

附件一：

核安全导则 HAD501/01

# 低浓铀转换及元件制造厂核材料衡算

国家核安全局

# 低浓铀转换及元件制造厂核材料衡算

(2008年9月1日国家核安全局批准发布)

本导则自发布之日起实施

本导则由国家核安全局负责解释

本导则是指导性文件。在实际工作中可以采用不同于本导则的方法或方案，但必须证明所采用的方法或方案至少具有与本导则相同的安全水平。

# 目 录

1.1 目的 .....	5
1.2 范围 .....	5
<b>2. 核材料衡算组织机构.....</b>	<b>5</b>
2.1 厂级领导职责 .....	5
2.2 核材料管制办公室职责 .....	5
2.3 核材料衡算管理人员职责 .....	6
<b>3. 核材料平衡区 (MBA) 和物项控制区 (ICA).....</b>	<b>6</b>
3.1 核材料平衡区.....	6
3.2 关键测量点.....	6
3.3 物项控制区.....	7
<b>4. 核材料管理.....</b>	<b>7</b>
4.1 核材料调入.....	7
4.2 核材料调出.....	7
4.3 核材料内部转移.....	8
4.4 核材料贮存.....	8
4.5 返料管理.....	8
4.6 核废物管理.....	8
<b>5. 核材料测量.....</b>	<b>9</b>
5.1 测量范围.....	9
5.2 核材料测量系统.....	9
5.3 测量方法.....	9
<b>6. 测量系统的质量控制.....</b>	<b>10</b>
6.1 测量质量管理.....	10
6.2 测量系统的质量控制管理应达到的目标.....	10
6.3 测量系统的质量控制标准.....	10
6.4 测量系统的质量控制管理.....	10
6.5 测量系统所用标准的制备和使用.....	11
6.6 人员要求.....	11
<b>7. 核材料实物盘存.....</b>	<b>11</b>
7.1 盘存规程 .....	11
7.2 盘存频度 .....	11
7.3 盘存的组织及实施 .....	12
<b>8. 核材料衡算帐目与报告.....</b>	<b>14</b>
8.1 运行记录 (源数据) .....	14
8.2 衡算记录 (帐目) .....	14
8.3 衡算报告.....	14
<b>9. 核材料衡算管理及评价.....</b>	<b>15</b>
9.1 核材料衡算及评价的条件.....	15
9.2 衡算评价.....	15
9.3 U-235 的 MUF 评价 .....	16

附录 A ..... 17

## 1. 引言

### 1.1 目的

为了对低浓铀转换及元件制造厂核材料衡算管理提供指导，依据“中华人民共和国核材料管制条例”（以下简称《条例》）和《中华人民共和国核材料管制条例实施细则》（以下简称《实施细则》），结合我国核材料衡算的经验，对HAD501/01《低浓铀转换及元件制造厂核材料衡算》进行修订。

本导则强调核材料衡算数据的可追溯性和技术支持文件的完整性，是对《条例》及其《实施细则》有关条款的说明和补充。

### 1.2 范围

本导则适用于低浓铀转换及压水堆元件制造厂（以下简称“元件厂”）的化工转换及燃料制造核材料衡算管理，重水堆元件制造厂参照执行。

## 2. 核材料衡算组织机构

### 2.1 厂级领导职责

元件厂应确定一名厂级领导或其授权人员全面负责核材料衡算管理工作，归口协调各有关部门的衡算管理活动，组织制定与批准核材料衡算管理规章制度并定期监督检查执行情况。

### 2.2 核材料管制办公室职责

元件厂应建立核材料管制办公室，其在核材料衡算方面的主要职责是：

- （1）实现全厂核材料衡算管理目标；
- （2）制订全厂核材料衡算管理的规章制度、工作计划及实施程序；
- （3）负责与国家核安全局联系，为监督检查提供行政、技术上的安排；
- （4）收集、核实、处理和保存原始衡算数据及记录，编制衡算报告；
- （5）制定各种测量的误差要求和质量管理要求；
- （6）组织和实施各核材料平衡区的实物盘存，对衡算结果进行不明材料量

(MUF) 评价;

(7) 负责对核材料衡算相关人员的培训和考核。

### 2.3 核材料衡算管理人员职责

核材料衡算管理人员负责执行厂核材料管理机构的各项规章制度和指令。其主要职责是:

- (1) 负责核材料的测量和计数;
- (2) 填写和核实交接单据, 填写核材料内部转移文件;
- (3) 参加实物盘存;
- (4) 建立平衡区衡算帐目, 提交平衡区实物存量和存量变化数据。

### 3. 核材料平衡区 (MBA) 和物项控制区 (ICA)

元件厂应设置核材料平衡区 (以下简称平衡区) 和物项控制区以满足对核材料定位、识别、盘存和控制的要求, 及时探知核材料的丢失。

#### 3.1 核材料平衡区

平衡区划分应遵循以下原则:

- (1) 平衡区的大小应便于核材料准确测量, 有利于核材料衡算管理;
- (2) 应尽量与实体边界相一致, 平衡区之间应避免互相交叉;
- (3) 应有利于采用封隔/监视措施, 以减少测量工作量和保证核材料流量测量的完整性;
- (4) 平衡区的划分可考虑企业商业敏感数据的保密性。

#### 3.2 关键测量点

关键测量点是确定核材料流量或存量的部位。关键测量点分为: 流动关键测量点和盘存关键测量点。流动关键点用阿拉伯数字标识, 盘存关键测量点用大写英文字母表示。

### 3.3 物项控制区

元件厂应在核材料接收、发运以及库房对核材料设置物项控制区，将核材料作为件料进行控制。

物项控制应满足以下条件：

- (1) 核材料必须是装在有标识的容器内，容器应加上封记；
- (2) 只有授权的人员能进入物项控制区，对该区定期进行检查；
- (3) 建立封记应用的管理规程，应包括封记的储存、控制、使用和处置等内容；
- (4) 对物项的状态进行记录，记录内容应包括物项的物理和化学形态、材料量（包括元素量和同位素量）、封记和物项的标识号等。

## 4. 核材料管理

### 4.1 核材料调入

核材料接收应在物项控制区进行，应建立和实施核材料调入管理规程：

(1) 检查发运文件，按发货单核实物项的标识，检查包装和封记的完整性，核查物项数。

(2) 由核材料衡算管理员负责对测量数据进行登记并填写核材料接收记录和报告，作为技术支持性文件保存，收货文件应有负责人签字。

(3) 核材料重量数据原则上以发方数据为准，收方应复核物项重量。但进行核材料闭合衡算时，应采用自己的测量数据。如果收发差超过 2 倍收发差的标准偏差，则说明存在显著性差异。

(4) 当发现物项标识不清、密封破损等异常现象或出现显著统计性差异或收发差超过双方合同中规定的限值时，元件厂应通知发方进行调查。

### 4.2 核材料调出

核材料发运应在物项控制区进行，应建立和实施核材料调出管理规程：

(1) 核材料发运时，应检查发运物项的核材料数量、标识和封记等。

(2) 在发货后,核材料衡算管理员应填写核材料发运记录和报告。

#### 4.3 核材料内部转移

元件厂应建立和实施核材料内部转移管理规程:

(1)核材料衡算管理员应对内部转移的核材料数量等情况进行记录,并在记录上签字;

(2)完成转移后,应对平衡区帐目进行更新。

#### 4.4 核材料贮存

元件厂应建立和实施核材料贮存管理规程:

(1)记录所贮存的全部核材料的标识、数量和位置的信息,贮存模式应规范化,以方便实物盘存。

(2)贮存  $UF_6$ 、 $U_3O_8$ 、 $UO_2$ 、ADU 和固、液废物等材料的容器和钢桶应规格化和定型化,为测量和管理提供方便。

(3)贮存核材料的容器应加上封记。

#### 4.5 返料管理

(1)元件厂产生的返料,如磨削渣、废 ADU、废  $UO_2$  粉末及废芯块等,应分类存放、分别处理。

(2)一个衡算周期内产生的返料,在期末盘存前应处理成便于测量的形态,限期回收处理,并控制它们的盘存测量误差。

#### 4.6 核废物管理

(1)固体废物,按可燃固体废物和不可燃固体废物分类包装后,经无损分析方法检测后记录其核材料数量,然后送往焚烧炉或暂存或埋藏。准备回收的碱渣、焚烧灰烬装入容器,经测量后,密封登记。

(2)对生产过程中产生的废水,经回收处理符合排放标准后,予以排放。对连续排放废液及废气应定期取样分析或在线测量,并登记其核材料数量。

(3) 废物作为已知损失进行平衡结算。

## 5. 核材料测量

### 5.1 测量范围

元件厂应对所涉及的原料（如  $UF_6$ 、 $U_3O_8$ ）、中间产品（如 ADU 粉末、 $UO_2$  粉末、未烧结及烧结  $UO_2$  芯块等）、最终产品、过程返料（如磨削渣、脏粉末及废芯块等）和过程中滞留的核物料以及固体、液体及气体的排放物中的核材料进行测量。

### 5.2 核材料测量系统

为测量接收、发运、生产过程及库存的核材料量，满足核材料衡算管理的要求，元件厂必须建立完整可靠的测量系统。

建立测量系统时应考虑下列内容：

- (1) 依据各类被测核材料的类型和特性建立测量方法；
- (2) 核材料衡算对测量方法精度的要求；
- (3) 测量仪器的技术要求及维修方法；
- (4) 标定仪器仪表标准标定方法；
- (5) 测量的质量控制及仪器仪表维护方法；
- (6) 取样方法。

### 5.3 测量方法

(1) 元件厂为散料核设施，核材料测量过程包括取样、总体测量和分析测量。总体测量包括物项的重量或体积的测量，分析测量包括物料中元素浓度和同位素成分的分析。

(2) 选择测量方法时，首要考虑的是测量方法的精确度和准确度应满足国家对核材料评估中 MUF 测量不确定度的要求。

(3) 测量系统应尽可能采用规范化的取样方法及标准分析方法，建立严格的记录制度，使测量数据具有良好的可追溯性，并能提供可靠的支持性文件。

(4) 测量分析部门应根据有关标准及规定编制测量方法程序手册。其中应

包括：总体测量、取样、化学分析、无损检测方法的详细内容和要求；测量方法变更记录；标定标准及标定方法说明等。

## 6. 测量系统的质量控制

测量系统的质量控制应从测量方法、组织管理和人员要求三方面来保证。

### 6.1 测量质量管理

元件厂应指定部门负责核算测量系统的质量控制，明确规定测量管理组织的职责权限及与各有关部门的关系。定期进行测量系统的标定和统计评价。向核材料核算管理机构提供核算测量所需要的测量方法的系统误差及随机误差的资料。

### 6.2 测量系统的质量控制管理应达到的目标

为估算测量的随机误差和系统误差提供实验依据；为核算测量提供符合质量要求的证明文件。

### 6.3 测量系统的质量控制标准

测量系统的质量控制标准以《实施细则》中元件厂的MUF相对标准偏差限值为准，来选定相应的各种测量、分析方法，使其传递的总误差满足国家MUF相对标准偏差限值要求。

### 6.4 测量系统的质量控制管理

(1) 元件厂必须建立和实施书面的测量质量控制程序，以保证测量系统的有效性。

(2) 在运行前必须对测量系统的性能进行调试、鉴定和验收。

(3) 制定测量系统质量控制计划，以保证测量系统正常运行。包括：

a) 在操作条件下，定期标定或校验测量系统。

b) 建立估算随机误差和系统误差的标准程序。

c) 建立测量系统更新和检修后的标定、验收步骤及程序。

d) 建立测量系统质量控制记录、文件系统，记录标准的来源、制备、维护和使用。

e) 建立测量系统标定、数据处理及异常现象的处理等方法。

## 6.5 测量系统所用标准的制备和使用

(1) 收集必需的标样（质量标准及化学、同位素标准）。

(2) 确定原料、产品、返料净重质量的标准件质量，用以确定净重的方差。

(3) 在测量系统的检定周期内，应利用标样对测量系统进行一次全面的校核，用数理统计、方差分析的方法分析评价标准测量数据。分析评价的结果应形成记录文件并编制详细报告存档。

## 6.6 人员要求

(1) 规定测量人员的资格，经常进行指令性的岗位培训和专业培训。

(2) 对测量人员要定期进行考核，考核不合格者，应停止测量工作，重新培训考核。

# 7. 核材料实物盘存

## 7.1 盘存规程

实物盘存是核材料衡算管理的基础，是证实核材料存在的手段。元件厂应建立实物盘存的规程，严格按照规定的要求进行实物盘存。

## 7.2 盘存频度

(1) 元件厂的盘存频度每年不得少于一次，但连续两次盘存间隔时间不得超过十四个月。

(2) 遇到下列情况时必须进行盘存：

a) 转入新的批量生产前；

b) 发生重大事故，影响核材料衡算正常进行。

### 7.3 盘存的组织及实施

盘存的组织和实施应严格按照规定的要求进行，但应使盘存的组织安排对生产运行的干扰减至最少，并能满意地完成实施计划。

#### 7.3.1 职责分工

核材料管制办公室应组织制定书面盘存程序，规定盘存原则及步骤，并组织有关部门贯彻执行。

(1) 元件厂盘存负责人必须熟知盘存区，并掌握盘存要求及方法。其主要职责为规划组织负责和实施实物盘存。为此应授予其停车、开车、中断物流和记录的权利以及在盘存过程中的生产管制权，以保证盘存顺利进行。

(2) 元件厂盘存领导小组必须熟知该平衡区的核材料存在的形态及运行状况。按分级盘存规定全面负责盘存事务，并授予其处理有关组织盘存和实施盘存的权限。但是不经元件厂盘存负责人批准，不得偏离盘存程序及原则。

(3) 平衡区盘存小组在平衡区盘存负责人领导下，具体负责完成编制盘存清单、贴标签、实施测量和填报数据等工作。为保证实物盘存按盘存规则准确进行，该小组至少由两人组成，其中一人必须熟知本平衡区的情况，另一成员来自其它部门，以监盘员的身份参加实物盘存。未经元件厂盘存负责人批准，盘存小组无权偏离盘存规则。

#### 7.3.2 物流和记录的截止

盘存时，物流必须与相应的记录在特定时刻同时截止。特定时刻的选择应以确定的衡算周期为依据，使核材料盘存量确实代表了盘存时刻的核材料存在量，而该量要准确地反映在相应的盘存记录上。

(1) 核材料收发和废物排放、丢弃的截止。

按盘存规则，在选择特定时刻，一切收、发或废物排放、丢弃活动都应停止。如特别需要，必须经元件厂盘存负责人批准后，才能进行收、发或丢弃，并且在收货记录上应注明该材料量不计入本次实物盘存，而在发货记录上应注明该材料量列入本次实物盘存之内。废物排放、丢弃活动原则上应在盘存特定时刻前完成。

(2) 记录截止

收、发及排放、丢弃的记录，在特定截止时刻前完成最后一批收、发记录后

应截止，并为核材料衡算周期提供数据。

### 7.3.3 盘存准备工作

(1) 制定盘存日程表，编写盘存细则，准备盘存标签和表格。

(2) 对参加盘存的工作的人员，进行针对性的培训，布置具体任务及执行方法。

(3) 各级盘存负责人会同有关质检管理部门，核实采用的测量装置、标定记录和试验记录，确保测量装置的性能完好性。

(4) 参加盘存的各级负责人应提前检查各自负责的盘存区，以便发现问题时，有足够的时间采取改正和补救措施。

(5) 以件料形式的核材料，诸如固体废物桶、单棒等应摆放整齐，分区存放，便于清点，并且要检查封记，核对标签与记录。

(6) 以散料形式的核材料，事前应归类分级，并转化为易测量的形态，便于盘存。

(7) 结合换富集度投料生产，设备及主要管道要经清洗处理，估算其核材料滞留量。

### 7.3.4 实物盘存的实施

严格按盘存细则办事，由盘存小组逐项核对物项、标签，并填写盘存表格。

(1) 实物盘存物项的核材料量必须是测量值。

(2) 实物盘存时应唱报唱记，验证标签，不允许发生漏盘、重盘、漏记、重记。

(3) 经核对盘存记录与实物无误后，编制盘存结果文件。

(4) 解除截止令前，元件厂盘存负责人应会同平衡区负责人核查该平衡区内所有物项是否正确贴好标签，并以随机取样的方法核对盘存清单所列数据与标签内容的一致性。如发现差异，应立即采取修正措施。

(5) 核对所有收、发过程与记录的时间是否严格遵守特定的截止时间规定，如发现问题应立即纠正。

### 7.3.5 盘存后的活动

实物盘存结束后应尽快核算盘存结果及完成数据调整。配合盘存需要的取样分析工作，要尽力做到及时性。并且对舍入差进行调整，最终进行MUF调整。

## 8. 核材料衡算帐目与报告

元件厂应按国家规定的频度和时限提交报告，其核材料记录与报告应完整、及时、准确、规范，数据应具有可追溯性。记录系统应及时反映设施中核材料的动态分布。

### 8.1 运行记录（源数据）

（1）运行记录包括：确定核材料数量及组成变化的操作数据记录、容器和仪表的标定数据、取样分析数据、测量质量控制数据、随机误差和系统误差数据、实物盘存数据及事故记录数据。

（2）运行记录格式，应根据具体操作来设计，但日期、操作结果记录及操作责任者签字是必不可少的。

### 8.2 衡算记录（帐目）

元件厂应以平衡区为基础建立完整的核材料帐目，包括总帐、存量变化日志和存量变化文件，详细记录各类核材料的位置、性质和数量。根据需要，在盘存关键测量点建立各类核材料的辅助帐。

（1）总帐：平衡周期内所有核材料存量变化记录的汇总，它代表核材料帐面存量，平衡区应建立不同类型核材料的各类总帐；

（2）辅助帐：盘存关键测量点存量的汇总；

（3）存量变化日志：对于核材料品种较多、存量变化频度高的单位，可建立各类核材料存量变化日志，按照存量变化日期逐行记入每个存量变化文件的变化总量。存量变化日志的月累计量，按月记入平衡区各类总帐。

（4）存量变化文件：根据运行记录逐项记入存量变化的每个物项的识别号和材料量，每个存量变化文件的总量应记入各类总帐、辅助帐和存量变化日志。

### 8.3 衡算报告

核材料衡算报告至少应包括下列内容：

（1）“核材料交接统计报表”（R01）

当核材料进行国内转移时，调出单位应在核材料转移发生时填报“核材料交

接统计报表” (R01)。调入单位应对调出单位寄送的“核材料交接统计报表”(R01)进行确认、盖章,并填报调入单位的核材料测量数据。

(2) “核材料出入境统计报表” (R02)

当核材料进行出入境国外转移时,核材料持有单位应填报“核材料出入境统计报表”(R02)。

(3) “核材料库存变化统计报表” (R03)

当核材料发生国内转移、国外转移和其他类型的核材料存量变化时,核材料持有单位应填报“核材料库存变化统计报表”(R03)。

(4) “核材料库存统计报表” (R04)

在核材料平衡周期末完成核材料实物盘存后,核材料持有单位应填报“核材料库存统计报表”(R04)。

(5) “核材料平衡统计报表” (R05)

在核材料实物盘存后完成材料平衡结算时,核材料持证单位应填报“核材料平衡统计报表”(R05)。

## 9. 核材料衡算管理及评价

### 9.1 核材料衡算及评价的条件

(1) 所有进入核材料衡算的数据,必须是实测值,而所用测量系统的误差必须是已知的。

(2) 所有数据具有可追溯性,并具有可靠的技术性文件。

### 9.2 衡算评价

元件厂应在平衡周期末进行核材料平衡结算:

(1) 设施测量系统误差传递总标准偏差应符合《实施细则》要求即  $\delta_{MUF} \leq 0.3\%$ ;

(2) 当 MUF 小于或等于  $2\sigma_{MUF}$ , 达到闭合衡算;

(3) 当 MUF 大于  $2\sigma_{MUF}$  时,元件厂应重新检查盘存结果、帐目记录以及测量和测量质量控制系统,对可能的未测量的存量(如滞留量、废弃物)进行调查;

(4) 如果 MUF 大于国家核安全局规定的核材料衡算控制目标量时, 应严格调查, 并将结果以书面形式上报国家核安全局。

### 9.3 U-235 的 MUF 评价

元件厂核材料衡算重点为  $^{235}\text{U}$ , 当铀富集度在生产流动过程中不变或富集度检测数据不进入衡算时,  $^{235}\text{U}$  的 MUF 及  $\sigma_{\text{MUF}}$  可用铀元素的 MUF 和  $\sigma_{\text{MUF}}$  来评价。铀富集度变化时, 应以  $^{235}\text{U}$  富集度的测量值, 对  $^{235}\text{U}$  的 MUF 及  $\sigma_{\text{MUF}}$  进行专门的计算和评价。

## 附录 A

一、根据目前我国元件厂制造工艺和技术管理水平，暂定核材料衡算控制目标量为  $0.48\% \times \text{投入量} + 2\sigma_{\text{MUF}}$ 。

二、为了便于理解和掌握本导则，现以一典型元件厂为例，展示如何进行核材料衡算和评价。

### A1. 元件厂平衡区划分和关键测量点

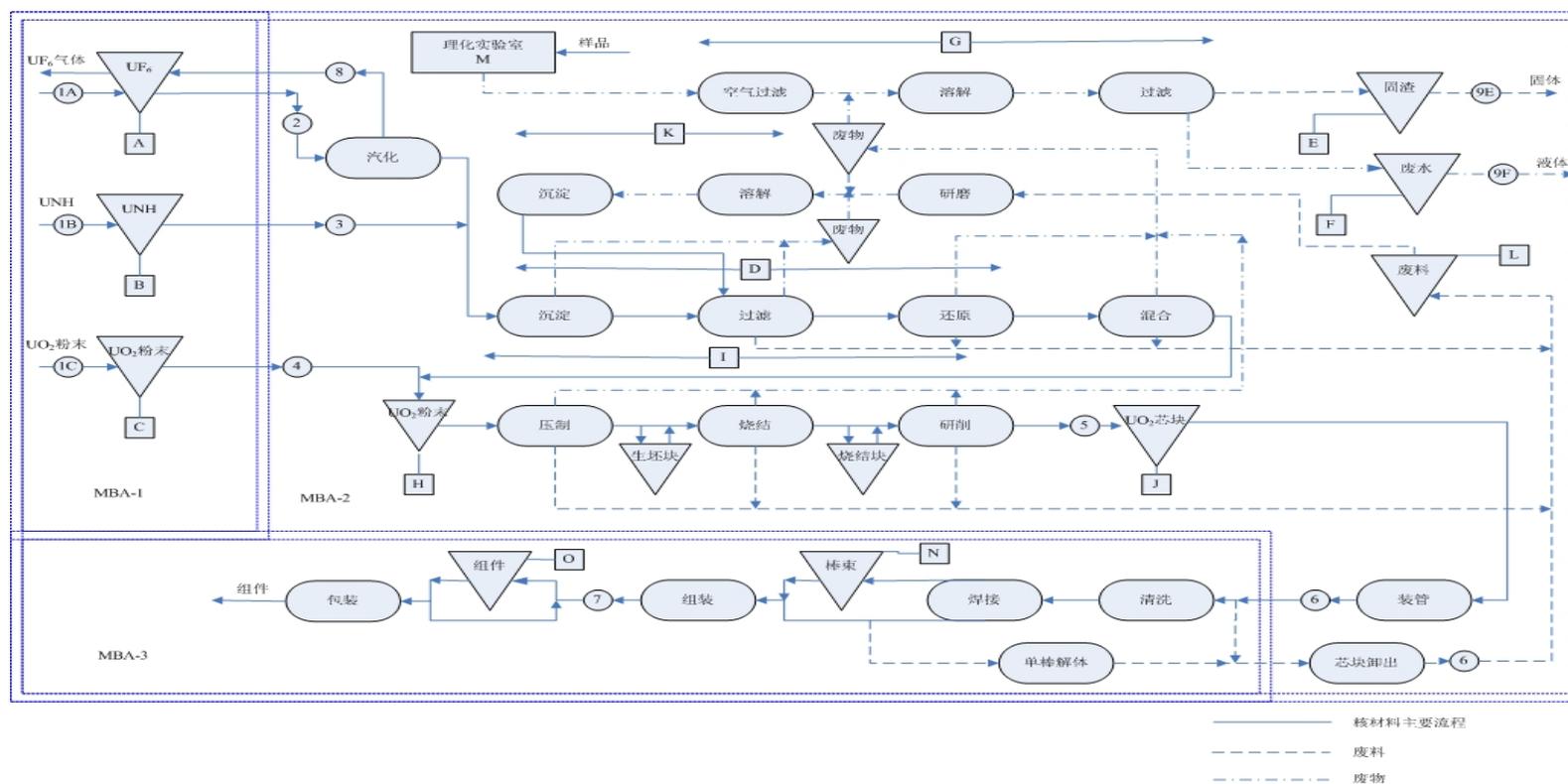


图 1 元件厂平衡区划分和关键测量点设置

表 A1-1 流动关键测量点说明

关键测量点	说明	材料类型	容器	取样方法	测量方法
1A	MBA-1 接收的 UF <sub>6</sub> 流量	UF <sub>6</sub>	气罐	来自发方	b-气罐磅称； e-重量法； i-质谱法
1B	MBA-1 接收的 UNH 流量	UNH	罐	每罐一个取样器样品	b-罐台称； e-重量法； i-质谱法
1C	MBA-1 接收的 UO <sub>2</sub> 粉末流量	UO <sub>2</sub> 粉末	料罐	从每批 40 罐中取 3 个罐，每罐一个取样器样品	b-粉末称； e-重量法； i-质谱法
2	MBA-2 测量用于转换的 UF <sub>6</sub> 流量	UF <sub>6</sub>	气罐	无	b-满罐重量和空罐重量的差值； i&e KMP-1A 的重量法和质谱法的系数
3	MBA-2 测量用于转换的 UNH 流量	UNH	罐	无	b-UNH 管道输送流量计； i&e KMP-1B 的重量法和质谱法系数
4	MBA-2 测量的压制的 UO <sub>2</sub> 流量	粉末	料罐	从每批 40 罐中取 3 个罐，每罐 1 个取样器样品	b-粉末称； e-重量法； i-质谱法或从 KMP-1C 得到的测量值
5	MBA-2 贮存的烧结芯块流量	芯块	料盘	每批随机抽取 5 个芯块	b-芯块盘称； e-重量法

表 A1-1 流动关键测量点说明 (续)

关键测量点	说明	材料类型	容器	取样方法	测量方法
6	MBA-2 装配的元件棒运至 MBA-3	包壳和焊接的燃料棒	包壳	N/A	b-芯块叠称; e-采用 KMP-5 的芯块的重量法
6	MBA-3 返回 MBA-2 的不合格芯块流量	芯块	元件棒	N/A	采用元件棒装配的数值
7	从 MBA-3 发运的组件流量	组件	包壳	N/A—使用 KMP-5.6 的元件棒数值	由 KMP-5、6 的元件棒数值加和
8	MBA-2 测量的剩余物料	UF <sub>6</sub>	气罐	无	b-质量差值 e-自 KMP-1A 的系数
9E	MBA-2 测量的固体废物	多种杂物	桶	N/A	NDA $\gamma$ -计数
9F	MBA-2 测量的液体废物	液体废物	桶	每个桶混合并取样	b-桶称 e-荧光法

\* b=整体测量法, e=元素分析法, i=同位素分析法

表 A1-2 盘存关键测量点说明

关键测量点	说明	材料类型	容器	取样方法	测量方法
A	贮存在 MBA-1 的 UF <sub>6</sub>	气罐内固体	气罐	物项封记 核实	来自 KMP-1A 的数值
B	贮存在 MBA-1 的 UNH	UNH	罐	N/A	来自 KMP-1B 的系数 b-UNH 罐地称
C	贮存在 MBA-1 的 UO <sub>2</sub> 粉末	UO <sub>2</sub> 粉末	料罐	物项封记 核实	KMP-K 数值
D	MBA-2 UF <sub>6</sub> 转换为 UO <sub>2</sub> 的残存滞留量	ADU 和铀氧化物	工艺 设备	N/A	γ-射线测量仪
E	贮存在 MBA-2 的废物	各种固体	桶	N/A	NDA γ-射线计数
F	贮存在 MBA-2 的废物	液体	桶	每个桶混 合并取样	b-桶称 e-荧光法
G	MBA-2 废物处理的残存滞留量	各种物料	设备	N/A	γ-射线测量仪
H	贮存在 MBA-2 的 UO <sub>2</sub> 粉末	UO <sub>2</sub> 粉末	料罐	物项封记 核实或取 样分析	KMP-4 的数值或者 b-粉末称 e-重量法 i-质谱法
I	芯块制造的残存滞留量	UO <sub>2</sub> 粉末, 芯块	设备	N/A	γ-射线测量仪
J	KMP-7 的数值	MBA-2 贮存的 烧结芯块	芯块	料盘	物项核实

表 A1-2 盘存关键测量点说明 (续)

关键测量点	说明	材料类型	容器	取样方法	测量方法
K	MBA-2 贮存的烧结芯块	ADU 和铀金属物	工艺设备	N/A	KMP-7 的数值
L-1	MBA-2 切屑回收的残存滞留量	ADU	桶	每桶搅拌并取样	$\gamma$ -射线测量仪
L-2	MBA-2 贮存的切屑	脏粉末	桶	每桶混合并取样	b-切屑称 e-滴定法
L-3	MBA-2 贮存的切屑	研磨残渣	料罐	每桶搅拌并取样	b-切屑称 e-滴定法
L-4	MBA-2 贮存的切屑	生坯切屑	桶	N/A	b-切屑称 e-滴定法
L-5	MBA-2 贮存的切屑	烧结切屑	桶	每桶随机取 5 个芯块	b-切屑称 e-由 $UO_2$ 和润滑剂重量计算
M	MBA-2 实验室存量	各种样品	玻璃瓶	N/A	b-切屑称 e-重量法
N	MBA-3 元件棒存量	元件棒	包壳	物项核实	不同的 b, e 和 i
O	MBA-3 组件存量	组件	包壳	物项核实	KMP-6 的数值

\* b=整体测量法, e=元素分析法, i=同位素分析法

## A2. 测量方法简介

1) 重量法 (gravimetric method) 用于确定在  $UF_6$ 、 $UO_2$ 、芯块和碎屑中的铀因子 (即重量百分)。把样品 ( $UO_2$ ) 装入已知皮重灼烧过的坩埚中, 在马福炉 (Muffle furnace) 内, 温度为  $900 \pm 25^\circ C$  条件下, 灼烧, 使  $UO_2$  完全变成  $U_3O_8$ , 同时对样品进行光谱杂质分析, 算出  $U_3O_8$  比 U 的重量因子, 由此算出相应样品 ( $UF_6$ ,  $UO_2$  等) 的铀重量百分数。

2)  $K_2Cr_2O_7$  氧化还原电位滴定法: 用于测定碎渣和废液中的铀百分含量。

3) 质谱法, 用于测定 U-235 的富集度。

4) 荧光法, 用于测定废液铀浓度。

5) 无损分析 (DNA): 测定固体废物铀含量。

6) 容积测量。

a) 每批滤液 (来自转化和碎屑回收工段), 用液位计测定容积后, 输往天然蒸发池。每批典型输送量约 1890 升。

b) 离心磨液, 用玻璃液位计测离心清液容积 (约 56 升)

7) 质量测量:  $UF_6$  桶用 4000 公斤磅秤称重。

## A3. 模型厂六个月物料衡算的评价

参考厂流程简介: 产量为 1t/d, 两条线的  $UF_6$  转化、芯块制造及装棒元件厂, 原料为  $UF_6$ , 产品为燃料棒束。所有碎屑将转化成  $U_3O_8$  后再处理成  $UO_2$ , 只有碎屑回收时, 才在 UNH 中发生富集度混和。废液送天然蒸发池贮存, 固体废物就地贮存或送处置厂处置。

$\sigma_{MUF}$  的计算见表 A.2 所列, 表 A2 中 (a), (b), (c) 的注释如下:

a) 除特别注明公斤外, 其它概指受随机误差、短期系统误差影响的件数;

b) 百分误差为相对标准偏差单位;

c) 当期初与期末存量相等时, 取样长期系统误差, 分析长期系统误差互相抵消由表计算得:

测量方法	随机误差 (公斤) <sup>2</sup>	短期系统误差 (公斤) <sup>2</sup>	长短期系统误差 (公斤) <sup>2</sup>
称重	27.07	299.52	404.05
取样	46.15		2787.84
容积	0.08		46.10
U-试样	23.83	125.05	2640.4
小结	97.13	424.57	5878.39

$$\text{总 } \sigma_{\text{MUF}}^2 = 97.13 + 424.57 + 5878.39 = 6400.09 \text{ (公斤)}^2$$

$$\text{总 } \sigma_{\text{MUF}} = 80.00 \text{ 公斤}$$

由表 A3 可计算

$$\text{MUF} = \text{B} + \text{I} - \text{O} - \text{E}$$

$$= 17890.0 + 117600 - 117573.00 - 17890.0 = 27.00 \text{ 公斤}$$

$$\text{LEMUF} = 2 \cdot \sigma_{\text{MUF}} = 160 \text{ 公斤}$$

$$\therefore \text{MUF} < \text{LEMUF}$$

$\therefore$  在 95% 置信度下，不能否定真 MUF 为零。模型厂铀材料衡算是闭合的。真 MUF 的范围为：

$$-133 \text{ 公斤} < \text{真 MUF} < 187 \text{ 公斤}$$

表 A2 六个月物料衡算的铀的  $\sigma$  MUF 计算例子

测量	物料	种类	方法 序号	受误差类型影响的件或量 <sup>(a)</sup>			$\sigma$ ( b )			$\sigma^2 \text{kg}^2 \text{U}$		
				随机 误差	短期系 统误差	长期系 统误差	随机 误差	短期系 统误差	长期系 统误差	随机 误差	短期系 统误差	长期系 统误差
称重	UF6	1	W1	84	17	84	0.40	0.60	0.15	13.44	149.76	158.76
称重	底脚料	2E	W1	84	17	84	0.40	0.60	0.15	13.44	149.76	158.76
称重	烧结芯块 (棒)	2A	W14	23400	—	23400	0.30	—	0.20	0.002	—	21.9
称重	烧结芯块 (棒)	2A	W15	23400	—	23400	0.30	—	0.20	0.002	—	21.9
称重	新粉末	3A	W2	270	—	135 ( 2 )	8g	—	6g			
称重	硬碎渣	3C	W2	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g			
称重	ADU	3G	W2	40	—	20 ( 2 )	8g	—	6g			
称重	脏粉末	3I	W2	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g			
				$\Sigma$ 350		175(2)	8g			$\Sigma$ 0.023		$\Sigma$ 2.21
称重	新粉末 (碎屑回收)	3A	W3	270	—	135 ( 2 )	8g	—	6g			
称重	生芯块	3B	W4	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g	0.0013	—	0.007
称重	生芯块	3B	W5	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g	0.0013	—	0.007
称重	生芯块 (托盘中)	3B	W6	1000	—	500 ( 2 )	8g	—	6g	0.064	—	18.00
称重	烧结芯块 (托盘中)	3C	W7	1000	—	500 ( 2 )	8g	—	6g	0.064	—	18.00
称重	烧结芯块 (舟中)	3D	W8	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g	0.001	—	0.007
称重	烧结芯块 (舟中)	3D	W9	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g	0.001	—	0.007
称重	磨屑浆液	3H	W11	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g	0.001	—	0.007
称重	磨屑浆液	3H	W12	20	—	10 ( 2 )	8g	—	6g	0.001	—	0.007
称重	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3C	W13	500	—	250 ( 2 )	8g	—	6g	0.032	—	4.50
										$\Sigma$ 27.0	$\Sigma$ 299.52	$\Sigma$ 404.07
取样	ADU	3G	S1	80	—	—	6%	—	(3.0%) <sup>c</sup>	28.80	—	576.00 <sup>c</sup>
取样	磨屑浆液	3H	S2	40	—	—	3%	—	(2%) <sup>c</sup>	5.184	—	92.16 <sup>c</sup>
取样	脏粉末	3I	S3	40	—	—	3%	—	(0.5%) <sup>c</sup>	10.404	—	11.56 <sup>c</sup>
取样	废液	2D	S4	176	—	—	5%	—	15%	1.76	—	2787.74
										$\Sigma$ 46.184		$\Sigma$ 2787.84

续表

测量	物料	种类	方法 序号	受误差类型影响的件或量 <sup>(a)</sup>			$\sigma$ (b)			$\sigma^2 \text{kg}^2 \text{U}$		
				随机 误差	短期系 统误差	长期系 统误差	随机 误差	短期系 统误差	长期系 统误差	随机 误差	短期系统 误差	长期系统 误差
容积	废液(一线)	2D	V1	1659	—	158 ( Kg )	5%	—	3%	0.0376	—	22.468
容积	废液(二线)	2D	V2	1659	—	158(Kg)	5%	—	3%	0.0376	—	22.468
容积	废液(碎屑 回收)	2D	V3	378	—	36(Kg)	5%	—	3%	0.009	—	1.166
										$\Sigma$ 0.08		$\Sigma$ 46.10
U—试	UF <sub>6</sub>	1	U1	17	—	117432(Kg)	0.013%	—	0.005%	13.74	—	34.475
U—试	UF <sub>6</sub> 底料	2C	U1	17	—	—	0.013%	—	0.005%	—	—	—
U—试	烧结 UO <sub>2</sub> (棒)	2A	U2	488	—	117000Kg	0.02%	0.02	0.015%	1.122	—	308.00
U因子	未烧结 UO <sub>2</sub> (棒)	3A, 3B	U3	—	10920Kg (9批)	—	—	0.3%	—	—	119.246	—
U因子	烧结 UO <sub>2</sub> (盘存)	3C, 3D 3F	U4	—	14400Kg (12批)	—	—	0.3%	—	—	1.555	—
U—试	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3E	U5	—	8500Kg (17批)	—	—	0.10%	—	—	4.25	—
U—试	磨屑液浆	3H	U7	40	—	—	0.04%	—	—	0.001	—	—
U—试	ADU	3G	U6	80	—	—	0.04%	—	—	0.001	—	—
U—试	脏粉末	3I	U8	40	—	—	0.04%	—	—	0.0102	—	—
U—试	废物桶	2B	U2351	470	—	188Kg	15%	—	20%	1.692	—	1413.76
U—试	过滤器	2C	U2351	240	—	48Kg	15%	—	20%	0.216	—	92.16
U—试	废液	2D	Ug	176	—	352Kg	10%	—	8%	7.04	—	792.0

表 A3 六个月周期铀物料衡算数据表

物料衡算组成	U%	件数	kgU/件	总铀量 kg
调入				
UF <sub>6</sub>	67.60	84	1400	117600
调出				
棒 (UO <sub>2</sub> 芯块)	88.10	46800	2.5	117000
废物桶	—	470	0.4	188
过滤器	—	240	0.2	48
废液	50ppm	176	1.2	211
UF <sub>6</sub> 残留量	67.6	84	1.5	126
盘存量*				
新 UO <sub>2</sub> 粉末	87.6	300	17	5100
生坯芯块	87.6	20	18	360
烧结芯块	88.10	1000	6	6000
(托盘中)				
烧结芯块	88.10	20	18	360
(舟中)				
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 粉末	84.5	250	17	4250
硬碎渣	88.10	40	21	840
ADU	60.0	40	10	400
磨浆	80.0	20	12	240
脏粉末	86.0	20	17	340

注：为了简化计算，假设期初盘存等于期末盘存。