

全厂物流数据校正模型及算法研究

郝俊斌 蒲扬飞 陈丙珍 何小荣
(清华大学化学工程系, 北京 100084)

摘要: 流程工业企业计算机集成制造系统(CIMS)以产、供、销全方位的信息化为基础, 优化生产, 创造最大效益。在以数据为核心的流程工业 CIMS 系统中, 采用数据校正技术可消除测量数据的不一致性和不完整性, 为整个系统的正常运行提供可靠的数据源。针对流程工业企业工艺流程的特点, 建立了全厂物流数据校正模型, 提出了基于模型的数据协调及大误差侦破方法, 实例计算展示了所提出的全厂物流数据校正模型及数据校正算法的有效性。

关键词: 数据协调; 数据校正; 大误差侦破; 参数估计

中图分类号: TQ015.9

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)S2-0057-04

Data rectification model and algorithm of plant-wide mass flows

HAO Jun-bin, PU Yang-fei, CHEN Bing-zhen, HE Xiao-rong

(Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The CIMS of process industry enterprises is based on the overall information of production, supply and selling so that to optimize the production and create the maximum profit. In the data-based CIMS of process industry enterprises, the data rectification is used to eliminate the inconsistency and incompleteness of the measured data so as to provide the reliable data for the system. The plant-wide mass flow data rectification model and the algorithms for data reconciliation and gross error detection and identification have been developed with consideration of the characteristics of the process plant flow-sheets. The case studies demonstrate the effectiveness of the proposed model and algorithms for the data rectification of mass flows in chemical plants.

Key words: data reconciliation; data rectification; gross error detection; parameter estimation

随着流程工业企业信息化水平的不断提高, 准确的测量数据对于企业的生产调度, 计划管理以及装置的优化模拟等工作的重要性越来越明显。测量过程中随机误差及过失误差的存在, 使得现场测量数据具有不平衡性和不完整性, 其中所含信息的有效性大大下降。数据校正就是对测量数据进行校正使其符合过程的一些内在物理和化学规律, 同时对未测变量进行估计, 以获得高质量数据的过程。国内外针对这一问题已有许多报道^[1-2], 并在稳态过程数据校正技术的实际应用方面取得了很大的进展^[3-4]。但是这些工作仅限于生产装置的层次, 对于全厂过程数据校正方法还缺乏报道。考虑到全厂物流数据校正正在以数据为核心的流程工业计算机集成制造系统(CIMS)中的重要性, 笔者针对流程工业企业工艺流程的特点, 建立了全厂物流数据校正的模型, 提出了基于模型的数据协调及过失误差侦破和识别的算法。

1 模型的建立和求解

全厂工艺流程包括各个生产装置中的各个单元

设备及中间产品或产品的储罐, 结构十分复杂, 为了算法研究的方便, 本文中将它简化为由图 1 所示的流程。单元 II 为动态单元(储罐), I、III 为稳态单元(各种单元设备), 物流 1, 2, 5 为稳定物流。

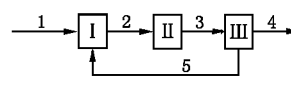


图 1 含有动态单元的流程

1.1 动态单元

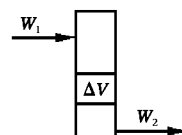


图 2 动态单元

如图 2 所示, 单元 II 储罐为一动态单元。

从时刻 t_1 到 t_2

$$\Delta V = \int_{t_1}^{t_2} (W_1 - W_2) dt$$

其中 V 为储液体积, W_1 、 W_2 均为体积流量。

对 t_k 、 t_{k+1} 离散化, 积分上式得

$$V_{t_{k+1}} - V_{t_k} = [(W_{1,t_{k+1}} - W_{2,t_{k+1}}) + (W_{1,t_k} - W_{2,t_k})]/2$$

1.2 动态系统

对于动态系统:

$$V_{k+1} = V_k + \frac{1}{2}(AW_{k+1} + AW_k)$$

其中 A 为流程的关联矩阵。

对上式变形得:

$$BX_i - EX_{i+1} = 0$$

其中 $B = [2I | A], E = [2I | -A], X_i = \begin{bmatrix} V_i \\ W_i \end{bmatrix}$ 。

联立 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_k, \dots, t_{n+1}$ 各时刻的方程, 数据校正模型为:

$$\begin{aligned} & \min_{\hat{X}} [(\hat{X} - X)^T Q_x^{-1} (\hat{X} - X)] \\ & \text{s.t. } \Phi_k \hat{X} = 0 \end{aligned}$$

其中 Q_x 为物流量的方差矩阵。

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} B & -E & & & & \\ & B & -E & & & \\ & & \ddots & \ddots & & \\ & & & B & -E & \\ & & & & & \ddots & \ddots & \\ & & & & & & B & -E \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad Q_x = \begin{bmatrix} Q_1 & & & \\ & Q_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & Q_{k+1} \end{bmatrix}$$

拉格朗日乘子法求解以上模型, 解为:

$$\hat{X} = [I - Q_x \Phi_k^T (\Phi_k Q_x \Phi_k^T)^{-1} \Phi_k] X$$

1.3 算法

实际生产中, 计算量随时间显著增加, 成千上万数据点一步校正是不切实际的。采用移动时间窗口技术可以有效减少校正时的数据处理量, 同时由于

校正正在局部进行, 减少了大误差的影响, 算法操作原理如图 3 所示。

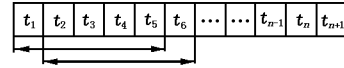


图 3 算法操作原理

1.4 算例

以图 1 所示流程为例, 单元 II 为储罐(动态单元), I、III 为稳态单元。物流 1、2、5 为稳定物流。生产需求改变, 产品流 4 的流量改变, 导致储罐出料流 3 的流量改变。即:

流程关联矩阵 $A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$

在产品流 W_4 为阶梯函数(稳态间过渡状态为线性)下和振荡过渡下分别对物流和体积量进行校正, 各变量真值和体积量初始值如表 1 所示。测量值由真值加 1% 随机正态量模拟得到, 校正结果分别如图 4 和图 5 所示。

表 1 各物流及体积量真值及方差

	真实值	方差
物流量		
稳定物流		
W_1	3	0.03
W_2	4	0.04
W_5	1	0.04
W_3	3	0.03
W_4	2	0.02
体积量		
V_1	0	0
V_2	10(初值)	0.1
V_3	0	0

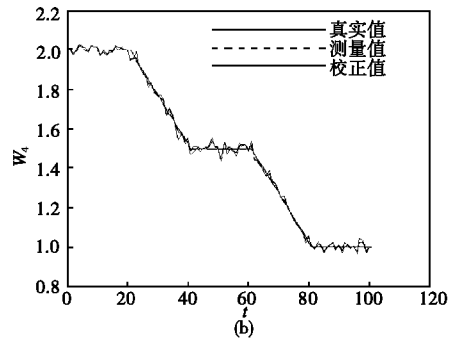
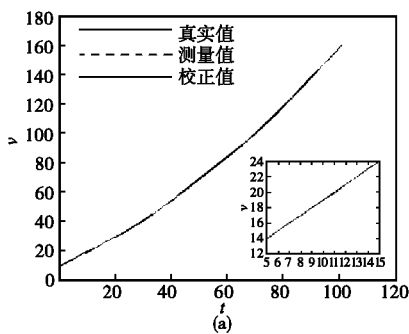


图 4 产品流 W_4 为阶梯函数下的校正结果

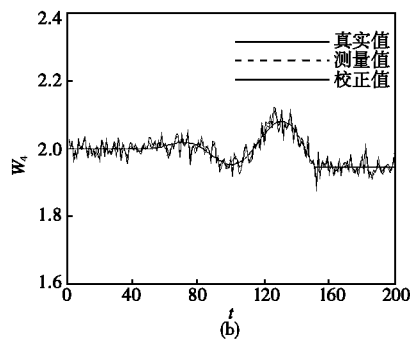
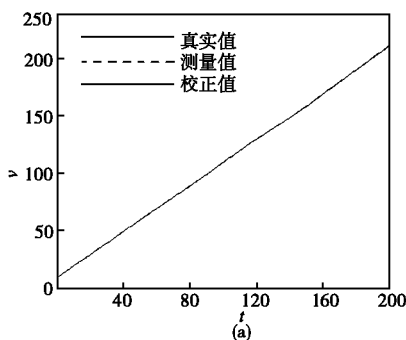


图 5 产品流 W_4 为振荡过渡下的校正结果

2 过失误差的侦破和识别

2.1 概念

在化工测量数据中,测量数据除不可避免地含有随机误差外,由于仪表零点漂移或仪表机械故障等原因,还有可能存在过失误差。过失误差通常分为2类:异常点和偏差。其中,异常点型过失误差指测量数据中的异常点,如测量数据中的尖峰等,而偏差型过失误差指测量数据相对于真实数据存在一固定的系统偏差。

系统的测量模型为 $x_m = x + \theta + \epsilon$, 其中, x_m 、 x 、 θ 、 ϵ 分别为测量值、真实值、偏差、随机误差。

过失误差的识别就是已知测量数据和过程的数学模型,需确定测量数据是否含过失误差并估计过失误差的值。

2.2 异常点型过失误差的侦破与识别

对异常点型过失误差,Albuquerque等^[5]基于鲁棒估计原理采用公平函数作为鲁棒函数,通过修改数据校正的目标函数,使之对异常点型的过失误差不敏感,从而做到异常数据的侦破与数据协调同时进行。Chen等^[6]也提出了处理异常点的类似方法。Jiang等^[7]针对单个信号,提出了小波变换的过程数据异常突变的检测和识别方法,能有效侦破异常点型过失误差。总的来讲,对于异常点型过失误差,目前的方法都可以奏效,对此文中不再进行讨论。

2.3 偏差型过失误差可识别性

对系统 $\frac{dx}{dt} = f(x)$, 假设所有变量都含有过失误差,则对任何工况有 $\frac{dx}{dt} = f(x + \delta_x)$, 其中 δ_x 为不随时间变化的参数。

文献[8]推导出动态系统过失误差的可识别条件为:若 $\nabla f = \left[\frac{df}{dx_1}, \frac{df}{dx_2}, \frac{df}{dx_3}, \dots, \frac{df}{dx_n} \right]$ 中的各列向量线性无关,则系统是可识别的。

根据这一条件,线性动态系统不具备这一条件,因此它们包含的过失误差不能被识别,但可通过利用其他信息把它转换为可识别的。

对于含有动态单元的全厂系统,已知系统物流平衡方程如下

$$\frac{dV}{dt} = AW$$

根据可识别性判据可知体积量的过失误差为不可识别(以下讨论和计算均认为体积量不含过失误差)。矩阵 A 为一行数小于列数的矩阵,因此 A 的

列必为线性相关,因此物流量的过失误差也为不可识别。虽然如此,可以通过增加附加条件,例如已知某些测量值不含过失误差等,使得系统满足过失误差可识别的条件。

在图3所示流程中,矩阵 A 前3列为线性独立列,因此对于1、2、3物流含有过失误差,4、5物流不含过失误差的情况为过失误差可识别的。

2.4 偏差型过失误差侦破及识别方法

在数据校正方法中,偏差型过失误差的侦破和识别一直是重点和难点所在,目前的方法都还存在一定的缺陷。Narasimhan等^[9]提出广义似然比法(GLR)来识别过失误差,Rollins^[10]提出了无偏估计技术来识别过失误差。但这都是针对操作近似稳态的线性系统,另外Vachhani等^[11]提出基于故障诊断的过失误差识别方法,把过失误差当作一种故障,从而将故障诊断的方法引入到过失误差的侦破与识别中,但这种方法只限于系统仅含有一个过失误差的情况。在此采用参数估计方法识别多个偏差型过失误差,其模型如下:

$$\begin{aligned} \min_x & (x - x_m)^T Q_x (x - x_m) \\ \text{s.t.} & f(x - \theta_x) = 0 \end{aligned}$$

该模型的求解比较复杂,需要采用较有效的算法,Kim等^[12]提出的two-stage nonlinear EVM是一种比较好的求解方法。这种方法具有较好的鲁棒性和较高的计算效率。

本文算例的规模较小,可直接采用解非线性约束规划问题的方法(SQP法)求解。仍以图3所示流程为例,如上所述,若已知物流4、5与体积量无过失误差,该系统为过失误差可识别的。因此,在物流1、2、3(指数衰减)中引入偏差进行侦破和识别,测量值由真实值加一以1%物流值为方差的 $(0, \sigma)$ 正态随机量生成。

情形1:在1中引入 10σ 偏差

情形2:在2、3中分别引入 -5σ 、 7σ 偏差

情形3:在1、2、3中分别引入 -7σ 、 10σ 、 -5σ 偏差,结果如表3所示。

表3 过失误差识别结果

变量	情形1		情形2		情形3	
	真实值	预测值	真实值	预测值	真实值	预测值
W_1	10	10.1376	0	-0.0482	-7	-6.9446
W_2	0	-0.4934	-5	-4.8080	10	9.9908
W_3	0	0.5030	7	7.1331	-5	-4.8379

注:表中数值为误差、方差比值即 θ/σ 。

从表 3 可以看出,在无过失误差的物流变量中,由于有 $(0, \sigma)$ 随机误差引入的影响,其识别结果介于 0,1 之间。

以上是 4 个时刻点进行侦破识别的结果,已经较为理想。随着数据点的增加,随机误差的影响将明显削弱。因此对满足可识别条件的系统,对于偏差型过失误差,通过用高效的算法对情形 3 进行求解,即可对多个过失误差进行有效的定位和估计。

3 结论

全厂生产流程的最大特点是既含连续型的单元设备,又有间歇型的储罐,其物料平衡是由微分方程组以及代数方程组表示的。文中所建立的物流数据校正模型能很好地反映工艺流程的这一特点,能用于各种工况下的数据校正,消除误差的影响。对于过失误差侦破问题,文中提出一种基于模型参数估计的方法,这种方法具有较好的鲁棒性和较高的计算效率。该工作为流程工业企业 CIMS 提供了数据校正解决方案。

参考文献

[1] Crowe C M. [J]. Journal of Process Control A, 1996, 6(2-3): 89 -

98.

- [2] Ozyurt D B, Pike R W. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2004, 29: 768 - 771.
- [3] 李博, 陈丙珍, 胡惠琴, 等. [J]. 石油化工, 2000, 29: 768 - 771.
- [4] Pierucci S, Faravelli T, Brandani P. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1994, 18(Suppl): 241 - 246.
- [5] Albuquerque J S, Biegler L T. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1997, 21(3): 283 - 299.
- [6] Chen J, Romagnoli J A. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22: 559 - 562.
- [7] Jiang Taiwen, Chen Bingzhen, He Xiaorong. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24: 507 - 512.
- [8] Kong Mingfang, Chen Bingzhen, He Xiaorong. Gross error identification for dynamic system [A]. In: 8th International Symposium on Process Systems Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier, 2004. 894 - 899.
- [9] Narasimhan S, Mah R S H. [J]. AIChE J, 1988, 34: 1321 - 1331.
- [10] Rollins D K, Devanathan S. [J]. AIChE J, 1993, 39: 1330.
- [11] Vachhani P, Rengaswamy R, Venkatasubramanian V. [J]. Chemical Engineering Science, 2001, 56: 2133 - 2148.
- [12] Kim I W, Liebman M J, Edgar T F. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1991, 15: 663 - 670. ■

关于中国石油化工股份有限公司的常见问答

中国石化股份有限公司是何时成立的?

中国石化股份有限公司是由中国石油化工集团公司依据《中华人民共和国公司法》,以独家发起方式于 2000 年 2 月 28 日设立的公司。

中国石化股份有限公司和中国石化集团的关系是什么?

中国石化股份有限公司的独家发起人——中国石油化工集团公司成立于 1998 年 7 月,是国家在原中国石化总公司的基础上组建成立的特大型石油石化企业集团。中国石化集团公司是国家独资设立的国有公司,是国家授权投资的机构和国家控股公司。

中国石化的上市情况?

中国石油化工股份有限公司(中国石化)股票于 2000 年 10 月 18 日、19 日,2001 年 7 月 16 日分别在香港、纽约、伦敦、上海四地交易所成功发行上市,中国石化首次公开发行 167.8 亿股 H 股, A 股发行量为 28 亿股。

中国石化的主营范围? 市场范围?

中国石油化工股份有限公司是中国最大的一体化石油石化公司之一,其主要业务包括:石油与天然气的勘探、开发、生产和贸易;石油的加工、石油产品的生产、石油产品的贸易及运输、分销和营销;石化产品的生产、分销和贸易。中国石化股份有限公司的主要市场包括 20 个省、自治区、直辖市,其中 9 个省份名列国内人均生产总值前 10 位。

中国石化电子商务网站的地址?

中国石化电子商务系统于 2000 年 8 月 15 日正式投入运行,国外注册网站为 www.sinopec-ec.com, 国内注册网站为 www.sinopec-ec.com.cn。

SINOPEC 的英文全称是什么?

China Petroleum & Chemical Corporation

中国石化的加油站总数和特许加油站数量是多少?

中国石化的加油站总数为 30 236 座,特许加油站数量为 5 736 座。