

矿业管理与经济

文章编号: 1004-4051(2024)02-0036-07

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20220571

## “双碳”视角下露天建材矿山碳排放周期研究

裴明松, 刘 海, 李小伟, 代光俊, 刘 林, 斯小华, 陈爱章

(湖北冶金地质研究所(中南冶金地质研究所), 湖北 宜昌 443000)

**摘 要:** “双碳”目标的提出是我国生态文明建设的必然要求。露天建材矿山是建材产业原料的重要来源之一, 同时也是建材行业碳源和潜在碳汇之一, 分析露天建材矿山碳排放规律, 对实现建材行业“双碳”目标具有重要意义。通过分析露天建材矿山碳排放要素, 研究矿山生态系统碳汇能力和碳排放量, 构建了露天建材矿山净碳排放量模型。露天建材矿山生态系统净碳排放量呈现先增后减的趋势, 峰值一般出现在矿山服务期的中后期, 峰值和达峰时间与矿山边坡占比呈负相关, 零点一般在生态复绿阶段出现, 此后进入负值阶段。根据矿山生态系统净碳排放量将矿山碳排放周期分为碳达峰、碳减排(含碳中和)以及碳归零三个阶段。结合鄂西某建材矿山验证了模型的适用性, 研究成果对于研究建材行业碳排放具有一定的参考作用, 同时对于露天建材矿山生态复绿、绿色矿山建设也有一定的指导作用。

**关键词:** “双碳”目标; 露天建材矿山; 碳汇; 碳排放

**中图分类号:** TD-9 **文献标识码:** A

## Study on the carbon emission cycle of open-pit building material mines from the perspective of the “dual carbon”

PEI Mingsong, LIU Hai, LI Xiaowei, DAI Guangjun, LIU Lin,  
SI Xiaohua, CHEN Aizhang

(Hubei Institute of Metallurgical Geology(Central South Institute of Metallurgical Geology), Yichang 443000, China)

**Abstract:** The proposal of the “dual carbon” goal is an inevitable requirement for the construction of ecological civilization in China. Open-pit building material mines are the important source of building materials industry as well as the carbon sources and the potential carbon sinks. Analyzing the laws of carbon emission has the great significance of the realization of “dual carbon” goal. By the research on the carbon emission factors, the carbon sink capacity and carbon emissions are researched, the net carbon emissions model of open-pit building material mines is built as well. The net carbon emissions of open-pit building material mine ecosystem are increasing first and then decreasing, the peak value of carbon emission generally appears in the middle and late period of the mines service period, the peak value and peak time are negatively correlated with the proportion of mine slope, the zero point appears

收稿日期: 2022-08-04 责任编辑: 刘硕

基金项目: 湖北省自然科学基金项目资助(编号: 2022CFB557, 2023AFB923); 湖北省转制科研院所科技发展专项项目资助(编号: ZZKYYS202300021)

第一作者简介: 裴明松(1991—), 男, 汉族, 河南淅川人, 硕士, 助理研究员, 主要从事矿产地质、矿产开发利用和生态复绿等方面的工作, E-mail: sunnypms@163.com。

通讯作者简介: 刘海(1988—), 男, 汉族, 湖北蕲春人, 硕士, 副研究员, 主要从事区域地质与地质矿产研究等方面的工作, E-mail: 512009804@qq.com。

引用格式: 裴明松, 刘海, 李小伟, 等. “双碳”视角下露天建材矿山碳排放周期研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(2): 36-42.

PEI Mingsong, LIU Hai, LI Xiaowei, et al. Study on the carbon emission cycle of open-pit building material mines from the perspective of the “dual carbon” [J]. China Mining Magazine, 2024, 33(2): 36-42.

in the ecological greening stage, and then the carbon emission enters the negative value stage. According to the net carbon emission of mining ecosystems, the carbon emission cycle of mines is divided into three stages: carbon peak, carbon emission reduction(including carbon neutrality) and carbon zeroing. Combined with a building material mine in Western Hubei, the applicability of the model is verified. It has a certain reference role for the study of carbon emissions in the building materials industry. At the same time, it also could be a guiding role for ecological restoration and green mine construction of building materials mines.

**Keywords:** “dual carbon” goal; open-pit building material mine; carbon sink; carbon emission

## 0 引言

“双碳”目标即中国二氧化碳排放量力争在 2030 年前达到峰值,并努力争取 2060 年前实现碳中和<sup>[1]</sup>,是习近平总书记在第 75 届联合国大会上向全世界做出的庄严承诺,彰显了我国应对气候变化挑战的大国责任担当,也是我国可持续发展的内在需求<sup>[2]</sup>。《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中明确指出,实现碳达峰、碳中和,是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策,是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择,是构建人类命运共同体的庄严承诺<sup>[3]</sup>。“双碳”目标的实现路径主要为改善能源结构、推动节能减排、改变生活方式、提升碳汇能力<sup>[4]</sup>。矿产资源开发领域作为传统对环境影响较大的行业,在“双碳”目标下将面临更大的挑战<sup>[5]</sup>。

“双碳”目标对我国经济发展将产生较为深远的影响。我国电力、会计、城市转型发展、城乡规划、有色金属、交通、建筑等行业研究人员对各行业碳排放要素、实现“双碳”目标途径以及“双碳”目标对行业发展的新挑战和新要求等方面进行了研究并取得了一定的成果<sup>[6-12]</sup>。在矿产领域,鞠建华<sup>[13]</sup>宏观分析了矿业发展的机遇、困难和挑战,认为必须高标准推动矿业绿色低碳转型和绿色矿山建设才能实现矿业高质量发展;樊大磊等<sup>[14]</sup>分析了我国能源矿产行业发展现状和前景,认为在“双碳”目标下需要加强国内能源发展利用的顶层设计,进而实现能源安全保障及能源行业“双碳”目标;强海洋等<sup>[15]</sup>认为在“双碳”目标下,矿业可持续发展的路径在于通过优化资源供给侧结构性改革和构建多维协同发展路径促进绿色发展及提升矿区生态系统固碳能力和矿业产业结构转型升级。综上,分析矿产行业碳排放要素、提前布局设计、提升矿区固碳能力是矿产行业实现“双碳”目标的重要路径。

露天建材矿山是建材原料的主要来源,矿山较多且分布分散。根据不完全统计,仅鄂西某市现有上百家露天建材矿山,实际生产规模多在 50 万 t 以

上。上述建材矿山的开发会破坏植被进而引起碳汇能力的减弱,爆破、工程机械设备消耗化石燃料以及外购电力也会增加矿山碳排放量,是建材行业实现“双碳”目标不可忽视的影响因素。露天建材矿山生态系统不同于一般工业系统,其破坏不是一蹴而就的,矿山的碳排放与地域和生境息息相关,具有一定的周期性,但是“双碳”视角下对露天建材矿山碳排放等方面的研究还不足。因此,本文在“双碳”视角下研究露天建材矿山碳排放要素和碳排放量变化的一般规律,为矿山节能减排、生态复绿、提升矿山固碳能力提供指导,同时为建材行业“双碳”目标的实现提供参考。此外,在时空尺度上为区域矿山布局设计、矿山行业管理和行政监管、绿色矿山建设等提供依据。

## 1 “双碳”视角下矿山碳排放周期

### 1.1 概述

露天矿山一般经历勘查设计、基建、开采和全面生态复绿等阶段。矿山基建和开采阶段对周边地质环境破坏较为严重,主要表现在地形地貌、地表景观以及植被的破坏,其中采场是破坏的主体。矿山生态系统是一种受人类工程活动强扰动的系统,但是也具备一定的自我修复能力。本文将矿山生态系统视作研究对象,在“双碳”视角下研究其碳排放周期。

### 1.2 露天建材矿山碳源和碳汇

#### 1.2.1 露天建材矿山碳源

碳源指煤炭、石油、天然气等化石能源燃烧活动产生的温室气体的排放,也包括因使用外购的电力和热力等所导致的温室气体排放。参考张振芳<sup>[16]</sup>研究成果,露天建材矿山碳源可分为直接碳源和间接碳源,直接碳源一般是指矿山生产消耗的燃油、炸药等碳排放源,间接碳源一般是指矿山外购电力等。矿山碳排放量是不同碳源消耗量与碳排放因子之积的和。

#### 1.2.2 露天建材矿山碳汇

碳汇一般是指从空气中消除二氧化碳的过程、活动和机制,主要是指森林吸收并存储二氧化碳的

多少, 或者说是森林吸收并储存二氧化碳的能力。矿山生态系统吸收和存储二氧化碳主要是依靠矿山范围内植被实现的。植被是露天建材矿山碳汇来源, 是矿山生态系统降低碳排放量进而实现碳中和和碳归零的必要条件。矿山碳汇是矿山范围内未破坏的或复绿的植被的固碳能力, 依据矿山范围内植被的种类、郁闭度通过综合测算获得的。矿山碳汇可视为不同种类、不同郁闭度等的植被碳汇因子与植被面积之积。不同矿山植被不同, 不同植被的碳汇因子也不尽相同。

对矿山生态系统整体而言, 碳汇的减少意味着净碳排放量的增加, 因此, 本文将矿山破坏植被引起的碳汇减少量也作为间接碳源进行核算, 则矿山生态系统碳排放量是碳汇减少量和碳源的碳排放量之和。

### 1.2.3 露天建材矿山碳排放量和碳汇能力

矿山碳排放量为矿山各种碳源的碳排放量和碳汇减少量之和。参考张振芳<sup>[6]</sup>研究成果, 碳源排放量即碳源的消耗量与其碳排放因子的乘积。同样的, 碳汇减少量可由单位面积植被碳汇因子与破坏面积乘积计算而来。综上, 矿山生态系统碳排放量可用式(1)计算。

$$Q_p = \sum_{i=1}^m F_i \times q_i + \sum_{j=1}^n S_j \times f_j \quad (1)$$

式中:  $Q_p$  为矿山生态系统碳排放量;  $F_i$  为矿山第  $i$  种碳源的消耗量 ( $i=1, 2, \dots, m$ );  $q_i$  为矿山第  $i$  种碳排放源的碳排放因子;  $f_j$  为破坏的第  $j$  类植被碳汇因子 (作为碳源的碳排放因子,  $j=1, 2, \dots, n$ );  $S_j$  为矿山破坏植被的面积。

同样地, 由露天建材矿山碳汇能力定义可以得到矿山生态系统碳汇能力, 见式(2)。

$$E = \sum_{k=1}^t e_k \times S_k \quad (2)$$

式中:  $E$  为矿山植被的碳汇能力;  $e_k$  为第  $k$  类矿山植被的碳汇因子 ( $k=1, 2, \dots, t$ );  $S_k$  为矿山第  $k$  类植被面积。

### 1.3 露天建材矿山净碳排放量

露天建材矿山生态系统实际碳排放量即为矿山碳汇能力与矿山碳排放量抵消后的“净碳排放量”。本文将净碳排放量作为“双碳”视角下研究露天建材矿山的碳排放量的对象。露天建材矿山生态系统净碳排放量可采用式(3)进行计算。

$$Q = Q_p - E \quad (3)$$

式中,  $Q$ 、 $Q_p$ 、 $E$  分别为矿山生态系统净碳排放量、矿山碳排放量、碳汇能力。

### 1.4 “双碳”视角下露天建材矿山碳排放量周期

建材矿山一般为山坡式露天矿山, 按照自上而下分层开采的方式进行开发利用, 矿业开发与生态复绿同步推进。矿山碳排放要素主要是机械设备燃烧化石燃料、外购电力以及植被破坏, 矿山的碳汇主要来源于植被。从时空尺度来看, 矿山生态复绿一般滞后于开发利用环节, 随着矿山开采标高的降低, 破坏植被面积逐渐增大。结合已有矿山数据, 根据露天建材矿山生态系统净碳排放量模型, 矿山生态系统净碳排放量曲线如图 1 所示。由图 1 可知, 碳排放量曲线逐渐上升, 经历达峰前后平台期后迅速下降, 即碳排放量在经历勘查设计阶段的微增、基建阶段的缓增后在开采阶段陡增, 并在全面复绿阶段减少并进入负排阶段。根据曲线特征可将矿山生态系统净碳排放量分为碳达峰、碳减排和碳归零三个阶段。

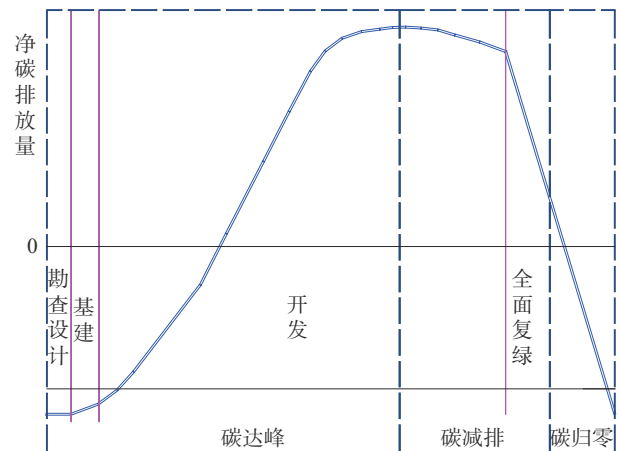


图 1 “双碳”视角下露天建材矿山的碳排放周期图

Fig. 1 Carbon emission cycle of open-pit building material mines from the perspective of the “dual carbon”

1) 碳达峰阶段。矿山勘查设计和基建时破坏了植被, 造成了碳汇的少量破坏, 开采时形成的大面积露天采坑是植被破坏的主要因素。开采过程中生态复绿对象主要为终了边帮, 面积占比较小, 碳汇的恢复程度较低, 因而整体呈现碳汇的急剧下降。此外, 化石燃料的燃烧、矿山爆破以及外购电力等增加了矿山的碳排放量。因此, 在碳汇能力降低和爆破、工程机械设备使用导致的碳排放增加的双重作用下, 矿山生态系统净碳排放量逐渐增加, 处于“爬坡”阶段, 并最终实现矿山生态系统“碳达峰”。

2) 碳减排(含碳中和)阶段。主要是矿山服务年限的中后期以及生态复绿阶段。复绿的植被稳定成活并形成碳汇能力后, 矿山的净碳排放量逐渐降低, 进入碳减排阶段。当矿山生态系统的净碳排放量为零时即实现了碳中和。

3)碳归零阶段。主要是矿山全面生态复绿阶段。矿山的采场、建(构)筑物、道路以及工业场地和排土场等破坏土地在该阶段实现了全面复绿。该阶段矿山破坏的植被已经修复,碳汇能力得到了恢复,矿山直接碳源急剧减少。矿山生态复绿引起的碳汇恢复和直接碳源的减少综合作用下矿山生态系统的净碳排放量逐渐降低至负值,进入碳归零阶段。

因此,根据露天建材矿山生态系统碳排放模型,矿山生态系统净碳排放量由于破坏植被面积的增大以及碳源的增多而呈现逐渐增加的趋势,达到峰值后由于矿山碳汇的增加而逐渐降低,最终实现碳中和后进入碳归零阶段。

### 1.5 不同边坡占比的露天建材矿山净碳排放量周期

矿山边坡面积占比等因素决定了矿山开采时破坏植被面积和生态复绿面积的变化规律。一般而言,矿山各分层开采时破坏植被面积与边坡占比呈负相关、生态复绿面积与边坡占比呈正相关,即矿山边坡占比越大,其各分层开采时破坏的植被面积越小,生态复绿时恢复植被面积越大。经过对不同边坡占比的矿山开发利用及生态复绿情况进行分析,得到矿山生态系统碳排放周期与边坡占比关系如图2所示。

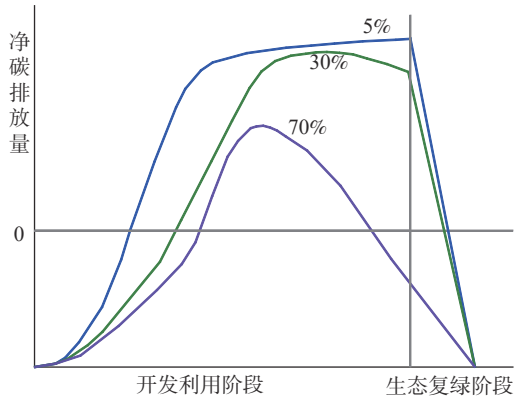


图2 不同边坡占比露天建材矿山的碳排放周期图

Fig. 2 Carbon emission cycle of open-pit building material mines with different proportion of slopes

由图2可知,边坡占比影响矿山生态系统碳排放周期,特别是净碳排放量峰值的绝对值和达峰时间。相对而言,矿山边坡占比越大,则其破坏的植被面积能够迅速复绿,矿山生态系统净碳排放量峰值越小,达峰时间越短。相反地,采场终了底部平盘破坏面积较大,在闭坑后才能够进行复绿,因此,其碳达峰时间长,且峰值绝对值往往较大。

总的来说,露天建材矿山净碳排放量规律为先增大后减小,一般经历碳达峰、碳减排(含碳中和)以及碳归零三个阶段。碳达峰包含矿山勘查设计、基建以及开发利用阶段,其达峰时间和峰值与边坡占

比呈负相关。但是,露天建材矿山产能一般较大,匹配的资源量较多,边坡占比较小,生态复绿工作主要集中在矿山开采中后期,而底部平盘生态复绿形成的碳汇能力增加往往是矿山净碳排放能力减少的主要因素,因此,露天建材矿山生态系统净碳排放量达峰阶段持续时间较长。碳减排主要包括开发利用中后期和全面生态复绿期,主要是矿山碳汇能力提升,并最终促进净碳排放量零点的出现。碳归零主要包括全面生态复绿期,矿山生态系统净碳排放量进入负排阶段。

根据露天建材矿山碳排放周期,建材行业可以在时空尺度上根据需求量和矿山边坡占比的实际情况,合理衔接安排矿山投放时间和产能,保持碳排放量处于低值,尽早实现碳中和并充分发挥矿山碳汇价值。矿政管理部门可根据矿山相关开发利用方案,对露天建材矿山开发利用与生态复绿等工作提出更高要求,进行宏观调控,促进区域矿山绿色开发。矿山企业可根据矿山碳排放要素在实际生产过程合理规划排产,精细化管理,增加清洁能源的使用比例<sup>[17-18]</sup>和绿电比例,做好复绿植被的抚育工作,尽量减少矿山“碳达峰”时间,使矿山尽早进入“碳减排”阶段,减少矿山生产对周边生态系统的影响,进行绿色开发,实现绿色矿业。

## 2 实例分析

### 2.1 矿山概况

鄂西某建材矿山面积0.3488 km<sup>2</sup>,隶属江汉平原向鄂西山区过渡带的半山区,低山丘陵地貌单元。山坡平缓,植被茂盛,林木资源丰富,森林覆盖率较高,总体地势呈北西高南东低。海拔最高点位于矿区北部,高程466 m;最低处为南部山脚,海拔高程约为280 m,最大相对高差185 m。所产矿石为建筑石料用灰岩,最大开采高差约为165 m。矿山范围及地形概况如图3所示。

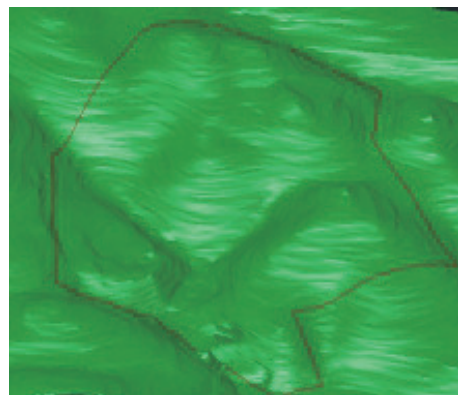


图3 矿区范围及地形3D模拟图

Fig. 3 3D simulation map of mining area and terrain

## 2.2 矿山开发利用及生态复绿

该矿山为露天矿山,可采储量达4 785万t,年产300万t建筑石料用灰岩矿石,矿山基建期1a,服务年限约16a。矿山采用公路开拓、自卸卡车运输的开拓运输方案和爆破落矿的方式,运距小且采装、运输设备循环效率较高。矿石爆破后用5.4 m<sup>3</sup>液压挖

掘机装入45 t自卸卡车经矿区公路运至原矿转运场通过外部车辆运至矿石加工厂进行加工,可完成大规模开采。矿山自上而下分层开采并在终了边帮上形成台阶。矿山边开采边采用树-灌-草相结合的方式对终了边帮进行复绿,养护时间为3a。矿山主要开采及复绿的过程如图4所示。

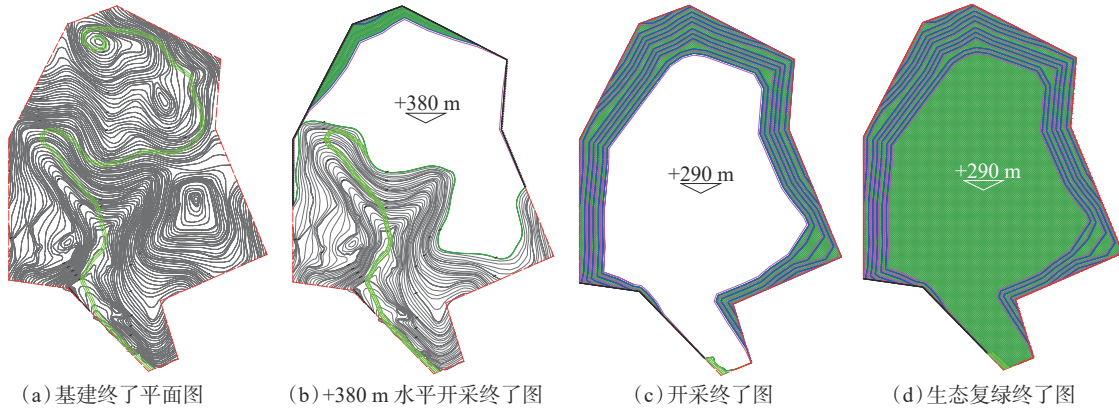


图4 矿山开发利用及生态复绿主要过程图

Fig. 4 Main process of mine development and utilization and ecological greening

## 2.3 矿山净碳排放量周期

### 2.3.1 矿山碳源和碳汇计算依据

矿山碳排放量主要是不同碳源量与碳排放因子之积,参照张振芳<sup>[16]</sup>、杨博宇等<sup>[19]</sup>、胡志奇<sup>[20]</sup>的研究成果,矿山主要的碳排放因素如燃油、炸药以及外购电力的碳排放因子见表1。矿山碳汇可视为不同种类、不同郁闭度等植被碳汇因子与植被面积之积。由于矿山植被种类较多,不同植被碳汇因子不尽相同,本文根据国家林业和草原局等相关资料<sup>[21-23]</sup>进行简化计算,即我国人工林平均蓄积量为59.3 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,按照1.6 t/m<sup>3</sup>的固定二氧化碳能力计算,人工林平均碳汇量为95 t/hm<sup>2</sup>,因此,矿山碳汇因子95 t/hm<sup>2</sup>。矿山碳源的碳排放因子见表1。

### 2.3.2 矿山净碳排放量计算

矿山按照建材矿山的开展绿色矿山创建工作,根据矿山各分层服务年限来看,矿山开采和生态复绿过程中矿山范围内绿化面积和破坏面积各年变化情况如图5所示。

由图5可知,矿山破坏植被的面积呈现先增后减的趋势,绿化面积则与之相反,整体上破坏面积与绿化面积呈现此消彼长的关系。矿山碳汇能力与绿化面积呈正相关,则表明矿山碳汇能力也呈现由减到增的变化。

由于矿山生产能力较为固定,则可认为爆破、工程机械设备、外购电力等碳源的历年碳排放量在其

表1 露天建材矿山碳排放因子

Table 1 Carbon emission factors of open-pit building material mines

碳源类型	碳排放因子	单位	
燃料燃烧	车用汽油	3.08	
	煤油	3.16	
	汽油/柴油	3.20	
	残留燃料油	3.14	
	无烟煤	2.64	
	炼焦煤	2.68	
	褐煤	1.21	
	天然气	2.70	
	直接碳源	生物汽油	1.92
		生物柴油	1.92
		硝酸铵炸药	0.262 9
		岩石硝酸铵炸药	0.233 5
2号岩石硝酸铵炸药		0.222 2	
铵油炸药		0.176 8	
炸药爆破	抗水铵油炸药	0.185 4	
	露天铵油炸药	0.188 8	
	铵沥蜡炸药	0.210 5	
	华北区域电网	0.941 9	
	东北区域电网	1.082 6	
	华东区域电网	0.792 1	
	华中区域电网	0.858 7	
	西北区域电网	0.892 2	
间接碳源	南方区域电网	0.804 2	
	破坏植被	—	95

t(CO<sub>2</sub>)/  
MWh  
t(CO<sub>2</sub>)/  
hm<sup>2</sup>

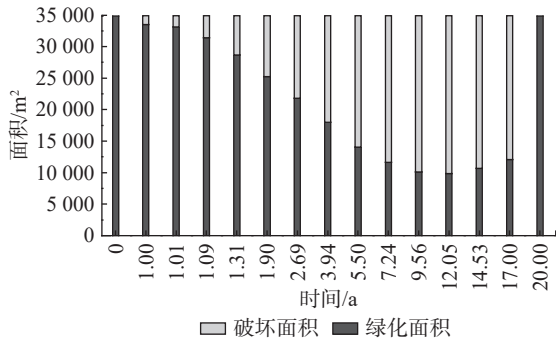


图 5 矿山破坏及绿化面积变化图

Fig. 5 Changes of destruction and greening area of mine

服务期内(不含闭坑生态复绿期)保持不变。矿山所用机械设备较多,主要设备是潜孔钻机、挖掘机、自卸式卡车等,以柴油设备为主,初步测算每天消耗柴油 2.5 t,按照年工作天数 250 d 计算,消耗柴油约为 625 t。矿山电力较少,仅包括少量照明用电,因此,本文中不考虑外购电力的碳源。

根据式(1)和式(2)计算得到矿山各开采水平碳排放量和碳汇变化情况如图 6 所示。根据式(3)以及矿山各分层开发利用时间计算,矿山净碳排放量周期变化情况如图 7 所示。

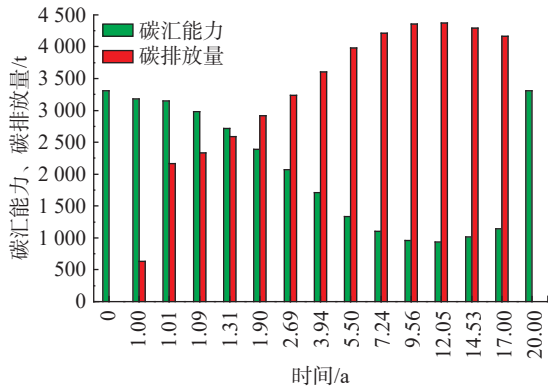


图 6 矿山碳排放量和碳汇能力变化图

Fig. 6 Changes of carbon emission & carbon sink capacity of mine

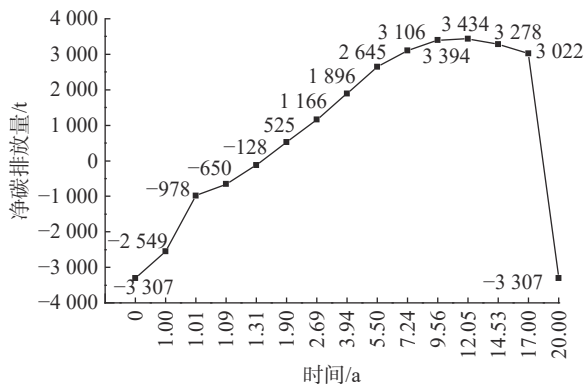


图 7 矿山碳排放量曲线图

Fig. 7 Carbon emission curves of mine

由图 7 可知,该矿山生态系统的净碳排放量在 0~12 a 间逐渐增大,并在 12 a 时实现“碳达峰”。此后矿山碳汇能力随绿化面积增大而逐渐增强,进入碳减排阶段。矿山开采终了时净碳排放量为 3 022 t,尚未进入碳中和阶段。随着生态复绿期间矿山绿化面积进一步增大,18.4 a 时碳汇能力与碳排放量相当,矿山净碳排放量为零,实现了“碳中和”。此后矿山的碳汇能力进一步增强,净碳排放量持续减少,矿山完全复绿形成稳定碳汇能力时碳排放量为零,矿山生态系统净碳排放量为负值,进入碳归零阶段。矿山的碳排放周期与露天建材矿山碳排放模型相符,说明本文建立的露天建材矿山碳排放周期模型是符合实际的,能够用于指导建材行业进行矿山布局,对于露天建材矿山生态复绿和绿色矿山建设有一定的指导作用。

### 3 结论和建议

1) “双碳”视角下露天建材矿山的碳排放周期可分为碳达峰、碳减排(含碳中和)和碳归零三个阶段。露天建材矿山生态系统净碳排放量呈现先增大后减小的趋势,峰值一般出现在矿山服务期的中后期,零点一般在生态复绿阶段出现,此后进入负值阶段。

2) 露天建材矿山服务年限一般较短,伴随着矿山生态系统碳汇能力的降低和恢复。矿山按照绿色矿山标准建设并完成生态复绿义务,则矿山生态系统“双碳”目标实现是较为容易的。

3) 建材矿山是建材产业的上游原料来源之一,需根据不同类型矿山进行合理布局。矿山企业需合理制定生产计划,边开采边及时复绿,恢复矿山生态系统碳汇能力,同时利用清洁能源和绿电等低碳措施,降低单位矿产品碳排放量,为建材行业“双碳”目标实现贡献力量。

4) 矿山企业要充分认识到森林碳汇在抵消碳排放方面的重要作用以及在碳交易市场的经济价值,主动及时抚育生态复绿的植被,增加植被固碳能力,增加森林年碳汇量。

### 参考文献 (References):

[ 1 ] 杨函, 连碧鹏, 史建儒, 等. “双碳”目标下煤矿采空区(废弃矿井)煤层气资源再利用的政策研究[J]. 中国矿业, 2022, 31(3): 37-41.  
 YANG Han, LIAN Bipeng, SHI Jianru, et al. Policy research on reuse of CBM resources in coal mine goafs (abandoned mine) under the goal of “carbon peak and neutrality”[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(3): 37-41.

[ 2 ] 卞正富, 于昊辰, 韩晓彤. 碳中和目标背景下矿山生态修复的

- 路径选择[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 449-459.
- BIAN Zhengfu, YU Haochen, HAN Xiaotong. Solutions to mine ecological restoration under the context of carbon[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1): 449-459.
- [ 3 ] 中华人民共和国国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知(国发〔2021〕23号)[EB/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content\\_5644984.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm), 2021-10-26/2021-11-01.
- [ 4 ] 李勇, 高岚. 中国“碳中和”目标的实现路径与模式选择[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2021, 20(5): 77-93.
- LI Yong, GAO Lan. Implementation path and mode selection of China's carbon neutralization goal[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2021, 20(5): 77-93.
- [ 5 ] 王阳, 唐朝晖, 王紫勋, 等. 选用改进高斯过程回归模型的碳排放短期预测[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(23): 246-251.
- WANG Yang, TANG Zhaohui, WANG Zixun, et al. Short-term forecasting of carbon emission by using improved Gaussian process regression[J]. Computer Engineering and Applications, 2018, 54(23): 246-251.
- [ 6 ] 彭静, 王军, 亓富军, 等. “双碳”目标下配电网多阶段扩展规划[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(7): 153-161.
- PENG Jing, WANG Jun, QI Fujun, et al. Multi-stage expansion planning of a distribution network with double-carbon policy[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(7): 153-161.
- [ 7 ] 沈洪涛, 林虹慧. “双碳”目标推动会计新发展[J]. 财务与会计, 2022(3): 51-56.
- SHEN Hongtao, LIN Honghui. The goal of double carbon promotes the new development of accounting[J]. Finance and Accounting, 2022(3): 51-56.
- [ 8 ] 戴兰. “双碳”目标约束下资源型城市绿色低碳发展路径研究[J]. 中国矿业, 2022, 31(6): 41-49.
- DAI Lan. Research on green and low-carbon development path of resource-based cities under the constraint of “double carbon” goal[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(6): 41-49.
- [ 9 ] 李春慧, 胡林, 王晓宁, 等. 基于“双碳”目标的城乡规划策略[J]. 规划师, 2022(1): 12-16.
- LI Chunhui, HU Lin, WANG Xiaoning, et al. Urban rural planning strategies based on the carbon emission peak and carbon neutrality visions[J]. Planners, 2022(1): 12-16.
- [ 10 ] 张伟伟. 有色金属工业碳排放现状与实现碳中和的途径[J]. 有色冶金节能, 2021, 37(2): 1-3.
- ZHANG Weiwei. Carbon emission status of nonferrous metal industry and ways to realize carbon neutralization[J]. Energy Saving of Non-ferrous Metallurgy, 2021, 37(2): 1-3.
- [ 11 ] 谭志宣, 夏洪伟. 国内减碳现状及“双碳”目标实现途径[J]. 能源研究与管理, 2022(1): 13-18.
- TAN Zhixuan, XIA Hongwei. Current situation of domestic carbon reduction and ways to achieve the goal of “double carbon”[J]. Energy Research and Management, 2022(1): 13-18.
- [ 12 ] 江亿, 胡珊. 中国建筑部门实现碳中和的路径[J]. 暖通空调, 2021, 51(5): 1-13.
- JIANG Yi, HU Shan. Paths to carbon neutrality in China's building sector[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2021, 51(5): 1-13.
- [ 13 ] 鞠建华. “双碳”目标背景下矿业发展新机遇与实现路径[J]. 中国矿业, 2022, 31(1): 1-5.
- JU Jianhua. New opportunities and implementation path of mining development under the background of “double carbon” goal[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(1): 1-5.
- [ 14 ] 樊大磊, 李富兵, 王宗礼, 等. 碳达峰、碳中和目标下中国能源矿产发展现状及前景展望[J]. 中国矿业, 2021, 30(6): 30-32.
- FAN Dalei, LI Fubing, WANG Zongli, et al. Development status and prospects of China's energy minerals under the target of carbon peak and carbon neutral[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(6): 30-32.
- [ 15 ] 强海洋, 高兵, 郭冬艳, 等. 碳中和背景下矿业可持续发展路径选择[J]. 中国国土资源经济, 2021, 34(4): 4-11.
- QIANG Haiyang, GAO Bing, GUO Dongyan, et al. Options for sustainable development of mining industry under the background of carbon neutrality[J]. Natural Resource Economics of China, 2021, 34(4): 4-11.
- [ 16 ] 张振芳. 露天煤矿碳排放核算及碳减排途径研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2013: 32-54.
- [ 17 ] 安慧显. 我国可再生能源替代化石能源的发展现状及问题研究[J]. 北方经济, 2019(4): 52-54.
- AN Huiyu. Research on the development status and problems of renewable energy replacing fossil energy in China[J]. Northern Economy, 2019(4): 52-54.
- [ 18 ] 邹才能, 熊波, 薛华庆, 等. 新能源在碳中和中的地位与作用[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(2): 411-420.
- ZOU Caineng, XIONG Bo, XUE Huaqing, et al. The role of new energy in carbon neutral[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(2): 411-420.
- [ 19 ] 杨博宇, 白中科, 张笑然. 特大型露天煤矿土地损毁碳排放研究: 以平朔矿区为例[J]. 中国土地科学, 2017, 31(6): 59-69.
- YANG Boyu, BAI Zhongke, ZHANG Xiaoran. Carbon emission from land damage area in large opencast coal mines: a case study of Pingshuo Mining Area[J]. China Land Sciences, 2017, 31(6): 59-69.
- [ 20 ] 胡奇志. 建材矿山碳减排途径探索[J]. 中国水泥, 2022(1): 56-59.
- HU Qizhi. Exploration on ways of carbon emission reduction in building materials mines[J]. China Cement, 2022(1): 56-59.
- [ 21 ] 国家林业和草原局. 森林生态系统服务功能评估规范: GB/T 38582—2020[S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2020.
- [ 22 ] 我国森林质量不断提升 固碳能力显著增强[EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/main/586/20220513/122951452993151.html>, 2021-05-13.
- [ 23 ] 寇江泽. 实现碳中和 森林作用大[N]. 人民日报, 2021-01-14(14).