

# 垃圾焚烧发电行业的碳减排效应浅析

王文波, 张 灿

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘 要] 垃圾焚烧发电可以产生 2 类碳减排:一是避免垃圾固废在填埋场堆放过程中分解释放温室气体(主要成分为甲烷  $\text{CH}_4$ );二是利用垃圾焚烧锅炉产生的过热蒸汽供汽轮发电机组发电,避免相应电量由火力发电导致的温室气体排放。本文简要介绍了我国碳交易市场的建立和发展历程,在此基础上对垃圾焚烧发电项目减排效应和碳减排量测算进行了分析,指出垃圾焚烧发电项目可开发为 CCER 进行碳市场交易,单吨垃圾的碳减排量约为 0.1~0.5 tCO<sub>2</sub>。作为可再生能源的重要组成部分,垃圾焚烧发电行业应积极融入碳市场交易,扛起降污减碳重任,助力双碳目标实现。

[关键词] 碳市场;碳配额;CCER;垃圾焚烧发电;碳减排效应;碳减排量

[中图分类号] X705

[文献标志码] A

[文章编号] 1672-6103(2022)03-0008-06

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2022.03.002

近年来,地球变暖形势严峻,为减缓气温上升速度,全球 196 个国家在 2015 年的《巴黎协定》中承诺,将共同努力把全球气温上升控制在 2℃之内,并以 1.5℃作为进一步努力的目标<sup>[1]</sup>。我国郑重承诺“中国二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取于 2060 年前实现碳中和”。

在固废领域方面,温室气体排放的主要来源是填埋场,垃圾焚烧发电是生活垃圾减量化、无害化、资源化的重要手段,通过焚烧替代填埋,可有效减少甲烷等温室气体的排放。国际上众多国家和地区的实践证明了市场机制在节能减碳方面的作用,为了减少温室气体排放、推动绿色低碳发展,我国开始推进全国碳排放权交易市场的建设。在碳排放交易试点市场 ETS 和自愿减排机制 CCER 的基础上,我国于 2021 年 7 月正式启动全国碳排放权交易市场。本文简要介绍我国碳排放权交易市场的建设及发展历程,在此基础上着重分析垃圾焚烧发电项目的碳减排效应,并对其减排量的计算和影响因素进行了分析。

## 1 我国碳排放权交易市场建设及发展历程

### 1.1 碳排放权交易市场建设

2020 年 10 月 28 日,生态环境部就《全国碳排放权交易管理办法(试行)》(征求意见稿)和《全国碳排放权登记交易结算管理办法(试行)》(征求意见稿)公开征求意见。前者于 2021 年 1 月 5 日正式发布,经过近半年的修订后者一分为三正式生效,加上配额分配、核查指南等文件,全国碳市场制度文件梳理见图 1<sup>[2]</sup>。

2021 年 7 月 16 日,全国碳排放权交易市场正式启动线上交易。截至 2021 年 12 月 31 日,全国碳市场累计运行 114 个交易日,碳排放配额累计成交量 1.79 亿 t,累计成交额 76.61 亿元。按履约量计,履约完成率为 99.5%。12 月 31 日收盘价 54.22 元/t,较 7 月 16 日首日开盘价上涨 13%,市场运行健康有序,交易价格稳中有升<sup>[3]</sup>。

### 1.2 我国碳市场交易的发展历程

在全国碳市场建设之前,我国已经开始碳市场交易,碳市场交易的发展主要分为以下 3 个阶段。

#### 1.2.1 CDM 阶段(2005—2012 年)

在 2013 年之前,我国参与的是成熟的国际碳交易体系——清洁发展机制 CDM(Clean Development Mechanism),主要交易对手方来自欧盟。2008—

[收稿日期] 2022-03-20

[作者简介] 王文波(1975—),男,硕士,高级工程师,主要从事垃圾焚烧发电及其他固废业务的投资开发、生产运营管理工作。

[引用格式] 王文波,张灿.垃圾焚烧发电行业的碳减排效应浅析[J].中国有色冶金,2022,51(3):8-13.

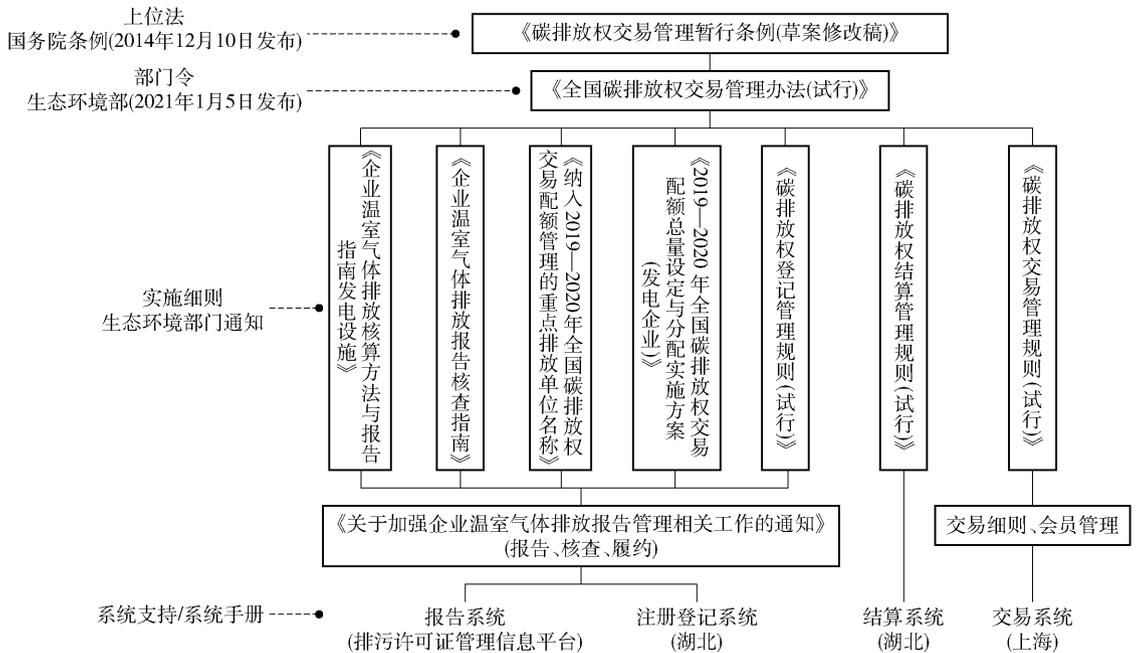


图1 全国碳市场的制度文件梳理

Fig. 1 The system documents of the national carbon market

2009年金融危机,受实体经济不振、社会生产缩减、能耗下降的影响,碳交易市场持续低迷,对CER(温室气体减排量, Certified Emission Reduction)需求下降。

### 1.2.2 区域碳排放交易试点阶段(2013—2020年)

为了填补国际CDM项目终结带来的国内碳交易市场空白,我国于2012年起逐步开始搭建自己的碳排放交易体系——碳排放交易试点市场ETS+自愿减排机制CCER(国家核证自愿减排量, Chinese Certified Emission Reduction),构成了我国2013—2020年间碳交易的主体结构。

### 1.2.3 全国碳排放权交易市场配额现货交易阶段(2021—)

以试点为基础,2017年底以发电行业为突破口的全国性碳排放权交易市场正式启动建设,经过基础建设期、模拟运行期,2021年进入真正的配额现货交易阶段。

## 2 碳排放配额与CCER

CCER,指对我国境内可再生资源、林业碳汇、甲烷利用等项目的温室气体减排效果进行量化核证,并在国家温室气体自愿减排交易注册登记系统中登记的温室气体减排量。

全国碳排放权交易市场的交易产品为碳排放配额,根据全国碳交易的市场数据,开市以来碳排放配额价格从48元/t起步,一度升至61.07元/t,接着跌破首日开盘价,最低至38.50元/t;随着履约期临近,碳排放配额价格再次回到首日开盘价上方,最高至62.29元/t,创出开市以来新高。CCER方面,多数试点市场的CCER价格仍低于全国碳市场的配额价格,以上海碳市场为例,CCER价格多在36元/t左右。

### 2.1 碳交易的机理

如图2所示,假设市场中有A、B两类排放者,每年政府主管部门分配给A、B企业相同的碳排放配额各100万t, A企业一年的实际碳排放量为130万t,超过了规定配额30万t,而B企业一年实际碳排放量为70万t,距离达到规定配额还剩余30万t排放空间。在履约周期结束配额清缴时, A、B企业需上缴与排放量相等的配额, A企业就可向B企业购买富余的30万t配额完成履约任务,否则将会面临惩罚。通过碳市场进行配额交易,一方面可通过设定合理的配额总量以削减控排企业的碳排放量,并利用市场机制将碳排放的外部环境成本内部化,鼓励企业通过技术升级等方式,逐步降低碳排放;另一方面有助于技术和资金流向B类企业,促

进其低碳发展。

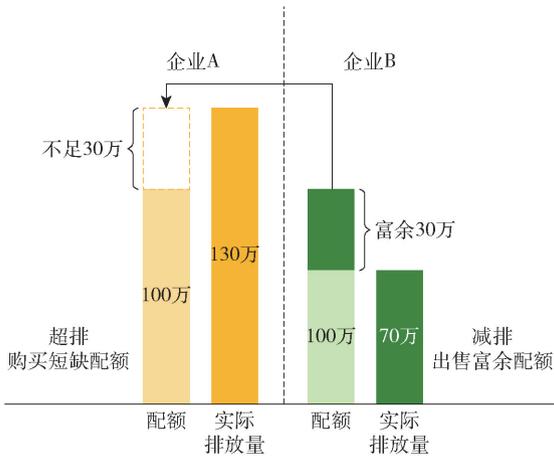


图2 碳交易机理

Fig. 2 The mechanism of carbon trading

### 2.2 CCER 申请及碳抵消机制

如图3所示,CCER碳抵消机制,是指控排主体在履约过程中,从碳市场购买一定数量的CCER抵消自身碳排放的整个过程。如前文所述,CCER市场价格低于碳配额价格,因此控排企业更愿意低价购买CCER完成履约任务,这样就为CCER项目(自愿减排项目)业主创造了盈利机会。

碳市场的一个重要目的是通过设定合理的碳配额总量削减控排企业的碳排放量,CCER的引入相当于增加了碳配额供给总量,从而改变了碳配额供求关系;CCER抵消比例过大将会对碳市场价格及碳减排效果产生较大影响,这就违背了政策设计的初衷。因此,CCER作为碳市场的一种有益补充,需严格限制其抵消比例。已实施的《碳排放权交易管理办法》,规定了“重点排放单位每年可以使用CCER抵消碳排放配额的清缴,但抵消比例不得超过应清缴碳排放配额的5%”。

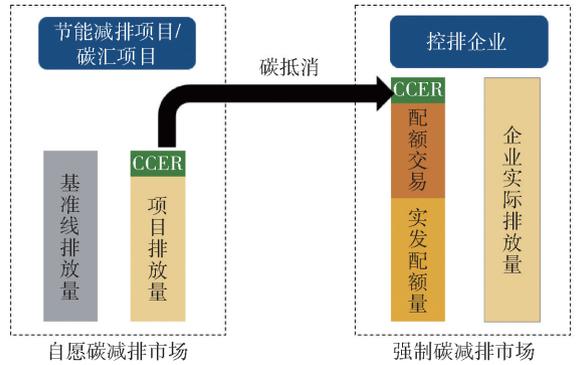


图3 碳抵消机制

Fig. 3 The mechanism of carbon offset

### 2.3 CCER 项目开发现状

在CDM项目发展受限的情况下,我国建立了国内的自愿减排碳信用交易市场。2012年6月,国家发展和改革委员会印发《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》(以下简称《暂行办法》)、《温室气体自愿减排项目审定与核证指南》两大关键文件,建立CCER签发流程和框架,正式启动了CCER项目试点工作。2015年自愿减排交易信息平台上线,CCER进入交易阶段。

CCER项目的产生要经历6个阶段:项目识别、审定项目及申请备案、项目备案并登记、减排量备案、上市交易、注销。对于同一个CCER项目,项目备案只需发生1次,而减排量备案则会因所产生CCER的时段不同发生多次。

为进一步完善和规范温室气体自愿减排交易,2017年国家发展和改革委员会启动《暂行办法》修订,并暂缓CCER项目备案申请,存量的CCER交易仍在各大试点进行。

如图4所示,截至暂缓实施之日,已公示的CCER项目数量已达2871个,已备案项目861个,



图4 CCER项目开发现状

Fig. 4 The status of CCER development

减排量备案项目中约有 254 个,减排量约为 5 000 多万 t。

与生活垃圾焚烧发电项目相关的类型为避免甲烷排放和废物处置,其中避免甲烷排放项目为 406 个,废物处置项目为 180 个<sup>[4]</sup>。作为环保领域参与碳排放交易最重要的细分领域,本文着重分析了垃圾焚烧发电项目的碳减排效应,并对其减排量的计算和影响因素进行了分析。

### 3 垃圾焚烧发电项目的碳减排效应分析

采用焚烧法处理城市生活垃圾,避免了这部分垃圾在填埋场堆放过程中分解释放温室气体(主要成分为甲烷  $\text{CH}_4$ );而且利用垃圾焚烧锅炉

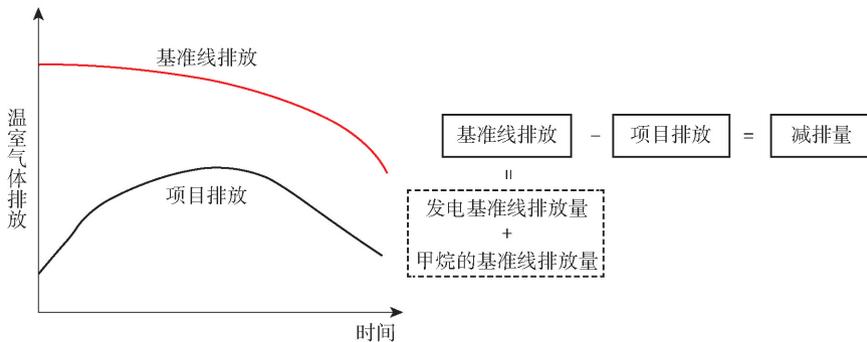


图5 CCER项目减排量计算示意图

Fig. 5 The calculation of certification emission reduction

准线不是一成不变的。《温室气体自愿减排项目审定与核证指南》规定项目参与者可从 2 个备选的计入期限中选择其中之一:固定计入期和可更新的计入期。固定计入期为 10 年;可更新计入期,一个单一的计入期最长可为 7 年,最多可更新延长 2 次(即最长为 21 年),更新延长的前提是“原项目基准线仍然有效或者已经根据适用的新数据加以更新”。当煤电被新能源逐步替代,煤电抵消量会逐步降低,当煤电基本被新能源替代后,这个抵消量也就不存在了。同样,当垃圾不再填埋时,填埋抵消量也会不存在。当 2 个抵消量均不存在,而焚烧过程还会产生真实的碳排放,垃圾焚烧发电项目就有可能由负碳排放转为正碳排放。这种情况下,如何维持垃圾发电项目负碳工厂甚至零碳工厂的状态就成为一种挑战。当然,上述 2 个抵消量趋零是一个持续几十年的漫长过程,在这个过程中,应对的举措包括:垃圾分类,从垃圾中分离出尽可能多的化石碳组分,同时尽可能多地增加生物碳组分(餐厨、污泥、

产生的过热蒸汽供汽轮机发电,还可以避免相应电量由火力发电导致的温室气体排放,实现温室气体减排。2 类减排加总,可以得出该项目总的温室气体减排量,因此垃圾焚烧发电项目具备双重减排效应,可以开发为 CCER 项目,将来参与碳市场交易。

#### 3.1 基准线法计算减排量

垃圾焚烧发电项目的减排量采用基准线法计算。如图 5 所示,基本的思路是假设在没有该 CCER 项目的情况下,为了提供同样的服务,最可能建设的其他项目所带来的温室气体排放,即基准线排放,减去该 CCER 项目的温室气体排放量和泄漏量<sup>[5]</sup>。

需要指出的是,垃圾焚烧发电项目的碳排放基

工业垃圾等);不断提高发电效率,降低厂用电率,减少化石燃料原料的使用;在厂区增设光伏发电设施;应用碳捕捉技术等。

#### 3.2 基准线排放量

垃圾焚烧发电项目基准线排放包括替代垃圾填埋产生的  $\text{CH}_4$  排放和替代火力发电相同电量产生的排放,共 2 个要素。

##### 3.2.1 甲烷基准线排放

温室气体减排量核证机构对垃圾焚烧发电项目核证采用“多选垃圾处理方式”,通常假定基准线排放量的计算情境为:在垃圾焚烧发电项目实施之前,服务区对于生活垃圾的处理方式均为运输至填埋场填埋,且填埋场没有沼气收集利用的装置,填埋所产生气体直接排放至空气中。建立垃圾焚烧发电项目后可以取代原有的简易填埋处理方式,减少垃圾填埋场甲烷的排放。

##### 3.2.2 电网基准线排放

利用垃圾焚烧产生热能进行发电,属于可再生

能源发电项目,将替代以火力发电为主的电网同等的电量,从而实现温室气体减排。

### 3.3 焚烧项目排放量

项目排放包括项目消耗电力产生的排放,燃烧化石燃料产生的排放,垃圾焚烧产生的温室气体 $\text{CO}_2$ 排放,焚烧产生的 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 气体排放和废水处理产生的排放,共5个要素。

1) 电力消耗排放。生活垃圾焚烧发电停炉或停机检修期间需耗用外购电力。焚烧发电项目从化石燃料电厂或从电网输入电量,结合项目消耗电量对应的排放因子,可以计算出焚烧项目相关的电力消耗产生的排放量。

2) 化石燃料消耗排放。在焚烧启炉期间及焚烧期间,为提高垃圾热值,需耗用外购煤、柴油、汽油等,燃烧化石燃料会产生温室气体排放。

3) 燃烧产生的 $\text{CO}_2$ 排放。生活垃圾中的纺织

品、橡胶、塑料含有一定比例的化石碳,在被焚烧时会产生一定量的温室气体。

4) 燃烧产生的 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 排放。生活垃圾焚烧过程中会产生极少量的 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ ,采用《IPCC 国家温室气体排放清单指南》中的参数来计算燃烧产生 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 的项目排放。

5) 废水处理产生的排放。若项目产生的排放废水采用有氧处理方式,则废水处理不产生温室气体的排放;若项目经厌氧处理或未经处理直接排放,则废水处理会产生一定量的 $\text{CH}_4$ 排放。

## 4 不同垃圾焚烧发电项目碳减排量对比

如表1所示,根据我国自愿减排交易信息平台披露的垃圾焚烧发电项目的CCER监测报告,可以大致统计得出单吨垃圾焚烧的碳减排量,为0.1~0.5 t  $\text{CO}_2$ 。

表1 不同CCER项目碳减排量对比

Tab.1 The contrast of certification emission reduction from different CCER projects

项目名称	年处理规模/万 t	监测期	监测天数/ d	监测期总 减排量/t	单吨垃圾 减排量/t
A项目(第一监测期)	50	2013. 1. 1—2015. 8. 31	973	139 853	0. 10
A项目(第二监测期)	50	2015. 9. 1—2016. 10. 31	426	151 923	0. 26
B项目一期(第一监测期)	26. 4	2008. 3. 26—2015. 12. 31	2 837	484 816	0. 24
B项目二期(第一监测期)	12	2011. 3. 9—2015. 12. 31	1 759	273 652	0. 47
C项目(第一监测期)	50	2015. 6. 1—2016. 5. 31	366	72 270	0. 14
C项目(第二监测期)	50	2016. 6. 1—2016. 12. 31	214	81 453	0. 28
D项目(第一监测期)	40	2013. 7. 17—2014. 12. 31	533	21 912	0. 04
D项目(第二监测期)	40	2015. 1. 1—2016. 11. 30	700	145 294	0. 19

由表1可知,不同项目的吨垃圾温室气体减排量存在差异,造成此差异的原因主要有内、外2方面。外因是项目所在地的气候条件,在温暖湿润的气候条件下,微生物活性相对较强,垃圾的降解速率也高,对应的甲烷基准线排放量相对较大,因此气候温暖湿润地区相对寒冷地区的垃圾焚烧发电项目,其温室气体减排量相对较大;内因则是垃圾焚烧发电项目本身的垃圾热值和运营效率(如非停次数)等,对化石燃料消耗排放和电力消耗排放因素产生影响,从而影响项目本身的温室气体排放。

## 5 结语

在国家双碳目标的指引下,全国碳交易市场的建立,一方面是以市场机制应对气候变化、减少温室

气体排放的机制创新;另一方面有助于激励排放实体通过CCER低成本完成碳减排目标。此外,还有助于将技术和资金导向低碳发展领域,推动企业发展新旧动能转换,倒逼企业淘汰落后产能、转型升级。作为可再生能源的重要组成部分,垃圾焚烧发电行业应积极融入碳市场交易,扛起降污减碳重任,助力双碳目标实现。

### [参考文献]

- [1] 范乐思(Lars Faeste),陈百平,何大勇,等. 助力新达峰目标与碳中和愿景[R]. 波士顿咨询,2021.  
FAESTE Lars, CHEN Baiping, HE Dayong, et al. Support the new peak targets and carbon neutral vision[R]. The Boston Consulting Group, 2021.
- [2] 中国节能协会碳中和专业委员会. 登记/结算/交易管理规则出台,我们距离全国碳市场开市还远吗[EB/OL]. <http://>

www.acet-ceca.com/desc/10083.html.

Carbon Neutrality Committee of China Energy Conservation Association. The rules of registration, clearing and trading were put, are we far from the opening of a national carbon market[EB/OL]. <http://www.acet-ceca.com/desc/10083.html>.

- [3] 生态环境部. 全国碳市场第一个履约周期顺利结束[EB/OL]. [2021-12-31]. [https://www.mee.gov.cn/ywz/ydqhbh/wsqtzk/202112/t20211231\\_965906.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywz/ydqhbh/wsqtzk/202112/t20211231_965906.shtml).

Ministry of Ecology and Environment. The first performance period of national carbon market closed successfully[EB/OL]. [2021-12-31]. [https://www.mee.gov.cn/ywz/ydqhbh/wsqtzk/202112/t20211231\\_965906.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywz/ydqhbh/wsqtzk/202112/t20211231_965906.shtml).

- [4] 颜磊. 碳市场如何为环保行业带来“额外”收益[EB/OL]. 中

国固废网, [2021-01-18]. <https://www.solidwaste.com.cn/news/319151.html>.

YAN Lei. How can carbon markets bring additional benefits to the environmental protection industry [EB/OL]. [www.solidwaste.com.cn](http://www.solidwaste.com.cn), [2021-01-18]. <https://www.solidwaste.com.cn/news/319151.html>.

- [5] 邹序元. CCER对垃圾焚烧发电的影响[EB/OL]. 中国固废网, [2021-08-16]. <https://www.solidwaste.com.cn/news/326789.html>.

ZOU Xuyuan. The CCER impact on the MSW-to-energy industry [EB/OL]. [www.solidwaste.com.cn](http://www.solidwaste.com.cn), [2021-08-16]. <https://www.solidwaste.com.cn/news/326789.html>.

## Brief analysis of carbon emission reduction effect of waste incineration power generation industry

WANG Wen-bo, ZHANG Can

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Two types of carbon emission reduction can be achieved by waste incineration power generation. The first is to prevent the decomposition of solid waste during the stockpiling in landfill to release greenhouse gas (its main composition is  $\text{CH}_4$ ); secondly, the superheated steam produced in waste incineration boiler can be used to power the turbo-generator set, thus avoiding greenhouse gas emission caused by thermal power generation. This paper briefs on the establishment and development course of China's carbon trading market, based on which analysis is made on the emission reduction effect and measurement of carbon reduction of waste incineration power generation project. It points out that the waste incineration power generation project can be developed as CCER for carbon market trading, with the carbon emission reduction per ton of waste as about 0.1 – 0.5  $\text{tCO}_2$ . As a significant component of renewable energy, waste incineration power generation industry should actively engage in carbon market trading, shoulder the important task of pollution and carbon reduction and facilitate the realization of the carbon peaking and carbon neutrality goals.

**Key words:** carbon market; carbon quota; CCER; waste incineration power generation; carbon emission reduction effect; carbon emission reduction

## 金属短缺将影响欧洲绿色能源发展

比利时鲁汶大学报告显示,为实现碳中和目标,欧盟对锂、稀土、镍、钴的需求量预计将分别增加 35 倍、26 倍、2 倍、3.3 倍,就电动汽车、风力涡轮机、蓄电装置生产环节而言,铝、铜、硅、锌等金属需求也将相应增加。

在 2050 年以前,虽然有 40% ~ 75% 的金属需求可以通过回收来满足,但由于绿色能源体系建设需要消耗大量金属资源,预计欧洲在未来的 15 年,仍将面临严重的金属短缺。

报告指出,中国和印度尼西亚将成为全球电池金属和稀土产能的两大增长极,而欧洲在铝、镍和铜等资源的供应上,恐将继续依赖俄罗斯。因此,欧洲需在未来 2 年加快行动,填补金属原料供应缺口。

(资料来源:中国有色金属报)