

## 管理科学

## 福建省消耗臭氧层物质排放及其污染损失研究

饶清华<sup>1</sup>, 邱宇<sup>2</sup>, 蔡如钰<sup>2</sup>, 赵扬<sup>2</sup>

(1. 福建师范大学福清分校生物与化学工程系, 福建 福清 350300;

2. 福建省环境科学研究院, 福建 福州 350013)

**摘要:**介绍了福建省消耗臭氧层物质(ODS)生产与消费现状,并以2005年福建省ODS排放清单为例,根据不同行业的ODS消费与排放特点,计算这些物质实际排放量的消耗臭氧潜能值(ODP)与全球变暖潜能值(GWP)。结果表明,福建省2005年排放ODS所带来的ODP值为2 880.556 t, GWP值为20 658 435 t,折合标准碳为 $5.63 \times 10^6$  t。并采取逆向思维的方式,借助森林固定CO<sub>2</sub>效益经济结构模型,根据福建省ODS的排放所带来的全球变暖潜能(GWP)值,计算ODS排放所造成的经济价值损失。结果显示,福建省2005年排放ODS污染损失价值为 $3.605 \times 10^9$ 元。

**关键词:**消耗臭氧层物质(ODS);消耗臭氧潜能值(ODP);全球变暖潜能值(GWP);排放;污染损失

中图分类号:X511

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2010)09-0086-04

## ODS emission and its polluting loss in Fujian province

RAO Qing-hua<sup>1</sup>, QIU Yu<sup>2</sup>, CAI Ru-yu<sup>2</sup>, ZHAO Yang<sup>2</sup>

(1. Department of Biological and Chemical Engineering, Fuqing Branch of Fujian Normal University,

Fuqing 350300, China; 2. Fujian Research Academy of Environmental Sciences, Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** The status of the production and consumption of ozone depleting substances(ODS) in Fujian province is analyzed. The detailed list of ODS emission in Fujian province in 2005 is selected. Based on the consumption and emission characteristics of different industries, the ozone depleting potential(ODP) value of actual emission amount of these substances and global warming potential(GWP) value are calculated. The value of ODP is about 2 880.556 tonnes and the value of GWP is about 20 658 435 tonnes, which correspond to 5.63 millions tonnes of carbon equivalent in Fujian province in 2005. The economic structural model of the benefit of forest carbon sequestration is selected. Based on the value of GWP of Fujian province in 2005, the value of pollution loss by ODS emission is calculated. The results show that the value of pollution loss by ODS emission of Fujian province in 2005 is 3605 million yuan.

**Key words:** ozone depleting substances(ODS); ozone depleting potential(ODP); global warming potential(GWP); emission; pollution loss

温室效应有正面的作用,但温室效应对生态环境产生的影响更多是负面的。其中,温室效应的正面作用是指它是地球生命演化的必要条件;温室效应的负面作用是指它对地球生态环境产生一级、二级等深远的负面影响。第1级影响:全球变暖,地表温度上升;第2级影响:气候异常,气候带改变,产生厄尔尼诺、拉尼娜现象<sup>[1]</sup>。作为一个负责任的发展中国家,自1992年联合国环境与发展大会以后,中国政府率先组织制定了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》,并从国情出发采取了一系列政策措施,为减缓全球气候变化做出了积极的贡献<sup>[2]</sup>。其中,森林生态系统是对二氧化碳吸收储存最为有效的方法,森林与大气中的物质交换主要是CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的交换,即森林固定并减少大气中的CO<sub>2</sub>,同时提供并增加大气中的O<sub>2</sub>,这对维持地球大气中的CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的动态平衡,减少

温室效应以及提供人类的生存基础来说,有着巨大的不可替代的作用和地位。

目前,已经有不同的作者对中国森林植被的固碳现状和潜力<sup>[3-8]</sup>进行了估算。但是,这些研究更多的是采用正向思维的方式,即根据森林木材蓄积量计算森林固定CO<sub>2</sub>的经济效益,而对于排放CO<sub>2</sub>所造成的污染损失的研究还不常见。为此,本文采取逆向思维方式,借助森林固定CO<sub>2</sub>效益经济结构模型,根据消耗臭氧层物质(ODS)的排放所带来的全球变暖潜能(GWP)值,反推ODS排放所造成的经济价值损失,并以福建省为例进行详细说明。

## 1 生产与消费现状

福建省目前主要生产和消费的ODS有下列几类物质。全氯氟烃:主要用作制冷剂、清洗剂和发泡剂;哈龙:主要用作灭火剂;四氯化碳:主要用作化工

收稿日期:2010-05-19

基金项目:福建省加强消耗臭氧层物质淘汰能力建设项目;福建省教育厅B类科技项目(JB08249)

作者简介:饶清华(1981-),男,硕士,讲师,从事环境影响评价方面研究,raoqinghua@sina.com。

生产的助剂和清洗剂;甲基氯仿:主要用作清洗剂;甲基溴:主要在农业种植、粮食仓储或商品检疫中用作杀虫剂;含氢氯氟烃:主要用作制冷剂、清洗剂和发泡剂。其臭氧消耗潜能(ODP)值和全球变暖潜能(GWP)值如表1所示。

表1 福建省生产和消费的受控 ODS 清单

| ODS                      | 分子式   | ODP 值 <sup>[9]</sup> | GWP 值(100年) <sup>[10]</sup> |
|--------------------------|---|----------------------|-----------------------------|
| CFC-11                   | CFCl <sub>3</sub>                             | 1.000                | 4000                        |
| CFC-12                   | CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>               | 1.000                | 8500                        |
| CFC-113                  | C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> | 0.800                | 5000                        |
| 哈龙 1211                  | CF <sub>2</sub> BrCl                          | 3.000                | 1300                        |
| 哈龙 1301                  | CF <sub>3</sub> Br                            | 10.000               | 5600                        |
| CFC-13                   | CF <sub>3</sub> Cl                            | 1.000                | 11700                       |
| 四氯化碳(CTC)                | CCl <sub>4</sub>                              | 1.100                | 1400                        |
| 1,1,1-三氯乙烷<br>(甲基氯仿、TCA) | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> | 0.100                | 140                         |
| HCFC-22                  | CHF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>              | 0.055                | 1700                        |
| HCFC-141b                | CH <sub>3</sub> CFCl <sub>2</sub>             | 0.110                | 630                         |
| 甲基溴                      | CH <sub>3</sub> Br                            | 0.120                |                             |

根据《议定书》与我国《消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》制定的淘汰计划,不同行业淘汰 ODS 的时间也各不相同。因此,根据不同年份调研不同行业 ODS 生产或消费量。其中,福建省相关行业生产或消费 ODS 的数据如表2所示。

表2 福建省 ODS 生产或消费量<sup>①</sup>

| 行业   | ODS 名称        | 生产或消费量/t | ODP 值/t  | 年份   |
|------|---------------|----------|----------|------|
| 消防   | 哈龙 1211       | 150.00   | 450.000  | 2000 |
| 化工   | CFC-11、CFC-12 | 1159.40  | 1159.400 | 2005 |
| 汽车空调 | HCFC-22       | 1600.00  | 88.000   | 2005 |

(上接第85页)

为了加强罐内混合强度、加快气液相间传质,改造中多采用了高泵液量、高剪切搅拌器,虽然改善了全罐溶氧水平,发酵产酸量和糖酸转化率得到提高,但是搅拌桨的功率准数增大较多,功耗增加较大。下一步的工作为搅拌器的优化:在保持现有传质混合效果的同时尽可能减小搅拌功率;调节搅拌直径使电机功率在各个桨上的分配为最佳。

## 参考文献

[1] 龙万凯. 我国赖氨酸工业技术新进展[J]. 化学工程, 2003, 31

|                 |           |         |          |      |
|-----------------|-----------|---------|----------|------|
| 清洗              | CFC-113   | 146.40  | 117.120  | 2005 |
|                 | TCA       | 111.80  | 11.180   | 2005 |
| 泡沫              | HCFC-141b | 1500.00 | 165.000  | 2005 |
| 烟草              | CFC-11    | 91.90   | 91.900   | 2005 |
| 制冷              | HCFC-22   | 294.00  | 16.170   | 2005 |
|                 | HFC-134a  | 16.00   | 0        | 2005 |
| 四氯化碳生产及<br>化工助剂 | CTC       | 57.98   | 63.778   | 2005 |
| 气雾剂             | CFC-12    | 1220.00 | 1220.000 | 2005 |
| ODS 销售          | HCFC-22   | 20.00   | 1.100    | 2005 |
|                 | HCFC-141b | 10.00   | 1.100    | 2005 |
| 合计              |           | 6377.48 | 3384.748 |      |

注:①数据来源于福建省消耗臭氧层物质 ODS 生产与使用现状调研报告。

## 2 排放及其对温室效应的贡献

GWP 从分子角度评价温室气体,包括分子吸收与保持热量的能力,以及能在自然环境中存在多久而不被破坏或分解,因此,在衡量温室气体作用强弱的许多方法中,GWP 值最具参考价值。由表1可知,CFC 类物质的 GWP 值均在 4 000 以上,其他类 ODS 物质也都有很高的 GWP 值。考虑到它们对温室气体效应的重要作用,淘汰 ODS 实际也是在削减温室气体排放。

为具体评价 ODS 排放及其对温室气体效应的贡献,按各行业 ODS 的消费和排放特点,估算所排放的 ODS 量及其所带来的 GWP 值<sup>[11]</sup>。对于制冷、哈龙行业由于 ODS 释放比较缓慢,充分考虑了 2000 年以来的各物质的消费数据。其中,假设用于清洗剂的 ODS、化工行业生产和消费的 ODS、烟草行业消费的 ODS 都是在消费的当年完全释放到大气中;

(5):74-78.

- [2] 李波,张庆文,洪厚胜,等. 搅拌反应器中计算流体力学数值模拟的影响因素研究进展[J]. 化工进展,2009,12(1):7-12.
- [3] Wechsler K, Breuer M, Durst F. Steady and unsteady computations of turbulent flows induced by a 4/45° pitched-blade impeller[J]. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 1999, 121(2):318-329.
- [4] Wu H, Patterson G K, Doorn M. Distribution of turbulence energy dissipation rates in a rushton turbine stirred mixer[J]. Experiments in Fluids, 1989, 8(3/4):153-160.
- [5] 王凯,虞军,等. 搅拌设备[M]. 北京:化学工业出版社,2003:121.
- [6] 张谦,许志美. 化学反应器分析[M]. 上海:华东理工大学出版社,2005:66. ■

家电和工商制冷用的制冷剂分15年排放,而汽车空调制冷每年释放30%;根据《中国消防行业整体淘汰哈龙计划》<sup>[12]</sup>,哈龙灭火器的维修率约3%;2000年保有量的报废率约2%,报废灭火器中约50%哈龙被排放。

因此,根据表1的相关数据,估算哈龙1211、CFC-11、CFC-12、CFC-113、HCFC-22、TCA、CTC和HCFC-141b等8种物质2005年排放量。其中,这些物质排放所带来的ODP值为2880.556t,GWP值为20658435t,折合标准碳为 $5.63 \times 10^6$ t。具体数据如表3所示。

表3 福建省2005年ODS排放量

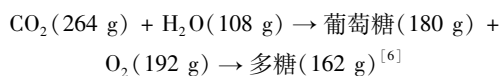
| ODS名称     | 排放量/t   | ODP值  | GWP值 | 总ODP值/t  | 总GWP值/t  |
|-----------|---------|-------|------|----------|----------|
| 哈龙1211    | 7.5     | 3.000 | 1300 | 22.500   | 9750     |
| CFC-11    | 671.6   | 1.000 | 4000 | 671.600  | 2686400  |
| CFC-12    | 1799.7  | 1.000 | 8500 | 1799.700 | 15297450 |
| CFC-113   | 146.4   | 0.800 | 5000 | 117.120  | 732000   |
| HCFC-22   | 519.6   | 0.055 | 1700 | 28.578   | 883320   |
| TCA       | 111.8   | 0.100 | 140  | 11.180   | 15652    |
| CTC       | 57.98   | 1.100 | 1400 | 63.778   | 81172    |
| HFC-134a  | 1.07    | 0     | 1300 | 0        | 1391     |
| HCFC-141b | 1510    | 0.110 | 630  | 166.100  | 951300   |
| 总计        | 2097.28 |       |      | 2880.556 | 20658435 |

### 3 污染损失估算

#### 3.1 CO<sub>2</sub>固定量和纯碳量的计算

森林生态系统吸收空气中的CO<sub>2</sub>,通过光合作用生成葡萄糖等碳水化合物并放出O<sub>2</sub>。因此,可以根据光合作用方程式,求出每生产1g干物质所需吸收的CO<sub>2</sub>的量,并根据森林的蓄积量算出其固定的CO<sub>2</sub>量。

根据光合作用方程式:



可知,植物每生产162g干物质可吸收固定264gCO<sub>2</sub>,即植物每生产1g干物质需要1.63gCO<sub>2</sub>。

有以上分析可以得到森林的固碳量为:

$$M = V \times a \times b \quad (1)$$

其中, $M$ 为固碳量(t); $V$ 为木材蓄积量(m<sup>3</sup>); $a$ 为木材密度(t/m<sup>3</sup>),是常数,一般取0.57t/m<sup>3</sup>;  $b$ 为1g干物质的固碳比,是常数,即 $b=1.63$ 。

则式(1)可以简化为:

$$M = 0.9291V \quad (2)$$

由于生产1m<sup>3</sup>的木材会伴生着大量的枝干和地下部分的根系,这些也是森林固碳的组成部分。近年来,利用森林蓄积量计算森林内所有生物的生物量成为计算森林碳效益时广泛应用的方法。其中,波兰的Galinski<sup>[13]</sup>研究发现波兰针叶林的森林蓄积量与森林内所有生物的碳储量之比关系系数为0.5336,阔叶树是0.667。Sampson<sup>[14]</sup>也在对美国森林进行分析时得出了美国森林蓄积量与森林内全部生物碳储量之比为0.53的系数。福建省取该系数为0.67,即干材每增加1t,总体林木增加量为1.4925t。

因此,计算固碳量时应将森林生物量代入式(1),有

$$M = V_0 \times a \times b \quad (3)$$

其中, $V_0$ 为森林生物量, $V_0 = V/d$ ;  $d$ 为1m<sup>3</sup>木材占植株生物量的比值, $d=0.67$ 。

则式(3)可以简化为:

$$M = 1.3867V \quad (4)$$

另外,计算CO<sub>2</sub>固定量后还需要折合为纯碳,根据CO<sub>2</sub>分子式和原子质量 $C/\text{CO}_2 = 0.2729$ ,即折合纯碳量 = CO<sub>2</sub>固定量 × 0.2729。则折合成标准碳的固定量公式为:

$$M = 0.3784V \quad (5)$$

#### 3.2 CO<sub>2</sub>排放量经济损失价值计算

森林与全球碳循环之间存在着密切联系,主要表现在3个方面<sup>[15]</sup>:一是森林作为世界上最大的碳储存库,它储存了全球陆地生态系统中的90%以上的碳,与其他植被相比,林木中碳含量较高,单位面积森林碳储存量是农田的20~100倍;二是森林的破坏导致大气CO<sub>2</sub>浓度升高,由于森林被滥伐,1989年向大气中排放的CO<sub>2</sub>是当时全球化石燃料燃烧向大气排放碳总量的35%~50%;如果停止全球性的毁林,可使释放到大气中的CO<sub>2</sub>量减少25亿t;三是森林为大气CO<sub>2</sub>的一个重要的汇,因为林木通过光合作用,可吸收大气中的CO<sub>2</sub>。因此,通过植物固碳,降低CO<sub>2</sub>浓度,是防止气候变暖的一种主动的、积极的有效措施和方法。为降低大气CO<sub>2</sub>含量,联合国和世界银行等正向发展中国家贷款援助造林项目。因此,利用造林成本法计算排放CO<sub>2</sub>经济损失价值,即根据CO<sub>2</sub>的排放量计算所需要的森林生物量,结合森林的造林成本,从而反推排放CO<sub>2</sub>经济损失价值。据《中国生物多样性国情研究报告》研究成果,目前中国几种树的平均造林成本为240.03元/m<sup>3</sup>。在这里由于不考虑森林的其他

生态价值,所以也不考虑土地的机会成本。因此,CO<sub>2</sub>排放所造成的经济价值损失公式为:

$$W = M \times 240.03 / 0.3748 = 640.4216M \quad (6)$$

其中,  $W$  为排放 CO<sub>2</sub> 所造成的经济损失。

### 3.3 福建省 ODS 排放污染损失价值计算

由表3可知,福建省2005年排放ODS所带来的ODP值为2 880.556 t, GWP值为20 658 435 t,折合标准碳为  $5.63 \times 10^6$  t。将该数值代入式(6),计算得到福建省2005年排放ODS污染损失价值为  $3.605 \times 10^9$  元。

## 4 结论

(1)目前,大部分ODS替代品仍具有较高的GWP值,因此,应出台相关的标准及技术规范,尽可能选择低GWP值的替代品,要慎重考虑其排放温室气体的影响,从而避免二次淘汰对国家经济和社会发展的不利影响。

(2)福建省2005年排放ODS所带来的ODP值为2 880.556 t, GWP值为20 658 435 t,折合标准碳为  $5.63 \times 10^6$  t。

(3)采取逆向思维的方式,在不考虑森林的其他生态价值情况下,借助森林固定CO<sub>2</sub>效益经济结构模型,根据福建省ODS的排放所带来的全球变暖潜能(GWP)值,计算ODS排放所造成的经济价值损失。结果显示,福建省2005年排放ODS污染损失价值为  $3.605 \times 10^9$  元。

(4)由于森林固定CO<sub>2</sub>效益经济结构模型未包括采伐生物量的碳排放全过程及森林土壤中的碳储存与释放,因此,上述所进行的计算还是粗线条的。但是,这一结果还是有价值的,它将促使我们加快ODS的淘汰步伐,同时为福建省森林资源的科学管理和资产评估提供借鉴和参考。

(5)由于ODS排放数据来源于现场调研,存在一定的误差,因此,下一步工作将进行深入调研,努力获取更加全面可靠的数据,为科研、决策部门提供参考。

### 参考文献

- [1] 邱生鲁. 全球变暖与二氧化碳减排[J]. 现代化工, 2007, 27(8): 1-12.
- [2] 国家发展与改革委员会. 中国应对气候变化国家方案[R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2007: 1-3.
- [3] 方精云. 中国森林生产力及其对全球气候变化的响应[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 513-517.
- [4] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-74.
- [5] 施溯筠, 李光, 张三焕. 长白山区森林固定CO<sub>2</sub>价值的评估[J]. 延边大学学报: 自然科学版, 2002, 28(2): 134-137.
- [6] 宋离东, 张江山. 福建省森林固定CO<sub>2</sub>价值评估[J]. 云南环境科学, 2005, 24(3): 24-26.
- [7] 阮君. 福建省森林固碳制氧价值估算[J]. 山东林业科技, 2006(2): 42-43.
- [8] 杨永辉, 毕绪岱. 河北省森林固定二氧化碳的效益[J]. 生态学杂志, 1996, 15(4): 51-54.
- [9] 国家环境保护总局. 中国保护臭氧层行动概要介绍[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2007: 2-7.
- [10] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate change 2001: the scientific basis[M]. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2001: 57.
- [11] 徐建华, 胡建信, 张剑波. 中国ODS的排放及其对温室效应的贡献[J]. 中国环境科学, 2003, 23(4): 363-366.
- [12] 国家环境保护总局. 中国消防行业哈龙整体淘汰计划[R]. 北京: 国家环境保护总局, 1997: 3-15.
- [13] Galinski W. Polish forest ecosystems: The influence of changes in the economic system on the carbon balance[J]. Climatic Change, 1994, 27: 103-119.
- [14] Sampson R N. Forestry opportunities in the United States to mitigate the effects of global warming[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1992, 64: 83-120.
- [15] 李意德, 吴仲民, 周铁烽. 中国热带天然林变迁对大气CO<sub>2</sub>的影响及经济损益评估[J]. 生态科学, 1999, 18(2): 1-7. ■

### 《现代化工》增刊征稿启事

《现代化工》是中国化工信息中心主办的综合性化工科技期刊,为全国中文核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊、RCCSE中国权威学术期刊,被SCOPUS和CA等国际刊物所收录,为科技论文统计源期刊,是中国学术期刊(光盘版)的入编刊物。自1980年创刊以来,经过30年的发展,《现代化工》在化工领域已享有很高的声誉,已先后获得国家科技部和新闻出版总署举办的首届和第2届全国优秀科技期刊评比一等奖;2000年首届国家期刊奖和2005年第3届全国国家期刊奖,2003年第2届全国国家期刊奖提名奖;2001年在中国期刊方阵评比中被评为双奖期刊;2002年第5届全国石油和化工行业优秀期刊评比一等奖和广告单项奖,2006年第6届全国石油和化工行业优秀期刊(专业技术类)一等奖。

随着《现代化工》影响的不断扩大,《现代化工》近年来投稿量很大,众多作者热切希望自己的研究成果能够早日公布,但受版面限制,许多优秀文章无法刊出。为满足广大作者的要求,经上级批准,编辑部决定2010年11月再次出版1期增刊,所设主要栏目有“专论与评述”、“技术进展”、“科研与开发”、“工艺与设备”、“管理科学”、“分析测试”、“海外纵横”等。增刊所刊用的稿件一部分从现有投稿中择优采用,另一部分将在全国范围内征集。

增刊征文范围和稿件要求与正刊相同。论文投稿截止日前为2010年9月30日,投稿邮箱:zhaoxy@cheminfo.gov.cn,请注明:增刊投稿。联系人:赵秀云,咨询电话:(010)64444105-841。

《现代化工》编辑部