

# 二氧化碳减排及利用的现状与发展

饶甦<sup>1</sup>,高正平<sup>2</sup>,沈来宏<sup>3</sup>,刘永江<sup>2</sup>

(1. 中工国际工程股份有限公司,北京 100080; 2. 内蒙古电力科学研究所,  
内蒙古呼和浩特 010020; 3. 东南大学,江苏南京 210096)

**摘要:**化石燃料的燃烧是人类排放 CO<sub>2</sub> 的主要来源。对近几年新兴的 CO<sub>2</sub> 减排及利用技术进行了总结和分析,并重点介绍了一种新型 CO<sub>2</sub> 减排技术——基于循环载氧体的化学链燃烧技术。化学链燃烧通过不同品位能的梯级利用,具有比传统燃烧方式更高的能源利用效率,而且在 CO<sub>2</sub> 富集、污染物协同控制方面具有优越性。

**关键词:**CO<sub>2</sub>; 捕集; 利用; 化学链燃烧; 封存; 矿石碳化; 工业应用

中图分类号:TQ209

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2011)07-0001-05

## Present status and development of CO<sub>2</sub> emission reduction and utilization

RAO Su, GAO Zheng-ping, SHEN Lai-hong, LIU Yong-jiang

(1. China CAMC Engineering Co., Ltd., Beijing 100080, China; 2. Inner Mongolia Electric Power Research Institute, Hohhot 010020, China; 3. Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Fossil fuel consumption is the major source of anthropogenic CO<sub>2</sub> emission. Some new CO<sub>2</sub> emission reduction and utilization technology are summarized and analyzed in the paper. Chemical looping combustion based on circulating oxygen carriers is especially introduced as a new-style CO<sub>2</sub> emission reduction technology. Chemical looping combustion involves the cascade utilization of chemical energy, which has high thermal energy conversion in comparison with traditional thermal cycles. Moreover, it has more superiority in CO<sub>2</sub> enrichment and synergistic effects of contamination control.

**Key words:** CO<sub>2</sub>; capture; utilization; chemical looping combustion; sequestration; mineral carbonization; industrial utilization

自工业化时代以来,由于人类活动已引起全球温室气体排放增加,CO<sub>2</sub> 是最重要的人为温室气体,在 1970 年至 2004 年其排放增加了大约 80%。2005 年大气中 CO<sub>2</sub> 的浓度远远超过了过去 650 000 年的自然变化的范围。全球 CO<sub>2</sub> 浓度的增加主要是源于化石燃料的使用<sup>[1]</sup>。中国以煤为主的能源结构在未来相当长的时期内难以根本改变,因此,开发高效的煤燃烧减排 CO<sub>2</sub> 技术是必要的。

## 1 CO<sub>2</sub> 减排技术

在人类排放的 CO<sub>2</sub> 中,电站是燃烧化石燃料最大、最集中的排放源,控制电厂 CO<sub>2</sub> 的排放是人类减排 CO<sub>2</sub> 最重要的切入点<sup>[2]</sup>。为了减少电厂在燃烧化石燃料过程产生的 CO<sub>2</sub>,可以有 3 种路线<sup>[3]</sup>,分别为:①采用超高参数的发电机组以及联合循环技术提高电力生产效率;②寻找低 C/H 比替代燃料;③直接从燃煤电厂捕获 CO<sub>2</sub>,并对其进行压缩、输运以及储藏,即 CCS(CO<sub>2</sub> capture and storage)路线。

### 1.1 燃烧前 CO<sub>2</sub> 分离技术

燃烧前 CO<sub>2</sub> 分离技术主要是指在燃料燃烧前,将碳从燃料中分离出去,参与燃烧的燃料主要是 H<sub>2</sub>,从而使燃料在燃烧过程中不产生 CO<sub>2</sub><sup>[3]</sup>。燃烧前 CO<sub>2</sub> 分离技术的典型应用就是整体煤气化联合循环系统(IGCC)。其技术路线为:固态燃料(煤、石油焦、生物质等)首先进入气化炉气化,生产出粗煤气,然后粗煤气经历除尘、脱硫等净化工艺后与水发生重整反应,使得绝大部分煤气转化为 H<sub>2</sub> 与 CO<sub>2</sub>。重整后的煤气中 CO<sub>2</sub> 浓度较高,因此可以采用较低的能耗进行 CO<sub>2</sub> 分离,H<sub>2</sub> 占分离 CO<sub>2</sub> 后的气体的大部分,从而将固体燃料化学能从碳转移到氢中,CO<sub>2</sub> 经压缩后用于其他工业生产过程或储藏。燃烧前 CO<sub>2</sub> 分离应用于 IGCC 的主要优点:CO<sub>2</sub> 浓度较高,捕集系统小、能耗低,加上在其他污染物控制以及效率上的潜力等<sup>[4]</sup>。基于 IGCC 的上述优点,美国的“未来电力”、中国的“绿色煤电”、日本的“鹰计划”以及澳大利亚的“零排放发电计划”等均采用 IGCC 作为基础<sup>[5]</sup>。

## 1.2 燃烧后 CO<sub>2</sub> 脱除技术

燃烧后 CO<sub>2</sub> 脱除技术,指的是从燃烧后产生的 CO<sub>2</sub> 与其他烟气成分进行分离,达到富集 CO<sub>2</sub> 的目的。目前,燃烧后 CO<sub>2</sub> 脱除技术主要有溶剂吸收法、变压吸附法、膜分离法以及低温分馏法等<sup>[6-7]</sup>。依据中国的特殊国情,火电依然是国家的主要二次能源,国家已建立的燃煤电站众多且体系完善,同时考虑到燃煤烟气的特点(CO<sub>2</sub> 含量低、流量大)以及各技术的成熟度、适用范围和其他新型技术的商业化时间等众多因素,目前,燃烧后脱除 CO<sub>2</sub> 技术是一种较为有效地减排 CO<sub>2</sub> 的方法<sup>[8]</sup>。

## 1.3 富氧燃烧技术

现有的燃煤电站锅炉出口烟气中 CO<sub>2</sub> 体积分数仅为 10% ~ 15%,其余气体主要为 N<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub> 的过低压导致直接压缩烟气分离 CO<sub>2</sub> 的巨大能量消耗。Shrikar<sup>[9-10]</sup> 等发现直接压缩烟气分离 CO<sub>2</sub> 时,因压缩耗能而额外产生的 CO<sub>2</sub> 量将会比其所能减排的 CO<sub>2</sub> 量要大。如果能较大幅度提高烟气中 CO<sub>2</sub> 的浓度,即可使用低能耗技术将烟气中的 CO<sub>2</sub> 分离出来。1981 年 Horne 和 Steinburg 提出的 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃烧技术在理论上可以解决烟气中 CO<sub>2</sub> 浓度过低的问题,随后又经实验验证可以应用于改造后的常规锅炉。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃烧技术又称空气分离/烟气再循环技术,或富氧燃烧技术。其技术路线为:采用纯 O<sub>2</sub> 与 CO<sub>2</sub> 混合气体作为燃料助燃剂,燃烧产生的烟气经过多次循环并干燥脱水后 CO<sub>2</sub> 体积分数可达到 95%,因此不必分离而将其直接液化回收处理。富氧燃烧技术由于具有回收 CO<sub>2</sub> 成本低、NO<sub>x</sub> 排放低、脱硫效率高等诸多优点,被广泛关注。

## 1.4 化学链燃烧技术

1983 年德国科学家 Richter 和 Knoche 在美国化学学会年会上提出化学链燃烧 (Chemical-Looping Combustion, CLC) 的概念,其初衷是为了减少燃料的焓(exergy)损失;20 世纪 90 年代研究者发现 CLC 具有内分离 CO<sub>2</sub> 的先天优点;随后以日本学者 Ishida、中国金红光研究员、西班牙学者 Adnaze 以及瑞典学者 Mattisson 等为代表性的研究者对以过渡元素(主要有 Ni、Fe、Co、Cu 等)氧化物作为载氧体进行了大量研究;但是寻求一种适合 CLC 运行的反应器成为其发展的瓶颈,直到 2004 年瑞典学者 Lyngfelt 等人设计和建造了以循环流化床为基础的串行流化床作为化学链燃烧反应器,才实现了具有工业化应用的 CLC 内分离 CO<sub>2</sub> 模型<sup>[11]</sup>。

化学链燃烧的基本原理是:燃料不直接与空气

接触燃烧,而是以载氧体在 2 个反应器空气反应器 (Air Reactor, AR)、燃料反应器 (Fuel Reactor, FR) 之间的循环交替反应来实现燃料的燃烧。如图 1 所示,CLC 系统由空气反应器、燃料反应器和载氧体组成。其中载氧体主要由金属氧化物与惰性载体组成,金属氧化物是真正参与反应并传递氧的物质,而惰性载体是用来承载金属氧化物并提高其化学反应特性和物理特性的物质。

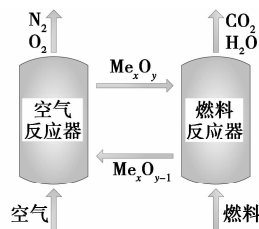
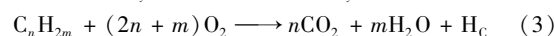
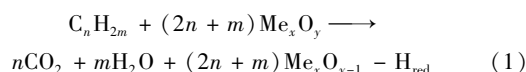


图 1 化学链燃烧示意图

金属氧化物 (Me<sub>x</sub>O<sub>y</sub>) 首先在燃料反应器内进行还原反应,燃料(如:还原性气体 CH<sub>4</sub>、合成气等)与 Me<sub>x</sub>O<sub>y</sub> 中的晶格氧反应生成低价态金属氧化物 (Me<sub>x</sub>O<sub>y-1</sub>)、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O,采用冷凝法即可分离回收 CO<sub>2</sub>,见反应式(1);然后,Me<sub>x</sub>O<sub>y-1</sub> 再在空气反应器内和空气接触,进行氧化反应,生成 Me<sub>x</sub>O<sub>y</sub>,见反应式(2)。



根据盖斯定律,还原反应和氧化反应的反应热总和等于传统燃烧反应(3)中放出的热量 H<sub>C</sub>。

化学链燃烧基于两步化学反应,实现了化学能梯级利用,与传统燃烧方式相比具有更高的能量利用效率。更为重要的是,由于在燃烧过程中燃料与空气不直接接触,因此,燃料反应器内不产生燃料型 NO<sub>x</sub>。另外,空气反应器内的无火焰气固反应温度远低于热力型 NO<sub>x</sub> 产生的温度,因而可以控制热力型 NO<sub>x</sub> 的生成,对解决环境污染问题是一个重大突破。

化学链燃烧改变化学能转化热能的粗放释放途径,通过燃料化学能有序释放,挖掘燃料化学能品位的有效利用,降低化学能品位与热能品位差,从而减小化学能能量释放过程的不可逆损失,有效实现了燃料化学能梯级利用<sup>[13]</sup>。中科院金红光研究员对化学链燃烧过程化学能梯级利用机理进行了卓有成效的研究,以下内容均为其研究成果。如图 2 所示, A 表示物质能品位,定义为任意状态或过程的焓变

与焓变之比<sup>[14]</sup>。 $A_{Ch}$ 表示物质化学能的品位, $A_{Th}$ 表示燃烧后的物质热的品位(即燃气轮机透平入口高温烟气品位)。在化学链燃烧过程,燃料的化学能通过两个化学反应之间的传递过程释放出来。首先是燃料和金属氧化物发生还原反应,这是一个中温吸热反应,然后金属在高温下与空气发生强放热氧化反应。由于金属燃料品位较含碳燃料品位低,使燃料化学能通过金属氧化反应的释放品位( $A_{Ch2}$ )低于燃料直接燃烧释放的品位( $A_{Ch1}$ )。因此,当在一定的燃气轮机透平初温下,即一定的 $A_{Th}$ ,化学链燃烧过程的化学能转化为热能过程的品位差(即 $A_{Ch2} - A_{Th}$ )将小于直接燃烧( $A_{Ch1} - A_{Th}$ )。因此,化学链燃烧能够减少燃烧过程的焓损失,从而增加了热力系统热焓。

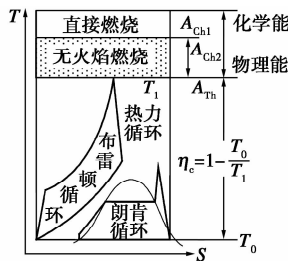


图2 化学链燃烧能量释放机理<sup>[12]</sup>

## 2 CO<sub>2</sub> 储藏与利用技术

化石燃料在燃烧过程中释放出大量的CO<sub>2</sub>,而人类现有的活动对其利用率非常低,因此大量的CO<sub>2</sub>气体必须予以安全储藏。目前的CO<sub>2</sub>储藏技术主要有地质封存<sup>[15]</sup>、海洋封存<sup>[16]</sup>以及矿石碳化和工业利用<sup>[17]</sup>。海洋封存通过海上管道和轮船输送到封存地点,然后经过高压将CO<sub>2</sub>注入到海洋中。地质封存利用自然界中地质封存天然气等气体的原理对CO<sub>2</sub>进行封存,主要有盐水层封存、增强石油开采封存和增强煤层气开采封存。矿石碳化是利用化学反应将CO<sub>2</sub>转化为固体无机碳酸盐。工业利用是直接或者以生产各种含碳化学物填料形式加以利用。

### 2.1 海洋封存技术

海洋封存技术是一个潜在的CO<sub>2</sub>封存方案,即将捕获的CO<sub>2</sub>直接注入深海(深度在1000m以上),大部分CO<sub>2</sub>在这里将与大气隔离若干世纪。该方案的实施办法是:通过管道或船舶将CO<sub>2</sub>运输到海洋封存地点,在那里再把CO<sub>2</sub>注入海洋的水柱体或海底。被溶解和消散的CO<sub>2</sub>随后会成为全球

碳循环的一部分。图3说明了可以采用的一些主要方法<sup>[18]</sup>。海洋封存尚未采用,也未开展小规模试点示范,仍然处在实验室和模拟研究阶段<sup>[18]</sup>。

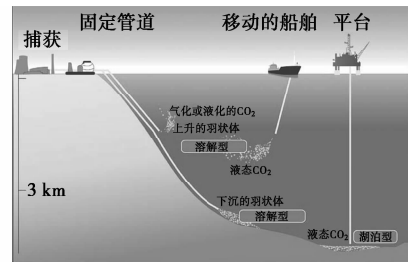


图3 CO<sub>2</sub>的海洋封存方法<sup>[18]</sup>

二氧化碳在以液态的方式存储于海洋时,不可避免地会有碳酸形成,对海洋生态环境有一定的影响<sup>[19]</sup>。因此,有人主张采用适当的技术控制和处理可以使这样的影响降低到最低程度。如石谦等人<sup>[20]</sup>提出:如果液态二氧化碳是快速排放到海水中,则不会形成纯的水合物,而是一种水合物与液态二氧化碳的混合物,由于比表面积大,这些二氧化碳会迅速溶解,使周围海水pH显著降低,对生物的影响比较大。如果二氧化碳是缓慢地注入到海水中,则会在水合物和海水之间形成一层水合物膜,这样二氧化碳的溶解速率就慢很多,对深海底栖生物的影响小得多。但是经过若干世纪,海洋混合作用将使被注入的CO<sub>2</sub>失去隔离状态,注入海底的CO<sub>2</sub>将到达海洋表层水体并进入大气,对于注入的CO<sub>2</sub>从海洋中突然或大规模地释放到大气中,目前尚无已知的机理<sup>[18]</sup>。

### 2.2 地质封存技术

CO<sub>2</sub>的地质封存是非常有希望的储存技术,如图4所示<sup>[23]</sup>。目前主要的CO<sub>2</sub>地质储存场地包括深部咸水含水层、废弃的油气储层和不可开采的贫瘠煤层<sup>[21,22]</sup>,在这3种类型中,CO<sub>2</sub>的地质封存都将CO<sub>2</sub>压缩液化后注入地下多孔岩石构造中,并且具有非常大的存储潜力。有人估计,若按照现在

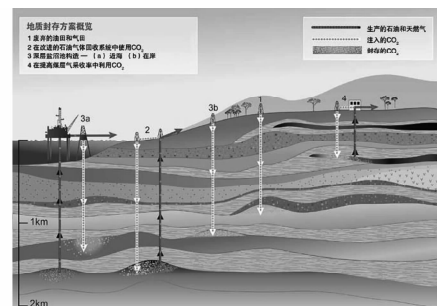


图4 CO<sub>2</sub>的地质封存方法

人类 CO<sub>2</sub> 的排放量,可以存储今后几百年人类排放 CO<sub>2</sub> 的总和<sup>[2]</sup>,如表 1<sup>[24]</sup>所示。

表 1 CO<sub>2</sub> 的地质封存容量<sup>[24]</sup> Gt

| 地质类型                    | 枯竭的油气田 | 煤气层      | 盐水层         |
|-------------------------|--------|----------|-------------|
| 预计 CO <sub>2</sub> 封存容量 | 450    | 60 ~ 150 | 300 ~ 10000 |

虽然地质封存具有很大的潜力,但是 CO<sub>2</sub> 渗漏所引发的风险也是巨大的。在长期的地质封存过程中,CO<sub>2</sub> 可能从井筒、断层、裂缝泄漏,也可能通过分子扩散作用的储层逸出<sup>[25]</sup>。如果封存构造中的部分 CO<sub>2</sub> 泄漏到大气中,那么释放出的 CO<sub>2</sub> 可能引发显著的气候变化,从而可能给人类、生态系统和地下水造成局部灾害<sup>[18]</sup>。

### 2.3 CO<sub>2</sub> 的矿石碳化和工业利用技术

矿石碳化是指利用碱性和碱土氧化物,如氧化镁(MgO)和氧化钙(CaO)将 CO<sub>2</sub> 固化,这些物质目前都存在于天然形成的硅酸盐岩中,例如蛇纹石、橄榄石和硅灰石<sup>[29]</sup>等。这些物质与 CO<sub>2</sub> 化学反应后产生诸如碳酸镁(MgCO<sub>3</sub>)和碳酸钙(CaCO<sub>3</sub>)这类化合物。地壳中硅酸盐的金属氧化物数量超过了固化所有可能的化石燃料储量燃烧产生的二氧化碳量。这些氧化物也少量存在于某些工业废物中,如不锈钢矿渣和矿灰<sup>[26-28]</sup>。矿石碳化产生出能够长时间稳定的二氧化硅和硅酸盐,因而能够在一些地区进行处置,如硅酸盐矿区,或者在建筑用途中加以利用(见图 5),尽管与产生的数量相比这种二次利用可能相对很小。CO<sub>2</sub> 在经过矿石直接与间接碳化后将不会释放到大气中,能够实现 CO<sub>2</sub> 的永久埋存<sup>[30]</sup>。

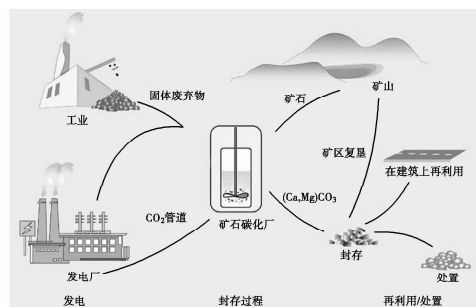


图 5 CO<sub>2</sub> 的矿石碳化与工业利用技术示意图

工业上对 CO<sub>2</sub> 的利用包括 CO<sub>2</sub> 作为反应物的生化过程,例如,在尿素和甲醇生产中利用 CO<sub>2</sub> 的生化过程,以及各种直接利用 CO<sub>2</sub> 的技术应用,比如作为萃取溶剂、制冷剂、中和剂、干洗剂、饮料和灭火材料等应用<sup>[31]</sup>。目前,全球的 CO<sub>2</sub> 利用量是每年

约 120 Mt (30 Mt/a 碳)<sup>[18]</sup>。CO<sub>2</sub> 强化采油(EOR)可以大幅度地提高原油采收率,不仅可以实现增加原油可采储量,而且可以实现 CO<sub>2</sub> 的长期地质埋存,因此,EOR 将是实现 CO<sub>2</sub> 埋存与高效利用的最佳途径之一<sup>[32]</sup>。

### 3 结论

20 世纪 90 年代以来,全球气候变化问题日益得到国际社会的广泛关注,世界各国都开展了气候变化相关研究并制定了相应的政策。由于能源消费导致的二氧化碳排在温室气体排放总量中占有绝对优势,因此,温室气体 CO<sub>2</sub> 捕集技术成为气候变化研究领域的热点之一。在传统的燃烧过程中燃料与空气直接接触,由此导致烟气中 CO<sub>2</sub> 的浓度非常低,常规方法分离 CO<sub>2</sub> 将使电厂效率下降,CO<sub>2</sub> 的分离和回收成本非常昂贵。基于循环载氧体的化学链燃烧通过不同品位能的梯级利用,具有比传统燃烧方式更高的能源利用效率,而且在 CO<sub>2</sub> 富集、污染物协同控制方面具有的优越性使之更符合我们时代的需求。此外,通过采用地质封存、海洋封存以及矿石碳化和工业利用 CO<sub>2</sub> 可实现卓有成效的环境与社会价值。

### 参考文献

- [1] IPCC Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007. <http://www.ipcc.ch>.
- [2] 黄斌,刘练波,许世森. 二氧化碳的捕获和封存技术进展[J]. 中国电力,2007,40(3):14-17.
- [3] 王保文. 化学链燃烧技术中铁基载氧体的制备及其性能研究[D]. 武汉:华中科技大学,2008.
- [4] 黄斌,刘练波,许世森,等. 燃煤电站 CO<sub>2</sub> 捕集与处理技术的现状与发展[J]. 电力设备,2008,19(5):3-6.
- [5] 李现勇,孙永斌,李惠民. 国外 IGCC 项目发展现状概述[J]. 电力勘测设计,2009,(3):28-33.
- [6] 费维扬,艾宁,陈健. 温室气体 CO<sub>2</sub> 的捕集和分离-分离技术面临的挑战与机遇[J]. 化工进展,2005,24(1):1-4.
- [7] Chakravati S, Gupta A, Huneck B. Advanced technology for the capture of carbon dioxide from flue gases[C]. First Nation Conference on Carbon Sequestration. Washington, DC, May 15-17, 2001.
- [8] 晏水平. 膜吸收和化学吸收分离 CO<sub>2</sub> 特性的研究[D]. 杭州:浙江大学,2009.
- [9] 晏水平,方梦祥,张卫风,等. 烟气中 CO<sub>2</sub> 化学吸收法脱除技术分析与发展[J]. 化工进展,2006,25(9):1018-1024.
- [10] Shrikar C, Amitabh G, Balazs H. Advanced technology for the capture of carbon dioxide from flue gases[C]. First National Confer-

- ence on Carbon Sequestration, Washington D C, 2001, 1 - 11.
- [11] Lyngfelt A, Kronberger B, Adanez J, *et al.* The GRACE project. Development of oxygen carrier particles for chemical looping combustion. Design and operation of a 10 kW chemical-looping combustor [C]. in 7<sup>th</sup> International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. 2004, Vancouver, Canada.
- [12] 金红光, 洪慧, 韩涛. 化学链燃烧的能源环境系统研究进展[J]. 科学通报. 2008, 53(24): 2994 - 3005.
- [13] 金红光, 王宝群. 化学能梯级利用机理探讨[J]. 工程热物理论, 2004, 25(2): 181 - 184.
- [14] Jin H G, Ishida M. Graphical exergy analysis of complex cycles[J]. Energy, 1993, 18(6): 615 - 625.
- [15] Mid-continent interactive digital carbon atlas and relational database. What is carbon sequestration [EB/OL]. <http://www.midcarb.org/sequestration.shtml>.
- [16] 张军, 李桂菊. 二氧化碳封存技术及研究现状[J]. 能源与环境, 2007, (2): 33 - 35.
- [17] Seifritz W. CO<sub>2</sub> disposal by means of silicates[J]. Nature, 1990, 345(6275): 486 - 486.
- [18] IPCC Climate Change 2005: Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. <http://www.ipcc.ch>.
- [19] 李洛丹, 刘妮, 刘道平. 二氧化碳海洋封存的研究进展[J]. 能源与环境, 2008, (6): 11 - 12.
- [20] 石谦, 郭卫东, 韩宇超, 等. 二氧化碳海洋倾废的研究进展[J]. 海洋通报, 2005, 24(2): 72 - 78.
- [21] Bruant R G, Guswa A J, Celia M A. Safe storage of CO<sub>2</sub> in deep saline aquifers [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(11): 240 - 245.
- [22] Bachu S, Gunter W D, Perkins E P. Aquifer disposal of CO<sub>2</sub>: Hydrodynamic and mineral trapping[J]. Energy Conversion and Management, 1994, 35: 269 - 279.
- [23] Hitchon B, Gunter W D, Gentzis T, *et al.* Sedimentary basins and greenhouse gases: A serendipitous association[J]. Energy Conversion and Management, 1999, 40: 825 - 843.
- [24] Benson M. Overview of geologic storage of CO<sub>2</sub> [M]. Carbon dioxide capture for storage in deep geologic formations - result from the CO<sub>2</sub> capture project II. Elsevier, UK, 2005, 665 - 672.
- [25] 谷丽冰, 李治平, 侯秀林. 二氧化碳地质埋存研究进展[J]. 地质科技情报, 2008, 27(4): 81 - 84.
- [26] Huijgen W J J, Witkamp G J, Comans R N J, *et al.* Mineral CO<sub>2</sub> sequestration by steel slag carbonation [J]. Environmental Science and Technology, 2005, 39(24): 9676 - 9682.
- [27] Stolaroff J W, Lowry G V, Keith D W, *et al.* Using CaO- and MgO-rich industrial waste streams for carbon sequestration [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46: 687 - 699.
- [28] Teir S, Eloneva S, Zevenhoven R, *et al.* Dissolution of steelmaking slags in acetic acid for precipitated calcium carbonate production [J]. Energy, 2007, 32: 528 - 539.
- [29] 张军营, 赵永椿, 潘霞, 等. 硅灰石碳酸化隔离二氧化碳的实验研究[J]. 自然科学进展, 2008, 18(7): 836 - 840.
- [30] 潘霞, 张军营, 徐俊, 等. 二氧化碳矿物化隔离研究进展[J]. 煤炭转化, 2006, 29(4): 78 - 83.
- [31] 黄汉生. 温室效应气体二氧化碳的回收与利用[J]. 现代化工, 2001, 21(9): 53 - 57.
- [32] 沈平平, 江怀友. 温室气体提高采收率的资源化利用及地下埋存[J]. 中国工程科学, 2009, 11(5): 54 - 59. ■

## 海尔、陶氏携手推出全球领先洗衣技术——“魔粒洗”

海尔与陶氏化学公司(DOW)于2011年6月28日宣布在中国推出全球最具颠覆性的洗衣技术——海尔-陶氏化学“魔粒洗”技术。全新的“魔粒洗”技术能显著减少洗衣过程中的耗水量和洗涤剂用量,对家电环境和节能领域作出了巨大的贡献。

“魔粒洗”技术是海尔与陶氏共同的研究结晶。两家公司在过去的两年内携手组建专家队伍,致力于研究这一全新的突破性技术。海尔-陶氏“魔粒洗”技术的应用是对传统洗衣方式的革命。全新的“魔粒洗”技术在洗衣过

程中增加了一种新的媒介——一种独特洗涤微球。通过先进的结构和功能设计,该洗涤微球可以在少量水的作用下有效地吸附去除衣物上的污垢,并具备了很好的自净能力与可循环使用的优势,是能够引导世界洗衣革命的新技术。

据业内人士预测,在整个使用周期内,每台洗衣机可节水约70 t,省电近1 300 kWh,减排的二氧化碳量相当于植树6棵。此项全新的洗衣技术成功解决了用最少量的水与最少的电洗净衣服的难题。(刘蕊仪)