

运载火箭铆接舱体防雨密封技术研究及应用

张柳锋 梁莹 王业伟 方新宇 叶顺坚

(上海航天精密机械研究所, 上海 201600)



摘要: 针对某型号运载火箭的防雨密封要求, 研究了一种兼顾防雨密封效果和施工周期的防雨密封技术, 主要在铆钉连接处、螺钉连接处和舱体外表面搭接缝隙处实施防雨密封措施。将此防雨密封技术应用于实际铆接舱体, 产品经过淋雨试验考核, 舱体内表面未出现漏雨漏水等情况, 验证了此防雨密封工艺的有效性, 目前该技术已应用于该运载火箭铆接舱体的生产。

关键词: 铆接舱体; 防雨密封; 涂胶; 密封腻子带

Research and Application of Rain Proof Sealing Technology for Riveted Cabin of Launch Vehicle

Zhang Liufeng Liang Ying Wang Yewei Fang Xinyu Ye Shunjian

(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600)

Abstract: A kind of rain proof sealing technology was studied, which considered both the effect of rain proof sealing and the construction period. The rain proof sealing technology is applied to the actual riveted cabin products. After the rain test, there is no leakage of rain and water on the interior surface of the cabin, which verifies the effectiveness of the rain proof sealing technology. At present, the technology has been applied to the production of riveted cabin of a carrier rocket.

Key words: riveted cabin; rainproof seal; rubber coating; sealing putty tape

1 引言

运载火箭结构系统主要包括推进剂贮箱和铆接舱体^[1], 其中铆接舱体主要包括级间段、箱间段和尾段等产品, 一般由框环、蒙皮、桁条等零组件通过铆接、螺接等形式连接成完整的舱段, 图 1 为某运载火箭级间段产品。



图 1 某运载火箭级间段

由于普通铆接舱体的铆接结构、螺接结构和舱体外表面零件贴合面处存在穿透性的孔隙, 当舱体外表面处于室外淋雨环境时, 雨水会顺着孔隙进入舱体内壁^[2], 即铆接舱体不具备防雨密封功能。

某新型运载火箭, 采用露天筒易发射模式, 无固定封闭发射塔架, 当火箭竖于发射台发射前, 准备工作时若遇雨雪天气, 则雨水会顺着相关间隙进入舱体内部, 而火箭舱体内部布置有大量精密仪器和设备, 进入舱体内部的雨水可能导致仪器或设备线路发生短路等故障, 严重时甚至会导致火箭飞行试验任务的失败。因此该型运载火箭对其铆接舱体提出了防雨密封的功能要求。

2 工艺方案的初步确定

作者简介: 张柳锋 (1986), 工程师, 材料科学与工程专业; 研究方向: 运载火箭工艺管理。

收稿日期: 2020-04-27

为满足铆接舱体防雨密封的功能要求,需在铆钉孔、螺钉孔和舱体外表面零件搭接缝隙处实现密封。铆钉孔、螺钉孔常用的密封工艺方法是湿法装配,即铆接或螺接时,在铆钉或螺钉头下涂覆密封胶后再铆接或螺接^[3];舱体外表面零件之间搭接缝隙的密封常用的工艺方法是填角密封,即使用密封胶液填充缝隙。密封使用的胶液是一种物理形态介于固体与液体之间的不干性胶体,其特征包括:可采用综合性能优良的液态聚硫橡胶、液态异丁二烯橡胶、液态有机硅产品等材料配制而成;具有不干性的胶体状特点,在外力作用下容易变形,使缝隙得到充分填充,因而具有优良的填充性和密封性;材料自身具有优良的耐水稳定性、疏水性、防腐蚀性^[4]。

涂胶铆接和涂胶螺接这种工艺方法主要靠手工制作,存在操作复杂、耗时较长等缺点,但密封效果好、可靠性高,目前广泛应用在飞机密封铆接上。某新型运载火箭为一次性运载火箭,其铆接舱体根据复杂程度的不同,铆钉使用数量可达几千件,螺钉使用数量相对较少一般为几十件。根据此结构特点,若密封铆接使用涂胶铆接的工艺方法,则舱体铆接周期太长,明显不适应目前运载型号高密度研制的需求,而粘贴密封腻子带后进行干涉铆接是一种兼顾密封效果和铆接效率的密封铆接工艺。

由此初步确定铆接舱体防雨密封工艺方案:铆钉连接处贴合面粘贴密封腻子带进行干涉铆接密封;螺钉连接处贴合面粘贴密封腻子带,同时螺钉涂覆密封胶进行湿法安装密封;舱体外表面搭接缝隙处涂覆密封胶进行填角密封。

3 防雨密封工艺方案

3.1 铆钉连接处密封工艺

舱体铆钉连接处,在被连接件贴合面粘贴 1601 密封腻子带,1601 密封腻子带是两面或一面涂有专用腻子的 511 绵丝斜纹绸^[5],同时采用干涉密封铆接方法。干涉密封铆接是一种过盈配合铆接,可采用现有标准铆钉直接干涉配合铆接,它与普通铆接的区别在于:干涉密封铆接要求钉与孔在铆接前的配合间隙较普通铆接的小,即制孔直径小^[6]。

密封铆接工艺流程主要包括:清理零组件、预装配、制铆钉孔、分解并清理零组件、贴敷腻子带、重新装配零组件、放铆钉、铆接、清理^[7]。其中,制铆钉孔工序是关键工序,因为铆钉孔直径是影响铆接处防

雨密封性能的重要参数之一。铆钉孔径过大,铆接后铆钉和 1601 密封腻子不能有效填充铆钉孔;铆钉孔径过小,铆接后零件容易产生裂纹影响铆接质量和防雨密封性能。通过工艺试验,确定密封铆接工艺,不同铆钉直径所需制出的对应铆钉孔直径如表 1 所示。

表 1 铆钉直径与铆钉孔直径对应表 mm

铆钉直径 d	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8
铆钉基本尺寸	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	5.1	6.15	8.15
铆钉孔直径 d_0	(0, +0.10)		(0, +0.12)			(0, +0.15)		

1601 密封腻子带的粘贴需在铆接孔预先制好后实施,铆钉安装时,不得将孔内腻子带去除,需将孔内腻子带挤至铆钉与被连接件的间隙处,封堵孔隙。可使用尖锐钢锥刺穿 1601 腻子带,再将铆钉穿过腻子带并安装好后实施铆接操作。铆接时墩头必须填满铆钉窝且不能歪斜,否则不易达到所需干涉量,影响防雨密封性能^[8]。

3.2 螺钉连接处密封工艺

舱体螺钉连接处,在被连接件贴合面粘贴 1601 密封腻子带,同时采用螺钉涂覆密封胶 HM108 安装拧紧,其中密封胶 HM108 配制比例(重量比):基胶 100,硫化剂 10~12^[9]。在配胶过程中,搅拌时间一般为 10min,应搅拌至不再出现白色基胶为止;配胶完成后,应在 4h 内使用完毕,否则应重新配胶;HM108 密封胶硫化时间为 24h 以上。

密封螺接工艺流程主要包括:清理零组件、预装配、制螺钉孔、分解并清理零组件、贴敷腻子带、重新装配零组件、清理螺钉、螺钉涂胶、装配螺钉、清理、硫化。其中,制螺钉孔和螺钉涂胶工序是关键工序,因为螺钉孔直径和螺钉涂胶量是影响螺接处防雨密封性能的重要参数之一。螺钉孔径过大,螺接后螺钉和 1601 密封腻子、密封胶 HM108 不能有效填充螺钉孔;螺钉孔径过小,会增加操作难度。通过工艺试验,确定密封螺接工艺,不同螺钉直径所需制出的对应螺钉孔直径如表 2 所示。

表 2 螺钉直径与螺钉孔直径对应表 mm

螺钉直径 d	3	4	5	6	8	10	12	16
螺钉基本尺寸	3.4	4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	17.5
螺钉孔直径 d_0	(0, +0.10)		(0, +0.20)			(0, +0.30)		

在螺钉头下表面使用毛刷等工具涂抹 HM108 胶

液,胶液需均匀布满螺钉整圈。涂胶量过少,螺接后密封胶液无法有效填充螺栓孔;涂胶量过多,螺接后密封胶液会大量积聚在螺钉头附近,造成胶液不易清理,影响表面质量。螺钉的涂胶量应保证螺钉与螺钉孔之间形成均匀胶膜,但不应使胶液溢出螺钉帽。通过工艺试验,确定不同螺钉直径的涂胶量如表3所示。

表3 螺钉直径与涂胶量对应表

螺钉直径 d/mm	3	4	5	6	8	10	12	16	
涂胶量 Q/mg	理论值	20	25	30	35	40	45	50	60
	允许偏差	(-5, +5)			(-10, +10)				

1601 密封腻子带的粘贴需在螺钉孔预先制好后实施,螺钉安装时,不得将孔内腻子带去除,需将孔内腻子带挤至螺钉与被连接件的间隙处,封堵孔隙。可使用尖锐钢锥刺穿 1601 腻子带,再将螺钉穿过腻子带并安装好后实施螺接操作。

3.3 舱体外表面搭接缝隙处密封工艺

铆接舱体外表面存在蒙皮与蒙皮、蒙皮与端框(图2)、蒙皮与桁条等搭接缝隙,需对搭接缝隙进行填角密封处理,沿着接缝涂覆,密封剂作为密封墙,以防止雨水从连接处通过,密封剂可选用密封胶 HM108。



图2 未涂胶的蒙皮与端框搭接缝隙

搭接缝隙密封工艺流程主要包括:清理组件表面、涂胶、清理、硫化。其中涂胶是关键工序,是影响搭接缝隙防雨密封性能的重要参数之一,填角密封表面胶液应平滑、无气泡,见图3,可使用整形工具进行整形,密封胶 HM108 的使用方法同 3.2 节。



图3 已涂胶的蒙皮与蒙皮搭接缝隙

4 铆接舱体防雨密封验证试验

研制了一件真实铆接舱体,在铆钉孔、螺钉孔和舱体外表面零件搭接缝隙处均实施了前述的防雨密封措施。为验证防雨密封工艺的有效性,开展铆接舱体淋雨试验。

4.1 试验方案



图4 铆接舱体淋雨试验

将铆接舱体置于室外,舱体正航向竖直放置,与火箭发射前起竖状态一致。舱体上端面采取密封的防雨措施,防止雨水直接从舱体上端面进入舱体内部。舱体下端采用垫块垫高,放置高度应确保试验时产品不被水浸泡,同时方便人员进出。淋雨试验在无自然降水干扰条件下进行,采用喷淋装置模拟降雨条件,采用风机提供模拟吹风的条件^[10]。通过对铆接舱体进行淋雨试验,见图4,测试者在舱体内部观察和记录舱体漏雨和渗水的情况。

4.2 试验结果

在中雨条件下经过 6h 淋雨试验后,铆接舱体试验件内表面未出现漏雨漏水等现象,验证了防雨密封工艺的有效性和可靠性。

5 结束语

运载火箭铆接舱体通过在铆钉孔、螺钉孔和舱体外表面零件搭接缝隙处实施防雨密封措施,可以实现防雨密封功能。铆接舱体防雨密封工艺包括:铆钉连接处贴合面粘贴 1601 密封腻子带进行干涉铆接密封;螺钉连接处贴合面粘贴 1601 密封腻子带,同时螺钉涂覆密封胶 HM108 进行湿法安装密封;舱体外表面搭接缝隙处涂覆密封胶 HM108 进行填角密封。使用防雨密封工艺研制的铆接舱体通过淋雨试验,舱体内表面未

(下转第 56 页)

