

Plasma arc **and** other thermal
destruction technologies applied to
persistent organic **pollutants** >>>

等离子体—电弧 及其他热处理技术

——应用于持久性有机污染物

C.R. 布鲁纳 T.D. 范爱勃 著

余刚 刘希涛 郑叶青 杨波 蔡震霄 译

中国环境科学出版社

等离子体-电弧及其他热处理技术

——应用于持久性有机污染物

C. R. 布鲁纳 T. D. 范爱勃 著

余刚 刘希涛 郑叶青 杨波 蔡震霄 译

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

等离子体-电弧及其他热处理技术——应用于持久性有机污染物 / (美) 布鲁纳, (美) 范爱勃著; 余刚译. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.10

ISBN 7-80209-225-6

I. 等… II. ①布… ②范… ③余… III. ①等离子体—电弧—应用—有机污染物—污染防治 ②热处理—应用—有机污染物—污染防治 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 119502 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-6711 2735

网 址: www.cesp.cn

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

本中心立足于出版环境科学与工程各类专业图书。以服务为宗旨, 以市场为导向。做绿色文明的倡导者, 充当环境文化的传播者。

责任编辑: 顾 莉 孟亚莉

装帧设计: 陆 臻 赵 虎

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

电话(传真): 010-67112735

印 刷 北京东海印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2005 年 11 月第一版 2005 年 11 月第一次印刷

印 数 1—4 000

开 本 787×960 1/16

印 张 12.5

字 数 230 千字

定 价 36.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本中心更换

Copyright © 2004 by INCINERATOR CONSULTANTS INCORPORATED. All rights reserved. Printed in the United States of America. Except as permitted under the United States Copyright Act of 1976, no part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISBN 0-9621774-2-3

The information contained in this work has been obtained by INCINERATOR CONSULTANTS INCORPORATED from sources believed to be reliable. However, neither INCINERATOR CONSULTANTS INCORPORATED nor the Authors guarantee the accuracy or completeness of any information published herein and neither INCINERATOR CONSULTANTS INCORPORATED nor the Author shall be responsible for any errors, omissions, or damages arising out of the use of this information. This work is published with the understanding that both INCINERATOR CONSULTANTS INCORPORATED and the Authors are supplying information but are not attempting to render engineering or other professional services.

译者序

持久性有机污染物(POPs)是近年来备受国际社会关注的全球性环境问题。2001年5月23日签署并于2004年5月17日正式生效的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，不仅表明了国际社会应对持久性有机污染物的决心，而且标志着针对首批控制的二噁英等12种持久性有机污染物的国际行动已经开始。

我国政府一直高度重视POPs污染问题，国家环保总局副局长祝光耀在公约开放签署首日代表中国政府签署了该公约。该公约在十届全国人大常委会第十次会议上获得批准，并于2004年11月11日对我国正式生效。体现了我国政府应对持久性有机污染物的决心，也标志着我国削减和控制持久性有机污染物的行动正式开始。

全面履行斯德哥尔摩公约规定的各项义务，创建没有持久性有机污染物的未来，这是一项十分复杂和艰巨的任务，需要人类社会全方位的共同努力：国际组织的整体协调、国家或地区政府的战略计划、责任主体的实施行动、民众的积极参与……履约行动涉及到政策、法规、管理、经济、教育、工程、技术……

2004年春天，一个偶然的机会了解到C. R.布鲁纳和T. D.范爱勃合著的《等离子体-电弧及其他热处理技术——应用于持久性有机污染物》一书即将出版。浏览了该书的目录和部分内容，深感这本书不仅有助于我国履行斯德哥尔摩公约的工作，对我国正在实施《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》乃至广义的固体废弃物处理处置都有一定的意义。我和研究组的成员刘希涛、郑叶青、杨波、蔡震霄共同将该书译成中文，正式出版。希望对从事此技术研究的科研人员、管理人员、工程技术人员和大专院校的研究生有所裨益。

感谢作者授权我翻译该书，也感谢中国环境科学出版社的支持和帮助。

由于译者翻译水平有限，中文版中可能还有一些错误，恳请读者批评指正。

余刚

2004年冬于清华园

序

蕾切尔·卡逊在《寂静的春天》一书中写道：

“在人类历史上这是第一次，世界上的每个人都在接触危险化学品，从生命开始孕育，直至死亡。在使用合成农药不到 20 年的时间里，它们是如此彻底地遍布于世界的每一个角落，几乎无处不在。从大多数主要地表水系，到看不见的地下水流，都可发现它们的踪迹。在十几年前使用这些化学品的土壤中，仍可发现其残留。它们是如此普遍地进入并停留在鱼类、鸟类、爬行动物以及家养和野生动物的体内，以至于进行动物实验的科学家们发现，想找到没有受到污染的实验生物，几乎是不可能的。在遥远的峡谷里生存的鱼的体内，在土壤中挖洞的蚯蚓的体内，在鸟蛋中，以及在人类自己的体内，都发现了这些合成农药。绝大多数人体中都储存着这些化学品，不论年龄大小。它们既然存在于母乳内，当然也可能存在于未出生婴儿的组织里。”

这些话写于 1962 年，从那时到现在这些化学品扩散的程度已经更加严重。它们是有毒物质，必须想办法削减，直至最终消除，使之不再威胁生命。本书提供了一些可用于从环境中消除这些化学品的手段。

C. R. 布鲁纳

T. D. 范爱勃

Reston, Virginia, 2004

英美制计量单位说明

中文名称	英文名称	英文缩写	单位符号	与公制单位的换算关系
英尺	feet	ft	ft	1 ft=0.304 8 m
英寸	inch	in	in	1 in=0.025 4 m
立方英尺	cubic feet	CF	ft ³	1 ft ³ =0.028 3 m ³
立方英寸	cubic inch	ci	in ³	1 in ³ =1.639×10 ⁻⁵ m ³
标准立方英尺	standard cubic feet	SCF	ft ³	
干标准立方英尺	dry standard cubic feet	DSCF	ft ³	
标准立方英尺/分钟	standard cubic feet per minute	SCFM	ft ³ /min	1 ft ³ /min=4.719×10 ⁻⁴ m ³ /s
标准立方米	normal cubic meter	NCM	m ³	
干标准立方米	dry standard cubic meter	DSCM	m ³	
磅	pound	lb.	lb	1 lb=0.453 6 kg
磅/平方英寸	pound per square inch	psi, PSI	lb/in ²	1 lb/in ² =703.1 kg/m ²
磅/平方英寸 (表压)	pound per square inch, gauge	psig	lb/in ² , gauge	
磅/平方英尺	pound per square feet	psf	lb/ft ²	1 lb/ft ² =4.883 kg/m ²
加仑	gallon	gal.	gal	英制 1gal=4.546 L 美制 1gal=3.785 L
华氏度	fahrenheit	fahr.	°F	1°F=1.8×°C+32
英国热量单位	british thermal unit	btu	Btu	1 Btu=1.055 kJ
百万 英国热量单位	millions of british thermal unit	MMBtu	MMBtu	1 MMBtu=10 ⁶ Btu
英寸水柱	inch water column	W.C.	"wc	1"wc=249.087 Pa
格令	grain	gr	gr	1gr=6.48×10 ⁻⁵ kg

INCINERATOR CONSULTANTS INCORPORATED

11204 Longwood Grove Drive

Reston, VA 20194-1302 USA

Phone: 703/437-1790, FAX: 703/437-9048

iciengineers@aol.com

<http://members.aol.com/iciengineers>

C. R. 布鲁纳先生

布鲁纳先生是一位活跃的环境学家，致力于高级废物处理和净化技术。他直接参与过美国和其他国家几十种废物流的净化。他通过写作或授课的方式间接地负责了全球几百甚至上千个固体、液体、污泥和气体废物流及堆积物的净化。作为私人活动的顾问工程师和专业化的工程公司“焚烧炉顾问公司”的董事长，Brunner 在废物处置领域有 35 余年的经验，著有 12 本相关著作。Brunner 先生是一位机械工程师，获得纽约城市大学学士学位，宾夕法尼亚州州立大学硕士学位。他是三个州的注册专业工程师(P. E.)，是美国环境工程师学会的技师(DEE)和美国机械工程师学会会员。Brunner 在美国和其他国家举办过多次关于废物处置的专题研讨会，向技术型和非技术型的观众演讲，推动了废物的安全处置。

EURASIA ENVIRONMENTAL ASSOCIATES, LLC

11654 Plaza America Dr., No. 333

Reston, Virginia 20190 USA

Phone: 703/733-0666, Fax 703/733-0688

info@Eurasia-Environment.Biz

<http://www.eurasia-environment.biz>

T. D. 范爱勃先生

范爱勃先生从杜克大学获得动物学学士学位，从宾夕法尼亚大学获得区域规划硕士学位(MRP)。他得到了美国认证规划师协会(AICP)和项目管理协会(PMP)的资格认证，也从城市用地协会获得了房地产开发的许可。他具有 25 年的专业经验，包括在欧亚地区工作近 15 年，在此基础上成立了欧亚环境协会(EEA)，并任管理主任。EEA 为中欧、东欧、俄罗斯、乌克兰、中亚、蒙古和中国的各种顾客提供环境咨询和可持续性项目开发服务。服务的内容包括环境影响评价、污染防治、环境审计、环境管理系统和危险废物管理。Van Epp 先生是开发集中的、地区性的危险废物处理、储存和处置设备方面的专家，包括规划、选址、环境评价、许可、公众参与、操作手册和融资。他与 Brunner 先生的合作已有 15 年以上。

目 录

序	VII
第 1 章 前言	1
国际社会对 POPs 的反应——斯德哥尔摩公约	1
斯德哥尔摩公约	3
履行斯德哥尔摩公约	4
准备国家实施方案	5
支持基础活动	6
本书的目标及范畴	6
本书的结构及用途	7
引用文献及参考书目	7
第 2 章 持久性有机污染物	8
艾氏剂	10
氯丹	11
DDT	12
狄氏剂	14
多氯代二苯并-对-二噁英与多氯代二苯并呋喃	15
异狄氏剂	17
七氯	17
六氯苯	18
灭蚁灵	19
多氯联苯	20
毒杀芬	21
词汇表	23
第 3 章 热处理	25
燃烧	25
燃烧反应	25

平衡方程式	26
化合物分子量	27
燃烧过程	29
过氧燃烧	29
热解	31
商业热解系统	33
等离子体-电弧系统	35
缺氧燃烧	36
燃烧中的“3T”	38
温度	38
停留时间	39
湍流与混合	39
完全燃烧	40
引用文献及参考书目	40
 第4章 POPs 分解特性	41
引用文献及参考书目	42
 第5章 焚烧炉	55
典型的焚烧炉系统	55
废物特征	57
原位焚烧炉	58
干馏焚烧炉	58
串联焚烧炉	59
综合焚烧炉系统	60
控制空气焚烧炉	62
贫空气系统	64
过量空气系统	65
旋转窑焚烧炉	65
常规旋转窑系统	67
窑的排放气流	68
渣化模式	68
窑运行	71
回转窑	71

移动炉床系统	72
多重炉床焚烧炉	74
流化床焚烧炉	76
传送带焚烧炉	78
旋风式焚烧炉	79
液体废物点火	81
液体废物焚烧炉	81
沉浸式淬火反应器	82
焚烧炉系统供应商	84
引用文献及参考书目	84
第 6 章 工业过程中的废物处理	85
容积停留时间分析	85
工业锅炉系统	87
水泥窑系统	97
窑描述	98
水泥生产	99
砖和耐火板工业	99
炭黑	102
铜熔炼	104
玻璃工业	106
钢铁工业：高炉	108
钢铁工业：平炉	110
铅生产	112
轻质骨料	114
石灰生产	116
锌生产：流化床焙烧炉	118
锌生产：多炉床焙烧炉	120
锌生产：悬浮式焙烧	120
引用文献及参考书目	122
第 7 章 等离子体-电弧系统	124
等离子体	124
术语	125

历史回顾	125
等离子体技术	126
等离子体-电弧工艺	127
焰炬	127
等离子体反应器	129
发电	130
固体残渣	130
气体排放	130
个案研究	131
非过渡的等离子体-电弧系统	132
贫空气等离子体-电弧系统	135
用等离子体-电弧系统玻璃化	138
等离子体炉床系统	141
等离子体气化系统	144
等离子体系统供应商	146
引用文献及参考书目	146
 第 8 章 气体污染物的排放与控制	147
气体污染物的排放特性	147
微粒状污染物与可见性	147
不透明性	149
不可燃颗粒物	149
易燃颗粒物	150
烟	150
颗粒物的排放和系统运行	151
可燃气体排放	152
二噁英	153
不可燃气体排放	153
臭味	154
控制问题	154
控制装置	154
去除效率	155
重力分离器和惯性除尘系统	156
静电除尘器	157

布袋过滤器	159
湿式洗涤器系统	160
湿式洗涤器的运行	160
湿式洗涤器对酸性气体的去除	163
干式洗涤器	165
系统控制和仪器使用	167
排放的灰分和液体的处理处置	168
已经公布的排放因子	168
引用文献及参考书目	168
第 9 章 POPs 处理措施的规划和执行	169
任务 1——技术分析	170
任务 2——经济分析	172
任务 3——财政分析	174
任务 4——制度分析	178
任务 5——设计公众磋商程序	179
任务 6——位置选定	180
任务 7——准备危险废物处理措施的许可申请	182
任务 8——制定执行计划	183
引用文献及参考书目	184
缩写	185
附录	186

第 1 章

前言

持久性有机污染物 (Persistent Organic Pollutants), 简称“POPs”, 是可能对环境和人体健康造成严重危害的一类化合物, 它们的特性主要有:

- 毒性: 它们可能引起生殖障碍、性别异常、激素失调、免疫系统受损、行为异常、癌症及生育畸形;
- 难降解性: 它们环境中的降解十分缓慢;
- 流动性: 它们可以通过空气和水进行长距离的迁移并沉积在远离其排放地点的地区;
- 生物累积性: 它们能在动物的脂肪组织中累积;
- 生物富集性: 通过食物链, 它们能被高等动物富集到较高的浓度。

即使在很低的暴露程度时, POPs 对人体与动物都是有害的。而且, 通过动物迁徙等途径, POPs 污染已经成为全球性环境问题 (参见文献 1)。

国际社会对 POPs 的反应——斯德哥尔摩公约

早在 1995 年, 联合国环境规划署 (UNEP) 就开始了关于 POPs 问题的国际性辩论和行动, 组织国际化学品安全与环境方面的会议, 沟通信息, 并为国际社会对 POPs 问题采取共同行动提供方案。2000 年 12 月在南非约翰内斯堡的会议上, “对特定持久性有机污染物采取国际行动的国际性法律约束机制政府间谈判委员会”就一项 POPs 公约达成一致。2001 年 5 月, 这项保护人体健康与环境不受 POPs 侵害的公约在瑞典首都斯德哥尔摩召开的“全权代表大会”上得到通过, 并开放签署。2003 年 10 月 23 日, 《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(后文简称“公约”)正式生效 (参见文献 1)。^{*}

该公约旨在通过减少或消除 POPs 排放, 保护人体健康与环境免受 POPs 危

^{*}译者注: 原文可能有误, 公约正式生效时间为 2004 年 5 月 17 日。

害。POPs 排放途径包括：

- 有意生产及使用；
- 无意生产及使用；
- 库存与废弃。

包括发达国家、发展中国家及转型经济体在内的 150 多个国家已经签署或批准了该公约。

公约确认了 12 种高度危险的 POPs 物质，同时也给出了增加其他 POPs 物质的有关办法。公约首批控制的 12 种 POPs 物质可以分为以下三类：

- 1 种工业化学品——多氯联苯（PCBs）；
- 2 种化工过程的副产物——多氯代二苯并-对-二噁英（PCDDs）与多氯代二苯并呋喃（PCDFs）；
- 9 种农药、杀虫剂和杀真菌剂——DDT、狄氏剂、异狄氏剂、艾氏剂、氯丹、灭蚁灵、毒杀芬、七氯、六氯苯。

表 1-1 描述了 12 种 POPs 物质的主要用途和毒性效应。第 2 章将详细介绍 12 种 POPs 物质的化学性质、应用信息以及它们对人体健康与环境的危害。

表 1-1 POPs 的使用与部分毒性效应

POPs	主要用途	部分毒性效应
艾氏剂	杀虫剂	对人类、鱼类及野生动物有毒
氯丹	杀虫剂	对人类及野生动物有毒
DDT	农药	使鸟类的蛋壳变薄，对人类有慢性毒性
狄氏剂	杀虫剂	对鱼类及包括青蛙胚胎在内的水生生物有剧毒
二噁英	燃烧与农药生产的副产物	对野生动物有毒，与人类的氯痤疮有关
异狄氏剂	杀虫剂	对鱼类有剧毒
多氯代二苯并呋喃	燃烧以及 PCBs 和农药生产的副产物	对野生动物有毒，与人类的氯痤疮有关
七氯	杀虫剂	可使貂、老鼠和兔子致命，对鸟类有毒，对人类可能有毒
六氯苯	杀真菌剂、工业溶剂、副产物	对野生动物有毒，对人类可能有毒
灭蚁灵	杀虫剂	对植物、甲壳类动物有毒，对人类可能有毒
多氯联苯	变压器冷却剂，传热剂，油漆、塑料和纸张添加剂	可使鱼类致命，对野生动物有毒，与人类慢性毒性有关
毒杀芬	杀虫剂	对鱼类有毒，对人类可能有毒

斯德哥尔摩公约

以下各条款是《斯德哥尔摩公约》的实质性内容（参见文献 1）。公约中“缔约方”指那些已经批准公约的国家。

第 3 条 旨在减少或消除源自有意生产和使用的排放的措施

消除 PCBs 和除 DDT 以外的所有杀虫剂的有意生产与使用，限制 DDT 的生产与使用。对 PCBs 及 9 种杀虫剂，仅允许以环境安全处置为目的的进口或出口至某一缔约方国家用于其允许的目的，或至一非缔约方国家，并能证明其遵守公约的相关条款。采取法律手段防止引入其他具有 POPs 性质的化学品。采取措施防止或减少豁免行为中的释放。确认并消除浓度超过一定阈值的设备中的 PCBs，仅使用完整的、不泄漏的设备，且不在食品或水源地附近使用此类设备，并采取其他措施保证其良好的管理与处置。根据世界卫生组织的指南，将 DDT 的生产与使用限制在害虫控制领域。

第 4 条 特定豁免登记

公约缔约国如果希望在 5 年之后继续使用特定豁免产品，必须向 UNEP 提交有说服力的报告。

第 5 条 减少或消除源自无意生产的排放的措施

制定或采取一项旨在查明排放源及削减 PCDD/Fs 无意排放的行动计划，并推广包括最佳可行技术和最佳环境实践在内的削减 PCDD/Fs 的措施。

第 6 条 减少或消除源自库存和废物的排放的措施

制定查明 POPs 库存及含有 POPs 废弃物的战略，并遵照国际标准与指南，以环境友好的方式管理。确保 POPs 废弃物的运输遵守巴塞尔公约中有关危险废物运输、进口和出口的相关规定；尽力查明 POPs 污染场地，如果需要治理，则应保证按照环境条件允许的方式进行（参见文献 2）。

第 7 条 实施方案

制定并执行一项国家实施方案，遵照全球环境基金（GEF）颁布的指南，在该国对公约承诺生效两年之内，向缔约方大会提交一份满足公约要求的国家实施方案。

第 8 条 向附件增列化学品

批准公约的国家可向 UNEP 提交提案，对公约的一份或多份附件增列化学品。

第 9 条 信息交流

推动或开展 POPs 及其替代品信息的交流，并设立国家信息交流中心。

第 10 条 公众宣传、认识和教育

促进或加强公众（尤其是决策者与相关团体）对 POPs 物质的认识与了解。

第 11 条 研究与开发

鼓励或承担 POPs 及其替代品的研究、开发与监测，并支持此方面的国家级或国际性工作。

第 12 条 技术援助

协助提供技术援助，以发展或提高缔约国中发展中国家及经济转型国家的履约能力，并对此目的作相关安排及技术转让。

第 13 条 资金资源和机制

缔约国中的发达国家将提供新的和额外的资金资源，以帮助缔约国中的发展中国家及经济转型中国家。

第 14 条 临时资金安排

向缔约国中的发展中国家及经济转型国家提供临时资金安排。

第 15 条 报告

定期向公约“缔约方大会”报告在执行公约中采取的措施及其成效。

第 16 条 成效评估

设计监测与评估公约实施成效的方法。

履行斯德哥尔摩公约

全球环境基金（GEF）被选择作为帮助发展中国家与经济转型国家履行公约的临时资金机构。经全球环境基金 POPs 工作组的磋商，GEF 秘书处发布指南以帮助这些国家理解并履行其公约义务。这些指南被称为“关于 POPs 的斯德哥尔摩公约基础活动的初步指南”（参见文献 3）。全球环境基金 POPs 工作组由 GEF 三大执行机构——世界银行、联合国发展计划署（UNDP）、联合国环境规划署（UNEP），以及联合国粮农组织（FAO）与联合国工业发展组织（UNIDO）的代表组成。

指南中包括获取 GEF 财政援助的国家与活动提案的备选资格，以及处理 GEF 援助申请提案的程序，如下（参见文献 3）：

国家备选资格标准

已经签署公约的发展中国家或经济转型国家都具备申请授权活动资金的资格。

活动备选资格标准

初期的 GEF 援助将用于备选国家准备国家实施方案（NIPs），或进行准备国家实施方案前的能力建设工作的。