

# 中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1421—2025

## 放射性物品运输容器冲击试验指南

Guidelines for the impact test of packaging for radioactive material

本电子版为正式标准文件，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2025-12-13发布

2026-01-01实施

生态环境部 发布

目 次

前言 ..... II

1 适用范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 试验目的 ..... 1

5 试验条件 ..... 2

6 试验装置 ..... 4

7 试验容器 ..... 5

8 验收准则 ..... 8

9 试验前和试验后检查 ..... 8

10 试验测量 ..... 9

11 试验记录 ..... 10

12 试验数据分析 ..... 11

13 试验大纲、程序和报告 ..... 11

## 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》和《放射性物品运输安全管理条例》，防治放射性污染，保护生态环境，保障人体健康，规范放射性物品运输容器设计验证活动中的冲击试验，制定本标准。

本标准规定了放射性物品运输容器冲击试验的试验条件、试验装置、试验容器、验收准则以及试验后的测量和记录等技术要求，是对《放射性物品安全运输规程》（GB 11806）标准有关要求的细化。

本标准首次发布。

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 2025年12月13日批准。

本标准自 2026年1月1日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 放射性物品运输容器冲击试验指南

## 1 适用范围

本标准提供了放射性物品运输容器（以下简称“容器”）冲击试验指南，规定了容器冲击试验的试验条件、试验装置、试验容器、验收准则以及试验后的测量和记录等技术要求。

本标准适用于容器设计验证环节相关的冲击试验。

## 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标准，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用标准，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的，新文件适用于本标准。

GB 11806 放射性物品安全运输规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**冲击试验 impact test**

《放射性物品安全运输规程》（GB11806）规定的正常运输条件的自由下落试验和贯穿试验，运输事故条件下的力学试验（自由下落试验I、自由下落试验II和自由下落试验III），以及 C 型货包的击穿-撕裂试验和撞击试验。

### 3.2

**冲击高度 impact height**

试验容器最低点至刚性靶面或试验容器冲击点距贯穿棒/击穿棒端面的距离。

### 3.3

**提升设备 lifting equipment**

用于控制试验容器提升或下降的设备。

### 3.4

**释放装置 release device**

在冲击试验中，将试验容器在一定的高度自由释放的设备。

## 4 试验目的

冲击试验的目的是验证容器承受正常运输条件和运输事故条件的能力，检验其包容、屏蔽、临界等方面的安全性能。

冲击试验可以用于评价容器初步设计，或者证明容器分析方法和分析模型的正确性，或者完全证明容器设计符合法规标准要求。根据试验目的，可以通过不同类型试验容器来开展冲击试验。

## 5 试验条件

### 5.1 基本考虑

#### 5.1.1 完整的冲击试验条件应包括环境条件、初始条件和冲击条件：

- a) 环境条件为冲击试验时的天气条件，环境温度在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$ 之间，横向风速不大于  $4\text{ m/s}$ ，且试验不应在降水、雷电等恶劣天气时进行。
- b) 初始条件为冲击试验前试验容器的物理和力学条件，包括温度、湿度（如果影响材料性能）、变形（如果使用已损坏的试验容器）和内压（必要时）。
- c) 冲击条件为冲击发生时的动力学条件，包括冲击高度、冲击姿态和冲击位置。

5.1.2 试验目的、容器结构设计和潜在失效模式决定冲击试验条件的选择。当仅通过试验进行遵章证明时，应综合考虑容器安全性能，分析出最严苛的试验条件。

### 5.2 严苛的试验条件

5.2.1 为确定严苛的试验条件，应首先识别容器的潜在失效模式，并将对失效模式最不利的初始条件和冲击条件作为试验条件。

5.2.2 根据容器的潜在失效模式确定的冲击条件，应考虑容器安全相关部件，容器安全相关部件包括缓解容器冲击，以及确保容器包容、屏蔽或临界安全能力的所有部件。

5.2.3 试验前应确定每个试验条件下的容器潜在失效模式，以便试验人员了解试验目的并重点对容器潜在失效模式相关部件的试验结果进行检查和分析。

5.2.4 容器材料性能对温度和其他环境条件较敏感时，应考虑环境条件对试验结果的影响。

5.2.5 可能产生重大冲击或严重后果的冲击条件包括但不限于：

- a) 直接冲击容器安全相关部件（例如：隔热材料、包容边界螺栓、阀门和包容边界贯穿件等）；
- b) 直接冲击几何和材料的不连续处或其他结构的薄弱处（例如：焊缝、组件接头或厚度变化部位等）；
- c) 冲击容器较大的薄弱表面（例如：容器端部向下冲击）；
- d) 冲击容器硬表面区域（例如：冲击容器提升吊耳）；
- e) 冲击未受减震器保护或保护不足的容器表面；
- f) 在较小冲击区域内以整体容器重量进行冲击（例如：过容器重心角冲击）；
- g) 安全相关部件在薄弱方向或者位置的冲击（例如：两端安装减震器的长圆柱形容器的侧面冲击）；
- h) 产生局部严重损坏的冲击（例如：在材料或几何不连续处的击穿棒的冲击）；
- i) 对于细长型容器，应考虑二次冲击的影响（例如：容器小角度冲击）。

### 5.3 试验项目

容器试验项目按照 GB 11806 的要求执行。

#### 5.3.1 正常运输条件自由下落试验

试验容器自由下落在靶上，以使试验部件的安全特性受到最严重的损坏。

- a) 从试验容器最低点至靶的上表面的所测高度不得小于表 1 中对应的适用质量所规定的距离；对于盛装液体或气体的 A 型容器，从试验容器最低点至靶的上表面的所测高度应为  $9\text{ m}$ 。该靶应满足 6.1 规定的要求。
- b) 对质量不超过  $50\text{ kg}$  的纤维板或木板做的矩形容器，应对一个试验容器的每个角进行高度为  $0.3\text{ m}$

的自由下落试验。

- c) 对质量不超过 100 kg 的纤维板做的圆柱形容器，应对一个试验容器每个边缘的每四分之一取向，分别进行高度为 0.3 m 的自由下落试验。

表 1 正常运输条件下试验容器的自由下落距离

容器质量 (kg)	自由下落距离 (m)
容器质量 < 5 000	1.2
5 000 ≤ 容器质量 < 10 000	0.9
10 000 ≤ 容器质量 < 15 000	0.6
容器质量 ≥ 15 000	0.3

5.3.2 正常运输条件贯穿试验

应把试验容器置于在试验中不会显著移动的刚性平坦的水平面上。

- a) 应使满足 6.2 规定的贯穿棒自由下落并沿竖直方向正好落在试验容器最薄弱部分的中心部位。
- b) 所测棒的下端至试验容器的上表面预计冲击点的下落高度应是 1 m；对于盛装液体或气体的 A 型容器，下落高度应是 1.7 m。

5.3.3 运输事故条件自由下落试验 I

试验容器应自由下落在靶上，以使试验容器受到最严重的损坏，试验容器的最低点至靶的上表面的高度为 9 m。该靶应满足 6.1 规定的要求。

5.3.4 运输事故条件自由下落试验 II

试验容器应自由下落在牢固且直立在靶上的击穿棒上，以使试验容器受到最严重的损坏。从试验容器的预计冲击点至击穿棒端面的高度应是 1 m。该击穿棒应满足 6.3 规定的要求，该靶应满足 6.1 规定的要求。

5.3.5 运输事故条件自由下落试验 III

试验容器应经受动态压碎试验，即把试验容器置于靶上，让 500 kg 重的物体从 9 m 高处自由下落至试验容器上，使试验容器受到最严重的损坏。该重物应是一块 1 m×1 m 的实心低碳钢板，并应以水平状态下落。钢板的底面边缘和角呈圆弧状，圆角半径不大于 6 mm。下落高度应是从该板底面至试验容器最高点的距离。该靶应满足 6.1 规定的要求。

5.3.6 C 型货包击穿-撕裂试验

- a) 对质量小于 250 kg 的容器，应把试验容器置于靶上并经受从预计冲击点上方 3 m 高处自由下落的棒的撞击。该棒应满足 6.4.1 规定的要求，该靶应满足 6.1 规定的要求。
- b) 对于质量等于或大于 250 kg 的容器，棒的底部应置于靶上，试验容器的冲击点至棒上表面的高度应是 3 m，试验容器应自由下落在棒上。该棒应满足 6.4.2 规定的要求，该靶应满足 6.1 规定的要求。

5.3.7 C 型货包撞击试验

试验容器应经受能造成其最严重损坏的取向和不小于 90 m/s 的速度冲击靶件，该靶应满足 6.1 规定的要求，但靶面的取向不限，只要求与撞击方向垂直。

## 5.4 试验顺序和次数

容器的试验顺序和试验次数按照 GB 11806 的要求执行。理论上，每个严苛试验条件仅需要进行一次试验。鉴于在试验条件的选择和执行过程中存在不确定因素，试验方案应具有一定的灵活性，以便需要增加试验数据时，可以附加试验。

## 6 试验装置

### 6.1 刚性靶

6.1.1 刚性靶面应为平坦的水平平面靶。

6.1.2 刚性靶受到试验容器冲击后，其抗位移能力或抗变形能力的增加不会影响试验容器的受损程度。

6.1.3 对于自由下落试验、贯穿试验、击穿试验刚性靶（包括钢板和混凝土）的总质量至少应是试验容器质量的 10 倍，对于撞击试验，刚性靶的总质量至少应是试验容器质量的 100 倍。

6.1.4 刚性靶由钢筋混凝土和覆于其上的 Q235 低碳钢板（或与其性能相当的其它低碳钢板）组成，混凝土靶座必须放置在坚硬的地基或基岩上，低碳钢板厚度至少为 4 cm，混凝土靶座强度不低于 C30。钢板的背面应有凸出的钢制固定件，确保钢板与混凝土的紧固。

6.1.5 为避免刚性靶产生挠曲变形，刚性靶应有足够的厚度，建议刚性靶的形状近似于立方体，或者在保证刚性靶厚度的情况下，也可采用其它形状的刚性靶。

### 6.2 贯穿试验的贯穿棒

6.2.1 贯穿棒规格为直径 3.2 cm、一端呈半球形、质量不小于 6 kg。

6.2.2 该棒不得因进行试验而显著变形。

### 6.3 自由下落试验 II 的击穿棒

6.3.1 击穿棒由直径为  $(15.0 \pm 0.5)$  cm、长度为 20 cm 的圆形实心 Q235 低碳钢制成，棒的顶端应平坦且水平，其边缘倒圆角，圆角半径不大于 6 mm。当容器外表面与容器内部重要安全性部件的间距超过 20 cm，或容器冲击位置不能优先接触击穿棒时，应使用更长的击穿棒。

6.3.2 如进行比例模型试验，击穿棒必须按比例进行调整。

### 6.4 击穿-撕裂试验的击穿棒

6.4.1 对于质量小于 250 kg 的容器，击穿棒需要满足以下要求：

a) 击穿棒应是一根直径为 20 cm 的圆柱形棒，其冲击端为正圆锥体：高 30 cm 和顶端直径 2.5 cm，且边缘呈圆角，圆角半径不大于 6 mm。

b) 击穿棒的质量应为 250 kg。

6.4.2 对于质量大于 250 kg 的容器，击穿棒需要满足以下要求：

击穿棒应具有 6.4.1a) 和 6.4.1b) 规定的同样特性和尺寸，但试验用棒的长度和质量可以不同，只要能使试验容器受到最严重的损坏。

### 6.5 提升设备和释放装置

6.5.1 提升设备在容器的提升和下降过程中，不应损坏试验容器，不应改变预设的容器姿态和碰撞位置。

6.5.2 释放装置在试验容器冲击过程中，应使试验容器不触碰该装置的任何部件，保证其自由下落。

6.5.3 释放装置应具有安全措施，即在故障情况下，仍能防止释放装置的误释放。

## 7 试验容器

### 7.1 基本考虑

7.1.1 试验目的、潜在失效模式和容器的冲击特性决定试验容器的类型。

7.1.2 为了减小试验结果和产品容器安全性能间的不确定性,仅通过试验进行遵章证明的试验容器应是原型容器。

7.1.3 证明容器分析方法与分析模型正确性的试验容器应与分析模型保持一致,试验容器应包括需要试验证明的对失效模式和冲击特性影响明显的所有容器零部件。

7.1.4 如果理由充分,也可使用部分的、简化的和小比例的模型,但需要对省略或简化结构的合理性进行说明或补偿容器有关性能。

7.1.5 试验前应考虑模拟内容物的质量和结构形式,确保试验容器的质量和重心位置与实际货包一致。

### 7.2 原型容器

原型容器和产品容器的设计和制造相同,设计包括结构和材料,制造包括制造工艺、质量保证要求和装配要求,所以在相同的冲击条件下原型容器的试验结果可用于直接评价产品容器安全性能。

### 7.3 部分模型

部分模型可以用来证明产品容器的特定性能。例如可以单独试验减震器以证明其减震能力,同样,也可以仅通过试验螺栓密封盖以证明其包容能力。但是,在这些试验中必须要具备与完整容器试验同样的冲击条件或负载,因此可以在部分模型试验中附加质量以保证总质量和重心位置与产品容器一致。

### 7.4 简化模型

在试验中,如果可以证明容器的某些部件不会对容器安全性能造成重要影响,则这些部件可以简化或省略。

### 7.5 比例模型

#### 7.5.1 比例模型试验目的

- a) 获得验证分析方法或分析工具的关键数据,然后利用这一分析方法或分析工具证明产品容器的设计满足要求。
- b) 测量容器结构性能或验证容器结构的完整性。

#### 7.5.2 比例模型的合理性

当使用比例模型进行试验验证时,应对所采用的比例模型的有效性进行论证,包括:

- a) 比例系数的确定;
- b) 所采用的比例模型能够准确体现容器或部件细节;
- c) 未准确体现容器或部件细节的零部件清单;
- d) 所删除部件或零件的合理理由;
- e) 所用相似准则的论证。

当比例模型和原型容器在减震器、密封垫片、螺栓等零部件的几何形状方面存在明显差异时,应使用计算机程序来分析比较两者在冲击过程中的响应特征,以确定几何形状差异是否是重要的考虑因素。

如果这种差异的影响并不明显，则该比例模型可用于冲击试验。

### 7.5.3 相似性

为了具有相似的机械响应，原型容器和比例模型必须具有：

- a) 几何相似性 (geometric similarity)：几何相似性要求所有几何相关量使用单一的比例系数。
- b) 运动学相似性 (kinematic similarity)：运动学相似性要求原型容器和比例模型的运动在相应的位置和相应的时间相似。
- c) 动力学相似性 (dynamic similarity)：动力学相似性要求在原型容器和比例模型中相应的力 ( $F$ )、质量 ( $m$ ) 和加速度 ( $a$ ) 遵循牛顿定律。
- d) 重力相似性 (gravitational similarity)：原型容器和比例模型之间的力或载荷相似性要求所有力的方向不改变且力的大小使用单一的比例系数。
- e) 材料相似性 (material similarity)：对于均匀材料，质量特性可以由质量密度  $\rho$  完全确定。但材料力学特性更为复杂，是由应力、应变，甚至包括应变率等参数确定的本构关系。

### 7.5.4 重力和应变率

重力和应变率是比例中很难控制的两个参数。因此比例模型不管是否与原型容器使用相同的材料，必须对重力和应变率的影响进行评估。

### 7.5.5 比例定律

在不考虑重力和应变率影响的情况下，对于相同材料且比例系数为  $S_M$  的比例模型，比例模型容器和原型容器之间典型的参数比例定律如下所示。其中  $M$  代表比例模型， $P$  代表原型容器。

应力：

$$\sigma_M = \sigma_P$$

式中：

$\sigma_M$ ——比例模型应力；

$\sigma_P$ ——原型容器应力。

应变：

$$\varepsilon_M = \varepsilon_P$$

式中：

$\varepsilon_M$ ——比例模型应变；

$\varepsilon_P$ ——原型容器应变。

速度：

$$V_M = V_P$$

式中：

$V_M$ ——比例模型速度；

$V_P$ ——原型容器速度。

质量：

$$m_M = S_M^3 m_P$$

式中：

$m_M$ ——比例模型质量；

$m_P$ ——原型容器质量。

变形:

$$d_M = S_M d_P$$

式中:

$d_M$ ——比例模型变形;

$d_P$ ——原型容器变形。

作用力:

$$F_M = S_M^2 F_P$$

式中:

$F_M$ ——比例模型作用力;

$F_P$ ——原型容器作用力。

加速度:

$$A_M = A / S_M$$

式中:

$A_M$ ——比例模型加速度;

$A_P$ ——原型容器加速度。

时间:

$$t_M = S_M t_P$$

式中:

$t_M$ ——比例模型冲击持续时间;

$t_P$ ——原型容器冲击持续时间。

动量:

$$m_M V_M = S_M^3 m_P V_P$$

### 7.5.6 尺寸效应

比例模型与原型容器尺寸相差越大,比例模型的材料应变率与原型容器的材料应变率相差越大,所引入的误差越大。为控制尺寸效应,通常尺寸比(比例模型与原型容器尺寸之比)应不小于 1:4。此外,对蜂窝铝等材料的减震器进行缩比,除整体尺寸进行缩比外,该材料的微观结构尺寸也需要进行同等缩比,但微观结构比较复杂,并且可能会表现出使比例模型试验失效的尺寸效应,因此针对此种结构材料不建议采用比例模型。

### 7.5.7 比例模型的制造

制造工艺对材料性能具有显著影响,并且随制造部件的尺寸大小而不同。在某些情况下,原型容器和比例模型使用的制造工艺可能不同,因此,需要确认和评价制造工艺对比例模型材料性能的影响。

### 7.5.8 比例模型的制造验收准则

比例模型的制造验收准则应根据比例定律经恰当转换确定,如比例模型的几何公差和允许缺陷尺寸必须从原型容器中通过几何比例因子确定,用于质量检查的仪器灵敏度和精度也应当以确保原型容器和比例模型质量相同为目的而进行调整。

### 7.5.9 测量

比例模型的冲击响应测量仪器应具有合适的精度和灵敏度来满足比例模型的测量需要,如比例模型

比原型容器的冲击持续时间更短且具有更高的固有振动频率，因此，比例模型试验中的加速度计、数据采集设备的频率响应范围必须更高。

## 8 验收准则

### 8.1 基本考虑

8.1.1 容器进行冲击试验时，其包容、屏蔽、临界验收准则遵照 GB 11806 的规定执行，本章主要规定冲击试验中制定验收准则需要考虑的因素。

8.1.2 验收准则由两部分组成，分别为试验验收准则和标准。试验验收准则是容器安全性能限值（如：形变、损坏、泄漏等），用于评价试验结果和确定容器是否满足设计要求。标准是为控制试验各相关环节而规定的准则，包括试验容器的制造和检验、试验结果的测量、测量仪器的校准等相关标准。标准不直接决定试验容器是否满足设计要求，但会影响试验的质量、可靠性，并最终影响试验结果的可接受性。

8.1.3 冲击试验都应有标准以确保试验结果的质量，且试验验收准则和标准都应以特定的可测量参数和限值来规定，一般的陈述也可作为限值（如“法兰面无永久性变形”）。

### 8.2 试验验收准则

试验验收准则应是可测量的机械和物理参数，如安全相关部件的变形、包容边界的氦气泄漏率等。对容器包容、临界和屏蔽进行的准确分析，是制定试验验收准则的重要依据。

### 8.3 标准

应规定以下试验相关环节的执行标准和限值：

- a) 试验容器制造；
- b) 试验容器检查/检验；
- c) 测量仪器校准。

如果使用原型容器，试验容器应和产品容器使用相同的公差、规范和标准；如果使用比例模型，应根据比例定律制定一组等效的标准和限值，并且应当制定仪器和设备的校准程序，校准条件应与试验条件相匹配。

## 9 试验前和试验后检查

### 9.1 基本考虑

9.1.1 每个试验容器在每次冲击试验前后都应对可检查部位进行检查。

9.1.2 试验前检查是为确保试验容器质量并获取试验容器的状态。

9.1.3 试验后检查是为通过比较容器试验前后的状态，评价试验容器的损坏程度。

9.1.4 试验容器的质量保证要求对所有试验是至关重要的，质量保证要求随冲击试验目的不同而调整。仅通过试验进行遵章证明的容器应满足原型容器的所有质量保证要求以确保试验容器和产品容器具有相同的质量（或试验容器代表典型的产品容器）。通过试验和分析结合的方法进行遵章证明的试验容器和产品容器质量保证要求可以不同，但要保证试验容器质量合格。

9.1.5 完整的检查方案由外观检查、尺寸测量、无损检验和性能试验组成。在冲击试验后也可以用破坏性检验以获取关于试验容器的质量和损坏的详细信息。

## 9.2 外观检查

外观检查是一种有效且重要的检验方法，应由专业人员进行。试验前，检查人员应拒收具有重大制造缺陷或损坏的试验容器。试验后，检查人员应记录所有冲击损伤，如凹痕、划痕，确定损伤的可能原因，如有必要，检查人员还应明确使用无损检验或其它方法进行进一步检查的位置。检查工作应包含所有与安全相关的部件，以及易于出现制造缺陷和冲击损坏的区域。这些区域包括结构形状和材料的不连续区域，例如：部件边界、焊缝、凹槽、圆角和内外冲击区域。

## 9.3 尺寸测量

9.3.1 应在冲击试验前、后进行尺寸测量，记录容器结构的永久变形。可以将测量结果和验收准则中的变形限值比较，以证明容器满足安全性能要求。尺寸测量也可以获取容器的冲击响应值，根据所测的永久变形，可以估算冲击力和冲击吸收能量。

9.3.2 应在试验前确定并清楚标明尺寸测量的位置，以便测量和比较试验前后同一部位的尺寸变化，获取永久变形量。选择的测量尺寸主要包括安全相关部件的总体尺寸，以及预计有大变形的外部 and 内部冲击区域附近的局部尺寸。

## 9.4 破坏性检验

在冲击试验后进行的破坏性检验可以用来评价试验容器的损伤程度和损伤原因。截面损伤可以显示内部损伤程度和变形区域轮廓，外观检查可以确定损伤的状况和可能的原因，并使用容器试验前后的大量对比照片来给出试验结果。

## 9.5 无损检验

通常的无损检验方法包括渗透检验、磁粉检验、涡流检验、射线检验和超声波检验。仅通过试验进行遵章证明的试验容器应与产品容器的无损检验方法一致，以确保试验容器具有和产品容器同样的质量，因此，用于容器设计和制造的规范和标准决定了无损检验的要求。如果需要试验后检验，则在冲击试验前后应使用同样的无损检验方法。通过外观检查和材料性能可以确定冲击能够在容器包容边界材料中产生隐藏的缺陷或裂纹，则应强制执行试验后的无损检验。

## 9.6 性能试验

应按照容器安全功能要求和设计要求制定性能试验，如果试验结果满足各项要求，则证明冲击对容器安全功能的影响可忽略。

# 10 试验测量

## 10.1 基本考虑

冲击试验期间所做的测量按照其目的可以分组如下：

- a) 容器初始条件的测量（温度、内部压力等）；
- b) 容器冲击条件的测量（冲击角度、冲击高度和冲击位置）；
- c) 容器冲击严重程度的测量（刚性体加速度或容器冲击力）；
- d) 容器冲击响应的测量（加速度、应变或容器指定位置的变形）。

前三组测量是针对每个试验所必需的。刚性体加速度可以通过滤波获取，进而可以通过准静态分析方法获取平均最大冲击力。第四组的测量目的是获得对容器冲击响应的详细、精确和定量的描述。

## 10.2 光学测量

10.2.1 高速或超高速相机用来拍摄冲击试验容器。相机获取的如下信息可用于验证试验条件，验证容器设计，并与其他测量结果进行对比：

- a) 容器冲击速度、姿态、位置、区域和持续时间；
- b) 容器的回弹速度和轨迹；
- c) 容器的刚体冲击加速度或 G 负载。

10.2.2 对于光学测量，应满足如下条件：

- a) 在水平方向两个不同的角度进行拍照，其中一个方向垂直于容器轴线；
- b) 在每张照片上有长度标度；
- c) 在容器外表面清楚地标记重心位置和网格线；
- d) 足够的照明或帧速以满足频率要求；
- e) 最小化或适当控制由于斜角观察容器引起的视差。

## 10.3 仪器测量

冲击试验时，对容器关键位置的加速度、应变或相对位移的连续测量有助于对容器特性的了解，仪器测量需要满足以下要求：

- a) 试验所选择的仪器应确保有足够的稳定性、一致性、分辨率、灵敏度、线性度和频率响应特性。频率范围应覆盖主要冲击响应频率范围，能涵盖从准静态（刚体）响应的近似于 0 Hz 到波响应的 10 000 Hz。仪器应配备电气或机械阻抗，尽量减少或屏蔽不良信号，以保持高信噪比。
- b) 传感器（加速度计、应变片等）的位置和数量应为所要求的测量提供适当的范围和冗余。应考虑用于噪声消除或控制的附加传感器的使用。
- c) 数字化数据的采样频率应大于容器最高响应频率的两倍。数字化数据必须滤波以消除采样过程固有的混叠频率。
- d) 从振动和波响应中分离出准静态响应的低通滤波器必须有合适的截止特征，且截止频率要远低于容器的最低振动频率，高于准静态响应的主导频率。因此可以在对准静态响应影响最小的情况下滤除振动和波响应。

## 11 试验记录

试验记录应尽可能完整准确地反映实际情况。任何与试验容器、试验方案和试验程序的偏差都应记录下来，并给出更改的原因或理由。同时应当评价偏差对试验操作和结果的影响并修订试验程序。

一组完整的冲击试验记录应包括试验容器设计、试验前检查报告、试验前测量、试验条件、试验设备仪器状态、试验程序、试验测量、试验后检查报告和试验后测量，具体如下：

- a) 试验容器记录应包含工程图纸和用于试验容器的制造、组装和质量控制的技术规范。
- b) 检查报告应包括验收试验以及破坏性和无损检验的结果。报告应描述用于试验和检验的方法和条件以及用于结果评价的验收准则。应当保存检验的影像记录为结论提供证据。
- c) 试验条件的记录应包括所有可能影响试验结果的条件。这些条件通常由环境条件、初始条件和冲击条件组成。试验容器初始条件包括容器的初始温度、压力和损坏。记录容器的初始损坏是必要的，因为一个试验容器通常要做几次冲击试验，或者是为了将使用的试验容器的数目减至最少，或者是为了满足冲击试验次序的管理要求。试验容器的照片和录像应包含时间信息。
- d) 试验前和试验后测量记录应包括确定测量的具体尺寸的图示，每一个尺寸在试验前和试验后都应测量。

- e) 使用仪器测量的记录应包括确定传感器位置和方位的图示。记录应包括传感器和仪器的校准结果。传感器的输出记录应包含用于使记录信号同步的时间标记。

## 12 试验数据分析

### 12.1 试验数据分析的目的

- a) 确定数据的可靠性;
- b) 从试验容器提取需要的冲击信息;
- c) 根据提取的信息评价容器的安全性能。

### 12.2 数据可靠性

在数据分析中, 分析人员应使用以下方法发现潜在的数据可靠性问题:

- a) 检查个别数据以识别不合理或意外的行为;
- b) 比较相似数据以发现不一样的行为;
- c) 比较相关数据以发现不相关或不可解释的行为;
- d) 重复同样的测量以确定可能的误差或数据分散的大小。

所有异常数据都表明数据可能有问题。如果不确定确切原因及其对数据的影响, 则应将异常数据作为不可靠数据去除。数据分散较大表明测量程序不精确或响应不稳定, 则需要做大量的试验或测量。

### 12.3 容器测量信号的分析

仪器测量输出的是电信号, 其中包含来自仪器、试验容器的噪声和不必要的响应, 数据分析过程中, 需要消除噪声和不必要的响应, 为此可以在时域和频域中了解信号的内容和特征。一方面, 响应像波一样具有尖峰和较宽的频率范围, 在信号的时间历程中容易被识别; 另一方面, 不同频率的交流电源的振动和电子噪声, 可以在信号的傅立叶频谱中识别。

在了解信号的内容和特征后, 可以选择特定的方法消除不需要的信号。滤波可以消除冲击试验数据中的电噪声和混叠频率, 并分离容器冲击响应。

为了解仪器的测量和容器冲击特性, 所有输出的时间关系曲线图要一起显示并进行检查。通过相互关联的不同时间和位置的响应, 可以鉴别响应的性质。

## 13 试验大纲、程序和报告

### 13.1 试验大纲

设计单位应在试验前编制试验大纲, 试验大纲的主要内容包括但不限于:

- a) 总则: 简要介绍试验大纲的使用范围和试验目的;
- b) 试验依据: 列出试验依据的法规、标准和技术文件;
- c) 试验容器概述: 介绍试验容器的结构、主要技术参数和模拟内容物(或配重)情况;
- d) 试验项目: 介绍容器的试验项目和总体方法;
- e) 测试要求: 明确试验的场地和设备要求;
- f) 试验要求: 明确各项试验的具体试验要求(如试验顺序、冲击姿态等)和测点布置情况;
- g) 验收准则: 明确试验容器的具体验收准则。

### 13.2 试验程序

试验单位试验前应依据试验大纲编制试验程序，试验程序的主要内容包括但不限于：

- a) 总则：简要介绍试验程序的使用范围和试验目的；
- b) 试验依据：列出试验依据的法规、标准和技术文件；
- c) 试验容器状态：详细介绍试验容器和模拟内容物（或配重）情况，因试验需要对试验容器的调整等；
- d) 试验项目及顺序：明确具体试验项目和试验顺序；
- e) 试验条件：明确试验的环境条件、初始条件和冲击条件等，简要介绍试验条件的选取原则；
- f) 测试项目及要求：明确试验需要测试的具体数据，以及测试要求；
- g) 试验场地和设备：明确试验场地和设备要求，以及试验设备和仪器的配置和校准情况；
- h) 试验程序：详细介绍试验的工作流程和步骤，包括传感器的布置，各项试验的具体操作过程，试验前后的测量和检查，仪器的测量记录，试验后的性能试验，试验记录的保存，试验数据的处理和分析；
- i) 试验中断处理：明确试验中断条件及中断处理方法；
- j) 验收准则：根据试验类型和试验目的，给出详细的试验结果的验收准则。

### 13.3 试验报告

试验单位应在试验后编制试验报告，试验报告的内容包括但不限于：

- a) 试验目的和试验依据；
  - b) 内容物的名称、规格、型号、数量、质量等；
  - c) 试验容器的数量；
  - d) 试验容器的名称、结构、尺寸、质量和状态；
  - e) 试验容器的试验项目、试验顺序和试验次数；
  - f) 详细说明试验容器的下落姿态（或冲击位置）和下落高度；
  - g) 试验场地和所用设备；
  - h) 试验结果的记录，以及在试验中观察到的任何有助于正确解释试验结果的现象；
  - i) 根据试验程序中的验收准则，给出试验结论；
  - j) 试验日期、试验人员签字、试验单位盖章。
-