

# 高压管路快速连接件设计与应用

张 彤, 刘 婷, 王兵骁  
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 管路连接操作在液体火箭发动机组件液流试验中非常频繁, 为了提高试验效率、降低试验过程中密封件的损耗, 需要将现用的连接方式进行改进, 而高压快速连接接头在国内市场并没有成品。因此, 结合实际操作对液流试验用的连接接头进行了重新设计, 并经过不断改进和验证, 达到了快速、可靠的连接目的。

**关键词:** 液流试验; 连接方式; 快速连接件

**中图分类号:** V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2017) 04-0076-04

## Design and application of a quick connector for high pressure pipe

ZHANG Tong, LIU Ting, WANG Bingxiao  
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Pipe connection operations are frequently conducted during fluid tests for liquid rocket engine components tests. For higher test efficiency and less consumption of seals improved method for pipe connection is needed. Proper products are not available in domestic market for high pressure pipe quick connection. Thus a new type of quick connector for liquid rocket engine components fluid tests is developed. Tests results show that the new design meets the requirement of quick and reliable pipe connection.

**Keywords:** fluid test; connecting method; quick connector

## 0 引言

某推力室液流试验台承担了常规运载、新一代液氧/煤油发动机等泵压式大推力发动机的推力室及其组件液流试验任务。该试验工位被试产品具有结构复杂、体积大、重量重、接口位置随结构变化等特点。为了实现试验系统与产品及工装

的连接, 需要使用 2~3 根 DN50 的高压金属软管用于补偿产品流道入口与试验系统出口间位置、距离的偏移量。高压金属软管的接头采用的是 M64×2 的螺纹连接, 为了保证螺纹连接的可靠性, 螺纹的旋合长度达到了 30 mm。因此拆装一个金属软管的接头需要花费 3 min, 装拆操作时需要 3 名操作人员一同操作。由于该试验系统是

收稿日期: 2017-06-09; 修回日期: 2017-07-13

作者简介: 张彤 (1973—), 男, 高级技师, 研究领域为液体火箭发动机液流试验

以满足每年 6 发左右运载系列发动机的当量进行设计的, 试验需求以单件小批量为主, 因此试验效率要求不高。然而, 现阶段试验任务已经成倍增长, 试验需求以批产为主, 耗时、耗力的试验操作对试验工作效率的影响愈发突出。要按时完成试验任务就必须提高试验效率。因此接头连接的操作时间长等影响试验效率的问题就非常明显的暴露出来。因此, 开展了改进连接接头, 提高工作效率的研究工作。

## 1 问题分析

### 1.1 装拆操作时间长, 操作人员多

金属软管连接时耗时较长。在进行运载系列推力室液流试验时, 为了满足产品试验流量的要求, 产品氧化剂路试验时需要使用 3 根金属软管、燃料路试验时需要使用 2 根金属软管, 在试验前须将金属软管与系统考台件连接, 进行系统考台。系统考台后将金属软管从考台件上拆下, 再分别与产品氧化剂路和燃料路的入口工装连接。改进前单台推力室液试过程管路接头连接工时统计见表 1。

表 1 改进前管路接头连接工时统计表

Tab. 1 Man hour used for pipe connection with old product

试验工序	装/卸次数	操作人数	平均耗时/ min	工时/h
氧化剂路 系统考台	3	3	10	0.17
燃料路系 统考台	2	3	7	0.12
氧化剂路 液试	3	3	10	0.17
燃料路 液试	2	3	7	0.12
合计	10	3	34.0	0.58

这两个环节中, DN50 的高压金属软管共计装/卸 10 次, 单次装/拆操作平均耗时 3 min 左右。即单台推力室液流试验过程中, 仅装/拆高压

金属软管就耗时 30 min 左右, 占推力室总试验时间的 28.3%。每次装/拆操作需 3 名试验工协调操作 (1 人抱持软管对中, 以保证管接头的同轴度、2 人在软管中后部进行扶持)。

### 1.2 密封件损耗大

该接头采用的是端面加非标 F4 垫片的密封形式, 每次接头紧固后都会使密封垫受挤压变形, 不仅容易造成密封失效, 同时还会造成 F4 垫片的损耗增大。由于 F4 密封垫属于非标件, 垫片尺寸大 ( $\Phi 61 \times \Phi 50 \times 3$ ), 进行加工时只能从直径  $\Phi 70$  的 F4 棒上车削, 造成了大量的材料浪费。每次从试验台位提出加工申请到垫片加工完成返回试验台位, 由于受购置原材料及加工时间的影响, 整个周期需要 1 周时间。

由此可见高压金属软管的装/拆操作对试验效率的影响较大, 同时接头的密封形式也造成试验成本加大。因此, 需要一整套新的连接方法来解决现有问题。

## 2 新连接方法的确定

### 2.1 试验要求

- 1) 试验压力: 8 MPa;
- 2) 公称直径: DN50 mm;
- 3) 密封形式简单, 密封件损耗小;
- 4) 拆卸快速便捷。

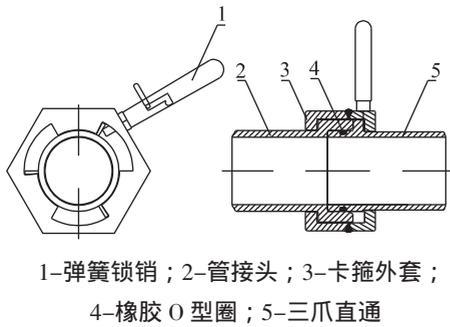
针对试验时的实际需求, 对市场现有的快速接头进行了调研。

经调研后发现, 市场相关快速连接接头中并没有适用于大通径、高压工况下具备快速装/卸功能的管接头结构形式, 因此针对推力室液流试验高工况大通径特点, 需要设计新的快速连接接头。

### 2.2 结构设计及其工作原理

经过研究决定采用卡箍式结构管道连接件, 其结构设计图及三维结构示意图见图 1 和图 2。

新设计的连接件由直通接头、三爪管接头、三爪卡箍和橡胶 O 型圈组成。安装时将三爪管接头通过卡箍上三个爪的空隙处插入直通接头, 采用橡胶 O 型圈形成径向密封, 将三爪直通头旋转  $60^\circ$  至三爪卡箍限位位置即可形成连接。



1-弹簧锁销；2-管接头；3-卡箍外套；  
4-橡胶O型圈；5-三爪直通

图1 卡箍式快速管道连接件结构图

Fig. 1 Structure of bite-type quick connector

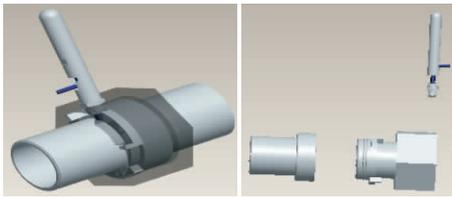


图2 卡箍式快速管道连接件三维结构示意图

Fig. 2 3D structure of bite-type quick connector

### 2.3 密封设计

橡胶O形圈的规格按GB/T3542.1-2005选取，密封腔结构和尺寸按GB/T3452.3-2005进行设计，橡胶O形圈的压制分模面为45°。见图3。

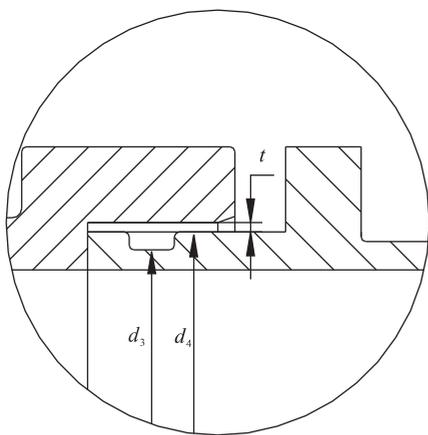


图3 径向活塞密封结构

Fig. 3 Structure of radial piston sealing

根据管径要求，选取标准O形圈。根据GB/T3452.3-2005的要求，径向密封的密封腔深度 $t$

为2.74。密封槽的底径 $d_3$ 与孔直径 $d_4$ 的关系 $d_{3\max}=d_{4\min}-2t$ ，卡箍式快速管道连接件活塞密封的密封槽底径 $d_3$ 与孔直径 $d_4$ 计算值和设计值均按国标要求进行设计。

在装配时为防止橡胶O形圈受损伤，采用15°~20°橡胶O形圈的导向角，并且导引段的长度不小于1.8 mm。

在确定密封槽宽度时，考虑了15%的橡胶O形圈体积膨胀因素，密封槽宽度设计为 $4.80_0^{+0.15}$ 。

### 2.4 卡箍连接强度计算

当产品试验压力高，密封部位直径较大时，连接接头需要承受很大的作用力，在这种情况下，需要对该结构进行强度计算，卡箍紧固结构的强度计算参照GB150中G7进行。卡箍连接结构见图4。

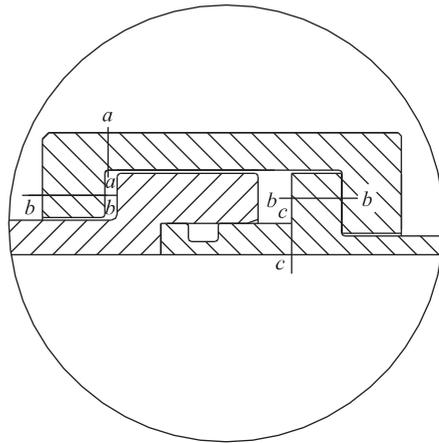


图4 卡箍连接结构示意图

Fig. 4 Connecting structure diagram

卡箍连接件中三爪卡箍 $a-a$ 、 $b-b$ 和三爪直通头 $c-c$ 截面的当量应力按照GB150中G7进行，计算结果见表2。

### 2.5 弹簧定位销

为防止因三爪卡箍和三爪直通头之间的转动而导致连接失效，在卡箍侧壁开孔并安装弹簧定位销（见图5）进行限位，弹簧定位销采用螺纹旋入式安装，在三爪卡箍与三爪管接头连接后，扳动弹簧销的手柄，通过弹簧力推动定位销至爪壁形成定位，以保证三爪卡箍在试验过程中不受振动等影响而脱落。

表 2 应力计算结果

Tab. 2 Stress calculation results

规格	部件名称	当量应力/MPa	要求值/MPa	设计值/MPa
DN50/PN8MPa	三爪卡箍	a-a 环向截面	$\leq 0.9[\sigma]^t = 165$	136
		b-b 环向截面		46
	三爪直通头	a-a 环向截面	[ $\sigma$ ]=184 (安全系数=3)	143
		b-b 环向截面		66
		c-c 环向截面		117

$[\sigma]^t$ —材料在设计温度下的许用应力，MPa； $[\sigma]$ —材料在取安全系数后的许用应力，MPa

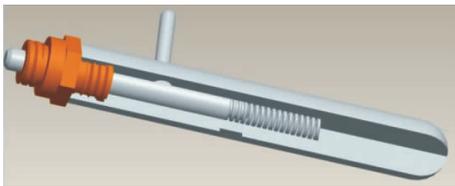


图 5 弹簧定位销结构示意图

Fig. 5 Structure of locating pin

### 3 试验验证

#### 3.1 强度及密封性试验

为保证管道连接件可靠工作，分别进行了水压强度试验和密封试验，试验结果见表 3。结果表明，试验件各项性能满足试验要求。

表 3 强度及密封试验结果记录

Tab. 3 Strength and sealing tests results record

试验名称	试验内容	试验结果
水压强度试验	通 16 MPa(设计压力 8 MPa 的 2 倍)水 5 min 进行打压	结构完好，爪片无变形
密封试验	通 9.2 MPa (设计压力 8 MPa 的 1.5 倍) 水 5 min，检查泄漏情况	不泄漏

#### 3.2 装/卸操作耗时试验

加工生产了 6 套连接件替换原系统的可焊接式液压软管接头，并跟踪、采集了使用新型卡箍式快速管道连接件接头在实际推力室液试过程的应用效果见 4。

表 4 单推力室液试过程管路接头用时情况

Tab. 4 Man hour used for single thruster fluid test

试验工序	装/卸次数	操作人数	平均耗时/min	工时/h	消耗品数
氧化剂路系统考台	3	2	4.5	0.08	无
燃料路系统考台	2	2	2.5	0.05	无
氧化剂路液试	3	2	4.5	0.08	无
燃料路液试	2	2	2.5	0.05	无
合计	10	2	14	0.26	无

实际应用中，2 名操作工装/卸 10 次金属软管仅用时 14 min，合计工时 0.26 h。装/卸时间比原来缩短 55.2%，人员工时降低 70.6%，单次推力室液试未进行橡胶 O 型圈更换。

### 4 结论

通过改进试验系统与产品及工装的连接方式，采用新的卡箍式快速管道连接件方便了操作，提升了试验效率。以长征系列发动机推力室为例，改进后推力室液流试验装卸操作人员从现有 3 人减为 2 人，试验时间减少 1 倍，达到了提高工效的目标。

该连接方式具有以下特点：

- 1) 卡箍式快速管道连接件采用径向密封代替端面密封，降低了装配对预紧力的要求；

(下转第 86 页)

(上接第 79 页)

2) 采用橡胶 O 型圈代替 F4 密封垫消除了试验对 F4 垫消耗品的需求；

3) 采用三爪卡箍式快速装/拆方案实现了快速安装、拆除功能。

4) 采用弹簧定位销防止了三卡爪卡箍的滑动，避免连接件在未受压时脱开。

通过强度及密封性校核，证明连接件设计合理，强度、密封性满足使用要求。

参考文献：

- [1] 苗春生, 王仁华, 运飞宏, 等. 卡爪连接器卡爪周向定位及运动稳定性研究[J]. 石油机械, 2016, 44(11): 49-53.
- [2] 王国杰. 压接式连接器自动压接工艺技术研究[J]. 科技创新与应用, 2017(2): 120-121.

- [3] 衡波志, 冷小磊. 卡套式管接头性能分析[J]. 机械制造与自动化, 2016(4): 28-30.
  - [4] 陈亚琦, 李静, 吴彦文. 卡套式连接导管接头脱落故障分析[J]. 山东工业技术, 2016(5): 239.
  - [5] 李国真, 张丽琴, 陶鹏. 管接头 O 形圈密封故障分析及防范措施[J]. 液压气动与密封, 2015(6): 38-40.
  - [6] 闻邦春. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
  - [7] 范贤峰. 卡套式管接头在管路系统中的运用与分析[J]. 仪器仪表用户, 2015(3): 69-71.
  - [8] 杜春臣, 林立峰. 卡套式管接头的应用研究[J]. 柴油机设计与制造, 2015(4): 35-38.
  - [9] 张树强, 陶正, 陈杰, 等. 旋转式唇形密封圈开启特性研究[J]. 火箭推进, 2016, 38(5): 52-57.
- ZHANG Shuqiang, TAO Zheng, CHEN Jie, et al. Research on opening characteristics of rotary lip seals [J]. Journal of rocket propulsion, 2016, 38(5): 52-57.

(编辑：陈红霞)