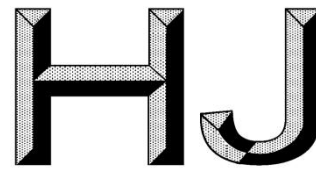


附件4



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ xxxx—202x

放射性物品运输容器耐热试验指南

Guidelines for thermal test of packaging for radioactive material

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

生态环境部 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 试验目的.....	2
5 试验方法.....	2
6 试验条件.....	2
7 试验装置及试验用仪器仪表	3
8 试验过程.....	5
9 验收准则.....	6
10 试验报告.....	8

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国核安全法》，防止放射性污染，保障人体健康，保护生态环境，规范放射性物品运输容器耐热试验的设计验证工作，制定本标准。

本标准规定了放射性物品运输容器耐热试验的设计验证方法，是对《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019)标准有关要求的细化。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部辐射源安全监管司、法规与标准司组织制订。

本标准起草单位：中机生产力促进中心有限公司。

本标准由生态环境部 202x 年 x 月 x 日批准。

本标准自 202x 年 x 月 x 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

放射性物品运输容器耐热试验指南

1 范围

本标准规定了放射性物品运输容器耐热试验的设计验证方法。

本标准适用于全尺寸放射性物品运输容器的耐热试验鉴定，全尺寸特殊形式放射性物品、低弥散放射性物品的耐热试验可参照执行。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 11806	放射性物品安全运输规程
JJF 1664	温度显示器校准规范
JJF 1262	铠装热电偶校准规范
JJF 1637	廉金属热电偶校准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

黑体 black body

吸收率 $\alpha=1$ 的物体称为绝对黑体，简称黑体。黑体的吸收率 $\alpha=1$ ，意味着黑体能够全部吸收各种波长的辐射能。

3.2

灰体 gray body

在热辐射分析中，单色吸收率与波长无关的物体称为灰体。对于灰体，单色吸收率 $\alpha=\alpha_\lambda=\text{常数}$ 。

3.3

辐射力 emissive power

物体在单位时间内单位表面积向半球空间所有方向发射的全部波长的总辐射能，表征物体发射辐射能本领的大小，它的常用单位是瓦/米²，用 E 表示。

3.4

发射率 emissivity

实际物体的辐射力与同温度下黑体辐射力的比值，称为实际物体的黑度，亦称发射率，用 ε 表示。

3.5

火焰发射率 flame emissivity

一个大型的、高温灰体的表面发射率，该灰体表面既发射能量又反射能量，而且完全包围试验运输容器，用 ε_f 表示。

4 试验目的

耐热试验的目的是为了验证放射性物品运输容器经受《放射性物品安全运输规程》(GB 11806)规定的运输事故条件下耐热试验后的安全性能。

5 试验方法

5.1 方法分类

耐热试验方法通常包括池火耐热试验和炉式耐热试验方法。设计单位可根据实际情况选用合适的试验方法。

5.2 池火耐热试验

在试验中,将试验运输容器放置在油池上方,当大气处于稳定状态时,点燃油池中的燃料,使火焰吞没试验运输容器。燃烧规定时间(如耐热试验燃烧 30 分钟;强化耐热试验燃烧 60 分钟)后,燃料耗尽,火自然熄灭,试验运输容器自然冷却。

5.3 炉式耐热试验

使用加热炉对试验运输容器进行加热,为试验运输容器提供等效总热输入,并提供不低于 800℃的平均环境温度,持续加热标准规定的时间。

6 试验条件

6.1 大气环境条件

应在下列大气条件下进行耐热试验:

- (1) 温度: $-40^{\circ}\text{C}\sim+38^{\circ}\text{C}$;
- (2) 池火耐热试验前,应测试风速,风速应不大于 2 米/秒,且不宜在雨、雪、冰雹等天气时进行。

6.2 运输容器条件

试验运输容器必须是全尺寸运输容器。

6.3 初始条件

6.3.1 总体要求

试验运输容器的初始条件对耐热试验结果将会产生显著影响。因此,应创造满足 GB 11806 规定的条件,其中 6.3.1、6.3.2 中规定的初始条件,允许这些参数在试验前和试验期间具有不同的值,但设计单位应补充分析这些差异的影响,对试验结果进行补偿修正。

6.3.2 温度

试验容器初始温度分布应为稳定状态。耐热试验温度初始条件应考虑在环境温度为 $+38^{\circ}\text{C}$ 且有太阳暴晒以及货包内所产生的最大设计的内释热率条件下,处于热平衡状态。

6.3.3 包容压力

试验容器的初始压力应是最大正常工作压力，包括但不限于容器内回充惰性气体的压力，容器温度变化以及内容物所有气体的泄漏或释放。此外，对于小于大气压力的设计，可能存在较低的压力导致较大的泄漏情况，应予以综合考虑。

6.3.4 内容物

试验运输容器不必装载放射性或危险物品，在保证试验运输容器对试验条件的力学效应、热效应与原型运输容器对效应基本一致的前提下，内容物可以用合适的无毒物品替代，并应对替代物与原内容物之间差异的影响进行分析与评价。如果运输容器运输多种内容物，必须选择对运输容器产生最严苛初始条件的内容物。选择代表实际内容物的无毒替代物品时，应再现以下特性：

- (1) 质量；
- (2) 平均比热；
- (3) 热生成率；
- (4) 内压。

6.3.5 冲击损伤

耐热试验前，应在同一试验运输容器上相继进行“验证经受运输事故条件能力的试验”规定的自由下落试验 I（9 m 跌落试验）和自由下落试验 II（1m 击穿试验）或自由下落试验 II（1m 击穿试验）和自由下落试验 III（压碎试验），试验组合视情况而定。

6.4 试验条件

使试验运输容器在热环境中暴露 30 分钟（强化耐热试验中持续 60 分钟），该热环境提供的热流密度应至少相当于在完全静止的环境条件下烃类燃料 / 空气火焰的热流密度，以确保最小平均火焰发射率为 0.9，平均温度至少为 800℃，试验运输容器完全被火焰吞没，使试验运输容器表面吸收率为 0.8，或当试验运输容器暴露在所规定的火焰中时，其实际具有的表面吸收率。

6.5 其他条件

6.5.1 在火焰或加热炉内加热试验运输容器后，试验运输容器应进行保护，以防止风吹雨淋，风速应不大于 5 公里/小时。

6.5.2 在试验期间和试验后，不得人为地冷却试验运输容器，并应允许试验运输容器的材料自然燃烧，直至熄灭。

6.5.3 试验运输容器从火焰中或加热炉移出时，移动速度应小于运输容器表面为 800℃ 时上方自然空气循环速度（通常为 1 米/秒至 2 米/秒），以确保试验运输容器的运动不产生人工冷却。

7 试验装置及试验用仪器仪表

7.1 试验装置

7.1.1 试验装置可选用池火或炉式耐热试验装置，具体选择应考虑试验运输容器的结构与尺寸、运输规程要求、环保要求以及可用的试验设备等因素。

7.1.2 池火耐热试验装置

池火耐热试验装置使用煤油、煤油与汽油 1:1 混合物等烃类燃料露天式燃烧来营造热环境，一般由

油库、供油系统、油池、点火装置以及控制系统等组成。其基本要求为：

- (1) 油池的大小应至少超出运输容器任意外表面 1 米，但不宜超过 3 米；
- (2) 固定运输容器的钢支架应保证运输容器底部比燃料液面高 1 米，以确保火焰在运输容器位置充分燃烧，并有足够的空间供空气从侧面流入。在不影响热通量的情况下改善火焰温度的均匀性；
- (3) 油池周围应放置一个环形挡风围栏，以便最大限度地减少风的影响。

7.1.3 炉式耐热试验装置

(1) 炉式耐热试验装置使用柴油、天然气或液化石油气等烃类燃料加热炉来模拟热环境，一般由供油（气）系统、炉膛、排烟系统、点火与燃烧系统、控制系统以及台车或类似传送装置等组成，烧嘴的布置应避开火焰对试验运输容器的直接喷射。

(2) 炉式耐热试验装置的内表面积应远大于试验运输容器的表面积，若炉膛内表面积至少为试验运输容器表面积的 10 倍时，可免除炉膛表面发射率的测试。否则应进行测试，以证明满足 GB 11806 附录 C4.6.2 条规定的“提供的热流密度至少相当于在完全静止的环境条件下烃类燃料 / 空气火焰的热流密度，以给出最小平均火焰发射率为 0.9，平均温度至少为 800℃，试样完全被火焰所吞没，使表面吸收率为 0.8 或采用货包暴露在所规定的火焰中其实际具有的吸收率值”。

7.2 试验用仪器仪表

7.2.1 热环境温度测量设备

(1) 池火温度

宜采用 K 型或其它高温型耐热合金铠装绝缘热电偶。试验运输容器周围每个方向至少布置 1 个测点。热电偶产生的电信号由数据采集系统采集并显示。

(2) 加热炉炉膛面温度

宜采用 K 型或其它高温型耐热合金铠装绝缘热电偶。测温热电偶数量应足够，以保证炉膛内温度分布相对均匀。热电偶产生的电信号由数据采集系统采集并显示。

(3) 热通量传感器或热通量计

热通量传感器（也称热流传感器）宜采用薄膜式热流传感器。池火耐热试验和炉式耐热试验宜采用辐射-对流式热流计（也称全热流计）。

7.2.2 风速计

池火耐热试验用风速计宜采用螺旋桨式风速计，该风速计应安装在距火源 10 米高处。

7.2.3 试验运输容器温度测量设备

(1) 试验运输容器表面温度测量

宜采用 K 型或其它高温型耐热合金铠装绝缘热电偶。热电偶产生的电信号由数据采集系统采集并显示。

(2) 试验运输容器内部温度测量

采用与被测温度范围相适应的热电偶。热电偶应安装在试验运输容器内部选定部位，其测量端至少有 50 毫米处于等温区，但不能因此影响试验运输容器的性能。在试验运输容器允许穿孔的情况下，宜采用 K 型或其它高温型耐热合金铠装绝缘热电偶，热电偶产生的电信号由数据采集系统采集并显示。也可采用多温度显示测温试纸等来测量选定部位可达的最高温度。

7.2.4 测量系统准确度要求

传感器和数据采集仪应满足以下要求：

- 数据采集仪应按 JJF 1664 校准合格，其最大允许误差不低于 $\pm 0.5\%FS$ ；
- 热电偶应按 JJF 1262、JJF 1637 校准合格，其最大允许误差不低于 2 级。

8 试验过程

8.1 池火耐热试验过程

8.1.1 装配

将试验运输容器按产品图样和技术文件要求进行装配。按照试验规程依次完成出厂试验、正常运输条件和运输事故条件下的相关力学试验后，在试验运输容器表面预定位置安装测温传感器；在适当时机，在试验运输容器内部预定位置粘贴测温试纸。必要时，在试验运输容器内部安装测温传感器。

8.1.2 安装

耐热试验期间，试验运输容器底部距燃料液面或燃烧器高度为 1 米。

8.1.3 试验系统安装联试

安装火焰场温度传感器，将所有传感器接入试验系统，检查确认试验系统工作正常。

8.1.4 风速监测

试验前，监测试验场地周围风速，确认风速满足试验要求。

8.1.5 试验

若进行预热，则在预热后移除预热装置。开启供料系统，向油池内注入燃油（若为煤油等烃类燃料，则需先向油池内加注一定量的水，然后根据燃油燃烧速度加入预定体积的燃油），采用自动点火装置点火，待试验运输容器周围平均火焰温度达到 800℃时开始计时，直至完成规定的试验时间。试验过程中，观察和记录火焰形态及试验运输容器状态变化，并按试验要求采集相关数据。

8.1.6 后处理

试验后，试验运输容器应自然冷却，试验测试系统应继续采集数据，直至试验运输容器监测点的峰值温度出现。若试验运输容器发生燃烧，应允许其自然燃烧，直至熄灭。观察并记录试验运输容器试验后状态。

8.1.7 试验后检查

确认油池内燃油燃尽且所有受热物件自然冷却后，观察试验用传感器状态、试验运输容器状态，并详细记录检测结果。

8.1.8 试验运输容器拆解

待现场测量工作以及后续相关试验完成后，进行试验运输容器拆解，完成内部温度数据读取和试验运输容器状态分析。

8.1.9 试验过程中异常情况处理

在试验过程中，如出现没有预料到的异常情况，应按照应急预案处理，并详细记录，应在试验报告中对异常情况对运输容器的安全影响进行分析评价。

8.2 炉式耐热试验过程

8.2.1 装配

按照 8.1 条（1）执行。

8.2.2 安装

耐热试验前，应在加热炉台车或类似传送装置上安放支座，支座位置与结构设计应保证使试验运输容器试验时大体位于加热炉试验区域的中心。对于油（气）加热炉，应避免火焰直射试验运输容器。

8.2.3 试验系统安装联试

检查加热炉炉膛内壁温度传感器是否正常，是否已接入试验系统，确认试验系统工作正常。

8.2.4 试验

- （1）若进行预热，则移除预热装置后，安装好起吊装置；
- （2）在台车或类似传送装置上标记安装点，使加热炉加热到预定温度，并保温预定时间；
- （3）打开炉门，将台车或类似传送装置开出；
- （4）将试验运输容器吊装到台车或类似传送装置的支座上，使试验运输容器处于预定位置；
- （5）将台车或类似传送装置开入炉内，关闭炉门；
- （6）将炉温上升至 800℃ 以上，待炉温稳定时，开始计时，直至完成规定的试验时间。试验过程中，通过温控系统观察和记录火焰形态、炉膛内温度变化情况，并按试验要求采集相关数据；
- （7）关闭供油（气）系统，随后打开炉门；
- （8）将台车或类似传送装置开出加热炉；
- （9）将试验运输容器吊离台车或类似传送装置。

8.2.5 后处理

按照 8.1 条（6）执行。

8.2.6 试验运输容器拆解检查

按照 8.1 条（8）执行。

8.2.7 试验过程中异常情况处理

按照 8.1 条（9）执行。

9 验收准则

9.1 包容功能的验收准则

9.1.1 包容功能的验收准则为实际泄漏率低于允许的最大泄漏率，应通过试验来证实包容系统的泄漏率是否满足 GB 11806 规定的要求。对于新燃料运输容器、特殊形式放射性物品运输容器等内容物自身具备包容能力的运输容器，可制定其他适用的能证明运输容器包容条件的验收准则。设计人员应选择适合于运输容器设计和试验的测量泄漏检验方法。

9.1.2 对于盛装大于或等于 0.1 公斤六氟化铀的运输容器，在经受水压试验、正常运输条件下的自由下落试验以及运输事故条件下的耐热试验后，该运输容器的包容系统应无破损，满足 GB 11806 第 7.6.4 规定的除外。

9.1.3 对于B型运输容器，在经受运输事故条件下的自由下落试验 I（9 m 跌落试验）和自由下落试验 II（1m 击穿试验）或自由下落试验 II（1m 击穿试验）和自由下落试验 III（压碎试验）、耐热试验后，该运输容器仍符合下述要求：

（1）能保持足够的屏蔽能力，保证在运输容器内装的放射性内容物达到所设计的最大数量时，距运输容器表面 1 米处的辐射水平不会超过 10 毫希伏/小时。

（2）能使一周内放射性内容物的累积漏失对氦-85 限制为不大于 $10A_2$ 和对所有其他的放射性核素不大于 A_2 ；计算混合物放射性核素 A_2 值时，对氦-85 取 $10A_2$ 的 $A_2(i)$ 有效值。

9.1.4 对于C型运输容器，在经受运输事故条件下的自由下落试验 I 和自由下落试验 III、击穿-撕裂试验、强化耐热试验、撞击试验后，验收准则与 B 型运输容器相同。

9.1.5 对于孤立的单件易裂变材料运输容器的评定，应假设水能渗入运输容器的所有空隙或从运输容器的所有空隙中泄出（包括包容系统内的所有空隙）。若运输容器设计能考虑一些特殊措施，即使发生人为错误，这些空隙处也不出现这种渗入或漏出。这些特殊措施对应验收准则则包括：

（1）使用多重高标准防水层，在运输容器经受 GB 11806 第 7.11.5b) 规定的“正常运输条件能力的试验后，再进行验证经受运输事故条件能力的试验中规定的任何一种较严的试验：a) 自由下落试验 II 和自由下落试验 III，或自由下落试验 I 和自由下落试验 II；随后进行耐热试验以及易裂变材料货包的水泄漏试验；或 b) 水浸没的试验”后，仍存在不少于两道防水层防漏。

（2）仅对盛装铀-235 富集度最高为 5%（质量）的六氟化铀的货包，在经受 GB 11806 第 7.11.5b) 的试验后，运输容器上的阀门和任何其他部件（而不是指阀门安装位置上的部件）之间无直接接触；此外，在经受了耐热试验后，阀门仍旧保持不漏。

9.2 屏蔽功能的验收准则

9.2.1 耐热试验后容器应能保持足够的屏蔽能力，其中对于 B 型和 C 型货包应保证在货包内装的放射性内容物达到所设计的最大数量时，距货包表面 1 米处的辐射水平不会超过 10 毫希伏/小时。

9.2.2 可通过运输容器结构设计，将外辐射减弱到可接受的水平，这应能由分析或物理试验，或者二者相结合来证实。如果选择分析法，则应使用一个合适的屏蔽计算程序，该程序应是成熟的且被广泛地验证过。如果通过物理试验来证明运输容器的屏蔽能力可接受，则应编制一个完整的可接受的试验程序。

9.3 次临界功能的验收准则

9.3.1 含有易裂变材料内容物的次临界不得由于假想事故试验的后果而降质。在耐热试验结束时，应该检查试验运输容器的变形和其它促使内容物次临界降质的变化。对有些试验运输容器，必须拆卸运输容器部件。如有临界安全相关因素的变化超出计算假设，则应重新对容器进行临界分析，并应采用成熟且被广泛应用验证过的计算机程序进行分析计算。

9.3.2 对于孤立的单件易裂变材料运输容器的评定：

（1）运输容器在 GB 11806 第 7.11.3.1 和 7.11.3.2 条所述的条件下应是次临界的，而且货包产生最大中子增殖的条件要符合：

a) 常规运输条件（无意外事件）；

b) GB 11806 第 7.11.4b) 规定的验证经受正常运输条件能力的试验；

c) GB 11806 第 7.11.5b) 规定的验证经受正常运输条件能力的试验后，再进行验证经受运输事故条件能力的试验。

（2）对拟空运的货包，在符合 GB 11806 附录 C4.9.1 规定的 C 型货包试验条件下，假设以至少 20 厘米厚的水层进行反射而水不漏入货包，货包应是次临界的。

9.3.3 对于运输事故条件下运输容器阵列的评定，推导的运输容器件数“N”值，在 2 倍“N”件运输容器应是次临界的，且符合下述三种假设情况提供最大中子增殖的排列和货包条件：

HJ xxxx—202x

(1) 货包间存在含氢慢化物，而且货包排列受到周围至少 20 厘米厚的水层反射。

(2) 经受住 GB 11806 第 7.11.5 条 b) 规定的验证经受正常运输条件能力的试验后，再进行验证经受运输事故条件能力的试验。

(3) 在包容系统经受住 GB 11806 第 7.11.5 条 b) 规定的一系列试验后，有易裂变材料从包容系统中漏失时，应假设易裂变材料会从阵列中的每个货包中漏失，并且假设所有的易裂变材料排列都按照至少 20 厘米厚的水层紧贴反射导致最大中子增殖的构形和慢化条件。

9.4 试验后检查

耐热试验后应检查试验运输容器，以证明保持了足够的安全裕量。进行包容系统的泄漏检测试验、变形测量（用于临界分析）。必要时需拆解运输容器或切割部分部件。

10 试验报告

试验报告应至少包括以下信息：

- (1) 试验名称；
- (2) 试验目的和依据；
- (3) 试验日期、地点、参试单位、试验场所大气环境条件；
- (4) 试验运输容器技术状态，包括类型、编号、基本尺寸、质量、密度、颜色、涂层覆盖率、试验方向和安装要求等；
- (5) 试验条件；
- (6) 仪器设备；
- (7) 主要试验过程；
- (8) 试验结果分析及结论；
- (9) 其它有关事项。