

各国报告

印度的政策和实践

规划和计划的技术概述

N.S. Sunder Rajan

印度核计划设想了一个基于本国资源的完全自立的燃料循环。从这个计划一开始，便有必要对燃料循环各阶段，即采矿、水冶、燃料制造、反应堆运行和乏燃料后处理中产生的放射性废物的潜在危害进行评价。重点放在了解放射性废物向环境排放的影响，以及发展有效地隔离和封闭放射性废物的工艺方面。几十年的经验证明，目前的做法是安全的。

然而，仍在不断努力采用新工艺，以进一步限制放射性核素释放。印度在实施核电计划之前，在核科技各领域已进行了十多年的基础研究和发发展工作。现在，已为促进全国性放射性废物管理政策的制订，进行着大量的研究工作。

政策和目标

在放射性废物管理方面，显然只有两种选择：要末把废物置于控制之下，要末把它们释放使其不再受控制。但是，正如大家所知道的，这种表面看来简单的选择，实际上是一件很难办的事，因为作出任何决定都会在经济、社会等方面产生深远的影响。

原则上，印度计划设想了放射性废物的两种明显不同的最终处置方式：低中放废物（LILW）浅地层长期工程贮存； α 放射性废物和高放废物（HLW）深地质处置。尽管其它方案（如中放废物的中等深度地下贮存）正在研究之中，但目前的战略不包括这些处置方式。

印度的未来计划主要涉及高放废物和 α 废物。一个值得注意的问题是开发一些用于高放废物固化，特别是能使固化产物在辐射和时效方面有长期稳定性的更好基体材料。另一个值得注意的问题是发展技术上

和经济上可行的处理高放废物中的 α 放射性核素的工艺。在不久的将来，印度开始实施快堆计划时，这项工作将具有重大意义。

今后，还将用现场实验数据进行论证，以便使人们对高放玻璃固化产品深地质处置建立充分的信心。关于低中放废物的管理，已取得很好的经验。预计，即将生效的高放废物管理方案，也将是朝印度目标的实现迈进一步。

管理政策

印度管理政策的要点是：

- 凡向环境排放放射性废液或放射性废气均应遵循辐射防护ALARA原则，即考虑经济社会因素后可合理做到的尽可能低的原则。
- 已调整的原始固体废物，以及对来自反应堆运行和研究实验室的废液进行调整而形成的废物产物，都应贮存存在专门为此目的而建造的浅地层设施里。已调整

塔拉普尔固体废物管理设施钢衬里的混凝土“砖井”
(来源：巴巴原子能研究中心)



Rajan 先生是印度特朗贝巴巴原子能研究中心废物管理部主任。

的低中放废物以及后处理厂运行中产生的少量 α 污染废物,也可贮存在这类设施里。

·后处理厂的高放废液在调整前,先临时贮存在具有高度整体性的地下不锈钢罐里。经玻璃固化后,再临时贮存在浅地层的工程设施里。这种临时贮存可使废物减少发热量,也有助于这些固化废物在运往和安置在中心处置库以前的质量保证。

·已调整的高放废物和 α 废物,将处置于适当深的地质建造中的一个中心处置库。

采矿和水冶过程的废物

印度的矿石一般含有约0.1%的八氧化三铀(U_3O_8),用常规方法开采。为了防止过量照射,采用湿法开采和适当通风。铀回收过程中产生的“贫溶液”用石灰和重晶石处理,以沉淀镭和铀的其它子体产物。这些处理后的“贫溶液”和尾矿一起处置在尾矿坝内,尾矿坝能使它们自然沉降。为保证尾矿坝溢流液中的镭、锰等其它核素浓度低于容许值,要对尾矿坝溢流液进行监测。

反应堆运行和后处理中产生的低中放废物

在反应堆运行中,从放射性废物管理角度看,主要应注意的是被活化、腐蚀和裂变的产物污染的冷却剂。冷却剂中重要的放射性核素有裂变产物铯-137、锶-90和碘-131,以及腐蚀和活化产物钴、铁、镍和铬。

低放废液用化学法、离子交换法和蒸发法处理。通常,这些废物经化学预处理,以便将其调节到适当的pH值。然后,将磷酸盐、亚铁氰化物、铁离子等化学品加入一个搅拌剧烈的混合器内。接着,在沉淀-澄清器和泥浆过滤床内,进行液固分离。总的去污因子可达200。

另一种方法,是利用离子交换技术使废液中的某些特殊放射性核素滞留下来。非再生柱和原地作业中,广泛采用蛭石、班脱岩等离子交换剂。合成离子交换剂具有再生性质和较高的交换容量,也可用作一种去污手段。

后处理厂的中放废液包括溶剂洗涤废液蒸发后得到的化学浓缩物和工艺用水去污操作中产生的泥浆。

蒸汽蒸发用作比活度较高废液的一个浓缩工序。配有特制遥控部件的自然循环型蒸发器可使废物大大减容。已达到的去污因子约为 10^6 。

为了继续使放射性向环境的排放限制在尽可能低的程度,拉贾斯坦核电站的非沸腾太阳能蒸发设施已取得很高的减容效果(实际上是零排放)。该设施所在地有良好的气候条件,如气温高、湿度低、风速大

等,这些都是这类设施所需要的。

固化废物

放射性废物浓缩物调整操作的标准,一般取决于废物的放射性浓度、它们与固化介质的相容性和已调整废物计划长期贮存/处置的环境条件。水泥、沥青和合成聚合物等基体物质,正在用于低中放浓缩物的固化。

·水泥。价格低,工艺简单,因此水泥及其混合物符合较低水平放射性废物浓缩物的固化基体规范要求。然而,由于它的多孔性,要求使用某些添加剂,主要作活性孔隙的填充剂以改善其耐久性。

·沥青。沥青已用于固化中放废物,因为它能够处理含高百分比溶解的和悬浮的固体的废水,适合于半连续工艺;易于远距离操作。考虑到当地可获得的沥青的特性,产品中盐含量最高允许50%。在这种废盐含量和放射性范围内,产品的辐解预计在长期贮存中微不足道。

塔拉普尔沥青固化工厂的设计能力为每小时处理中放废液120升。使用了一些专门设计的、用高温循环流体由外部加热的搅拌薄膜蒸发器,以达到蒸发和混合双重目的。最终产物从靠近蒸发器底部处排入常规钢桶里。该工艺是半连续性的,每年产生约1000桶沥青固化废物。桶装固化废物贮存在地下钢衬混凝土“砖井”里。

·聚合物基体。聚合物基体(浸渍吸附剂)用来固化某些燃料后处理中产生的低释热废物。在该系统中,蛭石粉用作吸附特定放射性核素的吸附剂。在常温常压下进行催化固化,使吸附了放射性核素的蛭石固化于不饱和聚酯-苯乙烯树脂中,形成均匀性和化学耐久性良好的整块产品。废物含量可达50%(体积)。到目前为止,总放射性活度约为100万居里,体积约为250000升的这类废物,已成功地固化于这种聚合物基体中。

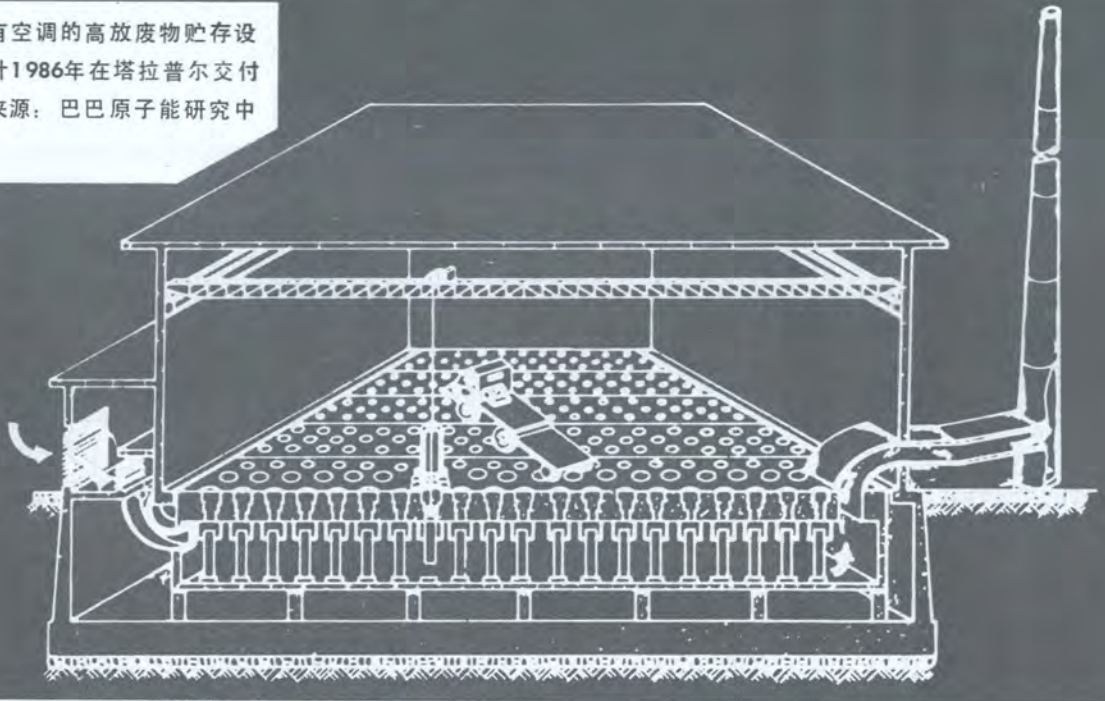
高放废物

目前,燃料后处理厂的高放废液贮存在具有高度整体性的不锈钢罐内。这些罐子放置在加不锈钢衬里的地下室内,钢衬起到二次封闭和生物屏蔽作用。已制订了一个管理这类废物的三阶段计划:(1)将废物氧化物固化在固体基体中;(2)固化废物工程贮存约25年;(3)处置固化废物。

基于技术上和经济上的考虑,打算规定在后处理厂用临时贮存罐贮存废液约3至5年。

对于高放废物氧化物的固化来说,玻璃和其它陶瓷基体能满足各种性能要求。硼硅酸盐玻璃作基体的

此图为有空调的高放废物贮存设施，预计1986年在塔拉普尔交付使用（来源：巴巴原子能研究中心）



优点是耐浸性良好，辐射和热稳定性高，机械强度高以及便于装卸和运输。

塔拉普尔废物固化工厂

在塔拉普尔，第一座高放废物固化工厂（WIP）是在已开发的熔融基体的工艺基础上运行的。该厂利用硼硅酸盐基体固化废物氧化物，采用半连续“罐式玻璃”工艺。该工艺包括在处理容器内煅烧和随后进行熔制等工序之后，将玻璃浇入贮存容器内。设备布局设计有助于放射性的隔离，使工厂各工段设备便于机械化维修或较少机械化维修。

最近已着手一个项目，即在特朗贝建一座废物固化工厂。尽管所采用的基本工艺流程与塔拉普尔工厂相似，但对熔炉部件等设备作了较大修改。该厂预计1990年投入运行。在卡尔帕卡姆的另一座固化工厂正处在计划阶段，预计1993年投入运行。该厂计划建立一套处理快中子增殖试验堆燃料后处理产生的废物的装置。

高放废物固体中间贮存

已充分认识到，已调整的高放废物中间贮存需要置于不断的监视下。在各种可供选择的冷却方案中，为塔拉普尔固体贮存监视设施（SSSF）选择了空气冷却系统（烟囱自然通风）。该设施将在1986年投入运行，可满足25年内来自塔拉普尔废物固化工厂和特朗贝固化工厂已调整废物贮存的需要。在贮存期间，可进行

连续监视、冷却和监测。

固体贮存监视设施的基本设计目标，是保证产品和容器在整个贮存时间的完整性；保证在连续冷却下贮存以移出衰变热；保证废物容器在所有条件下均可回收。冷却系统利用衰变热和一个设计适当的烟囱，来加速地下贮存室空气的流动。这是一个自调节系统，能补偿热负载和气候条件的变化。

处置：短寿命废物

目前看来，放射性废物的地下隔离是最可行的处置方案。已包装和调整的低放废物和短寿命废物经接收转运后送入建在浅地层的处置库里处置。在实现环境安全和作业安全的总目标过程中，印度经验表明，在实践中一定要在浅地层处置库的设计、选址和运行方面采用一种总的系统方法。

印度处置库一般采用的处置仓是钢筋混凝土槽沟和钢衬里混凝土砖井。由于印度各浅地层处置场地的水文地质条件不同，有必要研究那些可能影响处置库场地的开发和设计的各种特点。

在多年经验基础上，已对浅地层处置库设计和改进概念作过扎实的评价。印度现在的设计和早期设计的主要差别是，在处置库操作区和其边界之间建立适当的缓冲区，甚至在设计阶段就已考虑使行政和后勤设施与处置库操作区完全隔离；考虑了废物的分类，必要时的废物重新包装或加外包装可能要用的设施；提供去污所需的场地和设备。为了保持这些设施的完整性和进行定期检查，必须实施运行后监测和其它规

定的控制措施。

处置：长寿命废物

高放废物和 α 废物中所含的超铀元素能够在长时期内造成危害。尽管对各种工程方案作了研究，并且有许多可能方案可供使用，但深地层处置是一种受到好几个国家广泛关注的方案。在印度，地层选择仅限于火成岩建造和选定的一些沉积层。有些地质建造，特别是南部半岛中的一些地质建造适用于长期贮存，甚至高放废物的处置。

当前印度的计划，是考虑在半岛上的大块均匀片麻岩和花岗岩建造中为处置库候选场址进行选择调查。因此，在靠近班加罗尔的科拉尔地区一个地下矿的未开采区域建了一个实验研究站。研究站正在针对这些地质建造用于建造最终处置库的适宜性，开展研究工作。已开始了检验基岩在模拟条件下的热学、力学、水文学和化学性质的现场实验。

安全分析

处置库将处置的废物的种类和数量的确定，要根据有关容许辐射剂量标准、处置库防护屏障以及工程因素来确定。因为涉及到很长的时间，这些处置库址的特性至多不过是可以预测的。评价工作包括对一些基岩介质、周围水文地质学以及废物与岩石的相互作用的鉴定。浅地层处置库的安全分析，主要包括预测事故性释放后放射性核素的时空分布。

印度废物产生量估计

按印度的规划到2000年核电可达10000兆瓦，这期间所产生的放射性废物的大部分是原始固体废物和低放废物浓缩物。这些废物有：污染的工艺设备，防护衣具，用过的微粒过滤器，浓缩沉淀物以及来自低放废液处理厂的泥浆。产生的中放和高放废物量不大，但大部分放射性包含在其中。

	1985	2000
装机容量（兆瓦电）	1350	10000
原始固体废物*（立方米）	1850	107000
低放废物浓缩物（立方米）	3000	77100
中放废物（立方米）	800	19900
高放废物（立方米）	450	8000

* 高到 10^4 伦琴/小时。

