

智能油墨在 CMF 设计中的应用

李浩铭 刘宏达

保定乐凯新材料科技有限公司，河北保定，071000；

摘要：CMF 设计作为产品感知系统的重要构成，其核心价值在于通过色彩、材料与表面处理三要素构建独特的视觉与触觉体验。随着智能材料的发展，智能油墨逐渐成为推动 CMF 设计革新的关键媒介。该类油墨具备可响应环境变化的特性，能够在温度、光照或电场等外部刺激下实现色彩、纹理及光泽的动态转化，使产品在保持结构不变的前提下具备变化性和互动性。本文围绕智能油墨的材料特性与分类体系，梳理其在 CMF 设计中的应用逻辑与技术路径，结合多个行业的典型实践，探索其在产品功能表达与用户体验层面所展现的设计潜力。研究表明，智能油墨正在打破传统静态材料的边界，为工业设计引入感应化、可视化与交互性的全新维度。文章最后展望了该技术未来在绿色设计、可持续制造与多感官融合等领域的发展趋势。

关键词：智能油墨；CMF 设计；材料响应性；动态色彩；工业设计

DOI：10.69979/3041-0673.26.01.024

1 引言：智能油墨的材料特性与分类

1.1 智能油墨的材料构成与感应机制

智能油墨是指能够响应外界环境变化而产生可逆视觉变化的功能性材料，常以色彩、光泽或透明度等外观参数的改变为主要表现形式。其构成通常包括响应活性组分、基体载体、稳定剂与辅助剂等。响应组分是关键成分，决定油墨对温度、光、磁、电等刺激的敏感性。常见如液晶分子、金属离子络合物、变色染料等物质，能够在不同刺激条件下改变分子排布或电荷状态，进而实现颜色或透明度的变化。

在结构层面，智能油墨通过物理嵌入或化学键合的方式，将感应单元稳定包裹在油墨基体中，并借助聚合物链段保持结构完整。这种构型使油墨在保持涂布流动性与附着力的同时，具备可控的响应特性。不同类型的智能油墨在成分上虽有所差异，但多数具有良好的可逆性与较长的响应寿命，能够满足产品在使用周期内多次动态变化的需要。

智能油墨的感应机制多基于微观分子结构变化。例如，热致变色油墨在不同温度下，染料与开发剂间的氢键结构发生断裂或重建，导致光吸收波长的偏移；而电致变色材料则通过电子跃迁状态的改变来实现颜色反转。这些机制的物理本质决定了智能油墨响应速度、稳定性与应用适配性的差异。

1.2 智能油墨的分类与性能比较

根据外界刺激类型，智能油墨可分为热致变色油墨、光致变色油墨、电致变色油墨、湿度响应油墨以及多重响应复合油墨等类型。每一类油墨均具备独特的应用优势与设计适用性，在不同 CMF 语境中展现出差异化价值。

热致变色油墨是最早商用的类型之一，主要依靠温

度变化引发染料分子结构的可逆重组，具有良好的加工适应性与成本控制优势，广泛应用于儿童玩具、温控标签与交互包装等领域。但其在高温或持续热源下易出现色彩记忆效应，影响可逆性。

光致变色油墨则通过紫外线或可见光照射引发分子异构化反应，进而改变光吸收性质，表现出明暗条件下的颜色反差。这类油墨具备出色的视觉动态表现，常见于太阳镜、智能玻璃及车窗系统中。不过，由于对紫外线强度的依赖性，其稳定性易受气候与环境干扰。

电致变色油墨是近年来发展的重点方向，其特点在于能通过电流控制颜色变化过程，实现高精度调节与远程操控。该类材料多用于智能穿戴、电子纸及车载显示等高交互性设计场景，具有较强的技术前瞻性。

湿度响应油墨则通过吸湿膨胀或溶胀变色的方式实现可视化提示，在食品包装与医药标签中用于湿度监测，具备较强的功能导向性。而多重响应复合型油墨则将两种以上响应机制集成于同一系统内，兼顾多维场景与复杂信息提示需求，是智能油墨未来发展的重要方向。

在性能对比方面，不同类型油墨在响应速度、色彩饱和度、可逆次数与加工工艺方面存在明显差异。例如，热致变色油墨色彩柔和但响应速率快，适合即时变色需求；电致变色材料响应稍慢但可控性高，适用于可编程设计场景；光致变色油墨色差明显但受限于光照条件。设计人员在选材时，需依据目标产品的功能定位与 CMF 表现要求，综合考虑油墨的物理属性与技术实现条件。

2 智能油墨与 CMF 设计的融合路径

2.1 CMF 设计的本质与功能延展

CMF 设计作为产品外观系统的一体化表达，核心不在于单一形式的美学塑造，而在于通过色彩、材料与表

面处理三者的协同作用,构建用户对产品功能、品牌与价值的综合感知体系。在传统设计范式中,CMF 多侧重于静态视觉的统一性与质感的控制,较少关注动态性与时变表达。然而,面对当代用户日益增长的个性化与交互体验需求,传统 CMF 表达手段在可变性与互动性方面已显局限。

智能油墨的引入,改变了 CMF 的表达逻辑。它不仅是颜色或图案的替代材料,更是一种可以与环境形成信息互动的设计媒介。借助其感应特性,CMF 设计从原本的“定值美学”过渡到“动态语义”,产品不再仅仅是被观看的对象,而成为信息流动的载体。这一转变推动设计师从静态外观塑造转向时间维度上的演绎与控制,使 CMF 设计具备状态反馈、情绪表达和功能提示等多重意义。

2.2 智能油墨与色彩系统的动态协同

色彩是 CMF 体系中最直观的构成要素,而智能油墨的动态变色特性恰与色彩维度高度契合。通过温度、光照、电压等物理刺激,油墨可呈现出单色向多色、多级渐变、图案切换等多种变化模式,这种响应能力使设计从单一色板选配转向情境驱动与时序演化。例如,在消费电子产品中,机身外壳通过热致变色油墨可在握持或充电状态下自动改变色调,实现对产品状态的实时提示;又如在智能服饰中,通过电致变色技术构建个性化灯光图案,满足用户的社交表达需求。

值得注意的是,智能油墨并非仅提供“颜色变化”这一单一功能,其色彩变化的机制背后往往承载着功能逻辑与感知意图。设计师可借助其变色阈值、饱和度控制与反应速度,建立与用户行为之间的隐性关联。例如,智能家居设备在长时间未使用时自动褪色,以提示节能模式开启,或在某一操作完成后恢复原色,用于明确交互反馈。在此过程中,色彩不再只是修饰,而成为设计语言的一部分,与用户建立持续的情感联系。

2.3 材料肌理与表面处理的创新设计

CMF 设计中的“Material”与“Finish”维度,决定了产品的触感、质感与视觉深度。智能油墨在这两个层面同样展现出广泛的设计潜力。首先,在材料肌理层面,智能油墨可通过与不同基底的结合实现多层级微观结构的可视化控制。例如,通过在粗糙亚克力或金属面上施加光致变色油墨,可构建出随光线变化而呈现不同纹理的表面,打破传统材料在空间光感上的表现局限。

其次,在表面处理方面,油墨配方的调控与涂布方式的改变,能够实现由哑光到高光、从平滑到颗粒的多种肌理变化路径。这种可编程的表面变化使得“Finish”不再是一种静态工艺的终点,而变为设计的一部分。设计师可以通过感应性油墨对环境湿度、气压甚至声音做

出响应,赋予产品“触觉之外”的视觉表达。

更为重要的是,智能油墨可借助微结构反射、散射与吸收机制,实现类变色龙的伪装效果或光学折射效果。例如,部分高折射率的热致变色油墨在变色过程中会同步改变反射角度,使表面在不同观察角度下展现出“隐形图层”或“深浅轮廓”的效果。这些视觉层次的增加,不仅提升产品的精致度,也增强用户对产品的探索兴趣与心理价值感知。

在融合路径的构建中,智能油墨的材料特性与 CMF 设计语言的匹配度决定其创新深度。设计者需结合使用场景、用户期待与制造条件,合理调控色彩变化逻辑、肌理触感演化及加工稳定性,避免“技术即装饰”的误用倾向,确保材料应用与产品功能的统一性与叙事逻辑。

3 智能油墨 CMF 设计的实践案例与发展趋势

3.1 不同行业中的典型应用

智能油墨的广泛适配性,使其在多个产业中均展现出强大的设计潜力。从家用电器到可穿戴设备,从交通工具到智能包装,均可见其应用痕迹,并由此推动了 CMF 设计向动态、感应和语义化方向转变。

在家电领域,某品牌推出的“温感变色”智能电热水壶,其壶身表面涂覆热致变色油墨,当水温升高时颜色由蓝变红,用户可无需查看数显屏即可判断当前状态。该设计强化了用户的直觉交互体验,也降低了电器使用中的误操作风险。

汽车工业则更多关注智能油墨在外观定制与车载信息传递上的价值。例如,一些高端车型的中控饰板采用光致变色油墨,当驾驶模式切换或环境光线变化时,可实现由深色木纹转为金属质感的渐变表面。这种过渡不仅提高视觉层次感,也为车辆状态变化提供隐性反馈。

消费电子产品方面,某智能手机品牌开发的“情绪色壳”技术基于电致变色油墨原理,使手机背壳在不同触摸频率和时间下呈现出不同颜色,兼具美观性又兼具互动属性。其动态外观成为品牌差异化的一部分,也为用户带来前所未有的 CMF 体验。

此外,在食品与医药包装中,湿度响应型或光敏型油墨被广泛用于安全提示。例如,某款生鲜包装上的湿敏油墨可在冰箱温度异常或运输中断冷链后显现特定警示图案,增强用户对食品品质的感知能力。这类设计充分体现 CMF 与功能安全融合的趋势。

3.2 设计流程与技术整合路径

将智能油墨整合入 CMF 设计体系,并非简单替代材料或添加色彩,而是一个涉及材料科学、用户研究、制造工艺与设计表达多维协同的复杂过程。整个设计流程通常包括材料筛选、感应机制测试、原型建构与加工验证四个主要阶段,每一环节都对设计完整性与最终呈现

效果产生关键影响。

在材料筛选阶段,设计人员需根据目标产品的使用场景与交互预期,选择适合的响应类型与油墨参数。例如,户外使用设备应优先考虑光致变色与湿度响应型油墨,其对环境变量敏感且变化直观;而面向室内可控环境的产品,则可采用热致变色或电致变色材料,便于在稳定条件下实现定向效果。

随后,感应机制的响应阈值与时间控制需通过实验验证,以确保油墨反应过程与用户感知节奏相匹配。此阶段的精度校准,是保障设计可用性与用户满意度的前提。

在原型建构过程中,设计师需考虑油墨与基材之间的兼容性问题,包括附着力、耐光性与老化耐受度等。不同基底(如金属、玻璃、织物)对油墨的表现力影响显著,部分材料可能因表面张力过大或吸附力不足导致油墨分布不均,从而削弱动态效果。

加工验证阶段则更多依赖生产工程团队的协同支持。喷涂方式、印刷路径、烘干温度等参数均需反复调试,以确保油墨性能在大规模制造中得以稳定复制。这一过程需要打破传统设计与制造的边界,使CMF设计真正成为产品研发全过程的核心环节。

3.3 面向未来的设计演化方向

智能油墨为CMF设计开辟了全新的表达空间,也在推动工业设计理念向多维感知、多模态互动与可持续创新发展。未来的演化路径,将在以下几个方面展现出明显趋势。

首先,绿色制造成为不可回避的命题。部分新型智能油墨已实现水性体系替代溶剂型体系,降低对环境的污染风险。同时,具备自修复能力与低能耗驱动特性的材料系统也正逐步开发,为CMF设计带来更高的可持续性。

其次,智能油墨将在多感官协同中扮演更关键角色。当前的CMF设计多集中在视觉维度,而未来可望通过与柔性传感、声音响应与气味释放等系统融合,实现真正意义上的“沉浸式材料表达”。在这一框架下,智能油墨不再仅是外观变量,而成为信息输入与反馈回路的有机组成。

此外,AI辅助设计与数字孪生模型的发展,将大幅提升智能油墨在设计阶段的可视化仿真能力。设计人员可通过数字模型实时模拟不同油墨在特定环境下的动态表现,缩短从概念到落地的周期,也提高方案迭代效率。

综上所述,智能油墨正从单一感应材料转变为嵌入产品语义系统的关键构件,其与CMF设计的深度融合已成为提升产品感知价值、增强用户情感联结与实现多场

景适配的重要路径。

4 结论与展望

智能油墨作为一种具备环境响应特性的功能材料,正在逐步重塑CMF设计的表达逻辑与实践路径。本文通过材料特性解析、设计融合机制探讨以及行业案例分析,展现了智能油墨在产品外观系统中的多重价值。从静态色彩到动态变化,从表面装饰到信息传递,其在视觉层、交互层与情感层的功能拓展,正促使CMF设计由传统“美学构型”转向“感知进化”。

在材料层面,热致变色、光致变色与电致变色等类型构成了多样的响应体系,为设计师提供了针对性极强的技术选项。在设计方法方面,智能油墨推动色彩语言从单一色值叠加走向时间维度的叙事,使产品能够在使用过程中形成阶段性变化,从而强化用户的沉浸体验。结合材料肌理与表面处理技术的协同应用,也使设计得以突破二维表达,实现多角度、多光线下的丰富层次。

从实践角度看,智能油墨已在家电、电子、汽车等多个领域中实现落地,相关设计不仅提升了产品的使用便捷性,还为品牌构建提供了差异化工具。其在可视化反馈、状态提示及用户交互等方面的应用效果,也证明了智能材料在增强产品信息维度方面的显著潜力。

尽管目前在批量生产、长期稳定性与环境适应性等方面仍存在技术挑战,但随着材料科学与数字设计工具的协同进步,这些问题有望逐步缓解。未来,智能油墨的研究与设计方向将更倾向于“轻量集成”“绿色制造”与“跨感官融合”,并与AI算法、柔性传感、可持续设计等技术交叉形成新的产品语义体系。

智能油墨不仅是材料变革的代表,更是CMF设计迈向动态化、交互化与情境化的重要契机。在构建高感知、高辨识度产品的设计实践中,其将持续发挥战略性作用,为设计系统注入更具生命力的表达方式。

参考文献

- [1] 田园. 生成式人工智能背景下融合CMF设计的纺织品设计课程改革探索[J/OL]. 纺织服装教育, 1-11 [2025-07-03].
- [2] 尤志, 张灿. 产品材料CMF课程建设中的教学系统设计与应用[J]. 新课程研究, 2024, (24): 20-22.
- [3] 张纪娟, 赵高杰. 纳米油墨的种类及其应用[J]. 广东印刷, 2016, (02): 45-47.
- [4] 罗运辉, 段瑞华, 褚夫强. 装饰纸凹印水性油墨智能配色系统的开发与应用[J]. 广东印刷, 2024, (01): 26-28.
- [5] 覃月敏. 基于稀土配合物的智能发光油墨及其在光学信息存储和防伪中的应用研究[D]. 兰州大学, 2021.