

**《核燃料循环设施流出物归一化排放量管理限值  
(征求意见稿)》编制说明**

**生态环境部核与辐射安全中心**

**中国辐射防护研究院**

二〇二一年十月

# 目 录

1. 项目背景.....	3
1.1 任务来源.....	3
1.2 工作过程.....	3
2. 标准修订的必要性分析.....	4
2.1 国家及生态环境主管部门要求.....	4
2.2 标准修订的必要性.....	4
3. 标准修订原则和依据.....	5
3.1 标准修订原则.....	5
3.2 标准编制的主要依据.....	6
4. 标准的主要内容和说明.....	7
4.1 基本框架.....	7
4.2 主要内容与说明.....	8
5. 与现行标准的相容性.....	10
6. 与我国实践的适用性.....	10
7. 对实施本标准的建议.....	11
8. 行业概况.....	11
9. 行业产排污情况及污染控制技术分析.....	11
9.1 铀纯化、铀转化设施.....	11
9.2 铀浓缩设施.....	12
9.3 铀燃料元件制造设施.....	13
9.4 乏燃料后处理设施.....	14
10. 实施本标准的环境、社会、经济效益和实施成本分析.....	15
11. 实施本标准的经济、技术、管理措施的可行性分析.....	15

## 1.项目背景

### 1.1 任务来源

本项目由环境保护部科技标准司 2013 年立项，标准编号为 2013（3）。

项目承担单位是生态环境部核与辐射安全中心，合作单位是中国辐射防护研究院。

### 1.2 工作过程

2013 年初，环境保护部核与辐射安全中心与中国辐射防护研究院共同成立标准编制组。签署完成相关任务合同书。

2013 年 4 月，编制组召开项目启动暨专家咨询会。明确了标准修订的基本技术路线，启动相关调研工作。

2013~2014 年，编制组调研了国内现有核燃料循环设施放射性流出物排放情况，包括核燃料循环设施工艺流程、三废处理设施、流出物排放管理、流出物排放申请值和实际监测值等内容；国内外核燃料循环流出物排放标准；联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）等文献报道中有关核燃料循环设施归一化排放量的数据；国内《中国辐射水平》等相关文献报道中有关核燃料循环设施归一化排放量数据及分析等内容。

调研资料按照核燃料循环设施类型、流出物排放监测数据、流出物排放管理进行了分类和分析整理。2014 年底形成了铀采矿、铀选冶、铀尾矿库、铀纯化、铀转化、铀浓缩、铀燃料元件制造厂、乏燃料后处理厂等 8 类设施流出物排放情况的专题调研报告。

2015 年 6 月，形成《核燃料循环放射性流出物归一化排放量管理限值》（GB 13695-92）修订调研总结报告，并在北京组织召开专家咨询会。参加会议相关专家和代表一致认为调研报告内容全面、详实，数据分析合理，可以作为标准修订的支持材料。同时，会上进一步明确了标准的应用范围，提出了下一步的工作建议。

2015 年 11 月，12 月以及 2016 年 6 月、7 月，分别针对铀纯化、转化、浓缩，铀燃料元件制造、后处理厂、铀矿冶设施拟确定的归一化排放限值召开了专

题专家咨询会。广泛征求了相关设施营运单位、设计单位的意见和建议。

2016年8月，结合调研报告以及各方专家建议，认真分析和讨论后，编制形成标准草案。2017年，进一步优化相关控制限值，广泛征求了意见。

2021年6月，结合新的后处理设施设计情况，经过充分讨论，对后处理设施归一化排放量限值进行了调整修改，形成了本标准征求意见稿。

## 2.标准修订的必要性分析

### 2.1 国家及生态环境主管部门要求

为了限制公众受到辐射照射，保护环境，保障公众健康，对核燃料循环各设施流出物的排放实施控制，设立排放量管理限值是极其必要的。随着近年来我国核能行业的蓬勃发展，国家和公众环境保护意识的加强，核燃料循环设施流出物的排放管理更趋严格，流出物排放量管理限值也成为了加强流出物排放管理的重要手段。

《核燃料循环放射性流出物归一化排放量管理限值》（GB13695-92）是核燃料循环排放管理的重要标准之一。标准规定了核燃料循环（铀矿山、水冶厂、同位素分离厂、元件厂、核动力堆、后处理厂）在正常运行工况下释放的气载、液态放射性流出物的归一化排放量管理限值，通过对核燃料循环设施的排放控制管理确保公众个人接受的年有效剂量满足国家有关剂量管理的要求。该标准在很长时间内对我国核燃料循环设施的流出物排放管理和清洁生产起着重要的指导意义。

### 2.2 标准修订的必要性

二十余年来，我国的核燃料循环生产工艺、核燃料循环三废处理工艺水平得到长足的进步，生态环境保护的要求也在逐步提高，原标准中引用的其他相关标准和相关要求也发生了变化。因此，为满足新的排放管理和环保要求，迫切需要对原标准进行修订。

### 2.2.1 原标准主要存在的不足

(1) 原标准涵盖的设施类型或工艺已发生较大变化。

现阶段，我国核燃料循环设施的体系逐渐细化，工艺也更加优化，铀采冶联合企业等也被铀纯化、铀转化设施取代；铀燃料元件制造厂开始大量使用干法制造工艺；离心分离技术成为铀浓缩设施的主流；后处理设施也正在发展。

(2) 原标准中归一化排放量管理限值已不适应设施发展的需要。

随着各核燃料循环设施主工艺以及三废处理系统工艺的不断改进，现阶段，核燃料循环流出物排放达到较低的水平，归一化排放量已起不到指导设计，降低排放的作用。

(3) 原标准引用的上层标准文件已重新修订。

GB18871-2002 等新标准发布，其中有关流出物排放管理的新要求应在本标准修订中体现。

### 2.2.2 标准应体现最新研究进展

(1) 标准应体现新的生态环境保护和辐射防护要求

除该标准中引用的执行标准 GB8703-88 更新为 GB18871-2002，提出了新的环境保护和辐射防护要求，相应的剂量管理限值和排放管理也有所改变外，部分核燃料循环设施后续也出台了新的专门的相关环境管理标准。如《核动力厂辐射防护规定》(GB6249-2011)、《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》(GB23727-2020) 等。因此，本标准的修订应满足新的辐射防护和环境保护要求。

(2) 标准规定的限值应充分体现国内外先进经验反馈

标准编制中充分调研了近年来国内外核燃料循环设施实际排放水平，并进行了详细分析。各类设施的先进运行经验反馈是限值优化和发展的重要依据。

## 3. 标准修订原则和依据

### 3.1 标准修订原则

修订归一化排放量管理限值考虑的基本原则是：

(1) 在不超过公众个人剂量管理限值的前提下，使流出物的排放量降低到

可合理达到尽可能低的水平，体现辐射防护最优化。

(2) 既有严格的要求，又留有足够的余地；既参考世界各国对流出物排放量的控制标准，又不能脱离我国国情，流出物归一化排放管理限值的制订必须适应我国核燃料循环设施的实际生产能力、流出物处理工艺和管理能力的提高发展需要。

### 3.2 标准编制的主要依据

调研和分析了以下方面的资料和信息：

- 国际原子能机构对核燃料循环设施排放管理的相关要求；
- 我国不同类型设施环境保护和流出物排放管理的法规、标准和技术导则；
- 近年来我国核燃料循环设施的实际生产、排放和监测数据，及其形成的调研报告；
- 国外同行排放数据和国内外其他机构或学者的研究统计结果。

主要依据文件有：

#### 法律

- 《中华人民共和国环境保护法》
- 《中华人民共和国核安全法》
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》
- 《中华人民共和国环境影响评价法》

#### 国务院条例

- 《中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例》
- 《放射性废物安全管理条例》

#### 条例细则与部门规章

- HAF 001/01 《核电厂安全许可证的申请与颁发》
- HAF102 《核动力厂设计安全规定》
- HAF 301 《民用核燃料循环设施安全规定》

#### 主要标准

- GB 18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
- GB 6249-2011 《核动力厂辐射环境管理规定》
- EJ 1056-2018 《铀加工与燃料制造设施辐射防护规定》

## 其他材料

UNSCEAR REPORT 《SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION》（1988、1993、1994、1996、2000、2006、2008年）等

《中国辐射水平》 潘自强，刘森林等编著

《中国核工业三十年辐射环境质量评价》 潘自强等编著

其他文献或研究报告。

## 4.标准的主要内容和说明

### 4.1 基本框架

《核燃料循环流出物归一化排放量管理限值》共分8节，基本遵循了原标准的框架结构。具体安排见表1。

表1 《核燃料循环流出物归一化排放量管理限值》框架结构

节标题	主要内容
第一节 范围	1条 说明本标准适用的设施类型
第二节 规范性引用文件	1条 说明本标准引用标准情况
第三节 术语和定义	3条（3.1-3.3）对核燃料循环、流出物、归一化排放量的概念进行说明
第四节 铀纯化、铀转化设施流出物归一化排放量管理限值	1条 给出了铀纯化、铀转化设施排放量管理限值
第五节 铀浓缩设施流出物归一化排放量管理限值	1条 给出了铀浓缩设施排放量管理限值
第六节 铀燃料元件制造设施流出物归一化排放量管理限值	2条 给出了铀燃料元件制造设施排放量管理限值
第七节 乏燃料后处理设施流出物归一化排放量管理限值	1条 乏燃料后处理设施排放量管理限值
第八节 核燃料循环设施流出物排放量的控制	4条（8.1-8.4）对本标准的使用和流出物的其他排放管理要求进行说明

## 4.2 主要内容与说明

### 4.2.1 铀纯化和铀转化设施

铀纯化和铀转化设施流出物排放量归一化限值的确定应主要考虑：

#### (1) 设施类型

GB13695-92 中未对铀纯化和铀转化设施归一化排放限值进行专门规定。

根据目前我国核燃料循环产业现状，铀纯化和铀转化是核燃料循环重要环节，且已有单独运行的铀纯化和铀转化设施，因此，本标准增加了铀纯化和铀转化设施流出物归一化排放管理限值要求。

#### (2) 铀纯化、铀转化设施归一化排放限值的确定

通过现有运行设施的排放数据和新建设施的设计排放量统计分析，确定铀纯化、铀转化设施放射性气态流出物归一化排放量管理限值为  $1.0 \times 10^8 \text{Bq}/100\text{tU}$ ；铀纯化液态流出物归一化排放量管理限值为  $1.0 \times 10^7 \text{Bq}/100\text{tU}$ ，铀转化液态流出物归一化排放量管理限值为  $1.0 \times 10^6 \text{Bq}/100\text{tU}$ 。

### 4.2.2 铀浓缩设施

铀浓缩设施流出物归一化排放量管理限值主要考虑：

#### (1) 关于铀浓缩设施的控制项目

本标准主要根据现有的铀浓缩设施运行及工艺情况进行控制。铀浓缩设施正常生产中基本不产生工艺废液，因此不规定液态流出物的归一化排放限值。铀浓缩设施的厂房擦地水和淋浴废水不按照常规的放射性废水管理，但需要对其进行铀浓度的抽样监测。容器清洗产生的放射性废液需处理后按照液态流出物排放要求进行管理，但容器清洗产生的废液量与主工艺生产能力没有直接关系，难以进行归一化，所以本标准中不对铀浓缩设施的液态流出物归一化排放限值进行规定。

#### (2) 关于铀浓缩设施的归一化排放限值

通过现有设施的排放数据和新建设施的设计排放量分析，确定铀浓缩设施放射性气态流出物归一化排放量管理限值为  $3.0 \times 10^7 \text{Bq}/100\text{tSWU}$ 。比原标准  $1.15 \times 10^9 \text{Bq}/100\text{tSWU}$  大幅降低。



### 4.2.3 铀燃料元件制造设施

铀燃料元件制造设施流出物排放量归一化限值主要考虑了以下几个因素：

#### (1) 铀燃料元件制造设施分类

GB13695-92 未对铀燃料元件制造设施进行分类和限值规定。本次修订综合分析并考虑目前我国铀燃料元件制造设施的生产工艺，铀-235 富集度不超过 5%。

考虑到其他类型元件使用铀-235 富集度的不同，相关设施可参照压水堆燃料元件制造设施流出物归一化排放量管理限值并结合铀-235 富集度进行确定。

#### (2) 铀燃料元件制造设施的归一化排放限值

通过现有设施的排放数据和新建设施的设计排放量分析，确定压水堆燃料元件干法工艺气态流出物归一化排放量管理限值定为  $1 \times 10^8 \text{Bq}/100\text{tU}$ ，液态流出物归一化排放量管理限值为  $8 \times 10^6 \text{Bq}/100\text{tU}$ ；压水堆燃料元件湿法工艺气态流出物归一化排放量管理限值为  $2 \times 10^8 \text{Bq}/100\text{tU}$ ，液态流出物归一化排放量管理限值为  $2.5 \times 10^7 \text{Bq}/100\text{tU}$ 。

### 4.2.4 乏燃料后处理设施

乏燃料后处理设施流出物排放量归一化限值主要考虑了以下几个因素：

#### (1) 关于核素种类

乏燃料后处理设施流出物排放涉及的核素较多。标准根据后处理设施的设计排放源项，考虑监测有效性，结合法国后处理设施的监管要求，最终提出 H-3、C-14、Kr-85、I-129、Cs-137、Sr-90、Pu-238、Ru-106 以及总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 、 $\gamma$  共 10 个控制指标，其中液态流出物中不考虑 Kr-85。与原标准相比增加了 C-14、Pu-238、Ru-106 的限值，取消了 Pu-239 的限值。取消的原因是根据现在的乏燃料源项，Pu-238 无论是排放总量还是剂量贡献都大于 Pu-239。

#### (2) 后处理设施归一化排放限值的确定

本标准中后处理设施排放量管理限值是在现有后处理设施设计燃耗 55000MWd/tU 的基础上确定的。

编制组充分调研了法国、英国后处理厂的实际排放数据、监管限值以及我国后处理厂的设计，同时考虑了内陆和滨海两种厂址不同的设计情况对排放总量限值的影响，经过归一化计算，给出后处理设施流出物归一化管理限值，并与原标

准进行了比较。

### **(3) 关于气、液态流出物排放限值的说明**

在后处理设施流出物排放量归一化限值确定的过程中，分别考虑了内陆无排放水体条件和滨海有排放水体的条件。对于无排放水体厂址需要将高氙的废液采用液转气的形式排放，因此表中气态氙的排放量相比于滨海厂址要高，对于滨海厂址液态流出物的排放总量限值，结合废液处理工艺的水平、代价利益分析以及核电厂的液态流出物排放标准要求等因素，表中按照总 $\beta$ 为300Bq/L的排放浓度计算得出。但液态流出物的排放浓度要求不是本标准的规定范围，因此还应按照其他标准规定执行。

#### **4.2.5 关于铀矿冶设施和核动力厂**

鉴于新发布的《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020)和《核动力厂辐射环境管理规定》(GB 6249-2011)对铀矿冶设施和核动力厂的气、液态排放量已有单独的规定，故本标准不再规定铀矿冶设施和核动力厂的归一化排放管理限值。

## **5.与现行标准的相容性**

核燃料循环流出物排放控制管理是我国核设施环境管理的基本要求。本标准在修订过程中充分考虑了《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《铀加工与燃料制造设施辐射防护规定》(EJ1056-2018)等标准中关于流出物排放管理的基本要求。

## **6.与我国实践的适用性**

本标准在修订过程中充分调研了我国核燃料循环设施的设计和运行现状，相关限值的确定是在对相关数据的优化和统筹考虑后制定的，并与部分营运单位和设计单位进行了充分讨论，可用于指导我国核燃料循环设施的设计和运行等实践。

## 7.对实施本标准的建议

本标准规定了在正常运行工况下核燃料循环设施释放到环境的气态和液态流出物归一化排放量的管理限值，适用于铀纯化设施、铀转化设施、铀浓缩设施、铀燃料元件制造设施及乏燃料后处理设施。

本标准是关于污染物排放的控制标准，是强制标准，适用范围内所有设施的流出物排放均应满足本标准的要求。新建设施应确保工艺能够保证流出物排放满足本标准要求，目前工艺尚难以达到本标准要求的设施应进行限期整改。

本标准仅规定了流出物排放总量管理限值，不代表监测要求，对于流出物中核素的监测应还遵循相关标准。

## 8.行业概况

我国是世界上少有的具有从铀矿冶到后处理完整的核燃料式循环产业链的国家。核工业发展几十年来，核燃料循环各个阶段都得到了长足的发展，形成了铀纯化、铀转化、铀浓缩、铀燃料元件制造、乏燃料后处理等独立的核设施。随着国家生态文明建设加强，公众环保意识提高，本行业环保投入逐渐加强，环保技术能力逐渐提高。

## 9.行业产排污情况及污染控制技术分析

### 9.1 铀纯化、铀转化设施

#### 9.1.1 气态流出物

##### (1) 铀纯化设施

铀纯化设施在正常生产运行期间，向环境释放的气态流出物主要为溶解和煅烧工序生产过程中产生的铀粉尘和气溶胶。

溶解尾气（含铀尘和  $\text{NO}_x$ ）通常采用二级水吸收和一级碳酸钠吸收、处理后排放。也可增加尾气经气液分离器冷凝，回收  $\text{NO}_x$ 。

煅烧工艺产生的废气中包括铀尘、气溶胶和氨气，通常采用旋风分离器、水

膜除尘和泡沫除尘后，再经中高效过滤器过滤后排放。也可增加酸吸收塔，气相和水相逆流解除等措施进一步提高处理效率。

## **(2) 铀转化设施**

铀转化设施气态流出物主要是来自溶解、萃取和脱硝部分产生的尾气。

溶解工艺产生的工艺尾气经分凝器和旋风分离器后，进行氮氧化物回收处理。脱硝工艺产生的工艺尾气经湿壁塔、多级逆流吸收塔吸收氮氧化物后，再经淋洗塔吸收处理后，排入局排系统。最终各主工艺厂房所有流出物还需经过酸雾净化塔等净化处理设施处理后统一排放。

### **9.1.2 液态流出物**

#### **(1) 铀纯化设施**

铀纯化设施生产废水主要为萃余水、反萃取再生水、沉淀母液（硝铵废水）、尾气吸收废液等。沉淀母液经硝铵回收工序后，与其他废液共同采用石灰乳除铀、氯化钡共沉淀等处理后采用槽式排放，未来还会采取进一步措施降低 U 含量。

#### **(2) 铀转化设施**

铀转化设施产生的废水主要来自溶解、萃取、浓缩脱硝、水合还原等工艺。将主要通过铀回收处理设施和含氟含铀废水处理设施等进行回收和处理。

### **9.1.3 控制技术分析**

铀纯化、铀转化设施流出物的排放与实际设施生产和操作量存在较强的比例关系。流出物处理工艺成熟，但由于厂址环境特征、建设时间不同等原因，国内不同设施的流出物管理存在一定差别，需要进一步规范控制。本标准的制定充分考虑了其差别。根据本归一化排放量管理限值来控制流出物排放是可行的。

## **9.2 铀浓缩设施**

### **9.2.1 气态流出物**

铀浓缩设施气态流出物主要来自各厂房的全面排风、局部排风以及工艺尾气。全面排风中铀浓度极低，不经净化即排入大气；各厂房局部排风系统的废气和工艺尾气经过高效过滤器等净化处理后排放。

## 9.2.2 液态流出物

铀浓缩设施产生的液态流出物主要是  $UF_6$  运输容器清洗废液。废液经离子交换回收和石灰沉淀处理后槽式排放。由于部分设施厂址限制，也优化采用了膜处理等高效处理方式，但目前尚不具备全面推广条件。

## 9.2.3 控制工艺分析

铀浓缩设施气态流出物产生和管理与设施生产规模相关性较强，液态流出物产生和管理与设施生产规模相关性不大。因此，本标准在修订过程中，仅考虑了对铀浓缩设施的气态流出物进行归一化排放量管理控制，特别是对部分局部排放的控制。不考虑对液态流出物进行归一化排放量管理控制。

## 9.3 铀燃料元件制造设施

### 9.3.1 气态流出物

铀燃料元件制造设施气态流出物为来自各厂房全面排风、局部排风以及工艺系统的尾气，主要污染工序是化工转化，主要污染物为  $UO_2$ 、 $UF_6$  和  $UO_2F_2$ 。各系统的工艺尾气根据污染物的物理化学性质不同采取相应的净化方式处理。对于含有铀气溶胶的全排和局排系统排风，经高效空气过滤器处理后排入总排风管道，通过烟囱排入大气；对于排风中化学有害气体的局部排风系统排风，经酸雾净化塔处理后排入总排风管道，通过烟囱排入大气。

### 9.3.2 液态流出物

铀燃料元件制造设施的液态流出物主要包括化工干法转化过程产生的尾气吸收液、 $UF_6$  残料回收系统产生的水喷射吸收液、化工湿法转化过程产生的沉淀母液和尾气吸收液、芯块制备工序的磨削废水、设备去污废水和地面去污废水等。各工序产生的尾气吸收液和磨削废水一般为循环利用，定期送铵盐沉淀工序处理，经处理后送硅胶吸附工序处理。去污废水和地面去污废水，经收集后送铵盐沉淀工序处理，经处理后送硅胶吸附工序处理。沉淀母液直接送硅胶吸附工序进行吸附处理。硅胶吸附后的铀浓度合格尾液，进行脱氟、蒸氨，最后澄清，经监测合

格后槽式排放。

### 9.3.3 控制工艺分析

铀燃料元件制造设施流出物的排放与实际设施生产和操作量存在较强的比例关系。流出物处理工艺成熟，但由于厂址环境特征等原因，我国不同铀燃料元件生产基地的液态流出物管理存在一定差别，需要进一步加强控制。本标准的制定充分考虑了其中差别。根据本归一化排放量管理限值来控制流出物排放是可行的。

高温气冷堆核电站燃料生产工艺虽与压水堆燃料不一样，但其主要污染工艺也是化工转化工艺，因此也可参照压水堆燃料元件制定归一化排放量管理限值。

## 9.4 乏燃料后处理设施

### 9.4.1 气态流出物

乏燃料后处理设施的气态流出物包括乏燃料在剪切及溶解、硝酸回收、工艺溶液及液体废物蒸发、废物煅烧及熔化等工序中产生的尾气和放射性物质工艺设备的排放气，其中主要产生于切割和溶解操作中。

### 9.4.2 液态流出物

后处理设施高放废液用大罐贮存后采用玻璃固化处理；中放废液蒸发后蒸残液送高放废液大罐贮存，或送水泥固化，冷凝液利用低放废液处理设施处理后排放。在液态流出物的排放控制中同时考虑内陆无水体厂址的特殊情况，该情况下要采用液转气工艺，因此气态流出物的排放量要高于滨海厂址。

### 9.4.3 控制工艺分析

由于我国中试厂尚是一个中间试验平台，部分生产工艺和流出物处理等方面还正在进行技术总结和更新。因此，本标准在编制中既考虑其实际排放情况，也借鉴了英国、法国等先进国家的后处理排放管理限值，并主要结合国产的后处理设施的设计情况。在目前的已运行和新设计的后处理设施的控制工艺下，对流出

物中部分核素排放量进行归一化管理控制是可行的。

## **10.实施本标准的环境、社会、经济效益和实施成本分析**

本标准修订顺应了国家生态文明建设需要，促进了核能发展，优化了核燃料循环设施相关环境保护管理，将流出物排放管理控制与实际生产有机结合。其实施将有利于提高和改进现有核燃料循环设施的流出物排放管理，并为未来新设施的设计提供遵照，并带来良好的环境、社会和经济效率。

## **11.实施本标准的经济、技术、管理措施的可行性分析**

本标准中流出物排放量归一化管理限值是在综合调研我国现有核燃料循环设施实际排放量，参考借鉴国内外先进管理经验的基础上修订的。既符合我国现阶段的国情，也为后续流出物排放管理提出了新的要求，修订过程中还考虑了各营运单位、业内专家、主管部门的建议，具有较高的可行性，也不会给行业营运单位、主管部门带来过多的实施成本。