

研究论文

一种新型模糊液位控制及其应用

甄新平, 李全善, 魏 环, 赵 众, 潘立登
(北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 在连续生产过程中, 工艺上通过设立缓冲容器来解决前后工序之间的物料量突变, 以确保生产的平稳性, 针对这类容器的液位控制, 常规 PID 定值控制已满足不了上述要求。为解决这个问题, 以长期现场实践为基础, 根据操作人员的思维特性, 提出了一种基于模糊控制和常规控制相结合的液位区域控制方法。该方法以液位的上下限和变化量作为输入模糊量化依据, 改变了传统输入模糊量化方法, 同时对于模糊输出量到控制输出采用新的转换方法, 使模糊输出离散量转化为希望调节的液位量。为提高控制精确度, 在实际控制输出与希望调节偏差较大时, 增加了输出校正环节以减少输出误差。这种方法允许液位在给定的高低限范围内波动, 以保证送出的物料缓慢平稳变化; 只有液位超出高低限时, 或液位在正常范围内, 并且液位变化量超过给定阈值时才进行调节, 以确保维持下游工序的负荷平稳。实际应用结果验证了这种方法的有效性。

关键词: 液位控制; 模糊控制; 区域控制; 自校正

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157 (2008) 07-1615-05

Novel fuzzy control for liquid level and its application

ZHEN Xinping, LI Quanshan, WEI Huan, ZHAO Zhong, PAN Lideng

(Institute of Automation, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Considering the stability of production and the balance of load the process requires that the materiel quantity should change slowly or be kept unchanged. It can be solved by controlling the liquid level of buffer container. However, the classical PID method cannot control the level of the horizontal container and the processes with phase change and disturbances. Based on practical experience a zone control method combined with fuzzy control and classical control was proposed. This method took the high limit, low limit and changing value as the basis of the input fuzzy values. It changed the classical fuzzy methods and used a new strategy to transform the fuzzy outputs and the control outputs which transformed the fuzzy outputs to the expected level values. A tuning output term was added to enhance the control accuracy when considering large deviation between practical outputs and expected outputs. This control method allowed the liquid level to fluctuate within the set range, and guaranteed a slow and stable change of materiel quantity. When the liquid level went beyond the set fluctuation range or the variable liquid level exceeded the set point, it was adjusted to ensure the stable load of the downstream unit. A practical application proved the effectiveness of the zone control method.

Key words: liquid level control; fuzzy control; zone control; self-tuning

2008-04-15 收到初稿, 2008-04-30 收到修改稿。

联系人: 潘立登。第一作者: 甄新平 (1966—), 男, 博士研究生。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60774080)。

Received date: 2008-04-15.

Corresponding author: Prof. PAN Lideng. E-mail: panld@mail.buct.edu.cn

Foundation item: supported by the National Natural Science Foundation of China (60774080).

引 言

在流程工业生产中，维持生产的平稳性是获取经济效益的基本要求，而维持生产的平稳性，首要的一点是要保持前后设备之间的物料量尽可能地缓慢变化或不变化，但实际生产过程中，工艺特性很难满足这种要求，于是在工艺设计过程中，使用缓冲容器的方法缓解这个问题，这样缓冲容器的液位控制就成了解决问题的关键。

在大多数生产过程中，为便于操作与安装，许多容器被设计成椭圆卧式容器，但生产控制中的测量是其绝对高度；另外，一些过程存在相变和诸多干扰，很难用模型来描述，因此这类过程可视为一个典型的时变、非线性、多干扰的复杂系统，对于这样的过程使用常规 PID 控制已满足不了要求。针对上述现象，众多学者基于先进控制理论开展了液位先进控制方法的研究，如基于混沌运动的小脑模型方法^[1]、基于模糊逻辑的方法^[2-8]、基于神经网络的方法^[9]、基于模型预测控制的方法^[10-13]、基于质量平衡的方法^[14]和基于二自由度的方法^[15]等。可以发现，大多数文献仍为定值控制，但定值不能满足物料量缓慢变化的要求。本文在长期现场实践的基础上，利用缓冲容器允许一定范围变化的特性，开发了一种以模糊控制和常规控制相结合来实现液位区域控制的方法。这种方法根据操作人员的思维特性，通过改进输入输出的量化方法来实现液位的区域控制，使液位在给定的高低限范围内波动，以保证送出的物料缓慢平稳变化；当液位超出高限或者低于低限时，通过调节出口阀开度使液位回到正常的操作范围；当液位回到正常范围时，只有液位变化量超过给定阈值时才进行调节，以确保下游工序的负荷平稳。该方法已在中石油某催化裂化装置上成功运行，长期的投运结果验证了这种方

法的有效性。

1 液位区域控制器结构

液位区域控制根据当前周期液位所在区域和液位变化量，计算出当前控制周期的模糊输入量，根据模糊决策获取模糊输出，执行反模糊化获取希望的调节量，然后加上校正补偿量作为本控制周期的总希望调节量，经比例计算获取控制输出量送往调节阀或流量控制回路。其控制结构见图 1。图中 R_H 和 R_L 分别为液位的高低限， T_H 为液位变化的阈值， E_C 为液位变化量， E_F 为当前控制周期的模糊输出量， E_R 为上一控制周期的液位实际变化量， E_P 为校正补偿量， U 为控制输出， PV 为液位测量值。

控制器通过测量值处理，计算出液位变化量和上一控制周期的实际调节量，然后分别进行模糊运算处理和校正补偿计算获得总希望调节量，经比例运算获取总的输出量送到控制对象上。其中的校正补偿借鉴于预测控制的反馈校正，校正补偿模块根据上一次的希望调节量与实际调节量决定是否对当前调节量进行补偿校正，以弥补实际调节的不足。同时为确保控制器能实际应用，在比例调节部分增加总希望调节量的上下限约束，以防控制器在一个控制周期内输出过大。

2 模糊控制器设计

从操作人员的思维特性可知，当看到液位不断上升时，将通过调节出口阀开度以增加出料量，同样，当看到液位不断下降时，就会通过调节出口阀开度以减少出料量。从这种思维方式可推断出，操作人员判断液位调节的依据是液位的高低限和变化量，因此本文提出的液位区域控制策略以液位的上下限和变化量作为输入模糊量化依据，同时对

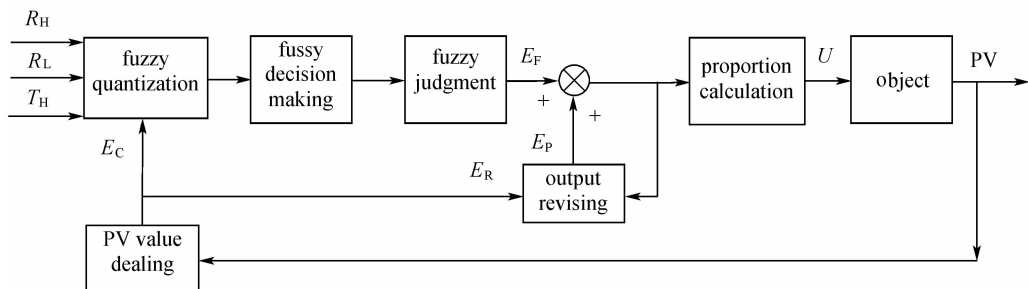


图 1 液位区域控制结构图

Fig. 1 Structure of level zone control

于模糊输出量到控制输出采用新的转换方法，使模糊输出离散量转化为希望调节的液位量。为提高控制精确度，在实际控制输出与希望调节偏差较大时，增加了输出校正环节以减少输出误差。

2.1 操作人员的判断控制策略

液位区域控制以给定的高低限将液位分为平稳运行区和界外区两个区域，平稳运行区是高低限范围内的液位区，平稳区以外的区域为界外区。下面以出罐液位控制为例来描述操作人员的判断控制策略，当液位高时，开大阀门以降低液位，反之亦然。具体策略如下。

- (1) 当液位位于界外区且大于高限时，则增加阀门开度以降低液位，超过高限越多，阀门开度越大。
- (2) 当液位位于界外区且低于低限时，减少阀门开度以升高液位，液位越低，阀门开度越小。
- (3) 当液位在平稳区时，液位的变化量超过给定值时，如果是正变化，则增加阀门，否则减少阀门。
- (4) 当液位在平稳区时，液位的变化量小于给定值时，不做调节，以保持送出物料平稳。

2.2 输入量的模糊量化

为减小算法的复杂度，本文对量化论域进行了简化，给出了基于液位上下限和变化量的模糊量化方法。简化的模糊控制器是一个单输入模糊控制器，以液位的变化量和高低限为基准把基本论域中的连续量变成量化论域中的离散量。输入语言变量 E 模糊词集取为负大 (NB)、负中 (NM)、零 (ZO)、正中 (PM)、正大 (PB)，对应的模糊子集记为 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 和 E_5 。量化论域取为

$$X = \{-2, -1, 0, 1, 2\} \quad (1)$$

基本论域中的连续量变成量化论域中的离散量见表 1，输入语言变量 E 的赋值表见表 2。

表 1 输入连续量至量化论域离散量变换表
Table 1 Transform table of input variable

Liquid level	Increment	Quantificational field
out of limit and larger than high limit		2
in limit	larger than threshold	1
in limit	in threshold	0
in limit	smaller than threshold	-1
out of limit and smaller than low limit		-2

表 2 输入语言变量 E 的赋值表
Table 2 Evaluating table of input variable E

Fuzzy variable	Domain				
	-2	-1	0	1	2
NB	1	0	0	0	0
NM	0	1	0	0	0
ZO	0	0	1	0	0
PM	0	0	0	1	0
PB	0	0	0	0	1

2.3 输出量的模糊量化与最终控制输出

输出语言变量 U 的量化论域取为

$$U = \{-2, -1, 0, 1, 2\} \quad (2)$$

其中，负值表示减小阀门。词集取为负大 (NB)、负中 (NM)、零 (ZO)、正中 (PM)、正大 (PB)，对应的模糊子集记为 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 和 U_5 。为便于操作，并借鉴传统控制的输出方法，从输出量化论域到最终控制输出采用希望的液位变化量作为输出模糊的输出。输出语言变量 U 的赋值表见表 3，输出量化论域到最终输出变换的方法见表 4。

表 3 输出语言变量 U 的赋值表

Table 3 Evaluating table of output variable U

Fuzzy variable	Domain				
	-2	-1	0	1	2
NB	1	0	0	0	0
NM	0	1	0	0	0
ZO	0	0	1	0	0
PM	0	0	0	1	0
PB	0	0	0	0	1

表 4 输出量化论域至最终控制输出变换表
Table 4 Transform table of output variable

Quantificational field	Output
2	PV-R _H
1	E _C
0	0
-1	E _C
-2	PV-R _L

2.4 模糊控制规则与控制表的制定

由操作人员的操作策略可得到模糊控制规则表，如表 5 所示。遍取量化输入的所有情况，计算出每个输入所对应的输出，使用最大隶属度法，便可得到模糊控制表，如表 6 所示。

表 5 模糊控制规则表

Table 5 Rule table of fuzzy control

If	Then
E_1	U_5
E_2	U_4
E_3	U_3
E_4	U_2
E_5	U_1

表 6 模糊控制表

Table 6 Table of fuzzy control

Input	Output
-2	2
-1	1
0	0
1	-1
2	-2

3 实际应用效果

液位区域控制策略的实际运行的效果，在中石油某炼油厂催化裂化装置上进行了现场检验。图 2、图 3 的两个液位控制系统是经过其他环节串联的储罐，前一个储罐的进出口流量远大于后一个储罐的进出口流量，前一个储罐控制稍不及时，后一个储罐就会溢出。在实施液位区域控制前，两个液位一直控制不好，无法投自动，只能设专人看管，且劳动强度很大。图 2 和图 3 给出了液位区域控制投运前后运行的对比曲线。

4 结 论

(1) 针对常规 PID 难于实现输出变化缓慢的液位控制，液位区域控制实现了液位在一定范围内波动时不进行调节，当超出范围后进行缓慢调节，确保了后续系统的稳定操作。

(2) 液位区域控制过程与操作人员的操作思路一致，不需要掌握模糊控制的知识，操作人员只需给定液位的高低限和液位变化阈值，操作非常方便。

(3) 液位区域控制在实现上只需调节一个参数——比例系数，这一系数只要参考前几次的调节数据，一般的系统维护人员就可容易地进行设定。

(4) 液位区域控制实施后，前一工序的稳定性

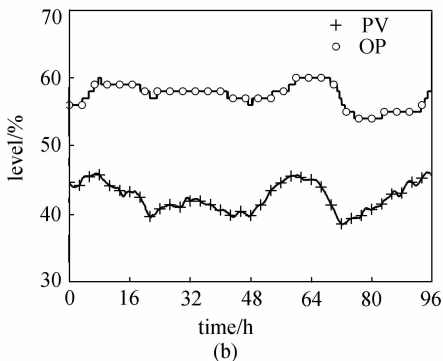
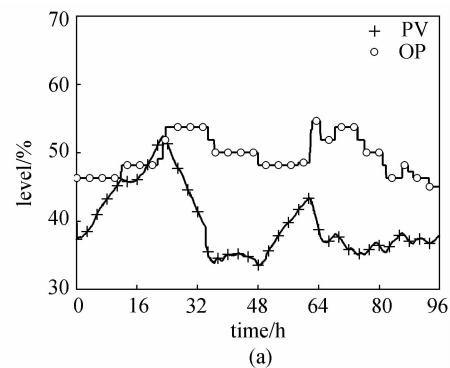


图 2 LIC260 实施区域控制前后结果对比
Fig. 2 Compared results of LIC260 before and after applying zone control

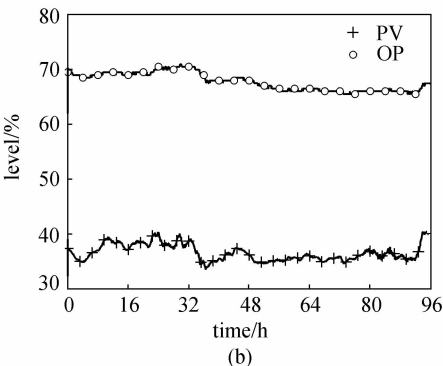
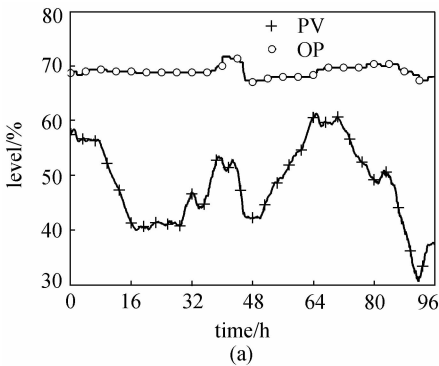


图 3 LIC302 实施区域控制前后结果对比
Fig. 3 Compared results of LIC302 before and after applying zone control

大大提高, 减少了后继工序的操作频次, 进而减小操作人员的劳动强度。装置的平稳性得到了显著提高, 从而提高了装置的经济效益。

References

- [1] Han Junhai (韩军海), Wu Yunjie (吴云洁). Control of chaotic model for liquid level system. *Computer Simulation* (计算机仿真), 2007, **24** (2): 289-291
- [2] Pan Lideng (潘立登), Tian Guoguang (田国光), Ma Junying (马俊英). One nonlinear control based on a selfadapted fuzzy controller. *Journal of Beijing University of Chemical Technology* (北京化工大学学报), 2003, **30** (5): 94-96
- [3] Wang Zhixin (王志新), Gu Yundong (谷云东), Li Hongxing (李洪兴). Fuzzy modeling and simulation of several level control experiments on single tank system. *Fuzzy Systems and Mathematics* (模糊系统与数学), 2007, **21** (2): 141-147
- [4] Park Youngjun, Cho Hyungsuck. A fuzzy logic controller for the molten steel level control of strip casting processes. *Control Engineering Practice*, 2005, **13** (7): 821-834
- [5] Cao Guangming (曹光明), Wu Di (吴迪), Zhang Dianhua (张殿华). Design of mold liquid level control system in roll caster based on fuzzy control regulation. *Control and Decision* (控制与决策), 2007, **22** (4): 399-402
- [6] Cao Guangming (曹光明), Wu Di (吴迪), Zhang Dianhua (张殿华). Fuzzy decision based design of liquid level control system for rolling caster mold. *Journal of Northeastern University* (东北大学学报), 2006, **27** (7): 775-778
- [7] Duan Suzhen (段素珍), Zhang Naiyao (张乃尧), Cui Zhenhua (崔震华). Fuzzy controller design method for PWR steam generator level control. *Journal of Tsinghua University* (清华大学学报), 2006, **46** (9): 1581-1584
- [8] Meng Fanqin (孟凡芹), Wang Yaocai (王耀才), Jiang Jianguo (姜建国), Wang Junwei (王军威). Study of multivariable fuzzy control for density and level of suspension in heavy media coal processing. *Journal of China University of Mining and Technology* (中国矿业大学学报), 2005, **34** (2): 252-255
- [9] Qiao Guolin (乔国林), Tong Chaonan (童朝南), Sun Yikang (孙一康). Study on mould level and casting speed coordination control based on ADRC with DRNN optimization. *Acta Automatica Sinica* (自动化学报), 2007, **33** (6): 641-648
- [10] Cheng Hui (程辉), Qin Ting (秦廷), Chen Zonghai (陈宗海). Nonlinear generalized predictive control applied to liquid level system. *Computer Simulation* (计算机仿真), 2007, **24** (2): 289-291
- [11] Yu Nanhua, Ma Wentong, Su Ming. Application of adaptive grey predictor based algorithm to boiler drum level control. *Energy Conversion and Management*, 2006, **47** (18/19): 2999-3007
- [12] Zou Tao, Liu Hongbo, Li Shaoyuan. Practical predictive control algorithm for integral processes and a case study in boiler level system. *High Technology Letters*, 2005, **11** (3): 263-267
- [13] Chu Yunfei (楚云飞), Xu Wenli (徐文立), Wang Jun (王峻), Wan Weihai (万维汉). Averaging level control based on switching control. *Journal of Tsinghua University* (清华大学学报), 2005, **45** (1): 107-110
- [14] Daniel Sbarbaro, Romeo Ortega. Averaging level control: an approach based on mass balance. *Journal of Process Control*, 2007, **17** (7): 621-629
- [15] Wu Kwoliang, Yu Chengching, Cheng Yuchang. A two degree of freedom level control. *Journal of Process Control*, 2001, **11** (3): 311-319