

智能阀门定位器 PID 自整定方案评价设计

孟 绪,樊泽明,吕利刚

(西北工业大学 自动化学院,陕西 西安 710072)

摘要: 以智能阀门为被控对象,以经典 Z-N 法、CHR 法、IMC 法及 Cohen 法为 PID 自整定的方法,通过萃取多种评价指标,用熵的方法来确定评价指标的权重,对上述各种方法进行评价。获得的权重具有动态化、客观化以及科学化等特点。将熵确定权重的方法应用于智能阀门定位器 PID 自整定的评价中,得到了科学、合理的评价结果,满足了工业需求。

关键词: 智能阀门定位器;熵权;PID 自整定

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)11-0093-03

The evaluation of PID auto-turning on positioner of intelligent valve

MENG Xu, FAN Ze Ming, LY Li Gang

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Taking the intelligent valve as controlled object, we can use various PID Auto-turning methods, such as Z-N, CHR, Cohen-Coon and IMC method, to evaluate the PID auto-tuning results. Extract evaluation indexes and use the entropy to get the weight of the indexes. Then evaluate these PID auto-tuning methods. The result of the weight is dynamic, objective and scientific. Using the method of entropy weight is reasonable and satisfy the needs of industrial applications.

Key words: positioner of intelligent valve; entropy weight; PID auto-tuning

智能阀门定位器因为自身控制的高可靠性、高精度等特点,已经被越来越多地运用于工业控制领域中。其控制效果是直接由所选用的 PID 自整定方法决定的,不同的方法会使控制效果有很大的差异。到目前为止,对智能阀门定位器 PID 自整定效果还没有统一的评价方案。本文运用熵权作为指标的权重,设计了针对智能阀门定位器的评价方案。该方案避免了传统评价方案的诸多不利影响^[5],如:主观因素影响过大;评价标准欠规范,缺乏科学的理论依据;评价标准不够详细和准确等^[5]。本论文提出的熵权的方案操作简单,逻辑性强。为智能阀门定位器 PID 整定效果的评价提供了一种科学公正的新方法,并且具有广阔的发展前景。

1 熵权的决策过程

对于方案评估问题,在只有判断矩阵而没有专家权重的情况下,可以采用熵权决策法。主要过程如下^[4]:

(1)确定被评估的方案有 n 个,每个评估方案的评价指标有 m 个,它们是综合考虑各相关指标得出的较合理的方案。

(2)确定多对象关于多指标的非模糊评价矩阵 R' 。

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \cdots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \cdots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \cdots & r'_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

然后,对非模糊矩阵 R' 进行标准化,得到矩阵 R 。标准化过程如下式所示:

$$r_{ij} = \frac{r'_{ij} - \min_j r'_{ij}}{\max_j r'_{ij} - \min_j r'_{ij}} \quad (i \in m, j \in n) \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_j r'_{ij} - r'_{ij}}{\max_j r'_{ij} - \min_j r'_{ij}} \quad (i \in m, j \in n) \quad (3)$$

式(2)为效益型指标,式(3)为成本型指标。当评价指标大者为优时选择式(2)为标准化公式,当评价指标小者为优时选择式(3)为标准化公式。矩阵中 r_{ij} 称为第 j 个评价对象在指标之上的值,且 $r_{ij} \in [0, 1]$ 。

(3)计算各评价指标的熵及熵权。在 n 个评价指标、 m 个被评价对象的评估问题中,第 i 个评价指标的熵

(H)的定义为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (4)$$

式中, $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$, $k = \frac{1}{\ln n}$, 并规定当 $f_{ij}=0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。

第 i 个评价指标的熵权(ω_i)被定义为:

$$\omega_i = \frac{1-H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (5)$$

(4)对矩阵 R 加熵权 ω_i 进行规格化, 得到属性矩阵 B :

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix}$$

其中 $b_{ij} = \omega_i \times r_{ij}$ 。

(5)求理想点。

$P = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$ 。最大理想点: $\dot{P}_i = \max(b_{ij} | j=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m)$, 最小理想点 $\ddot{P}_i = (0, 0, 0 \dots 0)$ 。

理想点的确定要因被评价对象的不同而异。当评价指标大者为优时, 则选择最大理想点作为理想点; 反之, 则选择最小理想点作为理想点。

(6)分别计算被评价对象到理想点的距离。具体算法如式(6):

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (b_{ij} - P_j)^2}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

2 基于熵权的智能阀门定位器 PID 自整定评价方案

本文选择经典 Z-N 法、CHR 法、Cohen-Coon 法、IMC 法^[1]为智能阀门定位器 PID 自整定的方法。也就是说, 本论文选择这 4 种方法作为评价对象。同时本论文选择系统的超调量 $\delta\%$ 、上升时间 t_r 、峰值时间 t_p 、调节时间 t_s 、震荡次数 N 及受到阶跃信号的干扰以后的回复时间 t_0 这 6 个系统的指标为评价指标。然后萃取各个评价指标的数据。这些指标能直观地反映智能阀门定位器的控制效果。本论文通过仿真得到系统的阶跃响应曲线, 对曲线进行分析以萃取评价指标的数据。其过程主要分为以下 3 部分:

(1)被控对象的数学模型估计。由经典 Z-N 法^[2]可以测得智能阀门定位器系统的被控对象近似为一阶惯性加延迟环节, 即:

$$G_0(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{Ts+1}$$

同时可以测得式中的 3 个参数 $T=3.16, K=2.8, \tau=1.8$ 。

(2)PID 控制器数学表达式。

将 $T=3.16, K=2.8, \tau=1.8$ 带入 4 种 PID 自整定算法的计算公式^[3]。公式如表 1 所示。

由表 1 的公式, 可以计算出 K_p, T_i, T_d 的数值, 进而

表 1 4 种 PID 自整定方法的参数计算公式

	K_p	T_i	T_d
经典 Z-N 法	$\frac{0.5\tau T - TL}{T_i}$	2τ	$\frac{\tau}{2}$
CHR 法	$\frac{0.6T}{K\tau}$	τ	τ
Cohen-Coon 法	$\frac{1.35T(1+0.18\tau)}{K\tau T}$	$\frac{(0.5\tau+2.5T)\tau}{(0.61\tau+T)}$	$\frac{0.37\tau T}{(0.19\tau+T)}$
IMC 法	$\frac{T+0.5\tau-L}{K(\tau+\varepsilon)}$	$T+0.5\tau-L$	$\frac{0.5\tau T - TL}{T_i}$

注: IMC 法中参数 $\varepsilon=0.8\tau, L=0.5\varepsilon\tau/(\varepsilon+\tau)$ ^[6]

确定 PID 控制器的数学表达式。

(3)数据萃取。得到被控对象的数学模型和 PID 控制器的数学表达式后就可以得到智能阀门定位器系统的开环传递函数, 然后引入单位负反馈对系统进行仿真^[7]。其中输入信号在第 50 个采样点出给一个 0.1 倍的阶跃干扰信号, 图 1 分别是 4 种方法得到的阶跃响应曲线。

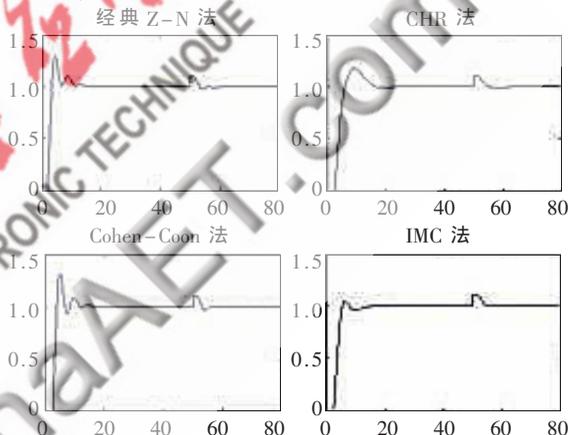


图 1 4 种 PID 自整定方法对应的阶跃响应曲线

对曲线进行分析可以分别得到 4 个评价对象对应的评价指标的数据, 如表 2 所示:

表 2 6 种评价指标的数据

	经典 Z-N 法	CHR 法	Cohen-Coon 法	IMC 法
$\delta\%$	25.582	17.077	31.362	3.345
t_r	1.260	2.160	1.200	2.210
t_p	5.330	9.280	5.260	6.670
t_s	11.390	15.100	11.400	13.350
N	3.000	2.000	4.000	2.000
t_0	10.390	14.100	10.400	12.350

将上表中的数据作为非模糊评价矩阵 R' 的元素, 组成 6 行 4 列的矩阵, 即:

$$R' = \begin{bmatrix} 25.582 & 17.077 & 31.362 & 3.345 \\ 1.260 & 2.160 & 1.200 & 2.210 \\ 5.330 & 9.280 & 5.260 & 6.670 \\ 11.390 & 15.100 & 11.400 & 13.35 \\ 3.000 & 2.000 & 4.000 & 2.000 \\ 10.390 & 14.100 & 10.400 & 12.350 \end{bmatrix}$$

根据熵权决策步骤,将 R 标准化。因为评价指标小者为优,所以选择式(3)作为标准化公式。得到标准化后的矩阵 R ,即:

$$R = \begin{bmatrix} 0.794 & 0.491 & 1.000 & 0 \\ 0.043 & 1.000 & 0 & 0.716 \\ 0.017 & 1.000 & 0 & 0.351 \\ 0 & 1.000 & 0.003 & 0.528 \\ 0.500 & 0 & 1.000 & 0 \\ 0 & 1.000 & 0.003 & 0.528 \end{bmatrix}$$

根据 R 的元素,计算各指标的熵及熵权。根据式(4)、(5)可得表3。

表3 各指标的熵及熵权

	$\delta\%$	tr	tp	ts	N	t_0
H	0.765	0.560	0.457	0.474	0.459	0.474
ω	0.084	0.156	0.193	0.187	0.192	0.187

对标准化后的矩阵 R 进行加熵权规格化,得到矩阵 B :

$$B = \begin{bmatrix} 0.606 & 0.375 & 0.764 & 0 \\ 0.024 & 0.560 & 0 & 0.401 \\ 0.008 & 0.560 & 0 & 0.160 \\ 0 & 0.474 & 0.001 & 0.250 \\ 0.230 & 0 & 0.459 & 0 \\ 0 & 0.474 & 0.001 & 0.250 \end{bmatrix}$$

得到矩阵 B 后,就要选择理想点以算取评价对象到理想点的距离。因为本论文的评价指标小者为优^[5],所以选择 $P_i=(0,0,0,0\cdots 0)$ 作为理想点。评价对象到理想点的距离 D 可由式(6)计算得出,具体数据见表4。

由于到理想点距离小者为优,故IMC法在几种方法的比较中胜出。IMC法在智能阀门定位器中的应用,可以很好地解决其超调量过大、振荡次数过多的不利因素,同时保持了良好的鲁棒性。故此法是一种可取的方法。

本论文以智能阀门定位器为平台,通过估计被控对

表4 各评价对象到理想点的距离

	经典 Z-N 法	CHR 法	Cohen-Coon 法	IMC 法
D	0.648 9	1.054 4	0.891 4	0.558 6

象的数学模型,确定 PID 控制器的数学表达式,仿真得到响应曲线,分析响应曲线,萃取评价指标的数据,然后利用熵权决策得到最优方案。为智能阀门定位器 PID 自整定效果的评价提供了一种新的方案。本文给出了方案评估的熵权评价方法,可以在只有评价矩阵没有专家权重的情况下,确定出可信度较高的评价方案,同时具有较强的操作性,有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 刘金琨.先进 PID 控制及 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 陶永华.新型 PID 控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [3] 徐峰,李东海,薛亚丽.基于 ITAE 指标的 PID 参数整定方法比较研究.中国电机工程学报[J].2003,23(8):206-210.
- [4] 王兆红,詹伟,肖冬荣.熵权优化的多指标动态权重决策法[J].统计与决策,2008(8):158-160.
- [5] 金荣.基于熵权多目标决策的保障性评价方法研究[J].空军工程大学学报,2007,8(3):56-59.
- [6] 肖术骏,陶睿,王秀,等.IMC-PID 在水厂出水浊度控制中的仿真研究[J].自动化及仪表,2009(1).
- [7] ALFARO V M. PID controllers' fragility [J]. ISA Transactions, 2007,46(4):555-559.

(收稿日期:2009-12-08)

作者简介:

孟绪,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:检测技术、自动控制。

樊泽明,男,1972年生,副教授,博士后,主要研究方向:机电测控系统、机器人控制、现场总线技术等。