



中华人民共和国国家军用标准

FL 5445

GJB 7763.2—2013

航天发射场
低温推进剂加注系统设计规范
第2部分:液氧(液氮)

Design code of cryogenic propellant loading
system in space launching site
Part2:Liquid oxygen(Liquid nitrogen)

2013—09—09 发布

2013—10—01 实施

中国人民解放军总后勤部 批准

中华人民共和国国家军用标准

航天发射场
低温推进剂加注系统设计规范
第2部分：液氧（液氮）

**Design code of cryogenic propellant loading
system in space launching site
Part2:Liquid oxygen(Liquid nitrogen)**

GJB 7763.2—2013

主办部门：总后勤部基建营房部

批准部门：总后勤部

实施日期：2013年10月01日

2013年 北京

前 言

《航天发射场低温推进剂加注系统设计规范》是在总结我国航天发射场低温推进剂加注系统设计、施工和使用经验的基础上,进行资料收集和整理,并结合总装备部有关试验训练基地的实际情况,按照GJB 2131A-2004《军队工程建设标准编写规定》的要求编写的。

《航天发射场低温推进剂加注系统设计规范》分两部分:

第1部分:液氢;

第2部分:液氧(液氮)。

本部分是GJB 7763-2013的第2部分,包括以下几方面内容:范围、引用文件、术语和定义、总则、液氧加注系统、供气、测量仪表与自动控制、氧气排放、液氧的贮存和运输、总平面布置、土建、电气、消防、给排水、采暖通风、液氮的贮存与应用及附录等。

本部分的附录A和B是资料性附录。

本部分由中国人民解放军总装备部司令部、后勤部提出。

本部分由中国人民解放军总后勤部基建营房部归口。

本部分由总装备部工程设计研究所主编。

本部分主要起草人:陈虹、周东兴、孙庆国、刘占卿、邱小林、龚奎成、刘岩云、张晓萍、江延明、杨潞锋、高文青。

目 次

1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	4
5 液氧加注系统	4
5.1 加注工艺	4
5.2 液氧贮罐	7
5.3 加注管路	11
5.4 管路组件	13
5.5 液氧过冷器	15
5.6 液氧加注泵	15
6 供气	16
7 测量仪表与自动控制	17
7.1 测量仪表	17
7.2 自动控制	18
7.3 自动报警	20
8 氧气排放	20
9 液氧的贮存、运输	20
9.1 液氧贮存	20
9.2 液氧运输	20
10 总平面布置	21
10.1 一般规定	21
10.2 安全距离	21
10.3 道路	22

11 土建	22
12 电气	23
12.1 一般规定	23
12.2 供电及电气设备	23
12.3 防雷、防静电及保护接地	23
13 消防、给排水	24
13.1 消防	24
13.2 给排水	25
14 采暖通风	25
14.1 采暖与空调	25
14.2 通风	25
15 液氮加注系统	25
15.1 一般规定	25
15.2 液氮贮存、运输与输送	26
15.3 液氮应用	26
15.4 液氮系统	27
15.5 液氮系统的安全防护	27
15.6 液氮系统工程设施	27
附录A (资料性附录) 氧的物化性能参数	29
附录B (资料性附录) 液氮和氮气的物化性能参数	30

航天发射场低温推进剂加注系统设计规范

第2部分：液氧（液氮）

1 范围

1.0.1 本部分规定了航天发射场液氧、液氮加注系统的工程设计原则和设计要求，以及总平面布置、土建、电气、消防、给排水、采暖通风、安全防护等设计要求和措施。

1.0.2 本部分适用于航天发射场液氧、液氮加注系统及工艺配套设施的新建工程，改建和扩建工程可参照使用。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本部分的条款。凡注明日期或版次的引用文件，其后的任何修改单（不包括勘误的内容）或修订版本都不适用于本部分，但提倡使用本部分的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB 150 钢制压力容器

GB 567 爆破片与爆破片装置

GB/T 3216—1989 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵试验方法

GB 3836.1 爆炸性气体环境用电气设备 第一部分：通用要求

GB 6944 危险货物分类和品名编号

GB 7258 机动车运行安全技术要求

GB/T 8566 信息技术 软件生存周期过程

GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管

GJB 7763.2—2013

- GB 18442 低温绝热压力容器
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50030 氧气站设计规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50058 爆炸与火灾环境电力装置设计规范
- GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
- GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- GB 50219 水喷雾灭火系统设计规范
- GJB 437 军用软件开发规范
- GJB 2040 液氧规范
- GJB 2253A 氮气和液氮安全应用准则
- GJB 2990 液氧安全应用准则
- GJB 3403 氮气和液氮规范
- JB/T 4783 低温液体汽车罐车
- JB/T 4784 低温液体罐室集装箱
- JB/T 9073 空气分离设备用离心式低温液体泵
- JT 3130 汽车危险货物运输规则
- QJ 2652 配气台通用规范
- QJ 2668 航天产品可靠性设计原则 电子产品可靠性设计准则
- QJ 3042 液氧贮存运输要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3 0 1 液氧 liquid oxygen

一种低温液体运载火箭氧化剂，化学分子式为 O_2 。高纯度液

氧是浅蓝色透明液体，标准大气压下的沸点为 90.19K。常温下为气态。

3 0.2 液氧贮罐 liquid oxygen tank

用于接收、贮存和加注液氧的容器。

3 0.3 液氧贮罐区 liquid oxygen tank farm

由一个或若干个液氧贮罐及液氧泵、增压汽化设备及附属设施等构成的区域。

3.0.4 液氧加注库区 loading station of liquid oxygen

由一个或若干个贮罐区和供配气间、前端设备间及消防设施等相关工艺配套设施构成的区域。

3.0.5 液氧加注系统 loading system of liquid oxygen

用于向运载火箭氧化剂贮箱加注液氧的系统。

3.0.6 液氮 liquid nitrogen

一种低温液体，化学分子式为 N_2 。无色透明液体，标准大气压下的沸点为 77.31K，常温下为气态。用于航天发射场的辅助工作介质。

3 0.7 液氮贮罐 liquid nitrogen tank

用于贮存、运输和处理液氮的容器。

3 0.8 液氮贮罐区 liquid nitrogen tank farm

由一个或几个液氮贮罐、增压汽化设备及附属设备等构成的区域。

3 0.9 液氮加注库区 loading station of liquid nitrogen

由一个或若干个贮罐区和供配气间、前端设备间等相关工艺配套设施构成的区域。

3.0.10 液氮加注系统 loading system of liquid nitrogen

用于冷却液氧、冷却及纯化氮气的系统。

4 总则

4 0 1 为在航天发射场液氧、液氮加注系统设计中，统一技术要求，做到安全可靠、技术先进成熟、经济合理，管理方便，制定本规范。

4 0 2 液氧、液氮加注系统的设计应满足运载火箭加注技术要求和加注工艺使用要求。

4 0 3 液氧和氧气属乙类火灾危险性物品。运载火箭发动机用液氧的出厂指标和使用指标应符合 GJB 2040 和 GJB 2990 的规定，与加注系统有关的氧化物性能见附录 A。液氧加注系统的工程设施及设备的防火应遵守 GB 50016 及 GB 50030 的规定。

4 0 4 航天发射场液氧、液氮加注系统的设计，除应符合本部分的规定外，尚应符合国家和军队现行有关标准的规定。

5 液氧加注系统

5 1 加注工艺

5 1 1 系统组成

液氧加注系统由加注液路系统、加注供配气系统、加注测量与控制系统、氧气排放系统和安全保护设施等组成。

5 1.2 系统功能

液氧加注系统的功能有：液氧转注、液氧贮存、预冷、加注与泄出、液氧的过冷加注、液氧的排放、自动控制和安全监测等。

5 1 3 加注工序

按照运载火箭氧箱的加注技术要求和低温加注的特点设计工艺流程图并编制加注工序，液氧加注工序主要包含系统预冷、加注、补加、（热）氧气排放处理、加排连接器脱落或泄回等。

5.1 4 气密性检查

5.1.4.1 系统工作以前,应采用符合 GJB 3403 氮气进行清洁吹除处理和气密性检查。

5.1.4.2 管路气密性检查合格后,应进行成分检查,露点低于-53.5℃为合格。

5.1.5 预冷

5.1.5.1 液氧加注之前,应对管路和运载火箭贮箱进行预冷,预冷应在管路气密性检查以及洁净度合格后进行。

5.1.5.2 液氧加注管路的设置应满足系统按程序预冷的要求。地面加注管路系统可自成系统进行预冷,也可与运载火箭贮箱构成系统一起进行预冷。

5.1.5.3 应进行预冷流量以及预冷量的计算。

5.1.6 加注

5.1.6.1 液氧加注系统应满足运载火箭贮箱的加注量、加注流量、加注时间和射前补加的要求。

5.1.6.2 加注压力(或扬程)可按下式计算

$$P_0 = P_A + \rho g H + P_f \quad \cdots \cdots \cdots (5.1.6.2-1)$$

$$P_f = \left(\Sigma \lambda \frac{l_e}{d} \frac{\rho v^2}{2} + \Sigma \zeta \frac{\rho v^2}{2} \right) \times 10^{-6} \quad \cdots \cdots \cdots (5.1.6.2-2)$$

式中: P_0 ——加注工作压力, MPa;

P_A ——运载火箭燃料箱反压, MPa;

H ——液柱高度, 自贮罐出口至运载火箭燃料箱高液面的高度, m;

P_f ——管路系统阻力损失, 含沿程损失和局部损失, MPa;

λ ——沿程流阻系数;

l_e ——总的当量管长, m;

d ——管径, m;

ρ ——流体密度, kg/m³;

GJB 7763.2—2013

g ——重力加速度；

v ——流速，m/s；

$\Sigma\zeta$ ——局部阻力系数总和。

5.1.6.3 应对液氧加注系统进行传热及热力计算。

5.1.6.4 液氧加注宜采用下述方式：

(1) 扬程较高的液氧加注宜采用泵式，加注用泵宜用离心泵；

(2) 扬程较低或流量较小的液氧加注宜采用挤压式输送，挤压气源可用液氧汽化增压，也可用外供气源。常用外气源为氮气，使用氮气作为液氧的挤压气源时，应防止氮气对液氧品质的影响；

(3) 采用泵输送加挤压输送的联合输送方式。

5.1.6.5 液氧加注流量的调节宜采用下述方式：

(1) 在加注管道上设调节阀；

(2) 调节加注用泵的转速；

(3) 调节贮罐气枕压力；

(4) 上述三种调节方式的组合。

5.1.6.6 液氧的加注流速宜小于6m/s，3MPa以下奥氏体不锈钢管道的氧气输送速度应小于25m/s。

5.1.7 泄回

5.1.7.1 运载火箭贮箱内液氧通过增压泄回时，应设计合适的贮箱增压压力和泄回流量；通过自流泄回时，应控制泄回流量，防止贮箱产生负压。

5.1.7.2 通过增压或自流方式泄回时，应控制泄回流量和增压压力，保证加注管路不超压，并满足液氧泄出的时间要求。

5.1.8 液氧贮存量

5.1.8.1 液氧总贮量按一次发射任务一个窗口或两个窗口需要

的量准备。

(1) 一个发射窗口的贮量按公式 5.1.8.1-1 计算

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 \dots\dots\dots (5.1.8.1-1)$$

式中: V ——一个发射窗口时, 贮罐区液氧总贮存量, m^3 ;

V_1 ——运载火箭各子级贮箱所需液氧加注量的总量, m^3 ;

V_2 ——管路和贮箱预冷消耗量和填充管路需要量, m^3 ;

V_3 ——贮罐增压消耗量, m^3 ;

V_4 ——贮箱蒸发、加注过程中程序放气或排气以及发动机预冷的消耗量, m^3 ;

V_5 ——加注后贮罐内应保证的液氧留存量, 一般应为贮罐几何容积的 10% 以上, m^3 ;

V_6 ——停放期间贮罐的蒸发量及其它损耗, m^3 。

(2) 两个发射窗口时的贮量按公式 5.1.8.1-2 计算

$$V' = V_1 + 2V_2 + 2V_3 + 2V_4 + V_5 + V_6 + V_7 \dots (5.1.8.1-2)$$

式中: V' ——两个发射窗口时, 贮罐区液氧总贮存量, m^3 ;

V_6 ——停放期间及第一次加注至第二次加注期间贮罐的总蒸发量, m^3 ;

V_7 ——第一窗口终止发射至贮箱的液氧泄回完毕期间贮箱的蒸发、放气消耗量和泄回消耗量, 根据是否泄回具体确定, m^3 。

5.1.8.2 液氧贮罐的总容积和数量, 应根据运载火箭推进剂的加注工艺、需用量和总体任务的要求确定。

5.2 液氧贮罐

5.2.1 贮罐的一般要求

5.2.1.1 液氧贮罐应按 GB 150 和 GB 18442 的规定进行设计、加工与验收。

5.2.1.2 液氧贮罐由内罐、外罐、真空绝热层、内外罐支撑、

管路阀门系统、压力检测装置、液位检测装置、贮罐底座与连接装置、安全泄放装置、电路系统等组成。

5 2.1.3 贮罐内罐的工作压力应不低于工作时气枕最高压力，外罐的工作压力（外压）宜定为0.1MPa。

5 2.1.4 贮罐的设计使用寿命应不小于20年。

5 2.2 贮罐的绝热

5 2.2.1 液氧贮罐宜采用真空绝热，移动式贮罐和小型固定贮罐宜采用真空多层绝热或真空粉末绝热，大型固定式贮罐常用真空粉末绝热。

5 2.2.2 真空多层绝热反射屏宜采用铝箔或镀铝薄膜，厚度宜为0.005~0.025mm；间隔物宜采用无碱玻璃纤维纸或玻璃纤维布，厚度宜为0.015~0.100mm。

5 2.2.3 真空多层绝热夹层封口压力应不高于 1×10^{-2} Pa，漏放气速率应不大于 1×10^{-5} Pa·m³/s。夹层真空压力不大于 10^{-2} Pa时，真空多层绝热结构的表观热导率可取 $(5 \sim 15) \times 10^{-3}$ W/(m·K)。

5 2.2.4 真空粉末绝热的封口压强应不高于1Pa，漏放气速率应小于 1×10^{-3} Pa·m³/s，珠光砂绝热层表观热导率可取 $(1.0 \sim 1.9) \times 10^{-3}$ W/(m·K)，气凝胶绝热层表观热导率可取 $(0.95 \sim 1.40) \times 10^{-3}$ W/(m·K)；玻璃纤维绝热层表观热导率可取 $(0.8 \sim 1.7) \times 10^{-3}$ W/(m·K)。

5.2.2.5 贮罐的内、外罐间的内罐外表面应设置吸附剂，吸附剂材料宜采用5A分子筛等与液氧相容且低温吸附性能较好的材料，吸附剂的数量根据低温吸附量确定。

5 2.2.6 贮罐的真空寿命应不小于5年。

5.2.2.7 贮罐宜应设置抽真空和真空压力检测接口。

5.2.3 固定式液氧贮罐

5.2.3.1 固定式贮罐宜采用卧式圆筒形或球形结构。

5.2.3.2 固定式贮罐应考虑当地设计基本风压、地震烈度和运载火箭冲击波。

5.2.4 移动式液氧贮罐

5.2.4.1 移动式液氧贮罐主要为公路运输用贮罐。

5.2.4.2 移动式液氧贮罐设计可参照 JB/T 4783 和 JB/T 4784 的相应规定。

5.2.4.3 移动式液氧贮罐的罐体及其紧固装置在公路运输工况中所承受的静态力按下列要求考虑

- (1) 纵向：额定质量乘以两倍的重力加速度 ($2R_g$)；
- (2) 横向：额定质量乘以重力加速度 (R_g)；
- (3) 垂直向上：额定质量乘以重力加速度 (R_g)；
- (4) 垂直向下：额定质量（包括重力作用的总负荷）乘以两倍的重力加速度 ($2R_g$)。

5.2.5 内罐

5.2.5.1 液氧贮罐的内罐材料宜采用 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢，应满足 -196°C 低温夏比 (V 形缺口) 冲击试验值的要求。

5.2.5.2 内罐设计压力应不低于最高工作压力，必要时，内罐应进行 0.1MPa 外压稳定性校核。

5.2.5.3 固定内罐计算压力应按内罐工作压力与所装液柱静压之和再加上 0.1MPa。

5.2.5.4 移动式贮罐计算压力取下列压力的较高值：

- (1) 按 5.2.5.3 的计算压力；
- (2) 内罐在运输工况中最大压力与所承受 5.2.4.3 惯性力的等效压力和再加上 0.1MPa。

5.2.5.5 内罐体壁厚应按 GB 150 的有关公式计算。

5.2.5.6 运行速度大于 20m/s 的移动式贮罐的内罐内应设防波板。防波板与罐体的联结应牢固可靠，每个防波板的有效面积应

GJB 7763.2—2013

大于内罐横断面积的40%，上部弓形面积不大于内罐横断面积的20%。

5.2.6 外罐

5.2.6.1 外罐材料宜采用Q345R低合金钢，应满足-20℃低温夏比（V形缺口）冲击试验值的要求。外罐应采取防腐蚀措施。

5.2.6.2 外罐设计压力应按内压不低于0.2MPa以及外压0.1MPa确定。

5.2.6.3 外罐体壁厚计算应按GB 150的有关公式计算。

5.2.6.4 固定贮罐外罐体的支承与地面连接部位应考虑地震、风载荷和运载火箭冲击波的冲击影响。

5.2.7 贮罐管路

5.2.7.1 液氧贮罐内的管路材料宜采用0Cr18Ni9奥氏体不锈钢，采用焊接连接。

5.2.7.2 贮罐的管路宜由内罐圆筒段穿出，外伸管的布局与走向应考虑传热和冷缩补偿量。穿过外罐的管路应防止外罐上邻近热桥的碳钢部分变形或产生冷脆点。内罐与外罐间的管路补偿不应采用波纹补偿。

5.2.7.3 液氧贮罐应设置加注泄出管、汽化器供液管、汽化器排气增压管、排放管、取样管、测压管、液面计引压管等。

5.2.7.4 贮罐加注泄出管宜从内罐底部引出，贮罐进液管宜从内罐顶部引出。

5.2.7.5 贮罐液氧取样器的设置应满足取样介质为液体。

5.2.7.6 贮罐应设置充气、放气以及净化气体上部、下部取样化验接口。

5.2.7.7 贮罐增压进气口宜设置气体扩散器。

5.2.8 贮罐的安全装置

5.2.8.1 内罐应设安全阀，按GB 150的规定设置，宜并联设置

两个。安全阀的泄放能力应满足加注系统安全保护要求。安全阀的开启压力应为内罐最大工作压力的1.05~1.10倍。

5.2.8.2 内罐和外罐宜设爆破片装置,爆破片用与介质相容、破裂时不产生火花和碎片的金属材料制造,应按GB 150的规定设置。爆破片装置应符合GB 567的要求。内罐爆破片的爆破压力应为1.20~1.25倍内罐最大工作压力。外罐爆破片的设计压力宜为0.07~0.10MPa(表压)。爆破片装置应计算泄放口径,确保不产生空间爆炸。

5.2.9 增压系统

5.2.9.1 液氧加注系统的增压可分为增压汽化器增压方式和外气源增压方式。

5.2.9.2 加注系统增压汽化器宜采用空温式换热形式,汽化能力由加注流量和加注压力确定。

5.2.9.3 增压汽化器宜用0Cr18Ni9奥氏体不锈钢或铝合金材料制造,换热面形式宜采用翅片式或光管式。汽化器设置应换热均匀,无偏流现象。增压汽化器的进液管路上应设置截止阀。

5.2.9.4 液氧外气源增压可采用氮气增压,但要注意其对液氧品质的影响。

5.3 加注管路

5.3.1 一般规定

5.3.1.1 液氧加注管路宜地面或架空敷设,严禁直接埋地敷设。

5.3.1.2 管路连接宜采用焊接,焊接连接的内外管间宜采用真空绝热;连接设备或需拆卸部分的管路宜用法兰连接,宜采用平面法兰真空绝热接头或真空绝热的承插接头。

5.3.1.3 真空绝热管路及阀门应设置在线抽真空及真空检测接口。

5.3.1.4 应设置管路气密性检查充气接口;系统整体及法兰连

接处的设计应便于进行管路气密性检查。

5 3 1 5 液氧加注管路的始端及液氧泵后、加注管路末端应设排放管路。排放管规格及保温应满足排放要求。

5 3 1 6 液氧和氧气管路安装完毕前后，应按QJ 3042的要求进行去油和清洁处理。

5 3 2 直管、三通管、弯管

5 3 2 1 液氧加注管路真空绝热管路的内管应采用与液氧相容材料制造，并具有良好的低温韧性，内管及外管宜选用0Cr18Ni9奥氏体不锈钢，内管应选用无缝钢管，不锈钢管材料应符合GB/T 14976的规定。

5 3 2 2 液氧加注管路的内、外管间采用支撑件固定，支撑件应保证内、外管同轴，并考虑冷缩变形，应采用绝热性能良好又有一定强度的材料制造。

5 3 2 3 液氧加注管路宜采用真空多层绝热，多层绝热材料应符合5.2.2.2的规定。管间或内管外表应设置吸附剂，吸附剂材料宜用5A分子筛等与液氧相容的材料。管路夹层真空封口压力应不高于 1×10^{-2} Pa，漏放气速率应小于 1×10^{-8} Pa·m³/s。管路真空寿命应不小于5年，机械寿命应不小于20年。

5 3 2 4 低温汽体管路或绝热要求不高的液体管段可用外发泡绝热层，外发泡结构的热导率可取0.018~0.035W/(m·K)。

5.3.2.5 直管应设有补偿结构，内管可用波纹管补偿，外管可用波纹管补偿或焊接膨胀节补偿。

5 3 2 6 三通管三个方向均应设补偿结构。

5 3 3 软管

5 3.3 1 加注用软管内、外管宜采用0Cr18Ni9奥氏体不锈钢材料，内、外管均为带不锈钢编织网的波纹管结构，内、外之间的支撑材料采用聚四氟乙烯，内、外管之间的夹层采用真空多层绝

热层。管路夹层的真空封口压力应不高于 $1 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ，漏放气速率应小于 $1 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

5.3.3.2 加注用软管接头宜采用带绝热结构的平面法兰绝热接头或真空绝热的承插接头。

5.3.3.3 管路夹层真空寿命应不小于5年。软管机械寿命应不小于6000次冷热受力循环。

5.3.3.4 加注用软管单管长度不宜大于5m。

5.3.3.5 受内压超过1.1MPa的软管至少每隔1.8m设置外固定装置。

5.4 管路组件

5.4.1 加注管件

5.4.1.1 液氧加注管路组件应采用0Cr18Ni9奥氏体不锈钢等与介质相容材料制造。

5.4.1.2 液氧加注管路组件应设有真空绝热层或其他绝热结构真空绝热，真空寿命应不小于5年，发泡绝热寿命应不小于8年。

5.4.2 截止阀

5.4.2.1 低温阀的设计主要包括阀体结构设计、摩擦副设计、密封结构设计、操纵机构设计和绝热设计等。

5.4.2.2 截止阀的常温内漏率宜小于 $10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

5.4.2.3 盘型阀瓣截止阀宜采用非金属—金属密封，所用非金属材料宜为聚四氟乙烯或增强聚四氟乙烯等。

5.4.2.4 阀杆采用波纹管密封，也可用O形圈或填料密封。

5.4.2.5 截止阀的操作机构应能适应现场手动操作和远程控制操作，其操作机构应有缓慢关闭的功能，关闭延迟时间宜大于2s。。

5.4.2.6 应对低温截止阀应进行密封比压计算和传热量计算。

5.4.3 调节阀

5.4.3.1 液氧加注用调节阀可采用真空多层绝热结构或发泡绝热, 阀瓣宜采用堆焊司太莱合金的金属—金属硬密封, 常温内漏率宜小于 $10^{-4}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

5.4.3.2 根据系统调节要求计算确定调节工况及流通能力, 选择节流元件(阀瓣+阀座)。调节阀的节流组件(阀瓣+阀座)的流通能力系数应大于加注系统要求的最大流通能力系数。

5.4.3.3 液氧加注调节阀宜采用等百分比流量特性。

5.4.3.4 调节阀的执行机构应具备远控和手动操纵功能, 远控调节阀宜用气动薄膜执行机构并配以电气定位器。

5.4.4 加注和排气连接器

5.4.4.1 连接器的主要功能:

(1) 按要求打开和关闭运载火箭贮箱加注阀(当运载火箭贮箱加注阀自身无打开和关闭功能时)

(2) 与运载火箭贮箱加注阀(或加注管法兰)和排气管法兰锁紧及脱落(自动或手动), 并能发出锁紧和脱落信号;

(3) 加注连接器加注口脱落后的自密封功能, 加注和排气连接器与箭上法兰对接后的密封功能。

5.4.4.2 连接器的设计主要包括锁紧和脱落结构、密封结构、绝热结构等。

5.4.4.3 液氧加注和排气连接器与运载火箭燃料箱活门之间应密封, 低温静密封漏率应小于 $5 \times 10^{-4}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 低温动密封漏率应小于 $8 \times 10^{-4}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

5.4.4.4 连接器宜采用奥氏体不锈钢材料制造。

5.4.4.5 连接器可采用聚脂发泡绝热或真空绝热, 其绝热性能应良好。

5.4.4.6 发讯装置防爆等级按本安 ia II CT1。

5.4.4.7 连接器应进行可靠性设计, 满足可靠性指标要求。

5.4.5 过滤器

5.4.5.1 液氧加注系统的过滤器壳体宜采用奥氏体不锈钢制造, 设聚酯发泡层绝热或真空绝热。

5.4.5.2 液氧加注用过滤器可选择斜插筒式过滤器, 过滤精度不大于 $150\mu\text{m}$ 或按运载火箭总体要求确定。

5.4.5.3 过滤器的过流面积应为管路流通截面积的3倍以上。

5.4.5.4 过滤器应能承受正、反方向带压流动的冲击。

5.4.5.5 管路末端靠近加注连接器部位宜设置液路过滤器。

5.5 液氧过冷器

5.5.1 液氧过冷器应根据运载火箭贮箱要求的液氧加注温度和加注流量及加注工艺要求等设计。

5.5.2 液氧过冷器应用液氮作过冷介质。

5.5.3 过冷器换热元件宜采用板翅式, 材料为铝合金; 也可采用盘管式, 材料为0Cr18Ni9奥氏体不锈钢。

5.5.4 过冷器的壳程液氮罐宜采用绝热单层不锈钢贮罐, 绝热型式采用硬质聚氨酯发泡。

5.5.5 过冷器的管程液氧管路及壳程液氮罐均应设置安全装置以及露点检测接口。

5.5.6 过冷器的壳程液氮罐应设置液位测量装置。

5.6 液氧加注泵

5.6.1 液氧加注泵应符合JB/T 9073的要求。

5.6.2 液氧加注泵宜用单级离心泵。加注泵扬程参照5.1.6.2-1、5.1.6.2-2公式计算。

5.6.3 泵在设计工况下的流量、扬程、转速、密封应符合经规定程序批准的图样要求, 其性能偏差应符合GB/T 3216-1989中的C级规定。

5.6.4 泵制造厂应确定产品的允许工作范围, 并给出性能曲线

(扬程、轴功率与流量关系曲线)。

5.6.5 与介质接触的材料应与介质一级相容，叶轮、蜗壳宜采用高强度特殊铜合金制造，泵轴应选用耐低温不锈钢材质。泵冷端零、部件应选择具有良好低温性能的材料。泵体、叶轮、泵轴应进行液氮低温冲击试验。

5.6.6 加注泵的效率应不低于50%。设计工况点的比转速应不小于50。

5.6.7 加注泵可采用卧式或立式结构。

5.6.8 泵轴密封设计可采用机械密封或充气式迷宫密封方案，间断运行加注泵的泵轴密封宜采用单端面金属波纹管机械密封。

5.6.9 液氧泵应可远距离操纵，亦能近距离启停。

5.6.10 加注泵应靠近贮罐设置，泵入口管路直径应大于出口管路直径。泵运行时泵入口压力应大于泵产生气蚀的压力。

5.6.11 加注泵进口管路应设置过滤器，过滤器过滤精度宜为500 μm 左右。

5.6.12 加注泵的吸入管口和排出管口应设置波纹管补偿器或采用连接软管。

5.6.13 泵后应设置排气管路，排气管路的设置和尺寸应满足泵的预冷排放要求。

5.6.14 泵进口管路及出口管路上应设置温度、压力测量装置。

5.6.15 泵机组单排布置时，原动机端部至墙（柱）的净距离应不小于1.5m。相邻泵机组机座之间的净距离应不小于较大泵机座宽度的1.5倍。

6 供气

6.0.1 液氧加注系统的供气主要由配气设备与供气管路系统组成。

- 6.0.2 液氧系统配置的气体应为氮气。氮气质量应符合GJB 2253A的要求。
- 6.0.3 气路系统应根据用气量及用气压力确定用气流量、器件规格、供气管规格等。
- 6.0.4 配气设备的功能应满足系统及设备气检、净化、吹除、增压以及各种阀门控制等的要求。
- 6.0.5 配气台内的主要器件按不同要求设置手动截止阀、电动截止阀、减压阀、安全阀、止回阀、压力表、过滤器等。配气台及其主要器件的设计可参见QJ 2652。
- 6.0.6 配气台应设置气体压力监测装置及电气检测装置。
- 6.0.7 配气台内不应使用软管。
- 6.0.8 气体质量由气源保证，若有特殊要求而气源无法满足时，配气系统可增设相应设备，以满足要求。
- 6.0.9 配气台气源入口及出口应设置过滤器。
- 6.0.10 供气管路及接头的规格和材料应满足所在系统的要求，应采用不锈钢管或铜管。

7 测量仪表与自动控制

7.1 测量仪表

7.1.1 一般规定

- 7.1.1.1 液氧加注系统应设温度、压力、液位、流量测量装置，并在测控间进行集中监控与显示。
- 7.1.1.2 测量设备与测量线路应避免安装在低温、潮湿、多尘、爆炸与火灾危险、振动及强磁场干扰场所。当不可避免时应采取防护措施。
- 7.1.1.3 测量线路应符合爆炸与火灾危险场所有关规定。接触液氧的电器设备应满足GB 3836.1的要求。

7 1 2 温度测量

7 1 2 1 液氧加注系统的温度测量宜采用铂电阻温度传感器，测量量程应能覆盖 70~350K，全量程内的测量准确度不低于 0.1K。

7 1 2.2 液氧增压汽化器进、出口，流量计出口，液氧泵进、出口，液氧过冷器进、出口，液氧管路的始端、中端和末端，汽体排放管路的始端和末端均应设温度传感器。

7 1 2.3 温度测量信号应可传至测控间。

7.1 3 压力测量

7 1 3 1 液氧贮罐，液氧管路始端、中端和末端，流量计出口，液氧泵进、出口，液氧过冷器进、出口，过滤器进、出口，运载火箭燃料箱，汽体排放管路始端和末端均应设压力测量传感器。

7.1.3 2 压力信号应可现场显示并可远传至测控间。

7.1.3 3 压力测量精度应不低于 1.0 级。

7 1 4 液位测量

7.1.4.1 液氧贮罐、换热容器应设液位测量。

7 1.4 2 液氧的液位测量宜采用差压液位计和电容式液位计。液位信号应可现场显示并传送至测控间；测控间应能接受运载火箭燃料箱的液位信号。

7 1.5 流量测量

7 1 5.1 液氧加注系统始端水平管段应设置流量计。

7 1 5 2 液氧加注系统宜选用涡街流量计，测量精度为 ±1.0%。流量计本体采用真空绝热或发泡绝热。

7 2 自动控制

7 2 1 根据推进剂加注系统的加注要求、运载火箭测试检查要求和发控网数据接口、信号传递约定及外系统设备接口要求进行

控制系统设计。

7.2.2 控制系统主要功能：加注流程控制，加注参数测量记录，系统设备故障诊断，配合全箭系统匹配测试和总检查等。

7.2.3 控制系统应具备联机程序控制、自动程序控制、手动控制功能。手动单点控制优先。

7.2.4 液氧加注系统宜采用分布式控制方案，操作指令由后端控制计算机微机发出，经工业控制网络与前端可编程控制器（PLC）和现场输入/输出（I/O）站通讯，实现对现场加注设备的控制及测量。

7.2.5 后端控制测量设备由监控微机、浏览微机、直流电源、电缆网等组成；前端控制测量设备由主控制柜、现场控制柜、网络设备等组成。

7.2.6 软件宜采用工控组态软件和软逻辑编程软件相结合的配置方式。软件设计按GB/T 8566及GJB 437的有关规定。

7.2.7 后端控制测量应可实时显示各工序命令和状态、各工序设备动作状态。实时动态显示加注工艺流程。应可实时显示、测试加注过程中压力、温度、流量、液位等参数，并具备向外系统传送的能力。

7.2.8 后端控制测量应可实时显示故障和参数超限情况。数据文件可在线查询、存储、打印。

7.2.9 应设置故障自动与手动紧急处理装置，并形成故障记录文件，故障记录应包括故障发生时间、故障名称、故障类别、故障级别、报警上、下值和故障值。设置故障声光报警。

7.2.10 控制系统应进行可靠性设计，对系统中的关键部件进行冗余设计，如热备PLC，热备微机等。可靠性设计按QJ 2668执行。

7.2.11 控制系统应进行电磁兼容设计。

7.2 12 控制系统应进行安全性、可维修性设计。

7.3 自动报警

7.3.1 液氧加注场地上、管沟内和发射塔架上应设氧气浓度检测报警装置。

7.3.2 高氧气浓度报警值宜设定为空气含氧量大于23.5%；低氧浓度报警值宜设定为空气含氧量低于19.5%。

8 氧气排放

8.0.1 液氧加注系统在贮存、转注、预冷和加注过程中排出的低温氧气应排放处理。

8.0.2 加注过程中产生的氧气宜采用高空排放。排放管道的规格及保温绝热应满足排放温度、流量、压力的要求。

8.0.3 高空排放口应设有单向阀、静电消除装置。

9 液氧的贮存、运输

9.1 液氧贮存

9.1.1 液氧贮罐应有良好的绝热保护和安全设施。

9.1.2 液氧应正压贮存，贮罐气枕压力应高于当地环境压力，高出的压力值控制在0.03~0.05MPa表压范围之内。

9.1.3 液氧贮罐液氧充满率应不大于总容积的95%。

9.1.4 以液氧贮罐为中心，30m范围内严禁有明火。液氧贮罐周围5m范围内，不应有可燃物和设置沥青路面。

9.2 液氧运输

9.2.1 液氧属二类危险物品，按二类危险货物组织运输。

9.2.2 运输液氧宜用公路罐车。液氧运输应遵守GB 6944的规定。

9.2.3 液氧运输车应设置压力远传及报警装置，并能传至押运

间。

9 2 4 液氧公路运输车辆走行部分应符合 GB 7258 和 JT 3130 的要求，在公路上的行驶速度不应超过 40km/h。

9.2.6 场区内液氧车的设计行驶速度不宜超过 15km/h。

9.2.7 液氧运输车按规定配备安全防护、静电接地。

10 总平面布置

10.1 一般规定

10 1 1 液氧加注系统的工程设施及设备应符合 GB 50016 的规定。

10 1 2 液氧加注库区应结合发射工位的位置及加注工艺统一考虑，避开运载火箭发射方向及导流槽燃气排出口方向，布置在发射工位安全距离以外的一侧，周围 30m 内无其它建（构）筑物。距燃烧剂库的最小安全距离为 35m。

10 1.3 加注库区应有适合固定贮罐安装或移动贮罐停放的位置，贮罐区宜布置在加注站边缘一侧；设备间、备附件间、维修清洗间、供配气间、前端设备间宜布置在加注库区另一侧，其防火间距应按 GB 50016 的规定执行。

10.1.4 氧气排放管与加注站的其他建（构）筑物或设施的防火间距应按 GB 50016 的规定执行。

10.2 安全距离

10 2 1 液氧加注库区与居民建筑、公共交通及相容物贮存场所的安全距离应不小于 30.5m。

10 2 2 液氧加注库区与明火发生地的距离应不小于 35m。

10.2.3 液氧加注库区与架空电线的防火间距应不小于 1.5 倍杆高。且不小于 15m。

10.2.4 氧气排放口应高于周围建筑 5m 以上，与其他建（构）筑

物距离不小于20m，氧气排放口与氢气排放口的水平距离应不小于30m，两排放口不能相对，且要避开上、下风方向，氧气排放口要比氢气排放口低5m。

10 2 5 其它建（构）筑物之间的防火间距应按GB 50016的规定执行。

10 3 道路

10.3 1 液氧加注库区周围应设环形通道，至少应有两处与发射场疏散道路相连，道路应满足最大罐车通行要求，并且应不小于6m。

10 3.2 液氧加注库区的建（构）筑物的外门或疏散口宜直接面向环形通道。

11 土建

11 0 1 液氧加注库区的建（构）筑物应为一级耐火等级，并应符合GB 50016的有关规定。

11.0.2 液氧加注库区的建（构）筑物宜根据使用和防护要求建成地面式和敞开式。其防护能力由试验场总体要求决定。

11.0.3 贮罐罐端之间的净距离不小于相邻两罐中较大贮罐半径，并不小于1m；罐壁与墙壁之间的净距离应不小于1m；人员通道净宽应不小于0.8m。

11 0 4 贮罐区应通风良好，可设活动屋顶或轻型屋顶。

11 0 5 液氧加注库区的建（构）筑物的防护要求，应根据发射场总体要求确定。

11 0 6 结构的防护设计载荷，应考虑可能同时作用的不同类型荷载组合。一般按静荷载（恒荷载和活荷载）与动荷载（爆炸荷载）的组合荷载，并考虑动荷载组合时的组合系数。

12 电气

12.1 一般规定

12.1.1 液氧属乙类助燃液体，液氧加注站的建（构）筑物的火灾危险等级应为乙级。

12.1.2 液氧加注库区的电气设计和设备选型应符合GB 50058的有关规定。

12.1.3 加注贮罐区及设备间、配气间宜设置符合环境要求的摄像头。

12.1.4 火灾自动报警系统应按一级工业建筑保护对象设计。

12.2 供电及电气设备

12.2.1 液氧加注库区工艺用电和消防用电为一级负荷，照明与空调用电为二级负荷。

12.2.2 液氧加注库区供电宜由发射场统一供电。

12.2.3 液氧加注库区供电系统的接地型式在电源进线柜之后应采用TN-S系统。

12.2.4 液氧加注系统的电气设备应符合防爆要求，防爆电器的结构型式应符合GB 3836.1的要求。

12.2.5 液氧加注库区及各建（构）筑物内的供配电线路应采用铜芯导线。

12.2.6 液氧加注场地各建（构）筑物之间的室外电线应为铠装电缆。

12.3 防雷、防静电及保护接地

12.3.1 液氧加注库区应按GB 50057的要求设置防雷、接地设施。

12.3.2 液氧加注库区应按GB 50057第二类建（构）筑物防雷要求设计，采取防直击雷、防雷电感应、防雷电波侵入和防雷击电

磁脉冲的措施，装设避雷装置。

12 3 3 避雷针的高度和布局应足以保护整个贮存场所。若贮存场所设有氧排气管，避雷装置的空间保护范围应至少高出排空管5m，避雷针与排空管的水平距离不小于10m。

12 3 4 加注库区内所有金属物件（如贮罐、管路、支构架、电气设备导电外壳、电线电缆金属保护管或金属外皮等）均应作等电位连接及保护接地。

12.3 5 液氧贮存场所应设置接地极。建筑物、贮罐管道设备等均应设有与接地极分系统连接的接点，接地电阻不大于 4Ω ，并形成联合接地系统。接地装置应符合按GB 50150的规定。

12.3.6 管路每隔20m设接地，每对法兰设连接带跨接，跨接电阻不大于 0.03Ω 。

12 3 7 液氧场地、塔架等氧环境入口处应设导静电棒接地装置，接地电阻应小于 100Ω 。

12 3 8 控制、测量、信号电缆应采取屏蔽措施，屏蔽层应接地。

12 3.9 液氧加注库区应采用共用接地系统。各种防雷接地（除独立避雷针接地外）、电源接地、保护接地、屏蔽接地、信息系统接地及防静电接地等共用接地系统，应进行等电位连接。

12 3 10 户外低温容器防止雷击装置的最大冲击接地电阻为 30Ω 。

12 3 11 公路槽车应设接地环，罐体与底架之间应用铜线连接以保持等电位，接地环接地电阻不大于 4Ω 。

13 消防、给排水

13.1 消防

13.1 1 液氧贮存场所应配备灭火器、消防车、消火栓等消防设

施。按GB 50219的规定设置。

13.1.2 灭火器可采用干粉化学灭火器和二氧化碳灭火器，其最低配置数量为每辆铁路罐车4台，每辆公路罐车2台，每个大型贮罐6台。

13.1.3 消防设计应符合GB 50016的规定。

13.1.4 液氧加注库区应按GB 50140的规定配置建筑灭火器材。

13.1.5 液氧加注系统应按GB 50116的规定设置火灾自动报警。

13.2 给排水

13.2.1 液氧加注库区应设消防给水系统、生活及清洗给水系统等。

13.2.2 液氧加注库区应设雨水排水设施等。

14 采暖通风

14.1 采暖与空调

14.1.1 液氧加注库区的采暖、空调与通风系统应采取防爆措施。

14.1.2 建（构）筑物宜设暖通设施和空调，工作期间前端控制设备室、配气间、化验室和仪表间温度 $16^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于85%。器材间和维修间为 $8^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 。

14.2 通风

14.2.1 液氧加注站的建（构）筑物应采用自然通风。

14.2.2 液氧加注站的部分房间、半封闭的管廊及竖井宜用机械通风。

14.2.3 通风设施的进风口宜在下方，而排风口在上方。

15 液氮加注系统

15.1 一般规定

GJB 7763.2—2013

15.1.1 发射场用液氮出厂指标和使用指标应符合 GJB 3403 和 GJB 2253A 的规定。

15.1.2 液氮与氮气的物化性能参数见附录 B。

15.1.3 除下述要求外，液氮加注系统中的液氮贮罐、加注管路、管路组件、供气、测量仪表与自动控制、总平面布置、土建和给排水等设计要求可参照液氧加注系统有关对应条款执行。

15.2 液氮贮存、运输与输送

15.2.1 贮罐区

15.2.1.1 液氮贮罐区的总贮量应包括试验发射任务所需的液氮用量，产生氮气所需的液氮量、运输和贮存中液氮汽化损耗量及其他需要液氮作冷源的用量等。

15.2.1.2 液氮贮罐区可与液氧贮罐区或液氢贮罐区合并建设，也可单独设立罐区。

15.2.2 液氮贮罐

15.2.2.1 液氮贮罐可建成固定式和移动式。

15.2.2.2 固定式液氮贮罐宜建成卧式圆筒形，大容量贮罐可建成立式拱顶平底罐。

15.2.2.3 移动式液氮贮罐宜建成公路槽车。

15.2.3 液氮运输与输送

15.2.3.1 液氮运输通常采用公路槽车。

15.2.3.2 液氮输送宜用泵式输送，也可采用挤压式输送或泵输挤压联合输送。

15.3 液氮应用

15.3.1 发射场液氮用作以下冷源：液氧降温用过冷器的冷源；氢气、氦气降温用热交换器的冷源；低温纯化器用冷源，其他需降温的设备。

15.3.2 用作低温系统调试介质：用于液氢、液氧、冷氦等贮罐

或管路的调试。

15.3.3 用作氮气的气源：可汽化增压制氮气，压缩氮气用于系统气检、吹除、置换、气动控制和灭火等。

15.4 液氮系统

15.4.1 液氮系统由液氮贮罐、增压汽化器、输送泵、管路、控制阀门和测量仪表等组成。

15.4.2 液氮贮罐、增压汽化器、输送泵、管路和控制阀门等宜采用与液氧系统相同或相近似的设备。

15.4.3 液氮系统用测量仪表宜采用与液氧系统相同或相近似的仪表，单独设站的液氮加注站，其测量传感器可不防爆。

15.5 液氮系统的安全防护

15.5.1 液氮加注站的设备及管路应有可靠的绝热层。

15.5.2 液氮加注站的工程设施应地形敞开、平坦，通风良好。

15.5.3 管路、设备及其连接点应密封可靠，防止泄漏和喷溅。

15.5.4 液氮加注站所有的密闭空间应有强制通风。

15.5.5 氮气压缩机间的通风换气次数，应按室内空气中氧含量不小于19.5%的要求确定，设计时按室内换气次数每小时不少于3次，事故通风每小时换气次数不少于7次计算。宜设氧含量检测报警装置。

15.5.6 液氮高空排放时，应设有单向阀，且应有防雨雪、防异物进入、防水汽凝集和冻结的措施。

15.6 液氮系统工程设施

15.6.1 液氮加注站宜与液氧加注站或液氢加注站合并设置。

15.6.2 单独设站的液氮加注站宜布置在与液氧加注站、液氢加注站、氮气压缩站相对位置较近的地方，要求地形平坦、敞开，易于气体扩散，加注站与周围建（构）筑物的安全距离应满足GB 50016的规定。

GJB 7763.2—2013

15 6 3 液氮加注站的建（构）筑物宜为二级耐火建筑，建（构）筑物宜为地面式或敞开式，其防护能力由试验场总体要求决定。

15 6 4 液氮加注站应由试验场统一供电，工艺用电为一级负荷，照明与空调用电为二级负荷。单独设站的液氮加注站，其测量仪表的传感器可不用安全栅。

15 6.5 液氮加注站的建（构）筑物应采用自然通风，房间、管廊和竖井宜采用机械通风。

15.6 6 液氮排放管应引至远离加注工作站现场，宜采用高空排放。

15.6 7 有人操作的充装站应设计氧浓度报警系统。

附录 A
(资料性附录)
氧的物化性能参数

氧的主要物化性能见表 A. 1。

表 A 1 氧的物化性能参数

项 目	物化性能
特征	天蓝色透明液体
标准大气压下的沸点, K	90. 19
沸点下的液体密度, kg/m ³	1140
标准大气压下的密度, kg/m ³	1. 43
沸点下的动力粘度, Pa·s	190×10^{-6}
0℃时在空气中的扩散系数, m ² /s	$1. 53 \times 10^{-5}$
变为标准大气压下气体体积倍数	800
临界温度, K	154. 8
临界压力, MPa	5. 08
汽化潜热, kJ/kg	212. 9

附录B
(资料性附录)
液氮和氮气的物化性能参数

液氮和氮气的主要物化性能见表B. 1。

表B 1 液氮和氮气的物化性能参数

项 目		物化性能
液 氮	特征	无色透明液体
	标准大气压下的沸点,K	77. 31
	标准大气压下的密度,kg/m ³	810
	变为标准大气压下气体体积倍数	643
	沸点下的汽化潜热,kJ/kg	198. 4
	沸点下的动力粘度,Pa·s	$1. 67 \times 10^{-4}$
	临界温度,K	126. 1
	临界压力,MPa	3. 39
氮 气	特征	无色无味气体
	标准大气压下的密度,kg/m ³	1. 25
	动力粘度,Pa·s	$1. 65 \times 10^{-5}$

中 华 人 民 共 和 国
国家军用标准
航天发射场
低温推进剂加注系统设计规范
第2部分:液氧(液氮)
GJB 7763.2—2013

*
中国人民解放军总后勤部
后勤科学研究所印刷
*

开本 880×1230 1/32 印张 1 125 字数 25.7 千字
2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月第一次印刷
印数 1—600