

汽车电机扭矩与电能测试方案

全套 DAQ 解决方案，尽在度纬科技

度纬科技 Application Notes-078-V1.0

<https://www.doewe.com>

一、方案概述

本方案面向汽车电机（驱动电机、转向电机、泵/风扇电机等）的研发与验证，提供一套以扭矩为核心指标的测试与分析方案。汽车电机的工程价值最终体现在“输出轴能输出多大扭矩、扭矩是否稳定、不同工况下扭矩响应是否满足要求”，因此方案以扭矩、转速及其派生的机械功率为主线，同时同步采集电压、电流等电参量以及温度等环境参数，建立“机械输出—电能输入—效率与损耗”的闭环评价，为性能评估与问题定位提供可靠数据支撑。

扭矩是表征力使物体绕轴转动效果的物理量，可通俗理解为“把轴拧动/带动负载的劲”。在最常见的场景下，扭矩等于施加力与力臂的乘积 ($F \times r$)，单位为 $N \cdot m$ 。对电机而言，扭矩越大代表输出轴带载能力越强；在相同功率下，转速越低所需扭矩越大。扭矩与转速共同决定机械输出功率： $P_{mech} = \text{扭矩} \times 2\pi n / 60$ (n 为转速，单位 rpm)。结合电功率即可计算效率与损耗；便于对不同电机、不同控制策略与不同工况做量化对比。

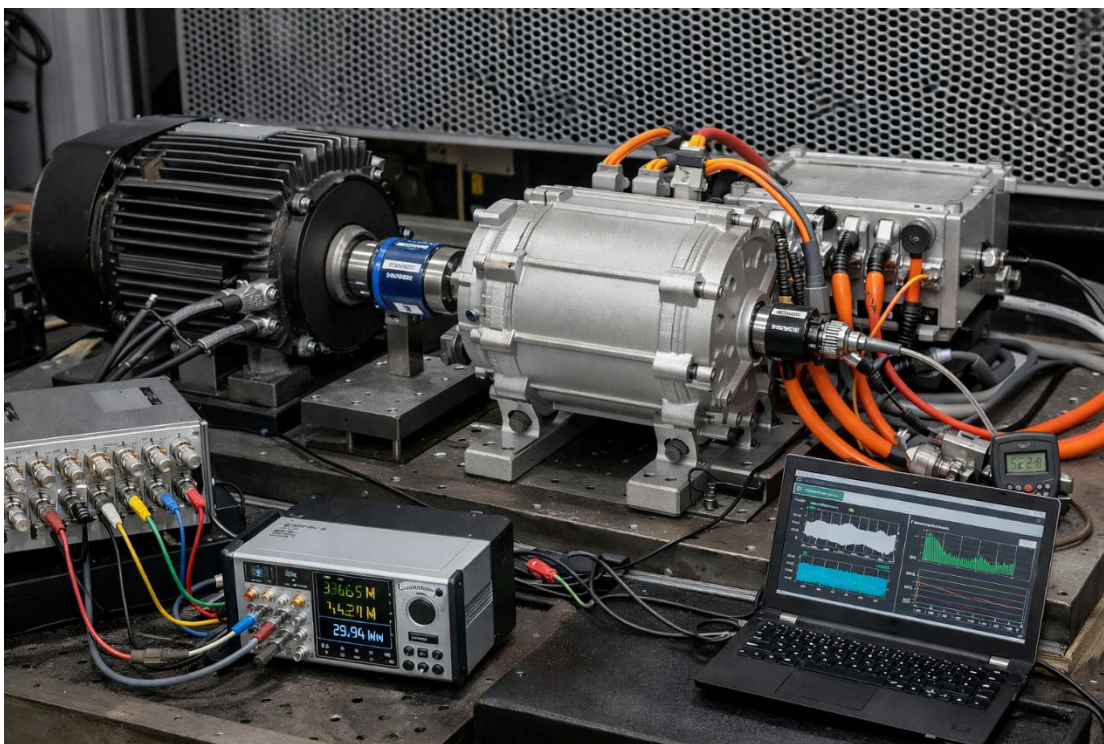


图 1 电机测试示意图

在典型台架场景中，系统以扭矩与转速信号作为核心测量量，可按需求接入角度/编码器信号用于按圈分析，同时同步采集直流母线电压/电流以及电机相电压/相电流，并可扩展温度等环境参数。电压、电流信号既能通过数采设备直接采集，也能通过高压差分探头、分流器或霍尔/罗氏电流传感器等方式进行隔离与量程转换，既保证测量安全，也便于与数据采集通道匹配。方案支持适配三相或多相电机、不同电压等级的驱动系统，并可与测功机、控制器及电源/负载系统对接，满足研发与验证阶段的多工况测试需求。

除稳态扭矩外，汽车电机还需要关注扭矩脉动 (Torque Ripple)，即扭矩在一圈旋转内的周期性起伏。扭矩脉动会带来噪声与振动 (NVH)、低速爬行抖动、效率下降及机械部件早期磨损。常用量化指标为：扭矩脉动(%) = $(T_{max} - T_{min}) / T_{avg} \times 100$ ，其中 $T_{max}/T_{min}/T_{avg}$ 为单圈内扭矩最大/最小/平均值。扭矩脉动同时具有幅值与频率特性，过度滤波可能掩盖真实脉动特征，建议保留原始波形并在分析环节进行可追溯的滤波与统计。

本方案支持以角度/编码器信号对扭矩进行“按圈统计”：以每圈固定角度位置作为触发点，在一圈窗口内计算扭矩最大/最小/平均值并连续得到扭矩脉动曲线，同时与转速、声压/声级、振动与温度等量进行同一时基对齐对比，用于定位齿槽效应、谐波电流或互感变化等导致的扭矩波动。

数据采集系统作为核心模块，负责扭矩、转速、电压和电流等信号的同步采集、存储与触发管理，并可扩展总线采集能力。系统内的控制器搭载 ASMC 测试软件，完成通道配置、实时显示与功率/效率计算；支持按测试工况自动执行流程、记录关键结果并生成报告，减少人工干预并提升数据一致性与可追溯性。

该方案通过硬件与软件的深度集成，实现对电机电能输入、机械输出及关键运行状态的综合测试管理，适用于研发验证、对标分析以及台架/整车综合测试等场景。测试系统结构示意图如下：

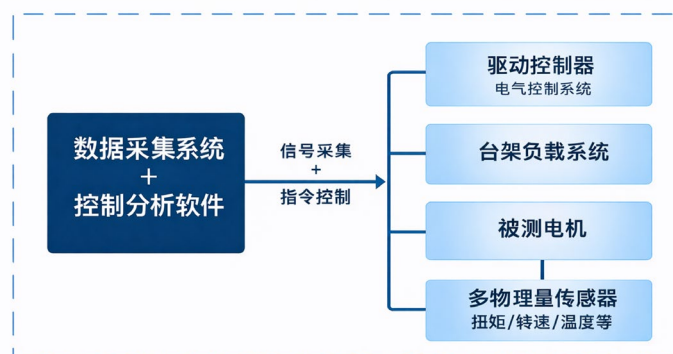


图 2 电机测试系统结构示意图

二、测试系统说明

2.1 测试系统原理

通过硬件与软件的协同，本平台以扭矩/转速为基准量，对被测电机在不同工况下的机械输出、电能输入及关键运行状态进行同步测量与分析。测试时，将电机接入驱动控制器与台架负载系统（如测功机）；扭矩、转速/转角由测功机、扭矩法兰/动态扭矩传感器与编码器提供，并通过模拟量或数字接口接入采集系统。电压信号可直接接入数采系统的电压采集通道（如直流母线电压、相电压），也可根据电压等级、隔离安全与现场干扰情况，经高压差分探头或隔离变送器进行量程/隔离转换后接入；电流信号同样可直接接入数采系统的电流采集通道，也可根据现场布置与测量要求，经分流器、霍尔或罗氏电流传感器转换输出后接入。必要时同步接入温度以及 CAN/LIN 等总线信息，保证机械输出、电能输入与控制状态在同一时基对齐。ASMC 控制与分析软件在同一界面完成采样率、量程、传感器系数等配置，实时显示扭矩/转速、电压/电流等波形与数值，并在线计算机械功率、电功率、能量与效率等指标。测试结束后，系统自动保存原始数据与计算结果，并支持导出与回放。针对不同电机型号或不同台架，仅需调整接线与通道配置即可复用同一套采集与分析平台，快速完成测试切换。

扭矩与转速信号可由测功机、扭矩法兰/动态扭矩传感器与编码器提供。扭矩可通过模拟量（如 $\pm 10\text{ V}$ ）或数字接口接入采集系统；转速与角度推荐使用编码器脉冲（A/B/Z）或一次每转基准脉冲接入计数器通道，以获得高精度的转速/转角时基，并与电压、电流保持严格同步。对需要评估动态响应的场景，建议同步记录加载指令/控制状态（总线或 IO），用于对齐扭矩响应与电参变化。

扭矩脉动的计算可采用按转角触发的分圈统计方法：以角度信号的固定边沿作为每圈起点，设置一圈窗口后分别计算 T_{\max} 、 T_{\min} 、 T_{avg} ，并据此输出扭矩脉动(%) 随时间或随转速的趋势。该方法对转速波动较敏感，建议在测试中同时记录转速稳定性，并在稳速段与变速段分别评估；扭矩脉动同时具有幅值与频率特性，建议保留原始扭矩波形，滤波在分析环节进行并可追溯。结合扭矩脉动—转速曲线及声振对比，可提取“稳速区间脉动更低”等特征，为控制策略与结构优化提供依据。

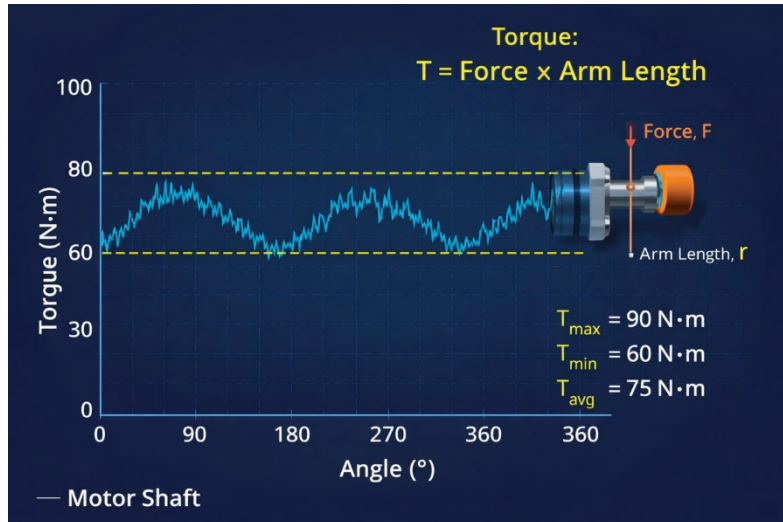


图 3 扭矩测试原理图

2.2 ASMC 测试软件介绍

ASMC 控制与分析软件安装于 PXIe 控制器，集设备管理、流程控制与数据分析于一体。软件面向电机台架测试的多通道同步采集与显示，可在同一界面配置扭矩/转速/转角、电压/电流及温度等通道，设置传感器系数与量程，实时呈现波形、数值表与趋势曲线；内置机械功率与电能计算功能，可输出扭矩、机械功率、电功率、能量与效率等指标，并支持对不同工况/不同样机的结果对比。软件支持按工况自动执行测试流程、记录关键结果，并一键生成标准化测试报告，支持 Excel、PDF 等格式导出。

在扭矩分析方面，软件支持按圈统计得到 $T_{max}/T_{min}/T_{avg}$ ，计算扭矩脉动并与转速、声振/温度等量同一时基对齐显示；同时支持把扭矩、转速纳入效率计算链，实现“机械输出—电能输入—NVH/温升”的综合对比分析，便于识别齿槽效应、谐波电流等导致的异常波动。

在电机与驱动系统测试中，软件可对起动、停止、阶跃、加载、升降速等动态过程进行统计分析，并可结合总线数据对控制指令、状态量与扭矩/电参结果进行关联分析，便于定位效率波动、过流/过压与低速抖动等问题。软件架构灵活可配置，可按项目需求扩展计算项与报告模板，为电机研发、试验与质量验证提供高效、可靠、可追溯的自动化测试支撑。软件示意图如下：



图 4 ASMC 测试与分析软件示意图

三、方案核心优势

1. **面向扭矩输出的核心评价能力**: 支持扭矩/转速同步采集与实时显示, 覆盖稳态、起停、加载等典型工况, 为带载能力与扭矩响应评估提供量化依据。
2. **面向 NVH 的扭矩脉动评估**: 支持按圈统计计算扭矩脉动, 并与声音、振动、温度等参数同一时基对齐对比, 快速定位低速爬行抖动与异常波动来源。
3. **机械输出—电能输入闭环效率评价**: 支持同步采集直流母线及相电压/相电流, 并自动计算功率、能量等关键电参; 与扭矩/转速联动计算机械功率与效率, 支持损耗分析。
4. **多源数据同步**: 扭矩、转速、电参采集与温度及 CAN/LIN 等总线数据可统一时基对齐, 便于完成控制状态—机械输出—电能输入的综合分析。
5. **自动化与高效率**: 通过测试流程模板与参数化配置, 实现一键执行、自动记录与报告输出, 减少人工操作与漏测风险, 提高台架测试效率。
6. **安全与可扩展**: 支持外部电压/电流传感器接入与隔离测量方案, 适配不同电压电流等级; PXIe 模块化架构便于按通道数与带宽需求灵活扩展。
7. **直观的数据分析与对比**: 支持实时显示、离线回放与多工况对比, 快速定位异常波形、效率波动及能量损耗来源。
8. **开放接口与系统集成**: 支持通过接口与上位机/台架控制系统进行数据交互与流程联动, 便于融入现有测试平台与质量追溯体系。

9. **支持定制扩展**: 可根据电机类型、测试规范与企业流程定制采集通道、计算指标与报告模板, 满足不同项目的差异化需求。

四、核心硬件产品介绍

4.1 数据采集模块

4.1.1 数据采集模块概述

控制、存储与采集模块基于 PXIe 模块化架构集成在同一机箱内, 可组合使用 ASMC PXIe 2252 高带宽混合背板机箱、PXIe 1216 嵌入式控制器及 PXIe 8016 高速存储卡, 实现设备调度、数据处理与高速缓存。机箱提供稳压供电、强化散热与智能监控, 支持多机箱同步; 控制器提供高性能计算与高速 PXIe 交换通道; 存储卡提供大带宽连续写入能力, 满足电机功率测试长时间、多通道同步记录需求。机箱内可根据项目配置电压/电流采集、温度、振动及总线接口等板卡, 实现电参、机械与状态量的一体化采集。控制与存储模块的产品示意图如下:



图 5 数据采集模块产品图



图 6 PXIe 采集卡产品图

4.1.2 数据采集模块关键参数:

ASMC PXIe 2252 机箱

- 1 系统槽 + 1 定时槽 + 7 混合槽, 系统带宽 24 GB/s、单槽 8 GB/s
- 内置 600 W 工业电源与强化散热; 工作 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 10 %-90 % RH
- 提供 10 MHz 时钟 I/O, 支持多机箱同步

ASMC PXIe 1216 控制器

- Intel® i7-6820EQ (2.8 GHz, 睿频 3.5 GHz) , 16 GB RAM (可扩展 32 GB)
- 512 GB SSD, 本地总线带宽最高 24 GB/s, 支持 P2P 直连与实时功耗/温度监测
- 双槽 3U 结构, 工作 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$

ASMC PXIe 8016 高速存储卡

- NVMe 固态存储 (最高 16 TB) , PCIe x8 接口
- 连续读写带宽 > 6 GB/s, 板载交换芯片支持数据直通与能耗监测
- 工作 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$

传感器供电板卡

- 程控直流 5-24 V, 每通道 $\leq 300\text{ mA}$; 24 V/4 mA IEPE 恒流源
- 实时上电与欠压监测, 统一稳压供电

模拟量采集板卡

- 通用高速: ≤ 32 单端或 16 差分, 16 bit, 500 kS/s, $\pm 10\text{ V}$ 可编程量程
- 同步动态: 8 路 24 bit, 8 S/s-102.4 kS/s, 内置抗混叠滤波与 AC/DC 耦合
- 数据直写至存储层, 单槽持续带宽 8 GB/s

数字量 / 总线采集板卡

- 16 路隔离 RS-485 DI, $+6$ - $+30\text{ V}$ 高电平; 1200-115 200 bps 可设
- 即插即用支持 MT/T 899-2000 NRZ 与 Modbus RTU, 可扩展 CAN、UART、以太网
- 共享 PXIe 10 / 100 MHz 时基, 实现模数采集纳秒级同步, 现场可换 BNC / Lemo / M12 接头

度纬科技始终致力于在数据采集领域中实现创新、独特和可靠的产品方案。我们深知，这些要素是企业市场竞争中立足的基石。正因为如此，我们将创新的灵感来源于客户的真实应用需求，而非仅仅为了展示华而不实的产品特性。通过不断优化和提升数据采集方案，度纬科技助力合作伙伴迈向高效精准的未来。欢迎选择度纬科技，共同开启数据采集的新篇章。