国外高压型加速器应用综述

方 承 炜

自 1932 年 E. O. 劳伦斯根据谐振加速原理建成世界上第一台迴旋加速器到今天已经整整半个世纪了. 五十年来,加速器技术有了飞速发展. 目前,在世界各地运行的加速器总数已超过四千台. 它的应用范围几乎遍及了工业、农业、医药卫生、科学研究、人民生活、国防等各个方面,使所有这些领域的面貌发生深刻的变化,给人类文明带来了巨大的好处,收到了巨额经济效益,已成为人们生产和生活的得力助手. 本文拟选择高压型加速器的应用情况作一介绍.

高压型加速器是利用高压电场加速带电粒子使之获得能量的装置. 在早期,它的发展是为了满足低能核物理研究的需要. 以后,随着生产的发展和技术水平的不断提高,高压型加速器开始在某些非核方面(如聚合物改性、离子注入等)逐渐得到应用. 今天,它已明显地形成了二大分支: 一个分支仍然是服务于基础核物理的研究; 另一个分支也是它应用的一个主要分支则是满足工农业、医药卫生、国防等各部门的实际需要,而且对它的需求量愈来愈多.

现在,高压型加速器无论在束流强度和能量方面都有很大提高,性能也有很大改进,成本大大降低,这对进一步扩大应用十分有利. 因此,已在辐射化学、活化分析、消毒杀菌、离子注入、焊接与热处理、食品保藏、环境保护与资源再利用、辐射育种以及国防等方面广泛应用.

(一) 辐射化学

在国外高压型加速器应用最广泛的领域是辐射化学. 其中又以聚合物的辐射交联改性用得最多. 这是因为聚合物经过一定剂量照射后,可使原来没有联系的分子链形成交联网状结构,从而大大改善聚合物的性能. 例如,聚乙烯经过 10—25 兆拉德的剂量辐射交联后,在耐热性、耐药性、电气性能和机械性能等方面均有改善,特别是耐热性的提高尤为显著. 使用温度从 70℃ 提高到 120℃ 以上. 主要产品有耐热聚乙烯收缩套管、耐热聚乙烯电线电缆和聚乙烯热收缩薄膜. 耐热收缩套管是用射线照射聚乙烯管,经吹胀冷却定形后制成. 它不仅耐热,而且加热后能收缩(即"热收缩效应"). 因此在电缆接头,配线接头或接线末端包覆等方面得到许多应用. 用它做成的各种接头既牢固结实,又能在比较高的温度下长期可靠地工作,很受用户欢迎. 国外已在飞机、汽车、宇宙飞船、警报系统以及民用电器上广泛采用这种电线.

辐射交联热收缩薄膜作为包装材料在美国得到普遍应用. 采用这种包装可以获得与商品外形一样的效果. 不仅外观好,而且能提高包装质量. 工业上利用其耐热和收缩效应做地下输油、输气、输水管道的外防腐材料,便于机械化施工. 与旧法(涂沥青)相比,有效率高、质量好、不污染环境等优点.

聚氯乙烯塑料也可以通过辐射来改善性能. 日本就研制成功一种新型聚氯乙烯. 它的强度甚至在 −30℃ 时也比室温时的普通聚氯乙烯大 50 倍以上. 后者在 0℃ 以下是极易脆裂的.

实现工业化生产的还有辐射交联发泡聚乙烯. 这一技术首先由日本研制成功,后输往欧美国家.

与传统的化学交联法相比,该法发泡率高而且均匀细密,表面平滑富有弹性,耐水性极佳. 可作汽车缓冲材料、浴池保暖材料、各种体育用垫、管道绝热材料以及防震隔音材料等. 目前正在研究制造聚丙烯发泡体.

油漆涂料的辐射固化是辐射加工的又一重要方面. 它是在室温下利用射线照射不饱和预聚物或者是它和乙烯基单体的混合物,使之发生共聚合、交联而实现固化. 与传统的热固化法相比,有三大主要优点: ①省能源;②无污染;③效率高. 此外,漆层外观好,附着力强,能经受机械冲压加工而不损伤漆膜。尤其是它在室温下固化,所以不受衬底材料的限制。例如轻纺工业中广泛应用的塑料、皮革、木材、织物、纸张等的表面涂装,热固化法就无能为力,用加速器辐照固化,问题就迎刃而解了. 这一技术首先在美国福特汽车公司的生产线上使用,用于汽车部件表面涂层的固化. 以后美国 Polymer 公司在下述方面实现了工业化: ①素描版画等的表面涂装;②金属真空喷镀纸的表面涂装; ③电路用积层板的耐热性表面涂装. 其他方面实用化的还有: ①凹版印刷等的涂膜固化; ②用射线固化粘合剂的短纤维处理 (美国 Bixby International 公司); ③录音带和录像带的制造等. 另外,荷兰、西德、法国、瑞士和巴西等国在木质平板如内外墙壁装饰材料、地板、天花板、门窗以及家俱用层压板、纤维板、硬质板等的涂装上也都采用了电子束固化法. 日本三菱人造丝公司和铃木汽车公司摩托车工厂也采用了这一新技术. 可以看出,国外在这方面的应用是相当广泛的. 但是,也还有一些问题尚待解决. 一是目前绝大多数射线固化的涂料均需在惰性气体下进行. 因为氧会阻碍涂料的固化;另一是涂料成本较高. 因此,人们正期待研制出既经济又能在大气中用电子束固化的涂料来. 可

以预计，一旦研制成功，电子束固化法的进一步推广应用将会有个突破.

用电子束辐照的办法代替橡胶硫化在国外也有较多应用. 但只有美国实现了工业化生产. 美国 Fire Stone Tire & Rubber Co., Good Year Co. 等公司已在生产线上用来做汽车轮胎. 用 5—15 兆拉德的剂量照射后，生橡胶的强度和弹性等有显著提高，而且在最终做成制品前，其尺寸和形状可保持不变. 所以提高了产品质量. 另外还能用价格低的合成橡胶代替天然橡胶而不会降低强度和使用寿命. 国外还利用该技术制造医用无毒橡胶手套和套管，很受病患者和医务人员的欢迎. 因为这些医用橡胶制品里已不再含硫，而且制品的透明度增加. 与化学交联法相比，辐射法具有交联度调节容易，交联均匀以及适合于各种合成橡胶和天然橡胶等优点.

利用辐射接枝聚合效应制造木材-塑料复合材料(WPC)在美国已有三家厂商实现了工业规模生产. 其中以 Permagrain 公司的规模最大. 在这一领域主要包括二个方面：一个是将聚合性单体浸入木材内，然后用射线辐照实现接枝聚合而成 WPC. 另一个是将木材碎末与聚合性单体混在一起，再用射线照射而得到木屑-塑料复合材料 (SDP). 前者是为了提高木材的品质，使低品位的劣质木材改性成为高品位的高级木材. 后者则是废物利用，并能实现规格化生产.

用类似方法制成的混凝土-塑料复合材料其抗压强度、抗张强度、耐冻-融次数均比普通的混凝土高四倍，抗腐蚀性高三倍，渗水性亦有显著改善. 是海水淡化场、公路、桥梁、桩材等的理想材料. 值得一提的是珊瑚礁-塑料复合材料，它是用珊瑚礁浸泡甲基丙烯酸酯单体经辐射接枝而成.它外观美丽，有大理石的纹理，弯曲强度与抗压强度都与大理石相当. 若添加一些青红染料，便使珊瑚华美的自然纹理和色彩更加绚丽.成为一种很有发展前途的对比鲜明的优良建筑材料.

美国 Deering Milliken 公司将辐射技术应用到纺织工业中取得了成功. 他们将聚酯棉花纤维用羟甲基丙烯酰胺浸渍，再经 β 射线辐射接枝处理和加热处理，织物便获得了透气、不易沾污、挺括抗皱的良好性能. 利用该技术还能实现非织造织物的粘结即无纺织布. 这种织物手感虽然较硬，但外观效应好，织物比较厚实，丰满挺括，显得十分好看. 合成纤维印花是纺织工业中的一个难题. 国外采用电子束转移印花固色技术在合成纤维上印出了色相均匀、色彩鲜艳美观的图案，较好地解决了这一难题. 用电子束辐照地毯线进行交联整理可以改善其弹性与膨松性. 若照射服装则可获得耐久的压烫线. 此外用电子束辐照的方法进行织物的表面涂层整理、阻燃整理以及防水、防油、防污、防静电的改性等都赋予织物种种优异的特性，以满足各方面的需要.

近年来，国外利用辐射加工技术合成功能性高分子材料的研究工作比较活跃. 例如，美国华盛顿大学的 Hoffman 采用辐射办法制备了一些具有不同功能要求的新型高分子材料(如人工肾、人造血管等)，以解决脏器移植问题，引起人们的关注. 美国 Kamel 公司用同样的方法制造出了牙科用补强复合材料. 用辐射方法合成这些材料的优点是简单，不需化学引发剂，并能在低温下合成. 日本在辐射聚合固化酶方面的开发研究也比较引人注目. 它是把酶和某种物质混合后用射线使其在低温下聚合而实现酶的固定化. 其优点是能使各种酶和微生物菌体高浓度地固定，延长酶的寿命，降低酶的价格. 这一技术用于药物固定便可生产长效药物. 人体服用后，它就会在人体内缓慢将药物放出，不仅增加疗效而且能减轻药物的副作用. 这一成就已受到人们普遍重视. 此外，用辐射接枝制备离子交换膜的工作国外也比较成熟. 主要用来做电子表、照相机、台式计算机等的微型电池的隔膜. 美国 RAI 研究公司报道过年产 100 万英尺^2 的工业设计方案. 若已投产，大约可做微型电池 2 亿多个.

低温固相辐射聚合制造有机玻璃是一种新工艺. 采用这一方法可以得到光学性能很好的光学有机玻璃材料.

其他如利用辐射接枝技术在硅橡胶表面接上亲水性单体，以制取良好的抗血凝材料(可用来做无形眼镜等). 也可接上疏水性单位，其目的也是提高硅橡胶表面的生体亲和性.

加速器在辐射化学这个领域的应用还很多，真可谓琳琅满目，枚不胜举. 它有着极其广阔的发展远景.

(二) 活化分析

将高压型加速器加速氘离子轰击氚靶，通过氘-氚反应产生 14MeV 的快中子，用它作为辐射源去激活样品，然后根据样品的放射特性分析测定样品成分. 这就是所谓中子活化分析. 这种分析方法具有快速、精确、非破坏和多元素同时分析等特点. 国外已在冶金、地质、石油、地球化学、宇宙化学、环境监测、生物学、医学、农业以及考古等许多方面普遍广泛地应用. 例如：①许多国家已将该法确定为材料中含氧量的标准分析法. 并在一些炼钢厂中(如日本等国)建立了现场测氧装置，实现了炉前快速检验，成为炼钢过程中质量控制的一个环节，提高了钢的产量和质量；②高纯物质中微量元素和痕量元素的分析；③测定食物中蛋白质的含量和有毒元素；④农作物、植物和肥料中氮、磷、钾等多元素含量的分析；⑤中子测井. 据报道，利用该技术测井，一次即能测出油层、水层以及油水的含量.

利用串列式加速器还可进行带电粒子活化分析. 这种分析方法的特点是：进行元素分析时，不论是轻元素或是重元素它都有极高的灵敏度. 主要用于半导

体材料和金属中痕量杂质元素的分析.

（三）消毒杀菌

用射线对医疗用具的杀菌已经约30年了. 这期间国外许多医院都感到这一技术十分优越. 主要是因为采用这一技术后，医院内部便消除了交叉感染的情况. 消毒工作省时又省力. 尤其是出现用之即弃的塑料医疗用具后,已不能用传统的加热方法进行,越发感到有必要采用射线杀菌消毒了. 再加上过去的消毒方法还有残留毒性问题（如过氧化氢杀菌剂等），所以近年来,许多国家都力求采用新的方法. 现在,射线消毒杀菌法已被普遍应用. 主要对象如注射器、手术器械、缝合线、采血板、手术用橡胶手套,输血装置,避孕环、测量器、人工肾脏透析器等. 作为灭菌设施,日本有同位素照射协同组合和辐射工业株式会社两个组织. 计划在日本关西附近再增设一个.

（四）离子注入

离子注入就是用高压型加速器（离子注入机）把电离后的待注入元素或化合物的离子以很高的速度注入到固体材料的表面，以达到改变固体材料物理化学性质的目的. 目前离子注入在金属中的应用已成为一个崭新的领域. 它之所以发展如此迅速，主要有以下优点：①能引起材料化学成分的改变,且不受元素限制,任意元素都可注入;②注入深度可以调节,浓度可以过饱和；③温度不太高,对材料内部影响不大,对工件精度影响也不大;④可以很快地得到浓度很大的缺陷,而且缺陷截面大,缺陷多而集中;⑤可以从金属内部取得信息进行分析.到现在为止,国外在离子注入改变金属材料表面的物理化学性质和机械性能等方面已获得许多具体成果，正快步朝着工业生产中实际应用的方面发展. 例如注入 N^+ 可增加金属的硬度和耐磨损性能；注入 Sn^+ 使钢的摩擦系数减小,注入 Pb^+ 则使摩擦系数增加;注入 Cr^+ 可改善金属的耐腐蚀性能;在碳钢表面注入 Cr^+ 可以做成含铬不锈钢;在钛的表面注入 Pb^+ 和 Xe^+，可使钛金属在沸的硫酸里经久不蚀.注入冶金方面比较成功的例子是超导材料的研究生产. 利用这一技术可制造超导转变温度高的材料. 如铌箔表面注入 Sn^+ 后,在 950℃ 下进行热处理能形成超导转变温度为18°K 的 Nb_3Sn 等. 正在探索制造非平衡型的具有更高超导转变温度的超导体. 国外还利用离子注入技术来模拟反应堆材料的辐射损伤研究，以作为快速选择和发展反应堆材料用的抗辐射低膨胀合金材料的有效工具.例如一个中子通量为 10^{14} 个/厘米^2·秒的材料试验堆，考验不锈钢产生缺陷一般需要十年. 但是用 5MeV、10μA 的离子加速器只需1小时. 大大缩短了考验时间. 因此，用离子注入方法来研究堆材料的辐射损伤是十分方便的. 美国在该领域已普遍采用. 西德、法国亦在大力推行并已取得了相当多的成果.

（五）食品辐照

食品辐照主要是防止发芽（马铃薯、洋葱等）、杀虫（谷物、豆类等）、杀菌（生鲜食品等），以延长食品的贮存期,确保食品卫生和品质.

食品照射有二个方面的问题. 一是法律许可，一是实用化问题. 这两者尚未完全结合,到目前为止,某些国家已经许可照射的食品有：马铃薯、玉米、大蒜、干野菜和果实、食用蘑菇、龙须菜、草莓、可可豆，香料和调料,谷类、小麦和小麦粉、包装好的肉食半制成品、已取出内脏的家禽肉、半调理过的肉制品、鳕鱼、虾、病院患者的食物等. 这些食物中已经实用化的却很少. 主要原因仍然是对照射过的食品安全性还拿不准，试验的数据不够充分. 解决这个问题有赖于有权威的国际组织. 为此，1970 年建立了一个国际食品辐照的组织，并正在开展工作. 这对今后食品辐照的全面推广应用必将起促进作用.

（六）环境保护与资源再利用

当前，环境污染是世界各国共同面临的一个严重问题. 因此,减少污染保护环境仍是一项重要任务.利用辐射的办法可以解决一部分问题.

（1）下水污泥的射线处理

在下水处理场中污泥的处理是许多国家深感头痛的问题. 过去采用深埋或焚烧处理，但限于土地紧张以及处理不彻底而苦恼. 现在发现用射线照射充分杀菌后可施于农田还原成有用的肥料，使贫瘠的土地得到了改良，真可谓锦上添花. 目前正进一步研究把它作为家畜的辅助饲料. 美国正在大规模地进行这一工作. 西德慕尼黑的郊外也建设了下水污泥射线处理场. 美国在波士顿郊外的一个下水处理场内安装了一台 0.85 MeV、50 KW 的绝缘磁心变压器型电子加速器,用它每天可处理污泥 380 立方米,并投入耕地进行肥化研究. 另外，还计划装 2 台 1.5 MeV、75 KW 的电子加速器采取两面照的方式处理. 预计每天处理量可达 1500 立方米.

（2）排放废气的射线处理

工业企业每天都要排放大量的废气. 里面含有大量的 SO_2 和 NO_x 等有害气体. 国外已经开始了工厂规模的射线处理废气试验研究工作. 方法是用射线照射烟尘后,射线能大部分被烟尘所吸收,其中的 SO_2 和 NO_x 通过化学反应生成硫酸和硝酸的混合烟雾状的气溶液，可与媒介尘一起被电集尘器清除掉. 日本原子能研究所等部门开展了这方面的试验研究工作. 1978 年，新日铁公司八幡炼铁厂的钢铁联盟防治 NO_x 研究组合建立了大型试验工厂,取得了良好的结果.他们采用 2 台 0.75 MeV、60mA 的加速器

从排气的两侧进行辐照，使 SO_2 和 NO_x 发生氧化反应形成了 H_2SO_4 和 HNO_3. 为了提高清除的效率，他们还添加了少量的亚莫尼亚，反应后生成的硫胺和硝胺可以回收做肥料用.

(3) 塑料制品中残留有害单体的消除

美国 Radiation Dynamics 公司开发了一项用射线清除残留在塑料制品中有害单体的方法. 这个方法就是用电子束照射苯乙烯-丙烯腈共聚体制品或者是它们的颗粒，就可以把微量的残留丙烯腈固定下来. 由于丙烯腈是一种对人体有害的单体，在制品中只要有微量残存，而当人们把它做盛食品的容器使用时，它就会析出来污染食品，危害人体. RDI 公司采用电子束，以 0.2 Mrad 的剂量照射后，发现对减少残留丙烯腈单体十分有效. 这一技术对聚氯乙烯等其他聚合物也适用. 现在美国不少塑料制品厂对这一技术表示了强烈兴趣. 可以预计，其实用化是可能的.

(4) 纤维素类废弃物的综合利用

这是一种由废弃物制备葡萄糖的方法. 人们早就知道用酸做触媒在高温下分解纤维素而得到葡萄糖. 现在，美国纽约大学的 Brenner 等人进行了一项新的化学工程研究，即从废弃物中制备葡萄糖. 方法是利用射线与酸触媒的联合作用从旧报纸、碎木屑之类纤维素的废弃物中分解出葡萄糖来，再从所得到的葡萄糖中获取多种有用的化学原料，如酒精、醋酐、丙烯腈、聚醋酸乙烯酯、聚酯和聚酰胺等. 该法的优点是葡萄糖的回收率高达 50%—65%. 目前正在使用的装置容量是每天 1 吨. 据说正在进一步扩大. 日本用该法做酒精，月产量达到一吨.

以上所述只是目前国外高压型加速器主要应用方面的一个大致情况. 本文不可能把它应用的所有方面都反映出来. 今后这一领域如何发展，取决于有关学科的进展、它们之间的配合和合作. 更重要的是能否提供功率大、性能好、运行可靠、价格便宜的加速器. 只有当各方面应用的经济合理性充分体现出来的时候，它才有竞争性，才有生命力，才能迅速向前发展，更好地为人类文明服务.