

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.007

风雨环境下轿车行驶中的气动特性研究*

冯 伟, 杜礼明*, 倪守隆

(大连交通大学 辽宁省高等学校载运工具先进技术重点实验室, 辽宁 大连 116028)

摘要: 针对轿车在恶劣气候条件(侧风和降雨)下行驶中的气动特性及安全性等问题,建立了某轿车的三维数值模型,采用两相流模型,模拟了该轿车以不同速度在无风、不同侧风、降雨等条件下的行驶情况,对比分析了三种情况下轿车周围空气流场及受力特点;研究了该车在侧风和降雨共同作用下的行驶气动特性。结果表明:在设定的降雨量情况下,有雨比无雨时汽车阻力增加30%左右,纵倾力矩增加0.72%~3.42%;在侧风和降雨条件下,升力增加了87%~185%;侧风的增大伴随着降雨,车身表面压力变大,横摆力矩明显增大,对汽车的安全行驶影响明显。

关键词: 风雨环境; 气动性能; 数值模拟; 侧风; 降雨

中图分类号: TP391.7; TH122; TV463 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)04-0474-05

Numerical analysis of aerodynamic characteristics of sedan driving in wind and rainfall environment

FENG Wei, DU Li-ming, NI Shou-long

(Province Key Lab of Vehicle Engineering Advanced Technology, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: Aiming at solving the problems of aerodynamic characteristics and operation safety issues of the sedan under extreme weather conditions(crosswind and rainfall), a three-dimensional numerical model of the sedan was established. By applying two phases low model, aerodynamic characteristics of the Sedan running in three climatic conditions (no wind, wind, rainfall) with different speeds were numerically researched and air flow field and aerodynamic force characteristics around the sedan were analyzed by comparison. Aerodynamic characteristics of the sedan running in coupling of cross wind and rain was numerically researched. The results indicate that aerodynamic drag of the sedan running in rainfall is increased by about 30% and trim moment increases by 3.42%~0.72%, compared with in condition of no rainfall. It is also indicates that the lift of the sedan is increased by 87%~185% in the condition of crosswind and rainfall and the surface pressure and yawing moment of the sedan are increased obviously with the increasing power of lateral wind, which cause remarkable impact on the driving safety of the sedan.

Key words: wind and rain environment; aerodynamic characteristics; numerical simulation; crosswind; rainfall

0 引 言

汽车行驶过程与空气相对运动并相互作用,产生气动阻力、气动升力、气动侧向力,在这3个气动力及其相应力矩的作用下产生车身外部的侧风稳定性等

问题。侧风稳定性是汽车空气动力特性的一个重要研究内容,在行驶过程中,汽车的操纵特性总是难免要受到侧风的影响。侧风速度较低时,这种影响可以忽略,但是随着侧风的增强,汽车的行驶安全性会受到影响^[1]。不同的车速受到侧风大小影响不同,了解二者规律,找到合理方法,对提高行驶安全性有较大

收稿日期: 2014-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11202043)

作者简介: 冯 伟(1987-),男,内蒙古巴彦淖尔人,主要从事计算流体动力学方面的研究. E-mail:494604137@qq.com

通信联系人: 杜礼明,男,博士,教授. E-mail:dulm@vip.sina.com

帮助^[2-3]。

国内对汽车侧风稳定性的研究起步较晚。谷正气等^[4-6]研究了气动侧向力对汽车性能的影响,并在汽车控制、侧风风谱的建立、计算机模拟等方面取得了一系列的研究成果。崔阳阳等^[7]对暴风雪条件下列车气动特性及倾覆稳定性进行了研究,在强侧风及强侧风和强降雪耦合的两种情况下对列车的倾覆稳定性进行了评价。

万军^[8]研究了高速列车在强降雨及强侧风同时作用的条件下的气动特性,列车的升力、侧向力、侧偏力矩等影响列车行车安全的气动参数都比仅有侧风的工况大,降雨会进一步危害列车的行车安全。敬俊娥等^[9]研究了风雨联合作用下高速列车受力数值模拟,伴随着降雨过程的强横风作用,车辆所受的气动载荷与强横风的单独作用情况下相比稍微增加。

列车的质量和体积相比汽车要大得多,其抵抗风雨的能力也强得多,在相同的外部风雨环境下,汽车的行驶安全风险更高。汽车在暴风雨等极端恶劣天气中行驶时会导致偏离正确的行驶路线,造成严重的后果。目前国内外鲜有文献报道这方面的研究工作。

笔者采用数值方法,基于气液两相流模型,对风雨环境下行驶的某轿车气动特性进行研究,分析风雨环境对轿车行驶安全性的影响,为汽车的优化设计与安全行驶提供参考。

1 汽车几何模型

本研究的对象为某型轿车(外形尺寸4 969 mm×2 139 mm×1 420 mm)。本研究通过CATIA环境中的自由曲面造型设计建立其几何模型,并对曲面造型的曲线光顺性及整车的曲面造型的光顺性进行检查^[10-13],在建模的过程中对一些细微部分作了近似处理,忽略进气栅、门把手、刮雨器等附件,车身底部也近似处理为一个平面。

2 数值模型与计算方法

2.1 计算域和网格划分

为避免边界条件对流体域内的汽车流场产生影响,流域边界应尽量远^[14]。本研究将计算域选取为车头前部空间取车长的3倍,车尾后部空间长度取车长的6倍,车顶上部空间取车高的5倍,车侧部空间取车宽的7倍。

网格划分采取计算域分区生成解决方案,将汽车外部流场分为内、外两区,在汽车周围较小范围为内区,由于汽车曲面复杂,这个区采用非结构网格划分

能够很好地适应汽车的复杂几何形状,并且网格加密。外部区域为规则区域,采用结构网格,靠近内区附近网格较密,远场网格较疏,这样既能保证车身附近的计算精度又能保证计算速度。

2.2 边界条件和求解设置

数值计算中,汽车行驶速度取80 km/h、90 km/h、100 km/h、110 km/h、120 km/h、130 km/h,分别进行计算,设定工况为汽车匀速运动,来流气流方向平行于汽车的前进方向,假定环境的温度为进口温度,进口湍流方程使用经验数值,出口边界条件设定为压力出口;计算域地面采用滑移壁面边界,对称面为对称边界条件,其他面设为壁面条件。

本研究采用气液两相流模型,雨滴作为第二相,在Fluent中主要是通过激活离散相模型模块,模拟冰雹、雨滴这样被视为球状的颗粒(代表液滴或气泡)在连续相中的分布。对于离散相模型的应用,其建立在第二相非常稀薄的假定基础上,并且颗粒间的相互作用力可以忽略不计,也不考虑颗粒的体积分数对连续相的影响。本研究通过在Fluent中定义离散相的初始位置、速度、尺寸和每个颗粒的温度来激活离散相模型^[15]。离散相的雨滴在与汽车车身碰撞后破碎成小液,将车身表面设置为壁膜,计算域上部为射流源的喷射口,雨滴以一定的初速度从该面射出,雨滴的运动轨迹也从该面开始计算。

3 仿真结果与分析

3.1 无降雨环境下车身外表面气动特性

3.1.1 不同车速下轿车气动特性的研究

本研究在该轿车行驶速度分别为80 km/h、90 km/h、100 km/h、110 km/h、120 km/h、130 km/h,无侧风无降雨环境下进行了数值模拟。

100 km/h车身外表面压力分布云图如图1所示。从图1中可以看出气流经过该轿车头部,气流受到较大的阻力,气流流动状态转变为相对静止,在此形成正压区,压力达到了最大;气流经过车头边缘发生分离形成负压区,当达到稳定状态时发生了附着,在发动机罩与前挡风玻璃转折处形成正压区,气流在车顶前缘以高速发生急剧的转折,并再次发生了局部分离,形成了明显的负压区,该轿车的底部也是负压区,尾部气流流速降低,使压力增加,形成了正压区;计算中轮胎离地有一定的间隙,所以气流在前轮的轮胎前部形成正压区,后部形成负压区,这是由于地面效应和车底板的影响后轮压力相对前轮较小。

无风雨环境下汽车受力、力矩与速度关系如图2

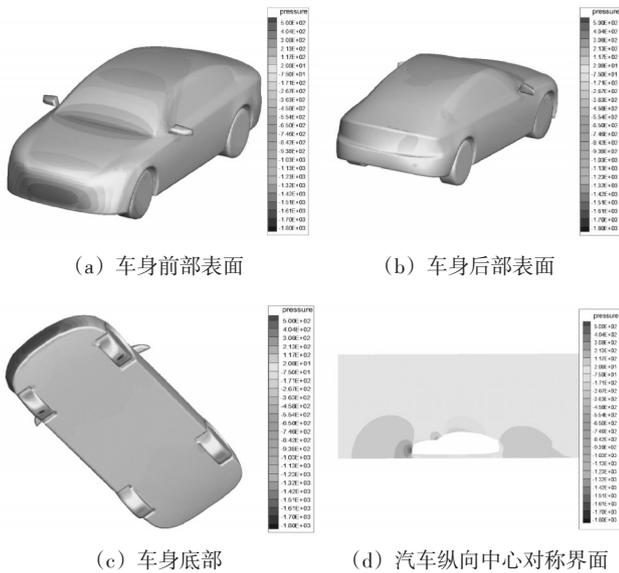


图1 车身表面压力分布(车速为100 km/h)

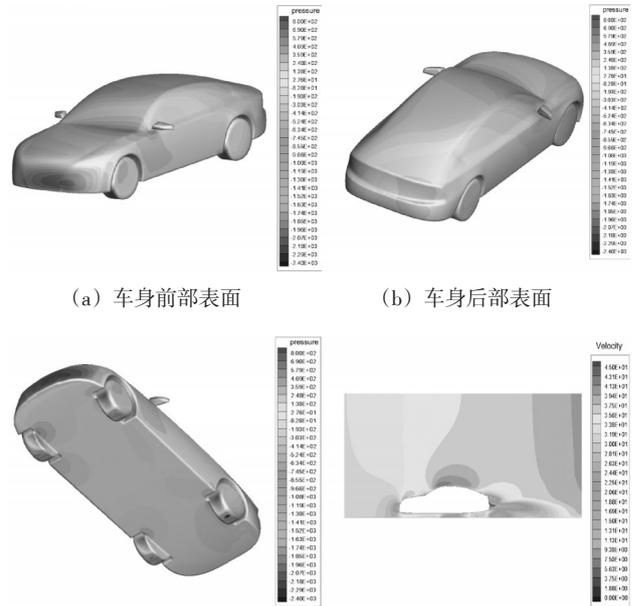


图3 车速100 km/h,侧风3 m/s压力分布

所示。通过图2可以看出计算所得汽车阻力和升力随车速的增大而增大,阻力的增大幅度明显较大,升力变化较缓慢;随车速的增大纵倾力矩和横摆力矩逐渐增大,纵倾力矩增大的幅值较大,对汽车的行驶安全性造成了一定的影响。

较,轮胎表面压力增大,后轮尤其明显。与无风环境对比发现:在侧风环境下,车身左、右两侧出现压差随风速的增加而增加,最终导致车身所受到的侧向力和横摆力矩越来越大,但是车身前、后部的压强差变化不大,侧风对气动阻力影响不大。绕流过底部边缘的前方来流,由于受到汽车底部和地面的影响,产生汽车边界层和次生地面边界层,使得气流流速降低,使车身底部的压强高于车身上部的压强。随着风速的增大,车身上部的压强逐渐降低,而下部的压强逐渐增大,使得汽车所受到的气动升力增大,由此产生的升力比无风环境下的升力大很多,汽车安全性受到更大影响,关系图如图4所示。

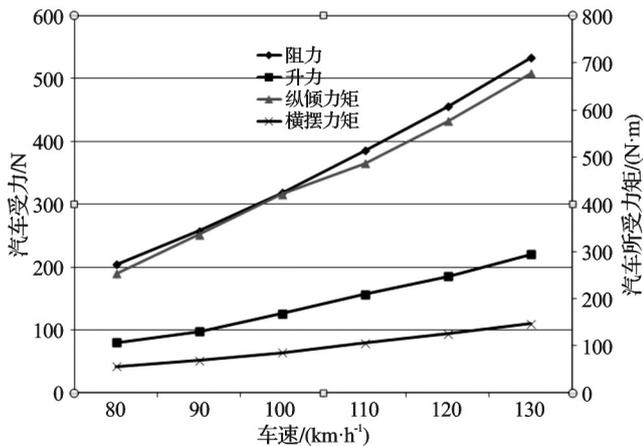


图2 无风雨环境下汽车受力、力矩与速度关系

3.1.2 不同侧风条件下轿车气动特性的研究

本研究在汽车行驶速度分别为80 km/h、90 km/h、100 km/h、110 km/h、120 km/h、130 km/h,无降雨在侧风分别为0 m/s、3 m/s、5 m/s、7 m/s、9 m/s、12 m/s、15 m/s环境下进行了数值模拟,侧风进口在车身左侧。计算结果显示在一定车速下,不同侧风条件下,汽车表面压力分布和速度具有明显变化。受篇幅限制,现取车速为100 km/h,侧风为3 m/s时的车身压力分布图(如图3所示)为研究对象,在有侧风情况下和无侧风情况对比,发现车身表面压力分布发生了明显的变化。车头左侧压力高于右侧压力,汽车尾部左侧压力小于右侧压力,两个压力差形成一个横摆力矩;与无侧风相比

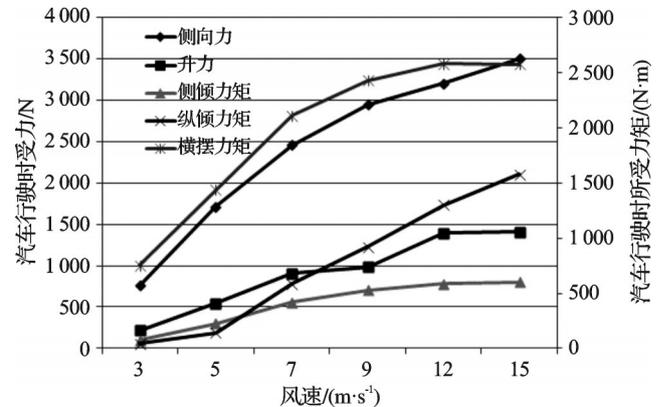


图4 侧风无雨环境下汽车受力、力矩与风速关系

3.2 降雨环境下车身外表面气动特性的研究

在降雨环境下汽车外流场变得更加复杂,大量的雨滴撞到汽车迎风面,雨滴发生破碎飞溅,车辆迎风侧一定范围内雨滴密度较大,这个范围逐渐变大,表

明雨滴在车辆表面的飞溅越严重,同时也说明雨滴与车辆之间的碰撞也较剧烈,增大了车身表面的压力,压力分布图如图5所示。

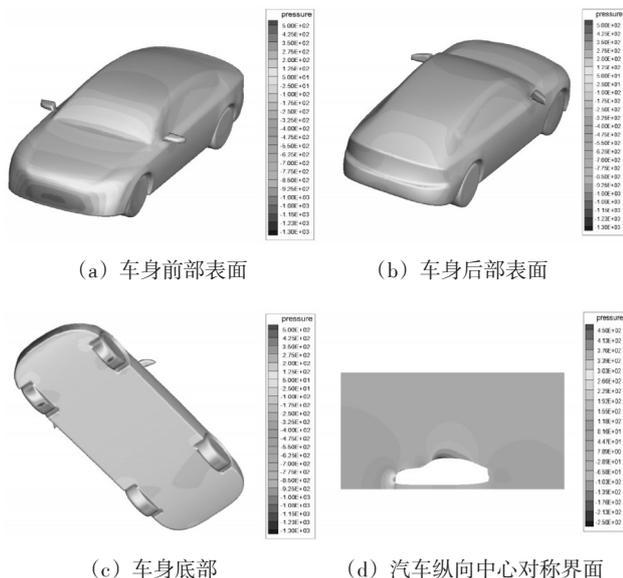


图5 车速90 km/h,降雨强度为15 mm/h时压力分布

与无雨时相比,降雨条件下(降雨强度15 mm/h)汽车的阻力增加,阻力变化明显较大,相同车速下阻力增加30%左右,汽车升力变小,升力变化平缓,纵倾力矩相比无雨环境下增加0.72%~3.42%,在降雨量下纵倾力矩增加较少,横摆力矩变化不大,显然降雨环境下汽车安全性受到了限制,三者关系如图6所示。

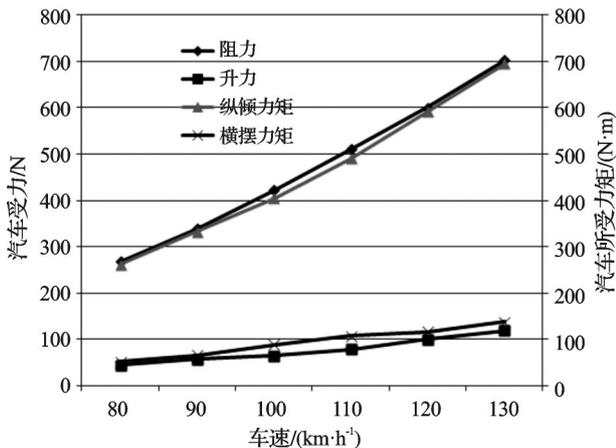


图6 降雨无风环境下汽车受力、力矩与速度关系

车速为90 km/h,风速为3 m/s,降雨强度为15 mm/h条件下汽车车身外表面压力分布云图如图7所示,与无侧风和无雨相比,车身表面压强增大;受到横风风速变大及车辆顶部空气绕流加速的影响,车辆顶部空气流动的速度越来越大,车辆顶部雨滴在高速空气流的带动下速度也变大,从而导致车辆顶部雨滴运动呈抛物线状,随着风速的增大,雨滴的抛射距离越远,影响区域越广。

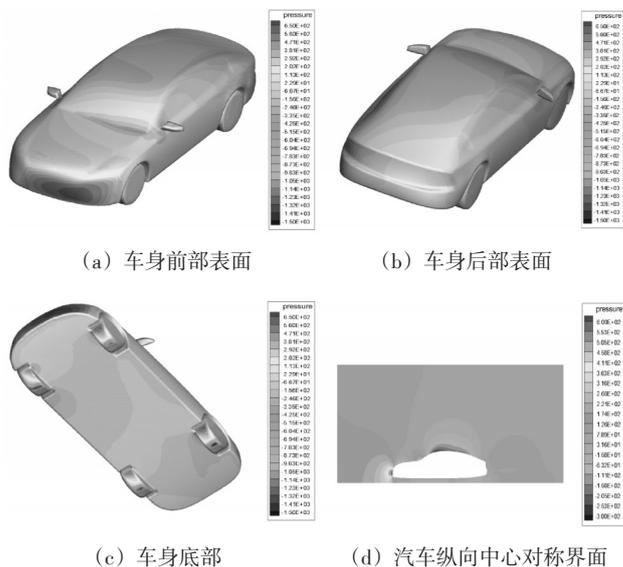


图7 降雨侧风条件下汽车车身外表面压力分布

在有侧风和降雨环境下,汽车侧向力和升力随风速急剧增加,升力增加较明显,与无侧翻相比升力增加了87%~185%,横摆力矩明显增大,对汽车安全性造成了很大的影响,三者关系如图8所示(车速90 km/h)。

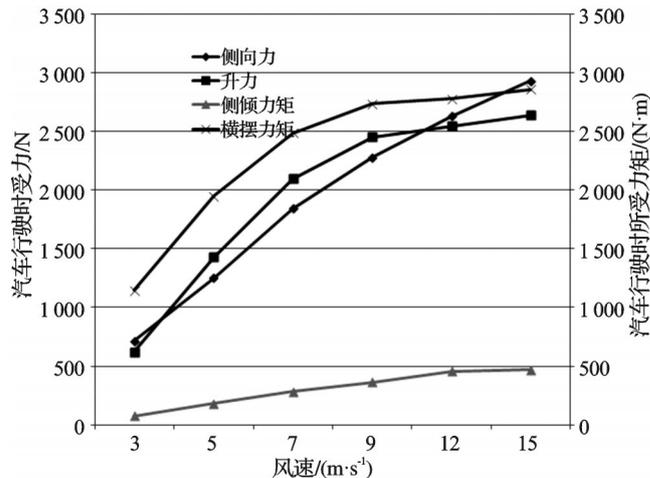


图8 侧风、雨环境下汽车受力、力矩与风速关系

4 结束语

本研究通过数值方法研究了在3种不同情况下轿车周围空气流场及受力特性,结论如下:

(1) 在无风雨环境下,车身表面压力随车速的增加而增加,汽车头部压力最大,气流流经头部向后两侧压力变小,汽车行驶较安全。

(2) 有侧风时,车身后部和前部的压力都增加,但增加的幅度不大,汽车阻力受侧风影响很小,升力和侧向力的变化趋势与侧风速度的变化趋势基本相同,即随着侧风速度的增大,汽车升力和侧向力明显增

大,影响汽车行驶稳定性。

(3) 与无风雨相比,在有降雨条件下阻力、纵倾力矩均增加;在侧风降雨条件下,升力增加了87%~185%,升力的增加导致侧倾力矩变大;有大量雨滴撞到汽车车身上部和侧面,车身表面压力增大,伴随风的出现,汽车外流场更加复杂,加之地面湿滑,汽车抓地能力变弱出现打滑,汽车的行驶安全性受到较大限制。因此,在风雨等恶劣天气下,驾驶员应适当降低车速,以提高汽车行驶安全性。

参考文献(References):

- [1] 刘高峰. 侧风作用下厢式货车气动特性研究[D]. 长春:吉林大学汽车工程学院,2006.
- [2] ZHENGQI GU, WOLFGANG. S. Investigation of the Transient state steering stability in the side winds for a High-speed vehicle[J]. **Vehicle Design**, 2001(26):21-29.
- [3] TRAN V T. Crosswind feedforward control: a measure to improve vehicle crosswind behavior[J]. **Vehicle System Dynamics**, 1994(23):165-209.
- [4] 谷正气. 汽车空气动力学[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [5] 谷正气. 气动侧力对汽车性能影响的研究[J]. 湖南大学学报,1993,20(2):68-72.
- [6] 蒋俊,曾京. 横风作用下高速列车制动特性研究[J]. 机械,2013(10):15-18.
- [7] 催阳阳. 暴风雪条件下列车气动特性及倾覆稳定性分析[J]. 机电工程,2012,29(8):877-881.
- [8] 万军. 高速列车在强侧风及强降雨天气下的气动特性和行驶安全[D]. 杭州:浙江大学航空航天学院,2012.
- [9] 敬俊娥,高广军. 风雨联合作用下高速列车受力数值模拟[J]. 铁道科学与工程学报,2013,10(3):99-102.
- [10] 聂勇军,廖启征,薛运锋. 基于ADAMS的高速列车动力学性能仿真研究[J]. 机电工程技术,2012(8):58-60,174.
- [11] 何忠韬,方海容. 高速动车换气口流动阻力实验台设计[J]. 流体机械,2013,41(9):77-80.
- [12] 黄兵锋. 汽车零部件逆向设计中的参数化建模方法研究[J]. 机电工程,2013,30(11):1345-1350.
- [13] 武振锋,袁玄武,汪净. 一种轿车前保险杠曲面设计与质量分析[J]. 机械设计,2013(1):59-62.
- [14] 梁建永. 轿车外流场CFD分析中常用湍流模型的对比[J]. 汽车工程,2008,30(10):846-852.
- [15] 张淼. 基于颗粒轨道模型的高速列车多相流数值模拟与分析[D]. 杭州:浙江大学航空航天学院,2011.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

冯伟,杜礼明,倪守隆. 风雨环境下轿车行驶中的气动特性研究[J]. 机电工程,2015,32(4):474-478.

FENG Wei, DU Li-ming, NI Shou-long. Numerical analysis of aerodynamic characteristics of sedan driving in wind and rainfall environment[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(4):474-478.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第468页)

置误差影响,减小了安装测量仪器时带来的系统误差,使测量仪器具有更广的适用范围,也便于实际测量的安装和测量。同时笔者设计了人性化的界面GUI,便于人机交互和在线控制乳化液的浓度,为自动化配比乳化液浓度提供了条件。

经试验证明,整个系统具有很好的抗干扰性、便于操作,是具有高检测精度、稳定性和可靠性的在线检测系统。

参考文献(References):

- [1] 赵四海,李文昌,王法磊,等. 采用检测光学混浊度确定乳化液浓度方法研究[J]. 煤炭学报,2011(1):157-160.
- [2] 王东,王兵,李昌禧. 超声波技术检测乳化液浓度的仿真与实验. 武汉科技学院学报,2004,17(3):33-37.
- [3] 丁恩杰,陈桂珍,刘云霞. 一种新颖的乳化液浓度检测方法[J]. 仪器仪表学报,2002(6):333-334.
- [4] 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.
- [5] 吴一全,潘喆,吴文怡. 二维直方图区域斜分阈值分割及快速递推算法[J]. 通信学报,2008(4):77-83,89.
- [6] 张志伟,尹卫峰,温廷敦,等. 溶液浓度与其折射率关系的理论和实验研究[J]. 中北大学学报,2009,30(3):281-285.
- [7] 钟丽云,杨齐民,吕晓旭. 折射率调制型光纤传感器在溶液浓度测量中的应用[J]. 光子学报,1998,27(5):445-448.
- [8] 邹小林,冯国灿. 基于2d-wldh和最大类间方差的图像阈值分割及快速递推算法[J]. 光电工程,2012(3):14-150.
- [9] 赵四海,李文昌,王法磊,等. 采用检测光学混浊度确定乳化液浓度方法研究[J]. 煤炭学报,2011(1):157-160.
- [10] 顾德英,孙孝琴. 用红外透光技术的乳化液自动检测系统[J]. 润滑与密封. 2003(3):85-87.
- [11] FARRAHIMOGHADDAM R. Adotsu: An adaptive and parameterless generalization of otsu's method for document image binarization[J]. **Pattern Recognition**, 2012, 45(6): 2419-2431.
- [12] KIRAN M S, GÜNDÜZ M. A recombination-based hybridization of particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm for continuous optimization problems[J]. **Applied Soft Computing**, 2013, 13(4):2188-2203.

[编辑:李辉]