

# 国内外绿色建材开发研究进展\*

陈从喜

顾薇娜

(中国建材工业地质勘查中心, 北京 100035) (国家建材工业局地质研究所, 北京 100010)

**主题词** 绿色建材 研究进展 可持续发展

**提 要** 绿色建材是一种既不破坏环境, 又能保护环境, 节约能源和资源, 满足社会发展的新型建筑材料。本文扼要回顾了绿色建材的研究史、概念及内容, 对国内外绿色建材的研究进展作了述评。指出应提高环境保护意识, 大力开发和使用绿色建材, 提高人类居住环境的健康、安全条件, 以保证社会可持续发展。

## 1 引 言

传统建材工业是国民经济非常重要的基础性产业, 是天然资源和能源消耗最高、破坏生态环境最多、对大气污染最为严重的行业之一。据估算, 生产 1 吨水泥要消耗石灰岩 2 吨, 排放 CO<sub>2</sub> 1 吨, 同时还要排放 NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 和粉尘等有害物质, 破坏土地表面, 导致温室效应和酸雨现象, 破坏生态环境。随着人类物质文化生活水平的提高, 人们对居住环境的健康、安全要求越来越高。早在 70 年代末, 科学家们就开始着手研究建筑材料所释放的气体对室内空气的影响及其对人体健康的危害程度。大量研究表明, 除了人类活动的影响以外, 造成室内空气污染的有两大重要因素: 通风和建筑材料(包括装饰材料和家具等)。建筑材料常成为一种很严重的污染源, 众多挥发性有机物普遍存在于室内建筑材料中。同时, 由于现代化空气调节设备的大量使用, 导致室内的空气交换量大大减少, 建筑材料所释放的挥发性有机化合物被大幅度浓缩, 造成更严重的空气污染<sup>[1,2]</sup>。

正因为环境问题与材料密切相关, 所以, 国外科学家们早就开始探讨和研制既能满足建筑需要, 又不破坏环境且能改善环境的替代材料。在 1988 年第一届国际材料科学研讨会上, 首次提出了“绿色材料”的概念。近 20 年来, 欧、美、日等工业发达国家对绿色建材的发展非常重视, 1992 年联合国环境与发展大会召开后, 1994 年联合国又增设了“可持续产品开发”工作组, 随后, 国际标准化机构(ISO)也开始讨论制定环境调和型制品(ECP)的标准化, 大大推动了国外绿色建材的发展。特别是 90 年代后, 绿色建材的发展速度明显加快, 制定出了一些有机挥发物(VOC)散发量的试验方法, 规定了一些绿色建材的性能标准, 对一些建材制品开始推选低散发量标准认证, 并积极开发了一些绿色建材新产品, 在提倡和发展绿色建材的基础上, 一些国家已经建成了居住或办公用的样板健康建筑, 取得了良好的技术经济效果。近年来, 我国开始注意绿色建材的信息交流和研讨。上海也成立了绿色建材展示

\* 本文由国家建材工业局“中国建筑材料工业发展现状及 21 世纪对策研究”项目资助  
第一作者简介 陈从喜, 男, 1963 年生, 高级工程师, 主要从事建材非金属矿开发研究。  
收稿日期 1999-04-19, 改回日期 1999-06-07

促销中心,系统深入地开展绿色建材的研究开发。一些研究单位开始致力于绿色建材的研究和开发,取得了一定的成果<sup>[2~4]</sup>。

## 2 绿色建材的基本概念和特征

### 2.1 绿色建材的基本概念

绿色建材(Green Building Materials)是指采用清洁生产技术,少用天然资源的能源,大量使用工业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、有利于人体健康的建筑材料。它是对人体、周边环境无害的健康、环保、安全(消防)型建筑材料,属“绿色产品”大概念中的一个分支概念,国际上也称之为生态建材(Ecological Building Materials)、健康建材(Healthy Building Materials)和环保建材(Re\_cyclic Building Materials)。1992年,国际学术界明确提出绿色材料的定义:绿色材料是指在原料采取、产品制造、使用或者再循环以及废料处理等环节中对地球环境负荷为最小和有利于人类健康的材料,也称之为“环境调和材料”。绿色建材就是绿色材料中的一大类。

从广义上讲,绿色建材不是单独的建材品种,而是对建材“健康、环保、安全”属性的评价,包括对生产原料、生产过程、施工过程、使用过程和废弃物处置五大环节的分项评价和综合评价。绿色建材的基本功能除作为建筑材料的基本实用性外,就在于维护人体健康、保护环境。

### 2.2 绿色建材的基本特征

与传统建材相比,绿色建材可归纳出以下五方面的基本特征:

- (1) 其生产所用原料尽可能少用天然资源,大量使用尾矿、废渣、垃圾、废液等废弃物。
- (2) 采用低能耗制造工艺和不污染环境的生产技术。
- (3) 在产品配制或生产过程中,不使用甲醛、卤化物溶剂或芳香族碳氢化合物;产品中不得含有汞及其化合物,不得用含铅、镉、铬及其化合物的颜料和添加剂。
- (4) 产品的设计是以改善生活环境、提高生活质量为宗旨,即产品不仅不损害人体健康,而且应有益于人体健康,产品具有多功能化,如抗菌、灭菌、防雾、除臭、隔热、阻燃、防火、调温、调湿、消声、消磁、防射线、抗静电等。
- (5) 产品可循环或回收再生利用,无污染环境的废弃物。

## 3 绿色建材的测试与评价

研究、开发和应用绿色建材时要考虑的内容有:建材对地球臭氧层的破坏程度,掺入的废渣对环境的破坏,是否有利于保护树木和改善生态环境,减少CO<sub>2</sub>的排放,放射性的影响,有害化学物质的影响和减少声、光、电、磁污染等。

大量研究表明,室内空气的污染主要来自于室内墙体表面材料的污染物的散发。材料的散发特性主要表现在两个方面,即散发率和散发时间。室内空气的污染源主要来自于室内表面材料的散发,其表现形态可以是无机颗粒也可能是蒸气相有机物,典型的有机气相物的浓度范围可以从每立方米几十毫克至几千毫克,而测出的化合物从数十种至数百种。丹麦的环境学家 Olevalbjoern 将从建筑材料中散发出来的污染物质分为三类:

第一类, 自由基未化合的污染物质。包括从木屑板的粘结剂中散发出来的游离甲醛、矿棉吸音板中的松散纤维及溶剂型涂料中的溶剂等。

第二类, 不同程度化合的污染物质。如在相当稳定的化合物中的甲醛、吸音板中的岩棉纤维及石棉纤维板中的石棉等。

第三类, 经吸收及积累后形成的污染物质。如整开间的地毯, 尽管其本身并无散发性, 但易于吸收及沉淀污染物质, 因此, 对于室内空气的影响很大。

绿色建材测试与评价方案的设计需要综合考虑建材对人类健康安全和环境无害的特点。许多部门都已经对绿色建材确定了自己的指标, 但它们分散体现在建材行业的产品中。建材产品具有与一般商品不同的特点: 它有自己的产品标准, 可以在市场上销售, 又不一定是最终消费品, 有的需要经过加工、安装成为整个建筑物成品的一部分。鉴于此, 并考虑到近期内无法使上万种建材产品全部达到绿色建材标准, 应该将绿色建材评价系统分为绿色建材产品评价系统和建筑物建成后包含绿色建材评价的综合评价系统。

绿色建材的测试指标一般可分为两类: 第一类为单项理化指标, 包括放射性强度、甲醛含量等; 第二类为复合测试指标, 包括挥发物总含量、人类感觉试验、耐燃等级、氧指数、废物利用率、木材取代性和节能效果等。绿色建材的评价指标也可以分为两类: 第一类为卫生类评价指标, 包括放射性强度和甲醛含量等, 在这类指标中, 只要有一项不合格就不符合绿色建材的标准; 第二类为复合类评价, 包括挥发物总含量、人类感觉试验、耐燃等级和综合利用指标, 在这类指标中, 只要有一两项指标较好, 该材料就可以作为绿色建材。

## 4 绿色建材在国外的的发展

### 4.1 绿色建材在欧洲的发展

早在 70 年代末, 欧洲一些发达国家的科学家就已着手研究建筑材料释放的气体对室内空气的影响及对人体健康的危害程度, 并就建筑材料对室内空气的影响进行了全面且系统的基础研究工作。丹麦、挪威、瑞典等国家的人们出现刺激、乏力、头痛、记忆力减退等症状, 与建筑物中的有机挥发物有关, 这些症状被称为“有病建筑综合症”。科学家们从室内空气中检出了 500 多种有机物, 其中 20 余种为致癌物或致突变物, 这一发现引起了人们的高度重视。

德国是世界上最早执行环境标志制度的国家, 1978 年德国发布了第一个环境标志——“蓝天使”。一种无毒无味、对人体无害的水性建筑涂料, 在德国获得“蓝天使”标志后, 很快就占据了市场, 传统的溶剂性建筑涂料逐渐被淘汰, 它的环境效益很明显, 仅西德每年就少排放有机溶剂 40000 吨。据资料介绍, 环境标志“蓝天使”已是德国公众很熟知的一种标志, 德国所有大城市中, 均有专门出售“绿色建材”的商店。

丹麦、芬兰、冰岛、挪威、瑞典等北欧各国于 1989 年实施了统一的北欧环境标志。丹麦为了促进绿色建材的发展, 推出了健康建材(HBM)标准, 标准规定所出售的建材产品在使用说明书上除了标出产品质量标准外, 还必须标出健康指标。1992 年开始制定建筑材料有机化合物室内空气浓度(DICL)指导值, 提出挥发性有机化合物空气残留度含量 $< 0.2 \text{ mg/m}^3$ 时, 为无刺激或无不适; 在 $0.2 \sim 3 \text{ mg/m}^3$ 时, 在其它因素联合作用下, 可能出现刺激和不适; 在 $3 \sim 25 \text{ mg/m}^3$ 时, 出现刺激和不适, 并可能出现头痛。并先后制定了地毯、地毯衬

垫、石膏板、矿棉、玻璃棉、金属板等建材制品有机化合物室内空气浓度标准。丹麦早在1984年底,就在 Arhus 市建成了“非过敏住宅建筑”示范工程。

瑞典已正式实施新的建筑法规:规定用于室内的建筑材料必须实行安全标签制。制定了有机化合物室内空气浓度指导限值:  $\leq 0.2 \text{ mg/m}^3$  时为一类空气;  $\leq 0.5 \text{ mg/m}^3$  为二类空气。瑞典的地面材料业很发达,每年都有大量出口,出口厂家已自觉在生产说明书中标出产品在4周和26周时有机化合物室内空气浓度的指导限值。

1991年,英国建筑研究院(BRE)曾对建筑材料及家俱等室内用品对室内空气质量产生的有害影响进行了研究。通过对有关臭味、霉菌、潮湿、结露、通风速率、烟气运动等的调研和测试,提出了污染物、污染源对室内空气质量的影响情况,他们提出在相对湿度大于75%时,可能产生霉菌,并对某些人会诱发过敏症。对室内空气质量的控制、防治提出了建议,并着手研究开发了一些绿色建材。

#### 4.2 绿色建材在北美的展

1988年,加拿大开始执行环境标志计划“环境选择”。1993年3月颁布了第一个产品标志,至今加拿大已有14个类别的800多种产品被授予了环境标志。加拿大还对一些建材产品制定了“住宅室内空气质量指南”,如对水基性建筑涂料,开始时制定的总有机挥发物(TVOC)标准为  $25 \text{ g/L}$ (是针对高光泽瓷漆而规定的),现在多数水基涂料的TVOC在  $100 \sim 150 \text{ g/L}$  范围内;并且规定水基涂料不得使用甲醛、卤化物溶剂、含芳香族类碳氢化合物,不得用含水银、铅、镉和铬及其化合物的颜料和添加剂。刨花板的VOC现用值为  $120 \text{ mg/m}^3$  或  $0.1 \times 10^{-6}$ ,目标值为  $60 \text{ mg/m}^3$  或  $0.05 \times 10^{-6}$ 。中密度纤维板和硬木板的VOC为  $180 \text{ mg/m}^3$  或  $0.15 \times 10^{-6}$ 。地毯的最大TVOC规定为:4-甲基环乙烯为  $0.1 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ ; 甲醛为  $0.05 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ ; 苯为  $0.4 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。PVC弹性地板的TVOC不大于  $1.0 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。可拆卸石膏板隔断用胶粘剂,不得含有芳香族、卤化物、甲醛等有机物,其有机挥发物含量略超过3%(重量比)。加拿大积极建造健康住宅示范工程,1993年在温哥华市建成了两层带阁楼的健康住宅<sup>[2,5]</sup>。

美国是较早提出环境标志的国家,但它均由地方组织实施,至今还没有国家统一的标志。美国环保局(EPA)正在开展“应用于住宅室内空气质量控制研究”计划,一些州已开始实施有关材料的环境标志计划。例如,华盛顿州要求机关办公室室内所有饰面材料和家具(包括地毯、涂料、胶粘剂、防水材料、家具等)在正常条件下,TVOC不得超过  $0.5 \text{ mg/m}^3$ ,可吸入的颗粒  $0.05 \text{ mg/m}^3$ , 甲醛  $0.06 \text{ mg/m}^3$ , 4-甲基环乙烯  $0.0065 \text{ mg}$ (仅对地毯)。美国 Mobil 公司建成了一栋建筑面积为  $6.2 \text{ 万 m}^2$  的绿色办公大楼,由于注意了选材并进行了合理的设计,取得了在节约能源和提高室内空气质量等方面的良好效果<sup>[5,6]</sup>。

#### 4.3 绿色建材在日本的发展

日本于1988年开展环境标志工作,至今环境标志产品已有2500多种。日本科技厅于1993年制定并实施了“环境调和材料研究计划”。通产省制定了环境产业设想并成立了环境调和产品调查委员会。近年来,在绿色建材原产品研究和开发以及健康住宅样板工程的兴建等方面都取得了可喜的成果。如铁父一小野田水株已建成了日产50吨生态水泥的实施生产线。日本东陶公司研制成可有效地抑制细菌繁殖和防止霉变的保健型砖。日本铃木产业公司开发出具有调节湿度性能和防止壁面生霉的壁砖及可净化空气的预制板等等。1997年,在兵库县已建成一栋实验型“健康住宅”,整个住宅尽可能选用无害于健康的新型

建筑材料,其建筑费用比普通住宅增加2成左右。在九州市新建了一幢环境生态高层住宅,这幢住宅是按照日本国建设省的节省能源、减少垃圾的“日本环境生态住宅地方标准”建筑的,是综合利用自然环境建筑住宅的尝试。

## 5 绿色建材在国内的发展

我国政府非常重视可持续发展问题。我国的环境标志是1993年10月公布的,其图形由青山、绿水、红日和10个蓝环组成。其中心结构表示人类赖以生存的环境,外围十环相连紧扣表示公众参与,共同保护环境,寓意“全民联合起来,共同保护赖以生存的环境”。近年来,我国开始注意绿色建材的信息交流和研讨。上海也成立了绿色建材展示促销中心,系统地开展绿色建材的研究开发。一些研究单位开始致力于绿色建材的研究和开发,取得了一定的成果<sup>[2,7-10]</sup>。下面介绍近年来国内绿色建材研究开发的主要进展。

水性涂料是建材中首先实行环保标志的产品。在中国《环境标志产品技术要求》中,有关水性涂料(HJBZ004-94)的技术要点是:(1)产品的性能指标、安全指标,应符合各自产品要求;(2)产品配制或生产过程中,不得使用甲醛、卤化物溶剂或芳香类碳氢化合物;(3)产品中不得含有汞及其化合物,不得用含铅、镉、铬及其化合物的颜料着色。1995年5月,苏州市新型建筑涂料厂的沧浪牌丙烯酸酯合成树脂乳液涂料和洛阳市防水涂料厂的大禹牌DC-818水性多彩涂料被批准为我国第一批环境标志产品。

1996年11月~1997年10月,上海建筑科学研究院完成了“上海市健康型建筑涂料标准的研究”课题,提出了我国第一个地方性健康型建筑内墙涂料的健康指标。该研究课题通过审定将在提高我国绿色建筑内墙涂料的档次、促进低毒建筑涂料发展、规范生产、保护人体健康方面,迈出可喜的一步。由国家科委、国家建材局等有关单位组织编写制定的“生态建筑材料研究”已作为新材料领域重大项目之一被列入《国家S-863计划纲要》,正在实施中。江苏省爱富希新型建材厂在有关单位的帮助下,研究和开发成功的“无石棉粉煤灰硅酸钙建筑平板”和“可挠性纤维石膏板”于1997年9月9日通过了部级鉴定;武汉水利电力大学等单位研究成功的HEC高强高耐水体固结剂,被誉为目前我国高值化处理各种土体及工业废弃物的最为理想的固结剂。该研究成果于1997年6月15日通过了电力工业部组织的鉴定,达到国际先进水平,是一种符合可持续性发展、具有巨大发展潜力的新型建筑材料。

当前,一些发达国家的生态建材的开发研究已达到较高水平,工业废渣的综合利用达到95%~100%。我国生态建材技术的开发研究也取得了一些突破。例如,在采用工业废渣生产建材产品方面做出了显著成绩,粉煤灰综合利用率在40%以上,其中建材利用率占30%,但综合利用水平不高,特别是高掺量利用技术还不成熟,与发达国家相比,还有相当大的差距。因此,我国制定了今后生态建材技术开发的总体目标和重点任务,即重点建立环境建材研究与开发体系,解决粉煤灰作为粘土质原料的配比及生产工艺条件,进行高掺量粉煤灰综合利用技术、城市固态垃圾在建材领域的综合利用技术的研究,建成相应的示范生产线;开发灭菌健康卫生陶瓷、电磁波屏蔽材料、调光调温材料;开发低能耗、低污染的清洁生产技术,使用大掺量工业废渣(或城市固态废弃物)生产建材产品的新技术、新工艺、新装备;在粉煤灰代替部分粘土作为原料生产水泥和粉煤灰砖中,粉煤灰掺入量达60%~85%,以提高我国生态环境质量<sup>[1,4,11-13]</sup>。生态建材的技术开发内容及指标为:

(1) 高新技术生态建材, 其中包括灭菌健康建筑卫生陶瓷、常温远红外建筑陶瓷、电磁波屏蔽材料及防辐射内墙涂料、电致自然光发生材料。

(2) 工业废渣的综合利用有: 粉煤灰综合利用技术, 城市固体废弃物在建材领域的综合利用技术, 磷石膏及脱硫石膏的应用。

(3) 建材生产的生态化技术: 建材生产中富氧煅烧技术, 废气净化与利用, 建材环境负担与性能评价体系 and 数据库, “绿色标志”建筑材料论证体系。

## 6 结 论

欧、美、日等很多发达国家已经对绿色建材进行了研究和推广。我国每年建成 2 亿  $m^2$  的城市住宅, 加上公用建筑、农村建筑和工业建筑等超过 8 亿  $m^2$ , 需要用大量的建筑材料和装饰材料, 尤其是装饰材料的品种和用量已越来越多, 影响也越来越大。我国建材年产值逾 15000 亿元, 预计到 2000 年将达到 20000 亿元, 绿色建材的发展是一个必须引起政府、科学家和工程设计人员高度重视的课题。

绿色建材的发展在国外已经取得了可喜的成绩, 国内这方面的发展是初步的, 今后的发展, 一个非常重要的内容是意识问题, 即大众、科研设计人员及政府决策人员都应当提高环保意识, 重视绿色建材的发展; 其次是健全测试评价体系; 三要大力研究开发价廉物美的绿色建材产品, 以提高人类居住环境的健康、安全条件, 保证社会的可持续发展。

## 参 考 文 献

- 1 陆满平. 绿色时代需要发展绿色建材. 中国建材, 1998, (1): 37~ 39.
- 2 李湘洲. 智能材料与生命建筑. 中国建材, 1998, (1): 41~ 42.
- 3 俞海勇, 吴丹虹. 大掺量粉煤灰绿色高性能混凝土系统的构筑开发. 上海建材, 1998, (1): 17~ 19.
- 4 孙振平, 王新友, 张冠纶等. 绿色高性能混凝土与建筑工程材料的可持续发展. 建筑材料学报, 1998, 1(3): 278~ 283.
- 5 Mehta P K, Aitcin P C. Principles underlying production of HPC. Cement, Concrete and Aggregate, 1990, 12(2): 70~ 78.
- 6 王新友, 张莹. 绿色建材和可持续发展. 上海建材, 1998, (1): 14~ 16.
- 7 邹爱红, 王厚亮, 刘继富. 绿色建材的评价与开发研究进展. 中国非金属矿工业导刊, 1998, (4): 5~ 7.
- 8 李兴龙. 绿色建材与环境优化. 中国建材科技, 1998, 4(1): 32~ 33.
- 9 王少南. 美国新型建材的发展及应用. 建材统计与预测, 1997, 6: 34~ 36.
- 10 潘雪雯. 健康建筑及其材料. 见: 全国新型建筑材料情报信息网主编, 现代与未来的国内外新型建筑材料. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995, 23~ 29.
- 11 顾国芳, 祝永年, 顾群. 新型装修材料及其应用 (第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- 12 刘先曙. 世界智能材料的研究概况. 材料导报, 1993, 4: 4~ 7.
- 13 Spillman Jr W B, Sirkis J S and Gardiner P T. Smart materials and structures: what are they? Smart Mater. Struct., 1996, 5: 247~ 254.

## Advances in the Development of Green Building Materials

Chen Congxi

(China National Exploration Center for Building Materials Industry, Beijing 100035)

Gu Weina

(Geological Institute, State Administration of Building Materials Industry, Beijing 100010)

**Key words:** green building materials; research progress; sustainable development

### Abstract

Instead of destroying the environment, green building materials can protect the environment and save energy and resources. The concept and research content of green building materials are dealt with in this paper. The development of evaluation standards and exploitation is investigated briefly. There has been great progress in research and popularization of green building materials in Europe, America and Japan; nevertheless, advances in this aspect are not encouraging in China. China constructs 800 million square meters of buildings per year for city residence (200 million square meters), public construction, rural construction and industrial construction, which need large quantities of building materials and decoration materials; decoration materials, in particular, have been increasing rapidly both in varieties and in quantities. Their effects on public health are increasingly serious so that we should study and popularize green building materials. The authors hold that the public researchers and government policy makers should raise their consciousness of environmental protection, develop and apply green building materials to improve healthy and safety conditions of inhabitants and guarantee the sustainable development of the society.