

**《在用非道路移动机械排气烟度排放限值及测量方法》
编制说明**

《在用非道路移动机械排气烟度排放限值及测量方法》标准编制组

二〇一五年十月

目录

一、标准编制背景及必要性	4
(一) 政策背景.....	4
(二) 上海市非道路移动机械现状分析.....	4
(三) 国内外相关标准研究.....	6
(四) 编制必要性.....	6
二、任务来源、依据和过程	7
(一) 任务来源.....	7
(二) 编制依据.....	7
(三) 工作过程.....	8
三、标准适用范围	9
四、研究内容和排放限值	9
(一) 运行工况.....	9
(二) 测量方法.....	9
(三) 限值制定依据.....	11
(四) 结果判定.....	13
五、本标准与国内外相关标准分析	13
六、经济与技术可行性	14
(一) 国内外排放控制技术.....	14
(二) 改造治理方案分析.....	17
(三) 环境效益分析.....	18
七、配套政策保障	19
(一) 建立烟度测试流程规范.....	19
(二) 建立相应的非道路机械申报制度.....	19
(三) 环保年检及环保标志制度.....	19

一、标准编制背景及必要性

（一）政策背景

为应对严重的大气染污情况，2013年9月10日国务院印发了《大气污染防治行动计划》，主要内容有行动大十条，小三十五条。在发布该行动计划后，国务院于2014年4月30日又发布了《大气污染防治行动计划实施情况考核办法(试行)》(考核十条)，考核指标中明确提出了将机动车污染控制作为政府单项考核指标。该办法的发布明确了环保治理将作为地方政府政绩考核内容之一，同时该办法的发布将有效确保行动计划中相关内容的落实。

上海市政府在国务院颁布相关条款后，也相应发布了地方相关政策法规。在2013年10月18日上海市政府发布了《上海市清洁空气行动计划(2013-2017)》，2014年5月26日上海市政府又发布了《关于进一步加强黄标车和老旧车辆环保治理的实施方案》，2014年7月25日上海市政府颁发了《上海市大气污染防治条例》。以上相关文件的发布为后续环境治理政策措施的实施提供了法律(制度)依据。

在《上海市大气污染防治条例》中第四十条以及第八十七条分别明确提出针对非道路移动机械排放要求及处罚措施。为应对《上海市大气污染防治条例》的有效实施，制订非道路移动机械排气烟度排放限值及测量方法显得尤为重要。

（二）上海市非道路移动机械现状分析

在国家相关移动污染源划分中非道路移动污染源分为陆用机械、水上船舶、轨道机械和航空机械四个大类，相关排放标准的适用范围正是按照这个划分来分别定义各自适用范围，本标准适用陆用非道路移动机械。

非道路移动机械按照设备工作场地可分为以下几类：1) 建筑工程机械(装载机、推土机、挖掘机压路机、非道路用卡车等);2)港作机械(起重机械、吊塔机械等);3)企业场(厂)内机械(叉车、厂内运输车辆、材料装卸机械等);4)农林机械(包括大型拖拉机、联合收割机、木材切割运输机械等);5)机场地勤设备;6)铁路机车;7)船舶发动机。

非道路移动机械按照用途又可分为如下几类：1)娱乐车辆(越野摩托车和全

地面越野车等)；2) 割草机，清扫风机（树叶、积雪）；3)海上游艇（摩托艇和油轮）；4)测井仪器（工业钻探）；5) 工业机械（铲车、清扫车，叉车等）；6)农用拖拉机；7)推土机、挖掘机和筛选机等工程机械；8)火车发动机等内燃机、喷气式和螺旋桨式飞机。

课题组对上海市在用建筑工程机械、港作机械、场（厂）内机械、农林机械、机场地勤设备等非道路移动机械在管理政策以及设备保有量方面进行了调研。

建筑工程机械行政主管部门为上海市建设管理委员会。当前上海市建设管理委员会未针对建筑工程机械执行备案登记管理制度。施工场地及建设工地作业的非道路移动机械（挖掘机、起重机等）由上海市建设机械检定中心出具有关安全方面的检定报告证书即可施工作业。

港作机械行政主管部门为上海市交通管理委员会和上海市质量技术监督局。港作机械需每年在上海市质量技术监督局下属的上海市特种设备监督检验技术研究院进行年检，目前管理方式为年检备案管理制度。在柴油叉车中，国 0 排放阶段数量占叉车总量的 38.1%，国 1 占叉车总量的 32.0%，国 2 占叉车总量的 29.9%；柴油牵引车中，国 0 排放阶段数量占牵引车总量的 82.6%，国 1 占牵引车总量的 2.8%，国 2 占牵引车总量的 14.6%。

企业场（厂）内机械行政主管部门为上海市质量技术监督局。该类机械设备每年需在上海市质量技术监督局下属的上海市特种设备监督检验技术研究院进行检验，场（厂）内机械中主要以厂内叉车为主，占总量的 90%以上，燃料种类以柴油和电为主要动力来源。厂内叉车主要功率段分布在 19kW~56kW 之间。企业场（厂）内机械中的柴油叉车，国 0 排放阶段数量占叉车总量的 26.3%，国 1 排放阶段数量占叉车总量的 19.7%，国 2 排放阶段数量占叉车总量的 54.0%；厂内车辆中，国 0 排放阶段数量占厂内车辆总量的 49.5%，国 1 排放阶段数量占厂内车辆总量的 27.5%，国 2 排放阶段数量占厂内车辆数量的 23.0%。

农林机械行政主管部门为上海市农业管理委员会。该类机械需在上海市农业管理委员会下属的上海市农机安全监理所进行备案登记。农林机械主要集中在小功率发动机，因此使用燃料有柴油、汽油、天然气（CNG）、电等多能源型设备，农林机械中主要以植保机械和拖拉机为主，其中以柴油和汽油为主要燃料来源。农林机械主要以拖拉机为主，功率主要分布在 19kW~56kW 之间，而植被机械主要为<19kW 的小型点燃式发动机。拖拉机中，在国 0 排放阶段的数量占

62.6%，在国 1 排放阶段的数量占 11.3%，在国 2 排放阶段的数量占 26.1%；联合收割机中，在国 0 排放阶段数量占 10.1%，在国 1 排放阶段数量占 21.7%，在国 2 排放阶段的数量占 68.2%。

机场地勤设备无相应行政主管部门，由机场自行负责管理，无相应备案登记制度。机场地勤设备种类主要包括客车、货车和专用工程车等，其中专用工程车的数量远远超过客车和货车。货车和专用工程以柴油为主，汽油辅之，客车中以柴油和汽油两种为主要燃料来源。

（三）国内外相关标准研究

（1）国内相关标准

在我国针对非道路移动机械不可见污染物的排放标准有：

☞ 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)》，该标准适用于非道路移动机械用柴油机（含额定净功率不超过 37kW 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；

☞ GB26133-2010《非道路移动机械用小型点燃式发动机排气污染物排放限值与测量方法（中国第一、二阶段）》，该标准适用于非道路移动机械用净功率不大于 19kW 点燃式发动机。

针对非道路移动机械可见污染物排放标准有：

☞ 北京地标 DB11/ 184-2013《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》；

☞ 深圳地标 SZJG 49-2015《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》

☞ GB/T 9487-2008《柴油机自由加速排气烟度的测量方法》。

（2）国外相关标准

国外可参考标准为 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》，目前该标准已废弃。由于国外非道路移动机械已实施第四阶段排放标准，颗粒质量限值已非常低，因此针对非道路移动机械的排气烟度未有相关标准限值要求。

（四）编制必要性

根据《2013上海市环境状况公报》》全年有124个污染日，其中首要污染物为细颗粒物（PM_{2.5}）的有87天，占70.2%；首要污染物为O₃的天数为33天，占比26.6%；首要污染物为可吸入颗粒物（PM₁₀）的天数有4天，占3.2%。上海市全年达标天数比例仅为67.4%，重度及以上污染天数比例为6.3%。主要污染物为PM_{2.5}、PM₁₀和NO₂。PM_{2.5}年均浓度为62微克/立方米，超标0.77倍；PM₁₀年均浓度为84微克/立方米，超标0.20倍；NO₂年均浓度为48微克/立方米，超标0.20倍；SO₂、CO和O₃均达标。

根据AQI监测结果显示，2014年上海市优良天数为281天，污染日84天。与2013年相比，污染日减少了40天，重度污染及以上减少了19天。2014年，PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂年均浓度均低于2013年，但PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂均未达到《环境空气质量》(GB3095-2012)中二级标准。2014年上海环境空气质量有所改善，与上海市政府实施了一系列环境政策有着直接的关系，比如2014年上海轻型客车实施了国5排放标准，黄标车外环线限行，全面淘汰和转出黄标车及老旧车17.2万辆。为进一步扩大环境治理效果，开展对非道路移动机械排气烟度的治理显得尤为重要。

二、任务来源、依据和过程

（一）任务来源

2014年7月，上海市环境保护局科研项目“非道路移动机械排气烟度测量方法制订”[沪环科（2014-40）]通过公开招投标，确定上海机动车检测中心为项目主要承担单位。根据上海市环保科研项目合同书，由上海机动车检测中心负责《非道路移动机械排气烟度测量方法制订》的研究工作，项目统一编号为：沪环科（2014-40）。

（二）编制依据

本标准在编制过程中，部分内容参考了北京地标DB11/184-2013和深圳地标SZJG49-2015以及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》等相关内容。编制组严格按照标准计划方案实施，完

成了编制工作要求的各项内容,编写文件初稿,并经专家组初审和征求各方意见,作进一步修改和完善,最终形成以下两个文件:

- (1) 上海市地方标准《在用非道路移动机械排气烟度测量方法及限值》
修订稿
- (2) 《在用非道路移动机械排气烟度测量方法及限值》标准编制说明

(三) 工作过程

- ☞ 2014年8月,市环保局下达任务后,上海机动车检测中心立即成立了课题研究小组,开展前期调研工作。
- ☞ 2014年9月15日课题组召开了项目启动会议,确立了具体的科研技术路线及研究方案。
- ☞ 2014年11月7日,课题组到上海市环境科学研究院开展调研活动,了解有关非道路移动机械相关管理政策及信息技术咨询。
- ☞ 2014年12月3日,课题组到上海市农机安全监理所对上海市非道路农业机械保有量、运行情况及管理方法等方面进行调研。
- ☞ 2014年12月4日,课题组在上海市建筑建材业行政管理服务中心,与上海市建设工程质量监督总站、上海市机械行业协会、上海市建设安全协会等企业协会就上海市非道路工程机械保有量、运行情况及管理政策情况等进行座谈交流。
- ☞ 2015年1月26日,课题组对外冈镇农业合作社已有的非道路农业机械设备运行情况及工作特点等方面进行调研。
- ☞ 2015年2月13日,课题组到上海市环境保护局就项目进展情况及测试样车需求等事项进行了汇报,明确了后续工作计划要求。
- ☞ 2015年3月11日至3月22日,课题组对上海机动车检测中心两台叉车在怠速、自由加速以及实际工作状态下的排气烟度进行了实测工作。
- ☞ 2015年3月25日,课题组到上海市天佐建设工程有限公司施工场地(杨高中路云山路地铁9号线延伸工地)作业的非道路工程机械进行调研,为

选取样机及现场测试做前期准备。

- ☞ 2015年4月20-24日，课题组对工地现场作业的非道路工程机械挖掘机、起重机等设备在怠速、自由加速、自由加载等工况下进行了烟度测试。

三、标准适用范围

本标准规定了在用非道路用柴油机械排气烟度排放限值及测量方法。

本标准适用于标定功率不超过560kW的在用非道路移动机械内陆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。如工程机械中的挖掘机、推土机、压路机、装载机等，农业机械中的大型拖拉机、联合收割机、播种机等，厂(场)内机械中叉车、起重机、厂内运输车辆、材料装卸机械等，港作机械中起重机械、输送机械等。

四、研究内容和排放限值

(一) 运行工况

非道路移动机械设备种类繁多，各个机型运行工况复杂多样。课题组选取了工程机械类以及发电机类设备等作为典型样机进行研究。通过调研典型样机在实际工作过程中的运行工况，各非道路移动机械适用运行工况见下表 4.1 所示。通过下表可以看出，不同类型的非道路移动机械设备运行工况是不一致的。

表 4.1 非道路移动机械运行工况

机型名称	怠速	自由加速	自由加载	稳定转速
挖掘机	✓	○	✓	✓
起重机	✓	✓	✓	✓
推土机	✓	○	✓	✓
叉车	✓	✓	✓	✓
发电机	○	○	○	✓

备注： ✓ 表示适用 ○ 表示不适用

(二) 测量方法

根据北京地标DB11/ 184-2003以及2013年修订版中提出的测量方法有以量纲 m^{-1} 为计量单位的自由加速法、自由加载法以及以无量纲林格曼黑度表示的林格曼烟度法等三种测量方法。

项目组在进行非道路移动机械的实际测量工作过程中发现，非道路移动机械在启动时刻，冒黑烟现象非常严重。启动时刻的不透光烟度数值是工作过程中的数倍甚至10倍以上，因此本标准提出了启动烟度测量要求。

《上海市大气污染防治条例》第八十七条规定了非道路移动机械排放明显可见黑烟的，可处以五百以上五千元以下罚款，而采用林格曼黑度目测法将产生测量结果偏差的不确定性，将会给执法部门造成执法困扰的问题。因此为避免该问题的出现，本标准不采用林格曼黑度法进行测量。

因此本标准采用启动烟度、自由加速和自由加载三种测量方法，不透光烟度（单位： m^{-1} ）作为计量单位，各测量方法操作如下。

启动烟度法：不透光烟度计应选择连续测量模式，开启测量时刻应在发动机启动前 5~10 秒。测量前发动机应处于停机状态（冷机或热机均可），驾驶员脱离与发动机获取驱动力的装置，启动发动机直至发动机达到稳定怠速为止，观察怠速烟度数值变化稳定在 $\pm 0.03 \text{ m}^{-1}$ 以内，关闭发动机，测量结束。重复以上过程测量 3 次，取 3 次最大测量值的算术平均值作为最终测量结果。

自由加速烟度法：不透光烟度计应选择连续测量模式。在进行自由加速测量时，发动机启动直至发动机到达稳定怠速转速后，将油门踏板快速、连续地完全踩到底（必须在 1 秒内完成），使喷油泵在最短时间内供给最大油量，并在该位置至少保持 2 秒以上。自由加速烟度测量前可选择合适工况将排气系统残留颗粒物和杂质吹净。不透光烟度计应完整记录整个过程烟度数值。测量至少进行 3 次，取 3 次最大测量结果的算术平均值作为最终的测量结果。

自由加载烟度法：不透光烟度计应选择连续测量模式。现场检验人员根据受检机械装置的实际工作状态确定加载方法，在机械装置连续正常工作过程中（例如装载机从铲土到装载完毕的全过程），用不透光烟度计连续测量机械装置连续工作 3 次全过程的排气光吸收系数，取 3 次最大测量值的平均值作为最终测量结果。

启动烟度测量可分别与自由加速烟度和自由加载烟度同时完成测量。

(三) 限值制定依据

本标准按以下原则制定排气烟度排放限值：

- 1) 依据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，2015年10月1日所有制造和销售的非道路移动机械柴油机必须符合第三阶段要求。因此第I类为2015年10月1日之前登记注册或销售的非道路柴油机械，第II类为2015年10月1日(含)之后登记注册或销售的非道路柴油机械。
- 2) 在2017年1月1日之前，采用“新车新标准，老车老标准”原则予以实施，而在2017年1月1日(含)之后，采用“新车老车统一标准”原则予以实施。因此第III类限值要求为在2017年1月1日(含)之后所有在用非道路移动机械的限值要求。

在用非道路移动机械排气烟度限值如下表 4.2 所示。

表 4.2 在用非道路移动机械用柴油机排气烟度限值

类别	光吸收系数不大于 (自由加速烟度法或自由加载 烟度法) m^{-1}	光吸收系数不大于 (启动烟度法) m^{-1}
I类	1.6	3.0
II类	1.0	2.0
III类	0.5	1.0

注：具体规定如下：
I类：2015年10月1日以前注册登记或销售的非道路柴油机械限值。
II类：2015年10月1日(含)以后登记注册或销售的非道路柴油机械限值。
III类：从2017年1月1日(含)开始，所有非道路移动机械执行该限值要求。

课题组对非道路移动机械设备进行了现场测试，测试样机共 19 台，测试机型涵盖挖掘机、起重机、叉车、压路机、装载机。非道路移动机械品牌有常州现代、长沙中联、郑州宇通、林德中国、三一重工、日立建机、成都神钢、合力叉车、龙工叉车、山东山工、厦工机械、福田雷沃、山东临工等非道路移动机械厂家。测试样机信息及测试烟度如下表 4.3 所示。

表 4.3 测试样机信息及测试烟度值

NO	样车类型	出厂年份	启动烟度 m ⁻¹	自由加速 m ⁻¹	自由加载 m ⁻¹
1	挖掘机	2009.3	18.458	—	2.205
2	起重机	2007.11(进口)	0.239	0.489	1.456
3	起重机	2008.2	13.877	1.438	1.069
4	叉车	2003.8 (进口)	1.024	0.391	0.345
5	叉车	2009.11	2.851	0.293	0.407
6	挖掘机	2011.7	1.890	—	0.600
7	挖掘机	2001 (进口)	5.890	—	0.900
8	挖掘机	2009.3	1.370	—	1.370
9	挖掘机	2011.1	0.190	—	0.110
10	轮式装载机	2007.4	4.910	1.875	1.324
11	轮式装载机	2009.8	3.360	1.654	1.058
12	轮式装载机	2006.5	9.920	2.225	2.654
13	装载机	2005.9	8.470	1.054	1.968
14	装载机	2008.12	2.170	1.087	1.254
15	装载机	2011.3	1.420	0.465	0.674
16	装载机	2008.12	3.400	1.683	1.358
17	压路机	2008.1	2.990	1.125	1.152
18	叉车	2009.5	2.240	0.433	0.745
19	叉车	2010.6	0.620	0.384	0.342

由于受经济发展的需要,对非道路移动机械不像道路机动车具有登记备案制度,因此针对上海市非道路移动机械保有量以及排放情况资料,均无相关文献资料可查。课题组通过走访调研上海市各工程施工现场,并搜集各工地非道路移动机械安全检验证书(非登记登记制度)。如上表 4.3 中出厂年份信息栏,我们分析得出非道路移动机械出厂年份在 2008 年 10 月 1 日之前的机型(进口机型等同 1997 年,拟淘汰机型)共计台量为 5 台,约占调研总量的 26.3%左右。根据针对启动烟度实测结果分析,如设定 I 类启动烟度标准限值为 3.5m⁻¹,不合格台数为 6 台,测试机械不合格率约为 31.6%,基本与设定目标保持一致,但考虑到非道路移动机械使用频率较高,存在基本排放良好的机器由于保养不及时可能导致排放恶化超标情况的存在,设定 I 类启动烟度标准限值为 3.0m⁻¹,不合格台数为 8 台,测试机械不合格率为 42.1%,新增加不合格机械可通过合理保养达到限值要求。本标准 I 类采用启动烟度标准限值为 3.0m⁻¹基本与非道路移动机械实际使用情况相符,III 类启动烟度标准限值设定为 1.0m⁻¹主要借鉴了 DB11/ 185-2013 《非道路机械用柴油机排气污染物限值及测量方法》中第 4.2 条款第三阶段非道

路移动机械排气烟度限值要求 0.8m^{-1} 并将该限值放宽至 1.0m^{-1} ，而 II 类作为过渡性限值，采用折中方法设定限值为 2.0m^{-1} 。

另外针对 I 类和 II 类非道路移动机械的自由加速烟度限值和自由加载烟度限值，课题组借鉴了北京市地方标准 DB11/ 184-2013《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》中第 I 类和第 II 类限值。而第 III 类则借鉴了深圳地方标准 SZJG 49-2015《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》限值要求 0.5m^{-1} 。根据实测结果表明，I 类设定限值 1.61m^{-1} 与 1.6m^{-1} 对不通过率没有影响，而且由于非道路移动机械在实际工作中很少在 100% 负载下工作，因此实测排放烟度不合率偏小，因此本标准设定 I 类限值为 1.6m^{-1} 。

（四）结果判定

根据各非道路用柴油机械的实际情况，可以选择自由加速烟度和自由加载烟度两种方法其中之一作为检测，并加做启动烟度测量，如任一测量结果超过规定限值，均可判定该机械烟度排放检验不合格。

五、本标准与国内外相关标准分析

在我国针对在用非道路移动机械排气烟度的限值标准有：北京 DB11/ 184-2013《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》、深圳地标 SZJG 49-2015《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》和天津地标 DB12/588-2015《在用非道路柴油机械烟度排放限值及测量方法》。

适用范围的差异性：本标准与北京地相比，功率限定范围保持一致，均限定在 560kW 以下，但本标准限定柴油机的使用范围为内陆区域，而北京地标中未对使用区域进行限定。本标准与深圳地标相比，深圳未对非道路移动机械发动机功率范围进行限定，而且也未限定使用区域范围，因此涵盖范围更广。本标准与天津地标相比，天津涵盖功率低于 37kW 船舶用柴油机。本标准采用先治内陆后治水陆的实施原则，因此本标准未对水陆非道路移动机械柴油发动机提出限制要求。

测量方法的差异性：本标准与北京、天津地标相比，主要差异是“一增一减”，

增加了一个启动烟度测量方法以及减少了一个林格曼烟度测量方法。本标准与深圳地标相比，主要增加了启动烟度测量方法。

限值要求的差异性：本标准与北京地标相比，主要差异是针对非道路移动机械北京于 2013 年 7 月 1 日提前实施了第三阶段排放标准，以及 2015 年 1 月 1 日后提前实施第四阶段排放标准，因此本标准限值年限比北京基本晚两年。在 2017 年 1 月 1 日后，本标准限值将与北京地标保持一致，将实施新旧设备执行同一限值要求。该限值要求的实施将给予不符合要求的使用方一定缓冲时间，并主动进行技术升级改造来满足新的限值要求。本标准与深圳地标相比，深圳标准限值不分机型年限均采用同一标准限值。本标准与天津地标相比，实施时间上有所延迟，但本标准限值要求更符合本市非道路移动机械实际现状，标准实施更具有可操作性。

国外可参考标准为 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》，目前该标准已废弃。日本 2006 年生效的法令《非路面特种汽车废气排放规管法令》其中部分内容要求在用非道路移动机械使用者进行合理维修达到标准要求。在美国加州于 2008 年生效的《减少在用非路面柴油车辆废气排放规例》明确了对在用非道路移动机械的规定。

六、经济与可行性

(一) 国内外排放控制技术

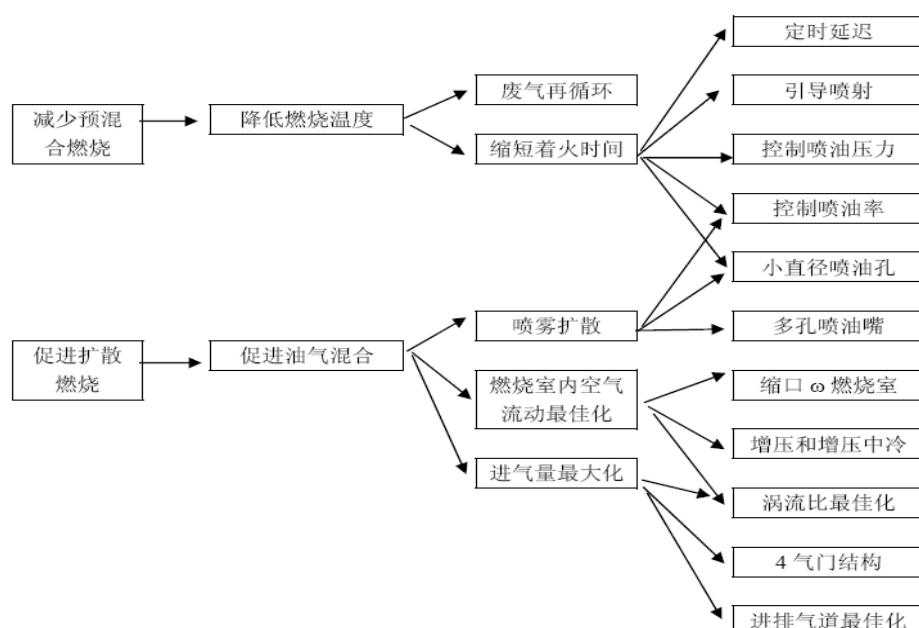


图 7.1 柴油机排放主要控制原理

我国于 2007 年 10 月 1 日针对非道路移动机械实施国 I 排放标准，于 2009 年 10 月 1 日实施国 II 排放标准，目前我国于 2015 年 10 月 1 日实施国 III 排放标准。非道路移动机械排放标准实施日期与欧美国家相比晚了将近 8 年，与我国车用发动机相应排放阶段标准实施也相对滞后了 7 年。因此我国整个非道路移动机械行业排放水平相对比较落后。

主要具体技术措施：

1) 增压和增压中冷

将发动机排气废气能量利用涡轮增压器将进气进行增压，加大进气量，防止混合气过浓，因缺氧而生成微粒。对增压后空气进行冷却（可能包括 EGR 系统混合的部分废气）控制 NO_x 的生成。虽然 NO_x 排放控制与发动机整体设计相关，但每降低 10℃ 进气温度，则可对应降低 NO_x 排放量 5%-7%。比较典型的做法是，通过热交换器对增压后的空气进行冷却（通称中冷器），降低进气温度，增加进入气缸内的空气密度，加大发动机输出功率。

发动机需要增压器在所有工况提供足够的空气量来保证合适的空燃比，控制 PM 生成，大缸径柴油机在第 1、2 阶段使用普通增压器基本可满足要求，而小缸径柴油机因为转速快，排放控制难度大，采用带放气阀的废气涡轮增压器，大缸径柴油机在第 3 阶段也需要该技术。通过小涡壳技术增加增压比，保证低转速时获得足够的进气量，而高转速时通过打开旁通阀放掉部分废气，以保证增压器不超速。

2) 废气再循环 EGR (Exhaust Gas Recycle)

从排气中引出一部分经冷却/或不冷却，与发动机进气混合重新进入气缸，利用废气中的大量惰性气体参与燃烧来降低燃烧温度，以减少 NO_x 生成几率。按照 EGR 废气取气点分为三种型式：高压 EGR、低压 EGR 和内部 EGR：

高压 EGR 系统是从涡轮增压器上游端取气后进入进气歧管，特点是压力高于排气压力，需要文特里管、进气节气门、泵等硬件装置，存在使得涡轮增压器动能降低的缺点；

低压 EGR 系统是从涡轮增压器下游端取气。但该系统一般不会对柴油机中应用，因为增压器、中冷器等容易被排气中颗粒物或其它成分污染。

内部 EGR 系统是通过控制气门开启时间，或设计排气门在一个工作循环中再打开一次，引导相邻气缸的废气通过排气歧管进入气缸。

虽然 EGR 系统混合废气进入进气系统，使得进气温度提升。但因为进气温度升高而使得 NO_x 增加的量低于因为燃烧过程混入废气而使得的 NO_x 降低的量，所以在标准前期，由于 NO_x 控制不难，EGR 只是可选择的一种技术变通或低成本技术方案，有部分生产企业选择非冷却 EGR 系统，或内置 EGR 系统。因为 EGR 系统在降低 NO_x 的同时，会使得 PM 排放和燃料消耗量增加，必须对发动机各工况点确定最佳的 EGR 率和空燃比，随着第 3 阶段标准要求加严，利用发动机散热器对 EGR 系统引出的废气进行冷却和通过电控系统精确控制 EGR 率成为各生产企业控制 NO_x 的重要技术手段。

3) 喷油系统

具有高喷射压力、喷射规律经电控柔性可调的电控喷油系统是先进发动机系统的代表。国外发展阶段是从机械泵、中间阶段存在机械式电控预行程泵（在我国由于没有自主知识产权的更高级系统，是被列入国家高新产品支持内容的，在汽车国 III 阶段得到广泛应用）和最后阶段的电控单体泵、共轨系统及泵喷嘴系统。机械式电控预行程泵除了使用、适用性较好，而且比较适合我国国情外，但灵活控制性无法达到先进喷油系统的高度。

各排放阶段供油系统压力见下表 7.1。

表 7.1 各排放阶段供油系统压力

标准阶段	泵端压力 MPa	嘴端压力 MPa
第 1 阶段	80	100
第 2 阶段	100	120
第 3 阶段	120-140	140-160
第 4 阶段	140-160	160-180

上海市大部分非道路移动机械设备的排放水平均处于国 I、国 II 之内，尤其是建筑工程机械，由于设备价格昂贵，设备更新速度慢，排放水平低下。而农林机械由于获得国家农机补贴政策影响，设备更新较快，设备排放水平较好。非道路移动机械设备满足各排放阶段采取的技术手段见下表 7.2。

表 7.2 各排放阶段技术手段

国 I	国 II	国 III	国 IV
优化燃油供给 优化喷油系统	优化喷油系统 优化进气系统 增压中冷	电控系统 增压中冷 冷却 EGR	电控系统 后处理阶段（EGR+DPF、燃烧优化+SCR）

（二）改造治理方案分析

针对排气烟度不合格的非道路移动机械，应鼓励进行技术改造治理。目前北京在用非道路移动机械有进口和国产两大类，国产和进口产品的价格差距较大。不同机械间的价格差距也比较大。根据型号不同，挖掘机新产品的价格在 50-100 万元人民币之间，装载机的价格也在 30 万元以上，推土机的价格差不多也要 18 万元左右，国产叉车的价钱相对比较便宜，价格一般在 5-8 万人民币左右。

由于非道路移动机械的价格相对较高，老旧产品的剩余价值也相对较高。如果强行报废的话，用户的经济损失相对比较大。通过对其排放水平进行治理是一种相对经济可行的排放治理措施。

根据目前的技术水平和排放治理的目标，有以下三种治理措施。供用户选择的改造方式主要有以下三种：

- 1) 对喷油泵进行调整或更新；
- 2) 加装 DPF 装置。
- 3) 更换新发动机。

采用第一种方法——对喷油泵进行调整或更新，治理的费用大约在 2000 元左右，费用较低但实际作用效果有限。

采用第二种方法——加装 DPF 装置，治理的费用大约在 15000-25000 左右（根据发动机排量不同，费用不同），费用与设备残余价值相比，属于可接受价格范围。

采用第三种方法——更换发动机，治理费用大约在 50000-80000 元（先进喷油控制技术以及后处理技术），价格比较昂贵。

综上所述第二种方法加装 DPF 装置是最经济最有效的治理方案。预计上海市排放治理总费用将达到约为 12 亿元。

（三）环境效益分析

根据要求，到 2015 年底，上海市非道路移动机械由第二阶段升至第三阶段。本标准将主要针对烟度不达标非道路机械分析其减排效果，减排率按照以下公式计算：

（1）合格车年排放量

$$q = \frac{N(\text{辆}) \times L(\text{千克燃料/年}) \times c}{10^3 \times 10^3} \quad (\text{吨/年})$$

（2）不合格车排放量

$$q_N = \frac{n(\text{辆}) \times L(\text{千克燃料/年}) \times R}{10^3 \times 10^3} \quad (\text{吨/年})$$

不合格车维修到本标准限值的排放量

$$q_K = \frac{n(\text{辆}) \times L(\text{千克燃料/年}) \times K}{10^3 \times 10^3} \quad (\text{吨/年})$$

（3）维护减排率 γ

$$\gamma = \frac{q_N - q_R}{q + q_N} \times 100\% = \frac{nL(R - K) \times 100\%}{NLC + nLR} = \frac{n(R - K)}{NC + nR} \times 100\%$$

式中：

L：机械用于作业的燃料消耗量 N：合格机械数

C：合格机械平均排放因子 R：不合格机械平均排放因子

K：不合格机械维修到本标准限值的平均排放因子 n：不合格机械辆数

根据不同阶段采用自由加速法/自由加载法对烟度限值要求，采用上公式核算，获得不同排放限值要求下预期的颗粒物减排量，如表 7.3 所示，2015 年 10 月 1 日前注册的非道路机械排放烟度在达到本标准 I 类标准限值时，可削减颗粒物排放量 880 吨，排放减排率为 46%，在 2015 年 10 月 1 日（含）至 2017 年 1 月 1 日之前注册的非道路机械排放烟度在达到本标准 II 类标准限值时，可削减颗粒物排放量 1583 吨，排放减排率达 82%，在 2017 年 1 月 1 日之后所有注册的

非道路机械排放烟度在达到本标准 III 类标准限值时，可削减颗粒物排放量 1791 吨，排放减排率达 93%。

七、配套政策保障

（一）建立烟度测试流程规范

本标准的建立主要是对在用非道路机械的烟度排放提出了限值，下一阶段的工作是保障该标准的实施。制定上海市非道路移动机械烟度测试流程应以国家和地方的相应非道路机械排放标准为依据，并用于资质单位实施烟度测试。该流程一方面应便于操作，一方面应通过管理资质单位即可实现对在用非道路机械的烟度测试管理。

（二）建立相应的非道路机械申报制度

根据国内外对非道路机械的管理经验，采取机械申报制度是有效管理机械的手段，而且根据《上海市大气污染防治条例》第四十条在本市使用的非道路移动机械向大气排放污染物，不得超过国家和本市规定的排放标准。非道路移动机械的所有者或者使用者应当向区、县环保部门申报非道路移动机械的种类、数量、使用场所等情况。通过建立申报制度，可以有效管理本市的在用非道路移动机械的运行情况，并且可为后续实施机械环保年检制度提供技术依托。

（三）环保年检及环保标志制度

本标准的发布是为了管理在用非道路移动机械的排放烟度，将本市的非道路移动机械进行申报管理，并要求在本市使用的机械需满足在用机械的排放烟度标准即可获得环保标志，只有获得环保标志的机械方可在本市进行施工作业。因此建立非道路移动机械的环保年检制度是下阶段实施本标准及有效管理上海市非道路移动机械排放的有效方式。