

# 乏燃料贮存的经济性

## 介绍国际原子能机构开发的费用分析方法

José L. Rojas de Diego

在核燃料循环的后段，目前存在着三种不同的战略：包括乏燃料最终处置在内的一次通过式循环；乏燃料先暂时存起来、将来有条件时回收或作最终贮存的开式循环；对乏燃料进行后处理、回收的铀和钚被返回利用的闭式循环。

尽管最终处置至今还没有人实际示范过，但乏燃料贮存在概念上分为中间贮存和最终贮存两种。今后30—50年内，在已经选定最终贮存战略的国家里一定会兴建最终贮存设施。因此，允许将来回收的乏燃料中间贮存，是许多决策过程需要考虑的一种非常重要的战略。

本文的主要目的是，首先介绍国际原子能机构(IAEA)开发的用于计算与贮存有关的各种费用的基本方法，并对各种费用进行适当的分析，然后简短地讨论一下各种乏燃料贮存方案的经济性。\* 特别是，将讨论贮存数量、贮存周期、贮存方法、筹资办法，以及从乏燃料贮存设施的规划、建造直至退役的整个过程对经济性的影响。

考虑一切可能的技术特性。

为了严谨地计算费用，首先必须认识到某些基本参数对可能存在的一切贮存方案都有影响，因为它们极大地影响贮存设施的设计。这些参数包括待贮存燃料的数量(贮存容量)、计划的使用时间表、贮存周期、回收时间表及乏燃料特性。

贮存设施的各种费用可以按照费用类别和费用构成部分来分类。费用类别包括初始开发费、投资费、运行费、后续开发费、运输费和退役费。每一类别内又有各种构成部分，这些构成部分应明确划定，以便获得正确的费用计算结果。例如，在投资费中，最重要的构成部分包括土地征用、场地准备、设计和工程、建造和施工、工艺设备、仪表设备及调试。在运行费中，必须考虑的构成部分包括劳力、器材、服务、能源、维修、废物的形态调整和处置、税率和保险，以及质量保证。在初始开发费中，一个重要的构成部分是许可证申请费和审管费，如果审管部门继之要求每年缴费，则此类费用也将影响到运行费。

### 计算费用的若干考虑

贮存总费用的计算必须以对需贮存燃料的种类和所选择的贮存方案的详细技术评估为基础，评估时要

Rojas de Diego 先生是 IAEA 核燃料循环和废物管理处职员。

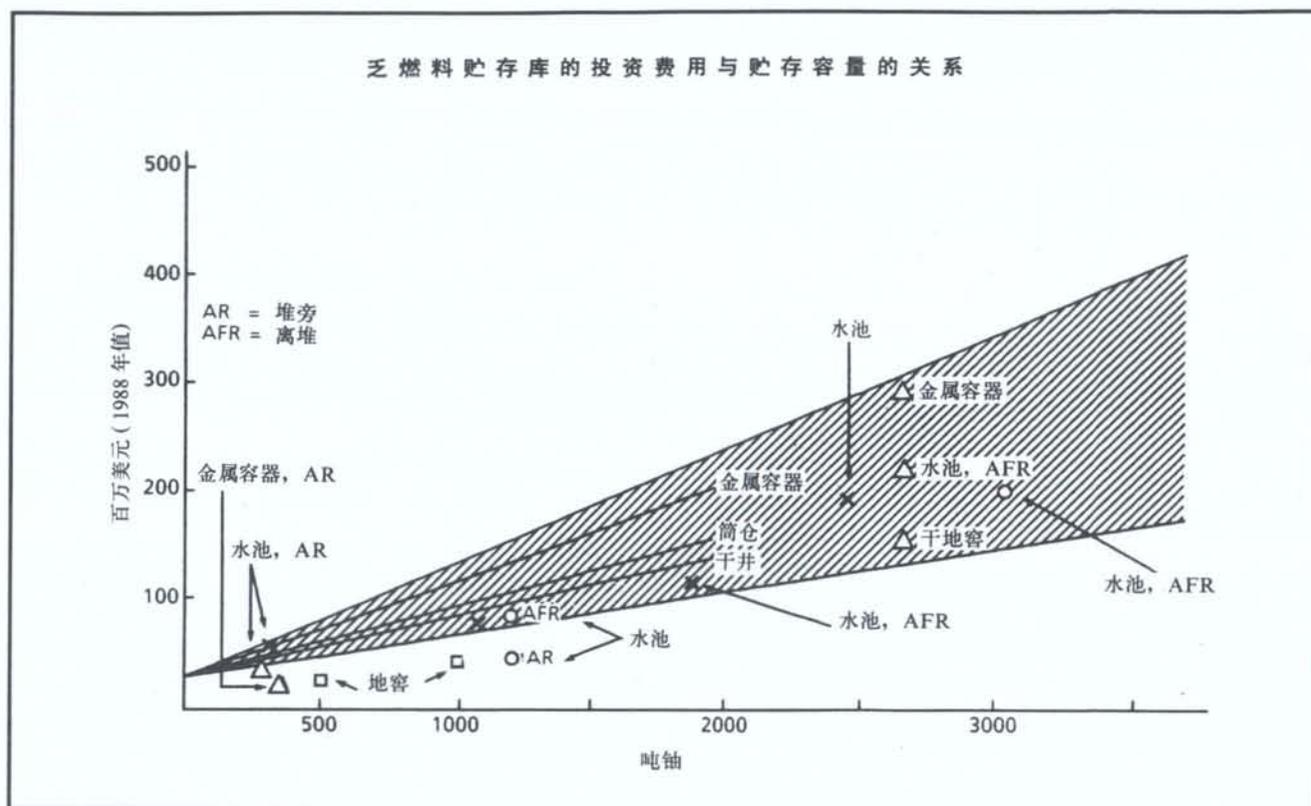
\* IAEA 正在编写一篇供发表的技术报告——*Methodology on Economics of Spent Fuel Storage*，该报告的内容较本文更为全面。

### 费用分析

一旦各种费用构成部分和费用类别已经确定并已计算出来，需要从经济角度作出适当选择时，就有必要利用经济分析方法妥善地将各种费用汇总。未来按时间序列发生的一切费用，可以用一个称作“净现值”(NPV)的值代表。这样一来，如果有许多种方案，那么净现值最低的方案就是最经济的方案。

将所有费用贴现到同一日期，或将合适的贴现率用于历年的费用(每年的现金流量)，就能获得 NPV。

乏燃料贮存库的投资费用与贮存容量的关系



### 不同费用类别的相关性

在分析乏燃料贮存的经济性时，人们很难从研究过的差别很大的实例（IAEA 已研究过 300 多篇参考文献）中得出结论或找出相关性，而且存在种种不确定性。在这里简要报道的这项分析中，讨论了最重要的几种费用类别同乏燃料贮存的最重要变量——贮存容量——的关系。

投资费用。不同的总投资费用，已尽量用相同的贴现率贴现成同一年份（1988 年）的值，并已被绘成与贮存容量的关系图，投资费用以百万美元计，容量则以吨铀为单位。尽管被研究过的实例有很大的不确定性和差异性，但贴现后的所有投资费用都落入图中的特定区域内。（见上图。）

这个区域夹在两条直线之间，上界对应于金属容器，下界对应于反应堆旁（AR）的贮存池和干井。虽然这两条直线没有任何具体的经济含义，但还是可以根据它们粗略地估计出给定贮存容量的最大和最小投资费用。

运行费用。通常在贮存设施建成并投入运行后才发生运行费。燃料贮存前的开支主要是将燃料从核动力厂运到贮存设施的费用。燃料贮存期间的开支起因

于前面提到的各项构成部分。在贮存设施使用期结束时，必须为燃料的最终处理（后处理或处置）支付新的运费。

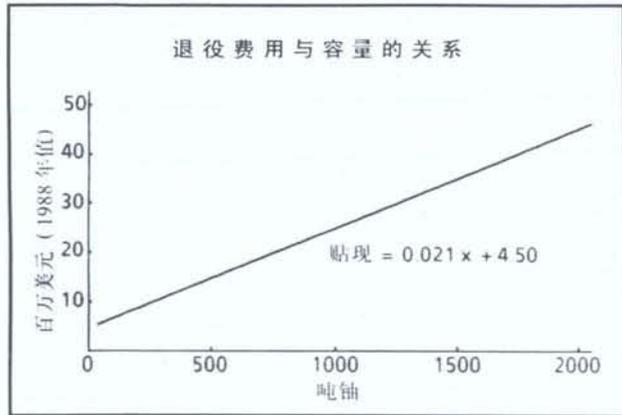
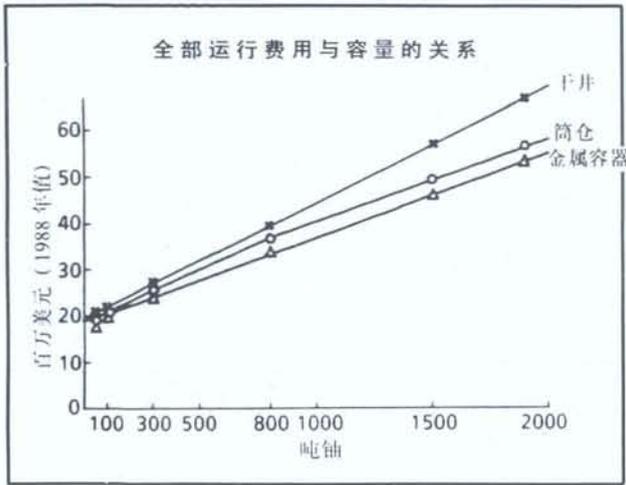
在燃料最终运走后，设施必须退役，在某些实例中，这笔退役费被计入运行费中。

贮存设施的容量是运行费中一个非常重要的因素，选定的贮存方案则是影响运行费的一个决定性因素。

研究过的各种实例的运行费用都用与贮存容量的关系表示。为了求得总的运行费用，先将该设施使用期内历年的运行费用贴现到 1988 年，然后相加。为了算出比运行费，需要让总运行费用除以贮存库的容量，或者更为恰当的说法是将这些费用“均摊”。（见 36 页上图）。这样处理后，可看出干井的值最高，金属容器式贮存模件的值最低。

退役费用。这类费用通常是在设施使用期终了时发生的，它随贮存容量和退役方式（立即拆除、封存或封固）而变化。

退役费用尽管也许相当可观，但如果在计算时采用实际利率，则只占贴现后总费用的很小一部分，因为所涉及的钱要在设施启用后很多年才花。当然，可取的做法是比较未经贴现的费用。它们随贮存设施



的规模而异，并且明显地遵循线性规律。(见左下图。)

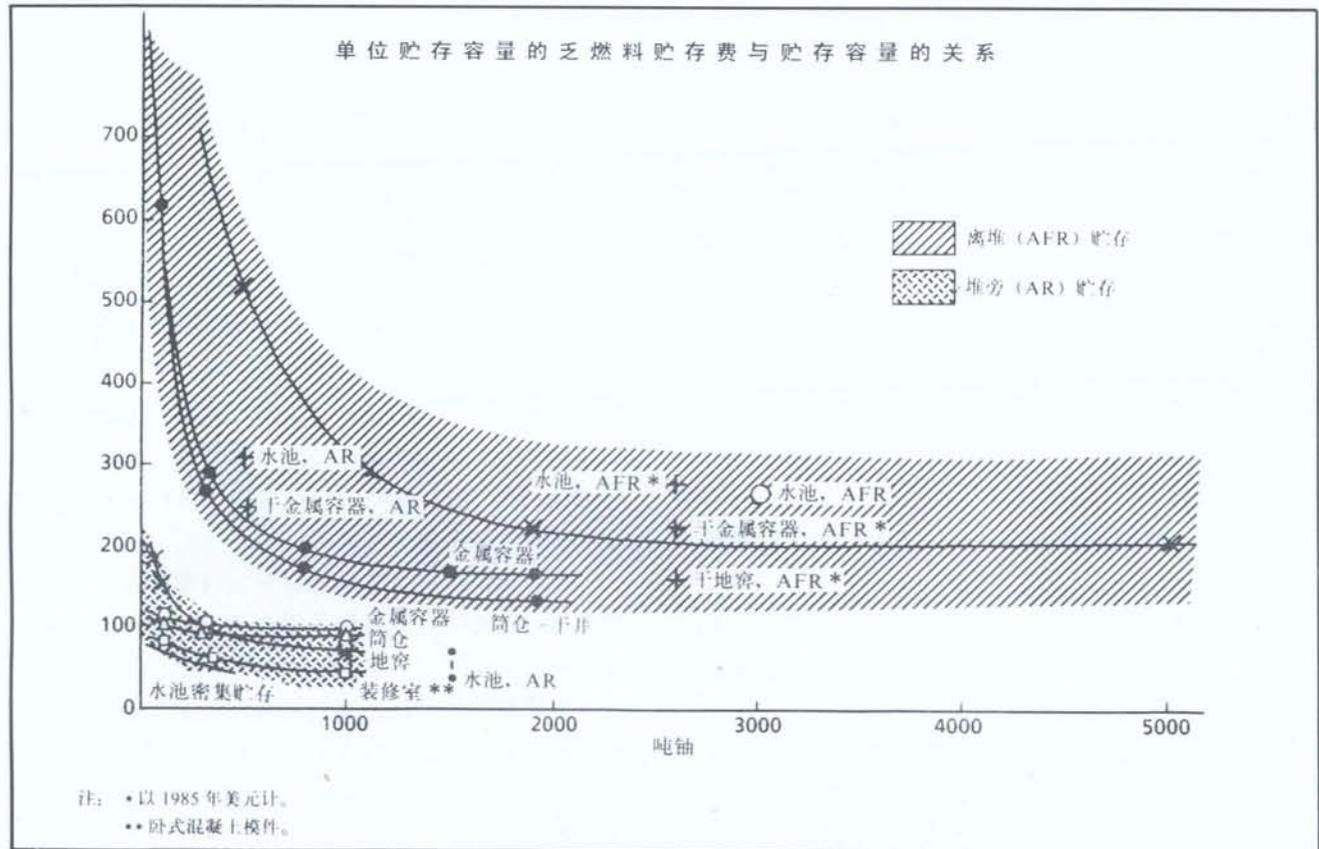
### 单位贮存容量的费用

到现在为止，本文只用到了费用及其 NPV 两个概念。每当这些费用必须靠收入来收回时（在乏燃料贮存这种情况下确实如此），回收期间收入的 NPV 应等于费用的 NPV。

收入可以靠多种方式获得：动用预付款项、逐年收费或收货时收款。对于每种付款方式，必须推求出收入的 NPV，并使其等于费用的 NPV。然后就可以求得单位贮存容量的费用（LUC）。

鉴于普遍存在的不确定性会影响到各类费用的估计值，为了使 LUC 的相关性有一定的可靠性，有三点需要注意：（1）在任何情况下，LUC 都必须以同一年份的款项表示，在本文中以 1988 年为准；（2）若贮存容量给定，则装料速率（以吨铀/年计）也必须彼此极为相似；（3）计算 LUC 用的贴现率在任何情况下都必须相同。

在本文介绍的这项分析中，从研究过的许多文献



中摘录和整理出的各种实例的 LUC，都用与贮存容量的关系表示。研究了干湿两种贮存法的情况，还研究了其他的某些变量，例如贴现率、装料速率和设施的使用期等。（见上页下图。）

### 资金筹措

为选定的乏燃料贮存方案筹措资金的方法很多。选择筹资方法时必须考虑该贮存设施的建造、使用和退役期间必须支付的全部款项，还必须考虑到设施所有者将来获得这些钱的方式。

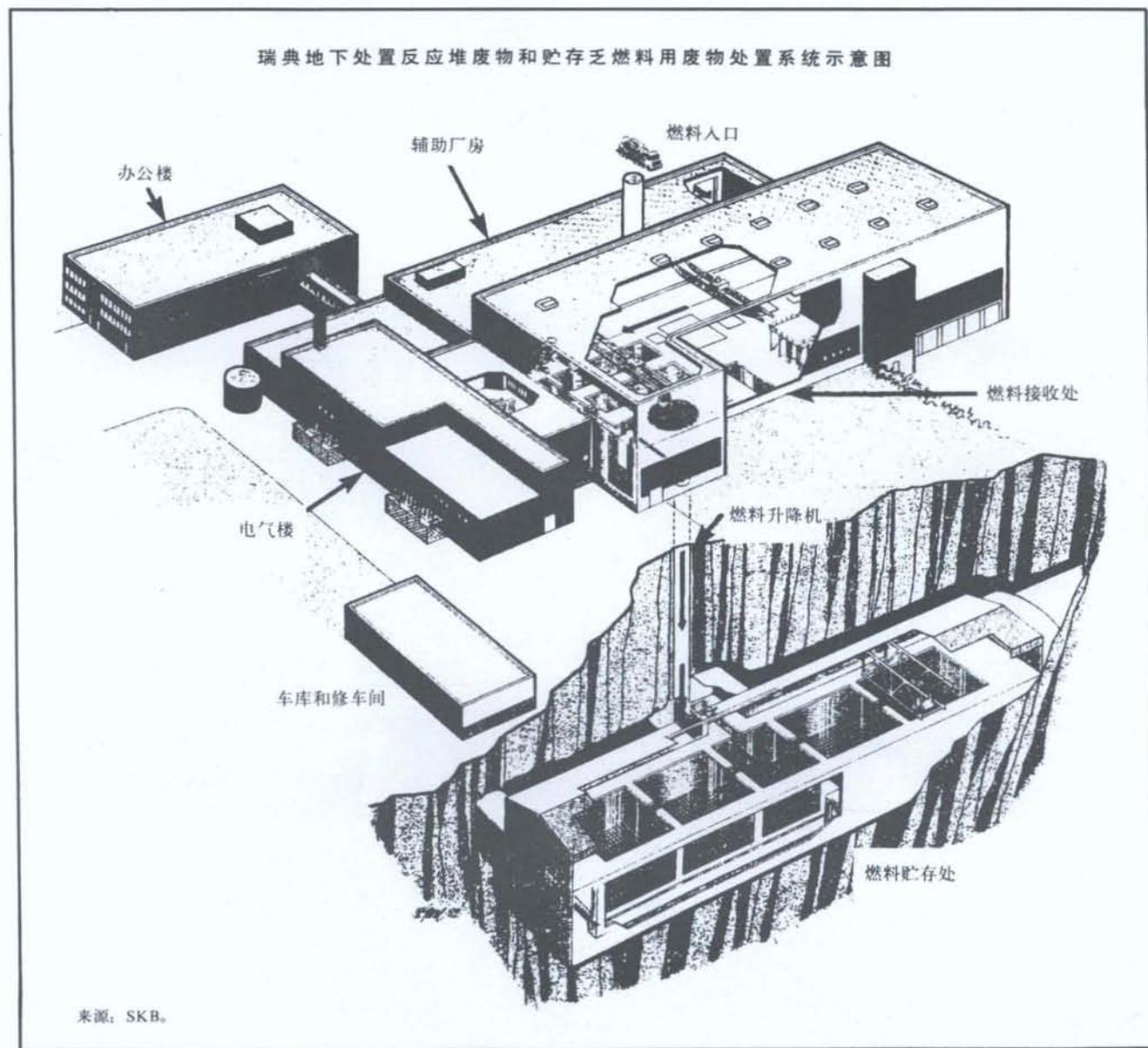
资金筹措方法的不同是因为贮存设施所有权的类型不同（例如，电力公司独家所有还是独立的服务机

构所有）。在第一种情况下，贮存容量的扩大可用类似于核电站建造和运行时所用的方式筹资，即通过提高电价从消费者那里收回这部分费用。对收回的这部分基金的管理因国家而异。

当贮存设施为独立机构所有和运营时，情况稍有不同。该机构可以要求按合同规定付款，包括当场收费和（或）预付款，以便在政府监督下偿还各项费用。政府甚至可以从法律上要求建立专门基金，以偿还贮存费用和随后的最终管理费。

### 结论

根据本文所述的各种概念，可以得出两类结论。



每一类结论对决策过程都会有参考价值。

一般性结论:

- 必须根据每个国家的核动力计划, 纯粹从战略的角度选择堆旁 (AR) 贮存方案或离堆 (AFR) 贮存方案。

- 对于核动力计划的规模较小因而贮存容量低于 300 吨铀的国家, AFR 方案是不合适的, 因为费用极高, 每公斤铀需要 300 美元以上。

- 对于核动力计划的规模较大因而贮存容量超过 1000 吨铀的国家, AR 方案或许是不合适的。

- AR 方案的费用低于 AFR 方案。然而, 还必

须考虑贮存乏燃料方面的其他要求。

特殊的结论:

- 将燃料密集地存于现有水池中 (重新制作贮存架和按两层堆放), 是 AR 方案中最省钱的解决办法, 但贮存容量受到限制 (低于 300 吨铀)。必须记住, 反应堆水池是为反应堆运行服务的, 不是为长期贮存大量乏燃料用的。

- 在 AFR 方案中, 湿式贮存技术的费用高于干式贮存。

- 干式贮存方案提供了使用模块式设计的可能, 这对经费的筹措是有利的。

瑞典乏燃料贮存设施接收大厅正在吊运乏燃料金属容器。(来源: CLAB)

