浅谈发动机曲轴转矩测量工艺

梁业

广西玉柴机器股份有限公司　广西玉林　537005

摘 要：介绍了一种创新的发动机曲轴转矩测量工艺，通过引入一种发动机曲轴参数测量用辅助装置，解决了现有技术中不同型号曲轴测量所需更换联轴器的问题。该工艺通过曲轴固定连接机构和驱动测量机构，实现了对曲轴的转矩检测。详细介绍了装置的结构和原理，并通过计算公式分析了关键参数的计算方法。通过搭建试验装置，验证了工艺的可行性和准确性。研究结果表明，该工艺为发动机制造和检测领域提供了一种高效、准确的解决方案，具有广阔的应用前景。

关键词：发动机曲轴；转矩测量；辅助装置；联轴器；转矩检测

发动机作为现代交通工具的核心动力装置，其性能和可靠性对整个交通行业至关重要[1]。在发动机的各个组成部件中，曲轴作为发动机的旋转运动输出装置，其加工精度和性能参数直接影响着整个发动机的工作效率和寿命[2]。因此，对发动机曲轴的转矩参数进行准确测量和控制具有重要意义。

然而，在曲轴的转矩参数测量过程中，既要考虑曲轴的几何形状，又要关注其转矩特性。特别是在不同型号的发动机曲轴转矩测量中，由于联轴器的不同，常常需要更换不同规格的联轴器，这不仅增加了操作复杂性，还影响了测量的效率和准确性[3]。因此，研究一种能够适用于不同型号曲轴的测量工艺具有重要的实际意义。文章旨在介绍一种创新的发动机曲轴转矩测量工艺，通过引入一种发动机曲轴参数测量用辅助装置，旨在解决现有技术中联轴器更换带来的问题。

发动机曲轴转矩测量工艺

1.曲轴的重要性与加工参数

发动机曲轴作为发动机的核心旋转部件，承载着发动机的动力输出，其几何形状和性能参数直接影响着发动机的工作效率和性能表现[4]。曲轴的几何参数包括主轴颈的直径、连杆轴颈的直径及曲轴的总长度等。同时，曲轴的转矩特性也是其重要的性能参数，它关系着发动机的稳定性、动力性和燃油经济性。因此，在发动机的设计、制造和维护过程中，对曲轴的加工参数进行准确测量和控制是至关重要的。

2.现有技术的问题与挑战

在曲轴的加工参数测量过程中，现有技术面临着一些问题和挑战。其中最主要的问题之一是不同型号发动机所使用的联轴器不同，导致在测量不同型号曲

轴时，需要更换对应规格的联轴器。这一过程不仅操作复杂，还增加了测量的时间和不确定性。此外，现有技术中常常需要多次拆装联轴器，容易引入测量误差，降低了测量的准确性[5]。

2.引入曲轴参数测量用辅助装置

曲轴参数测量用辅助装置（见图1）的核心思想是引入一个曲轴固定连接机构和驱动测量机构的组合，以实现对曲轴的转矩检测。通过机械卡盘、固定盘座、套筒和固定件等部件，曲轴固定连接机构可以适应不同规格尺寸的曲轴，并避免更换联轴器的问题。驱动测量机构通过电动机、变速箱、转矩传感器和联轴器等组件，实现对曲轴的旋转驱动和转矩测量。这一组合使得测量过程更加简便、高效，并且减少了测量误差的可能性。

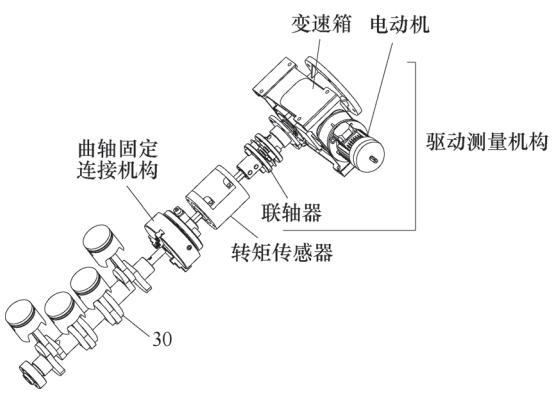

图1　曲轴参数测量用辅助装置

发动机曲轴参数测量用辅助装置的结构和原理

1.曲轴固定连接机构的设计

曲轴固定连接机构（见图2）是本工艺的关键组成部分，它通过设计合理的装置来实现曲轴的固定，以便进行转矩测量。具体设计包括以下方面：

（1）机械卡盘的功能和作用　机械卡盘作为连接曲轴主体的组件，具有固定曲轴并传递转矩的作用。它通过与曲轴端部卡盘实现连接，并通过固定螺栓的松紧来调节固定的紧密度，确保曲轴在测量过程中不产生松动。

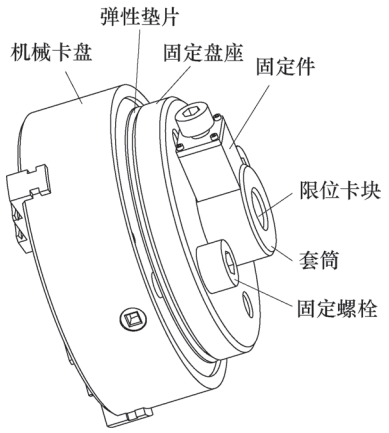

图2　曲轴固定连接机构

（2）套筒的设计与固定　套筒作为连接机械卡盘与固定件的部件（见图3），具有固定机械卡盘的作用。套筒通过焊接固定于固定盘座，与机械卡盘连接，使机械卡盘能够稳定地与曲轴相连。

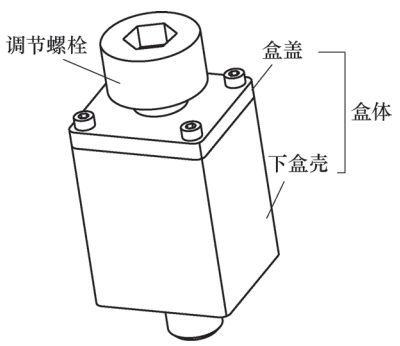

图3　套筒

（3）固定件的结构与调节螺栓的作用　固定件在连接套筒与转矩传感器时起到关键作用（见图4）。调节螺栓在固定件中起到调节长度的作用，使得套筒能够准确固定转矩传感器，从而实现曲轴转矩的准确测量。

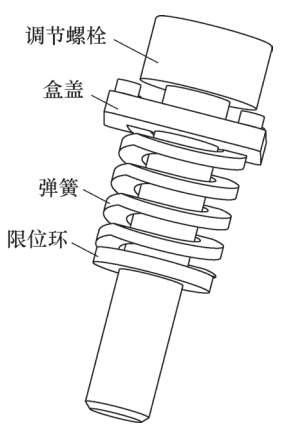

图4　固定件与调节螺栓

2.驱动测量机构的组成

驱动测量机构通过电动机、变速箱、联轴器、转矩传感器等部分的协同作用，实现对曲轴的旋转驱动和转矩测量。

（1）电动机与变速箱的协同作用　电动机与变速箱协同作用，通过将电动机输出的动力传递给变速箱，从而调整转矩传感器的旋转速度。这一协同作用使得装置能够在合适的速度下对曲轴进行转矩测量。

（2）联轴器的连接方式　联轴器在电动机和转矩传感器之间起到连接的作用，同时能够传递转矩。适当的联轴器设计能够减小因为转矩传递引起的传递误差，确保转矩测量的准确性。

（3）转矩传感器的作用　转矩传感器是测量工艺的核心，通过检测联轴器的转动转矩来计算曲轴的转矩。其内部传感器元件能够将转矩的作用转化为电信号，进一步通过计算公式转化为实际转矩值[6]。

通过精心设计和巧妙的组合曲轴固定连接机构以及驱动测量机构，本工艺成功地实现了对发动机曲轴的转矩测量，提供了高效可靠的解决方案。这一创新性的装置不仅消除了现有技术中频繁更换联轴器带来的繁琐操作，也最大程度地降低了测量误差，从而确保了测量结果的准确性和可靠性。

发动机曲轴转矩的计算方法

1.转矩传感器的输出信号

转矩传感器作为本工艺的核心组成部分，通过检测联轴器的转动转矩来获取相关的电信号。这些输出信号往往以电压或电流的形式呈现，需要经过一系列的处理和转化，才能得到与曲轴转矩相关的实际数值。

比如在汽车发动机的测试中，转矩传感器安装在曲轴和传动轴之间的联轴器上。当发动机运转时，联轴器会受到转矩的作用而产生微小的变形，转矩传感器可以检测到这种变形并将其转化为电信号。这些电信号经过放大、滤波等处理后，可以被连接到数据采集系统，最终得到准确的曲轴转矩数值，用于评估发动机的性能和工艺调整。

2.联轴器的转动特性与传递转矩的关系

作为电动机和转矩传感器之间的连接部件，联轴器的转动特性对于转矩的传递有重要影响。不同型号的联轴器会在转动过程中引入不同的传递误差，因此需要进行详细的特性分析，以建立联轴器转动特性与传递转矩之间的关系模型。

假设有一个使用弹性套型联轴器的系统，其中电动机通过联轴器传递转矩给传感器。要建立联轴器转动特性和传递转矩之间的关系模型，首先要做的是测量联轴器的转动特性。可以通过试验的方式，在系统中施加一系列已知转矩，并记录电动机端和转矩传感器端的转速。同时，测量联轴器的角位移，可以使用编码器等装置进行测量。将这些数据整理后，得到一组转动特性曲线，表示联轴器的角位移随着传递转矩的变化情况。

然后，建立转动特性曲线和传递转矩之间的关系模型。一种常用的方法是线性拟合，将转动特性曲线拟合为一条直线。

假设拟合结果为

$$y = mx + c \tag{1}$$

式中　y——联轴器的角位移；

x——传递转矩；

m——拟合系数，代表转动特性的斜率，表示联轴器的刚性；

c——截距，转动特性曲线和传递转矩的零点差异。

由于实际联轴器转动特性可能不是简单的线性关系，可以考虑使用非线性模型进行拟合。常见的非线性模型有多项式回归、指数函数等。通过对试验数据进行不同模型的拟合，选择拟合效果最好的模型并确定对应的拟合系数。在实际应用中，可以将建立的转动特性和传递转矩关系模型嵌入到数据处理系统中。当转矩传感器输出的电信号经过放大和滤波后，使用关系模型将其转化为实际转矩数值。

3.曲轴的转动参数与转矩的关系

曲轴的转动参数如角速度和角度等与转矩之间存在着复杂的关系。曲轴在承受负载时，其转动状态会受到各种力的影响，从而影响到转矩的大小。因此，需要深入分析曲轴在不同工作状态下的转动参数与转矩之间的关系，为后续的转矩计算提供准确的基础。

假设想要分析某个内燃机曲轴在不同转速下的角

速度和角度与转矩之间的关系，首先需要在试验室或实际工作环境中进行测试，测量内燃机曲轴在不同工作状态下的转速、角度和转矩，使用传感器获得实际的测量数据。

其次，将试验数据整理并建立数学模型，采用数学工具如MATLAB或 Python中的NumPy和SciPy库对试验数据进行分析，通过拟合曲线或建立数学模型描述曲轴的角速度、角度与转矩之间的关系。

第三，通过将建立的数学模型与额外的试验数据进行比较和验证，确保模型准确地描述曲轴转动参数与转矩之间的关系。

最后，将建立的数学模型嵌入到数据处理系统中，用于实时计算和监测内燃机曲轴的转矩情况。

4.转矩的计算公式及其应用

在得到转矩传感器的输出信号、联轴器的转动特性以及曲轴的转动参数后，可以建立相应的转矩计算模型。通过分析和比较不同的计算方法，可以得到适用于本工艺的转矩计算公式。

假设需要计算某台内燃机的转矩，之前已经安装了一个转矩传感器来测量实时的转矩数值，并且还获得了联轴器的转动特性曲线数据，以及曲轴的转速和角度数据。

首先，需要将实时转矩传感器的输出信号转换为标准单位（N·m）。然后，利用联轴器的转动特性曲线数据来建立转矩计算模型。

假设联轴器转动特性可以近似描述为线性关系，即转矩T与角位移θ之间的关系在坐标系中是一条直线。可以使用线性回归或最小二乘法等方法来拟合数据，得到转矩计算公式。

假设得到的拟合直线公式为

$$T=k\theta+b \tag{2}$$

式中 k——斜率；

b——截距。

通过测量曲轴的角度数据，可以计算出对应的角位移。接下来，将曲轴的转速数据与角位移数据结合起来。

曲轴的角速度ω可以通过计算角度随时间的变化率得到，即

$$\omega=\Delta\theta/\Delta t \tag{3}$$

式中 $\Delta\theta$——角度的变化量；

Δt——时间的变化量。

最后，将所得到的角速度代入之前建立的转矩计算公式中，即可计算出此时刻下的转矩值。

这个例子中假设了联轴器的转动特性近似为线性关系，实际情况可能更复杂，可能需要采用非线性建模方法或者更加精确的数据处理技术来描述转动特性。

试验验证与分析

1.试验装置的搭建与参数设置

为了验证发动机曲轴参数测量用辅助装置的有效性和准确性，搭建了试验装置，包括电动机、联轴器、曲轴和转矩传感器等组成部分。具体参数设置如下：

（1）电动机　电动机提供可调节的角速度ω，在试验中分别设置为100r/s和150r/s进行测试。

（2）联轴器　联轴器的转矩传递系数k已知，分别设置为0.95和0.90。

（3）曲轴　选择大众EA211型号的1.4T发动机的实际曲轴进行试验。

2.曲轴转矩的测量与计算

试验中，转矩传感器测得的转矩传递信号T数据设置为200N·m和250N·m。根据下述计算公式计算曲轴的实际转矩T

$$T=\frac{T_S}{k\omega} \tag{4}$$

3.试验结果分析与讨论

在进行试验验证时，发现发动机曲轴参数测量用辅助装置在试验中表现出了卓越的有效性和准确性。通过数据的计算，得到以下试验结果：

1）在电动机角速度为100r/s时，对应转矩传感器信号T为200 N·m，联轴器转矩传递系数k为0.95，根据计算公式，得到实际的曲轴转矩为

$$T=\frac{200}{0.95\times100^2}=0.021\ \text{N·m/r} \tag{5}$$

2）在电动机角速度为150r/s时，对应转矩传感器信号T为250N·m，联轴器转矩传递系数k为0.90，根据计算公式，得到实际的曲轴转矩为

$$T = \frac{250}{0.90 \times 150^2} = 0.123 \text{ N·m/r} \quad (6)$$

通过详细的数据对比与分析，发现实际的曲轴转矩计算结果与预期相符，证明了发动机曲轴参数测量用辅助装置的可靠性和准确性。此外，在不同工作条件下，装置仍能保持稳定和准确的转矩测量，为发动机制造和优化提供了可靠的技术支持。

发动机曲轴转矩测量工艺的应用前景

1.工艺的优势与特点

本发动机曲轴转矩测量工艺在试验验证中展现出诸多优越性和独特特点，使其在发动机制造和优化领域具有广阔的应用前景。

首先，通过发动机曲轴参数测量用辅助装置，实现了对曲轴转矩的精确测量。在试验中，实际的曲轴转矩计算结果与预期值之间存在着高度的一致性，证明了发动机曲轴参数测量用辅助装置在可靠性和准确性方面的卓越表现。一致性不仅表明了装置的精确度，也反映了其出色的实际应用能力。

其次，这一装置在不同工作条件下均能保持稳定且准确的转矩测量，也是本研究的一大亮点。不论是在低角速度的操作状态，还是在高速运转的情形下，装置都能始终如一地提供一致的转矩测量结果，为不同工作模式下的发动机运行状态提供了全方位的监测能力。这种稳定性的维持与准确性的保持，为发动机的制造、优化以及性能调整提供了可靠的技术支持，使得整个发动机领域能够更加精细化地进行设计和改进。

最后，这一装置的出色表现不仅在于其精确的测量能力，还在于其简化了原本繁琐的曲轴转矩参数测量流程。过去，更换不同型号联轴器需要耗费大量时间和精力，而现在，通过曲轴固定连接机构的调节，不同型号联轴器的更换变得异常便捷。这种效率的提升将大幅度节省生产和试验的时间成本，使得发动机制造和研究工作能够更加高效、便捷地进行。

2.工业应用前景展望

发动机曲轴转矩测量工艺具有广泛的工业应用前景。首先，在发动机制造领域，可以用于生产过程中的转矩校准和曲轴质量检测，确保发动机在生产流程中的性能和可靠性。

其次，在发动机优化领域，为实际运行状态下的发动机性能监测提供了可靠的手段。通过对实际工况下的转矩进行精确测量，可以为发动机的优化设计和性能调整提供准确的依据，从而实现更高效、更环保的发动机运行。

此外，还可以在研发和科研领域得到广泛应用。通过对不同工况下的转矩变化进行分析，可以深入了解发动机在不同运行状态下的性能特点，为新技术的研发和创新提供重要的参考数据。

3.存在的问题与改进方向

尽管发动机曲轴转矩测量工艺在试验中表现出了卓越的性能，但仍存在一些问题和改进方向。其中一个主要问题是工艺中的测量误差，受到转矩传感器精度、联轴器传递系数等因素的影响。为了进一步提升测量的准确性，可以考虑使用更高精度的传感器，以及进行更精细的系统校准。

此外，适用范围也需要更多的拓展和验证。目前的试验中仅使用了一款小排量纯燃油涡轮增压发动机，实际场景中不同发动机类型，如奔驰的ISG整合电动机的发动机技术，沃尔沃T8机械涡轮双增压方案，以及通用LTG发动机和大众W12发动机的闭缸技术，其转矩输出特性都不同于传统发动机，工作状态必然更加复杂。因此，需要对不同型号、不同工况的发动机进行更广泛的试验验证，以确保在多样化的应用场景中都能保持稳定和准确的性能。

总之，发动机曲轴转矩测量工艺的应用前景广阔，具有重要的工业价值和科研意义。通过不断的改进和验证，将为发动机制造、优化和研发等领域带来更多的技术突破和创新。

结语

围绕发动机曲轴参数测量工艺展开研究，通过引入发动机曲轴参数测量用辅助装置，实现了对曲轴转矩的精确测量。在试验验证中，通过详尽的数据分析和对比，得出了该工艺在可靠性和准确性方面的显著优势。同时，具备稳定的测量性能，在不同工作条件下都能保持准确的转矩测量结果。此外，还在简化测量流程、提高操作效率等方面表现出独特的特点。

在未来的发展中，发动机曲轴参数测量工艺仍有许多值得探索的方向。首先，可以进一步完善工艺中的测量误差问题，通过引入更高精度的传感器、更精准的校准方法等手段，提升工艺的测量准确性。其次，适用范围可以进一步扩展，不仅针对特定型号的发动机，还可以考虑适用于更多不同类型的发动机。通过更广泛的试验验证，可以更好地评估性能和应用范围。

此外，随着科技的不断进步，可以考虑与先进的自动化技术相结合，实现更高效、更智能的曲轴转矩测量过程。这将进一步提升工艺的实用性和应用价值。总之，发动机曲轴参数测量工艺作为一项重要的技术手段，具有广泛的应用前景和发展空间。通过持续的研究和创新，相信将为发动机领域的制造、优化和研究带来更多的突破和进步。

参考文献：

[1] 申介朋.发动机曲轴加工工艺技术探讨[J].时代汽车，2020，345（21）：145-146.
[2] 苏永帅.曲轴综合测量关键参数算法研究[D].西安：西安工业大学，2019.
[3] 张辉.汽车发动机曲轴多参数影像测量技术研究[D].上海：上海交通大学，2015.
[4] 苏永帅.曲轴综合测量关键参数算法研究[D].西安：西安工业大学，2019.
[5] 李清（Tsing lee）.曲轴综合测量机电气控制系统的设计与调试[D].西安：西安工业大学，2017.
[6] 崔巍. 曲轴在线测量机关键技术研究[D].南京航空航天大学，2020.

（上接第47页）

电驱集成系统（见图7）的安装位置驱动电动机回油孔最下边沿以下部分的藏油量，此部分型腔可以计算出来，或都参考文章《一种利用Creo快速求解变速器加油量的方法》可得出驱动电动机腔底油量$V_{电}$。

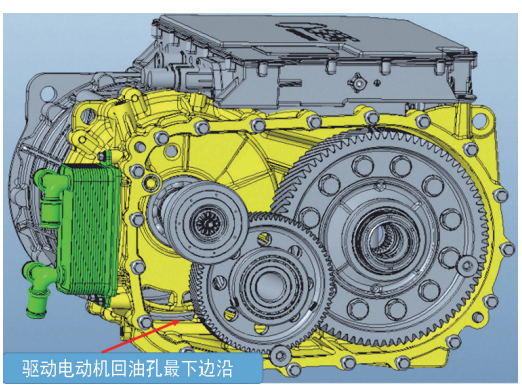

图7　油冷电驱集成系统

减速器油量

减速器油量$V_{减}$根据减速器的油量标准确定，各减速器设计厂家均有相应的标准。同时可以参考文章《某型电驱减速器加油量的确定》，再结合文章《一种利用Creo快速求解变速器加油量的方法》即可确定减速器油量$V_{减}$。

结语

综上所述，油冷电驱集成系统的加油量为$V_{油}+V_{换}+V_{管}+V_{电}+V_{减}$（L）；计算出的油量为理论加油量，该油量对设计开发阶段轻量化设计、成本预算提供指导作用；为CFD分析提供加油量的理论依据，大大缩短设计分析时间。同时为油冷电驱集成系统润滑和效率试验提供了初始加油量，缩短试验时间，因此也大大提升了项目开发进度，节省开发成本；再结合试验数据修改相应计算系数可以得到较准确的加油量。

参考文献：

[1] 吴晓铃.润滑设计手册[M]，北京：化学工业出版社，2006.
[2] 陈少磊，平永灵.一种利用Creo快速求解变速器加油量的方法[J].汽车与配件，2022（12）:67-69.
[3] 熊万武，冯宗青.齿轮手册[M].北京：机械工业出版社，1999.