

箭体阀门多余物预防与控制

李文斌¹ 王道虎² 马飞¹ 陈靖² 呼啸² 曾斌¹ 邢晓光¹

(1. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076; 2. 首都航天机械公司, 北京 100076)



摘要: 通过对近 6 年来阀门内部出现多余物的情况进行分析, 认为箭体阀门多余物主要在设计、零件制造、装配、试验和测试五个环节产生。结合箭体阀门的特点, 提出五个环节全过程多余物预防和控制措施。

关键词: 箭体阀门; 多余物; 预防与控制

Prevention and Control for Foreign Object Debris of Launch Vehicle Valve

Li Wenbin¹ Wang Daohu² Ma Fei¹ Chen Jing² Hu Xiao² Zeng Bin¹ Xing Xiaoguang¹

(1. Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing 100076;

2. Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

Abstract: This paper analyzes the information of the internal foreign object debris of the valve in the past six years. It appears that the foreign object debris in projectile body valve extra produced primarily in the design, parts manufacturing, assembly, experiment and test five links. Combined with the characteristics of the projectile body valve, it proposed the whole process of foreign object debris prevention and control measures in the five links.

Key words: launch vehicle valve; foreign object debris; prevention and control

1 引言

长征二号E火箭发射澳大利亚通信卫星, 点火后立即关机, “澳星”宣告发射失利。一个月后公布失利原因为: 一、三助推器发动机氧化剂副系统断流活门电爆管误爆, 使一、三助推器发动机关机。导致电爆管误爆是由于控制电路中一个控制接点存在铝质多余物^[1]。

某发火箭在靶场发射阵地进行增压输送系统气密性检查时, 当连接器脱落时发现阀门表面存在一层多余物, 经分析认为地面管路改造后未进行高压大流量吹除, 导致焊接附着物残留于管壁, 进行通气时多余物进入阀门入口。只能更换地面管路以及助推器, 导致发射计划推迟以及造成重大经济损失。我国某金牌火箭发射失利, 经初步分析为发动机泵前多余物导

致发射故障。再次引起了我们对多余物的高度重视。

阀门作为火箭增压输送系统的重要单机^[2], 如果阀门存在多余物, 可能导致阀门功能失效, 甚至发射失败。本文对阀门设计、零件制造、装配、试验和测试等环节进行分析, 探讨多余物预防与控制的有效方法。

2 多余物定义和影响

多余物是指产品中存在的由外部进入或内部产生的与产品规定状态不符的物质^[3]。多余物多为金属屑, 有的呈条状, 有的呈块状, 还有的是金属氧化物粉末。非金属多余物多为纤维毛和灰尘。

作为一种精密机械装置, 箭体阀门如果内部存在多余物, 就可能造成动作部件卡滞或密封失效, 最终

作者简介: 李文斌 (1971-), 高级工程师, 控制工程专业; 研究方向: 阀门设计研究。

收稿日期: 2014-05-15

导致箭体阀门功能丧失而发生严重后果。

多余物具有随机性和流动性，若多余物随着介质流动而污染系统下游的阀门或发动机，会影响下游阀门和发动机正常工作，从而引起系统故障。

如果多余物出现在地面测试阶段，测试工作将不能正常进行。为此要花费大量人力、物力，进行多余物问题的归零工作，受污染的阀门产品（可能包括同批次产品）不能继续使用，既浪费了产品，又拖延了试验进度。如果多余物出现在飞行阶段，轻则影响系统功能，重则造成发射失败。

3 阀门多余物统计分析

对 2007 年~2012 年，发生多余物情况进行统计，见表 1。随着型号进入高强度发射周期，多余物引起的质量问题暴露更加充分，除 2010 年没有发生多余物问题外，其他年份多余物问题均在 2 个以上，2011 年达到 7 项，合计 19 项，表明多余物引起的问题仍然突出。

表 1 2007 年~2012 年发生多余物数量统计

序号	年份	数量	备注
1	2007 年	2	本体多余物
2	2008 年	3	1 个本体，2 个环境多余物
3	2009 年	4	1 个本体，3 个环境多余物
4	2011 年	7	4 个本体（包括 3 个为油脂辅料多余物），3 个环境多余物
5	2012 年	3	2 个本体（包括 1 个油脂辅料多余物），1 个环境多余物

按多余物的来源统计，本体多余物共 10 项，外来多余物共 9 项。

本体多余物占比达 52.6%，是多余物产生的主要来源，表明在零件加工、装配等操作环节存在一定的风险因素。

环境颗粒物(比如纤维毛、粉尘等)占比近 47.4%，说明多余物呈现出向微观、较深层次发展的态势，同时也对生产工艺保障条件如厂房环境提出了更高要求。具体见表 2。

装配过程中产生的多余物共计 12 项，包括环境颗粒物 4 项，清洗不彻底或造作不当导致的多余物 8 项，共计占到了 63.2%，装配过程是多余物产生的主要环节，见表 3。

表 2 多余物的来源统计

序号	多余物的来源	数量	备注
1	环境颗粒物	4	外来多余物，宏观上肉眼难以发现
2	其他外来多余物	5	
3	油脂辅料	4	本体多余物，工序防锈油或装配用油膏
4	本体	6	本体多余物，其中 2 项为产品使用磨损产生多余物

表 3 多余物产生的环节统计

序号	多余物产生的环节	数量	备注
1	正常装配过程引入	4	多余物为环境颗粒物
2	装配操作不当产生或引入	8	包括装配时油脂等清洗不彻底产生的 4 项多余物
3	使用过程产生或引入	2	
4	零件加工	3	
5	零组件返修（含装配打磨、修配）	2	

零件加工或返修过程产生的多余物共计 5 项，占到了 26.3%，主要因检验或检查手段不充分、不可靠（结构限制等），保护措施不够周全，多余物清理不够彻底。

对箭体阀门多余物产生机理分析，认为产品中多余物的来源有三个方面的：内部残留、外部侵入和工作生成。多余物产生环节包括：零件加工、装配、试验、测试等。箭体阀门多余物产生原因主要为设计、零件制造、装配、试验和测试五个环节控制措施不到位^[4]。

4 阀门多余物预防与控制

箭体阀门的多余物多是随机发生，很难准确预估多余物出现的时间和造成的影响。因此，如何预防和控制多余物，难度就很大。针对设计、工艺、加工、装配、试验、包装、运输、贮存、维护、飞行试验前等过程中产生多余物的环节，采取有效措施，实施过程重点控制。

4.1 预防和控制原则

源头控制：预防和控制多余物应从设计方案的源头抓起，减少因结构原因易产生多余物的可能性，同时提高产品抵抗多余物的能力。

全过程控制：从零件制造到装配、试验、测试各环节进行全面的预防和控制多余物。

4.2 设计环节的预防和控制

材料与介质相容、性能稳定、耐腐蚀、工作中不

脱皮、不掉碴、不产生裂纹、不产生固体磨损物。

阀门内部滑动配合间隙部位在工作中易受多余物污染,导向配合面易产生擦伤,出现金属颗粒物。设计时应选择合理的长径比、合理的导向配合间隙和导向面表面粗糙度;导向配合表面应耐摩擦;滑动配合副材料硬度应有所差异;低温阀门导向配合面不能涂润滑脂。

结构设计上应避免细长的盲孔、直径较小的($\Phi 4\text{mm}$ 以下)相交孔、窄缝等;避免有尖角、凸起、锐边等结构的出现

阀芯要求耐磨、抗冲击振动,工作过程中密封面材料不应脆裂,自身不产生多余物。

阀座阀芯组成密封副,密封副材料应耐腐蚀,抗冲刷,材料表面不剥离,在规定的寿命时间内不龟裂、不腐蚀、不脱皮、不分层,以防止自身产生多余物。

静密封设计应考虑其装配时产生多余物的可能性。密封件位置最好不与介质直接接触,即使产生多余物也不会进入气路或液路内腔中,即多余物隔离设计。

4.3 零件制造环节的预防和控制

合理选择表面涂覆材料和热处理、表面处理参数,并将要求落实到具体工艺文件,保证工艺稳定性,保证产品在规定的使用环境条件下不脱漆、不脱镀层、不氧化生锈和发生脆化断裂,产生多余物。

壳体内腔孔壁,若是流体流经的地方,其表面粗糙度要求应 $R_a \leq 3.2\mu\text{m}$,加强检查控制,对钻削加工的孔,应增加铰孔工序。壳体内沟槽、孔的相贯线以及孔口边缘应确保光滑无毛刺。对相交小孔等重点部位,需要增设专门的去毛刺工序,设置多余物检查控制点,明确内窥检查等控制措施。铸造壳体亦应注意多余物的清理和检查。

阀门内部垫片、O形圈、弹性垫圈、膜片、波纹管等不允许重复使用。

4.4 装配环节的预防和控制

阀门的装配与试验环境应在温度 $8\sim 30^\circ\text{C}$,相对湿度 $30\%\sim 80\%$,洁净度不低于 QJ 2214—1991 中表 1 规定的 100000 级要求的房间内进行。

阀门装配前应清洗全部零件和部件,对橡胶件、橡胶金属件、塑料件和塑料金属件用符合 GB/T 394.1 要求的酒精清洗;其它零件、部件先用符合 SH 0004 要求的橡胶工业用溶剂油(一级品)清洗,再用符合 GB/T 394.1 要求的酒精清洗。涂氟油的阀门,分解再装前,其零件、部件应用专用清洗液清洗后,再按照

上述要求用汽油、酒精清洗。零件和部件清洗后应立即用干净的压缩空气吹干。

擦拭零件、部件应用符合 FZ 66201 要求的 411 平纹绸,不准用棉制品。

阀门在装配前,需检查零件和部件,对零件进行外观和可视内腔检查,重要零组件用 30 倍放大镜检查,复杂内腔要用内窥镜仔细检查。

产品装配完成后,立即安装出入口保护盖。保护盖应与产品零件一样进行清洗并吹干,并保证在装前处于洁净状态。

图样中无特殊规定时,装配过程中不应锉修零件和部件。不对装试合格的整阀再进行机械加工。

装配时,应防止下列现象发生:油污、灰尘、金属屑等多余物污损零件、部件;用棉制品擦拭零件、部件的表面。

4.5 试验环节的预防和控制

阀门试验时,所用的压缩空气气源应满足:最大粒子尺寸不大于 $10\mu\text{m}$,含油量不超过 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$;空气露点满足要求,露点每 24h 测定一次。

阀门的试验系统,必须去污除油,特别是氢、氧阀门试验系统必须保持“禁油”的要求。

试验系统设计时应规定在距阀门入口最近处安装优于 $14\mu\text{m}$ 过滤精度的过滤器,并经过检查确认,滤网完整、洁净。滤网需要定期检查。

阀门出口不要回流介质,防止阀门出口遭受污染。阀门出入口管路上的分支管要采取措施与污染源隔离,如压力表加装过滤器。

低温阀门试验前应对装入试验系统的被试阀门进行彻底的气体置换,并对阀门通大气孔气封,防止空气倒吸结冰、固空。

试验前应对试验系统进行吹除,吹除后用过滤器收集,确保系统洁净。

零组件液压强度试验应采用无腐蚀性的介质。

低温阀门每次低温试验后均应进行真空烘干,所有阀门交付总装前进行真空烘干。

试验后阀门的进口、出口及其气封供气口、强制腔供气口、电气接口等均应按技术要求安装保护件,生产单位同时还应采取适当措施,防止贮存、转运过程中外来多余物进入阀门内。

试验后产品,抽真空装袋封存。

4.6 测试环节的预防和控制

总装前,进行产品交接,并进行外观及出入口检

(下转第 56 页)