

# 参与ASTM NEG十六烷值燃料交换计划的配备TALM精密包 (TALM-IQT™) 的点火质量测试仪的性能评估

2017-01-0720  
发表于 03/28/2017

奥马尔·拉马丹, 卢克·梅纳德, 大卫·加德纳, 艾伦·威尔科克斯及加里·韦伯斯特

先进发动机技术有限公司

引用: Ramadan, O., Menard, L., Gardiner, D., Wilcox, A.等, “参与ASTM NEG十六烷值燃料交换计划的TALM精密包(TALM-IQT™)点火质量测试仪的性能评估”, SAE技术论文2017-01-0720, 2017, doi:10.4271/2017-01-0720.

版权所有© 2017SAE国际

## 摘要

本文是SAE 2014-01-0179[1]和SAE 2015-01-0805[2]的延续,旨在提高点火质量测试仪(IQT™)和相关的ASTM D6890 [3]/CEN 15195 [4]/EI IP 498[5]测试方法的性能和精度。这两篇论文的结果表明,升级了TALM精度包的新一代IQT™可以显著提高ASTM D6890、CEN 15195和EI IP 498衍生的十六烷值(DCN)测试方法的精度。

本文将对过去21个月来参与ASTM国家燃料交换组(NEG)柴油交换计划的升级后的仪器性能进行评估。本文还将对参与了ASTM NEG柴油交换计划(ASTM D613 [6]/CEN ISO 5165 [7]/EI IP 41[8]和ASTM D6890[3])的ASTM十六烷值(CN)和衍生十六烷值(DCN)标准测试方法公布的精度进行比较。此外,本文还将介绍和讨论ASTM标准方法的精度、SAE 2015-01-0805中提出的小型实验室间研究[2]和ASTM NEG燃料交换计划的最新测试结果(真实数据)进行比较。

从NEG燃料交换计划的月度报告中提取的真实结果有力地支持了之前两篇SAE论文的发现。本文表明,配备了TALM精密包的D6890/EN 15195/IP 498仪器,明显提高了ASTM D6890和CEN 15195测试方法的精度。

## 引言

点火质量是柴油(压缩点火)燃料质量控制中需要测量的重要燃料特性之一。

在柴油发动机中,燃料的点火质量决定了从开始喷射燃料到开始燃烧的时间延迟,称为点火延迟时间(ID)。十六烷值CN(十六烷值)是通过与标准发动机试验中的参考燃料进行比较,得到的与燃料的延迟点火时间和燃烧质量有关的柴油质量参数。CN值较高的燃料将具有较短的点火延迟期,从而减少在燃烧开始前要喷入和与空气预混合的燃料量。这将影响排放的形成、热效率和对喷射时间的要求。

多年来,ASTM国际(ASTM)和世界其他组织建立了许多标准的测试方法,来测量和估计燃料的CN。这些标准涉及诸如协作燃料研究(CFR™)发动机(十六烷发动机)和等容燃烧室(CVCC)仪器,如点火质量测试仪(IQT™),这两种仪器都是以专门测试CN或DCN为目的。除了这些标准的测试方法,还有一种替代(计算的)方法作为预估CN的补充工具,即十六烷指数(CI)。如果没有十六烷发动机或CVCC仪器时,或燃料中没有使用十六烷改进剂,或生物柴油的含量足够低时,则可以使用CI进行CN的预估。表1列出了ASTM十六烷等级标准的测试方法。表中所述的CN适用范围是从每种ASTM方法[3, 6, 9, 10, 11和12]的精度说明中摘取出来的。

表1.ASTM十六烷等级标准和适用范围

ASTM Standard	CN applicable range	Range (max. - min.)	Instrument
D6890 (DCN) [3]	33-64	31	IQT (CVCC)
	64-100*	36	
D613 (CN) [6]	40-56	16	CFR Engine
D7170 (DCN) [9]	39.5-55.2	15.7	FIT (CVCC)
D7668 (DCN) [10]	39.4-66.8	27.4	CID 510 (CVCC)
D976 (CI) [11]	30-60	30	Correlation
D4737 (CCI) [12]	32.5-56.5	24	Correlation

## 协同燃料研究(CFR™)十六烷发动机

CFR™十六烷发动机是最古老的(自1930年以来)标准测试方法(ASTM D613 [6]/CEN EN ISO 5165 [7]/EI IP 41[8]), 用于测量柴油的CN。ASTM D613实质上与EI IP 41(英国能源协会标准)和EN ISO 5165(欧洲标准)测试方法相同, 从现在起ASTM D613或简称D613将代表所有上述规定的CN标准。在D613试验方法中, CN是通过将标准单缸可变压缩比柴油机燃料的ID与已知十六烷值标准参考燃料共混物的ID进行比较来确定的。压缩比的变化是通过调整一个校准手轮读数, 使测试样品处于两种标准参考燃料ID范围之间, 从而再根据手轮读数[6]内插计算测试燃料的十六烷值。ASTM D613的十六烷值范围目前 涵盖15个CN至100个CN, 但如ASTM D613所述, 测试的燃料通常涵盖30至65个CN [6]。然而, ASTM标准D613中基于实测数据的精度声明只涵盖了CN范围从40 CN到56CN[6]。本文中使用的“实测数据”是指从ASTM和能源研究所(EI)燃料交换计划(FEPs)中获取的测试数据。与实验室间研究(ILS)相比, 燃料交换组的参与者不太可能不合理地收紧关键参数的控制, 因此, 从全球角度来看, 研究结果往往更能代表参与的仪器在正常使用中的实际表现。

ASTM D613测试方法目前是ASTM柴油规范中的CN仲裁方法(即:在有争议的测试结果中, 假定D613 CN是正确的)。然而, 这种方法的使用存在严重的缺陷, 包括使用成本高、操作技能要求高和在不同实验室之间存在较差的再现性, 这限制了CN测量的精度。在ASTM D613-15a中, 精度限制(例如重复性(r)和再现性(R))只规定了范围为40 - 56 CN[6]。超过这个范围(石蜡柴油燃料), D613的[13]精度会低于其他燃烧基础的测试方法。D613、D6890和EN 15195 CN/DCN测试方法的精度比较将在本文后面的章节中简要讨论。

## CVCC等容仪器

在CVCC仪器中, 如D6890仪器, 燃料被注入加热的CVCC(等容燃烧室)中。这个燃烧室中包含有控制压力和温度的加热空气。注入后, 燃烧室内压力开始减小。压力的下降是由于喷射燃料的蒸发冷却, 燃料与空气混合是物理延迟过程的一部分。一旦开始持续燃烧, 燃烧室内的压力会迅速增加。测量从开始喷射到开始燃烧的时间(ID), 并统计平均32次喷射/燃烧循环, 使用转换方程[3], 通过平均ID(以毫秒为单位)计算导出十六烷值(DCN)。

表1列出了其他使用CVCC仪器的ASTM标准, 如燃料点火测试仪(FIT)(ASTM D7170[9])和十六烷点火延迟CID 510 (ASTM D7668 [10])。

D7170和D7668方法使用的原理与ASTM D6890相似, 只是在喷射系统、操作条件和用于计算平均喷射/燃烧循环次数(D6890为32次, D7170为25次, D7668为15次)方面有所不同。在三种CVCC(等容)ASTM标准方法中, D6890的DCN适用范围最广, 其精度声明是基于实测数据, 而不仅仅是ILS数据, 例如D7170和D7668精度声明。有关这些方法之间差异的更多信息, 请参考ASTM标准D6890, D71770和D7668[3,9 & 10]。

## 十六烷值指数替代法

当没有十六烷发动机或CVCC(等容)仪器, 且测试样品不含十六烷改进剂时, 十六烷指数可以用来预估样品[8]的CN值。在ASTM中, 有两种标准测试方法用于估计柴油十六烷指数, ASTM D976[11]和ASTM D4737[12]。这两个标准都是基于CN与被测样品选定的体积物理性能的相关性。ASTM D976十六烷指数(CI), 相关性依赖于两个特性, ASTM D4737计算十六烷指数(CCI)相关性使用四个特性。有关使用的不同相关性和性能的更多信息, 请参阅十六烷指数标准方法ASTM D976[11]和ASTM D4737[12]。按照表1所示的方法适用范围[11,12], ASTM D976和D4737的预测预期误差均小于 $\pm 2$  CN。

## 实测数据

ASTM国际和欧洲的EI都有每月的燃料交换计划。在这些性能测试计划中, 将对参与的实验室分发统一的燃料样品, 并向参与者分发每月的结果统计报告。这些测试项目作为统计质量控制的工具, 使参与组织能够根据ASTM或EI标准的测试方法在他们自己的实验室进行测试。作为CN等级试验方法之一, ASTM D6890仪器于2003年1月开始参与ASTM NEG FEP, 并于2004年1月在EI FEP中按照标准试验方法EN 15195[4]和IP 498[5]进行试验。在此期间(2003-2016年), 使用D6890/EN 15195仪器成功测试了各种不同化学成分的燃料样品。这些FEPs中测试的燃料样本包含所有不同的柴油等级(含有和不含有十六烷改进剂)、生物柴油、喷气燃料、气转液燃料(GTL)和其他可再生燃料。本文使用的所有测试结果都是从ASTM NEG FEP月报中获取的。

## 燃料技术规格

柴油是指压缩点火发动机使用的任何液体燃料。在ASTM和CEN, 柴油质量分别在ASTM D975[14]和CEN 590[15]标准中指定。

这些规范标准描述了柴油必须满足或超过一定数量的性能, 以符合标准。该标准仅定义了提供可接受的发动机运行、安全存储和运输柴油所需的部分属性值。由于本文的主要主题与使用一些ASTM NEG燃料样品的测试结果有关, 因此ASTM D975规范将比EN 590规范更加突出。根据ASTM标准D975, 柴油有不同的等级, 如1-D级, 2-D级和4-D级。等级按密度和粘度的增加顺序进行编号, 1-D号最轻, 4-D号最重。表2包含了柴油燃料油的一些要求。这些要求取自ASTM D975和EN590标准。表2还列出了一些其他属性, 如API比重或密度, 这在ASTM D975中没有指定。表中所述的API标准摘自其他来源, 如Goodheart-Willcox Company[16]或发动机制造商协会(EMA)[17]。

## ASTM D6890 (CEN EN 15195)

由先进发动机技术有限公司(AET)开发的自动柴油点火质量测试仪(IQT™)可以测量点火延迟, 从而测量压缩点燃的燃料样品的点火质量。自引入ASTM D6890仪器以来, 大约有190台设备在世界各地的炼油厂、监管机构、测试实验室、燃烧研究中心和大学中使用。D6890仪器在炼油和研究领域的重要性持续增长。结果表明, D6890可以比ASTM D613仪器更准确地测定高十六烷燃料类型(如生物质衍生燃料、石蜡中间馏分、可再生燃料等)的自然特性。

根据ASTM D6890试验方法, 当测试燃料样品时, 腔体温度、压力氧含量和注入质量必须保持在相对狭窄的范围内。在研究应用中使用D6890仪器的用户可以控制这些超出测试方法限制的变量。配备了该仪器软件可变研究版本的D6890仪器, 已广泛用于评估动力学模型。该软件允许腔室温度和压力有很大的变化。研究级燃油喷射系统, 配备了可变注射量燃油喷射泵, 允许操作人员在试验运行时快速、轻松地改变注入燃烧室的燃油质量。在D6890仪器的研究配置中, 可控变量使该系统能够对多种新型燃料配方[18]的燃烧动力学模型进行实验验证。

表2.柴油燃料油要求(ASTM D975/EN 590/其他)

Property	Specification	No. 1-D (S15, S500 & S5000)	No. 2-D (S15, S500 & S5000)	No. 4-D
Flash Point, °C, min	ASTM D975	38	52	55
	EN 590		55	
Distillation Temperature, °C 90%, % vol. recovered	ASTM D975			
	min	—	282	—
	max	288	338	—
Kinematic Viscosity, mm <sup>2</sup> /sec at 40°C	ASTM D975			
	min	1.3	1.9	5.5
	max	2.4	4.1	24
	EN 590		2.0 to 4.5	
Sulfur Content, mg/kg, max	ASTM D975	15	15	—
	EN 590		10	
Cetane Number, min	ASTM D975	40	40	30
	EN 590		51	
Cetane Index, min	ASTM D975	40	40	—
	EN 590		51	
Gravity API at 60 °F	G-W[16]/EMA[17]			
	min [16]	40	33	—
	max [16] ([17])	44 (43)	37 (39)	—
Density at 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	EN 590		820 to 845	

注:ASTM D6890仪器与IP 498(英国能源协会标准)仪器或EN 15195(欧洲标准)仪器相同。

相对于D613发动机, D6890/EN 15195仪表除了具有最好的精度外, 还具有非常好的CN测定能力(准确度)。这已经被ASTM和EI FEPs超过十年的经验所证明。到目前为止, 涉及D6890仪器和十六烷发动机的, 超过315个不同的燃料样品已被测试。认识到在实际的点火质量测量中越来越需要更高的精度, 我们一直在努力提高D6890仪器的测试精度。从而产生了一种演变, 即从最初的半自动仪器系列(用于生产精密语句的每一个适用的测试方法)到新一代仪器, 采用更多的自动化(以及其他改进)来实现更高的测试精度。

## 升级版的D6890(EN15195)设备

最新一代的ASTM D6890仪器(和现有仪器的升级套件)采用了更多的自动化配置, 进一步提高了仪器的精度。这个升级被称为全自动化实验室模型(TALM-IQT™)配置。图1说明了ASTM D6890, EN 15195和IP 498方法设备的升级版本。图1所示的仪器配有全自动实验室模型精密包和TALM电子压力调节器(EPRP)。全自动实验室模型精度包包括控制系统柜(TALM-K1)、全自动实验室模型系统控制软件包(TALM-K2)、喷嘴尖端温度控制器(TALM-K3)和燃烧室压力传感器温度控制器(TALM-K4)。完全自动化的实验室模型EPRP (TALM-K7)提供增压空气供应的压力自动控制器, 燃料杯氮气供应器, 和喷射泵空气执行器。关于全自动实验室模型精度包的优点以及如何最大化使用这些优点以以获得更精确的测试结果的详细信息, 请参考AET之前的出版物[1, 2, 和19]。

注:从现在起, “D6890仪器”将取代传统实验室旧版型号(LM-IQT™), “升级后的D6890仪器”将取代全自动实验室型号(TALM-IQT™)配置。

升级后的D6890仪器于2015年[2]AET进行的mini Inter-Laboratory Study小型实验室间研究(mILS)中, 精度有了很大的提高。mILS使用四台不同的, 升级后的D6890仪器, 以及来自ASTM NEG和EI FEPs的9个燃料样本进行测试, DCN范围从34 DCN到81 DCN。升级后的D6890仪器对测试样品的平均标准偏为差非常低, 为0.27 DCN, 而常规D6890仪器的平均标准差为0.62DCN, D613仪器[2]为1.33CN。根据mILS的结果显示, 升级后的D6890测试仪器的重现性优于现有所有用于测量柴油点火质量[2]的ASTM标准测试方法。

除了mILS结果外, 升级后的D6890仪器在ASTM NEG燃料交换计划中的测试精度(相对于传统的D6890仪器)也有所提高, 每月的标准差结果低至0.15 DCN[19]。从2015年1月开始, 参与ASTM NEG燃料交换计划的升级后的D6890仪器, 迄今为止的大部分结果与mILS中显示的再现性一致[19,20]。在下面的小节中, 概述了使用NEG/EI实测数据的D6890/EN 15195仪器的检测能力。在这些测试中使用了升级的D6890和常规的D6890/EN 15195仪器。

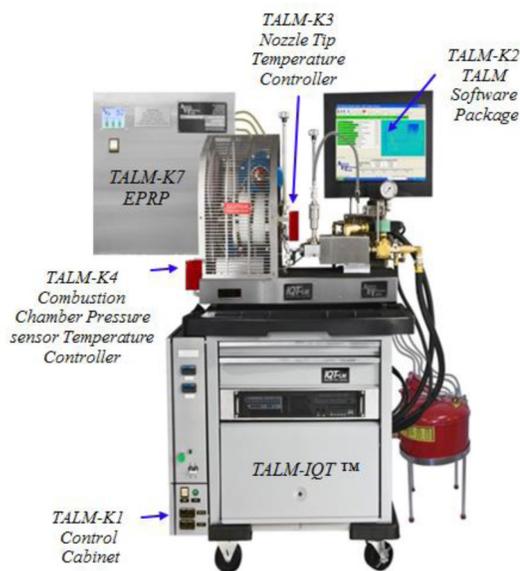


图1.升级后的D6890/EN15195/IP498仪器的配置(TALM-IQT™)

## ASTM标准D6890/EN15195/IP498测试能力(CN与DCN)

自D6890/EN 15195仪器开始参与ASTM NEG和EI FEPs以来, 已测试了超过315个燃料样品。自2003年起, 共有164个燃料样品在ASTM NEG FEP中接受测试, 而自2004年起, 则有151个燃料样品在EI FEP中接受测试。为了深入了解D6890仪器的预测能力, 图2绘制了自2003年以来不同参与者实验室的ASTM NEG FEP测试结果。由于ASTM标准D613/EN ISO 5165是仲裁十六烷法, 图2比较了164个样品在NEG燃料交换计划中报告的平均DCN (D6890)和平均CN (D613)值。NEG测试结果显示, 在较宽的CN/DCN范围内(33 - 80), 两种方法的相关性非常好。

图2显示164个样本中有5个样本(3%)在D6890和仲裁方法(D613)之间存在一些不一致。5个样本的CN值与DCN值之差异如下:

1. Sample D1026:  $\Delta CN=4.9$
2. Sample D1078:  $\Delta CN=2.4$
3. Sample D1090:  $\Delta CN = 6.8$  (自2003年以来最高的一个)
4. Sample D1095:  $\Delta CN = 5$
5. Sample D1109:  $\Delta CN=5$

所有的5个ASTM NEG样品的API比重或粘度都超出了表2中列出的柴油规格的限制。API的重力(密度)和粘度等物理特性将会影响燃油喷射特性。除此之外, D6890仪器和D613十六烷发动机的燃油喷射系统之间有很大的区别。这些因素包括: D6890燃油喷射泵的桶/柱塞间隙更小, 喷嘴开启压力更高(D6890为2600 psi, D613为1500 psi)。因此, 燃油物理特性对燃油喷雾特性(喷雾角度、宽度、长度、速度和液滴大小)有着不同的影响, 这将影响D613发动机的CN和D6890仪器的DCN(基于点火延迟)之间的关系。就两种方法的适用范围而言, 5个样本中有4个CN平均值超出了仲裁方法(D613)的40 - 56 CN精度范围。相比之下, D6890的适用范围更广, 为33 ~ 64 DCN;并且, D6890的欧洲对应版本EN 15195, 适用的DCN范围为35到70 DCN。应提出的问题是, 在CN等级较低(CN<40)和较高(CN>56)时, 应使用哪一种ASTM十六烷值标准作为仲裁方法?这个主题将在下面的两个小节中进一步讨论。

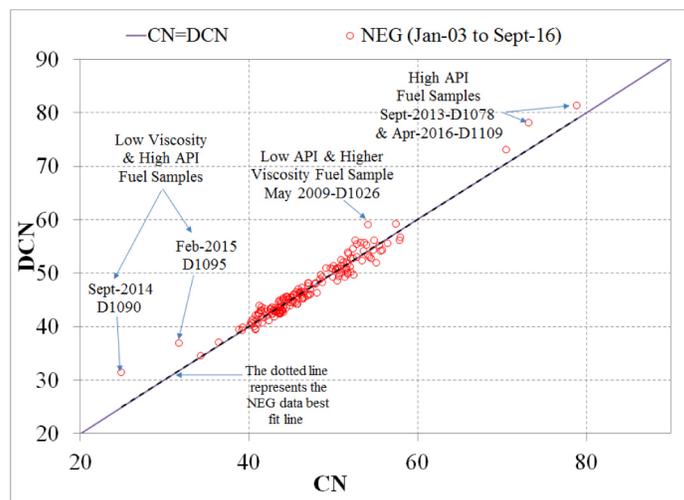


图2.使用ASTM NEG FEP测试燃料样品的D6890测定能力(2003年1月- 2016年9月)

## 比较D6890/EN 15195/IP 498与CN (D613)方法的重复性和再现性

任何实验室间研究的实验结果都包含在特定实验室内产生的可变性和在不同实验室之间产生的可变性。术语重复性(r)和再现性(R)用于区分不同的测量变异性[21]。重复性是指单个实验室重复测量的能力(条件:单个操作人员, 测试间隔时间短, 特定的测试设备和从大量均匀材料中随机取样)。另一方面, 再现性是指两个独立的实验室重现彼此测试结果的能力

(条件:不同的实验室,采用相同的测试方法,从大量均匀材料中随机取样)[21]。

ASTM E691是进行实验室研究以确定[21]测试方法精度的标准实践。该方法提供了重复性( $S_r$ )和再现性( $S_R$ )的标准偏差估算。然后利用这些标准偏差计算95%的重复性( $r$ )和95%的再现性( $R$ )统计量。表3列出了ASTM E691中用于估算这些精度的公式。此方法将在后面的章节中用于评估参与ASTM NEG FEP升级后的D6890仪器的重复性和再现性。本节对参与NEG FEP的DCN D6890/EN15195和CN D613标准的再现性( $R$ )进行了比较和更新。

表3.升级后D6890仪器重复性( $r$ )和再现性( $R$ )[21]的估算公式。

$$r = 95\% \text{ repeatability statistic} = 2.77 * S_r \quad (1)$$

$$R = 95\% \text{ reproducibility statistic} = 2.77 * S_R \quad (2)$$

$$S_r = \text{repeatability STDEV} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p s_i^2} \quad (3)$$

$$S_R = \text{reproducibility STDEV} = \sqrt{s_x^2 + s_r^2 \left(\frac{n-1}{n}\right)} \quad (4)$$

$$s = \text{cell STDEV} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$S_x = \text{STDEV of cell averages} = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x - \bar{X})^2} \quad (6)$$

$$\bar{x} = \text{cell average} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x \quad (7)$$

$$\bar{X} = \text{average of cell averages} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \bar{x} \quad (8)$$

Where,  $n$  is the number of test results per cell,  $p$  is the number of laboratories and  $x$  is an individual test results. The precision multiplier shown in equations (1) and (2) is calculated from the ( $t/\sqrt{2}=1.96/\sqrt{2}=2.77$ ), where ( $t$ ) is the two tailed Student's  $t$  for 95% probability.

图3展示了CN (D613)和DCN (D6890和EN15195)测试方法的再现性对比,以及升级后的D6890仪器的再现性估计。图3中使用的数据集是根据每种测试方法的最新发布版本[3,4 & 6]中的精度声明来计算的。虚线表示升级后的D6890仪器的估计精度是基于早期的mini Inter-Laboratory Study (mILS)[2]。在发表的精度计算中,ASTM D613-15a、ASTM D6890-15a和CEN EN 15195:2014的数据是基于FEPs的实测数据。

在CVCC仪器中,D6890/EN 15195仪器拥有最广泛的FEP数据集,自2003/2004年以来参与了这些项目。这些FEPs已被用于连续更新D6890和EN 15195的精度。其他CVCC仪器(ASTM D7170-14和ASTM D7668-14)公布的精度仅基于初始ILS数据,因为他们参与的FEP项目有限。

在2016年(9个月期间),参与NEG FEP的D7170和D7668仪器的平均数为两种仪器。因此,图3中只使用了有意义地参与ASTM NEG FEP的ASTM方法。

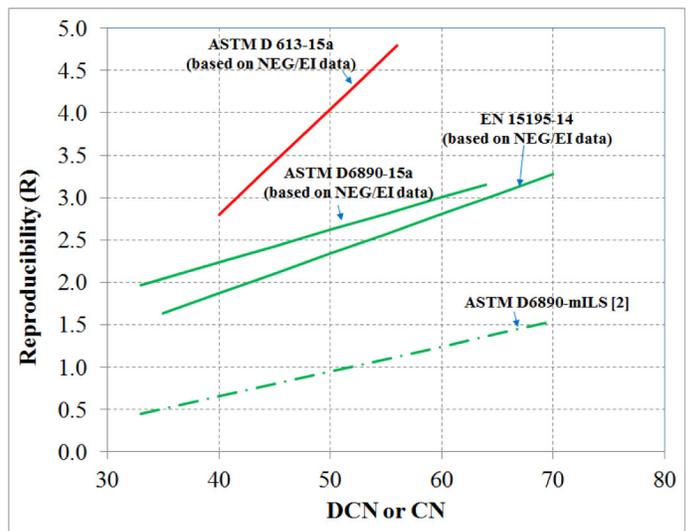


图3.对比DCN (D6890/EN15195)和CN (D613)测试方法的再现性,结合升级后的D6890仪器的估计精度[从[2]更新]

对于再现性基于FEP数据的试验方法(ASTM D613-15a、ASTM D6890-15a、CEN EN15195:2014),图3显示,在较宽的CN/DCN范围(34 - 71 DCN)上,CEN EN15195:2014试验方法的再现性最好。

对于D6890/EN 15195仪器,ASTM和EI研究综合结果的初步估计表明,与CEN 15195:2014[2]相比,D6890/EN 15195仪器的再现性平均提高了约13%。比较是基于涵盖33到64 DCN范围的结果进行的。然而,EN 15195测试方法的适用范围为33 ~ 70dcn。在更大的DCN范围内,升级后的D6890仪器mILS显示,相对于更新后的标准CEN 15195:2014[2],其再现性平均提高了约62%。升级后的D6890仪器的再现性也优于任何公布的CN或DCN测试方法[2]的再现性值。

在图3所示的ASTM D613-15a更新中,重现性( $R$ )的精度限制在40至56 CN范围内。高于该范围内的,D613就不那么准确了。如果将ASTM D613-15a中规定的95%置信水平的再现性外推到75 - 90 CN,再现性极限将分别为 $\pm 7.2 \sim \pm 9.1$  CN。由于这一限制,D613测试方法,对于较高的CN燃料,如石蜡柴油样品(例如气体到液体燃料),CN不能由一个单独的实验室[13]精确测定。在更高的CN/DCN值下,与仲裁法(D613)相比D6890和EN 15195测试方法都提供了更好的精度,而仲裁法仅适用于40至56 CN的范围。CEN EN 15195:2014测试方法精度的提高,使得EN 15195被认定为新的欧洲高十六烷烷烃柴油标准(EN 15940[22])的仲裁方法。

## ASTM D6890 DCN和ASTM D613 CN联系

在ASTM D6890/EN15195/IP498中, DCN转换方程是基于点火延迟测量与柴油样品十六烷值(CN)的公认参考值(ARVs)之间的相关性。这些ARVs值是大量的十六烷发动机(通常超过30台)在检测每个样本时获得的平均值。将如此多的发动机结果平均, 克服了单个发动机之间重复性差的问题, 从而得到了均值在 $\pm 0.5$  CN量级上的95%置信区间。这一可靠的平均CN数据使D6890仪器的DCN方程的精确点火延迟得以开发和持续验证。相反, 单个十六烷发动机的结果, 可以偏离均值或ARVs值。例如在50DCN时, 偏差 $\pm 4$ , (见图3), 在75DCN时, 偏差 $\pm 8$ , (见图4)。然而, 在D613被定义为仲裁方法的情况下, 单台十六烷发动机的结果, 可用于在发生争议时推翻另一种测试方法的结果的做法(即使是具有明显优势的再现性的方法), 存在严重的争端。因此, 授予单台十六烷发动机的仲裁地位似乎并不合适。

## 石蜡柴油的点火质量测试仪和CEN标准EN 15940

最近, 欧洲标准化委员会(CEN)通过了EN 15940:2016[22], 作为新的石蜡柴油标准。这些燃料属于液体燃料, 可以从如天然气(气转液(GTL))、生物质(生物质转液(BTL))、煤(煤转液(CTL))或加氢处理植物油(HVO)或动物油合成。这些燃料也被称为可再生柴油(RDFs)。RDFs不完全符合表2中规定的ASTM D975或EN590规范。这些燃料的密度稍低, 能量含量较高, 十六烷值较高。这些高质量的RDFs比传统的原油柴油[13]燃烧更清洁(氮氧化物和颗粒物排放更少)。

按照CEN EN 15940标准, 石蜡柴油分为两类:A类和B类的最低CN为70, 密度范围为765 - 800kg /m<sup>3</sup>, 粘度范围为2 - 4.5 cSt。但B类柴油的CN最低限值为51, 密度范围为780至810公斤/立方米, 粘度范围与A类相同。CEN EN 15940没有规定石蜡柴油的CN上限。大多数石蜡柴油的CN值都很高, 在70 ~ 95[24]之间。Aatola等人2008[23]指出, GTL燃料的CN范围为73 - 81 CN, HVO燃料的CN范围为80 - 99 CN。

根据EN15940的描述, 这些燃料的十六烷值可以通过两种方法测量;EN ISO 5165 (D613, CFR发动机)和CEN EN 15195(点火质量测试仪)。在测定CN/DCN的精度数据时, CEN EN 15195测得的DCN是[22]石蜡柴油更精确的检测方法。图4绘制了CEN EN 15940中不同CN/DCN仲裁方法的精度(R)。图中显示了两种测试方法在高CN/DCN值下的再现性。

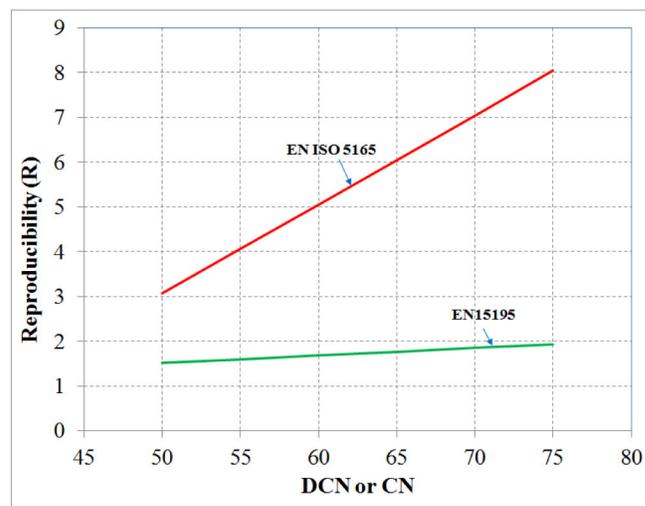


图4. CEN标准EN15940 : 2016中使用的两种仲裁方法的再现性比较

## ASTM NEG FEP测试结果

作为对之前工作[1,2,19,20]的更新, 本文将分析2015年1月至2016年9月期间升级后的D6890仪器在ASTM NEG FEP中的性能。在此期间, 测试了21个不同的燃料样品。只是在这段时间, ASTM NEG FEP在每月的测试报告中区分了升级的D6890仪器和标准的ASTM D6890仪器。在这段时间内, 3至5台升级后的ASTM D6890/CEN 15195仪器参与了NEG FEP。预计明年将会有超过7台。

本分析将证明相对于传统的ASTM D6890仪器, 升级后的D6890仪器如何提高精度和精度。在这个分析中, ASTM NEG FEP燃料样品(FS)测试将列出从ASTM NEG FEP报告提取的一些特性。然后, 将讨论使用升级后的D6890仪器对重复性和再现性(STDEV、CN与DCN、重复性、再现性和准确性)的影响。

## 用于评估升级后的D6890仪器及其性能的燃料样品

燃料的CN是根据所测得的延迟点火周期确定的参数, 其中燃料的物理化学性质起着重要的作用。在本节中, 将定义燃料样品, 并将介绍ASTM NEG FEP报告中提取的一些主要特性。这些特性将给读者提供关于在本程序中测试的实测数据燃料样品的一般信息。这些性能也将用于检查符合ASTM D975柴油燃料要求。

表4列出了本次评估中使用的NEG燃料样品及其主要的平均测量性质。这些特性包含平均闪点、平均API重力、平均运动粘度、平均硫含量、平均CN (ASTM D613)、平均DCN

(ASTM D6890)、平均CI (ASTM D976)和平均CCI (ASTM D4737)。表4中列出的CI和CCI值是使用ASTM D976和ASTM D4737[11,12]中的相关方程从其他燃料特性中计算出来的。

使用表2所示的柴油燃料需求，与表4所示的平均性能进行比较，可以得出，对于燃料样品#2 (D1095)和样品#16 (D1109):

1. 这两种燃料样本的API比重都超出了表2中列出的柴油规格的限制。
2. 两种燃料样品的ASTM D613 CN值都超出了测试方法精度声明的适用范围40至56 CN。
3. 燃料样品#2的粘度超过ASTM D975 1-D和2- d柴油燃料的最低限度。
4. 燃料样品#2的硫含量超出了ASTM D975 1-D和2- d柴油燃料的S15 (ULSD)等级的规格。

CI和CCI不能预测样本#2的CN值(D1095)。该样本的CN与CCI之间的差异约为20,CN和DCN之间的差异为5。燃料样品2号(D1095)、7号(D1100)和11号(D1104)的CN、CI或CCI值都低于表2所示的最低柴油要求。

在本方法适用的精度范围内使用时，ASTM D976和ASTM D4737的预测预期误差均小于 $\pm 2$  CN。表4显示，21个检验样本中有4个预测CCI误差大于 $\pm 2$  CN:

1. Sample #2 (D1095):  $\Delta$ CN=19
2. Sample #15 (D1108):  $\Delta$ CN=3
3. Sample #16 (D1109):  $\Delta$ CN=4.2
4. Sample #18 (D1111):  $\Delta$ CN=3

对于在这组样品中CN/DCN 最高的燃料样品#16 (D1109)，DCN和CI方法之有一定的一致性，而CN表现出最大的差异。在CN和其他CVCC方法(如ASTM D7170 (DCN= 79.8)和ASTM D7668 (DCN=81.2))之间记录了对该样品的相同观察。

在21个测试的燃料样品中，燃料样品#2 (D1095)和#16 (D1109)与表2中的ASTM D975柴油规格有很大的不同。本节讨论的性质限制表明，这些样品不在ASTM D6890/CEN 15195的范围内，这可能会影响方法的准确性和精密度

表4.用于评估和比较不同平均性能的NEG燃料样品(2015年1月至2016年9月)

#	Fuel Sample FS	FS ID #	Flash Point [°C]	Gravity API at 60°F	Viscosity at 40°C cSt	Sulfur Content [mg/kg]	Cetane Number D613	Derived CN D6890	Cetane Index (CI) D976	Calculated CI (CCI) D4737
1	Jan-15	D1094	65.7	38.9	2.75	5.9	53.4	52.3	55.2	55.0
2	Feb-15	D1095	44.4	51.7	1.21	100.7	31.7	36.8	50.6	53.5
3	Mar-15	D1096	48.0	35.4	2.00	11.5	41.9	43.2	42.1	41.3
4	Apr-15	D1097	63.1	37.9	2.39	8.0	48.5	49.7	49.1	49.0
5	May-15	D1098	60.8	36.2	2.41	110.8	46.0	46.4	47.8	47.0
6	Jun-15	D1099	61.6	36.6	2.59	7.3	46.4	45.1	48.1	48.0
7	Jul-15	D1100	76.8	33.0	2.23	11.9	39.3	39.8	39.5	39.6
8	Aug-15	D1101	70.3	38.5	2.37	6.2	51.5	50.6	50.8	51.2
9	Sep-15	D1102	51.9	40.9	2.16	4.7	51.8	50.0	53.4	52.7
10	Oct-15	D1103	50.4	36.7	2.54	7.1	47.0	45.6	49.2	48.5
11	Nov-15	D1104	80.2	31.8	2.38	6.8	39.2	39.2	38.2	38.5
12	Dec-15	D1105	62.2	33.9	2.82	7.2	43.7	42.7	44.7	44.5
13	Jan-16	D1106	70.9	39.2	2.36	1.5	54.5	52.7	52.2	52.8
14	Feb-16	D1107	57.7	35.3	3.29	8.6	51.0	51.3	50.6	51.1
15	Mar-16	D1108	66.4	38.1	2.78	9.4	54.9	56.1	51.7	51.6
16	Apr-16	D1109	70.2	50.5	2.56	0.4	73.2	78.1	77.4	83.1
17	May-16	D1110	47.1	42.4	1.50	6.4	43.7	42.4	44.7	45.8
18	Jun-16	D1111	57.1	35.1	2.49	7.8	43.8	42.5	46.7	45.2
19	Jul-16	D1112	69.5	38.6	3.19	5.5	56.5	55.5	55.9	57.8
20	Aug-16	D1113	60.0	36.4	2.45	7.5	47.1	45.9	48.4	47.6
21	Sep-16	D1114	64.2	32.4	2.84	8.2	43.2	42.7	44.4	43.2

#### D6890仪器的DCN与D613仪器的CN标准偏差(STDEV)比较

图5总结了过去21个月(2015年1月至2016年9月)ASTM NEG FEP的精度数据。这张图比较了D6890仪器和D613十六烷发动机的结果。该图包括DCN和CN测量值的标准偏差(STDEV)，以及参与这些测试的实验室数量。图5显示的21个月的数据中，平均D6890 DCN STDEV为0.85 DCN。在此期间，平均有12台等容法仪器参与其中。平均D613 CN STDEV为1.40 CN，平均有34个台发动机参与。

在2015年1月至2016年9月期间，与D613/EN ISO 5165仪器相比，每月NEG FEPs显示D6890/EN15195仪器的精度普遍提高。在图5所示的ASTM NEG FEP数据中，测试结果为燃料样品#6 (D1099)产生的D6890 DCN STDEV仅为0.19 DCN。该燃料样本的D613 CN STDEV为1.54 CN。燃料样品#6的D6890 DCN STDEV是自2003/2004开始报告D6890/EN15195的DCN值以来，所有NEG或EI FEP燃料样品报告的最低STDEV值。

在ASTM NEG FEP结果中，结合使用升级后的D6890和常规D6890仪器，84%的测试样品的D6890 DCN STDEV低于D613 CN STDEV。自2003年开始报告D6890 DCN值以来，情况一直如此。两个例外是燃料样品#8 (D1101)和#16 (D1109)。

如表2和表4所示，燃料样品#16 (D1109)的性能明显偏离了ASTM D975柴油的要求。这使得该燃料超出了D6890/EN 15195的上限范围，这可能会影响方法的准确性和精密度。

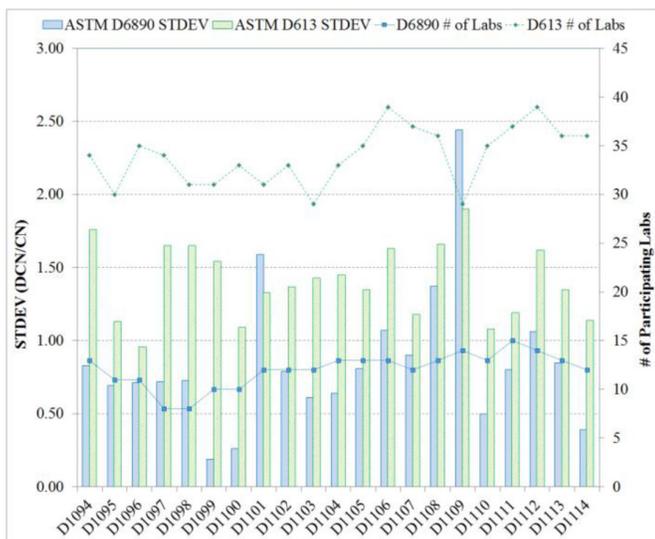


图5.ASTM NEG计划的实验次数和标准偏差(2015年1月至2016年9月数据)

鉴于参加ASTM NEG FEP的D6890仪器数量有限，单个仪器的问题可能会对测试结果的统计分析产生重大影响。燃料样品#8 (D1101)异常高的DCN STDEV是单个实验室测试结果(称为“实验室X”)的结果，该燃料的D6890 DCN平均值高出3.85 DCN。ASTM NEG FEP不拒绝异常数据，但使用的统计测试不认为实验室X的测试结果是异常数据，在下面的章节中讨论。

### 在ASTMNEG和EIFEP中的异常结果处理

ASTM NEG FEP使用广义极限研究偏差(GESD)多异常值程序( ASTM D7915[25])作为异常值拒绝收录。在这种做法中，计算每个结果的标准分数或Z分数<sup>2</sup>，并将数据集的最小或最大Z分数与表中的一个临界值进行比较。此表在99%置信度水平上说明了各种数据集大小的临界值。如果某个实验室的最小或最大Z值等于或大于临界值，则该实验室的结果作为异常值被拒绝。然后对剩下的结果重复该过程，直到没有发现更多的外围数据。

在EI FEP报告中，Grubbs测试被用作异常值拒绝收录。此测试实践用于识别单个离群值，但是建议使用GESD来识别数据集[25]中的多个离群值。与GESD测试类似，Grubbs测试使用了上面提到的Z分数程序。在EI FEP报告中，报告了计算出的最高Z分数以及99%和95%的置信限。

2015年1月至2016年9月X实验室报告检测结果14次，其中3次被GESD拒绝为异常值。根据Grubbs离群值测试，其余11个测试结果中有3项的Z分数位于95%和99%置信限的临界值或之间。表5总结了对燃料样品8 (D1101)、12 (D1105)和20 (D1113)进行Grubbs测试的结果。表中显示了被测试样品的95%和99%置信限的临界值，以及拒绝实验室X的测试结果对D6890DCNSTDEV

的影响。当X实验室的3个额外燃料样品的测试结果被拒绝后，D6890 DCN STDEV得到了显著改善。从对X实验室性能进行的数据分析中可以看出，单台仪器的问题会对所使用方法的精度产生实质性的影响。

表5.所示一些NEG样本的Grubbs离群数据测试结果

Sample ID	Z score max.	99% Critical Value	95% Critical Value	NEG STDEV	STDEV (without Lab. X)
Aug-15 D1101	2.443	2.636	2.412	1.58	1.07
Dec-15 D1105	2.497	2.699	2.462	0.81	0.56
Aug-16 D1113	2.680	2.699	2.462	0.85	0.53

NEG燃料交换计划的结果(如图5所示)表明，测试方法D6890的精度(STDEV)正在不断提高。升级的D6890和D6890仪器的平均DCN STDEV显著低于平均D613 CN STDEV。接下来的部分将对本次研究中常规D6890仪器和升级后的D6890仪器的性能进行比较。

### 参与ASTM NEG FEP的升级版D6890仪器与常规D6890仪器性能比较

参与NEG和EI研究的D6890仪器大部分是常规仪器，而不是配备了精密升级包的升级仪器。如前一节所述，在过去21个月里，平均有4台升级的D6890仪器参与了NEG FEP测试。本部分更新了2015年1月至2016年9月期间参加ASTM NEG FEP的常规仪器与升级后的D6890仪器的性能对比。

表6对考虑期内的ASTM NEG FEP测试结果进行了分析。该表比较了来自升级和常规D6890仪器的单独DCN STDEV值与报告的NEG DCN总体STDEV值。表6中每个值的上标表示产生集体结果的参与实验室数量(例如0.1910表示在计算2015年6月(D1099)样本的STDEV值为0.19时代表10个实验室)。常规D6890仪器(见表6)21个月平均DCN STDEV为0.97 DCN，平均有8台仪器参与。升级后的D6890仪器的平均DCN STDEV为0.48，平均有四(4)台仪器参与。升级和常规D6890仪器的DCN STDEV之和为0.85 DCN。

表6显示了升级后的D6890仪器在精度(STDEV)方面的显著改进。唯一的例外(D1098)是仅使用两台升级的D6890仪器对样品进行评估的情况。即使对于超出D6890 (D1109)范围的测试样品，升级后的D6890仪器的DCN STDEV仍然低于整体DCN STDEV和D613 CN STDEV(见图5和表6)。

<sup>2</sup>  $Z\ Score = \frac{DCN_i - \overline{DCN}}{STDEV_{DCN}}$

表6. 比较升级和传统D6890仪器的性能参加了ASTM NEG 2015-2016测试结果

FS #	FS ID #	NEG D6890 (both Instruments) STDEV # of IQTs	Conventional D6890 Instrument STDEV # of IQTs	Upgraded D6890 Instrument STDEV # of IQTs
1	D1094	0.83 <sup>13</sup>	0.94 <sup>9</sup>	0.37 <sup>4</sup>
2	D1095	0.69 <sup>11</sup>	0.74 <sup>8</sup>	0.68 <sup>3</sup>
3	D1096	0.71 <sup>11</sup>	0.77 <sup>7</sup>	0.62 <sup>4</sup>
4	D1097	0.72 <sup>8</sup>	0.86 <sup>5</sup>	0.45 <sup>3</sup>
5	D1098	0.73 <sup>8</sup>	0.71 <sup>6</sup>	0.92 <sup>2</sup>
6	D1099	0.19 <sup>10</sup>	0.23 <sup>6</sup>	0.15 <sup>4</sup>
7	D1100	0.26 <sup>10</sup>	0.26 <sup>6</sup>	0.26 <sup>4</sup>
8	D1101	1.59 <sup>12</sup>	1.83 <sup>9</sup>	0.36 <sup>3</sup>
9	D1102	0.79 <sup>12</sup>	0.96 <sup>9</sup>	0.39 <sup>3</sup>
10	D1103	0.61 <sup>12</sup>	0.70 <sup>9</sup>	0.33 <sup>3</sup>
11	D1104	0.64 <sup>13</sup>	0.75 <sup>9</sup>	0.22 <sup>4</sup>
12	D1105	0.81 <sup>13</sup>	0.94 <sup>9</sup>	0.52 <sup>4</sup>
13	D1106	1.07 <sup>13</sup>	0.94 <sup>9</sup>	0.52 <sup>4</sup>
14	D1107	0.91 <sup>12</sup>	0.99 <sup>8</sup>	0.79 <sup>4</sup>
15	D1108	1.36 <sup>13</sup>	1.55 <sup>9</sup>	0.68 <sup>4</sup>
16	D1109	2.44 <sup>14</sup>	2.77 <sup>10</sup>	1.23 <sup>4</sup>
17	D1110	0.5 <sup>13</sup>	0.44 <sup>10</sup>	0.32 <sup>3</sup>
18	D1111	0.8 <sup>15</sup>	0.90 <sup>11</sup>	0.41 <sup>4</sup>
19	D1112	1.05 <sup>14</sup>	1.24 <sup>10</sup>	0.39 <sup>4</sup>
20	D1113	0.85 <sup>13</sup>	0.98 <sup>9</sup>	0.52 <sup>4</sup>
21	D1114	0.39 <sup>12</sup>	0.46 <sup>8</sup>	0.21 <sup>4</sup>

### 参与ASTM NEG FEP的升级D6890仪器的重复性和再现性预估

本文使用ASTM E691对参与ASTM NEG FEP的升级版D6890仪器的精度进行了预估。采用表3中的公式计算95%重复性(r)和95%再现性(R)统计。预估精度术语(r & R)用于与CN仲裁方法(ASTM D613标准)进行比较。

升级后的D6890仪器精度项(r和R)的结果预估, 分别以数据点的形式呈现在图6和图7中。这两个数字还显示了升级后的D6890仪器的估计精度与CN仲裁法(ASTM D613)之间的比较。两个图中所示的数字代表了表4和表6中所示的样本的时间序号。使用这一实测数据(NEG FEP数据), 与其他CN (D613)和DCN (D6890/EN15195)测试方法相比, 升级后的D6890仪器的精度平均为最低。

在过去的21个月里, 平均只有3或4台升级的D6890仪器参与了NEG计划。如上所述, 单个仪器或燃料样品的问题会对程序报告的精度产生重大影响。图6和图7中显示的一些最高值(例如, 样品#16)就是这种情况, 其中一个仪器部件的劣化导致了与更新后的CEN 15195:2014方法相当的总体再现性。

正如在NEG燃料样品特性中所讨论的, 与表2中列出的柴油规格相比, 样品#16具有更高的API比重。样本#16也比所有CN/DCN方法的精度适用范围更高。请参照表4将测试样品的性能与其要求的性能进行比较。

图7所示的大部分数据点与升级后的D6890仪器mILS[2]的再现性一致。因此, 燃料交换计划的可用结果支持了这样一种观点, 即在苛刻的现实条件下运行时, 升级后的D6890仪表可实现与之前报告中升级后的D6890仪表mILS[2]具有相同良好的再现性。

### ASTM NEG FEP测试结果;CN相对于DCN准确性提高(2015年1月至2016年9月)

图8展示了2015年1月至2016年9月期间的ASTM NEG FEP测试结果, 以及发布的D613和D6890再现性极限。图8还显示了ASTM NEG FEP报告的平均D613 CN值的 $\pm 1$  STDEV限值和95%置信极限。在图8中, 所有这些限制被绘制出来, 以显示21个ASTM NEG FEP燃料样品相对于ASTM D613的统计极限的结果。

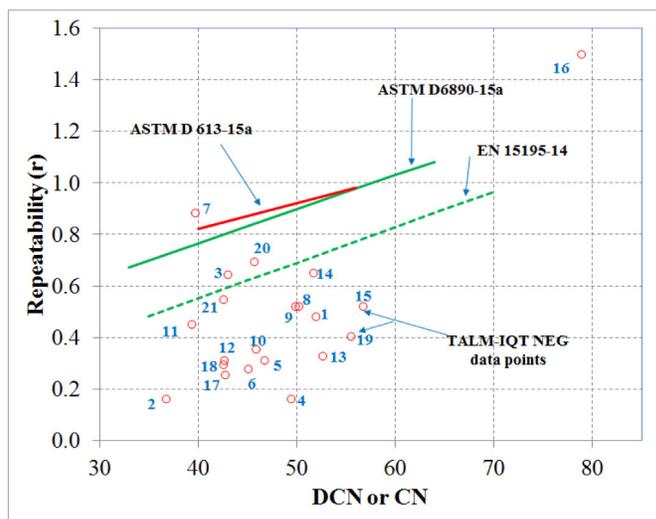


图6. 比较升级后的D6890仪器的重复性和D613/D6890/EN15195试验方法的重复性

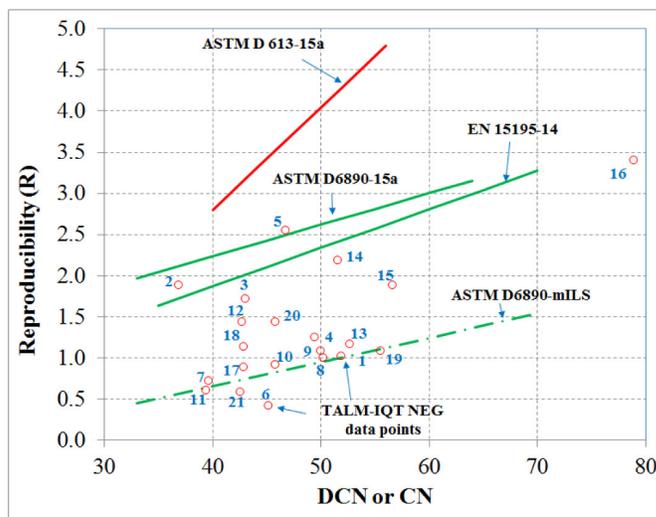


图7. 比较升级后的D6890仪器的再现性和D613/D6890/EN15195试验方法的再现性

图8绘制了21个ASTM NEG FEP样品的总体平均D6890 DCN值(空圆圈), 以及升级的D6890仪器的平均D6890 DCN值(实心三角形)。为了便于阅读, 图8没有显示DCN值在D6890范围之外的燃料样品(样品D1095和D1109)。无论是总体D6890 DCN平均值, 还是D6890仪器的平均升级仪器的DCN值, 都与这些燃料样本的D613 DCN平均值具有良好的相关性。

在21个测试燃料样品中, 19个样品的总体D6890 DCN平均值在D613的 $\pm 1$  STDEV限度内, 6个样品(~29%)的总体D6890 DCN平均值在ASTM D613的95%置信限度内。对于升级后的D6890仪器的结果, 有9个样本(~43%)的平均DCN值在D613的95%置信限内。由于升级后的D6890仪器大部分数据点更接近CN/DCN奇偶校验线, 如图8所示的测试结果表明, 升级后的D6890仪器不仅提高了精度, 同时也提高了ASTM D6890的可靠性。

样本D1095和D1109的总体D6890 DCN平均值超出了D613 $\pm 1$  STDEV限制。然而, 仅样本D1095的总体D6890 DCN值的平均值也超出了D613的95%置信限。这两种燃料样品的性能都超出了表2中列出的柴油规格的限制。样品D1095的D613 CN和粘度均低于最低限度, 两种样品的API比重均高于最大限度。

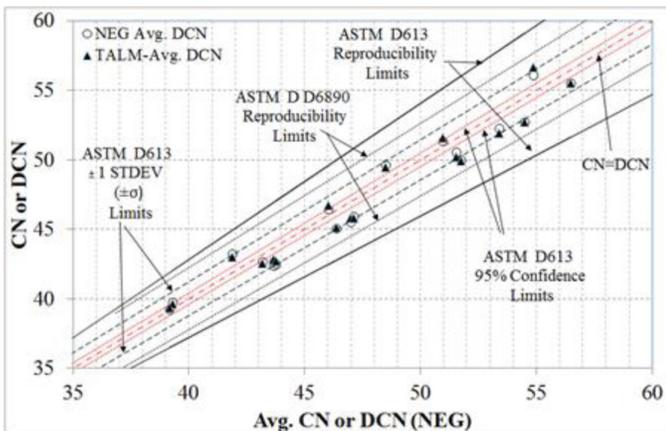


图8. ASTM NEG平均DCN和升级后的D6890仪器的平均DCN值与ASTM D613统计数据的相关性

## 总结和结论

D6890/EN15195/IP498仪器是一种CVCC仪器, 它为CFR十六烷发动机提供了测量柴油点火质量的替代方法。在用于测量燃料样品的DCN的CVCC仪器中, D6890/EN15195/IP498仪器具有最广泛的FEP数据集(自2003/2004年以来)。这个真实世界的数据集继续被用来更新仪器的公布精度。与裁判法(D613/ENISO5165)相比, D6890、EN15195和IP498标准具有所有ASTM和CEN CN/DCN/CI标准中最广泛的DCN适用范围, 并在较高的CN/DCN值下提供了更好的精度。

根据最近发布的EN 15940:2016燃料标准, 划分为仲裁法的EN 15195是测量合成或加氢处理的石蜡柴油(或可再生柴油)等高CN/DCN燃料样品更为精确的方法。

ASTM NEG FEP结果显示, 在较宽的CN/DCN范围内, D613/EN ISO 5165/IP41和D6890/EN 15195/IP 498仪器之间的比较结果良好。从ASTM NEG FEP报告中提取的21个燃料样本的结果, 并用于评估传统(LM-IQT™)和升级后的D6890仪器(TALM-IQT™)的性能。

给出了一些平均测量的燃料样品性能, 并用于检验每个样品是否符合ASTM标准D975柴油要求。文中讨论的性质限制表明, D6890测试方法相对于ASTM D613, 存在明显偏离ASTM D975柴油规范要求的燃料样本, 如示例# 16, 可能影响该燃料样本测试结果的准确度和精密度。

2015年1月至2016年9月期间的ASTM NEG FEP测试结果表明, 常规D6890和升级仪器的总平均DCN STDEV为0.85DCN。同期D613仪器的平均CN STDEV为1.40CN。在2015年6月期间, 两种仪器配置的总平均DCN STDEV仅为0.19DCN, 而相应的D613 CN STDEV为1.54CN)。自2003/2004年开始进行D6890 DCN测试以来, 0.19DCN STDEV是ASTM NEG或EIFEP中报告的最低的DCN值或CN STDEV值。

升级后的D6890仪器, 相对于ASTM NEG FEP中的常规D6890仪器, 其DCN STDEV值更低, 为0.15DCN。在2015年1月至2016年9月期间, 升级后的D6890仪器的DCN STDEV平均为0.48DCN, 平均有4台仪器参加。

使用ASTM E691估算参与ASTM NEG FEP的升级D6890仪器的精度( $r$ ,  $R$ )。升级后的D6890仪器的大多数ASTM NEG FEP测试结果与TALM-IQT™ mILS中显示的重现性一致。因此, 升级后的D6890仪器在苛刻的现实条件下运行时, 可以实现mILS再现性水平。

本文所述的升级后的D6890仪器的测试结果表明, TALM精密封装不仅提高了精度, 也提高了ASTM D6890的可靠性。结果表明, 对于常规的D6890仪器和升级后的D6890仪器, 将所有检测结果汇总后, 约有29%的检测样本的DCN均值在D613 95%置信限内。仅对于升级后的D6890仪器, 结果显示大约43%的测试样品的平均DCN值在ASTM D613的95%置信范围内。

已经证明了升级后的D6890仪表(TALM-IQT™)在苛刻的真实环境下运行, 比现有所有的用于检测柴油点火质量的测试方法都具有更好的重复性、再现性和准确性。

## 参考

1. Ramadan, O., Wang, G., Menard, L., Wilcox, A., “柴油点火质量测试仪的全自动实验室模型, 第1部分:IQT™ TALM描述和实验室内部微观研究( $\mu$  ILS)结果”, SAE技术论文2014-01-0179, doi:10.4271/2014-01-0179.
2. Ramadan, O., Webster, G., Menard, L., Wilcox, A., “使用完全自动化实验室模型(TALM)技术提高点火质量测试仪(IQT™)精度:技术更新, 第2部分:使用IQT™-TALM的小型实验室间研究”, SAE技术论文2015-01-0805, 2015, doi:10.4271/2015-01-0805.
3. ASTM D6890-15a, ASTM国际标准试验方法, “柴油燃料油在等容室燃烧时的点火延迟及衍生十六烷值(DCN)的测定”, 2015.
4. EN 15195-14, 英国标准协会“液体石油产品-在定体积燃烧室中燃烧的中间馏分燃料的延迟点火和衍生十六烷值(DCN)的测定”, BS EN 15195, 2014.
5. EI IP 498, 能源研究所IP测试方法, “中等馏分燃料在定容室燃烧的延迟点火及衍生十六烷值(DCN)的测定”, 2015年2月。
6. ASTM D613-15a, ASTM国际标准试验方法, “柴油十六烷值”, 2015.
7. EN ISO 5165, 国际标准化组织(ISO)试验方法, “柴油点火质量的测定。十六烷发动机法”, 1998.
8. EI IP 41, 能源研究所IP试验方法, “柴油点火质量之测定-十六烷发动机法”, 1999年1月。
9. ASTM D7170-14, ASTM国际标准试验方法, “测定柴油燃料油的衍生十六烷值(DCN)-固定范围喷射周期, 等容燃烧室法”, 2014.
10. ASTM D7668-14a, ASTM国际标准试验方法《用定容燃烧室法测定柴油衍生十六烷值(DCN)的延迟点火和延迟燃烧》, 2014.
11. ASTM D976 - 06, 馏分燃料计算十六烷指数的标准试验方法, 2016.
12. ASTM D4737-10, 馏分燃料计算十六烷指数的标准试验方法, 2016.
13. Yates, A., Viljoen, C., and Metcalf, O., “GTL柴油十六烷值的精确测定”, SAE技术论文2007-01-0026, 2007, doi:10.4271/2007-01-0026.
14. ASTM D975-15c, ASTM柴油国际标准规范, 2015.
15. 欧洲标准EN590, BS EN590, “汽车燃料柴油要求和测试方法”, 2013年。
16. Goodheart-Willcox(G-W)有限公司, “柴油燃料, 第14章, 图14.2(柴油燃料的一般分类图(底特律柴油)) www.g-w.com。
17. 发动机制造商协会(EMA)报告, EMA关于柴油的推荐指南, www.engine-Manufacturers.s.org.
18. Bogin G.E., De Filippo A., Chen J.Y., Chin G., Luecke J., Ratcliff M.A., Zigler B.T.和Dean A.M., “用KIVA-3V模拟点火质量测试仪的燃油喷射和燃烧过程”, 2009年加利福尼亚欧文大学燃烧研究所西部国家分部秋季会议, 加利福尼亚州欧文, 10月26-27日。2009
19. Ramadan O., Gardiner D., Webster G.和Bell T.“如何利用全自动化实验室模型(TALM)技术对点火质量测试器(IQT™)中衍生的十六烷值进行精确改进, 可以实现更多的最佳柴油混合”, 2015年10月20日至21日, 墨西哥湾沿岸会议, NRG Park, 休斯顿, 得克萨斯州。
20. Ramadan, O., Gardiner, D., Webster, G., and Bell, T.。2016年10月11日至12日, 在德克萨斯州休斯顿乔治·R·布朗会议中心举行的墨西哥湾海岸会议上, IQT™TALM精密包装展示了导出十六烷值(DCN)最佳精度的潜力。
21. ASTM E691-15“进行实验室间研究以确定测试方法精度的标准实践”, ASTM标准年鉴, ASTM国际, 西晓豪肯, 宾夕法尼亚州。
22. EN 15940:2016, “汽车燃料”。石蜡柴油的合成或加氢处理。要求和试验方法, BS EN 15940:2016, 2016年7月。
23. Aatola, H., Larmi, M., Sarjoavaara, T., and Mikkonen, S., “加氢处理植物油(HVO)作为一种可再生柴油:NO<sub>x</sub>、颗粒物排放和重型发动机燃料消耗之间的权衡”, SAE Int. J. 发动机1(1):1251-1262, 2009, doi: 10.4251/2008-01-2500.
24. Neste公司, 2016年5月, 《Neste可再生柴油手册》, www.neste.com/neste\_renewable\_diesel\_handbook.pdf
25. ASTM D7915-14, 应用广义极端研究偏差(GESD)技术同时识别数据集中的多个异常值的ASTM标准实践, 2014.

## Contact Information

Advanced Engine Technology Ltd. 17 Fitzgerald Road, Suite 102  
Ottawa, Ontario  
Canada, K2H 9G1  
Contact: Gary Webster  
gary@aet.ca  
Phone: 613-721-1234

## 缩写

**ASTM**-ASTM国际，前美国测试和材料学会

**CEN**-欧洲标准化委员会

**CI** -使用ASTM D976-06计算十六烷指数

**CCI** -用ASTM D4737-10计算十六烷指数

**D613** - ASTM D613, ASTM-CFR™十六烷发动机的标准试验方法

**D6890**-ASTMD6890，ASTM-IQT™仪器的标准测试方法

**EI** -能源研究所

**EN** -欧洲标准

**EN15195**-CEN EN15195，IQT™的欧洲标准测试方法

**EN ISO 5165** -CEN ISO 5165, CFR™十六烷发动机的欧洲和全球标准

**EN 15940** - CEN 15940:2016，石蜡柴油燃料欧洲标准

**IP**-石油研究所（英国），2003年与能源研究所合并，组成能源研究所

**IP41**-EI IP41，英国CFR™十六烷发动机标准测试方法，相当于EN ISO5165

**IP498**-EI IP498，英国IQ T™标准，相当于EN15195

**NEG**-ASTM国家交流小组

**TALM**-全自动化实验室模型，IQT™仪器的增强自动化功能版本

---

The Engineering Meetings Board has approved this paper for publication. It has successfully completed SAE's peer review process under the supervision of the session organizer. The process requires a minimum of three (3) reviews by industry experts.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of SAE International.

Positions and opinions advanced in this paper are those of the author(s) and not necessarily those of SAE International. The author is solely responsible for the content of the paper.

ISSN 0148-7191

<http://papers.sae.org/2017-01-0720>