

辐照技术用于废物处理：全球概况

许多国家正在研究对有害的液体或固体废物进行消毒或去污的辐照系统

水、土地和空气的污染是一个全球越来越关心的问题。新闻媒介有关废物处理和处置不当引起疾病和污染的报道屡见不鲜。对不够充分或不恰当的废物处理方法引起的潜在健康危害的认识加深，激励人们寻找别的有效的废物处理方法。在许多国家里，在个人、社区、城市乃至省(州)这样一些层次上，都能见到重新利用废物的种种倡议。

人们特别关心的是下面两类成问题的废物：一类是含有可能是传染性微生物的废物(污水污泥、生物医学废物及废水)；另一类是被有毒化学物质污染的废物。目前正在废物处理作业中使用的或正在为这一用途研究的辐照系统，主要是产生 γ 射线、电子束、紫外线及X射线的系统。

自60年代初期以来， γ 辐照装置一直被广泛地用于医疗用品和消费品的灭菌，这种辐照装置通常用放射性钴-60作为能源。德国慕尼黑附近的一个处理厂，是利用 γ 辐照装置进行污水污泥消毒的全规模示范厂；美国阿肯色州的生物医学废物灭菌设施则是处理医院的各种废物的全规模示范厂。目前，使用 γ 辐照装置降解土壤中有毒物质的研究工作正在进行。

同样，在各种工业过程中使用电子束辐照装置，已有数十年的历史。业已证明，这种辐照技术在饮用水和废水消毒方面是很有效的。近来，这种技术已在中试规模的研究中用于分解土壤和工业废渣中的污染物。

紫外线辐照系统已重新在废水处理厂流行，用以替代氯气消毒系统。这些辐照系统同多年前初次使用时相比已作了许多改进，设备更加坚固耐用，运行更加可靠。

最后一点，人们一直在研究利用X射线处理废物的可能性(X射线在医疗诊断和癌症治疗方面的应用是众所周知的)。然而，这一技术至今尚未用于此种用途。

ASCE 的综述报告

就大规模的辐照处理来说，人们通常考虑的辐射源有几类。1992年，美国土木工程师学会(ASCE)发表了一篇用4类辐射对水、废水和污泥进行辐照处理的工艺现状的综述报告。*该报告总结了被调查的下列4种辐照技术的发展动向：紫外线、放射性同位素(主要是钴-60)、直线加速器或电子束加速器，以及X光机。

世界上许多国家已建造了处理饮用水、废水和污泥的辐照设施。(参见第12页

J. F. Swinwood,
T. D. Waite,
P. Kruger 和
S. M. Rao

Swinwood 女士是加拿大安大略省诺迪昂国际有限公司的市场开发高级职员；Waite 博士是美国迈阿密大学环境工程学教授；Kruger 博士是美国斯坦福大学土木工程教授；Rao 博士是印度孟买的巴巴原子能研究中心同位素部主任。

* *Radiation Treatment of Water, Wastewater and Sludge*, Task Committee on Radiation Energy Treatment, American Society of Civil Engineers, New York (1992).

已在运行或将要运行的处理饮用水、废水和污泥的辐照设施

| | 辐照装置类型 | 被处理对象 | 处理目的 |
|-------|--------|--------|-----------|
| 奥地利 | 电子束 | 饮用水 | 减少化学污染物 |
| | 钴-60 | 废水 | 减少酚类含量 |
| 加拿大 | 钴-60 | 污泥 | 用作肥料前消毒 |
| 捷克共和国 | 钴-60 | 饮用水 | 消毒 |
| 德国 | 钴-60 | 污泥 | 用于造地前消毒 |
| | 钴-60 | 井水 | 预防生物污染 |
| 印度 | 钴-60 | 污泥 | 消毒 |
| 日本 | 钴-60 | 污泥 | 制成复合肥料前消毒 |
| | 钴-60 | 垃圾沥滤液 | 分解有毒物质 |
| 挪威 | 钴-60 | 污泥 | 消毒 |
| | 电子束 | 废水 | 消毒 |
| 南非 | 电子束 | 污泥 | 消毒 |
| 美国 | 电子束 | 废水, 污泥 | 消毒 |

来源:摘自美国土木工程师学会 1992 年发表的报告 *Radiation Treatment of Water, Wastewater, and Sludge*。本表包括已在运行或即将要运行的中试和全规模辐照设施。更详细的描述和参考资料参见该报告。

页附表。)第一座大型辐照设施是建于 1973 年的德国盖瑟尔比拉赫 γ 污泥辐照装置。另一项商业应用也在德国,利用辐射减少饮用井水的生物污染。目前,有若干个电子束辐照设施在探索电子束处理饮用水、废水和污泥的商业应用可行性。

印度的污泥浆辐照系统

印度的污泥消毒研究辐照装置 (SHRI), 是世界上第二座此种设施。该设施 1992 年初在巴罗达市正式投入运行。SHRI 已成为孟买巴巴原子能研究中心的辐照技术用于公共卫生与环保计划的一部分。该辐照装置是在古吉拉特邦政府、巴罗达市政公司及巴罗达市立 M. S. 大学合作下建造的, 其最终目标是要处理加杰拉瓦迪污水处理厂每天产生的约 110 m³ 的全部污泥, 并把消毒过的污泥作为一种安全的肥料使用。

SHRI 有两个相同但独立的辐照回路, 每个回路分别由筒仓、辐照室及循环系统组成。目前, 每次仅开动一个回路。每个辐照室的钴-60 源最高装载量约为 500 千居

里。当吸收剂量为 4 千戈瑞 (kGy) 时, 每个辐照回路每天最多能处理约 100 至 120 m³ 污泥。(参见第 13 页简图。)

消化或未消化的污泥首先进入筒仓, 计量后体积为 3 m³ 的污泥借助重力进入辐照容器。随后, 为防止沉淀和达到所要求的剂量, 用泵让污泥循环预定的一段时间。这一工序结束后污泥被排入贮罐, 以后再泵将它送至干燥床。按照目前的钴-60 装载量, 经过 2 到 3 小时的间歇式作业, 几乎可彻底杀灭污泥中的微生物, 这当然还取决于其初始含量。该设施每天可消毒 3 批污泥。

消毒和干燥后的污泥一直在 SHRI 设施的花园内作为肥料使用。目前, 印度正努力向该地区农户提供经处理的污泥。

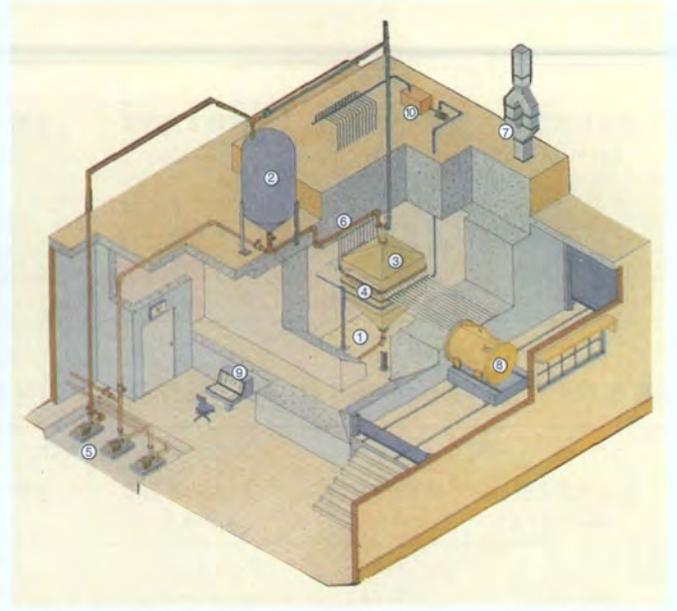
尽管该设施原先是为污泥消毒而设计的, 但它一直在用于评估此项技术处理污水处理厂出水的适用性。印度环保部已表示对使用辐射技术大规模处理印度北部恒河沿岸城市污水厂的出水感兴趣。

分解有毒污染物: 美国的研究

最近 6 年中, 美国一个由科学家与工程师组成的跨学科研究小组, 一直在研究高能电子束辐照对除去(彻底分解)水溶液中有毒有机化学物质的效能, 并研究了若干个被确定为对高效地破坏这些化学物质来说重要的因素。这些研究的成果能应用于废物处理和有害的废物弃置场的整治。这些研究工作是在美国佛罗里达州迈阿密的电子束研究设施 (EBRF) 中进行的。

EBRF 隶属于建在美国佛罗里达州迈阿密的弗吉尼亚沙洲上的迈阿密-达德地区废水集中处理厂。该设施有一台卧式 1.5 兆电子伏 (MeV) 电子加速器。该加速器属于绝缘芯变压器 (ICT) 型, 最多能输出 50 毫安 (mA) 的电子束流。通过调整束流能使吸收剂量按线性方式改变, 从而可使实验所用的剂量在 0—8 kGy 的范围内变化。电子束流的扫描频率为 200 赫 (Hz), 覆盖面宽 1.2 m, 高 5 cm。

按设计流量 0.45 m³/min 运行时, 自上



上图：印度巴罗达的污泥辐照研究设施。如简图所示，该设施包括辐照室(1)、贮存筒仓(2)、辐照容器(3)、源组件(4)、泵房(5)、循环管线(6)、废气排出管(7)、运输容器(8)、控制台(9)以及源冷却剂系统(10)。

下图：加拿大的安大略农学院在用辐照污泥作肥料的土地上种上了莴苣，这是该学院的研究活动的一部分。

(来源：印度巴巴原子能研究中心；加拿大圭尔夫大学土地资源学系 Thomas Bates 教授)



在有或无粘土时去除水溶液中的 99% 三氯乙烯所需的平均剂量汇总

| 无粘土 | | 有 3% 粘土 | |
|--|-----------------|--|-----------------|
| 初始浓度范围 ($\mu\text{mol/L}$) [*] | 所需平均剂量 (kGy) | 初始浓度范围 ($\mu\text{mol/L}$) [*] | 所需平均剂量 (kGy) |
| 0.61—0.88 | 0.57 | 0.58—0.72 | 0.58 |
| 6.2—8.9 | 0.64 | 6.2—7.2 | 0.64 |
| 40—58 | 1.07 | 45—59 | 1.06 |

* 1 $\mu\text{mol/L}$ = 0.131 mg/L

在有或无粘土时去除水溶液中的 99% 苯所需的平均剂量汇总

| 无粘土 | | 有 3% 粘土 | |
|--|-----------------|--|-----------------|
| 初始浓度范围 ($\mu\text{mol/L}$) [*] | 所需平均剂量 (kGy) | 初始浓度范围 ($\mu\text{mol/L}$) [*] | 所需平均剂量 (kGy) |
| 1.1—2.1 | 0.56 | 1.1—1.3 | 0.49 |
| 17—24 | 0.72 | 16—19 | 0.96 |
| 23—87 | 2.00 | 25—76 | 1.81 |

* 1 $\mu\text{mol/L}$ = 0.078 mg/L

往下流经 EBRF 扫描束流的废水流约厚 4 mm。因为 1.5 MeV 的电子在水中的最大穿透深度约为 7 mm, 因此部分电子会穿透水流。这样, 束流的能量并没有全部转移给水。他们还采用超界扫描废水流的办法确保水流边缘受到辐照, 这又会浪费一部分能量。结果是能量转移效率只有约 60%—85%。因此, 束流为 50 mA (75 kW) 时记录到的剂量在 6.5—8 kGy 之间。包括泵、冷却器等辅助设备在内的总耗电量约为 120 kW。

去除有毒和有害的有机化学物质: 研究成果简介

人们已对在处理被污染的土壤、改善地下水、处理工业废物以及处理有害废物沥滤液时可能碰到的那些有机化学物质, 作了大量的研究。现将对两种化合物(三氯乙烯和苯)的研究结果汇总如下。

现已取得了几种辐照剂量、3 种初始溶质浓度、3 种 pH 值, 以及有无 3% 粘土存在的情况下的去除效率数据。溶质或是在实验室配制的浓的成品溶液, 或是在水槽车灌水时加入水中。(参看上表。)

研究过的所有这些化合物的反应副产物实质上都已高度氧化。例如, 对三氯乙烯来说, 经查明, 甲醛和甲酸是仅有的两种浓度为 $\mu\text{mol/L}$ 量级的反应副产物。原始化合物的其余部分已完全成为无机化合物 CO_2 , H_2O 及 HCl 。

因此, 业已证明, 高能电子束辐照对破坏水流中的有机化学物质是行之有效的, 而且效率很高。这里举出的实例是可以在废水流中和在有害废物整治场发现的典型有机化学物质。

加拿大的污泥重新利用设施: 出售辐照污泥

城市污水污泥是污水处理厂处理废水的过程中排出的固体物。这种污泥通常含有可能有害的成分, 诸如传染性微生物(病毒、细菌和寄生虫)、重金属元素和化学物质。它还含有氮、磷等有益于植物生长的营养物质。

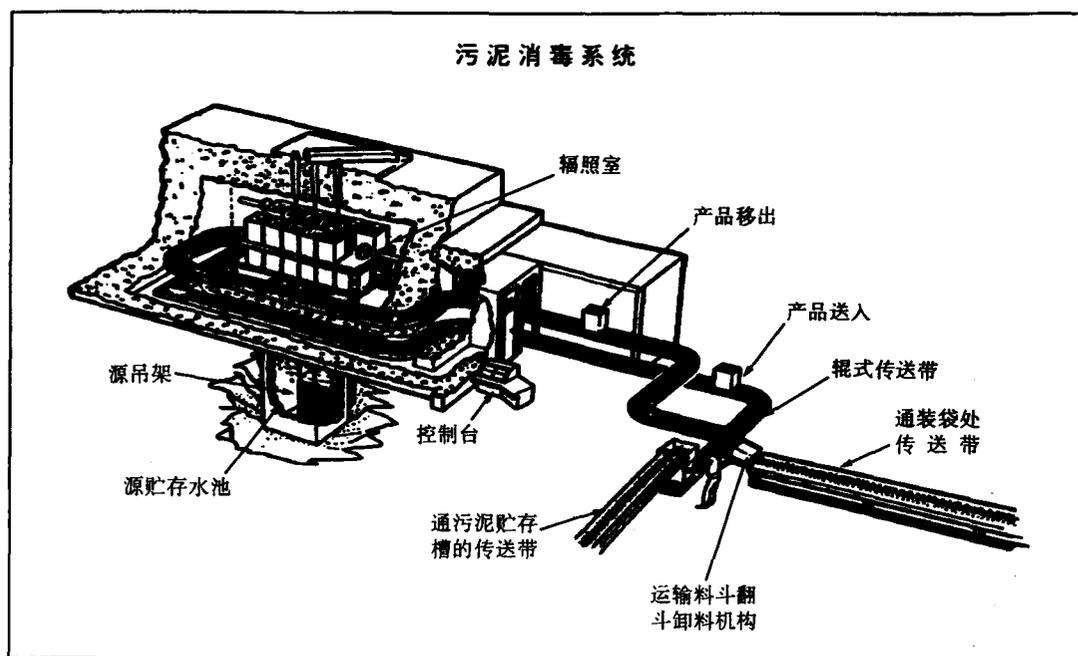
在有些国家(德国、印度及意大利)中, 已成功地采用辐照系统对污泥浆进行消毒, 消毒后的污泥再施用于农田。加拿大制定了一项为期 4 年的试验性计划, 该计划已建议建造一座污泥重新利用设施, 在该设施中安装一台钴-60 源污泥辐照装置。如果这项建议得到批准, 该设施将把污泥转变成一种干燥的与土壤类似的产品, 可以装袋并出售给园艺公司。

污泥辐照系统

污泥辐照消毒通常在装有钴-60 源的 γ 辐照装置中进行。全世界运行中的此类大规模工业辐照装置有 160 多台, 它们主要用于注射器、外科缝线、外科医生工作服、心脏瓣膜、软膏、滑石粉及其他许多医疗用品和消费品的灭菌。

一套污泥辐照消毒系统由 3 大部分组成:

- 一间用于安装辐照装置和钴-60 源的以混凝土墙作屏蔽的消毒室;
- 一套将污泥移入和移出消毒室的输送机械; 和



● 用于消毒的钴-60 能源。

钴-60 源是辐照装置的重要组成部分,它是一种专门生产的放射性同位素,与医院中治疗癌症患者所用的一样。先把天然的非放射性钴-59 制成“铅笔”状细棒,然后把这些“铅笔”放在反应堆内让中子轰击1年或数年。经过这段时间后,约有10%的钴-59 转变成了钴-60。从反应堆内取出这些“铅笔”,以便进一步的处理和为运送给工业辐照系统的用户作准备。

钴-60 在衰变成镍时发射 γ 射线。此种射线能够穿透污泥,杀灭微生物和寄生虫。它们不会在污泥中或其表面上留下任何残留物,也不会使污泥成为“放射性的”。辐照过程不会改变水含量,不会改变营养物和重金属的含量——它的唯一功能就是杀灭致病微生物。

辐射污泥用作肥料

经消毒的污泥可安全地重新用作肥料、土壤改良剂或各种各样的特种肥料产品的配料。此类污泥产品可与市场上出售的、典型的土壤改良剂和动物厩肥产品竞争。

因为污泥产品是有机肥料,不同于仅提供营养物而几乎不具有改良土壤性质的

化肥,所以它能使土壤得到长期的改良。以污泥为主的产品所含的天然成分,是灌木和花卉的理想肥料,它也可用于新的或已有的草坪。

未来的挑战与机遇

本文只是极简要地介绍了辐照技术能作出贡献的几类废物管理问题。在某些情况下,此类辐照技术还需要进行更多的研究和试验才能大规模地使用,而在另一些事例中,这项技术早已在或者正准备全规模地使用。

展望未来,许多研究中心正在进行的研究,为辐射技术安全、可靠和经济地用于废物处理开拓了一些新路子。其中包括能去除烟道气中的氮的氧化物和二氧化硫之类环境污染物的电子束装置;利用钴-60 对医院和实验室废物进行灭菌以便安全处置的设备;以及增加紫外线的使用量,使之代替含氯化学品对废水进行消毒。

世界各国城市居民年复一年地面对越来越多的似乎不可克服的环保问题。为了迎接这些挑战,人们正在寻找不仅为现在也为将来提供答案的高技术解决办法。辐射技术为正在进行的这种探索提供了一种富有生命力的选择。 □