基于原料分类建模的常压塔装置软测量模型建立方法研究

张三1，李四1,2，王五2

1. 清华大学 自动化系, 北京 100084

E-mail: [ccc@amss.ac.cn](mailto:ccc@amss.ac.cn)

2. 清华大学 自动化系, 北京 100084

E-mail: [xxx@hit.edu.cn](mailto:xxx@hit.edu.cn)

摘 要:针对原油蒸馏过程常规软测量模型难以适应原油进料性质变化的问题，提出了利用非监督数据驱动分类方法对原油进行分类，建立基于类别的非线性软测量处理模型的策略。通过聚类算法对对不同加工原油的生产数据进行聚类，赋予训练样本所通属类别。利用BN和Dropout对神经网络进行优化，建立分类模型，提高了分类的鲁棒性和准确度。在分类模型基础上，对过程数据先分类再建模，避免了原油性质差异对于软测量模型的影响，提高了软测量模型的回归精度和泛化水平。仿真结果表明，该基于分类的软测量模型对于原油性质有很好的适应性和预测准确性。

关键词: 原油蒸馏，软测量，无监督分类模型，人工神经网络。

**Research on soft sensor modeling method of atmospheric column device based on raw material classification modeling**

San Zhang1, Si Li1,2, Wu Wang2

1. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China

E-mail: [ccc@amss.ac.cn](mailto:ccc@amss.ac.cn)

2. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China

E-mail: [xxx@hit.edu.cn](mailto:xxx@hit.edu.cn)

**Abstract:** Aiming at the problem that the conventional soft sensor model of crude oil distillation process is difficult to adapt to the change of crude oil feed properties, an unsupervised data-driven classification method was used to classify crude oil and establish a class-based nonlinear soft sensor processing model. The crude oil is clustered by the clustering algorithm, and the training samples are assigned to the category. BN and Dropout are used to optimize the neural network and establish the classification model, which improves the robustness and accuracy of classification. Based on the classification model, the process data is classified before modeling, which avoids the influence of the original property difference on the soft sensor model, and improves the regression accuracy and generalization level of the soft sensor model. Simulation results show that the soft sensor model based on classification has good adaptability and prediction accuracy for the original properties.

**Key Words:** Crude Oil Distillation, Soft-sensor, Unsupervised Data-driven Classification, Artificial Neural Network

[[1]](#footnote-1)

引言

常减压蒸馏过程是用于炼油生产过程的重要环节，原油经过常减压蒸馏塔根据沸点高低分馏成多种质量指标不同的石油产品和后续加工装置的原料组份，其各侧线产品的组份合格和稳定对于整个炼油生产过程的安全稳定生产、产品质量合格稳定、提高原油资源利用率、节能降耗具有重要作用。结合软测量和预测控制等技术的先进控制对于常减压蒸馏过程这样的石化生产过程产品质量的直接闭环控制、质量优化和卡边优化，具有重要作用[1]。

在生产过程中往往有一些关键的过程变量难以直接测量s因而影响到自动控制的实现。因此，软测量 ( S of t s e n s or )（也称之为软仪表(soft-Instrument)的实际使用由来已久, 许多测量仪表都是基于物理原理建立的易测过程变量与难以直接测量的待测过程变量的数学关系来计算获取[2,5]。这种意义上的软测量方法在1978年 Brosillow提出的推理控制( I n f e r e n t i al c on t r ol )的基本思想和方法后得到了系统化的描述: 采集过程中比较容易测量的二次变量 (Secondary Variable,或称辅助变量) ,构造推断估计器来估计并克服扰动和测量噪声对过程主要变量 (Primary Variable)的影响[ 3 ]。随着推理控制的出现进一步推动了软测量技术的研究, 基于各种模型的软测量方法得到了更为广泛的研究和应用[4] 。软测量和预测控制相结合推动了炼油生产过程产品质量的直接质量闭环控制和卡边优化的先进控制的发展和应用 [1,5,6] 。

但是，软测量在炼油工业中的应用方面存在着一些制约性难题，原料性质不稳定和生产负荷变动致使在特定原料生产和负荷条件下所建立的模型失配。为了解决这一问题, 吕文祥等将能够表现原油成份变化信息的过程变量加入软测量模型输入中，抑制其原油成份变化对软测量估计值的影响，同时，对直接测得的过程变量进行机理变换以减少加工负荷变化所造成的软测量模型非线性程度，明显提升了软测量模型的推广性能，在常减压装置的先进控制应用中取得了好的应用效果[7,8]。

对于原油种类频繁变化且各原油间性质差距明显情况，周长等提出了首先进行油品分类，再对不同油品分别建模的方法，并利用基于 bootstrap模型在不同的三类原油上分别取得了对干点的良好预报效果，证实了利用类别结构信息的重要性[9]。。

本文在周长等人的方法[9]上进行改进，,首先，使用神经网络DBN对进料石油进行分类建模，经过分类之后的设计的针对特定类别原油的软测量模型。通过对于神经网络增加BN层[4]和Dropout[5]来提高模型的鲁棒性和预测准确性。同时本文针对无监督的仿真数据，通过聚类赋予进料原因对应的类别，从而训练分类模型，实现无监督的训练方法。在软测量模型的建模中，本文设计分析了多种线性神经网络的隐藏层结构，比较不同结构之间的区别。将分类模型和软测量模型结合起来，实现预测精度更高的石化产品质量指标的预测。

* 1. 提交论文作者须知

根据出版社编辑加工的需要，每篇论文终稿需提交Word文件和PDF文件各一份，或者Latex格式文件和PDF文件各一份.

1. 版面要求

论文排版在A4纸张上，版芯为176mm×255mm. 版面居中. 这里给出论文版面的详细规范及其说明.

* 1. 页面和字体设置

本文是一个MS Word中文模板，您可以直接使用此模板，也可以按照要求建立自己的模板.表1和表2分别给出页面设置和字体设置，请以此作为自己设置模板的规范.

表1. 页面设置

|  |  |
| --- | --- |
| 纸 张 | A4 (21cm×29.7cm) |
| 上边距（首页） | 3.0cm |
| 上边距 | 2.0cm |
| 下边距 | 2.2cm |
| 左边距 | 1.7cm |
| 右边距 | 1.7cm |
| 栏 宽 | 8.45cm |
| 栏间距 | 0.7cm |
| 版面宽 | 17.6cm |
| 版面高 | 25.5cm |

表2. 字体设置

|  |  |
| --- | --- |
| 题目 | 小二号, 黑体, 距上边距3.0cm |
| 作者 | 小四号, 仿宋体 |
| 作者地址 | 小五号, 宋体 |
| Email | 小五号, Times New Roman |
| 摘要、关键词 | 小五号, 宋体; “摘 要”、“关键词” 两词小五号, 黑体 |
| 题目（英文） | 小二号, Times New Roman, 加粗 |
| 作者（英文） | 小四号, Times New Roman |
| 作者地址（英文）, E-mail | 小五号, Times New Roman |
| 摘要、关键词（英文） | 小五号, Times New Roman, “Abstract”,“Key Words”加粗 |
| 一级标题 | 小四号, 黑体 |
| 二级及二级以下标题 | 五号, 黑体 |
| 正文字体 | 五号, 宋体 |
| 图、表标题 | 小五号, 宋体 |
| 表内文字 | 小五号, 宋体 |
| 脚注 | 8磅, 宋体或Times New Roman |
| 参考文献 | 小五号, 宋体, 或小五号, Times New Roman, “参考文献”小四号, 黑体 |

* 1. 题目及摘要

题目为单栏，栏宽17.6cm，小二号黑体，段前空18磅，段后空12磅.

作者小四号仿宋体占一行.当作者为不同单位时，用罗马数字作为上标标注.

作者单位、所在城市、邮编为小五号宋体占一行，段前空6磅. Email地址小五号，Times New Roman体.当有多个单位时，按照作者的标注顺序,列出单位等信息,字体格式如前所述.

中文摘要、关键词为单栏小页面，栏宽16.2cm，居中. 摘要、关键词小五号宋体，“摘 要”、“关键词”两词顶头，小五号黑体. 摘要段后空2磅.

中文论文同时需要提供英文摘要等信息.

英文题目为单栏,栏宽17.6cm，小二号，Times New Roman字体，加粗. 段前空18磅，段后空12磅. 每个单词的第一个字母大写，其它字符均为小写.

作者英文姓名为小四号，Times New Roman字体，占一行.

作者英文单位、地址、城市、邮编，小五号，Times New Roman字体，占一行，段前空6磅. 单位中每个单词的第一个字符大写，后面字符小写.

Email地址小五号，Times New Roman体.

英文摘要、关键词为单栏小页面，栏宽16.2cm，居中. 字体为小五号Times New Roman，“Abstract”、“Key Words”加粗.

以上均为单倍行距.

* 1. 标题

标题居左、顶头.节号用阿拉伯数字1, 2, … 连续地排，下一级标题的节号要包含上一级标题的节号，用“.”分隔，格式如上行.

一级标题中文为小四号黑体，英文为小四号Times New Roman体加粗. 英文标题大写. 段前、后各空6磅.

二级及二级以下标题中文为5号黑体，英文为五号Times New Roman体加粗. 英文标题首字母大写，其它小写. 段前、后各空6磅.

以上均为单倍行距.

* 1. 正文

正文为两栏，栏间距0.7cm，栏宽8.25cm. 版面为A4纸，版芯为17.2cm×25cm. 正文采用五号宋体，正文中的英文为五号Times New Roman体. 段头空两个中文字，单倍行距，段后空2磅.

* 1. 表格

表的标题位于表上方，居中，小五号宋体，段前、后各空6磅. 表的序号用阿拉伯数字. 表中文字为中文小五号宋体或者英文小五号Times New Roman体. 表格上、下边框为双线，左、右无边框，表内用单线分隔. 如果一栏内放不下表格，可以跨栏，表格应放置在文中提到的段落后面附近.

* 1. 图

图的标题位于图的下方，居中，小五号宋体，段前、后各空6磅. 图的序号用阿拉伯数字. 图形应放置在文中提到的段落后面附近. 为了使图形更加清晰，请用原始图形或者照片，并将图形文件随同论文一起上传.

fig1

图 1: 图形标题

* 1. 数学公式

数学公式居中，根据需要可以添加公式编号，编号从1开始计数. 如果公式一栏放不下，可以跨栏.

 (1)

* 1. 参考文献

参考文献按照文中出现的顺序排列. 排列序号为方括号中插入阿拉伯数字，例如“[1]”.

“参考文献”四个字为小四号黑体，居左顶头，占一行. 段前空6磅，段后空6磅.

中文参考文献为小五号宋体，英文参考文献为小五号Times New Roman体. 段头不空，悬挂式缩进0.7cm，单倍行距，段后空2磅.

* 参考文献为专著时, 每条文献形式为: 著者. 书名. 出版地: 出版社, 出版年; (请参见“参考文献” [1]).
* 参考文献为期刊论文时, 每条文献形式为: 作者. 题名. 刊名, 卷 , 期, 页, 出版年; (请参见“参考文献” [2][3])
* 参考文献为书中章节时, 每条文献形式为: 作者. 题名. 书名, 析出著作作者(或主编). 出版地: 出版社, 出版年, 著作中页码; (请参见“参考文献” [4]).
* 参考文献为会议论文时, 每条文献形式为: 作者. 题名, 论文集名. 年, 页. (请参见“参考文献”[5])

1. 注意事项

* 标题不要落在页面的底部;
* 文中要保持行距一致;
* 图、表应放置在文中提到段落下方附近处;
* 文中不需要插入页码;
* 正文中引用参考文献，一般采用上角标[2]，但当正文中对参考文献另有描述时，用正常文体排出，如“文献[8]… …”，“参见文献[16]… …”;
* 正文中的第一行不要删除，否则脚注将被删除.

请按照此规范认真准备您的论文终稿,并在投稿要求的日期内上传您的文件(MS Word文件, PDF文件)至<http://cms.amss.ac.cn>.

**参考文献**

1. 洪奕光, 程代展. 非线性系统的分析与控制. 北京: 科学出版社, 2005.
2. 孙轶民, 郭雷. 关于平面仿射非线性系统的全局渐近能控性. 中国科学(E辑), 35(8): 830-839, 2005.
3. D. Cheng, Controllability of Switched Bilinear Systems. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 2005, 50(4): 511-515.
4. D. Cheng, R. Ortega, E. Panteley, On port controlled Hamiltonian systems. *Advanced Robust and Adaptive Control –Theory and Applications*, D. Cheng, Y. Sun, T. Shen, H. Ohmori, Eds. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 3-16.
5. 赵延龙, 张纪峰. 基于多值传感器的线性离散系统的鲁棒辨识, 第二十四届中国过程控制会议论文集. 2005: 274-278.

1. \*此项工作得到国家自然科学基金资助，项目批准号：00000000. [↑](#footnote-ref-1)