

附件 2

核安全导则 HAD XXXX/XX-202X

铀转化和铀浓缩设施的安全

国家核安全局XXXX年XX月XX日批准发布
(征求意见稿)

国家核安全局

铀转化和铀浓缩设施的安全

(202 年 月 日国家核安全局批准发布)

本导则自202 年 月 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..... | 8 |
| 1.1 目的..... | 8 |
| 1.2 范围..... | 8 |
| 2 安全目标..... | 8 |
| 2.1 总目标..... | 8 |
| 2.2 辐射防护目标..... | 8 |
| 2.3 技术安全目标..... | 8 |
| 3 设施特征..... | 8 |
| 4 设计..... | 9 |
| 4.1 纵深防御..... | 9 |
| 4.2 安全功能..... | 9 |
| 4.3 设计原则..... | 10 |
| 4.4 设计基准事故..... | 11 |
| 4.5 安全分级..... | 11 |
| 4.6 预防临界..... | 13 |
| 4.7 包容放射性和化学物质..... | 14 |
| 4.8 防护外照射..... | 15 |
| 4.9 典型假想始发事件预防缓解措施..... | 15 |
| 4.10 铀转化和铀浓缩设施系统设计安全要求..... | 19 |
| 4.11 人因考虑..... | 23 |
| 4.12 放射性废物管理..... | 23 |
| 4.13 流出物管理..... | 24 |
| 4.14 其他..... | 24 |
| 5 建造..... | 25 |
| 6 调试..... | 25 |
| 7 运行..... | 26 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 7.1 人员资格和培训..... | 26 |
| 7.2 设施运行..... | 26 |
| 7.3 运行经验反馈..... | 27 |
| 7.4 老化管理..... | 27 |
| 7.5 修改控制..... | 27 |
| 7.6 内务管理..... | 28 |
| 7.7 维修、定期试验和检查..... | 28 |
| 7.8 辐射防护..... | 28 |
| 7.9 临界控制..... | 31 |
| 7.10 UF ₆ 操作..... | 31 |
| 7.11 工业与化学安全..... | 32 |
| 7.12 放射性废物和流出物管理..... | 32 |
| 7.13 运行事故管理大纲..... | 32 |
| 7.14 应急计划和准备..... | 33 |
| 附录 A 铀转化厂主要工艺路线..... | 34 |
| 附录 B 铀浓缩厂主要工艺路线..... | 35 |
| 附录 C 铀转化厂中安全系统和设备、运行事件、操作限值与条件实例..... | 36 |
| 附录 D 铀浓缩厂中安全系统和设备、运行事件、操作限值与条件实例..... | 38 |

1 引言

1.1 目的

本导则为铀转化、铀浓缩设施设计、建造、调试、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丰度不超过5%的铀浓缩设施。

2 安全目标

2.1 总目标

在铀转化和铀浓缩设施中建立并保持对放射性危害、化学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 辐射防护目标

确保在正常运行状态下铀转化和铀浓缩设施内及由其释放出的放射性物质所引起的辐射照射保持在合理可行尽量低的水平，并低于规定限值，确保事故引起的辐射照射得到缓解。

2.3 技术安全目标

采取一切合理可行的措施预防事故，并在一旦发生事故时减轻其辐射后果和化学危害后果；对设计中考虑的所有事故，要确保其辐射影响、化学危害是可接受的，并确保那些会导致严重后果的事故发生的可能性极低。

3 设施特征

3.1 铀转化和铀浓缩设施中存在大量可弥散的铀化合物：

a) 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；

b) 铀浓缩设施中铀以 UF_6 形式存在，其物理形态可能是气态、固态或液态。

铀转化、铀浓缩设施的典型工艺路线分别见附录A、附录B所示。

3.2 在铀转化和铀浓缩设施中，主要的危害是 UF_6 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 ^{235}U 丰度超过1%时应考虑临界危险。在设施调试、运行、退役过程中应保护工作人员、公众和环境免受这些危害的影响。

3.3 可溶性铀（如 UF_6 ）的化学毒性比其放射性毒性大得多。

3.4 铀转化和铀浓缩设施不会发生活度相当于数千太贝克 ^{131}I 的释放事故，但可能会发生大量化学物质泄漏的事故。

4 设计

4.1 纵深防御

4.1.1 纵深防御应贯彻于铀转化、铀浓缩设施安全有关的全部活动，包括与组织、人员行为或设计等有关方面，以保证这些活动均置于多重防御措施之下。即使有故障发生，它也将由适当措施予以探测、补偿或纠正。

4.1.2 设计应采用纵深防御，以提高多层次防御能力。为预防设施内部设备故障、人为失误以及外部事件引起的事件或事故可能对人员和环境产生的有害影响，应贯彻预防与缓解平衡的安全理念，以保证在防护失效的情况下，可以通过采取适当措施减轻事故后果，以保护人类和环境。

4.1.3 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。

- a) 第一层次防御的目的是防止偏离正常运行及防止系统失效；
- b) 第二层次防御的目的是探测和纠正偏离正常运行状态；
- c) 第三层次防御的目的是将事故控制在设计基准范围内；
- d) 第四层次防御的目的是控制超设计基准事故，包括阻止事故的发展和缓解事故后果；
- e) 第五层次防御的目的是减轻放射性物质大量释放造成的放射性后果。

4.2 安全功能

4.2.1 铀转化和铀浓缩设施的设计应确保实现以下安全功能：

- a) 预防临界；
- b) 包容放射性和化学物质；
- c) 防护外照射。

4.2.2 对于铀转化设施

- a) 主要危害是潜在的放射性及有毒化学物质泄漏，尤其是 UF_6 和HF；
- b) 氟化生产过程产生的氟化渣应考虑外照射的防护，特别是氟化渣罐处；

c) 在处理新近倒空的六氟化铀容器时, 应考虑外照射防护。

4.2.3 对于铀浓缩设施

a) 主要危害是潜在的 UF_6 释放引起的辐射和化学危害;

b) 浓缩厂处理的 ^{235}U 丰度大于1%, 应考虑临界危害;

c) 在处理新近倒空的容器时, 应考虑外照射防护。

4.3 设计原则

4.3.1 预防临界

4.3.1.1 应优先选择通过设计手段而不是行政措施来实现临界安全。

4.3.1.2 设计中应采用双偶然事件原则作为临界安全控制的基本原则。

4.3.1.3 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。

4.3.1.4 应在保守假设的基础上进行临界评价和计算。

4.3.2 包容放射性和化学物质

4.3.2.1 应保护工作人员、公众和环境免受正常运行和事故工况下危险物质释放带来的辐射危害和化学危害。

4.3.2.2 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。

4.3.2.3 设施的密封屏障设计应符合下列规定:

a) 一道密封屏障: 铀转化、铀浓缩生产的系统和设备具有的密封性能为一道密封屏障, 工艺设计应有效利用系统和设备本身的密封屏障功能;

b) 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, 应设计二道密封屏障;

c) 外层密封屏障: 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料外泄;

d) 通风系统也可看作一道密封屏障。

4.3.2.4 密封屏障的数量应与包容物质的危害程度相适应。根据冗余原则, 密封屏障的数量至少为两道。

4.3.2.5 在采取措施包容放射性的同时, 应考虑对可能发生泄漏的化学危险物质的包容。

4.3.3 防护外照射

4.3.3.1 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。

4.3.3.2 应限制工作人员进入可能导致高剂量外照射的区域。

4.3.3.3 应对工作场所辐射水平进行监测。

4.4 设计基准事故

4.4.1 铀转化设施

4.4.1.1 根据铀转化设施的特点，在确定设计基准事故时应考虑：

a) HNO_3 、 HF 、液氨贮罐的破裂；

b) UF_6 加热容器或管道的破裂；

c) 火灾；

d) 还原装置氢气爆炸；

e) 断电；

f) 自然灾害，如地震。

4.4.1.2 上述事故可能作为假想始发事件发生。铀转化设施典型假想始发事件示例参见附录C。

4.4.2 铀浓缩设施

4.4.2.1 根据铀浓缩设施的特点，在确定设计基准事故时应考虑：

a) 供料系统过量装载的容器在加热时破裂；

b) 液化均质系统装载有液体 UF_6 的容器或管道破裂；

c) 火灾；

d) 断电；

e) 断水；

f) 自然灾害，如地震。

4.4.2.2 上述事故可能作为假想始发事件发生。铀浓缩设施典型假想始发事件示例参见附录D。

4.5 安全分级

4.5.1 总则

在设计中应对铀转化、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。

4.5.2 系统和设备安全分级

铀转化、铀浓缩设施中的系统和设备可分为安全重要系统和设备、安全相关系统和设备及一般安全系统和设备。具体分级原则如下：

a) 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。具体为铀转化、铀浓缩设施中操作液体 UF_6 物料的设备及管线；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。

b) 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。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设备和系统。

c) 一般安全系统和设备：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一般安全系统和设备。

4.5.3 建（构）筑物安全分级

铀转化、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：

- a) 安全重要建（构）筑物：设置安全重要系统和设备的建筑物和构筑物；
- b) 安全相关建（构）筑物：设置安全相关系统和设备的建筑物和构筑物；
- c) 一般安全建（构）筑物：上述安全重要、安全相关以外的建（构）筑物。

4.5.4 抗震设防措施

4.5.4.1 设备抗震设防措施

4.5.4.1.1 各类设备抗震设防措施如下：

a) 安全重要设备：设备抗震重要度按GB 50761的第四类执行；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措施；

b) 安全相关设备：设备抗震重要度按不低于GB 50761的第三类执行；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措施；

c) 一般安全设备：按GB 50761的规定执行；

4.5.4.1.2 最低加速度设计水平不得低于 $0.1g$ 。

4.5.4.2 建（构）筑物抗震设防措施

4.5.4.2.1 建（构）筑物抗震设防措施按GB 50223、GB 50011要求执行。

4.5.4.2.2 各类建（构）筑物抗震设防类别如下：

- a) 安全重要建（构）筑物：特殊设防类；
- b) 安全相关建（构）筑物：重点设防类；
- c) 一般安全建（构）筑物：标准设防类。

4.5.4.2.3 最低加速度设计水平不得低于0.1g。

4.6 预防临界

4.6.1 预防临界的基本原则是双偶然事件原则。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。

4.6.2 优先选择通过设计手段而不是行政措施来实现临界安全。

4.6.3 临界分析可以采用多种方法进行，如使用实验数据、参考文献或公认的标准、确定论法或概率论法的计算机程序计算等方法。计算方法中包含计算机程序时，应当进行校验。

4.6.4 系统的有效增殖因子(k_{eff})依赖于易裂变材料和所有其他有关材料的质量、分布和核特性。

4.6.5 临界分析遵循的一般原则是：

- a) 使用保守的方法（考虑物理参数的不确定度，可能最不利的慢化条件等）；
- b) 使用适用范围内的专用、合格的计算程序及准确的核特性参数数据库。

4.6.6 进行临界安全分析应考虑如下因素：

a) 质量：质量安全裕量应为正常操作达到的最大值（即双倍的量）或等于设备中最大装料量。

b) 工艺设备的几何尺寸：操作中应考虑到尺寸发生变化的可能性（如储罐或料仓的突鼓）。

c) 中子相互作用：应优先选择工程设计空间而不选择由管理手段获得的空间。

d) 慢化反应：含氢物质（如水或油）是设施中普遍存在的慢化剂； UF_6 容器的次临界状态仅依赖于慢化控制。

e) 反射：临界分析中应假定全水反射，除非可以证明即使是最严重的中子反射也只造成了低度反射；应充分考虑相互作用阵列间的反射度。慢化控制应确保在任何反射条件下单个 UF_6 容器或 UF_6 容器阵列的临界安全。

4.7 包容放射性和化学物质

4.7.1 综述

4.7.1.1 应尽可能减小下列参数：

- a) 操作区液体 UF_6 的量，例如限制冷凝器的尺寸；
- b) 容器中的残存量；
- c) UF_6 高于大气压的持续操作时间；
- d) HF 、 NH_3 和 H_2 的存储量。

4.7.1.2 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。特别是在液体 UF_6 的操作区域，应设置两道实体屏障，还应尽可能减少柔性软管的使用，如有使用应确保对其进行充分维护和定期检查。

4.7.1.3 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，使气流方向由低污染区域流向高污染区域。

4.7.1.4 通风和包容系统设计时应考虑以下因素：

- a) 房间内不同区域之间的压差；
- b) 换气次数；
- c) 过滤器的类型；
- d) 过滤器进出口最大压差；
- e) 通风和包容系统接口处的气流速度；
- f) 过滤器的剂量率。

4.7.2 工作人员的防护

4.7.2.1 应根据厂房生产性质设置完善的通风系统。

4.7.2.2 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。

4.7.2.3 在可能释放大量放射性物料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。

4.7.2.4 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。

4.7.2.5 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。

4.7.2.6 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。

4.7.2.7 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。

4.7.3 保护环境

4.7.3.1 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。

4.7.3.2 对流出物进行浓度监测，确保达标排放。

4.8 防护外照射

4.8.1 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 UF_6 的容器的位置应考虑设置防护栏或保护装置。

4.8.2 在选择贫料贮存场地时，应考虑距离、停留时间和屏蔽要求，以减小 γ 和中子辐射对公众产生的直接照射。在剂量估算时应考虑本底辐射。

4.9 典型假想始发事件预防缓解措施

4.9.1 典型内部始发事件预防缓解措施

4.9.1.1 火灾和爆炸

4.9.1.1.1 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。

4.9.1.1.2 防火设计时应根据铀转化、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。

4.9.1.1.3 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。

4.9.1.1.4 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：

a) 非放射性危险物质的贮存库与生产区域分开；

b) 单个房间的火灾荷载最小化；

c) 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、系统和部件相关的建筑构件、贯穿件和电缆等；

d) 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，贯彻“以防为主，消防结合”的原则，进行合理的防火分区，设置防火墙、抗爆墙与安全疏散通道；

e) 消除或限制点火源，如明火或电火花。

4.9.1.1.5 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。具有临界风险的区域禁止安装喷水灭火装置。

4.9.1.1.6 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。

4.9.1.1.7 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。

4.9.1.1.8 在铀转化和铀浓缩设施中可能的爆炸源包括：

a) 爆炸性气体（如铀转化设施：还原工序的还原剂 H_2 或 NH_3 ）；

b) 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）。

4.9.1.2 泄漏和溢出

4.9.1.2.1 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）的泄漏会严重影响临界安全。在这些场合应设置相应的泄漏探测和报警系统。

4.9.1.2.2 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；具有临界风险时，还应配备第二道包容系统，以确保临界安全。

4.9.1.2.3 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。

4.9.1.3 辅助系统的失效

4.9.1.3.1 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。

4.9.1.3.2 应为以下系统配备应急电源：

a) 辐射和环境保护监测系统；

b) 有毒有害物质泄漏探测和报警系统；

c) 火灾探测和报警系统；

- d) 临界事故探测和报警系统;
- e) 事故通风系统;
- f) 保持工艺受控所依靠的部件 (如加热元件或阀门)。

4.9.1.3.3 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 UF_6 转移到 UF_6 容器或相关安全装置中。

4.9.1.3.4 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。

4.9.1.3.5 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。

4.9.1.4 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:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 铀转化设施中氟化工序 F_2 大量过剩可能导致 F_2 的释放;
- d) 大量氮气的泄漏可能会引起工作区域空气氧浓度的降低;
- e) 压空供应中断可能导致安全相关气动阀的失效。

4.9.1.5 机械故障

4.9.1.5.1 应特别关注容器、管道和泵中的强腐蚀和危险物质 (如 UF_6 、 F_2 和 HF) 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。

4.9.1.5.2 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。

4.9.1.5.3 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。

4.9.2 典型外部始发事件预防缓解措施

4.9.2.1 地震

4.9.2.1.1 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, 铀转化或铀浓缩设施设计时,

建（构）筑物基本的抗震设防目标如下：

a) 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）；

b) 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无需修理仍可继续使用（简称设防烈度地震可修）；

c) 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）。

4.9.2.1.2 在设施设计过程中应根据各建（构）筑物抗震设防类别，采取相应的抗震措施及抗震构造措施。详见4.5.4.2。

4.9.2.2 外部火灾和爆炸

4.9.2.2.1 在铀转化、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。

4.9.2.2.2 为证实这些外部危害的风险低于可接受水平，营运单位应首先识别所有潜在的危险源，然后评估影响设施的相应事故的后果。

4.9.2.2.3 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安全防护距离，确保爆炸产生的空气冲击波超压不超过2000Pa。因地形条件对安全防护距离造成的影响可参照GB 50089对其进行调整。

4.9.2.2.4 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。

4.9.2.3 极端气候条件

4.9.2.3.1 概述

a) 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、极端温度和洪水。

b) 针对此类极端气候条件通常采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表值来评估其对设施安全的影响。

c) 应通过采用合理的设计方案，确保铀转化或铀浓缩设施不受极端天气条件的影响，通常包括：

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

4.9.2.3.2 龙卷风

a) 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。

b) 在设施设计阶段应考虑龙卷风引起的二次飞射物撞击的可能性。

c) 对于风荷载，基本风压应按GB 50009规定取值。

4.9.2.3.3 极端温度

a) 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：

- 1) 硝酸铀酰溶液、气体或液体 UF_6 结晶；
- 2) 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；
- 3) 工艺系统中固体 UF_6 液化。

b) 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。

4.9.2.3.4 暴雪

a) 在设计和安全分析中应考虑暴雪的影响。通常将雪作为建筑物屋顶的附加荷载。如有必要，对 UF_6 产品容器贮存区应考虑积雪的中子反射效应和/或散布慢化效应。

b) 基本雪荷载应按GB 50009规定取值。

4.9.2.3.5 暴雨

a) 设施设计中应考虑暴雨的影响。

b) 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。

4.9.2.3.6 洪水

a) 设施设计时应考虑洪水的影响。

b) 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。

4.10 铀转化和铀浓缩设施系统设计安全要求

4.10.1 总体要求

4.10.1.1 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。

4.10.1.2 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。

4.10.1.3 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。

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

4.10.1.5 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。

4.10.1.6 操作固体粉末物料的场所应采取措施避免粉料外泄飞扬。

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

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

4.10.1.9 设计中应考虑生产系统的检修操作所需的吹洗置换系统。

4.10.1.10 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。

4.10.2 六氟化铀操作系统

4.10.2.1 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。

4.10.2.2 设施中液体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。

4.10.2.3 液体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。

4.10.2.4 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。

4.10.2.5 应设置必要的称重计量装置，防止六氟化铀容器过量充装。

4.10.2.6 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。

4.10.2.7 铀浓缩设施中加热六氟化铀容器的压热罐应具有密封包容泄漏六氟化铀物质的能力。

4.10.2.8 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。

4.10.3 仪表和控制系统

4.10.3.1 仪表

4.10.3.1.1 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。

4.10.3.1.2 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（如内外照射、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。

4.10.3.2 控制系统

4.10.3.2.1 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。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达到安全状态。

4.10.3.2.2 应向操作人员提供适当的信息，以监控自动控制的效果。监测设备的布局和信息显示方式应使操作人员对设施的状态和性能有充分的了解。应安装适当的设备，以便运行状态偏离正常条件并可能影响安全时发出可视、可听的有效信号。

4.10.3.3 控制室

4.10.3.3.1 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。

4.10.3.3.2 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。

4.10.3.3.3 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。

4.10.3.3.4 在设计控制室时应考虑人机工程学因素。

4.10.3.4 安全仪控系统

4.10.3.4.1 正常运行时，铀转化和浓缩设施安全仪控系统应包括：

a) 与工艺有关的仪控：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。在 UF_6 容器装料时，应使用适当和可靠的监测装置监测容器重量，以确保不超过装料限值。

b) 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。

c) 与气体和液体流出物有关的仪控：如果存在超出排放限值的风险时，应进行实时测量；否则可进行连续取样测量，允许有一定的延时。

d) 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，应采取实时测量、控制和报警，如铀转化设施中还原流化床中氧气浓度的测量。

4.10.3.4.2 除4.10.3.4.1所列，预计运行事件的安全仪控还应包括：

a) 可能发生火灾或存有大量易裂变和/或有毒化学物质的场所，应设置火灾自动报警系统。

b) 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。

c) 正压操作HF和UF₆的场所应设置实时检测和报警系统。

d) 气体和液体流出物浓度监测系统。

4.10.3.4.3 除4.10.3.4.2所列，设计基准事故的安全仪控还应包括：

a) 化学物质的释放：应在存在大量化学危险物质（如UF₆和HF）并限制停留的区域安装探测器，除非能证明化学危险物质的释放极不可能发生。

b) 流出物排放：气体和液体流出物浓度监测系统应在事故状态下也可正常使用。

4.10.3.4.4 应在存有大量裂变材料的区域设置临界报警系统，除非能证明临界事故极不可能发生。

4.10.3.4.5 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。

4.10.4 贮存设施

4.10.4.1 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。

4.10.4.2 含铀物料贮存库的设计，应有固定容器的设施、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。

4.10.4.3 在生产车间内，原则上不考虑本身生产车间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。

4.10.4.4 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。

4.10.4.5 有临界风险的 UF_6 贮存设施应设置有效的临界报警系统。

4.10.4.6 贫料 UF_6 贮存设施可根据当地气象条件考虑棚、库和露天存放方式。贫料容器宜采用双层堆放，并充分核算场地承载力。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。

4.10.4.7 UF_6 贮存库在设计时应设置必要的安全通道，留有足够的巡检空间，以减少停留时间（限制照射）。

4.11 人因考虑

4.11.1 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，例如对适当的动作进行自动化设计。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）。

4.11.2 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：

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

4.11.3 人因工程设计主要应考虑以下方面：

- a) 设置符合人机工程学的工作环境；
 - 1) 操作-运行界面，例如显示屏显示所有必需的信息而不显示多余的信息；
 - 2) 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。
- b) 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。
- c) 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。
- d) 良好的任务分工和工作组织，尤其是在维护工作中自动控制系统失灵时。
- e) 将额外防护措施的需要减至最小。

4.12 放射性废物管理

4.12.1 放射性废物管理应以安全为目的，以处置为核心。

4.12.2 铀转化和铀浓缩设施的设计时应采用最佳可行技术，控制废物的产生，使废物最小化。

4.12.3 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。

4.12.4 放射性废物处理应根据废物特性选择合适的处理工艺，采用成熟的或经验证的先进技术。

4.12.5 工艺废气、含有放射性气溶胶及粉尘的局部排风，应经净化处理后才能排放。

4.12.6 铀转化、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。

4.12.7 放射性固体废物按下列要求进行处理、暂存或处置：

a) 放射性比活度小于GB 18871规定的豁免值时，经审批同意后按一般工业垃圾处理；

b) 大于豁免值的石灰渣、废树脂等存放在专用的废渣库，定期填埋处置；

c) 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；

d) 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；

e) 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。

4.12.8 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。

4.13 流出物管理

4.13.1 气体、液体流出物排放前应经过处理达标后排放，向环境排放的放射性物质的量和浓度须低于管理部门规定的限值。

4.13.2 气体流出物排放设施应设连续取样监测系统。

4.13.3 液体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、氟的排放浓度分别按照EJ 1056、GB 8978的相关规定执行。

4.14 其他

4.14.1 在设施和设备设计时应考虑限制铀累积、易于清洗及表面去污的要求。

4.14.2 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。

4.14.3 设计中应考虑操作现场危险物贮存量最小化。

4.14.4 铀转化、铀浓缩生产系统的核材料和核设施实物保护等级和要求应根据操作核材料的类别和数量，按照EJ 1054的有关规定确定。

5 建造

5.1 对于铀转化和铀浓缩设施，建筑物建造、设备及部件加工与安装的标准应等同于或严于非核化工设施。

5.2 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。

5.3 铀浓缩设施在建设宜使用模块化组件，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。

5.4 建造和调试阶段可能重叠。在调试过程中可能存在放射性物料，故在此期间施工明显比没有放射性物料存在时困难且耗费时间。

6 调试

6.1 应制定调试大纲，并按调试大纲对铀转化、铀浓缩设施进行调试。

6.2 调试可分为两个主要阶段：冷试和热试。

a) 在冷试阶段，应对各系统从单台设备到整体联动渐进式调试。

b) 在热试阶段，应对安全系统、密封、辐射和化学防护措施进行测试。主要包括：

1) 工作场所的放射性气溶胶和剂量水平监测；

2) 表面污染监测（擦拭检查或直接测量）；

3) 气体和液体流出物监测；

4) 物料的正常积聚监测。

c) 如有可能，热试应采用天然铀或贫铀进行预调试，以防止发生临界风险，从而尽量减少职业照射和可能的去污需要。

6.3 为尽可能减少试运行期间设备的污染，仅在需评估辐射探测仪器或去除铀的工艺仪器性能时，使用带铀的工艺试验。

6.4 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。

6.5 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。

7 运行

7.1 人员资格和培训

7.1.1 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获得正式授权。

7.1.2 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。

7.1.3 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。

7.1.4 应将设施的更改及时反映到培训大纲中。

7.1.5 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。

7.1.6 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 UF_6 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 UF_6 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。

7.1.7 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。

7.1.8 应进行与铀浓缩操作有关的临界安全培训。

7.1.9 应定期对工作人员进行基本辐射安全的培训。

7.2 设施运行

7.2.1 在正常情况下，为了确保铀转化和铀浓缩设施在运行限值与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。

7.2.2 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C和附录D列出了铀转化和铀浓缩设施各工序的操作限值与条件实例。

7.2.3 设施应规定一般限值，例如：

a) 设施允许的铀的最高丰度；

b) 供料限值；

c) 设施及工艺过程最大允许存量。

7.2.4 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。

7.2.5 应制定直接规范工艺操作的操作规程。

7.3 运行经验反馈

7.3.1 应系统的收集、筛选、分析和/或审查铀转化、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。

7.3.2 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。

7.4 老化管理

7.4.1 应制定并实施老化管理大纲。

7.4.2 应根据安全重要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，从而保证安全重要系统和设备在全生命周期内执行必需的安全功能的能力。

7.4.3 应考虑所有正常运行状态以及在假想始发事件中的老化和磨损效应。

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

7.4.5 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。

7.4.6 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。

7.5 修改控制

7.5.1 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。

7.5.2 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。

7.5.3 修改控制单应指出修改完成后需要更新哪些文件；应采取文件控制程序，以确保在合理时限内更新相应的文件。

7.5.4 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。

7.5.5 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。

7.6 内务管理

7.6.1 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。

7.6.2 应确保安全重要系统和设备、建（构）筑物、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。

7.7 维修、定期试验和检查

7.7.1 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临界事故。

7.7.2 维修工作应遵循良好实践，应特别注意：

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

b) 设备隔离：例如切断电源、热源及压力管道，设备的吹扫置换；

c) 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；

d) 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；

e) 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。

7.7.3 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。

7.7.4 应制定预防临界事故的相关程序。

7.7.5 应定期检查通风系统防火性能的有效性。

7.7.6 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。

7.7.7 应对UF₆容器长期贮存设施建立检查大纲，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）。

7.8 辐射防护

7.8.1 总则

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

7.8.1.2 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。需要做好应急准备以防发生临界事故，这是可能遇到高外照射剂量率的唯一事件。

7.8.1.3 对维修/修改的干预程序应包括：

a) 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；

b) 采取如下措施，以减少职业照射：

1) 识别特定的干预风险；

2) 在许可范围内采取干预措施（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）；

c) 测量干预期间的职业照射剂量；

d) 执行信息反馈以获得可能的改进。

7.8.1.4 局部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，使公众人员的受照剂量得到控制。

7.8.1.5 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与条件进行比较，并在必要时采取纠正行动。

7.8.2 内照射剂量控制

7.8.2.1 内照射应通过以下方式控制：

a) 对内照射剂量相关的所有参数设定管理限值，例如污染水平。

b) 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力降。

c) 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。

d) 应进行设施和设备的常规污染调查，以确认清洁处理程序的适用性。

e) 应明确划分出污染区域。

f) 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。

g) 必要时，应在可能污染的区域使用移动式空气取样装置。

h) 当空气污染监测结果较高时应迅速实施调查。

i) 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。

j) 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。

k) 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。

m) 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。

n) 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。

7.8.2.2 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。

7.8.2.3 监测工作强度应与工作场所放射性气溶胶浓度和污染水平相适应。

7.8.2.4 评估内照射剂量的方法可以基于工作场所的空气取样数据，并结合工作人员逗留时间。

7.8.2.5 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。

7.8.2.6 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。

7.8.2.7 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。

7.8.3 外照射防护

7.8.3.1 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：

a) 涉及新近倒空容器的操作；

b) 大量含铀物料的贮存；

c) UF₆容器的处理；

d) 氟化渣的处理。

7.8.3.2 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。

7.8.3.3 外照射应通过以下方式控制：

a) 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；

b) 源的更换由有资质并且经验丰富的人员完成。

c) 辐射剂量率的常规监测。

7.9 临界控制

7.9.1 在处理²³⁵U丰度大于1%的铀浓缩设施中,应严格执行控制临界安全的运行限值与条件。

7.9.2 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。

7.9.3 现行的操作规程应定期进行审查。

7.9.4 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。

7.9.5 执行维修工作时应采取预防措施预防临界。

7.10 UF₆ 操作

7.10.1 UF₆容器过量充装的风险

7.10.1.1 应为UF₆容器设定装填限值,以确保在加热液化过程中UF₆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。

7.10.1.2 在铀转化和铀浓缩设施中,通常使用称量方式对UF₆容器装填量进行监测。

7.10.2 UF₆容器过热的风险

7.10.2.1 若存在将UF₆容器加热到超过UF₆三相点的可能,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UF₆应通过升华方式转移。

7.10.2.2 加热UF₆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。

7.10.3 液体UF₆容器操作

应避免对装有液体UF₆容器的搬运。

7.10.4 固体UF₆的现场操作

7.10.4.1 液体UF₆容器的冷却时间应足够长,以确保所有UF₆均凝固。

7.10.4.2 装有固体UF₆容器的移动应使用被指定为安全重要设备、合格的设备。

7.10.4.3 应考虑火灾对固体UF₆容器的影响(例如UF₆容器运输设备失火)。

7.10.5 贫料贮存

7.10.6.1 贫料贮存场地贮存量不应超过其储存总量限值。应及早制定贫料处置计划。

7.10.6.2 应使用记录和跟踪系统定期检查物料贮存量，同时确保容器的完整性。

7.10.6.3 应定期检查贫料贮存场地。

7.11 工业与化学安全

7.11.1 铀转化和铀浓缩设施的常规化学危害如下：

a) HF、F₂、HNO₃、NH₃及铀化合物导致的化学危害；

b) 氢气、氨气、硝酸铵导致的爆炸危险；

c) 氮气或二氧化碳导致的窒息危险。

7.11.2 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HF、F₂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。

7.12 放射性废物和流出物管理

7.12.1 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。

7.12.2 应尽可能对化学品进行回收再利用。

7.12.3 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。

7.12.4 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²³⁴Th、²²⁸Th充分衰变。

7.13 运行事故管理大纲

7.13.1 应根据安全分析结果制定运行事故管理大纲。

7.13.2 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。

7.13.3 事故管理大纲应考虑与核活动有关的化学危害。

7.13.4 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。

7.14 应急计划和准备

7.14.1 铀转化、铀浓缩设施营运单位应根据设施特点和所在厂址周围的环境条件，制定营运单位的应急计划。

7.14.2 应急计划主要针对那些导致或可能导致放射性物质释放，危及工作人员、公众或环境安全的潜在事故。应急计划的制定应以上述事故后果的评价为基础。

7.14.3 铀转化、铀浓缩设施的应急状态应通过对设施可能发生的核事故及其辐射后果的分析评价确定，应保证所建立的应急状态分级系统能覆盖其设施中可能出现的所有紧急状态。

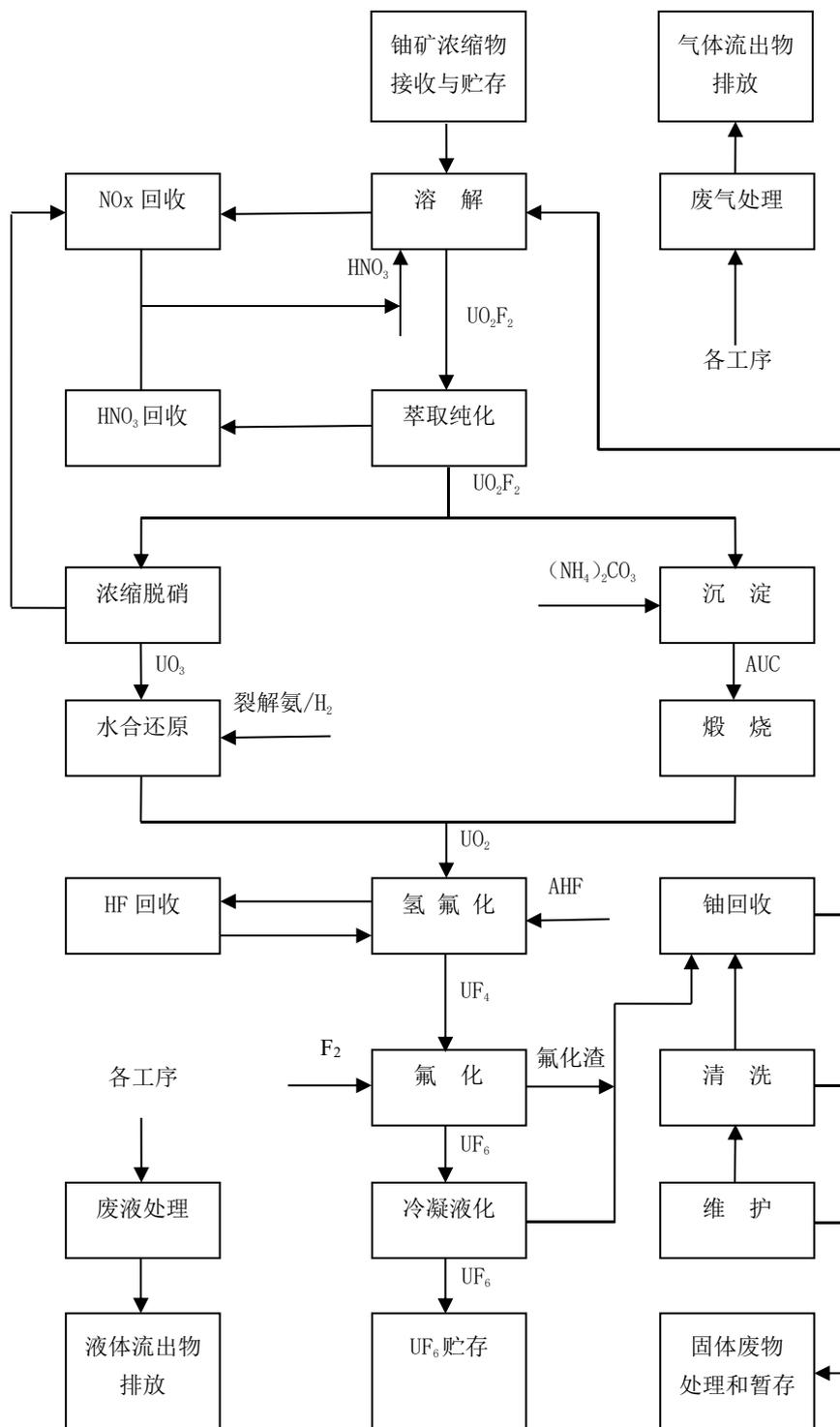
7.14.4 铀转化、铀浓缩设施在确定应急状态分级系统时需考虑 UF_6 与空气作用产生的HF等的化学毒性的危害。

7.14.5 营运单位应制定各类应急工作人员的培训和定期再培训大纲，并定期进行考核。

7.14.6 营运单位应定期组织应急演练，对发现的问题，应及时加以纠正。

7.14.7 应急计划应不断改进和完善，维持其有效性和可实施性。

附录 A 铀转化厂主要工艺路线



附录 C 铀转化厂中安全系统和设备、运行事件、操作限值与条件实例

| 工序 | 安全系统和设备 | 事件 | 操作限值与条件 |
|--------|----------------------|--------------------|---|
| 溶解 | 溶解反应器、陈化槽及其管道系统 | 含铀料液泄漏 | 溶解料液温度 溶解器压力、液位 |
| | | NO _x 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 | 反萃柱温度, 脉冲阀后压力, 除油剂中 TBP 含量 |
| 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 | O ₂ 量、H ₂ 浓度、床内压力 |
| | 氧含量监测系统, 设备、管路压力测量系统 | | |
| AUC 沉淀 | 沉淀反应器 | 含铀料液泄漏 | / |

| 工序 | 安全系统和设备 | 事件 | 操作限值与条件 |
|-----------------------|---|------------------------------------|---------------|
| 煅烧 | 煅烧炉 | 粉末泄漏 | / |
| 氢氟化 | 氢氟化流化床 | HF 泄漏 | / |
| | | 粉末泄漏 | / |
| 氟化 | 氟化反应器 | UF ₆ 、F ₂ 泄漏 | 炉壁温度 |
| | 卧式搅拌床 | 粉末泄漏 | / |
| 冷凝液化 | 一级冷凝器、二级冷凝器、三级冷凝器、UF ₆ 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 |
| | | UF ₆ 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 | / |
| UF ₆ 装卸与贮存 | UF ₆ 容器 | 铀的泄漏、HF | / |
| | 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 | / |
| 废液处理 | 流出物测量装置 | 铀及其他化学杂质的释放 | 流出物中 U、F 浓度 |
| 废气处理 | 流出物测量装置 | 铀及其他化学杂质的释放 | 流出物中 U、F 浓度 |

附录 D 铀浓缩厂中安全系统和设备、运行事件、操作限值与条件实例

| 工序 | 安全系统和设备 | 事件 | 操作限值与条件 |
|----------------------------|--|--|--|
| 供料 UF ₆ 容器接受和贮存 | 称重设备 容器和阀门 同位素测量装置 | 加热过程中容器的破裂 有缺陷的容器发生破裂 阀门损坏导致的泄漏 临界事件 | 容器重量限值 容器外观检查 阀门外观检查 供料丰度限值 |
| 供料净化及供料 | UF ₆ 温度测量装置 UF ₆ 压力测量装置 UF ₆ 泄漏探测装置 供料连接装置和管道系统 供料 UF ₆ 容器 调节阀系统 | UF ₆ 容器破裂 UF ₆ 容器破裂 人员受照射 释放到二级包容系统 加热过程中的破裂 | 压力、温度限值 UF ₆ 探测器探测限值 供料连接的外观检查和压力测试 供料容器压力检查 供料气流中的轻杂质含量满足离心机要求 |
| 级联 | UF ₆ 压力超过大气压的容器、阀门和管道 当工艺设备中 UF ₆ 压力超过大气压时的泄漏探测器 压力、温度测量装置（控制质量流量、探测泄漏或反应产物的生成） 丰度测量装置 产品流的压力测量装置 隔离装置 工艺系统的电动断开装置 冷却水中中子毒物浓度 | 铀和 HF 释放 富集度增加和泄漏导致临界 临界 UF ₆ 释放 UF ₆ 释放 临界 | UF ₆ 探测器探测限值 压力、温度限值 特定的丰度限值 UF ₆ 毒物浓度水平探测 |
| | 与 UF ₆ 连接的热交换器管道 温度压力测量装置 | UF ₆ 和水反应导致铀沉淀物形成 引入氟利昂导致爆炸 | 管线完整性维护 压力温度限值 |
| | 在线分析，监测碳氢化合物或氟利昂（探测油或氟利昂的进入） | UF ₆ 和油反应，引起临界或爆炸 | 碳氢化合物浓度限值 |

| 工序 | 安全系统和设备 | 事件 | 操作限值与条件 |
|------|---|---|---|
| 精料取料 | 压力和温度测量装置（加热装置温度） UF ₆ 容器和阀门 称重装置 中间净化容器中 UF ₆ 含量探测仪，确认精料完全转移到 UF ₆ 容器内 含有 UF ₆ 的管线、容器和阀门 UF ₆ 释放探测系统 | HF 冷凝 UF ₆ 释放（包容破裂） 有缺陷的容器导致破裂 过量盛装 工艺管线残留 UF ₆ ，导致气态 UF ₆ 释放 气态 UF ₆ 释放 | 压力 加热温度 UF ₆ 空容器外观检查 容器重量限值 |
| 废气处理 | 冷阱或化学捕集阱 冷阱温度测量装置 流出物测量装置 | 铀释放到次级包容或者大气中 任何累积铀或铀子体引起的外照射 | 冷阱温度测量装置 |
| 贫料取料 | 压力和温度测量装置（加热装置温度） UF ₆ 容器和阀门 称重装置 中间净化容器中 UF ₆ 含量探测仪，确认贫料完全转移到 UF ₆ 容器内 含有 UF ₆ 的管线、容器和阀门 UF ₆ 释放探测系统 | UF ₆ 释放（包容破裂） 有缺陷的容器导致破裂 过量盛装 工艺管线残留 UF ₆ ，导致气态 UF ₆ 的释放 气态 UF ₆ 的释放 | 压力 空容器外观检查 容器重量限值 |
| 维修 | 用于收集残料的几何安全容器 | 临界 工作人员受照射 | 几何安全容器 浓度和质量限值 |
| 去污 | 各种临界控制措施（如，质量、几何、浓度控制） 箱、槽水平控制 | 临界 工艺液体溢出 工作人员受照射 | 浓度、质量限值 |
| 铀回收 | 各种临界控制措施（如，质量、几何形状、浓度控制） 槽、罐水平控制 贮存的液体、回收在几何安全容器内的铀 | 临界 工艺液体溢出 工作人员受照射 | 浓度、质量限值 容器的安全尺寸 |

| 工序 | 安全系统和设备 | 事件 | 操作限值与条件 |
|--------------------------|--|--|--|
| 废气处理 | 压差 活度测量和报警 HF 浓度测量 几何安全的清洗设备 | 失效的或破损的过滤器 通风系统失效或排放到大气中 临界 | 高压、低压报警 设备的安全尺寸 |
| 液态 UF ₆ 取样和转移 | 冷 UF ₆ 容器的压力测量装置 加热过程中 UF ₆ 容器的温度测量装置 UF ₆ 的压力测量装置 UF ₆ 泄漏探测仪 含有 UF ₆ 的管道、容器和阀门 | UF ₆ 容器破裂 UF ₆ 容器破裂 工作人员照射 泄漏到第 2 级包容系统 | 压力、温度限值 UF ₆ 探测仪的探测限值 连接管的外观检查和压力测试 |
| UF ₆ 容器装卸 | 阀门保护装置 移动 UF ₆ 容器的装置，如起重机、运输车和手推车 | 铀和 HF 释放 | 规程 |
| 放射性废物处理 | 处理设施 | 铀的释放 化学物质的释放 火灾 | — |
| | U 含量测量装置 | 临界安全质量降级 | — |
| | 放射性废物储存 | 火灾 | — |
| 通风系统 | 进气口风扇和过滤器 | 火灾 | 过滤器的压差 厂房内压力及换气次数 空气取样器的真空度 |
| | 通风控制系统 | 铀的释放 | 过滤器的压差 |
| | 工艺区域的过滤器 | | 过滤器的压差 |
| | 空气和工艺气体管道 | 临界安全质量降级 | 铀的质量 |
| | 排放废气的最终过滤器 | 火灾 | 过滤器的压差 |
| | 排风管道内的放射性测量装置 | 铀的释放 | 排放的铀浓度 |

| 工序 | 安全系统和设备 | 事件 | 操作限值与条件 |
|-------------|-------------|----------------|------------|
| 废水处理 and 排放 | 槽、罐 | 铀的释放 | 液位测量装置 |
| | 废水中的放射性测量装置 | 铀的释放 | 排放前的取样和分析 |
| 供电系统 | 应急电源供应系统 | 临界安全和辐射防护措施的丧失 | 恢复供电所需最大时间 |