

杂疏：控制论·人（IV）： 参考输入·约束条件

邹云 南京理工大学

除了生命诞生这一奇迹外，热力学第二定律揭示的宇宙规则是万物皆耗散，从有序到无序。即便是生命，一旦已诞生，便立即坠入无处不在的耗散链条里。因此，有目的，就必须有控制以抵御耗散而达成目的。而控制必须通过行为实现。想要有光，上帝也要说一声“要有光”。

控制论，一种行为主义的目的论。

一、参考输入与反馈修正：萧何效应 •始乱终弃

元芳：教授，最近我在想一个问题：如何避免萧何效应？

教授：你是在说“成也萧何败也萧何”。而你只想保留前半部分？

元芳：对呀，该如何去做呢？

教授：嗯，形成历史典故的，都是含有深刻的哲理在其中的。这句话千年不衰，就说明这已经是一个普遍存在的现象，近乎规律了。因此，从反馈控制的角度，那就釜底抽薪好了。



图1.1 历史典故都是含有深刻哲理于其中的

元芳：釜底抽薪？您是说做一个有始无终的萧何？

教授：不错啊，元芳！是的，就是汲取历史经验，做一个基于张良模式的萧何改良版。见好就收，那么就不可能有“败也萧何”了。这可是一种智慧，一种胸襟和一种深层责任感。

元芳：哦，那倒是哈。可是……，按您这个说法，始乱终弃岂不是就成了一种智慧、胸襟和深层责任感了？

教授：呃……，你想和紫云分手了？！



图1.2 想要和紫云分手了？！

元芳：什么呀，没事！哦，我说教授同学，不要转移话题。直接回答问题。

教授：这个……，好问题！从控制论来说：他始乱终弃，是因为他做不到有始无终。

元芳：教授？！我没听错吧？您在说什么呐？

教授：是的，你没听错。这是两个不同的参考输入对应的控制问题。控制理论中是用参考输入来表征控制目的的。

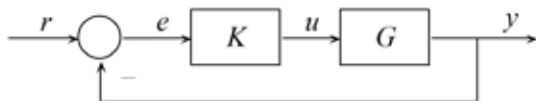


图1.3 反馈控制： r 参考输入， e 跟踪误差。

元芳：呃？！怎么说？

教授：萧何效应里，萧何的问题是要对刘邦有始有终、或者说是对自己的为官信念没法做到有始无终。因此，他的策略当然是对韩信“败也萧何”了。你的目的是不要“败也萧何”出现，当然策略就是对萧何的为官信念的有始无终：不再以刘邦的利益或意志为最高考虑了。

元芳：那始乱终弃又怎么说？

教授：一个人，如果做不到追寻初恋情愫的有始无终，那他只好会对婚姻契约始乱终弃了。借用一下萧何效应的说法，你可以把这个叫做“成也初恋情愫，败也初恋情愫”。它也是一类萧何效应。当然是针对婚姻契约而言的。

元芳：哦！教授，这也就是说为了避免“败也初恋情愫”，维系对契约的有始有终，就要做到初恋情愫的有始无终。但是可不可能两全其美呢？

教授：嗯，问题很有深度。元芳啊，这世上的万事万物都是一体、不可分割的。因此，牵一发而动全身。你想手心向上么？那么将手背朝下吧。

元芳：这个……说法，有点抽象。



图1.4 两全其美？



图1.5 你的麦田，我的守望

教授：你认为有始有终的婚姻契约的坚守者，他的控制策略会是什么呢？

元芳：忠于感情，坚守承诺。你的麦田，我的守望！

教授：说的不错，那么这样做的代价呢？多情的少男和怀春的少女，他们寻觅的是什么？由此出发的婚姻契约，若真的是长久地践诺下去，人性在这里起了什么作用？有没有强大的道德感和责任感后来居上、占据主导呢？

元芳：这个，我想应该有。

教授：不是应当有，而是必须有。因此，少男少女对“人生若只初相见”的纯情的寻觅就会有始无终，说不得就换成是“何事悲风秋画扇”了。而“但愿人长久千里共婵娟”呢？大约也会过渡成“归去，也无风雨也无晴”了。这时，当年的初恋情愫对很多人是会衰减到很低水平的存在感的。

元芳：呃，那是不是有始有终很难，始乱终弃会容易一些？

教授：这么说，也有道理。一般而言，始乱终弃带来的诱惑都很大，或许正因为如此才被贬做“始乱终弃”。其实，有始无终，并非都是很容易的，要受到自身和外界多方约束。现实中，

仅仅是世俗约束，经常就很难摆脱。更别说那种面对巨大诱惑而急流勇退的有始无终了。



图1.6 有始无终并非总是易事

元芳：哦，深奥！可我还是想既要有始有终的情爱、又要有始有终的婚姻。

教授：好啊。记得王朔曾经说过：如果朱丽叶与罗密欧不是悲剧结束，而是有情人终成眷属了，故事该如何写下去？元芳你看这样行不行？

“嗨，罗密欧，亲爱的，饭做好了。” “哦，朱丽叶，亲爱的。洗脚水倒好了。” “哦，罗密欧，亲爱的，该送孩子去钢琴课了。” …… 这样的小说，你还会往下看么？至于梁山伯与祝英台，哦，即使将“亲爱的”换做是“娘子”和“相公”，恐怕也都是虚幻的吧？那样的氛围还是需要比较高的物质条件的。

元芳：……

教授：因此，满足你的期待的只有一种情形：情爱达到顶峰时，生命戛然而止。这个，不算有始有终呢？若算，那么元芳，你得到答案了。几千年来，除了这样的悲剧故事方案，穷极人类最伟大作家群体的想象力，也就只剩下“从此，他们过上了幸福的生活”这样的童话故事方案了。元芳，你想哪样？

元芳：呃，紫云现在都在说“童话的故事都是骗人的”了……



图1.7 童话里的故事都是骗人的

云中散人：不迷失本心的麦田守望，是以本心的有始有终为参考输入的。代价往往是另一种诉求抑或愿望的有始无终。正应了那句“人有悲欢离合，月有阴晴圆缺。此事古难全”。是啊，想手心向上么？那么将手背朝下吧。



图1.8 此事古难全

由是，人生在世，究竟要的是什么？要不要坚持本心？坚持的是怎样的本心？本心的深层内涵究竟是什么？是摆在每个人面前的课题。控制论。行为主义的目的论。维纳很少提及目的，着重建立的是目的明确后用以逐渐逼近目的的控制理论和方法。然而，没有设定好真正属于自己内心追求的目的，就不会有恰当的参考输入，一切控制都将失去意义。

二、参考输入与跟踪伺服：最优转速曲线的灯下黑

元芳：教授，最近我发现我陷入了一个无解的困境。你说风力发电理论里给出的最大功率点跟踪控制的经典最优转速曲线会有重大错误么？

教授：哦，一般不可能。要有，早就被发现了。具体说来听听。



图2.1 物理定律是错的会到了我才发现的么……

元芳：按说控制风力机转速以使其输出功率跟上作为参考输入的最优转速曲线，应该能够获得最大的风能捕获效率，是吧？

教授：是的。

元芳：但是教授你看，这是最优转速曲线。我输到仿真平台里去的时候，手滑了一下，无意中把最优转速曲线乘了个0.8，也就是说曲线变得不那么陡了，可跟踪它得到的发电效益或者说风能捕获效率提高了！也就是跟踪一条不是最优的转速曲线反而获得了更高的发电效益。捕获率提高2%还多。甚至跟踪恒定转速，风能捕获效率也比跟踪最优转速要明显高出许多。

保持恒定转速捕获效率 84.75%

跟踪最优转速捕获效率 83.65%

教授：是不是你程序或模型错了？

元芳：程序是标准的，模型是标准的，控制

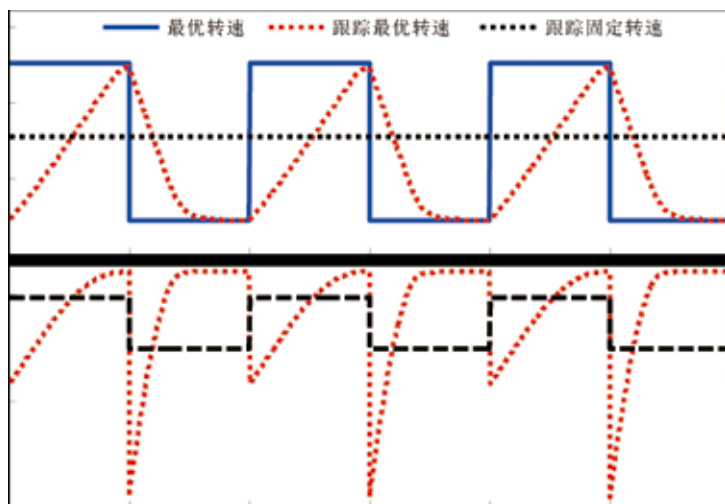


图2.2 甚至跟踪恒定转速的风能捕获效率也更高

也是标准的。我反复检查了一个月了，没有发现错在哪里。

教授：什么风速？高风速？还是低风速？

元芳：低风速。我尝试了所有的经典方法和能够检索到的改良方法，跟踪最优转速曲线的风能捕获效率效果都降低了太多。但0.8倍压缩后的转速曲线，比跟踪最优转速曲线更好是个普遍现象。

教授：风能捕获效率与风速的三次方成正比，低风速下捕获效率低那是自然的。仿真提高了这么多？高风速仿了么？有没有同样的问题？

元芳：仿了。没有发现明显类似的问题。教授，你怎么看？

教授：哦，其中必有蹊跷。

元芳：教授同学，这是我的台词。

教授：可你先抢了我的台词啊。让我想想。我需要去闭关一下。

（一周后……）

教授：元芳，我想我找到了你偶尔发现的这个现象的原因了。问题出在经典的最优转速曲线



图2.3 教授同学，你抢我台词了！

没有考虑低风速对伺服控制的影响。

元芳：怎么说？

教授：你看低风速下为了捕获更多的风能，风力机叶片尺寸做得更大。这样，系统的转动惯量也就更大了，响应时间常数也变得很大。可是低风速风场的风速变化比高风速风场的风速变化要快得多。你看，在你的算例中，甚至出现了湍流。

元芳：您是说，这样的情况下，风力机无法

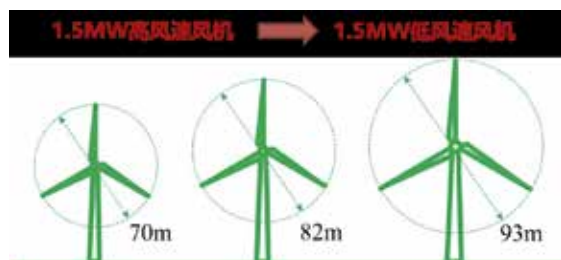


图2.4 风力机的尺寸

有效跟踪基于风速变化确定的最优转速曲线了，是吗？

教授：是的。跟不上，实际捕获风能的效率就不会是最优的了。你手滑键入的0.8乘积系数正好降低了转速曲线的坡度，风力机变得相对容易跟踪得上了。因此，能被跟踪上的次优转速曲线反而获得了比跟踪不上的最优转速曲线更好的发电效益。

元芳：这样啊？有道理。最大功率点控制中经典最优转速曲线的设置没有顾及风力机伺服跟踪特性的影响。在高速时由于气流运动的惯性大、风速变化比较小，而相对于低风速风力机，高速风力机动态响应比较快，因此这个影响并不显著。但低风速时，它就非常突出了。

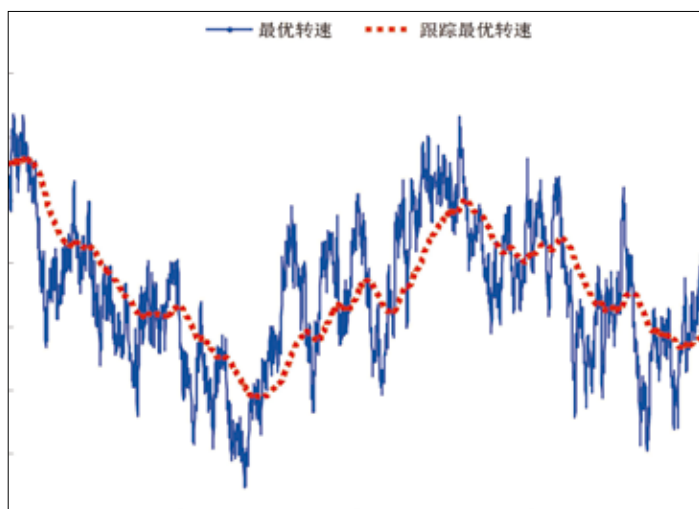


图2.5 风力机无法跟上最优转速曲线

教授：机理分析上，应该是这样的。

元芳：好的。如果这个分析成立的话，如何获得顾及风力机动态响应特性的最优转速曲线呢？这个问题好像好难啊。即使同样的风力机，风速不同，最优转速曲线就变了……这个该怎么办？

教授：先去做足够的案例仿真分析，然后再考虑这个问题。再说了，一定需要从风力发电理论中获得一条最优转速曲线然后让风力机跟踪吗？

元芳：要不还能怎样呢？

教书：为什么要跟踪最优转速曲线？

元芳：获得最大风能捕获效率啊。

教授：那就是说跟踪什么并不重要，重要的是获得更高的风能捕获效率。是吧？

元芳：那又怎样？

教授：跟踪控制的目标是什么？

元芳：获得极小化的跟踪误差。

教授：就是说，并非极大化风能捕获率？

元芳：呃……，这个……，对控制器设计师来说，还真不是。对风力发电系统工程师来说，是的。

教授：如果你的发现的确是普遍存在的现象，那么这个就是灯下黑了：电气工程师只管给出只要跟踪上了就可以获得最大风能捕获率的最优转速曲线，提供给控制工程师。控制工程师只管设计最优伺服控制器，跟踪电气工程师提供的最优转速曲线，极小化跟踪误差。

元芳：哦！教授，是不是说：哪怕

是跟踪一个虚拟的参考输入，只要效率极大化就好？比如，在捕获效率较低的区段上放弃跟踪最优转速，转而跟踪一个恒定的转速，以收缩跟踪区间宽度，以便更有效地跟踪高效率区段上的最优转速曲线，是吗？

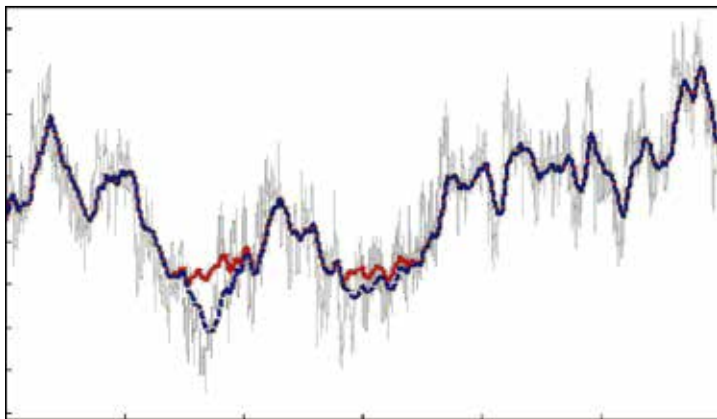


图2.6 放弃红线以下部分的最优转速跟踪

教授：很好的想法。这样就可以用低段损失换取高段捕获增量！

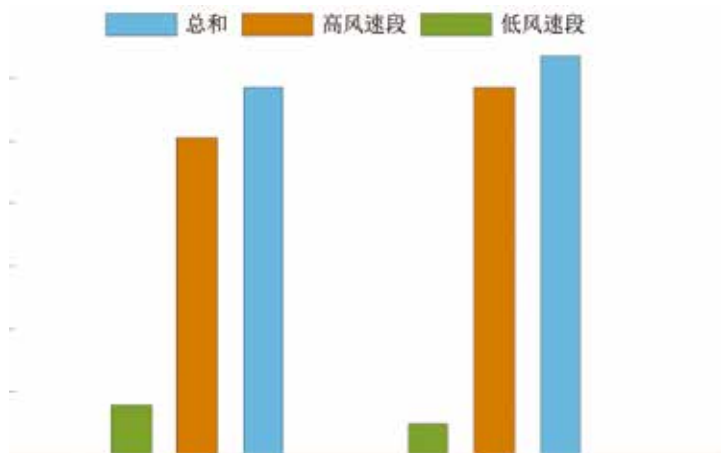


图2.7 以低段损失获取高段增量

教授：更进一步，既然参考输入可以是虚拟的，也就是说在这一类以效益最优为目的的跟踪控制问题里，参考输入已经可以作为设计参数与伺服控制器参数一样作为一种广义的控制变量了。利用现有最优控制理论和方法，就可以求取顾及风力机动态响应特性与风力特性的最优虚拟转速参考输入。

元芳：可是，教授，参考输入怎么可以作为控制变量？

教授：那么你说什么是控制？不就是对受控对象做主动的扰动，影响其状态或输出行为么？这里的参考输入参数只是伺服跟踪的虚拟跟踪对象。它既不改变风力机的结构，又无需改变风力机的控制器结构，就可以优化捕获效率。何况它与控制器参数还可以联合设计呢？

元芳：我明白了。我们忽略了参考输入表征的原始目的！我这就去做！

云中散人：这段对话取材于散人研究小组的一个真实发现过程。它从电力工程案例的角度再一次说明：忽略了目的的控制，是会步入牛角尖的。很多时候，我们忘记了本心。我们被我们发明的手段困住了，也忘了什么叫做控制。任何时候，控制策略只是手段，目的明确性和精准度才是最重要的。这就需要设置恰当的参考输入。

参考输入的选取是不容易的。必须简单、具体、明确，还能精准

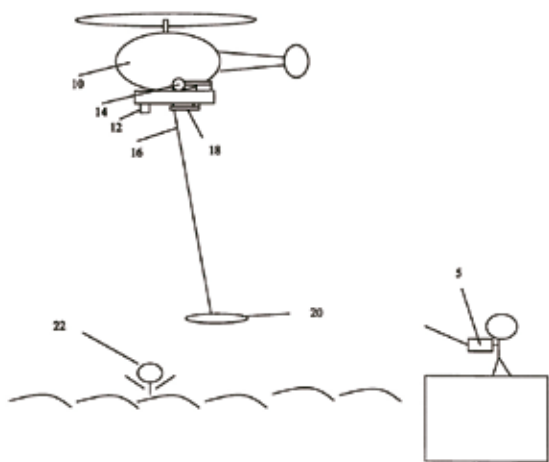


图2.8 控制就是从外部对受控对象施加的有目的的主动扰动

有效地反映出深层目的。比如，人体感觉舒适的气候，温度显然是不够的。加上湿度，还是不够。究竟应该怎样？目前还没有非常合适的指标。

记得还有一次，散人在控制论课堂上，问学生：如果你获得一个向上帝提一个简单而具体的要求会获得满足的机会，你会说什么？有学生说要幸福，另一些则说要长寿、要健康……。散人点评：都太抽象了，没法作为参考输入。散人的答案是：在六十岁再生长出一口新牙！因为长新牙是个系统工程，它必须要让肌体恢复旺盛的生命活力！至于如何做到，他是上帝不是？



图2.9 云中散人：参考输入的设置优化貌似是个被遗忘的角落

同样的控制目的，不同动态响应特性的受控对象，不同的控制条件，参考输入应当是不同的。比如，对不同的孩子的不同阶段，要给不同的阶段目标。为孩子制定不考虑其具体条件与特性的榜样和目标，那是典型的“别人家的孩子”。而揣摩不透乾隆的喜怒无常，弄不好就掉脑袋？那就跟上八面玲珑的和坤的一举一动，或者追随机智圆滑的纪晓岚一笑一颦，也即调整设置新的参考输入。

遗憾的是：参考输入的设置与优化，貌似是一个控制理论遗忘了的角落。



图2.10 家长童鞋们：要给孩子制定恰当的标准

三、参考输入与约束条件：以其人之道还治其人之身·其道的胜利

元芳：教授，《万能钥匙》您看过了没有？我实在是看不懂它的结尾想说明什么。

教授：就是那个英文叫做骷髅钥匙的电影？说的是在诡异氛围里应聘为家政服务人员的女主角，发现被人莫名地用巫术诅咒，不得不在凶险的各种抵抗过程中，使用机智学来的巫术打残了那个算计她的老巫婆管家，取得了最后的胜利。结果却发现自己被困在了被打残了的老女人的身体里，口不能言、身不能动地被救护人员抬走，而自己的身体却变成了老女人的新身躯的故事？

元芳：是的。那个请女主角来伺候、最后与女主角一起被抬走的口不能言、身不能动的老年



图3.1 万能钥匙影片招贴画

房主也不是房主，而是一开始就出现在影片里的那个被房主聘请的年轻家庭律师。影片从高薪聘请女主角照料瘫痪老房主开始，到女主角发现自己的模样变成了管家老太太，无助地看着占据了自己与年轻律师身躯的管家婆与房主在一旁得意地微笑，戛然而止。房主的遗嘱是将一切财产留给律师和年轻女主角。这个结尾究竟是什么意思呢？



图3.2 女主角与口不能言、身不能动的房主

教授：影片很有哲理，也很容易理解啊。行迹诡谲的管家老太太关照刚刚应聘的女主角：哪里都可以去，就是不能进那间锁住的房间。然后诡异重重，怪事连连，让人汗毛耸立。女主角于是在年轻的家庭律师的鼓励下，去镇上书店查阅资料，发现是一种神秘的巫毒教的诅咒术在作怪。

然后学着用巫术反击，结果很有效。有一天，她偶尔获得一把万能钥匙。用它打开了那个诡异的房间，毛骨悚然地发现，管家老太太是个巫毒教巫婆，正准备使用最恶毒的巫术将她的灵魂拘走。然后呢？她做了什么？



图3.3 年轻的律师

元芳：她用学到的超级巫术和老巫婆斗法。在最危险的关头，惊险地将老巫婆打残。这不就胜利了么？可怎么还会是那种结尾呢？



图3.4 管家老太太的巫毒诅咒玩偶

教授：女主角用超级巫术打败了超级巫术，胜利者是谁？是女主角？还是老巫婆的巫毒教巫术？

元芳：是女主角，也是巫术。

教授：女主角要是没有能用超级巫术打败老巫婆，而被拘了灵魂。胜利的是老巫婆呢？还是老巫婆的巫毒教巫术？

元芳：是老巫婆，也是巫术。

教授：好了，现在有结论了？

元芳：您是说无论哪一方胜利了，都是巫毒教的巫术获得了胜利、得到了传承？于是巫婆得到了女主角的年轻身躯，而女主角的原有灵魂已经老残而去。



图3.5 巫术决战中被巫术困住的女主角

教授：不错。这部影片说明了这样一个哲理：许多时候，控制不能为了成功就不择手段。以其人之道还治其人之身，无论哪一方获胜，胜利者只有一个：其道。类似的影片还有《魔戒》。只有夺取魔戒的最终目的是毁灭了魔戒而非借此拥有魔戒的力量，才是战胜摩多魔眼的不二法门。



图3.6 发生故事的独栋房子

元芳：难道控制策略不加约束反过来会伤及或损害控制目的？或者说不加约束的控制手段会使参考输入脱离控制目的本心？

教授：当然会的。打败老巫婆，这是女主角

的参考输入。参考输入的后面，她潜藏于心的深层次目的则是：不让巫婆的邪恶得逞。其实，脱离接触就可以了。但好奇心驱使下，那间神秘的房间和那把诡异的万能钥匙，加上占据了律师身躯的房主的阴险误导，女主角失败的结局已经注定。使用其人的邪恶来打败邪恶的其人，参考输入在这一刻已经脱离了真正的目的。结果是：老巫婆的邪恶得逞了。他占据了女主角的心灵，获得了又一次传承。



图3.7 换入衰老身躯的女主角与真正的家庭律师

元芳：哦，这样啊。因此，控制手段必须有刚性的底线约束了？就像“沉默权”以及“疑罪从无”，都是这样的约束条件了吧。毕竟突破法治的法理底线，以暴虐对暴虐，胜利的只能是暴虐。大概也是基于若一味地依靠暴力，则暴力建立的必将被暴力颠覆的认知，才会有马丁·路德金，圣雄甘地以及曼德拉这样的人物出现。于是，宗教里才有了被钉在十字架上的耶稣。是么？

教授：哦，你提到的这些问题，就其根源，历史古老，很复杂。具体的对错正误我也说不上什么透彻的看法。我只是认为：手段会影响甚至毁坏目的的可实现性。因此，无论被认为多么正义的目的，控制也不能不择手段。否则必然走向反面。无约束而随心所欲的控制，在实际中是不可能总体有效的。控制手段的选取与优化，必须



图3.7 问禅

加以必要的刚性约束。

元芳：对了，教授。说到这里，我忽然想起了一则我一直觉得非常奇怪的圣经故事。那个故事说的是耶稣对他的信徒说“有人打了你的右脸，你伸给他左脸让他打”。这是什么奇怪的逻辑？无论如何，说话做事总得有稍微合理的逻辑吧？



图3.8 刚性约束

教授：哦，是有这样的一段故事。我不是很清楚，也没有关注过它的宗教解释。但在我理解，这应该是一则用于隐喻何谓内心强大的故事。他暴虐？那么就让他暴虐，就算他暴虐到底，我还是我。暴虐征服不了我。依靠暴虐维系的强大不是真正的强大。这样的不屈服，是真正的内心强大。当然，这是我个人的理解。当然，这个太难了。至少我自己做不到。

元芳：嗯，就是说：紫云冲我发脾气，但只要她还理我，她就是我的。随便她发脾气，她都是我的。嘿嘿。她发脾气或者不发脾气，我都在那里。不离不弃，温柔微笑……

教授：呃……，你还是对这个加点约束吧。听上去浑身都觉得怪冷的。



世上怎会有我这么大度的人

图3.9 元芳：她发脾气或者不发脾气，我都在那里……

云中散人：是目的，特别是谓之正义的目的，就有目的的内涵。内涵就规定了控制的可行范围。突破了这个范围的控制就损害目的，甚至会走向反面。老子说道可道，非常道。非常道是无疑的，可再非常道，却还是道可道。道，不能随心所欲。约束条件之于人生控制论，其重要性不亚于用以反映目的的参考输入。

由是，人生之艰难，做人之艰辛，可见一斑。不迷失本心，前提是真正参透了本心的内涵，也即隐藏在参考输入之后的本心究竟是什么？稍有偏差，恐怕就会过犹不及。因此，对控制策略的约束必须是刚性的，哪怕它在许多情况下严重制约了正面的控制效果。

这是一个伴随着人类存在的永恒问题。人生控制论，是最复杂的控制论。



图3.10 云中散人：
控制不择手段，结果或许走向反面