

材料制作过程碳转换机理：以雄安新材料为例

王博洁 董国臣 王辉 范钰婷 钟嫔彦
中国地质大学（北京）地球科学与资源学院
DOI:10.12238/btr.v8i3.4684

[摘要] 随着“双碳”战略的实施,人们注重环境的改善,引导绿色技术创新,提高产业和经济的竞争力。本文以雄安新区绿色新材料开发应用为例,分析了材料应用过程中碳的存在形式,论述了碳在气体、液体和固态介质中的存在形式和可能含量,研究了不同环境下的转变方式及其形成机理,进而可以评价其总体碳循环中的表现,为研究绿色新材料开发提供了碳的存在形式及其转换过程等方面的参考。

[关键词] 新材料; 制作过程; 碳; 转换机制; 雄安

中图分类号: P578.1+6 **文献标识码:** A

Carbon conversion mechanism in the material manufacturing process: A Case study of Xiongan New Materials

Bojie Wang Guochen Dong Hui Wang Yuting Fan Pinyan Zhong

School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing)

[Abstract] With the implementation of the "dual carbon" strategy, people focus on environmental improvement, guide green technological innovation, and enhance the competitiveness of industries and the economy. This paper takes the development and application of green new materials in Xiongan New Area as an example, analyzes the existence form of carbon during the material application process, discusses the existence form and possible content of carbon in gas, liquid and solid media, studies the transformation mode and formation mechanism under different environments, and then can evaluate its performance in the overall carbon cycle. It provides references for the research on the development of green new materials in terms of the existence form of C and its transformation process, etc.

[Key words] New materials Production process Carbon Conversion mechanism Xiongan

随着社会发展和生活条件的改善,人们更注重环境的改善,倡导绿色、环保、低碳的生活方式。在当今大气温室气体浓度不断上升,全球气候变化日益严峻的背景下,地球系统的碳循环成为了科学界关注的焦点。

我国的“碳中和、碳达峰”双碳政策的引导下,碳排放对气候的影响受到广泛关注,企业和个人均很关注生产和生活的活动过程,减少碳排放,增加碳汇过程,实现生产生活过程零碳排放,减少人类活动对气候的不利影响^[1,2]。然而,有关碳循环的研究虽然很多,但多侧重于碳生产过程和利用过程的能量消耗的核算,对建筑材料中碳的存在形式及其在生产过程中碳的转换及其循环机理的研究却少见报道,因此,有必要针对建筑材料中的碳形式及其转换过程开展研究,以促进建筑材料的应用。

本文利用科技部专项《绿色低碳新材料与雄安建设过程的碳循环机理及评价》课题研究契机,以雄安绿色新材料为例,研究新材料开发过程中碳的存在形式及其转换机理。

1 碳基础及其特点

1.1 碳元素的特点

碳(代号C)是一种常见的非金属元素,原子序数6,化学性质稳定,不易反应,以多种形式广泛存在于大气、水、地壳和生物中。

碳元素所形成的结构多种多样,定形碳具有特定的结构,以单质形式构成矿物,主要有金刚石、石墨和石墨烯;无定形碳主要是煤、木炭等;

除此之外,人类还制作了焦炭、炭黑和活性炭等三种其他形式的单质碳,并被广泛运用于生产及生活。

1.2 碳化合物的基本特点

碳除了以单元素存在外,还以化合物形式存在,这是人类最重要的化合物之一,按照其特点,可以分为以下几类:

1.2.1 碳酸盐类

碳这类化合物中主要以碳酸根形式,同钙、镁、铁、铜等正价元素结合成碳酸盐,还可以进一步划分出简单碳酸盐化合物,

如碳酸钙(方解石)、碳酸镁(菱镁矿)、碳酸铁(菱铁矿)、碳酸钠(碱)等;复合碳酸盐化合物,如碳酸钙镁(白云石)、碱式碳酸铜(孔雀石)等。

1.2.2与其他元素结合的化合物

这类化合物以碳和氧结合的 CO_2 和 CO ,特别是 CO_2 ,它是大气中主要成分之一,对气候和人类生存环境影响较大;

另外,还有与其他元素形成的化合物,如碳化硅(SiC)、碳化钨(WC)、碳酸(H_2CO_3)。

1.2.3有机物

有机物种类繁多,结构复杂,主要有碳、氢、氧等元素组成,包括煤、石油、天然气、天然气水合物、自然界的生物体,这些成分中均有碳元素。

另外,还有人类制造的各类烷烃、烯烃、炔烃等烃类,以及醇类、醛类、酯类和糖类都含有碳。

2 新材料生产涉及的碳及其存在形式

雄安新区新材料开发生产过程中,主要使用太行山北段矿山尾矿和城市建筑固废等作为原始材料,包括铁矿山尾矿、浮图峪铜矿尾矿、雄安新区建筑固废等,这些材料中都可能含有碳,这些碳的存在形式有以下几种:

2.1气态

气态碳主要以 CO_2 的形式,存在于空气或者地下固体和流体中,不同的介质体现出不同的特点:

2.1.1大气中碳

大气中的碳主要是 CO_2 ,呈其他状态,局部在特殊情况下会有甲烷等气体。一般情况下,空气中 CO_2 含量只有0.03-0.05%,大气标准含量为0.04%,受不同条件影响,其含量会有一定变化。大城市空气 CO_2 含量500ppm,而室内 CO_2 含量一般500-700ppm,特殊情况下, CO_2 含量值会高一些^[3]。本文在太行山北段浮图峪铜矿区和雄安新区城外进行空气中 CO_2 气体测量,分别获得546ppm和650ppm的含量值^[4]。

2.1.2岩石或者沉积物中的含碳气体

地表以下的松散沉积物或者堆积物中也含有气体,包括 CO_2 气体,本文在太行山北段涞源地区尾矿和雄安新区周边建筑固废进行 CO_2 等地气测量,得出尾矿中 CO_2 气体含量为547~4000ppm,集中在550~850ppm内^[4];而雄安地区建筑固废中 CO_2 气体含量变化在654~2000ppm^[5];这些结果均较空气中 CO_2 含量偏高。

据此可见,地表下呈气态分布的 CO_2 含量变化较大,均较大气中 CO_2 含量为高。

2.2液态碳

液态碳是指水中的二氧化碳,它们溶于水,呈游离状态,其溶解度与温度、压力等有关。不同水中的含量稍有不同,地下水中 CO_2 含量一般为10-50mg/L,高达100-200mg/L;地表水中含量在10-20mg/L;海水中的二氧化碳含量可能会有所不同,但一般情况下均大于50ppm。

2.3固态碳

固态碳指材料中以矿山尾矿和建筑固废中矿物形式存在的

固体碳成分,而新材料开发利用过程中所涉及到的碳以碳酸盐矿物为主,常见矿物为方解石(CaCO_3)、白云石($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)、生石灰(CaO)和熟石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)等;在矿山尾矿中,还有菱铁矿、菱镁矿,甚至孔雀石等矿物;在雄安新区建筑固废中,可能还会有一些有机碳的介入,特别是人类生活垃圾;特殊情况时,可能会使用碳或者石墨。

4 碳的循环及其机理

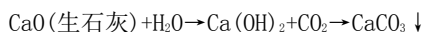
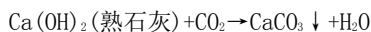
雄安新区新材料开发生产过程中,随着新材料成分和物理化学性质的改变,其中的碳会有不同形式的转变,从而构成生产过程的碳排放或者碳汇,这些转变形式主要有以下特点:

4.1碳汇有关碳转变过程

雄安新区新材料生产过程能够形成碳汇的碳转变过程主要体现在吸收 CO_2 ,这类过程主要有以下转变形式:

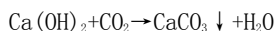
4.1.1石灰的应用

不论是熟石灰还是生石灰,作为新材料固结剂,其应用过程都会吸收空气中的 CO_2 ,形成碳汇作用,其反应式如下:



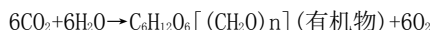
4.1.2碳酸盐岩的风化过程

灰岩及水泥材料(CaCO_3 为主)在自然的风化过程中,会在二氧化碳和水的共同作用时,发生化学侵蚀,生成可溶的碳酸氢钙($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$),吸收空气中的 CO_2 ,产生“溶蚀”或者“水滴石穿”的现象,其反应式:



4.1.3植被生长

不论是矿山尾矿库还是城市建筑固废堆,都长有很多植被,以草木为主,植被生长过程会借助光合作用,将光能转变为化学能,吸收空气中的 CO_2 ,其作用形式为:

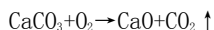


4.2碳排放有关碳转换过程

碳排放是指材料生产和使用过程中产生了 CO_2 气体,并在自然条件下排放到大气中,这一过程的反应主要有:

4.2.1新材料生产过程

雄安新区新材料除了尾矿和固废外,还要涉及固结剂生产;一般情况下,这一过程常涉及水泥生产、钢铁冶炼、化工配料等,以水泥为代表的材料生产过程,会产生 CO_2 排放,其反应式为:

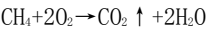


4.2.2原材料中所含的 CO_2

雄安新区新材料制作需用尾矿和固废,尾矿和固废堆中比大气含量还高的 CO_2 ,将在应用过程中,因物理性暴露而使得这些 CO_2 释放到空气中,所以这个过程也是以排放 CO_2 为主。

4.2.3新材料应用过程的动力消耗

与其他新材料开发一致,雄安新区新材料应用过程中,要消耗动力维持这个过程,如燃烧汽油、天然气,或者使用电力、热力等,都直接或者间接地燃烧化石燃料^[6],从而产生了二氧化碳排放。以天然气为例,其主要成分是甲烷,反应式为:



4. 3不转换或者无排放或者碳汇的转变

4. 3. 1大气和水中CO₂

雄安新区新材料开发所涉及到的大气中的CO₂和水中游离的CO₃²⁻离子等, 不会因新材料的开发生产而发生转化, 自然条件下, 这些碳既不释放也不吸收, 基本保持不变。

4. 3. 2性质较稳定的碳酸盐矿物中的碳

雄安新材料生产过程所涉及的一些含碳矿物, 如菱镁矿(MgCO₃)、白云石(CaMg(CO₃)₂)、菱铁矿(FeCO₃)等, 因其化学性质较方解石(CaCO₃)稳定, 在常温常压下的材料应用过程中, 不易释放出其中所含的C元素, 而且其含量较少, 因此, 对碳汇-碳排放的厘定意义不大。

5 总结

碳循环是地球系统中不可或缺的物质循环之一, 是不同形式碳汇-碳排放的综合体现, 新材料中碳形式转换是地质作用过程中人类涉及的碳转换内容部分。

雄安新区新材料利用过程中, 不同阶段碳的表现形式和作用有所差异, 各个阶段的碳汇和碳排放综合起来则体现碳汇性质, 确实属于绿色新材料。每个新材料的开发应用都会有碳汇和碳排放性质的作用, 综合起来将会体现整体的碳汇或者排放作用。

对这些过程中碳转换的研究, 能够认清人类日常活动有关的碳循环, 合理控制大气中碳含量, 达到碳中和, 这一举措对改善人类居住环境具有积极的作用, 对维护地球的生态平衡和气

候稳定将会起到至关重要的作用。

[基金项目]

雄安新区科技创新专项(2023XAGG0068)及深时数字地球项目(2652023001)。

[参考文献]

[1]Beerling,D.J., Kantzas, E.P., Lomas, M.R. et al. Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands[J].Nature.2020.583,242-248.

[2]马迅,张爱伟,黄磊,等. “双碳”目标下矿山生态修复减排增汇措施研究[J].中国煤炭,2023,49(06):109-115.

[3]赵曰峰,张寅超,洪光烈等,大气CO₂含量分布激光雷达监测[J].量子电子学报,2006,23(3):355-359.

[4]王辉,董国臣,任颖伟.矿山尾矿中CO₂含量及其成生理理:以浮图峪尾矿为例[J].华北地质,2025.

[5]许卫军,董国臣,王辉,刘艳宾,任颖伟,莫钧,雄安建筑固废堆中CO₂含量及其成因机理[J].中国建材,2025.

[6]郑学栋,二氧化碳的综合利用现状及发展趋势[J].上海化工,2011,36(3):29-35.

作者简介:

王博洁(2003--),女,汉族,青海人,本科,研究方向为地球化学。

*通信作者:

董国臣(1962--),男,教授,主要从事岩石学及矿床学研究。