

耐航空液压油丁腈橡胶密封材料综述

白鹏翔, 王建军, 邱艳舞, 翁佩锦, 董杰, 陈晴, 王勇

(广州机械科学研究院有限公司, 广东 广州 510700)

摘要: 航空液压油的泄漏是飞机液压系统最常出现的故障, 而对于橡胶密封件而言, 其密封的可靠性同其所使用的橡胶材料密切相关。本文总结了航空液压油的分类和发展应用情况, 以及典型的丁腈橡胶密封材料性能。

关键词: 航空液压油; 丁腈橡胶; 密封材料; 耐油性能; 低温性能

中图分类号: TQ333.7

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)05-0004-06

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.05.002

飞机起落架的收放和襟翼等的驱动是由飞机液压系统完成的, 因此飞机液压系统也称作飞机的“肌肉”, 飞机液压系统故障占飞机机械总故障的 30% 以上, 而航空液压油的泄漏是飞机液压系统最常出现的故障^[1-2]。对于橡胶密封件而言, 其主要功能就是阻止液压油的泄漏, 不仅需要在航空液压油环境中长期使用, 还需具备良好的高低温能力, 如果密封件失效而导致液压油泄漏, 那么会带来很多的危害, 轻则污染机体环境, 降低液压设备和元件的工作能力, 重则液压系统功率损失过大, 酿成飞机事故^[3-4], 因此正确地选用适合的材料至关重要, 对此国内外的推荐材料多为丁腈橡胶。

本文总结了航空液压油的分类和发展应用情况, 以及典型的丁腈橡胶密封材料性能, 希望对耐航空液压油丁腈橡胶的选用提供一定的参考。

1 航空液压油的分类

1.1 石油基航空液压油

石油基航空液压油是飞机的液压系统最早使用的液压油, 其主要成分为矿物油, 属非极性物质。这种油最大的特点是低温性能好, 满足了空军在低温环境下的使用要求。但石油基航空液压油的高温性能差, 易燃烧, 易导致飞机着火事故发生。目前航空液压系统也向高温高压方向发展, 石油基航空液压油已不能承受一些极端的高温环境, 开发新的耐高温航空液压油是未来的趋势。

1.2 合成航空液压油

合成航空液压油主要包括磷酸酯航空液压油和合

成烃航空液压油。

(1) 磷酸酯航空液压油。磷酸酯航空液压油最突出的特点是抗燃性明显优于石油基液压油, 主要性能也可满足石油基航空液压油的性能指标, 但磷酸酯航空液压油的主要成分带有极性基团, 而石油基航空液压油主要为非极性基团, 两者极性差别巨大, 导致其与许多以往使用的液压系统密封材料不相容, 而军机的改装成本太高, 故多用于民用航空。

(2) 合成烃航空液压油。合成烃航空液压油的主要成分为合成烃类, 为非极性, 所以其可以同以往使用石油基航空液压油的液压系统密封材料相容; 而合成烃航空液压油另一大特点是抗燃性较好, 热氧化安定性好, 优于石油基航空液压油。

2 航空液压油发展应用情况

2.1 美国

美国空军在 50 年代初^[5]已广泛使用符合美国军用规范 MIL-H-5606 的石油基航空液压油, 使用温度为 $-54\sim 135\text{ }^{\circ}\text{C}$, MIL-H-5606 规范经过多次更新已更新至 MIL-PRF-5606J 版本。MIL-PRF-5606J 航空液压油主要技术规定如表 1 所示, 这种油的最大特点是低温性能好, 低温稳定性、倾点和 $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的运动黏度三个试验项目的技术指标都反应了此特点, 基本满足了空军在低温环境下的使用要求。但是,

作者简介: 白鹏翔 (1994-), 男, 湖北十堰人, 硕士研究生, 主要从事密封用特种橡胶应用研究工作。

收稿日期: 2022-10-25

MIL-H-5606 液压油有一个致命的弱点,就是闪点仅处在 82 °C 的水平,这导致其抗燃性差,容易燃烧,安全隐患较大。

表 1 MIL-PRF-5606J^[6] 航空液压油主要技术规定

试验项目	技术指标	试验方法
酸值 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.2	ASTM-D664
闪点(闭口)/°C	≥ 82	ASTM-D93
蒸发损失(71 °C × 6 h)/%	≤ 20	ASTM-D972
低温稳定性(-54 °C ± 1 °C × 72h)	无凝胶、絮状和结晶物质	FED-STD-791, method 3458
倾点/°C	≤ -60	ASTM-D97
运动黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	ASTM-D445	
-54 °C	≤ 2500	
-40 °C	≤ 600	
40 °C	≥ 13.2	
100 °C	≥ 4.90	

针对 MIL-H-5606 液压油抗燃性差的问题,美军后续开始了抗燃航空液压油的探索。美军先以磷酸酯为基础油研制了抗燃型航空液压油,但由于使用磷酸酯液压油与许多以往使用的液压系统密封材料不相容,美军又将研究目标转向了合成烃航空液压油,并以聚 α- 烯烃(PAO)为基础油成功开发了抗燃型航空液压油,其符合美国军用规范 MIL-H-83282,使用温度为 -40~205 °C, MIL-H-83282 规范经过多次更新已更新至 MIL-PRF-83282D 版本。MIL-PRF-83282D 航空液压油主要技术规定如表 2 所示,这种油的最大特点是高温性能好,相较于 MIL-

PRF-5606J 指标,一方面相同的试验项目,如闪点、蒸发损失和高温下的运动黏度等,都是 MIL-PRF-83282D 更耐高温,另一方面 MIL-PRF-83282D 还新增了很多评价抗燃性和耐高温性能的试验项目,如高温稳定性、火焰传播速度和高温高压点火性能等,这都说明了 MIL-H-83282 液压油的着火危险性要小于 MIL-H-5606 液压油。但是, MIL-H-83282 液压油也有缺点,它的 -40 °C 运动黏度和低温稳定性显示,其低温性能较差,最低工作温度只到 -40 °C,而 MIL-H-5606 液压油可以达到 -54 °C,所以在一些严寒地带,飞机仍采用 MIL-H-5606 液压油。

表 2 MIL-PRF-83282D^[7] 航空液压油主要技术规定

试验项目	技术指标	试验方法
酸值 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.1	ASTM-D664
闪点(开口)/°C	≥ 205	ASTM-D92
蒸发损失(205 °C × 6.5h)/%	≤ 20	FED-STD-791, method 350
低温稳定性(-40 °C ± 1 °C × 72h)	无凝胶、絮状和结晶物质	FED-STD-791, method 3458
倾点/°C	≤ -55	ASTM-D97
运动黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	ASTM-D445	
-40/°C	≤ 2 200	
40/°C	≥ 14	
100/°C	≥ 3.45	
205/°C	≥ 1	
高温稳定性	40 °C 时的黏度变化 ≤ 5 ; 酸值变化 ≤ 0.1 ; 不得形成沉淀物或不溶性物质	4.4.4
火焰传播/(cm·sec ⁻¹)	≤ 0.3	ASTM-D5306
高温高压点火性能	消除火源后,液体不得继续燃烧	FED-STD-791, method 6052
燃点/°C	≥ 245	ASTM-D92
自燃温度/°C	≥ 345	ASTM-E659

针对 MIL-H-83282 液压油的低温性能问题,美军开发了适用于低温情况的合成烃抗燃液压油,并于 1992 年发布了美国军用规范 MIL-H-87257,使用温度为 -54~200 °C, MIL-H-87257 规范经过多次更新已更新至 MIL-PRF-87257D 版本。MIL-PRF-87257D 航空液压油主要技术规定如表 3 所示,可以看出 MIL-H-87257 液压油兼顾了 MIL-H-5606 的

低温性能和 MIL-H-83282 的高温性能,最低使用温度达到了 -54 °C,而闪点和燃点都高于了 135 °C,也满足了许多极端高温环境。MIL-H-87257 液压油有可能替代 MIL-H-5606 液压油,在未来作为首选的军用航空液压油。

2.2 中国

建国初期中国急需歼击机液压系统用油,歼击机

表3 MIL-PRF-87257D^[8] 航空液压油主要技术规定

试验项目	技术指标	试验方法
酸值 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.2	ASTM-D664
闪点(开口)/°C	≥ 160	ASTM-D92
蒸发损失(135 °C × 6.5 h) /%	≤ 20	ASTM-D972
低温稳定性(-54 °C ± 1 °C × 72 h)	无凝胶、絮状和结晶物质	FED-STD-791, method 3458
倾点 /°C	≤ -60	ASTM-D97
运动黏度 /[(mm ² ·s ⁻¹)	ASTM-D445	
-54 °C (3 h~72 h)	≤ 2500	
-40 °C	≤ 550	
40 °C	≥ 6.7	
100 °C	≥ 2	
高温稳定性	40 °C时的黏度变化 ≤ 5 ; 酸值变化 ≤ 0.1 ; 不得形成沉淀物或不溶性物质	4.4.2
火焰传播 /[(cm·sec ⁻¹)	≤ 0.5	ASTM-D5306
高温高压点火性能	消除火源后, 液体不得继续燃烧	FED-STD-791, method 6052
燃点 /°C	≥ 170	ASTM-D92

液压系统与民用液压系统不太一样, 其必须具备严寒、酷暑、干旱、潮湿环境下的综合使用能力, 这对油液本身的高低温性能、粘温性能、抗水性能都有着很高的要求。由于当时我国连基础的采油能力都是无法满足自身需求, 因此我方专家使用国外油品作为范例进行仿制, 最后选中了前苏联的 AMГ-10 油。AMГ-10 油同美军标的 MIL-H-5606 标准油类似, 都是石油基航空液压油, 都有着低温性能好的优点和易燃的缺点, 凝点可达 -70 °C, 闪点仅为 101 °C。在克拉玛依炼油厂、玉门炼化总厂和北京航空材料研究院联合研制下, 于 1965 年成功定型了 10 号航空液压油, 其属于石油基航空液压油, 符合石化行业标准 SH 0358-95, 同 AMГ-10 油和 MIL-H-5606 标准油的油品性能级别相当, 10 号航空液压油主要技术规定如表 4 所示。10 号航空液压油一经推出就在部队中大规模使用, 沿用至今, 在歼-7、运-8 等型号的飞机有着广泛的应用, 但受限于高温性能不足, 并且长期使用后黏度会下降, 10 号航空油渐渐不能满足需求。

表4 10号航空液压油^[9] 主要技术规定

试验项目	技术指标	试验方法
酸值 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.05	GB/T 264 ^[1]
闪点(开口) /°C	≥ 92	GB/T 267
低温稳定性(-60 °C ± 1 °C × 72 h)	合格	附录 A
凝点 /°C	≤ -70	GB/T 510
运动黏度 /[(mm ² ·s ⁻¹)	GB/T 265	
-50 °C	≤ 1 250	
50 °C	≥ 10	

在 20 世纪 70 年代后期, 我国开始着手研制 12 号航空液压油, 其高温性能相对 10 号液压油有一定改善, 同时 12 号航空油增加了抗磨剂和防锈剂, 使其抗磨性能和防锈性能也比 10 号液压油有较为明显

的提升, 12 号航空液压油的全套性能可以满足美军标 MIL-H-5606B 执行规范。虽然 12 号航油对于 10 号航油有所提升, 但 12 号航油的颗粒污染控制效果仍需要提升, 因此 12 号航油未推行多久就由 15 号航空液压油完全替代。

15 号航空液压油在 10 号航油和 12 号航油的基础上, 增加了黏度指数改进剂的含量和抗氧化剂的含量, 提出了颗粒污染控制的要求, 这使得 15 号航油的使用温度范围可达 -54~135 °C, 短期可达 150 °C。15 号航油是参照美军标 MIL-H-5606E 执行规范研制的, 符合国军标 GJB1177A-2013, 两者的主要指标基本相同, 其主要技术规定如表 5 所示。15 号航空液压油是我国空军的主力航空液压油, 可代替 10 号航油和 12 号航油, 新机型基本采用 15 号航油, 但由于 10 号航油已有大面积使用且并无重大问题, 所以仅 12 号航油由 15 号航油完全替代, 而还有许多应用场合仍沿用 10 号航油。

表5 15号航空液压油^[10] 主要技术规定

试验项目	技术指标	试验方法
酸值 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.2	GB/T 7304
闪点(闭口) /°C	≥ 82	GB/T 261
蒸发损失(71 °C × 6 h) /% (质量分数)	≤ 20	GB/T 7325
低温稳定性(-54 °C ± 1 °C × 72 h)	合格	SH/T 0505
倾点 /°C	≤ -60	GB/T 3535
运动黏度 /[(mm ² ·s ⁻¹)	GB/T 265	
-54 °C	≤ 2500	
-40 °C	≤ 600	
40 °C	≥ 13.2	
100 °C	≥ 4.90	

由于 15 号航油是参照美军标 MIL-H-5606E 执行规范研制的, 那么 15 号航油也有着 MIL-H-5606 的缺点, 即闪点较低, 耐高温差, 为此我国对抗燃型

航空液压油进行了初步探索。我国关于抗燃型航空液压油的研究方向主要为合成烃方向，主要学习美军标 MIL-H-83282，在 21 世纪后开始研究，典型的成果是中国石化石油化工科学研究院（简称石科院）的 RP-4350 号合成烃抗燃航空液压油。RP-4350 号航油的出现，打破了国产航空液压油被石油基航空液压油垄断的局面。RP-4350 号航油的性能指标满足美军标 MIL-PRF-83282D，符合国军标 GJB 5311A-2015，其主要技术规定如表 6 所示，闪点可达 205 °C，有较好的抗燃性和耐高温性能，低温性能则同样略弱于 15 号航油，一般使用温度范围为 -40~205 °C，目前主要用于直-9 等直升机的液压系统。

表 6 合成烃航空液压油^[11]主要技术规定

试验项目	技术指标	试验方法
酸值 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.1	GB/T 7304
闪点(开口)/°C	≥ 205	GB/T 3536
蒸发损失(205 °C × 6.5h)/%(质量分数)	≤ 20	GB/T 7325
低温稳定性(-40 °C × 72 h)	通过 a	附录 C
倾点/°C	≤ -55	GB/T 3535
运动黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	GB/T 265	
-40 °C	≤ 2200	
40 °C	≥ 14.0	
100 °C	≥ 3.45	
205 °C	≥ 1.0	
火焰传播速度/(cm·s ⁻¹)	≤ 0.3	附录 D
燃点/°C	≥ 245	GB/T 3536
自燃点/°C	≥ 345	SH/T 0642
高温稳定性(205 °C, 100 h)	附录 E	
40 °C 运动黏度变化率, %	≤ 5	
酸值变化 /[(mg·KOH)·g ⁻¹]	≤ 0.1	

3 航空用丁腈橡胶密封材料

3.1 国外

国外航空用丁腈橡胶密封材料的性能指标主要参考两项美军标 MIL-P-25732C 和 AMS-P-83461，两者都涵盖了 -54~135 °C 范围内用于 MIL-H-5606 和 MIL-H-83282 液压油的材料，其中 AMS-P-83461 标准中的材料性能指标较 MIL-P-25732C 有着更好的耐高温性能，两者的主要技术规定如表 7 所示。

从表 7 可以看出，两项标准都紧紧围绕“-54~135 °C 耐液压油”的工况进行制定，主要涉及低温性能、耐油性能和力学性能三方面。低温性能选用了温度回缩法(TR 试验)作为表征丁腈橡胶的低温性能的方法，主要由于^[14-19]橡胶作为密封材料使用时，低温工况往往处在一个高低温循环的区间之中，而不是单纯的长时间低温环境，这种情况不仅仅考虑橡胶的极限低温性能，还需要考虑橡胶从低温到高温变化过程中

的弹性恢复能力，而 TR 试验测试的是橡胶回复指定变形量时的温度点，适合作为橡胶密封材料的表征方法。此外，低温性能还包含了低温回缩(TR10)和耐热油后的 TR10，既考察了材料本身的低温性能，也考察了热油老化后的低温性能，这更能反映材料实际使用情况。耐油性能测试设定为最高使用温度的长时间耐油老化，并包含了橡胶密封材料的关键性能—压缩永久变形，可反映材料的耐油性能。力学性能指标设定相对宽松，这也说明力学性能不是丁腈橡胶密封材料的核心指标。两项标准不同的地方主要在于 AMS-P-83461 对材料的耐高温性能提出了更高的要求，AMS-P-83461 一方面提高了许多测试项目的指标，例如低温回缩(TR10)、耐热油后的硬度变化和压缩永久变形等，另一方面新增了三条测试项目，进一步考察材料的耐高温性能和长期老化性能，显然 AMS-P-83461 标准比 MIL-P-25732C 更加严苛。

表 7 MIL-P-25732C^[12]和 AMS-P-83461^[13]橡胶材料主要技术规定

测试项目	25732C	83461
硬度/Shore A	≥ 68	75±5
拉伸强度/MPa	≥ 9.31	≥ 9.31
拉伸伸长率/%	≥ 160	≥ 125
100% 定伸应力/MPa	≥ 3.45	≥ 4.48
低温回缩(TR10)(50% 伸长率)/°C	≤ -45	≤ -45
耐 MIL-H-5606 标准油, 135 °C × 70 h		
硬度变化/Shore A	-15~+5	-10~+5
拉伸强度变化率/%	≥ -50	≥ -50
拉伸伸长率变化率/%	≥ -35	≥ -35
体积变化Δ V/%	+1~+20	+10~+20
低温回缩(TR10)(50% 伸长率)/°C	≤ -45	≤ -45
压缩永久变形(25% 压缩率)/%	≤ 55	≤ 35
耐 MIL-H-83282 标准油, 135 °C × 70 h		
硬度变化/Shore A	±10	-10~+5
拉伸强度变化率/%	≥ -40	≥ -40
拉伸伸长率变化率/%	≥ -45	≥ -35
体积变化Δ V/%	0.5~15	0~15
低温回缩(TR10)(50% 伸长率)/°C	≤ -43.9	≤ -45
压缩永久变形(25% 压缩率)/%	≤ 55	≤ 45
耐热空气, 135 °C × 70 h		
压缩永久变形(25% 压缩率)/%		≤ 67
耐空气, 室温 × 60 d		
压缩永久变形(25% 压缩率)/%		≤ 25
耐 MIL-H-5606 标准油, 室温 × 60 d		
压缩永久变形(25% 压缩率)/%		≤ 20

国外厂家如 Parker、特瑞堡、GT 等公司有供应以上标准的材料，MIL-P-25732C 有 NM304-75 (Parker)、NBR160 (GT) 和 NCT83 (特瑞堡) 等；AMS-P-83461 有 N0756 (Parker)、NBR161 (GT) 和 NE (特瑞堡) 等。虽然两种标准的材料都有供应，但目前国外广泛使用的材料仍是以 MIL-P-25732C

标准为主的材料, AMS-P-83461 标准的材料则为辅, 所以下面主要介绍以 MIL-P-25732C 标准为主的材料, 具体性能数值引用国外公开数据, 如表 8 所示。

表 8 国外航空常用丁腈橡胶密封材料的性能数据

测试项目	NM304-75	NBR160	NCT83
硬度 /Shore A	78	73	73
拉伸强度 /MPa	12.8	16.8	12.8
拉伸伸长率 /%	185	220	200
100% 定伸应力 /MPa	5.1	5.2	4.3
TR10 (50% 伸长率) /°C	-47	-49	-48
耐 MIL-H-5606 标准油, 135 °C ×70 h			
硬度变化 /Shore A	-9	-4	-11
拉伸强度变化率 /%	-30	-24	-38.4
拉伸伸长率变化率 /%	-21	-30	-22.8
体积变化 Δ V /%	+17	+11	+18.5
压缩永久变形 (25% 压缩率) /%	44	47	35.2
TR10 (50% 伸长率) /°C	-51	-49	-46
耐 MIL-H-83282 标准油, 135 °C ×70 h			
硬度变化 /Shore A	+2	+1	+2
拉伸强度变化率 /%	-27	-22	-37.9
拉伸伸长率变化率 /%	-34	-37	-41
体积变化 Δ V /%	+4	+3	+4
压缩永久变形 (25% 压缩率) /%	52	42	44.3
TR10 (50% 伸长率) /°C	-54	-49	-46

注: 数据来源为引用国外公开数据

3.2 国内

国内航空用丁腈橡胶密封材料的性能指标主要参考国军标 GJB 5258-2003^[20], 同美军标不同, MIL-P-25732C 和 AMS-P-83461 只给出一套材料性能指标, 而 GJB 5258-2003 给出了 40 余种材料的性能指标, 每种材料的性能指标和用途均略有不同, 常用材料有试 5171、5180F 等。另外还有少数材料遵从企业标准, 如 5176S 遵从企标 Q/6S 1547^[21]。我们选取了 5176S、5180F 和试 5171 的胶料进行性能测试, 以下是 3 种材料的性能数据, 如表 9 所示。

表 9 国内航空常用丁腈橡胶密封材料的性能数据

测试项目	5176S	5180F	试 5171
硬度 /Shore A	72.7	76.8	76.3
拉伸强度 /MPa	15	15.1	15.8
拉伸伸长率, %	201	160	154
低温回缩 (TR10) /°C	-47.2	-50.9	-54.6
耐 15 号航空液压油, 135 °C ×72 h			
硬度变化 /Shore A	-11.8	-14.2	-7.9
拉伸强度变化率 /%	-23	-30	-14
拉伸伸长率变化率 /%	-30	-23	-22
体积变化 Δ V /%	+19.5	+24.4	+13.5
压缩永久变形 (B 型) /%	34	41	36
低温回缩 (TR10) /°C	-46.1	-49.2	-48.5

注: 数据来源为实验室测试

3.3 自主开发

针对航空密封件的需求, 我司进行了丁腈橡胶密封材料的开发, 主要参考了 MIL-P-25732C 橡胶材

料的性能指标, 重点关注了指标中的高温耐油和低温需求, 形成了侧重高温耐油性能的材料 NO72 和侧重低温性能的材料 NO84。得到基础配方后, 我司又进行了材料国产化研究, 将部分材料国产化之后, 得到了现行的 NO72 和 NO84, 典型材料性能如表 10 所示。

表 10 自主开发航空用丁腈橡胶密封材料的性能数据

测试项目	NO72	NO84
硬度 /Shore A	75.3	77.6
拉伸强度 /MPa	17	15.8
拉伸伸长率 /%	228	172
低温回缩 (TR10) /°C	-49.4	-56.7
耐 15 号航空液压油, 135 °C ×72 h		
硬度变化 /Shore A	-6.6	-11.7
拉伸强度变化率 /%	-12.9	-16.2
拉伸伸长率变化率 /%	-30.1	-26.5
体积变化 Δ V /%	+9.6	+17.5
压缩永久变形 (B 型) /%	32.6	24.7
低温回缩 (TR10) /°C	-46	-56

注: 数据来源为实验室测试

4 结语

(1) 更好的抗燃性能和耐高温性能是航空液压油未来的发展趋势。

(2) 更耐油、更耐高低温是航空用丁腈橡胶密封材料未来的发展趋势。

(3) 我司自主开发的丁腈橡胶密封材料 NO72 和 NO84 有着较好的材料性能。

参考文献:

- [1] 王长春, 费逸伟, 姜旭峰, 等. 航空液压油的现状及发展趋势 [J]. 合成润滑油材料, 2019, 46(01):29-32.
- [2] 曾萍, 杨智渊, 汪必耀, 等. 航空液压油标准体系概述和性能评估方法研究 [J]. 机床与液压, 2018, 46(01):49-55.
- [3] 张凤玲, 代想想, 王越, 等. 航空液压油对丁腈橡胶密封件性能的影响 [J]. 中国橡胶, 2013, 29(05):42-46.
- [4] 刘小明, 亓军洲. 航空橡胶件失效分析及预防研究 [J]. 航空维修与工程, 2010, (01):42-44.
- [5] 阎欢, 陈晓伟, 任利喆. 美国军用航空液压油的发展 [J]. 润滑油, 2009, 24(03):9-13.
- [6] DOD. MIL-PRF-5606J Performance Specification Hydraulic Fluid, Petroleum Base; Aircraft, Missile, and Ordnance[S]. USA: DOD, 2018.
- [7] DOD. MIL-PRF-83282D Performance Specification Hydraulic Fluid, Fire Resistant, Synthetic Hydrocarbon Base, Metric, NATO Code Number H-537[S]. USA: DOD, 1997.
- [8] DOD. MIL-PRF-87257D Performance Specification Hydraulic Fluid, Fire Resistant, Low Temperature, Synthetic Hydrocarbon Base, Aircraft and Missile[S]. USA: DOD, 2022.
- [9] 石油化工科学研究院. SH 0358-95 10 号航空液压油 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

- [10] 中国人民解放军总后勤部军需物资油料部 .GJB 1177A—2013 15号航空液压油规范 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2013.
- [11] 中国人民解放军总后勤部军需物资油料部 . GJB 5311A—2015 合成烃耐燃航空液压油规范 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2015.
- [12] DOD. MIL-P-25732C Military Specification Packing, Preformed, Petroleum Hydraulic Fluid Resistant, Limited Service at 275 °F (135 °C) [S]. USA: DOD, 1980.
- [13] SAE. AMS-P-83461 Packing, Preformed, Petroleum Hydraulic Fluid Resistant, Improved Performance at 275 °F (135 °C) [S]. USA: DOD, 1998.
- [14] 高世阳, 王红梅. 橡胶材料耐低温性能测试方法对比 [J]. 橡塑资源利用, 2021, (06):1-6.
- [15] SPETZ G. Review of test methods for determination of low-temperature properties of elastomers[J]. Polymer Testing, 1990, 9(1):27-37.
- [16] WARREN P. Low temperature sealing capability of elastomer O-rings[J]. Sealing Technology, 2008, 2008(9): 7-10.
- [17] 武磊, 曹元礼, 王梦媛, 等. 丁腈橡胶低温性能关联性的研究 [J]. 特种橡胶制品, 2021, 42(01):48-51.
- [18] WEISE H-P, KOWALEWSKY H, WENZ R. Behaviour of elastomeric seals at low temperature[J]. Vacuum, 1992, 43(5-7):555-557.
- [19] STEVENS R D, THOMAS E W, BROWN J H, et al. Low Temperature Sealing Capabilities of Fluoroelastomers[J]. SAE Transactions, 1990, 99:123-135.
- [20] 国家经济贸易委员会 . GJB 5258—2003 航空橡胶零件及型材用胶料规范 [S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 2003.
- [21] 刘嘉, 苏正涛, 栗付平. 航空橡胶与密封材料 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011:44-64.

Overview of aviation hydraulic oil resistant nitrile rubber sealing materials

Bai Pengxiang, Wang Jianjun, Qiu Yanwu, Weng Peijin, Dong Jie, Chen Qing, Wang Yong

(Guangzhou Mechanical Engineering Research Institute Co. LTD. , Guangdong 510700, Guangzhou, China)

Abstract: Leakage of aviation hydraulic oil is the most common malfunction in aircraft hydraulic systems. For rubber seals, the reliability of the seal is closely related to the rubber material used. This article summarizes the classification and development of aviation hydraulic oils, as well as the performance of typical nitrile rubber sealing materials.

Key words: aviation hydraulic oil; nitrile rubber; sealing materials; oil resistance performance; low temperature performance

(R-03)

应对电动汽车挑战，卡博特推新型炭黑

Cabot introduces new carbon black to meet electric vehicle challenges

炭黑行业巨头卡博特近日推出了一款名为 PROPEL E8 的新型工程强化炭黑，旨在为高性能轮胎的胎面应用提供在低滚动阻力下的卓越耐久性。随着电动汽车市场的不断壮大，其特有的高重量和大扭矩对轮胎性能提出了更高要求，卡博特的这一新产品正是为了应对这些挑战而生。与传统的高表面积 ASTM 炭黑相比，PROPEL E8 在保持与 ASTM N100 系列炭黑相当的耐磨性的同时，实现了更低的滚动阻力和更高的刚性与模量。这意味着使用 PROPEL E8 的轮胎能够在减少能量损失的同时，保持出色的路面抓地力和使用寿命，对于追求极致性能和效率的电动汽车来说无疑是一大利好。

据炭黑产业网了解，卡博特副总裁兼增强材料部门可持续解决方案总经理 Aatif Misbah 强调，PROPEL E8 及其系列产品不仅有助于提升轮胎性能，还能显著减少废弃物和降低频繁更换轮胎的需求，从而为推动轮胎行业的可持续发展做出积极贡献。PROPEL E8 的推出进一步完善了卡博特的 PROPEL E 系列产品线，该系列还包括 PROPEL E3、E6 和 E7 等多个等级，均为高性能轮胎配方提供了广泛的选择和优异的性能表现。特别是 PROPEL E3 炭黑，在降低滞后现象方面表现出色，为电动汽车轮胎实现更长行驶里程提供了关键支持。

编自“中国轮胎商务网”

(R-03)