

附件 3

《放射性物品安全运输 货包的泄漏 检验（征求意见稿）》编制说明

《放射性物品安全运输 货包的泄漏检验》

修订编制组

二〇二〇年四月

目录

一、项目背景.....	1
(一) 任务来源.....	1
(二) 工作过程.....	1
二、标准制修订必要性分析.....	1
三、国内外相关标准情况.....	2
(一) 国外标准情况.....	2
1. ISO.....	2
2. IAEA.....	3
3. 加拿大、法国、德国.....	5
4. 美国和西班牙.....	5
(二) 国内标准情况.....	6
四、标准制修订的基本原则和技术路线.....	6
五、主要技术内容的说明.....	7
六、与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析.....	8
(一) 标准正文的国内外同类标准的对比和分析.....	8
(二) 标准附录的国内外同类标准的对比和分析.....	9

放射性物品安全运输 货包的泄漏检验

一、 项目背景

（一）任务来源

本项目来源于 2019 年核与辐射安全监管项目，所属子项：（十二）法规标准制修订，项目名称 65. 制定《放射性物品安全运输 货包的泄漏检验》。

计划要求制订《放射性物品安全运输 货包的泄漏检验（报批稿）》及编制说明。

（二）工作过程

标准修订本编制分为三个阶段：2019 年 1 月~7 月为第一阶段，完成标准提纲。2019 年 8 月~9 月为第二阶段，完成标准初稿和相关的研究工作。2019 年 10 月~12 月为第三阶段，完成标准的征求意见稿。

二、 标准制修订必要性分析

随着我国核能和核技术利用的快速发展，放射性物品运输活动日趋频繁。目前我国放射性物品年运输量达到百万件货包。

在放射性物品运输过程中，放射性物品被装载在容器中，运输容器是放射性物品与环境间的重要屏障。运输安全的实现主要依靠容器承受运输环境及抵抗事故的能力。无论在运输的正常情况还是事故情况下，运输容器应能防止放射性物品的漏失弥散。

为了规范放射性物品运输货包泄漏检验工作，同时为放射性物品运输货包安全监管提供支持，我国 GB/T 17230-1998《放射性物质安全运输 货包的泄漏检验》等效采用了 ISO 12807: 1996，而 ISO 12807 升级为 2018 版本，其中有较多的修订。因此，修订 GB/T 17230-1998。

三、国内外相关标准情况

(一) 国外标准情况

1. ISO

国际标准化组织（ISO）制定了放射性物质安全运输货包的泄漏检验的标准 ISO 12807，到目前为止有两个版本，ISO 12807: 1996 为第一版本，ISO 12807: 2018 为第一次修订版本。

(1) ISO 12807: 1996

国际标准化组织（ISO）在 1996 年发布的 ISO 12807: 1996《放射性物质安全运输——货包的泄漏检验》是 IAEA 安全丛书第 6 号《放射性物质安全运输条例》的配套系列标准之一。

ISO 12807: 1996 规定了进行放射性货包泄漏检验的一种常用方法，即：等效气体泄漏检验法的检验准则和检验方法。该方法可应用于货包的设计验证、制造验证、装运前验证和定期验证阶段。

ISO 12807: 1996 主要适用于 B 型货包包容性能检测，标准的正文有 8 个章节和 6 个附录。

(2) ISO 12807: 2018

2018 年 ISO 12807 标准进行了升版，新版标准用于证明放射性物品运输货包包容性能满足 IAEA《放射性物质安全运输条例》的货包密封要求。该版本在 1996 年版本应用在货包的设计验证、制造验证、装运前验证和定期验证阶段基础上，增加了维修检测阶段。

2018 年版本主要适用于 B (U)，B (M) 或 C 型货包包容性能检测，标准的正文有 10 个章节和 5 个附录。两个版本章节和附录对比见表 1。

表 1 ISO 两个版本章节和附录的对比

章节	ISO 12807: 1996	ISO 12807: 2018
正文	1) 范围 2) 定义、符号和单位 3) 规定的包容要求 4) 检验程序	1) 范围 2) 引用标准 3) 术语和定义 4) 符号和单位

	5) 容许活度释放率的确定 6) 标准化泄漏率的确定 7) 包容系统验证要求 8) 泄漏检验程序要求	5) 规定要求 6) 检验程序 7) 容许活度释放率的确定 8) 标准化泄漏率的确定 9) 包容系统验证要求 10) 泄漏检验程序要求
附录	附录 A 推荐的泄漏检验方法; 附录 B 计算方法; 附录 C 转换表; 附录 D 工作实例; 附录 E 注释; 附录 F 参考文献。	附录 A 推荐的泄漏检验方法; 附录 B 计算方法; 附录 C 转换表; 附录 D 工作实例; 附录 E 注释。 参考文献

2. IAEA

IAEA 没有专门针对放射性物品货包泄漏检测方面的技术导则发布。但在 IAEA 发布的特殊安全要求《放射性物质安全运输条例》(以下简称 SSR-6) 和特殊安全导则《Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material(2012 Edition)》(以下简称 SSG-26) 中对放射性货包的泄漏检测提出了要求。

(1) SSR-6 对货包的密封检测要求

SSR-6 中明确给出了不同货包的包容要求(表 2), 但没有对放射性货包的密封做专门性规定, 只提出了笼统的要求, 即: 第 503 条 (c) “必须通过检查或适当的测试来确保包容系统中所有可能泄漏放射性内容物的封盖、阀门和其他开孔均已严加密封, 并且必要时使用某种已证明能符合第 659 条和第 671 条要求的方法加以密封。”

表 2 SSR-6 对各类货包的包容要求汇总

货包类型	包容要求	工况
A 型	防止放射性内容物的漏失或弥散	正常
B 型、C 型	放射性内容物的漏失限制在每小时不大于 $10^{-6}A_2$	正常

	一周内放射性内容物的累积漏失对氙-85 限制在不大于 10A ₂ 和对所有其他的放射性核素不大于 A ₂	事故
≥0.1 kg UF ₆ 货包	应无漏失或弥散	正常
	包容系统无破损； 包装上的阀门和任何其他部件之间无直接接触； 阀门保持不漏	事故
易裂变材料货包	防水层保持不漏； 水渗入或易裂变材料漏出，5N 件货包次临界	正常
	防水层保持不漏； 水渗入或易裂变材料漏出，2N 件货包次临界	事故

SSR-6 中直接针对六氟化铀 (UF₆) 货包和特殊形式及低弥散类内容物密封性提出泄漏检测明确要求：

“第 631~634 条，提出对六氟化铀 (UF₆) 货包的密封检测，单独要求遵照 ISO 7195-2005 《Packaging of Uranium Hexafluoride (UF₆) for Transport》的相关规定执行；”

“第 603、711 条，提出对特殊形式及低弥散类内容物的泄漏检测，要求遵照 ISO 9978-1992 《Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods》的相关规定进行的体积泄漏评估。”

(2) SSG-26 对货包的密封检测要求

安全导则 SSG-26 是 SSR-6 的解释性文件，对放射性货包的密封检测给出了更明确的要求和建议。它明确提出对货包包容系统完整性应使用适当的泄漏试验进行评估，建议遵照 ISO 12807 或美国的 ANSI N.14.5-1997 执行，对 UF₆ 货包遵照 ISO 7195-2005 执行，并在其 659.1-659.12 条和第 659.21-659.24 条中给出具体说明。

例如：

503.8 条，“提出 B (U) 型、B (M) 型和 C 型货包的泄漏试验要求，包括所进行的试验、试验频率和试验灵敏度，应根据 ISO 12807 所述的正常和事故条件下货包的最大允许泄漏率和标准泄漏率计算得出的。”“装载比活度超 LSA-II 但不到 LSA-III 的货包，可能需要进行装运前泄漏试验，这种试验可以是简单的直接试验，如 ISO 12807 或 ANSI N.14.5-1997 所述的气体和肥皂气泡定性试验或气体压力下降法和压力升高法定量试验。”

632.2 条，“验收准则见段 632 (a) - (c) 取决于六氟化铀货包所处环境的类

型。对于六氟化铀货包特有的压力试验，钢瓶的静水压试验可满足无泄漏和无不可接受的应力的验收要求，在这种情况下，可通过寻找钢瓶漏水的证据来检测泄漏。阀门和其他辅助设备不包括在此压力试验中（ISO7195）。”

632.3 条，“对于跌落试验（722 条），可通过进行符合 ISO7195 中规定的阀门泄漏试验程序、压力和灵敏度的气体泄漏试验来证明验收合格。”

659.5 条，“实际实践是使用成熟的泄漏试验方法，如气体泄漏试验（参见 ANSIN14.5 和 ISO12807）。通常，泄漏试验测量通过包容边界的物质流。”

659.10 条，“计算出的放射性液体或气体的允许泄漏可通过层流和/或分子流方程转换为参考条件下的等效试验气体泄漏，其中考虑压力、温度和粘度，ANSIN14.5-1997 和 ISO12807 中给出方程的示例。”

安全导则 SSG-26 还明确列出了建议采用的泄漏试验标准和试验方法，包括 ISO12807 中规定的定量方法(5 种)和定性方法(4 种),美国标准 ANSIN14.5-1997 的检测试验（7 种）。

3. 加拿大、法国、德国

根据 IAEA 正在起草的《Format and Content of the Package Design Safety Report (PDSR) for the Transport of Radioactive Material》(DS-493,2019.08.29) 的附件 2《Annex II Reference Documents Used by Competent Authorities for Technical Assessments》，加拿大、法国、德国，在审管中采用 ISO 12807。

4. 美国和西班牙

美国在放射性物品运输货包领域，关于货包包容要求的标准有《Leakage Tests on Packages for Shipment of Radioactive Material》(NRC/RG 7.4)、《Standard Review Plan for Transportation Packages for Spent Nuclear Fuel》(NUREG-1617)、《Standard Review Plan for Transportation Packages for Radioactive Material》(NUREG-1609) 以及联邦法规 10 CFR 71 等，明确了运输货包在正常运输条件与运输事故条件下的包容要求。其具体的泄漏检验方法与程序在《Revision and Leakage Rate Testing Considerations》(ANSI14.5-2014) 明确，包含了设计、制造、装运前、维护、定期评价五个阶段泄漏验证，包括泄漏检验方法有气压降低法、气压升高法、包层充气-气体探测器法、包层抽真空-气体探测器法、背压-包层抽

真空法、气泡技术（热水鼓泡法、真空鼓泡法、加压空腔泡法）、气泡法、示踪气体-检漏探头法和示踪气体-喷射法共九种方法。其方法与程序与 ISO12807-2018 中一致。

西班牙在 URC ENUN 24P 乏燃料容器设计中，货包泄漏检验采用了美国的 ANSI N14.5-1997。

（二）国内标准情况

我国《放射性物品安全运输规程》GB 11806-2019 中对货包包容性能的要求：放射性物品运输容器在正常运输条件下其放射性内容物的漏失应限制在每小时不大于 $10^{-6}A_2$ ，在运输事故条件下一周内放射性内容物的累积漏失对于 ^{85}Kr 不大于 $10A_2$ ，对于其他核素不大于 A_2 。

为了验证放射性物品运输容器是否满足法规标准对包容性能要求，需要依据 GB11806-2019 的限值，导出货包正常运输条件、事故条件的最大允许气体泄漏率，并通过泄漏检测试验来确定货包经受正常运输、运输事故条件下的试验后的包容性能。

目前我国气体泄漏检测主要根据 GB/T 17230-1998《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》。国标 GB/T 17230-1998 是等效采用了 ISO 12807: 1996，其技术内容与国际标准 ISO 12807: 1996 技术文件等同。

四、标准制修订的基本原则和技术路线

标准修订本是基于 GB/T 17230-1998，根据 ISO 2018 年发布的 ISO 12807: 2018《放射性物质安全运输——货包的泄漏检验》《Safe transport of radioactive material ——Leakage testing on packages》进行编制，其技术内容与国际标准 ISO 12807: 2018 一致。国标 GB/T 17230-1998 是等效采用了 ISO 12807: 1996，其技术内容与国际标准 ISO 12807: 1996 技术文件等同。

标准修订本的技术路线分为三步：

（1）调研国外放射性物品运输货包泄漏检验技术现状

调研美国、德国、法国等发达国家针对放射性物品运输容器泄漏检验技术现状，调研国外泄漏率试验先进方法，特别是对于大型容器的检验手段和高精度的检验技术。以及国外对于放射性物质运输货包经过力学、热学试验后的泄漏检验

技术。

(2) 调研国内放射性物品运输货包泄漏检验技术现状

调研我国放射性物品安全运输货包泄漏检验手段与方法。

(3) 翻译国际标准 ISO 12807: 2018 以及不同版本标准的对比

翻译国际标准 ISO 12807: 2018, 并将国际标准 ISO 12807: 2018 与国际标准 ISO 12807: 1996 之间进行对比, 以及国标 GB/T 17230-1998 与国际标准 ISO 12807: 1996 之间进行对比, 在此基础上开展标准修订工作。

五、主要技术内容的说明

标准修订本是在 GB/T17230-1998《放射性物质安全运输——货包的泄漏检验》的基础上, 并参考 2018 年发布的国际标准 ISO 12807: 2018《放射性物质安全运输——货包的泄漏检验》(Safe transport of radioactive materials — Leakage testing on packages) 的前提下, 为了更好地指导货包的设计验证、制造检验、装运前检测、定期评价、维修检测方面的工作, 编制了标准修订本。

标准修订本《放射性物品安全运输 货包的泄漏检验》作为一个推荐性标准, 规定了放射性物品运输货包检验程序、容许活度释放率的确定、标准化泄漏率的确定、包容系统验证要求、泄漏检验程序要求, 为在正常运输条件和运输事故条件下, 证明货包包容符合要求。

标准修订本共有 9 章和 6 个附录, 具体技术内容的说明如下。

第一章“适用范围”主要说明了标准的适用范围;

第二章“规范性引用文件”主要说明了标准修订本引用主要标准;

第三章“术语和定义”主要说明了标准修订本采用的术语和定义;

第四章“规定的包容要求”主要说明了经过了规定的试验后, 运输放射性物品的 B(U)、B(M) 或 C 型货包的包容要求;

第五章“检验程序”主要说明了运输放射性物品的 B(U)、B(M) 或 C 型货包泄漏检验的程序流程;

第六章“容许活度释放率的确定”主要描述了正常运输和运输事故这两种条件下的容许活度释放率;

第七章“标准化泄漏率的确定”主要描述了正常运输条件和运输事故条件这两种条件下的标准化泄漏率;

第八章“包容系统验证要求”主要描述了货包每个验证阶段相应的容许检验泄漏率，以及合适的检验方法；

第九章“泄漏检验程序要求”主要描述了用气体泄漏检验法的最低要求；

附录 A“推荐的泄漏检验方法”主要描述了相应的泄漏检验方法及其灵敏度范围、优缺点和应考虑的有关安全问题；

附录 B“计算方法”主要描述了有关计算方法的基本数据和公式；

附录 C“转换表”是不同单位的转化系数表；

附录 D“工作实例”是采用附录 B 计算方法的应用实例；

附录 E“注释”是为应用本标准条款和 GB11806-2019 相应要求而提供建议和指导性说明。

附录 F“符号与单位”是本标准使用的符号和单位。

六、与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析

（一）标准正文的国内外同类标准的对比和分析

为与目前国内放射性物品运输安全管理相关标准命名一致，故将标准修订本名称从 98 版的“放射性物质安全运输—货包泄漏检验”变更为“放射性物品安全运输 货包的泄漏检验”。同时为了与《放射性物品安全运输规程》GB11806-2019 中名词“运输事故条件”一致，在标准修订本中将 GB/T17230-1998 中的“运输中事故条件”全部更换为“运输事故条件”。

为完善标准修订本适用范围与对象，根据 ISO12807:2018 的内容，在 98 版标准基础上增加“维护验证”阶段，进一步完善标准的适用阶段，同时将检验对象从 B 型货包扩展到 B(U)、B(M) 和 C 型货包，使得标准修订本能与 GB11806 标准范围与货包类型匹配。

在标准修订本正文内容中，增加了维护验证程序，进一步细化在维护阶段验证的相关要求。此外增加假设前提，严谨完善技术体系（如：在 5.1 概述中增加“b) 稳态条件的假设是适当近似的”假设前提）。

根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》（2017）附 13 中对于标准修订本正文格式的要求，将正文第三章“定义、符号和单位”修订为“术语和定义”，增加附录 F“符号和单位”。

(二) 标准附录的国内外同类标准的对比和分析

1. 附录 A

标准修订本附录 A 与 ISO 12807: 2018 在技术内容上是一致的。

标准修订本的附录 A 与 GB/T17230-1998 的附录 A 对比:

1) 标准修订本的附录 A 在 A1 范围中说明, 具体为“本附录修订了用于测量货包泄漏量的实用泄漏检验技术, 并明确推荐使用适用于确定放射性物质货包泄漏率的检验方法。本附录在重点考虑容器具体类型的相关因素后, 推荐并制定了详细方法”;

2) 标准修订本根据 ISO 2018 版增加了对表 A2 中部分检验方法的补充解释;

3) 标准修订本将氦质谱仪灵敏度下限从“ $10^{-9}\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{SLR}$ ”改为“ $10^{-10}\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{SLR}$ ”;

4) 标准修订本将“肥皂泡法”改为“气泡法”;

5) 标准修订本删除了某些作业的资质要求。

2. 附录 B

标准修订本附录 B 与 ISO 12807: 2018 在技术内容上是一致的。

标准修订本附录 B 与 GB/T17230-1998 的附录 B 对比:

1) 标准修订本删除了 GB/T17230-1998 附录 B2 中符号和单位相关内容, 符号和单位在附录 F 进行了描述, 并在内容中对主要的符号说明了单位;

2) 标准修订本对计算流量的公式 B1 (修正的过渡流诺森方程) 进行了调整, 由 GB/T17230-1998 中

$$Q = 0.0123 \times \frac{D^4}{\mu \cdot \alpha} (P_u^2 - P_d^2) + 1.204 \frac{D^3}{\alpha} \sqrt{\frac{T}{M}} (P_u - P_d)$$

修改为:

$$Q = \frac{\pi}{128} \frac{D^4}{\mu \cdot a} \frac{(p_u^2 - p_d^2)}{2} + \frac{\sqrt{2\pi}}{6} \sqrt{\frac{RT}{M}} \frac{D^3}{a} (p_u - p_d);$$

3) 标准修订本对 B12 的部分内容进行了更新, 去除了“通常, 当两种流体的压力和温度条件相同时, 并且当这些条件不明显影响通孔的几何形状时, 才可应用这些相关性。”内容。

4) 标准修订本 B14 新增内容为“当假定层流为主时, 公式 (B12) 适用。”

3. 附录 C

标准修订本附录 C 与 ISO 12807: 2018 在技术内容上是一致的。

标准修订本在 GB/T17230-1998 基础上新增附录 C 转换表。

4. 附录 D

标准修订本附录 D 与 ISO 12807: 2018 在技术内容上是一致的。

标准修订本附录 D 与 GB/T17230-1998 的对比：

- 1) 由于输入参数变化，公式计算结果有变化。
- 2) 更新了部分参数的符号。
- 3) 调整了部分内容的顺序和描述方式。
- 4) 部分核素的 A_2 值随 GB 11806 标准的升版发生了变化，本版次中的数值及计算结果随之变化，根据新的标准数值进行了修改。
- 5) 参考文献及引用章节编号进行了更新。
- 6) 标准修订本增加“D15 使用低于大气压方法的干式乏燃料容器的包容”。

5. 附录 E

标准修订本附录 E 与 ISO 12807: 2018 在技术内容上是一致的。

标准修订本附录 E 与 GB/T17230-1998 的对比：

- 1) 标准修订本与 98 版标准不同之处在于美国标准容许使用参考值来确定泄漏率。标准修订本提出“在本文件的编写过程中，发现并非所有审管部门都接受使用这些参考值。使用 ANSI 标准 N14.5 中定义的泄漏率参考值将在下面描述以供参考。标准修订本的使用者应该在使用此方法之前，咨询相关审管部门。”。
- 2) 标准修订本将 98 版标准使用范围由“B 型货包”变更为“B (U) 型、B (M) 型或 C 型货包”。
- 3) 标准修订本增加了“E B.6 液体泄漏”、“E B.9 气溶胶泄漏”。
- 4) 标准修订本删除的泄漏率 $1\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{SLR}$ 的注释。

6. 附录 F

标准修订本附录 F 在 GB/T17230-1998 第三章的基础上，根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》(2017) 附 13 中对于正文格式的要求，将标准正文第三章“定义、符号和单位”修订为“术语和定义”，增加附录 F “符号和单位”。