

辐射加工技术应用与产业化

赵文彦

(中国科学院基础局 北京 100864)

侯福珍

(中国科学院上海原子核所 上海 201800)

摘要 辐射加工已成为继机械加工、加热加工、化学加工等几门主要加工技术之后诞生的又一门崭新科技。目前我国在建和已运行的工业用电子加速器 40 台,总功率 1436 kW,产品有八大类型、几十个产品。

关键词 辐射加工,电子加速器,辐照应用和产业化

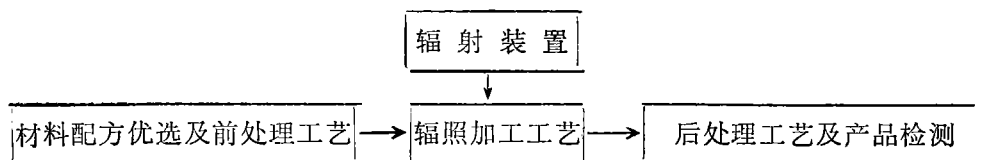
1 国外现状

辐射加工,是指高能射线(主要是 γ 射线、X射线和电子束)将能量提供给被辐照物的过程。当射线进入物体后,通过与物质的作用,形成各种活性粒子,活性粒子与介质分子之间、活性粒子之间就产生一系列的反应。在射线作用下的离子具有自由基的性质,从而可以产生众多的高活性中间产物,它又进一步促进反应过程的发生。这些丰富多彩的反应过程,就构成了物质广泛的物理与化学变化。于是只要控制一定的辐射加工条件,就可以使广泛的加工对象,达到某种改性的目的。比如,可以使高分子材料分别实现接枝、聚合、裂解或者交联,对生物可以起到抑制或刺激生长的作用,对害虫、虫卵、病菌可以杀灭。辐射加工还具有一些独特的优点。它可以在常温条件下对物体进行处理,加工中引起的升温又极为微小;射线不仅可处理被加工物的表面,而且可以深入到被辐照物的内部;这种加工方法所耗费的能量也较其它加工方法少;加工中还不会给辐照物带来任何残毒和废物,而加工的控制方法又相当简便。由于这一系列的特点与功效,使辐射加工的应用范围大为拓宽了。可以说,它已成为继机械加工、加热加工、化学加工等几门主要加工技术之后诞生的又一门崭新技术。

辐射加工涉及到多个学科、综合性的技术体系、主要包括如下三个组成部分:

(1) 辐照装置及其配套技术;(2) 被辐照产品材料的配方优选技术及前处理工艺;(3) 被辐照产品和辐照装置相匹配的辐照加工工艺和产品检测技术。

辐射加工的基本过程用以下框图表示:



辐射加工技术有别于传统的加工方法,它是以高技术为依托,先进的工业基础为支撑,多学

料相互关联，容易形成规模经济。因此，辐照加工技术在世界发达国家里，每年以 15%~20% 的速度发展，辐射产品的销售额已达到数百亿美元，辐射加工技术几乎渗透到国民经济的每一个领域，其产品从军用、航天及生活日用无所不包，是一项具有极大发展潜力的高新加工技术。

1.1 辐照装置

加速器日渐成为辐射加工的主要手段，据统计(至 90 年代初)，国际上现有钴源装置 160 座，工业用电子加速器约 750 台(见表 1)两者辐射总功率比较，前者只占总数的 10% 左右。

表 1. 工业用电子加速器统计

	美国	日本	苏联	欧州地区	其它地区
数量/台	~300	199	100	100	40
功率/kW	12000	5000	2000	300	800

在国际上，工业辐照加速器市场竞争十分激烈。日本住友、日新高压、岩崎电工、已经买下美国几家主要加速器公司 RDI、RPC 公司、高压公司、能量科学公司，大有垄断世界市场的野心。俄罗斯工业技术基础雄厚，工业辐照加速器已形成多种定型产品，其性能价格比较美国、日本更有竞争力，正在成为工业加速器出口大国。法国已建成 10 MeV 2 mA 的直线电子加速器，由于其能量高，在消毒及特殊材料生产等方面有广泛的应用前景，引起世界上的注意。

1.2 产品结构

目前，在世界范围已经构成辐射加工产品主要有八大类：

(1) 辐照交联电线电缆，累计品种的种类与规格已达 1900 多种。(2) 辐照交联热收缩套管、板和膜，美国 Raychem 公司提供的热收缩材料，目前已近 3000 种。(3) 复合材料和表面涂层固化。这促使人们 对辐射加工技术的概念有所扩展，把原有 γ 射线、电子、X 射线作为辐射诱发的范畴，逐步向紫外光延伸。美国主要发展 EB 技术、在印刷方面已有 20 多条生产线，欧州以 UV 技术为主，应用于木材、印刷、粘合剂、压敏胶等。日本发展速度很快，所用原材料三年翻一番。(4) 辐照交联聚乙烯发泡材料。(5) 辐射制备各种功能膜。(6) 橡胶辐射硫化。(7) 食品藏储保鲜。(8) 辐射消毒灭菌。

处于中试阶段的有：辐射法处理污泥废水、烟气脱硫脱硝、生物相容材料、高性能工程塑料等。

以日本和美国进行比较，两国由于技术背景，市场占有等方面的差异，在主要产品结构上有明显差别(见表 2)。

表 2. 日美辐照产品比较

	辐照交联电线电缆	热收缩材料	辐射表面固化	橡胶硫化	泡沫塑料	消毒灭菌	其它
日本/%	42.7	9.9	9.0	15.7	6.7	1.0	15
美国/%	14.5	50	8.5	13.0	1.0	0.5	8

注：%是指各类辐照产品在总的辐照产品中所占的百分比

1.3 与辐照加工和产品有关的专用装置工艺和技术诀窍

它们大都属于专利，各国各厂家都严加保密，市场上无商品出售，它们的性能与效率，往往是产品成败和获得效益大小的决定因素。这些专用装置、工艺、技术诀窍，主要为了解决辐射加工过程中大家公认的几个技术难点：(1) 为保证产品质量，提高生产效益所采用专用装置，

- (2) 为使辐照达到剂量均匀所采用有效的方式, (3) 提高射线利用率以及各种束流分束技术, (4) 被辐照物各部位所受剂量的测量与监督。

2 国内现状

我国辐射加工技术始于 60 年代初, 从研究萃取剂和离子交换剂的辐射稳定性开始, 而后很快扩展到高分子领域及其它领域。从六十年代到七十年代, 在这个漫长的二十多年里, 辐射加工技术发展缓慢, 许多研究成果停留在实验室阶段, 产业化前景渺茫。进入八十年代, 随着科技、经济体制改革逐步深入, 在社会主义市场经济的推动下, 国家原子能工业的重点由军用转向民用, 为我国辐射加工技术提供了一个良好的发展机会。最近十年, 是我国辐射加工技术进入市场, 走向产业化的大发展时期。主要表现在以下几个方面:

2.1 辐射装置数量增长很快并已具备规模生产能力

(1) 到目前为止, 全国共建 10 万居里(为 $3.7 \times 10^{15} \text{Bq}$)以上 ^{60}Co 装置近 50 座, 设计装源总强度 2330 万居里($8.62 \times 10^{17} \text{Bq}$), 现装钴源强度 $2.22 \times 10^{17} \text{Bq}$ 。分布在 24 个省市自治区的 40 多个城市, 和 5 年前相比, 装置数量增长 20%, 装源强度增加 15%。

(2) 加速器数量增长幅度很大, 迄今, 我国共建加速器辐照装置 40 台(见表 3), 多数是 90 年以后建成投产的, 总功率 1436 kW, 从 1990 年~1995 年间, 加速器生产线每年翻一番, 这对推动我国辐射加工产业化, 不能不说是一件可喜的事情。同时, 也能看出 1990 年~1992 年全国范围有一种“辐照热”, 在一部分电线电缆厂中表现较为明显, 一些企业, 对辐照技术难度和风险性估计不足, 条件不成熟也急于上马。1993 年正值国家金融体制改革, 收缩资金信贷规模, 许多工程推延了 1~2 年。

表 3. 我国加速器生产线统计

	1989 年前	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年
台数	9	10(1)	13(3)	18(5)	29(11)	30(1)	36(6)	40(4)
功率/kW	225	255(30)	400(145)	650(250)	935(285)	955(20)	1295(340)	1436(140)

注: ()表示当年净增加数

已经建成的 40 台加速器国产化率很高, 这 40 台加速器分布在: 上海 6 台(其中 2 台进口), 江苏(南)3 台, 江苏(北)2 台, 四川 5 台(其中 1 台进口), 吉林 3 台(其中 2 台进口), 广东 2 台(进口), 山东 2 台, 天津 2 台, 辽宁 2 台(其中 1 台进口), 甘肃 2 台(其中 1 台进口), 浙江 2 台, 河北 2 台(进口), 北京 1 台, 湖北 1 台(进口), 山西 1 台(进口), 陕西 1 台(进口)江西 1 台, 云南 1 台, 安徽 1 台。其中国内生产共 26 台, 占 65.2%, 功率 586 kW; 进口共 14 台, 占 35.8%。其中美国 5 台, 占 12.5%, 功率 500 kW; 俄罗斯 8 台, 占 20%, 功率 320 kW; 日本 1 台, 占 2.5%, 功率 30 kW。

2.2 初步形成辐射加工技术装备体系

由于我国具有较好的核科学与核工业基础, 为辐射加工事业的发展提供了强大的技术后盾, 经过近十年的努力, 我国已经初步形成从辐照装置设计制造、辐射产品开发研究、辐照材料生产供应到技术服务、设备维修较完整的技术装备体系。1992 年, 中国同位素与辐射行业协会向全国推荐的辐射加工技术与产品 26 项重点推广项目, 勾勒了这套技术装备体系雏形。

2.2.1 钴源设计 核工业第二研究设计院的单板源装置, 具有工艺先进, 自动化程度高, 安全可

靠等特点,成为钴源设计的主流;上海原子核所主持设计的双板源装置,具有设计新颖,结构合理,运行平衡,占领了一定市场份额。

2.2.2 加速器生产线 上海先锋电机厂是我国加速器生产的主要骨干企业。该厂共生产了60多台加速器,在40条辐射生产线中,先锋厂生产的GJ-2、GJ-2D、GJ-1.5型产品有14台,占35%。中国科学院上海原子核所、高能物理所、中国原子能研究院、北京机械工业自动化所等单位研究技术力量雄厚,加速器制造技术比较成熟,能够制造不同能量段的辐照加速器产品。

中国科学院兰州近代物理所设计的XF-01型计算机自动控制束下辐照电缆传动装置,在国内已与六、七家进口或国产加速器配套,技术上有所创新,对提高束流利用率,改善辐照均匀性,得到了国内外同行的肯定。

2.2.3 辐照产品开发和辐照料的生产 已有十几个品种通过鉴定并生产,有十一个厂家可提供不同规格的辐照材料。天水电缆料厂、上海化工厂是主要骨干企业。国内现有20多个研究生产单位在电线电缆、热缩材料、橡胶硫化、辐射接枝、涂层固化、食品保鲜等领域开展深入的研究工作,研究人员达一百多人。长春应化所已成为国家重点支持的辐照材料研究实验中心。

剂量监测系统,由国家剂量院负责辐射剂量测定、培训、认证。

2.3 产品结构与国际趋于同步

据对已建加速器辐照装置产业化方向分析,用于生产电线电缆占55%,热收缩材料占35%,涂层固化占10%。目前实际情况是热收缩材料产值居于首位,约占50%,电线电缆35%,其它产品15%。其主要原因是多数用于生产线缆的加速器正处于调试、试运行阶段,尚不能投入正常生产。

2.4 运行体制有重大改革

为适应市场需求,各单位采用了不同发展模式。(1)研究单位办企业,如:中科院长春应化所辐射化工材料厂,组织-科研-生产-市场一条龙,加速了成果向产业的转化。(2)研究与企业合资经营,如:烟台电缆厂、天津特种电缆有限公司,互相取长补短,投资省,能较快形成规模。(3)企业吸引人才,独资经营,如:沈阳特种电线厂,成都双流分厂等。

发展虽然模式不同,但是他们有一个共同点,就是依靠技术求发展,面向市场求效益。最近几年建设的20多条生产线主要是企业投资建造的。总投资约4亿元人民币。当前,辐照生产线的建设者们最关心的事情:尽快让生产线有效的运转起来,不断推出附加值高的、市场需要的产品,尽快收回投资,取得效益,使企业有一个新的发展,同时也是辐射加工产业的希望所在。

3 讨 论

我国辐射加工行业前景是很好的,预计到本世纪末,辐射加工主要产品产值将达到10~15亿元规模,“八五”期间的投资,“九五”期间可以逐步收回。几个超亿元骨干企业或企业集团即将出现,但是在发展过程中,当前所面临的问题也是非常突出的,其主要有:

(1) 加速器整体技术水平与国外产品存在差距,部分产品性能不够稳定,故障率高,自动化水平低。

(2) 新产品开发落后于加速器生产线建造规模,影响生产线效益的发挥,使投资单位(主要是企业)增加了风险压力。

(3) 辐照工艺不过关,产品质量不稳定,生产效率低,生产成本低。

(4) 辐照材料供应不稳定,品种少,尚未建立产品质量标准。

(5) 辐射新产品市场开拓难度大, 用户有漫长的接受过程。

解决上述问题的出路是, 以辐照产品生产单位为主体, 以产品为目标, 从事加速器研究、生产单位, 辐射材料研究生产单位, 密切合作, 争取国家在政策上的支持, 建立一种新的研究模式, 联合组织第二次技术攻关, 争取在较短时间内, 实现产品品种多样化。(由现在十几个品种增加到三十个以上), 工艺规范化, 辐照材料产品质量标准化。

据了解, 市场对辐照交联特种高性能线缆需求量很大, 除了正在生产的 1 kV、10 kV 架空等产品外主要产品还有: (1) 自控温加热线缆, 65℃等级和 110℃等级。(2) 潜油泵超长电缆, 90℃, 120℃, 150℃。(3) 机车配线, 耐油、耐热、阻燃。(4) 辐照交联聚乙烯安装线, 用于仪信号表, 仪器, 汽车连接线, 105℃。(5) 辐照交联聚乙烯安装线, 105℃, 125℃, 150℃。(6) 高性能和控制电缆(重大工程和核电站用)。(7) 辐照交联 F-40 航空电线电缆。(8) 高阻燃井下电缆。

从长远考虑, 我国的辐射加工技术应用领域应该不断展宽, 产业化规模逐步扩大, 要分析世界发展趋势, 结合我国国情, 不断开拓新产业的生长点。例如: 在我国作为产煤燃煤大国, 发展烟气脱硫、脱硝技术是有前途的; 推广 EB、UV 技术, 发展涂层固化产业前景乐观; 研制新型离子注入系统深入研究并推广离子束育种技术, 这是最近几年育种技术方面的新突破, 对地少人多的中国不能不说是一件大事。

多年来, 对国外进行跟踪研究, 认为美国、日本、俄罗斯等国, 由于历史原因, 辐射装置研究、生产、辐射产品开发与工艺技术, 长期处于分离(分割)状态, (最近几年日本已经注意到这种现状)。加速器生产厂家不了解也不能提供同辐照产品及相关工艺技术, 搞产品的公司, 对加速器特性不甚了解, 反映在用户现场, 表现出综合配套能力差, 而对生产中的许多实际问题, 显得无能为力, 而这些难点不得不留给用户自己去解决。这也是当前我国许多进口设备效益不好的重要原因。这种状况同时又对我国辐射加工提供了一个发展机会, 因此, 应该在进一步研究、完善单项技术的基础上, 应用经济手段, 在全国范围实行技术优化组合, 加强技术综合配套能力, 以综合优势参与国际市场竞争。争取国家政策扶持, 在不久的将来, 我国将可能成为辐射加工技术出口大国。

APPLICATION AND INDUSTRIALIZATION OF IRRADIATION PROCESSING TECHNIQUE

Zhao Wenyan

(Bureau of Basic Research, Academia Sinica, Beijing, 100864)

Hou Fuzhen

(Shanghai Institute of Nuclear Research of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

ABSTRACT Irradiation processing technique is a new processing technique after machining, heating and chemical method, etc. several principal processing technique. At present, in China building and building has been completed electron accelerator for industry had 40 seats. total power had 1436 kW. products had 8 type and several ten kinds.

KEYWORDS Irradiation processing, Electron accelerator, Application, Industrialization