

# Making Use of the Capture CO<sub>2</sub> for the Energy Storage and Carbon Reduction Emission

Jiamin Jin

Shanghai Research Institute of Materials, Shanghai  
Email: jjm82@163.com

Received: Jul. 6<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 28<sup>th</sup>, 2017; published: Jul. 31<sup>st</sup>, 2017

---

## Abstract

According to the nature of the carbon gasification reaction( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ ) that it can absorb a lot of calories and consume many  $\text{CO}_2$ , this paper describes making use of the capture  $\text{CO}_2$  and carbon as raw material for CO production, converting electrical energy into chemical energy, and the theory basis of the energy storage and carbon reduction emission, production process, the main production equipment, the effect of the energy storage and the carbon reduction emission, economic benefit and energy consumption, etc. The results show that this method has significant energy storage and carbon reduction emission, low energy consumption, obvious economic benefit and feasible production technology. Compared with carbon capture and storage (CCS), it is a feasible and better way. But this is a big project, and requires multiple collaboration and unified arrangement by the country to carry out.

## Keywords

Carbon Capture, Gasification, Energy Storage, Carbon Reduction Emission

---

# 利用捕捉的CO<sub>2</sub>贮能减排

金家敏

上海材料研究所, 上海  
Email: jjm82@163.com

收稿日期: 2017年7月6日; 录用日期: 2017年7月28日; 发布日期: 2017年7月31日

---

## 摘要

根据碳气化反应( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ )能够吸收大量热量和消耗许多二氧化碳的性质, 文中阐述了利用捕捉的

CO<sub>2</sub>和碳作为生产CO的原材料,把电能转变为化学能,并加以贮藏和减排的理论依据、生产流程、主要生产设备、贮能减排和节能减排效果,经济效益、能耗等.结果认为这个方法贮能减排显著、能耗低、经济效益明显、生产技术可行.但是这是一个特大的工程项目,要多方面协作,要由国家统一安排实施。

## 关键词

捕碳, 碳气化, 贮能, 减排

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

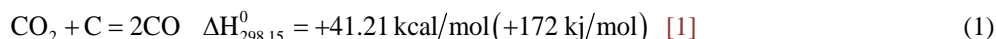
地球气候变暖,极端气候频发,给人类的生存带来严重威胁。2015年,联合国巴黎气候变化会议以后,减排捕碳成为全球各国统一行动。保护地球,保护人类的生存环境,迫在眉睫,刻不容缓。

从网上看,有关捕碳,人们的注意力似乎全集中在捕碳掩埋技术路线,即CCS(Carbon Capture and Storage)技术路线。目前,全世界有近200个捕碳项目,有许多捕碳公司,投入的资金也很大。有关CCS技术路线,也有许多议论,如费用高,掩埋地方有限以及存在安全隐患等问题,因此,捕捉封存技术路线是否是久之计,值得人们深思。

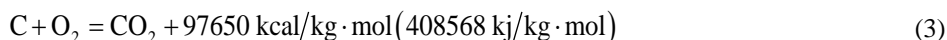
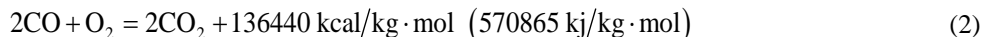
依靠捕捉的CO<sub>2</sub>贮能减排也许是一个实现有效减排的好方法。

## 2. 利用捕捉CO<sub>2</sub>贮能减排的理论依据

利用捕捉的CO<sub>2</sub>贮能减排或生产煤气是基于碳的气化反应,  
即:



或  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - 38790 \text{ kcal/kg} \cdot \text{mol} (162297 \text{ kJ/kg} \cdot \text{mol}) \quad [2]$



式(1)又称布氏反应(Boudouard),是一个非常重要的工业反应。煤气发生炉生产煤气、高炉炼铁、鼓风炉炼铜、隧道窑生产海绵铁、钢铁零件表面固体渗碳等工业生产,全是依靠这个反应。工业生产中应用已有百余年历史。

这个反应是吸热反应,由式(1)的热效应计算得到1公斤碳气化后生成CO吸收的热量是13,525 kJ,可折合为3.76度电的发热量。与此同时,消耗了3.67公斤CO<sub>2</sub>,也就是说,贮存1度电,同时减少了约1公斤CO<sub>2</sub>的排出。

这就是利用捕捉的CO<sub>2</sub>把电能转变为化学能,实现贮能减排的理论依据。

从图1看出,当反应温度在950℃时,气相中CO的浓度几乎达到100%。

图2[3]为CO<sub>2</sub>与焦碳反应气相成分与温度和时间的关系。从图2看出,在1000℃以下,反应速度很慢,当温度达到1200℃,反应速度就很快,只需几秒就达到平衡。由此,气化贮能生产的工作温度应该在1200℃左右。

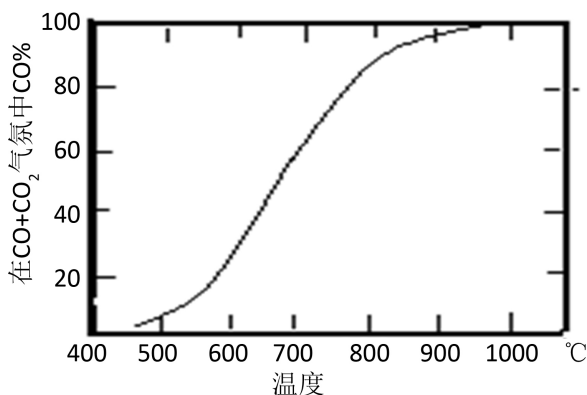


Figure 1. Equilibrium values of CO<sub>2</sub>% and CO% for reaction

图 1. 碳气化反应达到平衡时气相成分与温度的关系[4]

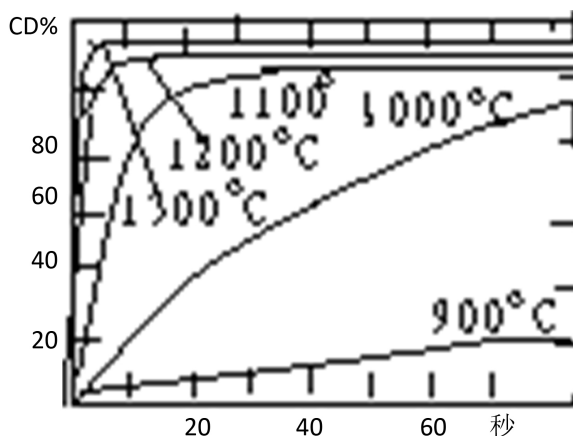


Figure 2. Gasification rates of CO<sub>2</sub> and coke reaction at different Temperature

图 2. 二氧化碳与焦炭反应，气相成分与温度和时间关系

### 3. 气化贮能发电生产工艺流程

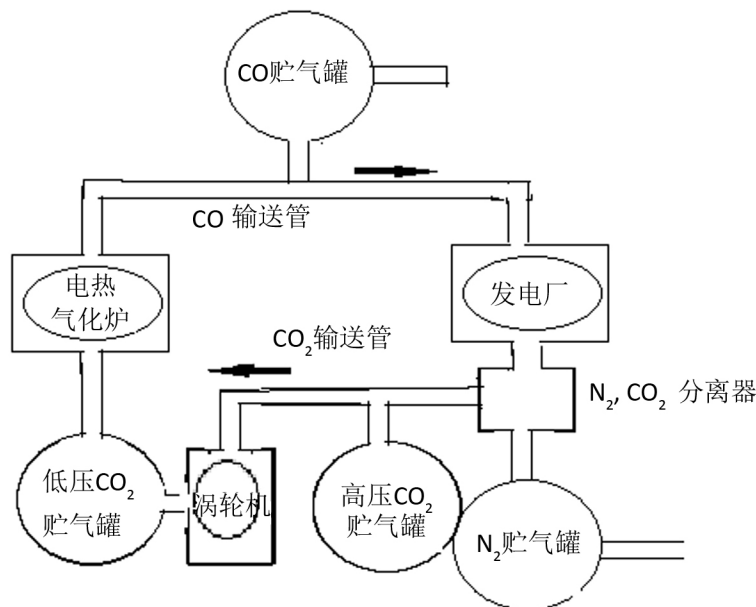
捕碳气化贮能发电生产流程示意图如图 3 所示。

捕捉的 CO<sub>2</sub> + 煤碳粉在电热煤气发生炉内发生反应生成 CO ( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ )。生成的 CO 进入 CO 贮气罐贮存。CO 从贮气罐输送至发电厂发电。发电厂产生的废气(CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)经分离后，CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 分别进入 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 贮气罐。分离出来的 CO<sub>2</sub> 进入高压贮气罐，然后进入涡轮机带动发电机发电，由涡轮机排出的二氧化碳进入低压二氧化碳贮气罐，再进入气化炉。在气化炉和发电厂之间有 2 根输气管和多个贮气罐相连。一根为 CO 管。另一根为 CO<sub>2</sub> 气管。输气管、气化炉、发电厂构成了一个封闭的循环系统。CO<sub>2</sub> 是气化炉的原材料，CO 是发电厂的燃料。发电厂由原来的煤直接燃烧变为 CO 燃烧，即间接燃烧。

### 4. 气化贮能关键设备

气化贮能的关键设备有二；即电热煤气发生炉和大型的 N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> 分离机。

电热煤气发生炉也可称气化炉或换能炉，是一个用电热生产煤气的新型的大型加热炉。电炉的最高工作温度应该是 1200°C。电炉的功率大小视设计贮能大小或应用 CO<sub>2</sub> 多少而定。如果想把发电机组的谷电能量全部贮存，一个 300 MW 发电机组必须配备约 35 万 kw 电热气化炉。



**Figure 3.** Schematic diagram of gasification energy storage and generate electricity

**图 3.** 气化蓄能发电示意图

燃煤煤气发生炉使用已有 100 年历史。电热煤气发生炉与燃煤煤气发生炉不同的是前者用电供热，后者是燃煤供热，除供热不同外，其他的技术应该可完全借鉴。至于电热气化炉采用那一种结构、大小等问题，都应由炉子专家和试验后决定。我们现在能建 6000 多立米的特大型高炉，预料建一个大型电热气化炉，应该不存在问题。

$N_2$ - $CO_2$  分离机或大型的  $CO_2$  捕捉机是主要设备。目前，全球已有 15 台大型捕捉  $CO_2$  机组投入运行，年捕捉量为 2800 万吨，据此计算，一个机组的年捕捉量是 187 万吨。一个 300 Mw 机组，每小时耗煤量大约是 100 吨标煤，产生的  $CO_2$  量大约是 320 吨，年排出  $CO_2$  量约为 280 万吨。据此，配备 2 个捕捉  $CO_2$  机组即能满足生产要求。

采用富氧燃烧发电，可以免去  $N_2$ - $CO_2$  分离机组。考虑到  $O_2$ - $N_2$  分离的能耗可能远比  $N_2$ - $CO_2$  分离的大，所以认为采用  $N_2$ - $CO_2$  分离较为合理。如果仅为捕捉  $CO_2$ ，目前国际上更倾向于采用“燃烧后捕碳”，即采用  $N_2$ - $CO_2$  分离技术路线。

## 5. 气化贮能原材料

碳气化贮能原材料为煤炭和  $CO_2$  二种。

为加快气化反应速度，煤炭粉的粒度应越小越好，但究竟大小如何，须看炉子结构和经济而定。煤炭中也可加入加快反应速度的触媒。

当矿碳耗尽时，柴禾作为碳气化贮能用原材料预料是必然的。比较合理的是目前被丢弃的数量极大的柴禾应当与煤炭混合使用，既可废物利用，提高经济效益，保护矿产资源，保护环境，又可提高煤气的发热值。如果植物碳作为碳气化原材料能满足人类活动所需能量的要求，达到植物和生物之间的生态平衡，则困扰人类的气候变暖和能源枯竭也许永远得到解决。

$CO_2$  是主要原材料，美国麻省理工大学公布资料<sup>1</sup>，捕捉  $CO_2$  并将其压缩到超临界液体，每一吨费用只需 25 美元，一吨  $CO_2$  可生产 1020 立方 CO，生产 1 立米 CO， $CO_2$  的原料成本只有 0.025 美元。其实，目前的世界水平是捕捉一吨  $CO_2$  的费用是 60~90 美元。我国宣布在 50 美元以下。CCS 技术中主要

<sup>1</sup>上海证券报，2015-12-11。

费用是装罐掩埋费用很高，而仅仅捕捉 CO<sub>2</sub> 费用通常在捕捉掩埋费用的 1/10，约 5 美元左右一吨。远低于煤的价格。碳气化贮能生产对 CO<sub>2</sub> 气纯度没有高的要求。如果气化厂后面设有除硫装置，则电厂后面就可免去脱硫和脱硝装置。

## 6. 利用捕捉的 CO<sub>2</sub> 贮能减排是一个好方法

### ① 贮能减排

由化学反应式，贮能和减排同时发生。1 公斤碳气化生成 CO 吸收的热量是 13,525 kJ，1 公斤标煤是 11,632 kJ。换算成功率分别是 3.76 kwh。和 3.23 kwh。1 公斤碳气化时消耗的 CO<sub>2</sub> 量是 3.67 公斤，也就是说贮存 1 度电就可以减少 1 公斤 CO<sub>2</sub> 排放。1 吨标煤可以贮存 3230 度电，与贮能同时，消耗了 3.1 吨 CO<sub>2</sub>，即减少了 3.1 吨 CO<sub>2</sub> 排放。一个 300 MW 发电厂，8 小时谷电时间段中，如果 50% 的电能被贮存，就有 120 万度电被贮存，一年可减少 47 万吨 CO<sub>2</sub> 的排放。

气化贮能和水电站蓄水贮能相比，前者是把电能转变为化学能，后者是把电能转变为势能，由于水轮机和下水库之间不可避免的存在一定的落差，当提升的水量和水轮机落水量相等时，提升水的能耗必定大于水轮发电机发出的能量，因此，必须要外电补充。碳气化贮能不同于抽水蓄能，气化后贮蓄的能量远远大于吸收的能量，气化后得到的 CO 燃烧后放出的热量为吸收的 3.5 倍。因此可否认认为；建设碳气化贮能电站比建设抽水蓄能电站更经济更合理。

### ② 节能减排

节能减排来自四个方面；

1) 从表 1，当发电的能耗相同时，或者说同样的技术水平或热效率，碳气化后 CO 燃烧发电量总是大于直接燃烧的发电量的 39%。增加发电量，实际就是减排，其量很大。

2) 另一方面，直接燃烧改为间接燃烧，预计热效率能进一步提高，一旦技术水平提高到 212 克/kw.h 水平，1 公斤标煤可以发出 6.6 度电，为 320 克/kw-h 发电量的 2.112 倍。也就是说输出相同的电，煤的耗量还不到 1/2，CO<sub>2</sub> 的减排量自然的达到 1/2 以上。

3) 据报道，中美两国科学家合作研究利用压缩后二氧化碳释放推动涡轮机发电，这个方法应该是可行的，至于前后压力差究竟多少合适，有待试验后确定。气化炉不需要高的压力。这个方法一旦成功，达到了节能减排目的，氮二氧化碳分离费用也许能降低 1/2 以上。

4) 当碳气化厂建在产煤矿区，就可以减少煤运输，减少 CO<sub>2</sub> 排放。

总的来说，当我们把贮能减排和节能减排二个相加，减排的量完全有可能超过 1/2 原来的排放量。如果原来直接燃烧二氧化碳的年排放量是 200 亿吨，那么改为间接燃烧后二氧化碳的排放量可能还不到 100 亿吨。其减排量相当可观，捕捉掩埋技术恐怕很难达到这个数值，即使有，其费用可能很高。

## 7. 碳气化贮能能耗与经济效益

碳气化贮能能耗，主要在二个方面；一就是 CO<sub>2</sub> 捕捉机或 N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> 分离机的能耗。另一个就是气化炉

**Table 1.** A comparison between the direct and indirect combustion power generation

**表 1.** 直接燃烧和间接燃烧发电量比较

耗煤量(g/kw·h)	320 (国际平均水平)	277 (上海某发电厂技术水平)	212 (网上查得的日本技术水平)
1 公斤标煤直接燃烧后的发电量, kw·h	3.125	3.61	4.72
1 公斤标煤气化后间接燃烧后的发电量, kw·h	4.36	5.16	6.6
增加量	1.23	1.55	1.88
%	39	39	39

的能耗。如果是仅仅为捕捉或分离 CO<sub>2</sub>，其费用约为捕捉掩埋费用的 1/10，每吨约为 5 美元左右。至于碳气化炉的能耗，考虑到碳气化时吸收的热量，在尔后 CO 燃烧时不折不扣的全部放出，如果不计贮能的能耗，则气化炉的能耗仅仅是炉壁散热，对于大型炉，炉壁散热的热损失在 3% 以下。另外，煤炭和柴禾等原材料粉碎也要能耗，煤渣，炉气热损耗，总的来说，碳气化贮能的能耗不大。

关于经济效益，只需说一点人们就可明白。就是用低价的谷电贮能，高价的峰电卖出，谷电峰电价格相差一倍。一本万利。因此说从经济效益方面考虑，项目是完全可行的。

## 8. 结束语

上面的讨论表明，利用捕捉的 CO<sub>2</sub> 实行碳气化贮能减排，技术、经济可行，贮能、减排显著。因此建议在一个地区或国家建设一个如图 3 所示的管道网，在发电厂和气化厂之间铺设两根管道，一根是 CO<sub>2</sub> 管道，另一根是 CO 管道，另外还需多个贮气罐。在管道附近可以建设多个气化厂、冶金厂、水泥厂、发电厂等。气化厂应当建在煤矿附近。气化厂生产的煤气向远方发电厂，冶金厂等输送。

这是一个改变能源生产面貌的特大型工程，也是创新项目，必须由国家统筹，多方协作，由小到大，逐步完善。

凭有限的知识，反复考虑，笔者还没有发现有不可逾越的门槛。认为，利用捕捉 CO<sub>2</sub> 贮能减排发电比 CPS 技术经济合理。

## 参考文献 (References)

- [1] Janaf (1971) Thermochemical Tables. 2nd Edition, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington DC, 1971.
- [2] 马林科夫, 等. 冶金炉(第 1 册) [M]. 北京钢铁学院, 译. 沈阳: 东北工学院, 1953: 123.
- [3] Yesin, P.O. and Geld, A.V. (1961) Physical-Chemistry of High Temperature Metallurgy Process, 126.
- [4] Yesin, P.O. and Geld, A.V. (1961) Physical-Chemistry of High Temperature Metallurgy Process, 172.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jlce@hanspub.org](mailto:jlce@hanspub.org)