Status report on MRV for methane emissions for agricultural and waste sector 中国农业和废弃物行业甲烷逃逸排放MRV体系现状













Initiative for Climate Action Transparency - ICAT

Status report on MRV for methane emissions for agricultural and waste sector

中国农业和废弃物行业甲烷逃逸排放MRV体系现状

Deliverable 10

AUTHORS

DONG Hongmin

Chinese Academy of Agriculture Sciences

GAO Qingxian

Chinese Research Academy of Environmental Sciences

MA Zhanyun

Chinese Research Academy of Environmental Sciences

ZHU Zhiping

Chinese Academy of Agriculture Sciences

WANG Tian

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

SHOU Huantao

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

MA Cuimei

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation

March 2022





DISCLAIMER

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, photocopying, recording or otherwise, for commercial purposes without prior permission of UNOPS. Otherwise, material in this publication may be used, shared, copied, reproduced, printed and/or stored, provided that appropriate acknowledgement is given of UNOPS as the source. In all cases the material may not be altered or otherwise modified without the express permission of UNOPS.

PREPARED UNDER

Initiative for Climate Action Transparency (ICAT) project supported by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety, the Children's Investment Fund Foundation (CIFF), the Italian Ministry for Ecological Transition, and ClimateWorks.









The ICAT project is managed by the United Nations Office for Project Services (UNOPS).



Table of contents

1. 农业活动	1
1.1农业活动甲烷排放现状	1
1.2 农业活动甲烷排放的机理	2
1.3农业活动甲烷排放MRV 现状	3
2. 废弃物	14
2.1 废弃物领域甲烷排放现状	14
2.2 废弃物处理甲烷排放机理概述	14
2.3废弃物处理甲烷排放MRV 现状	16

1.农业活动

1.1农业活动甲烷排放现状

农业活动是我国人为活动甲烷排放的最主要来源,分别来自稻田甲烷排放、动物肠道发酵甲烷排放和动物粪便管理甲烷排放等三种排放源,根据中国提交联合国气候变化框架公约(UNFCCC)的最新报告数据显示,2014年我国农业活动甲烷排放总量为2224.5万吨,占当年我国甲烷排放总量的40.2%,占我国当年温室气体排放总量(包括LULUCF)的4.2%。动物肠道发酵、水稻种植和动物粪便管理的甲烷排放量粪便为985.6万吨、891.1万吨和315.5万吨,占比分别为45.0%、14.4%和40.6%。2005年以来,我国农业活动甲烷排放总量呈现稳中有降的趋势,2014年排放总量较2005年下降12.9%,其中动物肠道发酵甲烷排放呈现逐步下降,水稻种植和动物粪便管理呈现缓慢增加的趋势(图1.1)。

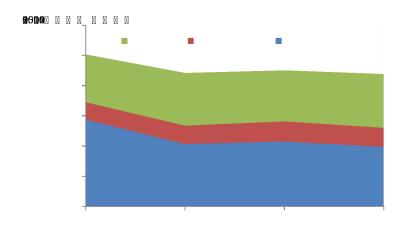


图1.1 中国温室气体清单年份农业活动甲烷排放情况

动物肠道发酵是最主要的农业活动中的甲烷排放源,主要来自反刍动物,包括肉牛、奶牛、水牛、山羊和绵羊,根据2014年中国畜牧业清单结果显示,肉牛是最大的肠道发酵 CH₄排放源,其CH₄排放量为399.0万吨,占肠道发酵CH₄排放总量的40.5%;其次为绵羊和山羊,排放量分别占15.2%和12.9%,奶牛占肠道发酵CH₄排放总量的9.0%。

1.2 农业活动甲烷排放的机理

1.2.1 反刍动物甲烷排放机理

动物肠道发酵甲烷排放主要指饲料在反刍动物(牛、养等)胃肠道中降解消化过程产生的甲烷气体。反刍动物瘤胃是天然的厌氧发酵环境,栖息着数以亿计的微生物,包括真菌、细菌、原虫等,这些微生物与产甲烷菌彼此之间构成了极为复杂的共生关系,共同维系着瘤胃正常的消化代谢功能。当反刍动物摄食后,饲料在微生物的作用下进行厌氧发酵,将复杂碳水化合物分解成可供胃壁和小肠壁直接吸收利用的挥发性脂肪酸(VFA),可以满足宿主动物生理活动所需能量的70%-80%,其中乙酸、丙酸和丁酸是最重要的VFA,可直接进行能量合成。在饲料降解产生VFA的同时伴随生成了大量的二氧化碳和氢气,其中瘤胃氢分压上升产生的氢离子,瘤胃产甲烷菌的存在主要是作为氢离子传递的最终受体,消耗饲料降解过程累积的氢离子,保持瘤胃氢分压平衡,维持稳定的消化代谢功能,而甲烷仅是产甲烷菌获取能量的代谢副产物,无法进入代谢途径,最终随呼吸或嗳气过程排出体外。实际饲养过程中可通过优化日粮、科学饲喂或添加剂等方式改善瘤胃发酵,提高饲料可消化性和能量转化率,减少反刍动物肠道发酵甲烷排放。

1.2.2 畜禽粪便甲烷排放机理

动物粪便中含有大量的有机物,其成分主要为碳水化合物、蛋白质和脂肪等物质组成,它们在有氧或无氧条件下分解为简单的小分子物质并排出。碳水化合物在有氧条件下分解释放热能,大部分分解成二氧化碳和水;而在无氧条件下,化学反应不完全,可分解成甲烷(Cl₄)、有机酸和各种醇类物质,当畜禽粪便中含水量较高时,畜禽粪便贮存处理过程中易产生厌氧环境,粪便中的碳水化合物、蛋白质和脂肪等大分子物质在厌氧微生物的作用下,通过水解、酸化和甲烷化等三个过程,其中:水解过程是指复杂的固体有机物在水瓣的作用下被转化为简单的溶解性单体或二聚体,酸化过程是指溶解性单体或二聚体形式的有机物转化为以短链脂肪酸或醇为主的末端产物,这些水解成的单体会进一步被微生物降解成挥发性脂肪酸、乳酸、醇、氨等酸化产物和氢、二氧化碳;产甲烷阶段是由严格专性厌氧的产甲烷细菌将乙酸、一碳化合物和H₂、CO₂等转化为 CH₄和CO₂的过程。畜禽粪便管理过程中的甲烷排放与废弃物处理方式、贮存处理时间和所在区域的气温等相关,其中贮存处理时间越长、年平均气温越高会导致粪便管理过程中的甲烷排放越高。

1.3农业活动甲烷排放MRV 现状

1.3.1 畜牧业活动甲烷统计和核算体系现状

1.3.1.1 动物肠道发酵甲烷排放

(1)IPCC方法论

《1996 IPCC清单指南》和《IPCC良好作法指南》均推荐了两种用于动物肠道发酵甲烷排放清单的方法,其中:

方法1是一种利用以前研究中得出的默认排放因子进行估算的简化方法。即:动物存栏量乘以IPCC默认排放因子,然后相加可得总排放量。该方法简单,但不能完全反映各国的畜牧业生产特性。

方法2是一种较复杂的方法,需要根据各国特定的动物生产特性、饲料种类、家畜采食量、饲料质量、消化率等数据来确定该国特有的动物肠道发酵CH4排放因子。

根据排放源的重要性、数据的可获取性,结合《1996 IPCC清单指南》的质量控制中提出的各国要尽可能采用方法2的原则,确定了估算中国动物肠道发酵甲烷排放量所采用的方法。

(2)《中国第二次国家信息通报》(SNC)动物肠道甲烷排放计算方法

第二次国家信息通报编制过程中,根据《IPCC良好作法指南》中关于关键排放源的确定方法。首先确定了中国畜牧业中的动物肠道发酵甲烷排放动物种类,包括奶牛、非奶牛、水牛、山羊、绵羊、猪、马、驴、骡、骆驼等10种动物,对于关键排放源的奶牛、非奶牛、水牛、山羊、绵羊等5种畜禽采用方法2,因为《1996 IPCC清单指南》中没有详细的计算猪的肠道甲烷排放方法而采用IPCC方法1外,其它非关键源采用IPCC方法1。考虑到中国饲养量大。各地品种和生产水平差别较大,饲料种类多样,根据《IPCC良好作法指南》对动物进行了进一步分类。根据中国畜牧业生产特点将动物饲养分为农户散养、规模化饲养和放牧三种饲养方式,同时考虑动物不同年龄阶段对动物肠道发酵CH排放的影响。

(3)《中国第三次国家信息通报》(TNC)

在IPCC方法的基础上,考虑到中国畜牧业对牛的分类并结合统计年鉴,将牛进行了进一步细分,分为奶牛、肉牛、水牛、牦牛和其他牛等5种类型,其中:奶牛、肉牛、水牛、山羊、绵羊等5种畜禽采用方法2计算获得排放因子,牦牛为中国特有养殖的牛的种类,其肠道发酵排放因子采用中国有关学者研究获得排放因子,其他牛采用IPCC指南推荐的排放因子,进一步提高了清单编制精度,降低动物肠道发酵过程中的不确定性。

1.3.1.2 动物粪便管理甲烷排放

(1)IPCC方法论

《1996 IPCC清单指南》和《IPCC良好作法指南》均推荐了两种用于动物粪便管理甲烷排放清单的方法,其中:

方法1是一种利用以前研究中得出的默认排放因子进行估算的简化方法。即:动物存栏量乘以IPCC默认排放因子,然后相加可得总排放量。该方法简单,但不能完全反映各国的畜牧业生产特性。

方法2是一种较复杂的方法,需要根据各国各种畜禽的饲养方式(规模化、农户、放牧)、饲料特性、粪便中挥发性性固体产生量、粪便管理方式及其比例等数据来确定中国不同区域、不同畜禽粪便管理甲烷排放因子。

根据排放源的重要性、数据的可获取性,结合《1996 IPCC清单指南》的质量控制中提出的各国要尽可能采用方法2的原则,确定了估算中国动物粪便管理甲烷排放量所采用的方法。

(2)《中国第二次国家信息通报》(SNC)动物粪便管理甲烷排放计算方法

第二次国家信息通报编制过程中,根据《IPCC良好作法指南》中关于关键排放源的确定方法,确定了我国各种畜禽粪便管理甲烷排放的计算方法,其中家禽、骆驼、马、驴、骡等5种畜禽采用IPCC方法1计算,并《1996 IPCC清单指南》的方法1选择了的发展中国家不同气候区不同动物粪便管理的默认甲烷排放因子。不同气候区的定义为:年平均温度低于或等于15℃为寒冷区、年平均温度高于15℃且低于25℃为温暖区,年平均温度高于25℃为炎热区。根据收集的各省年平均温度,确定不同省份马、驴、骡、骆驼和家禽的粪便管理CH₄排放因子。猪、奶牛、非奶牛、水牛、绵羊、山羊等6种畜禽为关键排放源,采用IPCC方法2进行计算,计算过程中各种畜禽的VS,粪便管理方式及其比例等数据采用本地化的系数。

(3)《中国第三次国家信息通报》(TNC)方法改进

在IPCC指南方法的基础上,第三次国家信息通报编制过程中考虑到中国畜牧业对牛的分类并结合统计年鉴,将牛进行了进一步细化分类,分为奶牛、肉牛、水牛、牦牛和其他牛等5种类型,其中:生猪、奶牛、肉牛、水牛、山羊、绵羊等6种畜禽采用方法2计算获得排放因子。牦牛和其他牛采用IPCC推荐值进行计算。

1.3.2 畜禽养殖企业温室气体MRV现状

为制定畜禽养殖企业开展温室气体排放核算和报告,中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所牵头制定了《温室气体排放核算与报告要求 畜禽养殖企业》标准,并申请获得国家标准立项。该标准要求报告主体应以法人企业或视同法人的独立核算单位为企业边界,核算和报告其生产系统产生的温室气体排放。生产系统包括主要生产系统(如畜禽饲养与管理、饲料加工和粪便处理等)、辅助生产系统、以及直接为生产服务的附属生产系统,其中辅助生产系统包括动力、供电、供水、机修、库房、运输等,附属生产系统包括企业内部生产指挥管理和为生产服务的部门。

畜禽养殖企业在生产管理过程中,其生产系统温室气体排放包括以下部分或全部排放 :化石燃料燃烧二氧化碳排放、动物肠道发酵甲烷排放、动物粪便管理甲烷排放、动物粪便 管理氧化亚氮排放、沼气甲烷回收利用、购入电力和热力等导致的二氧化碳排放、输出电 力和热力等导致的二氧化碳排放。

畜禽养殖企业温室气体排放总量等于核算边界和报告年度内(本部分规定为1年)的化石燃料燃烧二氧化碳排放、动物肠道发酵甲烷排放、粪便管理甲烷排放、粪便管理氧化亚氮排放、企业购入电力和热力所对应的二氧化碳排放之和,扣除沼气甲烷回收利用量、企业输出电力和热力对应的二氧化碳排放,按公式(1)计算:

$$E = E_{\# E} + E_{CH_4_\# E} + E_{CH_4_\# E} + E_{N_2O_{\# E}} - R_{CH_4_{\# E}} + E_{M \land E} + E_{M \land A} - E_{\# \uplus E} - E_{\# \uplus B}$$

$$E = E_{\# E} + E_{CH_4_\# E} + E_{CH_4_\# E} + E_{N_2O_{\# E}} - R_{CH_4_{\# E}} + E_{M \land E} + E_{M \land A} - E_{\# \uplus E} - E_{\# \uplus B}$$
式中:

E — 报告主体的温室气体排放总量,单位为吨二氧化碳当量(tCQ);

 $E_{
m mkg}$ — 报告主体化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放,单位为吨二氧化碳(tCQ

 $E_{CH4-Bhl}$ — 报告主体动物肠道发酵产生的甲烷排放,单位为吨二氧化碳当量 (tCO_2e) ;

 $E_{\mathit{CH4-\$}\emptyset}$ — 报告主体动物粪便管理产生的甲烷排放,单位为吨二氧化碳当量(tC_{Ω}

 $E_{N2O-粪便}$ — 报告主体动物粪便管理产生的氧化亚氮排放, 单位为吨二氧化碳当量(tCO_2e);

 $R_{ extit{CH4-PPW}}$ — 报告主体通过沼气回收利用减少的甲烷排放量,单位为吨二氧化碳当量(tCO_2e);

 $E_{\rm phale}$ — 报告主体购入的电力对应的二氧化碳排放,单位为吨二氧化碳(tCQ);

 $E_{\rm ph \lambda h}$ — 报告主体购入的热力对应的二氧化碳排放,单位为吨二氧化碳(tCQ);

 E_{hille} — 报告主体输出的电力对应的二氧化碳排放,单位为吨二氧化碳(tCQ);

 $E_{
m hulb}$ — 报告主体输出的热力对应的二氧化碳排放,单位为吨二氧化碳(tCQ。

标准中给出了各种排放源的计算方法和有关参数的推荐值,相关参数采用了第三次国家信息通报中给出的推荐系数,但目前该标准还未发布实施。

1.3.3 畜牧业活动甲烷的监测方法

在国际农业研究磋商组织"气候变化、农业与粮食安全"和全球农业温室气体研究联盟的项目支持下,中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所联合国家应对气候变化战略与国际合作中心、河北省畜牧总站等单位,开展了基于IPCC方法2的中国畜牧业温室气体MRV方法研究,提出了中国省级畜牧业温室气体监测、报告和核证方法,并开展了案例研究,为中国和其他国家畜牧业温室气体清单监测、核算、报告和核证方法提供了经验,也为应对气候变化、实现畜牧业绿色低碳发展提供支持。在报告方面,开展了国家畜牧业温室气体清单编制和报告,以及省级畜牧业温室气体清单编制和报告,在条件较好的个别市县级也进行了温室气体清单的编制和报告。在省级层面上,除北京、上海等少数地方外,全国绝大部分省份基本上都是利用第一层级的也就是1996年清单指南的方法进行计算,没有利用更高级别的方法进行计算。在核查工作方面,在已经开展省级清单编制的省份,在清单验收的时候进行相关的专家评审,并就相关关键指标参数,包括单位产奶量温室气体排放量进行了相互比较,但基本属于初步核查的范畴,但是与IPCC的可监测、可报告和可核查的要求还存在很大差距。

畜牧业领域在反刍动物肠道甲烷排放和粪便管理甲烷和氧化亚氮排放监测方法和监测实验研究开展主要的工作如下:

1.3.3.1 反刍动物肠道发酵甲烷排放监测方法研究

反刍动物肠道发酵温室气体排放监测方法包括六氟化硫示踪-气相色谱法、呼吸仓法、 在线监测法等三种方法。方法的主要原理和优缺点比较如表1.1和表1.2

表1.1 三种反刍动物甲烷排放监测方法原理和优缺点介绍

监测方法	原理	优缺点

六氟化硫示 踪-气相色谱 法	将具有恒定释放速率的六氟化硫渗透管投入反刍动物的瘤胃中,瘤胃中产生的甲烷和渗透管中渗透出来的六氟化硫随着反刍动物的呼吸过程一起排出后收集测定	优点:可用于现场大群试验,实现实际 生产过程中的反刍动物肠道甲烷排放 测定 缺点:气体采集装置在动物容易脱落, 采样劳动力强度大
呼吸仓法	将当个反刍动物放入可自动控制的人工气 候箱中, 通过定位饲养,测定人工气候箱中 的气体浓度差和通风量计算	优点:测定精度高,条件可控 缺点:在可控条件下, 测定动物数量有限, 测定过程费用高
在线监测法	该方法是一种新型的测定方法,就是在畜舍中放置自动采食装置,反刍动物在采食装置采食的同时,采集动物呼吸的气体并自动检测甲烷排放速率	优点:灵敏度高,响应时间快;可用于 实际生产中反刍动物甲烷测定 缺点:设备成本较高,测定结果随机性 大

表1.2 三种监测方法的比较

方法	六氟化硫示踪-气相色谱法	呼吸仓法	在线监测法
数据	定量	定量	定量
排放因子的测量	单个动物	单个动物	群体
测定的场景	正常饲养的畜舍	实验室条件	正常饲养的畜舍
可用性	通用方法, 形成国家标准	实验室研究为主	正在研究

通过比较结果可以看出,由于六氟化硫示踪-气相色谱法已经制定发布了国家标准,反 刍动物肠道发酵甲烷排放目前主要以该方法为主,一是能够反映实际生产状况下的甲烷排 放,二是可以开展对照试验,明确减排技术的效果,呼吸仓法以实验室研究为主,由于初期 投资建设成本高,不能大范围推广应用;在线监测法是最近出现的新型方法,其测定结果 的可靠性还有待验证,距离业务化运行尚有一段距离。

1.3.3.2反刍动物肠道发酵甲烷排放监测实验研究

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所利用六氟化硫示踪-气相色谱法在山东 某大型奶牛场开展了反刍动物肠道发酵甲烷排放因子及减排技术应用的现场监测,在奶牛 场的泌乳奶牛随机选择10头奶牛开展监测实验,其中5头作为正常饲喂的奶牛,5头通过添 加矿物舔砖后的奶牛(图1.2),通过对10头奶牛瘤胃中投加渗透管,通过采气装置收集奶 牛呼出的气体,测定收集气体中的甲烷和六氟化硫的浓度,通过恒定示踪法计算获得奶牛 肠道发酵甲烷排放因子。





图1.2 六氟化硫示踪法测定反刍动物现场图

现场试验开展了4个季节的监测,监测结果显示:反刍动物肠道发酵甲烷排放呈现了季节性变化,不同季节添加舔砖后奶牛的单位产奶CHJ排放均较对照组有所降低,对照组奶牛平均每天排放309.3 g/头, 舔砖组奶牛平均每天排放245.6 g/头, 组间差异达到显著水平(P < 0.05), 奶牛舔食矿物砖可有效减排20.6%的肠道发酵CH₄。

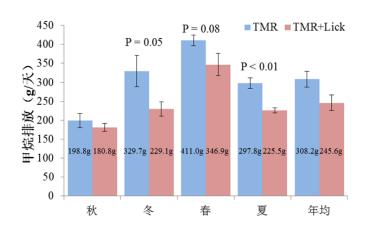


图1.3 不同季节泌乳奶牛添加矿物舔砖和对照组肠道甲烷排放因子

1.3.3.3粪便管理甲烷排放监测方法研究

粪便管理的温室气体监测方法主要是通过箱法(静态箱和动态箱法)、微气象方法等方法进行。主要的原理和优缺点比较如表1.3和表1.4。

表1.3 粪便管理温室气体排放监测方法原理和优缺点介绍

监测方法	原理	优缺点
动态箱法	使用箱子将待测表面罩起来,基于气体在进气口 和出气口的浓度差及动态箱气流量,计算粪污表	原理简单;可连续监测;需要搭配灵敏的检测 仪器;要求被测单元气体排放量较高

	面单位时间的气体交换通量	
静态箱法	使用箱子将待测表面罩起来,根据箱内气体浓度 随时间的变化计算被罩表面的气体排放通量	箱体改变原有表面的湍流状态;原理简单;组 济且易于操作;不受地形限制
微气象学法	通过测量近地层的湍流状况和气体的浓度变化 得到有关地表气体释放通量	监测尺度大;可连续监测;成本高;技术复织

方法 动态箱方法 静态箱方法 微气象法 数据 定量 定量 定量 时间的监控 有序 有序 连续 通量的测量 整体 局部 局部 整体和局部通量的 整体和局部通量的 应用 连续通量的测量 估算 估算 可用性 正在发展 可用 可用

表1.4 三种监测方法的比较

在各方法中, 动态箱法和静态箱法是目前应用最多, 也是相对最准确的方法, 其余的方法都在研发过程中。动态箱法和静态箱法的监测在实践中也面临着选点位置设置和监测不均性处理等方面的问题, 特别是如何通过离散点位的监测值计算出排放总量, 亟需开展相关方法学的研发。

1.3.3.4污水贮存甲烷和氧化亚氮排放因子实验研究

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所进行了对不同温度条件下猪场沼液贮存中甲烷和氧化亚氮排放因子的监测实验。采用人工气候箱系统,设计了5,10,15,20,25°C以及室温贮存6个贮存温度条件。实验目标是通过对污水贮存气体排放浓度的实时监测,结合进气量,核算出不同温度条件下污水贮存中甲烷和氧化亚氮的排放通量;再基于污水自身VS含量,以及TN含量,核算污水贮存中的甲烷排放因子和氧化亚氮排放因子。

实验方法为动态箱法,结合可实现多路采样的多通道采样器,以及可实现Cl和N₂O 同步监测的多功能气体分析仪(Innova 1412i)对污水贮存在99天内的气体排放进行了实时在线监测,监测系统图以及所用的贮存桶及设备等如图1.4。

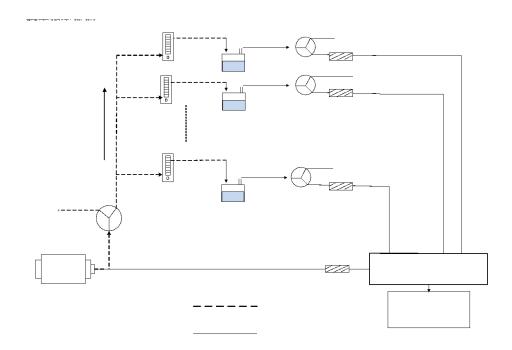


图1.4动态箱测试系统图

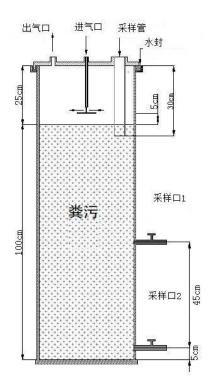


图1.5污水贮存桶示意图



图1.6温度试验现场测试系统

实验结果显示15°C是CH₄气体排放的临界温度,在15°C及低于15°C的温度下,CH₄排放处于很低的水平;25°C是出现N₂O较为显著排放的临界温度(表5)。沼液贮存过程中单位 VS甲烷排放因子为0.001-0.022 L g⁻¹ VS;当温度超过15°C后,单位VS甲烷排放因子增加明显(图1.7)。5,10,15,20°C下N₂O排放因子为0.0003-0.0006 kg N₂O-N kg⁻¹ N, 25°C和室温条件下N₂O排放因子分别为0.0035和0.0015 kg N₂O-N kg⁻¹ N(图1.8)。

表1.5 沼液在不同温度贮存下CH4和N2O日均排放通量

温度	CH ₄	N ₂ O
	$(mg m^{-3}d^{-1})$	(mg m ⁻³ d ⁻¹)
5°C	11.56±1.18d	6.05±0.19b
10°C	17.62±1.98d	5.58±0.21b
15°C	7.54±0.2d	10.92±1.5b
20°C	93.11±1.24c	10.99±0.36b
25°C	124.75±3.81b	60.12±13.26a
室温(32-20°C)	170.85±13.07a	24.2±6.99b

^[b] 同列均值标不同小写字母表示差异显著,P < 0.05

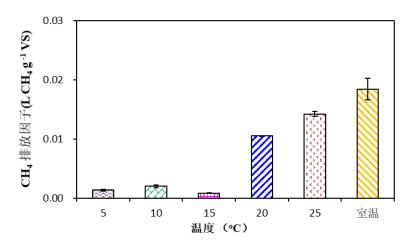


图1.7 沼液在不同贮存温度下的CH_排放因子

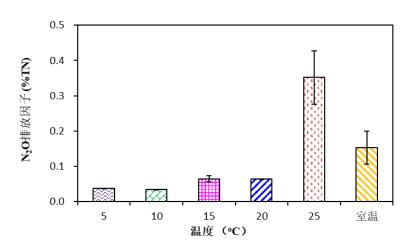


图1.8 沼液在不同贮存温度下的N₂O排放因子

1.3.2.5可监测报告的案例

案例名称:山东民和大型沼气工程清洁发展机制项目

针对我国规模化养殖增加快,畜禽废弃物污染严重,继续探讨经济有效可持续运行的技术和机制的问题。中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所与山东民和牧业股份有限公司合作, 开展了特大型畜禽粪便沼气处理CDM工艺的示范和开发。成功建设了当时国内最大的畜禽养殖沼气工程-山东民和鸡场粪便沼气发电项目,共建有8个体积为3300m³的沼气发酵罐,用于处理公司的23个种鸡场和8个肉鸡养殖区每日产生的粪便500吨、污水1000吨,年回收沼气1095万㎡,年发电2190万kWh,发出的电全部输送给华北电网。发电机组余热用于厌氧系统增温,无需外加热源。发酵后的沼液用作周边苹果、葡萄、蔬菜地等有机肥料,有力地促进了当地循环经济发展。项目按照CDM 方法学的要求,进行了温室气体及相关参数的监测,每年可减排温室气体7万多吨二氧化碳当量,并通过

第三方认证,减排额度卖给世界银行。项目除每年发电创造的1200万元收入外,CDM项目每年可为企业带来减排收益近700多万元,成为我国农业领域内特大型沼气发电并网工程完全商业化成功运作的范例。

2. 废弃物

2.1 废弃物领域甲烷排放现状

废弃物处理是我国人为活动甲烷排放的主要排放源,主要包括废弃物填埋处理、生物处理和焚烧处理以及生活和工业废水处理的甲烷排放。根据中国提交联合国气候变化框架公约(UNFCCC)的最新报告数据显示,2014年我国废弃物处理甲烷排放总量为656.36万吨,其中包括填埋处理382.04万吨,生物处理0.34万吨,生活污水处理68.9万吨,工业废水处理204.04万吨,焚烧处理1.85万吨。占比分别为58.2%,0.1%,10.4%,31.1%和0.3%.2005年以来,到2014年我国废弃物领域甲烷排放总量呈现增加趋势,2014年排放总量较2005年增加41.5%,各领域都呈现增加趋势,如图2-1所示。

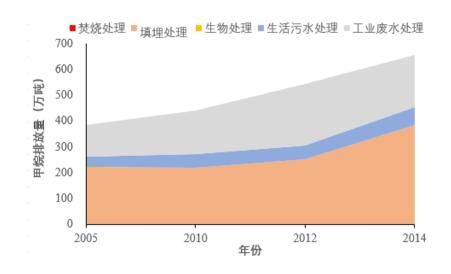


图2.1 中国温室气体清单年份农业活动甲烷排放情况

2.2 废弃物处理甲烷排放机理概述

2.2.1 填埋处理甲烷排放机理

废弃物厌氧降解过程是一个多类群细菌的协同代谢过程。废弃物填埋处置中,废弃物降解是一个同时进行着的物理、化学、生物反应(其中生物应占主导地位)的复杂而又漫长的过程,一般要持续几十年甚至上百年。在此过程中,不同微生物的代谢过程互相影响、互相制约,形成复杂的生态系统。微生物是垃圾降解的主体,生物降解过程以微生物代谢为核心,化合物的分解过程则遵循化学反应原理。填埋的固体废弃物的降解主要是厌氧生物

降解过程,在厌氧条件下,利用多种厌氧微生物的代谢活动,将固体废弃物中有机物转化为无机物(CH,CO₂、H₂O等)和少量细胞物质。

2.2.2 焚烧处理甲烷排放机理

废弃物焚烧处理主要是通过工艺流程中对反应温度、加热时间及气化剂的控制,将废弃物焚烧产生大量的可燃气,热值接近城市煤气热值,这些气体经净化回收装置可加以利用或储存在罐内,最终垃圾体积减少90%以上,剩余物为5%~8%的无机灰。独特的气流运行及反应条件满足剧毒二噁英分解条件,可杜绝或大大降低二噁英等物质的产生,另外900°C的最高处理温度可基本消灭任何病菌,达到无害化的处理效果。

废弃物焚烧处理温室气体排放的理化反应原理是有机碳和无机碳在高温作用下在还原层和氧化层分别分解为 $COntCO_2$ 的过程,在不完全燃烧则会产生 CH_1 和 NO_2 等温室气体。

2.2.3 生物处理甲烷排放机理

根据微生物对有机物降解过程中对氧气要求的不同,固体废物的生物处理化分为好氧生物转化和厌氧生物转化两类。前者称为好氧发酵,也称为堆肥化,后者称为厌氧发酵。

有机废弃物的堆肥处理(如食品垃圾、花园(庭园)和公园废弃物以及废水淤渣)和厌氧分解在发达国家和发展中国家都很常见。堆肥处理是将要堆腐的有机物料与填充料按一定的比例混合,在合适的水分、通气条件下,使微生物繁殖并降解有机质,从而产生高温,杀死其中的病原菌及杂草种子,使有机物达到稳定化。根据处理过程中起作用的微生物对氧气的不同要求,可以把有机废弃物堆肥处理分为好氧堆肥和厌氧堆肥。好氧堆肥堆体温度高,一般在50~65℃,故亦称为高温堆肥。由于高温堆肥可以最大限度地杀灭病原菌,同时对有机质的降解速度快,目前,大多都采用高温好氧堆肥。

废弃物的机械-生物(MB)处理在欧洲日益盛行。MB处理中,废弃物材料经过一系列机械和生物的处理,都可以减少废弃物量并使其稳固,以减少最终处置产生的排放。废弃物经MB处理产生的CH₄,要比未处理低95%。实际减少量取决于MB处理的类型和持续时间。MB处理不同阶段期间的CH₄和N₂O排放,取决于具体操作和生物处理的持续时间。

2.2.4 废水处理甲烷排放机理

废水处理也是温室气体排放的重要排放源之一。温室气体主要在废水的厌氧生物处理过程中产生。废水厌氧生物处理在早期又被称为厌氧消化、厌氧发酵:是指在厌氧条件下,由多种(厌氧或兼性)微生物的共同作用下,使有机物分解并产生CH4和CO2的过程。废水通过无氧处理后会释放甲烷,污水处理系统产生甲烷分为两个部分:有些流程会造成缺氧条件(例如除磷脱氮工艺都有厌氧阶段),有机物被厌氧菌分解会产生甲烷排入大气中;有些流程经过表面曝气,使污水中的溶解甲烷散播到大气。甲烷生成量的主要决定因素是废水中可降解有机材料的数量。相同情况下,COD浓度或BOD浓度较高的废水释放的甲烷一般会超过COD浓度(或BOD浓度)较低的废水。此外,甲烷产生频率随温度升高而增大。由于甲烷微生物缺乏活性,温度不超过15°C时甲烷产生量可能较少。

2.3废弃物处理甲烷排放MRV 现状

2.3.1 废弃物处理甲烷统计和核算体系现状

2.3.1.1 IPCC方法论

温室气体清单指南废弃物处理主要包括固体废弃物的填埋、焚烧、堆肥(生物)处理和废水处理。固体废弃物包括城市固体废弃物、工业固体废弃物、危险废弃物和医疗废弃物等,废水则包括生活和商业污水(统称生活污水)以及工业废水。废弃物处理温室气体排放清单计算的源包括固体废弃物处理、废水处理,废弃物处理温室气体清单主要包括城市固体废弃物处理(填埋、焚烧、堆肥)的CO2、CH4和N2O排放,以及城市废水处理的CH4和N2O排放

在方法学逐渐改进的过程中,《2006 IPCC指南》与《IPCC1996指南》和《2000年国家温室气体清单优良做法及不确定性管理指南》(GPG 2000)相比较,从活动水平数据和排放因子数据的可获得性,以及国家的废弃物处理的实际情况,通过决策树判断来进行清单指南中方法学的选择。决策树是一个描述具体规定步骤的流程图。在依据优良作法原则编制清单或清单分量时,需要按此顺序进行。简单的说方法1为缺省值方法,指大多数的活动水平数据和排放因子参数都无法获得国家的特定数据,所以采用IPCC推荐的缺省值来计算,方法2为有优质的国家特定的活动水平数据,利用IPCC的关键参数来计算。

2.3.1.2《中国第二次国家信息通报》(SNC)废弃物处理甲烷排放计算方法

基于执行第一次国家信息通报能力建设项目(INC)过程中所积累的经验和存在的问题,废弃物处理温室气体清单的编制过程中进一步扩大了各利益相关方参与的网络,包括政府部门、社会团体、研究机构、学校、企业和个人以及非政府组织等,提高清单数据的质量和影响力,强化国家信息通报编写的制度框架。同时,在编制过程中更多关注减缓和适应气候变化的相关政策及其实施效果,使中国有能力在实施国家和部门可持续发展进程中,有效应对气候变化。

《IPCC1996指南》提供的废弃物处置温室气体排放计算方法和缺省值与中国的实际情况差别较大,如果直接使用其中的部分重要缺省数据进行国家排放清单编制工作,将不可避免地产生较大误差,这样必然影响清单的精度和质量。

废弃物清单编制团队联系了有关单位和主管部门以及有关单位和科研机构,获得了所需的资料和数据,并组织国内相关权威专家对数据的准确性和采用的标准进行充分的研讨。应用中国实际的排放数据和分析资料,基于《IPCC1996指南》推荐的方法,参考GPG2000,并借鉴了《IPCC2006指南》的方法,计算了2005年中国废弃物处理温室气体的排放量。

2.3.1.3《中国第三次国家信息通报》(TNC)废弃物处理甲烷排放计算方法

在INC和SNC工作的基础上,对废弃物处理领域,各研究方法进行了深入分析和改进,特别是增加了废弃物焚烧处理和废弃物生物处理的甲烷和氧化亚氮排放,对计算方法进行了总结和研究。在前两次清单工作的基础上进行的主要创新、改进和完善可以概括为:

- (1)报告内容:编制更全面的废弃物处理温室气体清单,1)增加固体废弃物生物处理的甲烷和氧化亚氮的排放计算。2)增加固体废弃物焚烧处理甲烷和氧化亚氮的排放计算。
- (2)方法学改善:选择高级别的方法和国家特有的参数和数据 1)SNC中废水处理的甲烷排放计算中采用的是方法1,TNC中将采用方法2。2)生活污水和工业废水处理甲烷排放计算活动水平数据的收集进一步完善。 3)城市固体废弃物的数据也要在包括城市生活垃圾和危险废弃物的基础上进一步扩大收集范围,而且在收集到的数据中确定各管理水平的比例,增加专家判断的依据。4)计算中采用的国家特有排放因子以提高清单质量。

(3)完善活动水平数据的反演模型:提高模型模拟方法的准确性

进一步完善在废弃物填埋处理采用IPCC提供的FOD方法过程中历史数据的反演方法,建立多个模型进行模拟结果的对比,提高模拟结果的准确性。

(4)不确定性管理:降低温室气体排放量估算和预测的不确定性

在SNC的基础上,进一步完善不确定性的评估方法,减少IPCC默认的不确定性的取值 ,增加国家特有的不确定性的数值的研究,降低估算和预测的不确定性。

总之,在总结INC和SNC废弃物处理温室气体清单编制工作的基础上,对清单编制方法和参数筛选提出科学合理的改进、完善和创新,在充分考虑不同年份清单的一致性问题的基础上,完成TNC的编制工作。

2.3.2 废弃物处理温室气体MRV现状

中国废弃物领域在非二氧化碳温室气体MRV方面尚未全面开展工作,目前在监测方面处于研究和试点示范阶段,通过试点示范项目,开展实验研究对不同监测方法进行比较分析,探讨符合中国实际的监测方法和技术规范。对于报告方面,中国开展了国家温室气体清单编制和报告工作,以及省级温室气体清单编制和报告工作,在有条件的市县也进行了温室气体清单的编制和报告,为决策者提供了技术支持和数据基础。地方在报告方法时,基于《省级温室气体清单指南》,参考IPCC1996年清单指南的第一层级方法进行计算,尚没有利用更高级别的方法进行计算。按照2006年清单指南的决策树,自下而上地计算需要采用层级3的方法进行,然后加和汇总获得全国总排放量。但是由于基础数据获取困难,我国还没有开展此项工作的能力。核查工作在中国地方清单编制和报告工作中已经广泛开展,通过清单编制专家组的评审,提高清单透明度和质量,但是与IPCC的可监测、可报告和可核查的要求还存在一定的差距。

2.3.3 企业层面MRV研究

2.3.3.1 填埋处理甲烷排放监测方法研究

垃圾填埋场的温室气体监测方法主要是通过红外热像仪方法、箱法(静态箱和动态箱法)、示踪气体方法、微气象方法(涡度相关法和质量平衡方法)等方法进行。主要的原理和优缺点比较如表2.1、2.2。

农型 10 0					
监测方法	原理	优缺点			
静态箱法	使用箱子将待测表面罩起来,根据箱内气体 浓度随时间的变化计算被罩表面的气体排放 通量	箱体改变原有地表的湍流状态;原理简单 ;经济且易于操作;不受地形限制			
微气象学 通过测量近地层的湍流状况和气体的浓度变 法 化得到有关地表气体释放通量		监测尺度大;可连续监测;成本高;技术 杂			
二维质量平衡法	通过辐射型光径羽流分布技术和差分吸收激 光雷达技术可测得监测断面CH ₄ 浓度,依据 CH ₄ 释放通量与水平风速和浓度的函数关系 即可计算出CH ₄ 的释放通量	灵敏度高;分辨率高;响应时间快;成本较高;技术原理和操作复杂;易受地形、风速和风向			
示踪气体 羽流法	通过在排放源上风位放置示踪气体,一段时间后测量下风位示踪气体和待测气体的浓度,根据二者的耦合关系得到待测气体的排放 强度	监测范围大;费用较低;易受天气等外界 条件影响			

表2.1 几种监测方法原理和优缺点介绍

表2.2 各监测方法的比较

	方法	红外热像仪方法	象仪方法 静态箱方法 示		质量平衡方法
数据定性		_	定性	_	
	时间的监控	有序	有序	有序	连续
	通量的测量 整体		局部	整体	整体
量	表面区域的测 量 1m²-100ha		0.25m²-10ha	1m²-100ha	2500m²-2ha
	应用	探测遗漏	整体和局部通量的 估算	无	连续通量的测量
	可用性	正在发展	可用	正在研究	正在发展

通过比较结果可以看出静态箱法是目前应用最多,也是相对最准确的方法,其余的方法都在研发过程中,距离业务化运行尚有一段距离。静态箱法的监测在实践中也面临着选点位置设置和监测不均性处理等方面的问题,特别是如何通过离散点位的监测值计算出排放总量的方面。亟需开展相关方法学的研发。

2.3.3.2 填埋处理甲烷排放监测实验研究

中国环境科学研究院在北京市阿苏卫垃圾填埋场进行了现场监测实验,其代表是中国 北方标准卫生填埋场,进行覆盖HDPE膜处理,同时有封场区域,进行了覆土和绿化。其代 表了中国北方标准卫生填埋,管理程度比较高的,填埋规模较大的填埋场类型。监测对象 主要为 CH₄, 其主要排放路径为边坡逸散, 覆土层氧化、覆膜区域泄露、渗滤液溶解, 回收利用(图2.2)。通过静态箱法监测和数据调研对这几个 CH₄ 消耗和排放情况进行研究, 定量监测的目标是获得整个填埋场的日或年CH₄排放通量, 其理论基础是基于质量守恒定律的气体对流扩散规律, 排放通量是对监测所得的大量数据运用统计方法计算获得。

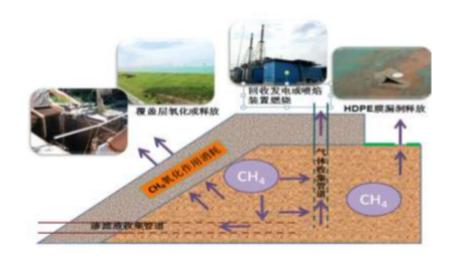


图2.2 阿苏卫垃圾填埋场CH₄产生和排放的途径示意

实验方法是用静态箱法对垃圾填埋场边坡填埋气进行采样,进行了8年的月定期采样,和四次多布点的季度对比采样;渗滤液气体中溶解的Cl-气体用静态顶空法的采集方法;HDPE 膜覆盖区 CH4 泄漏面积的核算采用照相记录漏点面积的方法(图2.3)。

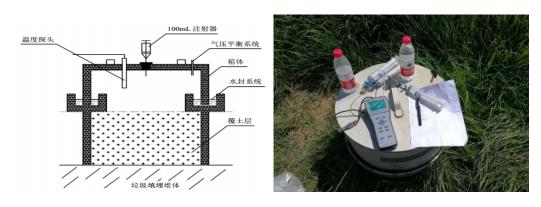


图2.3静态箱结构示意图及静态箱现场采样图

所有采集气体样本需在 24h 内完成分析, 所有气体样品采用 Agilent 7890A型气相色 谱仪进行分析, 色谱的实验条件如表2.3所示。火炬点燃和填埋气发电回收利用量为填埋场的线上数据。

	我 2.5 CH A					
目标物	色谱柱	载气及流量(cm³/min)	柱箱 温度 (°C)	转化器 及温度 (℃)	检测器 及温度 (℃)	空气及高纯度H ₂ 流量(cm³/min)
CH₄	Col1:SS-2m×2m m 13XMS(60/80目)	高纯N ₂ , 30 cm³/min	55°C	-	FID, 250°C	空气:400 cm³/min H ₂ :30 cm³/min
CO ₂	Col1:SS-2m×2m m PorapakQ(60/80 目)	高纯N ₂ , 25 cm3/min	55°C	镍触媒: 375℃	FID, 250°C	空气:400 cm³/min H ₂ :30 cm³/min

表2.3 CH。浓度监测的气相色谱分析条件

实验结果阿苏卫垃圾填埋场 CH₄产量为垃圾填埋场填埋堆体表面 CH₄排放量、覆盖层 CH₄氧化量、渗滤液CH₄溶解量和CH₄处理量的总和,阿苏卫垃圾填埋场各CH₄处理和排放量,如图4所示¹。阿苏卫垃圾填埋场2013年CH₄总产量为15.63Gg C, 其中边坡封场区CH₄排放量为2.35Gg C, 覆盖层CH₄氧化量为1.16 Gg C, HDPE膜覆盖区CH₄排放量为0.03 Gg C, 渗滤液溶解CH₄量为0.91 Gg C, CH₄回收利用发电和火炬燃烧处理量为11.21 Gg C。阿苏卫垃圾填埋场产生的 CH₄ 大部分被回收利用或火炬燃烧(71.67%),其余有15.05%从边坡封场区排放,7.41%被边坡封场区覆盖层氧化,有 0.02%从 HDPE膜覆盖区排放,另外有5.84%被渗滤液带走。

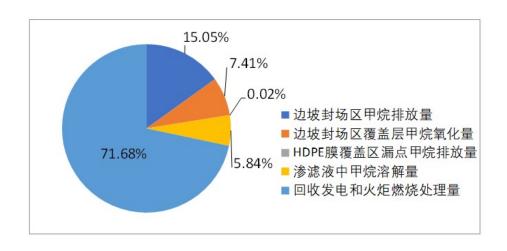


图2.4阿苏卫垃圾填埋场CH4产生和排放情况

2.3.3.3 填埋处理甲烷排放报告研究

¹李海玲.我国典型城市生活垃圾填埋场温室气体甲烷排放特征研究——以北京市某大型生活垃圾填埋场为例[D].硕士毕业论文,兰州大学,2014

案例研究为中国科学院战略性先导科技专项子课题,在项目研究过程中,中科院课题组给出了研究报告模板和数据提交规范模板(图2.5),研究报告规定了年度任务目标及考核指标完成情况,主要研究进展和取得的重要研究成果,其中包括数据分析结果和结论,经费使用情况,子课题的组织管理情况、人员队伍建设情况和存在的问题与改进措施。数据提交规范则包括了原始数据表格(元数据表,图2.6)、数据确认单(图2.7)、具体实验监测数据提交表,其中有实验方案(监测方法、采样时间、采样频率等)、监测数据结果等内容(图2.8)。



图2.5研究报告提交模板

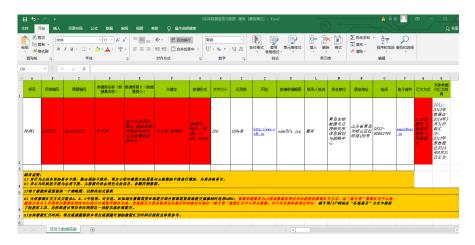


图2.6元数据提交信息表

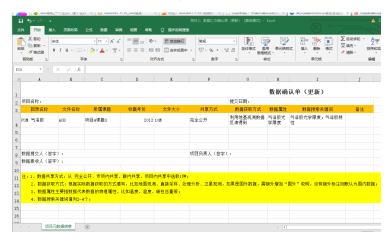


图2.7提交数据确认单

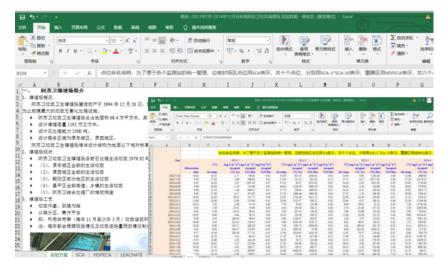


图2.8监测数据提交表

2.3.3.4 填埋处理甲烷排放核查研究

利用科学院碳专项对南京、厦门、北京部分填埋场,利用指南方法学计算的排放,结

合实际采样分析进行了比对分析,修正了相关参数,监测通过了专家的现场会议核查和专家验收会等形式进行了核查和验收,并顺利通过了验收,现场核查和验收结果见图2.9和2.10。



图2.9现场调研核查

专家组总体评议意见

受中国科学院重大科技任务局委托, 碳专项总体组会同"土地利用与畜牧业 CH4和 N2O 排放"项目依托单位南京土壤研究所,于 2016 年 7 月 18-19 日组织专家(名草附后)在中科院大气物理研究所铁塔分部 LAPC 会议室对课题 6"垃圾填埋场 CH4和 N2O 排放"(XDA05020600)第 1 子课题"北京垃圾填埋场 CH4和 N2O 排放"(XDA05020601)进行了结题验收。专家组认真听取了子课题结题汇报,并审核了结题报告和相关材料,经过质疑和答疑,形成以下验收意见:

- 1、该子课题紧密围绕项目和课题的总目标和课题研究内容,开展了切实且卓有成效的研究工作,研究成果水平、人才培养和组织管理等方面均达到原定计划要求,圆满完成了子课题任务目标,进行了北京垃圾填埋场 CH4和 N2O 排放量监测,获得了3年的每一手监测资料。
- 2、子课题按计划任务,完成了北京垃圾填埋场 CH4 排放的关键排放因子研究,进行了IPCC 指南的 FOD 方法的排放量计算,确定了不确定性和排放控制对策。
- 3、子课题在研期间,1名骨干获得国家自然科学基金青年基金项目,培养青年骨干 5名,硕士研究生8名,发表论文13篇。

综上,专家组一致认为该子课题完成了子课题研究任务和考核指标,达成预期目标, 同意该子课题通过结题验收。



图2.10结题验收意见

2.3.3.5 可监测报告的案例

案例一: 可监测报告的发电装机容量数据

根据调查统计,截止到2012年底,我国建成并投入使用的填埋气体发电厂约50座,发电装机容量约100MW。我国填埋场的产气量小、许多企业为节省投资都是上容量小的机组,所以按照每立方的填埋气可以发1.8度电来计算,50座发电厂的年发电量约为8.76亿度电,折合成填埋气为4.87亿立方米,按照填埋气中Ck协60%来计算,Ckk的回收量为20.9万吨,由于填埋气发电量取值为低值,所以不考虑发电机组装机容量的损耗,估算Ckkl 回收量为20.9万吨。

案例二:可监测报告的工业废水发电统计数据

工业有机废水厌氧反应沼气发电技术,根据估算,每生产一吨柠檬酸可产生大约225 立方米沼气,其中CH₄含量可达60%左右,这种沼气用于发电是一种非常好的燃料,每方沼气可以发1.7度电,效益非常可观。生产一吨酒精可产生300立方米沼气,CLC量可达70%,热值更高。

从2005年的CDM项目开始,中国陆续有很多工业废水处理厂进行了CDM项目的申请工作,所以有很多工业废水处理厂进行了厌氧反应CH₄回收利用发电或者火炬点燃,截止到2012年我国的国内注册CDM工业废水处理项目有48个,实现CH₄年均减排量为16.14万吨,有17个在EB进行了注册,年减排量为5.37万吨。