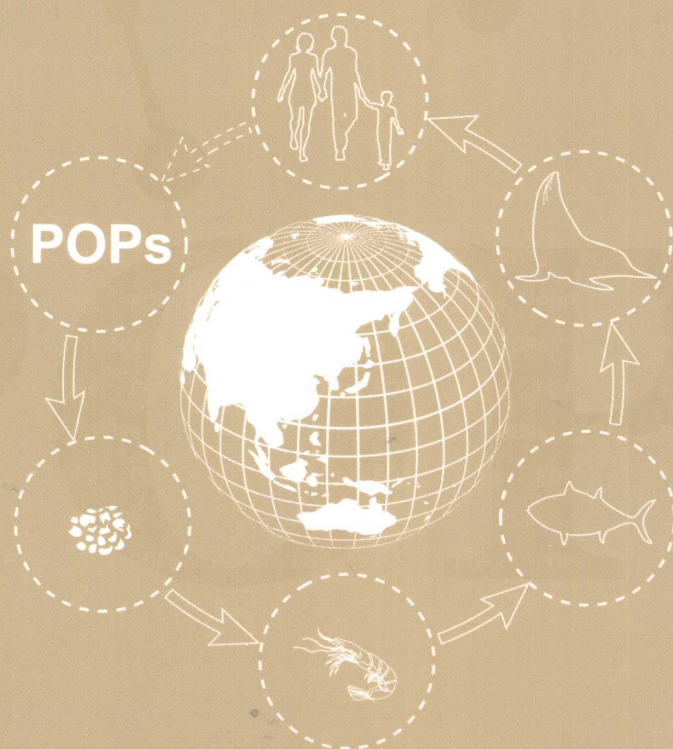


中国履行斯德哥尔摩公约系列研究丛书之五

中国持久性有机污染物废物 和污染场地清单调查与处置

战略研究

黄启飞 韩文亚 李 丽 编著



中国环境科学出版社

中国履行斯德哥尔摩公约系列研究丛书之五

中国持久性有机污染物废物和 污染场地清单调查与处置战略研究

黄启飞 韩文亚 李 丽 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国持久性有机污染物废物和污染场地清单调查与处置战略研究/黄启飞等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2008.4

(中国履行斯德哥尔摩公约研究系列丛书)

ISBN 978-7-80209-720-9

I. 中… II. 黄… III. 有机污染物—污染防治—研究—中国 IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149826 号

责任编辑 邵 葵
责任校对 尹 芳
封面设计 龙文视觉

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>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2008 年 4 月第 1 版
印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 6.5
字 数 85 千字
定 价 60.00 元(全套)

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

中国履行斯德哥尔摩公约系列研究丛书编委会

主 编：庄国泰

编 委：余立风 罗高来 胡建信 余 刚 郑明辉

杨志峰 杨小玲 丁 琼 鲁成钢

参 编：黄启飞 韩文亚 李 丽 蔡木林

周炳炎 朱雪梅 刘玉强

序

在我国签署《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》7 周年即将到来之际，欣闻《中国履行斯德哥尔摩公约系列丛书》研究即将出版，这是我国履行斯德哥尔摩公约的重要成果，也是我国控制、淘汰和削减持久性有机污染物（POPs）的重要文献。

POPs 与常规污染物不同，它在自然环境中极难降解，能在全球范围内长距离迁移；它被生物体摄入后不易分解，并沿着食物链浓缩放大，对人体危害巨大；它不仅具有致癌、致畸、致突变性，而且还对内分泌有干扰作用。有研究表明，POPs 对人类的影响会持续几代，对人类的生存繁衍和可持续发展构成了重大威胁。斯德哥尔摩公约正是国际社会为了保护人类免受 POPs 危害而采取的共同行动。

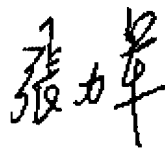
党中央和国务院对 POPs 危害的控制工作非常重视。2002 年，时任国务院副总理的温家宝同志就强调 POPs 的削减、淘汰和控制不仅关系到履约，更重要的是为了保护环境安全和人民的健康，要求环保总局早谋对策。几年来，在党中央、国务院的领导下，地方政府和各有关部门积极按照国家履约工作总体部署，不断加大工作力度，履约工作取得积极进展：①《中国履行关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约国家实施计划》（简称《国家实施计划》）得到了国务院批准和国际社会的认可，履约蓝图已经绘就；②成立了由环保、外交、发改、科技、财政、建设、农业、外贸、卫生、海关、质检、安监和电监 13 个部门组成的国家履约工作协调组和协调组办公室，履约机制已经建成；③进一步巩固和深化国际合作与交流，引进了先进的管理理念、技术和资金，有力地支持了我国的履约工作；④以多种形式广泛宣传 POPs 危害和履约工作，社会各界参与意识不断提高。

目前履约工作已取得一定的进展，但我们应清醒地认识到，我国

POPs 削减、淘汰和控制的形势仍然十分严峻。在 2005 年国务院发布的《关于落实科学发展观 加强环境保护的决定》中指出,“持久性有机污染物的危害开始显现”。在公约首批受控的 12 种 POPs 中,我国仍在生产和使用的 POPs 有氯丹、灭蚁灵和滴滴涕;工业用途的多氯联苯早在 20 世纪 70 年代初停产,但是部分含多氯联苯的变压器和电容器依然在使用;随着社会经济的持续快速发展,二噁英排放重点行业的生产规模还在进一步扩大;历史上遗留下来了大量含 POPs 的废物和污染场地,实现其无害化管理的任务十分艰巨。由于公约受控清单的开放性,新的 POPs 还会不断加入,我国的履约工作任重而道远。

为了推进履约工作,我们在组织编制《国家实施计划》之前,完成了有关杀虫剂、多氯联苯、非有意生产 POPs 和 POPs 废物及污染场地等方面的系列战略研究。这些成果汇集了大量第一手科研资料,凝聚了众多专家、学者和相关部门同志的心血,不仅为我国履约工作打下了坚实的基础,为地方政府和相关部门落实《国家实施计划》提供了支持,也是从事 POPs 研究和关心 POPs 问题的环境工作者不可或缺的参考资料。

“雄关漫道真如铁,而今迈步从头越。”控制、淘汰和削减 POPs 是一项长期而艰巨的任务,是一项造福子孙的事业,是政府的责任,也是全社会的责任。让我们携起手来,在科学发展观的指引下,切实执行《国家实施计划》,履行国际环境义务,为生态环境和人类健康免受 POPs 危害而不懈奋斗!



环境保护部副部长

2008 年 4 月

前 言

2001 年 5 月 23 日，中国政府率先签署了旨在控制和削减持久性有机污染物以保护环境和人类健康的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》（以下简称《POPs 公约》）。2004 年 2 月 17 日，第 50 个国家批准了公约，按照其规定，该公约于 2004 年 5 月 17 日生效。2004 年 6 月 25 日，第十届全国人大常委会第十次会议批准中国加入该公约；依据该公约第 26 条第 2 款，该公约于 2004 年 11 月 11 日对中国生效。

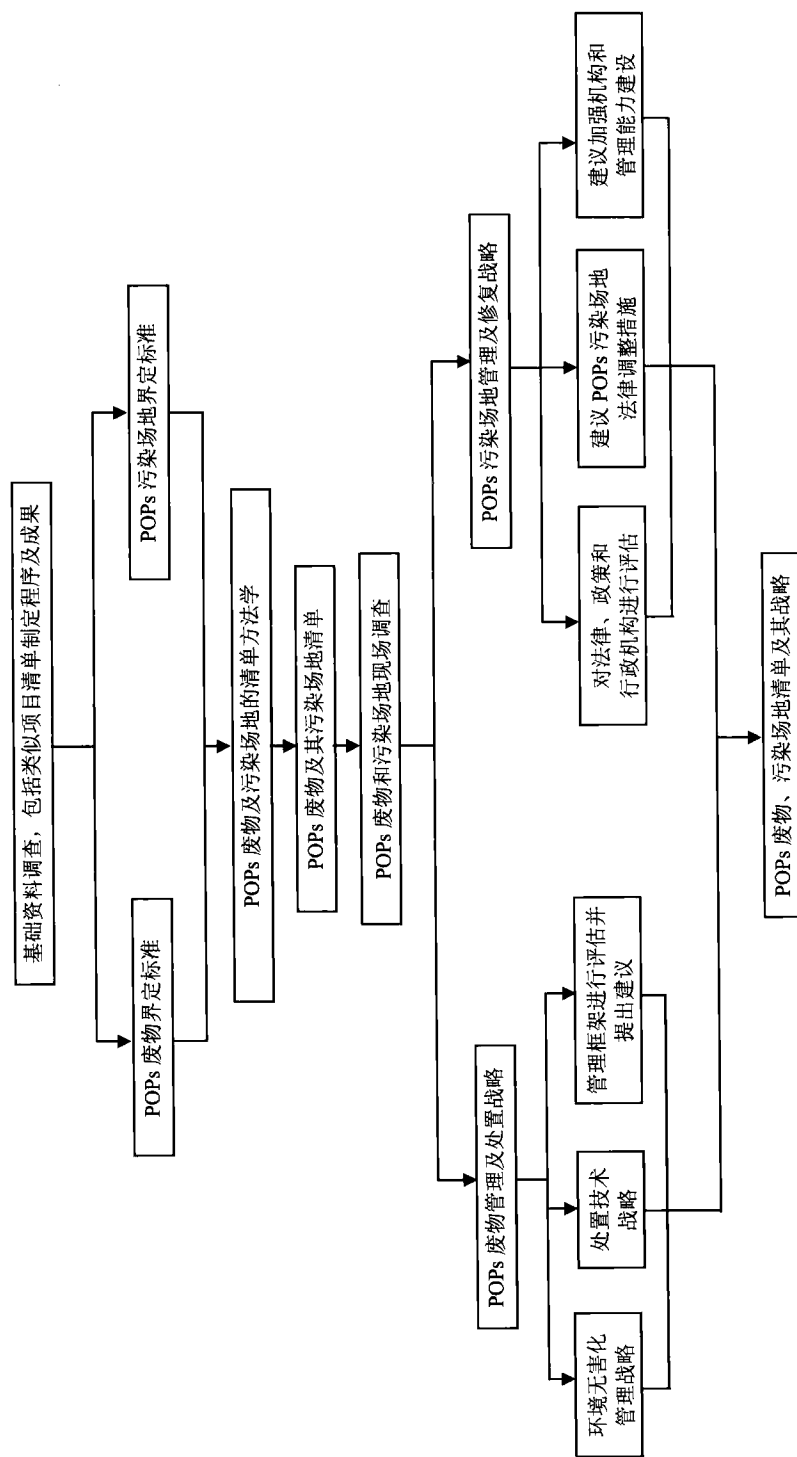
根据该公约第 7 条的规定，我国于 2007 年 4 月提交了指导我国履行该公约工作的国家实施计划（简称 NIP）。

POPs 废物和污染场地清单调查和处理处置战略是 NIP 的重要基础和内容之一。该公约对 POPs 废物和污染场地的管理有明确规定。对废物，该公约第 6 条第 1 款的（a）项规定：缔约方应制定适当战略以查明：……（ii）由附件 A、B 或 C 所列某化学品构成、含有此化学品或受其污染的正在使用中的产品和物品以及废物；（d）项规定：采取适当措施，以确保此类废物、包括即将成为废物的产品和物品；（i）以环境无害化的方式予以处置、收集、运输和储存；（ii）以销毁其持久性有机污染物成分或使之发生永久质变的方式予以处置，从而使之不再显示出持久性有机污染物的特性；或在永久质变并非理想的备选方法或在 POPs 含量较低的情况下，考虑到国际规则、标准和指南，以其他方式予以处置；（iii）不得从事可能导致持久性有机污染物回收、再循环、再生、直接再利用或替代使用的处置行为；（iv）不得违反国际规则、标准和指南进行跨越国界的运输。关于污染场地，公约同一条款的（e）项规定：努力制订用以查明受到附件 A、B 或 C 所列化学品污

染的场地的适宜战略；若对这些场所进行补救，则应以环境无害化的方式进行。对 POPs 废物和污染场地的鉴别标准，该公约第 6 条第 2 款规定：制定进行销毁和永久质变的必要标准……制定附件 A、B 和 C 中所列化学物质的含量标准。

根据该公约要求，在全球环境基金（GEF）和我国政府资金支持下，《中国持久性有机污染物废物和污染场地清单调查与处置战略研究》由国家环保总局 POPs 履约办组织编制，具体编制工作由中国环境科学研究院固体废物污染环境技术研究所（以下简称固体所）承担。固体所根据清华大学环境科学与工程系提供的 POPs 废物清单调查方法学，首先组织开展了对 POPs 生产、流通和使用领域的 POPs 废物与污染场地清单调查工作，在此基础上，经与国家环保总局 POPs 履约办多次沟通和讨论，最终形成了本战略研究报告，并为《中国履行〈关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约〉国家实施计划》的编制提供了重要数据和信息支持。

本战略研究的总体技术路线如下图所示。需要说明的是：作为 20 世纪六七十年代广泛用于电力、机械、轻工、冶金、化工、军事、建材等工业行业的多氯联苯（PCBs），其污染场地的清单调查和处理处置战略包括在《中国多氯联苯削减处置初步战略研究》中，本战略研究不作讨论。此外，本战略报告涉及的信息和战略不包括香港、澳门、台湾地区。



本战略研究的总体技术路线图

目 录

第一章 POPs 废物和污染场地鉴别标准	1
1.1 POPs 废物鉴别标准理论基础	1
1.1.1 POPs 废物污染场景模拟	1
1.1.2 中国 POPs 废物鉴别标准	1
1.1.3 二噁英和呋喃鉴别标准	3
1.2 POPs 废物污染场地鉴别标准体系理论基础	3
1.2.1 污染场地质量标准——作物吸收	3
1.2.2 污染场地质量标准——迁移至地下水	5
1.2.3 污染场地质量标准——直接接触	6
1.2.4 结论	9
1.3 鉴别标准技术经济分析	10
第二章 杀虫剂类 POPs 废物清单	11
第三章 杀虫剂类 POPs 污染场地清单调查	13
3.1 杀虫剂类 POPs 污染场地清单调查研究	13
3.2 我国典型污染场地的污染现状	16
3.2.1 某农药厂	16
3.2.2 A 化工厂	18
3.2.3 B 化工厂	20
3.2.4 C 化工厂	21
3.3 中国杀虫剂类 POPs 污染场地清单	22

第四章 POPs 废物及污染场地管理和行动计划	23
4.1 固体废物管理	23
4.2 POPs 废物的管理	23
4.3 POPs 废物管理现状	25
4.3.1 现有固体废物管理体系是 POPs 废物管理的基础	25
4.3.2 现有固体废物管理法律法规体系的不足	26
4.4 适用于 POPs 污染场地的管理	27
4.5 POPs 污染场地和污染土壤的管理现状	37
4.5.1 法规不完善	37
4.5.2 标准不全面	37
4.5.3 土地污染防治能力不足	38
4.6 完善 POPs 废物和污染场地管理体系的需求分析	38
4.6.1 对已发现的 POPs 污染场地的管理	38
4.6.2 将 POPs 污染场地和污染土壤纳入危险废物管理范围	38
4.6.3 建立 POPs 废物和污染场地处置资金机制	40
4.6.4 明确 POPs 废物和污染场地的管理主体和管理机制	40
4.6.5 立法和管理的改进措施	41
4.7 立法和管理改进措施的成本	42
4.8 POPs 废物和污染场地立法和管理行动计划	43
第五章 杀虫剂类 POPs 废物无害化管理战略	46
5.1 POPs 废物环境无害化管理	46
5.2 POPs 废物处置技术的选择	46
5.3 中国 POPs 废物无害化管理战略	47
5.3.1 POPs 废物处置技术选择	47
5.3.2 可供选择的 POPs 废物处置设施	49
5.3.3 已知 POPs 废物的处置行动方案	52

5.3.4 未知 POPs 废物的处置行动方案	53
5.3.5 POPs 废物处置进度安排	55
第六章 杀虫剂类 POPs 污染场地的查明与治理/修复战略	57
6.1 建立 POPs 污染场地环境无害化管理机制	57
6.2 污染场地的清单调查	58
6.2.1 调查方案	58
6.2.2 污染的探测分析和评价	58
6.2.3 资金需求估算	58
6.2.4 工作进度	59
6.3 污染场地修复行动计划	59
6.3.1 污染场地修复计划案例	59
6.3.2 污染场地修复行动计划	60
6.4 杀虫剂类 POPs 污染场地查明与修复行动方案	61
第七章 二噁英类 POPs 废物和污染场地清单与处置战略	64
7.1 二噁英类 POPs 废物和污染场地清单调查	64
7.1.1 调查方式	64
7.1.2 调查执行过程	64
7.2 二噁英类 POPs 废物初步清单	65
7.2.1 二噁英类 POPs 废物产生源分析	65
7.2.2 二噁英类 POPs 废物主要源	66
7.2.3 二噁英类 POPs 废物初步清单	69
7.3 二噁英类 POPs 污染场地清单	71
7.3.1 二噁英类 POPs 污染场地产生源	71
7.3.2 二噁英类 POPs 污染场地初步清单	73
7.4 副产物多氯联苯和六氯苯废物与污染场地	73

7.5 二噁英类 POPs 废物和污染场地清单调查与处置战略	73
第八章 战略实施行动计划	77
8.1 减少源自 POPs 库存和废物的排放	77
8.2 POPs 库存和废物的识别	82
8.3 POPs 库存的监管	85
8.4 污染场地识别和修复	86
参考文献	89

第一章 POPs 废物和污染场地鉴别标准

1.1 POPs 废物鉴别标准理论基础

1.1.1 POPs 废物污染场景模拟

POPs废物由于不规范处理处置（主要是简易贮存、堆置或填埋）容易造成对地下水的污染，考虑到我国酸雨污染较为严重，模拟受酸雨淋滤经过渗滤迁移污染饮用水源（取水井）。因此POPs废物鉴别方法采用浸出模型模拟这种污染途径，并确定浸出的污染物含量。这与世界各国制定的危险废物浸出毒性鉴别标准的原则是一致的，即模拟废物污染场景，结合人体可接受剂量水平及途径制定浸出项目和标准值。标准值将依据饮用水标准值乘以稀释衰减倍数确定浸出含量标准。依据模型建立的毒性物质污染途径和特征，污染物经过三个阶段危害人类健康：浸出→稀释→衰减。

1.1.2 中国 POPs 废物鉴别标准

依据制定POPs废物鉴别标准的基本原则，考虑废物毒性物质的污染途径，根据模拟的场景，在水质量标准（ C_M ）的基础上乘以模拟场景设定的稀释衰减倍数（ DAF ），制定出废物鉴别毒性标准值（ C_L ）。

$$C_L = C_M \times DAF$$

我国水质标准中规定的 POPs 项目涉及这两项，可借鉴世界卫生组织（WHO）制定的饮用水质量标准。模型中确定的 5 种 POPs 废物的水质标准见表1-1。

表 1-1 饮用水质量标准

序号	项目	标准值/ (mg/L)	标准来源
1	氯丹	0.02	Drinking water standard-WHO
2	滴滴涕	0.001	GB/T 14848—93
3	六氯苯	0.05	GB/T 14848—93
4	毒杀芬	0.03	USEPA ^[1]
5	灭蚁灵	0.000 5	USEPA ^[2]

稀释衰减系数的确定

依据对POPs废物和污染场地的场景模拟，由USEPA建立的毒性物质稀释迁移模型^①确定稀释衰减系数 DAF ，计算步骤如下：

① 计算土壤层的稀释倍数 DF ：

$$DF = \frac{C_{GW}}{G_{soil}} = \frac{\left[\frac{pb}{\theta_{ws} + K_d pb + H' \theta_{as}} \right]}{LDF} \times \frac{L_2}{L_1} \quad (1)$$

② 计算地下水的衰减稀释 AF ：

$$AF = \frac{C_{well}}{C_{MZ}} = \exp \left[\frac{L_{GW}}{2\alpha_x} \left(1 - \sqrt{1 + 4 \frac{D_g \alpha_x}{v_{coc}}} \right) \right] \times \operatorname{erf} \left(\frac{W}{4\sqrt{\alpha_y L_{GW}}} \right) \times \operatorname{erf} \left(\frac{D}{2\sqrt{\alpha_x L_{GW}}} \right) \quad (2)$$

③ DAF 计算方法：

$$DAF = \frac{C_L}{C_M} = DF \times AF \quad (3)$$

式中， DAF 为污染物稀释衰减系数，当 DAF 的值为 1 时，表明废物浸出毒性组分直接进入人类饮用取水点，没有稀释衰减过程。这种情况基本不存在，因为废物处置场离饮用水体一般在几百米到几千米远。 DAF 受污染物组分、填埋场土壤特征、地下水特征等多种因素的影响。 DAF 值越大，污染物稀释扩散水平越高。 C_L 为渗滤液（浸出液）污染物浓度， C_M 为水环境质量标准。当水环

① USEPA 网站 www.epa.gov/safewater/pws/pwss.html: Gil Strassberg, David R. Maidment and Lynn E. Katz. Dilution Attenuation Factors in Susceptibility Assessments a GIS based method, by. Center for Research in Water Resources. The University of Texas at Austin.

境质量标准为一定值时，稀释衰减系数越小，则可制定的浸出液污染物浓度标准值也越小。由于缺乏实验方面的研究工作以确定模型的各参数并进行优化，稀释衰减系数参考国外危险废物浸出毒性制定的倍数关系，拟确定为 $DAF=100$ 。

依据POPs 废物浸出液标准值制定方法，鉴别标准如表1-2所示：

表 1-2 5 种 POPs 废物鉴别标准值			单位：mg/L
序号	项目	建议浸出液标准	USEPA 标准 ^[3-5]
1	氯丹	2	0.03
2	滴滴涕	0.1	无
3	六氯苯	5	0.13
4	灭蚁灵	0.05	无
5	毒杀芬	3	0.5

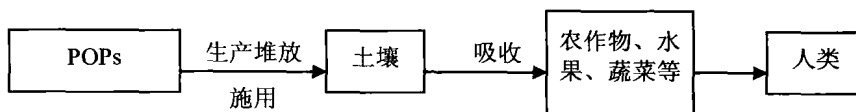
1.1.3 二噁英和呋喃鉴别标准

在《POPs公约》首批控制的化学品中，多氯代二苯并-对-二噁英（PCDDs）和多氯代二苯并呋喃（PCDFs）为无意产生的工业副产物，它们通常被合称为二噁英类POPs。鉴于二噁英类POPs的毒性特性和污染特征与杀虫剂类POPs差别较大，建议另行制定管理标准。推荐使用巴塞尔公约秘书处制定的标准值：15 μg TEQ/kg。

1.2 POPs 废物污染场地鉴别标准体系理论基础

1.2.1 污染场地质量标准——作物吸收

POPs 通过食品进入人体是暴露的最主要途径，其暴露量通常用每日摄入量表示，根据食品中的残留浓度监测结果结合我国居民膳食结构进行计算得到摄入量的值。



以日允许摄入量与食物构成情况推算的粮食中污染物允许含量作为因变量，以土壤中相应的污染物浓度为自变量，通过广泛的调查和深入的研究，取得足够的样本，建立起两者之间的函数模型方程，结合其他有关的影响因素，构造数学模型，根据粮食的卫生标准，计算出土壤的允许含量。

根据前苏联推荐的农药土壤标准数学模式^①：

$$Y=0.195+3.298X-2.234X^2 \quad (4)$$

式中， Y ——农药的土壤标准（ 10^{-6} ）；

X ——农药的食品标准（ 10^{-6} ）。

在确定作物中 POPs 污染物的允许含量基础上，根据上述农药土壤标准的数学模式，即可计算得出 POPs 污染场地质量标准。

依据污染场地经作物危害人体健康的暴露途径，以 ADI（日允许摄入量）与食物构成情况推算的作物中污染物的允许含量。

确定 ADI 值，以 RfD 表示，USEPA—Integrated Risk Information System (IRIS)，对于每一种杀虫剂类 POPs 都制定了 RfD 值。

ADI 值与 RfD 值的转换关系如下：

$$ADI=1 \times RfD, \text{ 其中 } 1 \text{ 表示单位体重} \quad (5)$$

RfD——危险性参考剂量（Risk Reference Dose, RfD），危险度达到可接受程度的剂量，单位为 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ；

ADI——日允许摄入量（Acceptable Daily Intake, ADI），终身每日摄入化学物质而不引起健康损害效应的剂量，一般以 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{bw} \cdot \text{d})$ 表示（《化学品毒性鉴定技术规范》，中华人民共和国卫生部，2005）。

^① 此模型曾用于制定我国《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995）。