

## 在伊拉克的核视察： 运走最后一批辐照燃料

一次空前的行动成功地从伊拉克安全地运走了  
已申报的所有核武器级材料

Fernando Lopez  
Lizana, Robert  
Ouvrard 和  
Ferenc Takáts

当1994年2月最后一批乏燃料形式的高浓铀离开伊拉克的哈巴尼亚机场时，IAEA在监督和核实伊拉克以前的核计划方面又完成了一件大事。早在差不多3年前，即1991年4月12日，联合国安理会就通过了687号决议，该决议除其它内容外，要求伊拉克“将其所有核武器用材料置于国际原子能机构(IAEA)的专门控制之下，并要求IAEA在联合国特别委员会的帮助下收容和运走这些材料”。

这个运走乏燃料的行动——于1993年12月4日和1994年2月12日分两批运走的——完成了从伊拉克运走已申报的所有核武器级材料这一任务。为运走这些燃料曾不得不克服许多技术难题，有些辐照燃料是从1991年海湾战争期间被摧毁的一座研究堆的乱石堆下取出的。

这次转移行动是IAEA在过去3年里根据联合国安理会的决议采取的行动之一。1991年，IAEA的视察小组在伊拉克进行了头几次视察后，运走了被发现的伊拉克已分离的数克钚，他们还监督了包括新核燃料在内的其它核材料的转移，这些材料是伊拉克申报的已置于IAEA安全保障之下的存量的一部分。尽管已申报的核武器级材料现已从伊拉克运走，但IAEA在伊

拉克的工作还在继续。它包括实施一项长期监督和核实伊拉克核活动的计划。

本文介绍为运走这些乏燃料所进行的工作，尤其是从所面临的技术难题和必须考虑的安全与辐射防护的角度进行介绍。

### 为这次行动作准备

IAEA在规划这一行动时，曾要求有关政府用合同的形式帮助转移、运输和处置伊拉克研究堆内的所有辐照燃料组件。1993年6月，IAEA和代表俄罗斯原子能部(Minatom)的国际关系委员会就辐照燃料组件的转移、运输和后处理，以及后处理过程产生的废物在俄罗斯永久贮存等问题签订了一项合同。

尽管由Minatom负责整个行动，但还有两家主要的分包商：负责装卸、清洗和包装辐照燃料的美国核保险公司(NAC)；负责在伊拉克和俄罗斯之间空运集装箱的俄罗斯货物空运公司(Touch和Go公司)。为了与Minatom缔结合同(1993年6月21日签订)而进行的技术和财务讨论花费了几个月的时间。为了确保伊拉克方面能提供必要的帮助和监督场地准备方面的进展，IAEA的工作人员曾数次出访伊拉克。

从技术角度看，这次任务包括以下的一串操作：

- 找到燃料，
- 清洗燃料，以除去其表面的尘土和

Lopez Lizana 是 IAEA 核安全处职员，Ouvrard 先生是该处辐射安全服务科代理科长，Takáts 先生是 IAEA 核燃料循环和废物管理处职员。

《国际原子能机构通报》1994年第3期

## 从伊拉克运走的乏燃料组件

类 型	个 数
IRT-2M型组件——管式(浓缩度为80%)	96
EK-10, EK-36, EK-NU型组件(浓缩度分别为10%,36%和天然的)	74
塔姆兹Ⅱ MTR型组件(浓缩度为93%)	32
塔姆兹Ⅱ型控制组件(浓缩度为93%)	6
总 计	208

可能的放射性污染物,

- 核实每个燃料组件(类型和序号),
- 装入运输容器,
- 经陆路将这些容器从装载地转移到

机场,

- 将容器从巴格达空运到俄罗斯联邦的叶卡捷琳堡,以及
- 经陆路将容器从叶卡捷琳堡运到车里雅宾斯克后处理厂。

准备工作包括:

- 制作一些工艺装备(供清洗燃料和贮存水用的设备);
- 制造或采购一些被认为完成任务所需但当地又无法买到的设备或备件(集装箱支承构件、卡车备用轮胎、起重机备件等);
- 由俄罗斯监管机构为运输集装箱发放许可证;以及
- 由 IAEA 工作人员准备辐射防护设备和剂量记录系统。

准备工作在 1993 年夏季完成。实际的现场工作始于 1993 年 10 月 6 日,最后一批辐照燃料在 1994 年 2 月 12 日离开伊拉克。在这段时间中,IAEA 工作人员轮番地在该现场监督合同商的工作和保证同伊拉克主管部门的合作渠道畅通。

伊拉克的对应方做了大量工作,包括:运走现场的乱石和清洗现场;提供起重机、卡车等设备;建造传输容器配件、水泥平台和两个清洗池。此外,伊拉克对应方还提供了操作和辐射防护人员、现场的办公室,完成各项作业所必需的一切辅助性活动。



乏燃料组件的所在地

一名伊拉克技工正在帮助准备运输用的乏燃料容器。(来源:伊拉克原子能委员会)

从伊拉克运走的辐照燃料组件来自图韦查核研究中心的两座研究堆。它们被贮存在两个不同的地点,一个在图韦查,另一个在加尔夫·阿纳达夫(离图韦查不远的农业区)。必须运走的乏燃料组件总计有 200 多个。(见上表。)

**IRT-5000 研究堆。**这座位于图韦查核研究中心的水冷却池式反应堆,最初的热功率是 2 兆瓦(MWth),1978 年增加到 5 MWth。当时反应堆水池和辅助的乏燃料贮存池中都存有燃料。

图韦查的这座反应堆及其他核设施，在1991年海湾战争的头几天就被多国部队空袭炸毁。幸运的是，这些池子没被直接击中，因而燃料组件没有损坏。不过，来自被炸塌构筑物的乱石堆盖住了反应堆水池。在回收作业开始前，必须进行大量的清理工作，以便见到池子。必须从这个地点运走的燃料组件为76个。

**地点B。**在海湾战争的头几天，伊拉克人运走了贮存在图韦查的一些辐照燃料组件，以防被炸坏。燃料被运到位于图韦查核研究中心以北大约5 km的一个地方。IAEA将位于加尔夫·阿纳达夫区的这个地方命名为“地点B”。它根本够不上一个理想的核燃料贮存地。只不过是1英亩左右的一块农田，没有建筑物，没有诸如水或电力等辅助设施。这个地方没有路，土壤是软粘土，大雨过后很难行走。

在这里露天埋着16个水泥贮存罐，罐中装满了水。每个罐中最多放两个碳素钢桶，桶中放着固定辐照燃料组件用的铝框架。这些罐子（实际已埋在地表下）用一块钢筋混凝土板盖着，中间留有一孔，用于注水。上面又盖了一块较小的水泥板。

1992年1月底，洪水期过后，不得不修改贮存条件，以防泄漏和污染地下水。造了14个新的水泥罐，取代原来的16个罐。原来放在里面的碳素钢桶换成了镀锡钢桶。在埋藏这14个新罐子时，让罐边伸出地面1 m，以避免地下水侵入。必须从这个地点运走的是132个不同类型的燃料组件。

### 工具设备

**清洗站。**由于现场有各种瓦砾、石块、沙土等物质，在将燃料组件放入运输容器以前，必须进行清洗。必须建立两个清洗站，一个地点一个。它们约有4 m深，允许安全地处理辐照燃料组件。墙壁是水泥的，里面带钢衬，使它不至于泄漏。

清洗站装备了一台翻转机，燃料组件一个一个地装到里面清洗，并装备了相应的水过滤系统。为了使较大的杂物能掉下





转移燃料行动的几个镜头：在 1993 年后期到 1994 年初的 5 个月里，IAEA 组织并监督了从伊拉克的图韦查核研究中心和附近的贮存地运走已申报的所有核武器级材料的工作。总计有 208 个乏燃料组件形式的高浓铀被回收、清洗、装入重量达 23 吨的运输容器、加封记并运出伊拉克。共有 170 名工作人员参加了这一行动，包括伊拉克的工作人员、IAEA 专家以及美国和俄罗斯的承包商。这里展示的是这项既复杂、技术要求又很高的行动的一些镜头。（来源：R. Ouvrard, IAEA；伊拉克原子能委员会）



来,清洗时让燃料组件头朝下,然后用高压水从上方冲刷燃料。

**传输容器。**为了将燃料组件从贮存地运到清洗站然后转移至运输容器,动了一个带屏蔽的传输容器。由 NAC 提供的这个传输容器,带有厚度达 13.2 cm 的铅屏蔽层,底部有一球闸门。它的下部设计成既能与准备放在贮存罐上的铅准直器相接,又能与清洗站上使用的运输小车相接,并能与运输容器的连接头相接。

燃料组件利用由压缩空气控制的各种抓手抓取,利用电动卷扬机将它拉入或退出容器。

**运输容器。**运输容器是由 NAC 设计并提供的。它们是称作 NAC-LWT 型货包的那种容器,通常用来运输一个压水堆燃料组件或两个沸水堆组件。为适应这次伊拉克行动,对它们作了些修改,以便能接收伊拉克研究堆的燃料组件(每个容器装 24 个 IRT-5000 型燃料组件或 28 个塔姆兹-I 型燃料组件)。在运输容器里,燃料组件分两层被放在不锈钢燃料筐中。

所用的运输集装箱符合 IAEA 安全丛书 No. 6《国际放射性材料运输条例》(1985 年版,1990 年修正过)的要求。因为美国核管理委员会(NRC)尚未采用现行的 IAEA 要求,所以使用 NAC 容器的许可证必须从俄罗斯监管机构处获得。

运输容器由不锈钢制成,总重量约 23 t。燃料组件周围的  $\gamma$  屏蔽层的情况如下:

- 侧面:1.9 cm 的铅,16.6 cm 的钢,3.0 cm 的铅。本来有四硼酸钾溶液作中子屏蔽,为了供这一特定行动使用,撤消了此屏蔽层;
- 底面:10.16 cm 的钢,7.62 cm 的铅,8.89 cm 的钢;
- 上面:28.57 cm 的钢。

燃料组件从顶部滑入该容器内;此时运输容器垂直置于集装箱的支承构件内。

考虑到飞机的载重能力,这次行动需要 4 个运输容器。这就是说,全部乏燃料必须分两次空运。

根据 IAEA 运输条例的要求,必须遵守下列的剂量率限值:容器表面为 2 毫希/小时(mSv/h);离运输车辆表面 2 m 处为 0.1 mSv/h;运输人员所在地为 0.02 mSv/h。

## 操作程序

在两个地点采取的操作程序基本相同,差别很小,主要操作步骤如下:

将燃料组件一个一个地从现有贮存地转移到清洗站。首先用带有电缆的抓取工具将燃料组件从其贮存处吊入传输容器。然后关闭传输容器底部球闸门,将容器吊起,运到清洗站,并放到清洗站正上方的连接头上。重新打开底部球闸门,将燃料组件放入清洗工具里。燃料组件一旦准确就位,就远距离松开抓手并让它退回传输容器。关闭球闸门并运走传输容器。

每个燃料组件首先要用高压水冲洗,以除去燃料组件里面的碎石和碎屑。为此,必须让燃料组件头朝下,让高压水流通过燃料组件底端接头进入。然后将燃料组件恢复到原来的位置并进行目检。如果必要,应再次进行清洗。

随后是借助传输容器将清洗过的组件装入运输容器。传输容器一旦装入燃料组件和关闭,就被吊起并运到装运区,放在位于运输容器正上方的连接头平板上。然后打开底部球闸门和连接头平板屏蔽阀,将燃料组件放入运输容器内。组件一旦准确就位,就远距离松开抓手并让它退回传输容器。关闭传输容器球闸门和连接头平板屏蔽阀,运走传输容器。

上述操作需不断重复,直到整个运输容器完全装满(实际做法是让清洗过的组件临时贮存在清洗站,以便贮存罐和清洗站之间的运输能连续进行)。接着将运输容器转移到去污区,清洗到所要求的运输水平。

然后将运输容器旋转到水平位置,装上防冲击器件,固定在 ISO 集装箱中。进行最后的辐射检查,以证实符合 IAEA 的要求和已加了安全保障封记。

每次运输,四个运输集装箱都是这样准备的,然后护送到哈巴尼亚机场,在那里装上安东诺夫-124型飞机运往俄罗斯。

### 安全考虑

囿于当时的条件,这一行动开始以前,从安全角度看,这两个地点的状况都不能说是正常的。

在IRT反应堆处,到处都是乱石。残留的建筑物随时有倒塌的危险。不过,辐射水平较低。

地点B的情况截然不同。尽管总的辐射水平较低,只有 $10-30 \mu\text{Sv/h}$ (相当于控制区的正常水平),但是每个贮存罐顶部的剂量率相当高,而工人将必须在那里工作。这种剂量率与燃料组件上方的水位关系极大。(先前的视察期间记录到的辐射水平最高达到 $10 \text{ mSv/h}$ 。)此外,为了人工进行组件的初步清洗,要求移走上面较小的那块水泥屏蔽板。这就会使工人受到不可接受的辐射照射(那怕时间很短)。在有些情况下,辐射水平高达 $1 \text{ Sv/h}$ ( $100 \text{ rem/h}$ )。

因此,在实际的转移工作开始以前,需要做大量的准备工作。此类工作包括:向该地供水供电,建立办公与设备用房,以及加固地面使之能接纳重型承重设备。

### 辐射防护措施

从辐射防护角度看,比较重要的问题是要为贮存罐准备额外的水泥屏蔽。这种屏蔽由两个水泥框架组成( $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ ,  $80 \text{ cm}$ 宽, $60-77.5 \text{ cm}$ 高)。水泥框架设计成能使两者摞在一起,完全围住每个罐子。

此外还要准备两块大的水泥盖板。在每块板的中央有一个大小适中的孔,或用于人工清洗组件,或用于接受铅准直器,传输容器将坐在这个铅准直器上。这样的额外屏蔽足以将辐射照射减少到可接受的水平,即工作位置处低于 $0.2 \text{ mSv/h}$ ( $20 \text{ mrem/h}$ ),加屏蔽后的罐子周围低于 $0.02$

$\text{mSv/h}$ ( $2 \text{ mrem/h}$ )。

同时有两个贮存罐加上屏蔽,目的是使起重机的作业优化。在开始转移辐照燃料以前,总要核对一下辐射水平,并根据需要给罐子加水。此外,为控制裂变产物可能造成的水污染,要从罐中取一些水样,以便及早探知燃料包壳的完整性已破坏。利用 $\gamma$ 谱仪进行的分析工作,是由伊拉克的保健物理人员进行的。

为了监测个人的受照射情况,每个工作人员必须配备:

- 热释光剂量计(TLD),每次运输开始时(1993年10月和1994年1月)分发,结束时(1993年12月和1994年2月)读出;

- 电子个人剂量计(EPD),每个工作日结束时读出。

此外,专门为此目的编写了记录剂量数据的计算机程序,每天在现场利用它输入数据。

整个转移行动分两次进行:1993年10月6日—12月12日和1994年1月6日—2月12日。每次两个地点都有一些活动。

总共有170人参加了这一工作。集体剂量总共为 $0.11 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ ,人均剂量为 $0.66 \text{ mSv}$ 。最高个人剂量是 $8.5 \text{ mSv}$ ,大约是年剂量限值的17%。

### 共同的努力

将辐照燃料从伊拉克空运走这一工作——一次空前的行动——如期进行,没有发生什么大问题。个人辐射照射量做到了合理地低,远低于原先针对这项困难的行动所作过的预测。这证明各方在准备工作方面配合得较好,参加此次行动的人员水平都较高。

这些乏燃料装上安东诺夫-124型飞机后直接从伊拉克飞往俄罗斯的叶卡捷琳堡。再从那里转运到车里雅宾斯克的后处理厂。在车里雅宾斯克稀释成低浓铀后,所得核材料将在IAEA的监督下出售,供和平核活动使用。 □