《汽油机油低速早燃性能测试方法》编制说明

**一、工作简况**

1.1 任务来源

《汽油机油低速早燃性能测试方法》是中国汽车技术研究中心有限公司与中国石油兰州润滑油研究开发中心共同提出，由中国汽车工程学会批准立项的团体标准，起草文件号为中汽学函【2018】138号，任务号为2018-032。本标准参与起草单位有中国汽车技术研究中心有限公司、中国石油兰州润滑油研究开发中心、长城汽车股份有限公司、安徽江淮汽车集团股份有限公司、一汽研发总院、北汽动力总成有限公司、吉利汽车动力研究院、中国石化润滑油有限公司、壳牌（上海）技术有限公司、雅富顿化工（苏州）有限公司、润英联（上海）添加剂有限公司、锦州康泰润滑油添加剂股份有限公司、安徽超美化工科技有限公司、天津索克汽车试验有限公司共同起草。

1.2编制背景与目标

随着我国汽车产销总量的增长，降低排放和油耗的呼声越来越高，相关法规也越来越严格。为应对上述问题，发动机小型化以及直喷增压等技术被广泛应用到汽车上。增压直喷（TGDI）发动机大幅提高了升功率，降低了气体污染物的排放量和燃油的消耗量。但与此同时，机油稀释过高、颗粒物排放增加以及低速早燃问题阻碍着继续发掘TGDI发动机的潜力，尤其是低速早燃对发动机造成严重的破坏，使得整车厂不得不采用加浓喷射等牺牲经济性的手段去解决，甚至要通过降低扭矩需求来避免低速早燃的发生。

低速早燃是美国西南研究院识别并命名的，也有其他研究机构称呼此现象为超级爆震。发生低速早燃的表现是，在中低转速下，大负荷或全负荷时，混合气在点火前燃烧，发动机发生连续或单独的高强度爆震，燃烧压力远远超过正常值（甚至达到300bar），严重时会造成火花塞、活塞及连杆的损坏。低速早燃不同于普通早燃或是普通爆震，其具有偶发性、随机性、巨大破坏力等鲜明特点。因此，ECU无法预判低速早燃的发生，不能通过推迟点火提前角而消除，也不能通过单纯加浓混合气、加强壁面传热或采用高辛烷值汽油来避免。影响低速早燃发生的因素有很多，如燃烧室结构、喷油器选型、标定策略、机油配方、燃油成分等。对于不同的发动机，解决方法也不尽相同，总的说来越是利于燃油雾化，混合气均匀，燃烧充分，扫气完全的结构和策略越是能减小低速早燃发生的频率。从工程开发与应用讲，发动机硬件的变更以及标定的更改需要花费巨大的成本，不是最优解决方案。

国际国内的研究机构展开了大量的验证试验，发生低速早燃时一定有非结构性热点先于正常点火而点燃了周围的混合气，这种早燃与火花塞等固定热点形成的不正常燃烧不同，它能自行消失，且强度大小不一。现在业内主流的观点之一是机油及机油燃油的混合物在活塞往复运动时甩到燃烧室中，其中的盐类及长链氧化物形成炽热点，在下一个循环压缩冲程时自燃并点燃周围混合气。业内对机油的成分如添加剂、基础油等做了细致的矩阵对比试验，发现不同配方的机油对同一发动机低速早燃的影响差别巨大，相对于喷油器重新选型以及增加双喷甚至三喷策略，更换能够抑制低速早燃的机油的成本优势更明显。

美国西南研究院及其在北美主导的P3联盟早在2009年开始对低速早燃的产生机理、解决方案等方面做了深入研究，并开发出基于FORD和GM两种发动机的机油抑制低速早燃的性能测试方法，其中前者（程序IX）作为GF-6采用的标准方法将在2020年全面实施。上述两种方法作为现今国际上主流的机油抑制低速早燃的性能测试方法，油液公司及车企均比较认可。欧洲和日本的相关组织和企业在应用上述方法的基础上，针对本土产品的特点也正在更新或是开发新的标准。

我国目前没有统一的关于机油抑制低速早燃性能的测试方法。各OEM虽然都有自己的低速早燃测试方法，且在产品开发阶段都设有低速早燃扫点测试试验，但针对机油作为单一自变量的测试试验几乎空白。此外，因为燃油和发动机等情况与北美差别较大，程序IX的测试结果不能完全代表在国内应用时的表现，油液公司虽然在北美或其他国家已经完成了相关的认证，其仍需按照不同企业的要求反复测试，不仅浪费了资源，而且因为方法的缺陷很可能造成不同的测试结果。因此，行业内迫切需要一套具有广泛适用性的关于汽油机油低速早燃的性能测试方法，满足我国主机厂的油品升级的试验需求，这对于制定我国润滑油评价标准和完善评价体系具有重要推动作用。

中汽研索克、中国石油兰州润滑油研究开发中心与其他参与单位一起，组成了《汽油机油低速早燃性能测试方法》开发工作组，对早燃的机理、测试及解决方法的展开研究，共同推动国内早燃测试相关技术突破。本方法的开发思路如下：

1. 提炼并综合国内自主OEM在开展低速早燃试验时的经验及成熟方案，在后期开展争议点验证，使方法具有普遍代表性。
2. 吸收GF-6中成熟、科学的数据处理和统计归化方法，借鉴其开发过程中关键的经验。
3. 开展多个油样的不同试验室的自测，形成横向比对，使得方法制定时样本数据更多，加大方法的覆盖性。
4. 以参考目录或是规范目录的形式，列出长城发动机台（中汽研索克试验室）架和江淮发动机台架（中石油兰州试验室）固定台架的测试流程。

按上述思路开展的方法制定工作，能够输出一个通用的汽油机油低速早燃性能测试方法的开发方法，满足各OEM在资源充足时自测，又能为行业提供标准的测试台架，使机油该项性能的比对验证成为现实。

1.3主要工作过程

本标准于2018年3月16日在天津召开标准编制工作组成立会，初步确定了参编单位、项目目标和和方案。

本标准于2018年9月17日在苏州召开二次会议，明确了将中汽研索克和中石油兰州作为公共台架测试试验室，分别使用长城发动机和江淮发动机作为测试发动机。明确了详细的测试方法和数据处理方法，即参照GF-6程序IX的测试流程，自主开发低速早燃测试方法。明确了参与横向比对试验的OEM,北汽动力总成有限公司、一汽研发总院。明确了测试机油油样数量，品牌。明确了本标准的开发周期和主要输出物。

本标准于2018年10月至2018年11月在中汽研索克完成了基于长城发动机的试验方法验证，2018年12月于2019年3月，一汽研发总院完成了自有1.4T发动机对方法的应用以及结果比对。2019年3月8日在上海召开了针对长城发动机验证结果评议会。经过会议讨论，认为验证结果的重复性，可区分性能够满足机油低速早燃性能测试的评价，确认了试验方法的有效性，会上同时提出了部分细节调整的建议。2019年7月北汽动力总成有限公司完成了自有1.5T发动机对方法的应用。

2019年5月至2019年10月，安徽江淮汽车集团有限公司基于江淮1.5TGDI发动机完成了试验台架的搭建、早燃测试设备的调试以及试验条件的考察工作，确定了具有区分性的试验条件。2019年11月至2019年12月于中石油兰州润滑油研究开发中心完成了基于江淮1.5TGDI发动机的试验方法验证，完成了区分性和重复性试验，在GF-6产品开发中进行应用研究，结果表明与程序IX和GM低速早燃测试具有较好的一致性，并将试验结果向各参编单位发送，各单位肯定了试验的有效性和该方法在此发动机上的适用性。

2020年3月至2020年4月本工作组进行了汽油机油低速早燃性能测试方法的标准文本编制工作。

2020年5月进行了针对标准文本的工作组内部讨论，整合提出修改意见。

2020年XX月，形成征求意见稿并公开征求意见，起草组根据反馈意见进行修改后，形成标准送审稿。

2020年X月，在XX召开标准审查会。

**二、标准编制原则和主要内容**

2.1标准制定原则

综合国内OEM在开展低速早燃试验时成熟方案，借鉴GF-6中数据处理和统计归化方法和开发经验，明确试验工况，运行时间和循环次数。使用多个油样在的不同试验室不同发动机测试，形成横向比对，加大方法的覆盖性。为了便于不同公司油样筛选的需求，以参考目录的形式，列出长城发动机台（索克试验室）架和江淮发动机台架（中石油兰州试验室）公共台架的测试流程。

2.1.1通用性原则

本标准提出的汽油机油低速早燃性能测试方法设计思路，试验流程，经过了长城、江淮、一汽、北汽发动机等多家产品实测验证，方法可靠有效。此方法能够广泛应用于不同品牌和型号的增压直喷汽油机对于机油的筛选，同时该测试方法也适用于固定机油后测试其他变量对发动机低速早燃的影响，通用性高。

本标准列出了基于长城和江淮两种发动机的机油低速早燃测试性能台架流程，广泛适用于不同配方的机油性能测试。

2.1.2指导性原则

本标准通用性较高，可指导不同主机厂进行发动机标准台架建设，形成企业内部方法，为主机厂润滑油配方筛选提供参考，同时可服务于认证部门对抗低速早燃润滑油进行相关认证。

2.1.3协调性原则

当前国内在该方面标准属于空白，本标准作为汽油机油低速早燃性能测试方法的填补，不存在协调及交叉问题。

2.1.4兼容性原则

本标准提出的测试方法充分考虑了当前乘用车润滑油水平以及国内测试试验室能力，具有普遍适用性。

2.2 标准主要技术内容

本标准共分为5章，规定了汽油机油低速早燃性能测试方法的术语和定义、型式与基本参数、试验方法，应用建议等，并结合标准编制过程中的验证情况，形成资料性附录，描述长城1.3T发动机及江淮1.5T发动机的测试工况。

2.3关键技术问题说明

本标准方法涉及的关键技术问题介绍如下：

2.3.1发动机试验工况和运行时间

确定测试工况就是将LSPI发生次数相对固定的工况筛选出来，甚至人为的增加LSPI次数以满足测试需求。合理的LSPI测试工况有助于提高试验方法的精密性，加大不同机油性能的区分性，减少试验过程中发动机损坏的风险，工况筛选流程详见图 1。

A 台架搭建完毕后，针对发动机特性进行工况全范围扫点，确定该发动机对低速早燃敏感的参数和操作。

A、高参比油下各种控制手段进行测试

B1、高参比油下达到合理次数

B2、中参比油下达到合理次数

C、两种高参比油测试结果相近

D、两种中参比油测试结果相近

E、方案固化

图 1、工况筛选流程

B使用已知的高参比油（SN级别），配合发动机工况、边界条件、标定参数控制等确定固定时间内出现合理次数的LSPI事件数。使用中参比油（SN+级别）测试，确保上述组合能够保证高中参比油的区分性，否则重复本步，直至符合要求。

C完成两种高参比油的完整试验的比对，结果相近则进行下一步，否则重复A、B步。

D完成两种中参比油的完整试验的比对，结果相近且与高参比油区分明显则进行下一步，否则重复B、C、D步。

E 固化试验流程和方法。

2.3.2测试流程

机油低速早燃性能测试流程主要分为5个步骤，这些操作都是建立在试验发动机以及试验设备均已经正常运行的情况下，流程概况见图2。

本标准润滑油测试前准备工作包括机油冲洗、测试机油的适应、发动机状态确认，其中发动机状态确认通过判断固定工况下所有参数是否在规定范围，对试验样机状态提出了稳定性要求；标准规定了润滑油路清洗的流程及次数，包括单次的加注量和更换的部件等；

机油冲洗2次

待测机油

适应流程

发动机工况

确认

测试循环

依次挑选四个循环，

最多试验八次

冲洗流程：

1、更换新机油、机滤

2、固定工况热车固定时间

3、停机，固定时间放油

4、重复

适应流程：

1、加新机油、机滤

2、固定工况热车固定时间

3、测试工况固定时间老化

4、停机检查

判断条件：

1、检查边界条件与工况

2、如在固定时间内满足，则进行下一步，否则 解决问题后重复此步。

正式测试流程：

1、运行固定时间的测试工况，记录所有试验数据。

判断结果

数据处理

图2、测试路程

2.3.3数据分析方法

低速早燃属于异常燃烧，其表现特点最高燃烧压力（Pmax）和2%质量燃料燃烧角度（AI02）明显与当前阶段正常燃烧的值不同。判断低速早燃循环的本质就是确定合理的阈值来挑选上述两个参数的离群值。将发动机燃烧过程中每个燃烧循环中的最高燃烧压力和2%质量燃料燃烧角度两个参数作为样本参数进行不间断采集，根据成熟合适的试验数据统计方法确定阈值，同时满足上述两个参数判断条件的循环即为低速早燃循环。

服从正态分布数据的异常值（离群值）的剔除方法有多种，但格拉布斯出错率最低。GB/T4883-2008格拉布斯检验法详细介绍了方法的原理和应用。一组测量数据中，如果个别数据偏离平均值很远，那么这个(这些)数据称作“可疑值”。格拉布斯(Grubbs)法的作用就是判断“可疑值”是否为“异常值”，如果是，则从此组测量数据中剔除。重复比较其他可疑值（异常值不参与平均值的计算），直到没有新的异常值出现。GB/T4883-2008格拉布斯检验法核心是将残差与标准差的比值与查表所得的格拉布斯临界值比较。

本标准使用4.7作为格拉布斯临界值以快速筛选符合阈值要求的数据，并按如下步骤确定低速早燃事件。

1. 针对一缸，计算当段数据中Pmax的平均值Mp、方差Sp，筛选出满足Pmax≥Mp+4.7\*Sp条件的循环。重复此操作，直至没有符合条件的循环。
2. 针对一缸，计算当段数据中AIO2/MFB2的平均值Ma、方差Sa, 筛选出满足AIO2≤Ma-4.7\*Sa条件的循环。重复此操作，直至没有符合条件的循环。
3. 同时满足a)、b)两条件的循环为一次低速早燃事件。

2.3.4试验用燃油

为排除试验用燃油对测试结果的影响，本标准规定了对于同一组汽油机油低速早燃性能评价时，需要采用同一批次且满足国六排放基准燃油的要求。

2.4标准主要内容的论据

影响TGDI发动机低速早燃的因素有很多，燃烧室结构、喷油策略、配气和点火正时、燃油机油都是重点，只有将其中一项变量之外的所有变量固定，才能科学快速的评估出该变量的真实影响；此外，发动机的燃烧是复杂的化学过程，哪怕是稳态工况也会有参数波动的情况。对于低速早燃发生率不高或是掺杂其他异常燃烧的样机，挑选甚至刻意放大测试工况，才能做到不同油样之间影响效果的区分；由于低速早燃发生的偶发性和巨大破坏力，需要通过大量的试验来确定单次测试所需的合理时间，避免时间太短造成结果波动巨大以及过长时间造成不必要的浪费和破坏；其他方面，标准规定了发动机曲轴箱通风系统开路，以减少曲通系统老化引起的机油液滴进入燃烧室量的变化；此外，理论上讲，发动机正常燃烧过程中的缸压及点火角属于正态分布，但因为复杂因素造成参数有一定偏态的可能，因此，对发动机测试工况的稳定性进行确认是必要的。

2.5标准工作基础

工作组主要成员单位中，中汽研索克具备完备的发动机及整车软硬件测试能力，且积累了丰富的关于发动机能测试的经验，作为美国西南研究院的子公司，能够获得基于低速早燃研究的有效经验和技术支持。中国石油兰州润滑油研究开发中心具有多年的台架引进和开发经验，曾先后从美国西南研究院引进多个大型发动机台架，起草多个润滑油行业标准，利用多年的OEM合作开发经验，具备低速早燃试验方法的开发基础。对于工作组成员中，乘用车主机厂提供能够具有普遍代表性的试验样机，同时对发动机状态及测试结果可靠性确认能够严格把控；润滑油公司及添加剂公司提供了费用和测试润滑油支持，同时贡献了以往燃油经济性相关测试经验，其技术及数据处理团队对方法建立及验证过程提供大力支持。基于上述基础，本标准的提出以及验证试验的质量都得到了保证，使得本标准具有一定的先进性、通用性、科学性和可操作性。

**三、主要试验（或验证）情况分析**

1. 工作组在项目初期对试验方法进行了充分的讨论，借鉴了国内外先进测试经验，概念性的确定了试验流程和数据分析方法，明确了用于试验样机的发动机和机油样。
2. 在同一的指导方法下，选取了两台试验样机在两个试验室独立开展试验，分别为长城1.3T发动机和江淮1.5T发动机，分别在天津索克和中石油兰州完成。试验的难点主要在于测试工况的筛选，测试工况（必要时要重新标定发动机）确定后再使用盲样机油验证方法的有效性。
3. 验证试验选取了不同品牌和配方的润滑油作为试验样品，代表了当前和下一代产品水平。其中中石化、中石油和壳牌公司的SN与SN+用做高、中参比油，用来筛选工况，标定测试方法的温和程度，其他三种盲样由添加剂公司选送，测试结果用来与其在GF-6方法下做的结果一致，验证了本试验方法的可靠行。
4. 使用高中参比油在长城发动机进行了重复性验证，前后结果表明高低参比油区分明显，变化趋势一致。
5. 一汽研发总院、北京汽车和江淮汽车使用自身发动机在相同方法下开展台架建设和测试，试验测得结果趋势与长城台架一致。
6. 综合项目中所有试验结果，判定测试方法科学可靠，并具较强代表性和广泛使用性。

**四、标准中涉及专利的情况**

无

**五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用的情况**

本标准的发布，填补了我国润滑油对低速早燃试验评价标准的空白，对我国自主试验方法的开发具有重要引领和推动作用。

本标准能够直接服务于主机厂进行初装油筛选，润滑油及添加剂公司进行配方筛选及研究，同时对润滑油后市场的认证及监管工作提供参考。

本标准的提出，可为我国直喷增压发动机润滑油的进一步开发和推广提供技术支持，为我国试验方法和标准的自主创新做出贡献。

**六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况**

尚无。

**七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

本标准符合国家有关法律、法规和相关强制性标准的要求，与现行的国家标准、行业标准相协调。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

尚无。

**九、标准性质的建议说明**

本标准为中国汽车工程学会标准，属于团体标准,供协会会员和社会自愿使用。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

严格按照本标准提出的试验方法对润滑油进行检测，对试验人员进行理论学习和操作培训，保证检测方法操作的准确性。

**十一、废止现行相关标准的建议**

无。

**十二、其他应予说明的事项**

无。

标准起草工作组

2020年6月18日