

乳化液浓度在线检测技术现状及前景分析

李 森

(北京天地玛珂电液控制系统有限公司,北京 100013)

摘 要: 为提高乳化液浓度在线检测精度,阐述了乳化液浓度在线检测技术的研究现状,对比分析了常用检测方法的技术原理、检测方案、优缺点,总结了该技术的产业化现状,提出了一种基于高精度密度计的乳化液浓度在线检测方法,并对该方法的产业化前景进行展望。结果表明:密度法乳化液浓度传感器在测试精度、测量结果重复一致性、产品稳定性方面具有明显优势,对于福斯 ME10-4 型乳化油和极索 MS10-5(G) 型乳化油,密度法浓度测量绝对精度分别达到 0.25% 和 0.10%,已通过井下工业性试验,效果良好。

关键词: 乳化液; 浓度在线检测; 密度法; 液压支架

中图分类号: TD325; TD212

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)03-0096-04

Analysis on status and prospects on online detection technology of emulsion concentration

Li Sen

(Beijing Tiandi Marco Electrohydraulic Control System Company Limited, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to improve the online detection accuracy of the emulsion concentration, the paper stated the study status on the online detection technology of the emulsion concentration, comparison analysis on the technical principle, detection plan, and advantage and disadvantage of the conventional detection method and summarized the industrialized status of the technology. The paper provided the online detection method based on a high accurate densimeter and had an outlook on the industrialized prospects of the method. The results showed that the density method with the emulsion concentration sensor could have repeated consistency in the detection accuracy and measured results. The stability of the products could have obvious advantages. The concentration measured absolute accuracy of the density method could be 0.25% and 0.10% individually for Fuchs ME10-4 emulsion oil and Geso MS10-5(G) emulsion oil. An underground mine industrial trial was passed with an excellent effect.

Key words: emulsion liquid; concentration online detection; density method; hydraulic support

0 引 言

乳化油与水是不相溶的 2 种液体,两者混合时其中一种以小液滴的形式均匀地分散在另一种之中,形成乳化液。当油滴分散在水中时,油为内相,水为外相,称为水包油型乳化液(O/W 型),反之则为油包水型(W/O 型)^[1]。煤矿液压支架普遍采用水包油型乳

化液。作为煤机产品液压传动的工作介质,乳化液在煤矿生产中具有重要作用^[2]。乳化液浓度对液压系统性能有很大影响。浓度过低会降低乳化液抗硬水能力、抗腐蚀性,导致液压元件锈蚀;浓度过高意味着乳化油用量增加,还会降低乳化液消泡力,增大对橡胶密封材料的溶胀性,导致密封失效,造成泄漏。合适的乳化液浓度能保证液压系统的持续稳定性,为煤

收稿日期: 2015-10-12; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.03.019

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2013AA06A410); 北京市科技计划重大科技成果转化落地培育资助项目(Z141100003514025)

作者简介: 李 森(1983—),男,湖南娄底人,硕士。Tel: 010-84263000-3262, E-mail: lisen@tdmarco.com

引用格式: 李 森. 乳化液浓度在线检测技术现状及前景分析[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(3): 96-99.

Li Sen. Analysis on status and prospects on online detection technology of emulsion concentration[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 96-99.

矿用户减少不必要的浪费,降低采煤成本。因此液压系统乳化液浓度的准确监视、快速调节对于煤矿安全、高效生产具有举足轻重的意义^[3]。在当前实际生产中,普遍采用机械式自动配比器进行乳化液配比^[4-5]。虽然系统设计之初大都考虑了浓度自动检测、检测结果反馈给配比器自动调节实现乳化液浓度闭环控制。但由于乳化液浓度传感器检测精度和可靠性普遍达不到要求,实际生产中很少应用,一般采用传统折光仪(俗称糖量计)人工离线检测溶液的白利糖度,然后乘以某一折光系数来换算乳化液浓度。由于同一乳化液在不同浓度下的折光系数各不相同,此种换算存在系统偏差。且人工取样的单次单点测量无法准确反映全系统乳化液浓度的分布和变化规律。乳化液浓度在线检测技术可实时测量乳化液浓度,实现生产现场乳化液浓度精确控制和闭环控制。笔者在调研该领域研究进展的基础上,提出了一种基于密度差异的乳化液浓度在线检测技术。

1 乳化液在线检测技术研究进展

近 20 年来,乳化液浓度在线检测技术一直是国内煤矿科技工作者研究的热点。乳化液浓度在线检测方法主要有阻容法、电磁波法、超声波法和密度法 4 种,具体如图 1 所示。

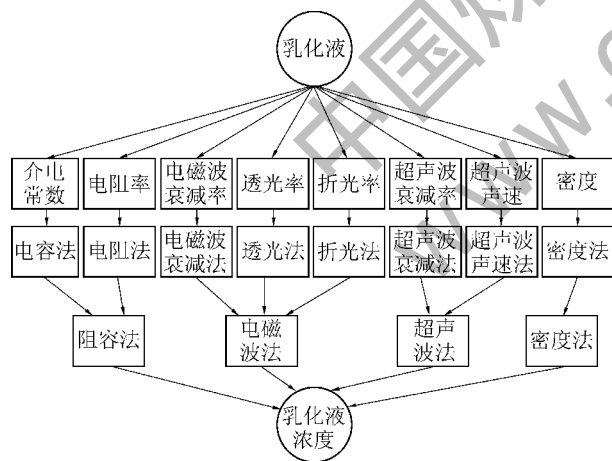


图 1 乳化液浓度在线检测方法体系

Fig. 1 Emulsion concentration online detecting system

1.1 阻容法

阻容法的基本原理是通过测量乳化液的介电常数、电阻率来推算乳化液浓度。王正良等^[6]设计了阻容型浓度传感器,相对测试精度达到了 $\pm 8\%$ 。但该技术阻容参数现场测量复杂,难以实现。

1.2 电磁波法

电磁波法的基本原理是基于不同浓度乳化液对

电磁波的衰减程度或对可见光的透光程度和折射程度不同,通过测量乳化液对电磁波的衰减率,对可见光的透光率、折光率来计算乳化液浓度,分别称为电磁波衰减法^[7]、透光法^[8]、折光法^[9-12]。这一类方法中,以折光法测量效果最好,国内均有该类产品的推出。折光法检测溶液浓度原理如图 2 所示。

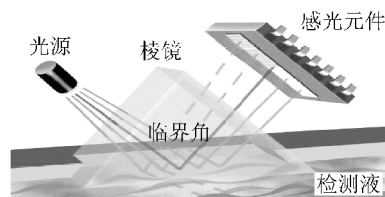


图 2 折光法检测溶液浓度原理

Fig. 2 Schematic of refractive technique detecting solution concentration

一束光线经棱镜入射到棱镜与乳化液的固液分界面上,入射角小于临界角的部分光线在固液分界面发生折射进入液体,在感光元件对应位置上形成暗块。入射角大于临界角的部分光线发生全反射打在感光元件上,对应位置形成亮块。检测感光元件上明暗交界线的位置即可计算乳化液浓度。

1.3 超声波法

超声波法的基本原理是基于不同浓度乳化液对超声波的衰减率或传输速率不同,通过测量衰减率或传输速率来计算乳化液浓度,分别称为超声波衰减法^[13]和超声波声速法^[14-18]。其中超声波声速法测量效果更好,研究成果也最多。

1.4 密度法

密度法的基本原理是通过测量乳化液密度来推算乳化液浓度。任伟^[19]分析了密度法检测乳化液浓度的可行性。乳化油和水不相溶 2 种物质混合后,混合液的密度应反映 2 种物质的质量分数。忽略环境、算法等其他因素的影响,理论上密度法浓度测量精度 p_n 与密度测量精度 p_m 成正比,与油和水的原始密度差 $(p_o - p_w)$ 成反比,即: $p_n = p_m / (p_o - p_w)$ 。

笔者采用高精度密度计对水和常见 3 个牌号的乳化油在 20~50℃ 条件下进行密度测试,结果如图 3 所示。由图 3 可知,福斯 ME10-4 乳化油与水密度差异最小,差值约为 0.04 g/cm³,按上式粗略估算密度法浓度测量绝对精度可达 0.25%;极索 MS10-5(G) 乳化油能达到 0.10%,满足生产现场使用要求。

阻容法已被淘汰,电磁波法中的折光法、超声波法中的超声波声速法是研究主流,密度法是最新提

出的方法,具有系统简洁、线性度好等优点。

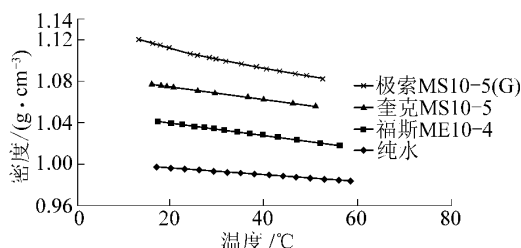


图3 水和常用乳化油不同温度下的密度测试

Fig. 3 Density test of commonly used kinds of emulsion and water in different temperature

2 产业化现状及前景

2.1 产业化现状

国内矿用乳化液浓度检测技术仍不成熟,未形成产业化。绝大多数矿井仍使用手持式折光仪进行离线检测,人工读数。只有极少数厂家采用基于超声波声速法或折光法的乳化液浓度传感器。常用的乳化液浓度传感器主要有 ZNR 型矿用乳化液浓度监测装置、RISEN-HU2105 型超声波浓度仪、TRF-OWE 型乳化液浓度计。这些乳化液浓度监测装置的实验室测试效果较好,但井下试验中出现测量精度小、稳定性差等问题,原因可能在于超声波声速法和折光法对环境依赖性较强,如现场地下水理化性质改变、乳化液中混入煤灰铁屑等杂质、乳化液析出的沉积物污染传感头、精密光学组件松动导致光源和感光部件匹配不好等情况,易导致测试结果偏差太大。

北京天地玛珂电液控制系统有限公司使用高精度密度计,依据密度法原理制备的乳化液浓度传感器^[20],在实验室条件下的测量精度比同类国产产品在测试精度、测量结果重复一致性、产品稳定性方面具有明显优势。该乳化液浓度传感器在伊泰酸刺沟煤矿 6_上111 工作面进行了长达 3 个月的井下工业性试验,效果良好。

国外类似产品的技术成熟度相比国内高很多,已经有大批量市场应用的产品。如澳大利亚 PL&A 公司、德国 S+H 公司、英国 K-Patents 公司生产的在线式折光仪,测量效果较好,但价格昂贵,且均未能通过我国的安标国家矿用产品安全标志中心审查,还不能用于煤矿现场。

2.2 产业化前景

从市场环境来看,国内乳化液浓度在线检测技术仍处于产业化初级阶段,原因在于国产乳化液浓

度传感器技术有待提高,国外产品虽然技术上相对成熟,但价格昂贵,技术支持不到位,且进口产品没有取得国内的煤矿安全认证,推广起来存在法规风险。只有攻克乳化液浓度传感器井下长期使用的可靠性问题,乳化液浓度在线检测技术才可实现产业化和国产化。

从检测方法来看,超声波声速法对乳化液介质浓度敏感度较差,特别在 3%~6% 高浓度段敏感性极差,几乎没有区分度;而折光法产品井下使用中镜头被析出物污染的问题尚未解决,制约该技术的产业化发展,前景不明朗。密度法检测技术可采用集成度很高的高精度密度计作为测试核心,辅以算法优化和实验室标定,能很好地避免前 2 种方法的缺陷,在煤矿井下乳化液浓度检测、机加工切削液浓度检测、饮料酒水生产线上液体浓度检测等场合都有应用,前景广阔。

3 结 语

乳化液浓度在线检测方法主要有阻容法、电磁波法、超声波法和密度法 4 类。利用乳化液在不同浓度下电阻率、介电常数、超声波速率、超声波衰减率、电磁波衰减率、折光率、乳化液密度等参数的不同来测量浓度。当前,阻容法已被淘汰;超声波声速法对乳化液浓度敏感度较差;折光法检测镜头被析出物污染的问题尚未解决;密度法采用高精度密度计作为测试核心,辅以算法优化和实验室标定,能有效避免前述方法的缺陷,应用前景广阔。

参考文献(References):

- [1] 周新建,杨献文,张萧云.乳化液在煤矿的应用[J].润滑与密封,2003(3):85-87.
Zhou Xinjian, Yang Xianwen, Zhang Xiaoyun. Application of emulsion in coal mine[J]. Lubrication Engineering, 2003(3): 85-87.
- [2] 柴光远,王晓丽.基于模糊控制的乳化液自动配比系统[J].机床与液压,2004(6):73-74.
Chai Guangyuan, Wang Xiaoli. The automatic mixing system of emulsion based on fuzzy control[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2004(6): 73-74.
- [3] 姬翠翠,朱华,江炜.矿用乳化液浓度自动检测与配比技术比较研究[J].煤炭科学技术,2007,35(11):87-90.
Ji Cuicui, Zhu Hua, Jiang Wei. Comparison research of density auto measurement and mixing ratio technology of mine emulsion[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(11): 87-90.
- [4] 吴勇,宋磊,曲乃锐.矿用乳化液浓度配比装置的研究[J].

- 工矿自动化, 2012(2) : 84-87.
- Wu Yong, Song Lei, Qu Nairui. Research of mine emulsion concentration mixing equipment[J]. Industry and Mine Automation, 2012(2) : 84-87.
- [5] 李 伟, 张 力, 车 鹏. 文丘里管式乳化液浓度配比装置误差分析[J]. 液压气动与密封, 2012(11) : 62-63.
- Li Wei, Zhang Li, Che Peng. Error analysis of venturi emulsion concentration mixing equipment[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2012(11) : 62-63.
- [6] 王正良, 赵大庆, 唐 兵, 等. 乳化液浓度自动检测配比系统[J]. 中国矿业大学学报, 1994, 23(1) : 9-15.
- Wang Zhengliang, Zhao Daqing, Tang Bing, et al. Automaticly concentration detecting and mixing system of emulsion[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1994, 23(1) : 9-15.
- [7] 赵四海, 李文昌, 李 明, 等. 采用检测光学混浊度确定乳化液浓度方法的研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(1) : 157-160.
- Zhao Sihai, Li Wenchang, Li Ming, et al. Study of the method of detecting of consistence of emulsion using testing light turbidity[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(1) : 157-160.
- [8] 顾德英, 刘万军, 朱 华, 等. 采用红外透光技术的乳化液浓度自动监测系统[J]. 电测与仪表, 1998(2) : 41-42.
- Gu Deying, Liu Wanjun, Zhu Hua, et al. Automatic monitoring system of emulsion concentration by infrared transmission technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 1998(2) : 41-42.
- [9] 赵四海, 王 琦, 刘志强. 国内乳化液浓度检测与自动配比技术研究进展[J]. 工矿自动化, 2012(8) : 30-35.
- Zhao Sihai, Wang Qi, Liu Zhiqiang. Research progress of detection and automatic matching technique for emulsion concentration[J]. Industry and Mine Automation, 2012(8) : 30-35.
- [10] 苏百顺, 庞政铎, 孟国营. 基于光纤传感的乳化液浓度检测仪的设计[J]. 现代制造工程, 2012(3) : 93-97.
- Su Baishun, Pang Zhengduo, Meng Guoying. Design of emulsion concentration detector based on optical fiber sensor[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2012(3) : 93-97.
- [11] 吕利强, 李文英. 矿用乳化液浓度自动检测方法的研究[J]. 流体传动与控制, 2009(4) : 55-58.
- Lyu Liqiang, Li Wenying. Automatic measurement of mine emulsion concentration[J]. Fluid Power Transmission and Control, 2009(4) : 55-58.
- [12] 韦树贡, 杨秀增, 欧启标, 等. 应用镀膜长周期光纤光栅对煤矿用乳化液浓度检测的研究[J]. 煤矿机械, 2013, 34(2) : 51-53.
- Wei Shugong, Yang Xiuzeng, Ou Qibiao, et al. Study on the application of coated long period fiber grating for coalmine emulsion concentration detection[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(2) : 51-53.
- [13] 王晓丽, 柴光远, 徐尚龙. 乳化液浓度的检测与自动配比[J]. 煤矿机械, 2002, 23(7) : 45-46.
- Wang Xiaoli, Chai Guangyuan, Xu Shanglong. The testing and automatic mixing system of emulsion concentration[J]. Coal Mine Machinery, 2002, 23(7) : 45-46.
- [14] 曲 宝, 李延奎, 张 强. 基于声速法的乳化液浓度在线检测技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(1) : 23-26.
- Qu Bao, Li Yankui, Zhang Qiang. Research on online concentration detection technology based on the method of ultrasonic velocity[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2012, 39(1) : 23-26.
- [15] 王 杰. 乳化液浓度超声波在线检测技术的研究[J]. 自动化应用, 2011(8) : 70-72, 74.
- Wang Jie. Study on the ultrasonic emulsion concentration online detection technology[J]. Automation Application, 2011(8) : 70-72, 74.
- [16] 陈 琳, 朱士明, 梁军汀, 等. 基于神经网络的超声波乳化液质量分数测量[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2) : 257-261.
- Chen Lin, Zhu Shiming, Liang Junting, et al. Ultrasonic rolling-oil concentration measurement based on ANN[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007, 35(2) : 257-261.
- [17] 李昌禧, 李跃忠, 王 兵. 冷轧乳化液浓度在线测量仪的研究[J]. 仪表技术与传感器, 2007(1) : 11-13.
- Li Changxi, Li Yuezhong, Wang Bing. Study on emulsion concentration instrument measuring online for cold rolling[J]. Instrument Technique and Sensor, 2007(1) : 11-13.
- [18] 王 东, 吴雨川. 乳化液浓度测试系统及实验过程[J]. 流体传动与控制, 2009(3) : 20-21.
- Wang Dong, Wu Yuchuan. Testing system of emulsion concentration and experiment process[J]. Fluid Power Transmission and Control, 2009(3) : 20-21.
- [19] 任 伟. U 形管振荡法检测乳化液浓度的可行性分析[J]. 煤矿机械, 2013, 34(2) : 109-110.
- Ren Wei. Feasible analysis about concentration detection of mine emulsion by U-tube vibration[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(2) : 109-110.
- [20] 李 森, 郭卓越, 邱成鹏, 等. 密度法乳化液浓度传感器研制[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(7) : 70-72.
- Li Sen, Guo Zhouyue, Qiu Chengpeng, et al. Research and fabrication of emulsion concentration sensor based on density method[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2014, 33(7) : 70-72.