

核安全导则 HAD 301/06-2021

# 铀转化和铀浓缩设施的安全

国家核安全局 2021 年 6 月 1 日批准发布

国家核安全局

# 铀转化和铀浓缩设施的安全

(2021年6月1日国家核安全局批准发布)

本导则自2021年6月1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和方案,但必须证明所采用的方法和方案至少具有与本导则相同的安全水平。

本导则的附录为参考性文件。

# 目 录

1 引言.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 范围.....	1
2 安全目标和纵深防御.....	1
2.1 安全目标.....	1
2.2 辐射防护设计.....	1
2.3 安全设计.....	1
2.4 纵深防御.....	1
3 设计.....	2
3.1 安全功能.....	2
3.2 设计原则.....	3
3.3 设计基准事故.....	4
3.4 安全分级.....	5
3.5 核临界预防.....	7
3.6 辐射工作场所分区.....	8
3.7 放射性物质及化学危险物质包容.....	8
3.8 外照射防护.....	10
3.9 典型假设始发事件预防缓解措施.....	10
3.10 系统设计安全要求.....	14
3.11 人因考虑.....	18
3.12 放射性废物和流出物管理.....	18
3.13 应急准备与响应.....	19
3.14 实物保护设计.....	20
3.15 退役考虑.....	20
3.16 其他.....	21
4 建造.....	21
5 运行.....	22
5.1 运行安全管理机构.....	22
5.2 人员资格和培训.....	22
5.3 设施运行.....	23

5.4 核材料衡算.....	23
5.5 实物保护.....	23
5.6 运行经验反馈.....	24
5.7 老化管理.....	24
5.8 修改控制.....	24
5.9 现场安全管理.....	24
5.10 维修、定期试验和检查.....	25
5.11 辐射防护.....	25
5.12 核临界控制.....	27
5.13 六氟化铀操作.....	28
5.14 工业与化学安全.....	29
5.15 放射性废物和流出物管理.....	29
5.16 运行事故管理大纲.....	29
5.17 应急准备与响应.....	30
附录 A 铀转化和铀浓缩设施特征.....	31
附录 A-1 铀转化厂主要工艺路线.....	32
附录 A-2 铀浓缩厂主要工艺路线.....	33
附录 B 铀转化设施典型假设始发事件、运行限值和条件示例.....	34
附录 C 铀浓缩设施典型假设始发事件、运行限值和条件示例.....	37

# 1 引言

## 1.1 目的

本导则为铀转化和铀浓缩设施设计、建造、运行阶段的安全管理提供指导。

## 1.2 范围

本导则适用于天然铀转化设施及<sup>235</sup>U丰度不超过6%的铀浓缩设施；其他铀转化和铀浓缩设施可参照执行。

# 2 安全目标和纵深防御

## 2.1 安全目标

在铀转化和铀浓缩设施中建立并保持对放射性危害的有效防御措施，以保护工作人员、公众和环境免受危害。

## 2.2 辐射防护设计

确保在所有运行状态下铀转化和铀浓缩设施内的辐射照射或由于该设施任何计划排放放射性物质引起的辐射照射低于规定限值，且达到合理可行尽量低的水平。同时，还应采取措施减轻任何事故的放射性后果。

## 2.3 安全设计

采取合理可行的措施，减轻核与辐射事故对人的生命、健康以及环境造成的影响。实际消除可能导致大量放射性释放的事故，保证发生频率较高的事故没有或仅有微小的潜在放射性后果。

## 2.4 纵深防御

2.4.1 纵深防御应贯彻于铀转化和铀浓缩设施安全有关的全部活动，包括组织、人员行为或设计等有关方面，以保证这些活动均置于各种独立的、不同层次措施的防御之下。即使有故障发生，它也将由适当措施予以探测、补偿或纠正。

2.4.2 在整个设计和运行中贯彻纵深防御，以应对设施内部设备故障或人因

引起的各种预计运行事件和事故，以及外部事件引起的后果。纵深防御的应用主要是通过一系列连续和独立的防御层次的结合，防止事故对人员和环境造成危害。如果某一层次的防护失效，则由后一层次提供保护。

2.4.3 纵深防御通常分为五个层次。每一独立有效层次的防御都是纵深防御的基本组成部分。应确保与安全相关的活动能够纳入独立的纵深防御层次。

1) 第一层次防御的目的是防止偏离正常运行及防止安全重要系统故障；

2) 第二层次防御的目的是检测和控制偏离正常运行状态，以防止预计运行事件升级为事故工况；

3) 第三层次防御基于以下假定：尽管极不可能，某些预计运行事件或假设始发事件的升级仍有可能未被前一层次防御所制止，而演变成事故。在设施设计中，假定这些事故会发生。应通过固有安全特性和（或）专设安全设施、安全系统和规程，防止需要采取场外干预措施的放射性释放，并能使设施回到安全状态；

4) 第四层次防御的目的是减轻第三层次纵深防御失效所导致的事故后果；

5) 第五层次防御的目的是减轻可能由事故工况引起的潜在放射性释放造成的放射性后果和相关化学后果。

## 3 设计

### 3.1 安全功能

3.1.1 铀转化和铀浓缩设施的设计应确保实现以下安全功能：

1) 核临界预防；

2) 可引起内照射的放射性物质及危险化学品包容；

3) 外照射防护。

3.1.2 对于铀转化设施

1) 主要危害是潜在的放射性及有毒化学物质泄漏，尤其是六氟化铀和氟化氢；

2) 氟化工序产生的氟化渣应采取外照射防护措施，特别是氟化渣罐处；

3) 在处理新近倒空的六氟化铀容器时，应采取外照射防护措施。

3.1.3 对于铀浓缩设施

1) 主要危害是潜在的六氟化铀释放引起的辐射和化学危害；

2) 浓缩厂处理的<sup>235</sup>U丰度大于1%，存在核临界危险；

3) 在处理新近倒空的容器时, 应采取外照射防护措施。

## 3.2 设计原则

### 3.2.1 核临界预防

3.2.1.1 应优先选择通过工程措施而不是行政措施来实现核临界安全。

3.2.1.2 设计中应采用双偶然事件原则作为核临界安全控制的基本原则。

3.2.1.3 应综合考虑质量、几何形状、慢化、反射、相互作用、中子吸收和浓度等因素。

3.2.1.4 应在保守假设的基础上进行核临界安全评价和计算。

### 3.2.2 放射性物质及危险化学品包容

3.2.2.1 应根据纵深防御的原则, 采用相应的密封屏障措施, 应保证密封屏障的有效性。

3.2.2.2 设施的密封屏障设计应符合下列规定:

1) 第一道密封屏障: 铀转化和铀浓缩生产系统的管道和设备具有的密封性能为第一道密封屏障, 工艺设计应有效利用系统和设备本身的密封屏障功能;

2) 第二道密封屏障: 当生产系统和设备本身不能满足防止放射性污染扩散时, 应设计第二道密封屏障, 如铀转化设施冷凝液化工序卸料小室、铀浓缩设施加热容器的压热罐;

3) 第三道密封屏障: 辐射工作场所的建筑物为外层密封屏障, 应设计为密闭的, 外层密封屏障应在正常情况下及放射性泄漏事故条件下防止放射性物质外泄;

4) 在有放射性污染扩散的生产设备及系统开口处, 设置局部排风及净化系统, 作为密封屏障的补充。

3.2.2.3 密封屏障的数量应与包容物质的危害程度相适应。根据独立性原则, 密封屏障的数量至少为两道。

3.2.2.4 在采取措施进行内照射防护的同时, 应对可能出现的化学性危害进行防护。

### 3.2.3 外照射防护

3.2.3.1 应通过适当的屏蔽措施或远程操作设备实现对外照射的防护。

3.2.3.2 应按照预计正常照射的大小、潜在照射的可能性和大小、需要防护的种类和范围以及安全措施划分区域。对通向可能使工作人员受到高剂量区域的

出入口进行控制，控制程度与危害水平相一致。

3.2.3.3 应对工作场所辐射水平进行监测。

3.2.4 其他

3.2.4.1 建（构）筑物在总平面布置时尽可能将辐射工作场所和非辐射工作场所相对集中分开布置。

3.2.4.2 操作放射性物料的厂房相对集中布置，有密切联系的几个相邻放射性厂房，用封闭的通道连接，并设置总卫生通过间，分散设置的放射性厂房设单独的卫生通过间。

3.2.4.3 厂区运输道路的设计，应避免或减少交叉污染。

### 3.3 设计基准事故

3.3.1 铀转化设施

3.3.1.1 根据铀转化设施的特点，在确定设计基准事故时应考虑：

- 1) 硝酸、氟化氢、液氨贮罐的破裂；
- 2) 六氟化铀加热容器或管道的破裂；
- 3) 火灾；
- 4) 还原装置氢气爆炸；
- 5) 断电；
- 6) 自然灾害，如地震。

3.3.1.2 上述事故可能作为假设始发事件发生。铀转化设施典型内部假设始发事件示例参见附录B。

3.3.2 铀浓缩设施

3.3.2.1 根据铀浓缩设施的特点，在确定设计基准事故时应考虑：

- 1) 供料系统过量装载的容器在加热时破裂；
- 2) 液化均质系统装载有液态六氟化铀的容器或管道破裂；
- 3) 火灾；
- 4) 断电；
- 5) 核临界；
- 6) 自然灾害，如地震。

3.3.2.2 上述事故可能作为假设始发事件发生。铀浓缩设施典型内部假设始发事件示例参见附录C。

3.3.2.3 对于核临界事故，在设计中仅考虑采取措施尽可能降低其发生概率。

## 3.4 安全分级

### 3.4.1 总则

在设计中应对铀转化和铀浓缩设施中承担安全功能的建（构）筑物、系统和设备进行安全分级，并确定相应的要求。

### 3.4.2 系统和设备安全分级

铀转化和铀浓缩设施中的系统和设备可分为安全重要系统和设备、安全相关系统和其他系统和设备。具体分级原则如下：

1) 安全重要系统和设备：指由于其功能丧失或故障，可能导致核临界事故或大量六氟化铀释放事故，以及为缓解这类事故后果而设置的系统和设备。具体为铀转化和铀浓缩设施中操作液态六氟化铀物料的设备及管线；核临界安全上有限值的设备以及为控制该限值所需要的设备和系统；

2) 安全相关系统和设备：指由于其功能丧失或故障，可能导致少量放射性物质释放事故，以及事故时为减少这类危害而设置的系统和设备。具体为除安全重要系统和设备以外的操作大量放射性物质的重要系统和设备；

3) 其他系统和设备：指那些功能丧失或故障，不会导致放射性物质释放的系统和设备。安全重要、安全相关系统和设备以外的属于其他系统和设备。

### 3.4.3 建（构）筑物安全分级

铀转化和铀浓缩设施建（构）筑物应按照系统和设备的要求，分为下列三级：

- 1) 安全重要建（构）筑物：设置安全重要系统和设备的建（构）筑物；
- 2) 安全相关建（构）筑物：设置安全相关系统和设备的建（构）筑物；
- 3) 其他建（构）筑物：上述安全重要、安全相关以外的建（构）筑物。

### 3.4.4 质量等级

#### 3.4.4.1 质量等级按以下准则进行分级

- 1) 物项的安全和运行重要性；
- 2) 成熟度；
- 3) 复杂性。

#### 3.4.4.2 质量等级按质保要求分为三级：即：QA1、QA2和NQA级。

1) QA1级为满足以下要求的物项：

- a) 其失效对安全产生明显风险和（或）使运行能力明显下降；

- b) 复杂产品或服务的新设计、新的制造工艺；
  - c) 设计工作是广泛的或复杂的，制造需要大量复杂工艺。
- 2) QA2级为满足以下要求的物项：
- a) 其失效对安全造成有限的风险或使运行能力降到某一有限的范围内；
  - b) 已有产品或服务的重新设计，已经证明的设计和修改或已经过证明的制造工艺的重要改进；
  - c) 设计工作情况代表了某些复杂性，有一定数量的复杂制造工艺。
- 3) NQA级物项满足以下要求：
- a) 不对安全和运行能力造成风险；
  - b) 已经证明的设计部分组合或使用，或已经过证明的制造工艺及对已经过证明的制造工艺作了小改进；
  - c) 设计简单，制造只有少量复杂工艺或只有简单工艺。

#### 3.4.4.3 各物项对应的质保等级如下：

- 1) QA1级：安全重要系统和设备；
- 2) QA2级：安全相关系统和设备，安全重要建（构）筑物，安全相关建（构）筑物；
- 3) NQA级：其它系统和设备，其它建（构）筑物。

#### 3.4.5 抗震设防措施

##### 3.4.5.1 设备抗震设防措施

各类设备抗震设防措施如下：

- 1) 安全重要设备：设备抗震重要度按GB/T 50761的第三类执行；按本地区抗震设防烈度进行地震作用和抗震验算，并按本地区抗震设防烈度提高一度采取相应的抗震构造措施；
- 2) 安全相关设备：设备抗震重要度按GB/T 50761的第二类执行；应按本地区抗震设防烈度进行地震作用和抗震验算，并应按本地区抗震设防烈度采取相应的抗震构造措施；
- 3) 其他设备：按GB/T 50761的规定执行。

##### 3.4.5.2 建（构）筑物抗震设防措施

###### 3.4.5.2.1 各类建（构）筑物抗震设防类别如下：

- 1) 安全重要建（构）筑物：特殊设防类；
- 2) 安全相关建（构）筑物：重点设防类；

3) 其他建(构)筑物: 按GB 50223的规定执行。

3.4.5.2.2 建(构)筑物应按GB 50223确定其抗震设防标准, 按GB 50011进行抗震设计。

3.4.5.2.3 最低设计基本地震加速度不得低于0.1g。

### 3.4.6 质保控制措施

#### 3.4.6.1 QA1级物项控制措施

1) 在设计、采购、安装、检查和试验等各要求的控制中, 采用最高的监督方式、比例、深度和广度;

2) 必须按照核安全法规编制质量保证大纲, 明确采购、标识、包装、搬运、运输、贮存、防护、发放、维护等控制的实施细则;

3) 必须明确技术规格要求, 编制物项选购的论证报告;

4) 对物项供方进行供方评价、现场质量监察, 必要时实施驻厂监造和定期质量检查;

5) 设置建造、安装检查控制点, 对设计隐蔽项目设置停工待检点, 并严格按照规定做好记录;

6) 必须明确具有检查、试验程序和方法, 并经试验合格后方可出入库;

7) 安装前验证;

8) 对QA1级物项的土建施工、设备安装进行检查和验证。

#### 3.4.6.2 QA2级物项控制措施

1) 执行QA1级物项的控制措施的部分控制措施, 可以不选择或不执行3.4.6.1中2)、3)、4)、5)、6)的规定;

2) 设计、采购、安装、检查和试验等各要求的控制中采用低于QA1级物项的监督方式、比例、深度和广度。

#### 3.4.6.3 NQA级物项控制措施

物项制造过程和产品满足ISO9000标准的要求, 并执行A1级物项的控制措施, 视情况选择监督方式、比例、深度和广度。

## 3.5 核临界预防

3.5.1 在正常运行期间应将系统参数控制在次临界限值之内, 并为应对工艺偶然事件留出次临界裕量, 以实现核临界安全。

3.5.2 核临界安全分析可以采用多种方法进行, 如使用经过验证的计算机程

序、实验数据、已颁布的标准等方法。

3.5.3 进行核临界安全分析时应考虑下列一个或多个要素：

- 1) 丰度：应在所有评估中使用设施内能加工易裂变材料的最大许可丰度；
- 2) 质量：应按照有较大的裕量来评价核临界安全；
- 3) 几何条件：分析应包括设施的布置，管道、容器和其他工艺单元的尺寸，应考虑到运行期间尺寸上的可能变化；
- 4) 浓度：应采用保守方法。在分析确定可能发生的最大反应性条件时应考虑到溶液中铀浓度的范围。除非可以证明溶液的均一性，否则应考虑到加工和贮存设施中铀浓度最不利部分的情形；
- 5) 慢化：应考虑慢化度范围，确定可能发生的最大反应性；
- 6) 反射：应对反射做出保守的假定；
- 7) 中子相互作用：应对所有可能涉及的设施单元之间的中子相互作用给予考虑，包括所有可能接近单元群的移动单元；
- 8) 中子吸收剂：当在安全分析中考虑时，如果有下降的风险，应在定期测试中核实中子吸收材料的存在和完好性。核临界计算中应考虑到吸收材料参数的不确定度。

## 3.6 辐射工作场所分区

3.6.1 辐射工作场所应按电离辐射照射潜在危险及污染情况分为监督区和控制区。控制区又根据其工艺操作的方式和放射性潜在危险的情况，分为不同子区。

3.6.2 控制区和监督区划定明确的边界，出入口配置相应的安全防护设施，并按规定设置醒目的警告标志或标牌。

## 3.7 放射性物质及化学危险物质包容

### 3.7.1 综述

3.7.1.1 应尽可能减小下列参数：

- 1) 操作区液态六氟化铀的量，例如限制冷凝器的尺寸；
- 2) 容器中的残存量；
- 3) 正压操作六氟化铀的持续时间；
- 4) 氟化氢、液氨和氢气的存储量。

3.7.1.2 铀转化和铀浓缩设施的设计应使其对设施和环境的污染最小化，同

时便于去污和最终退役。特别是在液态六氟化铀的操作区域，应设置两道实体屏障，还应减少软管的使用，如有使用应确保对其进行充分维护和定期检查。

3.7.1.3 设置通风和包容系统是防止放射性气溶胶或有害化学气体污染扩散的首要方式。通风系统应合理组织气流方向，相邻区域之间保持一定的压差，使气流方向由清洁区域流向污染区域、低污染区域流向高污染区域。

3.7.1.4 通风和包容系统设计时应考虑以下因素：

- 1) 厂房内不同区域之间的压差；
- 2) 换气次数；
- 3) 过滤器的类型；
- 4) 过滤器进出口最大压差；
- 5) 通风和包容系统接口处的气流速度。

### 3.7.2 工作人员的防护

3.7.2.1 应根据厂房生产性质设置完善的通风系统，避免含有有害物质的气流流向工作人员，确保工作人员吸入的空气中的放射性和危险化学物质的水平在限值以下。

3.7.2.2 通风系统应保证工作场所有良好的通风换气。不同级别工作场所的通风换气次数根据工作场所空间大小、人员停留时间、工艺操作特点和污染情况等因素确定。

3.7.2.3 在可能释放大量放射性物质或危险化学物质的区域设置事故排风系统，尽可能减小事故状态下对工作人员的辐射和化学危害。

3.7.2.4 通风系统应设置必要的监测报警系统（如压差测量系统），以便在排风系统故障或压差超限时报警。

3.7.2.5 应设置生产系统检修操作所需的吹扫置换系统，保护工作人员的安全。

3.7.2.6 在可能存在气溶胶污染的区域，过滤器应尽可能靠近污染源安装。

3.7.2.7 工作场所应根据生产性质配备必要的气溶胶浓度监测、表面污染监测、外照射剂量监测系统及有毒有害气体浓度监测报警系统，并根据需要与事故排风系统联锁。

### 3.7.3 保护环境

3.7.3.1 通风和包容系统的排风应根据其来源、性质、污染程度确定合理的排放形式。

3.7.3.2 对流出物进行浓度和总活度监测，确保达标排放。

## 3.8 外照射防护

3.8.1 外照射可通过距离、时间和屏蔽有机结合的方式加以控制。在靠近新近倒空或贮存大量六氟化铀的容器的区域应设置防护栏或保护装置。

3.8.2 在选择贫料贮存场地时，应综合考虑距离、停留时间和屏蔽要求，以减小 $\gamma$ 照射对公众产生的直接照射。在剂量估算时不考虑天然本底辐射的照射。

## 3.9 典型假设始发事件预防缓解措施

3.9.1 典型内部始发事件预防缓解措施

3.9.1.1 火灾和爆炸

3.9.1.1.1 在设施设计时应根据相关规范进行防火设计，以保护工作人员、公众和环境。

3.9.1.1.2 防火设计时应根据铀转化和铀浓缩设施生产或产生的物质性质及其数量等因素划分生产火灾危险性类别。

3.9.1.1.3 设施设计中应尽可能采取措施确保火灾不会发生；即使发生火灾，也应有相应措施将火灾的影响减至最小。

3.9.1.1.4 应进行火灾危险性分析，确定采取的防火措施的适当性和充分性；对于复杂且危害高的情况，必要时应使用计算机模型辅助进行分析。

3.9.1.1.5 为了达到火灾预防和缓解事故后果的双重目的，应采取包括下列措施的一系列常规和特殊的措施：

- 1) 易燃易爆危险物质的贮存库与生产区域保持适当距离；
- 2) 单个房间的火灾荷载最小化；
- 3) 根据功能要求和耐火等级选择材料，包括与安全重要建（构）筑物、系统和设备相关的建筑构件、贯穿件和电缆等；
- 4) 根据各厂房生产和储存物品的火灾危险性，正确确定厂房的生产类别和耐火等级，进行合理的防火分区，设置防火墙、抗爆墙与安全疏散通道；
- 5) 消除或限制点火源，如明火或电火花。

3.9.1.1.6 应在可能发生火灾的区域配置足够的自动或手动灭火装置。具有核临界风险的区域禁止安装喷水灭火装置。

3.9.1.1.7 供暖、通风和空气调节系统应采取防火措施。通风和空气调节系统，

宜按防火分区设置；在穿越防火分区处，应设置公称动作温度为70℃的防火阀。防火阀的设置还应符合GB 50016的要求，在接收到火灾报警信号时可自动关闭。在必要时应安装防止火花外射的装置，以保护过滤装置。

3.9.1.1.8 在管线（电气、气体、工艺管线等）穿越防火分区时应确保发生火灾时不会蔓延。

3.9.1.1.9 在铀转化和铀浓缩设施中可能的爆炸源包括：

- 1) 爆炸性气体（如铀转化设施：还原工序的还原剂 $H_2$ 或 $NH_3$ ）；
- 2) 固体化合物（铀转化设施高温环境下可能有硝酸铵；应监测可能的沉积，防止硝酸铵积聚）。

3.9.1.2 泄漏和溢出

3.9.1.2.1 容器、泵、阀门和管道等密封系统的泄漏可能导致放射性物质和有毒、易燃化学物质的泄漏。含氢液体（水、油等）的泄漏会严重影响核临界安全。在这些场合应设置相应的泄漏探测和报警系统。

3.9.1.2.2 盛装含铀溶液的容器应设置液位监测及报警系统，防止过量充装；具有核临界风险时，还应配备如溢流盘等的第二重控制系统，以确保核临界安全。

3.9.1.2.3 对于可能发生大量废液泄漏的区域，应设置废液泄漏时防止污染扩散的设施。

3.9.1.2.4 地面和墙面应便于去污，特别是在湿法操作区域，以使退役时废物最小化。

3.9.1.3 辅助系统的失效

3.9.1.3.1 电源、压缩空气、冷却/加热介质等辅助系统失效情况下，安全系统和设备应能够执行其安全功能。否则，应设置失效情况下的安全保护系统。

3.9.1.3.2 应为以下系统配备应急电源：

- 1) 辐射和环境保护监测系统；
- 2) 有毒有害物质泄漏探测和报警系统；
- 3) 火灾探测和报警系统；
- 4) 核临界事故探测和报警系统；
- 5) 对危险物质进行包容而必需的通风系统；
- 6) 可能造成危险物质泄漏的工艺过程控制部件（如加热元件或阀门）；
- 7) 用于缓解事故后果的系统或设备。

3.9.1.3.3 铀浓缩设施中离心级联系统应设备用电源，便于在紧急状态下将级

联中的六氟化铀转移到六氟化铀容器或相关安全装置中。

3.9.1.3.4 应考虑设施恢复到安全状态所需的补救措施,除非基于概率分析可排除长时间断电的可能性。

3.9.1.3.5 故障后可能引起相应安全后果的气动、电动等部件应具有故障保护功能。

#### 3.9.1.4 反应介质的不足或过量

应考虑反应介质的不足或过量带来的危险,主要包括以下内容:

- 1) 铀转化设施中的不完全化学反应可能导致有害化学物质的释放;
- 2) 设备超压可能导致操作区域空气中气溶胶或有害化学物质浓度的升高;
- 3) 铀转化设施中氟化工序氟气大量过剩可能导致氟气的释放;
- 4) 大量氮气的泄漏可能会引起工作区域空气氧浓度的降低。

#### 3.9.1.5 机械故障

3.9.1.5.1 应特别关注容器、管道和泵中的强腐蚀和危险物质(如六氟化铀、氟气和氟化氢)的密封或包容,也应关注粉末输送管道中粉末对管道的磨损。

3.9.1.5.2 设计时应最大限度地减少由车辆、起重机等移动装置对危险物质容器机械撞击的可能性。设计应确保起重机在盛装大量危险性和/或放射性物料的容器和管道上方移动重物的可能性减至最小,防止重物掉落造成放射性物料或危险化学品释放。

3.9.1.5.3 在对盛装大量危险物质的容器进行吊运时,应采取措施防止容器跌落。

3.9.1.5.4 在设计危险化学品和放射性物质的密封系统时,应考虑因疲劳、化学腐蚀或机械强度不足引起的故障。

### 3.9.2 典型外部始发事件缓解措施

#### 3.9.2.1 地震

3.9.2.1.1 在设计中应采取措施确保在发生设计基准地震时,不会造成六氟化铀、氟化氢的大规模泄漏,或发生临界事故。

3.9.2.1.2 为确保在预估的地震发生时,厂房内的工作人员不受到伤害,设备、设施不受到损害,有效地防止或减少在地震情况下工作人员、公众受到的辐射危害,使其辐射水平控制在国家规定的范围之内,铀转化和铀浓缩设施设计时,建(构)筑物基本的抗震设防目标如下:

- 1) 遭受低于设施所处地区抗震设防烈度的多遇地震时,不受损坏或不需修

理可继续使用（简称多遇地震不坏）；

2) 遭受相当于设施所处地区抗震设防烈度的地震时，可能损坏经一般修理或不需修理仍可继续使用（简称设防烈度地震可修）；

3) 遭受高于设施所处地区抗震设防烈度预估的罕遇地震时，不发生危及工作人员生命，危及设备、设施安全的破坏；主体结构的防倒塌能力和结构构件、建筑构配件的防倒塌防坠落能力具有适度的安全储备（简称罕遇地震不倒、不落）。

3.9.2.1.3 在设施设计过程中应根据各建（构）筑物抗震设防类别，确定其地震作用，采取相应的抗震措施及抗震构造措施。详见3.4.5.2。

### 3.9.2.2 外部火灾和爆炸

3.9.2.2.1 在铀转化和铀浓缩设施设计时，应对厂址周围8km范围内可能危及设施安全的工业、运输和军事设施进行安全分析，确定其可能发生的潜在事件对设施安全的影响。这类设施包括化工厂、炼油厂、危险品仓库、加油站、采矿和采石操作、军用基地、油气管道、易燃物料运输线路等。

3.9.2.2.2 为证实这些外部危害的风险低于可接受水平，营运单位应识别所有潜在的危险源，并对可能影响设施安全的事故后果进行评价。

3.9.2.2.3 对于外部存在的可能的爆炸危险源，应以事故后果法确定设施的外部安全防护距离，确保爆炸产生的空气冲击波超压不超过安全阈值。空气冲击波超压安全阈值依据GB/T 37243确定，因地形条件对外部安全防护距离造成的影响可参照GB 50089对其进行调整。

3.9.2.2.4 对于外部存在的可能的火灾危险源，应以定量风险评价方法确定设施的安全防护距离。

### 3.9.2.3 极端气候条件

#### 3.9.2.3.1 概述

1) 在铀转化和铀浓缩设施设计与安全分析时应考虑极端气候条件的影响，如风荷载、龙卷风、海啸、暴雨、暴雪、极端温度、洪水和泥石流。

2) 针对此类极端气候条件通常采用设计基准值评估其对设施安全的影响。

3) 应通过采用合理的设计方案，确保铀转化和铀浓缩设施不受极端气候条件的影响，通常包括：

- a) 安全重要建（构）筑物抵御极端气候条件的能力；
- b) 设施抵御洪水的能力；
- c) 依据运行限值和条件保证设施安全。

### 3.9.2.3.2 龙卷风

1) 保护设施不受龙卷风侵袭的措施取决于设施所在地区的气象条件。建(构)筑物和通风系统的设计应符合与龙卷风危害有关的特殊规定;

2) 在设施设计阶段应考虑龙卷风引起的二次喷射物撞击的可能性;

3) 对于风荷载, 基本风压应按GB 50009规定取值。

### 3.9.2.3.3 极端温度

1) 在系统装置设计时, 应考虑潜在持续的极端高温或低温, 以避免造成严重的后果, 如:

a) 硝酸铀酰溶液、气态或液态六氟化铀结晶;

b) 冷凝器(如尾气系统中使用的冷凝器)或冷阱的冷却系统冻结;

c) 工艺系统中固态六氟化铀液化。

2) 若在一个建筑物或区域内规定了湿度或温度的安全限值, 则空调系统的设计应确保在极端湿热天气条件下可有效运行。

### 3.9.2.3.4 暴雪

1) 在设计和安全分析中应考虑暴雪的影响。通常将雪作为建(构)筑物屋顶的附加荷载。如有必要, 对六氟化铀产品容器贮存区应考虑积雪的中子反射效应和/或散射慢化效应;

2) 基本雪荷载应按GB 50009规定取值。

### 3.9.2.3.5 暴雨

1) 设施设计中应考虑暴雨的影响;

2) 暴雨降水量的计算应按GB 50014规定进行, 降雨重现期不低于5年。

### 3.9.2.3.6 洪水

1) 设施设计时应考虑洪水及其可能产生的泥石流的影响;

2) 铀转化设施防洪设计按不低于二百年一遇洪水考虑; 铀浓缩设施防洪设计按不低于五百年一遇洪水考虑。

## 3.10 系统设计安全要求

### 3.10.1 总体要求

3.10.1.1 应根据工艺需求选择合适的生产工艺, 采用成熟的或经验证的先进技术。

3.10.1.2 设施的设计应使其对设施和环境的污染最小化, 同时便于去污和最

终退役。

3.10.1.3 工艺厂房组合及工艺设备布置应符合设施生产工艺及辐射工作场所的分区要求。

3.10.1.4 工艺设备及管道设计，应满足正常运行和检修要求，并应符合突发事故的应急处理和去污要求。

3.10.1.5 工艺各系统设备、管道等材料的选择应与其生产、产生的物质性质相匹配。

3.10.1.6 操作固体粉末物料的场所应采取措施避免粉料外泄飞扬。

3.10.1.7 操作含铀料液及腐蚀性料液的场所，应采取措施避免料液的泄漏。应考虑料液泄漏时防止污染扩散的措施。

3.10.1.8 铀浓缩设施应考虑核临界事故的预防、监测及事故的应急处理措施。

3.10.1.9 应设置生产系统的检修操作所需的吹洗置换系统。

3.10.1.10 应根据厂房内使用物质的性质及特点设置相应的事故探测、预防、缓解措施。

### 3.10.2 六氟化铀操作系统

3.10.2.1 设施设计时应重点防范六氟化铀泄漏事故。设计中应考虑六氟化铀泄漏事故的预防、监测及事故的应急处理措施。

3.10.2.2 设施中液态六氟化铀的转移系统应设置在隔离小室内，并配置事故处置设施。

3.10.2.3 液态六氟化铀生产管线长度和连接点数量应严格控制，管道保温伴热系统应有效、可靠。

3.10.2.4 六氟化铀容器、阀门的选择和使用应符合六氟化铀容器制造和使用标准要求。

3.10.2.5 应设置必要的称重计量装置，防止六氟化铀容器过量充装。

3.10.2.6 六氟化铀生产厂房应为密闭厂房，设置必要的通风设施、事故处置设施。发生六氟化铀泄漏事故时，应能有效关闭送排风系统，以便及时阻止六氟化铀向外界释放，并应考虑六氟化铀有效的降温处置措施。

3.10.2.7 铀浓缩设施中加热六氟化铀容器的设备应具有密封包容泄漏六氟化铀物质的能力。

3.10.2.8 操作和贮存六氟化铀的车间及库房内应备有应急处理六氟化铀一般泄漏事故用的器具和防护用品，如液氮、毛毯等。

### 3.10.3 仪表和控制系统

#### 3.10.3.1 仪表

3.10.3.1.1 应设置仪表以监控设施的参数和系统状态（包括正常运行、预计运行事件和设计基准事故），以确保能够获得足够的设施状态信息，并能够按照操作规程或由控制系统采取适当措施。

3.10.3.1.2 应设置仪表以测量所有可能影响生产过程的主要参数，确保设施正常运行时的安全（如场所 $\alpha$ 气溶胶/ $\gamma$ 剂量率监测、流出物排放和通风系统的监测），同时获取设备可靠和安全运行所必需的其他信息。安全相关的重要参数应采用自动监测和记录技术。

#### 3.10.3.2 控制系统

3.10.3.2.1 能动和非能动的工程控制比管理控制更可靠，应作为正常运行状态和事故工况下的首选。自动控制系统应能保持工艺参数在运行限值和条件范围内，在异常情况下可使工艺回到安全状态。

3.10.3.2.2 应向操作人员提供适当的信息，以监控自动控制的效果。监测设备的布置和信息显示方式应便于操作人员正确掌握设施的现状和性能的全貌。设置有效的可视装置和适当的声响装置，用于指示偏离正常和可能危及设施安全的运行状态和过程。

#### 3.10.3.3 控制室

3.10.3.3.1 应将设施正常运行主要数据的显示、控制和报警集中于控制室。

3.10.3.3.2 控制室应设置在辐射水平较低的区域，以尽量减少职业照射。

3.10.3.3.3 应特别注意识别可能对控制室操作人员和控制室运行构成直接威胁的内部事件和外部事件。

3.10.3.3.4 在设计控制室时应考虑人机工程学因素。

#### 3.10.3.4 仪控系统

3.10.3.4.1 应设置的安全重要仪控系统包括：

1) 与液态六氟化铀系统相关的仪控系统：容器装料量称重系统，温度、压力检测仪表，氟化氢浓度检测报警系统，相关联锁保护系统等；

2) 与核临界控制有关的仪控系统：含易裂变材料溶液的液位、浓度检测系统等；

3) 存有大量易裂变材料的区域应设置核临界报警系统和火灾自动报警系统。

3.10.3.4.2 应设置的安全相关仪控系统包括：

1) 与工艺有关的仪控系统（安全重要仪控系统除外）：如温度、压力、流量、化学品或放射性物质的浓度、储罐液位和容器重量等；

2) 与通风系统有关的仪控：测量过滤器的压差和空气流量的装置；

3) 与防止爆炸性混合物有关的仪控：如果有超过规定限值和安全限值的风险，应设置在线监测和报警系统，如铀转化设施中还原流化床中氧气浓度的测量；

4) 正压操作六氟化铀的场所应设置在线监测、报警系统和相关联锁保护系统；

5) 气态和液态流出物浓度监测系统；如果存在超出排放限值的风险时，应进行在线监测；排放总活度测量应采样进行就地测量或实验室测量，允许有一定的延时。

3.10.3.4.3 在生产和使用可燃气体及有毒气体的生产设施及储运设施区域内，应根据GB/T 50493要求设置可燃气体探测器或有毒气体探测器。

3.10.3.4.4 构成危险化学品重大危险源的相关设施的安全仪控系统还应符合AQ 3035、AQ 3036的要求。

#### 3.10.4 贮存设施

3.10.4.1 放射性物质应单独存放，不得与易燃、易爆物品及其他危险品一同存放。

3.10.4.2 含铀物料贮存库的设计，应根据需要设置固定容器的设施、必要的通风设施和吊运设施，以及相应的厂房密封措施和实物保护措施。根据需要还应设置事故报警装置和处理设施。

3.10.4.3 在生产车间内，原则上不考虑中间产品或产品的贮存。当该生产车间的中间产品或产品量达一个运输单位（如一车、一罐等）后，应立即送往下一道工序或最终产品储存库。

3.10.4.4 进入厂房的中间产品及原材料的存放量，应以该厂房生产5昼夜之内的所需量为上限。对用量少或占地面积不大的原料，以及用大罐贮存的原料贮存量可适当增加。

3.10.4.5 有核临界风险的六氟化铀贮存设施应设置有效的核临界报警系统。

3.10.4.6 贫料容器贮存设施设计应考虑避免贫料容器深度腐蚀而导致密封失效的措施。

3.10.4.7 六氟化铀贮存库在设计时应设置必要的安全通道和运输通道，留有足够的巡检空间，以减少停留时间（限制照射）。

### 3.11 人因考虑

3.11.1 应通过设计最大程度地减小正常运行、预计运行事件及事故状态下对人员的需求，例如对适当的操作进行自动化设计。设计中还应考虑防止可预见人为失误的适当控制装置（如联锁装置、密码等）。

3.11.2 在设计阶段应考虑运行、检查、定期试验和维护中的人为因素，主要包括：

- 1) 未经许可的人为操作对安全带来的可能影响；
- 2) 潜在的职业照射。

3.11.3 人因工程设计主要应考虑以下方面：

- 1) 设置符合人机工程学的工作环境；
  - a) 人机界面，例如显示屏显示所有必需的信息而不显示多余的信息；
  - b) 工作环境，例如设备周围有足够的操作空间，设备表面易清理。
- 2) 合理布置设备并设置清晰的标签，以便于设备维护、检查、清洗和更换；
- 3) 为需获得快速、有效防护的各类事故设置自动故障防护装置及自动控制  
系统；
- 4) 在自动控制系统失效时，尤其是在维修期间，应有良好的工作团队以及合理的任务分工；
- 5) 将所需的额外的人员辐射防护措施减至最少。

### 3.12 放射性废物和流出物管理

3.12.1 放射性废物管理应以实现放射性废物的最终安全处置为目标。

3.12.2 铀转化和铀浓缩设施设计时应采用合理可行技术，控制废物的产生，使废物最小化。

3.12.3 应建立放射性废物贮存设施。贮存设施的设计应考虑放射性废物的类型、放射性特征、相关危害性及预计贮存期，应便于废物的接收、搬运、贮存和回取。

3.12.4 放射性废物应根据废物的放射性、物理和化学性质进行分类收集，满足我国《放射性废物分类》的相关规定。

3.12.5 放射性废物处理应根据废物特性和后续处置的要求，选择合适的处理工艺，采用成熟的或经验证的先进技术。

3.12.6 废气、废液处理后形成的气态、液态流出物应满足排放要求。

3.12.7 气态流出物排放设施应设连续取样监测系统及就地测量或实验室测量措施。流出物中铀及其他大气污染物的排放浓度分别按照EJ 1056、GB 16297的相关规定执行。

3.12.8 铀转化和铀浓缩设施应设置含铀废水处理厂房,对整个设施产生的放射性废液进行收集和净化处理,同时回收废液中的铀。

3.12.9 液态流出物排放应采用槽式排放,排放前须经过取样监测。流出物中铀、氟等的排放浓度分别按照EJ 1056、GB 8978的相关规定执行。

3.12.10 放射性固体废物按下列要求进行处理、暂存或处置:

1) 放射性比活度小于GB 18871规定的豁免值时,经审批后按一般工业废物处理;

2) 大于豁免值的石灰渣、废树脂等极低水平放射性废物存放于专用的废渣库,定期填埋处置;

3) 氟化渣、炭化渣等含可回收铀的废物在废物暂存库暂存,定期集中处理,并回收其中的铀;

4) 沾污管道、阀门、部件或设备等经清洗检测合格后回用,报废的暂存于废物暂存库,定期进行处理;

5) 对于棉织物、橡皮垫圈等可燃固体废物,集中暂存定期焚烧或压缩减容处理。

3.12.11 放射性废物暂存前应按GB 12711的有关规定进行包装。废物暂存库应符合GB 11928和EJ 1056等有关规定的要求。

3.12.12 用于处置的废物包应满足废物处置设施的废物接收准则。

### 3.13 应急准备与响应

3.13.1 营运单位应在对设施事故状态及其后果分析的基础上,对场内的应急设施、应急准备和应急撤离路线作出安排,提出应急预案的初步方案,其内容应包括营运单位拟设置的应急组织及其职责的框架,应急状态划分、应急计划区(如有)范围的初步测算及其环境概况,主要应急设施与设备的基本功能和位置,撤离路线,场内、外应急组织、资源及接口的安排等。

3.13.2 应考虑那些导致或可能导致放射性物质释放,从而危及工作人员、公众健康及环境安全的潜在核事故。所考虑的事故范围不仅要包括预期的运行工况和事故工况,而且应考虑那些发生概率更低,但后果更严重的事故,包括环境

后果比设计基准事故更大的事故（包括严重事故）。

3.13.3 在设施设计阶段，应根据HAD 002/07《核燃料循环设施营运单位的应急准备和应急响应》的要求，设置相应的应急设施。

### 3.14 实物保护设计

3.14.1 应根据国家主管部门批准的核设施设计基准威胁，建立相应的实物保护系统。

3.14.2 应按照EJ 1054的要求确定核材料和核设施实物保护等级。

3.14.3 根据实物保护等级将核材料固定场所划分为控制区和保护区，实行分区保护和管理。

3.14.4 实物保护系统应保证实现探测、延迟和反应三要素的协调；完善实物保护各类设备的功能；做到人防和技防措施的有机结合，确保系统的完整性、可靠性与有效性。

3.14.5 实物保护系统的设计还应符合HAD 501/01和EJ/T 1054的规定。

### 3.15 退役考虑

3.15.1 在确保设施安全运行的同时，设施设计过程中应：

- 1) 考虑设施分区布置，尽可能减少受污染区域的数量；
- 2) 选择耐腐蚀、耐磨且便于去污的材料；
- 3) 采取措施避免不必要的化学品或放射性物质累积；
- 4) 确保主要系统部件和可能污染区域易于清理，便于退役。

3.15.2 设计阶段应编制初步退役计划，内容应包括：

- 1) 基本安全问题的考虑；
- 2) 预期的退役策略；
- 3) 论证采用现有或待开发的退役技术实施退役的安全性；
- 4) 退役设施与在役设施公用辅助系统的接口安排；
- 5) 退役过程对环境的影响；
- 6) 退役废物管理；
- 7) 退役费用及筹措方式和保障机构。

### 3.16 其他

3.16.1 对于特定的工艺区域，应考虑在紧急状态下设施安全关闭的方法。

3.16.2 设计中应考虑操作现场危险物贮存量最小化。

3.16.3 铀转化和铀浓缩设施应按GB 12379规定设立环境辐射监测机构，并配备必要的测量设施。

## 4 建造

4.1 铀转化和铀浓缩设施建（构）筑物、系统及设备的建造、安装应符合相关法规和标准规范要求。

4.2 营运单位应制定建造阶段质量保证大纲，确保建造阶段充分满足设计要求；应按质量保证大纲的要求保留施工记录。

4.3 应制定设计变更程序，准确记录建造期间对设施所作的变更，并对其影响作出评价。

4.4 为确保安全重要/安全相关建（构）筑物、系统和设备按照设计规范和设计意图进行建造、装配、安装和建立，营运单位应组织设计单位向建设单位进行技术交底。

4.5 为不断提高设计水平，营运单位在建造期间除对建造过程进行控制之外，还应将施工建造情况及时反馈给设计单位。

4.6 铀浓缩设施在建设中宜使用模块化组件，以使设备在安装之前可在制造商车间进行测试和验证，这有助于设备的调试、维护和退役。应对组件和线缆进行明确标识。

4.7 设施建造完成后应进行调试，验证其是否满足设计的核安全要求。

4.8 建造和调试过程可能重叠。在调试过程中可能存在放射性物料，应加强建造过程中的防护。

4.9 调试前应制定调试大纲，并按调试大纲对铀转化和铀浓缩设施进行调试。调试大纲应至少包括：调试的组织机构和职责、调试阶段、调试内容、进度安排、调试程序、审查和核实的方法、偏差和缺陷的处理、主要审查点和控制点等。

4.10 各系统验证应在正式运行之前完成。营运单位应利用调试阶段熟悉设施。设施管理人员应利用调试阶段在整个单位建立一种积极的安全文化和行为准则。

4.11 在设施调试及运行期间，应将工作人员的剂量估算值与实际剂量进行

比较。如果操作中实际剂量高于剂量估算值，应采取纠正措施，包括对许可文件进行必要的修改，增加安全装置或更改操作规程。

4.12 调试过程的所有调试结果应在设施寿期内妥善保管。

4.13 调试完成后应编制调试报告。调试报告应至少包括：试验结果、数据分析、结果评价、偏差和缺陷分析、纠正行动及依据等。

4.14 如果正在建设的铀转化和铀浓缩设施场区内或附近已有正在运行的其他核设施，应保证正在建设设施工作人员的安全。新建设施营运单位应针对正在运行的核设施潜在事故，制定相应的应急预案，并进行相应的应急准备。

## 5 运行

### 5.1 运行安全管理机构

营运单位应建立和保持适当的职责分明的安全管理机构，并配备称职的负责人和足够数量的合格工作人员，以胜任和有效地履行各项安全管理职责。

### 5.2 人员资格和培训

5.2.1 应明确人员的最低资格，最低资格应与分配的职责和权限以及所从事的安全相关活动相适应。重要运行岗位人员应持证上岗。

5.2.2 培训应包括合格人员的再培训。培训大纲应包括下列内容：分析和鉴别需要培训的功能领域、岗位培训要求、培训目标、培训知识的评估、在岗培训、培训效能评价。

5.2.3 培训应覆盖设施的运行状态，包括应急程序。培训应确保运行人员充分了解设施及其安全特征。

5.2.4 应将设施的更改及时反映到培训大纲中。

5.2.5 铀转化和铀浓缩设施中，应特别重视对从事具有放射性危害和常规化学危害工作人员的培训和资格鉴定。

5.2.6 应通过培训使工作人员清楚其正在执行的活动带有的危险。应对操作大量六氟化铀和其它化学物品的人员进行安全培训，培训的详细程度应与操作岗位的危险程度相适应。应对所有现场人员进行定期培训，对于导致可见烟雾的六氟化铀释放和其他化学物品释放遵守“一看、二撤离或隐蔽、三报告”的程序。

5.2.7 应对预防和缓解火灾或爆炸事故进行培训，并定期组织演练。

5.2.8 应进行与铀浓缩操作有关的核临界安全培训。

5.2.9 应定期对工作人员进行基本辐射安全的培训。

### 5.3 设施运行

5.3.1 在正常情况下，为了确保铀转化和铀浓缩设施在运行限值和条件之内良好地运行，营运单位应制定一系列更严格的内控限值和条件。这些内控限值和条件应清晰、适用，便于操作人员理解。

5.3.2 应制定运行程序，按工艺流程列出所有运行限值和条件。附录B和附录C列出了铀转化和铀浓缩设施各工序的运行限值和条件示例。

5.3.3 应设定设施的通用限值，例如：

- 1) 设施允许的铀的最高丰度；
- 2) 供料限值；
- 3) 设施及工艺过程最大允许存量。

5.3.4 应确保铀仅存在于其贮存区及操作区域内。应制定辐射、气溶胶和表面污染的日常监测大纲。

5.3.5 应制定工艺流程的具体操作规程。

### 5.4 核材料衡算

5.4.1 营运单位应建立核材料管理机构，全面负责核材料衡算管理工作。

5.4.2 营运单位应建立核材料衡算制度，设置核材料平衡区、关键测量点及核材料测量系统。

5.4.3 营运单位应建立核材料的实物盘存制度，并按规定对各材料平衡区的核材料进行盘存。

5.4.4 营运单位应按规定提交核材料账目与衡算报告。

5.4.5 核材料衡算的相应记录应妥善保存。

### 5.5 实物保护

5.5.1 营运单位应建立专职的实物保护组织机构。

5.5.2 营运单位应根据设施实物保护等级配置相应的警卫力量。

5.5.3 营运单位应建立处置突发事件的指挥机构，制定详细的突发事件处置方案，并予以严格执行。

## 5.6 运行经验反馈

5.6.1 应系统的收集、筛选、分析和/或审查铀转化和铀浓缩设施及类似设施报告的运行经验和事件，并通过适当的经验反馈机制汲取和落实结论。

5.6.2 应审查新的标准、法规或导则，以核查其对于设施安全的适用性。

## 5.7 老化管理

5.7.1 应制定并实施老化管理大纲。

5.7.2 老化管理大纲应确定老化的后果以及维持安全重要建（构）筑物、系统和设备的可运行性和可靠性所需的活动。

5.7.3 应根据安全重要建（构）筑物、系统和设备的设计寿命，考虑有关老化及磨损机理，以及与服役年限有关的性能劣化的可能性，从而保证安全重要建（构）筑物、系统和设备在全生命周期内执行必需的安全功能的能力。

5.7.4 应考虑所有正常运行状态以及在假设始发事件中的老化和磨损效应。

5.7.5 应采取监测、试验、取样和检查措施，以便及时发现可能发生的老化。

5.7.6 应根据老化管理大纲执行的结果对设备维护和更换计划及时调整。

## 5.8 修改控制

5.8.1 在铀转化和铀浓缩设施中任何修改都应采用标准修改程序。这种过程应采用修改控制单或等效的管理工具。修改控制单应包括对修改内容及其原因的描述。

5.8.2 修改控制单应经过有资格且经验丰富的人员仔细检查和批准，以核实安全论据的确凿性。

5.8.3 修改控制单应指出修改完成后需要更新哪些文件；应执行文件控制程序，以确保及时更新相应的文件。

5.8.4 修改控制单应规定修改后系统再次投入运行前所需的功能检查。

5.8.5 设施的修改应定期进行检查，以确保若干安全重要性较小的修改所产生的综合影响不会对设施的整体安全产生不可预见的影响。

## 5.9 现场安全管理

5.9.1 应建立行政制度，确保运行场所和设备得到维护、照明充分、出入便利，并对临时贮存加以控制和限制。

5.9.2 应确保安全重要建（构）筑物、系统和设备、管线和仪器的标识和标签准确、易辨认并处于良好的维护状态。

## 5.10 维修、定期试验和检查

5.10.1 铀转化和铀浓缩设施的维修过程应特别注意表面污染和放射性气溶胶，以及氟化氢、氟气、氢气和硝酸等危险物质造成的特殊化学危害；也需要额外警惕预防核临界事故。

5.10.2 维修工作应遵循良好实践，应特别注意：

1) 作业管理：例如文件的交接、与工作现场的沟通 and 交流、计划作业范围的更改、工作暂停以及确保安全出入；

2) 设备隔离：例如切断电源、热源及压力管道，设备的吹扫置换；

3) 测试和监测：例如工作前检查、维修期间监测和再次调试前检查；

4) 作业安全防护：例如规定安全防护措施，确保个人防护设备和应急程序的可用和有效；

5) 设备重新装配：例如管道、电缆的重新组装、连接、测试，工作现场清理，重新调试后的监测。

5.10.3 铀转化和铀浓缩设施还应考虑因特定目的而使用的设备，如用于焊缝检测的放射源和X射线装置。

5.10.4 应制定预防核临界事故的相关程序。

5.10.5 应定期检查通风系统防火性能的有效性。

5.10.6 应制定设施定期检查程序，目的是检查设施是否按照运行限值与条件运行；应当由有资格的富有经验的人员进行检查。

5.10.7 应制定六氟化铀容器的检查大纲，以监视和记录容器腐蚀水平（特别是在塞、阀以及裙罩焊缝处）。

## 5.11 辐射防护

5.11.1 总则

5.11.1.1 在铀转化和铀浓缩设施运行期间，对工作人员和公众的辐射危害主要是吸入含铀气溶胶。

5.11.1.2 铀转化和铀浓缩设施正常运行时，外照射和内照射剂量率相对较低。应做好应急准备缓解核临界事故后果。

5.11.1.3 在维修/修改过程中应采取的防护措施包括：

1) 在处理铀转化设施中氟化反应器产生的氟化渣之前，应估算其外照射剂量；

2) 采取如下措施，以减少职业照射：

a) 识别风险；

b) 在许可范围内采取防护措施（如使用口罩、防护服和防护手套、时间限制等的个人和集体防护措施）。

3) 测量维修/修改期间的职业照射剂量；

4) 执行信息反馈以获得可能的改进。

5.11.1.4 排风在排入大气之前应尽可能合理可行地去除放射性物质，使公众的受照剂量得到控制。

5.11.1.5 应制定并实施辐射防护大纲。辐射防护大纲的监测结果应与运行限值和条件进行比较，并在必要时采取纠正行动。

5.11.2 内照射剂量控制

5.11.2.1 内照射应通过以下方式控制：

1) 对内照射剂量相关的所有参数设定管理限值，例如气溶胶浓度、污染水平等；

2) 应定期检查、测试和维修通风系统以确保其满足设计要求；应定期对通风罩和污染区域入口进行气流检查；应定期检查和记录空气过滤器之间的压降；

3) 应保持对设施内辅助系统的高标准要求，应使用不会引起放射性气溶胶浓度升高的清洁技术，如使用带有高效微粒空气过滤器的真空清洁器；

4) 应定期对设施和设备的污染情况进行检查；

5) 应明确划分出污染区域；

6) 应对工作场所空气进行连续监测，以在放射性气溶胶浓度超过控制限值时发出报警；

7) 必要时，应在可能污染的区域使用移动式空气取样装置；

8) 当空气污染监测结果较高时应迅速实施调查；

9) 在人员和设备离开污染区域前应进行污染检测，必要时进行去污处理。

应对工作场所出入口进行控制，防止污染扩散；应提供更衣间和去污设施；

10) 当进行诸如设备拆装、定期检查、测试与维护等工作时可能导致场所气溶胶浓度增加，应使用临时通风或密封措施；

11) 在特定操作环境下（例如工艺设备拆装或清洗期间）处理从正常密封装置中释放出的化学物质（例如酸性气体）或放射性物质时，应使用个人防护用品；

12) 个人防护用品应保持完好并定期进行检查，必要时进行清洗；

13) 有创伤的工作人员在污染区域工作时，应使用防渗透的材料保护伤口。

5.11.2.2 确保监测工作人员受照射量所必需的生物监测和生物取样有效。

5.11.2.3 取样监测范围应与工作场所放射性气溶胶浓度和污染水平相适应。

5.11.2.4 应按照GBZ 129的规定评估工作人员的内照射剂量。

5.11.2.5 维修工作结束后，如果需要，应对相关工作区域进行去污，采集空气样品，进行污染检查，以确认该区域可以恢复正常使用。

5.11.2.6 对于需要进入可能含铀的狭窄容器内作业时，除工业安全要求外，还应测量内部空间的辐射剂量率，以确定是否要求限制工作时间。

5.11.2.7 应优先使用环境监测数据估算公众所受的内照射剂量。亦可使用合适的剂量扩散模型和可靠的流出物监测数据相结合的方法进行内照射剂量估算。

### 5.11.3 外照射防护

5.11.3.1 在铀转化和铀浓缩设施中仅有个别的操作需要采取特殊措施控制外照射。典型的操作有：

- 1) 涉及新近倒空容器的操作；
- 2) 大量含铀物料的贮存；
- 3) 六氟化铀容器的处理；
- 4) 氟化渣的处理。

5.11.3.2 在铀转化和铀浓缩设施中为了特定的目的会用到放射源，如用于检查铀的丰度。在此过程中应采取措施控制外照射。

5.11.3.3 外照射应通过以下方式控制：

- 1) 确保正常工作区域与大量含铀物料贮存区域或新近倒空的容器之间的距离较远或有适当的屏蔽；
- 2) 源的更换由有资质的人员完成；
- 3) 辐射剂量率的常规监测。

## 5.12 核临界控制

5.12.1 在处理<sup>235</sup>U丰度大于1%的铀浓缩设施中，应严格执行控制核临界安全的运行限值和条件。

5.12.2 在进行铀回收、容器清洗及尾气处理操作过程中应采取措施预防核临界。

5.12.3 涉及核临界安全的任何运行操作，应按操作规程的规定执行。

5.12.4 现行的操作规程应定期进行审查。

5.12.5 在对涉及易裂变材料的操作进行改变之前，应进行核临界安全分析和评价，确保整个操作过程或整个工艺流程在正常条件和可信的异常条件下均处于次临界安全状态。

5.12.6 执行维修工作时应采取措施预防核临界。

## 5.13 六氟化铀操作

5.13.1 六氟化铀容器过量充装的风险

5.13.1.1 应为六氟化铀容器设定装填限值，以确保在加热液化过程中六氟化铀膨胀时不会发生破裂；此外，容器应承受加热液化后产生的压力。

5.13.1.2 在铀转化和铀浓缩设施中，通常使用称量方式对六氟化铀容器装填量进行监测。

5.13.2 六氟化铀容器过热的风险

5.13.2.1 若容器中六氟化铀存在液化的可能，则应通过衡器来核实容器的重量，确保其低于装填限值。如果容器装料量超过其装填限值，过量的六氟化铀应通过升华方式转移。

5.13.2.2 加热六氟化铀容器时，应避免容器局部过热，且应分阶段对容器进行升温，并保证每一升温阶段有足够长的加热时间。

5.13.3 液态六氟化铀容器操作

避免对装有液态六氟化铀容器的搬运。

5.13.4 固态六氟化铀的现场操作

5.13.4.1 液态六氟化铀容器的冷却时间应足够长，以确保所有六氟化铀均凝固。

5.13.4.2 装有固态六氟化铀容器的移动应使用被指定为安全重要设备、合格的设备。

5.13.4.3 应考虑火灾对固态六氟化铀容器的影响（例如六氟化铀容器运输设备失火）。

5.13.5 贫料贮存

5.13.5.1 应制定贫料处置计划。

5.13.5.2 应对贫料贮存容器进行老化管理，使用记录和跟踪系统定期检查物料贮存量及贮存容器状态，确保容器的完整性。

5.13.5.3 应定期检查贫料贮存场地。

## 5.14 工业与化学安全

5.14.1 铀转化和铀浓缩设施的常规化学危害如下：

- 1) 氟化氢、氟气、硝酸、液氨/氨气及铀化合物导致的化学危害；
- 2) 氢气、氨气、硝酸铵导致的爆炸危险；
- 3) 氮气或二氧化碳导致的窒息危险。

5.14.2 应按照国家规定建立健康监测程序，对可能遭受铀及化学品（如氟化氢、氟气和硝酸）危害的工作人员的健康进行常规监测。必要时应将铀的放射性和化学毒性影响纳入健康监测程序。

## 5.15 放射性废物和流出物管理

5.15.1 营运单位应制定放射性废物管理大纲和相关程序，明确放射性废物最小化管理措施和管理目标值。

5.15.2 放射性废气、废液应经有效处理后排放，向环境排放的放射性物质的量和浓度须低于规定限值。

5.15.3 应尽可能对化学品进行回收再利用。

5.15.4 放射性固体废物应根据废物特性进行适当处理后处置。可燃废物通过焚烧可实现最大程度的减容；可压实废物通过压实的方法进行减容；大体积废物可通过切割、解体等技术进行预处理。

5.15.5 应对铀转化设施氟化过程产生的氟化渣进行处理以回收其中的铀，其余残料应安全贮存。为了限制照射剂量，应延迟处理氟化渣，以使<sup>234</sup>Th、<sup>228</sup>Th充分衰变。

5.15.6 在废物处理过程中应采取措施防止放射性物质扩散。

## 5.16 运行事故管理大纲

5.16.1 应根据安全分析结果制定运行事故管理大纲。

5.16.2 事故管理大纲包括事故预防和缓解措施，以及在发生事故情况下使设

施恢复到可保持安全工况的受控状态的准则。

5.16.3 事故管理大纲应考虑与核活动有关的化学危害。

5.16.4 事故管理大纲应确定监测设施状态和事故严重程度所需的仪器仪表，以及用于控制事故或减轻后果的设备。

## 5.17 应急准备与响应

5.17.1 营运单位在首次装（投）料前应制定应急预案，至少包括以下基本内容：应急计划区（如有），应急状态分级及应急行动水平，应急组织与职责，应急设施与设备，应急环境监测，应急防护措施等。

5.17.2 在首次装（投）料前，铀转化和铀浓缩设施营运单位应完成应急准备工作，并进行装（投）料前场内综合应急演练。

5.17.3 在整个设施运行阶段，应急准备应做到常备不懈；应急状态下需要使用的设施、设备和通信系统等必须妥善维护，处于随时可用状态。应定期进行应急培训、应急演练和对应急预案进行复审和修订。

5.17.4 在设施进入应急状态时，应有效实施应急响应，按规定向国务院核工业主管部门、核安全监督管理部门和省、自治区、直辖市人民政府指定的部门报告事故情况并与场外核应急组织协调配合，以保障工作人员、公众和环境的安全。

## 附录 A 铀转化和铀浓缩设施特征

A.1 铀转化和铀浓缩设施中存在大量可弥散的铀化合物：

1) 铀转化设施中铀以多种化学和物理形态存在，且在工艺过程中与其它易燃或化学性质活泼的物质一起使用；

2) 铀浓缩设施中铀以六氟化铀形式存在，其物理形态可能是气态、固态或液态。

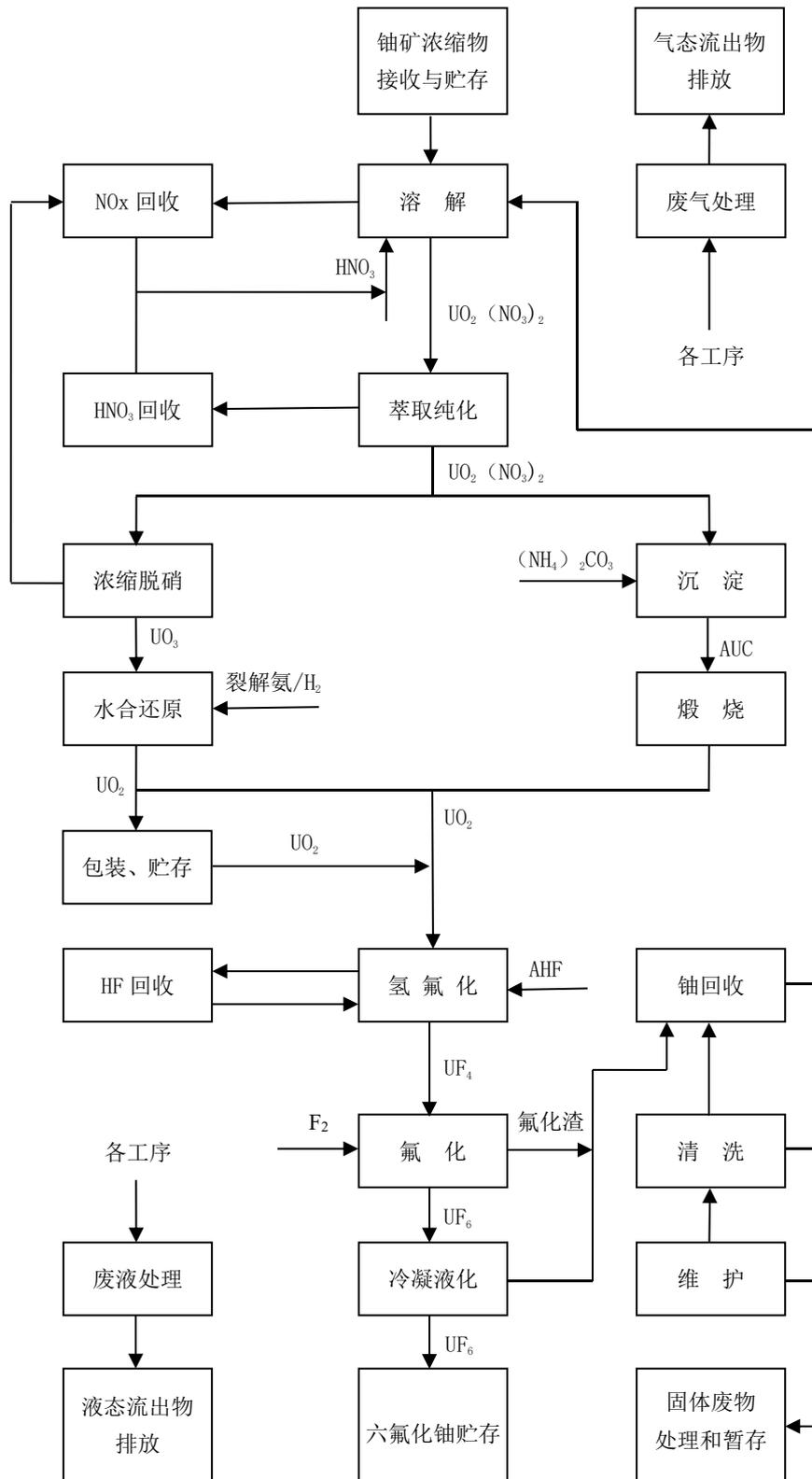
铀转化和铀浓缩设施的典型工艺路线分别见附录A-1、附录A-2所示。

A.2 在铀转化和铀浓缩设施中，主要的危害是六氟化铀的释放带来的辐射和化学危害以及其他有毒化学物质的释放。当<sup>235</sup>U丰度超过1%时应考虑核临界危害。在设施调试、运行过程中应保护工作人员、公众和环境免受这些危害的影响。

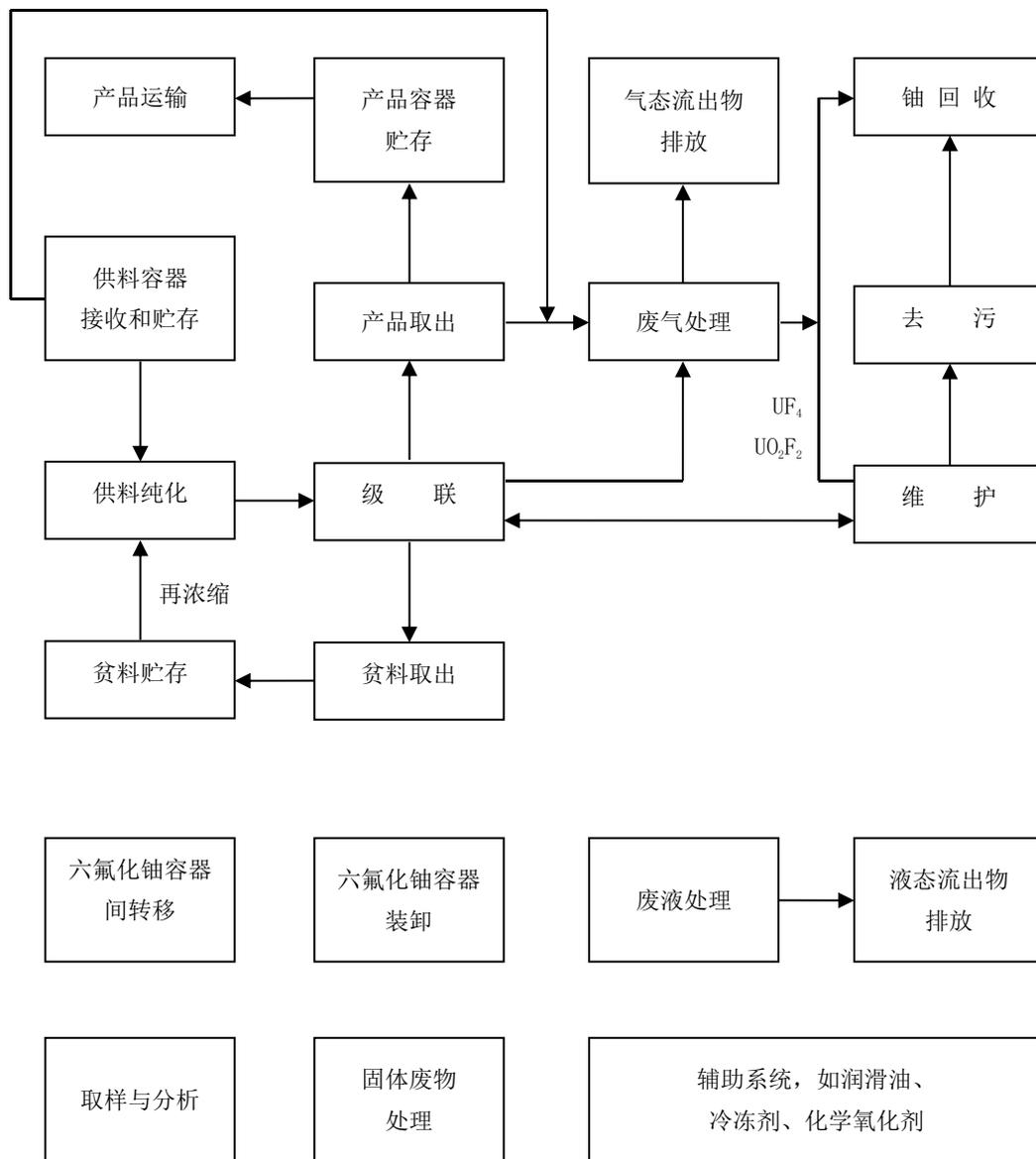
A.3 可溶性铀（如六氟化铀）的化学危害后果比其辐射危害后果严重。

A.4 铀转化和铀浓缩设施不会发生活度相当于 $10^{15}$ 贝克<sup>131</sup>I的释放事故，但可能会发生大量化学物质泄漏的事故。

### 附录 A-1 铀转化厂主要工艺路线



### 附录 A-2 铀浓缩厂主要工艺路线



## 附录 B 铀转化设施典型假设始发事件、运行限值和条件示例

工序	安全系统和设备	典型内部假设始发事件	运行限值和条件
溶解	溶解反应器、陈化槽及其管道系统**	含铀料液泄漏	/
		NO <sub>x</sub> 泄漏	/
萃取纯化	料液储槽**	含铀料液泄漏	/
	萃取装置**	含铀料液泄漏	/
		有机相泄漏、着火	/
浓缩脱硝	供料罐、浓料罐**	含铀料液泄漏	/
	料液蒸发器及其管道系统**	含铀料液泄漏	/
		溶液结晶堵塞管道	浓硝酸铀酰管道伴热温度
		“红油”爆炸	蒸发系统温度
	脱硝流化床**	粉末泄漏	/
水合还原	水合反应器**	粉末泄漏	/
	还原流化床**	氢气着火、爆鸣、爆炸	/
	氧含量监测系统，设备、管路压力测量系统**		

工序	安全系统和设备	典型内部假设始发事件	运行限值和条件
AUC 沉淀	沉淀反应器**	含铀料液泄漏	/
煅烧	煅烧炉**	粉末泄漏	/
氢氟化	氢氟化流化床**	氟化氢泄漏	/
		粉末泄漏	/
氟化	氟化反应器、气体六氟化铀管道系统**	六氟化铀、氟气泄漏	/
	卧式搅拌床**	粉末泄漏	/
冷凝液化	一级冷凝器、液体六氟化铀管道系统及执行安全功能的检测仪器、仪表、事故喷淋设施等*	系统堵塞	伴热温度
		六氟化铀泄漏	装填量 物料转移温度
	二级冷凝器、三级冷凝器、气体六氟化铀管道系统及执行安全功能的检测仪器、仪表等**	系统堵塞	伴热温度
		六氟化铀泄漏	装填量 物料转移温度
气力输送	气力输送系统**	粉末泄漏	/
六氟化铀容器 装卸与贮存	六氟化铀容器	六氟化铀泄漏	/
	运输设备、吊装设备**	容器破裂	/
铀回收	料液储槽、铀回收装置**	含铀料液泄漏	/

工序	安全系统和设备	典型内部假设始发事件	运行限值和条件
废液处理	流出物测量装置**	铀及其他化学物质的释放	流出物中铀、氟、氨氮浓度
废气处理	流出物测量装置**	铀及其他化学物质的释放	流出物中铀、氟浓度

注：\*\*为安全相关系统和设备；\*为安全重要系统和设备。

## 附录 C 铀浓缩设施典型假设始发事件、运行限值和条件示例

工序	安全系统和设备	典型内部假设始发事件	运行限值和条件
供料六氟化铀容器 接收和贮存	称重装置** 阀门**	加热过程中容器的破裂 阀门损坏导致的泄漏	容器重量限值
供料及供料净化	六氟化铀温度、压力测量装置** 六氟化铀泄漏探测装置**	六氟化铀容器连接管破裂 释放到二道密封屏障	压力、温度限值
级联	产品流的压力测量装置** 工艺系统的电动断开装置**	系统密封性破坏	压力限值
精料取料及净化	净化容器压力和温度测量装置** 六氟化铀容器连接管和阀门** 称重装置**	净化容器超压 容器连接管和阀门损坏（包容破裂） 过量盛装	压力、温度限值 容器重量限值
贫料取料	六氟化铀容器连接管和阀门** 称重装置**	容器连接管和阀门损坏（包容破裂） 过量盛装	容器重量限值
液态六氟化铀取样 和转移	加热过程中六氟化铀容器的温度和压力测量装置* 六氟化铀容器连接管和阀门* 六氟化铀泄漏探测仪** 产品容器称重装置*	六氟化铀容器破裂 泄漏到二道密封屏障 工作人员照射 过量盛装	压力、温度限值 容器重量限值
六氟化铀容器装卸	阀门保护装置** 移动六氟化铀容器的装置**（如起重机、运输车和手推车）	六氟化铀和氟化氢释放	/

工序	安全系统和设备	典型内部假设始发事件	运行限值和条件
铀回收	核临界报警系统*	核临界	浓度、质量限值，容器的安全尺寸
维修	用于收集残料的几何安全容器**	核临界	浓度、质量限值、容器的安全尺寸
去污	各种核临界控制系统* 几何安全的清洗设备**	核临界	浓度、质量限值 设备的安全尺寸
放射性废物处理	处理设施**	铀的释放 化学物质的释放	/
通风系统	流出物测量装置**	铀的释放	排放的铀浓度
废水处理和排放	流出物测量装置**	铀、氟的释放	流出物中铀、氟浓度
废气处理	流出物测量装置**	铀、氟的释放	流出物中铀、氟浓度
供电系统	应急电源供应系统**	核临界安全	恢复供电所需最大时间

注：\*\*为安全相关系统和设备；\*为安全重要系统和设备。