

文章编号:1671-251X(2014)09-0057-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.09.014

李松高,郑晓亮.冻结站中盐水流量和温度的模糊解耦控制[J].工矿自动化,2014,40(9):57-60.

冻结站中盐水流量和温度的模糊解耦控制

李松高, 郑晓亮

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:针对现有冻结站盐水流量和温度控制方法存在控制精度低的问题,提出了一种盐水流量和温度的模糊解耦控制方法。首先根据盐水流量和温度控制精度的不同,采用模糊控制法对流量和温度进行模糊控制;然后分析和研究盐水流量和温度间的耦合关系,采用解耦控制法对模糊控制输出的流量和温度进行解耦控制。仿真结果表明,该控制方法无需对盐水流量和温度建立精确数学模型,可实现盐水流量和温度的解耦控制,控制精度高。

关键词:冻结站; 盐水循环系统; 解耦控制; 模糊控制; 耦合

中图分类号:TD265

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Fuzzy decoupling control of brine flow and temperature in frozen station

LI Songgao, ZHENG Xiaoliang

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of

Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In view of problem of low control precision of existing control method of brine flow and temperature in frozen station, a fuzzy decoupling control method of brine flow and temperature was proposed. Firstly, fuzzy control method was carried out on fuzzy control of flow and temperature according to different control accuracy of the brine flow and temperature. Then the decoupling control method was used for decoupling control of output flow and temperature through analysis and research of the coupling relationship between brine flow and temperature. The simulation results show that the control method can realize decoupling control of brine flow and temperature, and has high control precision without accurate mathematical model of brine flow and temperature.

Key words: frozen station; brine circulation system; decoupling control; fuzzy control; coupling

0 引言

冻结凿井已经成为国内外常用的煤矿井筒建造施工方法,冻结站是冻结施工的主要部分。冻结站循环系统中盐水流量和温度是2个主要物理量,在已知冻结壁需冷量和冻结站制冷量时,合理地控制盐水的流量和温度可以实现最佳的冻结效果。

目前,在实际工程中,盐水流量和温度的控制均采用人工经验进行调节的方式完成,此种方法控制

精度低,缺乏理论与工程依据,不仅达不到理想的控制效果,还浪费大量的能源。由于盐水流量和温度之间存在较强的耦合关系,两者在控制过程中相互影响,同时又直接影响着冻结壁的冻结效率。为此,本文提出了模糊解耦控制方法,在无需对盐水流量和温度建立精确数学模型的前提下,实现了盐水流量和温度的解耦控制,提高了制冷量的利用率。

收稿日期:2013-12-30;修回日期:2014-01-20;责任编辑:张强。

基金项目:安徽省高校省级自然科学研究重点项目(KJ2013A103);地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目(201210361067)。

作者简介:李松高(1989—),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为电力传动控制技术,E-mail: xylisonggao@163.com。

1 盐水流量和温度的耦合关系

冻结站中盐水流量和温度在独立控制的同时又存在交叉耦合。根据经验,当控制盐水温度降低或升高时,盐水流量应相应地减小或增大以提高盐水制冷量的利用率。由式(1)(盐水流量)、式(2)(冻结站实际制冷能力)、式(3)(冻结管吸热率)可以得到式(4)(盐水流量 Q 与循环盐水去路温度 t)的数学关系。

$$Q = \frac{Q_0}{\rho c \Delta t} \tag{1}$$

$$Q_0 = K\pi DHnq \tag{2}$$

$$q = \frac{t_0 - t}{\frac{1}{\alpha} + \frac{r_0}{\lambda_2} \ln \frac{\xi}{r_0} + \frac{r_0}{\lambda_1} \ln \frac{R}{\xi}} \tag{3}$$

$$Q = \frac{K\pi DHn(t_0 - t)}{\rho c \Delta t (\frac{1}{\alpha} + \frac{r_0}{\lambda_2} \ln \frac{\xi}{r_0} + \frac{r_0}{\lambda_1} \ln \frac{R}{\xi})} \tag{4}$$

式中: Q 为循环盐水流量, m^3/h ; Q_0 为冻结站实际所需的制冷能力, kW ; ρ 为循环盐水的密度,取值为 $1\,250\sim1\,270\text{ kg}/\text{m}^3$; c 为循环盐水的比热,取值为 2.73 ; Δt 为冻结管中盐水的去路温差; t 为循环盐水去路温度; K 为冻结管路的制冷损失系数,一般取值为 $1.1\sim1.25$; D 为冻结管的直径, m ; H 为设计冻结的深度, m ; n 为冻结管的数目; q 为冻结管与岩土层之间的吸热率,一般取值为 $0.26\sim0.29$; t_0 为地层的初始温度; α 为冻结管中的热交换系数,取值为 $70\sim128\text{ W}/\text{m}^2$; r_0 为冻结管半径, m ; R 为冻结影响半径, m ; λ_1, λ_2 为冻结圆柱扩展半径, m ; ξ 为融土和冻土的导热系数。

由式(4)可得,当盐水初始温度 t 降低或升高而其余各量保持恒定时,对应的盐水流量随之增大或减小,变化结果与上述根据经验判断的结果相反。由此可得在冻结站循环系统中,盐水流量与盐水温度的变化相互影响,两者之间存在比较复杂的耦合关系。

2 盐水流量和温度的模糊解耦控制方法

盐水流量和温度的模糊解耦控制方法具有较好的自适应性和鲁棒性,适合数学模型和参数不确定的控制场合,恰好能满足冻结站中盐水流量和温度的控制。其原理:将盐水流量和温度的设定值与 t 时刻测量值比较,得出偏差 E 和偏差变化率 EC ,

然后将 E 和 EC 模糊化成模糊量 e 和 ec ,根据模糊控制规则进行模糊推理,得到模糊控制量 C' ,再对 C' 进行解模糊得到精确控制量 C ,最后对 C 进行解耦控制,实现对盐水流量和温度的模糊解耦控制。根据上述控制原理,本文采用图 1 所示的盐水流量和温度的模糊解耦控制方法来实现两者的模糊解耦控制。

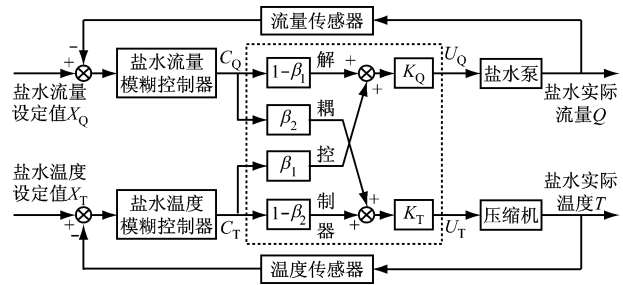


图 1 盐水流量和温度的模糊解耦控制系统结构

盐水流量和温度的模糊解耦控制系统主要包括模糊控制环节和解耦控制环节 2 个部分。其中模糊控制环节由盐水流量模糊控制器和盐水温度模糊控制器组成,对应的输出量 C_Q 和 C_T 分别为盐水流量和温度解耦控制的输入,最后将解耦得到的较为精确的控制量 U_Q 和 U_T 加到执行机构盐水泵和压缩机中。

2.1 模糊控制方法

由于冻结循环系统中盐水流量和温度之间存在较大的滞后性和非线性,并且盐水流量与温度之间的关系随冻结站循环系统工况的不同而变化,无法建立准确的数学关系,所以采用模糊控制方法。由控制对象的特点及经验分析,选用双输入单输出结构的模糊控制器,其输入、输出量分别为偏差 E 、偏差变化率 EC 和精确控制量 C 。图 2 为模糊控制器的结构。



图 2 模糊控制器结构

2.1.1 输入输出量模糊化

本模糊控制方法选用三角形隶属度函数,并规定偏差 E 和输出控制量 C 的隶属度为 7,相应的词集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$,即 $\{负大,负中,负小,零,正小,正中,正大\}$;偏差变化率 EC 的隶属度定为 5,相应的词集为 $\{NB, NS, ZO, PS, PB\}$,即 $\{负大,负小,零,正小,正大\}$ 。论域分别为 $\{E\} = \{-10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10\}$;

$\{EC\}=\{-1,-0.5,0,0.5,1\};\{C\}=\{-1,-0.8,-0.6,-0.4,-0.2,0,0.2,0.4,0.6,0.8,1\}$ 。

2.1.2 模糊推理及解模糊

模糊控制的核心是模糊推理,模糊推理算法采用 Mamdani 模糊模型,根据输入变量的隶属度值得出相应输出控制量的模糊集。由控制经验及分析研究可得出盐水流量和温度的模糊控制规则,见表 1。

表 1 盐水流量和温度的模糊控制规则

EC	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO	NS
ZO	PB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM
NS	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB
PB	PS	ZO	NS	NM	NB	NB	NB

本模糊控制方法应用重心法解模糊得出其输出控制量,其表达式为

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i A(\mu_i)}{\sum_{i=1}^n A(\mu_i)} \tag{5}$$

式中: n 为模糊变量个数; μ_i 为模糊变量; $A(\mu_i)$ 为对应模糊变量的隶属度。

2.2 解耦控制方法

由于盐水流量与温度之间不仅存在滞后性和非线性关系,而且还存在较强的耦合关系,这些特性不仅会影响盐水流量与温度的稳定性,对冻结壁的冻结效率也会有较大影响。同时盐水流量和温度若只

进行模糊控制,得到的控制效果也会很差。因此,为解决上述问题需引入解耦控制环节,将经模糊控制环节计算得到的精确控制量 C 输入解耦控制环节进行解耦。由于盐水流量与温度的数学模型难以建立,采用在解耦环节中引入解耦系数这种较简单有效的解耦方法,即在盐水流量和温度控制之间引入 λ_1 和 λ_2 这 2 个解耦系数。盐水流量和温度控制方程分别为

$$U_Q = K_Q[C_Q(1 - \beta_1) + C_T\beta_1] \tag{6}$$

$$U_T = K_T[C_T(1 - \beta_2) + C_Q\beta_2] \tag{7}$$

式中: K_Q, K_T 为流量和温度比例系数; β_1, β_2 为解耦系数。

当 β_1 和 β_2 均为 0 时, $U_Q = K_Q C_Q, U_T = K_T C_T$, 这时盐水流量和温度之间没有解耦控制作用;当 β_1 和 β_2 均为 1 时, $U_Q = C_T, U_T = C_Q$, 这时盐水流量和温度对应为极限耦合状态。 β_1 和 β_2 这 2 个解耦系数的实际值在 0~1 之间,需通过对冻结循环系统进行试验,确定合理的耦合系数,进而实现对盐水流量和温度的解耦控制,最后将输出量 U_Q 和 U_T 加到执行器盐水泵和螺杆压缩机中。

3 仿真及分析

分别对盐水流量和温度的传统控制方法和模糊解耦控制方法进行 Matlab 仿真,仿真模型如图 3 所示。盐水流量和温度的设定值分别为 12 和 -8,得到如图 4—图 7 所示的仿真结果。从图 4、图 5 可看

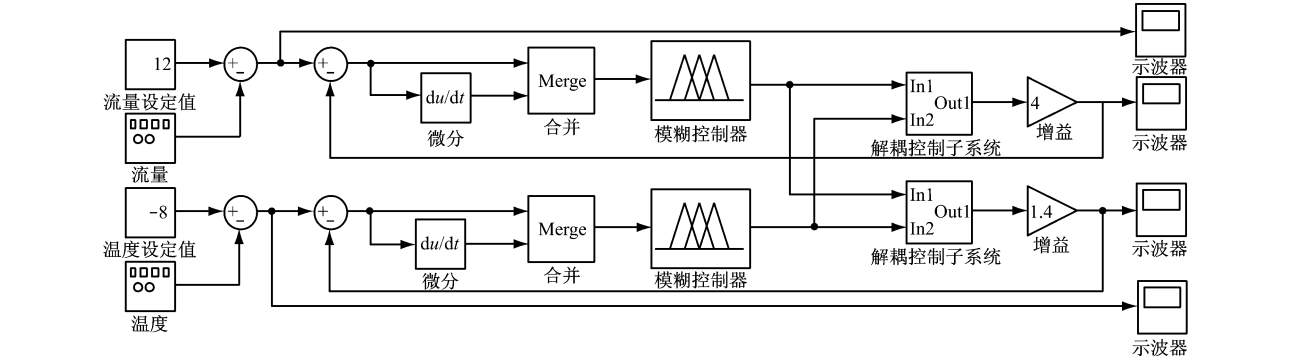


图 3 盐水流量和温度控制仿真模型

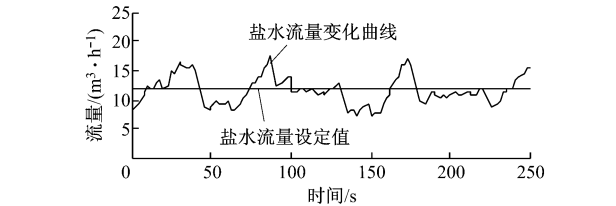


图 4 采用传统控制方法的盐水流量变化曲线

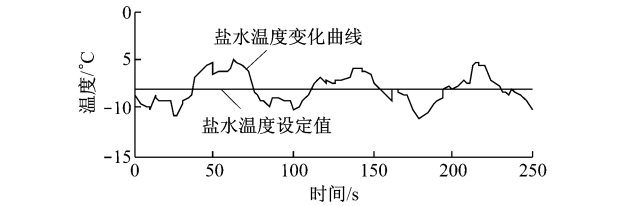


图 5 采用传统控制方法的盐水温度变化曲线

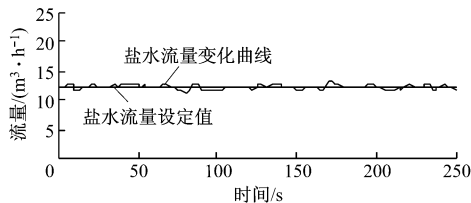


图 6 采用模糊解耦控制方法的盐水流量变化曲线

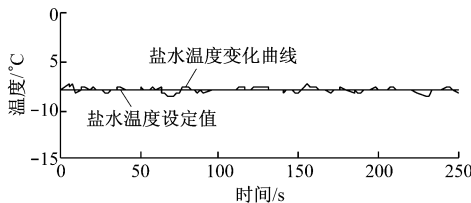


图 7 采用模糊解耦控制方法的盐水温度变化曲线

出,在采用传统控制方法的控制过程中,盐水流量和温度与设定值之间存在较大的波动,同时盐水流量和温度之间也存在较大的耦合和干扰。从图 6、图 7 可看出,采用模糊解耦控制方法,盐水流量与温度的控制过程比较平稳,同时削弱了两者之间的耦合和干扰。

4 结语

盐水流量和温度的模糊解耦控制方法不需要在

盐水流量和温度之间建立精确的数学模型,模糊控制环节和解耦控制环节简单易行。仿真结果表明,该控制方法能很好地削弱盐水流量和温度间的耦合和干扰,实现对盐水流量和温度的解耦控制,提高了制冷量的利用率。

参考文献:

[1] 崔云龙. 简明建井工程手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2003:1155-1302.

[2] 韩宇星,何小阳,王红. 酒精精馏塔的模糊解耦控制[J]. 湖南工业大学学报,2008,22(6):72-75.

[3] 曹卫华,吴敏,侯少云. 煤气混合加压过程的智能解耦控制方法与应用[J]. 中南大学学报:自然科学版,2006,37(4):780-785.

[4] 魏莉莉,余淑荣,肖林海. 基于 Matlab 的工业锅炉燃烧系统模糊解耦控制设计[J]. 机械与电子,2011(4):58-60.

[5] 任海龙,李胜玉. 混合煤气压力和热值的模糊解耦控制[J]. 南方金属,2003,25(2):23-25.

[6] 卢佩,刘效勇. 温室大棚温湿度模糊解耦控制系统设计与仿真[J]. 农机化研究,2010,32(1):44-47.

[7] 石辛民,郝整清. 模糊控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2008.