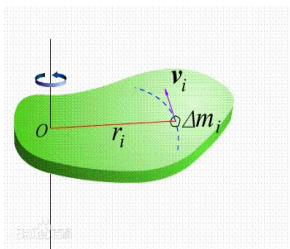


工民品行业计量技术规范项目建议书

项目名称	无人飞行器转动惯量检测设备校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	/
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input type="checkbox"/> 重点 <input checked="" type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	北方导航控制技术股份有限公司		
联系人	刘长怡	联系电话	010-58089676
任务年限	2 年	申请经费	2 万元
参加单位	/		
目的、意义和必要性	<p>1、目的、意义，解决行业、产业的问题和必要性、迫切性</p> <p>（1）申报目的、意义</p> <p>转动惯量又称质量惯性矩，是刚体绕轴转动时惯性（回转物体保持其匀速圆周运动或静止的特性）的量度。SI 单位为 kgm^2，用字母 I 或 J 表示。对于一个质点，$J=mr^2$，其中 m 是其质量，r 是质点和转轴的垂直距离，见图 1 所示。</p> <div></div> <p>图 1 转动惯量概述图</p> <p>转动惯量的大小取决于刚体的质量分布情况。如果刚体的质量分布均匀，则转动惯量相对较小；而如果质量分布不均匀，则转动惯量相对较大，这是因为质量集中在离轴线较远的地方会增加转动惯量的值。技术人员在设计和制造一些机械装置时，需要考虑刚体的转动惯量，以确保其稳定性和安全性。</p>		

转动惯量在机电制造、航空、航天、军工等工程技术和科学研究中应用广泛。例如：商业航天中的飞行器和卫星需要精确计算和调整转动惯量，以实现姿态的精准和可靠控制；机器人领域中机器人关节转动惯量大小会影响其运动的灵活性和精确性，在进行产品设计时也是需要进行认真考虑的；汽车、摩托车等车辆，其转动惯量大小影响着车辆的操控性，为实现安全、舒适的操控性能，也需要在产品的设计时就要对转动惯量进行认真分析和计算。不同的应用场所对转动惯量的测量需求也不相同，见图 2 所示。



图 2 整车质量、质心、转动惯量综合测试台

伴随着国家低空经济的发展，通用航空装备全面融入人民生活各领域，成为低空经济增长的强大推动力，形成万亿级市场规模。无人飞行器将成为低空领域的新军，潜在市场潜力大，作为航空电动化的代表，具备技术成熟、安全可靠、绿色环保、提效省时、运营经济等多重优势。

无人飞行器转动惯量是飞行器做转动运动时其惯性的度量，是飞行器固有的质量特性参数，其转动惯量的大小取决于飞行器的质量和质量分布以及转动运动时所对应的转轴的位置，决定了它对外部扰动的响应能力。转动惯量越大，飞行器抵御扰动的能力就越强，对外部扰动的响应速度也就越慢。因此，在飞行器设计中需要考虑转动惯量大小的优化，以确保其具有良好的稳定性和控制性能。

根据牛顿第二定律 $f=ma$ ，描述了作用在直线加速运动物体上的力（ f ）和物体质量（ m ）、加速度（ a ）之间的关系，与此相似， $M=J\varepsilon$ 则描述了作用在转动运动物体上的力矩（ M ）和物体转动惯量（ J ）、角加速度（ ε ）之间的关系。由此可见，物体做转动运动时的转动惯量与其做直线运动时的质量起着同样性质的作用，都是物体惯性的度量，与物体的运动等密切相关。

正因如此，飞行器转动惯量是飞机设计中不可缺少的原始数据，它是飞机载荷计算、操稳特性和载荷分析中必备的参数，随着

飞机自动化程度的不断提高，主动控制技术日益广泛应用，需要设计师提供更为精确的飞机转动惯量数据，也是对从事质量工程专业人员提出的挑战。

(2) 申报项目解决行业问题的必要性

在科学试验、工程技术、航天、电力、机械、仪表等领域，对刚体的转动惯量测量有着重要的物理意义（重要参量）。形状规则的均质物体，其转动惯量的可直接用公式计算得到。而对于不规则刚体或非均质刚体的转动惯量，一般通过实验的方法来进行测定，因而实验方法和检测设备就显得十分重要。

当前，国内市场上开发转动惯量测试设备的厂家和型号有很多，在军民领域科研、生产和检测单位中广泛应用，涉及工业生产的各个领域，均需要计量对技术特性校准，对测试方法进行规范。而计量部门对转动惯量检测设备一般按照满足特定参量测量的专用测试设备管理，校准方法不统一。例如：

①西安百纳电子科技有限责任公司(原西北工业大学的质量特性测量技术研究中心)研制转动惯量检测设备，见图 3 所示，采用扭摆测量原理，试件安装轴和检测平台轴线平行，通过测量扭摆系统在空载和加载情况下的自由摆动周期来计算转动惯量。对于较长的不能竖直安装试件，则采用试件横滚的方式（工装夹具保障），通过测量系统横滚周期计算试件的转动惯量。



图 3 MPTB\MPTC 系列转动惯量外形

②美国空间电子有限公司(Space ElectronicsInc)生产的高精度转动惯最测量仪器，多用于国防工业，且这些设备价格高维修困难，难以引进国内。该公司还开发飞机舵面动惯量测量仪（测量原理为摆动法），如图 4 所示。有效载荷 225kg 手动驱动，其测量准确度在 3%。



图 4 飞机舵面转动惯量检测设备

③南京航兵测试技术有限公司在民用领域，该公司生产的三线摆测量汽车发动机转动惯量检测设备见图 5 所示，在汽车行业广泛使用。三线摆作为经典的转动惯量测试方法缺点是体积较大，该设备测量准确度为 5%。



图 5 三线摆测量汽车发动机转动惯量检测设备

（3）申报项目解决行业问题的迫切性

伴随着国家低空经济的发展，通用航空装备全面融入人民生活各领域，成为低空经济增长的强大推动力。无人飞行器将成为低空领域的新军，潜在市场潜力大，作为航空电动化的代表，具备技术成熟、安全可靠、绿色环保、提效省时、运营经济等多重优势。因此，我们认为相关参数的测量设备校准工作必须提前布局，才能有效保障、有效服务国民经济。

2021 年全国质量密度计量技术委员会委托北京航天计量测试技术研究所编制《转动惯量测量仪校准规范》（以下简称《校准规范》），当前处于征求意见中。该标准借鉴了中国运载火箭技术研究院院标《质心转动惯量测试设备校准规范》中转动惯量测试设备校准的部分内容，参考中国航天科技集团有限公司集团标准《转动惯量测量仪校准规范》部分内容。

目前，转动惯量检测设备鉴于国家计量校准规范还处于讨论阶段，在实际执行中发现无人飞行器转动惯量测量方法、要求与国家

校准规范征求意见稿还有差异。为此，北方导航控制技术股份有限公司结合无人飞行器转动惯量检测设备校准要求，提出编制《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》申请，内容中明确校准方法、标准件规格形式、校准过程与注意事项，通过示值误差计算，确定检测设备是否满足使用技术指标和预期需求。

2、申报先进性和亮点

当前，转动惯量检测设备在科研、生产中应用广泛，涉及工业生产各个领域，各单位计量检测部门多按照特定参量的专用测试设备管理。目前，国际上没有关于转动惯量检测设备的校准规范，国内论文著作中不少对转动惯量检测原理和方法开展研究，但缺少计量溯源、管理的要求与规范，国家《校准规范》也处于征求意见稿中。

结合无人飞行器转动惯量的计量校准特点，本次申报的《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》与，国家《校准规范》征求意见稿在测量原理、要求和方法上存在较大区别和差异，增加了管理要求和注意事项，见表 1 所示。

表 1 无人飞行器转动惯量检测设备校准规范特点

序号	项目	特点
1	检测设备分类和原理介绍	规范中增加了摆动法（复摆法）测量方法的原理介绍和操作要求，摆动法测量模型相对简单、计算方便，在大型无人飞行器转动惯量测量中应用较多。
2	局部坐标系构建	结合飞行器的测试需求，规范要求被测对象（无人飞行器）校准前需明确坐标体系，并分别开展绕 x 轴的转动惯量 J_x 、绕 y 轴的转动惯量 J_y 和绕 z 轴的转动惯量 J_z 测量校准。
3	标准件的管理	强调标准件应结构简单、与被测对象质量相近，校准中能够使用被测对象工装夹具，定位准确、运动中牢固可靠。
		标准为方便校准人员操作，规范推荐几种型式为标准件，同时对标准件制作和使用提出要求。
		规范对采用组合体结构标准件的转动惯量（标准值）获取，提供计算方法和理论基础。
4	校准方法和注意事项	为验证转动惯量检测设备最佳检测能力，规范规定加载后应尽量保持标准件质心位置与检测平台运动轴线一致，与待测物体转轴平行，并检查加载后检测平台水平状态。减少质心位置和偏侧角对校准结果的影响。
		结合飞行器技术特征，对在一定重量范围内转动惯量的测量，规范提出在保证总质量不超出测量设备负载前提下，可在标准件两端通过加增砝码来模拟飞行器姿态（重量、质心位置等参数）变化，计算相应示值误差。

下面，我们就《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》与国家《转动惯量校准规范》征求意见稿的差别进行详细阐述。

① 检测设备分类与原理介绍

《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》根据飞行器特点，将转动惯量检测设备按测量原理分为扭摆法、摆动法和三线摆法。其中结构简单、易于现场操作的摆动法（又称为：复摆法）在大型无人飞行器转动惯量测量中应用较多。

摆动法测量原理为“利用物体作为支点的摆动周期与转动惯量的关系进行测量。刚体绕固定的水平轴在重力的作用下作微小摆动的动力运动体系。当刚体离开竖直方向转过一角度 θ 后释放，它在重力力矩的作用下将绕回转轴自由摆动。如果摆动的角度 θ 较小，摆动近似为谐振动”，见图 6 所示。

摆动的振动周期与回转轴到摆动重心的距离 h 、刚体的质量 m 和当地的重力加速度 g 之间存在以下关系：

$$I = \frac{mgh}{4\pi^2} T^2$$

式中： T ----- 摆动周期。

具体操作时，将待测物体悬挂在支点上，通过测量摆动周期即可计算出转动惯量。这种方法操作简单，适用于各种形状和尺寸的物体。但容易受到支点摩擦力影响，测量准确度相较于扭摆法略低。

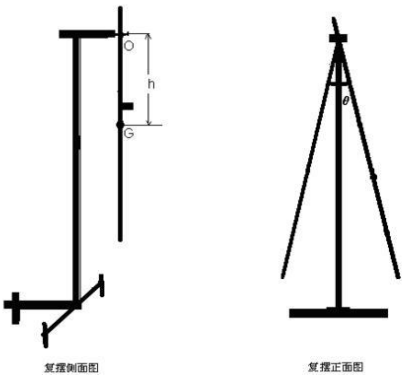


图 6 摆动法测量原理示意图

摆动法所用设备机械结构比其它方法简单，容易制造，而且操作简便、安全系数大。这种方法测量范围宽、适用面广，成本低、节省测量时间，设备费用低，所以在工程中应用居多，有很好的发展前景。缺点是设备高度较高，作业场所占地较大。图 7 为国外某厂家对无人飞行器转动惯量采用摆动法测量场景。



图7 飞行器摆动法测量示意图

在物理学中，转动惯量是一个物体对于旋转运动的惯性度量。无论是顺时针还是逆时针转动，只要物体的质量分布和旋转轴相同，计算出的转动惯量就应该是一样的。通过以上介绍，可以看到摆动法是以时间为测量量，再通过理论公式求出转动惯量，从测量原理上不难看出，测量准确度受检测设备内部阻尼影响较大。同时，摆动法要求摆动角度应小于 5 度，如果施加较大摆幅也会导致测量误差偏大。

②局部坐标系构建

对无人飞行器来说，转动惯量是描述无人飞行器绕各轴旋转时针对旋转角度和角速度的响应程度。转动惯量是一个与坐标系选择密切相关的物理量，对飞行器的转动惯量可以分为三种：滚转、俯仰和偏航转动惯量。分别决定飞行器沿着不同方向的转动稳定性以及控制精度，是飞行器惯性参数中最为重要指标。

国内相关论文和著作中，大多未考虑待测物体不同的应用特性，仅对测试过程和计算方法说明，未对待测物体转动惯量的坐标方向进行要求。众所周知，虽然转动惯量和质量一样都是标量，没有方向，但飞行中的飞行器要作曲线运动都必须绕通过飞行器中心的旋转轴作转动运动，正因如此，所以飞行器转动惯量都是指相对坐标定位于重心处的直角坐标系的各个坐标轴，如图 8 所示。

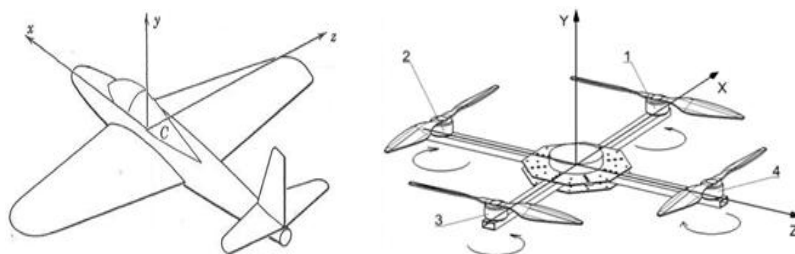


图8 飞行器转动惯量坐标系图

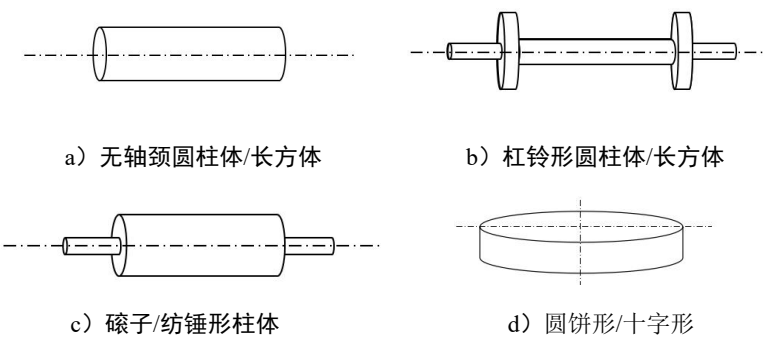
《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》中要求对被测对象（无人飞行器）校准前应建立局部坐标体系，再根据客户需求开展

绕 x 轴的转动惯量 J_x 、绕 y 轴的转动惯量 J_y 和绕 z 轴的转动惯量 J_z 校准。

③ 标准件的管理

当前国内对转动惯量计量校准用标准件没有明确要求，只是建议选择质量值与被测对象质量值相近的转动惯量标准，并转动惯量标准的扩展不确定度应不大于测量设备的转动惯量测量结果扩展不确定度的三分之一。

由于没有给出转动惯量标准件外形、材料、尺寸和获取方式等建议，使用者只能自行开发、制作，造成执行不便等情况。针对此问题，《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》结合飞行器特征推荐几种不同型式标准件，见图 9 所示。



注：标准件为减轻重量也可采用内部中空结构

图 9 不同类型的标准件图

在《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》中也对标准件制作和使用，提出了以下具体要求：

- 转动惯量检测设备生产单位应提供标准件，或者与使用单位协商确定；
- 标准件应采用均匀材质、刚性材料制作，建议使用金属材质并妥善保存；
- 标准件外形应结合被测物体（飞行器）特点，校准中可直接使用产品工装夹具；
- 标准件提供者应给出各轴向转动惯量标准值，加载测量中应尽量保持标准件质心位置与测试设备转动轴线重合；
- 标准件扩展不确定度应不大于检测设备的转动惯量测量结果扩展不确定度的三分之一；
- 标准件技术指标应经过计量技术机构检定或校准，并在有效期内使用。

《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》对工装夹具也提出

相应要求：

- 满足被测对象不同方向（轴向）转动惯量测量需求；
- 保证检测设备检测平台轴线和待测物体转轴平行、质心位置一致；
- 标准件或被测对象安装后，定位准确、运动过程中牢固稳定；
- 标准件其质量不应小于待测对象质量值的 2/3，计算上工装夹具后不得超过测量设备最大负载承重范围。

同时，校准规范对组合而成标准件转动惯量（标准值）获取提供计算方法和理论参考。通过力学定理可知，组合体相对某轴的转动惯量等于组合体中每部分相对该轴的转动惯量之和。即：转动惯量等于组成物体的各单元（质点）质量和它到转动轴距离平方的乘积，并求和。

$$J = m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_3 R_3^2 + \cdots m_n R_n^2 = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2$$

式中： m_i ----- 第 i 部分的质量， kg；

R ----- 第 i 部分距离转轴距离， m。

物理学可知，不同外形物体对不同的转动轴向，求得转动惯量一般是不相等的。因此，对于采用分段加工、配合组装标准件，建议在加工和装配中应当对形位公差严格控制。

④ 校准方法和注意事项

在进行转动惯量校准时，针对不同测量方法需要关注不同注意事项以确保测量的准确性和有效性，对此国内相关论文和著作有很多分析和计算。例如：校准过程中标准件（或被测物体）质心与转动轴线不重合引起的测量误差等。

转动惯量是指物体相对于旋转轴的转动惯性，其值不仅与物体的几何形状与质量分布有关，而且还与旋转轴的位置等因素有关。根据平行轴定理可知，在一组平行的转轴对应的转动惯量中，过质心的轴对应的转动惯量最小。若一个物体以角速度 ω 绕固定轴 z 轴的转动同样可以视为以同样的角速度绕平行于 z 轴且通过质心的固定轴的转动。也就是说，绕 z 轴的转动等同于绕过质心的平行轴的转动与质心的转动的叠加。

设刚体质量为 m ，绕通过质心转轴的转动惯量为 J_z ，将此轴朝任何方向平行移动一个距离 L ，则绕新轴的转动惯量 $J_{z'}$ 为：

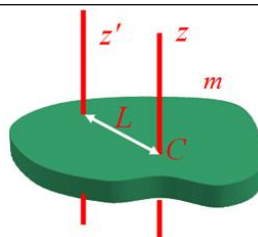


图 10 平行轴原理图

$$J_{z'} = J_z + mL^2$$

在飞行器的设计和维护中，转动惯量是一个必须考虑的重要参数，为更好保障飞行器空载/满载状态下飞行，提高飞行器对外部扰动的抵御能力，保证飞行器具有更好的稳定性和控制性能，为技术人员提供全面、客观的飞行器参量和布局优化的数据支持。

为验证转动惯量检测设备最优测量能力，《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》规定，加载测量中应尽量保持标准件质心位置与检测平台轴线（扭摆法为扭摆平台轴、摆动法为摆杆轴、三线摆法上/下悬盘轴线）一致，并检查加载后检测平台水平状态。

考虑到飞行器质量分布的不均匀性，结合转动惯量的平行轴定理，建议在转动惯量测试前，首先应对被测物体质心和质心偏侧角进行测量，得到质心位置。加载测试中，通过工装夹具保证或采用其他方法使得待测物体质心与转动惯量检测设备的检测平台转动轴重合，避免质心位置和偏侧角对校准结果产生影响。

结合飞行器技术特征，当需要对一定重量范围内转动惯量测量，《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》提出在保证总质量不超出测量设备负载前提下，可在标准件两端通过加增砝码来模拟飞行器姿态（重量、质心位置等参数）变化，计算示值误差。

3、申报项目推广应用前景

《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》主要适应国家低空经济发展需求，满足战略性新兴产业所需低空飞行器的设计、制作中相关参量的计量校准工作。

2010 年，中国正式提出“低空经济”的概念，相关部委根据各自管理职责构建从监管到产业的体系化政策，规范低空行业各项管理要求。2021 年，《国家综合立体交通网规划纲要》首次将低空经济纳入国家发展规划，此后《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》等顶层政策相继实施，标志低空经济发展步入“有法可依”阶段。2024 年，国务院政府工作报告提出，积极打造生物制造、商业航天、

低空经济等新增长引擎；党的二十届三中全会对发展低空经济提出明确要求；北京、广东、安徽等省市地方两会明确提出发展低空经济。

低空飞行器是低空经济的“赛手”，是开展“飞行+”的关键硬件载体。目前，低空飞行器按结构可分为固定翼、多旋翼、直升机、复合翼四种技术构型，见图 11 所示。



图 11 无人飞行器构型图

比如：固定翼无人飞行器是利用固定机翼产生升力，具有高效飞行、长航程和高速等特点。广泛应用于农业监测、环境保护、边境巡逻、灾害应急和货物运输等领域，因为该类型飞行器比大多数普通直升机飞得更高、更快，更适合长距离巡航，这使其在航空运输和长途旅行中具有重要作用。虽然起降灵活性与直升机或多旋翼相比略有不足，但其在飞行效率、航程和载重能力等方面具优势明显，在货物运输领域应用较多。而多旋翼无人机具有便于携带、垂直起降、悬停稳定以及起飞场地要求简易等诸多优点。

未来，随着技术的不断进步，高效气动设计、先进推进系统、集成化航电系统、复合材料与智能材料创新应用、智能化飞行控制系统等多维度的技术革新，不仅能够提升飞机的性能，还能够增强飞行的安全性和经济性，为产业的可持续发展提供了支持。随着低空经济活动的日益频繁，相信无人飞行器科研、生产过程中的计量校准和测试需求也会逐步增加。

相较于征求意见稿的国家《校准规范》，《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》对飞行器设计中需要测量的转动惯量方向、标准件型式、配套工装夹具和校准中注意事项等进行要求。为使用者提供简单、合理、实用和贴近实际使用环境的校准方案，理论基础是科学、成熟的。规范编制为该类型设备计量校准和量值溯源提供了思路与方法。

<p>产业链应用</p>	<div data-bbox="517 203 790 241" data-label="Section-Header"><p>1、重点产业链方向</p></div> <div data-bbox="453 257 1380 510" data-label="Text"><p>上下游产业的协同发展推动了无人机产业链条制造进步。从摄影航拍到灯光表演、从农业植保到电力巡检、从地理测绘到物流运输……如今，无人机已渗透至生产生活的各个领域，由一个稀罕的“黑科技”变成司空见惯的事物。这背后，是中国无人机产业的整链崛起。</p></div> <div data-bbox="453 521 1380 828" data-label="Text"><p>作为世界第二大经济体，我国拥有世界规模最大、门类最全、配套最完备的产业链体系，在低空产业形形色色的飞行器中，无人机无疑是领飞的“元老”。数据显示，我国多年位居世界第一大民用无人机出口国，而且在无人机领域的专利申请量约占全球 70%，是全球第一大技术来源国。当前我国低空经济领域的政策推进正全面加速，有望速动产业链上下游各环节快速扩张。</p></div> <div data-bbox="453 840 1380 1041" data-label="Text"><p>飞行器作为现代航空运输的主要工具之一、其性能和安全性一直是人们关注的焦点。而转动惯量是一个关键的物理量、它直接影响了飞行器的稳定性，控制稳定性和抗干扰能力等重要指标。因此、飞行器的转动惯量的准确测量及分析具有极其重要的意义。</p></div> <div data-bbox="453 1052 1380 1359" data-label="Text"><p>转动惯量是物体抵抗绕某个轴旋转运动的一种物理量、用 J 表示、它是一个二阶张量通常用 kgm^2 为单位。转动惯量的大小与物体的密度分布，形状和质量等因素有关。在飞行器的设计中，转动惯量是一个非常重要的参数、它直接影响到飞行器的稳定性控制性能和抗干扰能力。因此、在飞行器的设计和生产过程中、测量和计算转动惯量就显得尤为重要。</p></div> <div data-bbox="453 1370 1380 1624" data-label="Text"><p>随着无人机技术的迅速发展，基于无人机的转动惯量测量技术逐渐成为了一个热门的研究方向。作为重点产业链方向，制造与检测、装配与检测领域应用广泛，计量部门理应顺应时代的发展，对新兴产业和技术的计量特性早布局、早规划，在促进科技进步、保障贸易公平、推动高质量发展等方面发挥重要基础支撑作用。</p></div> <div data-bbox="638 1635 1189 1937" data-label="Diagram"></div> <div data-bbox="815 1977 1066 2011" data-label="Caption"><p>图 12 低空经济概念图</p></div>
--------------	--

2、对本行业重点产业链的支撑作用

在航空领域，转动惯量影响飞行器的姿态、飞行稳定性等，飞机活动舵面的转动惯量为载荷、操稳特性、气动弹性、颤振等专业提供了重要依据。随着技术的飞速发展，转动惯量的测量技术有了很大提高，技术的应用也提升了飞行器操控性能。

无人机转动惯量测试是一种评估无人机动态稳定性和控制能力的重要手段。在无人机设计和研发过程中，准确测量无人机转动惯量对优化设计和提高飞行性能具有重要意义。无人机的转动惯量是描述无人机绕各个轴线旋转惯性特性的参数，通常可以分为三个方向，即横滚轴、俯仰轴和偏航轴。测量无人机的转动惯量有助于评估无人机的敏感性、稳定性和操纵性，并为控制器的设计提供基础参数。

伴随，无人机产业正步入持续增长的快车道，无人飞行器又分为军用无人机和民用无人机。其中民用领域中，无人飞行器在低空经济中扮演着至关重要的角色，应用场景丰富多样，涵盖了多个领域和行业，具有广泛的经济和社会价值。主要包括：应急救援、城市管理服务、交通运输、物流配送、文体旅游、农业植保、工业巡检、环境保护等。未来，伴随自主飞行技术的进步，从地面延伸到空中，为低空经济开发带来了可能性。可预见不久的将来，低空领域的空中出行将会是未来生活不可或缺的一部分，空中物流会提供点对点的运输服务。而空中数据，在当前自主飞行、大数据和人工智能蓬勃发展的背景下，能为数字化管理、智慧城市带来不一样的视角和维度，因此低空数据经济具有重大的经济价值。

而飞行器设计和维护中，转动惯量是一个必须考虑的重要参数。随着低空经济活动的日益频繁，相信无人飞行器科研、生产过程中计量校准和测试需求也会逐步增加。国、内外有很多专家学者对转动惯量的测量原理和校准方法开展多年研究，形成很多专著和论文。

飞行器转动惯量的测量是一个非常重要的研究领域，它关系到飞行器的稳定性、控制性能和抗干扰能力等多个方面。本文介绍了无人飞行器转动惯量检测设备的测量原理、计量特征和校准方法，结合飞行器特征针对性地提出测量标准和注意事项，通过标准件实现转动惯量计量量值溯源和示值误差计算，并搭配砝码模拟飞行器空载/满载状态，为无人飞行器的设计开发者提供量化指标，减少

	<p>规范执行难度，具有科学合理，操作简单、量值准确的特点。我们相信，随着相关技术的不断发展和创新，飞行器转动惯量测量和校准技术将会得到不断的优化和完善。</p>
范围和主要 计量特性	<p>1、适用范围</p> <p>本规范主要适用无人飞行器转动惯量检测设备的量值溯源和计量校准工作。</p> <p>2、主要计量特性的技术指标</p> <p>校准 x、y、z 轴转动惯量 J_x、J_y、J_z 示值误差，单位 kgm^2</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 使用水平仪调整转动惯检测平台使其基本处于水平状态； ➤ 启动检设备，进行重复测量（测量次数 $n \geq 6$），记录空载下转动惯量 J_0 显示值； ➤ 安装标准件后，进行重复测量（测量次数 $n \geq 6$），记录下满载检测设备 J_1 显示值； ➤ 记录转动惯量示值误差（满载和空载之差），判定是否满足检测设备技术指标和预期被测物体使用要求。
水平	<p><input type="checkbox"/> 国际先进 <input checked="" type="checkbox"/> 国内先进</p>
国内外情况 简要说明	<p>① 国内方面：</p> <p>在无人机领域，转动惯量对于飞行器的姿态控制和稳定性分析至关重要，通过考虑飞行器的质量分布和转动惯量，工程师们可以更好地设计和控制飞行器的旋转运动。当前，无人飞行器在国民经济各个行业里发挥着不可替代的作用，配置与需求越来越强烈！</p> <p>2021 年全国质量密度计量技术委员会委托北京航天计量测试技术研究所编制《转动惯量测量仪校准规范》（以下简称：《国家校准规范》），处于征求意见中。该标准借鉴了中国运载火箭技术研究院院标《质心转动惯量测试设备校准规范》中转动惯量测试设备校准的部分内容，参考了中国航天科技集团有限公司集团标准《转动惯量测量仪校准规范》的部分内容。</p> <p>② 国际方面：</p> <p>对于国外行业专家提升转动惯量测量准确度的研究是相关领域的重点和热点，多有论述和著作发布（如下所述），但国际标准化组织还未形成统一的计量校准规范。目前，关于给转动惯量检测的原理、结构和校准程序的研究成果不断，但校准方法往往适合某一领域，有一定局限性。</p>

推荐意见		无人飞行器广泛应用于农业监测、环境保护、边境巡逻、灾害应急和货物运输等领域。而飞行器转动惯量是飞机载荷计算、操稳特性和载荷分析中必备的参数，校准规范的编制提供了可以依据的技术文件，保证转动惯量检测设备提供的结果统一、准确、可靠，建议上报《无人飞行器转动惯量检测设备校准规范》。			
主要起草单位	年 月 日	技术委员会	年 月 日	部委托支撑单位	年 月 日

填写说明：1.表中第 2，3，11 行，请在选定的内容上填写 “■” 的符号。
2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。