

溶液中表面活性剂临界胶束浓度 降低措施的研究进展

吴耀国, 李建国, 刘保超, 胡思海

(西北工业大学应用化学系, 陕西 西安 710072)

摘要:表面活性剂增效技术是近期发展起来并被认为是可对污染地下水进行有效修复的技术之一, 但为避免引起新的污染, 需控制其投放剂量。综述了通过表面活性剂的优化匹配及水化学组分调节等方式降低表面活性剂的临界胶束浓度, 进而实现减少表面活性剂投放量的研究进展, 指出其存在的问题, 展望其发展前景。

关键词:表面活性剂增效技术; 表面活性剂; 临界胶束浓度(CMC); 化学组分

中图分类号: TQ423

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2010)01-0025-05

Research progress in processes for lowering critical micelle concentration during surfactant-enhanced aquifer-remediation

WU Yao-guo, LI Jian-guo, LIU Bao-chao, HU Si-hai

(Department of Applied Chemistry, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Surfactant-enhanced aquifer-remediation is promoted in recent years and considered as one effective method for aquifer-remediation. However, the dose of surfactant needs to be controlled to avoid new contamination. The researches on removing the obstacle through surfactants' optimum and chemical components adjustment are reviewed. At the same time, some problems in current studies and issues that need to be further approached are presented.

Key words: surfactant-enhanced aquifer-remediation; surfactant; critical micelle concentration (CMC); chemical components

表面活性剂增效技术是20世纪90年代初提出的、可对非水相液体(NAPL)污染地下水进行有效修复的技术之一, 也被认为是有前途的技术^[1-3]。该技术的有效性已为众多研究成果所证实^[4-5], 但同时也发现其缺陷明显: 因为表面活性剂必须在较高浓度(常大于其临界胶束浓度, CMC)时增溶效果才明显^[6], 所以在使用过程中须投加较大剂量, 其结果是在增加 NAPL 的水溶性、改善生物可利用性的同时, 却又引发了严重的负效应: ①因表面活性剂的生物毒性可降低生物活性, 从而抑制 NAPL 降解; 另外, 表面活性剂也可作为基质与 NAPL 竞争被微生物利用的机会, 进而导致 NAPL 降解速率的减小。这样, 表面活性剂又从另一角度抑制 NAPL 的生物降解^[4,7-9]。②表面活性剂可被含水介质吸附, 残留于地下水系统中^[3], 不仅引起新的污染, 还可导致含水介质渗透性的下降^[10-11]。③表面活性剂大剂量的投加, 不但增加了投入成本, 还增大了污染负荷, 增加地下水修复的投资成本^[4,8-9,12]。可见, 在

提高 NAPL 水溶性的同时, 能否寻找到表面活性剂的适宜投放量、降低其负效应的途径, 则成了表面活性剂增效修复技术能否广泛使用的前提, 也构成了相关研究中亟待解决的问题。在保证增溶效果一定的情况下, 降低表面活性剂 CMC, 就可以减少其投加量、降低其负效应^[9,13-14], 因此, 众多学者将研究重点集中于寻找表面活性剂 CMC 降低的方法与措施。

1 降低 CMC 的途径之一——表面活性剂复配的方法

不同种类的表面活性剂, 其 CMC 相差较大。总体上, 同烃链的单一表面活性剂相比, 非离子型表面活性剂的 CMC 比离子型表面活性剂的要低^[6], 同时又考虑其容易被生物降解^[15], 所以在单一表面活性剂中, 非离子型表面活性剂常被研究者使用^[16-17]。但是, 非离子型的单一表面活性剂, 其 CMC 仍然偏高, 所以研究者们又尝试多种表面活性剂混合使用

收稿日期: 2009-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40872164, 40472127); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-07-0694)

作者简介: 吴耀国(1967-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水污染环境化学及防治的研究, 029-88488018, wuygal@163.com。

的方法,达到降低其 CMC 的目的。例如阴离子型表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(SDBS)的 CMC 为 962.2 mg/L^[18],浙江大学朱利中教授领衔的团队^[19-22]研究阴离子(SDBS)-非离子型(TritonX 或 TweenX 等)2 种表面活性剂复配体系的 CMC,发现其明显低于非离子型表面活性剂(见表 1)。李嘉诚等^[23]研究也发现,SDBS 与苯乙烯苯酚聚氧乙烯聚氧丙烯醚或 TX-100 等非离子型表面活性剂混合时的 CMC 也明显降低^[23-24]。董雯娟等^[25]发现,十二烷基硫酸钠(SDS)与非离子表面活性剂 Tween80 混合的溶液中,随着 Tween80 质量分数的增大,其 CMC 越来越小。研究还发现,该模式同时具有减少甚至避免阴离子表面活性剂沉淀的功效^[6,25],更增添了人们对该模式进行研究的兴趣。

表 1 单一与混合表面活性剂的临界胶束浓度(CMC)(最优配比)^[18-22]

表面活性剂	CMC/ mmol·L ⁻¹	混合表面 活性剂	CMC/ mmol·L ⁻¹
Tween20	0.024	SDBS-Tween20	0.020
Tween40	0.030	SDBS-Tween40	0.020
Tween60	0.020	SDBS-Tween60	0.014
Tween80	0.027	SDBS-Tween80	0.012
Brij35	0.054	SDBS-Brij35	0.030
Brij58	0.040	SDBS-Brij58	0.020
十二烷基氯化吡啶(DPC)	15.747	SDBS-Brij58	0.083
丁二酸-(二)-2-乙基 己基酯磺酸钠(AOT)	3.113	DPC-TX-100	0.468
TX-100	0.299	AOT-TX-100	0.425

赵红芳等^[26]考察阴离子表面活性剂正十二烷基磺酸钠(C₁₂)与两性离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺(OB-2)的复配使用时,发现随着复配体系中 OB-2 比例的增大,溶液 CMC 呈下降趋势,达最低值后处于较稳定状态。他们还发现 C₁₂/OB-2 复配体系的 CMC 值还小于单一表面活性剂,表明在降低 CMC 的过程中,表面活性剂的复配存在协同作用。最近,Dar 等^[14]发现,阴离子-非离子 2 种表面活性剂混合以及阳离子-非离子 2 种表面活性剂混合时的 CMC 也都明显低于非离子型表面活性剂的,但没发现协同作用的存在。他们对比 2 种混合模式发现,阳离子-非离子 2 种表面活性剂混合时的 CMC 更低。于是,他们^[14,27]还研究阳离子-阳离子-非离子 3 表面活性剂混合模式,得到的结果列于表 2。结果发现,在等摩尔比条件下,该混合模式的

CMC 也同样都明显低于非离子型表面活性剂的,甚至还低于阴离子-非离子混合模式的,但却大于阳离子-非离子混合模式的。

表 2 表面活性剂等摩尔混合体系的 CMC^[14,27]

mmol/L			
表面活性剂	CMC	表面活性剂	CMC
Brij58	0.0080	Brij35-SDS	0.0870
Brij56	0.0400	Brij58-CTAB	0.0120
Brij35	0.0500	Brij58-TTAB	0.0120
Brij30	0.0350	Brij58-DTAB	0.0120
CTAB	0.8150	Brij58-SDS	0.0120
TTAB	3.7000	C ₁₂ Br-C ₁₂ EBr	13.8000
DTAB	15.1000	C ₁₂ Br-Brij30	0.0762
C ₁₂ Br	15.1000	C ₁₂ EBr-Brij30	0.0762
C ₁₂ EBr	14.0000	C ₁₆ BzCl-C ₁₆ Br	0.4690
C ₁₆ Br	0.8150	C ₁₆ Br-Brij58	0.0120
C ₁₆ BzCl	0.4730	C ₁₆ BzCl-Brij58	0.0120
SDBS	2.0000	Brij58-Brij35-CTAB	0.0161
SDS	8.1000	Brij58-Brij35-DTAB	0.0162
Brij35-CTAB	0.0830	Brij58-Brij35-SDS	0.0162
Brij35-TTAB	0.0870	C ₁₂ Br-C ₁₂ EBr-Brij30	0.0995
Brij35-DTAB	0.0880	C ₁₆ BzCl-C ₁₆ Br-Brij58	0.0142

2 降低 CMC 的途径之二——水化学组分调控

水化学组分调控技术,是降低体系 CMC 的另一种方法。关于该方法的研究,目前可分为单一离子调控模式与多种离子联合使用调控模式 2 类。

2.1 单一离子调控模式

在单一离子调控模式的研究中,研究者们尝试最多的是通过升高 Na⁺、Mg²⁺ 或 Ca²⁺ 等金属离子的浓度来降低表面活性剂的 CMC,并已取得了较好效果^[6]。如陈宝梁等^[28]研究发现,在 25℃ 条件下,当溶液中 Na₂SO₄ 浓度(Z)为 0.03、0.15、0.30 mol/L 时,含 SDBS 溶液的 CMC 分别为 581、263、211 μg/mL,可见 Na₂SO₄ 浓度对表面活性剂 CMC 的影响显著,且两者之间呈良好的线性负相关(lnCMC = -0.448lnZ + 4.78, R² = 0.992, n = 3)。这一现象也为董雯娟等^[25]研究结果所证实。Chaudhuri 与 Paria^[29]研究也发现,随着 NaCl 浓度的增加,含 SDBS 溶液的 CMC 呈直线下降。Miyagishi 等^[30]研究发现,溶液中无论是有 LiCl、NaCl、NaBr、NaNO₃、NaI、NaSCN、KCl、KBr、KI、CsCl 或 CaCl₂ 的存在,均可使 MEGA-8、MEGA-9 与 MEGA-10 的 CMC 下降,而且

不同盐对同种表面活性剂 CMC 的影响不同,顺序为:Ca 盐 > Na 盐 > K 盐 > Cs 盐 > Li 盐,同种盐对不同种表面活性剂 CMC 的影响也存在差异,其顺序为:MEGA-8 > MEGA-9 > MEGA-10。

更有意思的是,赵红芳等^[26]考察了阴离子表面活性剂正十二烷基磺酸钠(C_{12})与两性离子表面活性剂 OB-2 联合使用时,溶液中 NaCl 含量的增加,同样可使该 2 种表面活性剂混合时的 CMC 显著降低。结合上述关于表面活性剂优化匹配方法降低 CMC 研究成果的综述可见,单一金属离子与表面活性剂优化匹配的联合使用,可能会使 CMC 下降得更低,值得今后进一步研究。

最近,另有学者还开展有机组分的影响,也取得明显进展。如 Jan 等^[31]研究丁酸钠(NaBu)、己酸钠(NaHx)对氯化十二烷基吡啶(DPC)、2-乙基己基琥珀酸酯磺酸钠(AOT)及辛基酚聚氧乙烯醚(TX-100)单独或混合存在体系 CMC 的影响,得到的结果见表 3。

表 3 有机组分对表面活性剂体系 CMC 的影响^[31]

浓度: mmol/L					
NaBu	C_{DPC}	C_{AOT}	C_{TX-100}	$C_{DPC+TX-100+NaBu}$	$C_{AOT+TX-100+NaBu}$
0	15.747	3.113	0.299	0.468	0.425
10.0	13.653	1.571	0.300	0.475	0.311
20.0	9.020	1.416	0.302	0.454	0.304
30.0	6.530	1.103	0.305	0.443	0.284
40.0	5.020	0.608	0.308	0.427	0.232
50.0	3.870	0.543	0.311	0.416	0.225
NaHx	C_{DPC}	C_{AOT}	C_{TX-100}	$C_{DPC+TX-100+NaHx}$	$C_{AOT+TX-100+NaHx}$
10.0	7.520	2.511	0.306	0.474	0.334
20.0	4.810	2.011	0.311	0.466	0.315
30.0	3.230	1.752	0.317	0.459	0.307
40.0	2.300	1.554	0.321	0.428	0.298
50.0	1.678	1.213	0.328	0.389	0.292

由 3 表还可以发现,有机盐存在时与已经发现的无机金属离子的影响特点明显不同,不仅有可能使 CMC 下降,也可能使其升高。Tomi 等^[32]发现,1,8-辛二醇、1-丙醇、1-丁醇、1,6-己二醇及 1,4-丁二醇等虽同为醇类,但对十二烷基三甲基溴化铵(DTAB)CMC 的影响差别明显,溶液中前三者的存在都可使 DTAB 的 CMC 显著降低,而第四者却几乎没有影响;相反,1,4-丁二醇的存在竟使其 CMC 显著增大,如在含 1,4-丁二醇浓度为 0、1、2、3、4 mol/L 的水溶液中,DTAB 的 CMC 分别为 15.5、19.1、22.7、28.4、34.6 mmol/L。Mehta 等^[33]研究发现,随着溶液

中木瓜蛋白酶质量分数从 0 升高为 0.001%、0.002%、0.005%、0.01%,阳离子表面活性剂十二烷基乙基二甲基溴化铵(DDAB)的 CMC 也逐渐升高,从 0.0139 mol/L 升到 0.0142、0.0145、0.0147、0.0148 mol/L。可见,有机物对 CMC 影响的特点更加多样性,其形成作用机理也可能更复杂。

2.2 多种离子联合使用的调控模式

自然界的水体,不是仅含有 Na^+ 、 Mg^{2+} 或 Ca^{2+} 等无机离子的简单体系,而是无机离子、有机物甚至固相颗粒物等多组分共存的复杂体系。该复杂体系中,所有组分都可能同时影响表面活性剂的 CMC^[6,30]。Kim 等^[17]发现,Tween60 对卤代烃 PCE 的增溶作用在离子强度较高的地下水明显强于离子强度较低的地表水中,原因分析认为,Tween60 在前者中的 CMC 明显小于后者环境中的 CMC。实验还发现,非离子型表面活性剂 Tween80 的 CMC 在蒸馏水中为 25 mg/L,在土壤水及含菲地下水中分别为 20 g/L 与 35 mg/L。可见,水化学组分调节技术有时可能会使溶液的 CMC 不仅不降低,相反还增加。Garcia 等^[34]发现,直链烷基类苯磺酸钠(LAS)在城市污水厂厌氧池中的 CMC 明显小于去离子水中的 CMC(见表 4),如 C_{12} LAS 的 CMC 在污水中为 2.0×10^{-4} mol/L,在去离子水中为 1.2×10^{-3} mol/L,两者相差 6 倍;而 C_{14} LAS 的 CMC 在 2 个体系中相差甚至超过了 100 倍。已有的研究案例无不说明,体系中多组分的共存同样影响表面活性剂的 CMC,可使 CMC 降低,也可以使之升高。更值得一提的是,无论降低还是升高,多种组分对 CMC 影响的显著程度是单组分所不及的,这表明:在降低溶液 CMC 的过程中,复杂体系中组分之间很可能会存在协同作用。可见,通过多种离子联合使用的调控模式,降低表面活性剂的 CMC 是可行且有前景的。然而,关于多组分联合作用的特点、各组分贡献的大小等,目前仍都不十分清楚,其相关研究有待开展。

表 4 多种化学组分存在条件下表面活性剂的 CMC^[34]

LAS 类型	溶液环境条件		
	去离子水溶液 浓度/mol·L ⁻¹	硬度为 300 mg/L(CaCO ₃) 溶液浓度/mol·L ⁻¹	厌氧池中污水 浓度/mol·L ⁻¹
C_{10} LAS	6.9×10^{-3}	6.7×10^{-4}	1.5×10^{-3}
C_{11} LAS	4.0×10^{-3}	2.9×10^{-4}	
C_{12} LAS	1.2×10^{-3}	8.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}
C_{13} LAS	4.4×10^{-3}	3.0×10^{-4}	
C_{14} LAS	2.2×10^{-3}	7.0×10^{-4}	2.0×10^{-5}

3 研究方向

综上所述不难发现,不论是多种表面活性剂复配技术,还是利用溶液化学组分调节的方法,都可有效降低表面活性剂的 CMC,因而也都是降低表面活性剂投加量的有效途径,对表面活性剂增效技术在更大范围内应用并保证其具有良好的经济性等都具积极作用。尽管如此,仍有许多问题值得进一步研究。

(1)加强适宜盐类的选择性研究。已有的研究都在以不同的形式表明:不同金属离子、无机阴离子或有机阴离子对表面活性剂 CMC 影响作用的特点及大小存在明显差异;同一类盐对不同表面活性剂的影响也不一致。然而目前的相关研究主要集中于 Na^+ 等有限的几种金属离子。虽然研究也开始关注阴离子或多种离子共存的影响,但与水体中种类繁多的化学组分相比,仍显得十分稀少。基于已有的研究成果及对阴、阳离子联合作用的考虑,开展适宜盐类的选择性研究,有利于揭示化学组分复杂条件下表面活性剂 CMC 变化的特点,寻找到更为有效的调控 CMC 的措施。

(2)多种表面活性剂匹配复合模式潜力的再挖掘。虽然众多利用代表性表面活性剂的研究结果验证了通过表面活性剂的优化匹配是降低其 CMC 的途径之一。鉴于目前市场上的表面活性剂种类繁多,可以组合匹配的模式更是数以万计,但是毕竟目前研究中所选用的表面活性剂种类有限,其中所涉及的匹配模式也不多,更为重要的是,这些表面活性剂及其匹配模式也不一定就是最优的;3 种或 3 种以上表面活性剂的复配研究只在最近才偶见报道。因而,关于利用表面活性剂的优化匹配降低其 CMC 的研究,仍有许多工作值得进行。

(3)关于表面活性剂潜力的挖掘与水化学组分调节方式的联合使用,其 CMC 降低作用的特点及其形成机理研究。无论是关于表面活性剂潜力的挖掘,还是水化学组分调节方式的研究,以降低表面活性剂 CMC,目前仍属个案,显得十分零星,目前尚不能清楚揭示相应作用的规律与特点,因而难以利用已取得的成果指导具体的实践。鉴于水化学组分对表面活性剂 CMC 影响的情况更复杂,而自然水体又恰恰是多组分共存的复杂体系,因此很有必要重视多组分共存对表面活性剂 CMC 影响的研究,增加更多研究案例,以总结相应调节手段作用条件下表面活性剂 CMC 变化的特点,揭示 CMC 降低作用的形成机理。这样,不仅利于发现降低 CMC 的有效技术

方法,还可能对适宜表面活性剂的开发与研制具有指导作用。

对于污染地下水修复的表面活性剂增效技术中降低表面活性剂投放量措施的研究,显然已不再仅属于水文地质学的研究范畴,还涉及物理化学、环境化学、环境生物学以及精细化学等多学科的内容。通过多学科相关科技工作者的联合攻关,相信不仅可使表面活性剂的投加量更少,对地下水环境的负面影响也更小,表面活性剂增效技术对地下水污染修复的功效也将更加显著。

参考文献

- [1] Ko S O, Schlautman M A, Carraway E R. Partitioning of hydrophobic organic compounds to sorbed surfactants: 1. Experimental studies[J]. *Environ Sci Technol*, 1998, 32(18): 2769 - 2775.
- [2] 王晓燕, 郑建中, 翟建平. SEAR 技术修复土壤和地下水中 NAPL 污染的研究进展[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2006, 7(10): 1 - 5.
- [3] 王焰新. 地下水污染控制[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [4] Paria S. Surfactant-enhanced remediation of organic contaminated soil and water[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2008, 138(1): 24 - 58.
- [5] Kim I S, Park J S, Kim K W. Enhanced biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons using nonionic surfactants in soil slurry[J]. *Applied Geochemistry*, 2001, 16: 1419 - 1428.
- [6] 郑忠, 胡纪华. 表面活性剂的物理化学原理[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1995.
- [7] Cort T L, Song M S, Bielefeldt A R. Nonionic surfactant effects on pentachlorophenol biodegradation[J]. *Water Research*, 2002, 36: 1253 - 1261.
- [8] Makkar R S, Rockne K L. Comparison of synthetic surfactants and biosurfactants in enhancing biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22: 2280 - 2292.
- [9] Singh A, Van Hamme J D, Ward O P. Surfactant in microbiology and biotechnology: Part 2. Application aspects[J]. *Biotechnology Advances*, 2007, 25: 99 - 121.
- [10] Tumeo M A. Surfactant-induced reductions in soil hydraulic conductivity[J]. *Ground Water Monitoring & Remediation*, 1997, 17(4): 138 - 144.
- [11] Chen W, Cong L L, Hu H L, et al. Release of adsorption polycyclic aromatic hydrocarbons under cosolvent treatment: Implications for availability and fate[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008, 27(1): 112 - 118.
- [12] 贾凌云, 吴刚, 杨凤林. 表面活性剂在污染土壤生物修复中的应用[J]. *现代化工*, 2003, 23(9): 58 - 61.
- [13] Kim E S, Lee D H, Yum B W, et al. The effect of ionic strength and hardness of water on the non-ionic surfactant-enhanced remediation of perchloroethylene contamination[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, B119: 195 - 203.

- [14] Dar A A, Rather G M, Das A R. Mixed micelle formation and solubilization behavior toward polycyclic aromatic hydrocarbons of binary and ternary cationic-nonionic surfactant mixtures[J]. *J Phys Chem B*, 2007, 111(12): 3122 - 3132.
- [15] 戴树桂. 环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [16] 陈来国, 冉勇. 多环芳烃生物修复中的表面活性剂[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 88 - 91.
- [17] Kim H S, Weber W J. Polycyclic Aromatic hydrocarbon behavior in bioactive soil slurry reactors amended with a nonionic surfactant[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2005, 24(2): 246 - 276.
- [18] 蒋兵, 赵保卫, 赵兰萍, 等. 阴-非混合表面活性剂对非和萘的增溶作用[J]. 兰州交通大学学报: 自然科学版, 2007, 26(1): 153 - 157.
- [19] 朱立中, 冯少良. 混合表面活性剂对多环芳烃的增溶作用及机理[J]. 环境科学学报, 2002, 22(6): 774 - 778.
- [20] 余海粟, 朱利中. 混合表面活性剂对非和萘的增溶作用[J]. 环境化学, 2004, 23(5): 485 - 489.
- [21] Zhou W, Zhu L. Enhanced soil flushing of phenanthrene by anionic-nonionic mixed surfactants[J]. *Water Research*, 2008, 42: 101 - 108.
- [22] Yang K, Zhu L, Xing B. Enhanced soil washing of phenanthrene by mixed solutions of TX100 and SDBS[J]. *Environ Sci Technol*, 2006, 40: 4274 - 4280.
- [23] 李嘉诚, 邱学青, 冯玉红, 等. 单一及复合表面活性剂对联苯菊酯微乳液的影响[J]. 应用化学, 2008, 25(8): 890 - 894.
- [24] 孙志斌, 张禹负, 李彩云, 等. 阴离子与非离子表面活性剂混合体系的胶束性质[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 125 - 128.
- [25] 董雯娟, 赵保卫, 蒋兵, 等. 阴-非表面活性剂对 DNAPLs 的增溶作用[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(2): 24 - 28.
- [26] 赵红芳, 杨亚玲, 刘东辉, 等. 阴离子-两性离子表面活性剂复配体系及 NaCl 对其表面活性的影响[J]. 应用化工, 2006, 35(7): 535 - 537.
- [27] Bhat P A, Rather G M, Dar A A. Effect of surfactant mixing on partitioning of model hydrophobic drug, naproxen, between aqueous and micellar phases[J]. *J Phys Chem B*, 2009, 113: 997 - 1006.
- [28] 陈宝梁, 李菱, 朱利中. 温度和离子强度对 SDBS 增溶非的影响及机理[J]. 环境化学, 2006, 25(6): 696 - 700.
- [29] Chaudhuri R G, Paria S. Dynamic contact angles on PTFE surface by aqueous surfactant solution in the absence and presence of electrolytes[J]. *Journal of Colloid and Interface Science* xxx(2009)xxx - xxx, doi: 10.1016/j.jcis.2009.05.033.
- [30] Miyagishi S, Okada K, Asakawa T. Salt effect on critical micelle concentrations of nonionic surfactants, *N*-acyl-*N*-methylglucamides (MEGA-*n*) [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2001, 238: 91 - 95.
- [31] Jan M, Dar A A, Rather G M. Effect of sodium butanoate and sodium hexanoate on micelle formation of model cationic-nonionic and anionic-nonionic surfactant mixtures[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects*, 2009, 335: 114 - 120.
- [32] Tomi T, Maeda T, Satake I, *et al*. Micelle formation of a cationic surfactant in the presence of 1, *n*-alkanediol and the miscibility of alcohols in micelles [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects* xxx(2009)xxx - xxx, doi: 10.1016/j.colsurfa.2009.05.020.
- [33] Mehta S K, Bhawna, Kaur K, *et al*. Micellization behavior of cationic surfactant dodecyltrimethylammonium bromide (DDAB) in the presence of papain [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects*, 2008, 317: 32 - 38.
- [34] Garcia M T, Campos E, Sánchez-Leal J, *et al*. Effect of linear alkylbenzene sulphonates (LAS) on the anaerobic digestion of sewage sludge [J]. *Water Research*, 2006, 40: 2958 - 2964. ■

卡车或者载货车辆, 法国研究和工业生产的关键

最近一些年以来, 卡车或者载货车的使用环境发生了重大变化: 有了 GPS 定位, 移动电话和数据传输, 可以实时地跟踪车队的位置, 优化货物的运输, 加强运输的安全。卡车在欧洲是物流价值链上一个不可避免的因素。

卡车的使用在法律法规上受到的限制越来越严格(柴油发动机和汽油发动机要遵守欧四和欧五的排放标准), 其目的是为了减轻卡车的使用对大的运输干线和城市地区的影响。为了规划格雷奈尔环境法案(Grenelle I)的执行, 法国在 2009 年 8 月 3 日的法律当中专门有“运输”部分, 其目标是, 从现在起到 2020 年, 将温室效应气体的排放减少 20%, 并减少对燃油的依赖。

汽车制造商正在致力于一些创新的项目, 以取代化石燃料。雷诺特拉卡(Renault Trucks, 沃尔沃-雷诺)公司开发了一种可以回收能源的混合动力汽车(Renault Premium Distribution Hybrys-Tech), 还开发了一种 100% 电力驱动的汽车(Renault Midlum ou Renault Maxity électrique)。这些汽车噪声小, 污染少, 用于在城市送货。一家名为“莫戴克”(Modéc)的英国企业开发了一款 100% 电力驱动的卡车, 其目标用户是地方集体和企业。这种卡车到 2009 年年底便可以在

巴黎、里尔、马赛、波尔多、奥尔良、雷恩、斯特拉斯堡和里昂使用。

法国有好几家企业进行了“清洁能源驱动的卡车”实验。拉罗舍尔市和里昂市测试了一些用于为市中心的商店送货的混合动力卡车。TNT 运输公司使用电力驱动汽车为城市地区送货。法国邮政局下属的子公司“快递服务”(Chronopost)使用电动“超级轻便车”(VUL)和名为城市快车(Chrono City)电动汽车(用电池驱动的自动平板货车)来收集和投递邮件。

其他能够对能源消耗产生重大影响的技术也正在研究当中, 涉及到汽车的车轴、轴承、轮胎、润滑油和空气动力学(比如 3.5 t 的载货车 Nova Plast)。一些汽车制造厂商, 比如雷诺特拉卡(Renault Trucks)、依维科(IVECO)和艾卡(ECA), 以及一些运输公司, 比如 DHL、TNT、Condis 等, 在各个市政府和一些大学实验室的支持之下, 参加了欧洲的“城区货物运输创新计划”(FIDEUS, Freight Innovative Delivery of Goods in European Urban Spaces), 以开发出适合在城市环境中使用的载货车。在辅助驾驶、导航设备和道路自动交费系统领域的研究也在发展。(张玉涛)