

附件 3

**《非道路移动机械及其发动机污染物排放  
限值及测量方法（中国第五阶段）》  
（征求意见稿）  
编 制 说 明**

《非道路移动机械及其发动机污染物排放限值及  
测量方法（中国第五阶段）》编制组

二〇二六年六月

# 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. 非道路移动机械行业发展情况 .....	2
2.2. 非道路移动机械排放现状 .....	6
3. 标准制订的必要性分析 .....	6
3.1. 合法合规性说明 .....	6
3.2. 国家及生态环境主管部门的相关要求 .....	6
3.3. 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求 .....	7
3.4. 现行标准实施情况和存在问题 .....	8
4. 主要国家、地区及国际组织相关标准研究 .....	12
4.1. ISO 标准 .....	12
4.2. 欧盟法规 .....	13
4.3. 美国法规 .....	18
5. 国内相关标准研究 .....	22
5.1. 污染物排放控制标准 .....	22
5.2. 温室气体排放控制标准 .....	26
6. 标准制订的基本原则和技术路线 .....	28
7. 标准主要技术内容 .....	28
7.1. 标准适用范围 .....	28
7.2. 标准结构框架 .....	29
7.3. 主要技术内容及其制定依据 .....	29
7.4. 与国际标准对比 .....	35
8. 标准实施可行性分析 .....	36
8.1. 排放控制技术分析 .....	36

8.2. 排放检测技术分析 .....	37
9. 标准实施的成本效益分析 .....	37
9.1. 技术成本分析 .....	37
9.2. 标准实施的减排效益 .....	38
9.3. 标准实施建议 .....	38
参考文献 .....	39

# 《非道路移动机械及其发动机污染物排放限值及测量方法（中国第五阶段）》（征求意见稿）编制说明

## 1. 项目背景

### 1.1. 任务来源

生态环境部《关于开展 2020 年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2020〕320 号）中，下达了《非道路柴油移动机械及其发动机排放限值及测量方法（中国第五阶段）》制订任务，项目统一编号：2020-7。

本标准制订项目的承担单位：中国环境科学研究院；参加单位：国家重型汽车质量检验检测中心、国家轿车质量检验检测中心、北京理工大学、国家机动车质量检验检测中心（重庆）和中国内燃机工业协会。

### 1.2. 工作过程

本项目任务下达后，项目承担单位中国环境科学研究院成立了标准编制组，开始开展标准研究和制定工作。

（1）资料 and 基础数据调研。相关资料及基础数据的查阅、收集和调研工作。法规标准方面，收集研究现行非道路移动机械和机动车排放、能耗等相关标准；研究国外相关法规标准情况，对欧盟及美国非道路移动机械排放法规进行翻译和整理；对国内相关法律法规进行研究。行业状况方面，调研工程机械、农业机械、柴油机等行业的发展状况。

（2）现行标准实施情况评估。通过组织召开技术交流会、走访行业协会及企业等形式，调研现行标准实施情况、实施中存在的问题、排放控制技术现状和发展趋势等；通过文献调研和排放测试等，获得部分主要类别非道路移动机械的排放因子，分析测算非道路移动机械污染物排放总量。

（3）开展试验研究。标准编制组开展部分试验研究，对国四机械实际排放情况进行评估分析，以及对国五标准的测量工况、排放控制技术路线和排放限值等进行了研究和验证。

（4）标准开题论证。2025 年 8 月 25 日，生态环境部大气司组织召开标准开题论证会，来自农业部、机械及发动机行业协会、生产企业、科研院所、地方环

境部门的专家代表参会，就标准开题报告和标准文本草案进行审查和论证。通过质询和讨论，认为标准研究编制的技术路线合理可行，并提出修改意见和建议。

(5) 征求意见稿技术审查。2026年5月21日，生态环境部大气环境司组织召开标准征求意见稿技术审查会，与会专家通过标准征求意见审查，并提出修改意见和建议。

## 2. 行业概况

非道路移动机械种类繁多，按照机械用途不同可以划分为工程机械、农业机械、林业机械、发电机组、渔业机械和机场地勤设备等，如图1所示。其中，配套动力基本以柴油机为主，而工程机械、农业机械用柴油机约占非道路移动机械用柴油机保有量的90.3%。



图1 非道路柴油移动机械的主要类别

### 2.1. 非道路移动机械行业发展情况

#### 2.1.1. 工程机械行业现状

工程机械是用于工程建设施工机械的总称，广泛用于建筑、水利、电力、道路、矿山、港口和国防等工程领域。

##### (1) 工程机械销售情况

据中国工程机械工业协会统计，国内七大类主要机械销量趋势见图2。2015年以来，我国工程机械产品销量总体呈上升趋势，2021年达到最高点后开始有

所下降。在主要机型销量中，内燃叉车销量最大且稳步增长，2024年销量为23.7万台，相比2015年增加46%。挖掘机和装载机销量次之，2024年国内销量分别为10.1万台和5.4万台，相比2015年分别增加76%、25%。

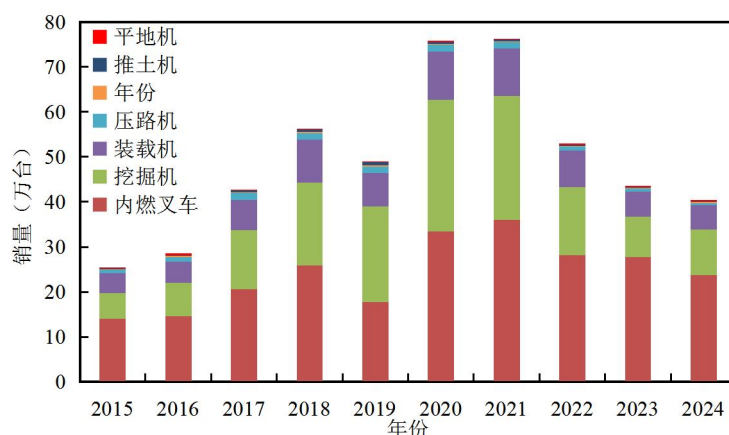


图2 我国主要工程机械销量趋势（2015-2024年）

## （2）工程机械保有量情况

根据非道路移动机械销量及存活曲线法估算，我国工程机械2015年-2024年保有量变化趋势见图3，保有量总体呈上升趋势，截至2024年底，我国工程机械保有量约为780万台。

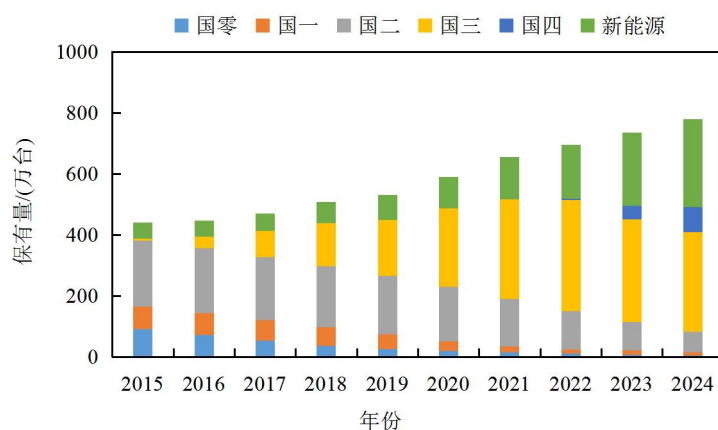


图3 我国工程机械保有量变化趋势（2015-2024年）

## 2.1.2. 农业机械行业现状

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。

### （1）农业机械产量情况

拖拉机是农业机械主要机型，根据国家统计局数据，2015年以来我国拖拉

机产量变化情况见图 4。大、中型拖拉机产量自 2018 年达到低点后开始逐步回升增长，小型拖拉机和稻麦收获机械产量自 2018 年开始大幅降低。2024 年，拖拉机总产量 48.9 万台，相比 2015 年下降 76.5%，其中，大型拖拉机产量 11.2 万台，相比 2015 年增长 44.5%；中型拖拉机产量 23.6 万台，相比 2015 年下降 61.3%；小型拖拉机产量 14.1 万台，相比 2015 年下降 89.9%。

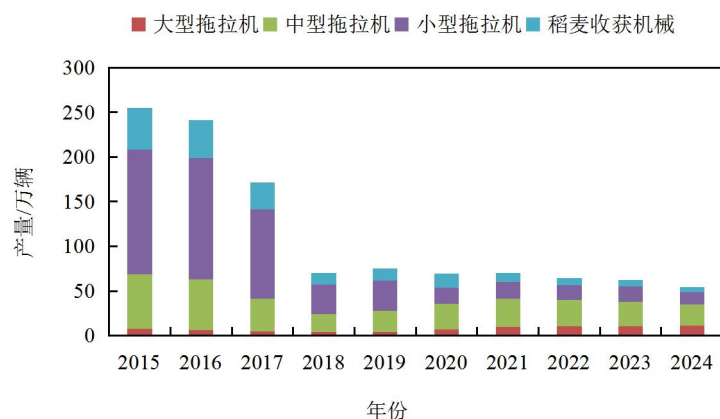


图 4 我国主要农业机械产量趋势 (2015-2024 年)

## (2) 农业机械保有量情况

根据国家统计局统计数据，2015 年至 2024 年我国主要农业机械年末总动力如图 5 所示，总动力呈现逐年增长趋势（2016 年以后不再包含农用运输车）。2024 年底，我国农业机械总动力为 11.6 亿千瓦。2015-2023 年我国主要农业机械保有量情况见图 6，2023 年大中型、小型拖拉机的保有量分别为 551.1 万台、1562.4 万台，2023 年谷物收获机械、农用水泵、机动脱粒机保有量分别为 242.5 万台、2319.5 万台、986.5 万台。

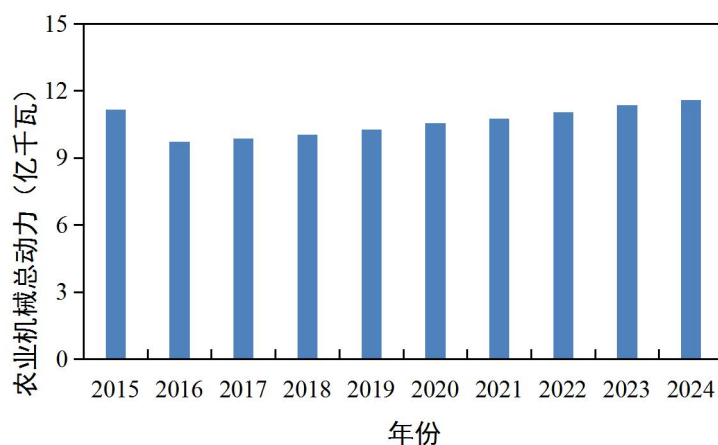


图 5 我国主要农业机械总动力情况 (2015-2024 年)

(注：2016 年以后不再包含农用运输车)

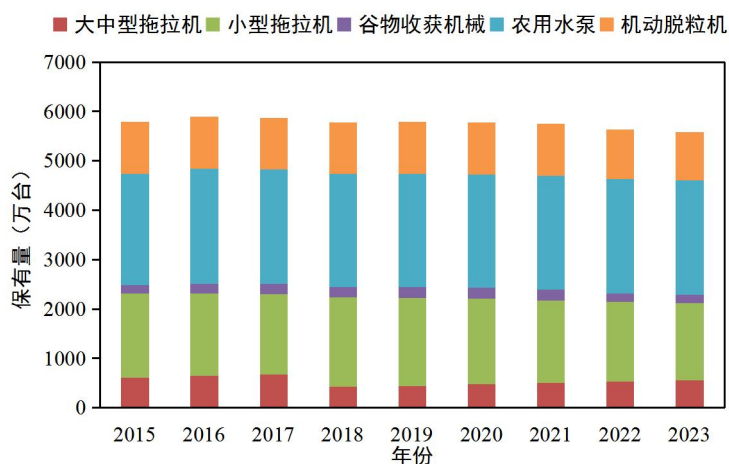


图 6 我国主要农业机械保有量情况 (2015-2023 年)

### 2.1.3. 新能源机械发展概况

现阶段新能源工程机械主要有纯电动、氢燃料电池和油电混合动力等类型，目前国内主要工程机械制造企业大都已经布局新能源产品的研发、制造等。在国家推广政策支持下，随着新能源相关技术进步与电池成本降低，纯电动工程机械市场渗透率逐步提高，混合动力产品数量也逐步提升。新能源农业机械方面，以油电混合动力为主要类型。

按中国工程机械工业协会工业车辆分会统计，2024 年，国内叉车销售 805021 台，其中电动叉车 567594 台，新销售叉车电动化率为 71%。近十年，国内叉车电动化渗透率从 2015 年的 37% 发展至 2024 年的 71%，十年间增长 34 个百分点。从 2021 年开始，国内销售叉车中，电动叉车的渗透率首次超过内燃叉车，达到 54%，成为叉车销售的主流。

自 2022 年以来，叠加政策支持和电池成本降低，新能源装载机销售量逐步攀升，国内主流制造商大都已推出电动装载机产品。据中国工程机械工业协会统计，2024 年销售电动装载机 11220 台，同比增加 212%，2025 年销售电动装载机 29771 台，同比增加 165%。2024 年，国内企业销售装载机（含国内和出口）电动化率达到 23.2%，较上年度提高 12.8 个百分点。另外，根据环保信息公开数据，2022 年以来有近 1000 台混合动力工程机械进行了环保信息公开，其中 60% 左右是装载机。

其他工程机械方面，2024 年，电动挖掘机共销售 86 台；2025 年，电动挖掘机共销售 285 台。相比于叉车和装载机，当前电动挖掘机渗透率仍比较低。根据

对中联重科股份有限公司等主流制造企业的调研，升降作业平台目前基本完成电动化，每年新销售机械中，电动类升降作业平台超过 90%；2022 年以来，有部分混合动力产品投入应用。同时，根据对主流主机制造企业的调研，推土机、压路机、摊铺机、平地机、起重机、凿岩机械、桩工机械等在市场上已出现多种电动类量产产品，但整体销售量较少，尚无公开统计数据。

农业机械方面，自 2022 年开始有混合动力非道路移动机械进行环保信息公开，截至 2025 年 7 月，混合动力农业机械公开的机型共 59 个，以轮式拖拉机、玉米收获机和联合收割机为主。

## 2.2. 非道路移动机械排放现状

据《中国移动源环境管理年报（2025）》统计，2024 年，全国非道路移动机械（工程机械和农业机械）NO<sub>x</sub>排放量为 293.5 万吨，占移动源排放总量的 32.5%；颗粒物排放量为 15.4 万吨，占移动源颗粒物排放总量的 58.1%。其中，工程机械 NO<sub>x</sub>排放量为 127.5 万吨，颗粒物排放量为 7.4 万吨；农业机械 NO<sub>x</sub>排放量为 165.9 万吨，颗粒物排放量为 8.0 万吨。此外，在实际管理中发现，机械在实际使用过程中冒黑烟及排放超标的现象仍然存在。

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。制订非道路移动机械第五阶段标准，可为我国非道路移动机械减少氮氧化物和颗粒物排放发挥重要作用。

## 3. 标准制订的必要性分析

### 3.1. 合法合规性说明

《中华人民共和国生态环境法典》（简称《环境法典》）第一百五十三条规定，国务院生态环境主管部门制定国家污染物排放标准。第一百五十四条规定，制定污染物排放标准，应当以生态环境质量标准和经济、技术条件为根据，反映污染物排放特征、可接受生态环境风险，科学合理确定污染物排放控制要求。第二百二十一条规定，机动车船、非道路移动机械及其发动机不得超过标准排放大气污染物。禁止生产、进口或者销售不符合大气污染物排放标准的机动车船、非道路移动机械及其发动机。

### 3.2. 国家及生态环境主管部门的相关要求

### 3.2.1. 《中华人民共和国生态环境法典》

《环境法典》规定非道路移动机械及其发动机不得超过标准排放大气污染物，各项要求贯穿于生产、进口、销售、使用到报废等各个环节，同时对非道路移动机械使用的燃料、发动机油、氮氧化物还原剂、燃料和润滑油添加剂等做了规定，明确了每个环节相关的责任主体、责任和分工，并规定了相应的违法罚则。

### 3.2.2. 《减污降碳协同增效实施方案》

2022年6月10日，生态环境部等7部委印发《减污降碳协同增效实施方案》（环综合〔2022〕42号）。明确提出完善减污降碳法规标准。制定实施《碳排放权交易管理暂行条例》。推动将协同控制温室气体排放纳入生态环境相关法律法规。完善生态环境标准体系，制修订相关排放标准，强化非二氧化碳温室气体管控，研究制订重点行业温室气体排放标准，制定污染物与温室气体排放协同控制可行技术指南、监测技术指南。完善汽车等移动源排放标准，推动污染物与温室气体排放协同控制。

## 3.3. 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求

### 3.3.1. 《非道路移动机械污染防治技术政策》

生态环境部于2018年8月发布《非道路移动机械污染防治技术政策》（2018年第34号），提出非道路移动机械应向低能耗、低污染方向发展，优先发展电控燃油系统、高效增压系统、排气后处理系统及污染物控制系统所使用的传感器。新生产装用压燃式发动机的非道路移动机械，2020年达到国家第四阶段排放控制水平，2025年与世界最先进排放控制水平接轨。

### 3.3.2. 《内燃机产业高质量发展规划（2021-2035）》

2021年7月，中国内燃机工业协会发布《内燃机产业高质量发展规划（2021-2035）》。提出发展高效、低碳和近零排放新一代柴油机。发展非道路专用发动机技术、非道路燃气和混合动力发动机及动力系统，研发智能工程机械产品技术，研发以智能化控制、大功率电驱无级变速为核心的智能农用动力，全面提升非道路发动机品质。2025年，自主开发的专用发动机推广应用，柴油机产品有效热效率提升达到45%以上，满足非道路第五阶段排放法规。关键技术和关键零部件取得突破，自主燃油系统、排放后处理系统和增压系统占据主导地位。

发动机品质得到全面提升，产品性能达到国际先进水平。

### 3.4. 现行标准实施情况和存在问题

#### 3.4.1. 现行非道路移动机械排放标准情况

2007年4月3日，我国发布《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I、II阶段）》（GB 20891—2007），标准对污染物的测试方法、限值及生产一致性等进行了规定，额定功率不超过560 kW的非道路移动机械柴油机适用于本标准。2007年10月1日、2009年10月1日分别开始第一、二阶段非道路移动机械柴油机的型式核准。

2014年5月16日，我国发布《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），规定了第三阶段非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值和测量方法，并提出了第四阶段的预告性要求。自2014年10月1日起，新核准的非道路机械用柴油机必须满足第三阶段标准要求，标准适用范围扩大到所有功率段柴油机。

2020年12月28日，生态环境部发布了《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）》（GB 20891—2014）修改单和《非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求》（HJ 1014—2020），对GB 20891—2014标准中第四阶段相关内容做了修改和补充，GB 20891—2014标准及修改单、HJ 1014—2020共同组成了国四阶段排放标准要求。2023年发布《非道路移动机械排放远程监控技术规范》（HJ 1322—2023），完善远程监控相关要求。非道路柴油移动机械国四标准于2022年12月全面实施，其中560 kW以上机械国四标准实施时间另行通知。各阶段实施时间见表1。

表1 我国非道路柴油移动机械排放标准实施时间

序号	标准标号	标准名称	发布时间	实施时间 <sup>a</sup>	备注
1	GB 20891—2007	《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I、II阶段）》	2007年4月3日	国一：2008年10月1日 国二：2010年10月1日	—
2	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）》	2014年5月16日	国三：2015年10月1日 国四：2022年12月1日	—
3	GB 36886—2018	《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》	2018年9月27日	2018年12月1日	在用机械

4	GB 20891—2014 修改单	《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）》修改单	2020年12月28日	2022年12月1日	配套国四
5	HJ 1014—2020	《非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求》	2020年12月28日	2022年12月1日	配套国四
6	HJ 1322—2023	《非道路移动机械排放远程监控技术规范》	2023年12月4日	2024年7月1日	配套国四
<sup>a</sup> 标准发布之日起即可按照新标准要求环保型式核准/环保信息公开；2017年7月1日开始，取消环保型式核准，改为环保信息公开。					

### 3.4.2. 非道路移动机械环保信息公开情况

截至2024年底，累计共有1440家非道路移动机械企业公开了21700个国四排放标准机械机型。其中，叉车3776个、挖掘机1282个、装载机2262个、压路机473个、推土机109个、摊铺机181个、平地机72个、拖拉机5935个、插秧机255个、收获机2532个、其他机械4823个，占比见图7。

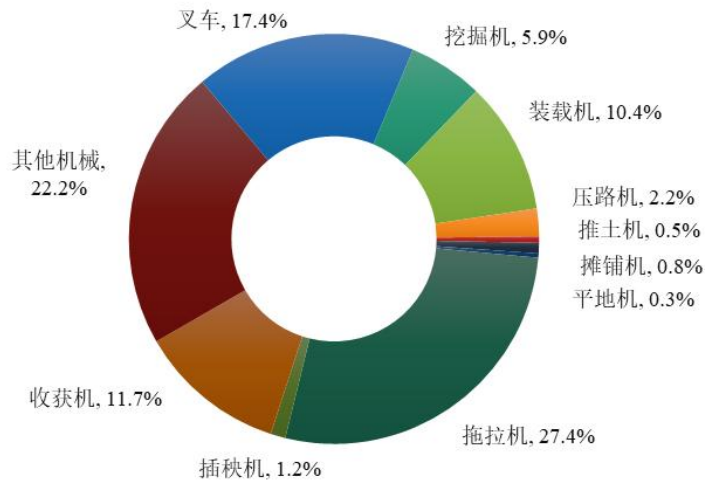


图7 非道路移动机械机型信息公开累计数量占比

截至2024年底，累计共有1193家非道路移动机械企业上传201.7万台国四排放标准非道路移动机械单机信息。其中：叉车56.1万台、挖掘机19.2万台、装载机13.4万台、压路机0.9万台、推土机0.2万台、摊铺机0.2万台、平地机0.1万台、拖拉机66.8万台、插秧机7.2万台、收获机23.5万台、其他机械14.1万台。

根据《非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求》（HJ 1014—2020）要求，满足第四阶段额定净功率37 kW及以上非道路柴油移动机械应开展远程在线监控联网。2024年，当年联网叉车1.5万台、挖掘机5.3万台、装载机3.3

万台、压路机 0.2 万台、推土机 0.1 万台、摊铺机 0.1 万台、平地机 0.1 万台、拖拉机 24.5 万台、插秧机 0.2 万台、收获机 9.0 万台、其他机械 1.4 万台。累计联网叉车 3.5 万台、挖掘机 9.1 万台、装载机 7.1 万台、压路机 0.4 万台、推土机 0.2 万台、摊铺机 0.1 万台、平地机 0.1 万台、拖拉机 42.0 万台、插秧机 0.3 万台、收获机 16.4 万台、其他机械 3.0 万台，见图 8。

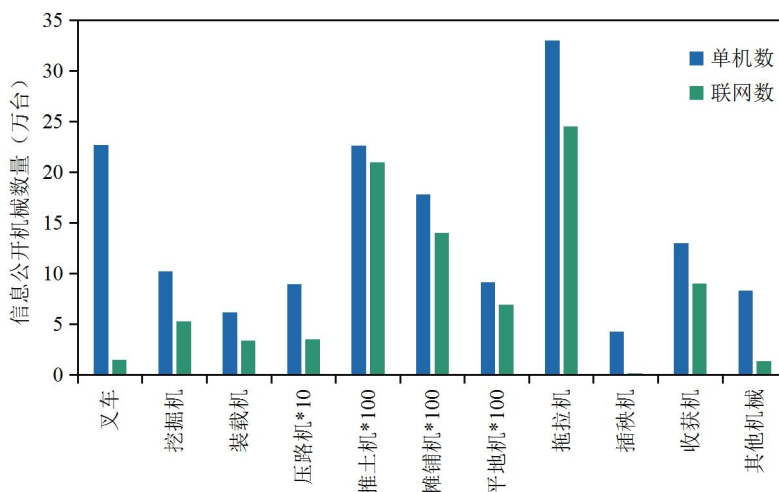


图 8 非道路移动机械单机信息公开累计数量及联网情况

### 3.4.3. 排放控制后处理技术应用情况

根据国四阶段非道路柴油移动机械单机信息公开数据（截至 2024 年底），不同功率段后处理技术采用情况如图 9 所示。8 kW 以下的，73%采用 DOC，其余无后处理装置；8 kW $\leq$ P<sub>max</sub><19 kW 的，13%采用 DOC，其余无后处理装置；19 kW $\leq$ P<sub>max</sub><37 kW 的，99.8%无后处理装置，0.2%采用 DOC；37 kW $\leq$ P<sub>max</sub><56 kW 的，97.2%采用 DOC+DPF，2.8%采用 DPF；56 kW $\leq$ P<sub>max</sub><75 kW 的，89.0%采用 DOC+DPF 技术，11.0%采用 DPF；75 kW $\leq$ P<sub>max</sub><130 kW 的，81.9%采用 DOC+DPF，5.0%采用 DOC+DPF+SCR，1.0%采用 DOC+DPF+SCR+ASC，12.0%采用 DPF；130 kW $\leq$ P<sub>max</sub><560 kW 的，8.6%采用 DOC+DPF 技术，54.0%采用 DOC+DPF+SCR，37.4%采用 DOC+DPF+SCR+ASC。

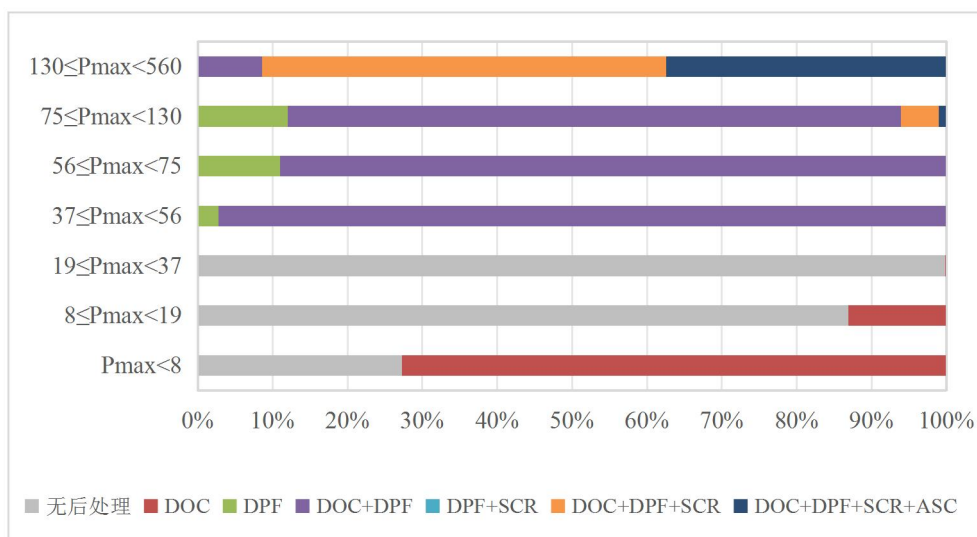


图9 非道路柴油移动机械机型国四阶段排放后处理技术采用率

### 3.4.4. 国四机械排放控制效果分析

国四标准实施之后,编制组基于市售国四机械的整机 PEMS 测试结果进行分析,被测机械的 NO<sub>x</sub> 排放值均满足限值,且距离限值 (CF=2.5) 有较大余量,见图 10。说明整机排放控制和测试要求,有效地推动了生产企业对非道路移动机械进行更加精细的开发与标定,切实降低了机械实际使用中的污染物排放,而不仅是在实验室发动机台架上满足限值要求。

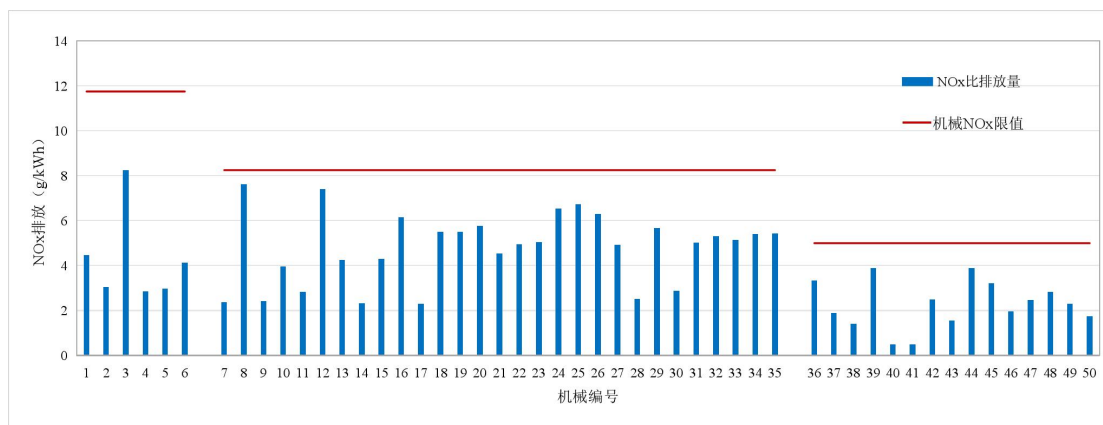


图10 市售国四非道路移动机械 PEMS 试验 NO<sub>x</sub> 排放情况分析

### 3.4.5. 存在问题分析

#### (1) 标准适用范围

一直以来,非道路移动机械通常以柴油发动机为动力,受市场需求等影响,目前以天然气为燃料的发动机开始在国内部分工程机械上应用。同时,随着“碳达峰”“碳中和”目标的提出,各类低碳与零碳燃料技术(如氢气、氨气发动机,

以及相关的柴气双燃料发动机等)、混合动力技术等开始在非道路移动机械领域进行研发与应用探索。但是,现行标准仅适用于柴油机械及其发动机,尚未包括各类替代燃料及混合动力电动机械的排放控制要求。

### (2) 排放限值与国际先进水平相比存在差距

我国非道路移动机械柴油机排放标准与欧美排放标准相比,各阶段限值基本一致,不同的是实施时间落后于欧美国家。国四标准引导我国非道路柴油移动机械在排放控制技术方面取得进步,但从排放控制水平来看,国四标准与欧美等国家和地区现行法规仍有较大差距,以排放限值为例,国四  $\text{NO}_x$  与 PM 限值分别约为欧美现行标准的 5 倍和 2 倍。非道路移动机械技术上仍有较大减排潜力。

### (3) PEMS数据分析方法不能覆盖全部实际操作工况

目前的分析方法对数据进行了过多的筛选,剔除了柴油机功率低于最大净功率 10%的数据、冷启动数据等。工程机械门类较多,实际作业工况复杂,部分机械存在长时间低负荷作业、较多离散低负荷工况等情况,导致无效数据偏多,无法按照现行标准中的方法进行整机排放测试评价。另外,目前测试的环境温度范围要求在  $10\sim 38^\circ\text{C}$ ,机械在冬天与夏天进行户外作业容易超出边界条件要求,特别是农业机械在收割季节户外温度容易超过  $38^\circ\text{C}$ ,导致试验无效。

### (4) 车载诊断与远程在线监控需进一步完善

随着标准适用范围的扩大,对于其他燃料类型及混合动力电动机械的  $\text{NO}_x$  诊断系统(NCD)和颗粒物诊断系统(PCD)的部分监控项目尚处于缺失状态。另外,标准对于整机 NCD/PCD 的抽检项目及抽检工况等条件并无明确规定,需要在标准进一步明确。

远程排放监控要求。数据采集与传输频率方面,项目组采集了多个国四阶段工程机械的作业数据,从运行工况、 $\text{NO}_x$  排放、 $\text{CO}_2$  排放、CO 排放几个角度对数据频率的影响进行了验证和归纳总结,随着采样频率的降低,部分峰值工况会遗漏。同时,随着标准适用范围的扩大,其他燃料类型及混合动力电动机械的部分监控项目同样处于缺失状态。

## 4. 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

### 4.1. ISO 标准

ISO 8178《往复式内燃机排放测量》系列标准，目前共有 9 部分（见表 2），该系列标准是对往复式内燃机排气污染物测量的全面要求，涉及测量方法、污染物类型、测试设备及系族划分等，不涉及排放限值。欧盟、美国和我国的非道路用柴油机的试验方法均以 ISO 8178 系列标准为基础制定。

表 2 ISO8178 系列标准

标准号	对应国标	标准名称
ISO 8178-1:2020	GB/T 8190.1—2023	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系统
ISO 8178-2:2021	GB/T 8190.2—2011	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 8178-3:2019	GB/T 8190.3—2025	往复式内燃机 排放测量 第 3 部分：使用滤纸式烟度计测量压燃式发动机排气烟度的测试规程
ISO 8178-4:2020	GB/T 8190.4—2023	往复式内燃机 排放测量 第 4 部分：不同用途发动机的稳态和瞬态试验循环
ISO 8178-5:2021	GB/T 8190.5—2019	往复式内燃机 排放测量 第 5 部分：试验燃料
ISO 8178-6:2018	GB/T 8190.6—2022	往复式内燃机 排放测量 第 6 部分：测量结果和试验报告
ISO 8178-7:2015	GB/T 8190.7—2018	往复式内燃机 排放测量 第 7 部分：发动机系族的确定
ISO 8178-8:2015	GB/T 8190.8—2018	往复式内燃机 排放测量 第 8 部分：发动机系组的确定
ISO 8178-9:2019	GB/T 8190.9—2017	往复式内燃机排放测量 第 9 部分：压燃式发动机瞬态工况排气烟度的试验台测量用试验循环和测试规程
	GB/T 8190.10—2010 (新标准正在审查)	往复式内燃机 排放测量 第 10 部分：压燃式发动机瞬态工况排气烟度的现场测量用试验循环和测试规程

非道路移动机械发动机根据用途有四种不同的稳态试验循环，分别为八工况、七工况、六工况和五工况。八工况应用于非恒定转速工作下的压燃式发动机，例如工程机械、农业机械、叉车等所用发动机；七工况应用于功率大于 19 kW 的非恒定转速的点燃式发动机，例如叉车、机场辅助设备、道路养护设备等所用发动机；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；六工况是功率小于 19 kW 的非恒定转速发动机在八工况或五工况外，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。针对这四种稳态循环，ISO 8178-4 也提供了对应的 RMC 循环，RMC 循环是带过渡工况的稳态试验循环，适用范围与前文相同。

## 4.2. 欧盟法规

### 4.2.1. 发展历程

1998 年 2 月 27 日，欧盟第一个非道路移动机械用发动机排放法规以立法形式通过，即 97/68/EC 指令，规定了功率范围在 19 kW-560 kW 非道路移动机械用

柴油发动机 I 和 II 阶段污染物排放限值及测量方法。

2004 年欧盟发布 97/68/EC 指令的修订版 2004/26/EC 指令，提出了非道路移动机械用柴油机的 IIIA、IIIB、IV 阶段排放限值及其测量方法，同时增加了内河船舶和铁路机车用发动机相关试验方法和限值要求。

2012 年欧盟发布 97/68/EC 指令的修订版 2012/46/EC，主要是完善 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<sub>x</sub> 控制”要求，用于考核柴油机在主要的工作区域内 NO<sub>x</sub> 排放情况，类似于美国的 NTE 标准。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，对于闭式曲轴箱，曲轴箱排气与发动机尾气一同排出，不需要额外的管控要求；对于开式曲轴箱，曲轴箱排气直接排入环境大气中，需要对其进行测量，测量时应将曲轴箱废气接入发动机尾气后处理下游，同尾气充分混合后取样测量。（3）增加了 CO<sub>2</sub> 的监控要求，但没有规定限值。

2016 年 9 月，欧盟发布了非道路移动机械 V 阶段法规 EU 2016/1628，提出了第 V 阶段排放控制要求。2016 年 9 月以后又陆续发布了 EU 2016/1628 的配套法规，即技术要求细化法规（EU 2017/654）、在用机械符合性技术要求（EU 2017/655）和管理要求法规（EU 2017/656），对欧 V 法规进行了全面补充细化，技术方面主要增加了发动机 PN 限值和机械整机 PEMS 测试要求。

到目前为止，欧盟非道路柴油移动机械的排放控制环节包括尾气排放及曲轴箱排放，尾气排放测试项目包括 CO、HC、NO<sub>x</sub>、PM、PN 和 CO<sub>2</sub>，其中 CO<sub>2</sub> 采取报告形式，没有限值要求。欧盟从 2018 年开始执行第 V 阶段排放法规。

#### 4.2.2. 适用范围

欧盟第 I 阶段法规的发动机功率范围从 37 kW 到 560 kW，第 II 阶段法规的发动机功率范围从 19 kW 到 560 kW，第 III 阶段分为 IIIA 和 IIIB 两个阶段，IIIA 阶段法规的发动机功率范围从 19 kW 到 560 kW；IIIB 阶段法规的发动机功率范围从 37 kW 到 560 kW，37 kW 以下发动机仍执行 IIIA 阶段标准。第 IV 阶段法规的发动机功率范围从 56 kW 到 560 kW，37 kW 到 56 kW 发动机执行 IIIB 阶段标准，37 kW 以下发动机执行 IIIA 阶段标准。V 阶段法规开始，适用范围扩大至为全功率段发动机。

### 4.2.3. 排放限值及实施日期

欧盟非道路移动机械柴油机各阶段排放限值及实施时间，见表3。V阶段与IV阶段限值基本一致，但对19 kW-560 kW功率段增加了PN的测量和限值要求，推动了柴油机颗粒物排放控制技术和测量技术与设备的升级。

表3 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						实施日期
		CO (g/kW·h)	THC (g/kW·h)	HC+NOx (g/kW·h)	NOx (g/kW·h)	PM (g/kW·h)	PN (#/kW·h)	
欧 I	37≤P<75	6.5	1.3	—	9.2	0.85	—	1998.7.1
	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	—	2000.1.1
	37≤P<75	5.0	1.3	—	7.0	0.4	—	2003.1.1
	75≤P<130	5.0	1.0	—	6.0	0.3	—	2002.1.1
	130≤P≤560	3.5	1.0	—	6.0	0.2	—	2001.1.1
欧 IIIA	19≤P<37	5.5	—	7.5	—	0.6	—	2006.1.1
	37≤P<75	5.0	—	4.7	—	0.4	—	2006.1.1
	75≤P<130	5.0	—	4.0	—	0.3	—	2006.1.1
	130≤P≤560	3.5	—	4.0	—	0.2	—	2005.7.1
欧 IIIB	37≤P<56	5.0	—	4.7	—	0.025	—	2011.1.1
	56≤P<75	5.0	0.19	—	3.3	0.025	—	2011.1.1
	75≤P<130	5.0	0.19	—	3.3	0.025	—	2011.1.1
	130≤P≤560	3.5	0.19	—	2.0	0.025	—	2010.1.1
欧 IV	56≤P<130	5.0	0.19	—	0.4	0.025	—	2014.1.1
	130≤P≤560	3.5	0.19	—	0.4	0.025	—	2013.1.1
欧 V	P<19	5.5	—	7.5	—	0.40	—	2019.1.1
	19≤P<37	5.0	—	4.7	—	0.015	1×10 <sup>12</sup>	2019.1.1
	37≤P<56	5.0	—	4.7	—	0.015	1×10 <sup>12</sup>	2019.1.1
	56≤P<130	5.0	0.19	—	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>	2020.1.1
	130≤P≤560	3.5	0.19	—	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>	2020.1.1
	P>560	3.5	0.19	—	3.5, 0.67 <sup>a</sup>	0.045, 0.035 <sup>a</sup>	—	2019.1.1

<sup>a</sup>发电机组用 560 kW 以上发动机

### 4.2.4. 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，规定了不同的试验循环，用于工程机械、农用机械等的非恒定转速的发动机，使用八工况循环或六工况循环（适用于 19 kW 以下发动机，见表 4 和表 5），用于发电机组、水泵等的恒定转速发动机使用五工况循环（见

表 6)。在 IIIB、IV 和 V 阶段除了稳态循环外，增加了瞬态试验循环（NRTC），用于额定功率不小于 19 kW 的非恒定转速发动机，整个试验循环为 1238 秒，试验循环见图 11。从欧 V 阶段开始，引入带过渡工况的稳态循环（RMC 模式），企业可以选择稳态离散模式循环或 RMC 模式进行稳态试验。

表 4 非恒定转速柴油机八工况试验循环

八工况稳态循环 C1（离散工况模式）				八工况稳态循环 C1（RMC 模式:1 800 s）			
工况号	发动机转速	负荷百分比	加权系数	RMC 工况号	工况时间	发动机转速	负荷百分比
1	额定转速	100	0.15	1a 稳定点	126	怠速	0
				1b 瞬态过渡	20	线性过渡	线性过渡
2	额定转速	75	0.15	2a 稳定点	159	中间转速	100
				2b 瞬态过渡	20	中间转速	线性过渡
3	额定转速	50	0.15	3a 稳定点	160	中间转速	50
				3b 瞬态过渡	20	中间转速	线性过渡
4	额定转速	10	0.10	4a 稳定点	162	中间转速	75
				4b 瞬态过渡	20	线性过渡	线性过渡
5	中间转速	100	0.10	5a 稳定点	246	额定转速	100
				5b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
6	中间转速	75	0.10	6a 稳定点	164	额定转速	10
				6b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
7	中间转速	50	0.10	7a 稳定点	248	额定转速	75
				7b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
8	怠速	0	0.15	8a 稳定点	247	额定转速	50
				8b 瞬态过渡	20	线性过渡	线性过渡
				9 稳定点	128	怠速	0

表 5 非恒定转速柴油机六工况试验循环

六工况稳态循环 G2（离散工况模式）				六工况稳态循环 G2（RMC 模式:1 800 s）			
工况号	发动机转速	负荷百分比	加权系数	RMC 工况号	工况时间	发动机转速	负荷百分比
1	额定转速	100	0.09	1a 稳定点	41	怠速	0
				1b 瞬态过渡	20	线性过渡	线性过渡
2	额定转速	75	0.20	2a 稳定点	135	额定转速	100
				2b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
3	额定转速	50	0.29	3a 稳定点	112	额定转速	10
				3b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
4	额定转速	25	0.30	4a 稳定点	337	额定转速	75
				4b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
5	额定转速	10	0.07	5a 稳定点	518	额定转速	25
				5b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
6	怠速	0	0.05	6a 稳定点	494	额定转速	50
				6b 瞬态过渡	20	线性过渡	线性过渡
				7 稳定点	43	怠速	0

表 6 恒定转速柴油机五工况试验循环

五工况稳态循环 D2（离散工况模式）				五工况稳态循环 D2（RMC 模式:1 200 s）			
工况号	发动机转速	负荷百分比	加权系数	RMC 工况号	工况时间	发动机转速	负荷百分比

1	额定转速	100	0.05	1a 稳定点	53	额定转速	100
				1b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
2	额定转速	75	0.25	2a 稳定点	101	额定转速	10
				2b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
3	额定转速	50	0.30	3a 稳定点	277	额定转速	75
				3b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
4	额定转速	25	0.30	4a 稳定点	339	额定转速	25
				4b 瞬态过渡	20	额定转速	线性过渡
5	额定转速	10	0.10	5 稳定点	350	额定转速	50

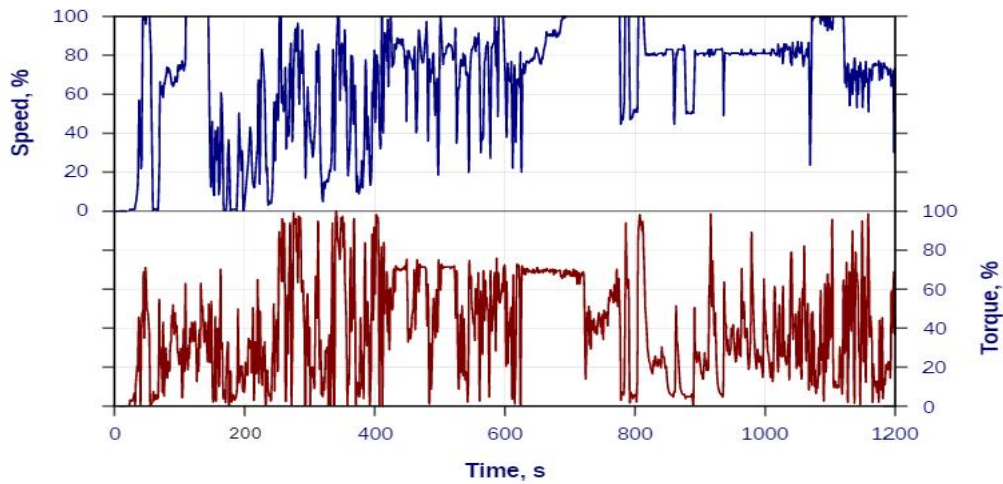


图 11 NRTC 试验循环

#### 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 7 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有效寿命是不一样的。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，进行发动机及其排放控制装置的耐久老化。试验可以在认证机构进行，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 个点的排放，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 7 有效寿命要求

功率 (kW)	工作特性	有效寿命 (h)
≤37	恒速	3000
	非恒速	5000
>37	恒速/非恒速	8000

#### 4.2.6. 基准燃油参数

随着标准限值的加严，非道路移动机械需要采用更先进的排放控制技术，例如高压共轨、单体泵、废气再循环（EGR）、氧化型催化器（DOC），以及选择性催化还原系统（SCR）、柴油颗粒捕集器（DPF）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，会严重影响排气后处理系统的正常工作。因此从III A 阶段开始，燃油硫含量降到了 300 ppm，从III B 阶段开始，硫含量降到了 10 ppm，与车用燃油硫含量一致。各阶段燃油主要参数对比见表 8。

表 8 欧盟各阶段基准燃油参数

标准	十六烷值		硫含量 (ppm)	
	最小	最大	最小	最大
欧 I、欧 II	45	50	1000	2000
欧 III A	52	54	—	300
欧 III B、欧 IV	—	54	—	10
欧 V	45	56	—	10

#### 4.2.7. 整机排放测试要求

欧盟从第 V 阶段开始，增加了机械实际使用过程中的排放测试方法，即车载测量方法（PEMS），对有效寿命期内的机械进行排放测试，适用于发动机额定功率在 56 kW 到 560 kW 的机械，但未提出限值要求，目前是要求企业分 4 年每年提供 9 台机械的测试数据，为将来制定限值提供数据基础。

### 4.3. 美国法规

#### 4.3.1. 美国环境署法规

##### 4.3.1.1. 标准发展历程

1994 年，美国环境署（EPA）发布了非道路移动机械用柴油机第一阶段排放标准（Tier 1），该标准适用于 37 kW-560 kW 功率范围的发动机，并在 1999 年 6 月至 2000 年根据发动机功率段不同逐步实施，减少了上述发动机 30% 的 NO<sub>x</sub> 排放。其间 EPA 又补充了 37 kW 以下和 560 kW 以上功率段的第一阶段排放控制要求。至此，该法规覆盖了非道路移动机械用的全部功率段柴油机。

1998 年 8 月 27 日，EPA 发布了非道路移动机械用柴油机第二、三阶段排放标准（Tier 2 和 Tier 3）。2001 至 2006 年间分功率逐步实施了 Tier 2 排放标准，

2006 至 2011 年间分功率逐步实施了 Tier 3 排放标准，在 Tier 1 的基础上使 NO<sub>x</sub> 和 PM 排放均分别再降低 60%左右。2004 年 EPA 发布了第四阶段排放标准（Tier 4），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 Tier 4，过渡期相比 Tier 3 只是加严了 NO<sub>x</sub> 的排放限值，过渡期结束后加严了颗粒物的限值要求，Tier 4 与 Tier 3 相比部分功率段的 PM 和 NO<sub>x</sub> 限值加严了 90%。到 2015 年，美国的非道路移动机械用柴油机全部实施第四阶段排放法规。

#### 4.3.1.2. 适用范围

非道路移动机械用柴油机，以及功率小于 37 kW 船用柴油机。

#### 4.3.1.3. 排放限值及实施日期

Tier 1 到 Tier 3，各功率段排放限值及实施时间见表 9。Tier 4 功率段划分与前三个阶段有所不同，将部分功率段合并，功率段划分与欧盟法规更趋同，详细划分功率段见图 12。Tier 4 的过渡时期各个功率段排放限值见表 10。2014 年及其之后的发动机排放限值（Tier 4F）见表 11。

表 9 Tier 1 到 Tier 3 排放限值及实施时间

功率 (kW)	阶段	实施时间	排放限值 (g/kW·h)				
			NO <sub>x</sub>	THC	NMHC+NO <sub>x</sub>	CO	PM
P<8	Tier 1	2000	—	—	10.5	8.0	1.0
	Tier 2	2005	—	—	7.5	8.0	0.80
8≤P<19	Tier 1	2000	—	—	9.5	6.6	0.80
	Tier 2	2005	—	—	7.5	6.6	0.80
19≤P <37	Tier 1	1999	9.2	—	—	—	—
	Tier 2	2004	—	—	7.5	5.5	0.40
37≤P <75	Tier 1	1998	9.2	—	—	—	—
	Tier 2	2004	—	—	7.5	5.0	0.4
	Tier 3	2008	—	—	4.7	5.0	
75≤P <130	Tier 1	1997	9.2	—	—	—	—
	Tier 2	2003	—	—	6.6	5.0	0.30
	Tier 3	2007	—	—	4.0	5.0	
130≤P <225	Tier 1	1996	9.2	1.3	—	11.4	0.54
	Tier 2	2003	—	—	6.6	3.5	0.20
	Tier 3	2006	—	—	4.0	3.5	
225≤P <450	Tier 1	1996	9.2	1.3	—	11.4	0.54
	Tier 2	2001	—	—	6.4	3.5	0.20
	Tier 3	2006	—	—	4.0	3.5	
450≤P ≤560	Tier 1	1996	9.2	1.3	—	11.4	0.54
	Tier 2	2002	—	—	6.4	3.5	0.20

	Tier 3	2006	—	—	4.0	3.5	
P > 560	Tier 1	2000	9.2	1.3	—	11.4	0.54
	Tier 2	2006	—	—	6.4	3.5	0.20



图 12 PART89 与 PART1039 功率段划分区别

表 10 Tier 4 过渡时期排放限值

功率 (kW)	实施日期	排放限值 (g/kW·h)				
		CO	NMHC	NMHC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	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 <sup>a</sup> )	0.10

<sup>a</sup> 大于 900 kW 的可移动式发电机组用柴油机采用该限值。

表 11 Tier 4 排放限值 (2014 年及以后的发动机)

功率 (kW)	范围	排放限值 (g/kW·h)				
		CO	NMHC	NMHC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	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

#### 4.3.1.4. 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或六工况循环 (适用于 19 kW 以下发动机), 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。Tier 4 增加瞬态试验循环, 和带过渡工况的稳态循环 (RMC 模式), 瞬态测试循环不适用于恒速发动机和 560 kW 以上的发动机。各试验循环与欧盟一致。

#### 4.3.1.5. 有效寿命、召回期和质保期

##### (1) 有效寿命 (useful life)

EPA 的有效寿命规定见表 12，与欧盟基本一致，只是控制范围不同，增加了 19 kW 以下发动机的有效寿命规定。同时有效寿命还有小时数和年限的规定，以先到者为准。耐久试验时要求柴油机在有效寿命的 20%~30%时间范围内，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 个点的排放，根据最小二乘法计算劣化系数。

表 12 有效寿命的规定

功率 (kW)	工作特性	额定转速 (rpm)	有效寿命	
			时间 (h)	年限 (年)
P<19	恒速/非恒速	任何转速	3 000	5
19≤P<37	恒速	≥3 000	3 000	5
	恒速	<3 000	5 000	7
	非恒速	任何转速		
P≥37	恒速/非恒速	任何转速	8 000	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，以先到者为准，见表 13。

表 13 召回期规定

功率 (kW)	工作特性	额定转速	召回期	
			时间 (h)	年限 (年)
P<19	恒速/非恒速	任何转速	2 250	4
19≤P<37	恒速	≥3000	2 250	4
	恒速/非恒速	任何转速	3 750	5
P≥37	恒速/非恒速	任何转速	6 000	7

### (3) 质保期 (warranty)

根据美国《空气清洁法》和 40CFR PART 89 标准规定，生产企业对其产品应提供相应的担保期，见表 14，小时数与年数以先到者为准。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。

表 14 质保期规定

功率 (kW)	工作特性	额定转速	质保期	
			时间 (h)	年限 (年)
P<19	恒速/非恒速	任何转速	1 500	2
19≤P<37	恒速	≥3 000	1 500	2
	恒速/非恒速	任何转速	3 000	5
P≥37	恒速/非恒速	任何转速	3 000	5

#### 4.3.1.6. 基准燃油

在 Tier 1 和 Tier 2 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作出具体规定，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 Tier 3 和 Tier 4 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 500 ppm；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 15 ppm 的柴油。

#### 4.3.2. 美国加州最新法规

目前美国加利福尼亚州空气资源局（CARB）正在制定加州非道路柴油发动机 Tier 5 排放标准。对于污染物及排放限值，Tier 5 将持续加严常规污染物的排放限值，相比 Tier 4 标准，计划功率在 56 kW 以下柴油机 NO<sub>x</sub> 和 PM 各降低 75%，功率在 56 kW-560 kW 的柴油机 NO<sub>x</sub> 和 PM 分别降低 90%和 75%，功率在 560 kW 以上的柴油机 NO<sub>x</sub> 和 PM 各降低 50%，NMHC 和 CO 的限值保持不变。除了常规污染物外，当前对于非道路柴油发动机并没有相应的温室气体标准，在 SB32 议案中提出到 2030、2050 年，加州的温室气体排放相比 1990 年分别下降 40%、80%，因此 Tier 5 阶段拟增加 CO<sub>2</sub> 的排放限值要求，在现有基础上 CO<sub>2</sub> 排放降低 5%-8.6%。

加州现行法规要求发动机满足 Not-To-Exceed（NTE）要求，但尚未对在用阶段提出测试要求。在 Tier 5 阶段，CARB 计划提出低负荷循环、持续运转的怠速时长和怠速排放限值、延长有效寿命和质保期、在用阶段的测试和符合性要求。同时，计划增加 OBD 认证要求，对主要零部件（SCR、DPF、NO<sub>x</sub> 传感器等）和容易劣化的硬件进行监控，对接头、故障信息（代码和冻结帧）、数据流参数进行标准化，同时对 NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放进行追踪，记录实际排放并评估。

## 5. 国内相关标准研究

### 5.1. 污染物排放控制标准

#### 5.1.1. 标准概况

2014 年 5 月，原环境保护部发布《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），非道路柴油机于2014年10月1日开始实施第三阶段排放要求。2020年生态环境部发布GB 20891—2014修改单和《非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求》（HJ 1014—2020），自2022年12月1日起，所有生产、进口和销售的560 kW以下（含560 kW）非道路移动机械及其装用的柴油机应符合本标准的要求。《非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》（GB 36886—2018）标准，主要用于在用柴油机械的烟度监管，根据标准的规定，也可以用于新生产机械的下线检查。

### 5.1.2. 适用范围

GB 20891—2014 规定了非道路移动机械用柴油机（含额定净功率不超过 37 kW 的船用柴油机）和在道路上用于载人（货）的车辆装用的第二台柴油机排气污染物排放限值及测量方法。

### 5.1.3. 排放限值

非道路柴油移动机械发动机各阶段排放限值见表 15，随着标准升级排放限值逐渐加严。

表 15 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值（国一至国四阶段）

阶段	额定功率 (kW)	CO (g/kW·h)	HC (g/kW·h)	NO <sub>x</sub> (g/kW·h)	HC+ NO <sub>x</sub> (g/kW·h)	PM (g/kW·h)	PN (#/kW·h)
国一阶段	130≤P≤560	5.0	1.3	9.2	—	0.54	—
	75≤P<130	5.0	1.3	9.2	—	0.7	—
	37≤P<75	6.5	1.3	9.2	—	0.85	—
	18≤P<37	8.4	2.1	10.8	—	1	—
	8≤P<18	8.4	—	—	12.9	—	—
	0<P<8	12.3	—	—	18.4	—	—
国二阶段	130≤P≤560	3.5	1.0	6.0	—	0.2	—
	75≤P<130	5.0	1.0	6.0	—	0.3	—
	37≤P<75	5.0	1.3	7.0	—	0.4	—
	18≤P<37	5.5	1.5	8.0	—	0.8	—
	8≤P<18	6.6	—	—	9.5	0.8	—
	0<P<8	8.0	—	—	10.5	1	—
国三阶段	P>560	3.5	—	—	6.4	0.20	—
	130≤P≤560	3.5	—	—	4.0	0.20	—
	75≤P<130	5.0	—	—	4.0	0.30	—
	37≤P<75	5.0	—	—	4.7	0.40	—
	P<37	5.5	—	—	7.5	0.60	—
国四阶段	P>560	3.5	0.40	3.5, 0.67 <sup>a</sup>	—	0.10	—
	130≤P≤560	3.5	0.19	2.0	—	0.025	5×10 <sup>12</sup>
	75≤P<130	5.0	0.19	3.3	—	0.025	

阶段	额定功率 (kW)	CO (g/kW·h)	HC (g/kW·h)	NO <sub>x</sub> (g/kW·h)	HC+ NO <sub>x</sub> (g/kW·h)	PM (g/kW·h)	PN (#/kW·h)
段 b	56≤P<75	5.0	0.19	3.3	—	0.025	
	37≤P<56	5.0	—	—	4.7	0.025	
	P<37	5.5	—	—	7.5	0.60	

a 适用于可移动式发电机组用 P>900 kW 的柴油机。  
b 第四阶段使用反应剂的柴油机，NH<sub>3</sub> 排放量应小于 25 ppm（质量分数）。

#### 5.1.4.测试循环

测试循环方面，GB 20891 标准中，国一至国三阶段只采用稳态循环（NRSC，non-road steady-state cycle）循环，包括 ISO 8178 的 C1 循环（八工况）、D2 循环（五工况）、G2 循环（六工况）三种循环。其中：C1 循环适用于非恒定转速柴油机，应用最为广泛；D2 循环适用于恒定转速柴油机；19 kW 以下非恒定转速柴油机还可以选用 G2 循环。每一种循环包含一系列规定了柴油机转速和扭矩的工况点，并赋予不同权重，通过加权计算得到整个循环的污染物排放量，见图 13。GB 20891—2014 在稳态工况的基础上，增加了瞬态测试工况 NRTC，适用于 560 kW 以下的非恒定转速柴油机（船用柴油机及 P<sub>max</sub><19 kW 的单缸柴油机除外），见图 14。NRTC 与车用柴油机的 WHTC 测试循环相似，包含 1238 个逐秒变化的瞬态工况点，测试过程中运行两次，一次为冷启动，一次为热启动，在进行排放量计算时二者进行加权。

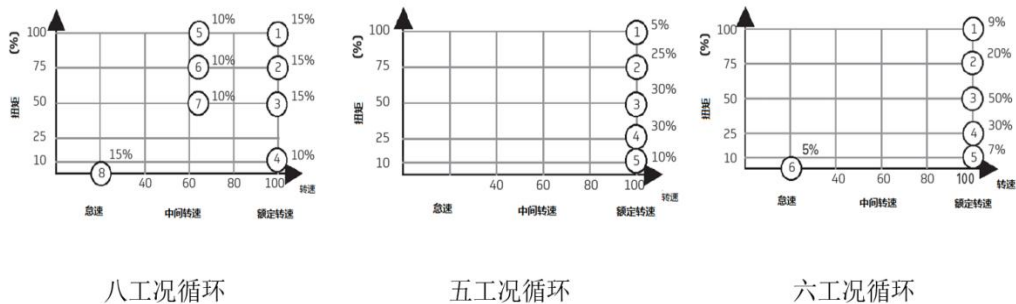


图 13 非道路移动机械用柴油机稳态试验循环

国四阶段标准引入了控制区（非标准循环）的概念，使发动机的排放控制从几个点扩大到整个面。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标准工况限值的 2 倍。

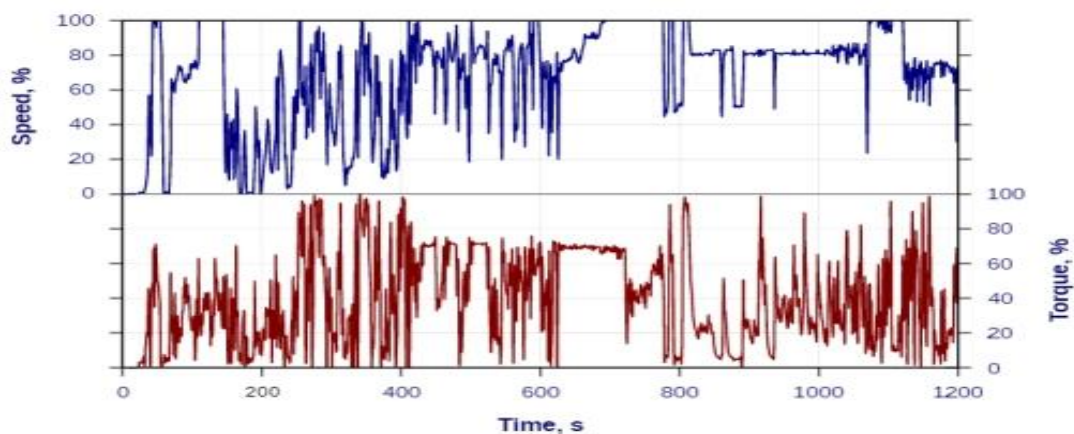


图 14 非道路移动机械用柴油机瞬态测试循环

### 5.1.5. 耐久性和质保期要求

国四阶段的耐久性要求与国三阶段相同，即应保证柴油机的排放控制装置在规定的有效寿命期内正常运转，且污染物排放符合标准规定的限值要求。另外，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，国四阶段提出了环保关键零部件质保期的要求，见表 16。

表 16 耐久性时间及质保期要求（国四）

功率 (kW)	转速 (rpm)	有效寿命 (h)	允许最短试验时间 (h)	质保期	
				时间 (h)	年限 (年)
$P_{max} \geq 37$	任何转速	8000	2000	3000	5
$19 \leq P_{max} < 37$	非恒速	5000	1250		
	恒速 < 3000				
$P_{max} < 19$	恒速 $\geq 3000$	3000	750	1500	2
	任何转速				

### 5.1.6. 整机排放测试

国四阶段增加了机械整机排放测试要求（PEMS），即对 37 kW 及以上机械在实际作业条件下的污染物排放进行测试，用于新生产机械的一致性检查以及在用机械的符合性检查。PEMS 测试限值要求为测量结果的 90%有效功基窗口的 CO、NO<sub>x</sub> 比排放量小于柴油机台架测试限值的 2.5 倍，同时要求进行 PEMS 测试时，不能有目视明显可见烟。

### 5.1.7. 远程监控与机械定位要求

国四阶段对装用 37 kW 及以上的柴油机的非道路移动机械，增加了精准定位要求；对装用额定净功率 37 kW 及以上柴油机的工程机械，另外增加了车载远程终端要求。标准规定车载远程终端应具备发送监测信息的功能，监测信息包

括定位信息、发动机性能信息和排放关键零部件状态信息等。

### 5.1.8. 排气后处理系统的监控要求

国四阶段增加了确保 NO<sub>x</sub> 控制措施正确运行的监控要求，以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。同时，标准对 DPF、DOC 等后处理系统也提出了监控要求，要求生产企业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。

### 5.2. 温室气体排放控制标准

我国目前尚未制定非道路柴油移动机械温室气体排放标准，按照 HJ 1014—2020 标准要求，在国四阶段发动机型式检验测试污染物时，同步测试 CO<sub>2</sub> 排放（g/kW·h）和油耗，并将测试结果与污染物结果同时进行环保信息公开。非道路移动机械种类和用途繁多，目前国内并没有统一的非道路移动机械油耗的标准，仅对部分类别的工程机械、农业机械、发动机制定了燃油消耗量试验方法的标准，或燃油消耗量指标和测量方法，相关标准见表 17。

表 17 非道路移动机械及其发动机油耗或能效标准

机械类型	标准号	标准名称	实施时间	发布部门	技术归口
农业机械	GB/T 29002—2012	全喂入联合收割机 燃油消耗量指标及测量方法	2013/7/1	中国机械工业联合会	全国农业机械标准化技术委员会
	GB/T 29003—2012	半喂入联合收割机 燃油消耗量指标及测量方法	2013/7/1	中国机械工业联合会	全国农业机械标准化技术委员会
	GB/T 29004—2021	水稻插秧机 燃油消耗量指标及测量方法	2022/7/1	中国机械工业联合会	全国农业机械标准化技术委员会
	GB/T 33004—2016	自走式玉米收获机械 燃油消耗量指标及测量方法	2017/5/1	中国机械工业联合会	全国农业机械标准化技术委员会
	GB/T 33005—2016	微型耕耘机 燃油消耗量指标及测量方法	2017/5/1	中国机械工业联合会	全国农业机械标准化技术委员会
	GB/T 15370 系列标准	农业拖拉机 通用技术条件	2013/7/1	中国机械工业联合会	全国拖拉机标准化技术委员会
	NY/T 2207—2019	轮式拖拉机能效等级评价	2019/11/1	中国农业农村部	全国农业机械标准化技术委员会
NY/T 1932—2010	联合收割机燃油消耗量评价指标及测量方法	2010/9/1	中华人民共和国农业农村部	中华人民共和国农业农村部	
工程机械	GB/T 36694—2018	土方机械 履带式推土机燃油消耗量试验方法	2019/4/1	中国机械工业联合会	全国土方机械标准化技术委员会
	GB/T 36695—2018	土方机械 液压挖掘机燃油消耗量试验方法	2019/4/1	中国机械工业联合会	全国土方机械标准化技术委员会
	GB/T 36696—2018	土方机械 轮胎式装载机燃油消耗量试验方法	2019/4/1	中国机械工业联合会	全国土方机械标准化技术委员会
	GB/T 36978—2018	土方机械 轮胎式叉装机燃油消耗量试验方法	2019/7/1	中国机械工业联合会	全国土方机械标准化技术委员会
	GB/T 41109—2021	土方机械 平地机燃油消耗量试验方法	2022/7/1	中国机械工业联合会	全国土方机械标准化技术委员会

机械类型	标准号	标准名称	实施时间	发布部门	技术归口
	GB/T 39416—2020	汽车起重机燃油消耗量试验方法	2021/6/1	中国机械工业联合会	全国起重机械标准化技术委员会
	JB/T 11988—2014	内燃平衡重式叉车能效测试方法	2014/10/1	工业和信息化部	全国工业车辆标准化技术委员会
	JB/T 11764—2018	内燃平衡重式叉车能效限额	2018/10/1	工业和信息化部	全国工业车辆标准化技术委员会
林业机械	GB/T 18516—2017	便携式油锯 锯切效率和燃油消耗率试验方法 工程法	2017/12/1	国家林业和草原局	全国林业机械标准化技术委员会
	LY/T 1444—2025	林区木材生产综合能耗	2025/11/1	国家林业和草原局	全国能源基础与管理标准化技术委员会林业能源管理分技术委员会
	LY/T 3019—2018	林业机械 以汽油机为动力的便携式割灌机和割草机 切割效率和切割燃油消耗率测试方法	2019/5/1	国家林业和草原局	全国林业机械标准化技术委员会
	LY/T 3165—2019	林业机械 便携式割灌机和割草机 发动机性能和燃油消耗	2020/4/1	国家林业和草原局	全国林业机械标准化技术委员会
	LY/T 1593—2001	便携式油锯 发动机性能和燃油消耗	2001/12/15	国家林业和草原局	全国林业机械标准化技术委员会
矿卡	QC/T 76.6—1993	矿用自卸汽车试验方法 燃料消耗量试验	1994/1/1	中国汽车工业总公司	全国汽车标准化委员会
发动机	GB/T 28239—2020	非道路用柴油机燃料消耗率限值及试验方法	2020/11/1	国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会	全国内燃机标准化技术委员会
	GB/T 37692—2019	非道路移动机械用小型点燃式发动机工况法燃料消耗率限值与测量方法	2020/11/1	国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会	全国内燃机标准化技术委员会
	GB/T 38750.1—2020	往复式内燃机能效评定规范 第1部分：柴油机	2020/11/1	国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会	全国内燃机标准化技术委员会
	GB/T 38750.2—2020	往复式内燃机能效评定规范 第2部分：汽油机	2020/11/1	国家市场监督管理总局 国家标准化管理委员会	全国内燃机标准化技术委员会

非道路用发动机的燃料消耗率标准与排放标准采用相同的测量工况，加权燃料消耗率限值和各级的能耗限值如表 18 和表 19 所示。

表 18 非道路用柴油机加权燃料消耗率限值

标定功率 (kW)	加权燃料消耗率限值 (g/kW·h)	
	直喷机	非直喷机
P<4.5	375	
4.5≤P<8	326	358
8≤P<19	279	307
19≤P<37	273	300
37≤P<75	262	288
75≤P<130	260	
130≤P<225	255	
225≤P<450	238	
450≤P≤560	228	

表 19 各等级能效非道路用柴油机多工况平均燃料消耗率规定值

标定功率 (kW)	直喷机 (g/kW·h)			非直喷机 (g/kW·h)		
	1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
P<4.5	353	364	375	353	364	375
4.5≤P<8	306	316	326	337	347	358
8≤P<19	262	271	279	289	298	307
19≤P<37	257	265	273	282	291	300
37≤P<75	246	254	262	271	279	288
75≤P<130	244	252	260	244	252	260
130≤P<225	240	247	255	240	247	255
225≤P<450	224	231	238	224	231	238
450≤P≤560	214	221	228	214	221	228

## 6. 标准制订的基本原则和技术路线

标准制订将以促进非道路移动机械行业高质量发展与环境空气质量改善为目标。另外，目前国四阶段排放标准由 GB 20891—2014 及其修改单、HJ 1014—2020、HJ 1322-2023 共同组成，其中 HJ 1014—2020、HJ 1322-2023 是 GB 20891—2014 的补充，在国五阶段的排放标准中将会对上述标准进行整合。本标准研究制订的技术路线见图 15。

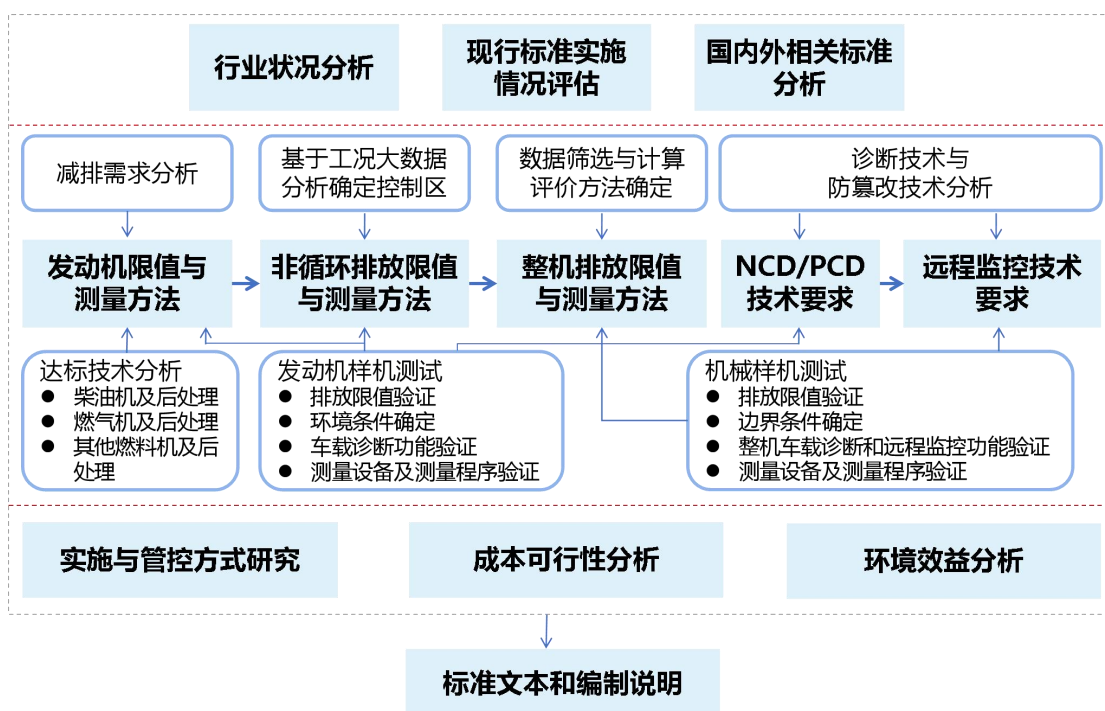


图 15 标准研究制订技术路线

## 7. 标准主要技术内容

### 7.1. 标准适用范围

一直以来，非道路移动机械通常以柴油发动机为动力，受市场需求等影响，目前以天然气为燃料的发动机开始在国内部分工程机械上应用。同时，面向各类低碳、零碳燃料应用的发展趋势，本标准适用范围在国四标准基础上，新增气体燃料和其他替代液体燃料机械及其装用的发动机，燃料类型包括天然气、氢气、甲醇等，也适用于柴油燃气双燃料发动机，以及混合动力电动非道路移动机械等。同时，秉持燃料中立的原则，对于各类燃料和动力类型的非道路移动机械及其发动机采用相同的限值和技术要求，确保各类新技术应用的过程中不增加传统污染物排放，且不会增加其他有毒有害物质的排放而带来新的健康和环境风险。

## 7.2. 标准结构框架

标准文本包含前言、正文和附录三个部分。前言部分主要说明标准制订的依据、本标准与国四标准及其他相关标准的关联及区别、实施日期等概况。正文部分主要规定了标准的限值及实施的总体要求，包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、排放控制要求、技术要求和试验、系族和源机、生产一致性、在用符合性、机械下线检验、标准实施等内容。附录部分主要是对信息公开技术资料、试验规程、下线检验、生产一致性检查、在用符合性检查、基准燃料等进行规定。

## 7.3. 主要技术内容及其制定依据

### 7.3.1. 发动机污染物排放限值

本标准拟对标欧盟五阶段和美国Tier 4F法规提出限值要求。同时，考虑随着尾气排放限值的逐步加严，曲轴箱排放已不容忽视，因此本标准规定曲轴箱排放不能直排大气，需要引入进气；对于开式曲轴箱，在排放测量过程中，则要求曲轴箱排气应与发动机尾气混合后进行测量，排放值在考虑劣化后应满足标准限值要求。与国四阶段相比，不同功率段发动机的NO<sub>x</sub>和PM限值有不同程度的加严，56 kW-130 kW功率段发动机的NO<sub>x</sub>加严幅度最大，约在88%，19 kW-37 kW功率段发动机的PM加严幅度最大，约在98.5%。各功率段限值变化情况如图16所示。

项目组对不同企业的19kW以下非道路发动机按照本标准规定的稳态和瞬态工况进行排放测试，均能满足国五限值要求。其中稳态工况下，CO 排放放在0.1~2.5 g/kW.h，HC+NO<sub>x</sub> 排放放在3.7~6.5 g/kW.h，PM 排放放在0.05~0.27 g/kW.h；瞬态工况下，CO 排放放在0.2~3 g/kW.h，HC+NO<sub>x</sub> 排放放在4.5~6.5 g/kW.h，PM 排放放在0.05~0.37 g/kW.h。从测试结果来看，各机型的CO与PM总体排放距离限

值均有较大裕度。另外，国五标准将对 19 kW 以下发动机提出统一限值要求，这与欧五法规中 8 kW 以下单独规定限值的方式略有不同。根据当前样机的测试结果，19 kW 以下发动机提出统一限值要求具有可行性。

项目组对不同企业的37 kW~560 kW功率段的非道路发动机按照本标准规定的瞬态工况进行排放测试。被测发动机均采用DOC+DPF+SCR+ASC技术路线，大部分采用高压共轨的供油方式，少部分使用单体泵或者泵喷嘴。被测发动机各项污染物考虑劣化修正后，排放均能满足国五标准限值要求，其中CO和THC排放量基本在限值的10%以内，PM排放量在0.001~0.008 g/kW.h，PN排放量在 $0.01 \times 10^{12} \sim 0.5 \times 10^{12}$ 个/kW.h，NO<sub>x</sub>排放量在0.046~0.39 g/kW.h。根据当前样机的测试结果，国内外均有机型能够满足37 kW~560 kW功率段发动机排放限值，具有技术可行性。

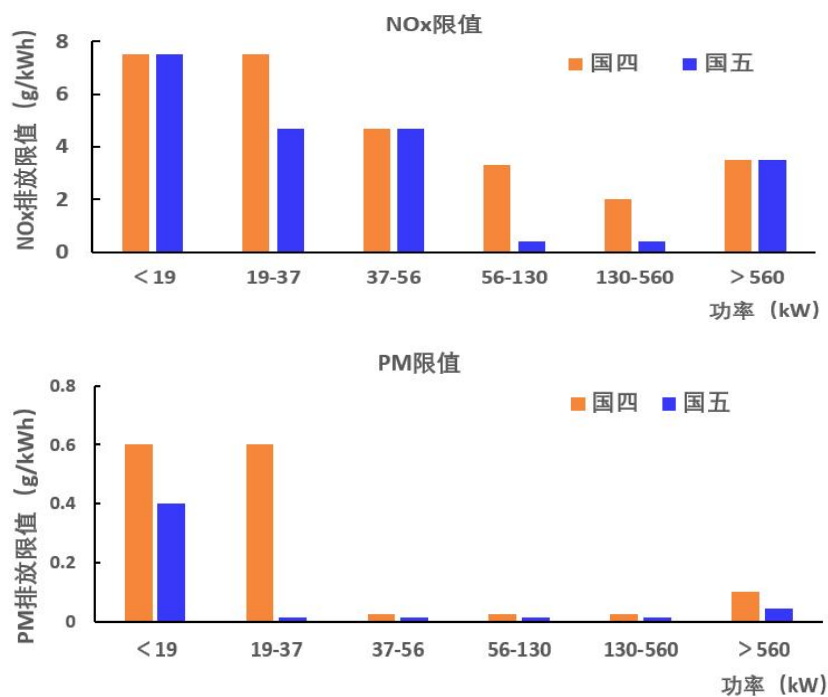


图 16 国四、五阶段 NO<sub>x</sub> 和 PM 限值比较

### 7.3.2. 测量循环

非道路移动机械在测量循环方面，我国标准与欧美标准具有高度协调一致性。国五阶段，仍沿用国四标准的测量循环，包括稳态循环（NRSC）和瞬态循环（NRTC），稳态循环包含五工况、六工况、七工况、八工况，详见表 20。同时，引入带过渡工况的稳态循环（RMC 模式），RMC 模式示例见表 21，企业可以选择稳态离散模式循环或 RMC 模式进行稳态试验。RMC 与 NRSC 的主要差异

在于发动机稳态工况点进行切换时，RMC 模式下颗粒物采样单元持续采样，避免了原 NRSC 的间断采样时采样控制阀开关的步骤，有助于保证测量结果的一致性。对于 560 kW 以下发动机，优先选用 RMC 循环。

表 20 稳态循环（NRSC）工况对比表

工况分类	适用发动机类型	工况示意图
五工况	恒定转速下工作的发动机	<p>归一化发动机负荷 (%)</p> <p>归一化发动机转速 (%)</p>
六工况	1、非恒定转速下工作、最大净功率小于 19 kW 的发动机（六工况、八工况选其一） 2、19 kW~30 kW 且总排量小于 1 L 的点燃式发动机	<p>归一化发动机负荷 (%)</p> <p>归一化发动机转速 (%)</p>
七工况	非恒定转速下工作、最大净功率 19 kW 到 56 kW 的点燃式发动机（不包括 19 kW~30 kW 且总排量小于 1 L 的点燃式发动机）	<p>归一化发动机负荷 (%)</p> <p>归一化发动机转速 (%)</p>
八工况	非恒定转速下工作的发动机（不包括最大净功率小于 56 kW 的点燃式发动机）	<p>归一化发动机负荷 (%)</p> <p>归一化发动机转速 (%)</p>

对于在非恒定转速下工作的发动机，按八工况循环进行试验。对于在恒定转速下工作的发动机，按五工况循环进行试验。对于在非恒定转速下工作、额定净功率小于 19 kW 的发动机，也可以按六工况循环进行试验。对于在非恒定转速下工作、额定净功率 19 kW 到 56 kW 的点燃式发动机，按七工况循环进行试验。

标准编制组开展了 20 台柴油机的 RMC 与其对应的离散点工况循环的测试

对比。两种循环的 NO<sub>x</sub>和 PM 测量结果趋势一致，测量结果绝对值差异较小，RMC 循环作为离散点工况循环的替代工况是可行的。

表 21 RMC 循环示例（八工况）

序号	工况时间 (s)	发动机转速 (r/min)	扭矩百分数 (%)
1a 稳态	126	怠速	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	0

瞬态循环方面，针对点燃式发动机增加了专门的瞬态工况，即点燃式发动机瞬态循环（LSI-NRTC），适用于 19kW 到 56kW 的点燃式发动机，仅进行热启动试验。对于 560kW 以下的非恒定转速柴油机，与国四阶段要求相同，需进行瞬态循环测试，其中冷启动权重系数为 10%，热启动权重系数为 90%。

### 7.3.3.机械整机测试要求

为加强非道路移动机械的排放监控，从国四阶段标准开始对非道路移动机械整机提出了便携式车载测量方法（PEMS）及限值要求。国五阶段在国四阶段基础上，进一步升级和优化整机测试方法并提出新的限值要求，主要变化见表 22。

在数据分析过程中，发现国四测试数据分析方法需要执行复杂的无效事件判定和数据剔除、数据组合处理，数据分析方法复杂且剔除了部分低负荷的高排放点。鉴于此，国五标准借鉴美国 2027 年重型车排放标准中的 2 Bin 300 s 移动平均窗口法，提出了 300 s 移动平均窗口平均法的数据分析方法。标准编制组对 22 台样机的 PEMS 排放测试数据进行了不同数据处理方法的分析，结果显示，2 Bin 300 s 移动平均窗口法能够有效避免将低负荷窗口排除不予评价的问题。

表 22 国四与国五 PEMS 要求主要差异

项目	国四	国五
适用范围	37kW 及以上机械	19kW 及以上电控机械
测试组分	NO <sub>x</sub> 、CO、CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> 、PN <sub>23</sub> 、CO、CO <sub>2</sub>
试验条件	海拔: ≤1 700 m; 温度:10℃ ≤T≤ 38℃	海拔: ≤2 400 m; 温度:-7℃ ≤T≤ 40℃
机械运行	非强制冷启动, 5~7 倍 NRTC 循环功或 2 h, 平均功率百分比≥15%额定净功率	强制冷启动, 5~7 倍 NRTC 循环功或 2 h, 平均功率百分比≥10%额定净功率
数据分析方法	剔除无效事件后功基窗口法	300 s 移动平均窗口法
结果报告	仅计算报告热稳运行排放	冷启动 Bin (仅记录)、非怠速 Bin (结果判定)、怠速 Bin (仅记录)
应用环节	生产一致性、在用符合性	型式检验、生产一致性、在用符合性

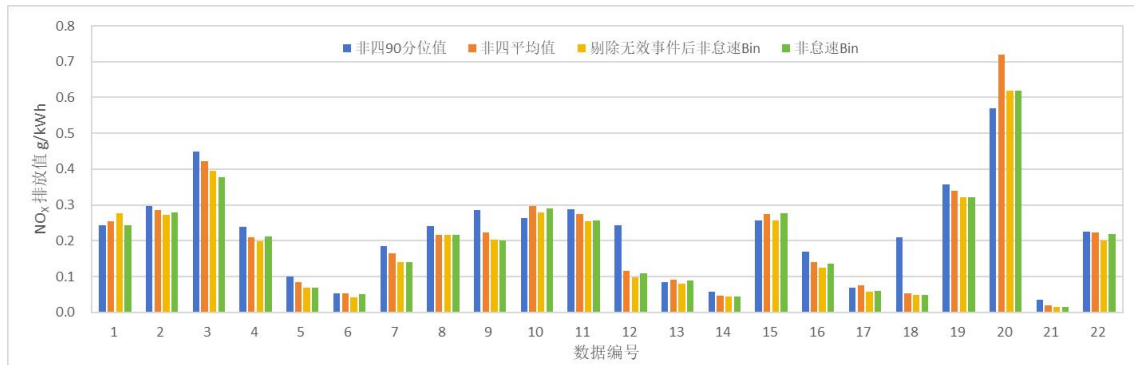


图 17 机械 PEMS 测试 NO<sub>x</sub> 排放结果

标准编制组对 22 台工程机械和农业机械样机进行了 PEMS 测试研究，测量结果如图 17 所示。各机械的 PEMS 测试结果差异较明显，但均满足本标准整机限值要求。

### 7.3.4. 二氧化碳测试及限值

为推进非道路移动机械减污降碳协同控制，本标准将对非道路移动机械用发动机的 CO<sub>2</sub> 排放提出控制要求，测试工况与污染物的相同，且同步进行测量。其中，19 kW-560 kW 的发动机区分不同功率段给出相应的 CO<sub>2</sub> 排放限值（表 23 所示），19 kW 以下及 560 kW 以上功率段的发动机仅需记录 CO<sub>2</sub> 排放值。

编制组通过对国三、国四阶段非道路移动机械用柴油机的信息公开数据，以及部分欧五阶段柴油机的实测结果进行统计分析，结合 GB/T 38750.1—2020《往复式内燃机能耗评定规范 第 1 部分 柴油机》中能效等级的要求，依据 NRTC 循环下的数据分析结果，取各功率段 90%分位值为限值，提出了上述 CO<sub>2</sub> 排放限值建议。研究过程发现，19 kW 以下功率段发动机各机型间的 CO<sub>2</sub> 排放差异非

常大，即使进一步细分功率段，各功率段中的发动机型 CO<sub>2</sub> 排放也没有明显的规律；560 kW 以上机型产量低，基础数据少，且功率跨度非常大，能耗水平差异非常大。因此，19 kW 以下及 560 kW 以上这两个功率段目前很难给出限值要求，国五阶段考虑型式检验中记录其 CO<sub>2</sub> 排放值，以便收集数据和后续评估。

表 22 发动机标准循环温室气体排放限值建议

发动机功率 P (kW)	CO <sub>2</sub> (g/kW·h)
P<19	记录
19≤P<37	940
37≤P≤75	880
75≤P≤130	845
130≤P≤225	830
225≤P≤450	770
450≤P≤560	740
P>560	记录

编制组选择不同功率段发动机样机进行了试验验证，结果表明均能满足对应功率段的 CO<sub>2</sub> 限值要求。

### 7.3.5.NCD 和 PCD 要求

在非道路移动机械国四标准中，增加了 NCD（NO<sub>x</sub> 诊断系统，NO<sub>x</sub> control diagnostic system）和 PCD（颗粒物诊断系统，Particulate control diagnostic system）的要求。为加强对生产企业排放控制软件及标定管理，本标准参照汽车国六标准修改单的要求，增加 CAL ID 和 CVN 的技术要求和备案要求，以及时了解生产企业后期对排放相关软件的更新调整情况，支持后续在用机械污染防治监管。

本标准参考汽车的车载诊断系统在用监测频率（IUPR）要求，提出非道路移动机械的 NCD 和 PCD 的 IUPR 要求，考虑非道路机械作业场景碎片化、低负荷工况占比高等特点，将 IUPR 限值设定为 0.03，在确保基础监管效能的同时，为未来提出更加严格的限值要求留出缓冲空间。

另外，考虑到有关 NCD、PCD、IUPR 及各种诊断通信协议内容的完整性和独立性，本标准以引用现有标准为主，即将 GB/T 42193—2022、ISO 27145 及 SAE J1939 标准作为规范性引用文件，与欧美法规的做法是一致的。

### 7.3.6.远程监控要求

为持续提高非道路移动机械远程排放监控效果，本标准在国四阶段相关要求基础上，从远程排放监控适用机械范围、远程排放监控保障功能、数据采集项及

数据传输频率等方面进行了优化和更新，提出技术要求。

(1) 适用范围方面，本标准考虑增加对于装用额定净功率 19 kW-37 kW 发动机（小功率机械）和装用辅助发动机的非道路移动机械的远程排放监管。小功率机械虽然发动机排量小，功率低，但是保有量较大且种类多，如：微小型挖机、小型装载机、叉车等。另外，常见的包含辅助发动机的非道路移动机械类型包括：起重机、环卫车、石油压裂车、超大型挖掘机等。由于辅助发动机一般用于机械作业的动力输出，其污染物排放量有可能接近甚至超过行驶发动机，因此需要增加对辅助发动机的远程监控。

(2) 远程排放监控保障功能方面，为实现非道路移动机械全生命周期内的远程排放监控，增加远程排放监控保障功能，用于机械远程排放监控功能异常时提醒驾驶员并上传功能异常报警。

(3) 优化远程监控数据项及数据传输频率方面，为了对非道路移动机械排放实现更好监管效果，国五阶段增加对于混合动力机械、各类燃料类型机械对应的数据单元，以满足不同类型机械的数据采集要求。考虑到企业实际需求，标准将不针对瞬时的反应剂喷射量、SCR 氨储量、DPF 碳载量、EGR 质量流量进行监控；考虑到对 DPF 再生监控以及排放计算的需求，增加 DPF 进出口温度和上下游 NO<sub>x</sub> 质量流量的数据上传要求。

编制组采集了多个国四阶段农用机械和工程机械的作业数据，从运行工况、NO<sub>x</sub> 排放、CO<sub>2</sub> 排放、CO 排放几个角度对数据频率的影响进行了验证和归纳总结。随着采样频率的降低，当前数据采集频率不足以支撑评价非道路移动机械的真实排放情况，因此，本标准参考重型车国六标准中远程排放监控要求，并结合非道路移动机械的使用特点，将数据采集频率确定为 1 Hz，并提升远程监控数据的传输频率，即每 10 个作业循环，上传 1 个作业循环的逐秒监测数据。

(4) 增加整机 PEMS 测试项目验证。在 PEMS 测试过程中，对比 PEMS 实际采集排放数据结果和车载终端上传排放数据结果，误差在一定范围内，则判断传输过程的数据一致性满足要求。

#### 7.4. 与国际标准对比

在非道路移动机械排放标准方面，全球的技术标准体系协调性较高，各个控制阶段的测量方法和限值具有良好的协调性，主要在标准实施时间方面存在差异。我国非道路移动机械柴油机排放标准与欧美排放标准，各阶段限值基本一致，不

同的是我国标准实施时间晚于欧美国家。另外，欧美国家的发动机不同功率段标准实施时间不同，一般相差一到两年，而我国未区分发动机功率段，规定了相同的实施时间。国五标准与欧美现行标准相比，污染物项目与限值一致，标准技术内容方面存在一定差异，主要差异见表 24。

表 23 国五标准与欧美现行非道路移动机械标准的主要差异

技术要求		中国	欧盟	美国
		五阶段	V	Tier 4F
控制范围	柴油机、天然气、氢、氨、甲醇等	√	√	√
	双燃料发动机	√	√	√
	混合动力机械	√	×	×
测试循环	稳态测试	√	√	√
	瞬态测试	√	√	√
	非标准循环	√	√	NTE
NCD 和 PCD		√	√	√
曲轴箱污染物要求		√	√	√
质保期		√	×	√
温室气体限值/报告		√	报告	报告
烟度要求		√	×	√
机械整机测试限值/报告		√	报告	×
远程监控		√	×	×

## 8. 标准实施可行性分析

### 8.1. 排放控制技术分析

目前，国内外相应的排放控制技术，如选择性催化还原技术、柴油颗粒捕集器技术等，已非常成熟。标准编制组通过技术调研与试验验证研究，结果表明国五标准的限值和技术要求具备技术可行性。

对于功率小于 19kW 的发动机，通过优化发动机设计改进燃烧即可达到限值要求，无需增加后处理装置。对于功率在 19~37kW 的发动机，通过加装排放 DOC+DPF 后处理系统，部分企业在加装后处理系统的同时将采用高压共轨系统或者 EGR 系统，部分机型涉及曲轴箱升级。对于功率在 37~56kW 的发动机，该功率段发动机在国四阶段已采用 DPF 技术路线，国五阶段排放控制技术路线基本与国四相同，部分企业涉及调整后处理系统涂覆、采用闭式油气分离等，技术已很成熟。对于功率在 56 kW~130 kW 的发动机，该功率段发动机在国四阶段大部分采用 DOC+DPF 技术路线，到国五阶段，将需要在此基础上加装选择性催化还原装置（SCR）；同时，闭式曲轴箱将覆盖所有柴油机产品。对于功率在 130kW~560kW 的发动机，该功率段发动机在国四阶段大部分采用

DOC+DPF+SCR 技术路线，到国五阶段，将需要在此基础上提高 DPF 和 SCR 的转化效率；同时，闭式曲轴箱将覆盖所有柴油机产品。对于功率在 560kW 以上的发动机，可通过加装 SCR、DOC，必要时加装 DPF 等后处理设备满足国五阶段限值要求，闭式曲轴箱将覆盖所有柴油机产品。

## 8.2. 排放检测技术分析

国五阶段与国四阶段相比，测量的污染物项目新增了 CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 和 NH<sub>3</sub>，需要新增相应的测量单元。通过对检测机构的调研，对于既做汽车及车用发动机检测又做非道路移动机械发动机检测的机构，由于这些污染物项目在汽车国六标准中已有要求，因此检测设备也能够满足国五非道路移动机械及其发动机的检测要求。对于只做非道路移动机械及其发动机检测的机构，则需要新增相应的测量单元，设备均为成熟产品。常规气体分析仪（测量 NO<sub>x</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、THC 等）和颗粒物质量（PM）及数量（PN）设备，国五与国四阶段相比，基本不需要变更。整体来看，测量技术和设备能够满足本标准的实施需要。

## 9. 标准实施的成本效益分析

### 9.1. 技术成本分析

由于非道路移动机械功率分布宽泛，配套机械类型多样，产量高低不同，因此在进行成本分析时，主要基于较常应用的机械类型，标准编制组向国内主要发动机和非道路移动机械制造企业进行了调研。根据各家反馈情况，就达标技术硬件成本进行分析。

对于功率小于 19kW 的发动机，主要通过优化发动机设计改进燃烧满足限值要求，无需增加后处理装置，硬件成本基本没有增加。少部分企业和机型可能采用高压共轨燃油喷射系统，成本约增加 1900 元左右，约占发动机成本的 25%。对于功率在 19kW~37kW 的发动机，主要通过加装排放 DOC+DPF 后处理系统、升级曲轴箱、加装远程监控终端等以满足排放控制要求，总体成本增加 3000~6000 元，约占发动机成本的 25%-50%。

对于功率在 37kW~56kW 的发动机，国五阶段排放控制技术路线与国四阶段接近，预计成本增加不超过 1000 元，增加成本占发动机成本的 5%以下。对于功率在 56kW~130kW 的发动机，综合考虑选择性催化还原装置、闭式曲轴箱等硬件，成本增加约 3000~6000 元，约占发动机成本的 5%~20%。对于功率在

130kW~560kW 的发动机，主要需要在国四技术基础上进一步提高 DPF 和 SCR 的转化效率，并采用闭式曲轴箱，成本增加约 500 元~6000 元，不超过发动机成本的 5%。对于功率在 560kW 以上的发动机，主要通过加装 SCR、DOC，采用闭式曲轴箱等以满足排放控制要求，预计成本增加在 7000 元以上，且随着发动机功率的增大而增多，成本增加约占发动机成本的 5%~10%。

## 9.2. 标准实施的减排效益

### 9.2.1. 单机减排效果

从排放限值的角度，非道路移动机械第五阶段将比第四阶段大幅削减，其中：19kW 以下功率段 PM 限值加严 33%；19~37kW 功率段 CO 限值加严 9%，HC+NO<sub>x</sub> 限值加严 37%，PM 限值加严 98%；37~56kW 功率段 PM 限值加严 40%，PN 限值加严 80%；56~560kW 功率段 NO<sub>x</sub> 加严 80%，PM 加严 40%，PN 加严 80%；560kW 以上功率段 HC 限值加严 53%，PM 加严 55%。此外，国五阶段标准将增加 NH<sub>3</sub> 排放控制，限值为 10 ppm。

### 9.2.2. 污染物减排量估算

综合分析未来非道路移动机械行业发展趋势，结合老旧机械淘汰、零排放机械导入等，对本标准实施的污染物减排效果进行测算。若本标准在 2028 年前后开始实施，与一直实施国四标准相比，到 2035 年，非道路移动机械 NO<sub>x</sub> 减排 22%（32 万吨/年），PM 减排 29%（0.9 万吨/年）。与 2024 年（基准年）相比，2030 年和 2035 年非道路移动机械 NO<sub>x</sub> 年排放量将由 270 万吨分别减少到 161 万吨和 108 万吨；PM 年排放量将由 12.8 万吨分别减少到 5.1 万吨和 2.1 万吨。

## 9.3. 标准实施建议

基于上述分析，非道路移动机械国五标准的制订和实施，将进一步大幅降低非道路移动机械污染物排放，有效支撑空气质量持续改善。标准在排放控制技术和测量技术方面具备良好的技术和经济可行性，综合考虑行业企业技术过渡与升级准备时间，建议标准在 2028 年前后开始全面实施；对于在最终实施日期之前提前完成产品开发的非道路移动机械产品，自标准发布之日起即可依据本标准开展型式检验。

## 参考文献

- [1]中华人民共和国生态环境部《中国移动源环境管理年报 2023》2023
- [2]国务院《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》2018
- [3]国务院《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号）2018
- [4]《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》（环大气〔2018〕179号）2018
- [5]GB 20891《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）》2014
- [6]中国内燃机工业协会.《中国内燃机工业年鉴》2020-2024
- [7]中国农业机械工业协会.《中国农业机械工业年鉴》2020-2024
- [8]中国工程机械工业协会.《中国工程机械工业年鉴》2020-2024
- [9]中国国家统计局.<http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>
- [10]《道路车辆远程诊断支持信息-一般要求、定义和用例》2019
- [11]JT/T 794《道路运输车辆卫星定位系统车载终端技术要求》2019
- [12]生态环境部《非道路移动机械污染防治技术政策》2018
- [13]United States Environmental Protection Agency.40 CFR Part 1039 - CONTROL OF EMISSIONS FROM NEW AND IN-USE NONROAD COMPRESSION-IGNITION ENGINES.  
<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-1039>
- [14]The European Parliament and the Council. REGULATION (EU) 2016/1628 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL