

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1617

QJ 20032—2011

液体火箭发动机金属软管通用规范

General specification for metallic hose assemblies
of liquid rocket engine

2011—07—19 发布

2011—10—01 实施

国家国防科技工业局 发布

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六研究院第十一研究所。

本规范主要起草人：张兴军、董灏。

液体火箭发动机金属软管通用规范

1 范围

本规范规定了液体火箭发动机金属软管的技术要求、质量保证规定和交货准备。

本规范适用于液体火箭发动机摇摆用金属软管（工作温度范围为 $-253^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，工作压力不超过 20MPa ）的研制、生产、试验和验收。液体火箭发动机补偿用金属软管可参照执行。

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。

- GB/T 3089—1982 不锈钢耐酸钢极薄壁无缝钢管
- GB/T 3104 紧固件 六角产品的对边宽度
- GB/T 4226—1984 不锈钢冷加工钢棒
- GB/T 4240—1993 不锈钢丝
- GB 4844.2—1995 纯氦
- GB/T 8979—1996 纯氮
- GB/T 10046—2000 银钎料
- GJB 2294—1995 航空用不锈钢及耐热钢棒规范
- QJ 1156A—1996 钢件硬钎焊技术条件
- QJ 1842—1995 结构钢、不锈钢熔焊技术条件
- YB/T 5092—1996 焊接用不锈钢丝

3 要求

3.1 总则

液体火箭发动机金属软管（以下简称金属软管）应符合本规范和相应详细规范规定的要求。本规范的要求与详细规范不一致时，应以详细规范为准。

3.2 重量

金属软管在实现其功能的前提下，重量应尽可能轻，并符合详细规范的要求。

3.3 尺寸

金属软管的尺寸应满足发动机摇摆、连接部位相对位移补偿的需要，并符合详细规范的要求。

3.4 外观质量

3.4.1 金属软管的密封表面不应有划伤、碰伤、裂纹、擦伤、毛刺、砂眼、焊渣等缺陷，表面粗糙度应符合图样的要求。

3.4.2 金属软管内外表面应清洁干燥，不应有锈蚀、油腻、污垢、铁屑等残余物存在，不应有焊渣和焊接飞溅物、烧伤。

3.4.3 钢丝网套与波纹管应贴合。

3.4.4 波纹管的内外表面应无视觉可见的尖锐压坑、划伤、折叠、焊接飞溅物、裂纹、锈蚀、氧化皮等缺陷。

3.4.5 波纹管表面允许有不伤基本金属的轻微模具压痕。

3.4.6 钢丝网套应以波纹管为芯编网，编网时不应划伤波纹管。

3.4.7 钢丝网套不应有压伤、松套现象，各股的松紧度应均匀一致；在一个编织距内，允许断丝 1 根，但每根金属软管的断丝总数不超过 3 根，且断丝端头不应指向波纹管表面。

3.4.8 钢丝网套的网花应均匀分布，其表面应平整光滑，不应有折叠、扭曲等缺陷。

3.4.9 每 100mm 长度的钢丝网套上，叠丝数应小于钢丝总数的 5%，全长每锭叠丝不多于 5 处。

3.4.10 每 100mm 长度的钢丝网套上，弯丝数应小于钢丝总数的 2%，全长每锭弯丝不多于 3 处。

3.5 标志和代号

每根金属软管应在网体环上刻写图号、批号和序号。

3.6 材料

3.6.1 原材料应有符合详细规范要求的出厂合格证，入厂复验应合格。

3.6.2 波纹管的管胚材料应符合 GB/T 3089—1982 的规定，尺寸精度按“高级”要求，表面不应划伤。

3.6.3 钢丝网套的材料应符合 GB/T 4240—1993 的规定。

3.6.4 外套螺母、接头的材料应符合 GJB 2294—1995 或 GB/T 4226—1984 的规定。

3.6.5 金属软管主要零件及焊丝、钎焊料的常用材料见表 1，所用材料应符合详细规范的要求，亦可根据双方协定，采用其它材料。

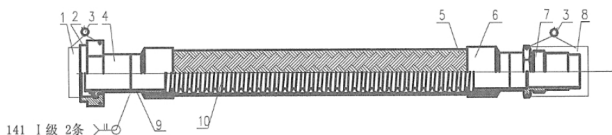
表1 金属软管主要零件及焊丝、钎焊料常用材料表

零件名称	材料		
	名称	牌号	标准号
无缝波纹管	不锈钢耐酸钢极薄壁无缝钢管	00Cr18Ni10	GB /T 3089—1982
		00Cr17Ni14Mo2	
钢丝网套	不锈钢丝	0Cr18Ni9	GB/T 4240—1993
接头 外套螺母	不锈钢冷加工钢棒	0Cr18Ni9	GB/T 4226—1984
		2Cr13	GJB 2294—1995
焊丝	焊接用不锈钢丝	H0Cr21Ni10	YB/T 5092—1996
钎焊料	银铜锌	B—Ag45CuZn	GB/T 10046—2000

3.7 结构形式

3.7.1 金属软管的结构形式如图 1 所示，常用规格和基本参数见表 2，接头形式应满足使用环境条件，力求结构简单可靠，若使用环境温度高于 300℃时，应按详细规范的要求对参数进行适当修改。

金属软管的密封结构形式和应用范围见表 3。



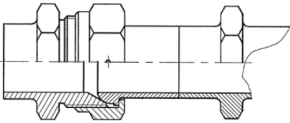
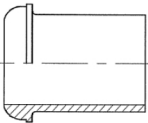
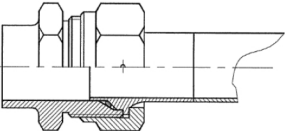
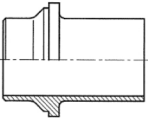
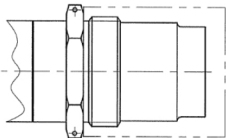
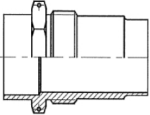
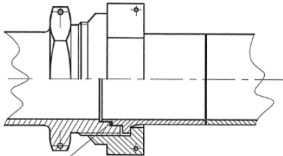
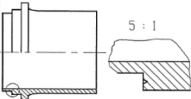
1—堵头； 2—外套螺母； 3—保险铅封； 4—接头； 5—钢丝网套；
6—环； 7—焊接接头； 8—堵盖； 9—接管； 10—波纹管

图1 金属软管结构示意图

表2 金属软管基本参数

公称直径 mm	接头内径 mm	最小弯曲半径 mm		公称压力 MPa	钢球直径 mm	最小爆破压力 MPa
		静态	动态			
4	2.5	40	80	20	1.5	60
	4				3	
6	4.5	60	120		3.5	
	6				5	
8	6.5	80	160	10	5.5	40
	8				7	
10	8.5	100	200		7.5	
	10			9	32	
12	12	120	240	8		11
	14					14
16		180	360			15
18	18			200	400	6.3
	20	240	480			
24	22			240	480	
	24	320	640			4
32	28			320	640	
	32					

表3 金属软管接头密封结构形式

序号	接头连接结构图	接头形式	特点及应用范围
1	 <p>球头—喇叭口连接结构</p>	 <p>球型接头</p>	结构简单, 拆卸方便, 易于实现标准化、系列化, 对于直径小于 $\Phi 10\text{mm}$ 的管路, 在各种压力、温度和介质下均可应用。但对于大直径接头的连接, 结构可靠性相对较差。
2	 <p>锥面—胶圈连接结构</p>	 <p>锥面接头</p>	结构相对简单, 压力越高, 密封性能好, 易于实现标准化、系列化。对于直径小于 $\Phi 22\text{mm}$ 的管路, 常温下均能可靠密封。但对管偏斜补偿能力差, 对于刚性较大的连接, 装配困难。
3	 <p>焊接连接结构</p>	 <p>焊接接头</p>	结构简单, 可靠性高, 适用于各种压力、温度和介质条件的不可拆卸连接。只要工艺条件允许, 应尽可能采用焊接型式。但只能用于不可拆卸的一次性连接。
4	 <p>金属垫 台阶型导管连接结构</p>	 <p>凸台阶接头</p>	结构相对较为复杂, 适用于小直径、高压、各种温度条件连接。密封件采用紫铜、铝等软金属, 并在密封台阶的中部加工V形槽, 使金属垫压入V形槽, 形成密封齿。

- 3.7.2 波纹管、接管及环的结构及连接形式应符合图样要求。
- 3.7.3 在金属软管两端应设计卡扳手的背方结构，背方结构对边宽度应略大于金属软管接头外径且符合 GB/T 3104 的规定。
- 3.7.4 两端接头应设计连接螺纹、外套螺母、六角结构及保险孔。
- 3.7.5 对于采用外套螺母连接的金属软管，一般在外套螺母退刀槽部位应设计 $\phi 1.5\text{mm}$ 检漏孔。
- 3.7.6 用于发动机摇摆的金属软管，设计应使摇摆轴线通过金属软管长度中心附近。金属软管最小弯曲半径一般应大于 10 倍的公称直径。
- 3.7.7 设计时，金属软管应尽量处于通过摇摆轴中心线垂直于发动机摇摆平面的平面内，当两端固定，确定金属软管长度时，一般两端应有合适的直线段，最小弯曲半径一般不小于 10 倍的公称直径，并适当加上制造和装配偏差作为金属软管的实际长度，如图 2 所示。

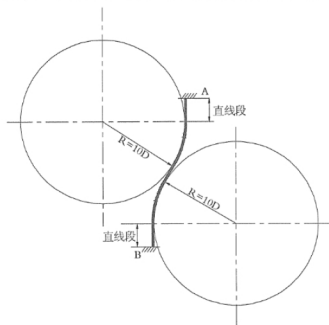


图2 确定金属软管长度示意图

- 3.7.8 当金属软管不能处于通过摇摆轴中心线垂直于发动机摇摆平面内时，设计金属软管长度时应考虑发动机摇摆时产生的线性伸长。
- 3.8 制造和工艺
- 3.8.1 波纹管采用不锈钢极薄壁无缝钢管成型，成型、制造应符合详细规范的要求。
- 3.8.2 波纹管在交付编网之前对出现的长度超差允许校正一次，一般校正量不超过 $\pm 10\text{mm}$ ，波纹管变形应均匀。
- 3.8.3 金属软管的熔焊应符合 QJ 1842—1995 的规定。
- 3.8.4 金属软管的钎焊应符合 QJ 1156A—1996 的规定。
- 3.8.5 接头与网体焊接采用氩弧焊，焊缝质量应符合 QJ 1842—1995 中 I 级规定。
- 3.8.6 波纹管与接管焊接时，两轴线应无明显偏斜，应防止内外表面被电弧和飞溅物烧伤和打伤，焊缝不应呈锯齿状，仅允许补焊一次。波纹管渗漏不应补焊。
- 3.8.7 钎焊时，应满足如下条件：
- 钎焊料应完整包容接管与波纹管相接的焊缝和临近的两个波距以上的波纹管段；
 - 钎焊料应完全充填环内；

- c) 钎焊料溢出外环端面应光滑均匀,且靠网体端不大于 2mm,在接管端头 6mm 内不应粘附钎焊料。
- 3.8.8 无法进行 X 射线照相检验的焊缝由工艺采取措施保证质量,一般采用焊试验件、剖切检查等方法保证。为便于焊透,允许增加焊接倒角,倒角尺寸由工艺确定。
- 3.8.9 焊接后应去除焊接造成的氧化皮。
- 3.9 装配
- 3.9.1 金属软管装配、试验厂房应符合下列要求:
- a) 厂房地面应为水磨石、木地板等不起尘地面,应能满足防水、防沙尘的要求;
 - b) 温度范围为 15℃~28℃,相对湿度不大于 80%;
 - c) 配备符合要求的水、电、气源;
 - d) 符合环保、技安及消防规定;
 - e) 具有通讯、照明和消防设备;
 - f) 配备 X 射线检查、压力试验等防护装甲室;
 - g) 不应存放杂物、易燃及腐蚀性物品;
 - h) 无鼠、虫、鸟类等有生命的多余物。
- 3.9.2 提交金属软管装配的全部零、部件(含标准件、外购件、外协件)应附有质量证明文件,超差件应有识别标记,并将超差情况记载在质量证明文件上。
- 3.9.3 装配前,全部零、部件,装配工装及试验中与金属软管相配合的各种试验工装均应清洗除油,清洗除油的方法、要求及检验应符合详细规范的要求,清洗后所有零件用干净的压缩空气或纯氮吹干。
- 3.9.4 金属软管两端接头的端面外圆对网体中心线的径向跳动量不大于 2.5mm。
- 3.9.5 金属软管应能使表 2 规定的钢球通过内腔。
- 3.10 性能特性
- 3.10.1 强度
- 金属软管按表 2 规定公称压力的 1.5 倍进行液压试验,保压 10min,不应渗漏。
- 3.10.2 密封性
- 金属软管按表 2 规定的公称压力进行气密性试验,保压 15min,不应渗漏。
- 3.10.3 抗腐蚀
- 金属软管在表 2 规定的公称压力下,放入 3.5%氯化钠溶液,浸泡 8min~10min 进行试验,重复 50 次,不应渗漏,试验后其强度应符合 3.10.1 的要求。
- 3.10.4 抗冲击性
- 金属软管进行抗冲击性试验,压力变动范围为 $0^{+0.5}$ ~1 倍公称压力,频率为 0.5Hz,累计次数一般不少于 30 次,试验后其性能应符合 3.10.1、3.10.2 的要求。
- 3.10.5 振动
- 金属软管在表 2 规定的公称压力下以频率为 50 Hz±5Hz、加速度 10g、连续振动 10min 进行试验,不应渗漏,试验后其性能应符合 3.10.1、3.10.2 的要求。
- 3.10.6 摆动疲劳
- 金属软管在表 2 规定的公称压力下进行摆动疲劳试验,累计摆动一般不少于 5000 次,不应渗漏,试验后其性能应符合 3.10.1、3.10.2 的要求。

3.10.7 低温

金属软管按详细规范进行低温试验，气密性应符合 3.10.2 的要求。

3.10.8 最小爆破压力

金属软管经抗腐蚀性、抗冲击、振动、摆动疲劳试验合格后按图样和技术条件要求做外观检查，并进行液压爆破试验，其爆破压力应不低于表 2 中最小爆破压力的规定，超过表 2 压力，而未发生爆破时，可以不继续进行爆破试验。

3.11 交付与使用

3.11.1 交付飞行用发动机上的金属软管应为合格新品。

3.11.2 金属软管可以重复参加发动机地面试验，试验后应按详细规范的要求进行中和清洗，按 3.10.2 进行气密性检查，并在金属软管上打标识，记录使用情况。

3.11.3 金属软管参加发动机地面试验的次数、累积时间应符合详细规范的要求。

4 质量保证规定

4.1 检验分类

本规范规定的检验分类如下：

- a) 鉴定检验；
- b) 质量一致性检验。

4.2 检验条件

4.2.1 检验条件

除另有规定外，检验条件应符合 3.9.1 的要求。

4.2.2 仪器、仪表及量具

装配及试验用的仪器、仪表及量具应符合国家或行业标准的规定，应由计量部门检验合格并在有效期内使用；仪器、仪表及量具的量程和精度应符合使用要求。所有试验使用的压力表，图样中没有注明精度要求时，其精度等级应不低于 2.5 级，其量程为试验要求压力值的 1.5 倍~2 倍。

4.2.3 设备和装置

装配及试验用设备和装置应符合下列要求：

- a) 设备、管路应清洁、无锈，试验系统中应安装过滤器；
- b) 气路系统管路，试验前应先利用压缩气体吹除，然后用双层白绸布靠近压缩气体出口与金属软管对接端，吹除 1min，不应在绸布上沾有任何多余物；
- c) 试验所用的接头、堵盖及接管嘴应确保试验的安全可靠，不应损伤金属软管密封面和螺纹。试验后，接管嘴和接头的密封面上允许有均匀的轻微环形压痕，但不应有划伤、碰伤、凹陷、锈蚀和其它缺陷。

4.2.4 试验介质

试验介质应符合下列要求：

- a) 金属软管试验和吹除用气体可为压缩空气、纯氮或纯氩，纯氮应符合 GB/T 8979—1996 中规定的“一级品”技术指标；纯氩应符合 GB 4844.2—1995 中规定的“合格品”技术指标；压缩空气应洁净、无油污、机械杂质等，在当时当地的大气压下其露点应不高于 -40℃；露点检查合格后有效期为 24h；含油量应不大于 3×10^{-7} （体积比）；
- b) 液压试验用水为经小于 70 μm 滤网过滤后的干净自来水或蒸馏水。

4.3 鉴定检验

4.3.1 检验时机

出现下列情况之一时，金属软管应进行鉴定检验：

- a) 新产品及转厂生产的老产品；
- b) 产品结构、关键工艺或材料有重大变化时；
- c) 中断生产超过 2a 后，恢复生产时；
- d) 合同规定进行鉴定检验要求时。

4.3.2 检验项目

鉴定检验的项目、顺序、要求和方法见表4。

表4 检验项目表

序号	检验项目	鉴定 检验	质量一致性检验		要求章 条号	检验方法 章条号	
			A组检验	D组检验			
1	重量	●	●	—	3.2	4.5.1	
2	尺寸	●	●	—	3.3	4.5.2	
3	外观质量	●	●	—	3.4	4.5.3	
4	标志和代号	●	●	—	3.5	4.5.4	
5	性能 特性	强度	●	●	—	3.10.1	4.5.5
6		密封性	●	●	—	3.10.2	4.5.6
7		抗腐蚀	●	—	○	3.10.3	4.5.7
8		抗冲击	●	—	●	3.10.4	4.5.8
9		振动	●	—	●	3.10.5	4.5.9
10		摆动疲劳	●	—	●	3.10.6	4.5.10
11		低温	●	—	○	3.10.7	4.5.11
12		最小爆破压力	●	—	●	3.10.8	4.5.12
注：●必检项目；○订购方和承制方协商检验项目；—不检项目。							

4.3.3 检验数量

检验数量不少于3根。

4.3.4 合格判据

金属软管的鉴定检验全部通过为合格。任一检验项目不合格时，若属于金属软管本身故障，应查明原因排除故障后再次进行检验，若仍不符合要求，则鉴定检验不合格。

4.4 质量一致性检验

4.4.1 检验项目

质量一致性检验的检验项目、顺序、要求和方法见表4。

4.4.2 抽样

4.4.2.1 组批规则

同一技术状态、同时投产、按同一工艺规范生产的金属软管为一个批次。

4.4.2.2 抽样方案

每根金属软管均应进行A组检验。

从A组检验合格的同一批金属软管中随机抽取5%（不应少于3根）进行D组检验。

4.4.3 合格判据

4.4.3.1 A组检验中，出现不符合要求的项目时，若属于金属软管本身故障，允许在查明原因排除故障后再次提交检验。若仍不符合要求，则判定该根金属软管为不合格品。

4.4.3.2 D组检验中，若有任何一根、任何一项检验不合格，则应查明原因，另行抽取两倍数量的金属软管重新进行检验，若全部合格，则该批金属软管为合格品，否则该批金属软管为不合格。

4.4.3.3 经D组检验的金属软管不应作为合格品交付。

4.5 检验方法

4.5.1 重量

在不装保护件的情况下，用感度为10g的衡器称量金属软管的重量。

4.5.2 尺寸

金属软管的长度和接头尺寸应用满足尺寸精度要求的量具进行检查，内腔用表2规定的钢球进行检查。

4.5.3 外观质量

目视检查金属软管外表面和可见内表面质量。

4.5.4 标志和代号

目视检查金属软管网体环上的图号、批号和序号。

4.5.5 强度

金属软管在装甲室充入表2规定公称压力1.5倍的水进行液压试验，保压10min。

4.5.6 密封性

金属软管充入表2规定的公称压力的气体，用浸水法进行气密性试验，保压15min。

4.5.7 抗腐蚀

金属软管充水至表2规定的公称压力，放入3.5%的NaCl溶液中浸泡8min~10min，自然风干50min~60min，重复50次。

4.5.8 抗冲击性

金属软管充水进行抗冲击试验，压力变动范围为 $(0.95 \sim 1)$ 倍公称压力，频率为0.5Hz，累计次数一般不少于30次。

4.5.9 振动

金属软管充水至表2规定的公称压力进行振动试验，模拟金属软管装配位置以频率为 $50\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，振动加速度为10g连续振动10min，如图3所示。

4.5.10 摆动疲劳

金属软管充水至表2规定的公称压力进行摆动疲劳试验，模拟金属软管装配位置及发动机摇摆角度，累计摆动一般不少于5000次，如图4所示。

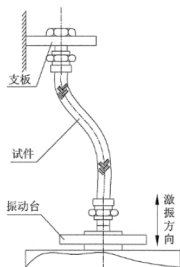


图3 振动试验试件安装示意图

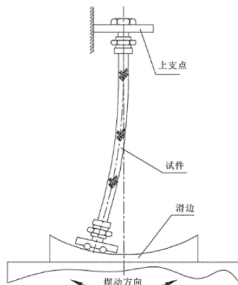


图4 摆动疲劳试验试件安装示意图

4.5.11 低温

金属软管充入液氮，按4.5.10要求的摆动次数和角度进行摆动，摆动时间一般在1h内，试验过程中检测摇摆软管壁温。液氮的压力、温度应符合详细规范的要求。

4.5.12 最小爆破压力

金属软管充水后逐渐加压至表2规定的最小爆破压力，超过表2最小爆破压力，而未发生爆破时，可以继续不进行爆破试验。

5 交货准备

5.1 清洗、烘干、包装

5.1.1 金属软管交付前一般应用干净的自来水或蒸馏水逐根冲洗吹除后抽真空烘干。冲洗时金属软管内腔充入适量自来水或蒸馏水，堵住两端，快速晃动，使液体冲刷壁面，然后将水倒入白瓷盆中，无肉眼可见杂质、污垢为清洗合格。吹除用压缩空气或纯氮气。烘干温度为 $100^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，时间一般不少于40min。烘干后内腔及外表面不应有水分、污垢和多余物。

5.1.2 金属软管清洗烘干并冷却到室温后，按要求逐根装配保护堵盖、堵头。堵盖、堵头在装配前用汽油或酒精清洗干净。

5.1.3 对金属软管两端的保护堵盖、堵头进行铅封。

5.1.4 金属软管用牛皮纸或塑料布包装后装箱。

5.2 装箱

金属软管包装箱应标明制造厂名称、产品名称、型号、件数、出厂日期，一个包装箱只能装一种规格的金属软管，包装箱应铅封，包装箱内应有产品合格证。产品合格证的内容包括金属软管的图号、批号和序号，金属软管符合技术条件及图样要求的结论，批次抽检爆破压力值。

5.3 运输

5.3.1 金属软管运输过程中应小心轻放避免碰撞，保证金属软管不受腐蚀、潮湿、脏污、机械损伤和翘曲变形，严禁与酸、碱等物品混放。

5.3.2 金属软管装配后随发动机一起运输时，运输应符合发动机运输的要求，运输中金属软管应固定牢靠，避免一端悬空和晃动。

5.3.3 金属软管运输应按详细规范的要求做相应记录。

5.4 贮存

5.4.1 金属软管在库房保管时，应不受腐蚀、潮湿、脏污、机械损伤和翘曲变形。

5.4.2 金属软管存放在温度范围为 15℃~28℃、相对湿度不大于 80%、无腐蚀性气体的库房中。

5.4.3 存放超过 5a 的金属软管，应按 3.10.2 逐根进行气密性试验，合格后方可使用，气密性试验后按 5.1 进行吹除、烘干和封装。

5.4.4 参加过试验的金属软管应打标识并单独保管，在存放期间内应用牛皮纸或塑料布包扎两端。

5.4.5 金属软管贮存应按详细规范的要求做相应记录。
