

大气汞来源、去向与形态分布研究概述

王立辉, 严超宇*

(中国石油大学(北京)化学工程学院, 北京 102249)

摘要:大气汞来源主要有自然来源、人为来源、大气汞再释放。本文对大气汞主要去向——干湿沉降进行介绍, 综述了大气汞形态与行为, 指出大气汞形态转化主要为元素态汞和颗粒态总汞之间的转化, 大气汞形态受地域因素、季节变化、昼夜更替、气象条件、光化学活性的影响, 对今后大气汞研究方向进行了展望。

关键词:大气汞; 来源; 形态; 气态单质汞

中图分类号: X171.5

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)08-0018-05

Research progress of the sources, deposition and species of atmospheric mercury

WANG Li-hui, YAN Chao-yu*

(College of Chemical Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: The sources of atmospheric mercury are mainly summarized as natural sources, human causes and re-emitted one. In this study, dry/wet deposition as the primary discharged way of atmospheric mercury is highlighted. The speciation and behavior of atmospheric mercury are reviewed. The transformation between gaseous elemental mercury and total particulate mercury is pointed out. The influencing factors of atmospheric mercury including regional factors, seasonal variation, diurnal variation, meteorological condition and photochemical activity are also introduced. Finally, the research direction of atmospheric mercury in the future is proposed.

Key words: atmospheric mercury; sources; species; gaseous elemental mercury

作为一种全球性污染物,汞普遍存在于土壤、水体、大气中。汞可在大气中长时间存在,并通过“植物→人体”、“植物→动物→人体”等食物链途径传递进入人体并在体内富集^[1]。人体一旦富集过量汞,会出现头晕、呼吸系统及神经组织受损等症状,严重时会导致死亡。大气汞来源包括自然来源、人为来源、汞再释放3种途径,其中人为来源目前研究最为彻底,联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)2013年发表数据显示,全球每年向大气排放5 500~8 900 t汞,人为源汞释放量约占总释放量的30%(1 960 t)^[2]。汞在大气中主要以颗粒态总汞、气态单质汞、活性气态汞3种形式存在,不同形态汞之间可以相互转化。明确不同形态大气汞时空分布特征,对汞的环境地球化学行为研究具有重要意义。

1 大气汞来源

1.1 大气汞自然来源

大气汞自然来源包括火山喷发、地热活动、森林火灾等自然过程,据UNEP发布的排放清单估计,大气汞自然排放占全球每年汞排放的10%^[2]。火山

喷发过程中, Hg^0 能在熔岩中形成并随着热气释放到大气中,火山喷发对大气汞贡献量与火山数量、位置、喷发阶段有关^[3]。据估计,地表活动(主要为火山喷发)释放的汞量约为80~600 t/a^[4]。Friedli等^[5]估算出生物质燃烧(森林火灾等)每年的汞释放量约为675±240 t,此外,在森林火灾中,地面由于受热也会加速土壤中 Hg^0 释放,其中大部分释放量来自地表表层土壤^[6]。

1.2 大气汞人为来源

自工业革命以来,由于人类活动的加剧,大气中汞浓度明显增高。目前,大气汞人为源汞排放量约为1 960 t/a,占大气汞排放总量的30%左右^[2]。从排放源头来看,由于近年来监测手段的改进,研究人员对于小型金矿汞释放量有了更多的认识,小型金矿汞释放被认为是最大的人为汞释放源头。此外,在我国山东、河南等一些地区,砖厂汞释放量也不容忽视。2013年,全国砖厂汞排放量为9.71 t。由于缺乏有效管理手段,2008—2013年间砖厂汞排放量维持着每年19.2%的速度递增^[7]。从地区结构上来看,亚洲和非洲构成了全球汞排放主要来源,而中国作为全球最大的发展中国家,煤炭在我国能源结

收稿日期:2015-03-29

作者简介:王立辉(1989-),男,研究生,研究方向为土壤重金属污染治理;严超宇(1977-),男,博士,副教授,研究方向为气固流态化研究,通讯联系人,010-89739018, yanchaoyu@sina.com。

构中占据了主导地位,加上目前我国污染排放控制能力较为落后,导致我国每年汞排放量居高不下。据估计,我国每年人为源汞排放量约为 536 ~ 825 t, 占据了全球汞排放总量的 27.3% ~ 42.1%^[8]。另一方面,全球人均汞排放量最高地区为大洋洲、南美地区,北非与南亚地区最低,详见表 1^[2],这与目前全球经济发展趋势、各国能源结构、人口组成成正相关。而北美与欧洲等发达地区,由于人们对环境汞污染比较重视,政府也采取一定的监管措施,故当地人均汞排放量在全球最低。

表 1 全球不同地区人为来源人均汞排放量

地区	大洋洲	南美洲	沙哈拉 以南 非洲	东亚及 东南亚	独联体 及其他 欧洲地区	中美洲及 加勒比 国家
人均汞排放量/g	0.79	0.65	0.39	0.37	0.34	0.26

地区	欧盟 地区	北美 地区	中东 地区	南亚 地区	北非 地区
人均汞排放量/g	0.19	0.18	0.14	0.10	0.08

1.3 大气汞的再释放

大气汞(人为源和自然源)能够通过大气运输进行远距离迁移,再在大气干湿沉降作用下降落到水陆生态系统,而在合适的情况下,岩石、土壤、地表水、雨雪中的汞能再释放到大气中^[9]。相比大气汞的人为源和自然源,大气汞再释放值较难确定,只能通过模型进行估算。近年来,人们发现大气汞再释

放量巨大,约为大气汞总释放量的 60%^[2]。Mason 等^[4]运用 GEOS-Chem 清单模型估算出每年地表和海洋汞的再释放量为 1 700 ~ 2 800 t 与 2 000 ~ 2 950 t,而 Holmes 认为地表汞再释放量为 1 700 t/a,海洋汞再释放量为 3 700 t/a^[10]。值得注意的是,虽然湖水释放到大气中的汞浓度高于海洋对汞的释放,但全球海洋汞的再释放量却占据水体汞释放总量的 96%^[4]。而在北极等地区,夏季气温升高,冰川消融,冰川中的汞会再次释放到大气中,导致局部地区大气汞浓度升高^[11],这与内陆地区有所不同。另有研究表明,当前通过再释放途径进入大气中的汞有 55% ~ 60% 是来自于人为源因素形成的 Hg^{0[2]},这也印证了工业革命以来全球大气汞浓度逐渐上升这一现象。

2 大气汞去向

随着环境条件的改变,大气汞能通过一系列途径转移到水陆生态系统中。通常来说,大气汞去向包括以下 4 方面^[12]:①通过雨、雪、雾等自然过程沉降到地表(湿沉降);②通过气-陆交换沉降到地表(干沉降);③大气汞自身化学反应转化为其他形态并被去除;④植物吸收。其中干湿沉降在大气汞的去除过程中占据主体地位,每年大气汞沉降到陆地、海洋中的汞分别为 3 200 t 和 3 700 t^[2]。

汞的沉降速度与大气汞的组成、形态有关,一般来说,气态单质汞水溶性低,一般不参与湿沉降过

(上接第 17 页)

下,展览受到了互联网和新媒体的一定冲击,但作为行业展览的组织者、参与者,应树立信心,紧紧把握实体展览自身的特点和优势,借助新的展览理念和手段,从挖掘展览潜力、提炼行业亮点、增强观众体验的角度着力,扬长避短,不断适应新的形势,把行业展览办得更加专业、高效、绿色、亲民。主办和参展双方应通力合作,把行业展览打造成为展示行业自身和提升企业品牌价值的有力工具,更要在促进行业健康发展、社会和谐等方面做出更大的贡献。

参考文献

[1] 华晔迪,张炼. 国资委新闻中心:四成央企已开通官方微信账号 [EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/fortune/2014-12/20/c_1113714456.htm

[2] 张海燕. 依托行业展览的网络会展研究[D]. 广州:广州大

学,2012.

[3] 卞亚洪. 丰富行业展览的蕴涵[J]. 国际电子变压器,2004,(10):2-2.

[4] 沙琳倩. 专注行业展会[J]. 现代制造,2012,(50):22-22.

[5] 任海涛. 中国展览行业的品牌研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2006.

[6] 彭学强,王捷二. 国内专业性展览会时空与产业特征分析[J]. 旅游学刊,2008,23(9):80-84.

[7] 冯冈平,陈新锋,黄元宗. 基于专业展览的中小企业品牌传播研究[J]. 商讯商业经济文荟,2006,(4):47-49.

[8] 陈若薇. 海外专业展览会的环保管理[J]. 中国会展,2008,(11):52-53.

[9] 孙芃. 国内外专业展会的差距及思考[J]. 江苏科技信息,2009,(2):32-33.

[10] 刘东慧. 中国展览行业现状及运行管理机制研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.

[11] 乔小燕. 专业观众参观展览会的决策影响因素研究[D]. 上海:华东师范大学,2012. ■

程,其干沉降速率为 0.01 ~ 0.19 cm/s;活性气态汞、颗粒态汞较易溶于水,其湿沉降速率分别为 0.4 ~ 7.6 cm/s、0.1 ~ 2.1 cm/s,且二者干沉降速率与湿沉降速率近似^[13]。对北方等寒冷地区大气汞研究表明,降雪能显著降低大气中汞的浓度(降低 24.1%),且降雪期间大气汞浓度主要受风速和阵风风速的影响^[14]。朱佳雷等^[12]借助箱模式对汞干沉降特性进行研究。研究发现森林下垫面下汞的干沉降速率均远高于水体表面上汞的沉降速率,且汞的干沉降速率随着近地层风速增加而增加,降水或地表湿度降低也会增大 Hg⁰ 和活性气态汞干沉降速率。加上植物能通过叶脉吸收一定量的 Hg⁰,且植物叶片吸收的其他形态汞会被雨水冲刷进入土壤结构,因此植物地上部每年富集汞的量能高达 1 000 t^[6]。Wang 等^[8]对我国不同地区大气汞沉降情况进行监测,监测结果表明污染地区沉降通量(主要为干沉降)明显高于非污染地区,最大干沉降通量高达 6178 μg/(m²·a);偏远地区沉降通量最小,最小为 6.1 μg/(m²·a)。

3 大气汞形态分析

3.1 大气中汞形态结构及其环境行为

依据物理化学形态的不同,大气汞可以分为气态单质汞(Hg⁰, Gaseous Elemental Mercury, GEM)、活性气态汞(Reactive Gaseous Mercury, RGM, 包括 Hg(OH)₂、HgCl₂、HgBr₂ 等二价汞化合物和极少量的二价有机汞)及颗粒态总汞(Total Particulate Mercury, TPM, 吸附于大气气溶胶上的汞)(如表 2 所示),RGM 与 GEM 合称为气态总汞(Total Gaseous Mercury, TGM)^[15]。GEM 由于化学性质较稳定,难溶于水,一般不会进行大气湿沉降,而主要参与大气的远距离运输,并可以在特定条件下转化成 RGM 与 TPM,影响当地大气汞含量,在全球大气汞循环过程中扮演重要角色。TPM 与 RGM 虽然在大气中

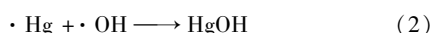
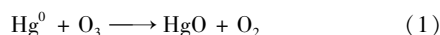
表 2 大气中汞形态构成及其环境行为^[13,16]

汞形态	组成		停留时间	影响范围	沉降速度/ (cm·s ⁻¹)	
	比例/ %	特性			干沉降	湿沉降
GEM	85.5	不易溶于水	0.5 ~ 2 年	全球性	0.01 ~ 0.19	
RGM	4.5	易溶于水	几小时到几周	局部区域	0.5 ~ 6.0	0.4 ~ 7.6
TPM	10	易溶于水	几小时到几周	当地生态系统	0.02 ~ 2.00	0.1 ~ 2.1

所占比重小,但却是大气汞沉降的主要组成部分,通常不会参与远距离大气运输。

3.2 不同形态汞之间的转化

汞可以通过干湿沉降等途径参与大气循环,虽然大气中汞多数为活性较低的 Hg⁰,但并不意味着大气环境中各种形态的汞组成比例保持不变。实际上,大气汞一直在发生变化。人类通过各种途径排放到空气中的 NO_x 和 VOCs 在阳光紫外辐射下生成 O₃、H₂O₂ 和·OH、HO₂·、RO·、RO₂·、NO₃·、·Br 自由基等氧化剂,使得大气氧化性增强,能将 Hg⁰ 氧化成 Hg²⁺(反应方程式 1),RGM 与大气中气溶胶结合形成 TPM,使得 RGM 和 TPM 在大气中的质量浓度增加到数百 pg/m³,甚至能占当地大气中总汞质量浓度的 60%^[16]。



GEM 氧化过程受多种因素的影响,气象条件、光化学活性、大气氧化剂存在特性对该过程影响明显^[17]。一般来说,由于下午太阳辐射最强,因此一天当中下午 GEM 被氧化 RGM 速率最高;而夏季和秋季光化学反应比春季、冬季更剧烈,这也就导致夏季和秋季大气中 RGM 浓度偏高^[18]。对于极地和海洋边界层中的大气汞,氧化剂·Br 被认为是大气 GEM 氧化的一个重要途径^[19],导致极地和海洋边界层处 GEM 浓度降低。在沙尘等天气条件下,大气中聚集较多的颗粒物,光化学反应的加剧,空气中 GEM 氧化增强,导致 TPM 浓度增大^[20]。对燃煤锅炉中空气中汞的形态分析发现,随着烟气往外排放,气温逐渐降低,烟气中的 Hg⁰ 被氯化生成 HgCl₂,而 HgCl₂ 能进一步被催化氧化为 Hg²⁺X,或者被飞灰颗粒吸收转化成颗粒态汞^[16]。

大气中 GEM 占据着主体地位,而 RGM 和 TPM 虽然含量小,但由于后两者沉降速率大,是去除大气汞的一个重要途径,因此强化 GEM 向 RGM 的转化十分必要。汞的形态转化过程较为复杂,目前主要研究方向只是有关光化学反应条件下 GEM 被氧化生成 RGM 并进而转化成 TPM 有关内容,而对于大气中 RGM 向 GEM 转化研究甚少,如何避免 RGM 向 GEM 转化,从而有效去除大气汞污染成为接下来一个重要研究方向。

3.3 不同地区大气汞形态分布特征

由于各地区汞排放量差别较大,加之不同形态

汞迁移、沉降能力各异,各形态汞之间转化受气象条件、光化学活性等因素的影响,因此大气汞的分布表现出显著的区域性特征。Valente 等^[21]对全球各监测点大气汞浓度进行归纳、分析,认为全球背景区 GEM、RGM、TPM 三者平均浓度分别为 $(1.7 \pm 0.17) \text{ ng/m}^3$ 、 $(18.0 \pm 29.0) \text{ pg/m}^3$ 、 $(21 \pm 29) \text{ pg/m}^3$ 。北半球由于聚集了全球大部分发达经济体,加上历史残留因素的影响,导致北半球大气汞各形态背景值明显高于南半球。

随着我国经济的发展,大气汞污染程度逐渐加深,表3所示为国内外部分地区大气汞形态分布表^[22-28]。从表3可以看出,我国大气汞(GEM、RGM、TPM)浓度明显高于美国等发达国家水平,这主要是因为我国近30年来经济发展的同时忽视环境保护的结果,加上煤炭、石油在我国能源结构中占据绝对性优势,城市热岛效应明显,我国城市地区大气汞浓度居高不下。尤其需要注意的是,近年来我国部分农村空气中 GEM、TPM 浓度有增强的趋势,这一方面是因为农村中冬季取暖消耗煤炭所致,且农村机动车辆也逐渐得到普及,另一方面也是由于城市大气汞迁移的结果。通常来说,由于近海地区受到来自海洋干净气团的影响,沿海地区大气各形态汞浓度小于内陆地区。而对于偏远地带,大气汞形态主要受到大气迁移影响。Zhang 等^[25]对我国香格里拉一偏远高山地区大气汞形态分布进行监测表明,当地 TGM 主要受夏季印度洋季风影响,空气中汞污染物主要来自国内和缅甸、孟加拉国以及印度北部。

表3 国内外部分地区大气汞形态分布

采样点	采样环境	各形态汞质量浓度		
		GEM/ ($\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$)	RGM/ ($\text{pg} \cdot \text{m}^{-3}$)	TPM/ ($\text{pg} \cdot \text{m}^{-3}$)
Tennessee ^[22]	Tullahoma 机场	1.38 ± 0.17	<20	<5
San Francisco ^[23]	城区	1.760 ± 0.878	2.58 ± 1.28	3.17 ± 3.20
北极 ^[24]	偏远地带	1.6	3.2	11.3
香格里拉 ^[25]	偏远地带	2.55 ± 0.73	8.22 ± 7.90	38.82 ± 31.26
北京 ^[26]	郊区	3.22 ± 1.74	98.2 ± 112.7	10.1 ± 18.8
厦门 ^[27]	城区	3.50 ± 1.21	61.05 ± 69.41	174.41 ± 280.63
贵阳 ^[28]	城区	9.72 ± 10.2	368 ± 676	35.7 ± 43.9

汞的形态分布特性也受季节变化和昼夜变化的影响。在我国北方地区,由于取暖的需要,冬季大气中 GEM、TPM 的含量会明显高于夏季。南方厦门等

地,冬季也会消耗大量煤炭,导致空气中颗粒物增多,空气中的 GEM 更多地富集在细颗粒物上,形成 TPM;而夏天由于降雨较多,大气汞干湿沉降量增加,导致空气中 GEM 与 TPM 浓度降低;而 RGM 浓度最高发生在春天,冬季其浓度最低,这可能是因为低温条件能促使 GEM 向 TPM 转化加快,导致冬季 RGM 浓度降低^[27]。各形态汞浓度随昼夜交替而发生改变,大气汞的浓度一般夜间高,白天低,这是由于白天夜间边界层强度小,热混合能力强,导致大气汞逐渐稀释。由于逆温层在夜间增高,TPM 在早晨浓度较高;而午后大气氧化性处于一天中最强状态,此时 RGM 浓度处于一天中最高值^[26]。

4 研究展望

自1956年日本爆发水俣病以来,人们对汞的认识在逐渐加深,而大气汞作为汞生物地球化学循环的重要环节,其排放源头和去向成为学者们研究热点。目前,大气汞人为来源研究最为成熟。研究表明,小型金矿的开采成为当今世界最大空气中汞污染源;总的来说,大气汞人为来源研究最为彻底,小型金矿的开采取代煤炭的燃烧,成为目前最主要的人为释放源;大气汞自然来源受到许多因素的影响,目前对这方面的研究尚有待加强;大气汞再释放作为最主要的排放源头,其排放机理、排放特性知之甚少,也是目前大气汞三大源头研究最为薄弱的环节。大气汞的形态可以分为 GEM、RGM、TPM 三部分,为了去除大气中的汞,我们总是设想促使 GEM 向 TPM 的转化,并通过大气干湿沉降去除大气中的汞。

针对目前大气汞研究存在的一些问题,笔者认为该领域的后续研究工作可以在以下4个方面进一步拓展与深入:①继续完善和强化大气汞排放清单的建立工作,重点加强人为源、自然源大气汞排放研究,并逐渐重视大气汞再释放的研究;②加强大气汞迁移转化过程的研究,在不同地区增建大气汞监测点,完善不同地区大气汞干湿沉降、大气汞形态分布特性的数据,从而为大气汞形态转化研究和全球汞生物地球化学研究提供扎实的基础;③利用同位素标记等新兴技术强化对大气汞的生物地球化学研究;④结合当前研究成果,在大气汞污染严重地区尝试和完善大气汞控制技术,从源头上减少汞的排放。

参考文献

[1] 阮玉龙,李向东,黎廷宇,等.喀斯特地区农田土壤重金属污染

- 及其对人体健康的危害[J]. 地球与环境, 2015, 43(1): 92-97.
- [2] United Nations Environment Programme. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport[R]. Geneva: UNEP, 2013.
- [3] Gaffney J S, Marley N A. In-depth review of atmospheric mercury: Sources, transformations, and potential sinks[J]. Energy and Emission Control Technologies, 2014, 2: 1-21.
- [4] Mason R P, Choi A L, Fitzgerald W F, *et al.* Mercury biogeochemical cycling in the ocean and policy implications[J]. Environmental Research, 2012, 119: 101-117.
- [5] Friedli H R, Arellano A F, Cinnirella S, *et al.* Initial estimates of mercury emissions to the atmosphere from global biomass burning[J]. Environment Science and Technology, 2009, 43: 3507-3513.
- [6] 牛振川, 张晓山, 陈进生, 等. 植被在大气汞收支中作用的研究进展与展望[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(5): 834-849.
- [7] Zhou C C, Liu G J, Fang T, *et al.* Atmospheric emissions of toxic elements (As, Cd, Hg, and Pb) from brick making plants in China[J]. Rsc Advances, 2015, 5(19): 14497-14505.
- [8] Wang S X, Zhang L, Wang L, *et al.* A review of atmospheric mercury emissions, pollution and control in China[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2014, 8(5): 631-649.
- [9] Xu J Y, Bravo A G, Lagerkvist A, *et al.* Source and remediation techniques for mercury contaminated soil[J]. Environment International, 2015, 74: 42-53.
- [10] Holmes C D, Jacob D J, Soerensen A L, *et al.* Global atmospheric budget of mercury including oxidation of Hg(0) by bromine atoms[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 2010, 74(12): 413-413.
- [11] Yu J, Xie Z Q, Kang H, *et al.* High variability of atmospheric mercury in the summertime boundary layer through the central Arctic Ocean[J]. Scientific Reports, 2014, 4: 6091.
- [12] 朱佳雷, 王体健, 王婷婷, 等. 中国地区大气汞沉降速度研究[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(5): 862-873.
- [13] 冯新斌, 仇广乐, 付学吾, 等. 环境汞污染[J]. 化学进展, 2009, 21(2/3): 436-457.
- [14] 童银栋, 张巍, 胡丹, 等. 冬季降雪过程对城市大气气态汞浓度的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 505-508.
- [15] 高彦宁, 孙静, 马艳玲, 等. 汞污染的“源”、“控”与“治”[J]. 现代化工, 2014, 34(10): 7-11.
- [16] 王春霞, 朱利中, 江桂斌. 环境化学学科前沿与展望[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 115-445.
- [17] Gratz L E, Keeler G J, Marsik F J, *et al.* Atmospheric transport of speciated mercury across southern Lake Michigan: Influence from emission sources in the Chicago/Gary urban area[J]. Science of the Total Environment, 2013, 448: 84-95.
- [18] Zhang L, Wang S X, Wang L, *et al.* Atmospheric mercury concentration and chemical speciation at a rural site in Beijing, China: implications of mercury emission sources[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13(20): 10505-10516.
- [19] Dibble T S, Zelic M J, Mao H. Thermodynamics of reactions of ClHg and BrHg radicals with atmospherically abundant free radicals[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, 12(21): 10271-10279.
- [20] Zhang Y Q, Liu R H, Wang Y, *et al.* Change characteristic of atmospheric particulate mercury during dust weather of spring in Qingdao, China[J]. Atmospheric Environment, 2015, 102: 376-383.
- [21] Valente R J, Shea C, Lynn H K, *et al.* Atmospheric mercury in the Great Smoky Mountains compared to regional and global levels[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(9): 1861-1873.
- [22] Brooks S, Ren X R, Cohen M, *et al.* Airborne Vertical Profiling of Mercury Speciation near Tullahoma, TN, USA[J]. Atmosphere, 2014, 5(3): 557-574.
- [23] Rothenberg S E, Mckee L, Gilbreath A, *et al.* Evidence for short-range transport of atmospheric mercury to a rural, inland site[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(10): 1263-1273.
- [24] Steffen A, Bottenheim J, Cole A, *et al.* Atmospheric mercury speciation and mercury in snow over time at Alert, Canada[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14(5): 2219-2231.
- [25] Zhang H, Fu X W, Lin C J, *et al.* Observation and analysis of speciated atmospheric mercury in Shangri-La, Tibetan Plateau, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, 15(2): 653-665.
- [26] Zhang L, Wang S, Wang L, *et al.* Atmospheric mercury concentration and chemical speciation at a rural site in Beijing, China: Implication of mercury emission sources[J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 2013, 13(5): 12177-12211.
- [27] Xu L L, Chen J S, Yang L M, *et al.* Characteristics and sources of atmospheric mercury speciation in a coastal city, Xiamen, China[J]. Chemosphere, 2015, 119: 530-539.
- [28] Fu X W, Feng X B, Qiu G L, *et al.* Speciated atmospheric mercury and its potential source in Guiyang, China[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(25): 4205-4212. ■

霍尼韦尔 UOP 突破性甲醇制烯烃技术获贝特尔清洁能源公司采用

2015年7月15日,霍尼韦尔UOP宣布,中国贝特尔清洁能源公司将采用UOP先进的甲醇制烯烃(MTO)工艺技术,用以将甲醇转化为高价值石化产品,满足全球对塑料等关键化工材料的需求。

霍尼韦尔UOP先进的甲醇制烯烃工艺结合了UOP/海德鲁甲醇制烯烃技术和道达尔/UOP烯烃裂解技术,可以显著提高产量和进料的使用效率。该工艺将从煤或天然气等低成本原料中提取的甲醇转化成乙烯和丙烯。除了更低的运营成本、快速高效的项目启动以

及高度的运营可靠性,UOP甲醇制烯烃工艺还能够灵活调节丙烯和乙烯的生产比例,帮助业主更好地应对市场需求的变化。

此次是霍尼韦尔UOP甲醇制烯烃工艺技术获得的第5笔订单。贝特尔清洁能源公司将在其位于山东省的生产基地中采用霍尼韦尔UOP先进的甲醇制烯烃工艺技术,计划于2016年投产,年产丙烯和乙烯总量达30万吨。除工艺授权外,UOP还将为该项目提供工程设计、人员培训、技术服务以及特殊设备。(秦超)