

过程控制的拟人化观点*

任秀珍

(华侨大学科研处, 泉州 362011)

摘要 过程控制的动向是巧妙地应用专家系统与智能控制于系统设计, 其理论基础不是经典的控制和现代控制理论, 而是拟人化行为. 本文阐述了大量的新型过程系统很难用控制理论去分析, 但用拟人化行为却容易解释的拟人化观点.

关键词 拟人化行为, 过程控制, 系统设计

分类号 TP 273.1

早在1985年我们曾在文[1]中提出控制系统的拟人化观点, 继而又在系统学中进一步详述这一思想^[2,3]. 今天, 在过程控制中出现的大量新型控制系统, 如P-L控制系统、浮压控制系统、Smith预估补偿系统、相关调节系统、选择性控制系统等, 单纯按控制理论解释常得不到满意的解答. 但是, 按生态学中“生存竞争, 适应生存”的原则, 这些新型控制系统的设计方法就比较容易解释. 人与一般生物的一个重要区别, 不仅在于能适应环境还在于能改造环境. 过程控制拟人化的倾向十分明显^[4]. 一个最基本的闭环控制系统, 有类似于人感官部分的检测环节, 类似于人实施行为手脚的执行器环节和类似于人脑实行推理与运算决策的调节与控制环节. 过程控制中的P(比例)、I(积分)与D(微分)调节规律, 也完全仿造操作人员的操纵工艺过程的规律. 系统控制偏差大, 反向校正系统的行为动作与能量就大, P规律就是模仿人工粗调的控制方式, 即调节反应比例. 积分规律则是模仿人工缓慢仔细的操作方式, 只要控制偏差存在, 积分控制规律就会继续发生修改控制偏差的微量调节动作, 直至系统的偏差完全消失为止, 控制功能便随即消失. 微分规律是模仿人工操作的提前控制方式, 其目标是提前适量协调生产过程的物质传送平衡或能量平衡. 自从1945年PID模拟人工调节的规律以来, 至今已沿用了50年左右的时间. 这就是说, 在纳维发明火炮跟踪系统^[4], 并创立了控制理论的同时, 模仿人工控制的系统与装置亦已出现^[5]. 今天世界各地出现的许多不同用途的机器人, 都是典型的拟人化装置, 但是对于过程控制系统, 很少有人从拟人化的角度来进行分析. 我们认为, 过程控制系统的发展贯穿着两条线: 一条是在控制理论指导下, 开发的高鲁棒性与优化控制系统; 后一条是沿着拟人化方向, 应付各种复杂与多变的实用化系统.

1 新型系统的拟人化本质

1.1 恒操作频率系统

一个控制系统在失控之前, 总伴随着固有操作频率变化的先兆, 正象一个人生病时体温变

* 本文1994-01-13收到

化经常伴随脉搏频率的变化. 图1为维持系统操作频率恒定的温度控制系统结构方框图. 图中, $D(s)$ 为系统的调节器, $M(s)$ 为执行机构的调节阀, $G(s)$ 为被控制的温度对象, $H_\theta(s)$ 分别为温度检测系统(含滤波器)与 θ 控制系统的固有操作频率检测系统, $P(s)$ 为自适应装置, K_ω 为自适应装置的操作执行环节. 这种系统在一般温控系统(由 $D(s)$, $M(s)$, $G(s)$ 和 $H(s)$)组成并加上适应性系统即可构成. 被控对象因环境条件或设备老化(如同人体器官老化一样), 使得温控系统逐渐偏离最优调节状态. 加入 ω 恒值控制以后, 可使系统保持原有的最优调节状态. 一个系统的固有操作频率是系统正常运行的条件, 符合如下规律. 即

$$K_\omega D(j_\omega) M(j_\omega) G(j_\omega) H_\theta(j_\omega) + 1 = 0, \quad (1)$$

或

$$K_\omega D\left(\frac{2\pi}{T_i}\right) M\left(\frac{2\pi}{T_i}\right) G\left(\frac{2\pi}{T_i}\right) H_\theta\left(\frac{2\pi}{T_i}\right) = -1, \quad (2)$$

式中 T_i 为系统的固有操作周期, 调整 K_ω 可以保持 ω 恒值. 今天, 过程控制系统往往不再是单纯目标的控制, 而是多目标的控制. 就事论事只能治标, 而整体化有机联系控制可以治本. 这种拟人化的控制决策方法, 也见诸于模拟与逻辑信号叠加系统, 常规控制与安全超驰控制功能叠加系统等.

1.2 多功能多信息系统

泵与压气机是工业生产过程的心脏, 其输出压力如同人体的血压一样, 是一个过程运行正常与否的十分重要的指标. 假如运行不正常便会发生象人体心悸或气喘一样的喘振现象, 轻者造成整体过程机理的混乱, 重者则破坏设备(即器官). 喘振现象发生在如下的条件下: (a) 输出流量 Q 小于某一个下限值 Q_{\min} , 这个条件如同血液在血管中的阻力增加的危险值, 必须及时采取措施; (b) 泵或压气机出入口压力差 Δp 与入口压力 p_1 之比小于某一个运行模型⁽²⁾

$$\frac{\Delta p}{p_1} \leq C_1 \frac{p_2}{p_1} + C_2, \quad (3)$$

其中 p_2 为输出压力, C_1 与 C_2 为不同形式传轮设备的运行模型常数.

这种由三个被控制变量(p_1 , Q 和 $\frac{\Delta p}{p_1}$ 模型的特征变量)共同管理操纵一个回流执行机构, 这在习惯常规的系统是非常罕见的. 图2表示多功能系统组成的叠加原理方框图. 其中 $D_{p_1}(s)$, $D_Q(s)$ 和 $D_M(s)$, 分别表示 P 控制系统、 Q 控制系统和模型运行界限控制系统的调节器; $G_{p_1}(s)$, $G_Q(s)$ 和 $C_1 \frac{p_2}{p_1} + C$ 分别表示上述三个系统的控制对象特征, $M(s)$ 为执行器调节阀的特性模型, $H_{p_1}(s)$, $H_Q(s)$ 分别表示压力和流量的检测传送模型. 三个系统的控制作用是通过三输入高值选择器进行协调的. 系统中的三个调节器都采用抗积分饱和和外反馈PI调节器, 因此三个调节器在轮流闭环调节过程中, 在其断开的期间里, 其输出信号可被节制在 $I_0(s)$ 值附上, 保证必要时闭环能平稳进行. 高值选择器从三个调节器的输出信号中选择一个最必须的

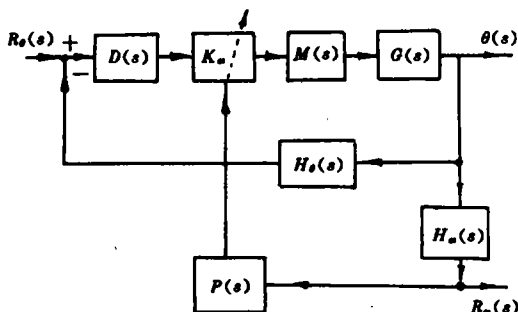


图1 具有恒定 ω 的温度控制系统

信号进行闭环控制. 这种主治一种状态, 兼照其他状态的系统, 如同人体治疗过程一样. 然而这种系统若用传统的控制理论很难设计出如此合适的系统.

1.3 循序渐进的适应性系统

循序渐进是人体适应环境维持新陈代谢的一种规律, 许多工业生产过程适应环境条件也有一个过程. 炼油或化工生成过程的精馏或萃取, 经常是在常压条件或恒压条件下进行的.

图3表示该装置的一般压力控制系统. 但从节能的观点看, 塔压越低其轻重组的分离就越容

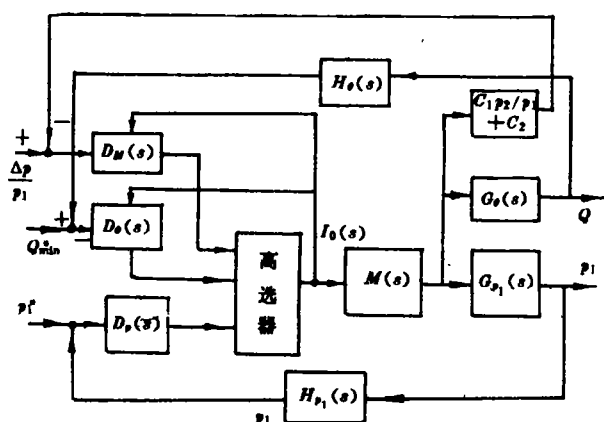


图2 多功能系统的叠加原理框图

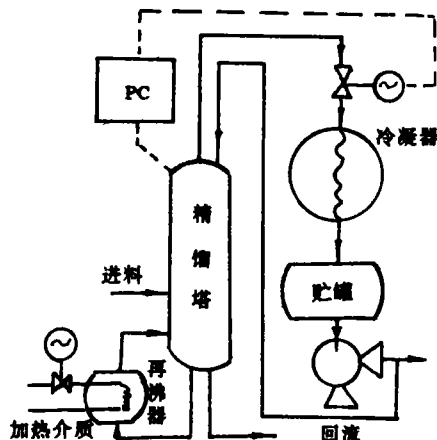


图3 精馏塔的一般塔压控制系统

易, 因此可以节省大量的加热能量. 近几年来提出一种浮压控制, 即塔压随最大冷凝能力而变.

这意味着取消塔压控制系统, 让该系统的调节阀始终开到最大. 但是取消塔压控制以后, 一旦天气突然变化, 冷凝能力突然增强会使塔压骤然下降, 导致精馏塔的液泛现象, 破坏了正常的生产过程, 如同人体突然受冷感冒, 受酷热中暑一样. 最好的控制方式是在外部环境条件突然变化时, 塔压能缓慢地从一个状态浮到另一个状态, 使内部的传热与传质过程有一个循序渐进的适应过程, 图4所示的浮压

控制系统就是按这种要求设计的. 式中 $P(s)$ 与 $f(s)$ 分别代表塔压信号与扰动信号; $G_0(s)$ 与 $G_f(s)$ 分别表示控制通道与干扰通道的对象特性; $M(s)$ 为执行器/调节阀特性; I 与 PI 分别为积分调节器与积分加比例作用的调节器. 根据 I 调节器的无余差特性, 不难得出

$$\lim_{t \rightarrow \infty} V(t) = \lim_{s \rightarrow 0} V(s) = V^*$$

即阀位开度在稳态时的数值总是不变的(V^* 一般设置为90%的开度). $P(s)$ 由 $f(s)$ 引起的变化可近似于

$$\frac{P(s)}{f(s)} \approx \frac{K_0(T_{i2}s + 1)}{s^2 + 2\xi W_n s + W_n^2} \quad (4)$$

式中 K_0 , T_{i2} , ξ 和 W_n 都是系统结构的参数. 当参数选择合适时, $\xi \geq 85$, 使系统响应呈现缓慢

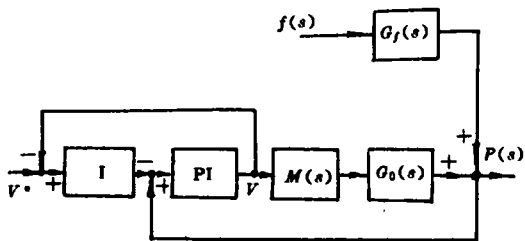


图4 浮压控制系统

的单调响应。这种环境适应性,如同人体在长跑过程中呼吸与心率都加速从一个稳态值变化到另一个稳态值,运动结束后,呼吸与心率又逐渐返回到正常的状态。

上述三个系统的例子,说明突破传统控制理论框框,采用类人化控制方法是大量新型工业过程控制系统产生的重要因素。

2 智能化与专家系统

过程控制系统拟人化的一个方向是专家智能化。控制系统要实现的功能开始突破仿生或模拟人体生理机能和人力操作方式,向着更深层次发展。早在50年代末,维纳在其控制论中就提出系统的自学习、自组织和自修理的功能与构思,可惜一直未能实现。80年代以后,微处理器在自动化仪表中得到广泛应用,使记忆存储、逻辑运算和数值计算显得容易实现。因此,国内外许多仪表厂家不断开发出自整定PID调节器,如美国厂家的EXACT调节器,日本的MICREX调节器等。由此人们开始发觉,调节器仅单纯模仿人工操作的粗调、细调与提前调的P, I与D三种动作是不够的,还应有自动根据环境条件与对象特征参数变化,及时修改PID三个仪表参数的功能。这就是说,有一般人工的经验还无法控制好一个生产过程,必须有专家的经验并总结在仪表装置内,如同一部手册随时可以翻阅和查找数据,并根据查阅的结果和数据来修改PID参数,形成控制输出决策。这种系统为PID智能专家调节器,其结构原理如图5所示。图中PID为参数可调整的PID调节模块, $M(s)$ 和 $G(s)$

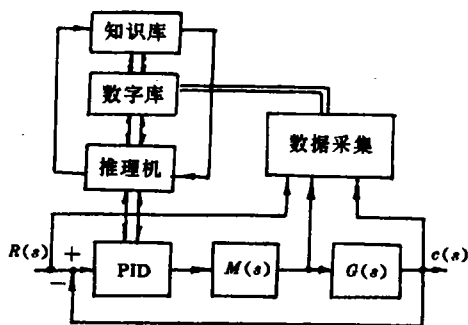


图5 智能PID专家系统的组成方框图

分别为执行器和调节阀与对象的特性。数据采集是对有关的系统状态进行检测与传输的部件。专家的经验存放在知识库中,采集到的数据存放在数字库中,推理机用于产生修改PID参数的决策。因此无论在什么工况和状态下,系统的运行品质都是最优或次最优的。模仿最有经验的专家操作系统,将拟人化控制系统提高到一个相当的水平。这与纯粹保证某种特定条件系统最优的设计方法,无疑是一大进步。

人的一个重要特点是具有学习和总结经验的能力。在数字库与知识库中积累了大量的成功与失败的经验,成功的经验需要不断升华。例如PID参数整定,Hrones方法^[1]将对象特性近似于 $G(s) = Ke^{-\tau}/(Ts+1)$,其整定规则 $K_P = 0.6T/K_0\tau$, $T_i = T$, $T_d = 0.5\tau$;Reswick和Chien的方法^[2],对象近似方法相同,但整定参数却有很大差别, $K_P = 0.95T/K_0\tau$, $T_i = 1.35T$, $T_d = 0.47\tau$ 。按照控制理论的频率法,优化准则如下

过程控制:增益裕量3 dB,相位裕量20°;随动系统:增益裕量12 dB,相位裕量40°。

按照M圆方法,Brown提出 $M_P = 1.1 \sim 1.5$,高桥提出 $M_P = 1.2 \sim 1.4$ ^[3]。这众多的方法均没有考虑PID模式的变化,而近代PID模式已由原来的运算函数 $K_P(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$,演变成操作比较平缓的函数 $K_P(1 + \frac{1}{T_i s})(T_d s + 1/CT_d s + 1)$,其中 $\frac{1}{20} < C < \frac{1}{6}$ 。因此可以说,没有自

学习,即使采用了微机化的先进控制装置,也不能称之为智能。

自学习最简单的方法可采用反射点方法。根据控制目的制定一个目标函数为

$$F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5)$$

在某一个状态 $X_i = [x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}]$, 可得到一个目标函数值 $F(x_i)$ 。当控制目标为损失函数最小时,即偏差面积或能量消耗最小,最优的状态 x^* 应该满足^[6]

$$F(X^*) < F(X_i), X_i \neq X^*. \quad (6)$$

因此,一次试验选择三个状态点,并计算 $F(X_1)$, $F(X_2)$ 和 $F(X_3)$ 以去掉最差的点。然后沿着最差点的相反方向,等距离地选择一个新试验点,同原来保留的点进行比较。这样,不断去掉最差的点,不断形成新的试验点,最终可以找到一个最好的状态点。这种方法符合人的思维决策过程,如果一个人在事业上是成功的,他将会沿着成功的道路继续走下去;如果是失败,则逆其道而行之。这样的思维决策过程就成功地被应用到过程控制上,人们长期寻找的自整定 PID 调节器终于得到实现。

3 结束语

或许不久的将来,自动化仪表界与过程控制系统的设计者将会发现,他们致力于应用频域法、根轨迹和状态空间方法,很难在自控水平已经很高的生产过程自动化系统找到继续发挥作用的余地,而拟人化决策方法则是值得深入研究和发展的。我们认为,未来高水平的生产过程自动化的希望便在于此。

参 考 文 献

- 1 任秀珍,王永初. 工业自动化仪表与系统问答 200 例. 北京:原子能出版社,1985. 235~370
- 2 任秀珍,王永初. 节能控制系统. 北京:中国石化出版社,1994. 150~200
- 3 王永初,任秀珍. 自动化系统设计的系统学. 重庆:重庆出版社,1989. 450~508
- 4 维 纳. 控制论. 北京:科学出版社,1956. 25~66
- 5 钱学森,宋 健. 工程控制论. 北京:科学出版社,1980. 120~200
- 6 Asimov I, Frankel K A. Robots. New York, Crown Books, 1988. 236~338

The Viewpoint of Anthropomorphism in Process Control

Ren Xiuzhen

(Sci. Res. Adm. Off., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A new trend of process control lies in the ingenious application of expert system and intelligent control to the system design, underlying which is anthropomorphism instead of classical and modern control theory. A lot of new typed process systems can hardly be analysed by control theory but they are easily explained by anthropomorphic behavior.

Keywords anthropomorphic behavior, process control, systems design