ICS 49.030.60
CCS V 25

团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2025

低空飞行汽车轻量化铝合金起落架通用技术规范

General technical specification for lightweight aluminum alloy landing gear of low-altitude flying vehicles

2025-X-XX 发布 2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目　　次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 外观要求 2
5 技术要求 2
5.1 材料要求 2
5.2 结构设计要求 2
5.3 力学性能要求 3
5.4 表面处理要求 4
5.5 耐腐蚀性要求 4
5.6 环境要求 4
6 试验方法 4
6.1 材料试验 4
6.2 结构设计试验 4
6.3 力学性能试验 4
6.4 表面处理试验 5
6.5 耐腐蚀性试验 5
6.6 环境试验 5
7 检验规则 5
7.1 检验分类 5
7.2 检验要求 5
7.3 型式检验 5
7.4 出厂检验 6
7.5 检验报告 6
8 标志、包装、运输和贮存 6
8.1 标志 6
8.2 包装 6
8.3 运输 6
8.4 贮存 6

前言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

低空飞行汽车轻量化铝合金起落架通用技术规范

1 范围

本文件规定了低空飞行汽车轻量化铝合金起落架的外观要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于低空飞行汽车轻量化铝合金起落架的生产、设计、制造。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 1031 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.61 环境试验 第2部分：试验方法 试验和导则：大型试件砂尘试验

GB/T 2423.63 环境试验 第2部分：试验方法 试验：温度（低温、高温）/低气压/振动（混合模式）综合

GB/T 2651 金属材料焊缝破坏性试验 横向拉伸试验

GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱

GB/T 3190 变形铝及铝合金化学成分

GB/T 4857.5 包装 运输包装件 跌落试验方法

GB/T 5780 六角头螺栓 C级

GB/T 6378.1 计量抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的对单一质量特性和单个AQL的逐批检验的一次抽样方案

GB/T 7308.2 滑动轴承 有法兰或无法兰薄壁轴瓦 第2部分：轴瓦壁厚和法兰厚度测量

GB/T 8013.2 铝及铝合金阳极氧化膜与有机聚合物膜 第2部分：阳极氧化复合膜

GB/T 8014.1 铝及铝合金阳极氧化 氧化膜厚度的测量方法 第1部分：测量原则

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 17432 变形铝及铝合金化学成分分析取样方法

GB/T 28289 铝合金隔热型材复合性能试验方法

GB/T 34487 结构件用铝合金产品剪切试验方法

GB/T 38201 航天器常压热性能试验方法

GB/T 38918 民用飞机起落架结构设计与仿真

GB/T 43103 金属材料 蠕变-疲劳损伤评定与寿命预测方法

HB 6502 飞机结构刚度试验通用要求

HB 6645 飞机起落架缓冲器落震试验方法和要求

3 术语和定义

GB/T 38918界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低空飞行汽车 low-altitude flying car

兼具地面行驶与低空飞行能力的交通工具，具有短距起飞、垂直起降或固定翼巡航能力，适用于城市空中出行与应急场景。

4 外观要求

起落架外观应满足以下要求：

a)起落架表面应平整光滑，不应有裂纹、缩孔、气泡、夹杂等影响使用的缺陷；

b)焊接部位应平整光滑，焊缝应均匀连续，无未焊透、夹渣、气孔等缺陷；

c)表面涂层应均匀一致，附着牢固，不应有剥落、起皱、流挂等现象；

d)所有螺纹应完整无损，不应有断牙、滑牙等缺陷。

5 技术要求

5.1 材料要求

5.1.1 铝合金牌号

应选用高强度铝合金，典型材料包括7075-T6、6061-T6、2024-T3、7075-T7451、6082-T6。

5.1.2 化学成分要求

铝合金材料化学成分应符合GB/T 3190的规定，其中主要元素含量应符合表1要求。

表1 铝合金材料的元素含量要求

合金牌号	元素含量（%）							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
7075-T6	≤0.40	≤0.50	1.2-2.0	≤0.30	≤0.30	0.18-0.28	5.1-6.1	≤0.20
6061-T6	0.4-0.8	≤0.7	0.15-0.4	≤0.15	≤0.15	0.04-0.25	≤0.25	≤0.15
2024-T3	0.50	0.50	3.8-4.9	0.3-0.9	0.3-0.9	-	≤0.25	≤0.15
7050-T7451	≤0.12	≤0.15	2.0-2.6	≤0.10	≤0.10	0.04-0.14	5.7-6.7	≤0.06
6082-T6	0.7-1.3	≤0.50	≤0.10	0.4-1.0	0.4-1.0	≤0.25	≤0.20	≤0.10

5.1.3 力学性能要求

材料力学性能应符合表2要求。

表2 铝合金材料的力学性能要求

合金牌号	抗拉强度（MPa）	屈服强度（MPa）	伸长率（%）	布氏硬度（HBW）
7075-T6	≥560	≥480	≥11	150-160
6061-T6	≥260	≥240	≥10	95-100
2024-T3	≥425	≥325	≥10	120-125
7050-T7451	≥510	≥455	≥10	135-145
6082-T6	≥310	≥270	≥8	90-100

5.2 结构设计要求

5.2.1 总体结构设计

起落架的总体结构设计应满足以下要求：

a)起落架结构应为三点式或四点式悬挂结构，具备足够的抗扭刚度及冲击吸收能力；

b)应优先采用单根主承力梁+可更换减振支柱的模块化结构，方便维修与替换。

5.2.2 关键部件壁厚

为在满足强度要求的同时减轻结构质量，铝合金构件的壁厚应满足表3要求。

表3 铝合金构件的壁厚

部件名称	壁厚范围（mm）	允许最小壁厚（mm）
主承力梁	3.5～6.0	3.0
副支撑臂	2.0～3.5	1.8

减振连接板	4.0～6.5	3.5
轮架与连接法兰	5.0～8.0	4.5

5.2.3 结构刚度

起落架结构刚度应满足以下要求：

a)弯曲应变≤0.002 mm/mm；

b)扭转刚度≥350 Nm/° 。

5.2.4 冲击缓冲能力

起落架冲击缓冲能力应满足以下要求：

a)减震行程≥80 mm，最大压缩变形≤25%；

b)起落架整体应通过模拟下沉速率2.5 m/s降落冲击试验，并无永久变形或破坏。

5.2.5 接口设计

起落架接口设计应满足以下要求：

a)起落架与车体连接处应设有不少于4个M10以上螺栓或结构焊接连接件；

b)坡度停车≤10° 时结构应无滑动。

5.2.6 热变形控制

在-40 ℃至+70 ℃工作环境下，结构整体热变形应不大于以下限值：

a)主承力构件≤0.8 mm/m；

b)辅助支撑臂≤1.0 mm/m。

5.2.7 质量控制

单侧起落架质量≤ 7 kg。

5.3 力学性能要求

5.3.1 承载能力

起落架承载能力应满足以下要求：

a)静态载荷承载能力：起落架应能承受飞行汽车最大起飞重量（MTOW）在垂直方向上的1.5倍静态载荷而不发生永久变形。

b)极限载荷承载能力：在施加2.0倍设计工况载荷下，起落架结构不应发生断裂、脱落、屈服或失稳。

5.3.2 冲击吸收能力

飞行汽车在正常降落工况下，传递至机身的减速度应不超过15 g。

5.3.3 疲劳寿命

起落架全工况起降循环疲劳使用寿命应不少于10000次，在单次工作循环下，应不出现微裂纹、塑性屈服、蠕变或螺栓松动等失效现象。

5.3.4 刚度与变形控制

起落架应具备足够的纵向与横向刚度，静载变形量应满足表4要求。结构不得在额定载荷作用下发生显著屈曲或共振，固有频率不应落入飞行汽车主要工作频段（5~20 Hz）内。

表4 起落架静载变形量

方向	载荷标准	最大允许静载变形量
垂直方向	MTOW×1.0	≤5 mm
水平方向	MTOW×0.2	≤3 mm

5.3.5 刹车力与侧向稳定性

起落架刹车力与侧向稳定性应满足下列要求：

a)起落架应在施加地面最大刹车力下保持完整接地状态，轮叉或支撑结构不应发生超限变形。

b)侧向滑移角±15°范围内起落架应无侧翻、轮胎不脱圈、铰接点无脱落。

5.3.6 连接部位受力要求

起落架与机体连接点应满足最小抗拉强度≥200 MPa，抗剪强度≥150 MPa。连接件选用应符合GB/T 5780和GB/T 3098.1的要求。

5.4 表面处理要求

5.4.1 表面应进行阳极氧化或喷涂处理，氧化层厚度≥15 μm；
5.4.2 阳极氧化后的表面应进行封闭处理，封闭质量应符合GB/T 8013.2的规定；
5.4.3 螺纹孔、轴颈等配合表面在表面处理前应进行保护，处理后应清理干净。
5.4.4 表面处理后的零件应进行外观检查，表面应均匀一致，不应有露底、锈蚀、裂纹等缺陷。

5.5 耐腐蚀性要求

起落架在盐雾环境中持续暴露96小时后表面无白绣。

5.6 环境要求

5.6.1 高低温要求
起落架应能在-40 ℃~＋85 ℃环境下正常工作。
5.6.2 湿度要求
起落架应能在相对湿度20%～98%环境下稳定工作。
5.6.3 砂尘要求
起落架应能在干燥砂尘环境下稳定工作。

6 试验方法

6.1 材料试验

6.1.1 材料化学成分分析
材料化学成分分析应按照GB/T 17432进行。
6.1.2 材料力学性能试验
材料力学性能试验应按照GB/T 28289进行。

6.2 结构设计试验

6.2.1 总体结构试验
总体结构试验应按照以下步骤进行：
a)将被测起落架安装至标准试验台架上，模拟车体连接状态；
b)施加500 Nm的扭矩，测量其最大扭转角度，计算扭转刚度（Nm/°）；
c)以等速方式下压减震机构至设计行程终点，记录所需力和行程变化，评估冲击吸收能力。
6.2.2 关键部件壁厚试验
应按照GB/T 7308.2进行。
6.2.3 结构刚度试验
应按照HB 6502进行。
6.2.4 冲击缓冲能力试验
应按照HB 6645进行。
6.2.5 接口连接强度试验
接口连接强度试验应按照以下步骤进行：
a)起落架与标准安装座连接，施加不小于车体自重1.5倍的剪切与拉伸力，保持5 min；
b)将整机在10° 坡面静置5 min，观察连接部位是否有滑移或位移。
6.2.6 热变形控制试验
应按照GB/T 38201进行。
6.2.7 质量试验
对单侧起落架总质量进行测量。

6.3 力学性能试验

6.3.1 承载能力试验
承载能力试验应按照以下步骤进行：

a)静态承载能力试验：将起落架安装于与飞行汽车机体等效连接的固定平台，沿垂直方向施加1.5倍最大起飞重量对应的静态载荷，保持10 min，观察其永久变形情况。

b)极限载荷能力试验：静载试验基础上继续加载至2.0倍载荷，观察结构响应。

6.3.2 冲击吸收能力试验

将起落架安装于模拟底盘，设置2.5 m/s下沉速度的冲击条件，释放飞行汽车等效质量，记录降落过程中结构减速度峰值。

6.3.3 疲劳寿命试验

应按照GB/T 43103进行。

6.3.4 刚度与变形试验

分别施加最大起飞重量×1.0（垂直）及最大起飞重量×0.2（水平方向）静载荷，通过激光位移计测量相应方向的变形值。

6.3.5 刹车力与侧向稳定性试验

在平台上模拟地面刹车力，观察起落架受力后状态。

6.3.6 连接部位受力试验

应按照GB/T 2651进行抗拉强度试验，按照GB/T 34487进行抗剪强度试验。

6.4 表面处理试验

6.4.1 应按照GB/T 8014.1测定阳极氧化后的起落架表面厚度。

6.4.2 应按照GB/T 8013.2的要求对阳极氧化后表面封闭状态进行测试。

6.4.3 对螺纹孔和轴颈等配合部位进行目视检查和配合件试装。

6.4.4 应按照GB/T 1031进行表面一致性检查。

6.5 耐腐蚀性试验

应按照GB/T 10125进行。

6.6 环境试验

6.6.1 高低温试验

应按照GB/T 2423.63进行。

6.6.2 湿度试验

应按照GB/T 2423.3进行。

6.6.3 砂尘试验

应按照GB/T 2423.61进行。

7 检验规则

7.1 检验分类

本文件要求的检验分为型式检验和出厂检验两类。

7.2 检验要求

起落架的检验应满足下列要求：

a)检验人员应通过相关质量管理或产品检验认证培训，掌握起落架相关标准和检验规范，具备相应岗位的资格证书；

b)检验设备经过计量单位检定、校准并定期维护，在检定有效期内使用；

c)检验过程中严格按照本文件规定的检验方法进行；

d)检验记录详细、准确，并妥善保存，以便追溯和复查；

e)对于检验中发现的不合格品，及时进行标识、隔离、返工或报废处理。

7.3 型式检验

7.3.1 型式检验项目包括本文件规定的技术要求中所有项目。

7.3.2 检验时机

有下列情形之一时，应进行型式检验：

a)新产品试制定型鉴定时；

b)正式生产后，如结构、材料、工艺等有较大改变，可能影响产品性能时；

c)正常生产满一年时；

d)间隔一年以上再生产时；

e)出厂检验结果与同产品型号或批次的型式检验有较大差异时。

7.3.3 抽样规则

抽样规则应符合GB/T 6378.1的要求。

7.3.4 判定规则及处理措施

所有检验项目均满足本文件的要求时，判定为合格。任一项不符合规定时，判定为不合格。对于不合格的产品，应进行返工或报废处理，返工产品应重新进行检验。

7.4 出厂检验

出厂检验的项目应包括：外观检查、力学性能和环境适应性等关键性能指标。各项指标均满足本文件的要求时，方可被判定为合格产品。对于不合格的产品，应进行报废处理。

7.5 检验报告

所有检验记录和报告应妥善存档，每次检验结束后应出具完整的检验报告，并包括下列内容：

a)基本信息：产品名称、产品批次编号、检验日期、检验机构和参与人员等；

b)检验目的与检验依据；

c)检验环境与检验设备清单等；

d)检验方法与检验过程；

e)检验数据：详细列出各项目的检测数据；

f)检验结论：评估该批次产品是否合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

起落架的标志应满足下列要求：

a)每件产品应在明显位置粘贴产品铭牌，内容包括：产品名称、型号、生产单位、出厂编号、生产日期等；

b)所有标志应清晰、耐磨，符合GB/T 191的相关规定。

8.2 包装

起落架的包装应满足下列要求：

a)包装应采用防潮、防震、防尘材料，确保产品在运输和存储过程中不受损；

b)包装内部应有缓冲材料（如泡沫或减震垫），满足GB/T 4857.5的相关要求；

c)包装箱外应标明产品的名称、型号、毛重、净重及运输标志；

d)每件产品随包装附带说明书、合格证及出厂检验报告。

8.3 运输

起落架的运输应满足下列要求：

a)运输过程中应避免剧烈振动、跌落及强烈温度变化；

b)在运输过程中不得与有毒、有腐蚀性或易燃物品混装；

c)产品运输过程中应避免暴露在高湿或雨淋环境下。

8.4 贮存

起落架的贮存应满足下列要求：

a)产品应存放于-10℃～40℃的环境温度内，相对湿度≤85%的干燥环境中；

b)贮存环境应通风良好，避免阳光直射及高湿度环境；

c)长期贮存时，应每6个月对设备进行一次检查和维护。