

# 潜香体在洗涤产品中的应用与发展前景

逯利锐, 刘海清, 唐明慧, 黄红艳, 罗婧  
(广东铭康香精香料有限公司, 广东广州, 510530)

**摘 要:** 潜香体通过共价键将挥发性香料分子与非挥发性基质结合, 在特定环境条件下实现香料的控释, 从而延长留香时间, 减少香气的迅速散失。该策略已应用于部分产品, 尤其是洗涤产品中, 因其对持久留香的需求较高。文章总结了分子型、聚合物型和包裹型三类潜香体在洗涤产品中的应用及其释放机制, 并评估了其在提升香气持久性和稳定性方面的优势, 为开发更具功能性和长效留香的洗涤产品提供了理论依据。

**关键词:** 潜香体; 香料; 控释; 洗涤产品

**作者简介:** 逯利锐, 硕士, 广东铭康香精香料有限公司 研发工程师, 研究方向聚焦于精油微胶囊与潜香体在香氛产业中的应用。E-mail:2313007807@qq.com。



香料是一种赋予产品香气的重要物质, 广泛应用于食品、纺织、皮革、造纸、化妆品与洗涤剂等日常生活用品中, 其主要来源包括天然植物提取物、动物提取物以及人工合成香料<sup>[1]</sup>。香料的使用不仅能够提升产品的吸引力, 还能增加其附加值, 进而改善消费者的使用体验。然而, 由于大多数香料分子具有低分子量和高挥发性<sup>[2]</sup>, 导致其在实际应用中的效果有限, 特别是在洗涤产品中, 香料容易快速挥发, 难以实现持久的香气体验。随着消费者对高品质生活的需求提升, 香料的持久性和稳定性已成为洗涤产品设计中的关键问题。传统香料添加方式存在香气持续时间短、香料在储存和运输过程中损耗大的缺陷。因此, 延长香料的释放时间并提高其稳定性, 成为业界亟待解决的难题。

为了克服香料在挥发性、持久性和稳定性方面的不足, 研究人员采用了“潜香体”(profragrance)策略<sup>[3]</sup>, 即通过化学键将高挥发性的香料分子与难挥发的底物共价结合(图1), 潜香体是一种非挥发性、无味的香料前体分子, 在温和条件下(如光照、温度、氧气、酶或pH变化等)促使共价键断裂缓慢释放香料, 从而延长留香时间, 有效减少因高挥发性导致的香气快速消散问题。潜香体一般由三部分组成: 难挥发的基底, 特异性断裂的化学键以及目标香料分子。基底的主要作用是固定易挥发的香料分子; 特异性断裂的化学键是潜香体的核心部分, 需要在特定的环境下切断达到控制性地释放香料的目的; 目标香料是种类丰富的羧酸类、醇类、醛酮类或者烯类等具有特定官能团的分子。目前, 潜香体策略已应用于一些对香气持久性有较高要求的产品中, 例如洗涤剂、表面活性剂、洗发水等。

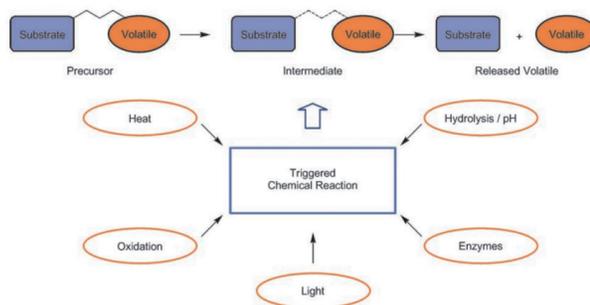


图1 潜香体释放香料分子的响应机理及触发条件<sup>[3]</sup>

文章综述了3种类型的潜香体<sup>[4]</sup>——分子型、聚合物型和胶囊型潜香体在提升香气持久性和稳定性方面的优势、释放机制及其在洗涤产品中的应用。

## 1. 潜香体在洗涤产品中的应用

### 1.1 分子型潜香体

分子型潜香体是通过将香料分子与难挥发性基质以共价键的方式结合形成的香料控释系统。这种潜香体通过环境刺激(如光照、水解或酶解等)激活, 实现香料分子在特定条件下释放, 具有较高的反应性和控制性, 适用于需要精确控释的产品, 如洗涤剂或纺织品中的长效香料释放。

日常生活中, 大量芳香产品暴露于阳光下, 而太阳能是一种丰富来源的绿色能源, 因此开发具有光响应的潜香体并应用于洗涤产品具有重要意义。例如宝洁公司利用 $\alpha, \beta$ -不饱和碳酸酯类潜香体<sup>[5]</sup>实现醛酮类香料在洗衣液中缓慢释放, 延长了留香时间, 此类潜香体的光响应机理(图2), 即通过紫外光照射, 潜香体发生 Norrish I 或 II 反应, 释放 CO、CO<sub>2</sub> 等气体的同时, 释放出相应的醛类香

料。除光照之外，氧气的存在也经常导致脆弱官能团（如醛类）在长期存储中缓慢降解，因此基于缓慢氧化机制设计的氧化响应型潜香体成为一种创新途径，这种潜香分子可以实现香料的缓慢释放。例如，Gary B. Womack 课题组合成了一系列乙烯醚类化合物<sup>[6]</sup>，成功延长了醛类香料的留香时间。这种乙烯醚类化合物的双烯键与氧气接触后会发生自氧化反应，生成芳香醛和其它较小的碳基化合物（图3）。这种乙烯醚类潜香体成功应用于织物柔顺剂并在长达2周的时间内持续释放香料分子。相比直接添加香料分子，这类氧化型的潜香体为洗涤产品提供了更加持久和稳定的香气表现，尤其适用于需要延长香气留存时间的产品。除了上述两种条件之外，pH/水解响应型潜香体也广泛应用于表面活性剂等洗涤产品。例如，华东理工大学韩建伟课题组利用离子液体构建出具有多功能性能的季铵盐表面活性剂类潜香体<sup>[7]</sup>，该类潜香体达到了芳香和抗菌的双重效果。醛类香料与季铵盐通过酰肼化学键连接，酰肼键水解的同时香料释放（图4）。因此，分子型潜香体有望应用于个人护理产品、家居芳香产品等领域，以实现长效香气释放。

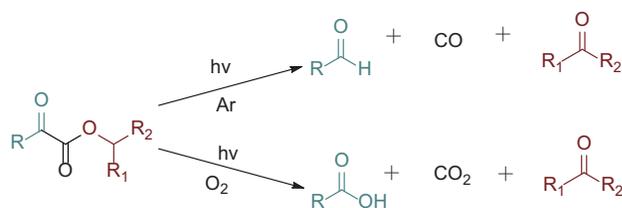


图2 基于 $\alpha$ -酮酯的光响应型潜香体及其光裂解反应香料控制机理<sup>4</sup>

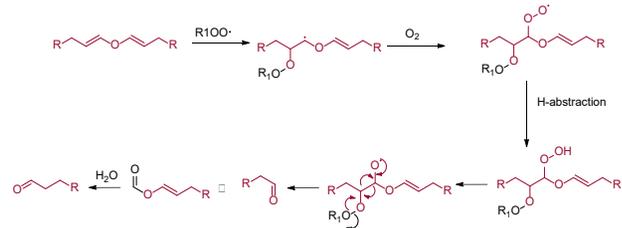


图3 基于自氧化机理构建的乙烯醚型潜香体及其醛类香料分子的控释<sup>6</sup>

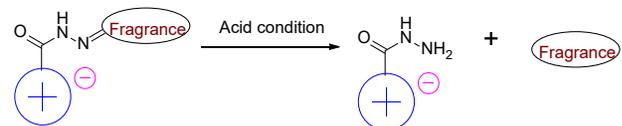


图4 季铵盐类潜香体水解响应释放醛类香料的机理<sup>[7]</sup>

## 1.2 聚合物型潜香体

聚合物型潜香体是将香料分子通过化学共价键直接连接到聚合物上，形成具有缓释特性的香料传递系统。此类潜香体可以通过调节聚合物的化学结构、比例以及环境刺激条件（如温度、pH、光照等）来控制香料分子的释放速

率。相比于分子型潜香体，聚合物型潜香体可以更加稳固地控制香料的释放，实现长效留香。例如，芬美意公司的 Andreas Herrmann<sup>[8]</sup>等人利用噬菌体展示肽识别技术筛选出与棉织物具有高亲和力的短肽序列，随后将挥发性香料与筛选出的肽链通过共价键偶联形成聚合物潜香体并应用于织物洗涤产品，研究表明此类聚合物潜香体很大程度上提高香料在棉织物表面的沉积效率，增强了织物的香气持久性。聚合物不仅能够增强香料与基材之间的吸附，还可以根据环境变化在聚集态与解聚态之间发生转变，从而实现了对香料释放的精准控制。例如，朱拉隆功大学 Supason P. Wanichwecharunguang 课题组构建了一种醛类香料与 N-琥珀酰基壳聚糖通过亚胺键连接的聚合物型潜香体<sup>[9]</sup>（图5）。该聚合物型潜香体利用化学合成方法将壳聚糖与醛类香料进行共价连接，进一步利用超声辅助法，实现醛类香料共价交联于壳聚糖大分子内部，测试结果显示，壳聚糖聚合物型纳米潜香体相对于香料单体具有 85 倍长效的香料释放时间，并且在水中具有良好的分散性，该方法有望应用于香料及其相关领域，为产品提供长效的香味释放，拓展了香料应用的可能性。

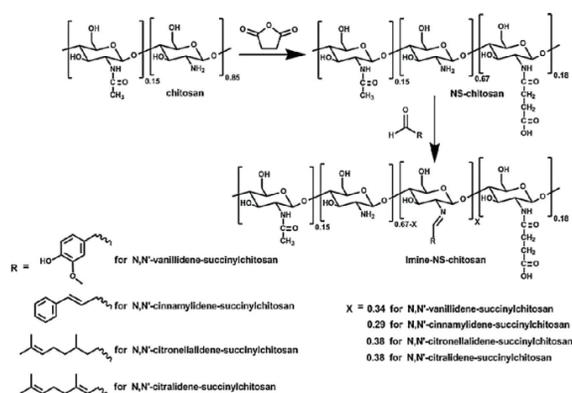


图5 壳聚糖链连醛类香料的聚合物型潜香体分子设计<sup>[9]</sup>

## 1.3 胶囊型潜香体

胶囊型潜香体通过物理包裹潜香分子形成微胶囊，达到香料的缓释效果，此类潜香体通常采用天然大分子化合物和聚合物作为壁材材料。相较于以上两类潜香体，胶囊型潜香体具有较高的负载率，能够容纳更多的香料分子，适用于长效加香产品，同时，天然大分子和聚合物作为壁材具有良好的生物相容性。同样地，Andreas Herrmann<sup>[10]</sup>将上述 $\alpha$ 、 $\beta$ -不饱和碳酸酯类分子型潜香体封装于核壳结构的微胶囊中形成胶囊型潜香体（图6）。当胶囊暴露于紫外光照时，碳酸酯类分子型潜香体发生化学键断裂并同时生成一氧化碳或二氧化碳气体，这些气体在胶囊内产生

压力，导致胶囊壁膨胀或破裂，从而释放出封装的香料。这类胶囊型潜香体常用于香水、空气清新剂和织物护理等产品。

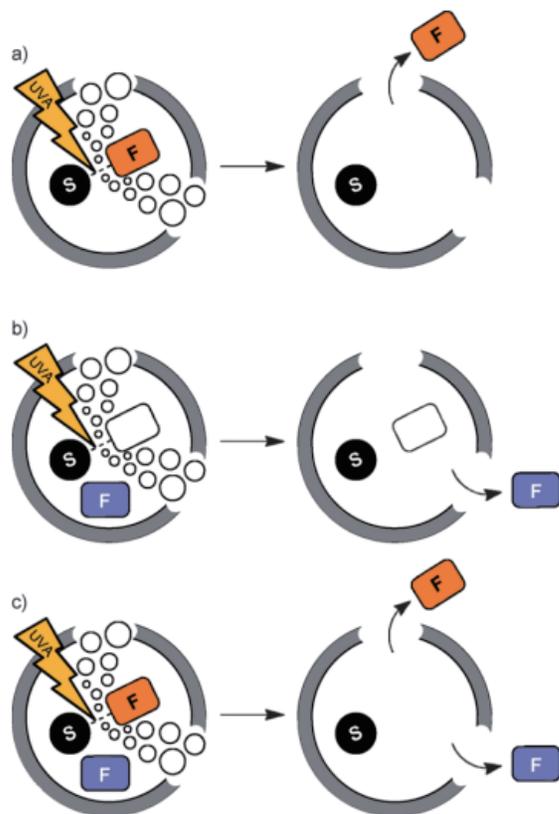


图6 基于2-乙酰酯包裹型潜香体光响应释放香料的机理<sup>[10]</sup>

综上所述，以上段落总结了分子型、聚合物型和胶囊型潜香体的优势、局限性及响应机理，以及它们在洗涤领域的应用潜力。三种类型潜香体的优缺点（表1），具体表现如下：分子型潜香体具有分子量小、挥发速率快的特点，这使其能够迅速释放香气，适用于需要即时香气的应用场景，然而其稳定性较弱，限制了它在对香气持久性有更高要求的产品中的使用；聚合物型潜香体的优势在于灵活的结构设计和可控的粒径，可以实现精确的控释，适合

表1 三种类型潜香体的优缺点

潜香体类型	优势	局限性
分子型潜香体	分子量小，释放速率快；结构明确，易于设计合成	稳定性有限，受限于分子的官能团要求，可结合的香料分子种类少
聚合物型潜香体	粒径大小均匀可调；结构设计灵活；生物相容性好	聚合物胶束的聚集与解难以完全控制，影响控释效果；对香料分子的官能团要求高，可应用的香料种类有限。
胶囊型潜香体	负载率高，延长了香料的释放时间；适用于多种香料分子，具有较强的选择性。	潜香分子易提前泄露，影响控释效果；香料释放的同步性较差，效率相对较低。

于功能性更强的应用场景，如需要环境响应的洗涤产品，但其对香料分子的官能团要求较高，限制了其适用范围；胶囊型潜香体则以高负载率和长时间释放香料的能力著称，能够极大地延长产品的香味持久性，尤其在洗涤产品中表现出色。

## 2. 总结与展望

文章总结了三类潜香体的优势、局限性以及在洗涤产品中的应用。分子型、聚合物型和胶囊型潜香体不同程度上提高了香料的稳定性，增加了香气的持久性。特别是在洗衣液、柔顺剂和洗洁精等产品中，潜香体技术为香气的长效留存提供了理想的解决方案。随着潜香体技术的不断发展，这三种策略将在未来进一步满足消费者对高品质洗涤产品的需求，并为产品带来更多附加价值和多样化的功能性。

### 参考文献

- [1] Sharmeen, J. B.; Mahomoodally, F. M.; Zengin, G.; Maggi, F., Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. *Molecules* 2021, 26(3): 666.
- [2] Louw, S., Recent trends in the chromatographic analysis of volatile flavor and fragrance compounds: Annual review 2020. *Analytical Science Advances* 2021, 2 (3-4), 157-170.
- [3] Herrmann, A., Controlled release of volatiles under mild reaction conditions: from nature to everyday products. *Angew Chem Int Ed Engl* 2007, 46 (31), 5836-63.
- [4] 胡静, 刘明. 环境响应型潜香体设计与修饰研究进展 [J]. 应用技术学报, 2024, 24(1): 108-116.
- [5] Dykstra, Richard R, Gray, et al. Compositions Comprising Photo-Labile Perfume Delivery Systems [P]. CA20022456620, 2009-03-24.
- [6] Indradas, B.; Hansen, C.; Palmer, M.; Womack, G. B., Autoxidation as a trigger for the slow release of volatile perfumery chemicals. *Flavour and Fragrance Journal* 2014, 29 (5), 313-323.
- [7] Song, Q.; Zhou, X.; Xue, C.; Zhang, Z.-A.; Feng, J.; Ji, M.; Wang, L.; Liu, X.; Han, J., Multifunctional quaternary ammonium surfactants with controlled release of carbonyl perfumes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2022, 655.
- [8] Günay, K. A.; Benczedi, D.; Herrmann, A.; Klok, H. A., Peptide - Enhanced Selective Surface Deposition of Polymer - Based Fragrance Delivery Systems. *Advanced Functional Materials* 2016, 27 (2).
- [9] Tree-udom, T.; Wanichwecharungruang, S. P.; Seemork, J.; Arayachukeat, S., Fragrant chitosan nanospheres: Controlled release systems with physical and chemical barriers. *Carbohydrate Polymers* 2011, 86 (4), 1602-1609.
- [10] Paret, N.; Trachsel, A.; Berthier, D. L.; Herrmann, A., Controlled

release of encapsulated bioactive volatiles by rupture of the capsule wall through the light-induced generation of a gas. *Angew Chem Int Ed Engl* 2015, 54 (7), 2275–9.

## The Application and Development Prospects of Profragrances in Laundry Products

Lu Li-Rui, Liu Hai-qing, Tang Ming-hui, Huang Hong-yan, Luo Jing  
(Guangdong Wincom Flavors&fragrances Co.,Ltd. Guangzhou,Guangdong 510530)

**Abstract :** Profragrances combine volatile fragrance molecules with a non-volatile matrices through bonds to achieve controlled release of fragrances under specific environmental conditions, thus extending the fragrance retention time and reducing the rapid loss of fragrance. This strategy has been applied to several products, especially laundry products, which have high demand for long-lasting fragrances. The work summarizes the application and release mechanisms of three types of profragrances: molecular, polymer, and encapsulated-based fragrances in laundry products, and evaluates their advantages in improving fragrance persistence and stability. The results of this work provide theoretical basis for the development of fragrances with more functionality and long-lasting effects.

**Keywords :** profragrances; fragrances; controlled release; laundry products

