

应对气候变化的建筑碳封存研究进展 与设计应用展望

李 绥¹,邵信洋²,李 明³

(1. 沈阳建筑大学生态规划与绿色建筑研究院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 沈阳建筑大学建筑与规划学院, 辽宁 沈阳 110168; 3. 沈阳市规划设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110168)

摘 要:为应对全球气候变化,减少建筑全生命周期的碳排放将成为发展低碳经济的关键要素,梳理国内外绿色建筑研究,从绿色建筑发展历程、可持续建筑探索设计实践出发,对绿色生态建筑技术的发展进行了归纳与总结。从混凝土固碳原理、无机碳汇材料发展等角度,探讨固碳型混凝土与无机材料在建筑中的实际应用及可行性,并对未来固碳型建筑界面设计方法与发展方向进行了展望。

关键词:无机碳汇材料;混凝土建筑;碳吸收;碳封存

中图分类号:TU-023 **文献标志码:**A

近年来,我国城镇化建设迅速发展,人民生活品质提升、人均住房面积增加,随之而来的是建筑建设量的激增。2019年,中国GDP增长率为6.11%,高于发达国家2~3倍,而单位建设能耗却是发达国家的8~10倍^[1]。因此,促进经济结构调整,转变经济增长方式,建设环境友好型、资源节约型社会一直是我国致力于发展的目标。《中国应对气候变化的政策与行动2019年度报告》中承诺,至2020年,我国单位生产总值碳排放量下降40%~45%,非化石能源占一次能源消费比例达到15%左右^[2]。政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)相关报告中指出,建筑业生产是温室气体排放的主要来源之一^[3],其碳排放量约占全国碳排放量的30%~40%^[4]。随着经济的稳定发展,建筑业碳排放量仍有增长的空间,或成为我国碳排放的主要增长

源,因此,降低建材生产和建筑建造、运营的碳排放量将成为响应气候变化的主要着力点,加强低碳、负碳技术在建筑中的推广与应用,成为缓解碳排放压力 and 解决气候问题的新途径。

城镇化的迅猛发展意味着大量的工业建设,由此也给经济、社会、环境等带来了一定的压力。自2000年以来,我国每年新增民用建筑面积不少于12亿m²,据《2015中国统计年鉴》数据,截至2015年,我国民用建筑总面积为614.56亿m²^[5],而根据建设部预测,2020年我国各类建筑新增建设面积将超过300亿m²。建筑作为人与自然环境交互的界面,随着城市建设的发展已经具备相当庞大的基数,因此,增加建筑界面固碳设计在实际工程中的运用具有十分重要的意义。本研究梳理国内外应对气候变化的建筑设计案例,并从提高无机材料固碳能力的角度,提出

一种新型固碳建筑界面设计途径,提高建筑固碳效应,同时展望未来固碳建筑设计领域的发展方向,为建筑业减碳减排提供理论参考。

一、建筑行业对气候变化的积极响应

在建筑工业化生产的初期,经济增长与CO₂ 排放的关系十分密切^[6]。我国建筑工业化起步较晚,20 世纪 60—80 年代是我国建筑工业化快速发展的时期^[7-8],飞速增长的经济效益带来了大量的温室气体的排放(见图 1),1970 年,我国碳排放总量为 8.17 亿 t,占全球碳排放量的 5.76%,至 2019 年,我国碳排放量已达 98.39 亿 t,占全球碳排放量的 27.20%,成为世界第一大碳排放国,根据国际能源署(International Energy Agency, IEA)对世界碳排放量的预测,2030 年我国碳排放量将达到 117.3 亿 t^[9]。

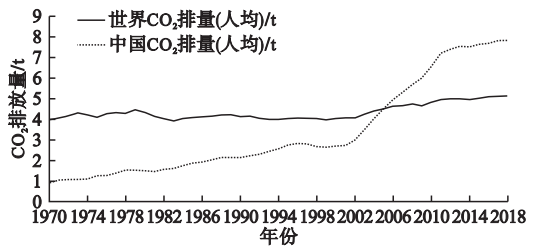


图 1 我国人均 CO₂ 排放量

温室气体排放伴随着全球气温的升高和极端天气次数的增加,各国逐渐意识到对环境问题的漠视和大量资源消耗,不利于维持长期稳定的高速发展。建筑业作为全球主要能耗产业之一,材料生产和运行过程中所消耗的能源约占世界能源消耗的 50%^[10],为改变建筑业发展模式,各国政府积极研究、探索绿色建筑发展新出路,而绿色建筑评级体系的建立成为绿色建筑发展的先导。第一个绿色建筑评价标准于 1990 年在英国发布^[11],随后一些发达国家纷纷颁布了自己的绿色建筑评价体系,如美国的 LEED 评价体系^[12]、加拿大的 GBC、澳大利亚的 NABERS^[13]、日本的 CASBEE^[14]等。部分国家出台了一系列政策促进高效能技术在建筑中的运用^[15],推动绿色建筑向更深层次发展。

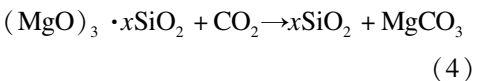
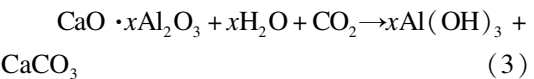
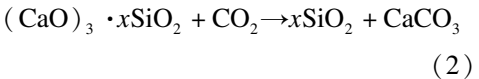
30 年来,发达国家对绿色可持续建筑的

设计方法、评估体系等逐渐完善,建筑中各种节能技术如光伏、地源能、风能、高性能材料等技术迅速融入建筑^[16],使新建建筑和既有建筑在能效和减排方面产生了巨大的进步,如德国超低能耗被动体系中的“被动房”^[17]、美国政府积极推广的作为未来建筑能耗的终极解决方案的“零碳建筑”等,通过政府政策推行、运营机构的协同合作,促进建筑业可持续发展,为经济、社会、环境等带来长久稳定的发展空间。

二、建筑碳封存的理论依据

1. 无机材料碳汇原理解析

混凝土作为建筑生产的主要材料,其发展历史极为悠久,混凝土材料的中性化又称碳化反应,在土木工程领域也有较为详尽的研究,碳化反应伴随着混凝土的整个生命周期且不可逆,其原理为在空气中水蒸气的作用下,混凝土内部的化学成分转变为不稳定的碱性水化物,与环境中的 CO₂ 接触,生成碳酸盐,使混凝土的碱性逐渐降低^[18],这个过程称为碳化反应:



因混凝土碳化会使钢筋表面钝化,不利于维持钢筋混凝土的力学性能,所以在实际工程中会尽可能地设法予以避免^[19],但随着近年来环境问题的加剧和极端天气多发,国内外有学者开始重视混凝土可捕捉并封存 CO₂ 的特性。对混凝土固碳能力的研究最早发表于美国硅酸盐水泥协会的几篇研究报告中,该研究统计了美国现有建筑在建成的一年内,混凝土等无机材料固碳量约为 20 万 t^[20]。韩国学者 Yang 等^[21]分析了框架体系的办公和住宅类建筑,考虑装饰材料的影响,100 年的建筑使用周期内,混凝土生

产排放 CO₂ 的 15.5% ~ 17% 被材料自身吸收。除运行中的建筑外,建筑混凝土的整个生命周期都伴随着碳化反应的发生,北欧学者 Andersson 等^[22]从建筑运行、建筑拆除、废料回收等阶段,核算了北欧建筑混凝土碳化程度,有 28% ~ 37% 的混凝土在建筑运行期间(70 年)发生碳化,当建筑物作拆除处理

后,碳化程度增加至 37% ~ 86% (见表 1),建筑作业中的水泥窑灰和损失砂浆甚至都具有固碳的能力^[23],虽然水泥等无机建筑材料每年固碳较为缓慢,但全球建筑数量基数大,建筑使用寿命长达几十年至上百年,常年积累形成的固碳量必然十分可观^[24]。

表 1 国外对混凝土建筑生命周期结束后碳吸收的研究结果

国家	生命周期结束后碳化体积比/%	生命周期结束后破碎的混凝土体积比/%	破碎的混凝土发生碳化的体积比/%	发生碳化的 CaO	100 年内吸收的 CO ₂ 占水泥熟料煅烧过程中释放出的 CO ₂ 比例/%
丹麦	37	88	86		57.0
挪威	28	73	58	100% (CH + AFm + AFt) +	33.0
瑞典	31	72	59	50% CHS = 75% CaO	33.0
冰岛	31	79	37		34.0
美国 ^①	38	0 ^②	—	100% CHS ≈ 38% CaO	7.6

注:①美国生命周期设计为 100 年,其他国家为 70 年;②未考虑破碎混凝土对二氧化碳吸收的影响。

2. 混凝土碳汇的影响因素

混凝土碳化反应过程缓慢且复杂,通过查阅国内外文献可知,无机材料碳化效率会受到材料、环境和建筑设计因素的影响。

材料影响因素包括:水灰比,水泥用量与品种,水泥掺合料、骨料。材料因素主要影响了混凝土的孔隙率(密实程度)和碱储备。例如:方璟等^[25]发现水灰比的增加会使混凝土凝固后内部形成更多毛细孔洞,碳化深度随水灰比增加而增大,且趋势呈指数函数的关系。肖佳等^[26]认为水泥用量、品种、掺合料等主要影响了混凝土内碱储备量,碱储备量越高,碳化速率越低,高强硅酸盐水泥水化物碱性高于普通水泥,所以形成的混凝土抗碳化能力更强。

环境影响因素包括:CO₂ 浓度、温度、相对湿度。环境因素主要通过影响混凝土内 CO₂ 浓度及化学反应速率来影响碳化速度,牛荻涛^[27]研究发现环境中 CO₂ 浓度越高,CO₂ 就越容易渗透进混凝土,碳化反应速率越快。温度提高也可以提升化学反应速率,进而加快混凝土与 CO₂ 结合速度^[28],且影响程度较高。刘志勇等^[29]发现相对湿度下的碳化实验结果与温度条件下不同,拟合后的碳化-湿度曲线大致满足正态分布特点,在相对湿度处于 40% ~ 60% 范围内碳化速

率较高。

建筑影响因素包括:表皮覆盖材料、空气接触面积、应力荷载。建筑因素主要影响水泥材料与空气接触面积,张令茂^[30]通过实验发现材料暴露面积越大,碳化速率越高,表面覆盖材料气密性越大,碳化速率越低。

在上述 3 类混凝土碳化影响因素中,能够优化碳化能力的建筑影响因素包括:CO₂ 浓度高、温度高、相对湿度处于 40% ~ 60%、建筑混凝土表面装饰少等。不同类型建筑因使用功能、使用条件等不同,会在建筑室内外形成环境差异,应筛选具有固碳潜力的建筑类型,通过对建筑材料配比控制、构造与形式的设计,促进无机材料与 CO₂ 反应实现固碳效应,增强建筑界面固碳性能,形成响应气候变化的绿色建筑。

三、面向气候变化的建筑材料研发

为了解决经济收益与环境效益的不平衡等问题,国内外已有许多科研机构或水泥制造商以节能减排的生产理念研发新技术、新工艺。

英国的水泥生产商 Novecem 的可回收型水泥,利用镁硅酸盐替代传统水泥中的石灰石,相较于生产水泥的传统工艺所需温度更低,CO₂ 排放更少,更为重要的是,此类新

型水泥需要不断吸收空气中的 CO_2 才能硬化,这使得生产该水泥每吨碳排放的 0.5 t CO_2 ,低于硬化后每吨水泥 CO_2 吸收量的 0.6 t ,成为固碳型建筑材料的典型代表(见图2)。



图2 Novacem 公司“绿色”混凝土

美国混凝土产品制造商 EP Henry 与水泥和混凝土技术公司 Solidia Technologies 合作,收集工业生产的 CO_2 进行液态处理,替代水注入砂浆骨料中,在混凝土硬化的同时固化 CO_2 。Solidia 水泥主要成分为钙硅石和硅灰石,这两种主要成分水化活性低,与水不发生反应,却能在 CO_2 环境下硬化,每生产 1 t Solidia 水泥熟料,形成的 CO_2 排放量约为 550 kg ,而水泥硬化所需要的 CO_2 约 240 kg/t ,相较于普通水泥,可减少 70% 的碳足迹^[31](见图3)。



图3 Solidia Concrete CO_2 固化路砖

美国的 Calera 公司采用了全新的工艺,模拟海洋中珊瑚礁的生成原理,在低温条件

下利用火电厂烟气中的 CO_2 和海水中的钙、镁等生成钙氧化物(carbonates),发明了海洋水泥(marine cement),每生产 1 t 水泥可捕获 0.5 t CO_2 ,且造价要低于传统的硅酸盐水泥^[32]。

四、面向气候变化的实验性建筑设计展望

1. 应对气候变化的建筑实践

当前气候变化带来的是全球极端天气多发,恶劣的环境问题不仅指温室效应导致的极高或极低气温,也涵盖了雾霾、PM2.5、沙尘等光化学污染,环境问题逐渐影响了正常的城市生活。随着建筑技术的发展,越来越多的建筑师将调节气候的功能融合到建筑设计中,开展了应对气候变化的绿色建筑实践探索,例如,西班牙毕尔巴鄂的坎帕德洛斯克公园(见图4(a)),园内道路铺砖采用含 GeoSilex 添加剂的 Ecosit Klim CO 混凝土地砖,材料来自工业废料回收,而且在铺装全生命周期内,每平米 8% 的添加剂可吸收 $5\,000\text{ m}^3$ 空气中的 CO_2 ^[33]。

除减碳减排的考量之外,国内外出现多例通过表皮材质与空气中污染物产生复合反应的建筑表皮设计,如 2015 年米兰世博会意大利馆^[34](见图4(b)),场馆 $9\,000\text{ m}^2$ 的建筑表皮上覆盖了 900 余块“生物动力”(i. active BIODYNAMIC)混凝土面板,该面板使用了 80% 的再生骨料,包括卡拉拉采石场的白色大理石废料,不仅环保,也比传统的白色水泥流动性强,结合 TiO_2 光触媒材质形成的混凝土面板同时具有吸附雾霾、抗菌防雾、自清洁等特点。此类示范性建筑主要通过利用光催化涂料与空气中的污染物接触并产生的化学、物理反应,实现对气候与环境问题的响应。此类光触媒表皮属于半永久性产品,光催化成分仅作为分解反应的催化剂,作用过程不产生消耗,可以持续发挥清洁大气的作用。

全球建设量的增加伴随着大量旧建筑、设施的拆除,混凝土回收再利用技术的发展

将缓解建筑业材料生产的环境压力。再生混凝土(RAC)是一种将工艺性与环保可循环利用相结合的新兴技术,将废旧混凝土以骨料的形式重新用于新混凝土中^[35],每生产1 t 再生混凝土粗骨料的长期成本比天然粗骨料的长期成本低约 40%。而生产 1 t 再生混凝土骨料的环境收益比天然骨料高约 97%^[36]。我国在混凝土回收再利用方面也有一定进展,例如:2009 年四川都江堰灾后重建工程,利用震后废料建成 3 栋示范型建筑,再生粗骨料使

用率接近一半,至今未见裂痕等结构损坏;2018 年兰州万达广场(见图 4(c))项目中一定范围内采用了废旧混凝土再生利用技术;2019 年山西省临潼绿色产业园的一栋 2 层办公楼,整体结构采用了 30% 的再生混凝土,目前顺利通过验收^[37]。虽然我国在再生混凝土研究方面取得了一定成果,但实际工程中典型的建筑应用案例仍然较少,若此类绿色混凝土结合工业化推广,可在一定程度上解决资源紧缺与温室气体排放的问题。

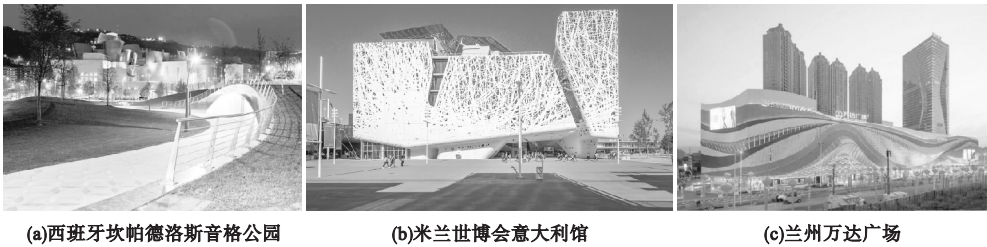


图 4 绿色混凝土示范型建筑实践

2. 固碳型建筑设计应用展望

目前,低碳减排建筑多从光伏系统、建筑机电系统、高性能围护结构或可再生能源利用等方面进行设计,建筑运营期间的能耗部分或全部由场地产生的再生能源提供,但建筑仅能最大程度地避免碳排放,还需要寻找新技术提高建筑固碳能力,来应对不断加剧的气候问题。在建筑中最初运用固碳技术是以垂直绿化体系为主,以自然植物的固碳能力抵消建筑运行中的碳排放,并调节一定范围内的气候环境,但随着无机材料固碳特性的逐步发掘,在建筑设计中运用高固碳能力无机材料,为营造零碳建筑甚至是负碳建筑(见图 5)提供了新的思路。

待混凝土等无机固碳材料技术发展成熟,并在城市中形成固碳界面,碳吸收型建筑设计应具备下列 4 种特性。

(1)广泛的气候适应性。气候适应性是固碳型建筑表皮可进行产业化推广的基础。以绿色植被形成的垂直绿化表皮虽然有吸碳固碳、调节微气候、降低噪声等优点,但城市之间气温差异以及建设成本限制了垂直绿化技术的发展。相比于天然植被,无机材料碳吸收气候耐受性更高,但也应针对南北方不同环境条件,改良设计固碳建筑构件形式,例如:连绵多雨地区应在表皮处设置排水通道,防止雨水在建筑表面停留,阻碍碳化反应的继续进行;北方寒冷地区应将固碳表皮多设立于南侧,增加表面温度,提高碳化反应速率。

(2)维护体系的可更替性。碳化反应是一个由外向内不断递减的过程,CO₂ 通过材料孔隙向内渗透,随着深度的增加,CO₂ 浓度逐渐减少,并且碳化反应产生的碳酸钙沉积会堵塞材质表面的毛细孔洞,随着时间的增加,碳化深度及反应速率逐渐平缓,此时建筑固碳表皮碳吸收能力接近瓶颈,而可更替可拆卸的表皮构件设计可以延长建筑固碳能力

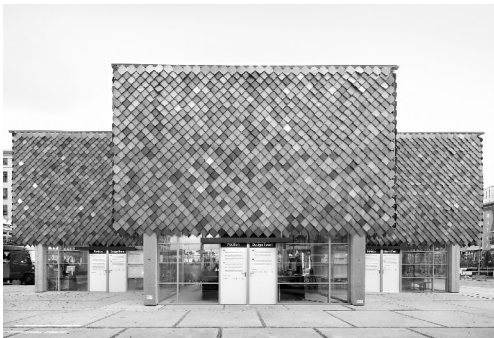


图 5 建筑负碳表皮预期效果

持续时间,替换新的混凝土挂板可维持界面的高固碳效率(见图 6、图 7),回收后表面完全碳化的混凝土板可以进行二次利用,击碎

利用截面制作固碳景墙、固碳透水混凝土路面或转为再生混凝土骨料。

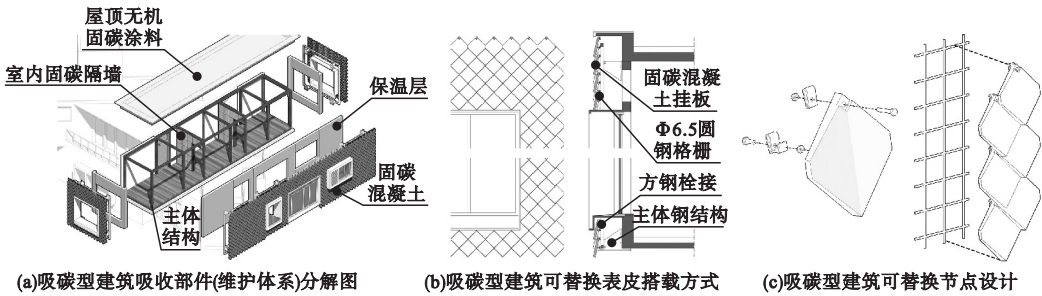


图 6 碳吸收型建筑界面设计

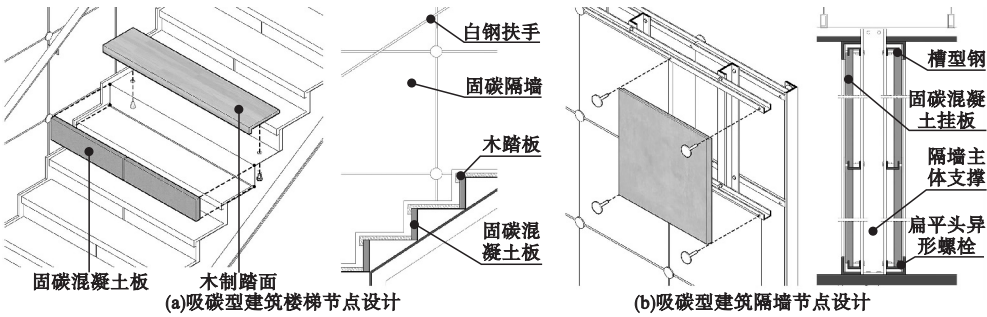


图 7 碳吸收型建筑室内节点设计

(3)时间维度的可变化性。无机固碳材料作为表皮设计除具有吸收 CO_2 的功能之外,还承载了美学需求,可通过材料配比和外观设计营造混凝土独特的装饰性,如彩色混凝土或添加废玻璃骨料、酸碱指示剂等。碳化反应变化过程仅凭肉眼难以观察,因此固碳表皮应用设计中,可以利用色彩表征水泥基材料从碱性向中性转化的特征,在混凝土材料配制过程中加入相关指示剂,如酸碱指示剂或铁粉等材料,使混凝土随碳化反应和时间推移呈现动态可变性,表面颜色和质感发生变化,在表皮上呈现多样的视觉效果,直观感受混凝土碳化过程。

(4)特殊类型建筑的示范性。无机材料碳化影响因素包含材料、环境、建筑构件设计等,除提高建筑表皮材质本身的固碳能力外,还因不同类型建筑使用方式或结构设计的不同,在建筑内外形成有利于无机材料固碳的环境条件,例如:亲水型建筑或植物展馆可形成适宜的温度、湿度;而公共建筑、办公建筑内部人流密集,可产生较高的 CO_2 浓度;工

业类建筑具有体量大、可推广性强的特点,大面积使用碳吸收型无机材料,可有效提高城市界面的固碳能力。

五、结 语

作为碳排放重点领域的城市建筑产业,降低建材生产、建筑运营的碳排放仍然是绿色建筑发展的主旋律。此外,已有许多建筑通过材料性能的开发与构件的优化设计,在与空气接触中产生化学、物理反应,从而实现降低自身能耗和吸收空气中有害成分的目标,但是这些建筑普遍采用新型材料与生物、能源技术,作为一种概念性或实验性作品,目前尚未具备进行产业化推广的条件。随着全球气候问题的加剧,建筑业减碳减排压力增大,国内外研究逐渐开始发掘无机建筑材料的固碳性能,目前美国、英国已有公司着手研发混凝土新工艺新技术,减少或抵消生产水泥材料的碳支出,但混凝土固碳技术的运用仍停滞于砌块生产等基础阶段,极少在建筑设计中予以考虑与运用。混凝土固碳能力作

为建筑的“溢出效应”,若能将固碳技术与建筑设计相结合,通过环境要素的优化设计开发适宜性固碳性建筑技术,可提升建筑整体的固碳性能,为低碳城市提供一个新的发展方向。

参考文献:

[1] 邹晓周,曲菲. 绿色节能主义之低碳建筑[J]. 建筑节能,2009,37(4):75-78.

[2] 邵高峰,赵霄龙,高延继,等. 建筑物中建材碳排放计算方法的研究[J]. 新型建筑材料,2012,39(2):75-77.

[3] 谢海生,庄贵阳. 建筑领域应对气候变化的中国路径选择研究[J]. 建筑经济,2018,39(2):5-9.

[4] 马晓国,欧阳强. 基于碳排放的建筑业产业结构调整研究[J]. 生态经济,2016,32(4):75-79.

[5] 刘菁. 碳足迹视角下中国建筑全产业链碳排放测算方法及减排政策研究[D]. 北京:北京交通大学,2018.

[6] WANG K M. The relationship between carbon dioxide emissions and economic growth: quantile panel - type analysis [J]. Quality & quantity,2013,47(3):1337-1366.

[7] 王俊,赵基达,胡宗羽. 我国建筑工业化发展现状与思考[J]. 土木工程学报,2016,49(5):1-8.

[8] 黄小坤,田春雨. 预制装配式混凝土结构研究[J]. 住宅产业,2010(9):28-32.

[9] 李国志. 基于技术进步的中国低碳经济研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2011.

[10] 冯小平,邹昀,龙惟定. 住宅建筑耗能设备的相关调查和统计分析[J]. 节能技术,2006,24(1):28-32.

[11] 龙惟定,王长庆,丁文婷. 试论中国的能源结构与空调冷热源的选择取向[J]. 暖通空调,2000,30(5):27-32.

[12] AWADH O. Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and estidama critical analysis [J]. Journal of building engineering,2017,11:25-29.

[13] LEE D, DIXON I, DUNN T, et al. Life cycle cost comparison of a high NABERS performing commercial building[J]. Procedia engineering,

2017,180:311-319.

[14] 日本可持续建筑协会. 建筑物综合环境性能评价体系:绿色设计工具[M]. 石文星,译. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[15] 冯威,KHANNA N Z,周楠,等. 美国绿色建筑发展、经验及对中国的启示[J]. 工业建筑,2016,46(12):6-12.

[16] DEKKICHE H, TAILEB A. The importance of integrating LCA into the LEED rating system [J]. Procedia engineering, 2016, 145: 844 - 851.

[17] 卢求. 德国建筑节能与被动房技术体系的发展[J]. 中国建筑金属结构,2016(9):36-41.

[18] 刘立涛,张艳,沈镭,等. 水泥生产的碳排放因子研究进展[J]. 资源科学,2014,36(1):110-119.

[19] 蒋利学,张誉,刘亚芹,等. 混凝土碳化深度的计算与试验研究[J]. 混凝土,1996(4):12-17.

[20] PADE C, GUIMARAES M. The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective [J]. Cement and concrete research,2007(37):1348-1356.

[21] YANG K H, SEO E A, TAE S H. Carbonation and CO₂ uptake of concrete [J]. Environmental impact assessment review,2014,46(4):43-52.

[22] ANDERSSON R, FRIDH K, STRIPPLE H, et al. Calculating CO₂ uptake for existing concrete structures during and after service life [J]. Environmental science & technology, 2013,47(20):11625-11633.

[23] 郝凤明,石铁矛,王娇月,等. 水泥材料碳汇研究综述[J]. 气候变化研究进展,2015,11(4):288-296.

[24] 李绥,石铁矛,王梓通,等. 基于建筑容量的城市建设用地碳汇量核算方法[J]. 应用生态学报,2019,30(3):986-994.

[25] 方璟,梅国兴,陆采荣. 影响混凝土碳化主要因素及锈诱因素试验研究[J]. 混凝土,1993(2):35-43.

[26] 肖佳,勾成福. 混凝土碳化研究综述[J]. 混凝土,2010(1):40-44.

[27] 牛获涛. 混凝土结构耐久性与寿命预测 [M]. 北京:科技出版社,2003.

[28] 余波,成获,杨绿峰. 混凝土结构的碳化环境作用量化与耐久性分析[J]. 土木工程学报,

2015,48(9):51-59.

[29] 刘志勇,孙伟. 多因素作用下混凝土碳化模型及寿命预测[J]. 混凝土,2003(12):3-7.

[30] 张令茂. 表面覆盖对混凝土碳化的影响[J]. 混凝土与水泥制品,1989(4):18-20.

[31] 徐永模,陈玉. 低碳环保要求下的水泥混凝土创新[J]. 混凝土世界,2019(3):32-37.

[32] DEWALD U, ACHTERNBOSCH M. Why did more sustainable cements failed so far disruptive innovations and their barriers in a basic industry [J]. Environmental innovation and societal transitions,2016,19:15-30.

[33] 过晨. 具有亲和性的城市步行环境铺装设计研究[D]. 长春:长春工业大学,2017.

[34] 倪雅. 混凝土的极致 2015 年米兰世博会意大利馆[J]. 时代建筑,2015(4):78-83.

[35] NAOUAOUI K, BOUYAHYAOU A, CHERRADI T. Concrete recycling: social and environmental technical gain for smart cities [J]. ISPRS - international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences,2020,4(3):309-311.

[36] OHMENG E A, EKOLU S O. Comparative analysis on costs and benefits of producing natural and recycled concrete aggregates:a south African case study [J]. Case studies in construction materials,2020,13:1-13.

[37] 曹万林,肖建庄,叶涛萍,等. 钢筋再生混凝土结构研究进展及其工程应用[J]. 建筑结构学报,2020,41(12):1-16.

Research Progress and Design Application Prospect of Building Carbon Sequestration in Response to Climate Change

LI Sui¹, SHAO Xinyang², LI Ming³

(1. Research Center for Ecological Urbanization and Green Building, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 3. Shenyang Design and Planning Institute Co. Ltd, Shenyang 110168, China)

Abstract: In order to cope with global climate change and reduce the carbon emission of building life cycle which will become the key factor of developing low-carbon economy, this paper reviews the research on green building at home and abroad, and summarizes the development of green ecological building technology from the development process of green building and sustainable architectural exploration and design practice. Based on carbon fixation principle of concrete and the development of inorganic carbon sink materials, this paper discusses the practical application and feasibility of carbon sequestration concrete and inorganic materials in architecture, and expects the design method and development direction of carbon fixation building interface in the future.

Key words: inorganic carbon sink of materials; concrete construction; carbon sink; carbon sequestration

(责任编辑:高旭 英文审校:林昊)