

## 加速器在科研和工业中的应用： 重点介绍中东和欧洲的情况

许多国家正在应用使用低能加速度的先进技术，  
但并非全都能立即受益

Vlado Valkovic  
和 Wiktor  
Zyszkowski

通常称为粒子加速器的装置，最初是作为尖端物理学的研究工具发展起来的，现已广泛地应用于科研、工业、医学、环境保护等领域。虽然加速器的大小和类型很多，但产生较低能量束流的加速器已经成为最强有力的核分析工具之一。例如在大气污染研究中，低能加速器就是对痕量元素高度灵敏的科学分析工具。此种加速器在保健与治疗中也已获得广泛应用。

尽管加速器的实际应用很多，但与工业化国家的情况完全相反，这种高级技术在多数发展中国家里迄今还没有扎下根来。为了缩小这种技术差距，并考虑到应用低能加速器可带来的健康和经济效益，国际原子能机构(IAEA)通过其技术援助和合作计划于1993年设立了一个地区项目。这个在科研和工业中应用低能加速器的项目，旨在协调在中东和欧洲地区有关国家中进行的此类工作，是对这个领域内的许多独立的一国项目的补充。

本文简单介绍低能加速器的常见应用，并介绍在IAEA涉及中东和欧洲国家的一国和地区项目范围内正在做的工作。有20多个国家打算参加该地区项目。

该地区项目将处理有关行之有效的技

Valkovic先生是IAEA设在奥地利的塞伯斯多夫实验室的物理学、化学和仪器仪表实验室主任，Zyszkowski先生是IAEA技术合作司职员。详细的技术参考资料可向作者索取。

术转让与科研及工业开发之间的互相联系这样一些基本问题。在工业化国家里，科研单位和工业界之间的联系一般是相当紧密的，开发方面的政策十分得力。另一方面，发展中国家的情况大多不是这样，科研与工业往往脱节，这一弱点致使这些国家不能从先进技术获得实际利益。该地区项目试图帮助这些国家建立这种必要的联系，帮助它们制定行之有效的政策。就此而论，重要的是要记住，今天新出现的技术，就是明天的常规技术。各国必须在能够加强其竞争地位的领域内认真而有选择地建立自己的科研和工业能力。

### 加速器的各种应用

高新技术和现代医学的几乎所有分支都在使用加速器及其产品。下面简要介绍低能加速器的一些典型应用，这样的加速器大多是回旋加速器、静电加速器(范德格喇夫或与其类似的加速器)和直线加速器。

**用作分析工具的加速器。**在许多领域，几种以加速器技术为基础的强有力的分析技术已经给人留下深刻的印象。(见第25页图。)名单中包括粒子激发X射线发射、卢瑟福反散射、核反应分析、粒子弹性散射、粒子激发 $\gamma$ 发射、沟道效应显微术、扫描透射离子显微术和次级电子显微术。

通过正确地利用一种以上的被探测反应产物，可以获得与该样品的形态有关的

元素组成方面的完整信息。用点式离子束扫描的做法,又把这些技术从分析工具发展成了成像器件。它们因而可以被用来绘制元素分布图,并成为一种名副其实的核“显微镜”。

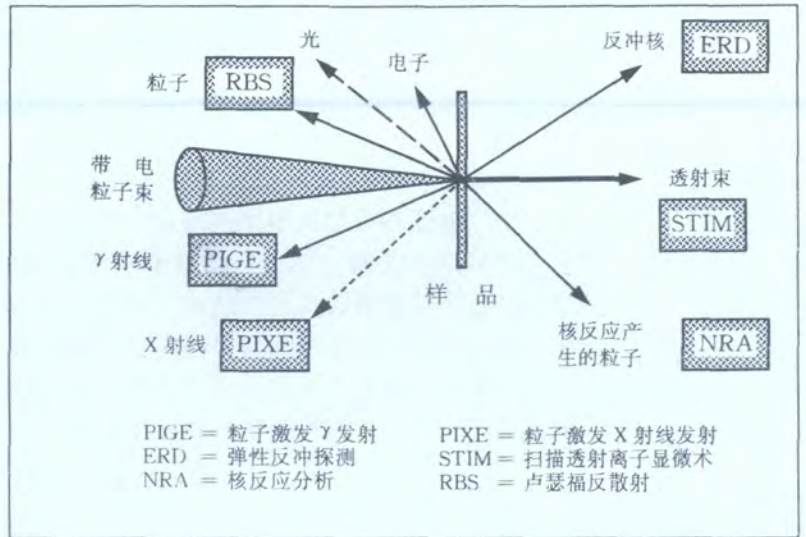
另一种技术——加速器质谱仪(AMS)——把加速器及其束流输运系统用作超灵敏的工具。它能够测定一些小样品(毫克)中某些长寿命放射性同位素(铍-10、碳-14、铝-26、氯-36、钙-41、碘-129)的丰度(量程为 $10^{-15}$ 到 $10^{-16}$ )。全世界已有30多个实验室采用AMS。

加速器的应用领域很多,如考古学、艺术、古人类学、地质学、古气候学、宇宙矿物学和生物学等。举例来说,放射性碳定年术大多使用AMS,它的灵敏度比测定碳-14 $\beta$ 衰变数的传统方法高得多。

**加速器在生命科学和医学中的应用。**加速器产生的粒子束可在医疗部门用于诊断和治疗。诊断应用包括使用核分析技术作元素分析,使用各种放射性同位素,尤其是使用正电子发射体。治疗应用不限于放射疗法,还包括从特殊材料的使用到外科手术应用等范围很广的其他活动。

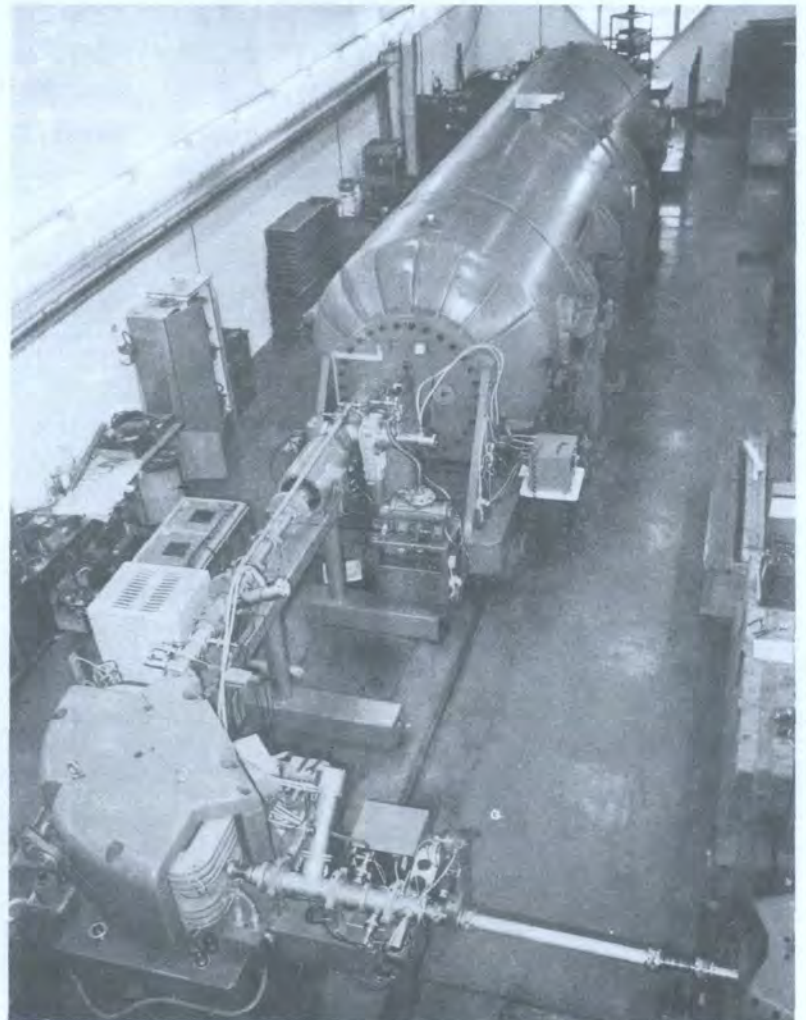
分析人体液体和组织中痕量元素浓度的工作,很有希望成为一种临床检验。以加速器为基础的技术为这些问题的解决提供了非常有意义的方法,因为它们能同时探测细小样品(活组织切片、头发、血液等)中的几种痕量元素。恐怕别的领域的发展没有一个象加速器那样在医学中——特别是在核医学和放射疗法领域——产生了如此显著的影响。核反应堆不能生产的许多医用放射性同位素是用回旋加速器生产的。这些放射性同位素可以帮助人们更深入地了解人类疾病的发展过程。有些放射性同位素的半衰期很短,以多少分钟计,因此它们必须在使用地附近生产,在正电子发射断层术(PET)中最经常使用的放射性核素是碳-11、氮-13、氧-15和氟-18。

除了使用由电子直线加速器产生的 $\gamma$ 或X这类常规射线外,有些研究中心已在使用中子和质子放射疗法。据报道,目前正



上图:用带电粒子束轰击样品,会发生许多过程。所有过程都可以用来获得有关被研究样品的信息,其中许多过程已被开发成可采用的核分析技术。

下图:得克萨斯州休斯顿的赖斯大学捐助给克罗地亚萨格勒布 Ruder Boskovic 研究所的 EN 串列式范德格喇夫加速器。



在研究质子放射疗法的十几个单位,在控制某些疾病方面已取得极好的效果。此外,不久将可以在某些地方买到作重离子治疗用的设施。重离子束的照射深度和剂量分布较好,并有可能应用于神经外科。

**加速器在材料学中的应用。**加速器在材料改性及随后的分析方面的应用,一直是基于加速器的技术中迅速发展中的一个领域。离子注入技术的众多应用已从研究室转移到工业界。突出的例子是离子注入技术在改进人造假肢耐磨性方面的进展。

一种公认的观点是,建立先进的能创造下至原子和分子级新材料的先进的材料处理和机加工技术,将引起一场新的工业革命。通过开发能聚焦聚束和调节范围宽的高能离子束,以加速器为基础的技术就有可能实现这场革命。

随着带电粒子加速器数量的日益增多,人们正在利用兆电子伏(MeV)级的离子束对各种材料进行改性和分析研究。正在进行的工作包括:离子注入和处理;薄膜的综合处理和表面改性;制作生物材料;研究腐蚀—剥蚀现象;测量浓度分布;以及研究扩散现象等。

目前世界上至少有5家公司拥有高能离子注入系统。这些系统均旨在加速诸如硼、氮、硫、砷和铈等元素的单电荷或双电荷重离子。通过控制束流能量,这些系统均可以用来按所希望的表面深度处理材料。举例来说,用这种方法就可以在普通材料上形成质量极高的多层膜或经改性的表面层,使之具有多种功能。

**加速器在环境保护中的应用。**在监测环境污染和鉴别污染源方面,人们也利用以加速器为基础的分析技术。因为这种技术能同时分析多种元素和有可能测量浓度分布,因而它们已被广泛地用于空气污染研究。(见第27页图。)

尽管燃烧作业的改进和使用静电除尘器(和电子加速器)之类的气体净化装置能减少空气污染,但发电和供热用煤的燃烧仍是主要的空气污染源之一。此外,电除尘器对粒径0.1—1.0微米微粒的除尘效率

极低。与较大微粒相比,这些粒子在大气中的滞留时间更长,对健康和空气质量的影响更大。飞灰含有潜在的有毒痕量元素,由于飞灰的形成机制,此类痕量元素的浓度随粒度的减小而增加,因而小颗粒微粒包含的此类元素的面浓度通常较大。

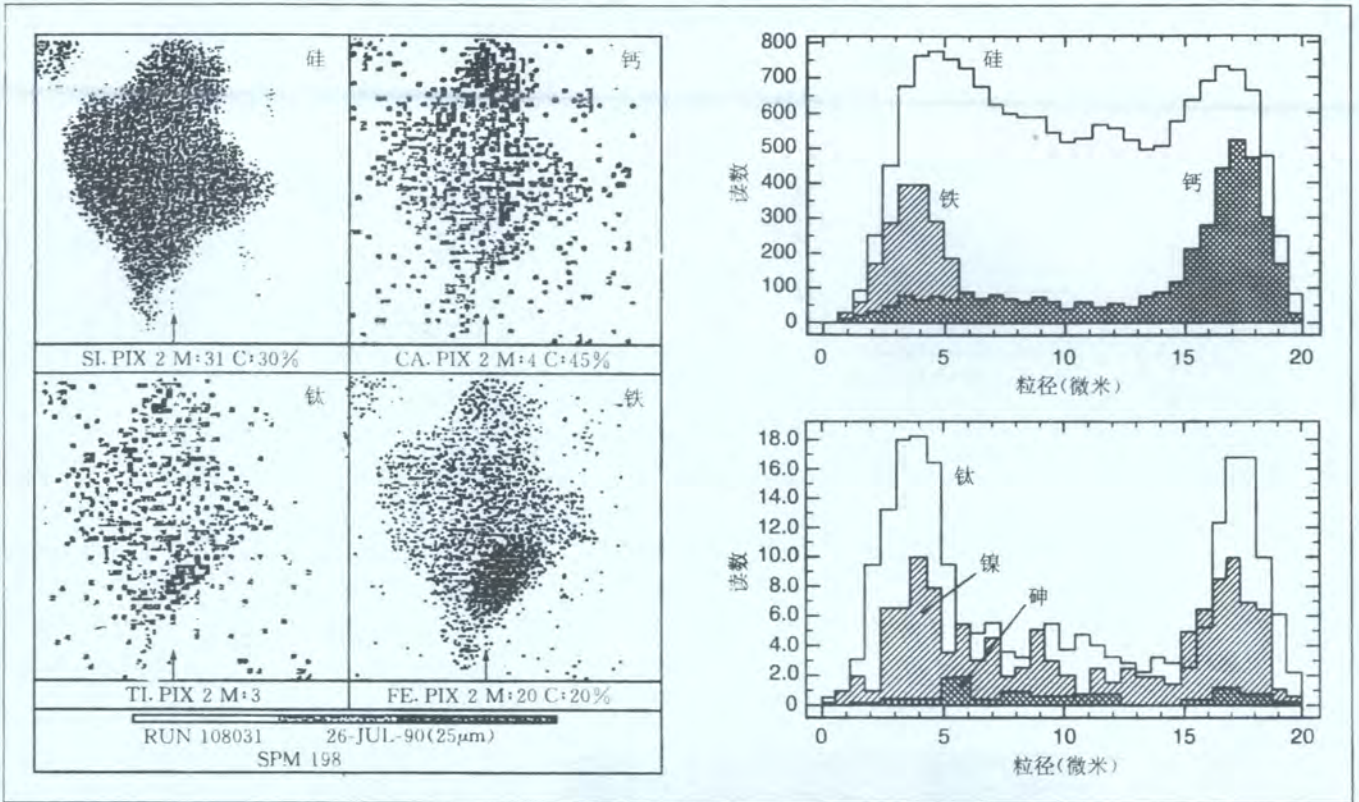
**加速器在工业中的应用。**另一种值得注意的应用是离子投影印刷术。微电子学工业要求开发制作高级硅器件用的小于0.3微米的印刷能力和制作异质结构与量子耦合器件用的小于0.1微米的印刷能力。离子投影印刷术可以满足这些严格的要求,从而冲破光学和X射线印刷术的限制。

工业化国家意识到了以加速器为基础的技术的潜力。例如,德国有23台静电加速器,其中9台是串列式加速器,拥有从事氢分布测定、RBS、离子注入、沟道效应、微探针和AMS的多种实验装置。在这些设施中,许多设施50%以上的运行时间从事应用研究。此外,还有16台回旋加速器,其中几台专门生产同位素,至少3台具有PET能力;以及11台同步加速器与直线加速器,主要用于加速重离子。在日本,光是医疗用加速器就有13台具有PET能力的回旋加速器,若干台重离子加速器,以及500多台治疗用直线加速器。

## IAEA 资助的一国项目

过去的15年中,IAEA有关中东和欧洲地区的技术援助计划一直包括许多与加速器技术有关的项目。IAEA一直在以目的为改进和建立加速器实验室的许多一国项目名下,给阿尔巴尼亚、保加利亚、克罗地亚、希腊、匈牙利、伊朗、约旦、波兰、葡萄牙和罗马尼亚等国的若干实验室提供援助。例如,70年代后期和80年代初期,IAEA动用大量不可兑换货币基金向诸如保加利亚、匈牙利、波兰和葡萄牙提供了苏联制造的加速器。

在匈牙利,德布勒森国家实验室曾收到一台回旋加速器,1985年投入运行。目前,该加速器正广泛地用于原子物理学和



在空气污染研究方面,加速器技术(即 PIXE 和 RBS)可以通过测量元素浓度和提供元素浓度分布图来表征飞灰微粒。上图是铝硅酸盐飞灰微粒的面扫描和线扫描的结果。

核物理学的基础研究,用于工业、农业和医学方面的各种应用,包括生产同位素。该实验室已成为该地区的一流实验室之一,并积极提供专门知识,组织会议、研讨会和适合于集体和个人的培训。

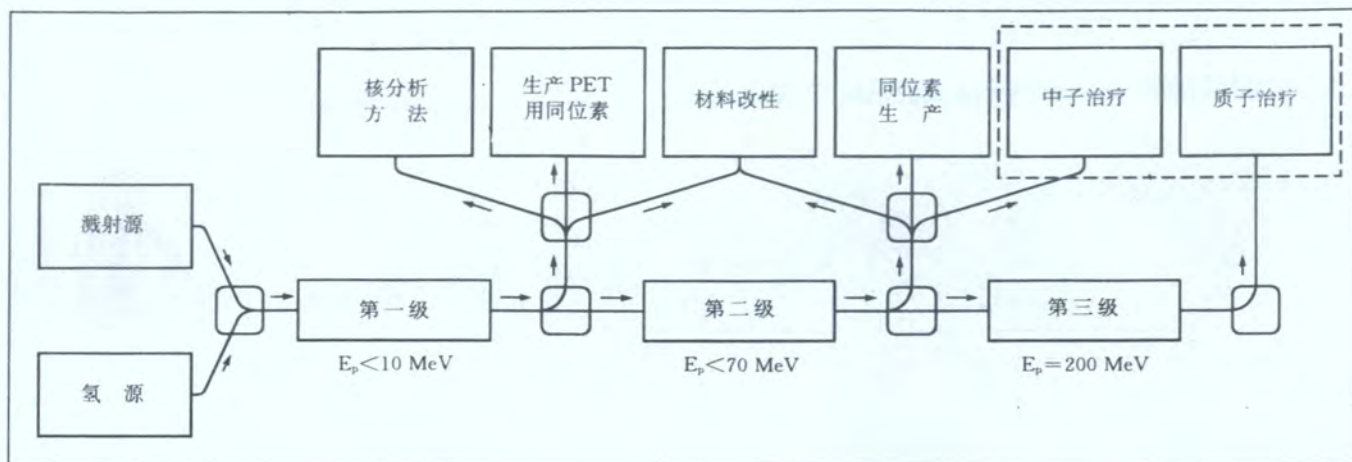
在保加利亚,自 1984 年起,IAEA 一直在对在布尔加斯的高级化学技术研究所内建立加速器实验室一事提供援助。其目的是支持加速器在石油化工和电缆工业中的应用。1991 年安装了一台电子加速器。预计该项目将促使保加利亚生产更加耐热的导线绝缘体和新的包装材料,从而减少此类产品的进口量。

在波兰,最近 10 年中,IAEA 一直在给华沙的核化学和技术研究所提供援助。初期,提供了一台来自前苏联的中试规模电子加速器和一些辅助设备。目前,该加速器正用于试生产热收缩塑料管和塑料带,以及其他的一些应用。

在波兰,1987 年开始在华沙的同一个

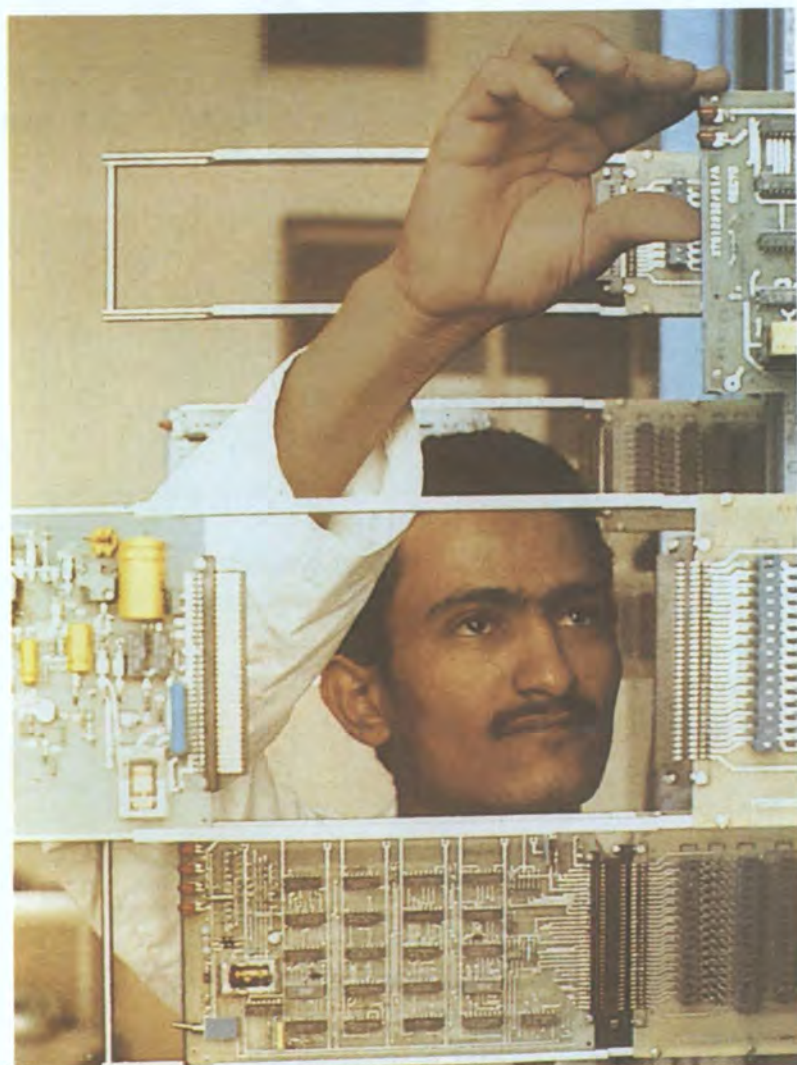
研究所实施一个十分引人注目的项目。该项目涉及用电子束技术净化波兰燃煤电站的烟道气。以苏联制造的 2 台加速器为基础,在华沙建造了一个示范装置,现正在什切青地区大规模地扩充此概念。由于能有效地同时除去二氧化硫和氮的氧化物这两种污染物,预计这一技术会对环境产生积极的影响。该项目正在得到美国和日本捐助者的大力支持,而且它已在许多方面成为一个典型项目。该地区内外的其他许多国家都已表示对该技术感兴趣,因此需要继续给予支持。

在阿尔巴尼亚、克罗地亚、希腊、伊朗、葡萄牙和罗马尼亚,IAEA 的援助一直在帮助配备了范德格喇夫加速器的实验室提高其实验能力。在萨格勒布的 Ruder Boskovic 研究所,目前在该项目名下进行的工作是改进先前安装的加速器,以便能进行微量分析。这台加速器目前的应用包括开发核分析技术,研究煤、生物医学样品和其他材



上图:在典型的医院条件下的一台3级加速器的示意图。

下图:加速器的工业应用包括研究和开发微电子学用的材料。



料中的痕量元素,以及从事有关核反应和剂量学方面的研究。

在希腊,在美国资助的一个项目名下,向雅典的 Demokritos 研究中心加速器实验室提供了一台测角器。这将为加速器在材料科学和其他领域中的应用开拓新的可能性。类似的情况是,已经为葡萄牙现有的一台范德格喇夫加速器配备了一些设备,以便进行原子物理学和固体物理学领域的研究。配备的主要设备包括一台计算机、一台多道分析器、一台半导体探测器和一些真空设备。他们已经在利用 PIXE、RBS 技术及其他分析方法进行生物学样品、气溶胶和硅器件方面的研究。

该地区的许多国家对回旋加速器在现代放射疗法方面的应用越来越感兴趣。伊朗正在建造一个回旋加速器实验室,由 IAEA 提供指导、专业人才、培训和某些设备。该回旋加速器打算用于医学应用(包括生产铊-201、镓-67 和碘-123 之类的放射性同位素;将来还要使用 PET)和核物理学研究。土耳其也在规划类似的项目,IAEA 正在帮助该国主管部门进行可行性研究。

直线加速器的使用也同样受到重视。例如,葡萄牙工程和技术工业实验室就配备了一台苏联制造的电子束加速器,以支持研究和开发有前途的辐照工艺。它们包括表面涂层固化和用作电缆护套的塑料的感生交联或聚合作用。

IAEA 正在支助萨格勒布的 Ruder

Boskovic 研究所安装一台由德国捐赠的直线加速器。在波兰,IAEA 已向罗兹技术大学的应用辐射和化学研究所提供了一些设备,其中包括一台直线加速器。该研究所的工作包括下列诸方面的应用研究:聚合物化学,标记化合物的合成,生物学和生物活性材料,以及医疗用品的工业化灭菌。

此外,该地区的几乎所有国家一直对电子束技术用于食品辐照感兴趣,这属于单独的一个 IAEA 地区项目。但是,只有波兰已决定建造一个设施,IAEA 一直在支助那里的加速器建造工作。

### 地区的需要和新倡议

尽管有多种多样的一国技术援助项目,但不是所有国家都已经有能力实现加速器技术的实际应用。最成功的项目是具备必要的基础设施和得到本国支持的那些项目。匈牙利和波兰的情况就是这样。包括土耳其、叙利亚和塞浦路斯在内的其他许多国家的情况则是另一个极端,例如它们几乎没有或根本没有加速器技术方面的经验。这种情况说明在建立行之有效的多年期项目方面确实存在着许多困难,并说明要把扎实的准备阶段(包括拨款决定)作为使项目行之有效和具有广泛基础的先决条件的重要性。

从规划以加速器为基础的项目和促进参加者之间的有效合作这两个角度看,建立数据库是一种实际的需要。同核动力堆和研究堆的情况不同,例如,不管是地区内还是世界范围内,都缺乏加速器及其应用方面的完整信息。IAEA 已开始汇编低能加速器(能量范围为 100 keV—100 MeV)方面的数据库。虽然已计划要进行世界性的调查,但第一步只是对中东和欧洲进行试验性调查,IAEA 已将调查表寄给该地区的成员国。

1993 年 1 月,IAEA 又为中东和欧洲设立了一个有关低能加速器及其在科研和工业中应用的地区项目。该项目有两个最重要的目标:

- 通过地区合作把先进国家新开发的方法和技术传播给发展中国家,促进低能离子加速器的工业应用;

- 通过地区合作,促进以加速器为基础的分析技术在环境和生物医学研究中的应用,使更多的专家熟悉该地区先进国家所用的此类技术。

该项目的工作计划包括三项基本任务:第一项涉及有关该地区现有加速器的数据的收集和整理。收集范围包括加速器的所在地、类型和参数等信息。这项工作将进一步整理出该地区现有的专业力量、普遍感兴趣的领域和培训需求。

第二项任务涉及通过一系列专题讲习班提高科研能力。专题范围将涉及例如:以加速器为基础的分析技术用样品的制备;以加速器为基础的技术在找矿和勘探方面的利用;评价 X 射线、 $\gamma$  射线和带电粒子谱所需的软件;和参加实验室之间的比对演练。还打算举办其他课题的讲习班。

第三项任务有关在工业界内部推广以加速器为基础的涉及特定应用的技术。打算为科学家、加速器专家、工业管理人员和决策者举办几期讲习班。为此,将利用该地区先进实验室——例如意大利帕多瓦的莱尼亚罗国家实验室——的经验和诀窍,以促进技术转让。IAEA 正在考虑编写一本如何进行详细的可行性研究的手册,供或许想要进行此种研究的国家参考。

总之,IAEA 的这个新的地区项目必将有助于人们更多地了解以加速器为基础的技术,有助于对应用此技术感兴趣的国家和地区更密切的合作。此领域内 IAEA 支助的许多一国项目已在该地区(包括试图建立配备医学和科研用加速器(回旋加速器)的新研究中心的那些国家)产生了积极的影响。但愿这些倡议将有助于加强科研机构和工业界之间的联系,有助于发展中国家制定出能考虑到基础科学、研究开发以及技术转让之间的相互衔接的政策。这种做法可以为中东和欧洲地区的国家有效地应用先进技术创造更多的机会,最终有利于他们的社会 and 经济发展。 □