

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1610

QJ 20078—2012

卫星推进剂贮箱通用规范

General specification for propellant tank of satellites

2013—01—04 发布

2013—05—01 实施

国家国防科技工业局 发布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 要求.....	2
3.1 功能.....	2
3.2 组成.....	2
3.3 重量.....	2
3.4 容积.....	2
3.5 性能.....	2
3.6 外观质量.....	2
3.7 标志和代号.....	2
3.8 接口及外形尺寸.....	3
3.9 加压变形与残余变形.....	3
3.10 材料.....	3
3.11 结构设计.....	5
3.12 复合材料缠绕贮箱的特殊要求.....	8
3.13 PMD 设计要求.....	9
3.14 可靠性.....	10
3.15 安全性.....	11
3.16 工艺与制造.....	12
3.17 环境适应性.....	13
3.18 操作与维护.....	13
3.19 再生要求.....	14
3.20 延寿要求.....	14
4 质量保证规定.....	14
4.1 检验分类.....	14
4.2 检验条件.....	14
4.3 鉴定检验.....	15
4.4 交收检验.....	15
4.5 检验方法.....	16
5 交货准备.....	19
5.1 包装.....	19
5.2 包装箱.....	19
5.3 装箱文件.....	19
5.4 贮存和运输.....	19

QJ 20078—2012

5.5 履历.....	19
6 说明事项.....	19
6.1 预定用途.....	19
6.2 术语和定义.....	20
6.3 缩略语.....	23

前 言

本规范由中国航天科技集团公司提出。

本规范由中国航天标准化研究所归口。

本规范起草单位：中国航天科技集团公司第五研究院第五〇二研究所。

本规范主要起草人：魏延明、李 永、林星荣、张 澜。

卫星推进剂贮箱通用规范

1 范围

本规范规定了卫星推进剂贮箱的要求、质量保证规定和交货准备。

本规范适用于卫星推进剂贮箱的设计、生产、试验、验收和采购。其他空间压力容器和承压装置可参照执行。

本规范不适用于非金属内衬复合材料贮箱。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，然而，鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

- GJB 150.4 军用装备实验室环境试验方法 第4部分：低温试验
- GJB 150.15 军用装备实验室环境试验方法 第15部分：加速度试验
- GJB 150.16 军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验
- GJB 150.18 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验
- GJB 190 特性分类
- GJB 465.1 硫化橡胶耐无水肼试验方法 第一部分：浸泡试验
- GJB 465.2 硫化橡胶耐无水肼试验方法 第二部分：渗透试验
- GJB 465.3 硫化橡胶耐无水肼试验方法 第三部分：催化分解试验
- GJB 465.4 硫化橡胶耐无水肼试验方法 浸泡硫化橡胶后无水肼中非挥发性残渣量的测定
- GJB 1027A-2005 运载器、上面级和航天器试验要求
- GJB 1443 产品包装、装卸、运输、贮存的质量管理要求
- GJB 1718 电子束焊接
- GJB 2044 钛合金压力容器声发射检测方法
- GJB 2158 耐肼类橡胶贮囊规范
- GJB 2203 卫星产品洁净度及污染控制要求
- GJB 2998 卫星产品标志
- GJB/Z 1391-2006 故障模式、影响及危害性分析指南
- QJ 19 产品证明书的编写规定
- QJ 977 非金属材料复验规定
- QJ 1386 金属材料复验规定
- QJ 1666 钛及钛合金熔焊技术条件
- QJ 2630.1 卫星组件空间环境试验方法 第1部分：热真空试验
- QJ 2630.2 卫星组件空间环境试验方法 热平衡试验
- QJ 2999 产品质量履历书的编写规定
- QJ 3089 氦质谱正压检漏方法

- QJ 3123 氦质谱真空检漏方法
- QJ 3253-2005 气泡检漏试验方法
- QJ 10014.5 空间材料安全性与相容性 第5部分：系统/部件材料与航天推进剂反应性测定方法
- QJ 10014.6 空间材料安全性与相容性 第6部分：工艺材料与航天流体反应性测定方法
- QJ 10014.7 空间材料安全性与相容性 第7部分：材料对航天流体渗透速率与渗透阻力测定方法
- JB/T 4730.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- JB/T 4730.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- JB/T 4730.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- JB/T 4730.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- JB/T 4730.6 承压设备无损检测 第6部分：涡流检测

3 要求

3.1 功能

卫星推进剂贮箱（以下简称贮箱）的功能是贮存和管理流体推进剂，并在各种工作环境和流量要求下保证排出的是单相推进剂。常用的液体推进剂有无水肼、甲基肼、绿色四氧化二氮等，常用的气体推进剂主要有氦气和氮气。

3.2 组成

贮箱一般由壳体、PMD、防晃装置、气口、液口、安装法兰、支撑裙、支耳或吊耳等组成。壳体部分可以是全金属的，也可以是金属内衬复合材料完全缠绕或部分缠绕的；PMD 可以是基于毛细网金属导流板原理的，也可是隔膜、贮囊或金属膜盒等气液物理隔离结构，或是离心防旋装置等。

3.3 重量

贮箱的重量应符合专用技术文件的规定。

3.4 容积

贮箱的容积一般为（1~2000）L。

3.5 性能

一般情况下，贮箱的流量为（0~1000）mL/s，使用液体推进剂的贮箱工作压力为（0~2）MPa，使用气体推进剂的贮箱工作压力为（20~50）MPa，主要性能如下：

- a) 最小验证压力系数：1.25；
- b) 最小爆破压力系数：1.5；
- c) 漏率：外漏率不大于 $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$ （工作温度、工作压力下、氦气）；内漏率不大于 $1 \times 10^{-1} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$ （常温0.1MPa氮气，保压3min无气泡，橡胶隔膜或皮囊）；
- d) 挤出效率：不小于98%。

3.6 外观质量

外观质量应满足：

- a) 金属贮箱壳体外表面应保持清洁，不应有各种印迹、可触摸到的划痕和污渍；
- b) 复合材料缠绕贮箱外表面应光滑平整，无纤维夹渣、凹坑、麻痕坑、气泡、纵向沟槽及多余胶粒等，没有明显的贫胶区和富胶区。

3.7 标志和代号

贮箱的标志和代号应符合 GJB 2998 要求，一般应有：

- a) 气口、液口区分标记；
- b) 产品代号；
- c) 产品批次；
- d) 产品编号；
- e) 产品生产年月；
- f) 对于有安装方位要求的贮箱，还应标出象限和定位标志。

3.8 接口及外形尺寸

按照专用技术文件的规定进行气口和液口的接口形式、外形尺寸和安装结构设计，最终产品的接口和外形尺寸应符合分系统或总体确认的接口数据单要求。

3.9 加压变形与残余变形

应对贮箱加压后的容积和尺寸变形进行分析和试验测定，给出额定工作压力、MEOP 和设计爆破压力下的数据。在支撑结构和试验夹具的设计中应考虑加压变形的影响，给变形留出空间和自由度，设备和工装不应给贮箱带来额外应力。正常情况下，贮箱增压应处于弹性变形范围内，贮箱增压后增大的容积应计入贮箱有效容积中，在贮箱推进剂加注时应计算这部分容积。对泄压后贮箱的残余变形进行分析，将残余变形控制在设计规范规定范围内。

3.10 材料

3.10.1 金属材料

3.10.1.1 金属材料选择

应选择经过环境相容性、强度、断裂特性、疲劳特性、裂纹扩展特性和应力腐蚀特性验证的材料，并与任务的总要求保持一致。单一载荷失效模式会引起结构完整性损失的贮箱应选用达到超声波检测质量等级 AA 级的材料。一个单元失效其承受的载荷会安全分配到备份单元的贮箱可选用达到超声波检测质量等级 A1 级的材料。

在考虑结构效率和断裂抵抗能力的前提下，断裂韧度越高越好。采用线弹性断裂力学分析时，考虑加工和连接工艺、清洁剂和涂层、验证试验液体、温度、加载谱及环境条件给材料带来的影响，重点关注下列特性：

- a) 缺陷类型和尺寸；
- b) 断裂韧度；
- c) 连续加载下应力强度因子最大值；
- d) 循环加载下亚临界裂纹扩展特性。

3.10.1.2 金属材料的评估

应对设计选定的金属材料进行评估，从材料加工方法、制造方法、制造过程等方面进行评价，确保材料的机械性能和断裂特性能够在最终产品中实现，并与工作环境和接触液体相容。如果数据不充分，对易受应力腐蚀和氢脆的材料应进行断裂载荷试验。

3.10.1.3 金属材料特性证明

对第一次选用的材料应确定其许用机械强度和断裂特性，应进行充分的试验验证，确保能够可靠和高置信地预测其在预期工作环境下的性能。

在考虑接触液体类型、加载谱、预期工作环境及验证试验环境等因素下，应对母材、焊接接头、热影响区的强度和断裂特性进行证明，包括：

- a) 抗拉强度、屈服强度和断后伸长率；
- b) 平面应力断裂韧度、有效断裂韧度和应力腐蚀开裂最大韧度；
- c) 疲劳裂纹扩展速率和应力强度因子范围的关系；
- d) 疲劳试验数据。

3.10.2 复合材料

3.10.2.1 复合材料选择

应选用环境相容性、空间抗辐照特性、与金属内衬相容性、材料强度/模量、应力断裂寿命数据都经过验证的复合材料系统。如果选用导电的增强纤维，应采取措施避免与金属内衬产生电化学腐蚀，并考虑制造工艺、喷涂、接触液体、温度、加载谱和其他环境条件对材料强度和刚度的影响。

3.10.2.2 复合材料系统特性证明

对第一次选用材料的弹性和强度特性应进行充分的试验验证，确保能够可靠和高置信地预测其在预期工作环境下的性能。对每一复合材料系统都应声明其许用特性，有效的支撑数据包括上一次鉴定爆破试验的结果和设计开发阶段的爆破试验结果，如果要检查质量控制过程，则还应包括复丝测试中的纤维强度、纤维生产厂家的文件和出厂测试结果。

3.10.2.3 复合材料强度许用值

强度许用值来自于缩比或全尺寸复合材料缠绕贮箱的爆破试验。只有充分证明在试片上纤维的强度与贮箱上的等效时才可采用试片试验数据，若所有贮箱用的纤维不是同一批次，则应抽样至少两个批次的纤维才可获得强度许用值。

3.10.2.4 复合材料控制

复合材料系统主要控制原材料，至少应包含下列内容：

- a) 材料订购符合认可的程序；
- b) 树脂成分、化学特性/纯度、增强纤维材料特性满足材料规范和订购文件要求；
- c) 贮存环境受控；
- d) 保质期控制。

3.10.3 非金属材料

3.10.3.1 非金属材料选择

贮箱所用的非金属材料主要是橡胶和塑料。主要从与推进剂长期相容性和翻转、伸缩疲劳特性等方面选择所用的材料。

3.10.3.2 非金属材料系统特性证明

对于选用的新材料，按照 GJB 2158，从长期贮存和推进剂浸泡后硬度、厚度均匀性、拉伸强度、扯断伸长率、重量变化、渗透速率、分解速率、非挥发性残渣增量等方面，对材料进行试验验证。

3.10.4 材料复验

3.10.4.1 飞行贮箱使用的每一种、每一批次的材料都应按规定进行复验，合格后方可投产，金属材料复验按 QJ 1386 的规定，非金属材料复验按 QJ 977 的规定。对于 QJ 1386 和 QJ 977 中未列入的材料，除按 3.10.1.3、3.10.2.2 和 3.10.3.2 进行充分证明外，还应制定专门的复验规定。

3.10.4.2 对每一批金属材料应百分之百进行超声波检测复验，材料品质应达到超声波检测质量等级 A1 级以上，贮箱壳体材料一般应达到超声波检测质量等级 AA 级。

3.10.5 长期相容性

所有材料应与试验介质和推进剂长期相容，相容性至少应达到实际使用寿命的 2 倍以上。

3.11 结构设计

3.11.1 设计流程

贮箱设计流程见图 1。在初步结构设计的基础上进行全面的应力分析，设计安全系数最低应为 1.5。根据 LBB 验证的结果，对于无 LBB 的贮箱，进行无预制裂纹、4 倍工作循环的疲劳寿命验证；对于有 LBB 的贮箱，进行有预制裂纹、4 倍工作循环的安全寿命验证。针对不同的 PMD 进行设计验证，完成贮箱的制造，然后进行鉴定件的鉴定试验，全部通过后设计完成。

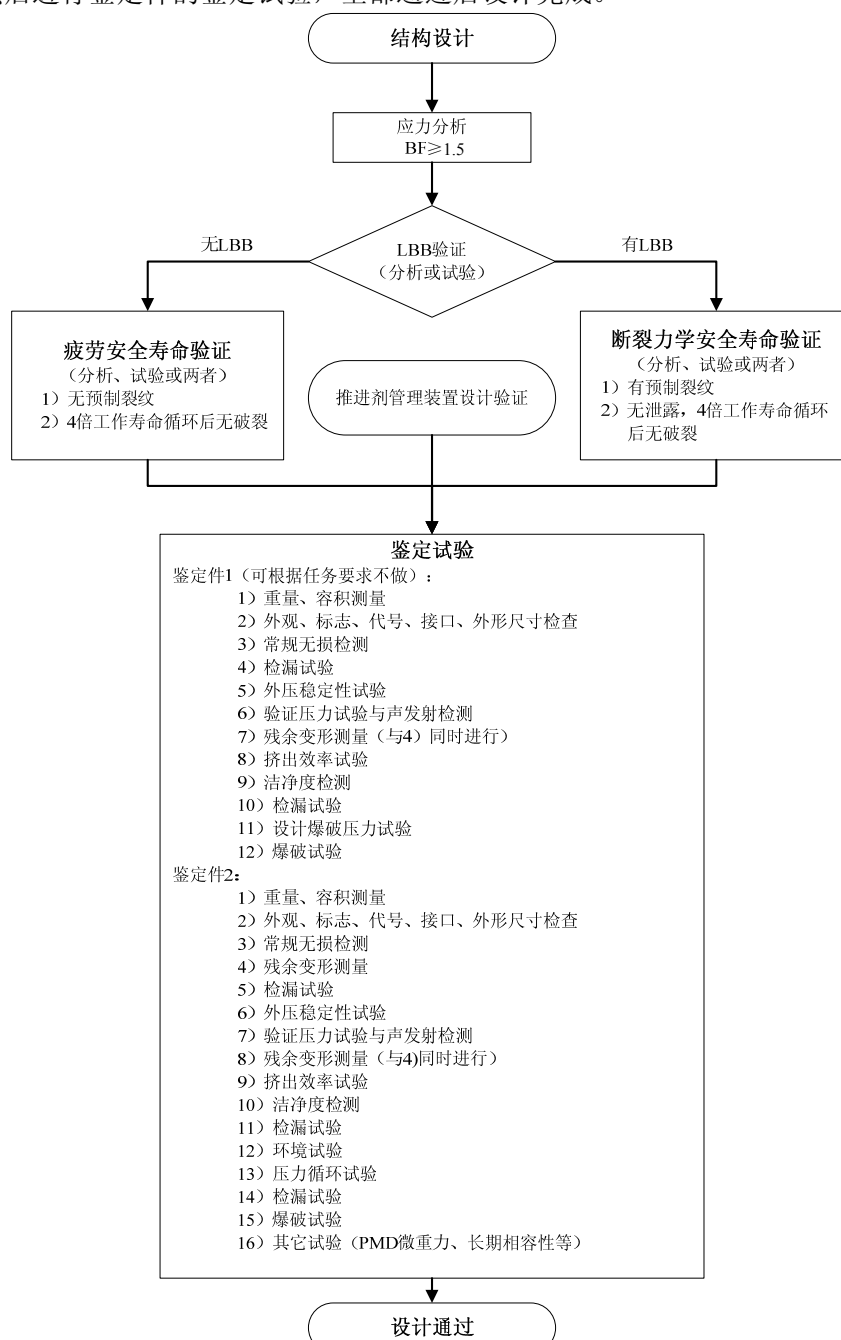


图1 贮箱结构设计流程

3.11.2 载荷、压力与环境

针对具体的飞行任务，需要确定任务期间所有的载荷、压力、温度历程和环境条件。至少应包含：

- a) 由环境引入的载荷和压力；
- b) 载荷、压力和环境作用的频繁程度，包括量级、循环次数、持续时间和顺序。

上述数据用于确定设计载荷（环境）的范围，并作为设计分析和测试的输入，可随结构设计的进展不断修正。最大设计压力和 MEOP 是两个基准压力指标，可相互代替，本规范采用 MEOP。

3.11.3 强度

强度要求如下：

- a) 在预期工作寿命中和规定环境下，贮箱应具备足够的强度同时承受极限载荷和内压而不产生有害的变形。在最大负载和内压下不发生破裂和断裂；在工作压力下，贮箱能够承受最大外部负载和外压而不发生失稳和破裂。
- b) 每一只贮箱都应进行一次验证压力试验循环（从零压差到预定验证压力再到零压差），以检验材料、制造过程和工艺是否满足设计要求，是否适合装星飞行。最小验证压力系数为1.25，持续时间5min，试验结束后进行检漏试验。当BF小于2时，验证压力为 $(1+BF)/2$ 倍MEOP，当BF不小于2时，验证压力为1.5倍MEOP。
- c) 在验证压力试验中，贮箱应能承受验证压力而不产生有害的变形；在鉴定试验中，贮箱应能承受设计爆破压力而不发生断裂和破裂。如果进行验证压力试验和爆破压力试验时，贮箱的温度与设计温度不一致，应考虑在该温度下材料特性的变化，并重新确定载荷和压力。
- d) 以所有临界温度下强度的设计最大值和极限值为基准，通过分析和试验确定安全裕度，安全裕度应为正。

3.11.4 刚度

在预期工作寿命中和规定环境下，在最大载荷和压力下，贮箱应具备足够的刚度以避免产生有害的变形。贮箱的刚度特性应能够预防有害的载荷作用和与结构挠性相关的动力学响应，并避免与卫星其他分系统产生有害的相互作用。

3.11.5 外压稳定性

在预期工作寿命中和规定环境下，贮箱应具备足够的稳定性以避免失稳。对于有负压工作模式的贮箱，设计时应将失稳压力作为设计约束之一；没有负压模式的贮箱应以存放时可能产生的最大负压作为设计约束。使用时，结构稳定性要求的最小内压或最大外压差应明确并包含在验收数据包内和使用说明书中。最小外压稳定性安全系数为 1.25。

3.11.6 漏率

3.11.6.1 贮箱

贮箱应满足总漏率要求，确保在规定的寿命期间稳定工作。在 MEOP 和工作温度下，贮箱总漏率一般应不大于 $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

3.11.6.2 非金属隔膜（贮囊）

在常温下，充压 0.1MPa 氮气，非金属隔膜（贮囊）各部位应在 3min 内无气泡排出，或换算出的漏率应不大于 $1 \times 10^{-1} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

3.11.6.3 金属隔膜（膜盒）

在常温、达到最大工作压差时，金属隔膜和金属膜盒总漏率应不大于 $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

3.11.7 热要求

3.11.7.1 贮箱的设计应考虑如下热影响：

- a) 加热速率；
- b) 温度；
- c) 热梯度；
- d) 热应力和热变形；
- e) 结构材料的物理和机械性能变化。

3.11.7.2 热影响分析应该基于极限温度，能够模拟实际工作环境再加上合适的设计裕量。

3.11.8 应力分析

3.11.8.1 金属贮箱

每一种新设计的贮箱都应进行详细的、全面的无预裂纹应力分析，确定由压力、地面载荷或飞行载荷、温度及温度梯度共同作用产生的应力。计算薄膜应力和弯曲应力时应考虑如下影响：

- a) 几何不连续性；
- b) 设计构型；
- c) 结构支撑连接方式；
- d) 材料和几何非线性效应。

应给出载荷和压力综合的安全系数，外载荷的安全系数取决于增压系统的主结构支撑。如果贮箱的形状和加载条件比较简单，可以采用传统的公式求解方法；对于复杂的结构和加载条件，可以采用有限元或其他等效的结构分析方法计算应力、应变和位移。分析方法需经过可靠性试验验证。在计算应力时应用图样上标出的最小壁厚。评估最坏情况时，应考虑公差（包含尺寸公差和厚度公差）。

许用材料强度应反应温度、热循环和温度梯度、工艺变化、与设计环境相关的时间等的影响。计算与母材、焊接及热影响区相关的最小安全裕度，确定其位置和应力水平。强度和刚度安全裕度应为正。

3.11.8.2 复合材料缠绕贮箱

对于新设计的复合材料缠绕贮箱，应进行详细和全面的应力分析，先假定制造过程中内衬、复合层无缺陷没有力学损伤。针对每一种载荷和压力考虑合适的设计安全系数，再综合起来并与材料的许用值比较。有限元方法和其他经过验证的复合材料结构分析技术可用于分析缠绕结构，应考虑纤维的铺设方向、堆叠顺序和几何不连续性，设计文件中规定的材料厚度变化量和梯度应该用于缠绕结构的应力和应变计算。分析方法需经过可靠性试验验证。所有载荷条件下安全裕度都应为正。

3.11.8.3 应力分析报告

应力分析报告中应包括输入参数、假设、关系式、计算方法、计算数据、参考文献和分析总结的应力分析记录，输入参数的任何改变，分析工作都应重新进行，并对结果修正以维持该项目的最新寿命数据。

3.11.9 压力循环和爆破

对于新设计的贮箱，应通过压力循环试验验证疲劳特性和安全寿命，通过爆破试验验证设计安全系数和极限压力。金属贮箱按表1进行，复合材料缠绕贮箱按表2进行。

表1 金属贮箱压力循环试验和爆破试验要求

鉴定件	压力循环试验要求	爆破试验 ^a 要求
鉴定件1 ^b	—	BF × MEOP
鉴定件2	试验1: 压力: 1.5 × MEOP 循环次数: 2 × 预期工作循环, 最少25次	BF × MEOP
	试验2: 压力: 1.0 × MEOP 循环: 4 × 预期工作循环, 最少50次	
注: 试验1、试验2二选其一。		
^a 除特殊要求外, 如达到设计爆破压力后没有爆破, 将继续增压直至贮箱爆破。		
^b 可根据用户要求不做。		

表2 复合材料缠绕贮箱压力循环试验和爆破试验要求

鉴定件	压力循环试验要求	爆破试验 ^a 要求
鉴定件1 ^b	—	BF × MEOP
鉴定件2	试验1: 从零压差→验证压力→零压差为一次循环, 总循环次数为预计的验证压力循环数量的4倍, 并加上从零压差→MEOP→零压差为一次循环, 总循环次数为整个寿命期间压力循环次数的4倍, 最少50次	BF × MEOP
	试验2: 从零压差→验证压力→零压差为一次循环, 总循环次数为预计的验证压力循环数量的4倍, 并加上从零压差→预计压力循环序列最大压力→零压差为一次循环, 总循环次数为整个寿命期间压力循环次数的4倍 ^{c,d} , 最少50次	
“零压差”可以是试验压力的5%。		
注: 试验1、试验2二选其一。		
^a 除特殊要求或基于安全因素考虑之外, 如果达到设计爆破压力后仍然完好, 将继续增压直至贮箱爆破。		
^b 可以根据用户要求不做。		
^c 除正式的验证压力试验外, 还有其他的验证压力测试, 如分系统级的压力验证试验, 则循环次数应包括在内。		
^d 只有加压压力使内衬产生拉伸应力时(应力超过自紧力), 该次压力循环才计算在内。		

3.12 复合材料缠绕贮箱的特殊要求

3.12.1 持久应力寿命

在长期载荷作用下, 复合材料缠绕贮箱应满足设计寿命要求, 为达到要求的可靠性, 不应存在持久应力失效模式。

3.12.2 损伤控制

3.12.2.1 损伤控制一般要求

所有复合材料缠绕贮箱都应置于损伤控制下, 应避免机械损伤对缠绕贮箱性能的影响, 至少应采取下列两种途径之一进行机械损伤减缓: 机械损伤保护或(和)标示、损伤容限试验验证。

3.12.2.2 损伤控制方案

对于新设计的复合材料缠绕贮箱应制定损伤控制计划。损伤控制计划包含危险分析, 记录各种机械损伤发生的条件(危险源、危险程度、贮箱增压状态), 描述寿命结束前的复合材料缠绕基体修复的所

有事件和检查点，在下列情况发生前进行目视检查：

- a) 每一次增压时，会出现导致贮箱破裂的危险条件；
- b) 以后无法再检查或机械损伤不再可信的关门时刻。

损伤控制计划应针对复合材料缠绕贮箱设计明确提出控制方法。

3.12.2.3 机械损伤防护

应提供力学损伤保护罩，其有效性应通过试验验证。当人员处于增压的贮箱（贮能大于 19310J 或贮存有害液体）附近，应有隔离贮箱的保护罩或支撑架，且在发射前最后一刻才能去掉。

3.12.2.4 损伤容限验证

机械损伤容限验证是另外一种满足损伤控制要求的方法，可用于替代保护罩。

冲击损伤容限应通过试验来验证。冲击损伤通过直径 12.7mm 的半球形锤头降落产生（也可用等效摆锤），最小冲击能大于最大威胁或目视损伤极限，应作用在贮箱最临界的时刻和位置，冲击后贮箱应加载至失效，检验贮箱极限压力是否达到或超过设计爆破压力。

其他机械损伤容限如擦伤和划伤也应进行分析和测试。擦伤和划伤尺寸应基于危险分析，可容许的机械损伤不应使爆破强度低于设计爆破压力。

3.12.3 腐蚀控制及预防

操作、测试和制造过程中与贮箱接触的液体和气体都应指明，应指出接触频率、接触时间和液体温度。液体应与内衬、复合材料或隔膜（贮囊）相容，不会产生通常的腐蚀、应力腐蚀和电化学腐蚀。贮箱设计中应隔离内衬和复合材料增强基体中的导电部件。

3.12.4 脆化控制

复合材料缠绕贮箱设计、制造和使用时，对所有已知的作用于金属内衬、纤维体和树脂的脆化机理如氢脆和液态金属脆化都应进行识别和控制。

3.13 PMD 设计要求

3.13.1 加速度、流量与环境

加速度、流量与环境是 PMD 设计最主要的输入，特别是对于表面张力贮箱，应明确加速度的大小、方向、作用时间、频率以及对应的流量要求。

3.13.2 表面张力 PMD 设计

以毛细网作为气液分离元件的网式表面张力贮箱，要求作用于毛细网的动静压降之和应小于该毛细网的维持能力（泡破点），且具有 2 倍的安全裕度。以曲率差产生压差驱动液体流动的板式 PMD，要求该位置动静压降之和应小于曲率驱动压差，且具有 2 倍的安全裕度。

3.13.3 隔膜（贮囊）PMD 设计

隔膜贮箱设计时要求隔膜翻转时不发生偏离，使一侧隔膜顶部在推进剂未排空前先到达出口并堵塞出口。隔膜翻转寿命应大于实际使用寿命的 4 倍以上，橡胶或塑料隔膜翻转循环寿命至少 50 次，金属隔膜至少三次。寿命末期维持额定供给流量需要的贮箱压降小于设计规范的要求。贮囊贮箱一般要求有中心支撑柱和液体分配孔，保证贮囊均匀收缩和膨胀，防止贮囊堵塞出口。橡胶或塑料贮囊收缩-膨胀寿命应大于实际使用寿命的 4 倍以上，至少达到 50 次以上。由于金属隔膜在飞行前无法进行隔膜的翻转试验，应通过批次抽检和严格的工艺规程保证质量，并需要一定的子样进行可靠性验证。

3.13.4 金属膜盒 PMD 设计

金属膜盒贮箱设计时要求膜盒伸缩时不发生偏离，防止被卡住。膜盒的死区应控制在设计要求的范

围内。膜盒伸缩寿命应大于实际使用寿命的 4 倍以上，至少 50 次且漏率满足要求。

3.13.5 离心式 PMD 设计

贮箱出口应设计防旋装置，防止推进剂排出时旋转造成中空夹气。

3.13.6 表面张力 PMD 微重力试验验证

表面张力贮箱主要工作在空间微重力环境，PMD 应进行专门的微重力试验验证。验证项目包括液面静平衡、液面稳定性、液体重定位、液体晃动和抑制能力、蓄液器蓄留能力、导流板驱动能力、挤出效率等，确保 PMD 在设计微重力环境下、以规定的流量稳定可靠地供给不夹气的推进剂。

3.13.7 PMD 挤出效率试验验证

挤出效率是贮箱最重要的性能指标，对于有+1g 和-1g 试验能力的贮箱，应在地面条件下进行挤出效率试验。试验可以用推进剂模拟介质，试验流量按相似原理换算。如果条件允许，对于完全新设计的贮箱应用真实推进剂进行至少一次试验。对于尺寸较大无法在+1g 和-1g 加速度条件下工作的 PMD，可以用缩比模型进行挤出效率试验；对于设计加速度环境在 $1 \times 10^{-2}g$ 以下的 PMD，只能用分析方法确定挤出效率性能，但分析方法本身应是经过试验或飞行验证的。挤出效率一般应不小于 98%。

3.14 可靠性

3.14.1 可靠度

分别对贮箱壳体结构和 PMD 开展可靠性设计和分析，得到贮箱整体的可靠度指标，一般贮箱的可靠度应不小于 0.999。

3.14.2 故障模式及影响分析

依据 GJB/Z 1391-2006，通过故障模式及影响分析，确定贮箱的失效模式，对每一种失效模式进行危害度分析，针对 I 类和 II 类失效模式和发生频率较高的 III 类失效模式重点分析其危害形式和作用机理，并提出应对和控制措施。

3.14.3 特性分析和关键项目分析

从任务、功能、指标、载荷、环境、寿命、失效模式、裕度、方案、设计、材料、制造、工艺、检验、试验、互换性、协调性、安全性、维修性等各个环节，按照 GJB 190 进行特性分析，识别贮箱的关键件和重要件，确定关键特性和重要特性，选定检验单元。

从任务、指标、裕度、方案、设计、材料、制造、工艺、检验、试验、安全性、维修性等各个环节，进行关键项目分析，识别贮箱的关键环节和重要环节，确定强制检验点，制定强制检验点检验大纲和细则。

3.14.4 LBB 验证

3.14.4.1 总则

全金属贮箱、弹性响应金属内衬复合材料贮箱应采用分析或试验的方法进行 LBB 验证，塑性响应金属内衬复合材料贮箱的 LBB 可只进行试验验证。如果同样的设计已经进行过验证，并有充分的数据证明，则可省略。

3.14.4.2 LBB 分析验证

可以用线弹性断裂力学原理进行，要求在 MEOP 下，裂纹形状 ($a/2c$) 在 0.1~0.5 时应满足下列条件：

- a) 该表面裂纹存在不会导致结构失效；
- b) 裂纹继续扩展并成为贯穿裂纹，在长度达到壁厚 10 倍时，结构仍然稳定。

3.14.4.3 LBB 试验验证

可采用有预制裂纹的试件或全尺寸贮箱进行 LBB 试验验证。试验需要复制材料厚度以及母材、焊接形式和热影响区的特性，全尺寸贮箱应能代表飞行贮箱状态，裂纹形状在 0.1~0.5 之间。采用试片时，应施加与 MEOP 对应的最大应力（应变）循环，直到表面裂纹扩展为贯穿裂纹，当裂纹长度达到壁厚 10 倍时结构仍然稳定即为 LBB 得到验证。

3.14.5 疲劳寿命

3.14.5.1 当采用常规的疲劳分析方法验证无裂纹金属贮箱疲劳寿命时，可以使用材料应力寿命(S-N)和应变寿命(Σ -N)的当量值，要求数据来源可靠并得到采购方的认可。分析时应考虑预期载荷、压力和环境，累积线性损伤定律(Miner's rule)是一种处理变幅疲劳循环载荷的可接受的方法。除非特别申明，至少要求 4 倍的疲劳寿命系数。采用 Miner 定律的极限累积疲劳损伤应该达到额定极限的 80%，见公式(1)：

$$\sum \frac{n_i}{N_i} \leq 0.8 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

n_i ——应力水平*i*下4倍的循环数；

N_i ——应力水平*i*下达到失效时的循环数。

3.14.5.2 通过无裂纹试件的疲劳试验验证金属贮箱的疲劳寿命是一种可接受的方法，无裂纹试片应能代表薄膜截面、焊接区、热影响区和进出口过渡区等临界区域。全尺寸试件要能够承受实际工作环境下的载荷与压力循环而不发生破裂，测试持续时间至少达到规定工作寿命或循环次数的 4 倍。

3.14.5.3 复合材料缠绕贮箱的疲劳寿命要求与金属贮箱相同。

3.14.5.4 疲劳分析报告或疲劳试验报告应与应力分析报告一致，应包括加载谱、环境、疲劳(S-N)或(Σ -N)数据和分析结果，疲劳试验报告应提供试片的构型、试验方案、加载谱、环境和测试结果。

3.15 安全性

3.15.1 设计安全系数

对于线性弹性金属材料贮箱，如无特别申明，其最小设计安全系数（爆破系数）是 1.5。

应用断裂力学技术确定具有脆性断裂和 LBB 的金属贮箱的设计安全系数和验证系数，需要考虑加载谱、材料强度、母材和焊接接头的断裂韧度及裂纹扩展速率、实验大纲要求、应力水平、结构材料与热和化学环境相容性等。使用每一合金系和贮箱形式的断裂韧度值和裂纹扩展速率值，并考虑 4 倍的额定工作寿命，来确定设计安全系数和验证压力，除非特别申明，最小爆破系数为 1.5。

3.15.2 安全寿命要求

3.15.2.1 金属贮箱的安全寿命应通过分析、试验或两者进行验证，对于无法进行周期性检查和维修的贮箱应至少具备 4 倍的额定使用寿命。当容纳危险性液体的贮箱发生泄露时，认定其安全寿命结束。对于可周期性检查和维修的金属贮箱，安全寿命至少为检查间隔的 4 倍。

3.15.2.2 复合材料缠绕贮箱的安全寿命主要通过试验进行验证，要求与金属贮箱相同。

3.15.3 安全寿命分析

当用断裂力学裂纹扩展方法确定金属贮箱安全寿命时，对于无法检测的裂纹应假设位于临界区域和对载荷和材料最不利的区域。假设的裂纹形状应基于无损检测技术能力或验收级验证压力试验。（对于表面裂纹考虑裂纹形状为 0.1~0.5，对于角裂纹考虑裂纹形状为 0.2~1.0。）

安全寿命分析中，应采用与合金种类、韧度、供货形式及热化学环境相关的额定断裂韧度和疲劳

裂纹扩展速率值。如果通过验证压力试验确定初始裂纹形状和临界裂纹形状，应用断裂韧度上限值。要求承受实际载荷时最大应力强度因子小于应力腐蚀裂纹门槛值，分析中应包含有害的拉伸残余应力。

应采用经过验证的裂纹扩展理论进行安全寿命分析，考虑表面裂纹或角裂纹形状的变化，在没有得到采购方同意的情况下，不应考虑由加载幅度变化引起的裂纹扩展速率延迟效应。

3.15.4 安全寿命试验

安全寿命试验是金属贮箱和弹性响应金属内衬复合材料缠绕贮箱安全寿命验证的方式之一，对于塑性响应金属内衬贮箱试验则是唯一的验证手段。根据情况可用带预制裂纹的试片或全尺寸贮箱，裂纹不应小于经无损检测或验收级压力验证试验确定的尺寸，当试件成功通过预期工作环境下极限载荷和压力循环加载而没有泄露时，安全寿命试验通过。

3.15.5 安全寿命报告

通过分析方法验证安全寿命后，应形成安全寿命分析报告，并与应力分析报告协调一致，报告中应包括加载谱、环境条件、假设的初始裂纹形状、裂纹扩展模型、裂纹扩展速率和断裂数据，给出简要的明确结论。

用试验方法验证安全寿命后，应给出试验报告，报告中应至少包括试件构型、初始裂纹形状、试验方案、试验程序、压力循环谱、环境条件和试验结论。

3.16 工艺与制造

3.16.1 工艺要求

加工方应按照设计图样制定工艺总方案以及零（部）件加工的具体工艺，并由设计方认可。应采用经过验证的工艺规程，避免材料加工、零部件制造过程和整修中造成损伤和性能降低。特别应关注热处理、焊接、成型、连接、车削、钻孔、打磨、修复、重焊等工艺技术，确保它们经过了相同试件的验证。经过加工过程后母材、焊接接头和热影响区的机械、物理和断裂特性应仍然保持在设计范围内。

3.16.2 壳体加工和成型

金属壳体和金属内衬成型一般采用冲压、锻压、旋压、机械加工工艺实现。

3.16.3 焊接和装配

3.16.3.1 壳体焊接及接口焊接一般采用氩弧焊或真空电子束焊，零件的氩弧焊按 QJ 1666 的规定，真空电子束焊按 GJB 1718 的规定。

3.16.3.2 壳体焊接时，要求焊缝等级达到 I 级，当无法进行 X 射线照相检验时，可以对 1:1 焊接试件进行相关力学性能试验，并通过剖切焊接试件检查焊深、缺陷尺寸、金相组织等来证明焊缝质量达到设计要求。焊接后全金属的部件或贮箱进行真空退火，消除焊接应力。

3.16.3.3 应确保机械加工、成型、连接、焊接和热处理过程材料尺寸的稳定性，在图样、工艺规范或其他相关文件中应制定断裂控制要求和预防措施。

3.16.4 声发射检测

贮箱制造完成并进行加工、处理、装配、焊接、表面处理等的综合检查后，应对裂纹缺陷进行声发射检测，声发射等级不低于 GJB 2044 中规定的 IIb 级。

3.16.5 贮箱洁净度控制

表面张力贮箱 PMD 对洁净度极其敏感，空气和接触物中的油性物质和污染物会污染毛细网和金属表面，导致浸润性和接触角下降，直接影响贮箱的工作性能，严重时导致贮箱推进剂管理功能失效。在所有涉及毛细网和板式管理元件的操作、焊接、装配、处理、试验、检验、包装、转运等各个环节，都

应进行多余物和污染控制，表面张力贮箱的洁净度等级应达到表 3 中的 D₁ 以上，其他类型贮箱可以是 D₂ 以上。

针对各环节中轻微的污染，应进行清洗，使用于飞行贮箱的清洗方法应是成熟的且经过了分析和试验验证，清洗不能带来二次污染。

表 3 贮箱洁净度等级

颗粒物尺寸 μm	洁净度等级和颗粒物数量 ^a	
	个	
	D ₁	D ₂
≤5 ^b	不计数	不计数
>5~10	60	140
>10~25	9	20
>25~50	2	5
>50~100 ^c	0	1
>100	0	0

^a 颗粒物数量指 100ml 液体样品中颗粒物个数。
^b 颗粒物不应使滤膜着色或有淤积。
^c 大于 50μm 的颗粒物不允许是刚性粒子。

3.17 环境适应性

贮箱在 GJB 1027A-2005 和相关专用技术文件规定的各种环境条件下，其性能应满足要求。在环境试验后，一般应进行挤出效率、洁净度检查和检漏。环境试验项目包括：

- a) 正弦振动；
- b) 随机振动；
- c) 冲击；
- d) 加速度；
- e) 热真空（纯金属贮箱选做）；
- f) 热循环（纯金属贮箱选做）；
- g) 低温（低温贮箱和低温环境下工作贮箱做）。

3.18 操作与维护

3.18.1 操作规程

对每一种贮箱都应制定操作规程。规程应与安全要求和设备控制要求一致，应足够详细，使有资质的技术人员和技术工人可操作。在操作图上标明安全阀或爆破膜片的位置和极限压力，保证增压系统和贮箱工作能力的一致性。

当在压力系统上进行带压操作时，应先在操作设备上张贴有危险识别信息的警告标示，在不增压状态下进行模拟操作。在正式加压前，首次测试压力不应超过额定工作压力的 50%。操作高压系统的人员应具备专门资质和培训合格。

3.18.2 安全使用极限

3.18.2.1 每一种贮箱都应在设计和鉴定试验基础上设定安全使用极限。将它们用表格形式统计出来，至少应包括如下参数：

- a) 制造材料；

- b) 临界设计条件;
- c) MEOP;
- d) 额定工作压力;
- e) 验证压力;
- f) 设计爆破压力;
- g) 增压和泄压顺序;
- h) 使用循环极限;
- i) 设计和工作温度;
- j) 工作介质和清洁剂;
- k) 可允许的热和化学环境;
- l) 可允许的漏率与压力值的关系。

3.18.2.2 对于有脆性断裂失效模式的贮箱，还应标出临界裂纹形状和最大允许的裂纹形状。

3.18.3 修理

当检查到结构损伤或缺陷超过允许级别，对受损的贮箱应进行修理或替换，维修后的贮箱应重新进行验证，检验其结构完整性确保适合继续使用。

3.19 再生要求

当贮箱经历长时间不确定、未保护或未固定贮存时，应重新验证确保结构完整性和可继续使用性。重新验证前先进行腐蚀和缺陷检测。

3.20 延寿要求

对于无LBB的贮箱，许用使用寿命可以通过常规的疲劳分析和试验确定。通过对前阶段使用压力、载荷和环境的充分分析，不需要额外的试验和检验就可延寿。对于有脆性或LBB的贮箱，应对以前的累积损伤进行评价，通过断裂力学确定许用使用寿命。

4 质量保证规定

4.1 检验分类

本规范规定的检验分为：

- a) 鉴定检验;
- b) 交收检验。

4.2 检验条件

4.2.1 检验环境

除另有规定外，环境条件一般应符合如下规定：

- a) 温度：15℃～35℃;
- b) 相对湿度：20%～80%;
- c) 气压：试验室气压;
- d) 光照度：不低于400lx;
- e) 洁净度：洁净间内为100,000级；带毛细网部组件直接暴露在空气中时，环境洁净度为10,000级。

4.2.2 检验设备

4.2.2.1 检验设备符合检验项目要求的质量等级，满足测试精度的要求。

4.2.2.2 所有检验设备应在其检定合格的有效期内使用。

4.3 鉴定检验

4.3.1 检验项目

检验项目见表4。

4.3.2 受检样品数

受检样品数量一般为两只，如果能够覆盖全部鉴定内容，受检样品数量可为一只。

表4 检验项目、要求及方法

序号	检验项目	鉴定检验	交收检验	要求章条号	检验方法章条号	
1	重量	●	●	3.3	4.5.1	
2	容积	●	●	3.4	4.5.2	
3	外观质量	●	●	3.6	4.5.3	
4	标志和代号	●	●	3.7	4.5.4	
5	接口及外形尺寸	●	●	3.8	4.5.5	
6	加压变形与残余变形	●	—	3.9	4.5.6	
7	常规无损检测	●	●	3.10.4.2、3.16.3.2	4.5.7	
8	长期相容性	●	—	3.10.5	4.5.8	
9	强度	●	●	3.11.3	4.5.9	
10	外压稳定性	●	—	3.11.5	4.5.10	
11	漏率	●	●	3.11.6	4.5.11	
12	压力循环	●	—	3.11.9	4.5.12	
13	爆破	●	—	3.11.9	4.5.13	
14	隔膜（贮囊）、金属膜盒	●	—	3.13.3、3.13.4	4.5.14	
15	表面张力 PMD 微重力验证	●	—	3.13.6	4.5.15	
16	挤出效率	●	●	3.13.7	4.5.16	
17	声发射检测	●	●	3.16.4	4.5.17	
18	洁净度	●	●	3.16.5	4.5.18	
19	环 境 适 应 性	正弦振动	●	—	3.17a)	4.5.19.1
20		随机振动	●	●	3.17b)	4.5.19.2
21		冲击	●	—	3.17c)	4.5.19.3
22		加速度	○	—	3.17d)	4.5.19.4
23		热真空	○	○	3.17e)	4.5.19.5
24		热循环	○	○	3.17f)	4.5.19.6
25		低温	○	○	3.17g)	4.5.19.7

注：●必检项目；○选作项目；—不检项目。

4.3.3 合格判据

贮箱按表4的规定进行鉴定检验，全部通过为合格，任意一项不合格时，应查明原因，排除故障后重新进行检验，受检贮箱数量应加倍，全部按照表4的规定重新进行检验。如仍不符合要求，则鉴定检验未通过。

4.4 交收检验

4.4.1 检验项目

检验项目见表4。

4.4.2 受检样品数

所有交付贮箱都应进行交收检验。

4.4.3 合格判据

交收检验按表 4 的规定进行，检验项目全部通过为合格；任意一项不合格时，应查明原因，排除故障，经检验合格后，方可交付；如仍不符合要求，则交收检验未通过。

4.5 检验方法

4.5.1 重量

使用电子称对空贮箱的重量进行测量，测量精度 0.5%以上。

4.5.2 容积

从液口向贮箱内加满试验介质，根据加注后的重量换算出贮箱的有效容积。试验前应复测试验介质的密度。

4.5.3 外观质量

目视检查贮箱外观质量。

4.5.4 标志和代号

目视检查贮箱的标志和代号。

4.5.5 接口及外形尺寸

用通用或专用量具检查接口及外形尺寸。

4.5.6 加压变形与残余变形

非增压状态下贮箱内加满试验介质，然后通过贮满试验介质的中间容器向气口（或气、液口同时，取决于贮箱类型）增压，在设定压力下多加入的液体容积就是容积变形量，同时测量气口、液口和变形量最大部位的位置变化得到尺寸变形量。泄压后贮箱内介质容积减去初始未增压时加注量就是容积残余变形，再除以未增压时加注量就得到容积变形率；泄压后对应测量位置尺寸值减去未增压时的尺寸值就是尺寸残余变形。

容积变形率应按公式（2）计算：

$$\mu = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

μ ——容积变形率，%；

V ——泄压后贮箱内介质容积的数值，单位为升（L）；

V_0 ——未增压时贮箱内介质容积的数值，单位为升（L）。

4.5.7 常规无损检测

4.5.7.1 采用 JB/T 4730.2 规定的方法对卫星贮箱焊缝进行 X 射线照相检验。

4.5.7.2 采用 JB/T 4730.3 规定的方法对材料进行超声波检测复验。

4.5.7.3 当一种方法不能满足要求时，可采用两种或两种以上的无损检测方法（JB/T 4730.4、JB/T 4730.5、JB/T 4730.6 等）对部（组）件进行检验。检验方法应是成熟的或在同类贮箱上使用过。

4.5.8 长期相容性

4.5.8.1 按 GJB 465.1~465.4 进行非金属隔膜（贮囊）试片与推进剂的长期相容性试验。在有先验数据和飞行经历的前提下，可以采用温度加速试验的方式，按照 GJB 465.1~465.4 规定的方法进行验证，以缩短试验时间，但温度加速速率应不大于 4 倍。

4.5.8.2 有条件情况下,应进行全尺寸鉴定状态隔膜(贮囊)贮箱的长期浸泡试验,按照设定的周期进行推进剂取样化验,分析物理特性、化学成分和非挥发性残渣,检验相容性。取样间隔需根据上次检验结果动态调整,加密或几何延长。达到设计要求或极限条件后,对隔膜(贮囊)进行解剖分析,按 GJB 465.1~465.4 进行最后一次检验,形成完整的长期相容性报告。

4.5.8.3 金属材料与推进剂的长期相容性应按 QJ 10014.5~10014.7 规定的方法进行试验。

4.5.9 强度

4.5.9.1 从液端加满试验介质,加压至验证压力,持续至少 5min,然后逐渐泄压,应考虑一端加压对 PMD 的影响。

4.5.9.2 试验过程中温度应与设计临界使用温度一致,如果不一致,要在评估对强度和断裂韧度影响的基础上调整加载压力。

4.5.9.3 试验介质不应对人体有危险性,能够与贮箱和试验设备相容,如果无法确定,先要通过试验进行验证。

4.5.9.4 验收试验前应制定接受和拒收标准。验收试验中,贮箱不应泄露、破裂或产生有害的变形。

4.5.10 外压稳定性

失稳试验采用常压下贮箱抽真空的方式进行。试验过程中应严格压力控制,不应超过最大使用失稳压力。

4.5.11 漏率

4.5.11.1 贮箱

在常温下,压力达到 MEOP 时,按 QJ 3123 进行密封性检查。

4.5.11.2 非金属隔膜(贮囊)

在常温下,向非金属隔膜(贮囊)内充入氮气,压力达到 0.1MPa 后,按 QJ 3253-2005 中 6.3.3 的充压浸泡法的规定进行密封性检查。

4.5.11.3 金属隔膜(膜盒)

在常温下,达到最大工作压差后,按 QJ 3123 或 QJ 3089 进行密封性检查。

4.5.12 压力循环

加满模拟液,从气口(或气口、液口同时)通过中间充液容器加压和泄压,金属贮箱按表 1 进行压力循环试验,复合材料缠绕贮箱按表 2 进行压力循环试验。试验后进行检漏,漏率应满足设计规范的要求。

4.5.13 爆破

4.5.13.1 压力循环试验和检漏通过后,贮箱继续增压到设计爆破压力并保持至少 60s,期间不能破裂。然后继续以可控速率增压直至贮箱破裂。

4.5.13.2 在试验过程中,由于贮箱安装会产生轴向或径向变形约束,因此爆破试验夹具应考虑真实连接状态和载荷条件,否则应重新考虑温度对材料性能的影响和试验压力。

4.5.13.3 对爆破后的贮箱应进行破裂源位置检查和断口特征分析,评价破裂位置与设计要求的一致性,破裂状态与应力分析、LBB 分析、疲劳寿命分析和安全寿命分析结果的一致性。

4.5.14 隔膜(贮囊)、金属膜盒

试验在专门的试验贮箱上进行,先按照工作状态的填充比从贮箱液端加等容积的模拟液,然后从气端充氮气,在规定的试验压力下进行模拟液的排放,如此反复循环,达到规定的充填排放次数,试验

完成后再按照 4.5.11.2 和 4.5.11.3 的方法，对试验件的气密性进行检查。

4.5.15 表面张力 PMD 微重力验证

可采用大贮箱的缩比模型或小贮箱全尺寸模型，根据物理相似原理，通过落塔、飞机抛物线飞行、热气球浮空、卫星飞船搭载、空间站人员操作等方式进行验证。如果 PMD 具备+1g 和-1g 的试验能力，可以用地面试验代替微重力试验。

4.5.16 挤出效率

将贮箱内充满试验介质，按照规定的流量和加速度方向，将试验介质排出，直到出现第一个气泡或无液体排出，挤出效率应按公式（3）计算：

$$\eta = \frac{G - G_0}{G} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

η ——挤出效率，%；

G ——满箱介质质量，单位为千克（kg）；

G_0 ——箱内剩余介质质量，单位为千克（kg）。

4.5.17 声发射检测

4.5.17.1 金属壳体贮箱、复合材料缠绕贮箱的金属内衬按 GJB 2044 的规定进行声发射检测。复合材料缠绕贮箱的声发射检测参照执行。

4.5.17.2 为保证试验结果的唯一性，声发射检测应作为首次压力试验。声发射检测一般与验证压力试验同时进行，作为压力验证试验的评判依据。

4.5.18 洁净度

洁净度检测按照 GJB 2203 的规定进行，污染的清洗方法应按有关清洗标准执行。

4.5.19 环境适应性

4.5.19.1 正弦振动

正弦震动试验按GJB 150.16的规定执行。

4.5.19.2 随机振动

随机振动试验按 GJB 150.16 的规定执行。

4.5.19.3 冲击

冲击试验按 GJB 150.18 的规定执行。

4.5.19.4 加速度

加速度试验按 GJB 150.15 的规定执行。

4.5.19.5 热真空

热真空试验按 QJ 2630.1 的规定执行。

4.5.19.6 热循环

热循环试验按 QJ 2630.2 的规定执行。

4.5.19.7 低温

低温试验按 GJB 150.4 的规定执行。

5 交货准备

5.1 包装

贮箱先放入白绸布内后，再用装有干燥剂的塑料袋封装，贮箱的气液管接头应采用保护接头封住，再装入包装箱。

5.2 包装箱

5.2.1 包装箱应有防振、防晃、防潮、防雨、防污染等措施。

5.2.2 包装箱应标明贮箱的名称、代号、批序号、毛重、净重、出厂日期、承制厂名称、箱体尺寸(长×宽×高)等。

5.2.3 包装箱侧面应有“小心轻放”、“向上”、“防雨”的标志。包装箱的起吊部位，应标明“起吊”字样。

5.3 装箱文件

5.3.1 装箱文件一般应包括“装箱清单”、“产品合格证”、“产品证明书”、“产品履历书”、“产品使用说明书”。

5.3.2 装箱文件应由塑料袋封装。

5.3.3 产品证明书按 QJ 19 的规定。

5.3.4 产品质量履历书按 QJ 2999 的规定。

5.4 贮存和运输

5.4.1 贮存

贮箱贮存时应避免暴露在腐蚀或使材料衰退的环境中，避免擦伤、磕碰、偶然坠物对贮箱造成机械损伤，应设计合适的固定装置，将贮存固定带来的应力降到最低。如果有违反贮存要求的事件发生，交付前应重新进行验证评估。

5.4.2 运输

搬运包装箱时，应小心轻放，不得倒置，严禁与腐蚀物品一起运输，并符合 GJB 1443 的要求。

5.5 履历

在整个贮箱寿命周期中应对贮存、维护检验、维修、使用历程进行完整记录，信息可记录在履历书和产品数据包中，至少包含以下内容：

- a) 温度、压力历程，试验和使用的增压介质；
- b) 经历的增压循环次数以及安全寿命分析中允许的循环次数；
- c) 每一次检验结果，包括检验者、检验日期、采用的检验方法，缺陷位置和特性、缺陷来源和产生原因，是制造时原有的还是检验引入的；
- d) 贮存条件；
- e) 维护和修理行动；
- f) 表明结构损伤区域和修理部位的图或照片；
- g) 所进行的验收和再鉴定条件和结果。

6 说明事项

6.1 预定用途

贮箱用于卫星液体推进系统和冷气推进系统中，也可用于其他各类航天器推进系统和运载火箭上面级推进系统中。空间环境中，各种流体贮存管理系统均可使用。

6.2 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

6.2.1

压力容器 **pressure vessel**

一种承压设备，用于贮存能量不低于 19310J 或压力不低于 0.69MPa 的流体，或释放时会产生危险的流体。

6.2.2

内衬 **liner**

承压设备的一部分，一种薄壁容器，是缠绕结构的支撑体和密封体。可以是金属的，也可以是非金属的。

6.2.3

复合材料缠绕压力容器 **composite over-wrapped pressure vessel**

具有部分和全部基于纤维的复合材料包封内衬结构的压力容器。

6.2.4

弹性响应金属内衬 **elastically responding metallic liner**

一种复合材料缠绕压力容器金属内衬，经自紧缩工艺后，在不大于验证压力下，只产生弹性响应。

6.2.5

塑性响应金属内衬 **plastically responding metallic liner**

一种复合材料缠绕压力容器金属内衬，经自紧缩工艺后，在不大于验证压力下，至少经历一次塑性响应。

6.2.6

推进剂贮箱 **propellant tank**

贮存和管理液体或气体推进剂的压力容器。

6.2.7

泡破点 **bubble point**

多孔毛细部件能够维持的最大流体静力压头，是衡量毛细部件蓄留液体能力的参数。

6.2.8

推进剂管理装置 **propellant management device**

安装在贮箱内，对推进剂进行管理，保证在一定的加速度环境下，能以规定的流量可靠地供给不夹气的推进剂的装置。

6.2.9

表面张力推进剂管理装置 **surface tension propellant management device**

采用多孔毛细元件或导流板，利用表面张力蓄留液体原理或弧度差驱动流体原理对推进剂进行管理的装置。

6.2.10

表面张力贮箱 **surface tension propellant tank**

利用表面张力推进剂管理装置管理推进剂的贮箱。

6.2.11

隔膜 diaphragm

弧形或柱段带弧形封头的薄壁弹性膜片，能够由里向外完全翻转，是一种推进剂管理装置。

6.2.12

隔膜贮箱 diaphragm propellant tank

用金属或弹性隔膜将推进剂和增压气体隔离，并通过隔膜的运动将推进剂挤出的贮箱。

6.2.13

贮囊 bladder

内（或外）充增压气体或液体推进剂的弹性薄膜囊袋，是一种推进剂管理装置。

6.2.14

贮囊贮箱 bladder propellant tank

用金属或弹性贮囊将推进剂和增压气体隔离，并通过贮囊的挤压和膨胀运动将推进剂挤出的贮箱。

6.2.15

膜盒 bellow

一端封闭的金属波纹管，是一种推进剂管理装置。

6.2.16

膜盒贮箱 bellows propellant tank

用金属膜盒将推进剂和增压气体隔离，并通过膜盒的伸缩将推进剂挤出的贮箱。

6.2.17

最大预期工作压力 maximum expected operating pressure

在整个服务寿命期间、在规定的环境下，贮箱保持功能完整性、预期承受的最大工作压力。

6.2.18

验证压力 proof pressure

进行验证压力试验时的压力值，一般为 MEOP 的 1.25 倍~1.5 倍。该试验用于验证贮箱设计、材料、制造、处理等的有效性，或为金属贮箱的安全寿命验证建立最大初始裂纹形状。

6.2.19

验证系数 proof factor

验证压力相对于最大预期工作压力的倍数。

6.2.20

爆破压力 burst pressure

给贮箱增压持续，贮箱发生破裂、泄漏或不稳定断裂时的压力。

6.2.21

爆破系数 burst factor

设计爆破压力相对于最大预期工作压力的倍数，相当于设计安全系数。

6.2.22

服务寿命 service life

从制造开始，包括试验、操作、贮存、运输、发射、在轨使用、延寿、翻新、重复使用等全部的时间历程，或全部的循环次数。

6.2.23

疲劳寿命 fatigue life

在规定的失效模式发生前，材料承受应力或应变的循环数量。

6.2.24

安全寿命 safe life

在存在最大不可检测裂纹时，金属结构仍能保持结构完整性、不发生灾难性失效的持续时间。

6.2.25

持久应力寿命 stress-rupture life

综合考虑应力水平、作用时间和相关环境下，复合材料装置保持结构完整性的最短时间。

6.2.26

极限载荷 limit load

在规定的工作环境下、在整个服务寿命期间，结构经历的最高预期载荷或复合载荷。

6.2.27

最大载荷 ultimate load

极限载荷与安全系数的乘积。

6.2.28

许用载荷 allowable load (stress)

在给定条件下，材料或结构不发生破裂、断裂和有害变形时允许的最大载荷（应力）。

6.2.29

安全裕度 margin of safety

$$MS = \frac{\text{许用载荷}}{\text{极限载荷} \times \text{安全系数}} - 1$$

许用载荷可以是应力或应变。

6.2.30

加载谱 loading spectrum

所有规定条件下，对结构施加的总载荷，包括运输和操作。

6.2.31

破前先漏失效模式 leak-before-burst

断裂力学设计概念，指潜在的初始裂纹扩展穿过承压结构壁面导致泄漏和压力释放而没有发生爆破（灾难性失效）。

6.2.32

断裂控制 fracture control

为避免制造、测试、运输、操作和维护过程中，由于裂纹或类裂纹缺陷扩展而产生永久性结构失效而采取的设计原则、分析方法、制造技术、验证手段、质量保证措施和操作程序等。

6.2.33

断裂韧度 fracture toughness

材料阻止裂纹扩展能力的度量。

6.2.34

脆性断裂 brittle fracture

材料/结构灾难性失效模式，发生时通常没有预先的塑性变形，断裂速度极快。

6.2.35

氢脆 hydrogen embrittlement

一种力学-环境作用过程，来源于金属中过量氢的存在和残余应力或工作应力的共同作用。

6.2.36

应力腐蚀开裂 stress-corrosion cracking

力学环境引起的失效过程。金属中持续的拉应力和化学腐蚀共同作用产生裂纹并使裂纹扩展。

6.2.37

有害变形 detrimental deformation

使结构任何部分和其他系统无法继续发挥功能的结构变形、扭曲或位移。

6.2.38

损伤容限 damage tolerance

在无法维修期间，材料/结构承受裂纹、缺陷、冲击损伤或其他机械损伤引起失效的能力。

6.2.39

机械损伤 mechanical damage

由表面擦伤、划刻或冲击造成的承压结构表面缺陷。

6.2.40

裂纹形状 flaw shape

表面裂纹或角裂纹的形状。对于表面裂纹用 $a/2c$ 表示，其中 a 是裂纹深度， $2c$ 是裂纹长度；对于角裂纹，用 a/c 表示， a 是裂纹深度， c 是裂纹长度。

6.2.41

自紧缩 autofrettage

容器上浆操作，这时压力引起的偏转使金属内衬塑性流动进入缠绕层以在内衬中产生初始压应力，自紧缩被认为是制造过程的一部分，在验收试验前进行。

6.2.42

目视损伤极限 visual damage threshold

给复合材料构件造成损伤的最低冲击能量值，该损伤可不借助仪器观察到。

6.2.43

承压装置 pressurized hardware

主要承受内压的装置。

6.2.44 **承压结构 pressurized structure**

设计可承受内压和运载结构载荷的构件，如承受主结构载荷的卫星贮箱、运载火箭的主贮箱、载人飞船的乘员舱。

6.3 **缩略语**

下列缩略语适用于本规范。

BF——burst factor，爆破系数；

QJ 20078—2012

LBB——leak-before-burst, 破前先漏失效模式;

MEOP——maximum expected operating pressure, 最大预期工作压力;

PMD——propellant management device, 推进剂管理装置。

中华人民共和国航天行业标准

卫星推进剂贮箱通用规范

QJ 20078—2012

*

中国航天标准化研究所出版
北京市丰台区小屯路 89 号

邮政编码：100071

中国航天标准化研究所
印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2013 年 5 月出版

定价：25 元