，还是仅仅把noise搬运到其他的频段。这个问题背后的信息科学问题就是：当我用一定带宽的探测器看到一堆噪声时，存不存在一种“足够好的”反馈策略，使得我们可以消灭噪声，从总的方面“让系统更加安静”？这个信息学问题与今天这第5讲的主题很相关。

寻找“足够好”策略的过程，就是设计“足够好”的Information Processer的过程。



举一个例子，假设我们有两台激光器R和L，R代表理想状态下无噪声的超稳激光器（Reference），L代表一台有噪声的Ti:Sapphire激光器，其噪声谱在MHz量级以上的傅里叶频段微乎其微，可以忽略。我们要把有噪声的L激光器锁定到无噪声的R上去，就需要用光电探测器去测量L和R之间的拍频，然后根据拍频去对L做反馈控制。

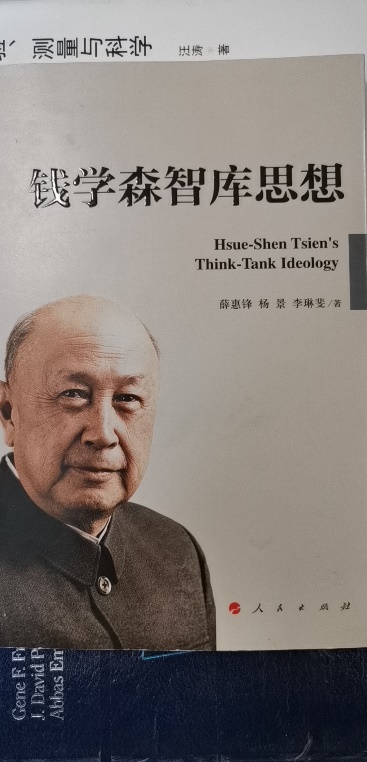
如果我们的光电探测器有足够大的带宽，比如100 MHz，远大于L激光器噪声谱的上截止频率，那么，L激光器的绝大部分噪声都可以被探测器忠实地测量到。从而：只要能测到的噪声，理论上就可以把它干掉，前提是你的actuator也有足够的带宽和信噪比。

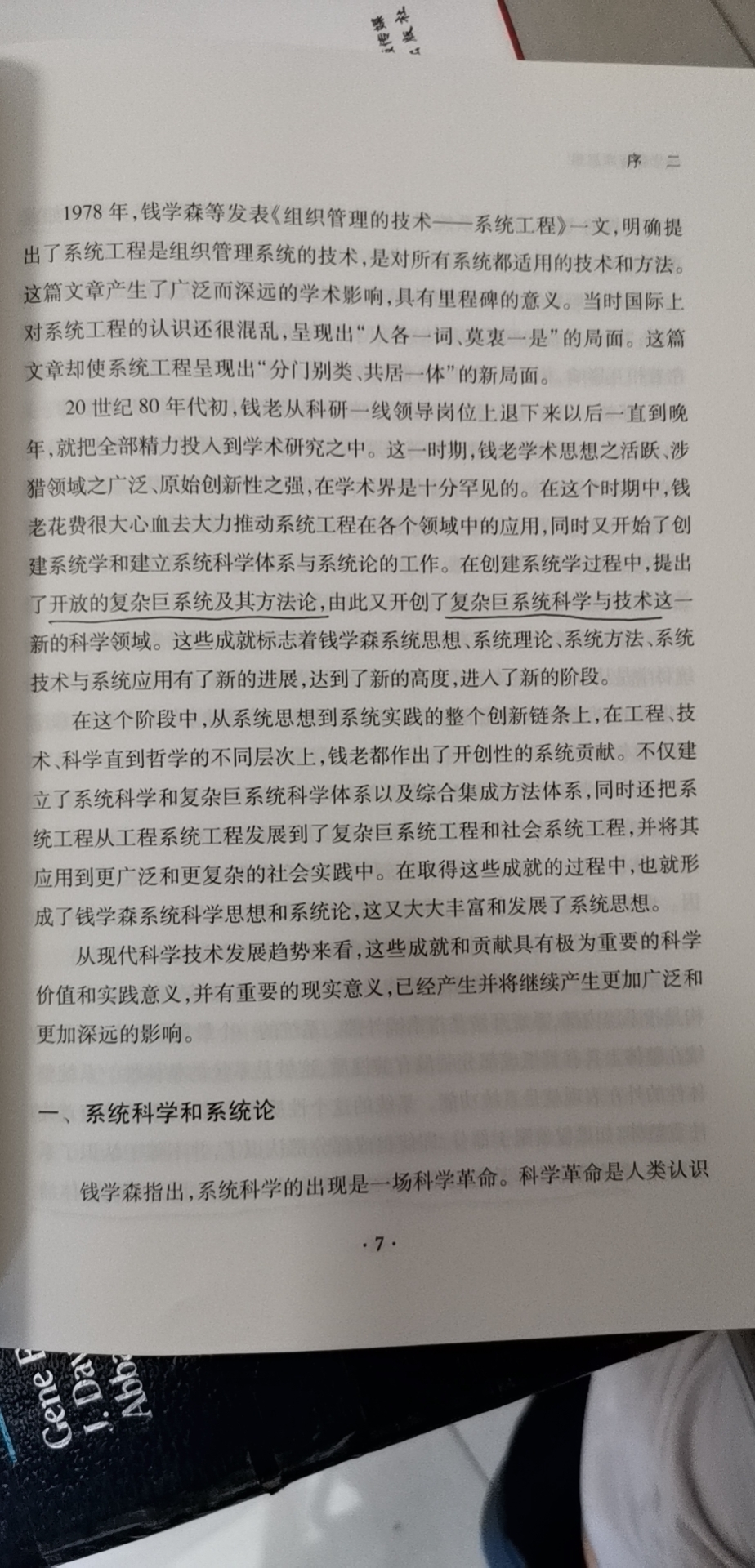
这里把L的MHz及以下噪声“干掉”的控制过程，因为一直有光电探测器在那里看着，总要做到探测器看到的噪声在不确定度范围内归零才好，所以是真的把噪声干掉，而不是噪声转移到其他频段。

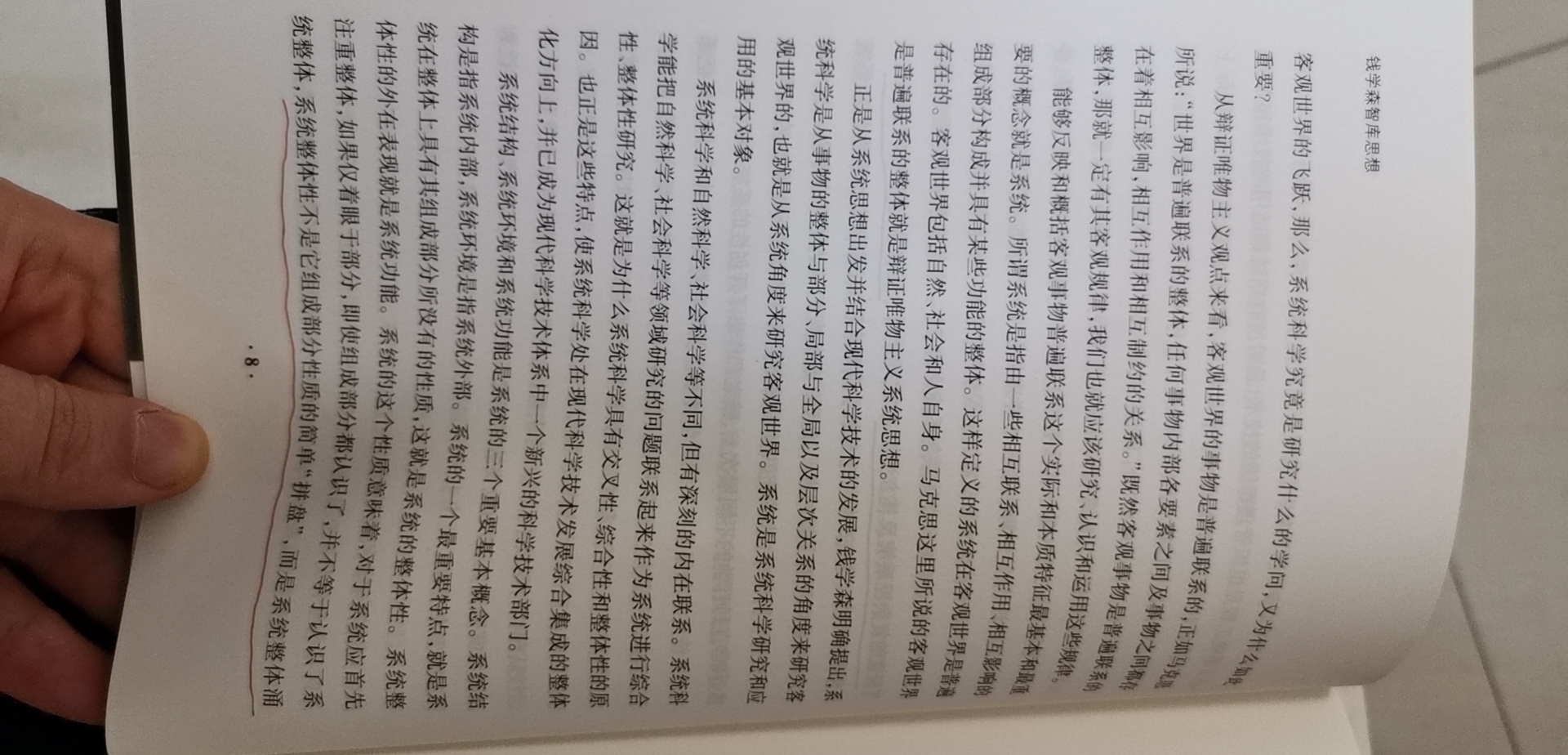
上面我们从信息学的角度阐述了这个问题。我上次之所以说，这是一个好问题，就是因为它在更高的哲学层面，也是一个好问题：当我们看到一个问题（Problem）之后，我们能不能做一些事情，来改善这个Problem，而且同时不引起其他的problems？

因为只有这个问题存在肯定的回答，我们才有信心去行动，去奋发有为。事实上，我们从小到大，一直都默认这个哲学问题是有肯定回答的。比如我们在中小学认真学习，费了很大的心力到北大来，就是认为总体来说，我们在北大一定会得到总体的提升，虽然也可能有一些问题，比如身在北大会骄傲啊，等等，但这些都是可以克服的，也是次要的。我们来北大学习的时候，是深信“到北大来”是一件大好事，可以祛除我们身心中很多很多的无知和烦恼，增长品德和智慧，这个用信息学的角度说就是“干掉很多很多的noise”，是真的干掉。

当然，随着我们层次的提升，我们遇到的问题也会越来越复杂，“解决一个problem，会不会造成其他的problems”是我们应该时时反思自问的一件事情，所以在面对一个复杂体系，我们不能简简单单地满足于“解决问题”，我们还要找到“一箭双雕”甚至“一箭多雕”的更好的解决办法。甚至跳出盒子来看盒子，发现“问题”原来不是问题，这是后话了。







在这方面，钱老也有独特的探索。有兴趣的同学可以一览。

回到第5讲的范畴内，从信息科学讲，我们要消灭噪声，就要充分利用负反馈，而避免任何不利的正反馈，因为前者可以消灭噪声，后者则可能放大原有的噪声。

我们讲Root Locus也好，讲Bode Plot也好，都是为了在避免正反馈（等幅甚至增幅振荡）的前提下，优化负反馈控制的性能，这是“design the information processor”的目标。

正反馈不总是一件坏事，比如Maser、Laser等都是类似于正反馈这种概念的杰作，关键是要随着我们设计的目的才行。

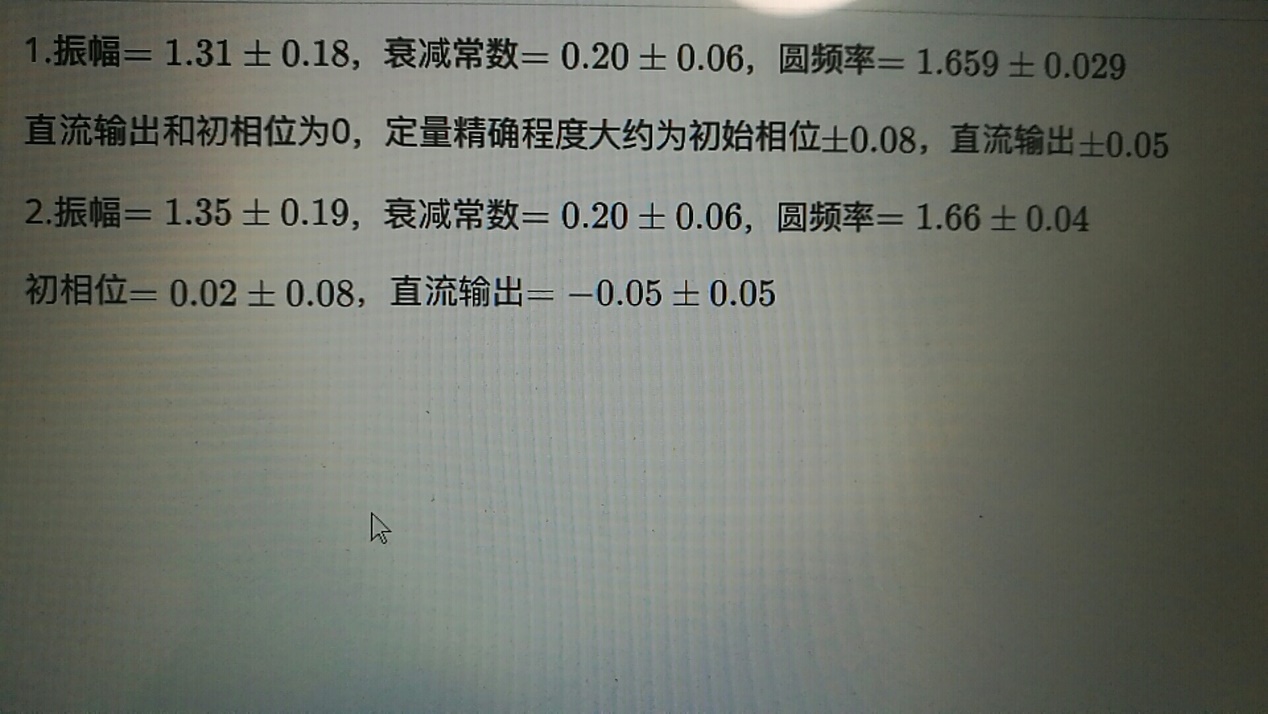
PID、dynamical compensation乃至pre-emphasis，都是在这一目的下的各种技术手段，是技巧，技巧服务于目标。

Q：老师您好，想起来作业拟合过程中，如果参数取得越来越多，会发现每个物理量相对不确定度反而会增大，这个现象怎么理解比较好呢

A：参数个数存在一个最优值。必要的参数不能少，但是如果有冗余参数，比如a + b + c \* x中，a和b中的一个就属于冗余参数，这样的拟合公式必然导致不确定度过度增大。这个例子比较明显，我们工作中可能遇见隐晦一些的冗余参数。

我们的实用原则有两点：第一，从概念上避免冗余参数；第二，限制相关参数的范围，令其有界。

Q: 但是很多时候，有可能遇见绝对值被standard error掩盖的参数。比如说上次作业的情况，就可以尝试算出这样的结果：



A：#2中五个参数的拟合行为，在物理上是合理的，因为我们不能先验地去说，offset就是零，phase就是零，这需要数据分析的支持。

而当你分析出第四行的0.02 \pm 0.08，-0.05 \pm 0.05时，是数据支持“offset在不确定度下为零，phase亦然”的结论。“绝对值被不确定度掩盖”不是一件坏事，它只是说明这个参数真的很小。

很小，更进一步就是“在不确定度范围内可以忽略”，你先用5参数拟合，得到这样的结论，然后你就可以用3参数拟合，得到进一步精炼的结论，这是可以的。要有一个思维上的次序。Without #2，we cannot judge the validity of #1。

Q：那如果我们做一个原子干涉实验，我们关心的量是对比度，但是要拟合，也会需要对比度、幅度、空间频率、相位等等，有的时候还会有一个高斯背景。我们是不是可以先代入所有的参数拟合，然后确定下来其他的参数（如果不确定度相对比较小），把它们当成确定值，再拟合一下对比度？这是一个通常的工作流程吗？

A：其实，上面薛泽洋同学举的例子，之所以从#2到#1，不确定度会减小，是因为我们有一个“从定量到定性”的过程，把0.02 \pm 0.08等抽象成了“零”——精确的零。你把一个参数完全定下来了，其他的参数不确定度当然会减小。

但是，如果一个参数不是零，比如1.23 \pm 0.02，虽然不确定度小，好像也不好直接忽略，因为没有“从定量到定性”的飞跃，没有本质的简化。所以，你说的原子干涉实验，我的感觉是一个用所有参数的拟合，其结果应该接近最终结果。

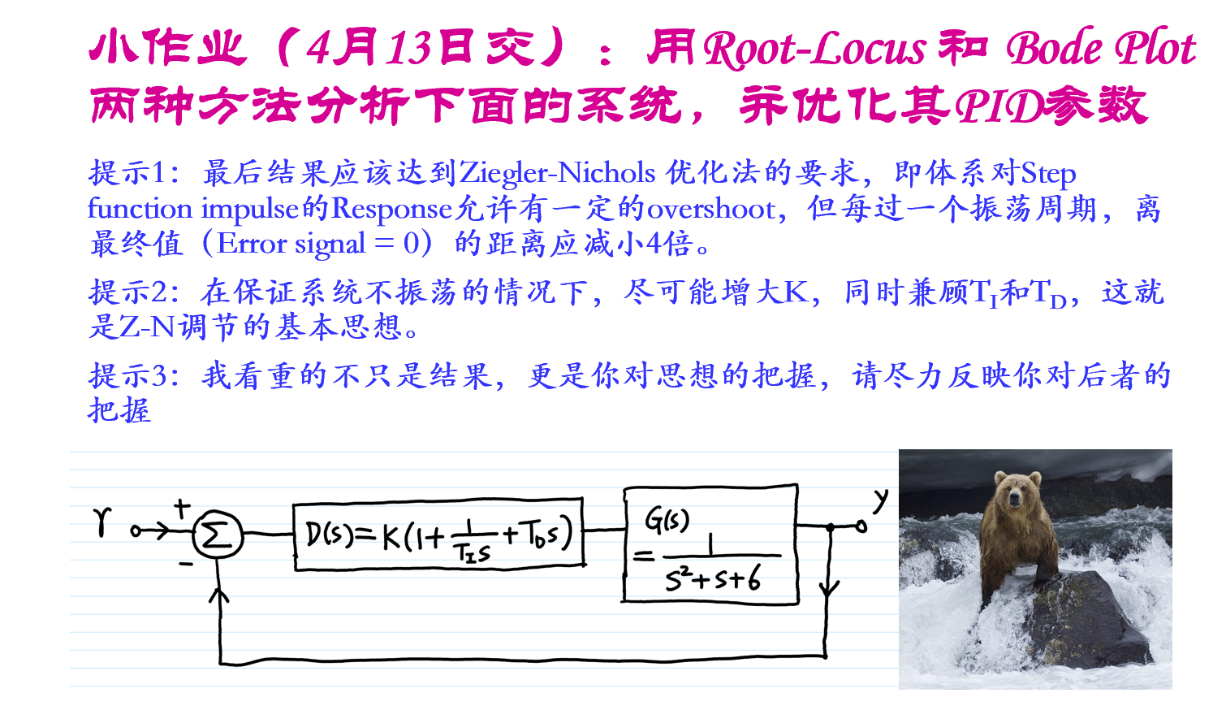
但是，你也许可以尝试下面的事情：限制参数的范围。

Q：是的，感觉这引入了人为的因素，我从第一次拟合中判断出来0.02\pm0.08实际上代表这个量是零这个信息，然后进行了第二次拟合；那么可能我这样做了，李四就觉得这样做不合适，取决于每个人的物理理解。我一直对这种人为因素比较担心，所以不敢做这种判断重新拟合，尊重很多参数拟合的结果，不过这可能是不合适的，因为多参数拟合时程序本身表现可能不是很好，也和拟合方法有关（比如极大似然估计、还是最小方差之类的）。

A：比如，你在初步拟合中，限制参数A在0到2之间，得到A = 1.23 \pm 0.10，那么你再进行第二次拟合的时候，就可以限制参数A在1.23-0.10\*3 到 1.23 + 0.10 \* 3的范围内，这是合理的，也可以给出更小的最终不确定度，这叫迭代。我们做第一次拟合的时候，一无所知；第一次拟合之后有所觉知，就可以做更有针对性的优化搜索。

大家要注意，与一个思想、理论、方程、方法同样重要的因素，还有“边界条件”。我们的任何优化都不会是在无限空间中进行的，都是在有限的区间里面搜索，如果我们可以从物理的角度把搜索的范围细化、缩小，那我们的搜索必然效率大大提高，不确定度会大大缩小，最终结果大大改善。

这段时间全国齐心抗疫情，也是及时把问题的大头进行空间上的限制，从[0,100]限制到[0,1]，工作的难度就可控了。虽然如此也仍然付出了极艰苦的战斗，这更说明当时决策的重要作用。

这一讲有一次作业：

4月13日交，给大家多留些时间。捋一下最近几次交作业的时间：

3.16（今天），交第一次小作业（拟合与误差分析）；

3.23（一周后），交第一次大作业（拍照，zip打包；或拍照转成清晰的PDF，都可以）；

4.13（第一次大作业三周后），交第五讲作业。