

专题——电磁功能材料

绿色建筑与电磁屏蔽材料

曹茂庆

(黑龙江建筑职业技术学院, 哈尔滨 150025)

摘要: 随着人类对工业化社会的反省和对后现代化社会的思考, 人类寻求健康宜居的生存环境及追求社会可持续发展的欲望愈加强烈, 绿色建筑成为当今热门话题。绿色建筑作为绿色建筑发展基石, 是实现绿色建筑标准的核心和关键内容。系统地阐述了绿色建筑的内涵和绿色建筑材料的发展现状以及绿色建筑生态水泥材料、绿色建筑墙体砌筑材料、绿色建筑玻璃材料、绿色建筑屋顶材料、绿色建筑饰面涂料等绿色建筑的技术性能。同时阐述了人类宜居健康生活环境对于绿色建筑材料发展的需求, 以及当今日益严重的电磁辐射污染对人类健康造成的侵害。重点论述了绿色建筑屏蔽材料的工作原理, 提出了未来绿色建筑电磁屏蔽材料的发展策略, 以及在绿色建筑电磁屏蔽生态水泥、绿色建筑电磁屏蔽墙体材料、绿色建筑电磁屏蔽门窗玻璃材料、绿色建筑电磁屏蔽屋顶饰面材料、绿色建筑电磁屏蔽饰面涂料等方面的实验研究成果, 并对绿色建筑电磁屏蔽材料的研究进展和存在的主要问题进行了探讨。最后对绿色建筑电磁屏蔽材料的发展进行了预见和展望。

关键词: 绿色建筑; 绿色建筑材料; 电磁辐射污染; 电磁屏蔽材料; 绿色电磁屏蔽建筑材料

中图分类号: TG174.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2020)02-0001-11

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2020.02.001

Green Architecture and Electromagnetic Shielding Materials

CAO Mao-qing

(Heilongjiang College of Construction, Harbin 150025, China)

ABSTRACT: With the reflection on the industrialized society and the thinking on the post-modern society, the desire of human beings for a healthy and livable environment and the pursuit of sustainable social development have become more and more intense, so green architecture has become a hot topic. As the cornerstone of green building, green building material is the key to realize the green building standards. The work aims to systematically expound the connotation of green building and the development status of green building materials, as well as the technical properties of green building materials, such as green building ecological cement materials, green building wall masonry materials, green building glass materials, green building roof materials, green building decorative coatings, etc. At the same time, it also explains the demand of the livable environment and healthy life of human beings for the development of green building materials, and the harm to human health caused by the

收稿日期: 2019-08-16; 修订日期: 2019-12-28

Received: 2019-08-16; Revised: 2019-12-28

基金项目: 国家自然科学基金 (11774027, 51977009)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (11774027, 51977009)

作者简介: 曹茂庆 (1968—), 男, 高级建筑师, 主要研究方向为绿色建筑材料与建筑设计。邮箱: cmq000129@163.com

Biography: CAO Mao-qing (1968—), Male, Senior architect, Research focus: green architecture materials and architecture design. E-mail: cmq000129@163.com

引文格式: 曹茂庆. 绿色建筑与电磁屏蔽材料[J]. 表面技术, 2020, 49(2): 1-11.

CAO Mao-qing. Green architecture and electromagnetic shielding materials[J]. Surface technology, 2020, 49(2): 1-11.

increasingly serious electromagnetic (EM) radiation pollution. The working principle of green building shielding materials was discussed, and the development strategy of future green building EM shielding materials was put forward. Research and experiment results of building EM shielding ecological cement, green building EM shielding wall material, green building EM shielding door and window glass material, green building EM shielding roof decorative material, green building EM shielding decorative coating, etc. were also analyzed. The research progress of green building EM shielding material was also discussed. Finally, the development of EM shielding materials for green buildings was forecasted and prospected.

KEY WORDS: green buildings; green building materials; electromagnetic radiation pollution; electromagnetic shielding materials; green electromagnetic shielding building materials; livable and healthy

在人类诞生之初,人类的生活就依附自然、崇尚自然、学习自然,人们寻求安全、健康可持续的舒适生活。20 世纪 60 年代,美籍意大利建筑师保罗索勒瑞(Paola Soleri)提出了绿色建筑这一影响当今社会建筑发展的新概念。随着国家绿色建筑产业结构的调整,逐渐形成了一种绿色发展战略趋势,降低环境污染、高效利用资源成为社会未来的主要发展方向^[1-5]。在大时代背景下,绿色建筑应运而生。新世纪以来,绿色建筑成为人们实现宜居健康生活的迫切需求^[6-11]。绿色建筑材料是绿色建筑建造和发展的基础,是实现绿色建筑的核心和关键内容^[12-21]。事实上,绿色建筑材料特指采用无污染生产技术,尽可能不使用天然不可再生的矿产能源和资源,最大限度地使用工业、农业或城市固态废弃物,来生产无毒、无公害、无污染、可循环利用的且有利于人类健康与生态环境保护的建筑材料^[22-31]。与传统建筑材料相比较,绿色建筑材料避免了传统建筑材料生产加工中对环境造成的严重污染,使用绿色建筑材料可以净化和修复环境,提高人类宜居生活水平^[32-41]。到目前为止,已经研发出

一系列的绿色建筑材料,例如绿色生态水泥、绿色墙体、绿色玻璃、绿色屋顶、绿色涂料等^[42-46],极大地改善了人类的生活环境和生活质量^[47-49]。

近年来,随着信息交流愈加高效频繁,电子技术迅猛发展,电磁波笼罩着人类生活,人们开始关注电磁辐射污染,关注着电磁波对人类健康造成的威胁。“世卫组织”已将电磁污染定义为第四大污染源(图 1a)。未来的绿色建筑材料应该也必须考虑是否能有效地抵御电磁辐射^[50-55]。通过将电磁屏蔽材料和绿色建筑材料进行结合,能有效抵抗、抵消,甚至完全消除电磁辐射对人体的危害。因此,电磁屏蔽材料结合绿色建筑材料,将把绿色建筑工程向前推进一大步,极大地满足人类日益增长的改善生活环境的需求^[56]。

本文介绍了绿色建筑中所使用的建筑材料及其功效,以及电磁屏蔽材料在未来绿色建筑材料中的应用,勾勒了电磁屏蔽材料在水泥、墙体、玻璃、屋顶和涂料等典型建筑材料中的应用前景(图 1b)。本文对于绿色建材发展有极大的促进作用,同时指出了未来绿色电磁屏蔽建筑材料的发展方向。

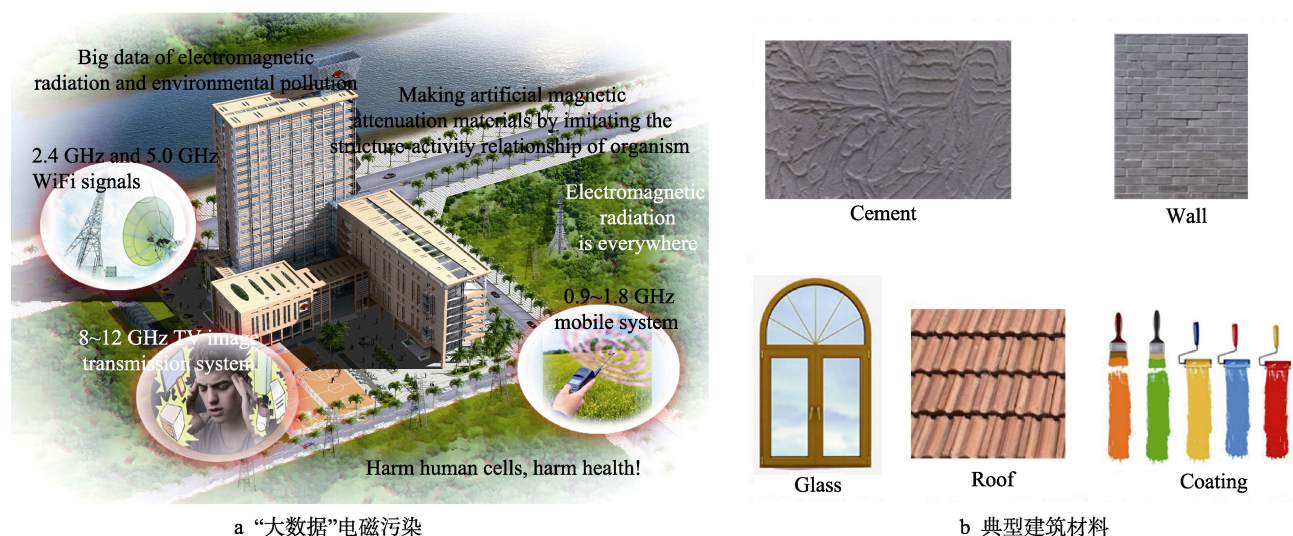


图 1 电磁污染和典型建筑材料

Fig.1 Electromagnetic pollution and typical building materials:
a) “big data” electromagnetic pollution; b) typical building materials

1 绿色建筑的内涵

人类生活要有适宜的生态建筑空间。众所周知，建筑的建造离不开建筑材料，绿色建筑材料可以说是绿色建筑构建和长足发展的灵魂。绿色建筑的内涵就是建立人与自然和谐、安全、健康的共生空间，以最小的能耗、高效的绿色建筑材料资源，最大限度地满足人类宜居、舒适、健康的生活需求^[1]。在绿色建筑的建造中，绿色建筑材料在建筑的全生命周期中有着重要意义，绿色建筑材料在其使用过程中是无害的，具有净化环境、改善环境和保护环境的功能。国际住房与规划联合大会第 46 届大会提出：建材工业要服从生态环境保护和绿色建筑需求，建筑材料要有效控

制环境污染和生态破坏，保障人类舒适、健康生活。绿色建材系统可以说是绿色建筑建造和不断发展的核心，它是绿色建筑赖以生存的支撑系统。绿色建筑材料具有净化环境、改善环境质量、抗辐射、防噪音、抗菌等性能，其使用过程中是无害的、可降解的、可持续的，能有力支撑绿色建筑实施建造。

2 绿色建筑材料研究现状

绿色建筑材料通常包括：绿色生态水泥、绿色墙体、生态透水砖、绿色玻璃、绿色屋顶、绿色涂料等，如图 2 所示。近年来，绿色建材发展迅速，图 3a 给出了 Web of Science 数据库中，建筑材料和当今绿色

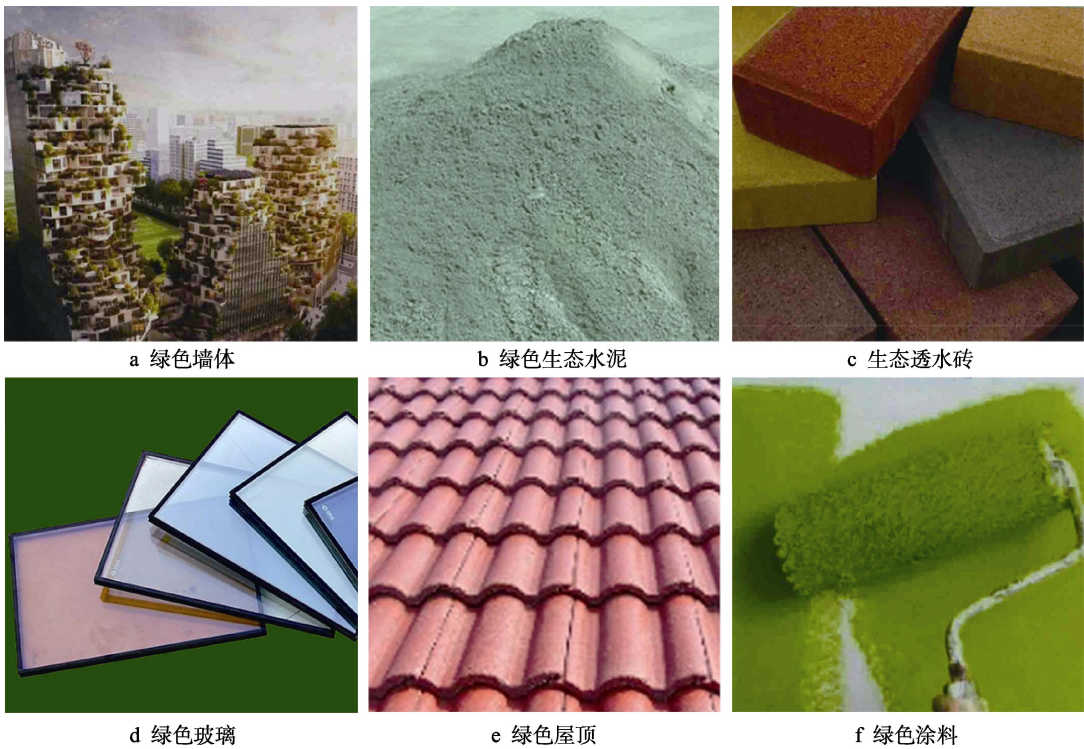


图 2 绿色建筑材料

Fig.2 Green building materials: a) green building; b) green ecological cement; c) green wall brick; d) green glass; e) green roof; f) green paint

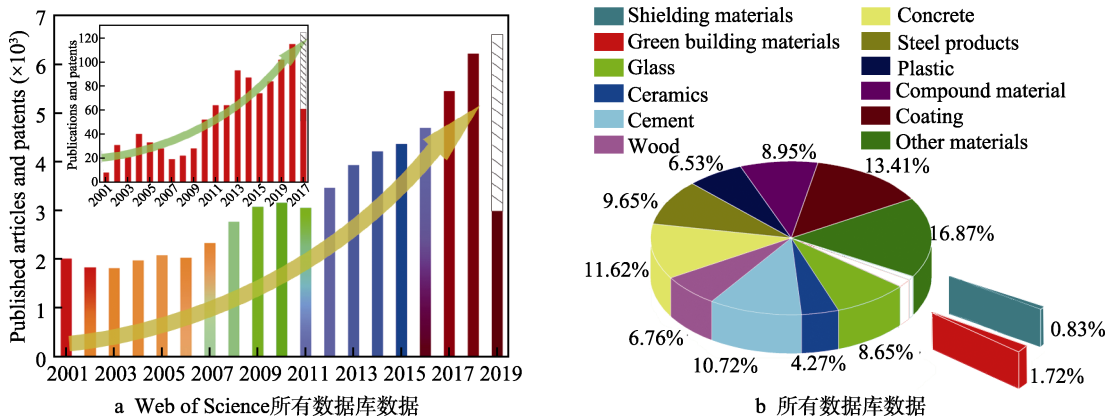


图 3 建筑材料文献及专利增加趋势和分布图

Fig.3 Trends and distribution of increase in literatures and patents for building materials: a) building materials literature in all databases in Web of Science; b) typical building materials in all databases

建筑材料的研究文献和应用专利。通过对比可以看出,绿色建筑材料是建筑材料未来发展的必然趋势和终极目标。其中,典型的绿色建筑材料的文献和专利分布如图3b所示,由图可知,电磁屏蔽材料正在为人们所重视。针对建筑企业的调查可以得出,目前的绿色建筑材料局限于建筑节能、建筑环保等方面的研究和应用,对于绿色建筑电磁屏蔽材料的研究、生产和应用尚属探索阶段。应该指出,电磁屏蔽材料作为一种新兴的绿色建材,正在迅速崛起,随着人们对环保、健康生活的不断追求,绿色电磁屏蔽建筑材料必将全面走入人们的生活,改变人类生活,给人类带来无限生机与活力。

2.1 绿色建筑生态水泥材料

建筑工程项目的具体施工建设中,水泥材料可以说是比较基本的建筑材料,传统水泥是由石灰石、砂岩、硅酸盐矿物铁粉以及一些矿渣原料,按一定配比磨成细细的粉末,加工而得。这些原料都来自自然环境,难免会对自然界产生破坏:传统水泥的生产、运输过程中,会产生粉尘污染;矿石的煅烧会产生二氧化硫有害氧化物污染;一氧化碳、二氧化碳会产生温室气体污染等。绿色生态水泥的研制成功,极大地缓解了传统水泥对环境的破坏和污染。绿色生态水泥(图2b)是指利用火山灰及各种废弃物(如各种工业废料、废渣以及生活垃圾)作为原料制造的水泥。绿色生态水泥能够与环境相融,不会成为固体废弃物。绿色生态水泥与传统水泥相比,生产过程中二氧化碳的排放可减少30%~40%,节能可达25%以上,使用后,绿色生态水泥与普通水泥的技术性能相当^[11-16]。绿色生态水泥可以有效缓解人类对于废弃物的处理负担,节省资源、能源,实现绿色建筑所倡导的人与自然和谐共生的目标。

2.2 绿色建筑墙体砌筑材料

绿色建筑墙体砌筑材料应具有高强、轻质、保温、隔热、隔音、防火、防水、防震、无毒、无害、无污染等技术性能。绿色建筑墙体砌筑材料生产利用工业废料,减轻了环境污染,节省了资源,经济实惠。绿色建筑墙体砌筑材料的使用,解决了传统墙体的厚重、隔音效果差、节能效果不足、浪费自然资源等诸多问题。绿色建筑墙体砌筑材料一般选用粉煤灰、矿渣灰和空心混凝土等原材料。其中,粉煤灰来源主要是工业企业的排放煤渣,经过简单的处理加工就可以有效利用,能够一定程度上减轻环境污染;矿渣灰是钢铁加工过程中的废弃物,借助生产过程中所产生的废弃物来制造建筑用砖,不仅节能环保,而且物美价廉,能够创造很大的经济效益。近几年建筑市场上出现的混凝土空心砌块,是一种良好的绿色建筑墙体砌筑材料,它主要是依靠粉煤灰石粉和水泥等原材料,加工制造而成。混凝土空心砌块在原材料的获取方面

占有一定优势,且经济性好,隔音效果强,在绿色建筑建造中有着广泛的应用^[17-18]。目前研制开发的绿色建筑墙体材料产品种类很多。如新型陶瓷面板不仅外观优美,而且功能得到提升,通过建筑技术的更新外挂于建筑表皮,形成空腔,利于建筑通风换气,达到建筑呼吸表皮的功效。又如生态透水砖(图2c),它具有良好的透水性、透气性和保水性,具有降温、降噪、调节气候,提高空气质量,保持地表水循环等多项性能。生态透水砖的出现与有效使用,解决了地下水回收的问题,为海绵生态城市建设提供了有利条件。

2.3 绿色建筑玻璃材料

传统玻璃在目前提倡绿色建筑的时代面前有很多缺点:不隔音,不隔热,紫外线等有害光线的透射率高,寿命短,易破碎等。绿色建筑玻璃(图2d)与传统玻璃相比,有着不可比拟的优越性,解决了传统玻璃在绿色建筑要求面前的诸多问题。绿色玻璃不仅仅满足了传统玻璃建筑的采光通道要求,而且由于其结构特征的改变,拥有了更多绿色建筑所要求的新功能——减轻环境负荷,节能,合理利用太阳能。目前,绿色建筑玻璃材料主要有提升室内环境舒适度、节能环保、降低寒冷地区的取暖费用、隔音降噪、防止结露^[2-8]等方面的性能。

2.4 绿色建筑屋顶材料

建筑屋顶材料按屋顶的构造层次不同,具有不同的功能要求(保温隔热、隔声、防水、防辐射耐老化),以保障人们的日常居住、学习、工作等。对于绿色建筑屋顶饰面材料而言,其具有延长建筑的使用寿命,吸收有害气体而改善环境污染,抗紫外线,围护建筑屋面等性能,有效改善了人类的生活环境空间。建筑屋顶是建筑的第五立面,建筑屋顶饰面材料因其具有良好的建筑材质与丰富的色彩,美化着人类的生活空间。对于绿色建筑屋顶蓄水屋面而言,屋顶建筑材料搭建的蓄水隔热屋顶,起到了保持水土涵养并发挥其自身储存雨水和屋面隔热的功能。对于绿色建筑屋顶保温屋面(图2e)而言,在屋面结构层和防水层间设置绿色建筑保温材料,能够使建筑屋面导热系数得到有效降低,提升建筑保温层的保温隔热性能,从而起到提升室内居住环境舒适性的作用。绿色建筑屋顶保温材料主要有聚苯乙烯板、沥青珍珠岩板,它们密度较小,能极大地减轻建筑结构计算荷载,减小建筑承重结构构件截面,有效提高建筑使用面积^[10-11]和降低建筑结构造价,从而提高建筑的经济性。

2.5 绿色建筑饰面涂料

建筑涂料的最主要功能是美化环境,装饰和维护建筑墙体的绿色建筑饰面涂料是指具有节能、低污染、杀菌等新功能,能消除建筑涂料的有害物质,提升人们健康水平的新型涂料。目前,绿色建筑饰面材

料有辐射固化涂料、固含量溶剂型涂料、水基涂料、粉尘涂料、液体无溶剂涂料、纳米复合多功能涂料等^[21-26]。硅藻泥是一种新型的功能性绿色涂料(图 2f),与目前大量使用的传统乳胶漆涂料相比,它具有健康、环保、安全的功能。传统的乳胶漆涂料里含有挥发性的有害气体,它的使用会对环境造成极大的污染,威胁人类健康。硅藻泥涂料给消费者带来了一个新的选择。硅藻泥涂料的成分是硅藻,硅藻是一种生活在海洋中的藻类,它们创造了地球生命赖以生存的 70% 的氧气,是地球生物生命的真正摇篮。经亿万年的沉积,硅藻矿化形成硅藻矿化物,硅藻矿化物的主要成分是蛋白石,其在电子显微镜下显示为一种纳米级多孔材料,它的微孔直径约为 0.1~0.2 μm ,孔隙率高达 90%。硅藻矿化物的空隙排列规则、整齐,形状呈圆形或针形,其单位面积上的微细孔数量是木炭的数千倍,硅藻矿化物独特的分子晶格结构,决定了其独特的性能,用硅藻矿化物生产出来的硅藻泥绿色建筑涂料是一种高效的吸光材料,不产生光污染,并且可以消除空气中的静电,有效防止墙面挂灰。此外,硅藻泥新型涂料还具有吸音、保温和防火阻燃等多种功能^[5]。

3 电磁辐射波及其对人类的影响

电磁波污染主要是指天然和人为的各种电磁波对人类产生干扰和有害的辐射现象。近几十年来,由于广播、电视、微波技术的迅猛发展,射频设备的数量、功率成倍增加,地面上的电磁辐射能量也大幅度增加,已经达到了威胁人类健康的程度。电磁辐射,是电场和磁场交互变化产生的电磁波向空中发射或汇汛产生出来的。电磁辐射看不见、摸不着,产生电磁辐射的设备大都是人们生活中的常用电器设备(如手机、电热毯、电磁炉、医疗器械、电子仪器、微波设备等),这些设备工作时产生不同波长、频率的电磁波充斥着人类的生活空间。当电磁辐射强度超过人体所能承受的限度时,便产生了电磁污染,对人体产生各方面的危害:

1) 对人体中枢神经系统的危害。人类的中枢神经系统对电磁波辐射很敏感,受低强度电磁波反复辐射作用后,人类的中枢神经系统机能会发生一定程度的改变,出现肌体不适合,神经衰弱、头晕甚至头痛、体弱无力、记忆力减退、睡眠不良等亚健康症状。

2) 对人体机体免疫功能的危害。有害电磁波会使身体抵抗力下降,通过动物实验和人群受辐射作用的研究和调查表明,经常在有害电磁波辐射下,人体的白血球吞噬细菌的百分率和吞噬的细菌数量均下降。此外,长期受有害电磁辐射作用的人,其体内抗体形成受到极大抑制,人体健康极易受环境影响。

3) 对人体心血管系统的影响。受有害电磁辐射作用的人,一方面,经常会发生血液动力失调,血管通透性和张力降低,植物神经系统的调节功能受到影

响等症状,体现出心动过缓症状,少数还呈现心动过速;另一方面,会出现血压波动,给心脏造成极大压力。

4) 对人体血液系统的影响。在有害电磁辐射的作用下,血液中的白血球不稳定,呈下降倾向。白血球减少、红血球生成受到抑制,出现网状红血球减少症状。此外,当无线电波和放射线同时辐射人体时,对人体血液循环系统的伤害较单一因素作用更明显。

5) 对人体生殖系统和遗传的影响。长期接触超短波发生器的人群中,男性会出现性机能下降,甚至阳痿,女性会出现月经周期紊乱。高强度的有害电磁辐射可以产生遗传效应,使人类的睾丸染色体出现畸变和有丝分裂异常;如果妊娠妇女在早期或在妊娠前患病,接受了短波透热的治病疗法,极有可能会使其子代出现先天性出生缺陷。

6) 对人体视觉系统的影响。人类的眼组织含有大量的水分,易吸收电磁辐射功率,而人眼的血流量少,故在有害电磁辐射作用下,眼球的温度就会升高。眼球温度升高是白内障病症发生的主要条件。眼球温度上升对人类的直接影响是导致眼球晶状体蛋白质凝固。

随着人民生活水平的不断提高和人民对健康生活的愈加关注和追求,人们对传统绿色建筑材料提出了更高的要求,不再满足传统建筑材料的节能、环保、防霉、杀菌、防污、透气等基本功能,更加追求有益健康和根除环境污染的新型建筑材料。有害电磁辐射波对人类的危害,使得人们必须研究生产具有电磁屏蔽性能的新型绿色材料,使人类生活更清洁、舒适和健康。可以预见,21 世纪电磁屏蔽功能性绿色生态建筑材料的研究应用和推广使用,将促进建材产业结构的革命性变化,极大地改善人类的居住、学习和工作环境,实现人类宜居健康^[1]。

4 发展中的绿色建筑材料——电磁屏蔽材料

随着人类互联互通的高速发展,电磁辐射日益受到人们的关注,面对人类生存环境空间的恶劣变化,电磁辐射对人体造成的损害愈加受到关注,传统绿色建筑材料已经不能满足人们建造健康舒适的建筑空间的要求,人们开始不断探寻舒适、环保、健康的电磁屏蔽建筑材料。这几年随着广大建筑从业人员、科技工作者对电磁屏蔽外加辅助材料的深入研究和实验应用,传统绿色建筑材料的建筑性能与功能不仅得到了提高和拓展,并研制了一批绿色生态电磁屏蔽建筑材料(如绿色建筑电磁屏蔽生态水泥材料、绿色建筑电磁屏蔽墙体材料、绿色建筑电磁屏蔽门窗玻璃材料、绿色建筑电磁屏蔽屋顶饰面材料、绿色建筑电磁屏蔽饰面涂料等),这些绿色生态电磁屏蔽建筑材料极大地提升了人类生活的质量,使人类的生活愈加健康^[1]。

4.1 电磁屏蔽原理

图4展示了电磁屏蔽材料的工作原理。对于良好的电磁干扰屏蔽材料,反射和吸收都有很大的贡献。然而,考虑到生态友好性,反射应当越少越好。理想的电磁干扰屏蔽材料包括强吸收,无反射和透射,如图4b所示。此外,需要注意的是, A 、 R 和 T 分别是吸收系数、反射系数和透射系数,它们与材料对入射波的响应有关,即吸收、反射和透射的百分比。 A 、 R 和 T 的关系是 $A+R+T=1$ 。利用屏蔽效率(SE)表征电磁干扰屏蔽幅值,可由式(1)~(2)得到。

$$SE = 10 \times \lg \frac{1}{T} \quad (1)$$

$$SE = SE_R + SE_A \quad (2)$$

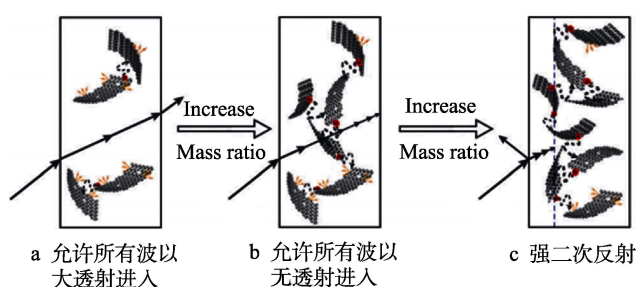


图4 电磁波在建筑材料和建筑结构中的传播情况^[47]

Fig.4 Situations of electromagnetic wave in building materials as well as architectures^[47]: a) allowing all waves to enter with large transmission; b) allowing all waves to enter with no transmission; c) strong secondary reflection

式中, SE_R 与入射波的反射有关,而 SE_A 与穿透波的吸收有关,可以从式(3)、(4)得到。

$$SE_R = 10 \times \lg \frac{1}{1-R} \quad (3)$$

$$SE_A = 10 \times \lg \frac{1-R}{T} \quad (4)$$

4.2 绿色建筑电磁屏蔽生态水泥

绿色建筑电磁屏蔽生态水泥材料的出现与炭黑分不开。炭黑(无定形碳)质轻、体松,是颗粒极细的黑色粉末,比重在1.8~2.1之间,表面积非常大,每克表面积范围在10~3000 m²/g之间。炭黑是含碳物质在空气不足的条件下,通过不完全燃烧或受热分解生产加工而来的。炭黑通过对电磁波的透射、吸收和反射,实现对有害电磁波的屏蔽。作为一种廉价的工业生产原料,其性能稳定,产量比较大,价格低廉。将炭黑掺杂在建筑材料水泥中,可以提高水泥的绿色生态标准,达到屏蔽有害电磁波的效果,便于未来进行大规模的生产 and 在建筑工程中使用。在传统水泥中添加炭黑的具体配比不同,水泥的技术性能和电磁波屏蔽效果也有不同。图5显示的是炭黑掺入常见的二氧化硅和树脂中的SEM图像,由图可知,随着炭黑浓度的变化,水泥复合材料的柔性、电磁屏蔽性也相应地发生变化。当炭黑的含量为8%时,水泥复合材料的柔韧性最好。当炭黑的含量为10%时,水泥复合材料的电磁屏蔽性能最好。因此,可以通过调控

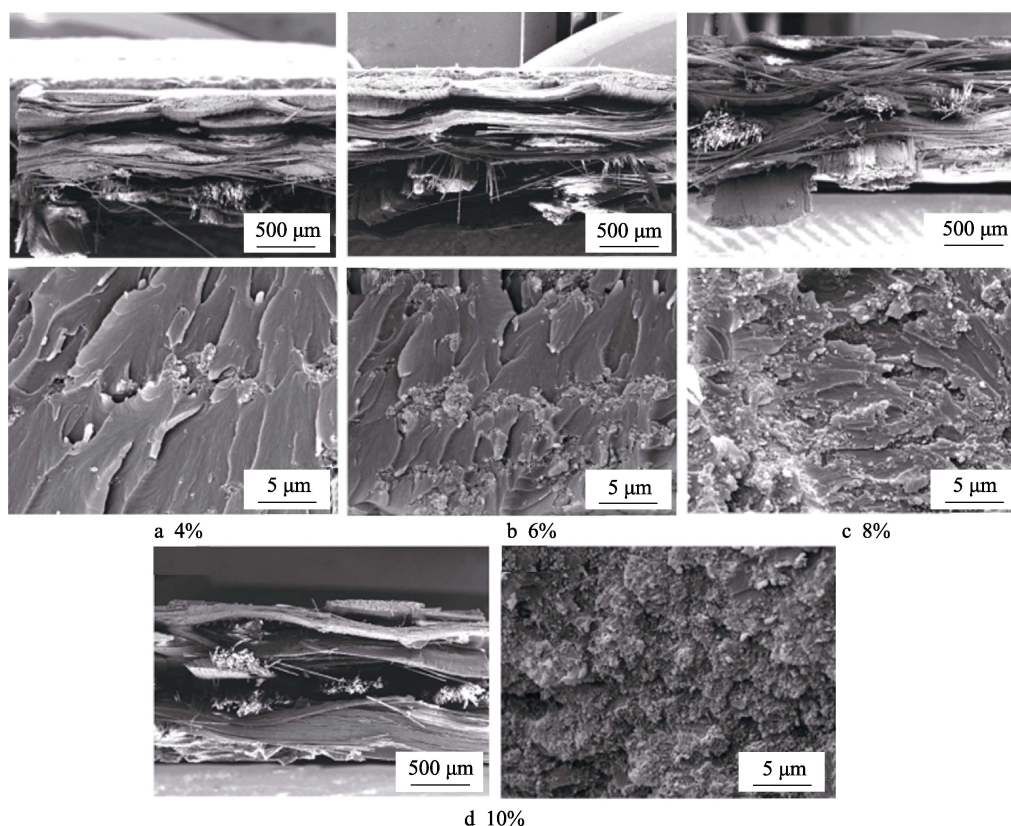


图5 不同浓度的炭黑掺杂进SiO₂/聚酰亚胺树脂后的SEM图^[48]

Fig.5 SEM images of CB incorporated SiO₂/PI composites with different contents^[48]

炭黑的浓度，调控水泥的屏蔽性能和柔韧性，使绿色建筑电磁屏蔽水泥砌筑、浇筑的建筑材料性能和电磁屏蔽效果最佳^[50]。

4.3 绿色建筑电磁屏蔽墙体材料

建筑墙体本身虽然具有承重、围护的性能，但在人们认识电磁辐射对人类的危害之前，建筑墙体并没有屏蔽有害电磁波的性能。通过实验研究发现，在建筑墙体中加入碳纤维，不仅可以增强墙体本身的牢固性，使建筑安全抗震，还能够有效地屏蔽电磁波，使生活在建筑室内的人们健康、安全。图 6 显示的是碳

纤维的微观结构。碳纤维是一种纤维状材料，它强度比钢大，密度比铝小，比不锈钢耐腐蚀，比耐热钢耐高温，和铜有着相似的导电性能，是具有良好电学、热学和力学等性能的新型材料。碳纤维构建的电导网络能够有效透射衰减电磁波，实现对有害电磁波的有效屏蔽。相关研究^[51]表明，少量的碳纤维浓度，不仅能显著提高材料的屏蔽性能，还能增加材料的杨氏模量。在提高人类生活健康水平方面，选用碳纤维作为绿色建筑墙体屏蔽材料的添加剂，无疑是一个明智的选择。碳纤维本身轻质，其中空结构能减轻砖体的质量，并且有利于水分和空气的室内外交换及室内湿度的调节，使生活在建筑室内的人们更加舒适。

4.4 绿色建筑电磁屏蔽门窗玻璃

建筑门窗玻璃虽然具备了透光、保温、隔声等技术性能，但屏蔽有害电磁波的性能并没有受到重视，在提倡绿色健康舒适生活的今天，门窗玻璃的电磁波屏蔽性能被提上了设计使用日程。为实现门窗的屏蔽效果，可以通过在绿色玻璃表面镀上一层薄的高电导金属，从而实现既能透光，又能反射电磁波的作用，进而达到屏蔽有害电磁波的效果。图 7a 显示的是在玻璃表面喷涂金属银和金属铜的过程，这样的一层金属层能反射电磁波，显著提高玻璃的屏蔽性能，同时玻璃的透光性不受影响。图 7b 显示的是一种透明的屏蔽薄膜，可以看出，薄膜的透光性很好，将这样的薄膜材料直接贴在玻璃上便能反射电磁波，起到屏蔽电磁波的作用。另外，薄膜也能起到隔绝空气、防止热量散失的作用。近几年，随着科研人员的深入研究，电磁屏蔽玻璃在导电金属膜反射电磁波技术的基础上，通过加上电解质膜，能实现对有害电磁波的吸收干扰效应。目前，电解质电磁屏蔽玻璃对可见光的透过率可达 50%以上，对于频率 1 GHz 的电磁波，其屏蔽效能能达到 30~60 dB^[1]。

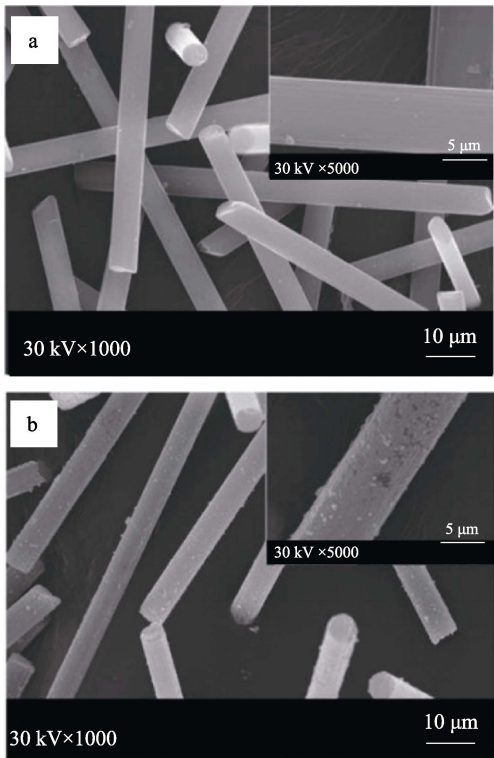


图 6 碳纤维的 SEM 图^[49]
Fig.6 SEM images of carbon fibers^[49]

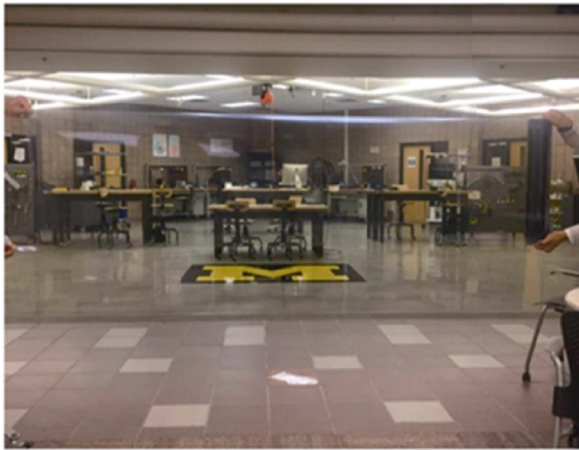
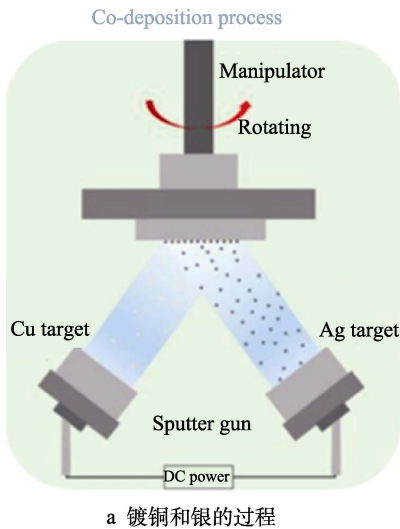


图 7 金属电磁屏蔽薄膜^[50]

Fig.7 Metal electromagnetic shielding film^[50]: a) setup of co-deposition of Cu and Ag; b) large area transparent EMI shielding film

4.5 绿色建筑电磁屏蔽屋顶材料

根据构造层次的不同功能需求,建筑屋顶应具有保温、防水和装饰等多种性能,在我国建筑中,木质材料一直广受青睐,被视为最佳绿色生态环保建筑材料。研究实验表明,在天然的木制材料中添加环氧树脂,之后高温烧结,可以得到电磁屏蔽性能优越的新材料,适合运用于建筑屋顶的保温层。如果将这一新材料通过外加剂着色,型材化加工后,就可以用于建筑屋顶外饰面,起到良好的建筑屋面装饰和屏蔽有害电磁波的作用。

图 8 展示的是这种绿色建筑电磁屏蔽材料——碳骨架和环氧树脂复合材料的具体制备过程^[54]。首先将木块垂直于树木生长方向切割,浸入沸腾的亚氯酸钠(2%)溶液中,之后在冰醋酸缓冲液(pH=4~5)中漂白,再用水洗涤。最后,用冷冻干燥法得到干燥

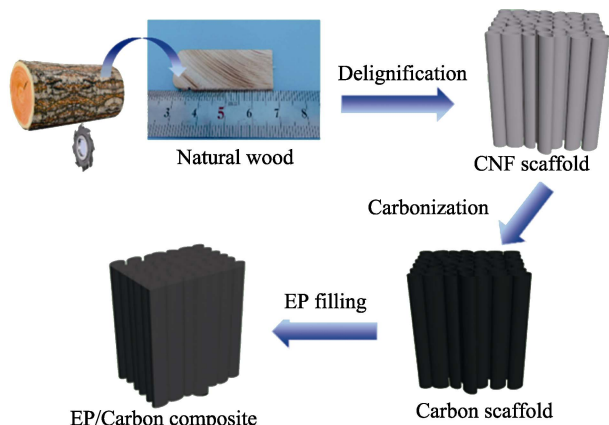


图 8 碳骨架和环氧树脂的复合示意图^[51]
Fig.8 Schematic diagram for the fabrication of carbon scaffolds and EP/carbon composites^[51]

的脱木素木骨架。在随后的碳化过程中,将骨架在 1200 ℃ 的管式炉中于氮气气氛中热解 2 h, 得到碳支架。在 100 ℃ 剧烈搅拌下, 将固化剂(MOCA)均匀溶解在环氧树脂单体 EP(质量比为 1:3)中, 随后将制备好的碳支架浸入 EP 树脂混合物中, 然后在 110 ℃ 下, 转移到真空烘箱中烘烤 30 min, 以除去空气。之后, 将 EP 复合材料在 150 ℃ 下固化 2 h, 再在 180 ℃ 下固化 2.5 h。通过抛光, 去除粘附在复合材料表面的额外 EP 基体^[50]。最后得到的复合材料具有吸收有害电磁波的作用。

4.6 绿色建筑电磁屏蔽饰面涂料

绿色建筑的外围护结构在今天的建造中多采用复合结构, 建筑涂料因其质量轻、色彩丰富、施工简便, 在今天的绿色建筑建造中被广为使用。绿色建筑屏蔽饰面涂料, 可以在建筑涂料中直接添加屏蔽材料获得。为使加入的电磁屏蔽材料不影响涂料本身的颜色, 外加剂屏蔽材料应该是无色透明的。外加剂电磁屏蔽材料可以选用导电高分子材料, 因为其本身对有害电磁波具有吸收作用, 能够实现对有害电磁波良好的屏蔽性能, 且可以保证涂料本身的颜色不变。图 9 显示的是一种不同浓度的导电高分子材料形貌图^[55], 可以看出, 导电高分子材料呈现细小的颗粒状。这种导电高分子材料能够跟涂料充分融合。此外, 导电高分子材料本身的电负性能会导致涂料黏稠度增加, 使得涂料跟墙体之间结合更为紧密; 并且, 这种导电高分子材料能够跟涂料充分融合, 降低涂料内部的空气含量, 从而减缓涂料的氧化过程, 延长涂料寿命, 使绿色建筑屏蔽饰面涂料具有抗氧化和抗有害电磁的双重性能, 极大地提高人们的绿色健康生活水平。

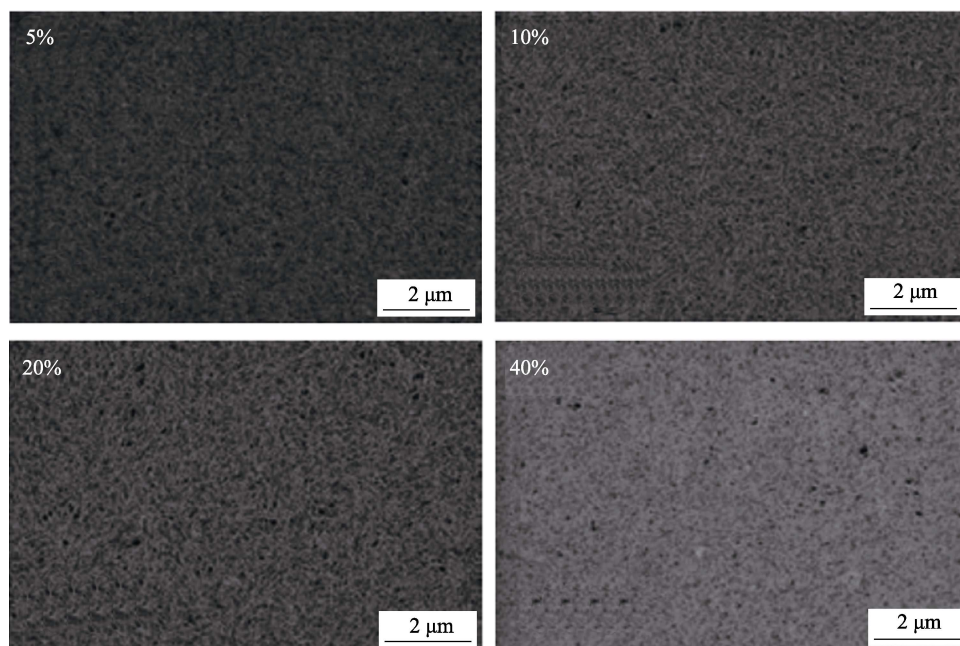


图 9 不同浓度导电高分子材料的 SEM 图^[52]
Fig.9 SEM image of conductive polymers with different concentrations^[52]

5 绿色建筑电磁屏蔽材料的研究进展及存在的主要问题

绿色建筑材料是绿色建筑发展的基石,绿色电磁屏蔽建筑材料的研发近些年来取得了一定成绩,特别是绿色建筑电磁屏蔽生态水泥、绿色建筑电磁屏蔽墙体材料、绿色真空电磁屏蔽玻璃以及新型陶瓷、除臭卫生洁具和抗菌面板等建筑室内外建筑材料,已经开始大规模商业化的加工生产和使用推广,这些绿色建筑电磁屏蔽材料的应用,显著改善了我国人民的生存环境与健康水平。在国家大力提倡“低碳环保”的趋势下,未来的绿色电磁屏蔽建筑材料必然会成为人们生活中必不可少的重要组成部分。同时,随着人们健康生活的意识逐步加深,未来的绿色建筑材料必不可少地要考虑如何屏蔽电磁辐射,并控制电磁辐射污染。因此,研发绿色电磁屏蔽建筑材料将会是未来绿色建筑材料的一种发展趋势。结合建筑中不同结构特点掺杂不同特性的电磁屏蔽材料,提高建筑材料的建筑技术性能和电磁屏蔽性能,在两者属性加强的同时,努力使绿色电磁屏蔽建筑材料价格合理,便于推广和使用,将会是未来绿色电磁屏蔽建筑材料的发展和研究方向。

由于我国在绿色建筑电磁屏蔽材料的研究起步比较晚,目前对绿色建筑电磁屏蔽材料的研发不充分,虽然绿色建筑电磁屏蔽材料的应用势头较好,但缺乏科学合理的规划,相关研究工作进展缓慢,导致绿色建筑电磁屏蔽材料的研究方向、研究周期、研究成果、实验应用效果在检测、论证、市场推广等方面都没有有效保证,对绿色建筑电磁屏蔽材料的持续发展产生了负面影响。另外,我国电磁屏蔽材料外加剂本身的研究也处于初级阶段,如何研制出轻质、高效的电磁屏蔽外加剂材料依然是科研人员亟待突破的问题。可以说,目前的绿色建筑材料在电磁屏蔽方面的研究还很欠缺,如何结合不同绿色建筑自身的使用功能特点,研究各具特色的绿色建筑电磁屏蔽材料更是一个挑战。

6 绿色建筑电磁屏蔽材料展望

人类社会步入新世纪已经近 20 年,科学技术和经济发展唤醒了人们对生态文明、节约高效、宜居健康的再认识,环境的恶化迫使人们在城乡建设的发展过程中,必须坚定不移地走绿色建筑的可持续发展之路。绿色建筑材料在建筑节能、可再生能源利用、改善能源结构、防止温室效应、创造宜居生活环境方面有着广阔前景。随着世界经济互联互通的高速发展,人类逐步遭受着有害电磁波的侵袭,威胁着人类的健康。随着人类对宜居的健康环境追求愈加强烈,在创造宜居健康生活,使人类生存空间洁净无污染、舒适

健康、消除电磁波对人类的危害方面,绿色电磁屏蔽建筑材料有着保护人类健康的不可替代的作用。可以预见,绿色建筑电磁屏蔽建筑材料因其保护人类健康的特色,完善了建筑材料的性能,必将在未来的建筑材料中成为一种主流。廉价高效的绿色电磁屏蔽建筑材料将会是未来建筑材料研究的主要方向。与此同时,绿色电磁屏蔽建筑材料的广泛使用,将会改善人类的生存空间环境,进一步提升人类生存空间环境的舒适度和身体健康水平,为国家打造人与环境和谐相处提供基本物质保障。

参考文献:

- [1] 《绿色建筑》编写组. 绿色建筑[M]. 北京: 中国计划工业出版社, 2008.
《Green Building》Writing Group. Green Building[M]. Beijing: China Planned Industry Press, 2008.
- [2] 田雷. 关于绿色建筑材料的发展与应用分析[J]. 山东工业技术, 2016(13): 89.
TIAN Lei. Development and application analysis of green building materials[J]. Shandong industrial technology, 2016(13): 89.
- [3] 王金伟, 王永合. 基于节能目标的绿色建筑材料选用研究[J]. 门窗, 2016(11): 251.
WANG Jin-wei, WANG Yong-he. Study on selection of green building materials based on energy-saving target[J]. Doors & windows, 2016(11): 251.
- [4] 陈亮, 许译心. 绿色建筑革命中的材料应用与发展[J]. 中国医院建筑与装备, 2013(3): 25-29.
CHEN Liang, XU Yi-xin. Application and development of materials in green building revolution[J]. Chinese hospital architecture & equipment, 2013(3): 25-29.
- [5] 李瑜. 绿色建筑与绿色材料[J]. 砖瓦, 2018(11): 12-14.
LI Yu. Green building and green material[J]. Brick-tile, 2018(11): 12-14.
- [6] 孙述彬. 浅析绿色建筑材料的发展与应用[J]. 门窗, 2014(6): 203.
SU Shu-bin. Brief analysis of the development and application of green building materials[J]. Doors & windows, 2014(6): 203.
- [7] 陈立凡. 探索绿色建筑材料的发展与应用[J]. 居业, 2015(10): 25-28.
CHEN Li-fan. Exploring the development and application of green building materials[J]. Create living, 2015(10): 25-28.
- [8] 马英. 新型绿色建筑材料的应用现状及发展趋势[J]. 四川水泥, 2017(1): 106.
MA Ying. Application status and development trend of new green building materials[J]. Sichuan cement, 2017(1): 106.
- [9] 蔡丽朋. 国际绿色建材的发展概况及其认证[J]. 新型建筑材料, 2006(1): 40-42.
CAI Li-peng. Development and certification of international

- green building materials[J]. New building materials, 2006(1): 40-42.
- [10] 刘芳. 基于城市环境保护的绿色建筑材料观念[J]. 河南科技, 2012(24): 125-134.
LIU Fang. Green building material concept based on urban environmental protection[J]. Journal of henan science and technology, 2012(24): 125-134.
- [11] 齐绍东. 绿色材料引导建筑节能[J]. 中外企业家, 2014(33): 138.
QI Shao-dong. Green materials lead building energy conservation[J]. Chinese & foreign entrepreneurs, 2014(33): 138.
- [12] 李延涛, 刘志勇. 绿色建筑材料 21 世纪可持续发展的必然选择[J]. 河北建筑工程学院学报, 2001(1): 61-65.
LI Yan-tao, LIU Zhi-yong. The inevitable choice of sustainable development of green building materials in the 21st century[J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Engineering, 2001(1): 61-65.
- [13] 周淑灵. 绿色建筑材料的应用评价[J]. 江西建材, 2009(3): 45-46.
ZHOU Shu-ling. Application evaluation of green building materials[J]. Jiangxi building materials, 2009(3): 45-46.
- [14] 王春华. 绿色建筑材料的种类与发展[J]. 上海建材, 2013(2): 33-34.
WANG Chun-hua. Types and development of green building materials[J]. Shanghai building materials, 2013(2): 33-34.
- [15] 郑捷, 陈景恒, 雷震东, 等. 绿色建筑材料研究与应用综述及发展趋势[J]. 地震工程学报, 2016(6): 985-1003.
ZHENG Jie, CHEN Jing-heng, LEI Zhen-dong, et al. Summary of research and application of green building materials and its development trend[J]. China earthquake engineering journal, 2016(6): 985-1003.
- [16] 吉利. 浅谈绿色建材发展的重要性[J]. 中国建设信息, 2009(13): 58-59.
JI Li. On the importance of green building material development[J]. Information of China construction, 2009(13): 58-59.
- [17] 刘文永, 付海明, 张金涛. 高掺量粉煤灰绿色建筑材料的开发应用[J]. 岩石矿物学杂志, 2001(4): 500-503.
LIU Wen-yong, FU Hai-ming, ZHANG Jin-tao. Research on the exploratory development of green building materials with high content of fly ash[J]. Acta petrologica et mineralogica, 2001(4): 500-503.
- [18] 胡建国. 绿色建筑材料在墙体保温工程中的应用浅述[J]. 中国战略新兴产业, 2017(36): 21.
HU Jian-guo. Application of green building material in wall thermal insulation project[J]. China strategic emerging industry, 2017(36): 21.
- [19] 熊磊. 绿色建筑材料在墙体保温工程中的应用研究[J]. 现代装饰(理论), 2014(11): 218.
XIONG Lei. Study on the application of green building material in wall thermal insulation project[J]. Modern decoration (theory), 2014(11): 218.
- [20] 贾涛, 苗方利. 浅谈绿色建筑材料在墙体保温工程中的应用[J]. 价值工程, 2014(6): 109-110.
JIA Tao, MIAO Fang-li. Application of green building material in wall thermal insulation project[J]. Value engineering, 2014(6): 109-110.
- [21] 易俊, 朱凯文. 浅谈墙体保温工程中绿色建筑材料的应用[J]. 四川建材, 2017(6): 28-29.
YI Jun, ZHU Kai-wen. Application of green building materials in wall thermal insulation project[J]. Sichuan building materials, 2017(6): 28-29.
- [22] 王玲娟, 江昔平. 再生混凝土作为绿色建筑材料的基本性能与发展趋势[J]. 四川建材, 2014(4): 26-28.
WANG Ling-juan, JIANG Xi-ping. Basic properties and development trend of recycled concrete as green building material[J]. Sichuan building materials, 2014(4): 26-28.
- [23] 俞雪飞, 黄效辉. 基于木工程施工中绿色建筑材料的应用分析[J]. 江西建材, 2017(9): 134.
YU Xue-fei, HUANG Xiao-hui. Application analysis of green building materials in wood engineering construction[J]. Jiangxi building materials, 2017(9): 134.
- [24] 姚雷, 贾开武, 李晓芝. 节约型社会与绿色建筑材料[J]. 山西建筑, 2008(9): 11-12.
YAO Lei, JIA Kai-wu, LI Xiao-zhi. Economical society and green building materials[J]. Shanxi architecture, 2008(9): 11-12.
- [25] 孙晓青. 论健康的人居环境与绿色建筑材料[J]. 科技创新导报, 2012(21): 69.
SUN Xiao-qing. On healthy human settlement environment and green building materials[J]. Science and technology innovation herald, 2012(21): 69.
- [26] 张林. 绿色材料在现代建筑中的应用[J]. 中国建材科技, 2014(S1): 52.
ZHANG Lin. Application of green materials in modern architecture[J]. China building materials science & technology, 2014(S1): 52.
- [27] 李钊, 罗培梦, 吴学杨. 绿色建材的应用与发展前景[J]. 科技创新与应用, 2016(32): 70.
LI Zhao, LUO Pei-meng, WU Xue-yang. Application and development prospect of green building materials[J]. Technology innovation and application, 2016(32): 70.
- [28] 马晓云. 绿色建材与建筑的可持续发展[J]. 山西建筑, 2003(14): 65-66.
MA Xiao-yun. Green building materials and sustainable development of architecture[J]. Shanxi architecture, 2003(14): 65-66.
- [29] 龚志起, 张智慧. 绿色建筑材料的界定与评价[J]. 建筑管理现代化, 2003(2): 6-9.
GONG Zhi-qi, ZHANG Zhi-hui. Definition and evaluation of green building materials[J]. Construction management modernization, 2003(2): 6-9.
- [30] 孙耀乾. 绿色建筑材料全生命周期管理信息化研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2015(3): 59-60.
SUN Yao-qian. Research on information technology of life cycle management of green building materials[J]. Journal of Hunan City University (natural science), 2015(3): 59-60.
- [31] 李林玲. 绿色建筑材料体系在现代建筑中的应用[J]. 现代物业, 2018(1): 54.

- LI Lin-ling. Application of green building material system in modern architecture[J]. Modern property management, 2018(1): 54.
- [32] 卓玲, 陈宝璠, 朱海平, 等. 绿色建筑材料学科发展研究报告[J]. 海峡科学, 2015(1): 40-46.
- ZHUO Ling, CHEN Bao-fan, ZHU Hai-ping, et al. Research report on the development of green building materials[J]. Straits science, 2015(1): 40-46.
- [33] 乐勇毅. 绿色建筑材料应用现状及发展前景[J]. 建材与装饰, 2016(52): 13-14.
- LE Yong-yi. Application status and development prospect of green building materials[J]. Construction materials & decoration, 2016(52): 13-14.
- [34] 刘瑞洋. 绿色建筑材料应用现状与发展前景[J]. 绿色环保建材, 2018(10): 9-10.
- LIU Rui-yang. Application status and development prospect of green building materials[J]. Green environmental protection building materials, 2018(10): 9-10.
- [35] 孔祥英. 绿色建筑材料在人居环境中的应用[J]. 建材与装饰, 2016(1): 104-105.
- KONG Xiang-ying. Application of green building materials in human settlements[J]. Construction materials & decoration, 2016(1): 104-105.
- [36] 杨晨. 绿色建筑材料在人居环境中的应用探索[J]. 居舍, 2018(23): 42-45.
- YANG Chen. Exploration of application of green building materials in human settlements[J]. Residence, 2018(23): 42-45.
- [37] CHANG Y H, HUANG P H, CHUANG T F, et al. A pilot study of the color performance of recycling green building materials[J]. Journal of building engineering, 2016, 7: 114-120.
- [38] ADITYA L, MAHLIA T M I, RISMANCHI B, et al. A review on insulation materials for energy conservation in buildings[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2017, 73: 1352-1365.
- [39] KANISTHA C, STEPHEN V, GREEN B, et al. Fungal microbiomes associated with green and non-green building materials[J]. International biodeterioration & biodegradation, 2017, 125: 251-257.
- [40] WEI W J, RAMALHO O, MANDIN C. Indoor air quality requirements in green building certifications[J]. Building and environment, 2015, 92: 10-19.
- [41] BISEGNA F, MATTONI B, GORI P. Influence of insulating materials on green building rating system results[J]. Energies, 2016, 9: 712.
- [42] BIANCHINI F, HEWAGE K. How “green” are the green roofs? Life cycle analysis of green roof materials[J]. Building and environment, 2012, 48: 57-65.
- [43] YANG M D, LIN M D, LIN Y H, et al. Multiobjective optimization design of green building envelope material using a non-dominated sorting genetic algorithm[J]. Applied thermal engineering, 2017, 111: 1255-1264.
- [44] HOANG C P, KINNEY K A, CORSI R L. Ozone removal by green building materials[J]. Building and environment, 2009, 44: 1627-1633.
- [45] KHOSHNAVA S M, ROSTAMI R, VALIPOUR A. Rank of green building material criteria based on the three pillars of sustain ability using the hybrid multi criteria decision making method[J]. Journal of cleaner production, 2018, 173: 82-99.
- [46] ASSI L, CARTER K, DEEVER E, et al. Sustainable concrete: Building a greener future[J]. Journal of cleaner production, 2018, 198: 1641-1651.
- [47] DURSO Sebastiano, CICERO Bruno. From the efficiency of nature to parametric design a holistic approach for sustainable building renovation in seismic regions[J]. Sustainability, 2019, 11: 1227.
- [48] DONG Jie, ZHOU Wan-cheng, DUAN Shi-chang, et al. Mechanical, dielectric and microwave absorption properties of carbon black (CB) incorporated SiO₂/PI composites[J]. Journal of materials science: materials in electronics, 2018, 29: 17100-17107.
- [49] YANG Jian-ming, YANG Ya-qi, DUAN Hong-ji, et al. Light-weight epoxy/nickel coated carbon fibers conductive foams for electromagnetic interference shielding[J]. Journal of materials science: Materials in electronics, 2017, 28: 5925-5930.
- [50] WANG He-yan, JI Chen-gang, ZHANG Cheng, et al. Highly transparent and broadband electromagnetic interference shielding based on ultrathin doped Ag and conducting oxides hybrid film structures[J]. ACS applied materials interfaces, 2019, 11: 11782-11789.
- [51] SHEN Zi-ming, FENG Jia-chun. Preparation of thermally conductive polymer composites with good electromagnetic interference shielding efficiency based on natural wood-derived carbon scaffolds[J]. ACS sustainable chemistry engineering, 2019, 7: 6259-6266.
- [52] LI Peng-cheng, DU Dong-he, GUO Lin, et al. Stretchable and conductive polymer films for high-performance electromagnetic interference shielding[J]. Journal of materials chemistry C, 2016, 27: 6525-6532.
- [53] HUANG H L, LIN C C, HSU K. Comparison of resistance improvement to fungal growth on green and conventional building materials by nano-metal impregnation[J]. Building and environment, 2015, 93: 119-127.
- [54] BOWERS T, GANGULY I, EASTIN I. Eco-labeled wood products in the U.S. residential construction industry: Architects’ awareness and usage of certified wood and green building programs[J]. The forestry chronicle, 2014, 90: 605-613.
- [55] CAO Mao-sheng, HAN Chen, WANG Xi-xi, et al. Graphene nanohybrids: excellent electromagnetic properties for the absorbing and shielding of electromagnetic waves[J]. Journal of materials chemistry C, 2018, 6: 4586-4602.
- [56] WANG Xi-xi, SHU Jin-cheng, CAO Wen-qiang, et al. Eco-mimetic nanoarchitecture for green EMI shielding[J]. Chemical engineering journal, 2019, 369: 1068-1077.