

利用同位素技术研究萨赫勒地带水资源

在塞内加尔、马里、尼日尔和喀麦隆执行的项目

有助于科学家更多了解萨赫勒地带的有限水资源

Jean François
Aranyosy、
Didier Louvat
和 Mokdad
Maksoudi

过去二十年中发生的影响萨赫勒地带的几个干旱期,突出说明了地表水量的不稳定性 and 更有计划地利用地下水资源的必要性。近几年来,按照“国际饮用水供给与卫生十年”活动颁布的建议,已经开辟了一些范围广泛的开发整个萨赫勒地带地下水的计划。在这两三年中,值得注意的是已经以众多的“乡村供水”计划名义打的数千眼井。

然而,在许多场合下匆匆忙忙开采的含水层,在数量和质量上都不能可靠地满足需要。因此,为了更好地勘探这些国家的水资源,与此同时还开展了一些综合性的研究。这些研究涉及水文学和水文地质学的各个方面,以便根据可能获得的有关含水层性质的最全面的知识,建立一些搞好水管理的模型。

在这方面,国际原子能机构(IAEA)在80年代初期就开始通过其技术合作计划,在马里、尼日尔和塞内加尔开展它的第一批水文地质学活动。这些最早的活动包括利用环境同位素研究当地的含水层。这些研究对于获得含水层之间、地表水和地下水之间的关系,以及含水层最近是否得到补给等方面的具体资料,是特别有用的。另外,IAEA还建立了一批在水文学和水文沉积学中应用人工示踪剂技术和核测试技术

Aranyosy 先生是以塞内加尔的达喀尔为基地的 IAEA 地区专家,Louvat 先生是 IAEA 同位素水文学科职员,Maksoudi 先生是 IAEA 技术合作计划处职员。照片均由 Aranyosy 先生提供。

所需的基础设施。

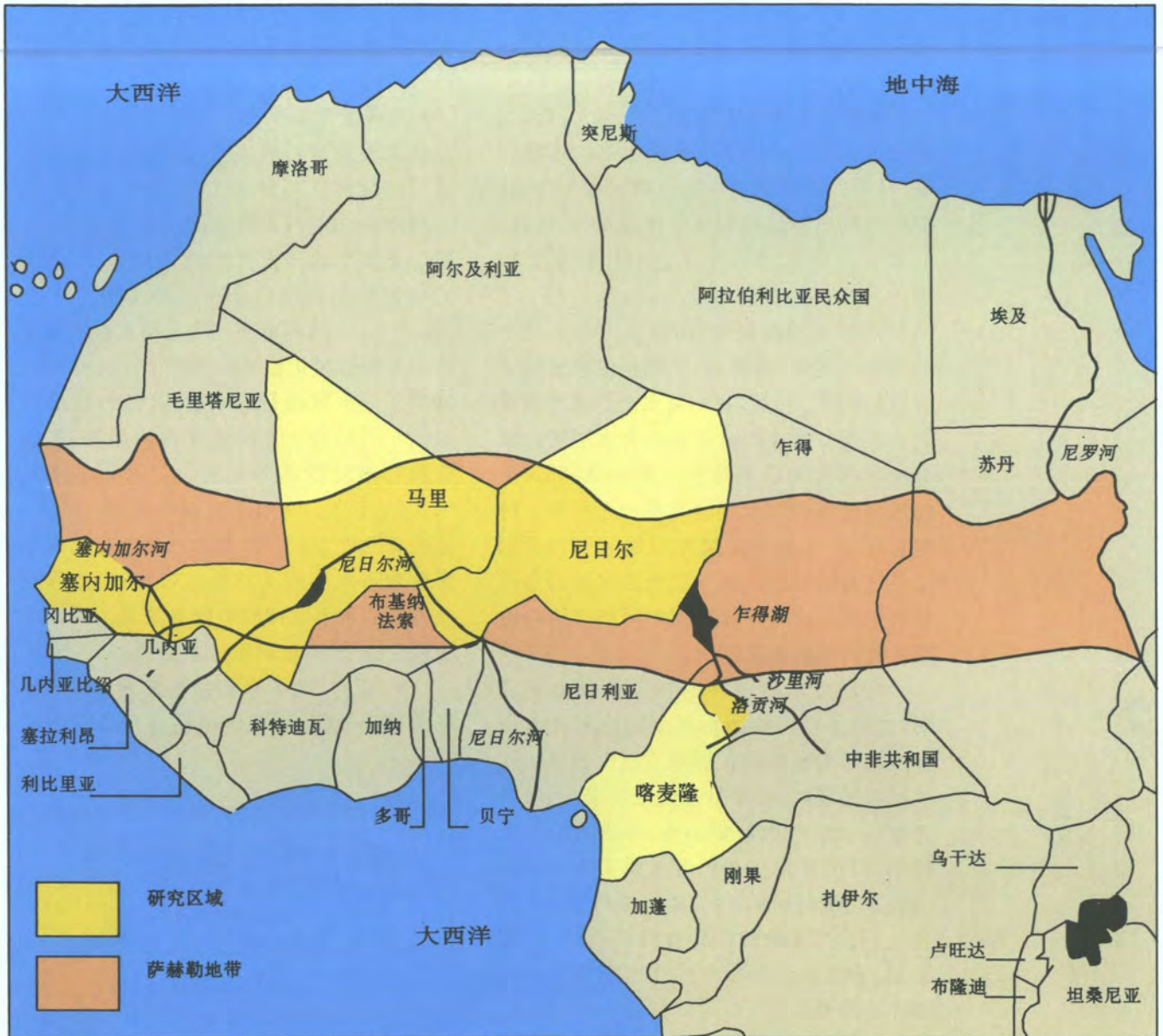
有些情况突出表明,有必要对现有双边项目名下已开展的科学活动进行协调。首先,尽管这三个国家所遇到的水文学和水文地质学问题是相似的,但横向之间的情报交流却极少;其次,国界通常与水文盆地的边界并不吻合,以致同一含水层可为几个国家所共享;再次,机构在某些国家中建立起来的昂贵的基础设施,理应用来支持全区域的科学活动。

为解决这些问题,四年前开辟了一个将同位素技术和核技术用于萨赫勒国家水文学研究的非洲区域项目。该项目的主要目标是:进一步扩展各参加国中正在进行的研究工作,加强培训,促进先前已进行的各项研究工作的情报交流,促进参与这些研究的各研究机构之间的合作,以及加强 IAEA 在该地区建立的基础设施并提高它们的利用率。

四年来,在所有各方的积极合作下,该项目已产生了重要的成果。本文介绍该项目的主要研究领域和迄今已取得的主要成果。

水资源的联合专题研究

在水文学方面,建立干旱和半干旱地区地下水资源管理模型的尝试,通常会遇到各种困难。这些困难主要与估计补给量和实际蒸发量有关,也与缺乏可利用的有关含水层边缘区流体动力学特性及边界条件的资料有关。



萨赫勒地带所在的区域,年降雨量在 50—500 毫米之间。降雨不规则,严重的干旱期反复发生,且地表水稀缺。在一些巨大的沉积含水地层中,发现了在非洲过去湿润期注入的可持久开采的淡水源。目前正在对这些天然地下水库进行广泛的研究与勘探,在涉及塞内加尔、马里、尼日尔和喀麦隆的 IAEA 区域项目中,常常使用同位素技术。

一项目研究组在尼日尔东部比尔马地区沙漠中的炎热阳光下采集沙丘样品,供同位素分析土壤湿度用。根据土壤湿度数据可获得深含水层地下水经不饱和带的蒸发损失量。

在这个区域项目中, 这些问题靠若干项联合专题研究解决, 这些专题研究已在各个国家中有了不同程度的进展。

●**地表水与地下水的关系。**大河和为数很少的永久性大湖(塞内加尔的吉耶尔湖, 马里的尼日尔河内陆三角洲和乍得湖)是萨赫勒地带仅有的常年地表水体, 因此, 它们在该地区的传统经济中起着重要作用。

大型水利构筑物(例如塞内加尔河上的马南塔利坝)的启用, 无疑会促进水的更合理的利用。然而, 我们对水流的这种调节会给该河谷诸冲积地层中含水层的自然补给带来何种后果几乎一无所知, 对这里的区域性沉积含水层也几乎一无所知。研究目标之一, 是确定诸冲积地层中含水层及其毗邻的区域性沉积含水层的自然补给机制。这对于评价河坝可能会给补给带来的后果是很重要的。

在尼日尔河获得的初步结果似乎表明, 在马里廷巴克图高处河流对含水层补给的影响最多可扩展至二三十公里。这些结果还表明, 在尼日尔的尼亚美, 河流对含水层补给的影响要小些, 那段河的流量较小, 河道看来与冲积含水层实际上是隔离的。在塞内加尔, 研究工作是与法国海外科技研究局(ORSTOM)合作进行的, 结果表明, 吉耶尔湖与附近的含水层彼此几乎是完全隔离的。

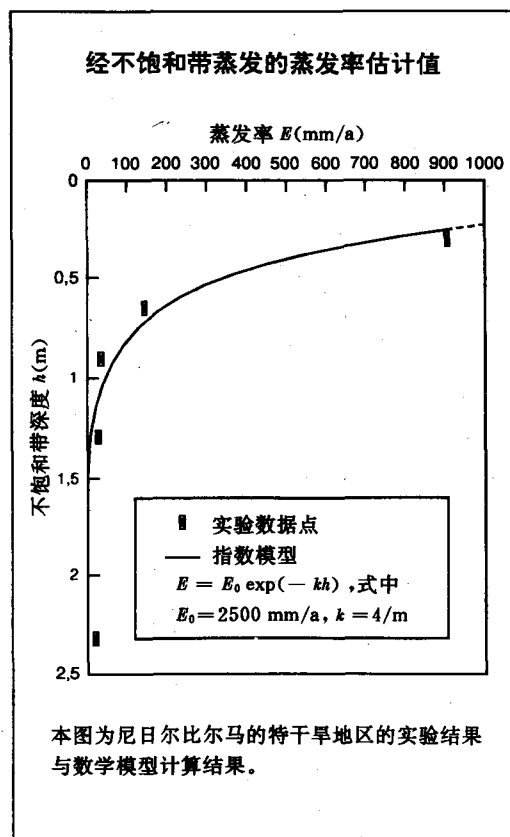
●**水向不饱和带的迁移。**这些研究所依据的, 实质上是对地表与地下水位间土壤中的水的各种化学与同位素分布数据所做的分析。在英国地质调查局和法国巴黎第十一大学水文学与同位素地球化学实验室的合作下, 这些方法主要在塞内加尔和尼日尔得到了应用。

估算有效下渗速率。那种寻找过去大气热核试验所产生氙的峰值的方法, 现今实际上已完全不适用于湿润的温和地带(因为氙通常已到达地下水面)。但这种研究方法在下渗轻微且饱和带很厚的干旱和半干旱地区仍很有用。从塞内加尔北部地区进行的研究来看, 这已在 25 米深处得

到证实。计算出的有效下渗速率, 与根据雨水和不饱和带水之间的氯化物平衡得出的结果相符。

估算蒸发损失量。根据理论研究和在上述实验室进行的实验, 即在自然条件下进行的沉积柱实验可知, 蒸发使重同位素主要浓集在液汽交换区之间的液相前沿。稳定条件下的蒸发损失的估算值, 可由不饱和带稳定同位素分布的数学模拟中导出。此外, 下渗率可通过测定雨水与不饱和带水之间的氯化物平衡估算出。在非洲各种半干旱地区进行的实验, 及最近在尼日尔比尔马的特干旱地区获得的结果, 都表明这种蒸发随地下水面的加深而迅速减少。(见下图。)当地下水面深度为 2 米时, 地表蒸发仅为二三十毫米, 因此, 在大的地区性地下水面的天然排水带, 不让数百万立方米的水蒸发掉的最好方法是用泵抽出和利用这些水, 以降低静水压面。

●**“极古”地下水和古水文学。**在萨赫勒地带, 一些巨大的区域性含水层中蕴藏



着丰富的地下水资源。初期的同位素研究已证明,这些含水层中相当大的一部分含有原生水。这种水的补给期可以上溯到4万多年前(碳-14测定年代的上限),故可称其为“极古”水。因此,研究这些含水层需要一些新技术,要利用极长寿命同位素(氯-36和铀的同位素)和适用于古水文学条件的标记元素(如惰性气体)。

可利用氯-36测定极古地下水年代的原因是,氯-36具有极长的寿命(半衰期为 3.01×10^5 a),氯化物极易溶解并在地球化学反应中具有多种恒定的性质。然而,鉴于氯-36有多种不同的来源(宇宙、以往的热核试验,以及地表及深部大地),所以,应用氯-36测定年代要求对含水层的地球化学状况有透彻的了解。在有利的地球化学条件下,如能了解到铀-234(半衰期为 2.5×10^5 a)的初始放射性活度,便可应用标准的放射性衰变公式测出年代。惰性气体(氦、氡、氩和氙)在下渗水中的溶解度,主要取决于环境温度。由于这些元素在化学上是惰性的,所以因溶解建立起来的浓度从理论上讲将保持恒定。这样,通过测定古水中诸惰性气体的浓度,就可重建含水层补给期盛行的气候条件。

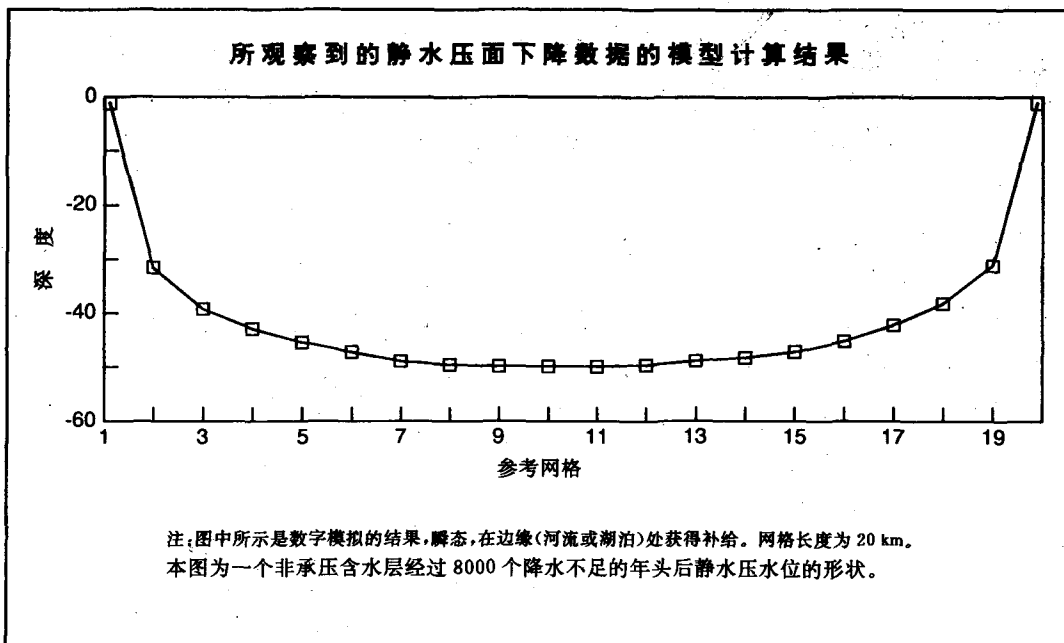
目前,在欧洲的专业实验室(法国巴黎

第十一大学和联合王国巴思大学化学系的水文学与同位素地球化学实验室)配合下,上述技术正被参加该项目的非洲成员用于研究麦斯特里希特地层(塞内加尔)和陆相夹层(马里与尼日尔)的含水层。

●静水压面下降的起因。发现静水压面大大下降一事,可追溯到50年代,当时在非洲开展了早期的水文学研究。从那时起,记述到的许多事例遍及萨赫勒地带,——例如塞内加尔费尔洛地区的含水层,马里的纳拉格拉本、贡多和阿扎瓦德的含水层,毛里塔尼亚的特拉扎含水层,尼日尔的卡泽尔含水层,以及喀麦隆的亚埃雷(乍得湖地区)含水层。

到目前为止,为解释这种现象而提出的各种理论,尚无一种为大家所公认。但是,这种讨论并非纯学术性的,因为对于长期管理来说,需要选择一种概念性的循环模型,并且要弄清楚这些大的含水层的边界条件。

在这个区域项目名下,有关这个课题的几项研究工作正在取得进展。在塞内加尔、马里和喀麦隆获得的初步结果似乎表明,下渗与蒸发之间的不平衡起着支配作用。作为该项目的一部分,在塞内加尔一位教学科研人员的合作下,已经建立一个考



虑了这种假定的数学模型。它可以满意地再现所观察到的静水压面下降的结果。(见上页附图。)

水文学和水文沉积学

水文学。撒赫勒国家的水文特点是,地面水网十分稀疏,仅一些非常大的水道(主要是尼日尔河、塞内加尔河、洛贡河和沙里河)是常年河,而泛滥平原上雨季以外时间

处于干涸状态的那些水道,只在雨季(6—9月)出现大的突发性洪水时才会有水。这种特点给液流测量造成了很大的困难。

马里无疑是小型的非常年水网最大的国家。在采用人工示踪技术测量液流方面,它是第一个受益者。该国现在有进行野外作业所需的技术熟练的队伍和设备。这支队伍是该地区唯一的一支专业队伍,现在它有能力在国外开展工作和为他国培训技术人员。

在这个区域项目名下,已在马里举办了几期面向工程师和技术员的讲习班和实习性的现场培训班。(见附框。)

水文沉积学。撒赫勒水道搬运的泥沙数量相当大。这些泥沙往往沉积在地表水库中,降低了它们的蓄水能力和使用寿命。这些水道水流湍急,因而用常规方法难以估计泥沙搬运量。

为了帮助解决这一问题,IAEA为马里装备了一个水文沉积学实验室,提供了一套常规设备和一套核测试设备。后者包括,一台实验室用泥沙沉积速率测量仪,一台现场用悬浮泥沙测量仪(特别适用于绘制水库和水道泥沙沉积图),和一台现场用水道悬浮泥沙浓度测量(和连续自动记录)仪。

该实验室现已启用。它有两项职能:一是为水资源管理局和其它机构开展研究工作,二是为设在巴马科的国家工程师学校的毕业班学生提供理论和实践培训。

区域内的情报交流

定期举办科学会议和区域讲习班,是交流经验、分享成果和培训来自该项目所涉及各国家机构的工程师的最好方式。在这个框架内已开展的项目活动包括:

- 1987年8月,在巴马科举办了一期水文学培训班。来自马里、尼日尔和塞内加尔的15名工程师和技术人员,接受了水道测量用示踪技术的培训。

- 1988年11月,在尼亚美举办了一期有关同位素技术在水文学和水文地质学中的应用的区域经验交流会。与会者有8个国家的38位学者,会上交流了24篇论文。内容涉及该地区应用同位素技术的情况,并有许多应用实例。

- 1989年6月,在达喀尔举办了一期有关同位素技术在水资源开发中的应用的区域培训班。这期由IAEA和联合国教科文组织(UNESCO)联合组织的培训班,有10位与该区域项目有关的人员参加。

- 1990年和1991年,马里举办了二期新的有关水文学和水文沉积学的时间较长的培训班。

- 1990年12月,在巴马科举办了一期有关核水文沉积学的区域讲习班,参加国各有2名工程师接受了培训。

1990年年初开始实施一项涉及交流技术人员和工程研究人员的计划。具体地说,一位马里专家在达喀尔做了一系列关于核沉积学的学术演讲;一位塞内加尔研究员参加了派往尼日尔的现场工作组;一位尼日尔科学家在达喀尔举办了一期有关地理学数据的分析和自动制图学的培训班。

未来的目标和展望

按照第一次协调会议(1989年12月,巴马科)的建议,该项目现正在从事的工作有:

- 从设备和操作技术方面扩大对各种基础设施的支持,以促进该地区在分析方面逐步达到自给自足和使现有实验室更好地为该区域服务;

- 加强文献资料和培训方面的支持,其方法是促使参加国之间更多地交流技术人员,促使项目人员更积极地参加区域讲



在塞内加尔北部的费尔洛地区,深度 60—100 m 深的井是主要的水源。水文研究的一个重点是查明地下水是否正在得到大气降水的补给。

习班、研讨会和大的学术会议;

● 为各项活动开辟更多的财源,其方法是增加 IAEA 的捐助,寻求其它国际机构和(或)国家(通过双边合作)的捐助。

在这方面,IAEA 已于 1991 年在该区域项目的框架内核准了 4 个新的技术合作项目,将分别在马里、塞内加尔和尼日尔实施。这些合作项目定能促进水文示踪技术在塞内加尔和尼日尔的应用,使马里的这种活动能继续进行,并能加强各种实验室和促使它们在全区域范围内被利用。

这样,由 IAEA 装备的尼亚美碳-14 实验室,将得到一台新的液体闪烁计数器。不久,这台仪器将用来分析在该地区为水文学和考古学研究而采集的样品。此外,巴马科核水文沉积学实验室可为马里境外的研究工作提供服务,而拥有真空蒸馏萃取线的达喀尔大学土壤实验室,将能处理先前需要送往欧洲的样品。

在研究和培训方面,已安排了 4 期培训当地人员的区域性讲习班。一期讲习班将侧重于如何研究不饱和带(1991 年 11 月,达喀尔),一期将侧重于碳-14 的制备和测量(1992 年,尼亚美),一期将侧重于水化学(1992 年,亚温得),一期将侧重于水文地质学的数学模拟技术(达喀尔)。另外,还提出了一项旨在评价撒赫勒地带非承压含



水层补给率和蒸发率的区域研究活动,但需要取得外界的财政援助。

有益的合作

鉴于该区域项目的资金有限,如果没有这些国家里早已在进行的水文学项目,和已经开始的与国内、双边及国际团体

马里专家在教一位科技进修人员使用示踪剂稀释技术评价马里杜鲁河流域沉积物搬运运动力学。在背景的墙上,安装了一个用来连续记录该河汛期沉积物搬运量的小型核仪表。

特 写

活 动	塞 内 加 尔		马 里		尼 日 尔		喀 麦 隆	
利用环境同位素研究含水层	佛得角, 霍斯特恩贾斯	(1)	基岩中的裂隙含水层			曼达拉山	(2)	
	卡萨芒斯	(1)	布古尼, 科洛卡尼	(1)	利普塔科, 阿伊尔	(1)		
	费尔洛	(2)	地区含水层 (陆端和陆相嵌入)			亚埃雷平原	(2)	
	塞内加尔东部	(3)	纳腊, 阿扎瓦德贡多	(2) (1)	伊加泽尔 尼日尔东部	(1) (2)		
地表水与地下水的关系	卡萨芒斯	(2)	尼日尔河	(2)	尼日尔河	(2)	冲积平原	
	塞内加尔河	(2)	内陆三角洲	(3)	尼亚美	(2)		
不饱和带	卢加 费尔洛	(2) (2)	阿扎瓦德	(2)	尼亚美 比尔马	(2) (3)	亚埃雷	(3)
极古水	卡萨芒斯 费尔洛	(2) (2)	北阿扎瓦德	(2)	伊加泽尔平原	(2)		
静水压面下降	费尔洛	(2)	纳腊, 阿扎瓦德	(2)	卡泽尔	(3)		
特定的活动	有机物的同位素研究		地表水文学		硝酸根起源研究			
实验室	不饱和带 水化学	(2) (3)	水化学 水文沉积学	(1) (2)	水化学 碳-14	(1) (2)	水化学	(2)
研讨会, 讲习班, 培训班	同位素水文学 不饱和带讲习班 数学模型讲习班	(1) (3) (3)	水文学讲习班 水文学培训班 沉积学讲习班 沉积学培训班	(1) (2) (3) (3)	同位素水文学 水化学讲习班 碳-14 讲习班 碳-14 培训班	(1) (3) (3) (3)		
新的活动	人造示踪剂的应用	(3)			人造示踪剂的应用, 迪利亚河	(3)		

注: 括号中数字分别指该区域项目名下已完成 (1)、进行中 (2) 和已计划 (3) 的活动。

撒赫勒区域项目的活动

的紧密合作,要取得今天这样大的成绩几乎是不可能的。该项目特别得益于一些大的对口单位的工作。这样的单位有:塞内加尔的达喀尔大学地质系及该国水资源部水资源研究管理局,马里的水资源和能源部及设在巴马科的国家工程师学校,尼日尔的尼亚美大学地质系及该国水资源部水资源管理局,和喀麦隆的亚温得地质和采矿研究所。此外,与联合国开发计划署在这三个国家的水资源项目的合作,以及与加拿大国际开发研究中心(IDRC)、法国合作与援助基金会、瑞士的国际开发研究所(IUED)和 ORSTOM 的合作,也是非常有价值的。

在初期,正是已有的基础,才使人们能够在详细分析该区域的水文学与水文地质学问题,以及采用核技术解决这些问题的

可能性的基础上,选定能使这些国家都受益的研究项目。其它的活动则是根据当地条件和重要性选定的。(见上表。)

除获得的具体成果外,这个区域项目还对现有科研计划的实施作出了有价值的贡献。这是通过提供设备和同位素分析,提供专家和顾问,以及提供培训进修金等实现的。重要的是,由于有一名常驻的专家和重视经常交流技术情报,因而促进了本地区的合作。交流渠道包括出版和散发所有科技成果,国家间交流教员、工程师和专业技术人员,以及定期组织培训班、区域讲习班和研讨会。

通过这些活动,及其他的活动,该项目正在帮助撒赫勒地带各国的科学家和工程师建立起有效地勘探和管理该地区宝贵的水资源所需的技术基础。