

QC

中 华 人 民 共 和 国 汽 车 行 业 标 准

道路车辆 火花塞匹配性试验方法

Road vehicles – Spark-plugs application test methods

（征求意见稿）

20XX – XX – XX 发布

20XX – XX – XX 实施

中 华 人 民 共 和 国 工 业 和 信 息 化 部 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 试验方法	1
4.1 基本点火性能试验	3
4.2 火花塞电极温度测量	3
4.3 离子电流早燃试验	3
4.4 点火电压试验	4
4.5 低温重复冷起动试验	5

前 言

本标准按 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本标准规定了道路车辆点燃式发动机火花塞的匹配性试验方法。

本标准由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC 114）提出并归口。

本标准为首次制定。

本标准起草单位：株洲湘火炬火花塞有限责任公司、上海汽车集团股份有限公司技术中心、重庆长安汽车股份有限公司、奇瑞汽车股份有限公司、宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司。

本标准主要起草人：杜德魁、李耀、杨辉睦、陈小双、张堂亮、邓钧、任国耀、孔祥鑫、张弘、李金晶、徐茂生、梁宇询。

道路车辆 火花塞匹配性试验方法

1 范围

本标准规定了道路车辆点燃式发动机火花塞的匹配性试验方法。本标准适用于点燃式发动机火花塞。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括任何校正）适用于本文件。

GB/T 6791 道路车辆-火花塞及其气缸盖安装孔-基本特征及尺寸

QC/T 430 道路车辆 火花塞产品型号编制方法

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本标准

3.1 热值 **heat-rating value**

代表火花塞吸热和散热平衡能力的指标，用通常一个数字来代替，并体现在火花塞的型号内。因不同火花塞制造商使用的热值分级方法不同，火花塞热值数字仅限于火花塞制造商内部使用，不同火花塞制造商的热值数字间没有比较意义。国内的火花塞型号编制方法QC/T 430规定，数字越大，热值越高，火花塞越冷。但有些火花塞制造商的热值数字越小，代表火花塞越冷，而热值数字越大，则代表火花塞越热。

3.2 高热值火花塞 **spark plug with high heat-rating value**

热值数字大的火花塞，也可以称为高热值火花塞，或冷型火花塞。火花塞的热值高代表其抵抗热负荷的能力高，具有更好的散热效果，适用于缸内爆发压力较高、热负荷高、升功率大的发动机。

3.3 低热值火花塞 **spark plug with low heat-rating value**

热值数字小的火花塞，也可以称为低热值火花塞，或热型火花塞。火花塞的热值低代表其抵抗热负荷的能力差，散热能力弱，适用于缸内压力爆发较低、热负荷较低、升功率小的发动机。

3.4 自点火 **self-ignition**

当火花塞点火端的温度足够高时，即便没有给火花塞接通点火高压电脉冲，也会由炙热的点火端把混合气点燃，这种由火花塞的炙热点火端自动点燃混合气的现象叫做自点火。如果自点火发生在发动机管理系统标定的电点火点之前，叫早火或早燃（Pre-ignition）；如果自点火发生在电点火点之后，叫后火或后燃（Post-ignition）。

3.5 离子电流 **ionic current**

当火花塞的两个电极之间的介质被电火花电离，或由于自点火发生燃烧时，电极之间的介质就会被离子化为等离子体。如果在两个电极之间加上一定的直流偏置电压，等离子体内的离子就会定向移动，形成离子电流，这个离子电流可以用连接在两个电极之间的特殊电路测量出来。运用离子电流测量技术，

可以实时监测火花塞是否有正常的跳火发生，或由于火花塞点火端温度过高而产生自点火现象。下图1所示为几种典型的离子电流曲线。

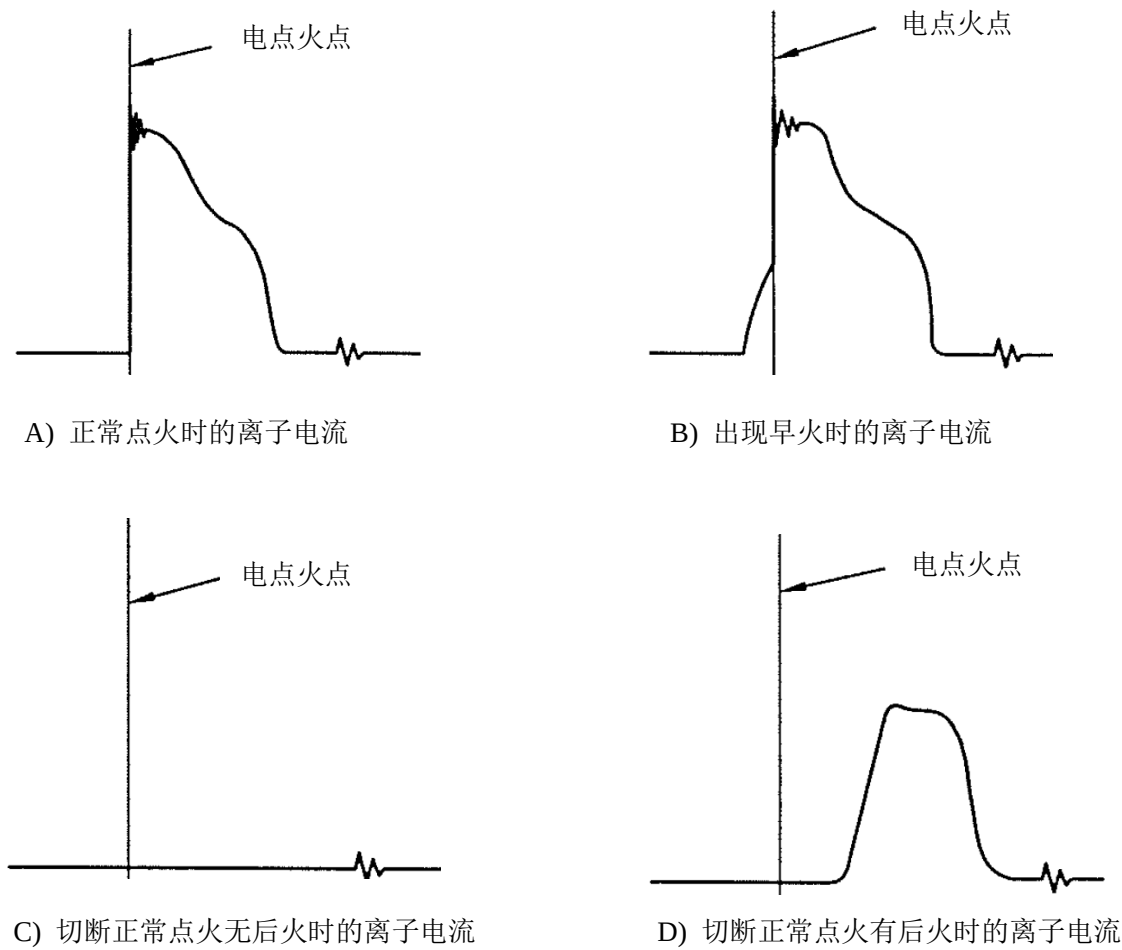


图1 几种典型的离子电流信号曲线

3.6 后火率 post-ignition rate

如图2所示，在对某些发动机进行离子电流测试时，为了获取后火离子流信号，通常需要按一定的节拍切断正常的电点火，比如每50次点火切断一次，或每1.5秒切断一次，监测点火高压脉冲被切断的情况下是否会产生后火。产生后火的几率被称作后火率，这个指标通常被用来评估某些点火角标定在上止点之前5° CA（曲轴转角）以上的发动机的火花塞热值匹配性。

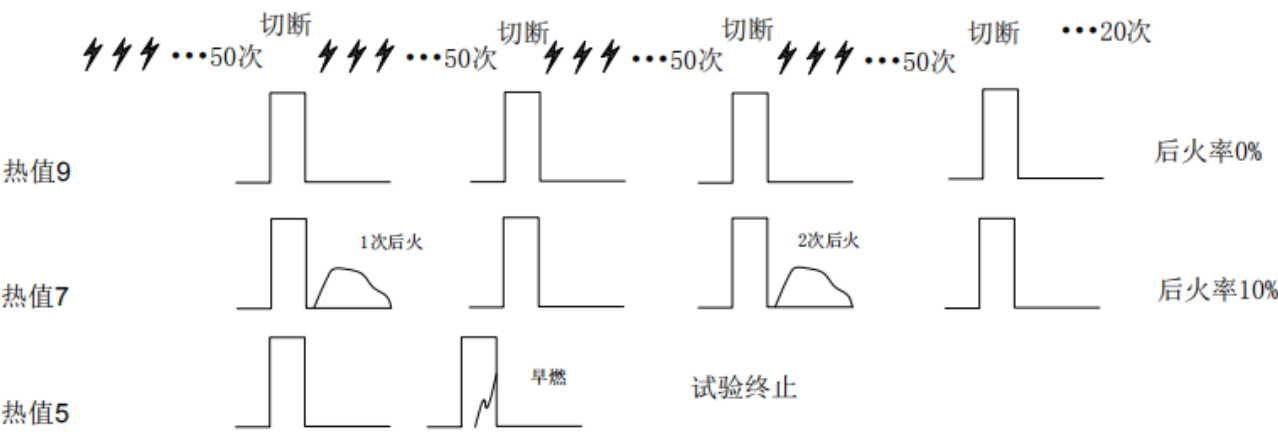


图2 点火切断模式和后火率计算方法

3.7 早火率 pre-ignition rate

产生早火的几率被称为早火率。早火是发动机不期望的，极易触发爆震，所以，在任何工况条件下，发动机应尽量避免早火的发生。

3.8 抗积碳性能 anti-fouling behavior

车辆在低温条件下（比如-15℃）起动后，经过一段时间的低速大负荷运行后，火花塞陶瓷绝缘体裙部抵抗积碳的能力，以及积碳后能继续稳定可靠点火的能力。火花塞的抗积碳性能通常用车辆在低温条件下的重复起动积碳试验进行考核。

3.9 点火需求电压 required ignition voltage

在一定的介质条件下，击穿火花塞间隙所需求的电压值。火花塞的点火需求电压是动态变化的。通常情况下，介质的压力越高、电极间隙越大，则点火需求电压越高。

3.10 线圈可供电压 available voltage of ignition coil

在线圈次级输出端串联一个25pF等效电容负载条件下，点火线圈次级输出的开路负载电压。这与线圈本身的特性和线圈的初级驱动参数有关。

4 试验方法

4.1 基本点火性能试验

4.1.1 试验目的

通过对比试验来确认火花塞点火端的设计特征，比如：螺纹端部突出长度（标准型、加长型）、跳火间隙类型（空气间隙跳火、半沿面间隙跳火、沿面间隙跳火）、侧电极数量（单侧极、双侧极、多侧极）、中心电极类型（普通镍合金、铂铱金细电极、针对针电极）、点火位置（3mm、5mm、甚至更长）、间隙尺寸，等。

4.1.2 试验样件

主机厂根据发动机开发的创新程度，定义需要对比试验的火花塞类型和数量，火花塞供应商根据主机厂的需求来准备试验样件。在可能的情况下，尽量使用批产状态的火花塞作为试验样件。现有的批产

火花塞不能满足要求时，可以准备手工样件。手工样件允许使用替代材料，但需要保证尺寸符合设计要求，并具备基本的点火功能。考虑到手工样件可能使用替代材料，比如直接把镍合金中心电极顶端车细来替代贵金属，所以用于基本点火性能试验的样件只适合短时间功能性试验，不能用于耐久试验。

4.1.3 试验设备

该试验需要由主机厂在发动机台架上独立完成，可以使用原型机进行试验，但要确保发动机能稳定地进行外特性试验。为了获取更多的用于比较的数据，试验台架应具备发动机平顺性、功率、扭矩、油耗、和排放等数据的测量能力。

4.1.4 试验流程和方法

- 定义试验所需要测量的数据，以及火花塞试验顺序。推荐首先选用标准型设计的火花塞进行试验。
- 检查发动机、台架、和测量系统的状态，保证电瓶有足够的电量，确认使用正确的燃油。
- 按GB/T 6791规定的力矩正确安装火花塞，确认点火系统连接正常后启动发动机。
- 首先测量发动机在怠速条件下运行的平顺性。然后开始暖机，使油温和水温达到规定值。
- 测量并记录发动机在外特性条件下的功率、扭矩、油耗、排放等数据。
- 为了降低火花塞个体对试验数据带来的差异，每种火花塞可以用几组样件进行多轮试验。

4.1.5 试验结果评估

综合比较使用不同点火端设计火花塞所获取的数据，确定最佳的火花塞点火端设计特征需求。

4.2 火花塞电极温度测量

4.2.1 试验目的

通过电极温度测量，可以判断发动机最热的缸，确认火花塞的电极温度是否超过合理的极限值。

4.2.2 试验样件

试验需要使用电极内部带热电偶的测温火花塞，如图3所示。热电偶位于中心电极内的叫中心电极测温火花塞，热电偶在侧电极内的叫侧电极测温火花塞。热电偶的顶端位置距离电极的端部约1mm处。

中心电极测温火花塞的热值应尽量与推荐的量产火花塞的热值一致。考虑到侧电极的温度受热值的影响不大，侧电极测温火花塞的热值可以比推荐的常规火花塞的热值高，即使用更冷型的侧电极测温火花塞。

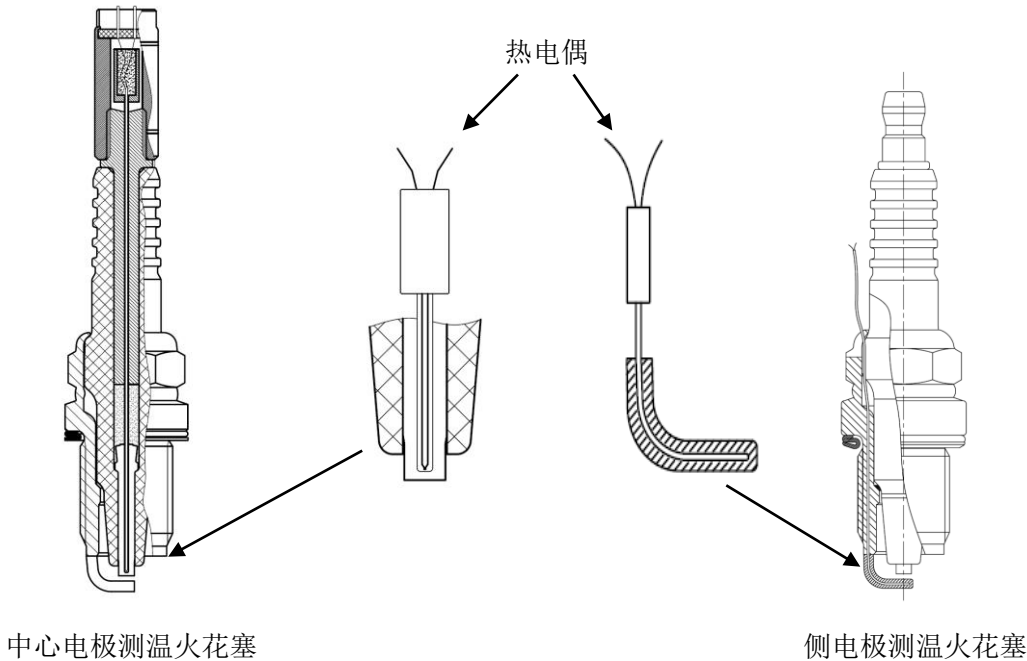


图3 测温火花塞结构

4.2.3 试验设备

该试验需要由火花塞厂商在主机厂的发动机台架上进行。用于试验的发动机需要至少需要完成EMS的基本标定，并能稳定地进行外特性试验。对于火花塞厂商来说，除了准备测温火花塞，还需准备温度信号转换器、数据处理器和温度信号显示设备。图4是一种电极温度测量的设备连接示意图。

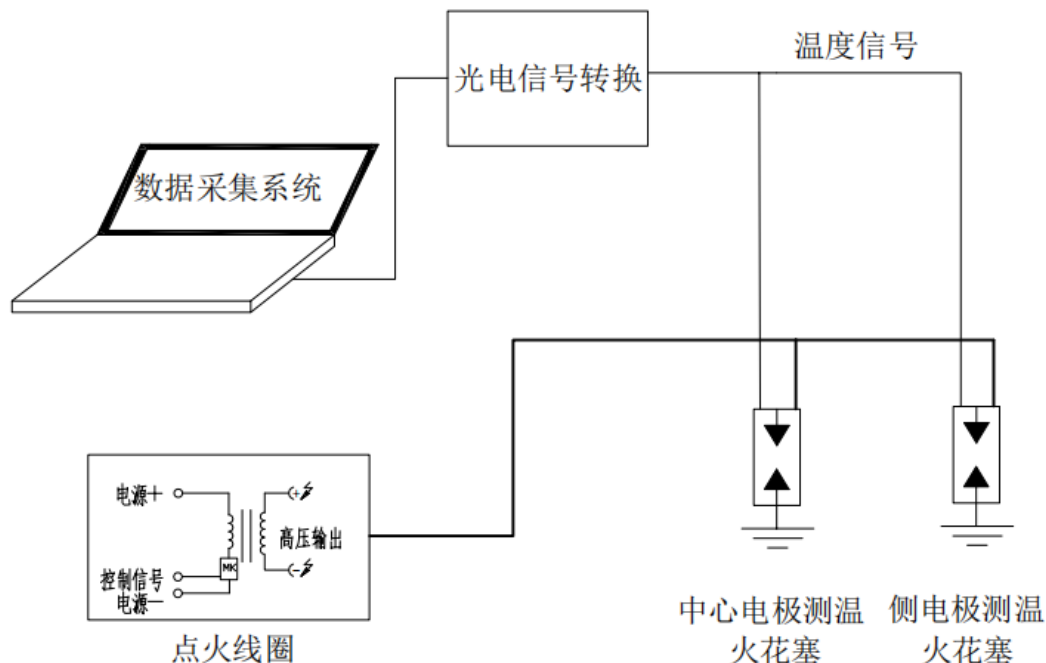


图4 电极温度测量设备连接示意图

除了发动机和台架测试设备外，主机厂需要配备专用的标定ECU，以便调整和读取发动机的点火角、空燃比/过量空气系数、以及切断爆震控制。

4.2.4 试验流程和方法

4.2.4.1 检查发动机、台架、和测量系统的状态，保证电瓶有足够的电量。为了保证试验时不产生明显的爆震，建议使用抗爆性高的优质燃油。为了避免高速条件下点火角漂移带来的发动机热工况变化，建议试验在爆震控制关闭的条件下进行。

4.2.4.2 按GB/T 6791规定的力矩，使用专用的安装工具把测温火花塞安装在第1缸。连接好温度测试设备后开始暖机，当油温和水温达到规定值后开始试验。

4.2.4.3 在全负荷条件下，发动机转速调整到1500rpm，发动机稳定运行2分钟后开始监测火花塞电极温度，持续监测1分钟左右，记录这1分钟内的电极温度最高值。

4.2.4.4 以 $\Delta 500\text{rpm}$ 为一个增量把发动机转速逐步增加，在每一个转速点让发动机稳定运行2分钟后开始监测电极的温度，持续监测1分钟，记录每个转速条件下的电极温度最高值。

4.2.4.5 必要时测量发动机最大扭矩点和最大功率点时的火花塞电极温度。

4.2.4.6 在每个转速点，记录发动机的点火角、空燃比或过量空气系数、输出功率、扭矩、排气温度、等。如测试在涡轮增压机上进行，建议记录每个转速点的增压比或进气压力。

4.2.4.7 在发动机的最高转速点完成试验后，降低发动机的转速和负荷，冷机运行一段时间后停机。

4.2.4.8 把测温火花塞更换到第2缸。如使用侧电极测温火花塞，应通过特殊方式（如改变外垫圈的厚度等）使火花塞在每个缸上安装后其侧电极的位置相对固定。然后重复上述第4.2.4.3、第4.2.4.4、第4.2.4.5和第4.2.4.7步的试验。

4.2.4.9 按照上述步骤，用同一只测温火花塞逐步完成所有气缸上电极温度的测试。

4.2.4.10 条件允许时，经双方同意，也可以用多支测温火花塞同时测试所有气缸上火花塞电极温度。

- 4.2.4.11 各缸上的电极温度测试后，比较所有气缸上各个测量点的电极温度，找出电极温度最热的气缸和最热的工况点。
- 4.2.4.12 在最热的气缸内，再次安装侧电极测温火花塞，并记录侧电极位置相对于进气阀的位置。然后参照上述第4.2.4.3、第4.2.4.4、第4.2.4.5和第4.2.4.7的步骤完成侧电极温度的测试和记录。
- 4.2.4.13 在最大扭矩点到最大功率点的转速范围内，建议在最热的缸上再次测试部分负荷条件下的电极温度，测量火花塞电极温度随负荷变化而变化的趋势。
- 4.2.4.14 必要时，经供需双方讨论同意，在最热的缸上，在最大扭矩点到最大功率点的转速范围内，逐步增加一定的点火提前角，测量火花塞电极温度随点火提前角变化而变化的趋势。
- 4.2.4.15 必要时，经供需双方讨论同意，在最热的缸上，在最大扭矩点到最大功率点的转速范围内，调整混合气浓度，测量火花塞电极温度随混合气浓度变化而变化的趋势。
- 4.2.4.16 必要时，经供需双方讨论同意，采用特殊的方式（如不同厚度的外垫圈）实现侧电极安装后位于不同的位置，测量侧电极温度随其安装位置变化而变化的趋势。

4.2.5 试验结果评估

对于不同的燃料，允许的电极温度上限值为：

- 汽油燃料：900℃
- 气体燃料：900℃
- 乙醇燃料：850℃
- 甲醇燃料：800℃

4.3 离子电流早燃试验

4.3.1 试验目的

确认与发动机相匹配的火花塞热值，验证被推荐的热值距离产生早火是否有足够的安全裕度。

4.3.2 试验样件

被推荐匹配在试验发动机上的量产火花塞，以及与该火花塞具有相同点火位置，但热值不同的火花塞。建议准备至少3种热值等级的火花塞：即被推荐的量产火花塞、比推荐火花塞低1个热值等级的火花塞、和比推荐火花塞低2个热值等级的火花塞。

4.3.3 试验设备

该试验需要由火花塞厂商在主机厂的发动机台架上进行。用于试验的发动机需要至少需要完成EMS的基本标定，并能稳定地进行高速高负荷连续运转。对于火花塞厂商来说，除了准备不同热值的火花塞外，还需要具备专用的离子电流测试设备。图5是一种离子电流早燃试验设备的连接示意图。

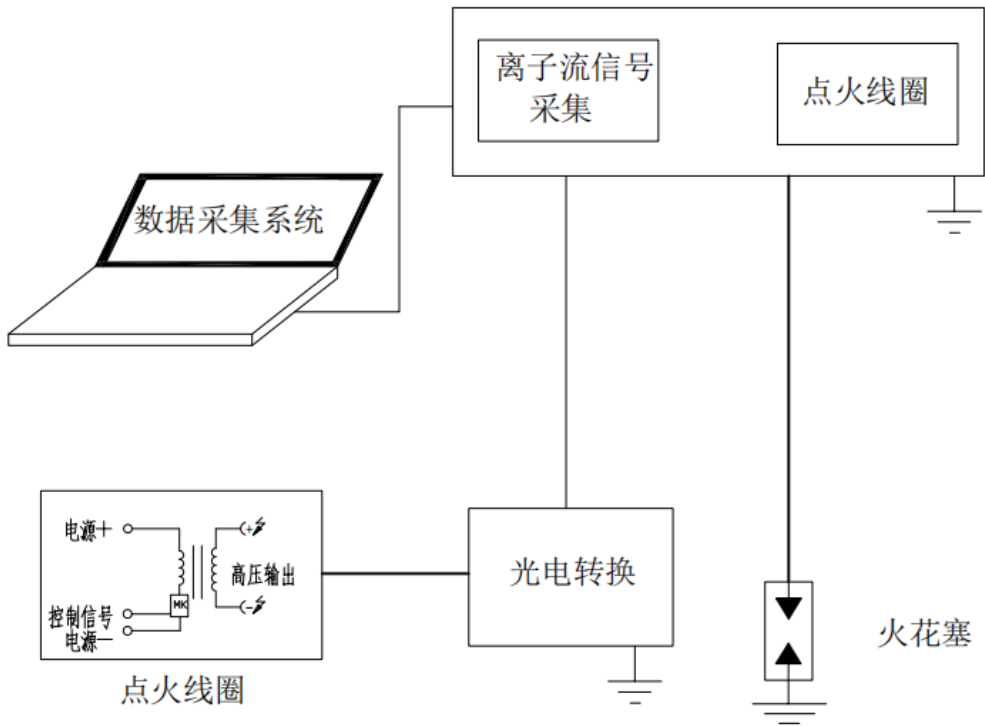


图5 离子电流早燃试验设备连接示意图

除了发动机和台架测试设备外，主机厂需要配备专用的ECU标定设备，以便调整和读取发动机的点火角和空燃比/过量空气系数，以及切断爆震控制。

4.3.4 试验流程和方法

- 4.3.4.1 检查发动机、台架、和测量系统的状态，保证电瓶有足够的电量。为了保证试验时不产生明显的爆震，建议使用抗爆性高的优质燃油。为了避免高速条件下点火角漂移带来的发动机热工况变化，建议试验在爆震控制关闭的条件下进行。
- 4.3.4.2 把推荐的火花塞安装在最热的气缸上，其它气缸建议更换为热值高一级的冷型火花塞。连接好离子流测试设备后开始暖机，当油温和水温达到规定值后开始试验。
- 4.3.4.3 在全负荷条件下，发动机转速调整到1500rpm，发动机稳定运行2分钟后开始进行离子流测量。针对某些点火角标定在上止点之前5° CA（曲轴转角）以上的发动机，可以采用测量后燃的模式进行试验，但对于点火角标定在上止点左右的增压机、增压直喷发动机、以及某些超高压压缩比的自吸发动机来说，因标定的正常点火角比较接近上止点，或甚至在上止点之后，只能进行时的早火测试。无论是进行后燃测试，还是进行早燃测试，建议每个工况点持续监测1分钟左右，记录这1分钟内的后火率最高值，或早火点。
- 4.3.4.4 以每Δ500rpm为一个增量把发动机转速逐步增加，在每一个转速点让发动机稳定运行2分钟后开始监测火花塞产生的后火率，或早火点，持续监测1分钟左右，记录每个转速条件下的后火率最高值，一旦监测到有火花塞原因造成的早燃产生，立即停止试验，并记录此时的发动机工况。
- 4.3.4.5 必要时测量发动机最大扭矩点和最大功率点时的后火率或早火点。必要时需要逐步向前提前点火角，每步增加1°或2°曲轴转角，监测在增加点火角时后火率的变化趋势和是否产生早火。在增加点火提前角时要密切关注发动机是否有爆震发生，如发生爆震，则需立即推迟点火角到原始数值，停止试验。
- 4.3.4.6 在最大扭矩点到最大功率点的转速范围内，建议测量部分负荷条件下的后火率或早火点，便于综合评估热值的匹配性。
- 4.3.4.7 在发动机的最高转速点完成试验后，降低发动机的转速和负荷，冷机运行一段时间后停机。
- 4.3.4.8 在同一气缸上，依次用更热一级的低热值火花塞重复第4.3.4.3到第4.3.4.7步的试验，记录每个工况点下的后火率或判断是否产生早火。在时间允许的情况下，每种热值的火花塞建议至少试验2只。

4.3.4.9 在进行后燃测试模式下，任何一轮试验中需密切关注后火率增加的趋势，如在某一工况点的后火率大于50%时要特别小心观察是否有爆震发生，一旦发生爆震或出现早火，则需要立即降低转速和负荷，停止试验。

4.3.5 试验结果评估

满足以下任意一项即可认定被推荐的火花塞有足够的热值安全裕度：

- a) 对于某些点火角标定在上止点之前5° CA（曲轴转角）以上的发动机来说，采用后燃测试法进行试验，在不调整点火角的前提下，被推荐的火花塞在所有的工况条件下的后火率不大于40%。
- b) 对所有发动机来说，在不调整点火角的前提下，在任何工况条件下，比被推荐的量产火花塞至少低1个热值等级的火花塞没有产生早燃现象。

4.4 点火电压试验

4.4.1 试验目的

确认与发动机相匹配的火花塞经过耐久试验后的点火需求电压是否与线圈的可供电压匹配，评估火花塞的电极材料和初始间隙的设定是否合理。

4.4.2 试验样件

经过耐久性考核的火花塞，或经双方同意的类似火花塞。

4.4.3 试验设备

该试验需要在主机厂的发动机台架或车辆上进行。电压的测量设备通常由点火高压特殊三通接头、高压探头（推荐使用美国泰克的P6015A）、专用测量线、信号处理单元、操作终端与信号显示设备。试验设备连接图6所示。

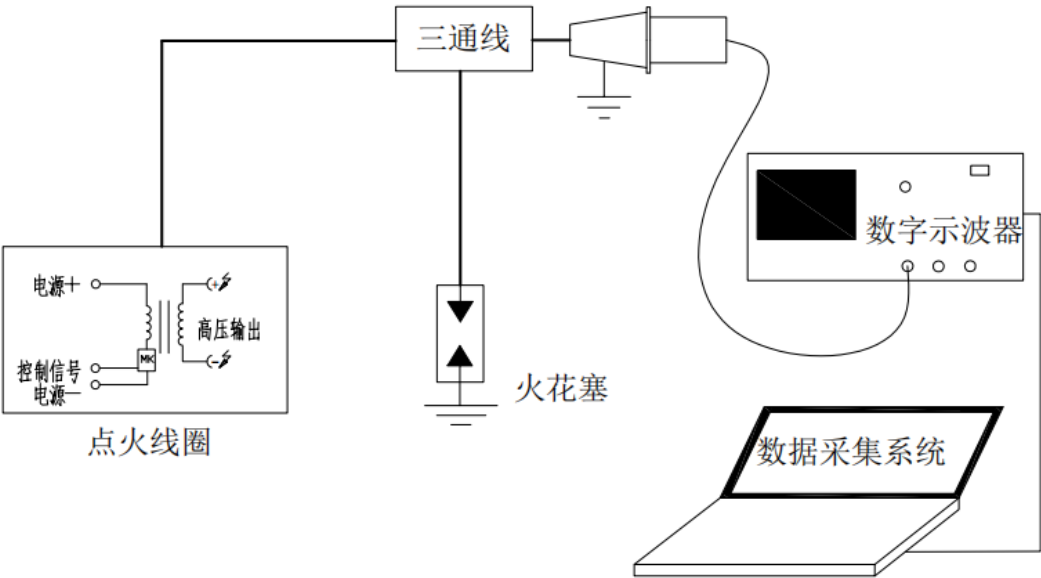


图6 点火电压测量设备连接示意图

4.4.4 试验流程和方法

4.4.4.1 检查用于电压测量的火花塞状态，用于试验的火花塞不应有明显的积碳，或金属氧化物沉积物。

- 4.4.4.2 测量并记录火花塞的间隙，然后按GB/T6791规定的力矩正确安装火花塞。
- 4.4.4.3 按图6所示把特殊的高压三通连接在点火线圈与火花塞之间，把三通的另一个接头与点火高压探头连接，高压探头需要可靠接地。
- 4.4.4.4 在条件具备的时，高压探头监测到的信号可以经过虚拟示波器处理后在操作终端和信号显示设备上显示。如不具备虚拟示波器或专业的信号处理设备，也可以直接把高压探头测量到的信号直接在示波器上进行显示。
- 4.4.4.5 实时测量并记录发动机在起动、怠速、急加速、外特性等条件下的点火需求电压最大值。
- 4.4.4.6 适当增加火花塞间隙，再次测量间隙增加后在各种工况条件下的点火需求电压最大值。间隙一般最多只增加到比初始间隙大0.4mm进行试验即可。
- 4.4.4.7 拔掉与火花塞接线端连接的高压线，让线圈的次级输出端连接一个25pF的电容负载后，或高压线连接一个装入安装孔的与被推荐的常规量产火花塞结构一样的不能点火的特制火花塞，再与高压探头连接，测量并记录点火线圈在起动、怠速、急加速、外特性等条件下的可供电压最小值。为了避免在测试线圈的可供电压时未燃烧的燃料在排气管中燃烧，在拔掉火花塞上的点火高压线时，需要同时拔掉该缸燃料喷嘴的供电线束，即切断该缸的燃料供应。另外，在测量不同转速点的点火线圈的可供电压时，也可以通过发动机倒拖的方式测量，此时要求台架应具备倒拖的功能。

4.4.5 试验结果评估

绘制不同间隙火花塞的点火需求电压，和线圈可供电压随发动机转速变化的曲线，参照以下原则评估火花塞的点火电压匹配性：

- a) 经过耐久运行的火花塞，在任何工况条件下的点火需求电压至少比线圈的可供电压要低4kV。
- b) 对于常规自然吸气发动机来说，耐久后的火花塞点火需求电压不宜大于30kV。
- c) 对于涡轮增压发动机来说，耐久后的火花塞点火需求电压不宜大于35kV。

4.5 低温重复冷起动试验

4.5.1 试验目的

验证火花塞在低温条件的抗积碳能力。

4.5.2 试验样件

被推荐匹配在试验发动机上的常规火花塞。用于试验的样品可以是量产状态的，也可以是手工制作的。如果是手工制作的，要保证点火端的结构与最终的设计方案一致。

4.5.3 试验设备和条件

该试验需要在主机厂的低温转毂实验室进行。用于试验的车辆和发动机需要已经完成冷起动标定和优化。对于火花塞厂商来说，需要准备兆欧表、专用的测量接头、和专用的测量线。

试验温度和试验模式由供需双方协商确定。如主机客户无明确需求时，推荐试验在-15℃条件进行。

电瓶动态电压需要能保持 10V 以上。

4.5.4 试验流程和方法

4.5.4.1 如主机厂家有自己的试验规范，则按照厂家的试验规范进行试验和评估。

4.5.4.2 如主机厂家无明确的内部试验规范，推荐采用图7和图8描述的车辆运行模式进行试验。

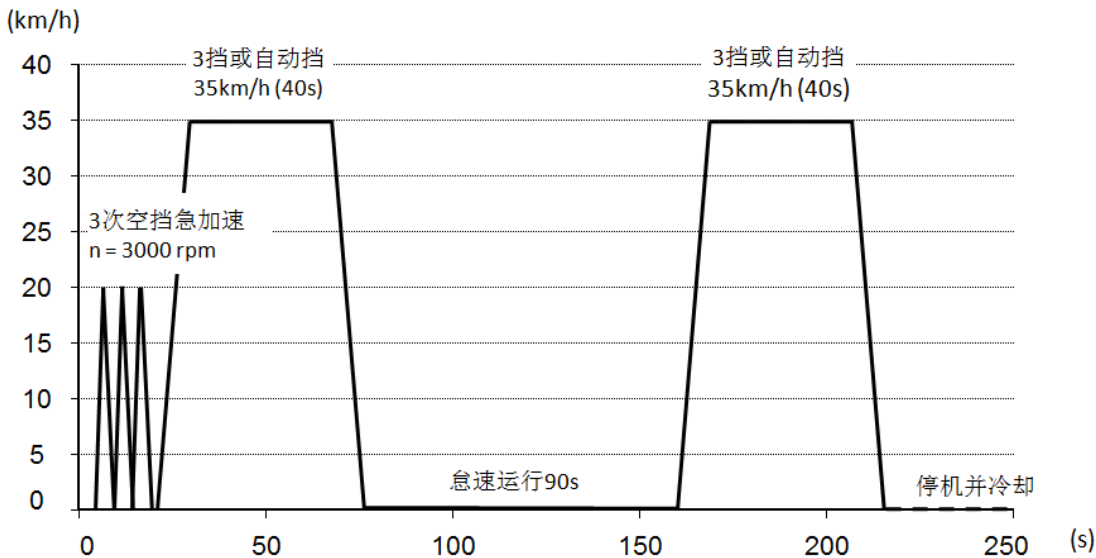


图7 低温重复冷起动试验车辆运行模式A部分

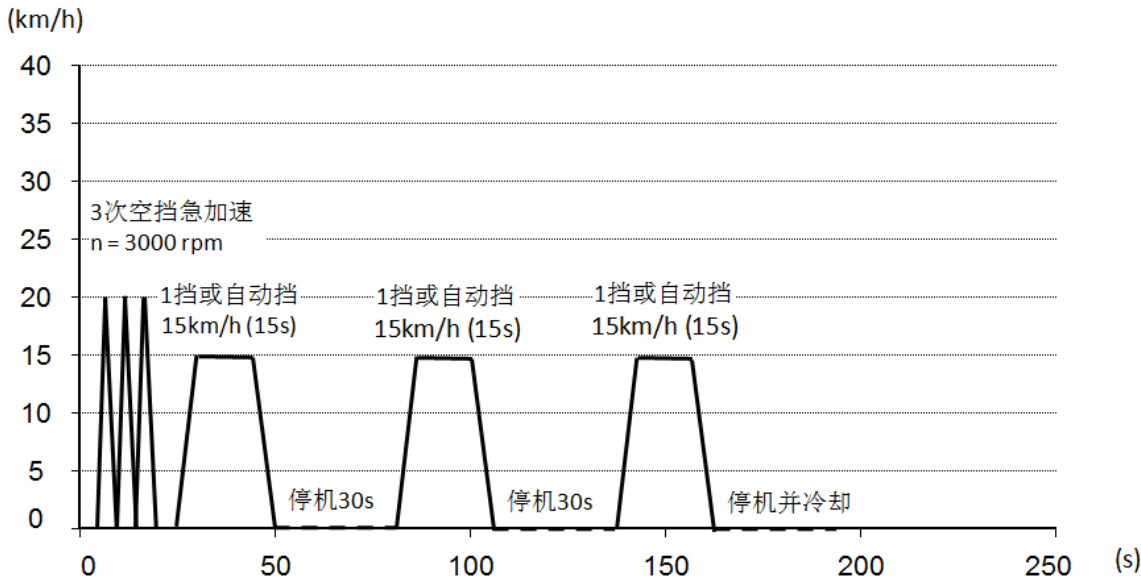


图8 低温重复冷起动试验车辆运行模式B部分

- 4.5.4.3 检查被测试火花塞，确保火花塞功能完好，测量并记录火花塞间隙和电阻值。
- 4.5.4.4 安装被测试火花塞，让车辆在低温实验室内冷却，直到油温和水温均冷到-15℃。
- 4.5.4.5 起动车辆，然后按尽量按图7所示的模式（A部分）运行车辆。
- 4.5.4.6 车辆熄火后用专用测量仪器立即测量火花塞绝缘电阻，然后记录在试验记录表内。
- 4.5.4.7 然后继续冷却车辆，直到油温和水温均再次冷却到-15℃。
- 4.5.4.8 起动车辆，然后尽量按图8所示的模式（B部分）运行车辆。
- 4.5.4.9 车辆熄火后用专用测量仪器立即测量火花塞绝缘电阻，然后记录在试验记录表内。
- 4.5.4.10 然后继续冷却车辆，直到油温和水温均再次冷却到-15℃。
- 4.5.4.11 按以上步骤重复试验每个循环的A、B部分，并测量每个循环后的火花塞绝缘电阻。
- 4.5.4.12 试验总共须进行10轮（10个A部分和10个B部分），或直到车辆无法起动为止。车辆无法起动的判断标准为：车辆进行3次起动（每次10秒，每次起动间隔1分钟）尝试后仍然不能起动和稳定怠速。
- 4.5.5 试验结果评估和判定
- 只要车辆能起动和平稳运行，试验一直持续到10轮。如火花塞完成了10轮起动试验，则试验通过。如

果在电瓶电压充足的条件下发生中途启动失败，而且火花塞绝缘电阻小于 $10\text{M}\Omega$ 的话，则判定试验失败。启动失败的判断标准为：车辆进行 3 次启动（每次 10 秒，每次启动间隔 1 分钟）尝试后仍然不能启动和稳定怠速。
