

《无人机用二冲程往复式内燃机铝合金缸体》

标准编制说明（征求意见稿）

一、工作简况

1. 任务来源

本团体标准是2026年中国内燃机工业协会“关于下达中国内燃机工业协会2026年度第二批团体标准制定计划的通知（中内协[2026年]28号）”中的计划项目，标准项目名称《无人机用二冲程往复式内燃机铝合金缸体》，项目编号CICEIA2026007。该标准由临沂市铸信机械有限公司牵头制定。完成时间2027年6月。

2. 主要工作过程

2.1 标准起草阶段

起草阶段：计划下达后，2026年6月成立了“无人机用二冲程往复式内燃机铝合金缸体”起草工作组，由临沂市铸信机械有限公司牵头起草工作，并提出进度安排。工作组广泛搜集和检索了国内外的技术资料，经过大量的研究分析，结合行业实际应用经验，全面地总结和归纳，在此基础上编制了标准工作组讨论稿。标准编制工作组成员通过电话、电子邮件等方式，对标准的适用范围和主要技术内容进行了研讨，初步达成共识，于2026年8月形成了征求意见稿。

3. 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作等

本标准由临沂市铸信机械有限公司、天津大学、天津内燃机研究所（天津摩托车技术中心）、重庆宗申航空发动机制造股份有限公司共同起草。

主要成员：李浩、王廷高、秦静、丁倩岚、田阳波等。

所做的工作：李浩任工作组组长，全面负责组织起草。由王廷高、田阳波完成标准项目制定及测试方法编制，由秦静等进行核算验证，丁倩岚完成标准化审查并对各方面的意见和建议进行归纳、分析，以及其他材料的编制。

二、标准编制原则和主要内容

1. 编制原则

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求进行起草，在编写过程中，参考国内行标相关的标准和规范性文件，综合考虑无人机应用的复杂环境和高可靠性要求情况，使本标准更科学、规范，并更具可操作性，并与铸造

铝合金、硬度、表面粗糙度、几何公差、抽样检验等基础标准协调。

本文件从范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、试验方法以及检验项目等方面进行了明确规定，关键技术指标均配置对应的试验方法和检验项目，形成要求、试验、检验和交付闭环。

2. 标准主要内容

本文件规定了无人机用二冲程往复式内燃机铝合金缸体的一般结构、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、贮存和运输。

本文件适用于螺旋桨式无人机用净功率不大于100kW的二冲程往复式内燃机的铝合金缸体（以下简称“缸体”）。

三、对应国家标准、行业标准情况

目前没有直接对应的国家标准或行业标准。本项目不是对现行标准的修订，也不替代现行国家标准或行业标准，而是在相关通用基础标准之上，结合无人机应用需求制定的专用补缺标准。

四、主要试验（或验证）情况分析

为保证《无人机用二冲程往复式内燃机 铝合金缸体》标准中各项技术指标设置科学合理、试验方法具备实操性、复现性，工作组结合国内无人机二冲程内燃机铝合金缸体生产制造、加工处理、整机装机应用实际，联合起草单位中的生产企业、高校及科研检测机构开展专项试验验证工作。验证样品选取ZL107材质及同等性能铝合金多批次缸体、配套铸锭试样，覆盖毛坯铸锭、热处理毛坯、加工成品缸体，包含合格样品与边界条件样品，每个验证项目设置多组平行试样，开展铸锭性能、本体理化性能、外观、尺寸形位、镀层性能、表面特征、燃烧室容积、密封性、镀层结合力等全项目验证，同时开展发动机台架装机验证，采集大量实测数据，为本标准全部技术指标限值、判定条件、试验操作流程提供实测支撑。

4.1 铸锭相关指标及试验方法验证

本标准5.2规定铸锭表面质量、针孔度等级、显微组织、断口质量指标；对应的试验方法6.1分别采用目视检验、JB/T 7946.3针孔度评级、100倍显微镜显微组织对比评级、规定位置打断后断口目视检验。

工作组收集多批次ZL107铸造铝合金铸锭开展对比验证。对不同熔炼工艺铸锭，按照6.1要求进行外观检查、针孔度评级、显微组织制样抛光观测、规定位置打断观察断口。验证表明：目视法可有效识别铸锭霉斑、熔渣、外来夹杂物；依据JB/T 7946.3开展针孔度评级、附录A开展显微组织评级，操作流程清晰，不同检验人员评级结果一致性较好；在锭长1/4处底部锯切打断获取断口，能够真实暴露铸锭内部缩孔、夹渣、偏析等缺陷。通过对比不同等级铸锭后续浇注缸体的铸件质量：铸锭针孔度、显微组织低于3级时，铸件更容易出现气孔、疏松缺陷。验证确认本标准5.2的铸锭指标限值合理，6.1各项试验方法能够有效筛选不合格

铸锭，可用于缸体原材料入厂检验。

4.2 外观质量指标及试验方法验证

标准5.3规定缸体成品外观缺陷、表面色泽、散热片欠铸冷隔、缸筒内壁气孔疏松要求；试验方法6.2.1采用目视、样板比对检验。

工作组选取多批次成品缸体，包含存在划伤、毛刺、散热片欠铸、缸筒内壁气孔等不同缺陷状态样品开展验证。采用目视及样板比对方式开展多人交叉比对检验。验证结果表明，目视结合样板比对，能够稳定识别裂纹、碰伤、飞边、散热片穿透欠铸冷隔等外观缺陷；对于缸筒内壁气孔，配合菲林尺可完成气孔尺寸、数量统计。部分样品细微缺陷通过样板比对可统一判定尺度，避免人为判定差异。验证证明5.3外观指标限值符合行业生产实际，6.2.1试验方法适合生产现场出厂检验。

4.3 硬度指标及试验方法验证

标准5.4.2规定缸体毛坯T6热处理后机体硬度HBW 90~130；5.4.4规定镀陶、镀铬缸筒内壁镀层维氏硬度；试验方法6.2.2分别规定机体布氏硬度按GB/T 231.1测试，镀层试样立式镶嵌制样、维氏硬度检测，明确测点数量、压痕判定、数据取舍规则。

机体硬度验证：对不同T6热处理工艺缸体毛坯取样，按照6.2.2.1要求，每个试样测量不少于5个测点取平均值。试验对比发现，测点过少会带来数据离散，5点取平均可以消除局部组织不均匀带来的误差；热处理不足样品硬度低于90HBW，整机运行易发生变形；硬度过高超过130HBW铸件脆性增大，受交变热载荷易开裂，验证确定90-130HBW限值合理。

镀层硬度与厚度验证：对镀硬铬、镀陶两种主流缸筒内壁表面处理缸体，按照标准6.2.2.2进行立式镶嵌制样，在显微镜下测量镀层厚度、维氏硬度。验证试验对比不同镶嵌方式，确认镀层需要垂直镶块，避免测量厚度失真；明确压痕必须落在镀层内部，剔除压痕靠近基体、带裂纹的无效测点；区分结果离散程度选择3点或5点（剔除极值）取平均的计算规则。实测数据表明：镀层厚度低于0.02 mm，在发动机往复摩擦工况下容易快速磨损失效；镀陶500HV0.2~700HV0.2、镀铬900HV0.2~1100HV0.2硬度区间，匹配无人机二冲程缸筒耐磨使用需求。验证证明硬度、镀层厚度指标限值科学，6.2.2的镶嵌、观测、数据处理方法可复现。

4.4 表面粗糙度、珩磨支撑率指标及试验方法验证

标准5.4.3规定缸筒内壁表面粗糙度宜低于0.8 μm ；5.4.12规定珩磨后支撑率系列参数Rz、Rt、Rk、Rpk、Rvk、Mr1、Mr2；试验方法6.2.3采用GB/T 1031粗糙度仪检测，每缸测量2处取平均；6.2.10采用粗糙度仪测量支撑率。

选取不同珩磨工艺缸体开展对比测试，同一缸体多点位测量。验证发现：只测单处数据偶然性大，两处取平均更能反映缸筒内壁整体状态；对比粗糙度仪与其他简易方法，出现争议时粗糙度仪结果稳定可靠。将不同支撑率参数缸体装配发动机台架试验，支撑率不在标准区间的样品，会出现活塞环磨合不良、拉缸风险。验证确认本标准粗糙度、支撑率参数限值

适配无人机二冲程发动机润滑、磨合工况，试验方法满足出厂及型式检验。

4.5 尺寸与形位公差、气口参数指标及试验方法验证

标准5.4.5~5.4.8、5.4.11规定缸体内孔公差、法兰面对内孔轴线垂直度、扫/排气口高度、宽度公差、气口倒角尺寸；试验方法6.2.4规定内孔分上中下截面测量、圆柱度采用气动量仪等设备，垂直度三坐标测量，气口高度深度卡尺、气口宽度长爪卡尺，扫气道采用扫描仪，几何公差执行GB/T 1958；6.2.9采用轮廓仪检测气口倒角。

工作组对多批次成品缸体开展全参数复测。缸体内孔分活塞环上下止点截面测量，验证该测量方式可以真实覆盖活塞环运动工作区间；对比三坐标、气动量仪、卡尺、轮廓仪、扫描设备的测量结果，确认各设备精度满足指标公差要求；气口测量明确需要避开倒角位置，防止测量数据失真。装配匹配验证：气口高度、宽度、倒角超出标准限值，会直接改变二冲程发动机扫气、排气时序，造成发动机功率下降、工作不稳定。通过实测数据和装配适配验证，证明标准设置的公差限值兼顾加工工艺可行性与发动机性能要求，6.2.4、6.2.9规定的检测手段、测量位置要求合理可行。

4.6 缸筒内壁气孔裂纹指标及试验方法验证

标准5.4.10规定缸筒内壁气孔尺寸分级及允许数量，不允许存在裂纹；试验方法6.2.5为目视+菲林尺测量气孔。

制备一批含有不同规格气孔、裂纹的缸体试样开展验证。通过菲林尺量化气孔直径，统计单位面积气孔数量和总数量。装机对比试验：存在 $\geq 0.8\text{ mm}$ 气孔、缸筒内壁裂纹的缸体，在发动机热循环工作后缺陷扩展，出现漏气、拉缸故障。验证表明目视+菲林尺可以实现现场快速判定，5.4.10气孔分级限值可以有效规避使用风险，试验方法适用于成品检验。

4.7 燃烧室容积指标及试验方法验证

标准5.5.1规定燃烧室容积偏差不得超过 $\pm 0.2\text{ mL}$ ；试验方法6.2.6给出两种液体加注测量方法，配套计算公式，明确工装结构、液体选择、滴管精度不低于 0.05 mL 。

工作组按照标准工装结构制作试验治具，分别采用水、煤油介质开展对比试验，分别对图8、图9两种工况开展多组重复测试。验证得出：滴管精度 0.05 mL 是保证容积偏差 $\pm 0.2\text{ mL}$ 检测精度的必要条件；工装设置排气孔有利于排出气泡，减少测量误差；对比不同操作人员测试结果，本标准测量流程复现性良好。燃烧室容积偏差超 $\pm 0.2\text{ mL}$ 会直接改变压缩比，造成发动机爆震或者功率不足。验证确认燃烧室容积指标限值合理，6.2.6测试流程、计算公式正确。

4.8 镀层结合力指标及试验方法验证

标准5.5.2规定缸筒镀层结合力检验无起皮脱落；试验方法6.2.7.1采用钻孔挤压法，规定钻头规格、挤压工艺、观测点数、合格判定 $L \leq 0.5\text{ mm}$ 、 $L_{\max} \leq 1\text{ mm}$ 。

选取镀层结合力优良、中等、不良三类缸体样品，按照钻孔挤压法开展验证，每一样品取3处测试。验证试验表明：标准规定钻头、挤压棒尺寸、留底厚度，能够稳定将应力传递

至镀层界面；圆周12等分观测点可以全面评价圆周镀层脱落情况；不合格样品挤压后出现大面积镀层起皮脱落，可以被该方法有效检出。验证证明钻孔挤压法能够有效甄别镀层结合力不合格缸体，判定阈值设置合理。

4.9 化学成分指标及试验方法验证

标准5.4.1规定缸体宜采用ZL107或相当铝合金；试验方法6.2.8按照GB/T 5678开展光谱取样，明确熔炼炉次取样节点，浇注时长超过4 h的补取样规则，允许铸件本体取样。

针对不同熔炼炉次，分别采用浇注光谱试样与缸体本体取样对比测试。验证发现浇注持续时间较长时，合金成分会存在波动，超过4 h补取样可以监控成分漂移；GB/T 5678取样方法光谱检测结果稳定可靠。成分超出ZL107范围，会直接影响铸件铸造性能、热处理后力学性能。验证确认化学成分控制要求、取样规则符合铸造生产实际。

4.10 密封性指标及试验方法验证

标准5.4.13规定缸体0.3 MPa压力下不应漏气；试验方法6.2.11规定打压工装0.3 MPa保压15 s不漏气。

选取多只缸体，包含存在微小渗漏隐患样品开展密封性对比试验。分别采用不同保压压力、保压时长对比：保压时间不足15 s，部分微漏缺陷无法暴露；压力低于0.3 MPa时部分渗漏样品检测结果为合格。0.3 MPa、保压15 s条件，能够有效暴露缸体微孔、铸造疏松带来的漏气缺陷。台架反馈，通过该试验条件的缸体，在无人机发动机工作工况下无漏气故障。验证确认密封性指标和保压条件设置合理。

4.11 整机台架应用验证

除单项理化检测验证外，工作组将满足本标准全部技术指标的缸体以及部分指标超出限值的缸体，装配无人机二冲程内燃机开展台架耐久验证。模拟无人机怠速、额定功率等典型工况长期运行。试验结果表明：全部指标符合标准的缸体，台架运行过程无漏气、拉缸、镀层脱落、开裂等失效；部分指标超出标准限值的对比样品，出现拉缸、漏气、镀层起皮、缸体变形等故障。台架验证佐证了本标准整套技术指标体系可以保障无人机二冲程铝合金缸体实际服役可靠性。

4.12 验证总体结论

本次验证覆盖铸锭原材料、毛坯热处理、成品尺寸形位、表面镀层、理化性能、密封、燃烧室容积、镀层结合力等全部核心技术指标与对应试验方法。验证样品来源于国内主流生产企业，试验兼顾实验室检测条件与工厂出厂检验条件。验证结果表明：本标准各项技术指标限值，充分考虑ZL107铝合金铸造、机加工、表面处理工艺水平，适配净功率 ≤ 100 kW无人机二冲程往复内燃机高温、高转速、交变载荷工况；标准规定以及引用的各项试验方法，操作步骤明确，测试结果可复现，既可用于企业出厂检验，也可用于型式检验、第三方质量判定；技术指标与试验方法匹配协调，可以作为无人机用二冲程往复内燃机铝合金缸体生产、检验、验收的技术依据。

五、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

六、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

标准实施后，有望统一材料、热处理、镀层、珩磨、缺陷和气密控制要求，形成可比较的验收指标，减少供需双方重复确认和质量争议，提高国产缸体一致性与可靠性，降低产业化应用和技术转化风险，并为国产化替代和规模化应用提供技术支撑。

七、采用国际标准和国外先进标准情况

本标准没有采用国际标准。

目前国际上尚无专门针对无人机用二冲程往复式内燃机铝合金缸体的同类技术标准，本项目未等同、修改或非等效采用国际标准。起草过程中参考了通用汽油机气缸体标准，并结合无人机应用特点自主制定。

八、与现行法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性国家标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。现有资料未提供重大分歧意见及处理记录。后续征求意见和审查阶段如出现重大分歧，应如实记录意见内容、协商过程、处理依据和最终结论。

十、标准性质的建议说明

本标准团体标准，由相关单位自主选择采用。本标准可作为供需双方技术协议、产品采购验收和企业质量控制的依据，但不替代法律法规及强制性标准要求。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

该文件制定完成并发布后，建议由中国内燃机工业协会标准化工作委员会在行业企业内组织宣贯实施，推动企业及时采用本文件。企业可按照本文件的规定和要求，对企业内部的标准（或技术文件）进行修订，或根据本文件的实施时间拟定企标的整改过渡措施。

建议该文件的实施日期为正式发布后。

十二、废止现行相关标准的建议

无。

十三、其它应予说明的事项

无。