

知识介绍

核辐射技术在环境保护中的应用

周 克 元

(湖北省环境保护研究所)

核能事业的兴起为人类提供了新的能源。核技术又为工业、农业、医学等领域开辟了新的前景。目前,美国、日本、西德等国家又用核辐射技术处理废水、污泥,用核技术进行环境监测分析,以及进行地下水污染研究等都取得了较好效果。

一、核辐射技术在废水处理中的应用

传统的工业废水和生活污水处理方法有生物法、物理法、化学法、物理化学法等。它们在处理某些体系(如含有微生物有毒的物质和物理化学等传统方法不易处理的物质,如腐殖质等)时遇到了困难。

应用核辐射处理废水和污水主要是使其中的污染物辐射分解、聚合、氧化变性和消毒灭菌。它有下列优点:(1)一般在处理过程中不引入污染物;(2)辐射在废水中产生的自由基在化学上比一般分子具有更高的活性,可使体系的BOD和COD降低,并且常常使传统方法不能处理的污染物分解或改变化学结构,使之适用于化学法或生物法进行二级处理;(3)自由基过程可导致链反应,因此可提高处理效率。

核辐射处理废水早期的研究主要有Lowe等人研究的电离辐射对水、污水和污泥中的微生物的影响,Byron等人研究含氰化物废水的辐射分解,Touhil等人利用 ^{60}Co γ 射线模拟研究了含氰化物、酚以及石油类工业废水的辐射分解以及城市污水中通常存在的细菌和病毒的辐射效应。此外对含洗涤剂的废水和染料废水等也有人作了研究。

据报道,核辐射技术几乎能使所有有机物质破坏。但辐射产额很低,单独应用辐射技术往往需要很高的剂量,因此处理大规模的废水需要建立很大的辐射源和很高的运行成本。曾有人研究 CN^- 水溶液的辐射以寻求处理焦化厂废水的最佳条件。从求得的水溶液和焦化厂废水中氰化物分解率与剂量的关系曲线表明,在废水中存在着复杂的竞争反应,即体系中存在的其他污染物与 CN^- 竞争水辐射分

解形成的活性粒子(H 、水化电子、 OH 自由基),大大降低了 CN^- 离子的分解速度。结果表明,要提高辐射处理的效率,必须设法克服或消除体系中存在的竞争反应。也就是说,辐射处理与其他合适的处理技术结合起来可能会得到较好的处理效果。

从1970年以来,美国已建成了规模较大的城市废水辐射处理厂,它是在生物处理后采用 γ 辐射处理,其出水量为 $37.8\text{m}^3/\text{d}$,运行经验表明,0.5kGy的剂量能使大肠杆菌数降低 10^4 倍,足以用于废水的消毒,其物理、化学及生物学指标都有明显的改善。

Mikhailova等人对大型畜牧场废水进行了实验室辐射处理研究,采用 ^{60}Co 及 ^{137}Cs 作辐射源,废水在辐射前后2小时,1、2、5、10天分别测定细菌及大肠杆菌数,2.5—4.0kGy的剂量能达到灭菌的效果(细菌数为零),辐射后的废水可用作肥料。

在苏联,大型畜牧场已采用工业方法生产肉奶制品。然而用生物处理废水及消毒方法,不能完全杀灭无草粪肥中的微生物和蠕虫卵。现已采用低能加速器进行消毒处理。目前已建成了两个实验厂。苏联科学院研究采用EL-400N低能电子加速器(两个能量为400keV的逆向水平电子束)处理机械化养牛场废水,废水中添加0.2%的氨,5kGy的剂量即可达到完全消毒。Borovyany工厂采用 1.85×10^{14} Bq的 ^{60}Co 源及1.5—2.5MeV的电子加速器为辐射源,废水中添加KCl及 CuSO_4 ,并用臭氧-氧混合气曝气,废水无需预先进行液固分离,2.5kGy的剂量可以完全消毒。

欧洲农业核技术协会的废水辐射工作小组进行了类似的工作,取得的结果大致相同。

二、核辐射技术在污泥处理中的应用

污泥辐射处理是用 γ 射线和电子束辐照城市污泥,以达到杀菌、消毒作用的一种无害化处理方法。污水处理厂排出的污泥内含有大量病菌、病毒、寄生虫卵等病原体,活力很强,采用普通加温或投加石灰

等杀菌方法难于完全消灭。用它作为肥料施于农田,有些病菌能在土壤中生存数月之久,造成土壤和水质污染,威胁人类和牲畜的安全。

污泥辐射处理方法比化学、生物及发酵处理法有许多优点。设备简单,用泵或其他传送工具将污泥送进辐射处理设备,经放射线照射后即可达到杀菌的目的,而且放射线穿透力强,杀菌较彻底。污泥经过照射后,颗粒还将由小变大,从而使污泥具有良好的脱水和沉淀性能。据有关资料介绍,辐射法处理污泥的费用并不高。德意志联邦共和国一个厂面积为 1500m^2 的处理厂,可处理 20—100 万人口的城市污水厂排出的污泥,其处理费用为每吨污泥 2.70 西德马克。

实践经验证明,污泥的辐射处理设备的电子束的能量越高,通过电子束辐射区的污泥层厚度越大。一般来说,污泥层厚度为 1.5—5m 时,电子束的能量相应为 750keV 至 1.5MeV;污泥层的宽度为 1.2m,流速以 2m/s 为宜。

由于污泥中所含病原体的种类和数量不同,故有效的辐射剂量也不一样,一般安全剂量在 10000Gy 以下。常用的辐射源有 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{86}Kr 等。

进行辐射处理时,只要把辐射源密封好,如放置在壁厚为 1.5m 的混凝土或其他贮器内,使辐射剂量不超过上述安全值,就不会产生放射性污染,不存在消除放射性吸收量的后处理问题。

近年来,欧美、日等国正采用生产性规模的实验设备,对污泥进行辐射处理,取得了一定的成果。例如,西德盖塞尔布莱奇污水处理场 ^{60}Co - γ 照射装置,1980 年辐射容量达 $2.109 \times 10^{14}\text{Bq}$,每天可处理 145m^3 污泥,辐射源的满负荷容量为 $2.405 \times 10^{16}\text{Bq}$,最大处理能力为 160m^3 。今后要大量产生 ^{137}Cs 核废物做辐射源使用。污泥经辐射处理后,可施于农田。在美国的鹿岛污水处理场,1976 年附设了由加速器产生的电子束作为辐射源的杀菌试验设备。当初电子加速器输出功率 750kV,日处理能力 378m^3 ,经过改造,输出功率和处理能力都成倍增加,达到 1500kV 和 $756\text{m}^3/\text{d}$ 。可处理波士顿一天污泥总量的三分之一。

三、核技术在环境监测分析中的应用

(一) 放射化分析法

近年来,放射化分析在环境监测分析方面的应用越来越多,这主要是由于放射化分析所具有的特点和环境监测分析的要求是一致的。另一方面,近

年来小型核反应堆在国外已商品化,并且价格不贵,运行十分安全,占地面积小。一般来说,放射化分析具有以下三个优点:(1)可对多种元素作同时分析,且灵敏度高;(2)不会使试样发生化学变化,因此不必考虑化学干扰;(3)由于放射化分析是非破坏性的,因此,不必担心试样的损失。

(二) 利用 X 射线的特殊分析方法——PIXE 法

粒子诱导 X 射线发射法 (Particle induced X-ray emission, 简称 PIXE),是用范德格拉夫 (Van de graff) 型回旋粒子加速器得到的质子和其他带电粒子照射试样,以产生的固有 X 射线为主,使用 SSD 进行测定。目前,该方法在雨水分析和水中金属离子含量的分析等方面已被应用。美国环保局辛辛那提实验室在 6 年前已将此法用于水样测定,它可同时完成水样中 70 多种元素的定性和定量分析。对于比铝重的元素,PIXE 都很有效。水样不经浓缩时,各元素的检测限范围为 0.1—10ppb。

四、在地下水污染研究中的应用

核技术应用于地下水污染的研究,对确立地下水水量和模型是一个重要的研究手段。在地下水动态参数测量方面有更为精确、快速、投资少的特点,可以把水文地质学上某些宏观、定性的测量方法推进到微观、定量的境界。核技术在水文学中的应用的国际讨论会 (从 1963 年至 1978 年)进行过五次。其中有不少报告是研究地下水污染的问题。1980 年又专门举行了“核技术在地下水污染研究中的应用”的国际讨论会,受到了人们的重视。核技术在地下水污染研究中的应用范围可用表 1 概括。

(一) 活化分析(放射化分析)地下水

一般都采用反应堆中子放射化分析法,先将水样浓缩处理,送入反应堆活性区。样品中稳定核素俘获中子后,变成放射性核素。用 Ge(Li) 探测器——多道能谱仪——计算机分析测量系统,测量放射性核素的特征 γ 射线能量和强度。可定性或定量给出被测样品中微量元素的组成及含量。该方法一般能测定地下水含量 10^{-6} — 10^{-13}g ,每个样品可测 30 多种元素。利用上述方法,国内高能物理所对中关村地区地下水进行了测定,共测出了 As、Cr、Co 等 20 多种元素的浓度。

(二) 同位素示踪技术的应用

同位素示踪技术利用稳定同位素如 ^{18}O 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^2H 等作标记,或利用放射性同位素如 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{203}Hg 、 ^{131}I 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 等作为特殊标记和污染物混杂在一起,追踪它们的运动途径,研究污染物在地下

表 1 核技术在地下水污染研究中的应用

核技术	应 用 范 围
1. 活化分析	1. 污染物来源的鉴定 2. 污染物于地下水中持续性的测定 3. 污染源的几何分布 4. 研究污染物的迁移规律
2. 同位素示踪技术	1. 研究地下水的运动规律 2. 污染物在土壤中的吸附、交换、微生物降解 3. 地下水污染的预报
3. 单井同位素稀释技术	1. 测定地下水的流速和流向 2. 测定含水层的层次及其层间水流的交替 3. 在野外测定地下水弥散系数 4. 地下水污染预报 5. 确定水源保护区域
4. 核测井技术	1. 含水层的层次 2. 含水层的水文地质条件 3. 污染物向下渗透的运动规律
5. 环境同位素技术	1. 测定地下水的流速和流向 2. 含水层的类型 3. 含水地带的状况 4. 含水层的层间水流交替 5. 污染物向下渗透的规律

水中的迁移规律。前者可以利用同位素原子量的不同,用质谱仪进行测定,后者放出 β 、 γ 射线,可利用液体闪烁谱仪,晶体闪烁仪等作放射性测量。

选择同位素示踪剂时应考虑:研究的目的;研究介质的性质;辐射防护和获得示踪剂及探测仪器的可能性等。根据试验要求和具体地点,确定放射性同位素示踪剂的半衰期和用量,既能达到研究示踪目的,又保证周围环境的安全。

在地下水污染研究中常用的示踪剂见表 2。

(三) 单井同位素稀释技术的应用

测定地下水的流向、流速与弥散系数,对研究地下水污染是非常重要的。应用单井同位素稀释技术,能够迅速精确地测定地下水的这些参数。单井同位素稀释技术的优点是测量流速范围宽(每天 0.01m 到数百 m),精确度高,示踪同位素用量少,安全可靠,投资少、耗时省等。

西德放射水文研究所利用单井同位素稀释技术,到 1977 年已调查了 140 个地区,打了 1600 个钻孔,钻孔深度累计 35000m,用比较少的投资与时间获得了可靠的水文地质资料。

(四) 核测井技术的应用

核测井可分为中子测井和 γ 测井两类。中子测井是利用中子与周围物质碰撞后损失能量,即发生慢化。各种物质的慢化能力,与原子量有关。由于探头周围物质元素的变化,引起慢化中子通量变化,用中子探测器测其散射慢中子通量,从而确定周围介质的性质及含量,中子源为 $^{210}\text{Po-Bc}$ 、 $^{241}\text{Am-Bc}$ 、 ^{252}Cf 。

γ 测井是利用 γ 射线与不同物质接触的散射强度不同,用 NaI 闪烁体测量散射的 γ 放射性,其探头结构与中子探头相似, γ 源为 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{75}Se 。

西德用中子探针测定了土壤的湿度、中国水利科学院水文研究所用中子测井法研究了土壤水分垂直运动的规律。

(五) 测定环境中同位素技术的应用

测定环境中同位素的比值可用于地下水研究的有: $^2\text{H}/^1\text{H}$ 、 $^3\text{H}/^1\text{H}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 等。

放射性环境同位素 ^3H 、 ^{14}C 是大气中的 ^{14}N 、 ^{18}O

表 2 常用示踪剂的比较

示 踪 剂	半衰期及放射性	浓度 (mg/m^3)	回收(%)	最大浓度原始浓度	pH
$\text{Cl}^- (\text{NaCl})$		2×10^6	100 ± 1	1.00	7.1
$^1\text{K}_3^{60}\text{COCN}$	γ , 5.26a	4.0	97 ± 2	0.98	~7
$^{114}\text{In EDTA}$	γ , 49.5d	4.7×10^3	98 ± 2	0.98	~6
$^{131}\text{I}^-$	γ , 8.04d	10	96 ± 2	0.98	~7
$^{45}\text{Sc-EDTA}$	γ , 83.8d	0.5	92 ± 2	0.83	~7
U	α	10.0	99 ± 5	0.96	~7
溴荧光素(有机颜料)		100	90 ± 2	0.80	~7

环境史料

邯郸生态环境史话

张 芳 林

(邯郸市农林局)

邯郸之名始见于公元前 546 年《春秋·谷梁传》。邯是山名,单是山脉尽头的意思,城郭从邑,故名邯郸。邯郸已有两千五百多年历史,早在春秋后期,它已是黄河北岸一个经济中心,从赵敬侯定都邯郸至汉魏之际,成为华北的政治、经济、文化中心之一。据历史学家推算,当时赵国人口约有三百万至五百万,而邯郸城有十万至十五万人^[1]。当时邯郸一带物产丰富,“民则人给家足,都鄙康庾尽满,府库余货财”。

(一)

邯郸的地理环境和自然生态自古以来十分美好。据著名气象学家竺可桢研究,在秦汉时期,我国北部平均气温比现在高 2℃ 左右^[2]。现在亚热带作物比今偏北。当时太行山南麓“草木茂畅,禽兽逼人”。今河南安阳与邯郸迤西一带为古商殷贵族狩猎的地区,甲骨文中“有获虎一,鹿四十,狼一百六十四,麋一百五十九”的记载。一次猎获野兽竟如此之多,其自然生态可见一斑。

邯郸西部太行山为天然屏障,峰峦起伏,原始森林茂密”。陟陂景山,松柏丸丸”(《诗经》商颂·殷武),“坎坎伐檀兮,置之河之干兮”(魏风·伐檀),说明当时太行山南部一带为原始的松柏林所覆盖,山与宇宙射线的中子引起核反应的产物,存在于自然界,它们的半衰期对地球年龄来说都是很短的。地下层受不到宇宙射线的作用,地下水的 ^3H 与 ^{14}C 含量甚微,主要是通过地表水和碳的循环而补给。可以用低本底液体闪烁谱仪进行测量,也可以与稳定同位素结合,用质谱仪进行测定以研究地下水形成条件和污染状况。

稳定性环境同位素 ^2H 、 ^{13}C 、 ^{18}O 等在自然界中它们的丰度是一定的,但由于人类活动和环境因素的变化,其丰度也会发生变化。它们在地下水中含量甚微,进行测定时,不是测其绝对含量,而是用质谱仪测定样品中环境同位素比值相对于标准同位素比值的偏离值 δ 。测定同位素比值的变化,可以确定地

高林密,溪多水急。在太行山八大隘之一的滏口径(鼓山南部),其主要城镇历来是秦、赵、韩激烈争夺的军事要地。东汉末年曹操自邺城(今河北临漳县西)率军经滏口径,越太行山攻壶关,作《苦寒行》^[3]一首,写道:

北上太行山,艰哉何巍巍。

羊肠坂诘屈,车轮为之摧。

林木何萧瑟,北风声正悲。

熊羆对我蹲,虎豹夹路啼。

谿谷少人民,雪落何霏霏。

真是一幅多么动人的原始森林生态的画卷!

太行山前的低山地带,从南往北的鼓山、堵山、栗山、儒山、葛山、紫山等连绵不断。据《广平府志》、《邯郸县志》记载,说紫山因“春夏有紫气蓊郁”而得名。低山丘陵往东,为广袤的平原。邯郸城位于交界处。魏刘劭作《赵都赋》曰:“且敝邑者,固灵州之敝宇,天下之雄国也”。“南有洪川巨渚 黄水浊河”,“东则有天浪水府,百川是钟”,“清漳发源,浊滏泊越,汤泉涓沸,洪波漂厉”^[4]。

当时邯郸境内曾有黄河、卫河、漳河、滏阳河、洛河、沙河等大河流过。漳河水量大并经常泛滥成灾。公元前 433 年,西门豹治邺,为破除迷信,有“河伯娶妇”的故事。他任邺县令率人民修漳水十二渠,“

下水的来源和形成,研究地下水污染的某些规律。

参 考 文 献

- [1] Piccinini, N. et al., *Nuclear Technol.*, **57**(2), 243(1981).
- [2] Yamazaki, M. et al., *Water Res.*, **17**, 1811(1983).
- [3] Dunn, G.F. et al., *Water Resour. Symp.*, **(10)**, 53 (1983).
- [4] Shanl, G.M. et al., *Proc. Ind. Waste Conf.*, 38th, 659(1983).
- [5] 吴增新等,国外环境科学技术, (3), 36(1984).
- [6] 杨向红译,国外环境科学技术, (6), 73(1985).
- [7] 宋妙发译,国外环境科学技术, (2), 27(1985).
- [8] 戚生初,环境科学与技术, (4), 13(1985).