

泡沫型卫浴玻璃清洁剂的配方设计与功效研究

陶艳, 隋东辉

(北京绿伞科技股份有限公司, 北京, 100094)

DOI:10.61369/CDCST.2025040013

摘要: 文章开发了一款基于柠檬酸-咪唑啉协同体系的弱酸性喷泡浴室玻璃清洁剂。配方通过泡沫喷头可产生丰厚立体的泡沫, 能紧密附着于垂直表面。试验结果表明, 其对金黄色葡萄球菌与大肠杆菌作用5分钟, 杀灭对数值均大于3.00; 对CaCl₂-油酸钠混合垢具有高阻垢率, 在玻璃表面形成持久防雾层。产品在-5°C与40°C下加速储存后性质稳定, 对瓷砖、镀铬及不锈钢无可见腐蚀, 符合QB/T 4086-2010与GB/T 21241-2022标准。为浴室等高湿高渍环境的清洁与长效维护提供了可行的解决方案。

关键词: 卫浴玻璃清洁剂; 高阻垢率; 泡沫型; 持久防雾; 无可见腐蚀

作者简介: 陶艳, 高级工程师, 研究方向: 日化产品的研究与开发。E-mail: taoyan@lvsan..com。



陶艳

随着居民生活与文化素养的同步跃升, “清洁”已从“看得见”的表层诉求, 演变为“看不见”的健康、安全与体验的综合需求。卫浴空间作为高频使用的私密场景, 其洁净程度不仅关乎审美, 更直接关联风险: 细菌滋生、地面湿滑及设备老化等。玻璃与镜面因为通透、高光的材质特征, 在卫浴环境中被大量应用, 却也因此成为水垢、皂渍、皮脂及金属锈蚀的“显影板”——微小污迹即可破坏整体观感, 使得玻璃清洁在卫浴维护中占据显著权重。

目前市场销售的“浴室镜面”细分呈加速趋势: 主流销售平台的浴室清洁剂以“一瓶多能”为主, 兼顾瓷砖、洗手盆、不锈钢、塑料及玻璃等多元基材。2024年这类多用途剂型在线上销量占比约61%, 较上年同期继续提升2%~3%^[1]。此类产品虽可快速瓦解污渍, 却多以高碱、高酸或强螯合体系实现清洁效果, 导致气味刺激、清洁后需用大量清水冲洗, 且对玻璃仅有“净而无护”的单一功能^[2]。反观居室内通用的玻璃清洁剂, 虽温和光亮, 却面对浴室高湿、高渍环境的清洁力捉襟见肘, 平台评论中“擦不净”“易返雾”负面关键词出现率为18%~22%, 显著高于厨房、客厅场景^[3]。

基于此, 本文提出一款“四维一体”的喷泡型卫浴专用玻璃清洁剂:

- (1) 安全高效——弱酸体系可瓦解浴室典型顽渍;
- (2) 阻污防雾——引入可控释放的疏水/亲水平衡膜层, 减少再次沾污与雾化;
- (3) 抑菌护膜——复配抑菌剂与成膜助剂, 抑制菌斑生成同时保护镀膜镜面;
- (4) 低水痕——无需大量冲洗, 抹布轻拭即可速干

无痕。

下文将从配方设计原理、关键原料筛选、性能评价方法及加速稳定性测试等方面展开论述, 以期为卫浴细分清洁领域提供一条技术路径。

1. 试验部分

1.1 研制原理

以有机酸/表面活性剂协同体系为核心: 松动并剥离顽渍、乳化、卷离残留皮脂与皂膜, 实现深度清洁。杀菌剂快速杀灭玻璃表面常见致病菌, 切断交叉污染。渗透-润湿助剂降低界面张力, 使活性组分瞬间铺展至微裂纹, 提升清洁效率。防污剂在玻璃表面构筑亲水-疏水平衡纳米膜, 既阻止水汽凝结成雾, 又形成物理屏障延缓再污染。增溶剂全程调控各组分相容性与低温稳定性, 确保体系长期不分层、不析晶。

1.2 试剂与仪器

十二烷基二甲基氧化胺, 中国日化院; 椰油酰胺丙基甜菜碱CAB, 广州花语精细化工有限公司; 脂肪醇聚氧乙烯醚9, 天津浩元精细化工股份有限公司; 脂肪醇聚氧乙烯醚25, 天津浩元精细化工股份有限公司; 十一烷基咪唑啉, 中国日化院; C₈₋₁₀烷基糖苷, 上海发凯化工有限公司; C₁₂₋₁₄烷基糖苷, 上海发凯化工有限公司; 尼纳尔, 广州花语精细化工有限公司; 一水柠檬酸, 山东柠檬生化有限公司; 95%乙醇, 北京西池欧化工原料销售有限公司; Aristocare® Smart, 克莱恩化工(中国)有限公司; 二丁基羟基甲苯, 江苏迈达新材料有限公司; 金黄色葡萄球菌

ATCC6538、大肠杆菌8099，中国菌种保藏中心。

BS224S型分析天平，北京赛多利斯仪器系统有限公司；JJ600型电子天平，常熟双杰测试仪器厂；LC-ES-120SH数显款电动搅拌器，上海力辰邦西仪器科技有限公司；雷磁 PHSJ-6L实验室pH计，上海仪电科学仪器股份有限公司；DHG-9076A型电热鼓风干燥箱，上海精宏实验设备有限公司；BCD-539WT冰箱，青岛海尔股份有限公司；LX-B75L型立式自动电热压力蒸汽灭菌锅，合肥华泰医疗设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 发泡性能测定

(1) 泡沫高度测试法：用去离子水将样品配制成为3.0wt%浓度的溶液，在(25±1)℃温度下，取10mL倒入100mL具塞量筒中，塞好塞子，上下振摇20次，分别记录30s、5min时的泡沫高度，每个样品重复测试3次，取其平均值作为所测浓度的泡沫高度，计算差值。

(2) 实际应用测试法：将样品用去离子水配成3.0wt%浓度的溶液，在(25±1)℃温度下，喷头距离台面30cm，用泡沫喷头喷射5次，观察台面上泡沫的细腻度、丰满度，分别记录30s、5min时的泡沫形式，观察持泡性能。

1.3.2 抑菌力测试

浴室是家中易滋生微生物的地方，其湿暖环境非常适合微生物繁殖。微生物通过飞溅的水珠、手部接触或气溶胶传播，容易在水垢或皂垢表面形成生物膜，镜面边缘或玻璃接缝处容易形成菌斑。可能会危害免疫力低的人群。微生物杀灭实验选择金黄色葡萄球菌ATCC6538作为细菌繁殖体中化脓性球菌的代表；大肠杆菌8099作为细菌繁殖体中肠道菌的代表^[4]。抑菌性能测试：依照QB/T 2738-2023《日化产品抗菌抑菌的效果评价方法》进行：作用时间5min，要对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌≥90%有较强抑菌作用。

1.3.3 阻垢性能测试

预制250g/L浓度的CaCl₂水溶液；5%浓度的油酸钠水溶液。在水平放置的30×20cm玻璃镜面上喷或滴加(1.0±0.1)g实验样，用约10×6cm棉布片将液体均匀涂布于镜面，擦拭的尽量不留印痕为止；空白对照：同批次

镜面以去离子水替代样品，同步处理。自然干燥后，竖起镜面，依次将CaCl₂溶液、油酸钠溶液喷于镜面上（各一喷，约1.5g）。将镜面平置于60℃烘箱中，干燥1h，取出，环境中冷却至常温，用自来水冲洗镜面（5个往复），观察水冲后镜面污垢附着情况，评分判定阻垢性能。

1.3.4 防雾性能测试

恒温水浴锅设定(80±1)℃，产生稳定蒸汽；同1.5阻垢性能测试方法，处理镜面，将自然干燥的试片水平覆盖于水浴锅孔上（镀银面向上，受蒸面朝下），试片距水面20cm，1min后观察镜面防雾效果，评分后判定防雾性能，阻垢/防雾效果评价见表1。

表1 阻垢/防雾效果评价表

结果评价	几乎无垢/雾影像清晰	轻微薄垢/雾可辨影像	明显垢/雾层影像模糊	严重垢/雾难辨影像	完全垢/雾覆盖
分值	5	4	3	2	1

1.3.5 稳定性测定

据QB/T 4086-2010《玻璃清洁剂》，感官与物理性能中稳定性要求进行测定。

1.3.6 腐蚀性测试

为产品有效去除钙垢，加入有机酸，依据GB/T 21241-2022《卫生洁具清洁剂》6.7腐蚀性实验方法进行，要求样品对瓷砖、金属试片无腐蚀性。

2. 结果与分析

2.1 泡沫力测试

卫浴玻璃清洁剂采用泡沫型喷雾形式使用，这样的方式利于清洁剂均匀、大面积的喷洒到器物表面上，可迅速达到清洁效果，其次，液体以泡沫形式喷出，解决了小液滴漂浮在空气中造成的刺激感，第三，泡沫铺展可以增加与硬表面的接触时间，提升去污能力。这样就要求喷出的泡沫要丰富、绵密且有一定的挂壁效果。考虑浴室玻璃表面污垢不是重垢，固定柠檬酸1.5wt%，表面活性剂浓度3.0wt%，选择可与有机酸复配的表活进行泡沫力测试，泡沫高度测定见图1。

数据可得泡沫高度依次是：脂肪醇聚氧乙烯醚9、咪唑啉、甜菜碱。在上述实验基础上进行实际应用测试，选择出持泡性好的原料。实际应用泡沫效果见表2。

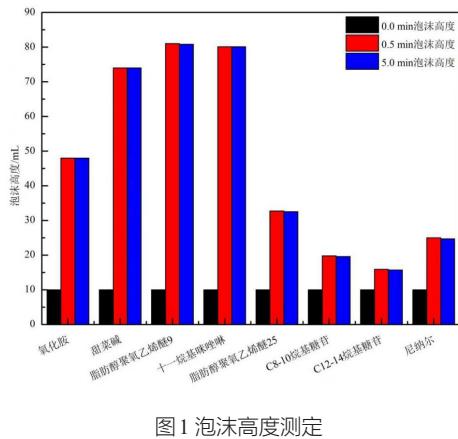


图1 泡沫高度测定

表2 实际应用泡沫效果测定

原料	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
脂肪醇聚氧乙烯醚9	1.5	1.5	1	1	0	0	3	0	0
咪唑啉	1.5	0	1	0	1	0	0	3	0
甜菜碱	0	1.5	1	0	0	1	0	0	3

分组测试后观测泡沫丰富、立体和持泡效果，得到结果为⑧>①=③>⑤>⑨>其余。

手动喷泡喷头为液体创造了一个理想的发泡环境。高效的气液混合：喷泡喷头通过多孔网结构，在高压下将空气与溶液进行剧烈、充分的剪切和混合。这确保了空气被分割成大量、均匀、细小的气泡，并被溶液完全包裹。气泡越细小、越均匀，形成的泡沫就越细腻、立体感越强。甜菜碱产生的泡沫绵密、湿润，感觉像“奶油泡”，但液膜含液量高，泡沫的立体感不足，不够“坚挺”^[5]。脂肪醇聚氧乙烯醚9生成的泡沫虽然多，但气泡壁脆弱，液膜排液快，气泡迅速合并成大泡，然后破裂，消泡过快。3.0wt%的咪唑啉的发泡效果最好，喷出的泡沫厚实、细腻、立体感好，且持泡性好。在1.5wt%柠檬酸体系中，咪唑啉呈现“厚实-细腻-站立久”的优异泡沫，其机理可归纳为：

(1) 低表面张力、快速成膜。25℃下，0.3 wt% 咪唑啉溶液表面张力为 26.6 mN/m， $CMC=9.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ ^[6]；喷头剪切瞬间，活性分子迅速吸附并定向排列，形成高弹性液膜，泡沫“起得高、立得稳”。

(2) 两性头基构筑静电-水化双位垒。酸性 pH 下环状叔胺质子化后与羧酸根形成“内盐”，因为分子间的静

电排斥被最小化，这种结构使得分子在界面上排列极为紧密；羟乙基侧链的水化层构成了一个空间和能量壁垒，极大地阻碍了液膜之间的液体流动抑制 Plateau 边界排液，延长泡沫寿命^[7,8]。

(3) 柠檬酸协同稳泡。柠檬酸体系 pH=3~4，咪唑啉阳离子化；同时通过氢键增稠水相、螯合 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ，削弱硬度离子对双电层的压缩，提高抗硬水性能。

综上，咪唑啉自身的超低界面张力与两性“内盐”结构为核心，柠檬酸通过缓冲-增稠-螯合三重作用进一步延长泡沫寿命，共同赋予体系“厚实、细腻、消泡慢”的特征。

2.2 基础配方

用于浴室玻璃的清洁剂除了有清洁功能外，还应满足快干、抗污阻垢、防雾功能。玻璃表面平整光滑，配方组成和用量见下表3，配方性能评价见下表4，配方泡沫效果见图2：

表3 配方组成与用量

原料	配方1	配方2	配方3	配方4	配方5
柠檬酸	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
咪唑啉	3	3	3	2	1.5
甜菜碱	0	1	0.5	0.5	1.0
脂肪醇聚氧乙烯醚9	0	0	0.5	0.5	0.5
二丁基羟基甲苯	0	0	0	0.01	0.01
去离子水	补齐 100				

表4 配方性能评价表

	配方1	配方2	配方3	配方4	配方5
喷泡效果	细腻厚重 立体持久	细腻厚重 立体持久	细腻厚重 立体持久	细腻厚重 立体	细腻厚重 立体
pH (25℃)	3.55	3.45	3.52	3.21	3.05
耐寒	稳定	粉沫沉淀	有极少量 絮状沉淀	絮状沉淀	有极少量 絮状沉淀
耐热	稳定液体 颜色微黄	稳定液体 颜色微黄	稳定液体 颜色微黄	稳定	稳定
5min 杀灭对 数值	ATCC 6538 8099	3 3	3 3	3 3	3 3

由表4的测试数据可知：弱酸体系可以满足抑菌要求。配方1~3高温变色是由于含柠檬酸的低 pH 环境加速了咪唑啉水解为伯胺，高温存储环境使柠檬酸降解生成羧基^[9]。采

用两步解决变色问题：降低咪唑啉含量和增加抗氧化剂。配方4~5颜色问题改善。选用配方5进行下一步实验。

	初始泡沫	5min后
配方1		
配方2		
配方3		
配方4		
配方5		

图2 泡沫效果

2.3 助剂选择

选择阻垢防雾成分，调整表面活性剂比例或引入溶剂进行增溶，解决耐寒、耐热稳定性问题，配方组成与用量见表5。

表6的结果可知：乙醇可降低体系极性并增强氢键网络，从而提高配方贮存稳定性；其挥发过程同步移除表面水分，使干燥时间缩短。Aristocare Smart是一种新型表面改性聚合物，通过提供保护膜，减少光在硬表面的散射，当含有该成分的清洁剂溶液接触硬表面时，分子吸附基材，亲水的一端伸展到水相中，完成定向排列。随着水分擦干或蒸发，这些高度定向的聚合物分子在表面形成一层超薄、均匀、透明且连续的薄膜，这层膜牢固地附着在基材上，不易被冲洗掉，表面变得更光滑并且防止了污垢和水滴的粘附。配方7与配方8均能满足实验要求，考虑性价比，配方7为优选配方，配方7阻垢效果见图3。



图3 配方7阻垢实验结果

表5 配方组成与用量

项目	配方6	配方7	配方8	配方9	配方10	配方11
柠檬酸					1.5	
咪唑啉					1.5	
甜菜碱					1.0	
脂肪醇聚氧乙烯醚9				0.5		
抗氧化剂				0.01		
Aristocare® Smart	0.5	1.0	1.5	0	0	0
丙烯酸聚合物	0	0	0	0.5	1.0	1.5
乙醇				5		
去离子水				补齐100		

表6 配方性能评价表

项目	配方6	配方7	配方8	配方9	配方10	配方11
泡沫效果	细腻厚 重立体	细腻厚 重立体	细腻厚 重立体	细腻厚 重立体	细腻厚 重立体	细腻厚 重立体
pH (25°C)	3.05	3.05	3.05	3.17	3.33	3.52
耐寒	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定
耐热	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定
5min杀灭 ATCC 灭对数 6538	3 值 8099					
阻垢效果	3	4	4	3	4	4
防雾效果	3	4	4	2	3	3
腐蚀性	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀	无腐蚀

3. 结论

在柠檬酸-咪唑啉弱酸体系中，咪唑啉可生成稳定泡沫并赋予玻璃表面显著亲水性；柠檬酸快速清除水垢，且通过鳌合作用抑制硬度离子对泡沫的干扰，满足喷雾挂壁与快速铺展。Aristocare Smart于玻璃表面自组装形成纳米级刷状膜，水接触角显著降低^[8]，阻垢与防雾性能均可满足消费者需求。5 wt% 乙醇降低体系黏度与表面张力，兼顾低温稳定性与快干低痕需求。该配方对目标微生物的5 min 杀灭对数值符合强抑菌标准，对常用浴室基材的腐蚀速率满足无腐蚀规定。综上，配方7在清洁力、阻垢防雾、抑菌安全性及材料相容性之间实现平衡，可为浴室玻璃专用喷雾清洁剂提供可规模化的技术路线。

参考文献

- [1] 中商产业研究院. 2025 年中国硬表面清洁剂市场趋势报告: 容量、价格走势及竞争调研 [R]. 深圳: 中商产业研究院, 2025.
- [2] 星图数据. 2024 年度家清品类电商销售监测数据 [DB/OL]. 北京: 星图数据, 2024 [2025-04-01]. <https://www.syntun.com.cn>.
- [3] 欧睿国际. 浴室清洁剂多用途剂型销量占比分析 [R]. 伦敦: Euromonitor International, 2024.
- [4] 中华人民共和国卫生部. 消毒技术规范 (2002 版) [Z]. 中国: 中华人民共和国卫生部, 2002.
- [5] Clendennen S K, Boaz N W. Betaine Amphoteric Surfactants—Synthesis, Properties, and Applications – ScienceDirect[J]. Biobased Surfactants (Second Edition), 2019:447–469.
- [6] 刘兵, 张威, 王丰收. 2-十一烷基-N-磺酸基-N-羟乙基咪唑啉的合成及性能 [J]. 印染助剂, 2019, 36(12):3.
- [7] 王世荣, 李祥高, 郭俊杰. 表面活性剂化学 [M]. 第 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2022.
- [8] 崔正刚. 表面活性剂、胶体与界面化学基础 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
- [9] 王璋, 许时婴, 汤坚. 食品化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.

Formulation Design and Performance Evaluation of a Foaming Bathroom Glass Cleaner

Tao Yan, Sui Dong-hui

(Beijing Lvsan Technology Co., Ltd., Beijing, 100094)

Abstract : This study developed a mildly acidic foaming cleaner for bathroom glass based on a citric acid-imidazoline synergistic system. The formulation generates rich, three-dimensional foam through a foam spray head, enabling it to adhere tightly to vertical surfaces. Evaluation results demonstrated that the product achieves log reduction values greater than 3.00 against both *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* within 5 minutes of contact. It also exhibits a high scale inhibition rate against CaCl_2 -sodium oleate mixed soil and forms a long-lasting anti-fog layer on glass surfaces. The product remained stable after accelerated storage at -5°C and 40°C , and caused no visible corrosion on ceramic tiles, chrome-plated, or stainless steel surfaces, complying with QB/T 4086-2010 and GB/T 21241-2022 standards. This provides a viable solution for the cleaning and long-term maintenance of high-humidity, high-soil environments such as bathrooms.

Keywords : bathroom glass cleaner; high scale inhibition rate; foam type; long-lasting anti-fogging; free from visible corrosion

