

捏柿子：“更好控制的对象？” 与“控制系统一体化设计”

云中散人 南京理工大学自动化学院

一、寓言一则：捏柿子

森林里，熊大和熊二在玩古老的捏柿子游戏。

熊二（拿着柿子，苦恼状）：这个柿子，太难捏了，跟玉米棒子似的。该咋个捏法呢？（图1）

熊大（看着熊二，若有所思）：光头强，你们还能种出啥样的柿子？

光头强：你们需要啥样的呢？

熊二：……

熊大：你给点……昂……随便了啦，俺们先捏捏，再说。

光头强：……

熊大：怎么样，给个话！

光头强：捏不动，我们另给一个。捏不爽，不
换。

熊大：种植和筛选滴过程不对，俺们要参加进
去。俺们试捏、你们改良。

光头强：……



图1 熊二的苦恼



图2 要啥样的?

二、捏柿子与控制系统设计

寓言中，熊二就像是经典的控制设计师。他对受控对象是不做要求的^[1]。其信条是：控制，服务于对象、而非相反。拿来什么对象，就针对什么对象因地制宜地设计控制器（图3^[2]）。有问题，自己想办法克服，实在不行再说。

熊大就像是主张受控对象-控制器一体化设计的控制设计师。他注意到：如果对象设计不合适，就会很难设计出比较满意的控制器、甚至可能对象本身就不可控，因而必须重新设计^[3,4]。因此，控制器设计需提前介入受控对象的设计环节。方法就是将具体的控制器与受控对象互动设计，以整体优化控制性能（图4^[2]）。

光头强是系统总体设计部门负责人。他知道熊二的问题，也能理解熊大的要求。可他有自己的苦衷：受控对象的总体设计主要是实现基本功能，涉及的学科和需要协调的设计层面及部门众多（图5）。修改对象的结构或结构参数？那真可谓牵一发而动全身，更不要说复杂的质检和安监的论证程序了。因

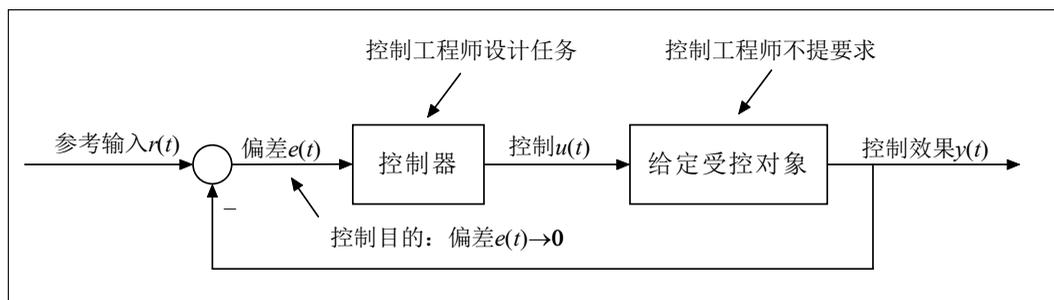


图3 经典控制工程师的设计理念

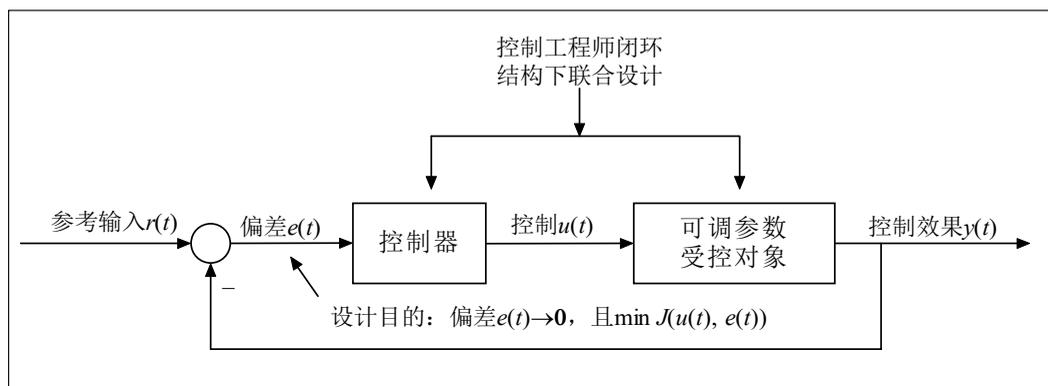


图4 对象-控制系统一体化设计思想

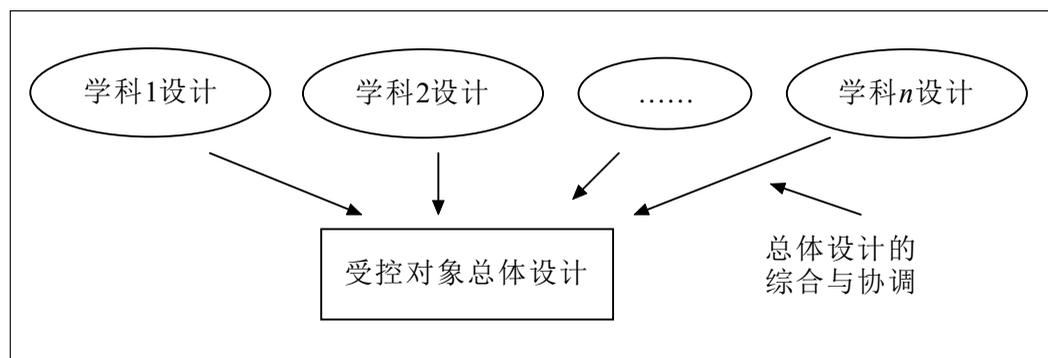


图5 系统总体设计

此，他的原则是：“如果控制不能实现功能，会改总体设计；如果只是为了提升控制性能，总体设计一般不会动。”

事实上，处于末端设计环节的控制器的具体设计要想参与处在初始基础设计环节的系统总体设计，工程可行性堪忧：不尽然都是设计体制不合理的缘故，更多的是总体设计的客观规律制约的结果。

三、寓言第二节：咋样的柿子更好捏哩？

熊大：咱到人家摊子、果园去，有啥捏啥，不行还要求改换、改良，是有点过分哦。

熊二：是啊，光头强也难啊：改种其它品种、修改种植方案，光他上面的那个李老板就很烦。最讨厌的还有那个懒惰势利的肥波、一毛不拔的小狸、目光短浅的萝卜头……都要同意才行。而且还有管果园的奇奇、看园子的涂涂、摘果子的毛毛、安全监督的蹦蹦……

熊大：那你说咋办呢？

熊二：其实，光头强说的也没错。俺们究竟想要啥样的柿子哩？熊大，你觉得，先不论咋个捏法，一般来说：怎样的柿子比较好捏哩？

熊大：哦……软点的……咋样？

熊二：嗯，好像是滴。不过，咋个是软？用

那些常见的捏法去捏，软点的捏起来真的都会更爽？可那该咋做哩？

熊大：这个啊，熊二，你先告诉俺咋个衡量软的程度哈。俺挑拣典型的捏法，得一样一样地试试，看是不是的确是这哈。

熊二：一样一样验证？哦，好麻烦哦……

熊大：没办法啊（图6）。

好，借助熊大和熊二的对话，现在问题有点清楚了。关键在于回答：“软”一点的受控对象更好控一点么？可一个受控对象什么叫做“软”？又怎么去度量“软”呢？能控度、还是信息熵^[4]？这是一个很难回答、但应该给出哪怕是部分答案的问题。

四、寓言第三季：柿子，挑软滴捏！

多年后某日，熊大熊二联袂来到光头强办事处。

熊二：强哥，来点软柿子，得这个软度的。

光头强：这个软度的，这个品种的柿子没有



图6 先得有个猜想，然后大量验证

啊。你看……这个软度呢，行不行？

熊二：熊大，你看呢？

熊大：能不能再软点？

光头强：那只有……这个了，没有更软的了。

熊二：好，就这个。熊大，走。到俺那去，看看这个柿子俺们该咋个捏法。

五、来个更软的柿子+这个柿子的最好捏法：新一体化设计思路

控制系统一体化设计是控制工程师提出的迫切需求。它的实质是希望系统总体设计阶段就能



图7 强哥，来个更软的。

考虑一下控制工程师的要求。至于将具体的控制器设计过程与系统总体设计联合互动，只是控制工程师从控制视角提出的一个建议性实现手段，并非控制系统一体化设计的唯一方式。因此可以说：只要达成“系统总体设计阶段就能考虑一下控制工程师的要求”的设计，都可称作是一种广义的“控制系统一体化设计”。就如寓言第二季中的解决方案（图8^[2]）：

图8的方案也说明了一个简单的道理：控制工程师要想介入总体设计，就应该转换身份。首先

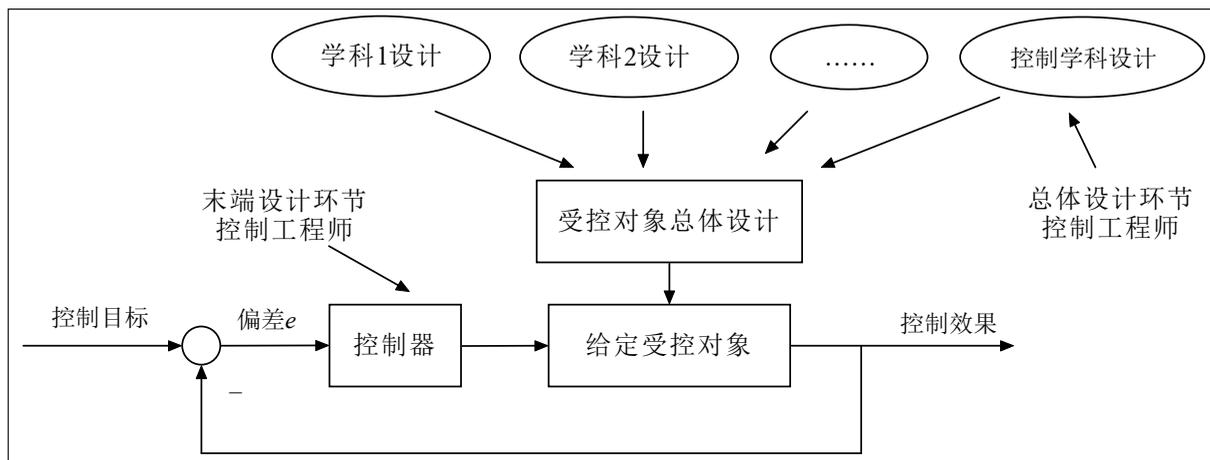


图8 保持对象-控制器分离设计经典原则的一体化设计

是总体设计师，其次才是控制工程师。总体设计师是尽量满足所有组分需求的总体设计师，不是专为控制服务的总体设计师（图9）。只有这样的一体化，才是更为可行的一体化。

六、一篇另类的“捏柿子代序”

下面转述的是一篇博士学位论文^[2]的“指导

教师代序”。之所以如此，实在是因为指导教师担心自己给学生的另类选题可能会耽误了辛辛苦苦、工作很扎实的学生。有时候，指导教师不成熟的标新立异，真的可能对学生不利。“捏柿子”理论的立论显然是极不成熟的。还好，尽管选题十分不成熟，也缺乏传统水准的严谨和准确，同事们还是予以了最强的鼓励和最大力度的支持。这里，谨向评审学位论文的同仁表示最诚挚的谢意！

代序

本文的问题很简单，就是提问：怎样的柿子更好捏？或者，怎样的柿子捏起来更爽？

由常识我们猜测：答案是“软”。于是有了“爽”的定义、有了候选“软度指标”的猜想及其在各种捏法下的各种验证。

之所以在这里、以这样的方式，给出这样一则个人风格的另类幽默，是因为我希望论文的主题不会被解读为：怎样的捏法捏起来更爽？或者怎样的柿子和捏法的搭配捏起来更爽？



图9 首先是总体设计师，其次才是控制工程师

这篇论文的题目或有失工学专业传统的精准性。这是我的问题，因为我想不到更好的题目。学生与导师的工作都是非常努力、非常专业的。

指导教师
2016年4月28日

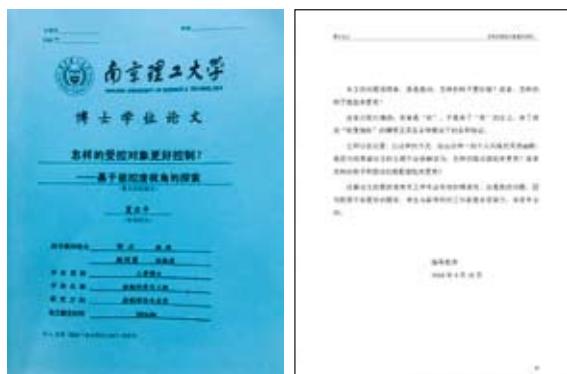


图10 代序

参考文献

- [1] 钱学森. 工程控制论, 上海: 戴汝为, 何善培译, 上海交通大学出版社, 2007.
- [2] 夏亚平, 怎样的受控对象更好控制? ——基于能控度视角的探索, 南京理工大学博士学位论文, 2016.
- [3] Soloway D I, Ouzts P J, Wolpert D H, et al. The Role of Guidance, Navigation, and Control in Hypersonic Vehicle Multidisciplinary Design and Optimization. AIAA Paper, 2009: 7329.
- [4] 张勇, 陆宇平, 刘燕斌等. 高超声速飞行器控制一体化设计. 航空动力学报, 2012, (12): 2724 ~ 2732.
- [5] 邹云, 夏亚平, 殷明慧, 蔡晨晓. 怎样的受控对象更好控制——一个基于能控度的分析与猜想. 中国科学: 信息科学, 2017, 47(1): 47-57.