

《小型农业机械柴油机排放测试方法》

(征求意见稿)

编制说明

标准编制组

二〇二〇年四月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	1
2 行业概况	2
2.1 单缸柴油机	2
2.2 小缸径多缸柴油机	2
2.3 中等缸径多缸柴油机	3
2.4 保有量情况	3
2.5 柴油消耗量情况	4
3 主要国家、地区及国际组织相关标准研究	6
3.1 ISO 标准	6
3.2 欧盟法规	8
3.3 全球统一的非道路法规	14
4 国内相关标准	16
4.1 新生产非道路柴油机排放控制标准	16
4.2 在用非道路柴油机排放控制标准	16
5 标准制订的基本原则和技术路线	19
5.1 本次制订标准的目的及必要性	19
5.2 本次制订标准的基本思路和方法	21
5.3 标准制订的主要技术依据	21
6 标准主要技术内容	23
6.1 标准适用范围	23
6.2 标准结构框架	23
6.3 标准主要技术内容	23
6.4 术语与定义	23
6.5 排放测试方法确定	24

1 项目背景

1.1 任务来源

根据国家重点研发计划重点专项--大气污染成因与控制技术研究所含项目《典型面源排放标准评估和制修订的技术方法体系研究》所含课题《非移动农业机械柴油机排放测试技术及标准研究》任务要求，课题编号：2016YFC0207905。

1.2 工作过程

2016年9月，课题《非移动农业机械柴油机排放测试技术及标准研究》开题后，浙江大学动力机械及车辆工程研究所立即展开前期调研工作。

2016年11月开始，课题组对欧洲现行的2012/46/EU排放标准、即将实行的EU 2016/1628排放标准以及现行的农林业柴油机2014/43/EU排放标准，美国现行的40CFR Part1039排放法规，日本现行的MOE排放标准等进行了整理研究，深入了解欧美日等发达国家和地区制定相关标准的原则和依据，调研其在农业机械柴油机污染防治、管控上采取的可行技术与措施。

2017年2月开始，课题组对GB 20891-2014《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国第三、四阶段)》；GB 3847《车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法》等相关标准进行深入研究，并调研了该标准应用到农业机械柴油机上的政策进展情况。

2017年3月开始，针对小型农业机械实时工况采集的记录仪进行设计。并与浙江省湖州市、金华市等地多家专业农机机构合作，选取拖拉机、插秧机、收割机等农业机械，安装传感器并连接工况记录仪进行调试，确保工况记录仪能够长时间、不间断采集并记录数据。

2017年9月开始，课题组深入农业机械配套柴油机制造企业、农业机械推广鉴定销售机构以及农业机械使用方，充分了解农业机械柴油机的行业概况以及应对环保要求升级的技术路径，为标准制定方向提供参考。

2019年11月，课题组与浙江省农业机械试验鉴定推广总站、浙江省农业机械学会相关负责人在浙江大学玉泉校区动力机械及车辆工程研究所讨论《小型农业机械排放测试方法》团体标准编制框架、编制格式、编制内容及注意事项。

2 行业概况

农业机械用柴油机应用领域广阔，是当前无法替代的农机配套动力，在我国农业经济中占有重要的地位。非移动农业机械用柴油机按型式可划分为单缸柴油机、小缸径多缸柴油机、中等缸径多缸柴油机和大缸径多缸柴油机（极少）。截止2017年底，全国各类农机总动力达9.72亿千瓦，其中柴油机动力已经占到77.35%，约7.52亿千瓦。

2.1 单缸柴油机

单缸柴油机在我国内燃机行业中按台数计算约占10%，是量大面广的产品，也是我国主要的机电出口产品之一。我国单缸柴油机基本上以8.8kW为界，分为S系列和R系列，通常我们说的大功率单缸柴油机一般我们指的是S系列，小功率为R系列。S系列主要是指8.8kW以上单缸柴油机，缸径在95mm-135mm，均为卧式、水冷机型，目前该机型主要与手扶拖拉机、微耕机配套，另外还广泛应用于农田排水、灌溉、发电等。R系列主要是指8.8kW以下单缸机，卧式、立式、斜式均有，风冷、水冷机型并存，直喷和涡流室兼有，主要配套手扶拖拉机、微耕机等，发电、排灌等用途为次。目前我国单缸机主要生产企业稳定在50家左右，占到了国内单缸柴油机总产量的99%以上，主要有常柴、常发、时风、江动、常工等。随着市场需求的变化，特别是农业经营规模从户营向专业户、农机合作组织、农庄方向的发展，传统配套方向的消亡，从而使行业产销总量步入逐年下行的通道。从保护环境角度出发，对全功率段提出排放限值要求是非常必要的。但由于我国起步较晚，以2009年10月执行非道路第II阶段限值为例，与美国2000年开始执行的第I阶段限值是相同的，两者相差10年。

2.2 小缸径多缸柴油机

小缸径多缸柴油机是指缸径在75-98mm之间，缸数大于等于2缸的柴油机，应用领域是除配套轻型汽车和低速货车外，是中、小型拖拉机、中小型联合收割机、中小型工程机械、船舶、排灌、发电、水泵、空压机等移动和固定机械的配套动力。小缸径多缸柴油机基本上是增压中冷、增压等先进技术和自然吸气等技术并存的局面。2017年，我国小缸径多缸柴油机总产量中，与农业机械配套的比率约为15.2%，共59万台左右。

从国外排放法规看，小功率柴油机受结构、成本及用途等因素限制，降低排放的一些先进技术（如增压、EGR、电控等）难以应用。特别是单缸柴油机对较低要求的排放限值能通过机内净化解决，而较高要求的排放限值也只能以机内净化为主，通过排气后处理（如氧化型催化器）解决。因此，针对小功率柴油机的排放法规限值要求相对较松，如美国非道路法规目前已经经历Tier1、Tier2、Tier3、Tier4A和Tier4B几个阶段，而19kW以下的柴油机排放法

规限值相对较大；欧盟第III阶段有A，B，C不同限值，对37kW以下的柴油机排放限值也仅为一个限值，且限值较大。这说明，针对小功率柴油机应慎重考虑排放限值要求。

2.3 中等缸径多缸柴油机

中等缸径多缸柴油机指缸径在 100-160mm 之间的 4 缸或 6 缸柴油机。是大型拖拉机、联合收割机的主要配套动力。生产企业主要是由大型企业(以车用柴油机的生产企业为主)。企业已经具有相对成熟的排放控制技术，由于车用柴油机批量大，使得如增压器、P 型喷油泵、嘴配套件保持一个相对较低价格，且该系列机型技术集中程度高、利润大，排放控制技术水平高，开发难度和经费压力小等综合因素，使得该系列柴油机普遍采用增压或增压中冷技术、以及喷油压力为 90-100MPa 的 P 型喷油泵等相应阶段先进技术，在柴油机加工、配套质量完好控制之下，排放控制水平和基础较高。目前国内约有 15 家企业生产此类柴油机。从 2017 年产量来看，玉柴、潍柴、锡柴、潍柴动力（扬州）、东风朝柴、中国重汽这 6 家企业年产量均超过了 15 万台。

2.4 保有量情况

到2017年底，全国各类农机总动力达9.72亿千瓦，其中柴油机动力已经占到77.35%，约7.52亿千瓦。大中型拖拉机达645.35万台，增量和增幅连续9年超过小型拖拉机，其中58.8千瓦及以上拖拉机拥有量增幅达16.16%，拖拉机大型化趋势逐步明显。重点作物和关键环节农机具保有量继续较快增长，水稻插秧机达77.1万台，同比增长6.25%；稻麦联合收割机达142.83万台，同比增长8.34%；玉米联合收割机达47.39万台，同比增长16.73%。其他设施农业、农田基本建设机械，农产品初加工机械等保持稳定增长。下表为2017年底，几种以柴油机为动力的典型农业机械保有量情况。

表 1 2017 年底全国典型农业机械保有量表

指标名称		计量单位	2017 年
农业机械总动力		万千瓦	97245.59
柴油发动机动力		万千瓦	75520.35
大中型拖拉机	14.7-18.4 千瓦	万台	242.48
	(含 14.7 千瓦)	万千瓦	3967.63
	18.4-36.7 千瓦	万台	204.86
	(含 18.4 千瓦)	万千瓦	5480.21

	36.7-58.8 千瓦 (含 36/7 千瓦)	万台	107.00
		万千瓦	4994.43
	58.8 千瓦 及以上	万台	91.01
		万千瓦	6615.35
小型拖拉机	2.2-14.7 千瓦	万台	1671.61
		万千瓦	16349.43
	手扶式拖拉机	万台	897.68
		万千瓦	7404.10
水稻插秧机	万台	77.10	
	万千瓦	374.50	
联合收获机	总计	万台	190.20
		万千瓦	9831.93
	稻麦	万台	142.83
		万千瓦	6955.80
	玉米	万台	47.39
		万千瓦	2876.13

2.5 柴油消耗量情况

到2017年底，全国农业生产燃油消耗总量达3382.74万吨，其中柴油约3047.71万吨，占到90.1%。下表为2017年用于基本农业生产的燃油消耗情况表。其中农田作业（对应大中型拖拉机、收割机、收获机、插秧机等典型农业机械）的柴油消耗量约占47%，是各类农业生产活动中柴油消耗量最大的。

表 2 2017 年全国农业生产燃油消耗情况表

指标名称	计量单位	2017 年
农田排灌	万吨	190.88
农田基本建设	万吨	231.94
畜牧业生产	万吨	86.53
农产品初加工	万吨	224.58

农业运输		万吨	1052.76
其他		万吨	141.08
农田作业	机耕	万吨	633.71
	机播	万吨	222.56
	机收	万吨	398.64
	植保	万吨	86.66
	其他	万吨	113.51

3 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

农业机械化是提高农业生产力的重要基础。农业机械主要使用柴油机作为动力源，随着农机的高速发展，柴油机排放给环境造成了巨大的压力。目前国际上对非移动农业机械柴油机的排放控制，主要以新生产柴油机排放控制为主，采用型式核准和生产一致性检查的方法进行排放控制。

对于大中型农业机械如拖拉机、联合收割机等，国际上普遍采用非道路（Non-Road）排放法规进行限制。而对于会产生大量农业面源污染的固定式小型农业机械如柴油发电机组、农用排灌机械、小型收获机械、农副产品加工机械等。目前国际上采取排放限制措施的国家并不多，仅有欧盟发布过农林业机械的排放标准。其他国家和地区将农业机械柴油机纳入非道路柴油机排放标准统一管理。因此本节主要介绍世界各国的新生产非道路机械用柴油机排放标准。

与道路机动车排放法规相同，目前全球非道路机械排放法规共有美国、欧洲和日本三大体系。虽然三个体系的要求和试验方法不同，但对于排放污染物（CO、HC、NO_x和PM）的控制是一样的。随着社会的进步，这三大体系在非道路机械的排放控制上，已经有了统一的趋势，并且开始修改标准以相互包容。

3.1 ISO 标准

国际标准化组织International Standard Organized (ISO)是由各国标准化团体组成的世界性的联合会。ISO标准一般涉及试验方法、术语、规格、性能要求等。我国于1978年加入ISO，在2008年10月的第31届国际化标准组织大会上，中国正式成为ISO的常任理事国。

ISO 8178《往复式内燃机排放测量》系列标准目前共有11部分（见表3），每一部分对往复式内燃机排放测量做了相应规定。欧洲和美国非道路用柴油机的试验方法均按照ISO 8178《往复式内燃机排放测量》制定。ISO 8178标准作为一项国际通用试验准则，为一系列标准，适用范围较宽，并且没有制订排放限值。例如对小型柴油机，规定了试验台测量方法（ISO 8178-1《往复式内燃机排放测量第一部分：污染物测量方法》）；对那些不能在试验台测试的大型柴油机，制定了面向现场的测试方法（ISO 8178-2《往复式内燃机排放测量第二部分：现场条件下污染物的测量》）。

表 3 ISO 8178 系列标准

标准号	标准名称
ISO 8178-1:2009	往复式内燃机排放测量 第 1 部分：气体和颗粒排放物的试验台测量
ISO 8178-2:2008	往复式内燃机排放测量 第 2 部分：气体和颗粒排放物的现场测量
ISO 8178-3:1996	往复式内燃机排放测量 第 3 部分：稳态条件下排气烟度的定义和测量方法
ISO 8178-4:2009	往复式内燃机排放测量 第 4 部分：不同用途发动机的试验循环
ISO 8178-5:2008	往复式内燃机排放测量 第 5 部分：测试燃油
ISO 8178-6:2001	往复式内燃机排放测量 第 6 部分：测量结果和检测报告
ISO 8178-7:1997	往复式内燃机排放测量 第 7 部分：发动机系族定义
ISO 8178-8:1997	往复式内燃机排放测量 第 8 部分：发动机机组定义
ISO 8178-9:2001	往复式内燃机排放测量 第 9 部分：在瞬态条件下工作的压燃式发动机排气烟度排放物的试验台测试循环和测试程序
ISO 8178-10:2003	往复式内燃机排放测量 第 10 部分：在瞬态条件下工作的压燃式发动机排气烟度排放物的现场测试循环和测试程序
ISO 8178-11:2006	往复式内燃机排放测量 第 11 部分：非道路移动机械用发动机瞬态工况下气体和颗粒排放物的试验台测量

在ISO 8178-4《往复式内燃机排放测量第4部分：不同发动机的试验循环》中，定义了不同用途柴油机的试验循环，所有的试验循环都是在基础试验循环11工况的基础上，对不同的点进行取舍，采用不同的加权而形成的。基准试验循环包括怠速点11，中间转速点6、7、8、9、10，额定转速点1、2、3、4、5。由1到5对应的负荷分别为100%、75%、50%、25%、10%，不同的工况点有着不同的加权系数。

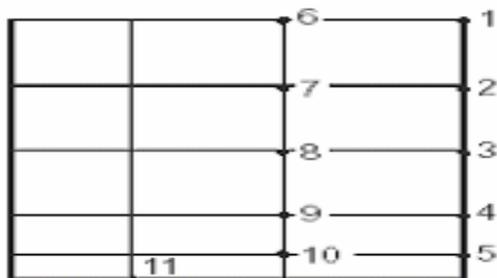


图 1 ISO 8178-4 基准试验循环

非道路柴油机根据不同的发动机用途有三种不同的试验循环，分别为八工况、五工况和六工况。试验循环见图2。八工况应用于非恒定转速工作下的发动机，例如工程机械、农

业机械、叉车等所用发动机；五工况应用于恒定转速工作下的发动机，例如发电机组、排灌水泵、除草机等所用发动机；六工况应用于在非恒定转速下工作，功率小于18kW的发动机除可用五工况外，可选用的一种试验工况。例如除草机、空气压缩机等所用发动机。

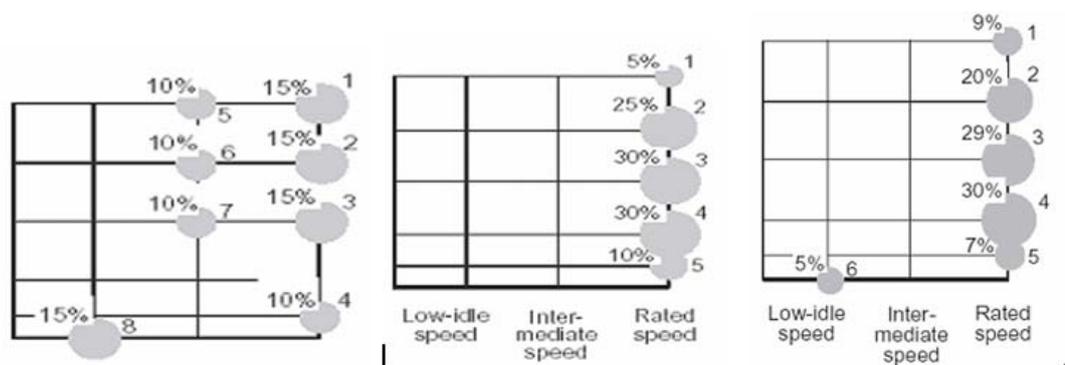


图2 非道路移动机械用柴油机试验循环

3.2 欧盟法规

3.2.1 发展历程

欧洲对农林业机械排放最早的规定始于上世纪 70 年代。1977 年 6 月 28 日，欧盟委员会发布 77/537/EC 指令，对成员国在轮式农用拖拉机或林用拖拉机上使用柴油机的污染物排放做了规定，但是没有发布具体的限值，仅对以后开展相关工作提出了各项建议，并要求各成员国采用协调统一的标准。

继欧盟委员会发布了 97/68/EC 非道路移动机械排放法规后，考虑到农林业机械的特殊性，欧盟委员会又于 2000 年 5 月 22 日发布了 2000/25/EC 指令，规定了第 I 阶段和第 II 阶段欧洲农林业机械柴油机的排放限值和实施时间。经对比，该标准与 97/68/EC 标准采用统一的排放限值与发动机功率分类方法，只是执行日期稍作延迟，根据柴油机功率大小从 2000 年 7 月开始陆续实施。

2005 年 2 月 21 日，欧盟委员会针对农用和林业机械发布了 2005/13/EC 标准，规定了第 III 阶段和第 IV 阶段欧洲非道路柴油机的排放限值和实施时间。2005/13/EC 指令是针对 2000/25/EC 指令的一次重大更新。经对比，该标准与上一年发布的非道路移动机械 2004/26/EC 标准采用统一的排放限值与发动机功率分类方法，同样也是执行日期稍作延迟，根据柴油机功率大小从 2006 年 12 月开始陆续实施。第 III 阶段标准又可以被分为两个子阶段：IIIA 阶段和 IIIB 阶段。在 III 和 IV 阶段排放法规发布时，已经在用的机械仍遵照原发动机最初投放市场时的第 I 和第 II 阶段排放限值要求，一直到发动机被替代为止。从 2013 年起，欧盟从 130~560kW 功率范围开始，农业机械柴油机 IIIB 阶段排放标准将得到逐步实施。欧盟

IIIB 阶段排放标准排放微粒的限值，由IIIA 阶段的 $0.2\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 降至 $0.025\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。欧洲农林业机械第IV阶段标准的 NO_x 限值比IIIB 阶段排放标准限值降低了 80% 以上，执行时间相比其他非道路移动机械而言推迟 1-2 年。

2010 年 3 月 15 日，为适应技术进步，欧盟委员会发布 2010/22/EU 指令，对 2005/13/EC 进行了一些技术修改，该指令主要增加了压燃式发动机的冷启动要求，修改了稳态测试工况点和瞬态测试程序。

2011 年 11 月 16 日，欧盟发布 2011/87/EU 指令，针对窄轨拖拉机的污染物排放标准的执行日期将延迟三年。这是由于狭窄的拖拉机专门开发用于狭窄的葡萄园和果园，具有特定的操作特性（窄宽度，低重心和转弯能力等）。由于机器上可用的空间有限，所以需要必要的时间来设计修改以符合新的发动机排放限制。2014 年 3 月 18 日，欧盟发布 2014/43/EU 指令，针对 2000/25/EC 和 2005/13/EC 排放指令的附录资料做了修改，并提议发布农业机械第 V 阶段排放标准，预计将于 2021 年开始实施（比非道路移动机械第 V 阶段执行日期晚 1-2 年）。

2016 年 9 月，欧盟发布非道路移动机械第 V 阶段（EU2016/1628）标准，将于 2019 年开始陆续实施，新限排令在保持原来排放限制及整改期限的基础上，采纳了欧盟委员会提出的关于工农机械排放物的限制调整。例如，额外给予欧洲机械制造商 6 个月的过渡期，企业要制定出新型发动机设计方案及新旧发动机替换计划。因此可以预测，欧洲农业机械的第 V 阶段标准也即将问世。

过去 20 年，按照欧盟适用的排放法规，农业机械的柴油机废气排放量显著减少。现代农业拖拉机排放的氮氧化物（ NO_x ）和颗粒物（PM）比二十年前的同类机器少 95% 左右。从 2019 年起，柴油机排放量将进一步减少，因为新的排放法规，即所谓的“第五阶段”要求将生效。新的规定还将限制颗粒物数量 PN，并首次对 19kW 以下和 560kW 以上的农业机械的排放限值进行限制。至此，欧盟对农业机械的排放要求将成为世界上最严格的标准。

欧洲农业机械工业也致力于改善空气质量，进行必要的技术投资，使得生产的新机器能够满足“V 级”要求。需要强调的是，欧洲农业机械工业目前生产的各种柴油机（如拖拉机或联合收割机）。为了符合新的规定，每一个型号（机器类型）都需要重新设计。因此，欧洲农业机械产业协会（CEMA）提供了 24 个月的过渡期，为制造商提供足够的过渡时间来研发新技术，使得新生产的机器能够在 V 级要求强制实行时及时投放到农机市场上。欧洲大多数农机制造商都是中小企业（SMEs）。许多中小企业生产特殊的农业机械，如甜菜收割机或自走式喷雾机，销售量非常低。为避免这些公司因为达到了新法规要求，出现成本急剧上

升等利益损害,过渡期再次延长了12个月,这意味着中小企业制造商将有36个月的过渡期。替换发动机的配置也将保留在新排放规定中。农民可以用新的前期发动机(如 III B 级, 第四阶段)替换严重损坏的 V 级发动机,可以有效地继续使用农业机械,减少农民的损失。对于之前提到的窄轨拖拉机,第 V 阶段的执行日期将与先前的延期结合,导致与其他农业机械不同的排放时间线。为了应对这一挑战,CEMA 提出的一个折衷的解决方案,允许制造商从 III B 排放阶段直接一步到位升级到 V 阶段,避免为了达到 IV 排放标准这一中间步骤而产生的高投资。

下图是 CEMA 给出的农业机械排放标准时间线。图 3a 为 37kW 至 560kW 农业机械柴油机近五年的排放标准时间线;图 3b 为 19kW 以下和 560kW 以上的农业机械排放标准时间线,预计将于 2021 年 1 月 1 日全面执行第 V 阶段排放标准。图 3c 为 19kW 至 560kW 的农业机械排放标准时间线,预计将于 2022 年 1 月 1 日开始全面执行第 V 阶段排放标准。

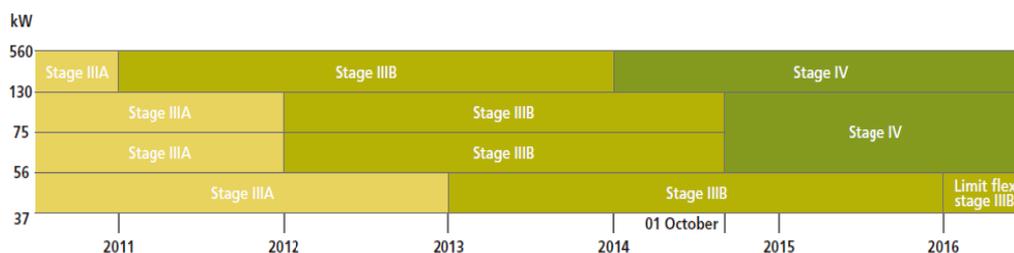


图 3a 37kW 至 560kW 农业机械柴油机近五年的排放标准时间线

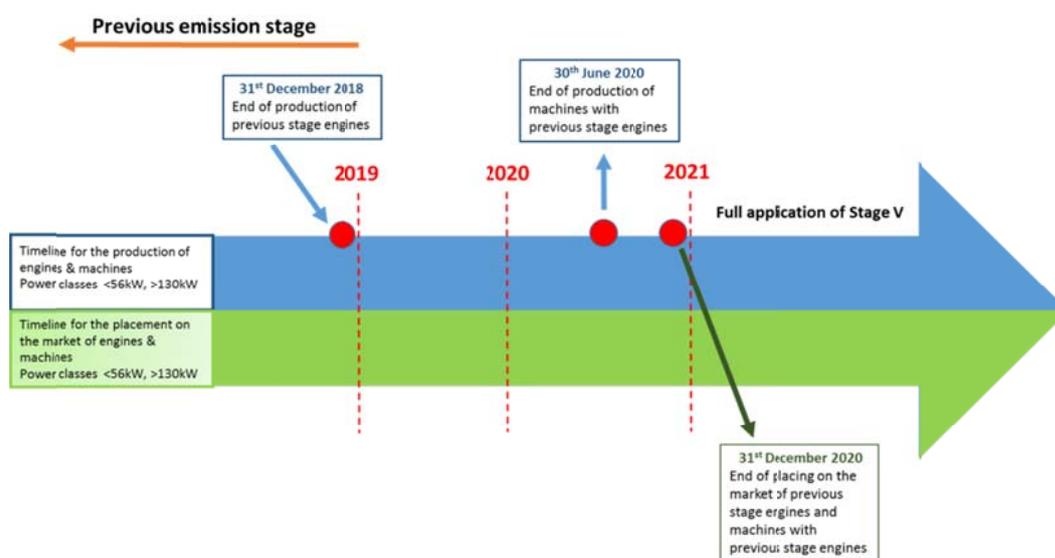


图 3b 19kW 以下和 560kW 以上的农业机械排放标准时间线

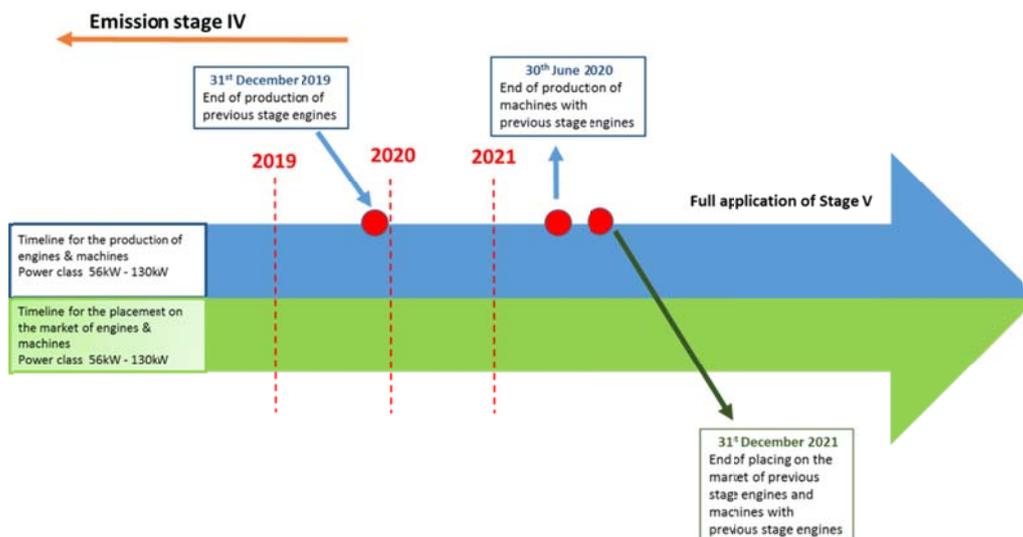


图 3c 19kW 至 560kW 的农业机械排放标准时间线

3.2.2 适用范围

欧盟因为单缸机数量较少,且通过协会来进行管理,因此在非道路标准中没有进行管理,为了与美国排放法规相对性,从第三阶段开始,功率下限调整为19kW。

第I阶段,功率范围从37kW到560kW的非道路移动机械用柴油机。第II阶段功率范围从18kW到560kW的非道路移动机械用柴油机。第III阶段分为IIIA和IIIB两个阶段,IIIA阶段功率范围从19kW到560kW的非道路用柴油机;IIIB阶段功率范围从37kW到560kW的非道路移动机械用柴油机。第IV阶段功率范围从56kW到560kW的非道路移动机械用柴油机。

3.2.3 试验循环

标准在第I、II和IIIA阶段,使用ISO 8178中的稳态试验循环(NRSC),根据发动机类型的不同,又规定了不同的试验循环,比如用在工程机械、农用机械上的非恒定转速的发动机,使用八工况循环,用在发电机组、水泵上的恒定转速发动机使用五工况循环。在IIIB和IV阶段除了稳态循环外,又增加了瞬态试验循环(NRTC),瞬态试验循环仅用于IIIB、IV阶段非恒定转速的发动机。

对于非恒定转速柴油机进行八工况循环,例如工程机械、农业机械用柴油机,见表4。

表 4 非恒定转速柴油机试验循环

工况号	转速	负荷 (%)	加权系数
1	额定转速	100	0.15
2	额定转速	75	0.15

3	额定转速	50	0.15
4	额定转速	10	0.1
5	中间转速	100	0.1
6	中间转速	75	0.1
7	中间转速	50	0.1
8	怠速	-	0.15

第I、II和IIIA阶段，对于恒定转速柴油机进行五工况循环，例如发电机组、水泵等用柴油机，见表5。

表 5 恒定转速柴油机试验循环

工况号	转速	负荷%	加权系数
1	额定转速	100	0.05
2	额定转速	75	0.25
3	额定转速	50	0.3
4	额定转速	25	0.3
5	额定转速	10	0.1

在IIIB和IV阶段，引入了NRTC（瞬态试验循环），类似于车用机的ETC试验循环，该试验循环只适用于非恒定转速的非道路移动机械用柴油机。只是时间有所缩短，整个试验循环为1238秒，试验循环见图4。

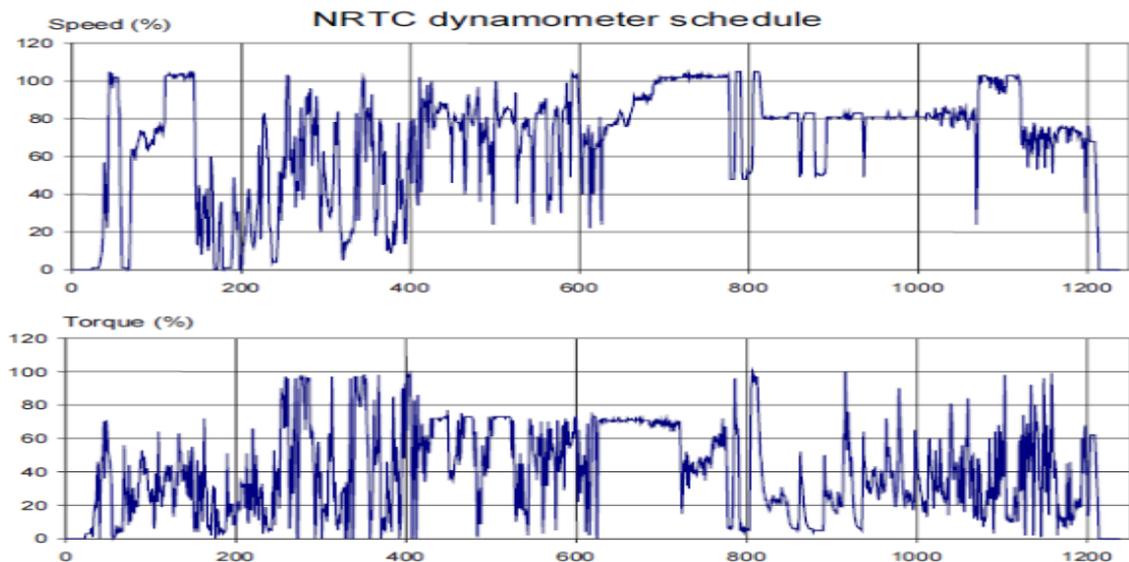


图4 NRTC试验循环

3.2.4 耐久性要求

从III阶段开始，增加了有效寿命的概念，有效寿命指的是发动机在规定的时间内，各污染物排放结果要满足标准限值的要求。不同功率段的发动机，其有效寿命也是不一样的，各功率段发动机的有效寿命见表6。标准要求至少选择发动机有效寿命的1/4来进行耐久性试验，制造厂应以良好的工程方法为基础，采用能够代表在用发动机排放性能劣化的试验循环，运行耐久性试验。试验可以在认证机构的进行也可以在发动机制造厂进行，但要在型式认证机构的有效监督下。在通过耐久性试验确定发动机各污染物的劣化系数。在整个耐久性试验过程中至少测试3次排放，应在磨合期结束时、耐久性试验结束时、耐久性试验期间选择的几个间隔点进行排放测试。

表 6 有效寿命要求

柴油机类型	有效寿命（小时）
≤37kW（恒转速）	3000
≤37kW（非恒转速）	5000
>37kW	8000

劣化系数的计算方法，举例如表7。

表 7 最小二乘法计算柴油机劣化系数

	试验时间 x	排放数值 y	备注
1	0	2.23	$\alpha = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$ $b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{\alpha}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
2	1000	2.26	
3	2000	2.28	
a	0.000025		
b	2.232		
4	8000	2.432	y=ax+b
5	0	2.232	
劣化系数 DFs	加法计算	0.200	不带后处理
	乘法计算	1.090	带后处理

如表7所示，一台37kW以上的非道路移动机械用柴油机，它的有效寿命为8000小时，我们可以选择有效寿命的1/4，也就是2000小时来进行耐久性试验，发动机磨合完毕进行第一

次排放测试，CO的结果为2.23，1000小时的时候CO的结果为2.26，2000小时的时候结果为2.28。那么根据最小二乘法公式，我们可以计算出a，b的结果，如表13所示，这样根据公式 $y=ax+b$ ，任何时间点的排放结果都能够计算出来，8000小时的时候计算得到2.432，0小时的时候结果为2.232。在根据发动是否有后处理，可以算出劣化系数（DFs）。不带后处理使用加法计算： $DFs=2.432-2.232=0.200$ ，带后处理是用乘法计算 $DFs=2.432/2.232=1.090$ 。

3.3 全球统一的非道路法规

3.3.1 标准发展历程

全球统一的非道路法规是由联合国世界车辆法规协调论坛（UN/WP29）制定和发布。WP29于1998年6月25日制订《关于对轮式车辆、可安装和/或用于轮式车辆的装备和部件制定全球性技术法规的协定》，该协定书简称为《1998年协定书》，各缔约方以此协定书为法律框架，共同制修订全球统一的汽车技术法规。

中国于2000年签署该协定书，成为正式缔约方。我国作为《1998年协定书》的正式缔约国，享有对全球统一汽车技术法规从立项到审查批准的全过程投票表决权利，同时也有义务采用该技术法规，将其引入自身的汽车技术法规体系中。

全球统一的非道路移动机械（NRMM）排放法规，是第11号全球统一技术法规（Global technical regulation No. 11），于2009年11月12日颁布。该法规没有制定统一的排放限值要求，也没有统一的实施日期，只规定了排气污染物的测量方法，该方法直接与欧美第四阶段测量方法的要求相对应。

3.3.2 适用范围

该法规适用于净功率不小于19kW且不大于560kW的农用车、拖拉机和非道路移动机械用柴油机。

3.3.3 试验循环

该法规的试验循环除了欧盟的八工况、五工况和针对非恒定转速的柴油机瞬态试验循环外，对于稳态试验的发动机还可以选用快速过渡模式试验。

表8 九工况快速过渡模式试验（非恒速发动机可选用）

状态	试验时间	转速	扭矩
	[s]		
1a 稳态	126	怠速（热）	0
1b 过渡	20	线性过渡	线性过渡

2a 稳态	159	中间转速	100
2b 过渡	20	中间转速	线性过渡
3a 稳态	160	中间转速	50
3b 过渡	20	中间转速	线性过渡
4a 稳态	162	中间转速	75
4b 过渡	20	线性过渡	线性过渡
5a 稳态	246	额定转速	100
5b 过渡	20	额定转速	线性过渡
6a 稳态	164	额定转速	10
6b 过渡	20	额定转速	线性过渡
7a 稳态	248	额定转速	75
7b 过渡	20	额定转速	线性过渡
8a 稳态	247	额定转速	50
8b 过渡	20	线性过渡	线性过渡
9 稳态	128	怠速（热）	0

表 9 五工况快速过渡模式试验（恒速发动机可选用）

状态	试验时间	转速	扭矩
	[s]		
1a 稳态	53	设定转速	100
1b 过渡	20	设定转速	线性过渡
2a 稳态	101	设定转速	10
2b 过渡	20	设定转速	线性过渡
3a 稳态	277	设定转速	75
3b 过渡	20	设定转速	线性过渡
4a 稳态	339	设定转速	25
4b 过渡	20	设定转速	线性过渡
5 稳态	350	设定转速	50

4 国内相关标准

4.1 新生产非道路柴油机排放控制标准

我国的非道路用柴油机排放国家标准 GB 20891—2007 于 2006 年 9 月 8 日通过国家环境保护总局审批。标准于 2007 年 4 月 3 日发布，自 2007 年 10 月 1 日正式实施。标准规定了非道路移动机械用柴油机排气污染物第 I 阶段和第 II 阶段型式核准和生产一致性的排放限值。第 I 阶段排放标准执行日期为 2007 年 10 月 1 日，第 II 阶段排放标准执行日期为 2009 年 10 月 1 日。其中，农林渔业等机械的排放标准的执行日期、排放限值等完全一致。

环保部 2014 年 5 月 16 日发布公告，要求实施《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》（GB 20891—2014），明确自 2015 年 10 月 1 日，开始执行通常所称的“国 III 标准”，所有制造和销售的非道路移动机械用柴油机，其排气污染物排放必须符合本标准第三阶段要求。其中，农林渔业等非道路机械的排放限值完全一致。公告限定自 2016 年 4 月 1 日起，所有制造、进口和销售的非道路移动机械不得装用不符合《非道路标准》第三阶段要求的柴油机，农用机械除外。这是由于通过对河南、山东等多个省市的调研，考虑到农机行业的惠农特性，以及库存量大、销售季节性强、新柴油机与整机匹配性的田间试验需要在春秋农时季节反复实施等问题，环保部按照实事求是原则进行科学决策，在政策上专门给了农机行业一定的缓冲时间，推迟农用机械用柴油机排放标准升国 III 标准的最后期限。

2016 年 1 月 14 日，环保部发布《关于实施国家第三阶段非道路移动机械用柴油机排气污染物排放标准的公告》，明确指出配备国 II 发动机的农业机械生产和销售截止日期为 2016 年 12 月 1 日。

2016 年 12 月，国务院印发了《“十三五”生态环境保护规划》（以下简称《规划》）。为我国“十三五”时期生态环境保护工作明确了“行动指南”，提出“修订在用机动车排放标准，力争实施非道路移动机械国 IV 排放标准”的具体目标。《规划》表明将实施最严格的环境保护制度，加快机动车和非道路移动源污染物排放标准、燃油产品质量标准的制修订和实施。开展清洁柴油机行动，加强高排放工程机械、重型柴油车、农业机械等管理，加快非道路移动源油品升级。因此，非道路柴油机国 IV 阶段排放标准极有可能在十三五期间发布并实施。

4.2 在用非道路柴油机排放控制标准

北京市制定了《非道路机械柴油机排气污染物限值及测量方法》（DB 11/185-2013）及《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》（DB 11/184-2013），并于 2013 年 7 月 1

日实施。标准中规定，对于排气污染物，北京市于 2015 年 1 月 1 日开始执行非道路机械用柴油机排气污染物排放限值（第四阶段）；对于排气烟度，自 2015 年 1 月 1 日，北京市全市范围内在用非道路机械排气烟度的光吸收系数须不超过 0.60m^{-1} （新生产非道路机械排气烟度的光吸收系数须不超过 0.50m^{-1} ）。依据《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》（DB 11/184-2013），自 2013 年 7 月 1 日起，非道路柴油机械烟度需满足限值要求。测试方法可选择自由加载法、自由加速法和林格曼烟度法中任一种方法进行烟度检测，任何一种检测方法的测量超过规定的限值，均可判定该机械的烟度排放检验不合格。

上海市于 2016 年 7 月 1 日正式实施了《在用非道路移动机械用柴油机排气烟度排放限值及测量方法》（DB 31/981-2016）。标准规定上海市在用非道路移动机械排气烟度满足限值要求，并自 2016 年 10 月 1 日起，上海全市范围内新购置的以及在外环线（含）以内使用的在用非道路机械开始执行 II 类排放限值。

深圳市自 2015 年 7 月 1 日起，深圳市正式实施《深圳市在用非道路移动机械用柴油机排气烟度排放限值及测量方法》（SZJG 49-2015），规定深圳市在用非道路移动机械用柴油机自由加速法或自由加载法排气烟度限值不能超过 0.5m^{-1} 。

天津市为了有效控制非道路移动机械排放问题，天津市环境保护局于 2015 年 6 月 29 日发布了《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》（DB 12/588-2015），并于 2015 年 7 月 1 日开始实施，要求非道路移动机械在正常工作状态下，烟度排放不应超过规定的限值。

对比北京、上海、天津及深圳非道路机械排放标准可以发现，北京和深圳相对走在国内城市前列，北京于 2015 年 1 月 1 日实施 DB 11/185-2013，相当于国标第四阶段。对于非道路柴油机械排气烟度排放标准，北京于 2013 年 7 月 1 日就已经开始实施 DB 11/184-2013，为全国各城市提供了相关政策、技术等方面的有益借鉴；深圳对非道路移动机械排气烟度的要求较高，虽然仅采用自由加速和自由加载两种测量方法，但要求在用非道路移动机械只要在正常工作状态下，无论车况新旧排气烟度的光吸收系数都应不超过 0.5m^{-1} ；上海从 2016 年 10 月 1 日（含）开始，对所有非道路柴油机械，按自由加速烟度法或自由加载烟度法测试，排气烟度的光吸收系数都应不超过 0.5m^{-1} 限值，启动烟度法的光吸收系数不大于 1.0m^{-1} ；天津于 2016 年开始实施 DB 12/588-2015 非道路柴油机械排气烟度标准，其排气烟度排放限值与北京相同。

2018 年 12 月份，生态环境部和国家市场监督管理总局发布《非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法》，标准规定了非道路柴油移动机械排气烟度限值和测量方法，适用于在用

非道路柴油移动机械和车载柴油机设备的排气烟度检验。北京、上海、深圳、天津、河北等地方标准废止。

5 标准制订的基本原则和技术路线

5.1 本次制订标准的目的及必要性

目前,我国农业机械柴油机排放标准归类到非道路移动机械柴油机排放标准中。其中的稳态测试循环和耐久性时间要求沿用了欧洲相关标准,而欧洲相关标准的稳态循环适合于全功率范围内非道路移动机械柴油机,而我国并未对此循环工况对小型农业机械柴油机的适用性问题进行研究。

本标准制订的目的在于确定适合于小型农业机械柴油机的稳态循环,更加贴近柴油机实际运行工况;增加控制区排放试验,使柴油机排放控制从几个点到整个面的转换,更能体现柴油机整体排放水平;研究小型农业机械柴油机耐久性,提出适合小型农业机械柴油机的耐久性试验方法。

我国农业快速发展的同时,也暴露了诸多问题,尤其是小型非移动农业机械,其 PM₁₀、NO_x 的排放依旧严重,生态环境问题亟待改善。由于农业机械的自身特殊性以及我国农业机械的实际现状,若单纯地使用非道路排放标准进行“一刀切式”的管理,存在诸多困难与问题。

1) 小功率农业机械保有量大,技术落后

欧盟、美国和日本等发达国家和地区的农业机械化发展水平较高,多采用大农场式的农业生产,使得其单缸柴油机、小功率多缸柴油机用量极少,因此,目前欧盟对 18kW 以下的柴油机尚未提出排放法规限值。而我国农业机械化生产水平落后,单缸柴油机和小功率多缸柴油机的保有量大,接近农用机械总功率的近 60%,因此从保护环境的角度出发,我国对农业机械制定了全功率段的排放限值,但是小功率柴油机技术水平低,制造工艺差等原因,整体与发达国家存在较大差距,新机出厂就很难达到现行非道路排放标准中的限值。

2) 成本等因素限制,技术升级难

对于大中型农业机械,一些较为先进的排气处理技术已经逐渐从车用柴油机移植到农业机械柴油机上,如高压共轨,电控,后处理技术等,但是对于小型非移动农业机械就存在诸多限制。例如一台机械油泵单缸柴油机的价格约为 2000 元,若要进行排放升级,则需要采用电控单体泵,整机成本增加 800 元,尽管购机补贴可以冲抵部分成本上升,但是农民朋友关心的动力性能不增反降,对农民朋友来说仍是一个敏感问题。对于其他小功率多缸柴油机,由于受农业机械安装空间限制,应对排放标准升级而需要加装的后处理系统等部件,无法正常安装,则需要对柴油机整体进行重新设计,减小体积的同时还要达到排放标准,成本太高,企业也不愿意在这部分柴油机上投入研发资金。因此小型非移动农业机械柴油机在如此严格

的排放标准下，技术升级存在较大难度。

3) 非道路排放标准测试循环的适用性

小型非移动农业机械经常在高负荷、高强度、恶劣的工作环境下运行。农民在使用农业机械时，为了效率等因素，常采用粗犷的操作方式，使得小功率农业机械实际作业工况与非道路排放标准中制定的测试循环工况存在较大差异，则在此测试循环工况下制定的排放限值，在小型非移动农业机械柴油机上的适用性不强。

4) 非道路排放标准升级过快，农机产业跟不上

农机产品排放标准升级是一项系统工程，由于农机产品作业环境恶劣，从设计、试验、小批量投放、持续改进、批量销售、售后服务等阶段需要进行科学统筹、系统优化、全面解决，要求柴油机企业具有相应的技术积累和制造经验。目前仍存在产品品质、市场需求、用户购买能力三方面的制约。当前，我国仅有 10%左右的农机产品达到了国际水平和国际先进水平，其余 90%左右的产品相当于国外发达国家 20 世纪 70 年代以前的水平，与发达国家农机制造水平有着较大的差距。国三产品电控技术等关键零部件仍受制于人，很难满足批量切换的制造需求，企业自主创新能力受到局限。从国外的成熟经验看，相关国家在推行发动机标准升级方面给社会各方提供了较充裕的过渡期。据调研，欧盟自 1997 出台非道路行走机械排放标准的指令后，直至 2012 年一直在对首版指令进行修正，期间经历了技术参数、试验过程、分析过程及取样步骤的不断修改与完善，这是传统工业强国的 200 多年经验积淀所具备的研发、制造能力。中国柴油机行业只有主导企业具有多年的研发、制造经验，多数企业在短期内仍不具有研发、试制、配套和持续改进的能力。

5) 农业机械使用油品质量不过关

我国非道路移动机械排放标准难以升级的一个重要原因是燃油品质的影响。从实施国 II 排放标准以来，农机使用的油品质量相对较差，均不能保证非道路排放标准的顺利执行。只有改善油品质量，才能有效地降低农业机械污染物的排放。

6) 农业机械报废制度不完善

与发达国家农业以大规模作业的模式不同，我国存在大量中小型农业机械柴油机，该类柴油机运行工况各异，本身所用技术落后，特别是普遍缺乏有效的维护保养，整机技术状况恶化。目前，我国还没有颁布相关小型农用机械强制报废的法规，农业生产上存在相当一部分小型非移动农业机械过载，超年限使用，使得排放进一步恶化。非道路标准中暂未有报废方面的管控措施。

综上所述，针对 37kW 以下的小型非移动农业机械柴油机，当前的非道路柴油机排放标

准其适用性不强。调整其出厂排放测试循环，适合国情，有利于更好地监督管理小型非移动农业机械柴油机，能够促进节能减排，符合农业机械化战略发展的需要，符合我国环境友好型社会的建设要求。

5.2 本次制订标准的基本思路和方法

我国机动车排放标准、非道路移动机械排放标准均参考欧盟标准体系，因此小型农业机械柴油机排放测试方法仍参考欧盟体系。

针对新生产农业机械柴油机排气污染物的排放控制，欧盟颁布了“77/537/EEC《关于各成员国测量农用或林用轮式拖拉机用柴油机污染物排放的法律》”，对成员国在轮式农用拖拉机或林用拖拉机上使用柴油机的污染物排放做了规定，该标准的技术内容、测量方法，以及标准限值的规定都与 ECE R24，即道路柴油机的规定基本相同；继欧盟委员会发布了 97/68/EC 非道路移动机械排放法规后，考虑到农林业机械的特殊性，欧盟委员会又于 2000 年 5 月 22 日发布了 2000/25/EC 指令，规定了第 I 阶段和第 II 阶段欧洲农林业机械柴油机的排放限值和实施时间。经对比，该标准与 97/68/EC 标准采用统一的排放限值与发动机功率分类方法，只是执行日期稍作延迟；2005 年 2 月 21 日，欧盟委员会针对农用和林业机械发布了 2005/13/EC 标准，规定了第 III 阶段和第 IV 阶段欧洲非道路柴油机的排放限值和实施时间。2005/13/EC 指令是针对 2000/25/EC 指令的一次重大更新。经对比，该标准与上一年发布的非道路移动机械 2004/26/EC 标准采用统一的排放限值与发动机功率分类方法，同样也是执行日期稍作延迟，根据柴油机功率大小从 2006 年 12 月开始陆续实施。第 III 阶段标准又可以被分为两个子阶段：IIIA 阶段和 IIIB 阶段。2010 年 3 月 15 日，为适应技术进步，欧盟委员会发布 2010/22/EU 指令，对 2005/13/EC 进行了一些技术修改，该指令主要增加了压燃式发动机的冷启动要求，修改了稳态测试工况点和瞬态测试程序。

针对在用农业机械柴油机烟度的排放控制，现新生产柴油机烟度标准起源于柴油机排放控制的早期，那时还没有成熟的颗粒物测量方法，后来对新生产柴油机的烟度控制逐渐转向以颗粒物 PM 和 PN 为主，不再进行烟度测量，车用柴油机排放标准实施后的结果也充分证明，实施 PM 限制后，进行烟度限制已经失去意义，但烟度检测对在用小型农业机械柴油机的排放监管是极为便捷有效的技术手段。小型农业机械柴油机排放标准中烟度排放控制部分参考《GB 36886-2018 非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法》。

5.3 标准制订的主要技术依据

——欧盟农林业机械排放相关标准：77/537/EEC；2000/25/EC；2005/13/EC；2010/22/EU

——GB 20891-2014 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）

——GB 3847-2005 车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法

——GB 36886-2018 非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法

6 标准主要技术内容

6.1 标准适用范围

本标准规定了小型农业机械柴油机排放测试项目和方法。

本标准适用于额定净功率小于37kW、在非恒转速下工作的农业机械用柴油机，包括但不限于小型拖拉机、小型耕整地机械、小型种植施肥机械用柴油机等。

6.2 标准结构框架

本标准包括前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、试验项目、试验条件、试验方法以及相关附录。

6.3 标准主要技术内容

本标准规定了小型非移动农业机械柴油机排放测试项目包括稳态循环工况排放试验、控制区排放试验、排气烟度试验、耐久性试验及测量方法。

本标准参照采用了《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国III、IV阶段)》(GB 20891-2014)和《非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法》(GB 36886-2018)中有关农业机械柴油机的技术内容。

本标准参照采用了欧洲委员会指令77/537/EEC《关于各成员国测量农用或林用轮式拖拉机用柴油机污染物排放的法律》、欧盟(EU)指令97/68/EC(截止到修订版EU 1024/2012及EU167/2013)《关于协调各成员国采取措施防治非道路移动机械用发动机气态污染物和颗粒物排放的法律》中有关非道路移动机械用柴油机的技术内容和GB 3847-2005《车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法》的相关技术内容。

本标准在参考以上标准相关内容的基础上,结合小型农业机械柴油机的工作特点,确定排气污染物测量方法以及烟度测量方法。

6.4 术语与定义

GB 20891-2014界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

为了便于使用,以下重复列出来GB 20891-2014中的某些术语和定义。

1) 额定净功率 rated net power

指制造企业为柴油机型式核准时标明的净功率。

2) 小型农业机械 small agricultural machinery

额定净功率小于37kW、在非恒定转速下工作的农业机械用柴油机。

3) 试验循环 test cycle

指柴油机在稳态工况下按照规定的转速和扭矩进行试验的程序。

4) 排气污染物 emission pollutants

指柴油机排气管排出的气态污染物和颗粒物。

5) 排气烟度 exhaust smoke

柴油机排气被光束照射后对光束吸收的程度，以光吸收系数 m^{-1} 表示。

6) 不透光烟度计 smoke opacimeter

按 GB 3847 规定的，用于连续测量柴油机排气的光吸收系数的仪器。

7) 有效寿命 useful life

指农业机械用柴油机及其排放控制系统（如有）正常运转并符合有关气态污染物、颗粒物排放限值、烟度排放限值的使用时间。

6.5 排放测试方法确定

6.5.1 排放测试循环的制订

为了获取小型农业机械柴油机的实际工况信息，本研究设计了一种柴油机实时工况记录仪，其核心是基于单片机的数据采集系统，配备模拟量、数字量等信号输入通道，能够采集柴油机转速、油门位置信号（负荷信息）、排气温度、机油温度、冷却水温等反映柴油机实际工作状态的信息。采用上述实时工况记录仪跟踪采集整个作业季或作业周期内的小型农业机械柴油机实际工况参数信息并存储到内存卡中，用于后期数据处理与分析。

为实现上述功能，工况记录仪以单片机控制器模块为系统核心，增加时钟模块，电源模块，LCD 显示模块，内存卡存储模块，CAN 通信模块，RS232 模块等外设，并设计了相关工作电路。时钟模块为记录仪系统提供准确的时间数据；电源模块及其配套电路为单片机及各外设模块以及传感器提供稳定电源；LCD 模块可实时显示时间，工况参数；内存卡模块可将实时采集的工况参数记录到 TXT 文件里；上位机通过 RS232 模块可与单片机进行通信、设置初始参数等；利用 CAN 通信模块可以通过通讯协议直接读取部分柴油机 ECU 中的工况参数；利用数字信号模拟信号采集模块可以连接对应传感器，采集工况参数输入到单片机中。图 5 为柴油机实时工况记录仪硬件设计原理图。

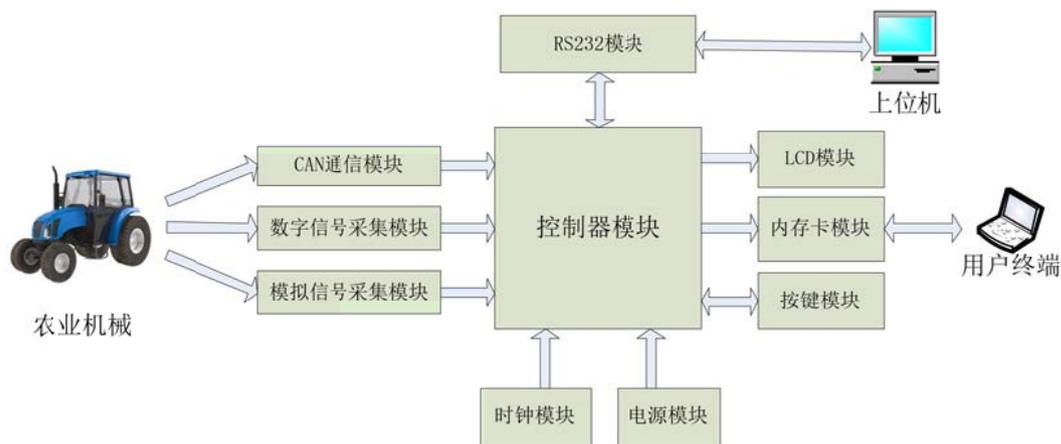


图 5 工况记录仪硬件设计原理图

工况记录仪所使用的单片机为 Microchip 公司研发生产的 dsPIC33FJ128MC708A 单片机。利用 Microchip 官方 MPLAB X IDE 作为开发平台。MPLAB 适用于对 PIC 系列单片机进行嵌入式设计的应用开发, 内置编辑器创建和编辑源代码功能, 可以汇编、编译和链接源代码, 可以通过使用内置模拟器观察程序流程调试可执行逻辑; 或者使用在线调试器实时调试可执行逻辑。图 6 是柴油机实时工况记录仪软件框架图。

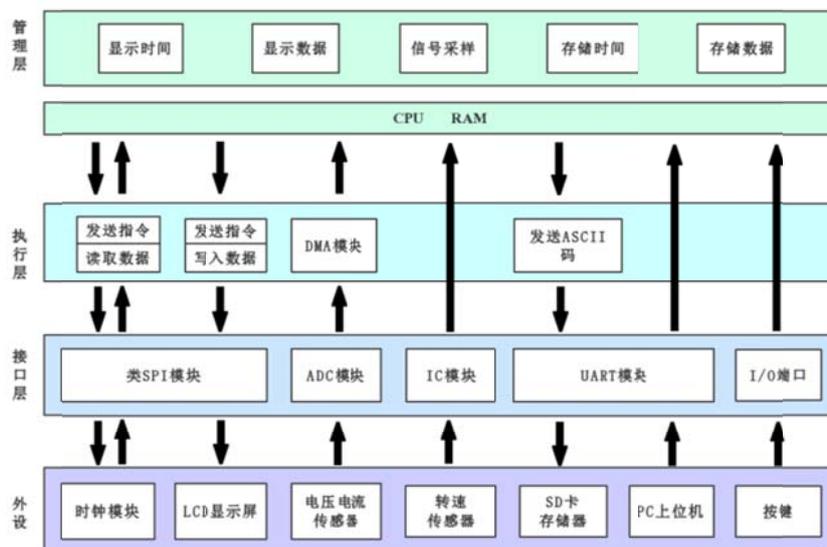


图 6 工况记录仪软件设计框架图

上位机软件使用 C#语言作为界面的开发工具。上位机系统^[12]为工况记录仪提供初始化数据, 初始化数据包括: 时间校核, 测试人员编号, 农业机械机型代号, 传感器引脚选择等。图 7 是上位机软件的界面图。



图 7 工况记录仪上位机软件界面

本研究与浙江省湖州市、金华市等地多家专业农机机构合作，选取与柴油机配套的拖拉机、插秧机、收割机等农业机械，安装传感器并连接工况记录仪，在整个作业季跟踪采集柴油机的工况参数。对工况记录仪采集的整个作业季或作业周期内柴油机运行工况数据进行数理统计分析，总结大中型与小型农业机械柴油机实际工作过程中的转速、油门开度变化范围以及相应的分布比例，可提炼出典型常用的非移动农业机械柴油机工作工况，从而确定非移动农业机械柴油机的测试循环。

K-means 算法是一种典型的基于形心的划分数据聚类算法，属于无监督机器学习方法的一种。由于样本分布的不确定性，传统 K-Means 算法中初始聚类中心依靠人工或算法随机选取，有可能是孤立点或噪声点，这将导致聚类结果与真实分布有较大偏离。本研究参考谷广宇等的基于加权欧氏距离最小方差优化初始聚类中心的 K-Means 改进算法对提取的柴油机转速和油门开度等工况信息进行聚类处理，该方法的基本思想是：以样本方差作为启发信息，选取方差最小的样本作为初始聚类中心，并以样本平均距离划分初始聚类，从而选择出周围样本分布比较密集的初始聚类中心，避免孤点和噪声点的干扰，提高聚类结果的准确性。

为进一步提高聚类的准确性，本研究对转速数据归一化处理，以额定转速的百分比来表征所有转速数据，可与柴油机油门开度（即柴油机负荷）统一单位，从而降低因转速和油门开度之间的由于单位不同造成的数量级差距过大带来的误差。在聚类开始前，还对原始数据中可用经验判断出的噪声点进行剔除。

在 MATLAB 软件中编写改进后的 K-Means 聚类分析算法，使得该算法可以处理柴油机实时工况记录仪采集的大数据，图 8 为 MATLAB 的程序截图。

```

kmeans.m | loaddata.m | main.m | +
244 C = single(C);
245 end
246 case {'plus', 'kmeans+'}
247 % Select the first seed by sampling uniformly at random
248 index = zeros(k,1);
249 [C(1,:), index(1)] = datasample(S,X,1);
250
251 % Select the rest of the seeds by a probabilistic model
252 for ii = 2:k
253     sampleProbability = min(distfun(X,C(1:ii-1,:),distance), [], 2);
254     denominator = sum(sampleProbability);
255     if denominator==0 || isinf(denominator) || isnan(denominator)
256         C(ii:k,:) = datasample(S,X,k-ii+1,1,'Replace',false);
257         break;
258     end
259     sampleProbability = sampleProbability/denominator;
260
261     [C(ii,:), index(ii)] = datasample(S,X,1,1,'Replace',false,...
262         'Weights',sampleProbability);
263 end
264 end

```

图 8 K-Means 聚类算法 MATLAB 程序片段图

算法中，以所有采集数据点与所属类簇的聚类中心距离的平方和 $\sum D_{i,j}^2$ ($i=1,2\dots K$; $j=1,2\dots n$) 来表征算法的聚类稳定性（距离平方和越小，聚类稳定性越强，与实际情况偏离越小）。本研究参考《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》中的六工况与八工况稳态测试循环，暂取 K 为 5,6,7,8,9,10，分别进行聚类分析，对比聚类分析结果。

表 28 是以小型非移动农业机械柴油机实际工况数据为例，K 取 5,6 时的聚类分析结果；表 29 是以小型非移动农业机械柴油机实际工况数据为例，K 取 7,8 时的聚类分析结果；表 30 是以小型非移动农业机械柴油机实际工况数据为例，K 取 9,10 时的聚类分析结果。聚类计算结果显示，聚类分析时选取的类簇数 K 值越大，聚类稳定性越强，所提炼出的排放测试循环越能精确代表农业机械柴油机的实际运行工况。因此理论上讲，排放测试循环制定时，选取的稳态工况点越多，越能反映真实情况，但兼顾到后续制定农业机械排放标准限值时的稳态工况排放测试循环台架试验的简便性，实际上类簇数 K 值的选取并非越大越好。

表 10 小型非移动农业机械柴油机工况采集数据聚类稳定性分析（K=5,6）

聚类分析	聚类中心		权重	该类所有数据点与聚类中心距离平方和 D_i^2	聚类稳定性 $\sum D_{i,j}^2$
	X(百分比转速)	Y (油门开度)			
K=5	i=1	96.131666%	92.148967%	11.11%	142.5033
	i=2	92.946135%	40.179285%	15.56%	339.1635
	i=3	29.637699%	10.111624%	20.04%	329.7914
	i=4	96.213414%	62.934839%	38.37%	441.5857
	i=5	65.146141%	34.846686%	14.92%	381.8294

K=6	i=1	29.001639%	0.797276%	16.34%	278.1553	1362.797732
	i=2	96.124043%	92.118559%	17.14%	143.0946	
	i=3	73.225478%	45.294606%	10.43%	174.9905	
	i=4	96.889641%	62.765366%	34.94%	371.4556	
	i=5	94.338160%	38.107952%	12.89%	242.1473	
	i=6	58.660832%	27.360234%	8.27%	152.9544	

从表中可看出，当 K=7 时，以（92.431252%，31.622647%）为聚类中心的第 2 类，其权重仅为 3.87%，即该类所代表的工况，加权系数低于 5%；同样，当 K=8、9、10 时，也出现多个权重低于 5% 的类，因此可以合理预测，当 K>10 时，也会出现一定数量权重小于 5% 的类。且这些类代表的工况下农业机械的相对排放较小，根据高排放、高使用率的原则，最终选定 K=6 为功率 P<37kW 的农业机械柴油机的聚类簇数。

表 11 小型非移动农业机械柴油机工况采集数据聚类稳定性分析（K=7,8）

聚类分析	聚类中心		权重	该类所有数据点与聚类中心距离平方和 D_i^2	聚类稳定性 $\sum D_{i,j}^2$	
	X(百分比转速)	Y(油门开度)				
K=7	i=1	97.085663%	69.635813%	22.55%	176.4497	1082.134023
	i=2	92.431252%	31.622647%	3.87%	59.96678	
	i=3	29.651124%	18.367178%	11.37%	89.62401	
	i=4	95.797505%	95.833600%	9.53%	60.632	
	i=5	30.192510%	0.422036%	9.01%	17.28969	
	i=6	65.452712%	35.192299%	17.40%	408.1429	
	i=7	94.643976%	54.446570%	26.28%	270.029	
K=8	i=1	97.378120%	70.337240%	20.67%	131.4183	831.339981
	i=2	92.889717%	31.764480%	3.79%	55.71048	
	i=3	30.177703%	0.423826%	9.01%	16.55516	
	i=4	29.094070%	18.304237%	11.05%	65.3593	
	i=5	63.886034%	31.984863%	14.24%	276.768	
	i=6	96.945293%	55.056232%	27.20%	148.3086	
	i=7	76.760142%	52.552087%	5.65%	87.6415	

	$i=8$	95.773681%	96.058987%	8.38%	49.57867	
--	-------	------------	------------	-------	----------	--

表 12 小型非移动农业机械柴油机工况采集数据聚类稳定性分析 (K=9,10)

聚类分析		聚类中心		权重	该类所有数据点与聚类中心距离平方和 D_i^2	聚类稳定性 $\sum D_{i,j}^2$
		X(百分比转速)	Y (油门开度)			
K=9	$i=1$	97.535501%,	70.118271%	22.97%	139.4785	632.477367
	$i=2$	28.073991%,	17.993740%	12.40%	32.46097	
	$i=3$	95.800217%,	95.987407%	8.43%	50.4601	
	$i=4$	78.433206%,	56.315970%	4.06%	55.84219	
	$i=5$	96.956894%,	54.767720%	26.72%	143.9533	
	$i=6$	30.139557%,	0.419624%	8.99%	15.02104	
	$i=7$	92.960848%,	31.357379%	3.54%	51.62256	
	$i=8$	56.966506%,	26.306838%	4.74%	75.01085	
	$i=9$	70.496128%,	39.042035%	8.15%	68.6278	
K=10	$i=1$	95.640986%,	97.117277%	7.68%	31.00319	524.713463
	$i=2$	70.698730%,	39.138694%	8.21%	69.08412	
	$i=3$	30.139557%,	0.419624%	8.99%	15.02104	
	$i=4$	97.530160%,	74.450433%	15.87%	81.2507	
	$i=5$	28.073991%,	17.993740%	10.40%	27.22334	
	$i=6$	92.518265%,	28.409772%	2.80%	34.07599	
	$i=7$	78.026006%,	57.013767%	4.77%	63.1041	
	$i=8$	97.426087%,	61.408178%	22.35%	68.08166	
	$i=9$	96.081720%,	48.941967%	15.16%	75.88097	
	$i=10$	56.984760%	26.377995%	3.78%	59.98834	

在 K-Means 算法的 MATLAB 程序中加入代码，使得聚类分析结果可视化。图 9 为小型非移动农业机械柴油机实时工况采集数据的聚类分析结果。x 轴为百分比表示的柴油机转速，y 轴为百分比表示的油门开度；从紫色到深红色代表采集的工况点在该区域分布的概率

密度越来越大；黑色实线将工况点分布图划分为 6 个区域，代表聚类分析算法执行后输出的 6 个分类结果，6 个黑色实心点代表该类簇的聚类中心。

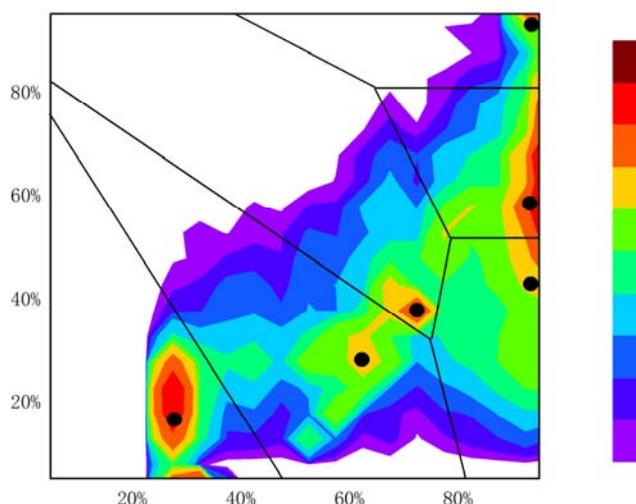


图 9 小型农业机械柴油机工况数据的聚类分析结果

对聚类分析结果进行取整处理，归纳得出的小型非移动农业机械柴油机六工况稳态排放测试循环工况点及其加权系数如表 31 所示，其中 ISO 8178 八工况循环为全球通用的非道路柴油机排放测试循环，也是我国《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》中规定的稳态工况测试循环。可见小型非移动农业机械柴油机实际运行工况在额定转速工况下总加权系数达到 0.65，这与 ISO 8178 八工况循环在额定转速下总加权系数 0.55 相比，差异明显。

表 13 柴油机排放测试循环工况点及加权系数

工况号	转速	负荷	加权系数	
			ISO 8178 八工况循环	拟定六工况循环
1	额定转速	100%	0.15	0.20
2	额定转速	80%	/	/
3	额定转速	75%	0.15	/
4	额定转速	60%	/	0.35
5	额定转速	50%	0.15	/
6	额定转速	40%		0.10
7	额定转速	10%	0.10	/
8	中间转速	100%	0.10	/

9	中间转速	75%	0.10	/
10	中间转速	50%	0.10	0.10
11	中间转速	25%	/	0.10
12	怠速	0%	0.15	0.15

6.5.2 控制区要求

随着电控发动机技术的发展,典型的点工况法进行的排放测试已经不能满足管理的需要,为了更好地对发动机进行监管,提高管理的水平,标准引入了控制区的概念。从而使得发动机的排放控制从几个点到整个面的控制转化。

柴油机控制区是由柴油机的四条特性曲线所构成的区域。分别是柴油机功率曲线(及即外特性曲线)、转速A、最大扭矩30%,30%功率对应的扭矩曲线围成的最小区域就是控制区(见图10)。这个区域基本包括了柴油机日常的运转区间。

速度范围:转速A至最高转速;

$$A=n_{lo}+15\%\times(n_{hi}-n_{lo})$$

其中:

高转速 n_{hi} 是最大净功率P(n)70%下的转速,功率曲线上此功率对应的柴油机最高转速定义为 n_{hi} 。

低转速 n_{lo} 是最大净功率P(n)50%下的转速,功率曲线上此功率对应的柴油机最低转速定义为 n_{lo} 。

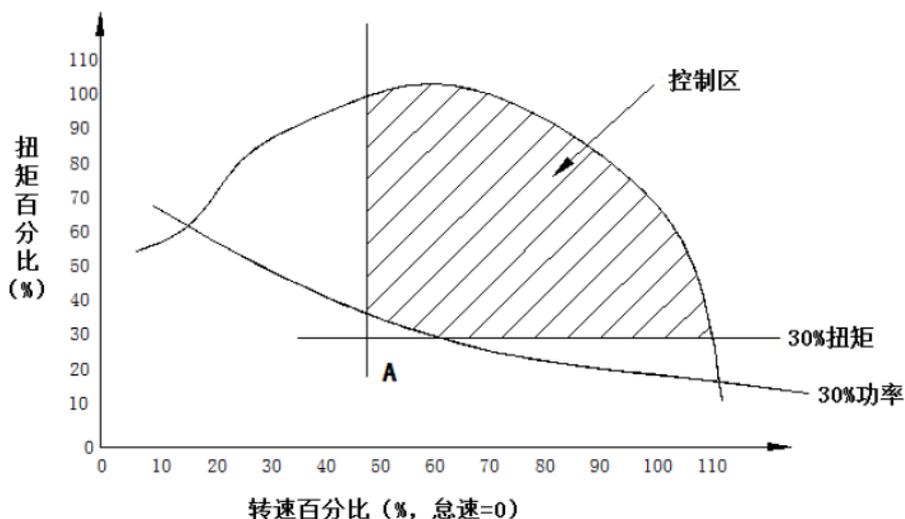


图 10 柴油机控制区

试验中应排除以下柴油机运行区域：

- a) 最大扭矩30%以下的运行区域；
- b) 30%功率对应的扭矩曲线以下的运行区域。

增加控制区的要求，使得企业在产品标定阶段细化喷油控制策略，有效避免失效策略的应用。

6.5.3 排气烟度要求

经调研，目前在用的烟度测试方法见下表。

表 14 烟度测试方法对比

烟度测试方法	测试设备	测试方法简要说明	优点	缺点
启动烟度法	不透光烟度计	记录发动整个启动过程的烟度数值，怠速烟度数值变化稳定后关闭发动机	简单易行 成本低	与实际作业工况差别较大
自由加速法	不透光烟度计	发动机从怠速将油门踏板快速、连续、均匀地完全踩到底，使喷油泵供给最大油量		—
	林格曼烟气黑度图	在排气黑度最大的地方观测排气黑度，与林格曼烟气黑度图进行比较，记录烟度值		受天气、测试技术水平影响

自由加载法	不透光烟度计	在机械装置连续正常工作过程中（装载机从铲土到装载完毕的全过程）	反映实际作业工况	根据实际工作状态确定加载方法 难度大
	林格曼烟气黑度图			

由于小型农业机械正常作业时没有足够的空间进行自由加载法试验，实际操作难度大，而启动烟度法与实际作业工况相差较大，因此采用较为方便的自由加速法进行排气烟度试验。

6.5.4 耐久性要求

耐久性要求是发动机排放标准发展的必然趋势，目前重型柴油车、轻型柴油车都有耐久性的要求。通过耐久性要求，更好的保证车辆在更长的使用时间内，发动机的排放状况一直满足相关标准要求，有效避免了由于排放控制部件严重劣化造成排放过高的现象，真正的保护了环境，并能提高企业对自己产品的质量要求，有利于行业的健康发展。因此，本标准包含了耐久性的要求。

小型拖拉机是小型农业机械的重要组成部分。经调研，对于小型拖拉机，2015年，全国机耕面积达119876.36千公顷，约1798145400亩，每亩需要进行撒种、施肥、施药等植保操作多次。小拖拉机保有量1703.04万台，按照调研所得1小时可施肥施药20亩农田的速度，估算的平均每台拖拉机年均工作时间为300h，除此之外，小型拖拉机可能还被用于其他农业操作，年均活动时间更长。国家没有明确规定小型农业机械的使用年限，而大中型拖拉机使用年限是15年，三轮运输车使用年限为6~9年。部分地方规定小型拖拉机的使用年限为10年，因此预估有效寿命为3000h。综合调研结果和GB 20891-2014中的耐久性时间要求对比，变化不大。因此，将GB 20891-2014中的耐久性试验时间要求作为本标准的耐久性时间，柴油机排放耐久性的最短运行时间或者等效运行时间应用GB 20891-2014第5.2.2条规定。