

# 漫谈系统与控制

## 杂疏：控制论·人（I）

云中散人 南京理工大学自动化学院

### 一、控制与上帝

上帝说：要有光。于是有了光。

你在想：要有光。于是……，你委屈了。

要想达到一个目的，就得恰当行为。上帝尚且要说一声。你比上帝还牛。控制论：一种行为主义的目的论。

人，尤其是感性丰富的女人，应该从这个寓言故事中获得启迪，用恰当的行为、而非比上帝还傲慢的内心期许，去接近具体的目的。



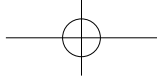
图1.1 上帝：要有光！于是有了光。



图1.2 我都想了好久，肿摸还不主动有光啊？



图1.3 云中散人：控制论，一种行为主义的目的论



## 二、控制与人

控制论——也即关于动物和机器中控制与通讯的科学。诺伯特·维纳。

因此，做控制的，没有人可以声称他缺乏工程背景。除非他不食人间烟火、不是人。

生物控制工程是最生动的控制工程，人在生物中是最高级的。可以这样说：一部控制论，就是一部仿人的行为主义目的论。每一个控制概念、方法都有典型鲜明的人类日常生活范例。

找不到，想不起来？哦，你根本不懂控制。

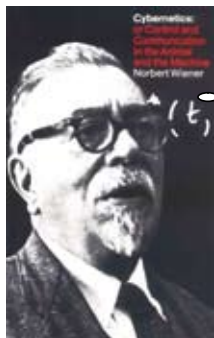


图2.1 诺伯特·维纳的《控制论》

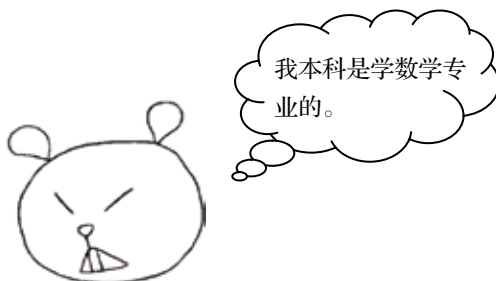
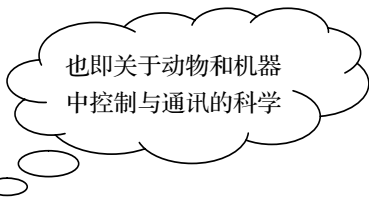


图2.2 我没有工程背景……



图2.3 你怎么会没有工程背景？

## 三、关系与结构

小瓶子：妈妈说我们中2班的李老师和我舅舅是恋人关系。

小破孩：哦，那我们是什么关系？

小瓶子：谁和你有关系？！

小破孩：喔，可我爸爸昨天还说我们是花花幼儿园的同班同学。

小瓶子：那又怎么样嘛？！

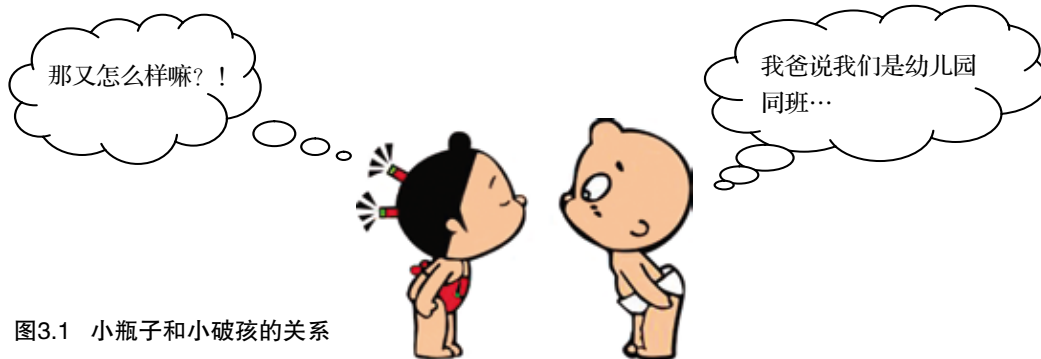


图3.1 小瓶子和小破孩的关系

**云中散人：**有没有关系，要看是什么事情。“没有关系”，是一种最重要的关系：就是做一件事时可以忽略的关系。必须虑及的关系越少，事情就越简单。要是没有了“没有关系”，这个世界就太可怕了。

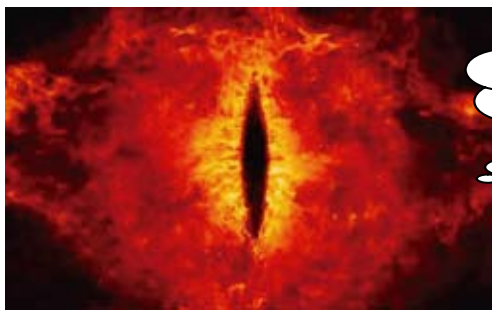


图3.2 云中散人：没有关系是一种重要关系

【控制论概念简释】关系就是一个系统的各组分和单元之间，以及这些组分和单元与外部环境之间的关系。所有这些关系的总和叫做系统的结构。这些关系的数学描述就是系统的数学模型。必须考虑的关系越少，涉及的组分就越少，因而结构就越简单、模型也越简单。

#### 四、控制与人的控制

有目的地影响一个系统行为的行为，就是控制。人的控制，说复杂，其实也简单：让一个人有了得失心，便是置他于控制了。就如电影《魔戒》中索伦之眼的魔戒。



戴上它！戴上，世界就是你的！戴上它！…

图 4.1 《魔戒》之索伦之眼：我要控制中土世界的一切！

人是结构相对独立的智能体。他的行为受他自主控制。他有了得失心，他的自主就有了牵引，他的行为也就被置于控制了。



图4.2 魔戒

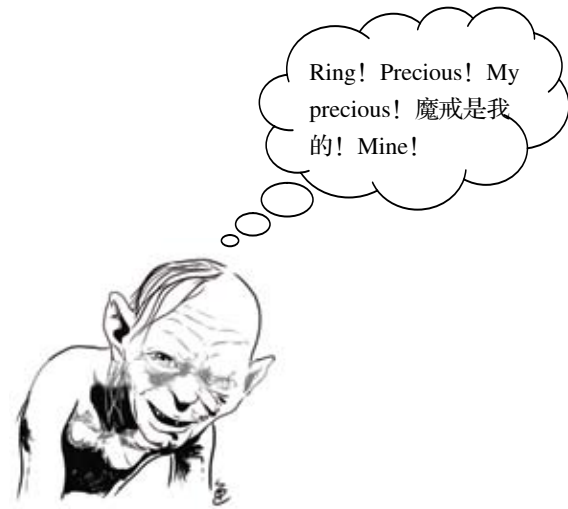
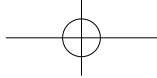


图4.3 《魔戒》索伦之眼被魔化者咕噜（斯麦戈）



无欲则刚，是说没有了得失心的人，是不可控的。他的自主是较为纯粹的自主。全无欲，便不是人。权力欲是欲、金钱欲是欲，食欲、爱欲、亲情欲是欲。即便是一心“高尚、纯粹”，之于追求它的人，也是欲。守望信仰，是欲。由是：越是寡欲的人，那欲，便越是绵长浓厚。



图4.4 《魔戒》小霍比特人佛罗多

得失心太少，便是可控性差。可控性太差，可用性就非常差，便不会为主流接纳，边缘化便成一种趋势。得失心过重，轻易可控，噪声就可使其发散，那前景多半便是毁灭。物如是、人如是，一切系统皆如是。



图4.5 云中散人：控制论中的好坏是相对于控制目的来说的

## 五、不控制、无控制与失控

### I 失控、在掌控之中

教授：报纸上说日本核电站核泄露有些失控了？元芳，这是什么意思呢？

元芳：就是说情况很糟糕、有危险了。

教授：就是说情况很好就是没有失控喽？

元芳：是的。

教授：哦，原来这些天来，天气一直在我的掌控之中啊。

元芳：……

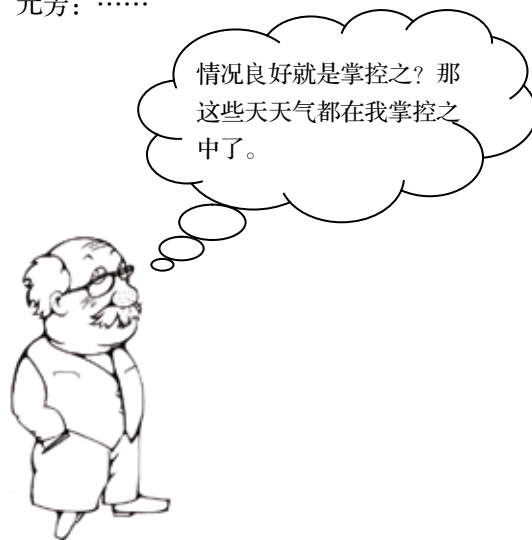


图5.1 教授：情况好不好与是否失控无关

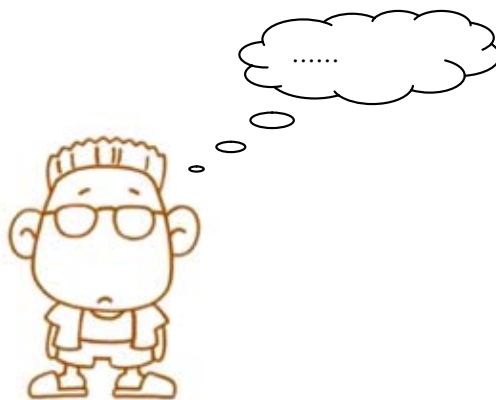


图5.2 元芳：哦？失控了也会情况很好么？

**云中散人：**那么，失控究竟是什么？没有失控、或曰尚在掌控之中又意味着什么呢？如何进行简单明确地刻画、并进而使用数学语言描述呢？耐心、耐心，让我们继续观察教授与元芳的后续对话。



图5.3 云中散人：失控、还是没有失控？这是个问题。

### II 无控制、不控制

元芳：教授，上次你诡辩了。

教授：哦？

元芳：天气的例子中，你根本就没有控制。因此，也就无所谓失控不失控。

教授：唔，不错。元芳，你现在对老师不太客气啊，是不是我对你失控了？

元芳：那是你不控制。哈哈。



图5.4 教授：元芳你又调皮了。

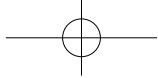


图5.5 元芳：还不是您老人家惯的。

**云中散人：**无控制，是不存在控制机制：无论如何，都随系统自然演化。不控制，是可以对系统采取外加措施、但不采取。这是一种非常重要的控制手段，往往出现在最紧要的历史关头。一般叫做沉着、冷静，不变应万变。有时，也叫做欲擒故纵、将计就计。当然，也有时，叫做溺爱、骄纵，渎职不作为。



图5.6 云中散人：干捉急、木有干预滴渠道才叫无控制



### III 失控、不可控

教授：元芳，这段时间想清楚了么？什么叫做失控？

元芳：哦，我想就是不能控制，或者控制无效了吧？

教授：那么什么叫做不能控制？又什么是控制无效呢？

元芳：……

教授：试一下具体的案例。简单而又清晰的那种。比如：汽车失控。

元芳：刹车失灵、停不下来了。

教授：方向失灵算不算？

元芳：也算，但并没有彻底失控，至少还能停下来。部分失控吧。

教授：那么，雍正对年羹尧失控呢？

元芳：雍正对年羹尧没有失控。

教授：为什么？

元芳：他通过岳中奇夺了年羹尧的兵权，尽管也很惊险。

教授：就是说雍正可以通过控制措施让年羹尧的军事指挥……

元芳：停下来。

教授：对。那么，现在我说这个蓝天白云是在我的掌控之中的，你觉得我怎样才能证明我的话呢？

元芳：让它停下来！

教授：怎么说？

元芳：使它不再蓝天白云！

**云中散人：**前面我们说过：是个人，就一定有控制工程背景：生物控制工程。这话是不错，但归纳与萃取却很不容易。学习控制理论，与学习数学不同：最重要、也是最难的，往往不是它的数学技巧，而是它的基本概念及其数学描述的提出。这也是我们每每最为忽视的，因而做卡尔

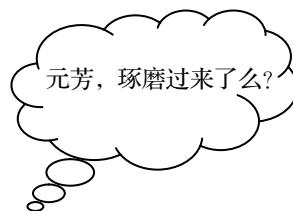


图5.7 教授：让我们看看具体的生活事件

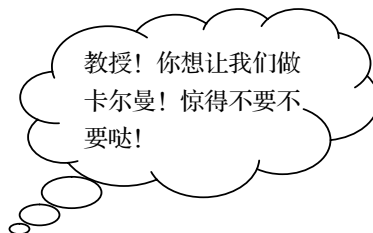


图5.8 元芳：就是说想终止就能终止…？



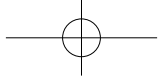


图5.9 云中散人：控制科学是一门技术科学



图5.10 元芳：好惭愧耶……

曼是非常困难的。

控制科学是一门技术科学：它必须萃取自千百年来人和动物的控制技术、最终还原到人类面临的具体控制问题。控制理论不是数学或应用数学的分支。或许，它可算作是一门数学应用：用到的数学堪称全面罢了。

【控制理论诠释】能控性是控制理论中最重要的基本概念之一。对线性定常系统，它的定义和判据最负盛名。设动态系统满足如下运动规律：

$$\dot{x} = Ax + Bu, x(0) = x_0$$

称系统的状态 $x_0$ 在 $[0, T]$ 是能控的，系指存在控制 $u(t), 0 \leq t \leq T$ ，使得 $x(T) = 0$ 。所有状态都是能控的，称系统完全能控。系统完全能控当且仅当：

$$\text{rank}(B, AB, A^2B, \dots, A^{(n-1)}B) = n。$$

这个定义的提出必须具备两个前提：第一必须精准地抽象出“在掌控之中”的内在涵义；第二用数学语言精确描述。这是非常不容易的。反映了控制理论与数学理论的经典差异。

很遗憾，提起能控性，我们的学生事后大多只记得那个判据。不能不说：这是控制理论教学的失败。

## 六、PID控制与生活

元芳：老师，您说控制理论都有日常生活案例的诠释，PID控制有么？比如比例控制P？

教授：哦，我们来看看小瓶子和小破孩最近



图6.1 元芳：老师，给点生活例子吧。

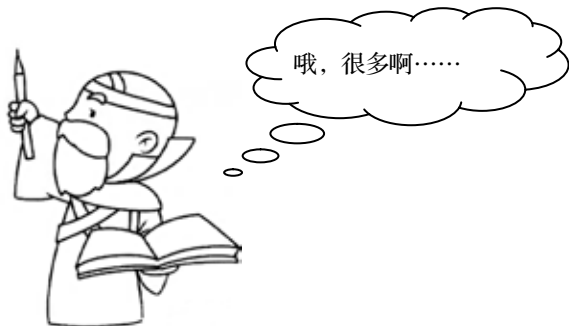
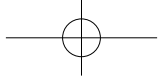


图6.2 教授：还是看看小破孩他们在干什么吧



都在干什么。

I 比例控制 (P):

情景1、小学操场。

小破孩: 小瓶子, 你怎么啦?

小瓶子: 我这次考了98分, 妈妈对我很凶。说我玩得多了, 不能再这样下去, 5555……

小破孩: 哦, 谁叫你次次都100分呢?



图6.3 小破孩的开心时分



图6.4 教授: 这是什么策略?



图6.5 元芳: 伦家难道还有别的台词可选择嘛?

大学图书馆。

教授: 元芳, 这个, 你怎么看?

元芳: 哦, 小瓶子父母放大了她这次分数偏差的比例权重, 以使小瓶子更加努力, 减少与一贯成绩的误差。

情景2、小学操场。

小破孩: 小瓶子, 你怎么还出得来的?! 你不是昨天只考了…6…2么?

小瓶子: 爸爸让我出来玩的。爸爸说就一次小测验, 没考好没什么要紧的。昨天做了一天题了, 该出来放松放松。

小破孩: 哦, 酱紫的呀。



图6.6 小破孩: 还有酱紫滴好事啊?



大学图书馆。

教授：元芳，这个，你又怎么看？

元芳：这个分数偏差信号被有意识地大幅弱化了，为的是消除过度的紧张与沮丧带来的负面效应，以使小瓶子尽快恢复信心和状态，减少不利的成绩误差。很多父母措施相反，结果孩子滑向更糟的境地。

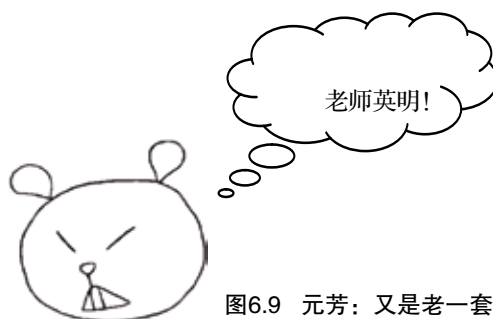


图6.9 元芳：又是老一套……

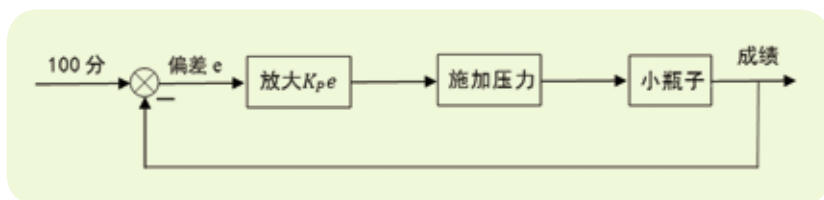


图6.7 小瓶子父母对成绩的比例控制策略

教授：这就是比例控制，也是生活中最常见的一种控制策略：为了达到某个目的，我们通常会将某些当前的偏差征兆或信号根据情况按一定比例放大强调或缩小弱化，以影响控制对象的行为方式、减少系统行为与控制目标的偏差。



图6.8 教授：元芳，明白了木有？

元芳：哦，明白了。关键是如何设定比例  $K_p$ 。设置不妥，偏差还会增大，甚至崩溃。

## II 积分控制 (I)

情景3：小学操场。

小破孩：小瓶子，去胖虎家玩不？

小瓶子：他总是那么讨厌。我才不要理他！

小破孩：他还行吧。你对他别那么凶就会好些的。那……你到哪里啊？

小瓶子：去找小熊，他从来都可好了。

小破孩：别太相信他哦。上次他就骗了你。

小瓶子：我妈妈说要看平时的一贯表现，我爸爸说要看主流。

小破孩：……



图6.10 小瓶子：小熊还是不错的

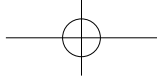


图6.10 小破孩：上次骗你，你还相信他！

元芳：成见不是往往会坏事的么？  
 教授：不能算是往往。成见，就是经验形成的规律印象。接触得多了，没有成见是不可能的。只是对成见的权重  $K_I$  不当，会让偏差发散。

### III 微分控制 (D)



图6.12 元芳：教授就是对我有成见……

大学图书馆。

教授：元芳，这次，你怎么看？

元芳：呵呵，是否可以说的是一种“存有成见的控制”？“总是很讨厌”和“从来都可好了”分别是胖虎和小熊相对于良态人际的历史偏差总和的印象，小瓶子以此来决定对胖虎和小熊的态度，以消除他们给她良态人际的期待可能带来的影响。小破孩劝她把拿捏态度的尺度调整一下，效果或许会更好。

教授：不错。生活中，除了考虑当前偏差信号、即看当前表现外，还需要在一定权重下参照过去偏差的积累、也即看过去的一贯表现，来决定对受控对象施加怎样的影响。这就是积分控制。可以说是一种基于成见的控制。



图6.13 教授：时间长了，怎么可能木有成见？幼稚……

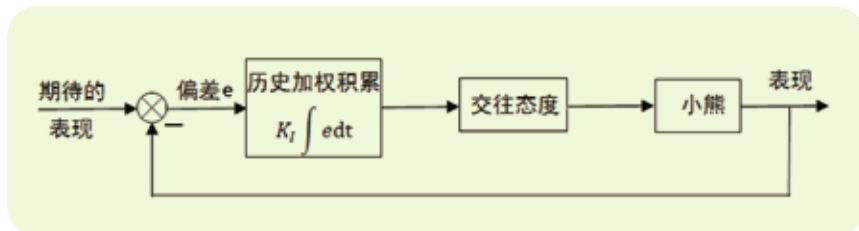


图6.11 小瓶子与小熊交往的积分控制策略

场景4：小学操场。

小破孩：小瓶子，又怎么了啦？成绩这么高，拉开第二名一大截。还这么不开心。啥意思嘛？

小瓶子：我爸爸说，我最近成绩在退步。这样下去不行。

小破孩：你爸爸真没意思。我爸爸说：我这次进步了！奖励了这个呢！

小瓶子：哦？不就才70多分



图6.12 小破孩：进步就是好~~



图6.13 小瓶子：肿摸可以酱紫哒？！

嘛……。

大学图书馆。

教授：元芳，这个呢？怎么个说法？

元芳：这个简单。看趋势嘛。偏差发展趋势不妙，自然要引起注意，而偏差发展趋势有起色，奖励一下也是正常的啊。

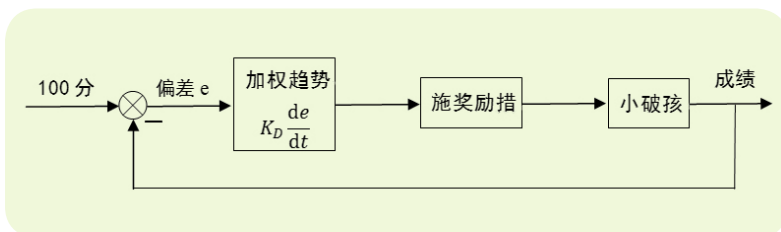


图6.14 小破孩的父母对他成绩的微分控制策略

教授：这就是微分控制。所谓不要囿于成见、也不要只看眼前、还要有发展的眼光，就是不光要积分和比例控制、还要做微分控制。这是日常生活中一切调整控制亘古不变的内涵。

元芳：老师，将这些控制权重参数设置成根据情况而变化的可以么？

教授：当然可以。这就是智能PID了：随着情况的变化自适应地调整参数。事实上，在日常中，人都是这样做的。

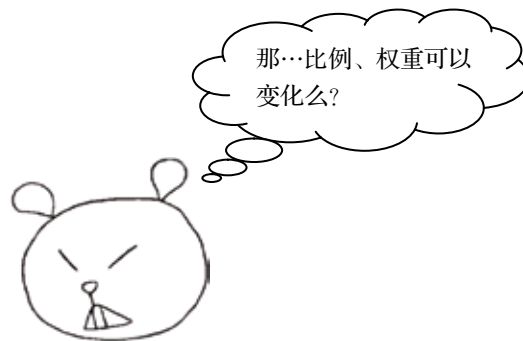


图6.15 元芳：好像课本上的比例、权重设定就不变了，不合理耶。

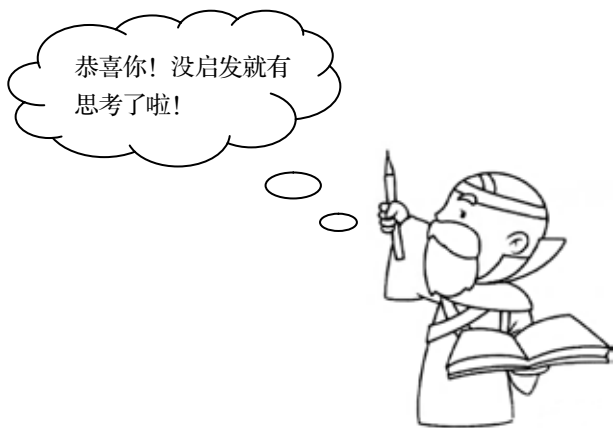
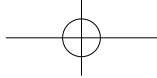


图6.15 教授：元芳，你！进！步！了！啊！

优化设计控制器的各类现代控制理论。无论怎样的控制理论，只要是反馈控制，就其本质就还是PID：依据现在的表现、历史的表现、发展的趋势，决定下一步的控制措施。

都在说PID万岁，PID万岁的有理！

**云中散人：**比例积分和微分（PID）控制是人类日常生活中处理事务最为经常、普遍和广泛使用的策略。我们常常说：对待一个人，要看他目前的表现、也要看他过去积累的业绩、还要有发展的眼光看他的发展趋势，才是正确的态度。这就是PID控制：人类生活经验的最深刻萃取。

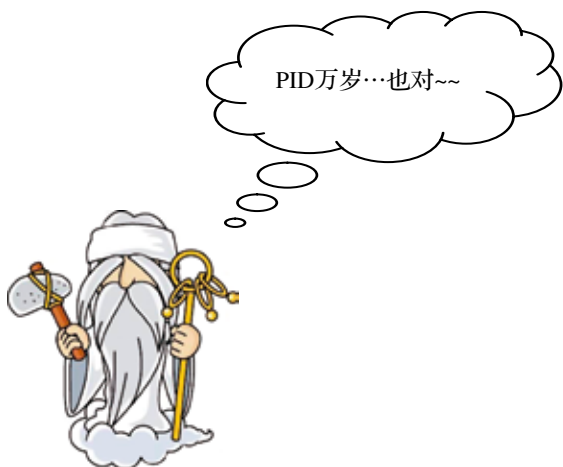


图6.16 云中散人：一部人类史，一部PID策略史。

可以毫不夸张地说：任何控制策略都是这三个策略的复合。当控制维度增高时，PID的权重参数优化方法遭遇了指数增长复杂性，因此有了

