

泡沫性能的测试和评价方法进展

王莉娟, 张高勇, 董金凤, 周晓海, 洪昕林

(武汉大学 化学与分子科学学院 胶体及界面科学实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 综述了测试泡沫性能——主要是溶液的起泡能力和泡沫稳定性的方法以及评价手段; 介绍了常用的起泡方式及检测手段, 包括体积法、电导率法和压力法, 讨论了各方法的优缺点; 并叙述了评价溶液起泡能力和泡沫稳定性手段的进展; 提出了选择合理的评价方法以客观完善的对泡沫性能进行评价的必要性。

关键词: 表面活性剂; 泡沫性能; 评价方法

中图分类号: TQ423

文献标识码: A

文章编号: 1001-180X(2005)03-0171-03

泡沫是一种气体分散在液体中的分散体系, 其中气体是分散相, 液体是分散介质^[1]。泡沫在工业、日常生活中都起着非常重要的作用。常用的洗涤剂、洗发水和洗手液等都需丰富的泡沫, 泡沫的性能如产生泡沫的大小、多少及泡沫的稳定性都直接影响着消费者对这些日用产品的评价。在工业应用方面泡沫常用于泡沫浮选、泡沫分离、灭火及食品工业等。由于泡沫应用领域的不同, 对其性能的要求也不同^[2]。泡沫体系性能的研究涉及到许多因素, 如溶液的起泡能力、泡沫的稳定性及大小分布等, 但其最重要的两种性能就是溶液的起泡能力(起泡的难易程度)和泡沫的稳定性(泡沫破裂的难易性)。溶液起泡能力和泡沫的稳定性不但与溶液中溶质的性质和起泡的物理或化学条件有关, 还在很大程度上受检测及评价方法的影响。目前用于表征泡沫性质的方法有许多, 较常用的有检测泡沫体积变化的体积法, 检测泡沫电导率变化的电导率法以及基于检测泡沫压强变化的压力法。

1 测试方法

1.1 体积法

体积法由于所需设备简单, 检测方法直观易行, 适用场所广泛, 是目前发展得比较成熟的方法。因泡沫产生方法的不同, 又可将体积法分为以下几类^[3]。

(1) 倾泻法(Ross - Miles 法): Ross - Miles 仪作为室内评价表面活性剂发泡能力的仪器, 在化工行业中广泛应用并在长期使用中不断改进。目前广泛使用的为 GB/T 7462 - 94 改进 Ross - Miles 法^[4]。该法是日用品及化工产品泡沫性能检测的国家标准方法。

(2) 振荡法: 振荡法因操作简便被广泛应用于实

验室中溶液发泡能力的测定。Patist A. 等人^[5]常用此法来检测溶液的起泡能力。向量筒中装入表面活性剂溶液, 剧烈振荡 10 s, 停止振荡后立即记录下产生泡沫的体积作为溶液起泡性能的量度。记下从停止振荡到泡沫衰减到原来高度的一半所需要的时间 $t_{1/2}$, 用于表征泡沫的稳定性^[6]。此法的缺点是难以保持恒定的振荡力度, 每次实验之间的误差很大。

(3) 搅拌法(Waring - Blender 法): 向量杯中加入待测溶液, 试验时以恒定速度搅拌 60 s 后停止搅拌, 记录产生的泡沫体积 V_0 用于衡量溶液的起泡能力。随时间的推移, 液体不断从泡沫中析出, 记录下泡沫中排出 50 mL 液体所需要的时间 t (s) 用于衡量泡沫的稳定性^[7]。在搅拌过程中可以控制其搅拌速度不变, 这种方法与倾泻法或振荡法相比具有更好的重复性。此法操作方便, 重现性好, 能较准确地反映出发泡剂的起泡能力和泡沫稳定性, 是用于评价发泡剂性能优劣的常用方法。

(4) 气流法: 气流法的装置为一带刻度的、底部装有毛细管的圆柱形石英管。为确保起泡前容器壁保持干燥, 需通过长颈漏斗伸向容器底部向容器中加入试液。试验时, 以恒定的速度向容器内缓慢通气一段时间后, 立即测量停止通气时产生泡沫体积作为溶液起泡性的量度。记录下泡沫高度衰减到原来高度的一半时所需的时间 $t_{1/2}$, 用于表征泡沫的稳定性^[8]。此外, 膜起泡法^[9]也是通气法中的一种, 这种新方法主要是使作为分散相的气体通过膜的微孔被压入溶液中, 产生的气泡被溶液中的表面活性剂稳定, 并由于气体流动的剪切力使之与膜表面分离。此法的优点是泡沫的粒径分布在一个较窄的区域内, 并随膜孔直径的变化而变化。

收稿日期: 2004 - 12 - 07; 修回日期: 2005 - 01 - 13

作者简介: 王莉娟(1982 -), 女(汉), 四川人, 在读硕士, 联系电话: (027) 87218554。

通讯联系人: 董金凤, 联系电话: (027) 87218534, E-mail: jfdong@whu.edu.cn。

科技讲座

脂肪酸甲酯乙氧基化物 FMEE 及其磺酸盐 FMES 的应用

脂肪酸甲酯的乙氧基化物(FMEE),即在脂肪酸甲酯上面接上不同 EO 数目的环氧乙烷,因为脂肪酸甲酯具有与油脂和蜡质相类似的分子结构,根据相似相溶的机理,脂肪酸甲酯的乙氧基化物在各种表面活性剂中是最优秀的除油或除蜡的物质.与目前常用的脂肪醇聚氧乙烯醚类表面活性剂相比,脂肪酸甲酯乙氧基化物(FMEE)的乳化力虽不及前者,但强大的分散净洗力则具有极佳的油蜡清洗能力。

目前常用的脂肪醇聚氧乙烯醚类类产品具有较好的乳化能力,普遍存在的问题是防沾污能力较差,在清洗过程中,污垢容易反沾污或沉降在被清洗物体的表面,导致清洗效力降低、清洗时间延长。FMEE 则很好的弥补了脂肪醇聚氧乙烯醚这一缺陷,并在以下几个领域已经得到了充分利用:

1, 金属脱脂与除蜡剂

FMEE 与脂肪醇醚产品,如 NP 系列、AEO 系列等拼混使用,保留脂肪醇醚乳化力同时获得良好的分散净洗力,从而提升了清洗能力,特别是针对于小浴比的工作液和低温条件下的清洗,清洗效果得到大大提升。

2, 造纸脱墨剂

纸浆脱墨剂主要作用是破坏油墨对纸纤维的黏附力,使油墨从纤维上剥离分散于水中。FMEE 作为脱墨剂使用,不

仅具有高乳化力,同时具有优良的分散作用,可以将油墨与纸浆彻底分离。常用的脱墨剂原料包括 AEO 系列和 OP 系列乳化剂,往往具有很好的乳化力,但不具备分散作用。

3, 针织和化纤织物的除油精练剂

纺织品上的油蜡等杂质并不像钢铁、地板等表面的油蜡那么多和那么难以清除,往往织物表面的油蜡等杂质较少,比较容易乳化(有的化纤油剂甚至用清水便可洗掉),因此织物前处理用的表面活性剂则不需要太强的乳化性能,而是更需要分散性能。FMEE 优异的分散净洗性能特别适用于纺织工业的织物前处理,可防止油污反沾污到织物表面,从而获得很高的毛效和毛效的均匀性。

4, 棉纤维的脱蜡剂

很多棉纤维本身存在很多疏水性的棉蜡,前处理不彻底会导致织物在润湿过程中出现蜡丝、蜡星,对后续染色影响颇大。对于棉蜡去除,二甲苯类溶剂是常用的除蜡剂,二甲苯在高温时挥发,散发对人体极为有害的苯类有害物质,会对操作工人,尤其是男性工人导致严重的身体损伤,FMEE 是替代二甲苯和甲苯除蜡的环保和高效的除蜡原料。

5, 洗衣粉

洗衣粉常用的表面活性剂包括十二烷基苯磺酸钠、烯基磺酸钠、AEO-9 等表面活性剂,对于重垢污物,包括油剂、汗迹、血迹等顽固的污迹清洗则不够理想,添加 FMEE 后的洗衣粉对于顽固的污垢清洗更加容易。

FMES 的性质与应用性能

FMES 是为了解决非离子的 FMEE 耐碱偏低,将其磺酸化后产品,容易与之混淆的是 MES, MES 是脂肪酸甲酯磺酸盐,以天然脂肪酸直接磺化后产品;而 FMES 生产工艺更为复

杂,是脂肪酸先乙氧基化,再经磺酸化后的产品。两者另一个区别还是,MES 是以 12-14 碳的天然棕榈酸等为原料,而 FMES 则以 18 碳的石油衍生物硬脂酸为原料。MES 与 FMES 无论是结构还是应用性能,相差甚大。

FMES 继承了 FMEE 高效除油和除蜡的特点以外,磺酸化后又具有很高的耐碱性能,FMES 耐 100℃热碱可达 50g/L,耐 40℃热碱达到 150g/L。FMES 的钙皂分散能力为 310ppm, LAS 的钙皂分散力仅为 98ppm, AES 的钙皂分散力为 203ppm,因此 FMES 也具有优秀的分散性能,适用于小浴比的清洗工作液,将污垢均匀分散于清洗液中防止反沾污。

FMES 的应用领域:

1, 工业清洗粉

目前工业清洗粉都是将液体的表面活性剂与颗粒的偏硅酸钠和纯碱拼混而成的,偏硅酸钠具有强碱性,在放置过程中也容易受潮,导致偏硅酸钠表面吸水形成很强的碱性溶液,从而使覆盖偏硅的液体表面活性剂成分失效。为了解决此问题,表面活性剂往往拼混磷酸酯类物质提高耐碱性,但是磷酸酯类净洗功能普遍较差,从而影响了成品的净洗功能。FMES 具有优异的净洗和耐碱性能,可以直接用于与偏硅酸钠的拼混。

2, 液体洗洁精和洗涤液

FMES 具有良好的耐碱性能,可以将成品做成偏强碱性,从而提高净洗的效率,同时 FMES 良好的分散净洗功能,特别适用于非循环水和非流动小浴比工作液的清洗。

3, 纺织工业机织物汽蒸精练

梭织物在织造过程中需要涂上一层浆料以利于纺纱和织

造,在坯布染色之前有需要将其彻底除掉,否则会对后续染色产生疵点。目前退浆的工艺已经发展到了很多种,最简单和高效的方法仍然是传统的强碱高温汽蒸工艺,用于该工艺的表面活性剂需要较强的耐热碱、分散净洗、棉蜡去除等要求,FMES 非常适合该工艺的要求,经 FMES 处理的织物,毛效高且均匀,退浆彻底,棉蜡去除干净。

FMEE 与 FMES 的生产现状:

国内对 FMEE 和 FMES 的催化工艺和合成工艺都做了不懈的努力,如中国日用化学工业研究院研究人员采用自制催化剂对 FMEE 进行了合成及性能的研究,并于 2002 年开始尝试商品化生产,遗憾的是没能实现产业化。复旦大学精细化学品实验室等做了很多用不同原料油甲酯制得的 FMES,并等量替代 AES 的实际应用的研究。虽然 FMEE 和 FMES 一直是国内的研究重点,但是关键的催化工艺始终没有突破,得到的产品纯度较差,至今没有商品和产业化。

笔者曾经拿到过华东理工大学某实验室的产品,无论是纯度、外观还是净洗力与国外喜赫石油公司、埃克森石油公司的产品差距非常大。当然也有人认为,造成这种现状,是中国整个化工体系跟国外相比处于落后状态,从石油的炼制到最终形成精细产品,中间有很多环节,每个环节都差一点点,所有的环节的差距积累起来,便造成了这种现状。

(秋风 编辑)

(5) 气流-搅拌联用法: 此法所用装置为一圆柱形玻璃容器, 玻璃搅拌棒底部连接玻璃圆环, 圆环刚好位于溶液液面上。测量时, 向装有试液容器中通入空气, 同时开动搅拌棒, 从而产生泡沫。搅拌的速率可以在 10 r/min ~ 900 r/min 内任意选择。测量泡沫体积随时间的变化与搅拌速率、通气速率以及溶液浓度的关系, 即可表征泡沫性能^[10]。

体积法简单易行, 适用场所广泛。但因人为误差的存在, 体积法的准确度不高, 难以定量地比较不同表面活性剂溶液产生泡沫的性能。所以, 人们越来越关注基于电导率的变化用于泡沫性能检测的方法。电导率法灵敏度高, 可用于获取泡沫性能的精确信息, 是体积法很好的补充。

1.2 电导率法

电导率法测泡沫性能主要基于泡沫是由大量的液膜隔开的气泡组成, 其中液相导电, 而气相不导电的特点, 从而将泡沫电导率的大小作为气泡密度的量度, 并由电导率的变化规律获得溶液起泡能力和泡沫稳定性的信息^[11]。根据测量所用电极对多少的不同, 电导率法可分为以下两种:

(1) 单点电导率: 向装有待测溶液的容器中通 N_2 直到产生的泡沫达到预定高度(泡沫能淹没电极板)时停止通气。记下初始电导率 C_0 和停止通气后 5 min 时的电导率 C_{300} , 分别作为起泡性能和泡沫稳定性的量度^[12]。此法简单易测, 所得结果准确, 与体积法相比, 电导率法测量泡沫时具有较好的重复性。

(2) 多点电导率: 在单点电导率方法的基础上, Phiamongkhon A. 和 Varley J.^[13] 提出了一种多点电导率测量系统用于表征泡沫的性能。测量过程中, 向装有起泡溶液的容器中通气产生泡沫。两对铂电极板 1、2 分别置于通气口上方 17 cm 和 27 cm 处, 测量泡沫相不同高度下的泡沫的电导率。第三对电极板 3 位于液面处, 初始时用于测量液相的电导率, 起泡后用于测量泡沫与液相之间的电导率。

与体积法相比, 电导率法具有灵敏度高, 能连续检测泡沫稳定性和液膜排液行为的变化情况等优点^[14]。然而电导率法也有其局限性, 首先其装置比较复杂, 费用较高, 另外电导率法只能用于表征产生泡沫 30 min 内的情况, 30 min 后泡沫的电导率会变为常数, 无法正确表征此时泡沫性能的变化^[15]。所以目前它还一般只用于体积法不能很好表征泡沫性能的情况。

1.3 压力法

Dickinson E. 及 Izgi Esra.^[16] 使用压力监控装置来

表征泡沫的性能, 这种装置由两个圆柱形的玻璃室分别连接在一个灵敏的压力传感器两边。在样品室中通过毛细管向待测溶液通 N_2 产生泡沫, 然后检测样品室与参比室之间的压差 ΔP 随时间 t 的变化。同时样品室为一有透明且标有垂直刻度线的容器, 也可测量刚停止通气时的泡沫体积以及泡沫体积随时间的变化。假设泡沫衰减过程中溶液的表面张力 γ 恒定, $\Delta P_{(t)}$ 直接与泡沫面积随时间的变化量 $\Delta A_{(t)}$ 成比例: $\Delta P_{(t)} = (2\gamma/3V)\Delta A_{(t)}$, V 为刚停止通气时的泡沫体积, $\Delta A_{(t)}$ 为时间 t 时面积的减少量。 $\Delta A_{(t)}$ 遵循简单的一级动力学定律: $\Delta A_{(t)} = A_0 \exp(-Bt)$, 式中 A_0 为最初的泡沫面积, B 为一速率常数。由此可得到压力变化与时间的关系: $\Delta P_{\infty} - \Delta P_{(t)} = (\Delta P_{\infty} - \Delta P_0) \exp(-Bt)$, 式中 ΔP_0 , ΔP_{∞} 分别为 $t = 0$ 和 $t = \infty$ 时的 ΔP 。因此将 $\ln(\Delta P_{\infty} - \Delta P_{(t)})$ 对时间作图, 通过其斜率可得到速率常数 B 的倒数 B^{-1} , 可作为泡沫稳定性的量度; 其截距 $(\Delta P_{\infty} - \Delta P_0)$ 与产生的总表面面积成正比, 用于衡量溶液的起泡能力。此外通过观察泡沫体积随时间的变化还可以得到泡沫体积衰减到原来一半所需的时间 $t_{1/2}$ 。实验证明压强监测法和体积法能得出一致的结论, 而且比体积法更灵敏, 得到的信息更为客观可信。

此外, 形状及其大小分布也是泡沫性能的一个重要方面, 目前有许多直接或间接的方法对此进行表征, 各有优缺点。间接法包括界面面积法和化学法, 只能给出体系中泡沫的平均尺寸; 直接照相法的精确度很低, 而且得到的二维图像信息无法表征实际三维体系中的泡沫信息; 电导率法仅能获得液相的总体信息; 而 Du L P.^[17] 利用多对带有光电传感器的毛细探针, 不但直接得到不同位置泡沫大小尺度分布, 还能准确测得其中空气组分的实际含量, 同时光电毛细探针法具有良好的重复性。

2 评价方法的进展

不同的泡沫性能测试装置测得的数据不同, 在实际应用中, 仅凭这些数据远不能满足不同情况下对泡沫性能进行准确详尽评价的要求, 还需对数据进行解释评价以使其能更好地表征泡沫性能。通常以产生的泡沫体积或产生的泡沫达到某一预定高度所需的时间来表征溶液的起泡能力^[18], 以泡沫的半衰期(泡沫体积衰减到原来一半所需时间 $t_{1/2}$) 表征稳泡能力^[8]。

2.1 起泡能力

Malysa K.^[3] 曾在综述中提到, 20 世纪 30 年代, Bikermann 首先将发泡能力作为溶液特定的物理性质,

定义为“单位发泡性”： $\Sigma = V_f t / V_g = V_f / u_g$ ，式中 V_f 为泡沫平均体积， V_g 为时间 t 内通入空气的体积。当溶液体积大到对 $V_f t / V_g$ 没有影响，通气速率适宜时， Σ 只与起泡溶液的性质相关。Sun 选定正己醇作为一标准物，将待测溶液产生的泡沫体积与相同条件下正己醇产生的泡沫体积相比，比值 FI 作为起泡指数用于表征溶液起泡能力： $FI = V_{\text{solution}} / V_{n\text{-hexanol}}$ 。

FI 用于表征溶液的起泡能力简单直观，便于比较不同溶液起泡能力的差别，但选择的标准物带有一定的随意性，不能客观地说明溶液的起泡能力，有时甚至会导致错误的结论，为此较少使用。朱瑶等^[19]将生成的泡沫体积与进气体积比 R 定义为起泡参数来度量溶液的起泡性能： $R = V_{\text{foam}} / (t \times v)$ ，式中 V_{foam} 为产生泡沫的体积， t 为产生泡沫体积为 V_{foam} 所需的时间， v 为通气速率。Raymundo A. 等^[15]提出可由初始溢出量(OV)、初始电导率 C_0 或膨胀系数 ($V_{\text{foam}} / V_{\text{solution}}$) 来表征溶液的起泡性能： $OV = [(V_{\text{foam}} - V_{\text{solution}}) / V_{\text{solution}}] \times 100\%$ 。

2.2 稳泡能力

为表征泡沫的稳定性，Malysa K.^[3]选用了保留时间 $rt = \Delta V_g / \Delta u_g$ ， rt 的值是与气流速度、容器体积无关的具有明确的物理意义的量。从物理意义上讲， rt 与单位体积气体通过体系所需的平均时间相等。赵国玺等人^[1]提出了根据停止搅拌后泡沫体积随时间的变化来求算泡沫的寿命 L_f ，从而表征稳定性： $L_f = \int V dt / V_0$ ，式中 V 为时间 t 时的泡沫体积， V_0 为刚停止起泡时的泡沫体积。

Kato A.^[20]还提出用稳定性指数 FSI_t 来对此进行定量表征： $FSI_t = V_0 \Delta t / \Delta V$ 或 $FSI_t = C_0 \Delta t / \Delta C$ ，式中 ΔV 、 ΔC 分别为 Δt 内泡沫体积、电导率的变化， V_0 、 C_0 分别为刚停止起泡时的泡沫体积、电导率。

2.3 起泡能力和稳泡能力

近年来，Raymundo A. 等^[15]提出了两种新方法，既能评价溶液的起泡能力，又能评价泡沫的稳定性： $Y = \exp(A + Bt)$ ，式中 Y 为溢出量， A 、 B 为常数。

将溢出量 Y 对时间 t 作图，所得到的指数曲线可以对任一时间 t 求导，得到一条直线，其截距(初始溢出量)可作为溶液起泡能力的量度，斜率的数值可作为泡沫稳定性的量度，代表了随时间变化体积的衰减速率。同时，还可以将上式中的 Y 对 t 积分，所得的积分值可以用于评价泡沫的总体性能，这被定义为 t 时的 FSI_t ： $FSI_t = \int_0^t \exp(A + Bt) dt$ 。

所得指数曲线可以通过积分得到的面积定量，既表征溶液的起泡能力，又表征泡沫的稳定性。

3 结语

在评价泡沫的性能时，测量方式对结果有很大的影响，不同的测量方法可能得到不同的结果，不同的评价方法对结果的解释也不同。Ross S. 与 Suzin Y.^[21]很早前便提出了必须在与泡沫的应用环境相似的条件下进行测试才能客观有效地评价其性能。随着泡沫检测手段的不断发展，更精密仪器的出现，使得在特定的体系中选择合适的检测及评价手段变得更为可能。

参考文献：

- [1] 赵国玺, 朱瑶. 表面活性剂作用原理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003. 535-550.
- [2] DOYLE F M. Ion flotation - its potential for hydrometallurgical operations [J]. Int J Miner Process, 2003, 72: 387-399.
- [3] MALYSA K. Wet foams: formation, properties and mechanism of stability [J]. Adv Col Interf Sci, 1992, 40: 37-83.
- [4] GB/T 7462-94 改进 Ross-Miles 法[S].
- [5] PATIST A, HUIBERS P D, DENEKA T B, et al. Effect of tetraalkylammonium chlorides on foaming properties of sodium dodecyl sulfate solutions [J]. Langmuir, 1998, 14(16): 4471-4474.
- [6] JHA B K, PATIST A, SHAH D O. Effect of antifoaming agents on the micellar stability and foamability of sodium dodecyl sulfate solutions [J]. Langmuir, 1999, 15(9): 3042-3044.
- [7] HASHEN M M, SCHCHTER R S. Foaming agent [P]. US: 4524002, 1985-07-18.
- [8] PANDEY S, BAGWE R P, SHAH D O. Effect of counterions on surface and foaming properties of dodecyl sulfate [J]. J Colloid Interface Sci, 2003, 267(1): 160-166.
- [9] BALS A, KULOZIK U. The influence of the pore size, the foaming temperature and the viscosity of the continuous phase on the properties of foams produced by membrane foaming [J]. J Membrane Sci, 2003, 220(1): 5-11.
- [10] JACHIMAKA B, LUNKENHEIMER K, MALYSA K. Effect of position of the functional group on the equilibrium and dynamic surface properties of butyl alcohols [J]. J Colloid Interface Sci, 1995, 170(1): 31-38.
- [11] MILESG D, SHEDLOVSKY L, ROSS J. Foam drainage [J]. J Phys Chem, 1945, 49(2): 93-107.
- [12] SARKER D K, WILDE P J, CLARK D C. Enhancement of the stability of protein-based food foams using trivalent cations [J]. Coll Surf A: Physicochem Eng Asp, 1996, 114: 227-236.
- [13] PHIANMONGKHOL A, VARLEY J. A multi point conductivity measurement system for characterization of protein foams [J]. Coll Surf B: Biointerfaces, 1999, 12(4): 247-259.
- [14] LEMLICH R. A theory for the limiting conductivity of polyhedral foam at low density [J]. J Colloid Interface Sci, 1977, 64(1): 107-110.
- [15] RAYMUNDO A, EMPIS J, SOUSA I. Method to evaluate foaming performance [J]. J of Food Engineering, 1998, 36(4): 445-452.
- [16] DICKINSON E, IZGI E. Foam stabilization by protein-polysaccharide complexes [J]. Coll Surf A: Physicochem Eng Asp, 1996, 113(2): 191-201.

(下转第191页)

(3) 1631 在岩石表面的动态吸附量小于静态吸附量。

参考文献:

- [1] 姚同玉, 赵福麟. 季铵盐型表面活性剂的吸附特性研究[J]. 西安石油学院学报, 2003, 18(1): 36 - 38.
- [2] 姚同玉, 刘福海, 刘卫东. 季铵盐型表面活性剂的驱油机理研究[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(6): 43 - 45.

- [3] 吴美芝, 刘亚利, 曾明. 溴百里酚蓝标记分光光度法测定废水中季胺盐型表面活性剂[J]. 精细化工中间体, 2002, 32(6): 50 - 57.
- [4] 赵国玺. 表面活性剂物理化学(第二版) [M]. 北京: 北京大学出版社, 1991. 65 - 86.
- [5] 杨承志. 化学驱油过程中表面活性剂损失的机理及抑制途径 1. 损失机理[J]. 油田化学, 1985, 2(1): 9 - 20.
- [6] TROGUS F J, SCHECHER R S, WADE W H. A new interpretation of adsorption maxima and minima[J]. J Colloid Interface Sci, 1979, 70(2): 293 - 304.

Measuring adsorption of cationic surfactant on rock surface by ultraviolet spectrophotometer

LI Ji-shan, YAO Tong-yu

(Institute of Porous Flow & Fluid Mechanics, CNPC & CAS, P. O. Box 44, Langfang 065007, China)

Abstract : In order to measure the adsorption capacity of cationic surfactant 1631 on rock surface, the concentration of 1631 solution before and after adsorbing was measured by ultraviolet spectrophotometer. The adsorption capacity was calculated. The results show that the method using ultraviolet spectrophotometer with 617 nm wavelength is quick and exact in measuring the concentration of cationic surfactant solution. A regression equation was obtained as $y = 0.0027x - 0.0058$ with $R^2 = 0.9991$. The adsorption equilibrium time is different on different surfaces, 10 h on hydrophilic surfaces, 16 h on oil-wet surface, and 18 h on oil sand surface. Static saturation adsorption capacity of 1631 on different surface is different, 0.7 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ on hydrophilic surface, 1.4 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ on oil-wet surface, and 6.7 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ on oil sand surface. Dynamic adsorption capacity of 1631 on natural rock core is 0.8066 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

Key words : cetyl trimethyl ammonium chloride; ultraviolet spectrophotometer; sand surface adsorption

(上接第 173 页)

- [17] DU L P. Measuring bubble size distribution in a foam fractionation column using a photoelectric capillary probe[DB]. ProQuest 博士论文全文数据库, 2001 - 05.
- [18] PATIST A, AXELBERD T, SHAH D O. Effect of long chain alcohols on micellar relaxation time and foaming properties of sodium dodecyl sulfate solutions[J]. J Colloid Interface Sci, 1998, 208(1): 259 - 265.

- [19] 朱 瑶, 刘迎清. 表面活性剂水溶液的起泡性研究[J]. 精细化工, 1993, 10(5): 1 - 6.
- [20] KATO A, TAKAHASHI A, MATSUDOMI N, et al. Determination of foaming properties of proteins by conductivity measurement[J]. J Food Sci, 1983, 48: 62 - 65.
- [21] ROSS S, SUZIN Y. Measurement of dynamic foam stability[J]. Langmuir, 1985, 1(1): 145 - 149.

Progress in test and evaluation methods for foaming performance

WANG Li-juan, ZHANG Gao-yong, DONG Jin-feng, ZHOU Xiao-hai, HONG Xin-lin

(Colloid & Interface Science Lab, Department of Chemistry, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract : The test and evaluation methods for foaming performance, mainly for foaming power and foam stability, were summarized. The conventional foaming modes and test devices, including foam volume measurement, electrical conductivity measurement and pressure measurement were presented. The advantages and disadvantages of these methods were discussed in detail respectively. The progress in evaluation methods for foaming power and foam stability of solutions was described. The necessity for adopting matching evaluation method to get an objective and perfect performance evaluation for a given foaming system was focused.

Key words : surfactant; foaming properties; evaluation method