

## 建筑涂料的制造使用特点与室内空气质量

丁浩 ( 中国地质大学 ( 北京 ) 材料学院 100083)

陈荣坤 ( 北京天之岩健康科技有限公司 100080)

摘要 :分析了建筑涂料的制造和使用特点及其与室内空气质量的关系。指出充分发挥建筑涂料净化空气的功能,是其重要的发展方向和治理室内空气污染最具前景的方法之一。

关键词 : 建筑涂料 ; 室内空气 ; 空气净化

### 1 建筑涂料的制造和使用特点

涂料是建筑工程中所使用的最重要的建筑装饰材料之一。随着人们生活水平的提高和社会的全面进步,建筑工程中通过形体、质感、图案、色彩等反映艺术风格和审美情趣的装饰活动占有越来越重要的地位,因此,使用包括涂料在内的各种装饰材料已变得越来越普遍。建筑涂料不仅通过装饰活动对建筑进行装饰和美化,同时还具有对建筑的保护作用(抵御自然侵害和环境气体、微生物侵害)。在建筑内部使用的涂料对包括空气品质在内的建筑的一些特性产生不可忽视的影响。

建筑涂料包括用于建筑外部的外墙涂料和用于内部的内墙涂料,其中后者对室内空气质量产生直接影响,而涂料的制造特点与应用特点决定这些影响的性质和程度。

主要从环境相关的角度分析,建筑涂料的构成与制造所具有的特点可归纳为:

- (1) 建筑涂料由多种原料组分复合或加工而成,既有作为颜料和填料的无机材料,也有作为成膜物质、溶剂和助剂的有机材料,还包括其它起功能作用 的各类物质。
- (2) 溶剂型涂料以苯、二甲苯等有机物为溶剂,涂料施涂后,这些溶剂向室内挥发,形成有害于人体健康的有机挥发物,污染室内空气。
- (3) 涂料中的有机溶剂和助剂等,本身即为有毒有害物质,由这些溶剂和助剂挥发至空气中的对人体有害的挥发性有机物多达上百种,而且挥发速度缓慢。

在应用上,建筑涂料呈现以下特点:

- (1) 建筑涂料从数量到品种,已越来越多地被用于室内装饰,由于室内空间相对狭小且封闭,因此,由其释放的挥发性有害物质将散发到室内空气中并通过积累污染室内空气。但与木质装饰材料和家具 相比,涂料的污染作用和持续时间都较弱。
- (2) 建筑涂料与其它装饰材料,如板材、木家具、壁纸等往往被用于同一室内区域,它们对空气质量的影响呈现交互作用,既可因彼此污染物的叠加而 加重污染,也可因某种材料附加空气净化功能而使污染危害得以消除或降低。
- (3) 建筑涂料常以较大面积装饰的方式使用,从而与室内空气形成大面积的接触。

### 2 建筑涂料与室内空气质量的关系

从以上建筑涂料的制造与使用特点分析,建筑 涂料对室内空气质量的影响存在正反两个方面:其一,室内涂刷

使用建筑涂料，特别是溶剂型涂料，其中的有机溶剂和助剂可直接或分解后向室内挥发有害污染物，并且污染物种类多。涂料对室内空气的污染虽不如其它装饰材料严重，但不加以防范也会形成危害 J。

其二，建筑涂料可成为净化室内空气的载体，即涂料与具有空气净化功能的无机粉体材料复合制备具有空气净化功能的涂料，通过其应用发挥空气净化功能。建筑涂料多组分复合的制造特性使其与主要为无机物的空气净化材料相容性良好。显然，这将成为绿色建材生产和以“装饰”治理“装饰污染”的重要途径。

### 3 室内空气的污染及防范

#### 3.1 室内的空气污染物及其危害

室内空气污染物主要有甲醛、苯、其它挥发性有机物、氨、微生物、放射性气体和可吸入颗粒物等，各污染物在室内空间里往往以多种并存的方式存在。

(1) 甲醛 甲醛是由建筑装饰材料（含脲醛树脂胶粘剂的人造板材、墙纸、油漆、涂料、塑料地板、家具、化纤地毯、泡沫塑料等）产生的对人体危害极大的空气污染物，它通过对人眼睛和呼吸系统产生刺激作用、对细胞产生毒性作用和致癌作用危害人类健康。世界卫生组织（WHO）和美国环境保护局（EPA）均将甲醛列为潜在的危险致癌物和环境污染物。长期接触较高浓度甲醛，可导致结膜炎、咽喉炎、肺炎、肺水肿、癌症等病症，甚至死亡。即使甲醛浓度较低（ $0.017 \sim 0.068 \text{ mg} / \text{m}^3$ ），长期接触仍严重损害人体健康。

(2) 苯及苯系物对人类健康也具有极大危害性，苯的危害主要表现为慢性中毒症状，包括对皮肤、眼睛和上呼吸道的刺激作用、长期吸入苯导致的骨髓造血机能障碍及再生障碍性贫血、严重时发生的颗粒性白细胞消失症和白血病等。苯中毒还可导致女性生理功能的损害和胎儿的先天性缺陷。苯被 WHO 定为强烈致癌物质。建筑室内苯及其同系物的来源主要有以苯和苯系物为溶剂的油漆、以苯、甲苯等为主要成分的涂料和油漆添加剂、使用含苯量高的胶粘剂及原粉加稀料配制成的防水涂料等。

(3) 挥发性有机化合物挥发性有机化合物（VOCs）通常是指沸点在  $50 \sim 100$  到  $240 \sim 260$  之间的化合物，到目前为止，室内空气中可检出的 VOCs 已达到 300 多种，其中致癌和致突变物达 20 多种。低浓度下 VOCs 对人体的危害，一般认为是其引起人体免疫功能失调，并对人中枢神经功能产生不良影响。

建筑装饰材料被认为是 VOCs 的最大污染源，乳液涂料、溶剂型涂料、墙纸，胶合板、塑料地板等化学装饰材料中的高分子聚合物和有机溶剂、助剂等物质可不停地向空气中释放 VOCs。据有关研究，在使用这些装饰材料的室内，约有占总量超过 50% 的有机物是在装饰之后相当长的时间里逐渐挥发的，由此导致空气中 VOCs 的浓度不断增高，以致达到危害人体健康的污染程度。

(4) 氨（ $\text{NH}_3$ ）是主要的室内空气污染物，除冬季房屋施工混凝土中加入的防冻剂释放氨和人体代谢排放氨以外，含尿素组分胶粘剂的木制板材和以氨水作为添加剂与增白剂的涂料等也产生氨。氨是一种对人和动物具有强烈刺激作用和腐蚀作用，减弱人体机体抵抗力的有害物质。人长期吸入低浓度氨将导致血液中尿素水平明显增加，健康受到损害（血液中尿素含量增加在医学上是健康受损的标志）。

(5) 微生物室内空气中的微生物主要来源于人自身和人类活动，如呼吸、咳嗽等可将体内的有害微生物散播到空气中。另外，室内使用空调，其换气过程也往往导致细菌等微生物进入室内。室内空气中的微生物经常附着在空气中的微颗粒表面，由此与人形成频繁接触，导致人生病。

除以上污染物外，放射性气体氡和重金属粒子等可吸入颗粒物也是室内空气的主要污染物，并造成对人体的极

大危害。

### 3 . 2 室内空气污染的防范和治理

对建筑室内空气污染，可从 3 个方面加以防范和治理：

- (1) 从源头上减少污染物的释放量。具体措施包括：简单装修，尽量少用装饰材料；科学配置使用各类装饰材料；选择有害物质含量低的装饰材料，至少是达到有关标准要求的环保建材或“绿色”建材。不过，“绿色”建材也只是降低了污染物的释放量，并未作到完全根除。污染物的长期作用和室内空间的封闭性往往导致室内空气依然处于污染状态。
- (2) 室内与室外进行通风换气，排除稀释室内污染物。包括装修后的室内通风和其后日常生活中的自然通风与风机换气。
- (3) 采用空气净化技术进行污染治理。采用空气净化措施是消除因建筑装饰材料等导致的室内空气污染的最有效方法。目前的室内空气净化措施主要是使用空气净化器，包括早期（20 世纪 80 年代前）具有过滤和吸附功能的物理型净化器、20 世纪 80 年代后具有静电除尘、负离子发生、臭氧发生等功能的净化器和近期开发的光触媒技术为特征的新型净化器。然而，空气净化器一般功能作用弱、室内覆盖区域有限，有的还同时产生新污染物（如负离子发生器产生的氮氧化物），因此，其净化作用不尽如人意。

近年来的研究和应用实践表明，将当今最先进的空气净化材料和技术与建筑装饰材料在生产过程或使用过程中实现复合，不仅能在一定程度上降低装饰材料本身的污染程度，而且在使用这些材料后，对室内由其它装饰材料和其它因素产生的污染物具有快捷、显著的消除作用。发挥建筑装饰材料净化空气的载体功能，以装饰治理装饰污染应成为最有效的治理室内空气污染的措施。

### 4 建筑涂料作为载体对室内空气的净化

前已提及，建筑涂料的多组分复合和大面积应用的特点，使其作为空气净化材料的载体与媒介，最大限度地发挥净化材料的功能作用成为可能。同其它可与空气净化材料相复合的装饰材料（陶瓷、壁纸等）相比，涂料具有相容性好、使用方便和复合多样性等许多特点，因此成为空气净化材料载体技术的主体。

#### 4 . 1 建筑涂料与空气净化材料复合的方式和作用

建筑涂料与空气净化材料可按 2 种方式进行复合：

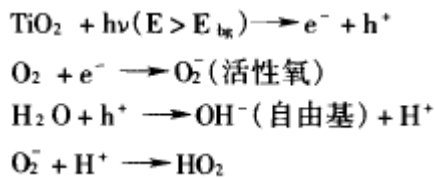
- (1) 在涂料的制造过程中进行复合无机颗粒状空气净化材料其表面性质与涂料中的填颜料一致，粒度接近钛白粉，大大细于高岭土和碳酸钙等填料。可将空气净化材料与填、颜料共同制浆，实现其在涂料固体组分乃至涂料成品中的分散共混；
- (2) 在成品涂料中直接添加空气净化材料空气净化材料为无机物，且粒度微细，其在成品涂料中添加，可在不破坏涂料其它性能的基础上，实现二者的复合。复合中需通过搅拌使二者混匀，由于分散作用不及在涂料制造过程中的复合，所以空气净化材料的用量应略有增加。

建筑涂料中复合空气净化材料的主要作用是赋予涂料消除室内空气污染和净化空气的功能作用，由于涂料自身导致的室内污染程度较低，所以涂料的空气净化作用主要针对由其它装饰材料所形成的污染。

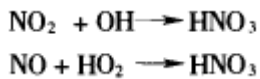
## 4 . 2 几种主要的空气净化材料

(1) 纳米光催化材料 纳米光催化材料是指颗粒在纳米尺度范围的半导体型固体材料，目前一般是锐钛型二氧化钛 (TiO<sub>2</sub>)。在紫外光作用下，光催化材料的结构发生电子跃迁，价带电子被激发到导带并在价带上产生空穴，电子与空穴分别使空气中的氧和水分子活化，产生活性氧和自由基。当光催化材料的尺度处在纳米范围时，这一作用将被大大强化。光催化作用产生的活性氧和自由基具有很高的反应活性，释放在空气中对细菌等微生物、氮氧化物、氨、甲醛和苯类物质等产生杀灭和分解作用，从而起到净化空气的作用。

锐钛型 TiO<sub>2</sub> 纳米光催化材料的反应原理为：



对于 NO 及 NO<sub>2</sub>，分别有：

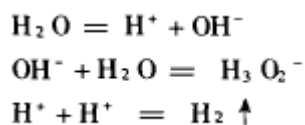


除以建筑内墙涂料作为其应用载体外，纳米 TiO<sub>2</sub> 光催化材料也可制成较低固含量、并高度分散的水悬浮液喷涂于已涂刷内墙涂料的室内墙面和顶棚加以应用。测试表明，涂料对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和白色念珠菌 24 h 的杀灭率可达到 99% 以上。

纳米 TiO<sub>2</sub> 等光催化材料活性基团的产生和抗菌与分解空气污染物等功能的体现必须在光照条件下进行，而且对光照的要求较为严格。据文献介绍，锐钛型 TiO<sub>2</sub> 的禁带宽度为  $E_g = 3.2 \text{ eV}$ ，这相当于波长为 387 nm (处于紫外区) 光的能量，也就是说只有在产生紫外光的光源，如太阳光、卤钨灯、汞灯等作用下，这种光催化材料才会发生价带电子被激发到导带的跃迁，才可产生活性基团，起到功能作用；而当光照条件不理想时，活性作用和抗菌性质便不能体现，这使得该产品在应用场合上受到较大的局限。

(2) 负离子—抗菌功能涂料 负离子—抗菌功能涂料是负离子发生材料、无机抗菌材料和技术相结合，并按照与涂料体系相容的特点设计制备而成。其中负离子材料的制造工艺为：永久微电场的矿物材料—分割至亚微米和纳米尺度（强化放电特性）—与其它材料复配使电场取向一致。该材料形成的永久电场通过其电极对空气和水中的水分子产生微弱电解作用而产生羟基负离子 绿色环保 ( $\text{H}_3\text{O}_2^-$  或  $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{OH}^-$ )。

化学反应式为：



羟基负离子通过电性中和、化学反应和物理吸附等作用，分解去除甲醛、苯和氨等有害物质，消除其污染；此外，呼吸含羟基负离子的空气，可消除人体内有害的活性氧并调节人体体液至最佳的低碱性状态起到保健功效。

表 1 是添加负离子-抗菌功能填加材料的内墙涂料对甲醛等主要有害物质的去除效果及与普通涂料的对比。结果表明,添加使用负离子-抗菌功能填加材料后,内墙涂料产生了良好的空气净化功能。负离子-抗菌功能填加材料还克服了光催化材料在使用中需辅以光照的不足,两者相比,负离子-抗菌功能填加材料还在其它许多方面具有显著优点(表 2)。

表 1 人工密闭室内涂料样板对有害气体的去除作用

涂料名称	气体名称	检测项目	作用时间,h					
			0	24	48	72	96	120
添加负离子填加材料(1%)的涂料	甲醛	剩余浓度,mg/m <sup>3</sup>	0.81	0.52	0.37	0.25	0.20	0.06
		去除率,%	0	35.80	54.32	69.13	75.31	92.59
	苯	剩余浓度,mg/m <sup>3</sup>	0.85	0.73	0.44	0.32	0.28	0.08
		去除率,%	0	14.12	48.24	62.35	67.06	90.51
	氨气	剩余浓度,mg/m <sup>3</sup>	2.17	1.20	0.65	0.51	0.31	0.16
		去除率,%	0	44.70	70.05	76.50	85.71	92.63
普通涂料	甲醛	剩余浓度,mg/m <sup>3</sup>	0.84	0.62	0.58	0.48	0.47	0.46
		去除率,%	0	26.19	30.95	42.86	44.05	45.24
	苯	剩余浓度,mg/m <sup>3</sup>	0.87	0.67	0.64	0.63	0.63	0.60
		去除率,%	0	22.99	26.44	27.59	27.59	31.03
	氨气	剩余浓度,mg/m <sup>3</sup>	1.91	1.59	1.44	1.40	1.36	1.35
		去除率,%	0	16.75	24.61	26.70	28.80	29.32

(3) 纳米组装无机抗菌剂抗菌功能金属离子(或簇团)与具有纳米尺度的孔道材料经复合制备的纳米组装无机抗菌剂及制品,具有很好的抗菌功能,也可较好地解决纳米光催化材料及其抗菌制品对光照条件的依赖。

用于涂料的专用无机抗菌剂,很好地解决了与涂料体系的相容性问题,一系列高新技术的采用,解决了抗菌涂料制备中涂料变色、破乳、稠化和附加外界条件等长期困扰的问题。以涂料为载体,通过其与涂料加工工艺的复合或直接与成品涂料复合可制成抗菌内墙涂料,可通过接触方式杀灭室内空气中的细菌等有害微生物,减少因细菌作用产生的有害物质,消除污染物,净化室内空气。

表 2 负离子-抗菌功能填加材料与光催化材料的对比

比较项目	纳米TiO <sub>2</sub> 光催化材料	负离子-抗菌功能涂料填加材料
作用条件	紫外光源的照射	不需要外界能源的激发
净化原理	电子-空穴对,产生OH <sup>-</sup> 自由基和活性氧O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ,氧化-还原作用	静电场电离空气产生羟基负离子(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup> 或OH <sup>-</sup> ·H <sub>2</sub> O),物理吸附、电性中和、化学反应等综合作用
材料特性	具有纳米材料的优点,同时化学性质稳定、无毒、难溶	永久释放负离子、产生涵盖生命波段远红外线、抗菌杀菌、除臭去味
产品作用	抗菌、除臭、抗紫外线、消除NO <sub>x</sub> 、TVOC	去除室内装修材料和家具中释放的甲醛、氨、苯等有毒有害气体,抗菌、杀菌
使用效果	具有明显的抗菌作用;对NO <sub>x</sub> 有明显的净化效果,而对其它有害气体的净化有一定的作用	96h对甲醛、氨、苯的净化高达90%以上,抑菌、杀菌作用明显,对人体起健康、保健作用
产品优点	低能耗、操作简便、无毒、反应条件温和、无二次污染、应用范围广	安全、高效、广谱、持久、便捷、健康
应用前景	加强基础理论和应用的研究,克服目前的缺陷,有广阔的市场应用前景	无需能源激发、高效等特点决定了其具有极强的生命力,有广阔的应用前景

笔者研制的涂料专用无机抗菌剂（最小抑菌浓度 MIC：对大肠杆菌 0.01%，对金黄色葡萄球菌 0.025%；最小杀菌浓度 MBC：对大肠杆菌 0.05%，对金黄色葡萄球菌 0.5%）复合制备的内墙涂料的抗菌性能如表 3 所示。

表 3 抗菌内墙涂料的性能

抗菌剂添加量, %	0.2	0.5	1	1.5	2
24 h 灭菌率, %					
大肠杆菌	75.9	88.5	95.5	96.8	100
金黄色葡萄球菌	70.0	84.4	92.4	95.4	100

## 5 结语

建筑涂料的制造和应用特点表明，建筑涂料一方面在其使用过程中可向室内挥发有害物质，污染室内空气；另一方面也可作为空气净化材料的应用载体，形成对室内空气的净化作用。

利用建筑涂料的载体作用，通过与空气净化功能材料复合，制备具有空气净化作用的功能涂料，是涂料产品重要的发展方向；建筑装饰充分发挥涂料等装饰材料的空气净化功能，是治理室内空气污染最具前景的方法。