

**《非道路移动机械及其装用的柴油机
污染物排放控制技术要求
(征求意见稿)》编制说明**

标准编制组

二〇一八年二月

目 录

1 项目背景.....	110
2 行业概况.....	110
2.1 工程机械现状.....	110
2.2 农业机械现状.....	113
2.3 非道路柴油机行业现状.....	115
2.4 柴油消耗量情况.....	118
2.5 进口二手机械情况.....	119
3 必要性分析.....	119
3.1 柴油机排气污染物的危害性.....	119
3.2 第四阶段的技术要求亟待补充.....	120
3.3 行业发展带来的环境问题.....	120
3.4 现行标准实施情况和存在的问题.....	120
4 主要国家、地区及国际组织相关标准研究.....	121
4.1 ISO 标准.....	121
4.2 欧盟法规.....	123
4.3 美国法规.....	129
4.4 全球统一的非道路法规.....	136
5 国内主要相关标准.....	138
6 标准主要技术内容.....	138
6.1 瞬态测试循环的试验程序.....	138
6.2 DPF 技术路线要求和 PN 排放限值要求.....	138
6.3 车载法排放要求.....	140
6.4 鼓励性提出了更高的目标性要求.....	140
6.5 37kW 以上机械需要定位的要求.....	141
6.6 控制区的要求.....	141
6.7 排气后处理系统的控制的要求.....	143
6.8 质保期的要求.....	144
6.9 新生产机械排放达标要求及检查.....	144
6.10 在用符合性要求及检查.....	145
7 本标准与欧美相关标准的差异.....	146
8 标准实施技术可行性、环境、社会效益分析.....	147
8.1 实施本标准的环境效益和社会效益分析.....	147
8.2 实施本标准的技术可行性分析.....	148

1 项目背景

2014 年环境保护部发布了《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（中国第三、四阶段）》（GB20891-2014）标准。该标准对非道路移动机械第四阶段排放标准提出了预告性要求，包括发动机台架试验排放限值和试验循环，但第四阶段标准的总体技术要求还不完善，实施时间也未规定。该标准发布之后，标准编制单位继续积极开展相关研究，对第四阶段标准内容进行补充和完善。

标准编制组对我国的非道路移动机械及其柴油机的行业状况进行了全面调研，并通过资料调研、会议研讨等方式，对国际上主流的非道路移动机械排放法规标准进行了深入研究，结合我国大气环境管理需求和排放控制技术发展状况，初步确定了本标准的技术路线和基本框架，开始起草开题报告和标准草案。在研究过程中，通过研讨会、技术交流会等方式，与内燃机、工程机械、农业机械、排放控制零部件等行业协会和企业进行了充分的交流与沟通。

2018 年 1 月 2 日，环境保护部大气环境管理司组织召开了标准开题论证会，邀请中国内燃机工业协会、中国工程机械工业协会、中国农业机械工业协会、北京理工大学等单位的 9 名专家，对标准编制技术路线、标准定位等内容进行了论证。会后，标准编制单位按照专家意见，进一步补充研究内容，并修改完善标准文本和编制说明，形成了标准征求意见稿初稿。

2018 年 1 月 31 日，环境保护部大气环境管理司组织召开了标准征求意见稿专家审查会。标准编制组根据专家审查会意见，再次对征求意见稿和编制说明进行了修改完善。

2 行业概况

非道路移动机械种类繁多，应用领域广阔，在我国国民经济中占有重要的地位。主要的非道路移动机械有农业机械、工程机械、工业车辆等。近几年，随着我国基础建设的减少及加入 WTO 后农业保护期的结束，我国非道路移动机械行业经历了前所未有的压力，市场销售连续几年下行，整体降幅在 20% 以上。2016 年下半年开始，工程机械行业又出现复苏迹象，但农机销售整体一般。

虽然非道路移动机械行业范围十分广泛，但重点管理范围是工程机械和农业机械，因此下文主要围绕工程机械和农业机械的现状与发展趋势进行介绍。

2.1 工程机械现状

据中国工程机械协会统计，2016 年工程机械行业九大类主要产品全年累计销售 54.46 万台，同比增长 10.2%，除装载机、随车起重机销量下滑外，其余七

类主要工程机械产品均实现增长，其中，平地机、挖掘机、压路机、工业车辆、推土机等五类产品呈现两位数增长。

2.1.1 工程机械销售情况

据有关统计，截至 2016 年底，中国工程机械保有量为 673-705 万台，近十年各类主要机械产销量和工程机械保有量分别见表 1、图 1。

表 1 近 10 年各类工程机械销量统计（单位：台）

种类	液压挖掘机	推土机	装载机	平地机	摊铺机	压路机	起重机	叉车
2006	49625	5925	129834	2245	1136	8740	776	97520
2007	71241	7207	161628	3893	1347	9437	1517	152415
2008	82975	8722	162335	4320	1436	10885	1790	168119
2009	101559	8599	149355	3608	1678	19852	1351	138908
2010	179296	13911	228219	4531	3019	26281	1780	232389
2011	193891	13115	258901	5259	3386	22217	2212	313847
2012	130624	10169	181522	4347	2179	13782	1519	291333
2013	126296	9561	188405	4017	2066	15726	2642	328764
2014	103227	7742	156272	3662	1737	14270	1405	359622
2015	60514	3682	73581	2620	1804	10388	1465	327626
2016	70320	4061	67375	3184	1971	11959	1113	370067
合计	1169568	92694	1757427	41686	21759	163537	17570	2780610

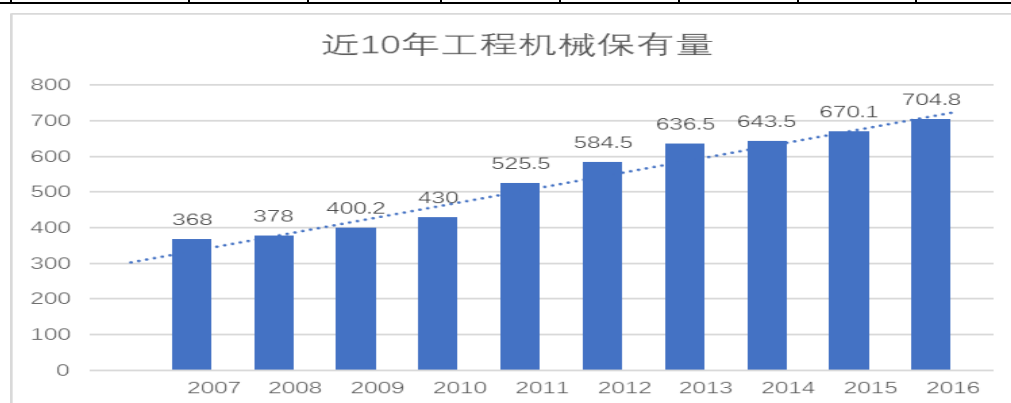


图 1 近 10 年工程机械保有量（万台）

2.1.2 工程机械保有量情况

据《机动车环境管理年报（2017）》统计，2015 年纳入统计范围的工程机械主要有 7 大类，其中装载机、叉车和挖掘机约占 95.5%，详细构成比例见图 2。按照排放阶段划分，国一及国一前的工程机械占比高，达到了 53.4%，详细构成比例见图 3。

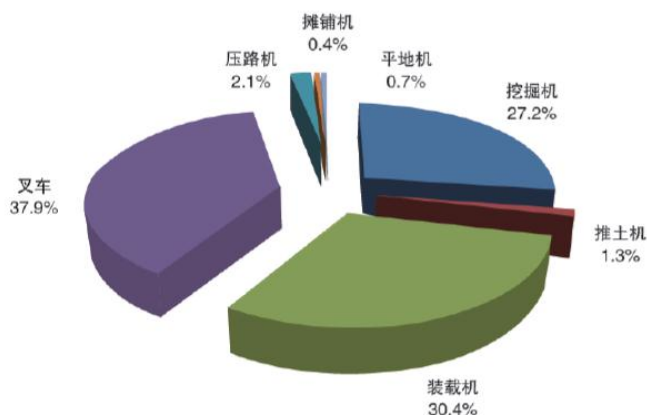


图2 2015年工程机械按照类型构成比例图

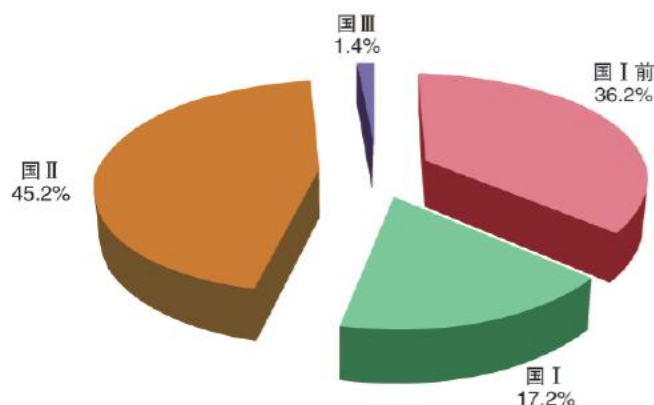


图3 2015年工程机械按照排放阶段构成比例图

2.1.3 行业发展趋势

“十三五”时期是我国全面建设小康社会的决胜阶段，工程机械行业调结构、转方式、促发展的任务十分艰巨。未来几年，全行业不仅要扭转目前发展中的被动局面，还要谋发展、推进工程机械行业由生产大国向生产强国的转变。为贯彻《中国制造 2025》战略，加速转型升级，全行业要把创新、协调、绿色、开发、共享的发展理念落实到构建行业新体系、推动行业稳定健康发展的轨道上来。同时实施“走出去”战略，深入开展国际产能合作。另一方面，2015 年 10 月开始执

行非道路第三阶段排放标准，行业一直在认真贯彻执行，努力提高自身水平，为迈向中高端铺平道路，同时创造条件推动高排放在用工程机械逐步退出市场。

2.2 农业机械现状

农业机械涉及面广泛，是种植业、畜牧业、林业和渔业等生产应用过程中动力机械和作业机械的总称。农业机械包括农用动力机械、农田建设机械、土壤耕作机械、种植和施肥机械、植物保护机械、农田排灌机械、作物收获机械、农产品加工机械、畜牧业机械和农业运输机械等。广义的农业机械还包括林业机械、渔业机械和蚕桑、养蜂、食用菌类培植等农村副业机械。

2.2.1 农业机械销售情况

根据国家统计局统计分类，农业机械分为拖拉机、联合收割机、畜牧机械等12个子类，每种类型分为不同的小类别，拖拉机、联合收割机是保有农业机械中功率分布最大的两类农用机械。根据农业机械协会统计，农机产品有4000多种。近十年我国主要农业机械产品销量见表2。

表2 近十年主要农用机械销量统计（单位：万台）

销量\种类	小麦机械	自走式玉米机械	水稻机械	大中型拖拉机	小四轮及手扶拖拉机
2006	4.9	0.12	3.6	20.1	182.3
2007	2.4	0.16	2.5	1.7	213.8
2008	3.9	0.20	3.1	21.8	187.9
2009	6.3	0.30	4.4	28.4	189.2
2010	4.3	0.90	4.1	32.1	225.4
2011	4.1	2.2	3.3	36.8	237.6
2012	3.3	2.9	6.1	36.1	96.1
2013	4.6	3.9	6.7	37.2	90.3
2014	4.4	7.0	7.1	30.5	55.9
2015	5.5	6.7	8.6	31.8	45.5
2016	4.6	5.9	10.5	30.2	38.5
合计	48.3	30.28	60	306.7	1562.5

2.2.2 农业机械保有量情况

据中国农业机械统计数据，我国农业机械总动力由 2013 年的 60386 万千瓦增加至 2015 年的 110000 万千瓦，年复合增长率平均约 5%。2016 年，我国主要的农机产品产量有升有降，拖拉机和收获机械继续下降，农副产品加工机械有较大增长。根据国家统计局统计数据显示，近十年我国主要农业机械年末拥有量大致如表 3 所示。

表 3 我国主要农用机械年末拥有量

年份 \ 类别	大中型拖拉机数量 (万台)	小型拖拉机数量 (万台)	农用排灌柴油机数量 (万台)	联合收割机数量 (万台)	合计 (万台)
2006	171.82	1567.90	836.35	56.56	2632.63
2007	206.27	1619.11	861.50	63.38	2750.26
2008	299.52	1722.41	898.39	74.35	2994.66
2009	351.58	1750.90	924.92	85.84	3113.23
2010	392.17	1785.79	946.25	99.21	3223.42
2011	440.65	1811.27	968.39	111.37	3331.68
2012	485.24	1797.23	982.31	127.88	3392.66
2013	527.02	1752.28	934.70	142.10	3356.10
2014	567.95	1729.77	936.13	158.46	3392.31
2015	607.29	1703.04	939.93	173.90	3424.16

据《机动车环境管理年报（2017）》统计，拖拉机占比超过 40%，各类机械详细构成情况见图 4。按照排放阶段划分，国一及国一前农用机械占比达到了 37.2%，详细构成情况见图 5。

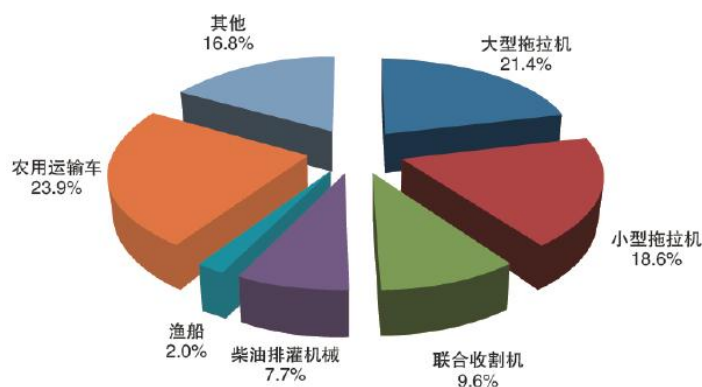


图 4 2015 年农业机械按照类型构成比例图

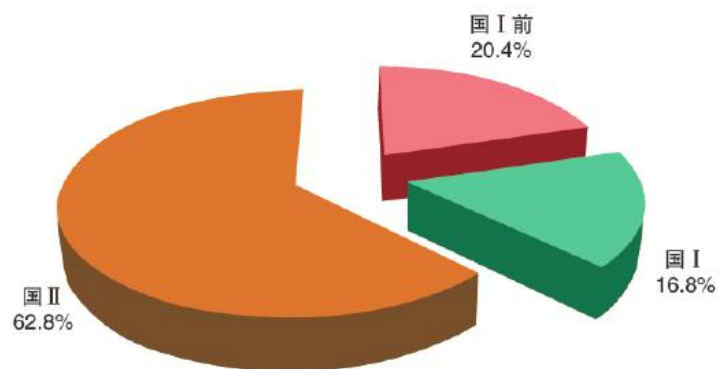


图 5 2015 年工程机械按照排放阶段构成比例图

2.3 非道路柴油机行业现状

2.3.1 单缸柴油机

我国单缸柴油机基本上以 8.8kW 为界，分为 S 系列和 R 系列，S 系列主要是指 8.8kW 以上的单缸柴油机，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，另外还广泛应用于园林管理、水泵、场地作业、发电、灌溉、消防等。R 系列主要是指 8.8kW 以下的单缸机，卧式、立式、斜式均有，风冷、水冷机型并存，直喷和涡流式兼有，主要配套手扶拖拉机、微耕机等，发电、排灌等用途为次。

单缸柴油机在我国内燃机行业中按台数统计约占 10%，是量大面广的产品，也是我国主要的机电出口产品之一。单缸柴油机主要配套农用排灌机具、手扶拖拉机等，服务于“三农”。目前，我国单缸机主要生产企业有 50 家左右，产量占到国内单缸柴油机总产量的 99% 以上。近几年单缸柴油机产销量情况见表 4。

表 4 我国单缸柴油机年产销量（单位：万台）

年份	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	销 量	产 量	销 量	产 量	销 量	产 量	销 量	产 量	销 量	产 量	产 量	销 量	产 量	销 量
产销情况	865	862	850	832	700	697	617	613	550	550	500	500	/	474
销售增幅%	11.18		-1.73		-17.65		-11.86		-10.86		-9.1%		-5.2	

2.3.2 小缸径多缸柴油机

小缸径多缸柴油机是指功率不大于 100kW，缸数不大于 4 缸的柴油机，应用领域除配套轻型汽车和低速货车外，也是大中型拖拉机、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、增压等先进技术和传统自然吸气技术并存的局面。小缸径多缸柴油机近几年产销量情况见表 5。

表5 我国小缸径多缸柴油机年产销量（单位：万台）

年份	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	产量	销量	产量	销量	产量	销量	产量	销量	产量	销量	产量	销量	产量	销量
产销量情况	334.9	334.6	326.9	320.0	308.4	302.7	327.1	328.3	/	279.6	/	269.3	/	260.4
销售增幅/%	12.36		-1.38		-8.28		8.46		-14.83		-3.68		-3.30	

2.3.3 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。是重型汽车、工程机械的主要配套动力。生产企业主要是大型企业（以车用柴油机的生产企业为主），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，车用柴油机排放控制技术对非道路柴油机进行“移植”，从开发难度和开发费用等综合因素考虑，使得该系列柴油机普遍采用增压或增压中冷、电控燃油系统等先进技术，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。从 2014 年产量来看，产量超过 10 万台企业共有六家。详细产量见表 6。

表6 2014年中等缸径柴油机年产超10万台企业情况（单位：万台）

序号	企业名称	总产量
1	A企业	57.6
2	B企业	55.8
3	C企业	30.0
4	D企业	19.3
5	E企业	15.9
6	F企业	10.1
合计		188.7

2.3.4 配套情况

非道路用柴油机主要配套行业有农业机械、工程机械、发电机组等，单缸机主要用于小型拖拉机、农机具、发电机组等，小缸径多缸柴油机主要配套大中型

拖拉机、中小型收割机、工程机械等。中等缸径多缸柴油机主要配套大型收割机和工程机械。

工程机械方面，近年来，我国工程机械行业经历了很大的下行压力，市场销售连续五年逐级下行。2016 年下半年开始，市场展现出复苏迹象，产销量均大幅度增加。

拖拉机方面，根据农机协会的统计，从 2012 年开始我国拖拉机生产企业产销量逐年走低，产销量从 132.2 万台降到了 2016 年的 68.7 万台，年均降幅 10% 左右。从我国拖拉机需求动力分析，中大型拖拉机产销量逐渐升高，小型拖拉机产销量逐渐走低，但近几年拖拉机产销量总体稳定。

发电机组方面，根据内燃机协会统计，2014 年我国内燃发电机组行业会员企业上报的产品销售量约 2.1 万台，内销约 1.5 万台。详细统计见表 7。2014 年内燃发电机组 25 家企业上报的数据显示，全年完成工业总产值 86.01 亿元，比 2013 年略有降低，发展呈平稳态势。

表7 2014年发电机组行业产品销售情况（单位：台）

功率范围/kW	内销	出口
功率<10	759	414
10≤功率<100	4715	2016
100≤功率<200	3196	829
200≤功率<300	2054	796
300≤功率<400	1483	518
400≤功率<500	1089	498
500≤功率<1000	1386	437
1000≤功率<2000	304	198
功率≥2000	92	5
合计	15078	5711

2.3.5 保有量情况

根据“十一五”国家科技支撑计划课题《环境污染物排放关键技术标准研制》研究统计，2008 年我国各类用途的非道路用发动机保有量约为 4800 多万台。其中，非道路移动机械用柴油机保有量最大，占总保有量将近一半。详细保有量分布见图 6。如图所示，我国非道路用发动机中，以非道路移动式发动机（包括移动机械用柴油机、小型点燃式发动机，船舶发动机，铁路机车内燃机）为主，占

总保有量的 70% 以上，其中，以非道路移动机械用柴油机保有量最大，占总保有量将近一半。船舶发动机和铁路机车内燃机保有量相对较少，但单机的功率很大，一般非道路柴油机最大功率不会超过 560kW，而内河船用发动机最高功率可达上千千瓦，铁路内燃机的功率则在几千千瓦。小汽油机保有量占总保有量的 20%。自 2008 年以来，非道路用发动机的增长仍以非道路移动机械为主，船舶发动机增长趋缓，铁路内燃机车保有量变化不大。

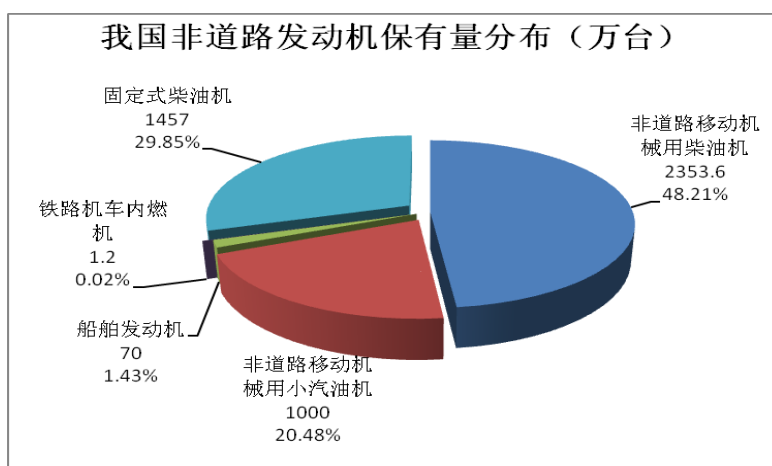


图6 我国非道路用发动机保有量分布

2.4 柴油消耗量情况

据统计，我国石油消费对外依赖度已经达到 65%，其中三分之二用于内燃机，是我国石油消耗的主体。我国的柴油年消耗量已经突破 1 亿吨，其中约有 60% 左右用于非道路用发动机。如图 7 所示，非道路移动机械（包括农业机械和工程机械）的柴油消耗量约占 36%，是各类非道路移动机械中柴油消耗量最大的。

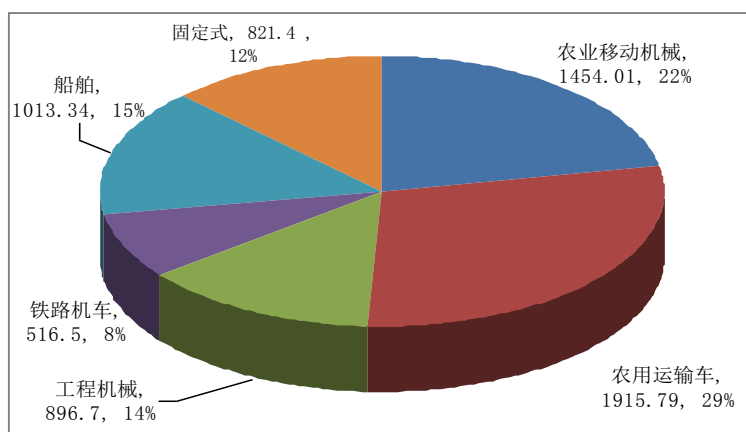


图7 各类非道路用发动机的燃油消耗量及比例^[2]

2.5 进口二手机械情况

近年来，随着我国经济的高速增长，国内部分工程机械（主要是挖掘机）的产销量不能满足日益增长的需求，造成了国外（主要是日本）大量的二手工程机械涌入我国。近几年来，年进口旧挖掘机与国内新生产挖掘机销售量对比见表 8。

表 8 进口二手挖掘机与国内新生产挖掘机销售量对比

年 度	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
进口旧挖掘机销售量(台)	18014	18900	26500	27000	14800	32800	31784	14005	13494	11051
新挖掘机销售量(台)	33462	47518	68400	83000	95012	165804	176136	115661	112404	90507
旧机与新机销量比(%)	53.8	40	38.7	32.5	15.7	19.8	18.0	12.1	12.0	12.2

2007 年，我国发布了 JB/T10694-2007《进口二手挖掘机验收规范》，针对二手机械的发动机尾气排放方面规定：2009 年 10 月 1 日前，应符合中国非道路移动机械用柴油机第一阶段排放标准要求；2015 年 10 月 1 日后，应符合中国非道路移动机械用柴油机第三阶段排放标准要求。

3 必要性分析

3.1 柴油机排气污染物的危害性

非道路移动机械尾气中含有一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO₂)、烟尘等污染物，这些污染物对人体健康有很大危害。

一氧化碳是烃燃料燃烧的中间产物，当非道路移动机械负重过大或空挡运转时，燃料不能充分燃烧，废气中一氧化碳含量会明显增加。一氧化碳由呼吸道进入人体的血液后，会和血液里的红蛋白 Hb 结合，形成碳氧血红蛋白，导致携氧能力下降，使人体出现反应，如听力会因为耳内的耳蜗神经细胞缺氧而受损害等。吸入过量的一氧化碳会使人发生气急、嘴唇发紫、呼吸困难甚至死亡。虽然对人体无副作用的一氧化碳阈值尚未确定，但长期吸收一氧化碳对城市居民身体健康是一个潜在威胁。

氮氧化物是在内燃机气缸内生成的，排放量取决于燃烧温度、时间和空燃比等因素。从燃烧过程看，排放的氮氧化物 95%以上是一氧化氮，其余的是二氧

化氮。人体受一氧化氮毒害的事例尚未发现，但二氧化氮是一种红棕色呼吸道刺激性气体，对人体影响甚大。

碳氢化合物和氮氧化物在大气环境中受强烈太阳光紫外线照射后，发生一种复杂的光化学反应，生成一种新的污染物，形成光化学烟雾，会导致支气管炎、冠心病、肺结核和心脏衰弱者死亡等事件显著增加。

柴油机所排放的颗粒物大多为 2.5 微米以下的细微颗粒，可以深入人体的肺泡之中。重要的是，这些细微颗粒是许多有毒物或致癌物的载体。美国对柴油机所排放的细微颗粒的风险评估研究表明，环境空气中每增加 10 微克/m³，由此所引发的癌症死亡率就可能增加 1%。

3.2 第四阶段的技术要求亟待补充

GB20891-2014《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）》标准，修改采用了欧盟指令 97/68/EC 及其修订指令 2004/26/EC IIIA、IIIB 阶段的技术内容。其中我国第三阶段等同于欧洲的 IIIA 阶段，第四阶段等同于欧洲的 IIIB 阶段。欧 IIIA 和 IIIB 法规内容有很大的差别，从测量方法到控制技术，都显著不同。为了满足部分地区环保需求，专家建议，在 GB20891-2014 中也一并提出了第四阶段排放限值要求和采用的试验循环，其他技术要求及实施时间后续补充。随着第三阶段标准的实施，第四阶段标准实施时间及具体要求亟待补充，因此有必要尽快对非道路第四阶段标准有关技术要求予以明确，以指导企业未来产品研发的技术方向。

3.3 行业发展带来的环境问题

据《机动车环境管理年报（2017）》统计，2016 年末，工程机械保有量突破 690 万辆，农业机械保有量突破 89783 万千瓦，NO_x 排放量达到 563.9 万吨，PM 排放量达到 47.2 万吨，与机动车排放相接近。

随着我国汽车排放标准的愈加严格，非道路移动机械的污染权重将会越来越大，现阶段排放限值已经不能满足行业技术发展的需要和国家日益严格控制环境污染的政策要求。

3.4 现行标准实施情况和存在的问题

我国于 2015 年 10 月 1 日开始实施《非道路移动机械用压燃式发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》第三阶段标准，通过标准实施发现以下问题：

- （1）排气污染物排放限值已不能满足我国当前的环保需求

随着非道路移动机械第三阶段标准的实施以及市场的迅速发展,企业根据非道路移动机械的使用特性对其装配的柴油机进行了优化和匹配,行业的整体技术水平有了较大的提升。

我国车用柴油机标准的逐步加严,使柴油车的排气污染物控制已获成效。而目前实施的非道路移动机械第三阶段标准与第四阶段相比,排气污染物的排放限值比较宽松,以功率段在 130kW-560kW 的柴油机排气污染物排放限值为例,第三阶段 NO_x 的排放限值是第四阶段的近两倍,PM 的限值是第四阶段的八倍。随着我国基础建设及工农业生产对非道路移动机械的需求量不断攀升,面对当前巨大的大气环境压力和成熟的排放控制及后处理技术,有必要也有条件对非道路移动机械实施更加严格的排放控制要求,以进一步提升我国非道路移动机械排气污染物的排放控制水平。

(2) 现行标准缺失对机械排放的监管

《中华人民共和国大气污染防治法》对非道路移动机械的排气污染物排放提出了明确要求,但现行 GB20891-2014 第三阶段标准仅针对发动机进行台架试验,生产一致性检查也仅限于发动机,并未对发动机装配到机械后的污染物排放情况进行检验。由于台架试验无法完全模拟出机械的实际作业条件,台架试验的排放测试结果无法直接反映出机械作业时机械的实际排放情况,若缺乏相应的标准法规,标准的实施效果将会大打折扣。当前,PEMS 已成熟应用到柴油车的整车排放监督检查中,当前已具备相应技术条件,将其引入到对非道路移动机械的排放监督检查中。因此,对现行的 GB20891-2014 进行必要的补充,制定针对机械排放的检验方法,为非道路移动机械排气污染物排放的有效监管提供了依据。

4 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

4.1 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 届国际标准化组织大会上,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 9),每一部分对往复式内燃机排放测量做了相应规定。欧盟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,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(ISO8178-1《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（ISO8178-2《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9 ISO8178系列标准

标准号	标准名称
ISO8178-1:2009	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
ISO8178-2:2008	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
ISO8178-3:1996	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
ISO8178-4:2009	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
ISO8178-5:2008	往复式内燃机排放测量 第 5 部分：测试燃油
ISO8178-6:2001	往复式内燃机排放测量 第 6 部分：测量结果和检测报告
ISO8178-7:1997	往复式内燃机排放测量 第 7 部分：发动机系族定义
ISO8178-8:1997	往复式内燃机排放测量 第 8 部分：发动机系组定义
ISO8178-9:2001	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
ISO8178-10:2003	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
ISO8178-11:2006	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 ISO8178-4《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（见图 8）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。

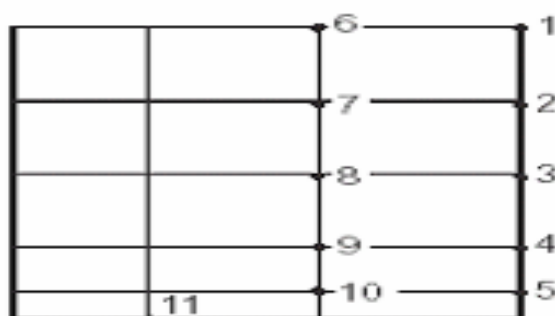


图8 ISO8178-4基准试验循环

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 9。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。

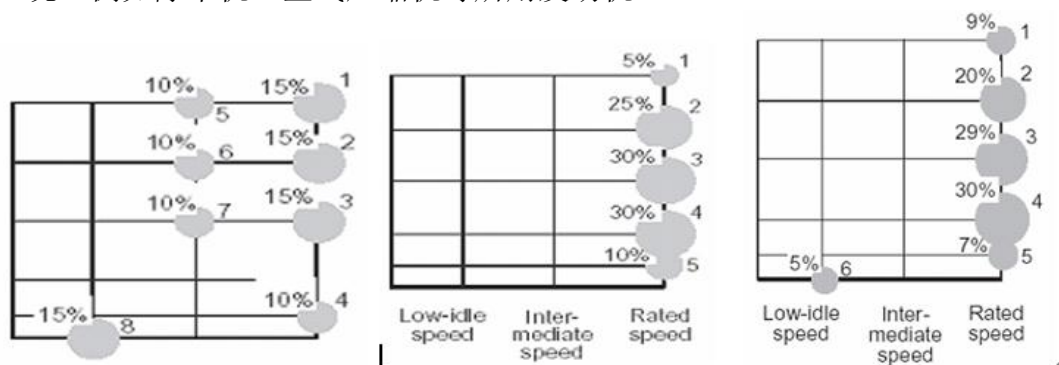


图9 非道路移动机械用柴油机试验循环

4.2 欧盟法规

4.2.1 发展历程

1998年2月27日，第一个欧盟非道路移动机械用柴油机排放法规以立法形式通过，即 97/68/EC 指令。该法规分为两个阶段：第 I 阶段于 1998 年实施；第 II 阶段于 2001~2004 年执行，法规的实施时间因柴油机功率输出大小不同而不同。排放法规涵盖的设备有：工业用钻机、压缩机、轮式装载机、推土机、非公路用卡车、挖掘机、叉车、道路养护设备、铲雪机、机场地面支持设备、塔吊和移动式起重机。该法规不包括轮船、机车、飞行器和发电机组用柴油机。

2000年12月18日，欧盟委员会对 Directive 97/68/EC 提出了修正案，将功率小于 19kW 的非道路用汽油发动机纳入其中。以 COM (2000) 840 文档出版的该提案，使欧盟与美国现行的小型发动机的排放标准在更大范围内取得一致。

2002年12月27日，对 97/68/EC 指令进行第三次修订为 2004/26/EC 指令。控制范围增加了内河船、机车、轮轨用柴油机，提出了非道路柴油机的 IIIA、II IB、IV 阶段的要求。

4.2.2 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应，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。第 II 阶段功率范围从 18kW 到 560kW。第 III 阶段分为 IIIA 和 IIIB 两个阶段，IIIA 阶段功率范围从 19kW 到 560kW；IIIB 阶段功率范围从 37kW 到 560kW。第 IV 阶段功率范围从 56kW 到 560kW。2016 年 9 月，欧盟发布了 V 阶段法规 (EU) 2016/1628，该法规控制范围修改为全功率段控制。

4.2.3 排放限值及实施日期

柴油机各阶段排放限值及实施时间，见表 10。对比欧盟法规第 II 和 IIIA 限值及实施时间可以发现，根据功率段的不同，从第 II 阶段过渡到 IIIA 阶段，用了 3 至 6 年的时间。从排放限值来看，从第 II 阶段过渡到 IIIA 阶段，主要是加严了 NO_x 和 THC 的控制要求，CO 的限值没有改变，PM 也仅仅是 19kW 到 37kW 之间的机型加严了 12.5%。而 NO_x 和 THC 根据功率段的不同，加严了 21% 到 43%。可见欧盟 IIIA 阶段主要就是加严对 NO_x 和 THC 的控制。同样对比 IIIA 和 IIIB，主要加严了 PM 排放限值，加严幅度在 90% 以上。IV 阶段比 IIIB 又大幅加严 NO_x 的控制要求，加严幅度在 80% 以上。V 阶段与 IV 阶段限值基本一致，但 19kW-560kW 之间的柴油机增加了颗粒物数量的要求，详见表 11。

表10 欧盟非道路柴油机污染物排放限值及实施时间

标准阶段	功率段划分 (kW)	排放限值 (g/kWh)					实施日期
		CO	THC	HC+NO _x	NO _x	PM	
欧 I	37≤P<75	6.5	1.3		9.2	0.85	1998.07.01
	75≤P<130	5.0	1.3		9.2	0.7	
	130≤P≤560	5.0	1.3		9.2	0.54	
欧 II	18≤P<37	5.5	1.5		8.0	0.8	2000.01.01
	37≤P<75	5.0	1.3		7.0	0.4	2003.01.01
	75≤P<130	5.0	1.0		6.0	0.3	2002.01.01
	130≤P≤560	3.5	1.0		6.0	0.2	2001.01.01
欧 IIIA	19≤P<37	5.5		7.5		0.6	2006.01.01
	37≤P<75	5.0		4.7		0.4	2006.01.01
	75≤P<130	5.0		4.0		0.3	2006.01.01
	130≤P≤560	3.5		4.0		0.2	2005.07.01
欧 IIIB	P:37≤P<56	5.0		4.7		0.025	2011.01.01

	N:56≤P<75	5.0	0.19		3.3	0.025	2011.01.01
	M:75≤P<130	5.0	0.19		3.3	0.025	2011.01.01
	L:130≤P≤560	3.5	0.19		2.0	0.025	2010.01.01
欧 IV	R:56≤P<130	5.0	0.19		0.4	0.025	2014.01.01
	Q:130≤P≤560	3.5	0.19		0.4	0.025	2013.01.01

表11 欧盟非道路V阶段限制要求

功率段划分 (kW)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HC+ NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	PN (#/kWh)	实施 日期
$P_{max} > 560$	3.5	0.19	3.5, 0.67 ⁽¹⁾	—	0.045	-	2019.1.1
$130 \leq P_{max} \leq 560$	3.5	0.19	0.40	—	0.015	1×10^{12}	
$56 \leq P_{max} < 130$	5.0	0.19	0.40	—	0.015	1×10^{12}	2020.1.1
$37 \leq P_{max} < 56$	5.0	—	—	4.7	0.015	1×10^{12}	2019.1.1
$19 \leq P_{max} < 37$	5.0	—	—	4.7	0.015	1×10^{12}	
$P_{max} < 19$	5.5			7.5	0.40	-	

4.2.4 试验循环

标准在第 I、II 和 IIIA 阶段，使用 ISO8178 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 和 V 阶段（不小于 19kW）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 12。

表12 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 13。

表13 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、IV 和 V 阶段，引入了瞬态试验循环（NRTC），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 10。

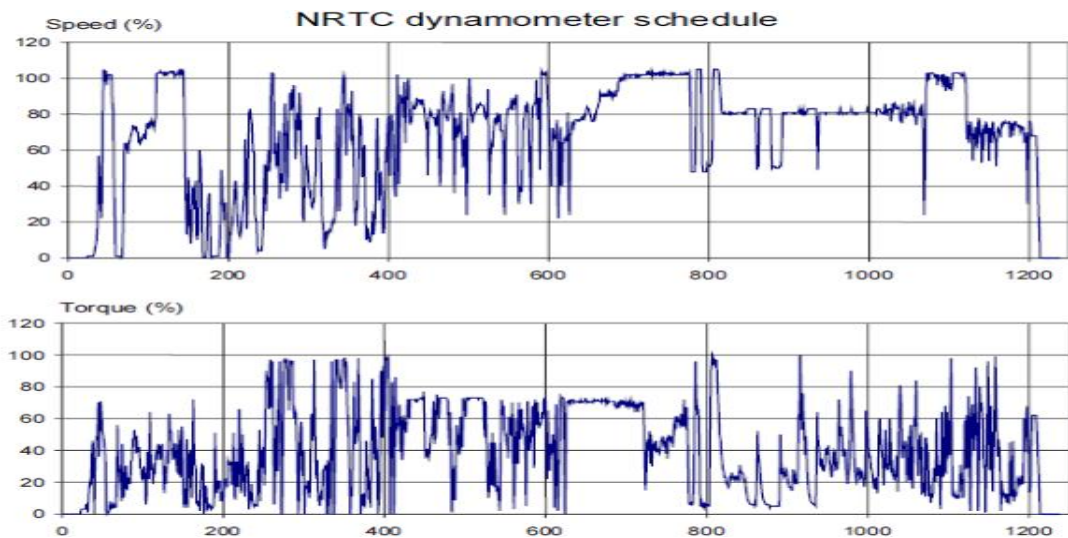


图10 NRTC试验循环

4.2.5 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表 10 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，其有效寿命是不一样的，各功率段发动机的有效寿命见表 14。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。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，分别在磨合期结束时、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 14 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15。

如表 15 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 $DFs=2.432/2.232=1.090$ 。

表15 最小二乘法计算柴油机裂化系数

序号	试验时间 x	排放数值 y	备注
1	0	2.23	$\alpha = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$ $b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \alpha \sum_{i=1}^n x_i$
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

4.2.6 基准燃油参数

随着标准限值的加严，发动机需要采用更先进的排放控制技术，例如高压共轨、单体泵、EGR、DOC 等，这些技术对燃油品质提出了更高的要求。例如硫含量过高，会生成大量的硫酸盐，加速燃油系统的磨损，甚至造成喷油器的阻塞，影响燃油系统的正常工作，同时硫含量过高会严重影响排气后处理系统的正常工作，造成硫中毒等。因此从 IIIA 阶段开始，燃油硫含量降到了 300ppm，从 IIIB 阶段开始，硫含量降到了 10ppm，与车机第 VI 阶段燃油硫含量一致。各阶段燃油主要参数对比见表 16。

表16 欧盟各阶段基准燃油参数

参数	十六烷值		硫含量 (ppm)	
	最小	最大	最小	最大
标准				
欧I、欧II	45	50	1000	2000
欧IIIA	52	54	/	300
欧IIIB、欧IV	/	54	/	10

4.2.7 欧盟 IIIB 和 IV 阶段的介绍

欧盟在 2012 年发布了 97/68/EC 的最新修订版 2012/46/EC，主要是增加、完善 2004/26/EC 中 IIIB 和 IV 阶段的部分要求。主要变化有：

(1) 从 IIIB 阶段开始，增加了“NO_x control”的控制要求。类似于美国的 NTE 标准。主要就是考察柴油机在主要的工作区域内 NO_x 的变化情况。同时，从 IIIB 阶段开始，后处理技术开始使用，标准中增加了反应剂和后处理装置的监控要求。

(2) 从 IV 阶段开始，增加了曲轴箱排放的控制要求，曲轴箱排气要求单独测量，除非曲轴箱废气不直接排入大气中。同时也要计算其劣化系数。

(3) 增加了 CO₂ 的监控要求。CO₂ 污染物排放没有规定限值，但要求稳态的试验循环 CO₂ 排放量要高于瞬态试验循环的 CO₂ 排放量。

4.2.8 欧洲最新第五阶段法规介绍 (EU2016/1628)

2016 年 9 月 14 日，欧盟发布了非道路移动机械用最新的污染物排放标准，即 EU2016/1628 号法规。2016 年 11 月 19 日，又陆续发布了 EU2016/1628 的配套法规即 EU2017/654 技术要求、EU2017/655 在用车管理要求和 EU2017/656 文件管理要求。

相比于 IV 阶段，主要增加了 PEMS 和 PN 的测试要求。PEMS 测试的增加，主要是“大众门”事件后，欧洲意识到了只是源头控制，是无法保证机械在有效寿命期内稳定达标的，同时近些年来，PEMS 测试技术取得了很大进步，具备了在非道路移动机械上的应用。同时，由于 PEMS 测试设备还是比较大的，在一些较小的机械上还无法安装，因此欧 V 标准 PEMS 的使用范围为 56kW 到 560kW 的非道路移动机械。同时，因为欧 V 制定过程中，并没有大量 PEMS 非道路移动机械的测量数据，限值的制定缺少数据支持，因此现阶段标准要求企业分 4 年每年提供 9 台机械的测试数据，为未来非道路 PEMS 制定限值提供数据支持。

对 19kW 到 560kW 的非道路移动机械发动机增加了 PN 的要求，这也是全球第一个对 PN 提出要求的非道路移动机械标准。柴油机行业发展到目前阶段，柴油机排气污染物中颗粒物的质量越来越小，对设备的测量精度提出了更高的要求，同时人们也逐渐认识到对人体有害的颗粒物主要是可吸入颗粒物，通常是指粒径在 10 微米以下的颗粒物，即我们常说的 PM₁₀。增加 PN 的要求，对柴油机的颗粒物排放有了更准确的控制方向。

4.3 美国法规

4.3.1 标准发展历程

美国是世界上控制非道路用柴油机尾气排放最早的国家。美国国家环保局(EPA)从 1990 年开始着手研究和限制非道路用柴油机的尾气排放。1998 年 8 月 27 日，EPA 签署了 40 CFR PART89 法规，规定了非道路用柴油机第一、二、三阶段排放标准。

40 CFR PART 1039 是美国非道路移动机械用柴油机第四阶段的排放标准，该标准从 2008 年分功率段逐步开始实施，从 2008 年到 2014 年是标准的过渡期，过渡期内有相应限值要求，2014 年以后，正式实施第四阶段限值要求。

4.3.2 适用范围

非道路移动机械用柴油机，功率小于 37kW 船用柴油机。

4.3.3 排放限值及实施日期

Tier1到Tier3，各功率段排放限值及实施时间，见表17。

表17 排放限值实施时间

功率 (kW)	阶段	实施时间	排放限值 (g/kWh)				
			NO _x	THC	NMHC+NO _x	CO	PM
P<8	Tier1	2000	/	/	10.5	8.0	1.0

	Tier2	2005	/	/	7.5	8.0	0.80
8≤P<19	Tier1	2000	/	/	9.5	6.6	0.80
	Tier2	2005	/	/	7.5	6.6	0.80
19≤P<37	Tier1	1999	9.2	/	/	/	/
	Tier2	2004	/	/	7.5	5.5	0.40
37≤P<75	Tier1	1998	9.2	/	/	/	/
	Tier2	2004	/	/	7.5	5.0	0.4
	Tier3	2008	/	/	4.7	5.0	
75≤P<130	Tier1	1997	9.2	/	/	/	/
	Tier2	2003	/	/	6.6	5.0	0.30
	Tier3	2007			4.0	5.0	
130≤P<225	Tier1	1996	9.2	1.3	/	11.4	0.54
	Tier2	2003	/	/	6.6	3.5	0.20
	Tier3	2006	/	/	4.0	3.5	
225≤P<450	Tier1	1996	9.2	1.3	/	11.4	0.54
	Tier2	2001	/	/	6.4	3.5	0.20
	Tier3	2006	/	/	4.0	3.5	
450≤P≤560	Tier1	1996	9.2	1.3	/	11.4	0.54
	Tier2	2002	/	/	6.4	3.5	0.20
	Tier3	2006	/	/	4.0	3.5	
P>560	Tier1	2000	9.2	1.3	/	11.4	0.54
	Tier2	2006	/	/	6.4	3.5	0.20

Tier 4 功率段划分与前 3 各阶段有些区别，各功率段更趋向于欧盟的划分，详细划分功率段见图 11。

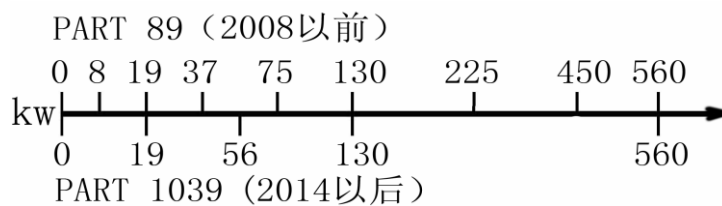


图11 PART89与PART1039功率段划分区别

Tier 4 从 2008 年开始实施，2008 年到 2014 年为标准的过渡时期，2014 年后正式实施 Tier4，在过渡期相比 Tier 3 只是加严了 NO_x 的排放限值，过渡期结束后又加严了颗粒物的限值要求，这样既给企业留出了足够的时间进行产品升级，也避免了直接到第四阶段造成的产品价格激增。

过渡时期各个功率段排放限值见表 18。2014 年及其之后的发动机排放限值见表 19。

表18 Tier4 过渡时期排放限值

功率 (kW)	实施日期	排放限值 (g/kWh)				
		CO	NMHC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
19≤P <37	2008-2012	5.5	/	7.5	/	0.30
37≤P <56	2008-2012	5.0	/	4.7	/	0.30
56≤P <130	2012-2014	5.0	0.19	/	3.4	0.02
130≤P ≤560	2011-2013	3.5	0.19	/	2.0	0.02
P >560	2011-2014	3.5	0.40	/	3.5(0.67 ¹)	0.10

1、大于 900kW 的可移动式发电机组用柴油机采用该限值。

表19 2014年及其之后的发动机排放限值

功率 (kW)	范围	排放限值 (g/kWh)				
		CO	NMHC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
P<19	全部	6.6	/	7.5	/	0.40
19≤P <56	全部	5.0	/	4.7	/	0.03
56≤P <130	全部	5.0	0.19	/	0.40	0.02
130≤P ≤560	全部	3.5	0.19	/	0.40	0.02
P >560	发电机组	3.5	0.19	/	0.67	0.03
	非发电机组	3.5	0.19	/	3.5	0.04

4.3.4 试验循环

Tier 1 到 Tier 3，非恒定转速柴油机测试循环采用八工况循环，如工程机械、农用机械用柴油机，恒定转速柴油机测试循环采用五工况循环，详细试验循环见表 20、表 21。Tier 4 加入瞬态试验循环，具体试验循环与欧盟一致，瞬态测试循环不适用于恒速发动机和 560kW 以上的发动机。不同功率段实施时间不同，各功率段瞬态试验实施时间见表 22。

表20 非恒速柴油机8工况测试循环

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

表21 恒速柴油机5工况测试循环

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

表22 瞬态试验循环实施时间

功率 P (kW)	实施时间 (年)
$P < 19$	2013
$19 \leq P < 56$	2013
$56 \leq P < 130$	2012
$130 \leq P < 560$	2011

4.3.5 有效寿命、召回期和质保期

(1) 有效寿命 (useful life)

EPA 的有效寿命与欧盟基本是一样的，只是因为控制范围的不同，增加了 19kW 以下发动机的有效寿命规定。同时有效寿命还有年限的规定，小时数和年限，以先到为准。耐久试验时间为柴油机有效寿命的 20%~30%，一般选取 25%。

通过耐久性试验确定劣化系数。在整个试验过程中至少测试 3 次排放, 即 0 小时, 中间小时、耐久试验结束时, 根据最小二乘法计算劣化系数, 有效寿命的规定见表 23。

表23 有效寿命的规定

功率 (kW)	工作特性	额定转速	有效寿命	
			时间 (小时)	年限 (年)
$P < 19$	恒速/非恒速	任何转速	3000	5
$19 \leq P < 37$	恒速	≥ 3000	3000	5
	恒速	< 3000	5000	7
	非恒速	任何转速		
$P \geq 37$	恒速/非恒速	任何转速	8000	10

(2) 召回期 (recall)

标准中规定, 根据发动机的额定功率和额定转速确定需要召回检测的周期。召回发动机的类型不需要考虑发动机实际使用的年限或工作时间。

(a) 对于额定功率小于 19kW 的所有发动机和额定功率小于 37kW 并且额定转速大于或等于 3000r/min 的恒速发动机, 需要召回检测的周期是 2250 小时或 4 年, 以先到者为准。

(b) 对于额定功率大于或等于 19kW 并小于 37kW 的所有其它发动机, 需要召回检测的周期是 3750 小时或 5 年, 以先到者为准。

(c) 对于额定功率大于或等于 37kW 的所有发动机, 需要召回检测的周期是 6000 小时或 7 年, 以先到者为准。

关于召回期的规定见表 24。

表24 召回期的规定

功率 (kW)	工作特性	额定转速	召回期	
			时间 (小时)	年限 (年)
$P < 19$	恒速/非恒速	任何转速	2250	4
$19 \leq P < 37$	恒速	≥ 3000	2250	4
	恒速/非恒速	任何转速	3750	5
$P \geq 37$	恒速/非恒速	任何转速	6000	7

(3) 质保期 (warranty)

根据美国《空气清洁法》和 PART 89 标准规定，生产企业对其产品应提供相应的担保期：对于额定功率小于 19kW 的所有发动机和额定功率小于 37kW、额定转速超过 3000 转的恒速发动机是 1500 小时或 2 年，以先到者为准；对于其它发动机是 3000 小时或 5 年，以先到者为准。如果生产企业对一些部件有较长质保期（收费或免费），则对这些部件的排放相关保证也应延长该质保期。详细规定见表 25。

表25 质保期规定

功率 (kW)	工作特性	额定转速	质保期	
			时间 (小时)	年限 (年)
P < 19	恒速/非恒速	任何转速	1500	2
19 ≤ P < 37	恒速	≥ 3000	1500	2
	恒速/非恒速	任何转速	3000	5
P ≥ 37	恒速/非恒速	任何转速		

4.3.6 管理制度

(1) 监督管理

美国《空气清洁法》section 206 授权给美国 EPA 对新生产发动机进行监督检查和测试的权利：检验生产企业批量生产产品，以及最终产品是否符合法规；每个发动机是否正确安装了正确零部件；生产企业的认证测试程序是否正确；使用寿命期内的发动机是否符合法规限值。因此，监督管理分为 EPA 检查和企业检查两个部分，以企业自检查为主，EPA 审核资料为辅（不排除 EPA 亲自检查），通过系列方法保证发动机排放在整个使用寿命期内达标，相关的管理制度在排放标准中都有明确、详细的论述，方便操作性，强调信息的可追溯性。

企业自检查包括四部分，分别是“确认试验”、“审核过程”、“生产线试验”和“在用发动机检测”。

确认试验 (Confirmatory Testing)：要求发动机生产企业对新机型 (prototype) 进行确认试验，试验结果和信息需报 EPA，并作为认证申请内容。

审核过程：EPA 可能要求在 EPA 试验室对该新机型进行重复试验。生产企业应将有关记录保留 8 年时间（包括试验条件）。

生产线试验 (Production-line Testing, PLT)：生产企业应对其下线的发动机进行排放试验，并将结果运用统计学方法进行生产一致性确认，希望通过早期的控制手段来检查和修正错误，将排放控制费用最小化。EPA 对进行 PLT 试验的抽样数量有规定，生产企业应将 PLT 结果报 EPA（每季度前 45 天内），并将

相关记录保留 8 年。若 PLT 试验结果表明某一系族出现超标情况，则暂停该系族认证证书，EPA 将与生产企业一起检查和调整生产问题，生产企业必须采取补救措施。恢复认证证书是在 PLT 试验通过后，生产企业提交一份同初次检查时相同报告和申请恢复生产的报告。

在用发动机检测：生产企业应对实际使用了一年以上的发动机进行检测，以确认在有效使用寿命期内发动机是否符合排放标准的要求。相关检测信息需报 EPA。

选择性强制检查 (Selective Enforcement Auditing, SEA)

EPA 有权对所有发动机和机械生产企业进行选择强制检查，并通过检查来核查生产企业申报数据的可信性，检测程序是否符合法规要求等。具体过程可能为在 EPA 监督下在同一试验室重复确认试验。SEA 检查对象的选取来自生产企业报 EPA 的一定时期内产品计划，EPA 从中选择。有关 SEA 检查结果生产企业应保留 1 年以上时间。

(2) 具有弹性的管理政策

美国《空气清洁法》1990 修正案后，重要变化是管理政策的灵活性、实用性和有效性，逐步成为美国排放法规的特色之一。其基本出发点是从排放总量控制理念出发，不牺牲环境利益为前提，来平衡经济发展与环境保护。但过于灵活的管理政策使得管理程序和内容复杂化，同时需要更加严格谨密的监督机制来保证。

(a) ABT 制度

ABT 指平均、存储、交易。平均指一个型年中不同系族之间可以交换信用值；存储指将产生并折扣后的信用值，可留待将来使用；交易指在不同生产企业间交易信用值。其具体操作方式如下：企业在进行认证期间，申明其发动机系族的排放限值，即 FEL。在型年结束后，生产企业向 EPA 提交信用 (Credit) 报告，

$$\text{信用度 (Credit)} = \text{系族排放限值} \times \text{CF} \times \text{有效寿命} \times \text{产量} \times 10^{-6}$$

其中：CF 为瞬态循环转换系数，即 NRTC 循环功/里程数。

EPA 对生产企业上报的信用报告进行现场 ABT 审核。

(b) 小批量政策

对于小批量 (Small Entity Flexibility) 产品，标准中有明确规定，对其减免一些检查项目。系族认证也适用于小批量、延长对其的检查时间等。

4.3.7 基准燃油

在 Tier1 和 Tier2 阶段，EPA 没有对非道路移动机械用柴油机用燃油中的硫含量做出具体规定，炼油工业中的硫含量最大为 0.5%，实际使用过程中硫含量基本在 0.3%。为了推动 Tier3 和 Tier4 阶段柴油机新技术的应用，EPA 对燃油中

的硫含量做出了规定。2007年6月开始，非道路用柴油机使用的柴油中硫含量不得超过500ppm；2010年6月开始，不同功率段非道路用柴油机陆续使用硫含量不得超过15ppm的柴油。

4.4 全球统一的非道路法规

4.4.1 标准发展历程

全球统一的非道路法规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要求相对应，没有制定统一的排放限值要求，也没有统一的实施日期。

4.4.2 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。

4.4.3 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（见表26、277）。

表 26 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 27 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

4.4.4 基准燃油

因为不同国家的燃油技术参数存在不同，GTR No.11 标准中规定了三种可供选择的基准燃油，分别与欧盟、美国、日本的基准燃油。主要燃油参数见表 28。

表 28 GTR No. 11 规定的基准燃油主要参数

国别	十六烷值		运动黏度 mm ² /s		多环芳香烃 m/m		硫含量 mg/kg	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
欧盟	52	54	2.3	3.3	2.0	6.0		10
美国	40	50	2.0	3.2		35	7	15
日本	53	60	3.0	4.5		5.0		10

5 国内主要相关标准

2014 年 5 月 16 日，我国发布了 GB20891-2014《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量法（中国第三、四阶段）》。本标准是 GB20891-2014 第四阶段的有效补充。

6 标准主要技术内容

6.1 瞬态测试循环的试验程序

GB20891-2014 标准对于第四阶段的要求仅有试验循环和排放限值要求，瞬态测试循环过程中的技术要求并没有提出。本标准参考欧盟 2012/46/EU 指令，增加了瞬态测试循环的具体要求，包括基准试验循环的形成、排放试验的运行、测量和取样规程以及数据评估和计算。

6.2 DPF 技术路线要求和 PN 排放限值要求

近年来，我国 PM_{2.5} 浓度居高不下，严重影响了社会公众生活和身体健康。非道路移动机械污染排放是影响大气环境质量的重要因素。为进一步加严柴油机颗粒物排放要求，本标准对装用 37kW 到 560kW 柴油机的非道路移动机械增加了加装壁流式颗粒物捕集器的要求，同时提出了颗粒物数量应小于 5×10¹²#/kWh 的要求，且要求颗粒物捕集器再生时不能有可见烟。

限值的确定主要基于以下两个方面的考虑：第一，综合考虑目前我国柴油机及零部件行业整体技术水平与欧美发达国家差异，同时也考虑了欧洲在 DPF 方便最新研究成果（见图 16）；第二，充分考虑各种后处理系统对颗粒物的捕集效率，来实现标准引导 DPF 技术路线的目的。

PN 的增加需要发动机后处理系统增加 DPF 才能满足限值的要求，标准编制组充分利用现有资源，对国内外采用 DPF 路线的柴油机进行了验证试验。这些机型都是属于车用国六或者国五的机型，其原始排放本身较好，部分机型试验结果见表 30。通过试验数据我们能够看出，增加 DPF 后处理后，柴油机的 PN 都

在 10^{13} 内，使用 POC 技术路线的车用国五柴油机，其 PN 在 10^{14} 数量级，限值能够满足引导用户采用 DPF 路线的要求。

表 29 采用 DPF 路线 PN 排放结果表

机型后处理系统配置	试验工况	裸排 PN (#/kWh)	增加 DPF 后 PN (#/kWh)
SCR+DPF	NRTC	3.38×10^{13}	1.04×10^{11}
SCR+DPF	NRTC	2.61×10^{13}	4.49×10^{11}
SCR+DPF	NRTC	3.07×10^{13}	2.79×10^{11}
EGR+SCR+DPF	NRTC	4.27×10^{13}	5.77×10^{10}
SCR+DPF	NRTC	6.16×10^{12}	8.59×10^{11}
DOC+DPF	NRSC	/	5.94×10^{12}
DOC+DPF	NRSC	/	2.64×10^{12}
DOC+DPF	NRSC	/	7.32×10^{10}
DPF	NRSC	/	2.15×10^{11}
DPF	NRSC	/	1.53×10^{11}
/	NRSC	6.56×10^{13}	/
DOC+POC	ETC	2.5×10^{14}	1.3×10^{14}
	ESC	2.6×10^{14}	1.2×10^{14}

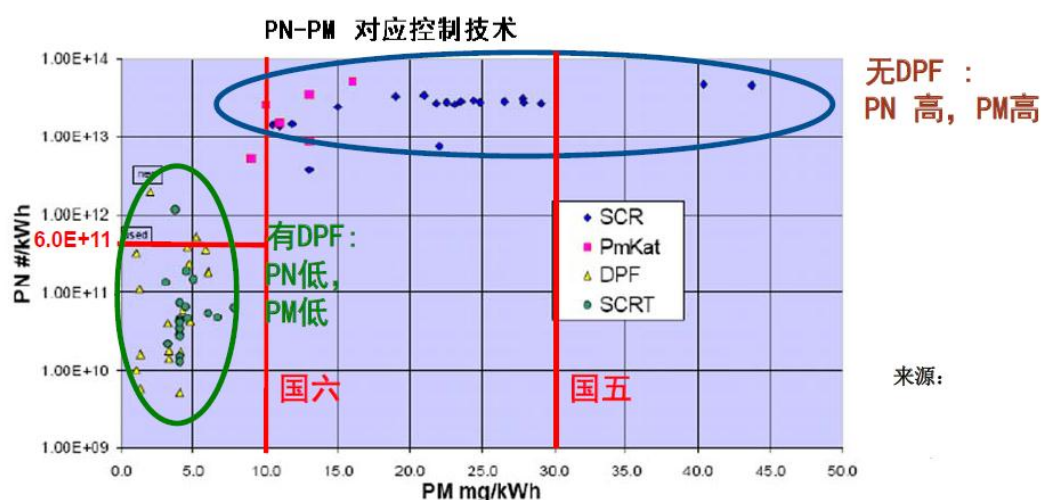


图 12 不同技术路线 PN 排放结果

6.3 车载法排放要求

为确保非道路移动机械监管效果，本标准增加了 PEMS 测试要求，要求测量的 90%有效功基窗口的 NO_x 比排放量小于限值的 2.5 倍，同时要求进行 PEMS 测试时，不能有可见烟。

2.5 倍限值的制定主要基于五个方面的考虑：一是标准要求发动机的控制区域内单点的比排放量小于限值的 2 倍，而排放控制区基本包括了非道路移动机械的主要工作区间；二是在 SCR 尿素质量判定的条款里规定了如果 NO_x 测量超过了限值的 2.25 倍时机械报警要求，即 SCR 正常工作的状态下，NO_x 的测量结果不应该超过限值的 2.25 倍；三是非道路移动机械的工作特性决定了非道路柴油机工作转速和负荷相对固定，因此它主要工作区域的排放更好控制；四是综合考虑 PEMS 设备及 PEMS 试验的环境等影响，再把限值适当放大到 2.5 倍；五是因全球非道路移动机械 PEMS 监管尚属于刚刚起步阶段，2.5 倍的限值要求能够满足现阶段对 NO_x 控制策略不正确运行的机械的监管。

标准编制组对该限值进行了验证，试验数据见表 30。通过实验结果可以看出，发动机只要正常运行排放策略，NO_x 排放结果是可以满足标准限值要求的。

表 30 非道路 PEMS 试验数据汇总

类型	柴油机最大净功率 kW/rpm	排放结果 (g/kWh)	台架限值 (g/kWh)	PEMS/台架 比值
A 拖拉机	95.6/2200	5.668	4.0	1.42
B 装载机	162/2000	6.281	4.0	1.57
C 挖掘机	120/2000	5.631	4.0	1.41
D 摊铺机	193.5/2100	1.982	2.0	0.99
E 挖掘机	124/2000	1.715	3.3	0.52
F 叉车	85/2200	4.788	3.3	1.45
G1 挖掘机	317/2000	0.206	0.4	0.52
G2 挖掘机 ¹	317/2000	2.67	0.4	6.68

¹ 该机型试验开始时，中断尿素供应。

6.4 鼓励性提出了更高的目标性要求

为引导企业产品开发，本标准提出了鼓励性目标要求（见表 31），以引导企业提早规划非道路新产品的技术路线。同时也鼓励企业在第四阶段就采用更加节能环保的先进技术。

表 31 目标性要求

P _{max} (kW)	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NO _x (g/kW.h)	HC+ NO _x (g/kW.h)	PM (g/kW.h)	PN (#/kW.h)
P _{max} > 560	3.5	0.19	3.5, 0.67 ⁽¹⁾	—	0.045	-

$130 \leq P_{\max} \leq 560$	3.5	0.19	0.40	—	0.015	1×10^{12}
$56 \leq P_{\max} < 130$	5.0	0.19	0.40	—	0.015	1×10^{12}
$37 \leq P_{\max} < 56$	5.0	—	—	4.7	0.015	1×10^{12}
$19 \leq P_{\max} < 37$	5.0	—	—	4.7	0.015	1×10^{12}
$P_{\max} < 19$	5.5			7.5	0.40	-

⁽¹⁾ 适用于可移动式发电机组用 $P_{\max} > 900\text{kW}$ 的柴油机。

6.5 37kW 以上机械需要定位的要求

由于我国非道路移动机械没有挂牌和注册登记制度,为了更好地实现对机械的监管,本标准对装用 37kW 到 560kW 柴油机的非道路移动机械,增加了精准定位要求。为实现非道路移动机械监管远程监控奠定了良好的基础。

6.6 控制区的要求

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,为了能够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。本部分要求修改采用了欧盟 EU2016/1628 法规关于控制区部分的要求。

柴油机控制区是由柴油机的四条特性曲线确定的一个区域,分别为柴油机功率曲线、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即为控制区(见图 13),这个区域基本包括了柴油机日常的运转区间。

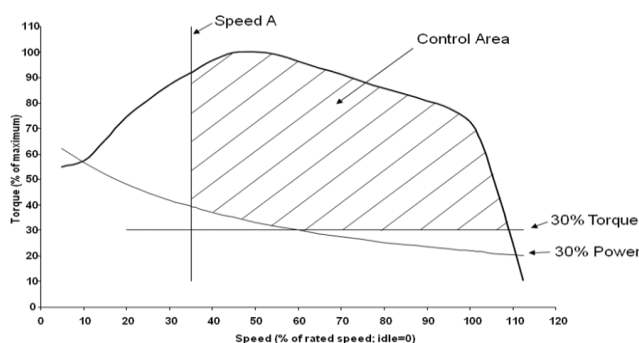


图13 柴油机控制区

柴油机控制区的要求,适用于所有非道路移动机械用柴油机。控制区内点的测量应在八工况、五工况或六工况结束后立即进行,这样能够保证柴油机前后运行的是同一个状态,然后在控制区内随机选择三个点,并对三个点的四种污染物分别进行单点的比排放量计算,结果应小于相应柴油机功率段限值的 2 倍。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。

同时针对 19kW 以下机型根据转速的不同还规定了不同的控制区。见图 14, 图 15。

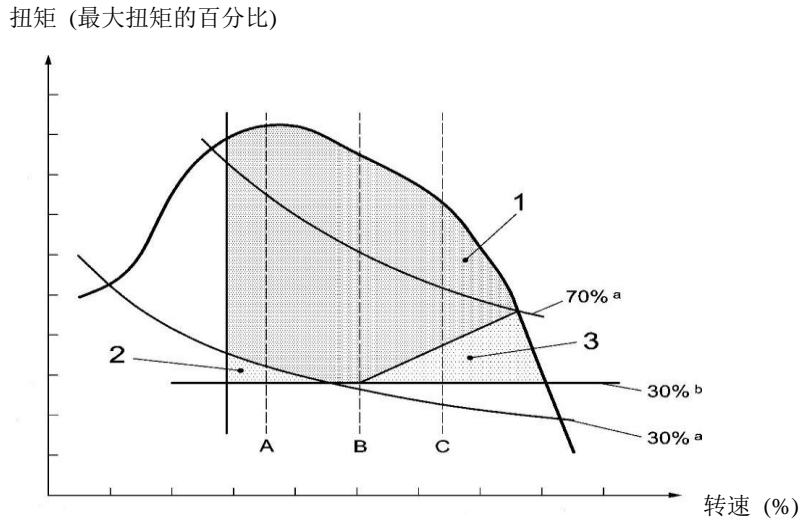


图14 19kW以下转速 $C < 2400r/min$ 发动机控制区

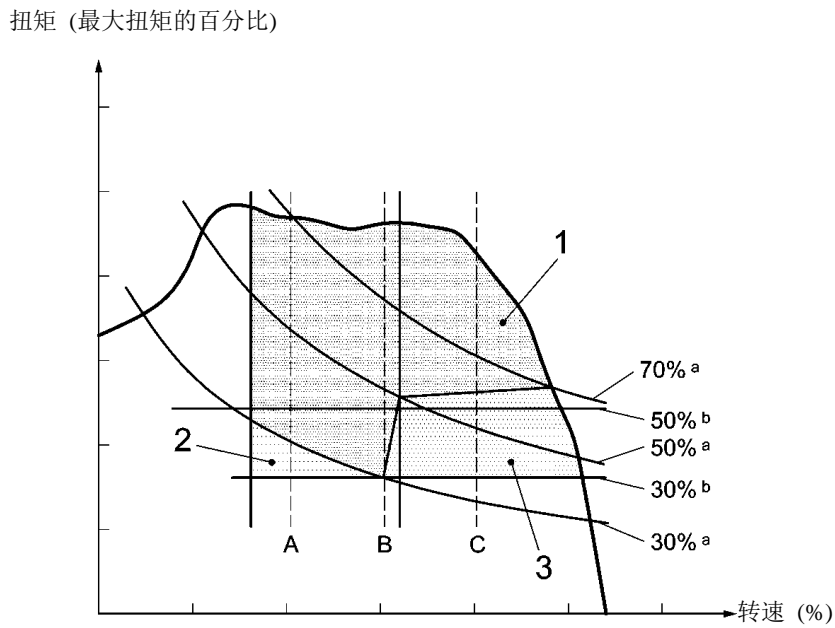


图15 19kW以下转速 $C \geq 2400r/min$ 发动机控制区

恒速发动机主要在非常接近其设计转速的转速下运行，所以其控制区定义如下：

转速：	100%
扭矩范围：	最大功率点扭矩的 50%-100%

6.7 排气后处理系统的控制的要求

根据非道路第四阶段的限值要求，电控发动机、柴油机后处理技术会在第四阶段得到广泛应用。针对其排放的控制策略的监控关系到发动机真实的排放水平，因此标准对各种技术路线提出了控制要求。

关于确保 NO_x 控制措施正确运行的要求。这一部分的内容主要就是为了限制用户不合理使用 SCR 系统造成的污染物排放量的增加，通过报警、限扭等措施提醒用户维护或正常使用发动机。该条内容不仅对反应剂的特性进行了详细要求，而且对氨排放量也提出了要求，对保养维护及报警要求也进行了详细的规定。同时在标准中增加了柴油机及反应剂的一些相关参数，来支持本部分的技术内容。

造成 SCR 系统报警和限扭的故障有五个，分别是：

- 1) 反应剂量不足储罐总容量的 2.5% 时或变空时；
- 2) 反应剂质量出现问题；
- 3) 反应剂消耗量和喷嘴动作出现问题；
- 4) EGR 阀卡滞；
- 5) 反应剂防冻保护。

当这五个故障出现时，在最开始的时候为系统报警，提示需要维护；如果 10 个小时后还没有处理，初级限制系统将激活，发动机的扭矩将降为原来的 75%；如果再过 10 个小时错误依然得不到维护，严重限制系统将激活，发动机扭矩降为原来的 50%，转速降为原来的 60%。简易流程图见图 16。

控制策略：

错误出现：报警



10小时后 初级限制系统激活



20小时后 严重限制系统激活

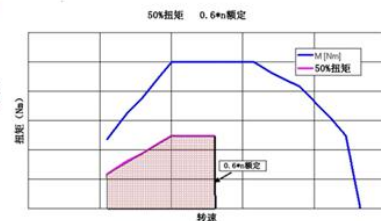
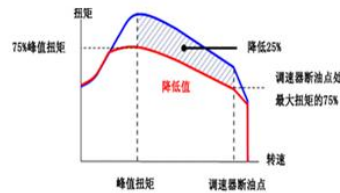


图16 确保NO_x正确运行的控制流程图

对其他后处理系统的要求。主要包括 DPF、DOC 等，同时对这些后处理系统使用的传感器也提出了监控要求。标准要求这些后处理系统在使用过程中应采

取相应的控制策略监控后处理系统的失效，如阻塞、烧结、破碎移除、传感器失效等。通过这些控制措施的实施，能够有效监督这些排放控制系统的失效。

6.8 质保期的要求

长期以来，机械的质保期保证部件只包括主要的总成，如发动机、变速器、底盘等等，不包括排放相关的零部件。为增强机械生产企业的责任和环保意识，保证排放零部件的正常功能，本标准规定了排放质保期的要求。排放相关零部件如果在质保期内出现故障或损坏，导致排放控制系统失效，或车辆排放超过本标准限值要求，制造商应当承担相关维修费用。

本标准根据柴油机的有效寿命，规定了排放质保期最短要满足表 32 的要求。

表 32 最短质保期的要求

额定净功率 (kW)	转速 (r/min)	有效寿命 (h)	允许最短试验时间 (h)
$P_{\max} \geq 37$	任何转速	8000	2000
$P_{\max} < 37$	非恒速	5000	1250
	恒速 < 3000		
	恒速 ≥ 3000	3000	750
$P_{\max} < 19$	任何转速		

6.9 新生产机械排放达标要求及检查

大气法第五十二条规定：机动车、非道路移动机械生产企业应当对新生产的机动车和非道路移动机械进行排放检验。经检验合格的，方可出厂销售。检验信息应当向社会公开。因此增加对新生产机械排放达标要求及检查是非常必要的，同时随着 PEMS 测试设备的发展，也已经具备了对机械实现监管的能力。

6.9.1 新生产机械的达标自查

生产企业应自行制定自查规程，选择有足够代表性的机械按系族进行排放达标自查，并将自查计划和自查结果进行信息公开。自查按照本标准附录 E 规定车载法检测规程和要求来进行。在进行车载法测试时，应同时按照有关标准要求对林格曼黑度等级的测试，黑度等级应小于 1 级。对于自查试验做详细记录并存档，该记录文档应至少保存 5 年。环境保护主管部门可根据需要检查试验记录。

6.9.2 新生产机械的达标抽查

环境保护主管部门可以对新生产机械进行排放基本配置核查、下线检查计划和自查结果审查和污染物排放检查各个环节进行达标抽查。对排放基本配置进行

核查，如被检查的机械排放控制关键部件或排放控制策略与信息公开的内容不一致，则视为该型号机械检查不通过。污染物排放检查，是从批量生产的机械中随机抽取 3 台，若 2 台及以上机械的测试结果满足标准第 5.6.4 条的要求，则判定合格，否则不合格。

对于柴油机的抽查，仍然执行 GB20891-2014 第 6 章的规定。

6.9.3 新生产机械的下线检查

同时标准还要求，新生产机械在下线、入库及出厂前应满足非道路移动机械烟度排放相关标准的要求，并将结果信息公开。

6.10 在用符合性要求及检查

机械能否在使用环节持续达标，这是非道路移动机械污染防治的重点，因此本标准增加了在用符合性的要求。

6.10.1 柴油机企业的在用符合性自查

标准要求，柴油机生产企业应同时制定在用符合性自查计划，在用符合性自查应以柴油机系族为基础进行。柴油机生产企业按自查计划进行在用符合性自查，应尽量选择不同生产企业的机械进行试验，柴油机系族的在用符合性自查报告，由柴油机所安装机械的生产企业进行信息公开（可作为机械生产企业在用符合性自查报告的一部分），并向环境保护主管部门报备。

6.10.2 机械企业的在用符合性自查

标准要求，机械企业的在用符合性自查应以机械系族为基础进行。机械生产企业按自查计划进行在用符合性自查，机械的在用符合性自查报告由机械生产企业进行信息公开。

标准规定了详细的在用符合性自查的抽样和判定程序，见表 33。

- a) 计算样机中排放超标机械的数量；
- b) 如果排放超标机械数小于或等于表 GA.1 中的合格判定数，则判定为合格；
- c) 如果排放超标机械数大于或等于表 GA.1 中的不合格判定数，则判定为不合格；
- d) 如果排放超标机械数不能判定合格与否，则逐一增加测试样本，继续判定。

表33 抽样计划的合格和不合格判定数

样本数, n	超标机械数量	
	合格判定数	不合格判定数

3	-	3
4	0	4
5	0	4
6	1	4
7	1	4
8	2	4
9	2	4
10	3	4

6.10.3 在用符合性不合格的整改措施

如果环境保护主管部门根据生产企业提供的自查报告，判断该款机械在用符合性不满足本标准要求，或者主管部门抽查后判定该款机械的在用符合性不满足本标准要求，应通知机械生产企业，采取整改措施，提交改正不符合项的整改措施计划。

6.10.4 在用符合性的抽查

用符合性抽查应按车载法进行机械的 PEMS 排放测试，由环境保护主管部门负责实施。抽查的机械应为具有代表性的机械，并保证机械状态正常。随机抽取 3 台机械，若 2 台及以上机械的测试结果满足标准第 5.6.4 条的要求，则判定合格，否则不合格。

7 本标准与欧美相关标准的差异

本标准是在欧盟指令 2012/46/EU IIIB 的基础上，根据我国新大气法的要求，同时考虑适用于我国环境保护主管部门的管理要求，对标准进行了补充。与欧盟指令 IIIB 比较。主要差异见下表 34。

表 34 本标准与欧美非道路标准的主要差异

控制要求	中国	欧盟			美国	
	第四阶段	IIIB	IV	V	Tier4-I	Tier4-F
稳态测试	√	√	√	√	√	√
瞬态测试	√	√	√	√	√	√
NOx control 报警系统	√	√	√	√		发文规定
NOx control 限扭策略	√		√	√		
控制区要求	√		√	√	NTE	NTE
曲轴箱污染物要求			√	√	√	√
CO2 排放量要求			√	√		

耐久要求	√	√	√	√	√	√
烟度要求	√				√	√
DPF 控制要求	√			√		
PEMS 要求	√			√		

8 标准实施技术可行性、环境、社会效益分析

8.1 实施本标准的环境效益和社会效益分析

非道路第四阶段标准主要加严了 NO_x 和颗粒物的限值要求。标准实施后，37kW 以上功率段柴油机污染物排放水平都有不同程度的削减，特别是颗粒物的消减幅度，其中：NO_x 和碳氢化合物削减 13%-45%，颗粒物削减 50%-94%，详见表 35。

表35 国4比国3标准工况加严幅度

功率段	NO _x +THC (%)	PM (%)
$P_{\max} > 560$	40	50
$130 \leq P_{\max} \leq 560$	45	88
$75 \leq P_{\max} < 130$	13	92
$56 \leq P_{\max} < 75$	26	94
$37 \leq P_{\max} < 56$	0	94

第四阶段标准生效实施后，非道路移动机械用柴油机的排气污染物排放水平进一步降低。第四阶段标准主要加严了 PM 污染物的限值，根据功率段的不同，PM 限值的变化有所差别。560kW 以上 PM 限值变是原限值的 1/2，37kW 到 560 kW，PM 限值是原限值的 1/10 左右，37kW 以下，PM 限值没有变化。

按照非道路移动机械用小缸径多缸柴油机 112.5 万台来计算，假设每台柴油机功率为 100kW，每年工作 200 天，每天工作 4 小时，那么 PM 一年的排放量约为 18 万吨。新标准实施后，如果比排放量变成 0.025g/kwh，那么每年可降低 PM 排放 15.75 万吨，再加上 560kW 以上柴油机的减排量，每年生产的非道路移动机械 PM 减排量将超过 16 万吨，接近 2015 年我国机动车 PM 排放量的一半。按有效寿命为 5 年计算，这些机械在有效寿命内将减排 80 万吨。本标准实施 3 年内生产的所有非道路移动机械，在其有效寿命内，PM 将减排 48 万吨。同样的计算方法，NO_x 和总碳氢的每年的减排量约 45 万吨；按有效寿命为 5 年计算，

这些机械在有效寿命内将减排 225 万吨。本标准实施 3 年内生产的所有非道路移动机械，在其有效寿命内，NO_x 和总碳氢将减排 135 万吨。

标准的实施会使得非道路移动机械用柴油机技术水平进一步提高，逐步向车用柴油机靠拢，进一步缩小我国非道路移动机械用柴油机排放控制体系与欧美的差距。同时，标准的实施会引导企业调整产业结构，对产品进行升级换代，使得产品结构更加合理，推动整个柴油机行业技术进步。同时产品的升级换代，会带来良好的投资环境，吸引更多的企业进行投资，增加就业岗位，拉动经济增长。

8.2 实施本标准的技术可行性分析

从燃油水平来看，第四阶段标准要求的基准燃油硫含量下降为 10ppm，我国普通燃油标准 GB252-2015 标准要求自 2017 年 7 月 1 日起，普通柴油硫含量为不超过 50ppm；2017 年 11 月 1 日开始全面供应硫含量不超过 10ppm 的柴油。燃油品质的提升为本标准有效实施提供了坚实的基础保障。

从第四阶段限值来看，37kW 到 560kW 功率段的柴油机的排放限值与车机第四阶段限值要求趋于一致。也就是说，在第四阶段车用柴油机上应用的技术在非道路第四阶段基本也都是需要的，主要有电控燃油系统、SCR 系统、DPF 系统等，这些成熟的技术在车用柴油机上已经应用多年，因此直接应用到非道路柴油机上可行的。对于 37kW 以下柴油机，限值没有变化，仅仅增加了控制区的要求，技术升级门槛低。对于功率大于 560kW 以上的非道路移动机械用柴油机，基本都是进口机型，排放水平都较好，满足本标准要求问题也不大。

从升级成本来看，不同功率段机型可以采用不同的排放控制技术，因此成本增加也不一样。37kW 以下功率段的柴油机，在技术上并没有实质的突破，仅仅需要进一步优化进气、燃油系统即可，成本在量产的情况下几乎可以忽略不计。经咨询部分企业，560kW 以上柴油机基本都采用 SCR 系统，产品还在匹配过程中，大型的柴油机用的 SCR 供应商也在沟通确认中，暂时无法获知大概的增加成本。各功率段详细成本增加情况见表 36。

表 36 各功率段成本增加情况统计表

额定净功率 (kW)	可采用的技术	成本增加 (元)	占机械成本比例
37≤P<56	DOC+DPF	3500	10%-20%
56≤P<130	DOC+DPF/SCR	10000/8000	5%-15%
130≤P<560	SCR/DPF	8000/12000	15%左右

从后处理系统产能来看，标准编制组调研了国内主要几个后处理系统生产企业，主要取决于市场的情况，目前产能有的虽然不是很大。SCR 系统或者 DPF

系统在具备生产能力条件下，只需要相应增加原有的设备，产能提升是比较容易的。另外，外资企业目前产能主要在与国内企业匹配过程中，后续产能根据市场需求确定。主要后处理企业的现有产能和规划产能见表 37。

表 37 主要后处理企业产能情况（万套）

企业名称	SCR 系统	DPF 系统	规划产能
A 企业	30	60	根据市场情况
B 企业	150		300
C 企业	30		根据市场情况
D 企业	2	2	根据市场情况，长期规划 60 万套产能

从燃油系统来看，高压共轨系统和电控单体泵是主要发展方向。从国内企业匹配来看，高端机型以外企燃油系统为主，中小功率柴油机以国内燃油系统为主。从目前情况看，电控燃油系统的产能已经能够覆盖非道路行业的应用。标准编制组专门调研了应用于单缸机的燃油系统配套情况，详细数据见表 38。

表 38 配套单缸机燃油系统的产能情况

生产企业	燃油系统类型	目前产能(万台)	设计产能(万台)
A	电控单体泵	150	250
B		30	60
C		1	100
D		20	50
E		16	100
F	高压共轨	12	80
合计		229	640

基于市场燃油的准备情况、发动机主要零部件及后处理系统准备情况，只需再给予一定时间用于发动机的开发和机械的匹配，非道路移动机械第四阶段标准能够具备实施基本条件。