

开发辐射交联技术 发展辐射加工产业

周知明 刘振灏 滕人瑞 葛宝全

(中科院近物所辐射技术应用开发研究室)

一、概述

近年来,辐射技术的应用和开发,已备受许多国家的关注和重视;在我国,已成为面向国民经济主战场十分活跃的一项新兴的高技术。

五十年代初,Charlesby 首先发现了聚乙烯的辐射交联效应,它能提高聚乙烯的使用温度。继而又发现了记忆效应,它能制作具有热收缩等特殊性能的新功能材料。

六十年代以来,以辐射交联、接枝、聚合、裂解、记忆效应等基本机理为基础的辐射技术逐渐向工业化应用转移,特别是辐射交联技术在电线电缆行业中的开发应用,愈来愈引起工业界的重视和采用。由于大容量的放射性同位素源装置(一百万居里以上)和大功率电子加速器(束流功率一百千瓦以上)技

术性能日趋完臻,装置的造价降低,安全性、可靠性和稳定性完全能满足工业环境下连续生产的要求,因而促进了辐射加工(Radiation Processing)迅速发展,逐渐形成了一门新兴的辐射加工产业。另外,由于辐射加工的成本大幅度下降,使辐射加工的优越性进一步发挥出来。辐射加工的优点诸如低能耗、无(少)污染、占用场地少、料头损耗少、基料选用类别宽、变更产品规格或批量简便等等,越来越为工业界所理解。因此,六十年代以来,工业部门应用的电子加速器装置(EB 装置)以大于 15% 的年平均增长率稳定增长。图 1 所示为七十年代以来日本 EB 装置数量增长情况⁽¹⁾。图 2 所示为 EB 装置的主要应用领域。1988 年,日本用于辐射加工的 EB 装置数量约为 90 台,全世界的数量约为日本的三倍,达到 270 台,其中用于电线电缆行业方面约占 30%。

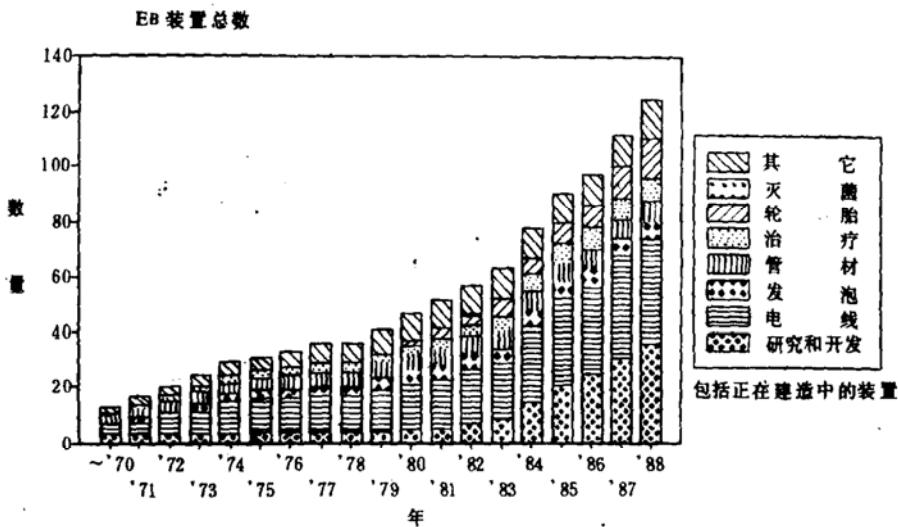
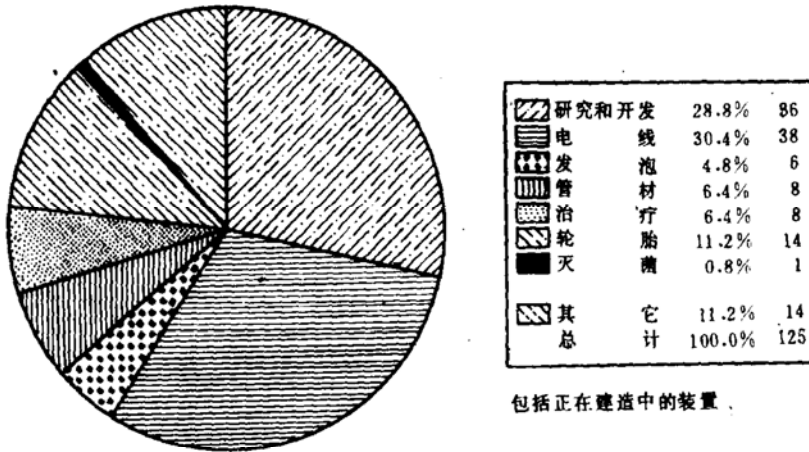


图 1

EB装置总数



包括正在建造中的装置。

图2

辐射加工的经济效益,从美国 Raychem 公司 1984 年年报所提供销售额增长情况可以表现出来(图3)。据估计,近来美国 Raychem 公司年销售额已超过 10 亿美元。

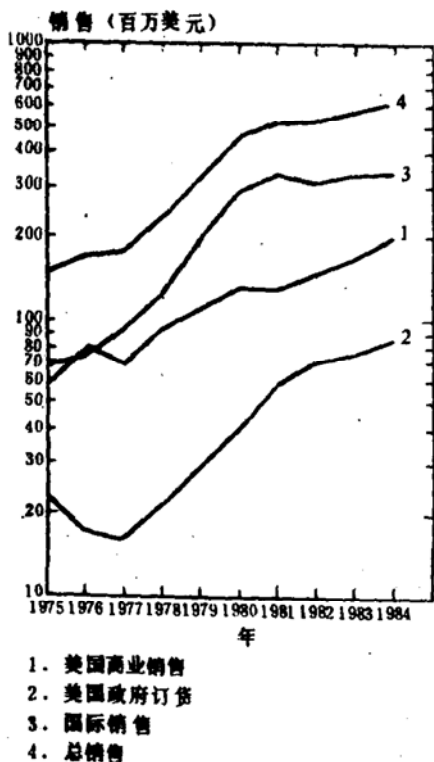


图3

我国辐射加工技术开发研究始于六十年代,可提供的辐射加工产品约有十余种,大部

分处于少量或小批量生产的规模,个别达到中试规模或示范性工业化生产规模⁽²⁾。七十年代,在国家科委支持下,上海电缆厂建成一条中试规模辐照交联电线电缆生产线,配用我国设计研制的高频高压电子加速器(1.5MeV, 3~5mA);吉林辐化所引进一台美国 RDI 公司的高频高压加速器(3MeV, 40mA),主要生产热收缩材料。八十年代中后期,在改革开放,科技体制改革大好形势的推动下,有关单位面对国内市场对辐射产品的需求与日俱增,而国内研制的电子加速器的能量、束流功率,特别是加速器的可靠性和稳定性均不能满足工业化生产的要求,相继从美国、日本和苏联引进工业用大功率电子加速器五台。西安电线总厂引进美国 RDI 公司 Dynamitron 2 MeV 30mA,配套引进线径 $\phi 12.5$ 以下的束流下传动装置正在安装调试。西南物理化学所引进日本日新高压公司中频倍压加速器 3MeV 10mA。中国原子能科学研究院引进苏联高频单腔加速器 ILU-6 2MeV 10mA。铁道部天水铁路电缆工厂与中科院近物所合作引进苏联绝缘蕊型高压加速器 ELV-8 型 2.2MeV 25mA,束流下传动装置和辐照室外线缆传送装置由中科院近物所和上海电工机械厂设计、制造配

套,设计上考虑能适应 $\phi 1.0$ 至 $\phi 40$ 线缆辐照加工的需要,1990年6月已试制出第一根耐温 105°C 辐照交联聚乙烯电缆。辽原电缆厂引进苏联高频单腔加速器ILU-6,正在建设中。中国科学院为了发展我国的辐射加工产业,组织中科院高能所、上海原子核所和近代物理所,为中科院辐射技术公司,烟台电缆厂设计研制能适应全规格线缆生产的辐照交联电线电缆生产线。采用了中科院有关单位研制的高频高压加速器 2.5MeV , 20mA ,和辐照室内外的线缆传送装置,整个生产线全部国产化,目前正处于安装阶段。预计国内今明两年内将有三、四条辐照交联电线电缆投入试生产。综观辐照交联电线电缆生产技术发展,我国尚处于起步阶段,但已展示出今后将有良好的发展前景。

八十年代初,我所核技术应用研究室,参加了中科院数学部和中科院先后组织的核科学技术应用调研工作及编制一九八六至二〇〇〇年长远规划中的核技术专题工作。经分析国内外核技术应用开发的发展趋势,结合我所和兰州地区特点,提出了在兰州地区开发辐射技术应用开发研究的可行性报告。先后提出过在兰州地区建造钴源辐照中心和电子束辐照中心的可行性研究报告。由于经费方面的困难,迫使我们在承担一定风险的情况下与企业联合,完全依靠横向经费,走上研究和开发同时起步的发展模式。一九八六年九月,与铁道部通信信号公司天水铁路电缆信号工厂签订了《联合研究开发辐照交联电线电缆意向书》,八七年九月正式签订《联合研究开发辐照交联电线电缆合同》。一九八八年四月,我所为科辐公司烟台电缆厂,承担电线电缆束流下辐照装置设计研制任务,签订了《烟台辐照交联生产线承包协议书》。至此,便迈出了高技术面向传统工业技术改造的第一步,也开始了高技术产业自身发展的艰难创业之路。

二、配套发展辐射加工的三项主导技术

国际上辐射加工产业的发展,主要依靠三项主导技术的支撑,即辐射源(工业用大功率电子加速器或大容量放射性同位素源装置);辐照工艺和设备;以及辐照料配方和工艺。

1. 辐射源

关于辐射源,本文讨论的是指以加速器技术为基础的辐射装置。在国外,辐射加工用的电子加速器由专门的企业或公司定型生产,用户在市场上可根据生产的要求选购,如美国辐射动力公司(RDI),日本日新高压公司(NHV)和苏联技术设备出口公司(Techsnabexport)等。在国内,辐射加工用的电子加速器尚未定点定型生产。现有的加速器的能量、束流功率,特别是加速器连续稳定工作的可靠性和操作维护的简易性方面,尚达不到一般工业生产设备的要求。因此,研究开发适合我国工业部门使用的加速器,是发展我国辐射加工产业的一项主要的支撑条件。工业发达国家辐射加工所使用的电子加速器类型,大致可列为三类:能量为 3MeV 至 5MeV 束功率 100kW 以上宜选用高频高压加速器(Dynamitron);能量为 1MeV 至 3MeV 束功率 50kW 以上宜选用绝缘蕊变压器型高压加速器或中频倍压加速器;能量为 0.5MeV 至 2MeV 除了可选用上述三种加速器外,束功率 20kW 左右,对能散无严格要求时宜选用单腔电子加速器;能量在 0.5MeV 以下根据不同用途可选用多头输出绝缘蕊型高压加速器或电子帘加速器。我所根据市场调查和国内工业部门接受辐射加工开发新产品的意向,选择开发绝缘蕊变压器型电子加速器在电线电缆行业中应用为初期目标。一九九〇年六月,我所和铁道部通信信号公司天水铁路电缆工厂合作研究开发辐照交联电线电缆,已建成一条年辐照处理绝缘料

1200t 的辐照交联生产线。这条生产线所用的电子辐照加速器由苏联引进。加速器能量 2.2MeV、束功率 55kW, 计算机控制。在消化吸收引进苏联工业用加速器的基础上, 1989 年 3 月我所(IMP) 和苏联科学院新西伯利亚分院核物理研究所(INP) 签订了合作生产 ELV 加速器的协议。我所将发挥固态压力扩散焊接高性能加速管和加速器计算机控制系统方面的优势与苏联 INP 合作, 共

同改进 ELV 加速器的性能, 面向国内外用户的需求。苏联 INP 开发的 ELV 型电子加速器, 除了用于电线电缆行业生产高性能的辐照交联电线电缆外, 已拓广到用于发电厂和冶炼厂烟道废气净化处理(波兰 1 台、苏联 1 台); 城市污水处理(苏联列宁格勒市将用二台 3MeV 200kW EB 装置处理向波罗的海排放的城市污水); 以及用于特殊条件下的高温加工, 如制作宇航材料等⁽³⁾。目前国内辐射加工

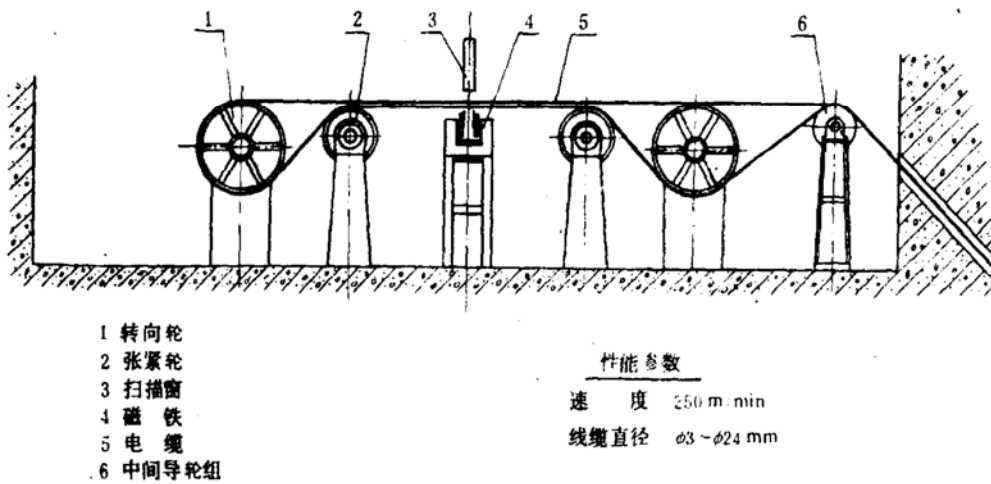


图 4

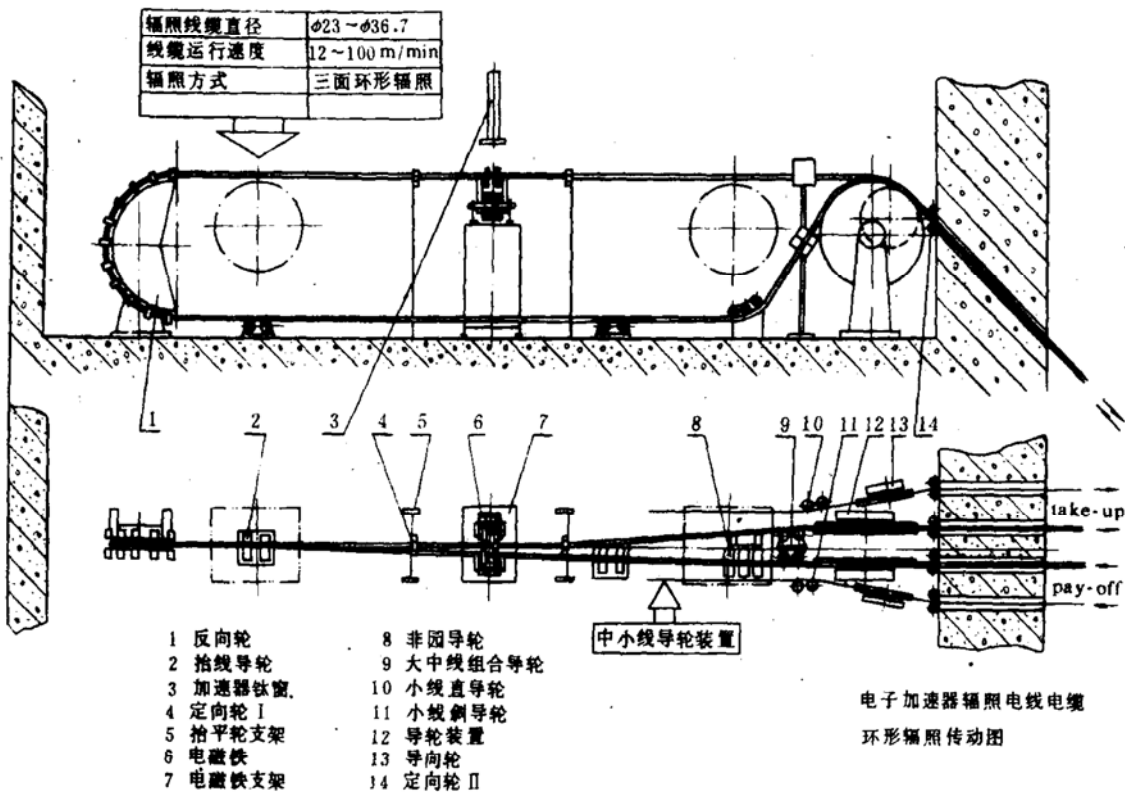


图 5

达到工业化应用规模还不多,其应用领域仅局限于电线电缆、热收缩材料、少量的聚乙烯发泡材料和示范性的涂层固化等有限范围。因此,发展适合我国国情的、能满足辐射加工产业需要的各种工业用大功率电子加速器,具有广阔的市场和良好的发展前景。

2. 辐照工艺及设备

根据所开发的辐射加工新产品,配套发展辐照工艺及设备是另一项重要的支撑条件。通常称谓束流下工艺装置(Under beam facility)。以电线电缆为例,束流下工艺装置是保证有效地利用束流,达到均匀辐照的关键性工艺设备。国外对这类技术工艺和专用装置严格保密谢绝参观。国内某厂引进一套仅能适用 $\phi 12.5$ 线径的辐照工艺设备,耗资24万美元。我所为了满足天水辐照生产线生产全规格系列的线缆要求,研制成功束流下工艺装置,包括电子反射装置、双向辐照装置和环型辐照装置,能够适应 $\phi 1$ 至 $\phi 40$ 线径圆形和扇形截面的各种规格线缆的辐照要求。今年六月在水天生产线上试生产获得成功,试生产表明这套装置运行稳定可靠,计算机控制系统能与加速器控制系统配接,达到在换线盘时不停束流连续生产的要求。其中,双向辐照装置和环型辐照装置的示意原理图如图4和图5所示。

3. 辐照料配方和工艺

辐照交联电线电缆配方(Formulation)的研制,在辐射交联生产线中占有重要地位。它是开发辐照交联产品至关重要的软件部分,无论是新建的生产线或是已有的生产线,都需要有新的配方来支撑新产品的开发,面向国内外市场需要、创造更大的效益。

辐射交联是用高能电子或 γ 射线照射高分子材料,使其分子间产生交联,分子结构从线性结构改变成网状结构,从热塑性材料变成热固性材料,使材料性能发生显著变化。用辐照方法使其交联,称物理交联或辐射交联(Radiation Crosslinked);另一种为化

学交联(Chemical Vulcanization),也称CV交联,它是用过氧化物或硅烷做交联促进剂,在高温高压下使高分子化合物交联。与化学交联相比较,辐射交联具有能耗低、设备占地面积小、多品种和电性能、耐油、耐化学腐蚀和剥皮性能均优于化学交联。因此,七十年代日本、欧美等发达国家,普遍应用辐射交联生产各种优异性能电线电缆。在我国,辐射交联电线电缆尚处在起步阶段,随着工业、国防和科学技术的日益发展,对耐高温、耐油、耐辐射的线缆需求越来越多。据行家们预测,1990年我国生产8万公里电力电缆,其中有6万公里是1kV级。若用辐射交联聚乙烯(XLPE)电缆代替传统的聚氯乙烯(PVC)电缆,可节省5万吨铝和铜、1.8万吨塑料,降低成本近3亿元。XLPE电缆耐温 90°C 以上,而PVC电缆耐温只有 70°C 。

配方的研究难度很大。国内外历来对配方非常保密。从国外购买一种配方需耗资几十万美元,特殊配方即使化钱亦不易买到。因此立足国内,用国产原料开发新配方、新产品是发展我国自己的辐照交联产业的又一项重要支撑条件。

我所经过几年的努力,已初步建成了配方研制实验室 300m^2 ,其中有高分子材料改性设备和仪器二十多台件,现有配方研制人员十余名,其中高级人员一名,中级人员三名,初级人员四名,工人二名。八八年五月实验室改造竣工后,立即投入配方研究工作,经过两轮43个配方筛选以及九次挤出工艺条件试验,已经完成耐温 105°C 1kV级辐射交联聚乙烯绝缘线缆的配方。其机械性能、热老化性能和电气性能,经国家电线电缆性能监测中心测定,均达到国际电工委员会IEC-502-1983规定的标准。该配方全部采用国产原料和填充剂。今年六月在水天生产线上试生产获得成功。现在正在开展1kV级绝缘架空线,10kV级动力电缆,耐温 125°C 航空导线的研制。可望在不久的将来能拿出更多国民经济急需的高性能的电线电缆配方。

三、结束语

总瞻前述,辐射技术在国际上已经有了广阔地应用,创造出巨大的社会财富。在国内也有不少科研单位、高等院校和企业进行研究和开发工作,但用于工业化生产则刚刚开始。近物所在中科院“两种运行机制”方针的指引下,冒着风险,与有胆识的企业合作,研制了某些工艺设备和几个配方,已不同程度地用于生产线上,迈出了实质性的一步,但距离辐射技术的产业化还要走很长的路。“七五”期间,我们要全力以赴地完成业已合作开发的两条辐照交联电线电缆的建设;“八五”期间,将利用合资方式,兴办一家这方面

的中外合资企业,努力为发展我国的高技术产业做出贡献,并力争使有关工艺和设备能进入国际市场。

参考文献

- (1) Keji Ueno Applications of Radiation Crosslinked wires and cables (1988.6 NEMS 长春会议)
- (2) 崔山,汪达基 中国电子束加速器和电子束辐射加工的进展 (1988.6 NEMS 长春会议)
- (3) Veis M.E. 私人通讯 1990.9