

核设施退役的政策与系统分析

顾建德

(核物理与化学研究所 成都 610003)

摘要 在引入核设施退役基本概念的基础上,从政策科学的角度,分析了我国当前核退役工作中存在于政策、管理和程序方面的问题.根据退役的物理过程,研究了退役工程经济,导出了经费估计方法和公式,指出必须根据辐射防护最优化的原则,对退役工程作代价利益分析,才能作出相应的决策.

关键词 退役, 系统分析, 核设施.

1 核设施退役政策

我国从50年代起建设核工业,至今不少核设施已处于超期服役的状态,第一代核设施已进入陆续关停和退役阶段. CAEP 核物理与化学研究所有一批核设施已经关停,正在做核设施退役的前期准备工作.

世界上先进国家的退役活动早在10多年前就开始了,他们积累了一些经验,制定了一些政策,但尚不完善.

根据退役工作遇到的困难和情况,我们认为存在如下的政策问题:(1)核设施退役决不是核设施寿期到达后才出现的问题,而是核设施从设计、建造、运行到关闭整个过程都涉及到的问题.目前尚无适应此目的之法规体系,也无时间限制,只有美国核管会规定:“核设施预期寿期终止前5年左右管运单位就应向国家管理部门提交退役计划”.(2)退役是一项复杂的“社会工程”和复杂的技术工程,应当明确管理机构与工作程序,也应当明确审评和技术咨询的专家机构,申报的步骤和技术文件范围等.(3)当前在我国退役经费是国家专项拨款,这样做不合适,应当将退役费用分摊入服务成本,由企业计入商业成本之中.(4)缺乏退役使用的各种技术标准,尤其缺乏容许剩余放射性的控制水平(ARCL).如环境土壤中的 ARCL,对 ^{238}U ,我国不同退役项目已经使用过从 0.8Bq/g 到 4Bq/g 范围的标准,大小相差5倍,宽严不一,容易造成人力财力的浪费.

2 核设施退役的系统分析

系统工程方法是研究一切复杂系统的有力工具,所以利用系统工程观点来研究退役工程是十分有益的.

2.1 退役系统工程与管理

退役工程是人、设备和过程的有序组合,它们相互作用去完成一个共同的统一目的.所以被认为是一个系统,也是一个过程.图1表示了当前中物院实际的核设施退役管理系统.

2.2 退役工程经济

如何估算一项工程的费用,又如何评价项目的费用,是工程经济学中要考虑的问题.退役与一般工程经济不同,无法考虑利润,只能作代价利益的相关分析.

首先进行退役工程的成本分析,退役成本必须计入如下诸项:

劳动力成本与价格

考虑当前的实际情况,退役过程可使用4种劳动力:(1)具有高级职称的科技人员,他们负责退役中技术问题和项目管理;(2)具有中级职称的工程师,他们管理技术工人实施放射性作业;(3)熟练的放射性作业和监测操作工人;(4)从事搬运和挖掘等体力活动和后勤保障的工人.四种劳动力价格以他们每年的工资计,分别用 a_i 表示, $i=1,2,3,4$.工作人员的劳保保健、体检、出差补助等各类补贴用 m 表示,参考当前人员工资情况,则有

$$a_i = W(\text{工资}) + m(\text{补贴})$$

$$a_3 = 1.5W + m$$

$$a_2 = 2W + m$$

$$a_1 = 2.5W + m$$

设 n_i 为 i 类人员数量, 则完成退役的劳动成本为

$$A(\text{¥}/a) = \sum n_i(a_i + m) \quad (1)$$

放射性废物处理、处置成本

为了说明放射性废物按比活度分类的定义, 我们画出图 2. 大于 $7.4 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 的固体废物, 为低放(以上)废物, 必须以放射性废物处治要求对待. 小于 $0.1 \sim 1 \text{Bq/g}$ (核素不同) 的为豁免固体废物, 可作为非放工业垃圾来对待. 介于两者之间的称为极低放废物. 对于极低放废物的处理, 一般使用就地填埋的方

法. 相对而言, 低放废物最终应送国家永久库贮放.

设 Φ_1 为低放废液产生量, Φ_2 为极低放固体废物产生量, Φ_3 为低放固体废物产生量, 单位均为 m^3/a . 设 b_1 为每 m^3 废液处理成固体废物所需的价格 ($\text{¥}/\text{m}^3$). 处理后成为固体废物的体积与原废液体积之比为 k_1 , 称为废液处理的体积缩减因子. b_2 为每 m^3 极低放废物填埋处理费用 ($\text{¥}/\text{m}^3$). b_3 为每 m^3 低放废物减容、包装、暂存的 处理费用 ($\text{¥}/\text{m}^3$), 固体废物处理后的体积缩减因子为 k_2 . b_4 为外运每 m^3 包装后的低放废物费用 ($\text{¥}/\text{m}^3$). b_5 为国家永久库每 m^3 废物收贮价格 ($\text{¥}/\text{m}^3$). 于是放射性废物处理、处置费用(2)式计算.

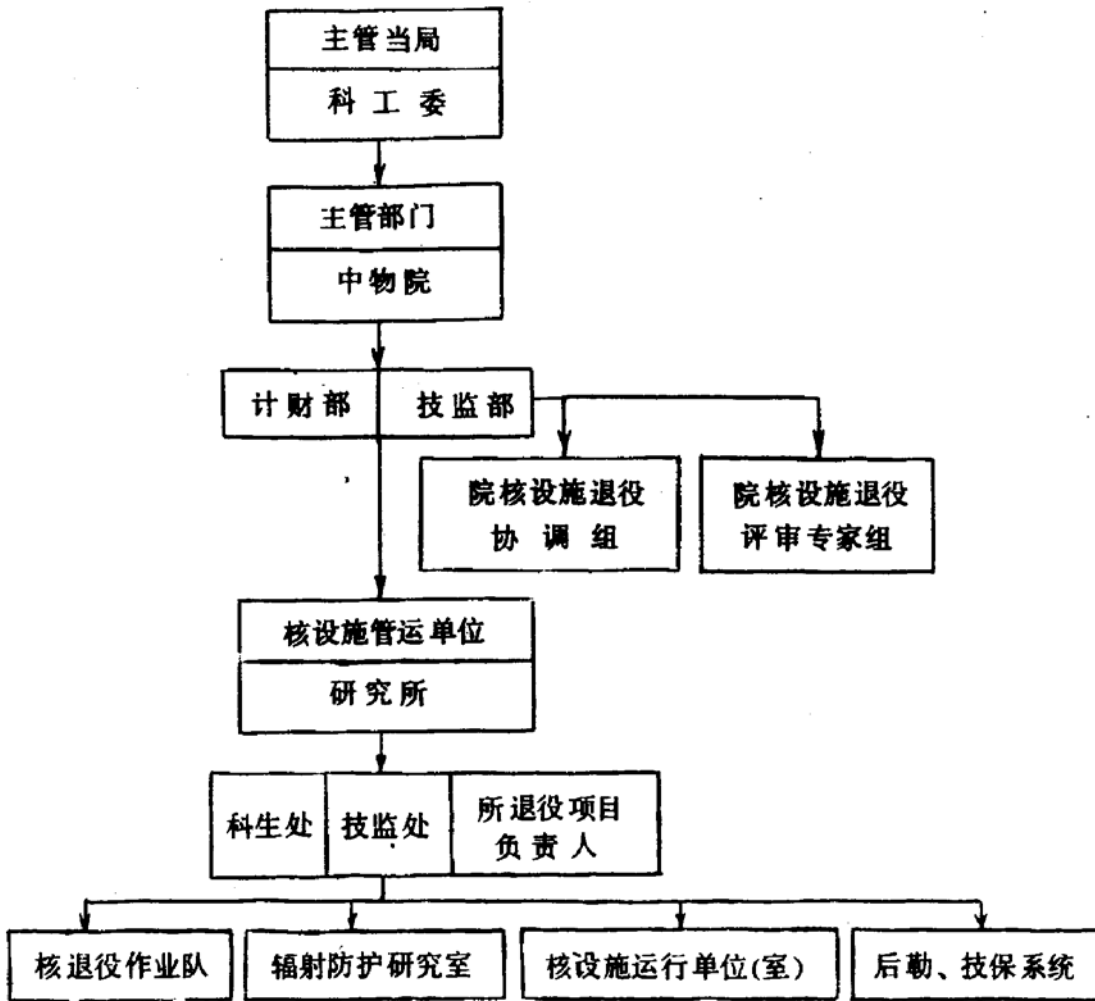


图1 核设施退役工程的管理、调度示意图

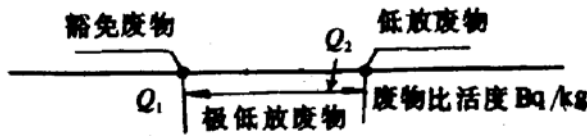


图2 放射性固体废物分类示意图

Q_1 为豁免值(比活度)0.1~1.0Bq/g

Q_2 为放射性废物标准(比活度)= 7.4×10^4 Bq/g=74Bq/g

$$B(\text{¥/a}) = b_1\Phi_1 + b_2\Phi_2 + (k_1\Phi_1 + k_2\Phi_3) \cdot (b_3 + b_4 + b_5) \quad (2)$$

放射性去污费用

去污经常使用化学去污方法,经常使用液态试剂,最后生成少量废液和固体废物.因此必须考虑二次废物的处理和费用问题.

设 N_D 为去污费用(不包括购置去污设备费,这将计入设备费), Q_D 为消耗所需的去污试剂数量, k_3 为试剂利用和生成废液份额. n_a 为试剂购买价格(¥/m³), n_l 为去污产生的废液处理和固化的价格(¥/m³). V_p 为去污产生的低放固体废物量(m³/a).引用废物处理费用中的量 k_1, k_2, b_3, b_4, b_5 ,于是去污费用为

$$N_D(\text{¥/a}) = Q_D n_a + k_3 Q_D n_l + [k_3 Q_D k_1 + V_p k_2] \cdot (b_3 + b_4 + b_5) \quad (3)$$

式中, $Q_D(m^3/a) = \sum C_i l_i$, C_i 为不同去污表面中第 i 种表面的每 m²作业(多次去污后达到表面污染控制水平)所需的试剂量(m³/m²); l_i 为第 i 种表面的表面积.

其它费用

这里涉及的还有二大类费用,一是设备(仪器、仪表)购买费用.因为退役实施和辐射监测等需要一定数量的设备和仪表.二是现场恢复费用,即在现场恢复供水和供电等条件,某些建筑物和环境条件的恢复等的花费.设备购置费(仅考虑固定资产拆归部分)为

$$D = \sum_i d_i q_i x_i / 100 \quad (4)$$

式中, D 为设备和仪表购置费(¥/a); d_i 为第 i 种设备或仪表单价(¥/set); q_i 为第 i 种设备或仪表的数量(set);

x_i 为第 i 种设备的年拆旧率(%).

$$E = \sum_i e_i \quad (5)$$

现场恢复费为 $E = \sum_i e_i$ (5) 式中, E 为现场条件恢复费用(¥/a); e_i 为某个项目 i 的单项费用(¥).综上所述,核设施退役的总成本(即年防护代价)为

$$X = A + B + N_D + D + E \quad (6)$$

2.3 代价利益(或效能)分析

一个核设施退役源项确定后,在所论问题中便是常量.因此,退役前对公众的集体剂量也确定了.环境放射性污染主要是土壤中残留的放射性,所以退役的恢复环境,简言之就是要清除超过 ARCL 的土壤.

设退役前的初态为0方案,相应应有年防护代价 $X_0=0$ (¥/a),和对公众的集体剂量当量 T_0 (人·Sv/a).同理对某个退役方案 i ,相应应有 X_i 和 T_i .假设某核素 P 在土壤中的剩余放射性控制水平(ARCL)为 Q_p (Bq/kg).同理0方案有土壤中剩余放射性污染水平 Q_0 和 i 方案清除后土壤中有剩余放射性水平 Q_i ,令 $Q_i = Q_p$,即清除达到了控制水平.又设土壤中每 Bq 某核素 P 对人造成的剂量转换因子为 F_p (人·Sv/Bq),这是可以具体计算的.令 $\gamma_i = Q_i/Q_0$, δ 为土壤清除的挖掘深度(m), ρ 为土壤密度(kg/m³), H 为土壤清除面积(m²), N 为与清除后土壤相关的照射人口数(人),则:

$$T_0 = Q_0 H \delta \rho N F_p \quad \text{人} \cdot \text{Sv/a} \quad (7)$$

$$T_i = Q_i H \delta \rho N F_p = \gamma_i Q_0 H \delta \rho N F_p = T_0 \gamma_i \quad (8)$$

$$\Delta T_i = T_i - T_j = T_0(\gamma_i - \gamma_j)$$

于是有

$$\frac{X_i}{T_i} = \frac{X_j}{T_j} \quad (9)$$

或

$$\frac{\Delta X_i}{\Delta T_i} = \frac{X_i - X_j}{T_0(\gamma_i - \gamma_j)} \quad (10)$$

这就是两种方案 i 与 j 选择比较的差分格式,以便我们进行方案选择.

根据公式(1)~(10),可得到如下结论:

- (1) 退役成本(年防护代价) X 与废物治理方案费用 B 和去污方案费用 N_D 有密切关系,即与废物产生量与原始污染水平有密切关系.

(2)方案选择的代价效能分析与退役的执行标准,特别与环境土壤中的 ARCL 有关系。

参 考 文 献

- 1 潘自强. 辐射防护, 1993, 13(3):161
- 2 陈 式. 辐射防护, 1993, 13(6):415
- 3 Ronald Kathren, et al. 辐射防护通讯, 1993, 1:1
- 4 夏益华. 辐射防护, 1994, 14(2):127
- 5 Elder H K, et al. Main Report, NUREG/CR-1266, 1980
- 6 IAEA. IAEA Safety Series, No. 74. Vienna, 1986
- 7 Severa Jan et al. Handbook of Radioactive Contamination and Decontamination, New York: Elsevier, 1991

Policy and Systems Analysis for Nuclear Installation Decommissioning

Gu Jiande

(*Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003*)

Abstract On the basis of introducing into principal concept for nuclear installation decommissioning, form policy, sciences point of view, we analyse present problems in the policy, the administrative and programme for decommissioning work in our country. According to the physical process of decommissioning, we studied engineering economics, derived method and formulas to estimate decommissioning cost. We point out that basing on optimization principle for radiation protection and analysing cost-benefit for decommissioning engineering, the corresponding policy decision can be just made.

Key Words decommissioning, systems analysis, nuclear installation.