

全国加速器工业辐照技术与应用 交流会论文选编

本选编辑录了由中国粒子加速器学会委托上海核学会加速器专业委员会于1986年6月23日在上海市召开的全国加速器工业辐照技术与应用交流会上68篇论文中的22篇,其中12篇为摘要。会议论文反映了加速器辐照技术在电子器件、电线电缆、辐射接枝等方面的应用成果,以及对加速器本身的改进。

国外工业辐照加速器的应用及其进展

翟兴林

(中国原子能科学研究院)

关键词: 交联 固化 地那米加速器 电子帘加速器 烟道气处理 热收缩管 绝缘芯变压器 直线加速器 辐射加工 污水处理

用于工业辐照的加速器绝大多数是电子加速器,其能量在0.15MeV到10MeV之间。近年来工业辐照技术发展很快,全世界用于射线辐照的总功率已超过15MW,其中,电子射线的功率14MW^[1],⁶⁰Co γ 射线的功率仅1MW。到1985年,全世界电子加速器消毒装置有十多台;用于工业辐照的电子加速器超过400台,其中,美国有265台、日本85台、苏联50台、欧洲其它国家10台。

一、辐照加速器的主要类型和特点

辐照加速器的主要类型有以下几种。

1. 高频高压加速器 即“地那米”加速器。由美国辐射动力公司(RDI)生产,额定电压从400kV到4.5MV,束流功率可高达150kW^[2],主要用在生产热收缩膜、管和辐照电线电缆。到1982年,已有75台这种机器在各国运转着,束流总功率超过4MW。主要用户有Raychem Co.、W. R. Grace、ITT Suprenant及Western Electric等^[3]。

2. 绝缘芯变压器(ICT) 在1980年以前,美国高压工程公司(HVEC)生产了120多台,后将生产技术转让给日本日新高压公司(Nissin High Voltage)。额定电压从300kV到3MV,最大束流功率90kW,主要用在电线电缆辐照、生产泡沫塑料及处理污水、烟道废气等。但电压超过2MV后,工作稳定性较差,因而限制了它的应用。

3. 电子帘加速器 带自身屏蔽,不需要专门防护是其一大优点。主要用于涂层固化。额定电压在150kV到300kV之间,束流功率可高达150kW,最大扫描宽度2m,传送带速度从每分钟几十米到上千米。主要生产厂家有美国的能量科学公司(ESI)^[4],美国的RPC Industries^[5],西德的Polymer Physic公司及法国的AID公司。ESI在1980年到1983年期间,就生产了70多台这种加速器。

4. 电子直线加速器 工业辐照用电子直线加速器可分为微波型及谐振腔型(也称自激型)两大类。微波直线加速器又分为脉冲波和连续波两种,连续波加速器的束流功率可达80 kW,而脉冲波加速器只能得到10kW的束流功率(电子能量在10MeV以下时)^[6]。直线加速器主要用于医疗品的消毒、食品保鲜、谷物灭虫及电线电缆的辐照交联等。主要生产厂家有美国的Haimson Research Corp^[7];法国的CGR-MeV及苏联的Techsnaxport等。电子辐照加速器的种类和用途见表1。

除上述提到的几种直线加速器以外,感应直线加速器也很有发展前途,因为利用这种加速器,有可能得到极高的束流功率。

表1 工业辐照加速器的种类和用途

类 型	生产厂家	主要用途	能 量 (MeV)	束流功率 (kW)	参考价格 (\$)
地那米加速器	RDI, 美国	电线电缆、热收缩管和膜	<4	<150	150万
绝缘芯变压器(ICT)		污水废气处理 电线电缆辐照	<2 <2	<100 <75	75万
电子帘加速器	RPC, Industries, 美国	磁带, 印刷	<300kV	<150	45万
	ESI 美国	涂层	<300kV	<150	45万
	AID 法国	涂层	<250kV	<5	15万
	Polymer Physik, 西德	涂层	<300kV	<150	
谐振腔式电子直线加速器	Techsnaxport, 苏联	谷物灭虫	<2	<40	150万人民币
	CGR-MeV, 法国	医疗消毒	<10	<10	100万
脉冲电子直线加速器	Haimson Research Corp., 美国	医疗消毒	<10	<10	100万
	CGR-MeV, 法国	医疗消毒	<10	<10	100万
	Techsnaxport, 苏联	辐照电镜	<13	<9	100万
连续波电子直线加速器	AECL, 加拿大	废水处理	<1.5	<75	100万

二、工业辐照加速器的主要用途

工业辐照加速器的辐照加工按其发展情况可分为三类。

1. 已商品化的辐照加工

(1) 辐照电线电缆 主要使用2MV左右电子加速器,辐照后能改善温度特性、提高绝缘强度及耐磨性能^[8]。美国和日本在这方面处于领先地位。美国在1979年已有230台电子加速器,其中28台加速器用于电线电缆辐照,全国有90%的电缆是经过辐照交联的。日本在1984年有27台加速器用于电线电缆的辐照交联,功率达1.465MW^[9],共有厂家13个,年销售额超过30亿日元。苏联用于辐照电缆的加速器有30多台,辐照电缆占总电缆的50%。

(2) 热收缩管、膜的辐照交联 主要使用1—3MV电子加速器,辐照剂量在5到30MR之间。聚乙烯等管、带、膜经辐照后,再经热扩张并冷却定形,利用塑料的“记忆效应”制成了热收缩管、膜。其径向收缩率可达40—80%。美国的Raychem公司是世界上最大的生产热收缩管的厂家,它的产品占世界市场的一半^[10]。而W. R. GRACE公司是世界上生产热收缩膜的最大厂家,拥有20多台电子加速器。日本有7台电子加速器用于生产热收缩管,功率456 kW^[9]。美国仅热收缩膜的产值就有几亿美元。苏联使用ILU-6型加速器,在20MR的辐照剂量下,每小时可生产180kg的热缩制品。辐照交联的热收缩管、膜,主要用于电气设备的绝

缘、油气管道的防腐及食品包装等。

(3) 塑料发泡 使用1—4MeV电子加速器, 辐照剂量一般在5—10MR。聚乙烯发泡时膨胀度在20到30倍。日本有10台电子加速器(总功率338kW)从事塑料发泡的生产, 发泡塑料的年产量超过七千吨, 占日本总产量的1/3以上^[11]。此法比化学法成本低。主要生产厂家有日本的Toray, Sekisui, Sumitomo 和美国的Votek等公司。

(4) 表面涂层固化 使用0.15—0.3MeV电子加速器, 辐照剂量2—100MR。优点是速度快、无污染、省能源、涂层表面光滑牢固。主要用在彩色印刷、生产胶粘带、封口纸及高级磁带等。日本有十多台、欧洲和美国有一百多台电子加速器用于涂层固化。辐照固化在磁带生产方面得到了广泛应用。现在磁介质产品是发展最快的消费品, 每年的增长速度超过25%, 1985年的销售额达100亿美元^[12]。美国、日本和欧洲80%的磁带制造厂家都已安装了电子固化设备, 已有20多个实验室和中试设备投入了使用, 至少有6个生产规模的电子固化磁带设备在使用和制造^[13], 并且世界上11个最大的磁带生产商(占全世界生产能力的90%)中的九个已经有了电子固化设备。使用5MR的辐照剂量, 传送带速度可超过150m/min、生产效率很高, 并且固化磁带的表面不平度 $\leq 0.5\mu\text{m}$, 这是用其他任何方法都达不到的。

(5) 医疗用品消毒 由于用环氧乙烷消毒, 往往有毒性残留, 已被不少国家禁止使用^[14], 因此近年来辐射消毒发展很快。西欧共有25个消毒中心, 其中3个用电子加速器。除了原有的几个电子消毒中心以外, 美国辐射动力公司(RDI), 正在兴建两个消毒服务中心(使用4.5MV“地那米”加速器)^[14]。美国有一个12MeV电子加速器, 从事医疗品消毒已超过15年, 并始终进行放射性监测, 没有发现高于本底的放射性。

2. 处在中试阶段的辐照加工

(1) 用辐照方法处理污泥污水 用400krad剂量就可使污水中的细菌数目减少4—5个量级, 其中肠道细菌、沙门氏菌及志贺氏菌都降至可检测的水平以下(表2)。此法的优点是用低剂量照射就可以代替漂白粉消毒; 能将虫卵、幼虫及藏在包壳中的细菌一齐杀死; 节省能源, 处理过的污水可以浇地, 剩余物可作肥料。表3列出了世界上几个污水处理厂的主要参数, 大多数处在中试阶段。

表2 电子射线(400krad)杀灭美国鹿儿岛污泥中细菌的实验结果

细菌类别	每毫升细菌数		细菌类别	每毫升细菌数		细菌类别	每毫升细菌数	
	照射前	照射后		照射前	照射后		照射前	照射后
细菌总数	4×10^6	10^2	粪便中的大肠菌株	1×10^5	低于可探测水平	粪便中的链球菌	5×10^3	< 10
大肠菌株	8×10^5	低于可探测水平	沙门氏菌	4×10	低于可探测水平	梭形细菌	5×10^4	$< 10^2$

表3 辐照用的加速器污水简介

所在地	射线种类	射线源能力	投产时间	处理能量	辐照剂量(krad)	备注
美国鹿儿岛	EB (ICT)	1.5MeV 75kW	1976年	$654\text{m}^3/\text{d}$	400	
美国迈阿密	EB(ICT)	$4 \times 1.5\text{MeV}$ 75kW	1983年	$10.9 \times 10^4\text{m}^3$	400	
苏联保罗夫拉尼	U-12直线加速器(EB) 电子加速器(EB)	5MeV 1.5—2.5MeV	实验阶段		200	处理牧场废物

(2) 辐照脱硫脱硝 各种烟囱排放的废气中都含有氮和硫的氧化物(NO_x 及 SO_x),它们与水蒸气作用就形成酸雨,污染环境、破坏生态平衡。据报道,美国每年由于酸雨造成的损失达250亿美元。现在常用石灰浆去除 SO_x ,但不能同时去除 NO_x 。为去除 NO_x ,可采用“选择催化还原法”(SCR),但不能同时去除 SO_x 。而用射线辐照法,可同时去除80%以上的 SO_x 及 NO_x ,因而特别引人注目。如使用1.5MR的辐照剂量,就可以同时去除90%以上的 NO_x 及 SO_x 。图1是烟道气处理厂的示意图^[15,16]。表4给出了世界上几个烟道气净化厂的一些参数。

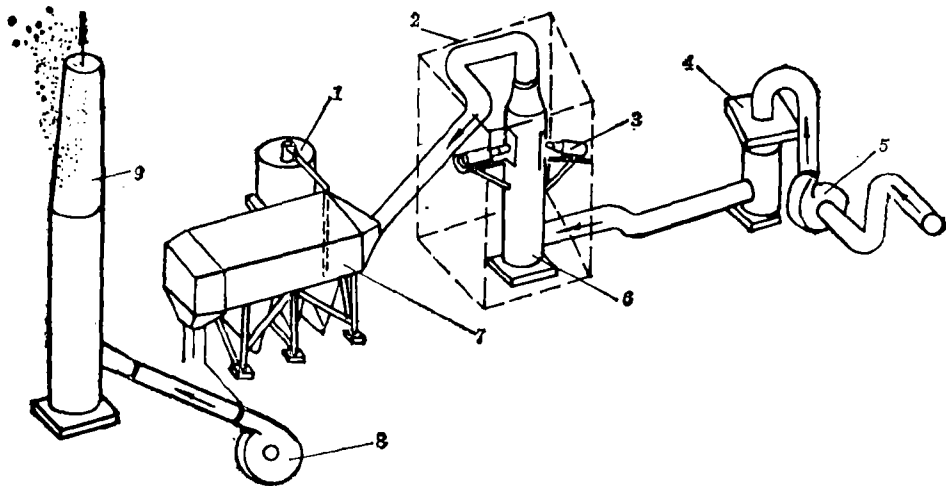


图1 用电子束(EB)处理烟道气工厂的示意图

1.副产品贮存 2.反应室 3.电子束 4.喷雾冷却器 5.引风鼓风机 6.电子束反应器 7.布袋过滤器 8.鼓风机 9.烟囱

表4 烟道气处理厂的主要参数

所在地	射线种类	设备能力	处理能力	辐照剂量
Ebara Corp., 日本	EB	0.75—1MV	$1 \times 10^4 \text{m}^3/\text{h}$	1—2Mrad
Avco Evevett Research Lab.美国	(ICT)			
TVA Shawnee Steam Plant,美国	EB	800kW, 375mA	$12 \times 14000 \text{m}^3/\text{min}$	1.3Mrad
	(ICT)	共12台,总计3.6MW	可同时去除90%的 SO_x 和 NO_x	

(3) 谷物的辐射灭虫 害虫每年吃掉世界粮食总产量的5—10%,在热带的一些国家里,甚至高达20%。目前采用的药物熏蒸杀虫,在粮食中有毒性残留。而用射线灭虫,不但有很高的辐照产量,不污染环境,无毒性残留,而且灭虫非常彻底。苏联西伯利亚核物理研究所制成了ЭЛБ-2及ЭЛБ-4单腔电子加速器,并于1980年在敖得萨港投入使用,主要用来杀灭小麦、玉米中的害虫。加速器的主要参数如表5所示^[17],据报道,墨西哥也安装了电子杀虫设备,可将该国玉米产量的20%灭虫^[18]。

表5 用于谷物灭虫的电子加速器的参数

型 号	束流功率 (kW)	EB能量 (MeV)	辐照产量 (Mt/a)	设备投资 (\\$)
ЭЛБ-2	20	1.4	1	51×10^4
ЭЛБ-4	40	1.4	2	

(4) 食品辐照保鲜 食品辐照主要是防止虫蚀(谷物、面粉等)、霉烂(水果、蔬菜等)及发芽(土豆、洋葱、大蒜等),从而延长保鲜期。到现在已有20多个国家对几十种辐照产品发了许可证。荷兰已批准了28种辐照食品,由于 γ 射线穿透力强,可辐照包装好的食品,因此目前仍起支配作用。但用高能电子辐照也有实例。美国陆军实验室,用5—30MeV电子直线加

速器,辐照军用罐头等食品已有12年之久^[19]。法国用10MeV电子直线加速器,对家禽肉进行消毒,效果很好^[18]。西德联邦营养中心用 γ 射线、电子射线及X射线,对食用盐、糖等进行辐照,实验证明,这三种射线在食品消毒方面没有什么区别^[20]

3. 尚待开发的辐照加工

虽然这些技术还处在研究开发阶段,但具有商业化开发远景,属于这类的有生物能量转换、生物活性材料的固定和制造生物相容性材料。

参 考 文 献

- [1] J. Chapps Walter, *Radiat. Phys. Chem.*, 22, 1-2, 77(1983).
- [2] Dynamitron—the world's most powerful electron beam accelerator for radiation processing, Radiation Dynamics, Inc.
- [3] David. Oakes(RDI), *Private communication*, Dec. 19, 1985.
- [4] S. V. Nablo, *J. Indust. Irradiation Tech.*, 3, 1, 41(1985).
- [5] RPC radiation processors, 1984, RPC Industries.
- [6] *Radiat. Phys. Chem.*, 25, 1-3, 105(1985).
- [7] J. Haimson, *Private communication*, Oct. 15, 1984.
- [8] Nelson Hildreth, *IEEE trans, Nucl. Sci.*, NS-28, 2, 1974(1981).
- [9] I. Sakamoto *et al.*, *Radiat. Phys. Chem.*, 26, 4-6, 911(1985).
- [10] Radiation bright newfuture, *Business Week*, July 11, 1977.
- [11] *Radiat. Phys. Chem.*, 14, 155(1979).
- [12] Symposium on magnetic media manufacturing methods, May 25-27, 1983, Magnetic media information services. Chicago, IL 60611, USA.
- [13] S. V. Nablo, *J. Indust. Irradiation Tech.*, 3, 1, 41(1985).
- [14] J. H. Bly, *ibid*, 3, 1, 63(1985).
- [15] D. J. Helfrich *et al.*, *Radiat. Phys. Chem.*, 24, 1-2, 129(1984).
- [16] 电子线照射による为排ガス処理技術, 日本荏原製作所, 1985年.
- [17] Industrial plant for radiation disinfection of grain, Report of Technobehport, USSR.
- [18] Claude-Louis Gallien, *Radiat. Phys. Chem.*, 14, 759(1979).
- [19] J. Haimson, Technical development and prospects of sterilization by ionizing radiation, International conference, Vienna, Austria, April, 1-4, 1974.
- [20] Th. Grünwald, *Radiat. Phys. Chem.*, 22, 3-5, 733(1983).

Status and applications of foreign accelerators for radiation processing

Zhai Xinglin

(Institute of Atomic Energy of China)

Keywords: crosslinking curing dynamitron electron curtain accelerator
flue gas treatment heat shrinking tube insulation core transformer
(ICT) linac radiation processing sludge treatment

JJ-2电子静电加速器运行概况

周自雄 张兴发

(中国科学院新疆物理研究所)

关键词: 静电加速器 加速管 输电带 电子枪

上海先锋电机厂生产的JJ-2型电子静电加速器是我国六十年代初期自行研制的工业用加

1987年第11期

• 5 •