

雄安建筑固废堆中CO₂含量及其成因机理

张 璨*, 董国臣#, 王 辉, 刘艳宾, 任颖伟, 莫 钧

中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京

收稿日期: 2025年7月6日; 录用日期: 2025年7月26日; 发布日期: 2025年8月7日

摘 要

建筑固废是近年我国固废材料主要类型之一, 其中CO₂含量变化及其形成机理对研究建筑固废的再利用具有重要意义。本文针对雄安新区建筑固废堆, 开展了CO₂等相关气体测量, 研究了CO₂等含量及其变化特征, 发现建筑固废堆自边部向中心CO₂含量具有明显增加的趋势, 而H₂S和SO₂气体则相对稳定, 论文分析了CO₂含量变化影响因素, 特别是有机质的作用, 进而探讨了其形成机理, 发现建造固废的堆积是一个缓慢的排碳过程, 该研究为建筑固废处理和再利用及其相关措施制定等提供了参考依据。

关键词

建筑固废, 堆放过程, CO₂, 形成机理, 雄安新区

CO₂ Content and the Forming Mechanism of the Burial Mound of Building Garbage in Xiong'an New Area, China

Can Zhang*, Guochen Dong#, Hui Wang, Yanbin Liu, Yingwei Ren, Jun Mo

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

Received: Jul. 6th, 2025; accepted: Jul. 26th, 2025; published: Aug. 7th, 2025

Abstract

Building garbage is one of the main solid wastes recently in China. It is significant to study the CO₂ content variation and forming mechanism for the waste reutilization. This paper has measured the CO₂ content and studied its variation of the building garbage mound in Xiong'an new area. It is found that the CO₂ content is increasing from boundary to center in the burial mound of building construction

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张璨, 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]. 土木工程, 2025, 14(8): 1833-1839. DOI: 10.12677/hjce.2025.148199

garbage, while the contents of H_2S and SO_2 are relatively stable. The effect factor was analyzed especially the organism materials. The forming mechanism of CO_2 is explored. It is considered that the CO_2 is slowly released in the burial mound of building garbage, which serves as referring evidence for the waste processing, reutilization and related planning.

Keywords

Building Garbage, Burial Mound, CO_2 Content, Forming Mechanism, Xiong'an New Area

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑固废指各类建筑物在拆迁、修缮及装饰过程中所产生的固体废物[1][2]。随着城市化进程和居住条件改善,产生了大批建筑固废,这些固废中通常含有丰富的有机碳。据统计,我国“十四五”期间每年产生建筑垃圾 20 多亿吨[2],如此海量的建筑垃圾需要处理和再利用,提高其资源化利用程度。

碳作为自然界主要元素之一,以不同形式赋存在于矿物、岩石或者其他各类材料(包括固废材料)中,已有的研究主要集中在建筑固废的分类、建筑材料应用方法等方面[2][3],而对其中碳含量及生成机制关注不够[4]。

建筑固废是固体废物类的建筑相关部分,在城市改造中大量产生[5][6],其中的碳循环是一个复杂而重要的过程,同时对环境和气候变化有着重要影响。雄安绿色新材料是科技部科技专项研究内容,是利用雄安近邻尾矿和城市固废开发出的新型建材。本文针对该项新材料制作过程,探讨新材料有关建筑固废中 CO_2 含量及其转换机理,以促进固废材料的合理利用。

2. 自然环境与背景

雄安新区地处太行山东麓第四纪冲积平原前缘,平原地貌,地势平坦,河渠纵横,湖泊广布(图 1),地热丰富,油气蕴藏,温润气候,四季分明,是华北平原的璀璨明珠之一。

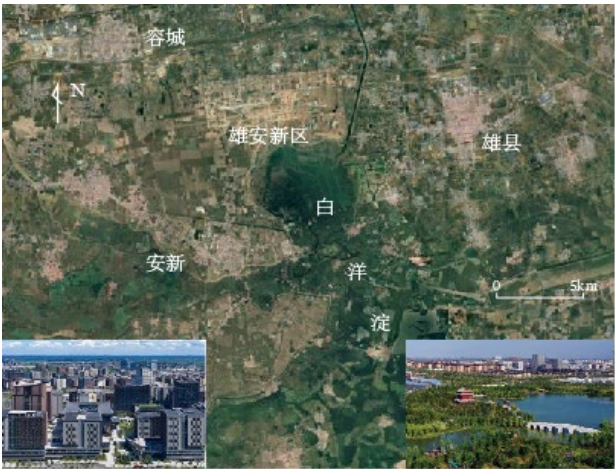


Figure 1. Topography and landscape image of Xiong'an New Area
图 1. 雄安新区地势及风貌影像

随着社会发展，雄安新区已经高楼林立，街道平整，民居成排，园林环绕；正以千年大计布局，长远规划，合理配置，造就了一幅欣欣向荣的新型城市风貌。

实地调研表明，雄安新区建设过程中的固废材料多数已合理地利用或者处理，包括修建了河流堤坝、公园绿地或者假山等，还有部分固废堆积到城外进行绿化封存，本文对该绿化封存固废进行了碳过程研究。

3. 固废堆特征

本文所涉及的固废材料位于雄安新区东侧城外，呈梯形堆积，不同堆体规则堆放，错落有致，实地调研显示，这些梯形堆长 350~450 m，宽 300 m 左右，堆体高度 5~10 m。初期堆体绿膜覆盖(图 2)，随着时间增长，草本植物逐渐生长，特别是夏秋时节绿植连片，堆体四坡及堆顶长满植物，远远望去，疑似平原丘陵。

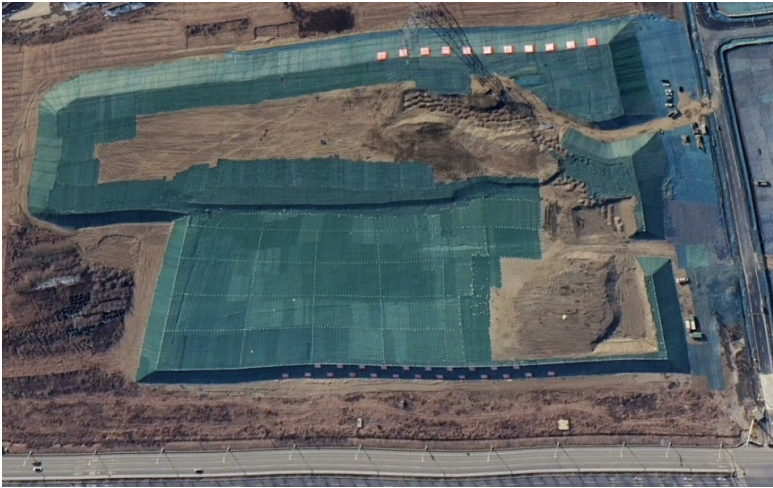


Figure 2. Image of building solid waste pile on the east side of Xiong'an New Area
图 2. 雄安新区东侧建筑固废堆影像图

固废堆由建筑废料和砂/泥土组成，中间为碎砖、瓦块和水泥废渣，局部可见水泥断柱，长 30~40 cm；顶部和四坡覆盖有砂泥土。一般情况下，顶层覆土不少于 1 m，四面坡上超过半米。

4. CO₂ 等地气测试及结果

利用上海赛弗生物科技有限公司研发的多组分气体分析仪，可以测量固废堆内部 20~35 cm 深度的气体含量。本文针对雄安新区东侧代表性的固废堆，由边部向中心进行定点测量，测点间距大于 10 米，获得 CO₂ 等气体数据(表 1)。

Table 1. Measurement results of solid waste CO₂ and related gases in Xiong'an New Area
表 1. 雄安新区固废 CO₂ 及相关气体测量结果

点号	尾矿类型	尾矿特征	测量位置	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	备注
D0	空气	气体	地表上 1 m 处	662	0	0	大气含量
D16	沙土固废	细粉状	固废坝处	766	0	0.056	新近堆
D17	沙土固废	细粉状	库边北缘	654	0	0.010	东北移 20 m
D18	沙土固废	细粉状	向中心过渡带	654	0.305	0.256	东移 20 m

续表

D19	沙土固废	细粉状	尾矿中心	1199	0.025	0.123	移动 30 m
D20	沙土固废	细粉状	尾矿南部	2000+	0	0.035	南移 20 m
D20-1	沙土固废	细粉状	北部堆顶	1522	0	0	坡顶较低处
D21	沙土固废	细粉状	南部高地	974	0.136	0.250	坡顶北边
D22	沙土固废	细粉状	南移 20 m	1089	0	0.250	坡顶中心
D23	沙土固废	细粉状	西移 20 m	981	0.022	0.139	西移 30 m
D24	粗粒固废	碎块状	固废堆西坡	766	0	0	半坡上
D28	粗粒固废	碎块状	固废堆西坡底	890	0	0.022	堆底路边

注：使用仪器为多组分气体分析仪，数据单位为 ppm。

从气体测量结果(表 1)可以看出，固废堆内 CO₂ 含量变化范围介于 654~2000 ppm 之间，主体集中在 654~1000 ppm 之间，峰值为 850 ppm (图 3)。

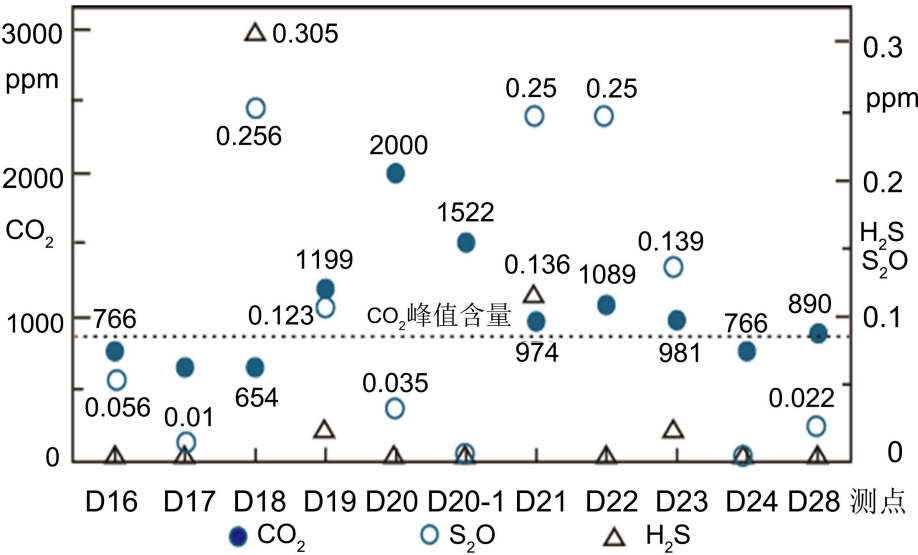


Figure 3. Change in CO₂ measurement results of solid waste pile in Xiong'an New Area
图 3. 雄安新区固废堆 CO₂ 测量结果变化图

固废堆中 SO₂ 含量分散，变化在 0.01~0.256 ppm 之间，集中在 0.2 ppm 左右；H₂S 含量较低，12 个测点中，只有两个测点显示出偏高的含量，分别为 0.136 ppm 和 0.305 ppm，其他均低于或者接近检出限。

5. 讨论

5.1. 固废堆中 CO₂ 含量变化及其碳循环特点

地气测试显示，固废堆中的 CO₂ 含量变化较大，为 654~2000 ppm，这些测量结果中，除了两个测点外，均明显高于固废堆附近的空气 CO₂ 含量的 662 ppm 值(图 4)，说明固废堆可能缓慢形成 CO₂，增加了地气中的 C 含量；而将固废堆附近空气与标准大气中 CO₂ 含量向 400 ppm 相比，当地空气明显高于标准大气 262 ppm；据此分析，很可能固废堆中的固废物质在堆放过程中缓慢地向空气中释放 CO₂ 气体，并可能达到一定程度时，达到局部平衡。

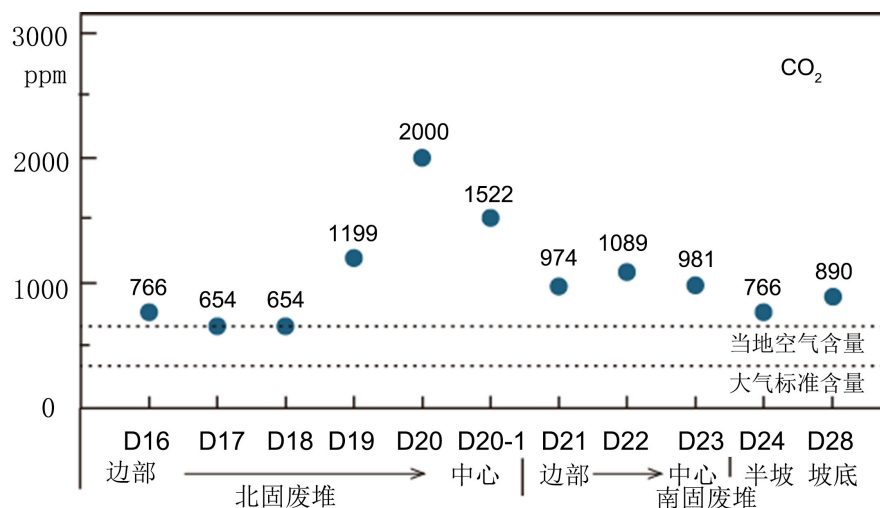


Figure 4. Characteristics of CO₂ content changes in solid waste piles in Xiong'an New Area
图 4. 雄安新区固废堆 CO₂ 含量变化特征

从固废堆的不同部位的含量来看,北固废堆从边部向中心,由 650~750 ppm 变成 970 ppm 以上,局部 1500~2000 ppm;南堆虽不明显,也显示出相同的趋势;而堆体半坡和坡底测点的含量也相对较低(图 4)。由此可见,不论从北固废堆还是南固废堆,均表现出由边部向中部 CO₂ 含量增高的趋势,可能意味着中部的粗粒块状固废材料是 CO₂ 排放的主体。

5.2. CO₂ 影响因素及成生理

固废堆中 CO₂ 含量变化较大,最低 654 ppm,最高 2000 ppm 有余,相差三倍以上。从堆体特点分析,这些固废堆可能是近年堆积的,年限很短,其主要成分中砖、瓦、水泥等成分在常温常压下短期内不会有什么化学反应,而且堆体高出地面,氧气含量较高,地下水含量不会充沛[7],因此,其 CO₂ 影响因素应该主要为有机质含量。

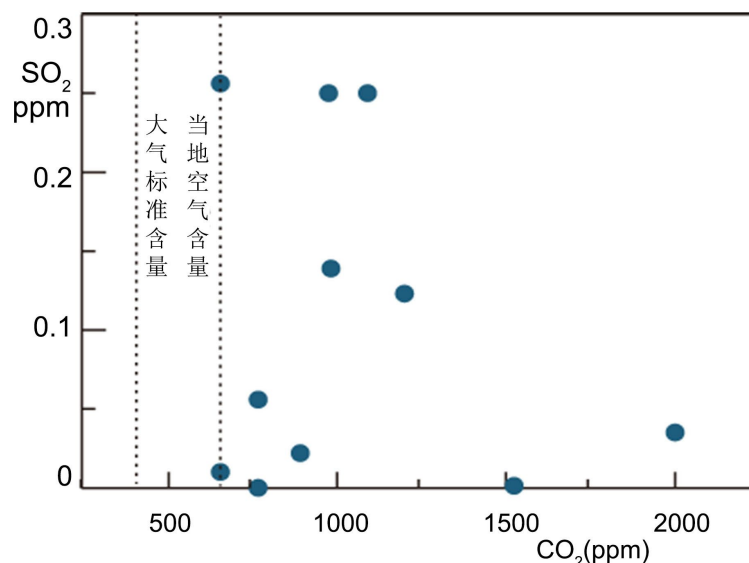


Figure 5. Relationship between CO₂ and SO₂ content in solid waste piles in Xiong'an New Area
图 5. 雄安新区固废堆 CO₂ 与 SO₂ 含量关系

这些有机质主要为人类活动残留物，因为堆积时间不长，而且覆盖掩埋厚度不大，尚处在氧化带，氧气近于饱和环境。而有机质在这种环境下，常被较强烈地氧化，部分转换成二氧化碳、水和矿种元素如氮、磷、硫的离子形态。

从测量结果中(表 1, 图 3)中可以看出，固废堆中基本不含 H_2S ，或者其含量很低；而 SO_2 含量与 CO_2 含量没有明显的相关性(图 5)，也进一步显示出固废堆积过程中处在氧气较充沛的氧化状态。

另外，如果部分有机质废物易腐烂，则易经过微生物分解，转化为肥料使土壤肥沃，同时也释放出 CO_2 和其他温室气体。

总体上，固废物质堆放过程是一个缓慢的 CO_2 排放过程。

5.3. 意义

了解建筑固废堆中 C 含量及其循环过程具有重要的实用意义。首先能够掌握固废存放过程中对环境生态的影响，有利于采用合理的措施，如适当撒水，让水份溶解部分 CO_2 ，并促进碳酸物质的沉积[8]；或者种植草本和木本植物，吸收固废堆内的 C 物质，从而适当控制或减少 CO_2 等温室气体的直接排放，缓解气候变化；其次是能够定量地评估分析固废再利用过程中 CO_2 的排放及其对环境的影响；还可以为海量固废处理和再利用积累实际经验并提供参考资料。

总之，建筑固废堆放过程中的碳循环具有自然资源利用的可持续性特点[9]-[11]，对于应对气候变化和发展循环经济具有重要意义。

6. 结论

雄安新区东侧固废堆的研究表明，固废物质的堆放是一个缓慢的 CO_2 排放过程，至少在堆积初期以 CO_2 直接排放为主，了解这一碳循环过程有利于采取适当措施，减少固废物质处理过程 CO_2 直接排放，促进生态系统的可持续发展，同时对改善自然环境，制定应对气候变化的重要策略也有积极的促进作用。

致 谢

论文野外测量时得到了地科院物化探研究所庞庆恒研究员的指导和帮助，匿名审稿人提出了许多宝贵意见和建议，在此一并表示衷心感谢。

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] 张磊. 典型有色金属尾矿固化用胶凝材料及其绿色墙材制备研究[D]: [硕士学位论文]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2019.
- [2] 虞晓婧, 杨玉杰, 王建刚, 等. 建筑固废再利用行业的策略探讨[J]. 水泥, 2024(11): 76-79+84.
- [3] 凌秀. 浅谈城市固废制备绿色低碳建筑材料[J]. 陶瓷, 2024(11): 186-189.
- [4] 黄丽芬. 建筑固废在建筑工程中的综合利用研究[J]. 居业, 2024(7): 232-234.
- [5] 刘锬, 陈宣东, 黄达. 再生混凝土的研究现状及未来研究趋势分析[J]. 混凝土, 2020(10): 47-50.
- [6] 杨占斌, 崔敬轩, 吴曦, 等. 城市大宗固废制备建材的环境评价体系研究[J]. 中国建材科技, 2021, 30(2): 30-32.
- [7] Beerling, D.J., Kantzas, E.P., Lomas, M.R., Wade, P., Eufrazio, R.M., Renforth, P., *et al.* (2020) Potential for Large-Scale CO_2 Removal via Enhanced Rock Weathering with Croplands. *Nature*, **583**, 242-248. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2448-9>
- [8] Lackner, K.S., Wendt, C.H., Butt, D.P., Joyce, E.L. and Sharp, D.H. (1995) Carbon Dioxide Disposal in Carbonate

Minerals. *Energy*, **20**, 1153-1170. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(95\)00071-n](https://doi.org/10.1016/0360-5442(95)00071-n)

- [9] 程东惠. 《建筑废弃物再生工厂设计标准》概要及解读[J]. 居业, 2020(10): 10-13.
- [10] 贾兴起. 建筑垃圾固废处置技术与回收再利用[J]. 陶瓷, 2021(2): 112-113.
- [11] 詹文华, 魏盛春. 建筑固废资源化利用的探讨[J]. 建设科技, 2022(6): 40-43.