车载压力传感器芯片自动化测试解决方案

多点压力与温度特性自动化测试系统

全套 DAQ 解决方案，尽在度纬科技

度纬科技 Application Notes-087-V1.0

https://www.doewe.com

一、方案概述

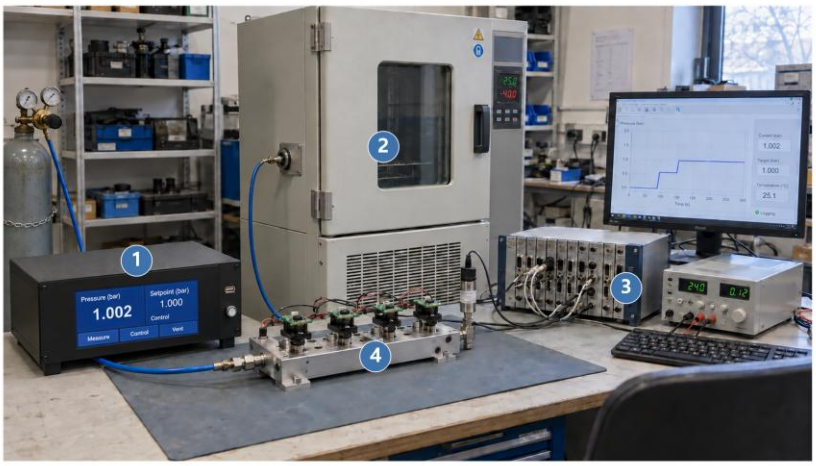
车载压力传感器是汽车压力测量与控制系统中的基础感知器件，可将气体或液体压力转换为电信号，为控制单元提供反馈数据。在发动机进气与燃油系统中，压力数据用于负荷判断和供给调节；在制动及热管理系统中，用于监测压力状态、调节执行机构和识别异常。测量准确性与稳定性关系到相关系统的控制精度、运行效率和故障判断，因此器件在装车应用前需要经过系统的性能测试。

车辆运行过程中，工作压力、环境温度和供电条件持续变化，敏感结构、封装与补偿电路也会影响最终输出。压力传感器测试需要在这些条件下建立实际压力与器件输出的对应关系，评价零点、灵敏度、非线性、迟滞及温度漂移，并检查启动过程、工作电流和通信状态。将参考压力、器件附近温度与电气数据同时记录，有助于分析器件特性及测试条件对结果的影响。

度纬科技将压力控制、参考测量、温度环境、专用夹具、供电采集和测试软件集成为一套自动化测试系统。压力控制器逐点建立输入，参考仪表测量实际压力，采集单元读取器件输出，软件在规定条件下完成采样、计算和结果归档。多工位共用压力与温度条件，各通道分别保存对应器件的测试结果。

测试对象包括带独立压力口的封装器件，以及安装在测试板上、通过密封夹具施压的封装芯片。夹具将气体或液体压力传递到器件受压位置，同时完成密封、定位和电气连接。系统可开展多点升降压、温度特性、稳压漂移及供电和接口测试，并根据验证目标配置响应时间、压力循环和过压恢复测项。裸芯片或晶圆级测试可通过专用压力腔、探针或临时电气连接结构扩展。

系统配置与器件的使用条件相对应。气体加载采用洁净气路与调压单元，低绝对压力测试配置真空支路，高压段按供压需求配置增压单元；液体加载采用匹配的液压回路与密封材料。夹具按器件外形和压力口设计，采集模块按电压、电流或数字接口选择。压力范围、温度点及判定限值依据器件规格和测试目标确定，文中设备外观及界面数据用于方案示意。



1 气源与压力控制
气源提供入口压力
控制器自动调压与稳压

2 温度试验箱
夹具和样品进入箱内
就近记录参考温度

3 供电与数据采集
测量端电压、电流
读取模拟或数字输出

4 多工位压力夹具
密封、定位与电气接触
工位和通道逐一对应

图 1 车载压力传感器芯片自动化测试系统组成示意图

二、整体测试流程

操作人员建立任务时，录入样品编号、压力类型、量程、接口和夹具位置，选择压力点、温度点及测项。软件调用相应的供电、采样、稳定条件和判定配置，并列出本次任务使用的压力支路、参考标准和采集通道。

样品装入夹具后，先核对压力口、工位编号与电气通道的对应关系。密封面和接头保持清洁，压紧力按夹具设计控制。多工位共用歧管时，各支路分别检查密封状态，确认各工位可以在规定压力条件下开展测试。

启动序列依次检查供压条件、阀门、参考测量、温箱和泄压通路，再以规定的检查压力进行密封检查。确认状态正常后，为器件上电并记录工作电流、通信状态及首个有效输出，完成规定预热后进入正式测试。

静态测试从规定的零点或下限点开始，逐点升压至上限，再按相同点位降压。每到一个点，软件依据参考压力的波动、变化趋势和规定等待时间判断采样条件；温度试验同时检查器件附近的参考温度。压力与温度均达到稳定要求后进入采样窗口，设备到位状态作为辅助记录保存。稳压时间超过设定上限时，软件记录原因并提示复核相应点位。

温度试验在各目标温度下重复升降压序列；稳压漂移试验则在固定压力和温度下连续记录。设备设定值、实际参考量、器件输出及运行状态随测试点一并保存。静态测试按点位和采样窗口对应，动态测试按共同触发或经验证的时间基准对齐。

计算前先检查参考量、采样记录和报文是否完整。环境或通信异常的数据保留原因标记，测试条件有效的器件输出用于性能计算与判定。复测数据另存并关联首次结果，便于比较偶发异常

和重复出现的偏差。任务结束后先安全泄压，确认夹具内压力恢复至允许拆卸的状态，再取下样品。



图 2 车载压力传感器芯片自动化测试流程

表 1 列出了常用测项。压力点、温度点、循环次数、保持时间和判定限值按器件资料与试验目的配置，测量方法随任务保存。

表 1 车载压力传感器芯片常见测项

测项	测试方法	主要结果
供电与启动	规定电压和模式下上电，记录电流与首次有效输出	工作电流、启动与恢复时间
多点升降压	逐点升压与降压，稳定后同步采样	零点或下限输出、灵敏度、非线性
迟滞与重复性	比较正反程及多个完整循环的对应点	迟滞、循环间离散性
温度特性	各温度点重复规定压力序列	零点温漂、灵敏度温漂、温度下误差
稳压漂移	固定压力与温度，连续记录参考量和输出	相对参考量的变化趋势
密封检查	规定检查压力下隔离支路，观察压力与温度	支路压降、装夹或密封异常
响应时间	快速压力激励，同步采集参考与器件波形	延迟、上升与下降时间
过压恢复与循环	按规范加载，恢复后复测基准点	零点、灵敏度及密封状态变化
输出与接口	按实际接口检查负载、报文与异常恢复	输出范围、更新周期、诊断状态

三、测试系统组成

压力与温度设备建立试验条件，测试板和采集单元完成器件连接与电气测量，上位机软件协调各部分运行。图 3 分别给出了压力通路、电气采集通路和设备控制关系。软件通过测试点编号和采样时间，将实际参考压力、器件输出及环境记录对应起来，用于后续特性计算和结果复核。



图 3 压力通路、电气采集与设备控制关系

3.1 压力发生、控制与参考测量

压力源为控制器提供入口压力，控制器通过调节阀组或活塞机构完成升压、降压和稳压。真空与增压单元按目标压力范围配置。气体回路通过干燥和过滤控制水分、油污与颗粒；液体回路根据器件接触材料选择介质和密封件，并设置排气、清洗及收集装置。

本方案采用独立参考压力标准记录器件实际输入。参考仪表与被测器件连接在同一段已确认均压的管路上，使两者测得的压力可以直接对应。选型时根据被测量程和目标误差核对参考仪表的校准范围与测量不确定度。采用控制器内置测量通道作为参考时，其测量准确度按校准结果及不确定度单独评价，控制稳定度则用于评价稳压过程。

阀组与歧管负责压力分配、支路隔离和泄压。多工位静态测试通过密封检查及稳定时间设置确认各支路压力一致；动态测试采用较短的连接管路和较小的管路、接头及夹具内部容积，以提高压力传递速度。液压回路中，参考端与被测端的高度差按介质密度进行液柱压力修正。更换夹具或管路后，重新核查压力传递、参考测点位置和稳定时间。

绝压、表压和差压器件采用各自的参考方式。绝压以真空为压力零点，表压以大气压力为参考，测试时确认器件与参考仪表使用相同的大气参考条件。差压器件连接高、低压端，由差压参考仪表测量两端压差。一端通大气的连接方式用于相应的差压工况；验证两端共同承受较高压力时的性能，则分别控制两端压力，在设定的共模压力下调整差压。

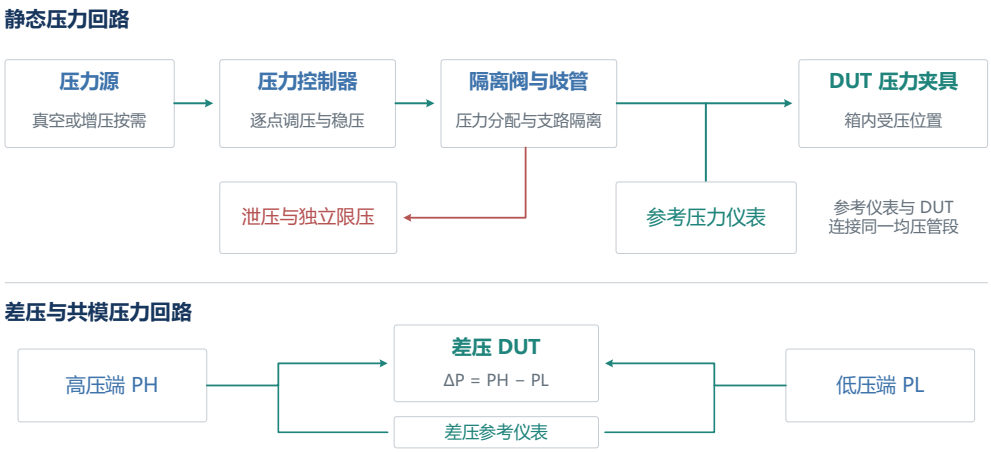


图 4 静态压力测试气路与差压扩展原理

3.2 测试板、封装夹具与气路连接

测试板将器件引脚引出至供电和采集接口，配置去耦、保护、负载及必要的信号调理，并保留电源与信号测试点。更换封装时，主要调整插座、测试板和压力转接块；载盘连接、电气通道编号及软件任务框架可以继续使用。

夹具把密封、定位和电气接触集中在同一工位。密封圈与压紧结构按压力、温度和介质选用，并通过定位基准及压紧限位控制装夹状态，使重复装夹的条件保持一致。各工位设置独立编号，压力支路、测试板与采集通道在软件中对应管理。密封检查通过规定容积内的压力衰减筛查异常；计算泄漏率时，结合容积、温度及系统自身的压力变化进行修正。

温度试验中，夹具、线缆和压力管路随器件进入温箱，控制器及参考仪表通常放在箱外。器件附近布置参考温度测点，用于记录样品周围的实际温度。对表压或差压测试，结合连接方式核查温箱内外的参考压力；对长管路或液压连接，确认器件端的压力传递与高度修正。温度变化后，待参考温度与压力均达到稳定要求，再开始取样。

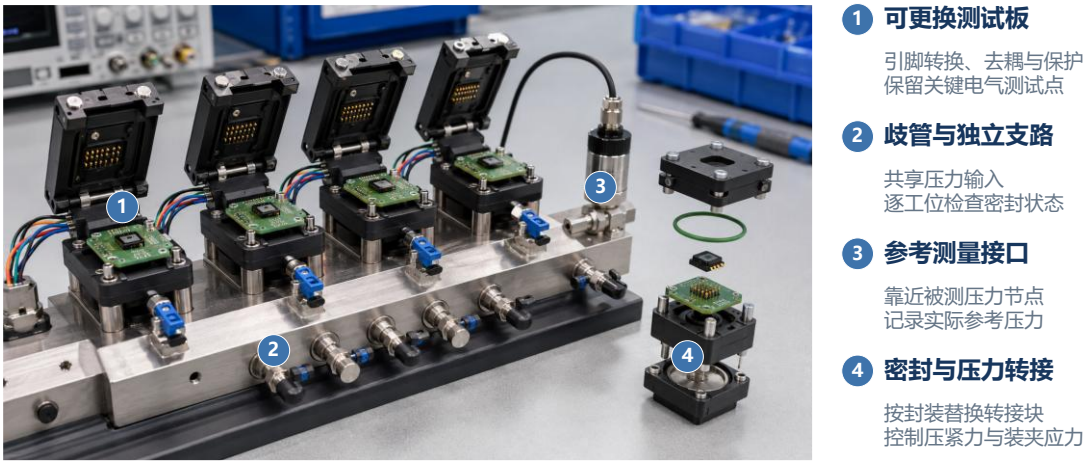


图 5 多工位压力夹具与器件连接示意图

3.3 供电、采集与数字接口

可编程电源提供工作电压，采集单元同时测量器件端电压、电流和输出。比例式电压输出按器件规定用输出与激励之比评价；毫伏级电桥采用低噪声激励和差分测量；电流输出配置匹配的采样电阻或电流通道。多工位可分组供电，并隔离短路或异常电流支路。

采集方式随测项选择。稳态测试在规定窗口内统计平均值与离散性，响应测试保留完整波形。参考压力、温度和被测输出分别保存原始序列及时间信息，采样率、量程与滤波配置随任务记录。数字输出由接口单元就近接收，再与外部参考数据建立对应关系。

SENT 接口通过边沿或脉宽采集完成解码；PSI5 配置传感器供电和电流调制接收电路；I²C 配置匹配的逻辑电平与上拉，SPI 配置时钟、片选及逻辑电平。接口单元按当前器件的电气要求完成连接，软件根据相应协议解析数据字段、状态信息及压力换算关系。

3.4 自动化测试与分析软件

软件提供调试和自动运行两种方式。调试时可单独控制压力、阀门、温箱及电源，查看原始输出；自动运行时按任务顺序完成设备检查、预热、压力和温度切换、稳定判断与采集。界面同时显示设定值、参考实测值、测试序列和器件结果，运行日志记录设备响应与异常信息，便于定位到具体点位和通道。

每个结果都关联样品编号、工位、测试板版本、器件配置、参考仪表与校准信息。计算方法和限值独立保存版本，超限时可直接回看原始波形及运行日志。压力、温度或电流异常会中止当前序列，并按装置预设策略隔离、泄压或断电；机械限压和硬件联锁独立于软件保留。报告按项目模板导出，条码、数据库或制造执行系统对接可按需增加。



图 6 压力传感器自动化测试与分析软件界面示意图

四、典型测试方法

4.1 多点升降压、迟滞与重复性测试

在规定温度与供电下，从下限点逐级升压至上限点，再按相同点位降压。每个点稳定后，同步读取参考压力与器件输出，并保留平均值、标准差和采样数量。按规定次数重复完整循环，可以在同一组数据中分析输出特性、迟滞与重复性。

灵敏度可由两端输出差与参考压力差之比计算，也可取多点拟合斜率。以近似线性输出为例，S = (YH - YL)/(PH - PL)，其中 PH、PL 为同一温度、加载方向和循环中的高、低参考压力，YH、YL 为对应输出。零点输出取器件规定零点条件下的测量值，量程下限输出取下限压力点的测量值，两项结果按器件的压力定义分别记录。

非线性按所选参考直线计算最大偏差，并注明端点法、最佳拟合直线或器件规定方法。迟滞比较升压和降压过程在同一实际压力下的输出差，重复性比较各次循环在相同方向、相同实际压力下的输出。当正反程的实测压力略有差异时，软件在两组数据共同覆盖的压力区间内，利用相邻实测点按既定插值方法分别求出同一压力下的输出，再进行比较。插值方法和使用的数据点随结果保存。

对已换算为压力的输出，单点误差为 $E_i = P_{DUT,i} - P_{ref,i}$；按压力跨度归一化时，$\delta_i = E_i/(P_H - P_L)\times 100\%$。报告注明归一化基准和算法，保留参考标准、温度、采集及支路影响的不确定度评估。非线性、迟滞和总误差分别列出，判定按约定规则执行。

4.2 温度特性与稳压漂移测试

各温度点采用相同的压力序列，并固定供电、采样窗口和装夹状态。温箱达到设定值后，继续观察器件附近参考温度，满足温度与压力稳定条件再采样。需要考察温度滞后时，按相同点位分别执行升温和降温过程。

零点温漂比较各温度下规定零点的输出，灵敏度温漂比较对应斜率的变化。带温度补偿的器件以补偿后的最终输出评价，片内温度码作为辅助记录。包含补偿系数计算和写入时，分别设置系数计算点与独立验证点，用验证点检查写入后的输出，并保存系数版本、点位分组和写入前后数据。

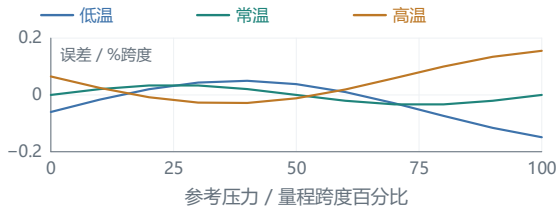
稳压漂移试验在固定压力与温度下连续采样。软件按器件传递关系将输出换算为压力，绘制器件换算压力与参考压力之差随时间变化的曲线，同时记录参考温度。通过这组数据可以观察器件相对参考量的漂移，分析压力源缓慢变化和温度波动的影响。观察时长、采样设置及参考测量的不确定度随试验保存。



箱内试样与参考温度

温度设定 建立温度条件 → 稳定判断 参考温度与压力 → 压力序列 逐点加载采样

温度下的压力误差



稳压漂移



图 7 温度测试布置与典型结果分析示意图

4.3 响应时间、过压与爆破扩展测试

响应时间测试采用快速阀组或专用动态压力装置，在小容积气路中产生压力变化。高带宽参考传感器靠近被测件布置，参考波形与器件输出使用共同触发或经验证的时间基准采集。根据器件预期响应速度选择阀组、管路容积及参考通道带宽，使压力输入与参考通道的响应时间均明显短于待测器件的响应时间。试验同时记录实测压力阶跃，用于核查激励速度及测量链对结果的影响。

分析时先检查实测压力波形，再按规定阈值计算延迟、上升和下降时间。图 8 以 10%～90% 阈值示意上升时间，实际定义采用器件规范。过压恢复试验则按规定压力与保持时间加载，泄压并恢复后复测零点、灵敏度和密封状态。压力循环用于考察反复加载后的性能变化，加载速率与循环次数按验证要求设置。

过压与压力循环支路按最大试验压力校核额定能力，并配置限压及泄压装置。爆破试验采用独立防护设备、远程操作和专用压力回路，试后介质及残留物在该回路内收集处理。系统可根据研发验证、性能标定或耐久试验的任务分别配置这些扩展设备。

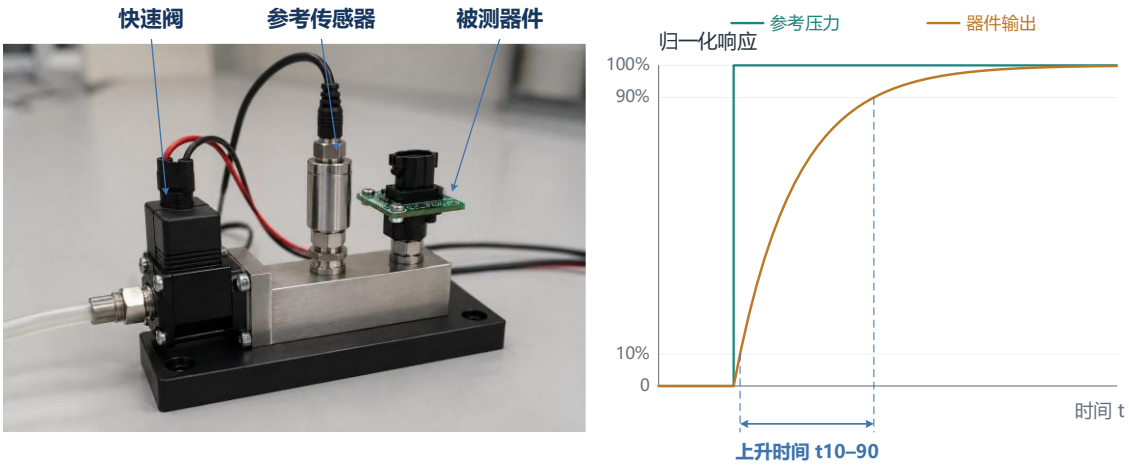


图 8 动态压力测试布置与响应时间定义示意图

4.4 供电、模拟输出与数字接口测试

供电测试在器件规定的电压点和模式下进行，记录端电压、工作电流及首次有效输出。启动、休眠唤醒和模式切换分别保存电流与输出过程。模拟输出按规定负载检查输出范围、比例关系和饱和状态，异常供电后的恢复条件同样由器件资料确定。

数字接口测试同时检查压力数据、更新周期、校验和状态信息，并保存原始帧或边沿记录。对供电与通信共线的接口，同时观察总线电压和电流。配置与调试接口重点检查寄存器访问及参数写入，正常工作接口重点检查压力数据更新、诊断状态和异常恢复，各项检查分别给出结果。

五、方案核心优势

度纬科技将压力设备、温度环境、电气采集和测试软件统一配置，使器件验证形成连续的试验流程。方案核心优势体现在以下方面：

- 压力输入与器件输出对应测量。每个测试点同时保存实际参考压力和电气输出，结合温度及供电记录分析误差来源，为特性计算提供完整依据。
- 自动执行压力与温度组合测试。软件统一编排升降压、温度切换、稳定判断和数据采集，减少人工设点与抄录，便于重复执行相同试验条件。
- 多工位共用设备，结果逐通道管理。歧管和温箱为多只器件提供共同试验条件，工位编号与采集通道对应，便于进行批次对比及异常工位复测。
- 夹具与接口适配便于换型。测试板、插座和压力转接块随器件封装及输出形式调整，压力设备、温箱、采集平台和软件框架可在适用范围内复用。
- 测试结果可追溯和复核。原始数据、参考仪表校准信息、算法与限值版本随任务归档，首次测试与复测记录分别保存，支持按点位回看波形、报文和运行日志。

- 测项按验证阶段扩展。基础系统完成静态与温度特性测试，结合产品研发和可靠性验证需要，可配置动态压力、压力循环、过压恢复及独立爆破试验设备。

六、总结

车载压力传感器的性能验证，需要在明确的压力、温度和供电条件下建立输入与输出的对应关系。压力控制与参考测量提供输入依据，专用夹具和电气采集完成器件连接及数据记录，自动化软件统一执行试验并保存计算过程，使测试结果能够用于器件评价、样品对比和后续复核。

度纬科技可结合器件封装、压力类型、介质、量程和接口，提供压力设备配置、专用夹具、测试板、采集单元与自动化软件方案。如有车载压力传感器研发验证、标定测试或自动化测试系统建设需求，欢迎联系度纬科技（010-64327909），共同确定适合的测试配置与实施方式。