

## 核技术和可持续发展： 水资源和环境污染监测

设在奥地利维也纳和塞伯斯多夫的 IAEA 实验室  
正在许多领域为全球的环境保护作贡献

Pier Roberto  
Danesi

空气、土地和河流的污染已成为严重的全球问题，威胁着公众的健康和环境。与此同时，世界上 80 个国家中的约 20 亿人生活在长期缺水的地区。

清洁的空气和充足的水源，是维持植物、动物和人类生命的关键因素。但在某些情况下，由于工业和由工业发展带动的居民生活都大量使用化学品，它们所产生的废物会严重危害人类健康和环境。化学品毫无节制地释入环境，也能反过来使各种生物的痕量元素摄取量发生变化。某些痕量元素是生命所必需的，但所需数量极小，而且需维持在受控范围内。

设在奥地利维也纳和塞伯斯多夫的国际原子能机构 (IAEA) 实验室的科学家们正在研究的重要环境课题，水的资源和污染问题是其中的一部分。这些实验室通过范围广泛的科学技术项目和服务，开发和传播那些特别是在发展中国家具有重要环保意义的技术，包括评估水资源及其污染状况的技术，以及灵敏地分析有毒金属、农药及其他环境污染物的技术。在这些工作

中，常常用到许多以辐射和同位素为基础的分析方法：从中子活化分析法和 X 射线荧光法，到原子吸收光谱法和各种示踪技术。

本文是相关的两篇文章\*的第二篇，将选择地介绍 IAEA 塞伯斯多夫实验室在支持为求得可持续发展所进行的种种努力方面所开展的工作。在许多事例中，该实验室对于涉及世界各地分析实验室许多科学家的研究网来说，往往在组织上起核心的作用。

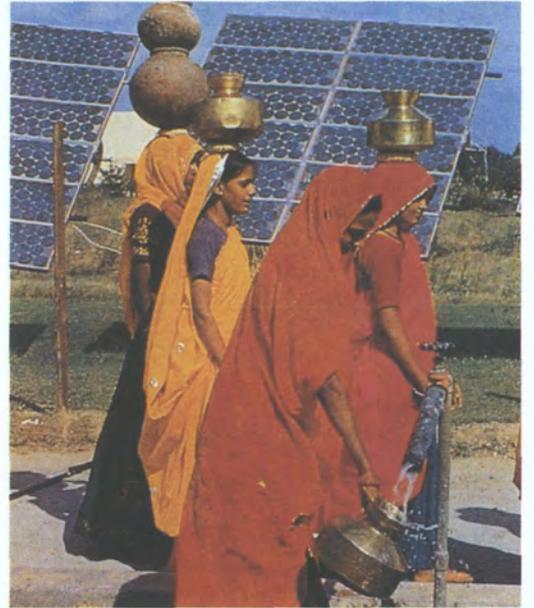
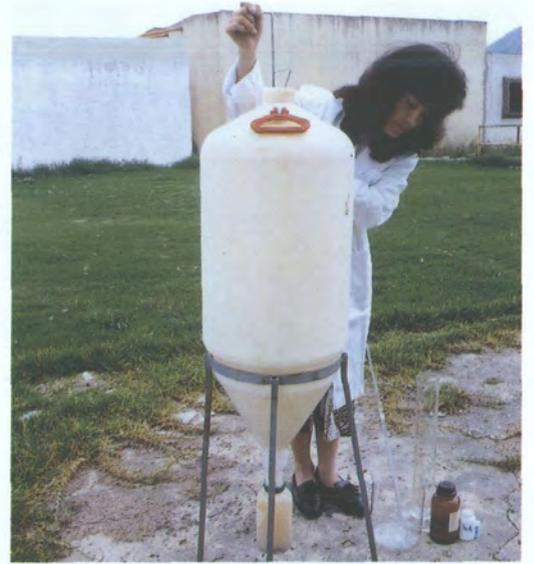
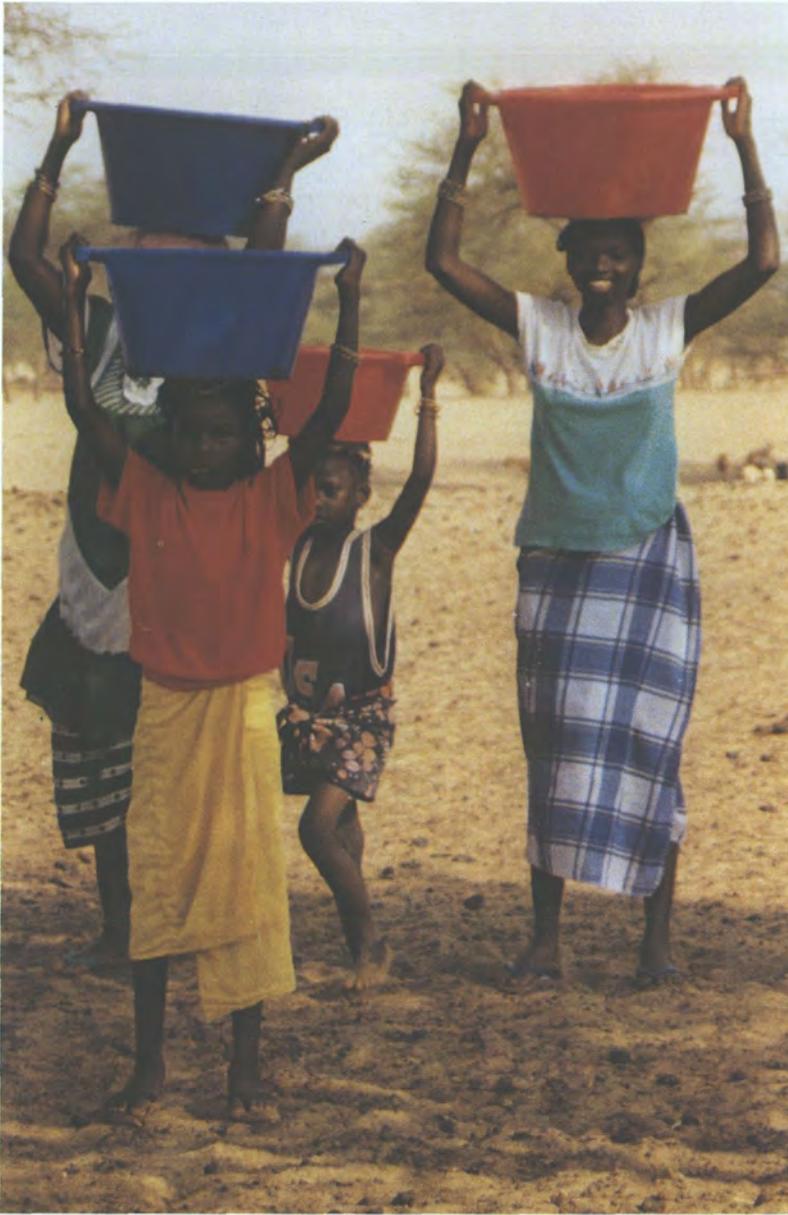
### 利用同位素的水文学研究

许多迹象表明，随着人口和动物数量的增加，世界的水问题急剧地日趋严重：

据估计，到本世纪末，埃及的人均水拥有量只有今天的三分之二，肯尼亚只有一半。到 2000 年，东非 7 国中的 6 国和所有 5 个地中海南岸国家，都将面临水的短缺。波兰、以色列和美国干旱地区也正在接近临界状况。在中国，已有 50 个城市受到严重缺水的威胁，北京的地下水位正以高达 2 米/年的速率下降。该国三分之一的水井可被认为是枯井。印度最近 20 年的情况是，泰米尔纳德邦的地下水位已下降 25 米，而在北方邦中，缺水村庄已从 17 000 个增至 70 000 个。

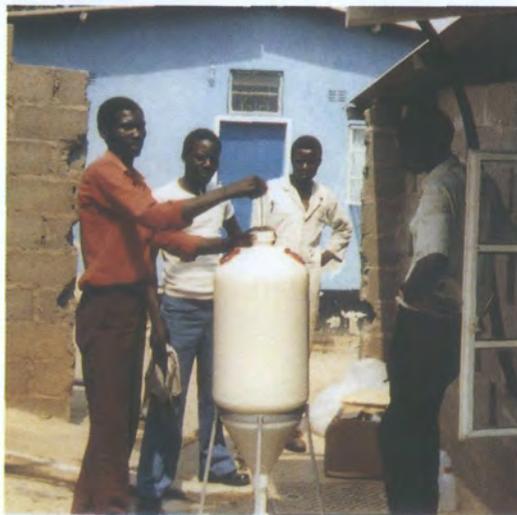
Danesi 博士是设在塞伯斯多夫和维也纳的 IAEA 实验室的主任。本文是载于本刊的相关的两篇文章的第二篇，这两篇文章介绍该实验室在可持续发展方面所做的工作。为本文某些部分提供过素材的有 IAEA 实验室的 Markowicz 先生、Valkovic 先生和 Zeisler 先生。作者还要感谢 IAEA 研究与同位素司的 Froelich 先生、Rozanski 先生及 Parr 先生给予的帮助。

\* 第一篇载于《国际原子能机构通报》第 34 卷第 4 期 (1992 年 12 月)，主要介绍农业方面的发展和 FAO/IAEA 联合处在农业方面的项目。



为帮助一些国家保护和开发它们的水资源,IAEA 实验室参与了世界各地的研究项目。这项工作通常要用到稳定同位素和放射性同位素,以及使用核与相关的分析技术,因为这些都是高度灵敏的研究手段。

(来源: Yurtsever, Aranyossy/IAEA)



不仅供水愈来愈不足,而且水质也在日益变坏。从大量施用农药和化肥的农田流出的水污染着江河、溪流和湖泊。从城镇流出的雨水夹有污水、重金属、油、碳氢化合物、垃圾、化学品,以及来自动物和各种残骸的有机废物。显然,必须大力加强各方面的工作,以保护现有水资源、开发可持续供水的新资源及改进水的分配和管理。

在常规水文资料不足的许多发展中国家里,评估水资源的工作特别重要。但在别的许多国家里,可利用的水资源大多已被探明和开采,而新的未勘查过的水资源估计非常少。因此,解决水需求问题的唯一办法是保护现有的水资源。这点对工业化国家和发展中国家都是极其重要的,而且是要求近期内完成的最艰巨的任务之一。

这个问题有两个方面:一方面要通过避免或减少水体污染的风险来保护水质,另一方面要使用可持续开采的手段保护水资源不致枯竭。

同位素技术在水资源的评估、管理和保护等方面能起重要作用。同位素是研究水体的有力工具,我们能利用它更好地评估水体的水量,更合理地开采水资源。同位素还可用于评价污染风险和调查污染物的运移及行为。同位素有助于判定水的流型和区别水的运移和污染物的运移,后者的速度通常由于会与岩石基体相互作用而较慢。

水资源的妥善管理需要大量的水文数据,水的天然组分(氢和氧)的放射性同位素或稳定同位素示踪剂,是收集此类信息的十分有用的工具。同位素技术在水流示踪方面比常规技术优越得多。例如利用染料示踪时,染料会由于吸附或与在水中的成分发生化学反应而受到损失。

设在维也纳的 IAEA 同位素水文学实验室,对机构在水文学方面的各项计划提供支助。它的工作包括为 IAEA 的研究合同和技术合作项目提供服务,和替全球性降水测量站网测量降水中的同位素。实验室的服务包括分析水样、分发参考物质、帮助成员国建立同位素水文学实验室、开发标

准测量程序,以及组织分析比对活动。

实验室备有各种测试设备。分析水中的氚时,先是电解浓缩,然后利用液体闪烁或气体正比计数法测定。水中的碳-14 可用气体正比计数法测定;水中的氘和氧-18 稳定同位素之比以及二氧化碳中的碳-13,可用质谱法测定;利用化学方法分析水中的常量离子和痕量离子;并可测量水的电导率和 pH 值。

### 降水中的环境同位素

同位素水文学实验室还收集和分析有关降水中环境同位素的数据,并协助发表这些数据。1961 年以来,IAEA 一直与世界气象组织(WMO)合作调查降水中氢和氧的同位素含量。这项名为 IAEA/WMO 降水中环境同位素网的计划,其目的是系统地收集建立降水中环境同位素随时空变化的模型所需的数据,并为各种水文学调查提供基本同位素数据。此类水文学调查包括建立水资源档案,规划和开发水资源等。这个网的数据对于水文学项目的最初几个阶段是特别有用的,因为那时急需有关被调查地区降水中环境同位素分布状况的信息。

另外,这个网的另外两项重要用途近几年已变得愈来愈明显。它们是为大气环流模型的验证和进一步改进提供数据,以及为气候调查提供数据。

降水样品由 79 个国家的 350 个气象站收集,它们的分析结果定期发表在题为《环境同位素数据:降水中同位素浓度全球调查》的系列出版物上。所发表的氚、氘和氧-18 同位素组成,均附有负责分析的实验室给出的分析误差。此外,该网也记录一些气象变量(降水类型和数量、蒸汽压、空气温度)。所收集的降水样品约有一半由 IAEA 实验室分析。其余样品由协作研究机构的实验室分析。

质量保证和数据处理是两个重要的相关方面。为此,从这个网启用之初起,就为取样站制订了详细的技术规程,并采用了

标准化的数据报告表格。此外,为保持分析的质量,IAEA 实验室还定期组织成员国协作研究机构的实验室之间的比对活动。

机构的水文学实验室每年要分析这个网的约 500 个水样,测定其中的氘、氧-18 和氙。氧-18 的测定方法是,先使水样与二氧化碳达到平衡,然后用同位素比率质谱仪分析二氧化碳。氘的测定方法是,先用锌还原法从水中离析出氢气,尔后用质谱法分析氢气。天然水样中的碳-13/碳-12 比率、碳-14 和氙的测定方法是,样品先经适当的预处理,尔后用检测限能满足各种样品中这类放射性核素的浓度极低这一要求的高灵敏测量仪器(质谱仪、气体正比计数器或液体闪烁计数器)进行测量。

该实验室还给 IAEA 的各种技术合作项目和研究合同提供分析服务。每年为技术合作项目分析约 850 个样品,测定氘/氢和氧-18/氧-16 的比率;测定碳-13/碳-12 比率和已溶解碳酸盐中碳-14 含量的样品约 60 个;测定氙的样品约 600 个。每年为研究合同分析约 300 个水样,测定其中的氘和氧-18;测定氙的样品约 100 个;分析碳-14 样约 30 个。

IAEA/WMO 网产生的数据有哪些用途呢?除已在水文学研究中获得广泛应用外,这些数据还被用于海洋学和水文气象学领域。稳定同位素(氧-18 和氘)用于研究与大气中水循环有关的各种问题的事例很多,而且还在迅速增多。最近的一些研究证实,这个网的数据库对验证和改进全球规模的大气环流模型是有用的。将这个网的数据用于这类模型(包括全球模型和地区模型)之后,能使我们控制目前气候状况的机制的理解有所增加,因而能使对自然因素和人为因素引起的未来气候趋势的预测变得更加可靠。

稳定同位素尤其是氧-18 在古气候学方面的应用,也已有许多事例。在研究气候变化方面,这个网的数据库所提供的降水中稳定同位素的分布形式,非常有助于正确解释被研究物质中较重同位素含量的波动。应用稳定同位素数据时一般要借助于

把降水的同位素组成与地表气温、相对湿度和降水量等重要气候参数关联起来的很成熟的经验公式。

## 供污染研究用的分析化学

塞伯斯多夫实验室所研究的另一个重要课题,是与监测由能源生产及其他活动释入环境的无机污染物和有机污染物有关的分析化学。

环境污染有许多不同的组成部分,来自人类活动的放射性只是其中一个特定方面。从对健康的潜在有害影响角度看,有毒重金属污染是最重要的成分。最近的一些估计表明,每年被“激活”的有毒重金属的毒性总量,超过全球每年产生的所有放射性废物和有机废物的毒性总量。

虽然生物样品和环境样品也许含有全部稳定元素(及某些放射性元素),但人们了解其在样品中的常见浓度及其生化作用、毒物学作用和生理学作用的元素只有很少几种。这样的元素包括生物基质的主要组分和次要组分、矿质元素、不可缺少的痕量元素,以及人们知其生物系统和环境系统中具有有害影响的少数几种元素。

在现有的大量分析方法中,特别适用于获取有关各种环境样品和生物样品的组成的大量信息的是核方法及核相关方法。

例如,中子活化分析(NAA)通常可用于分析沉积物、气载颗粒物或贻贝组织之类生物基质的单件小样品中的 20—30 种元素。粒子激发 X 射线发射(PIXE)法或 X 射线荧光(XRF)法,可用于测定类似数目的元素。这些分析技术组合起来使用,或辅以诸如伏安法、电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法等其他非核多元素分析技术,可获得最大的收益。

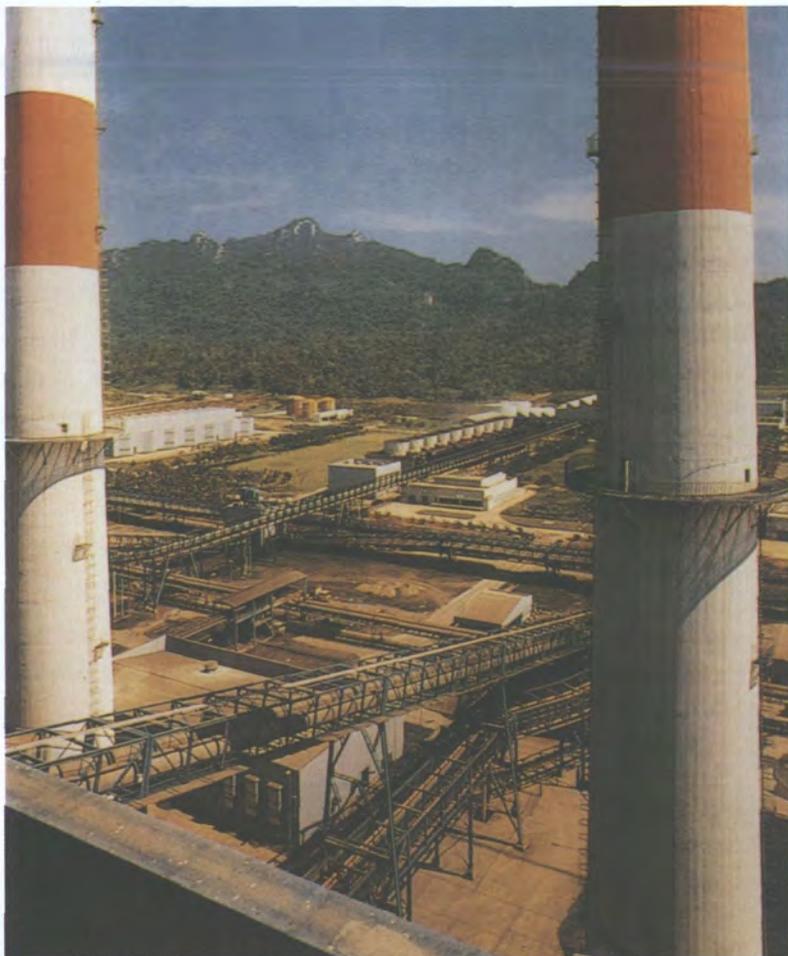
核分析技术虽不足以回答人们可能提出的关于有毒重金属的一切问题,但它们具有许多独一无二的特点。正是这些特点,使它们能够被用来测定非放射性固体废物(如煤的飞尘和尾矿)中的许多重要组分,并能够被用来探索有毒元素及其它痕量元

素从这类废物进入周围环境的途径。

核分析技术也适用于有关空气污染的多项重要研究,例如测定气载颗粒物质的组成、找出一个一个污染源,以及估计空气污染物的长距离运输。另外,核分析技术在直接评估人类所接受的有毒痕量元素(例如通过工作场所接触或消费污染食品)的量方面有重要的用途。

多年来,机构一直通过其生命科学处和化学科学处,利用其塞伯斯多夫实验室的实验手段,支持这方面的科学研究和监测研究。最近,这些研究已被定为机构中期计划(现在至1998年)中高度优先考虑的课题。这些研究工作的主要承担者将是发展中国家的核研究机构。

目前的工作重点是研究空气污染、固态废物和人接受的量。机构塞伯斯多夫实验室提供的这些服务,一般采用现代化的分析测量方法。所完成的分析工作都涉及到测定各种无机物质,生物物质和食物,土壤、岩石和矿石,以及雨水及其他天然水中的痕量元素。分析工作还涉及到测定粮



各种高度灵敏的核技术,常常与其他方法一起用于分析能源生产及其他活动产生的污染物。右图,正在用火原子吸收光谱法分析溶液的情景,红色辉光表示溶液中含有铯。左图,等离子体喷蓝色火焰。这种火焰能为分析大气中痕量元素的等离子体发射光谱分析法提供极高的温度。(来源:ADB,塞伯斯多夫实验室)

食制品和环境物质中的放射性污染物。每年进行的测定约为 10 000 次。日常使用的技术有 NAA、原子吸收光谱法、ICP-AES、紫外分光光度测定法,以及常规的和基于激光的荧光法。

举例来说,在—项执行中的,关于营养上重要痕量元素人日饮食摄取量的 IAEA 协调研究计划中,塞伯斯多夫实验室已对来自澳大利亚、巴西、加拿大、中国、伊朗、意大利、日本、挪威、葡萄牙、西班牙、苏丹、瑞典、泰国、土耳其、前苏联和美国的 400 多种膳食样品进行了全面的分析。

大多数国家提供的膳食样品取自不同的地区(如城市、工业化地区和乡村地区)以及不同社会状况的人群。所得数据涉及营养上重要的元素(钠、钾、铝、磷、钙、锰、铬、钴、铁、铜、锌、硒、镁)及可能存在的有毒元素(砷、镉、汞、铅)。

这项工作旨在给现行的营养元素日许可量及其他元素的安全合适摄取量提供更好的信息。这些取自特定国家及其地区和人群的数据,可作为一种参考数据使用,可据之记录偏离情况,或制定具体的行动计划。

塞伯斯多夫实验室还参与测定环境样品和食品样品中天然和人为放射性核素的工作。此工作在 1990 年该实验室参与 IAEA 组织的国际切尔诺贝利项目期间受到人们广泛的注意。此项工作中使用的分析技术有多种,例如利用碘化钠和锗探测器的  $\gamma$  能谱测量法;利用硅表面势垒探测器的  $\alpha$  粒子能谱法;利用反符合计数装置的  $\beta$  发射率测量法;液体闪烁计数法;以及各种放射性核素的化学分离技术。

在这项活动的范围内,该实验室提供了一套可用于测定空气、水、土壤、草、食物中重要放射性污染核素(铯-134 和铯-137,锶-89 和锶-90,镉,钷)的推荐方法,和相应的多种参考物质。

另外,该实验室还为世界气象组织(WMO)本底空气污染监测网提供过分析支助。这项工作包括为 30 个发展中国家的许多气象站分析降水样品和气溶胶粒子。

分析工作涉及钠、镁、钙、钾、锌、锰、镍、镉、铅、铜等元素以及硫酸根和硝酸根等阴离子污染物。

## 质量控制服务

凡是科学分析都必须做好详细记录,结果必须可靠。分析结果也许会成为作出经济决定、行政管理决定、医学决定或法律决定的依据。此外,用于环境研究的数据必须是可以在—国、本区域乃至全球的研究范围内相对比和相兼容的,因为参与所要求的测量工作的实验室也许很多。

IAEA 实验室通过分析质量控制服务(AQCS)计划,帮助各国实验室检查其工作质量。这些国家实验室在测定核材料、环境物质和生物物质中的常量、微量和痕量元素以及放射性的和稳定的同位素时,通常采用原子的和核的分析技术。

这项计划包括提供质量保证方面的培训、组织方法学的比对活动、分发标准样品及为外部实验室提供的样品做仲裁分析。这项计划最容易见到的部分是作为“比对材料”和“经认定的参考物质”(CRM)分发的标准样品。

这些标准样品和 CRM 能在经济地提高各国测量质量方面起重要作用。从事认定活动的实验室一般先精确地分析一整批材料,然后把这批材料分成一个一个样品分发给有关的实验室,这样便可使整个测量界分享其分析成果。由于这样做能节省劳力(加之各国的实验室力图向国际标准靠拢的愿望),因而已使 CRM 成为一种受人欢迎而经济的手段,它可使实验室的测量结果互相兼容,并确保其结果的准确度。

AQCS 计划目前保存约 35 种不同的物质,它们都与为判别环境质量和人类活动的影响而需进行的分析工作有关。这些物质包括多种基质,有的与陆界(土壤、植物、人类活动产生的飞尘和污泥等)有关,有的与农业和食物(含磷酸盐的土壤、植物、奶制品、谷类、动物、鱼,和双壳纲软体动物组织)有关。

该计划还从有关空气质量、施肥方法及工业和城市垃圾的环境影响研究中,获得了许多比对材料和 CRM。

### 环境研究用测试设备

在测试设备和核电子学领域,塞伯斯多夫实验室也参加了一些与环境有关的项目。

例如,塞伯斯多夫实验室设计并制作了一套监测烟囱排出物的系统。这个在计算机的基础上附加了一块卡的系统,可用于监测从反应堆烟囱或其他核设施排放的含有放射性微粒、碘和惰性气体的气体样品。这套监测系统由以下几部分组成:放在紧凑的带屏蔽的样品室内的一个微粒探测器和一个碘探测器,安装在烟道内的一个惰性气体探测器,一台真空泵,一个空气流量计,若干控制阀门,一个可编程逻辑控制器,若干台放大器,单道定时分析器和若干个高压电源。计算机用于计数、数据获取和处理,以及结果的显示、记录及报告。

这样的两套烟囱监测系统已分别在希腊和葡萄牙投入使用。

另一项工作是开发 X 射线荧光(XRF)分析的方法学和用途。这项技术的基础是测量样品在电磁辐射激发下发出的特征 X 射线的能量和强度。长期以来,人们一直把这种技术看作是分析气载颗粒物质和天然水及污水样品中悬浮固态物质的简单而有力的方法。

根据 IAEA 某些成员国的请求,塞伯斯多夫实验室还正在支助有关在欧洲和中东地区建立环境辐射监测“预警”系统的工作。建立这种预警系统的目的,是为了使主管部门能及时得知核事故的放射性释放情况。

预警系统的主要组成部分是远距离监测站,它能够收集来自野外辐射监测器的数据,然后通过公用电话线路或电传线路自动将数据传至中心站。中心站的计算机收集联接在该网络上的许多个远距离监测站的数据,经处理后把辐射分布情况报告给有关的主管部门。如果辐射水平超过预定限值,计算机便触发警报器。

目前塞伯斯多夫实验室的专家正在为中心站开发通用的软件,它可用于包含各色各种远距离监测站的网络。 □



塞伯斯多夫实验室研制出一种用于监测核电厂及其他核设施排出物的系统。