

附件 3

**《铁路内燃机车排气烟度限值及测量方法》
(征求意见稿) 编制说明**

《铁路内燃机车排气烟度限值及测量方法》编制组

二〇二五年十二月

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	3
2.1. 我国铁路内燃机车及其发动机行业发展情况	3
2.2. 污染物排放量分析	4
3. 标准制订的必要性分析	5
3.1. 合法合规性情况说明	5
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. 污染物排放控制及监管需求	8
4. 国内外相关标准研究	9
4.1. 美国 EPA 铁路内燃机车标准	9
4.2. 中国新制造铁路内燃机车污染物排放标准	11
4.3. 中国在用柴油车排放标准	13
4.4. 中国在用非道路柴油移动机械标准	17
4.5. 中国在用船舶标准	20
4.6. 小结	21
5. 标准制订的基本原则和技术路线	22
5.1. 制订标准的原则	22
5.2. 制订标准的技术路线	22
6. 标准主要技术要求	23
6.1. 适用范围	23
6.2. 框架结构	23
6.3. 排放限值及确定依据	23
6.4. 测量方法	25

6.5. 判定规则	28
6.6. 数据保存和传输要求	28
7. 本标准与相关标准的对比	28
8. 标准实施可行性和经济效益分析	28
8.1. 标准实施可行性	28
8.2. 标准实施的效益分析	29

《铁路内燃机车排气烟度限值及测量方法》

(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 2024 年度国家生态环境标准项目实施工作的通知》(环办法规函〔2024〕444 号) 中, 下达了制订《在用铁路内燃机车排气污染物排放限值及测量方法》的任务, 项目统一编号: 2024-20。

本标准承担单位为: 中国环境科学研究院; 参加单位为: 国家轿车质量检验检测中心、国家客车质量检验检测中心、北京理工大学、厦门环境保护机动车污染控制技术中心。

1.2. 工作过程

本项目任务书下达后, 项目承担单位中国环境科学研究院成立了标准编制组, 按计划开展标准研究和制订工作。

(1) 成立标准编制组

成立标准编制组, 落实协作单位任务分工, 特邀国家铁路局提供技术支持, 联系中车公司等提供摸底测试支持。

(2) 资料收集整理

2024 年 1 月, 整理国内在用机车保有量情况、污染物排放情况, 梳理国内外在用铁路机车相关排放测试标准和相关政策规划文件等。

(3) 国内外法规标准研究

2024 年 2 月, 开展国内外法规标准研究, 组织力量对美国 EPA 铁路机车烟度测试方法、我国在用柴油车排放测试和限值标准、我国在用非道路柴油移动机械排放标准, 以及在用船舶排放标准进行研究和比对分析。

(4) 测试方法调研和确定

2024 年 2 月, 系统评估了相关移动源在用标准的测试方法, 结合铁路内燃机车的实际工作工况特点等, 确定采用固定挡位的摸底测试方法, 测试项目包括气态污染物 (NOx、CO、THC) 和不透光烟度, 采用在用柴油车的测试方法。

(5) 老旧机车摸底测试

2024年2月-7月，开展测试设备比对验证（PEMS设备、南华在用车年检设备、浙大鸣泉在用车年检设备、武汉比天在用车年检设备），确定后续主要基于南华设备开展摸底，累积检测43台老旧机车。

（6）排放摸底测试结果讨论和分析

2024年7月，编制组在西藏大厦组织排放摸底测试讨论，确定在用铁路内燃机车排放污染物限值以烟度为主，NOx作为补充的原则。自由加速法和空载稳定工况测试法时烟度值和NOx浓度都很低，确定后续排放测试时取消该两种测试方法，后续机车的排放测试按静置加载法（静置自负荷法，或原地加载法）或动态加载法进行测试。前期的排放测试数据中的烟度值偏低，建议进一步分析原因并改进采样方法和测试设备（增加泵）。

（7）阶段总结

2024年11月，开展阶段性讨论会。国家铁路局、生态环境部大气司、环科院、中车资阳、中车大连、中车戚墅堰、天津中汽研、重庆招商车研、南华仪器的领导和专家们在四川省资阳市召开了《铁路内燃机车排气污染物排放检验体系建设专题研讨会》，对前期测试情况进行讨论，并对后续工作进行了安排。后续将以烟度控制为重点，适当补充林格曼烟度的验证，以及新国标第一阶段机车的排放摸底测试，确定“冒黑烟”的定量化烟度指标。

（8）测试设备优化和验证

2024年11月-2025年3月，开展设备升级，林格曼烟度和不透光烟度比对试验，模拟各烟度水平对应的烟度值，并视频记录。

（9）黑烟烟度值模拟试验和确定

2025年4月，召开排放限值讨论会，基本确定排放限值，落实后续标准文本编写和开题报告编写相关工作。

（10）标准文本编写

编写标准文本草案和开题报告，2025年7月10日组织召开开题论证会和征求意见稿审查会。鉴于标准同时适用于铁路机车的下线检验和在用机车检验，且控制污染物项目仅包括排气烟度，因此标准名称修改为《铁路内燃机车排气烟度限值及测量方法》。

2. 行业概况

2.1. 我国铁路内燃机车及其发动机行业发展情况

近年来，随着我国电气化铁路发展，电力机车保有量逐年升高，内燃机车保有量不断下降。

截至 2023 年底，全国铁路内燃机车保有量约 11000 余台（基于行业统计数据），包括 9500 台老旧机车，其中，国家铁路内燃机车约 5000 台，非国铁市场机车约 4500 台。2008 年以后生产的和谐及复兴系列各型内燃机车约 1500 台，基本都能够满足 Tier 2 或更高的排放要求，而其它老旧内燃机车排放水平较差，基本都在 Tier 0 或 UIC I 以下。

根据机车用途和机车型号对机车保有量数据进行分析，数据如下：

1)按照机车用途分类：干线货运内燃机车占比约 46%，调车机车占比约 33%，客运机车占比约 21%。

2) 按照机车型号分类：和谐及复兴系列内燃机车占比约 14%，东风系列等老旧内燃机车占比约 86 %。

据分析，未来我国国家铁路内燃机车保有量将维持在 5000-7000 台。日常运用数量保持在 5500-6500 台左右，其中货运机车 4500-5000 台，调机机车 800-1500 台，客运机车 200-500 台。

2016-2024 年，我国铁路内燃机车年产量如图 1 所示，九年间共生产铁路内燃机车 1528 台，平均每年 180 台。除 2016 年铁路内燃机车产量为 140 台，其余年份产量维持在 100-200 台。

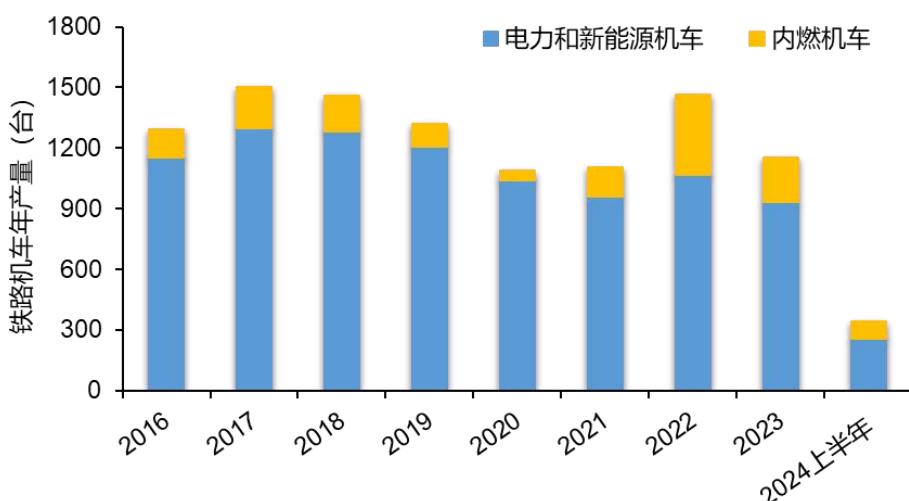


图 1 2016-2024 年我国铁路内燃机车年产量 (台)

目前中国铁路内燃机车行业是根据订单生产，主要供应国铁市场。近年来，电力机车的快速发展，国内铁路内燃机车市场需求逐年减少。但随着“一带一路”的推进，新型经济体和经济欠发达国家对铁路内燃机车的需求逐渐增加，中国中车在国际内燃机车市场上具有较强竞争力，出口铁路内燃机车数量逐年增加。

2.2. 污染物排放量分析

根据生态环境部发布的《中国移动源环境管理年报》（2024年）的统计结果，2023年，非道路移动源^①排放二氧化硫（SO₂）、碳氢化合物（HC）、氮氧化合物（NO_x）、颗粒物（PM）分别为18.7万吨、40.4万吨、454.5万吨、21.8万吨。其中，工程机械、农业机械、船舶^②、铁路内燃机车、飞机排放的HC分别占非道路移动源排放总量的24.0%、45.3%、27.5%、2.0%、1.2%；排放的NO_x分别占非道路移动源排放总量的26.9%、32.4%、35.6%、3.3%、1.8%；排放的PM分别占非道路移动源排放总量的29.4%、37.1%、29.4%、2.7%、1.4%。非道路移动源排放构成见图2至图4。

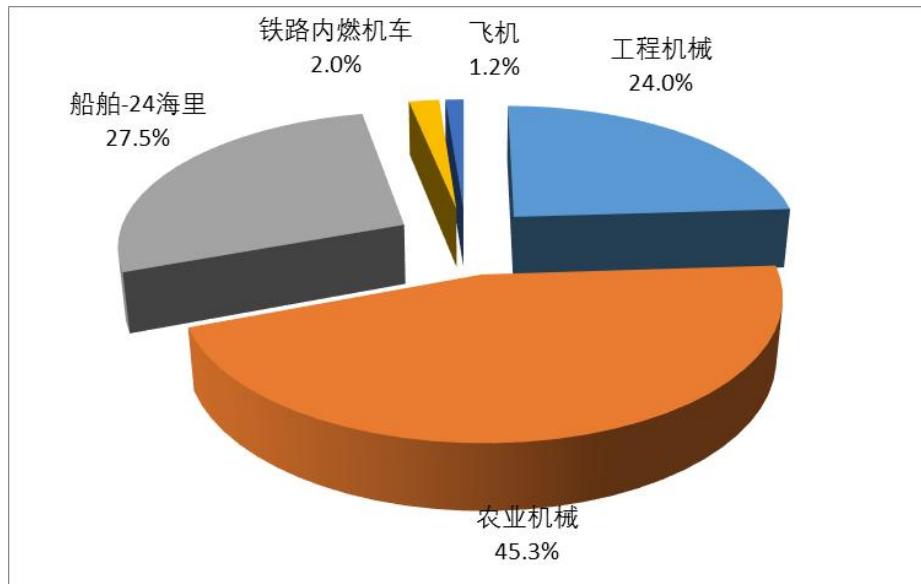


图2 非道路移动源 HC 排放量构成

^① 2019年起非道路移动源排放量测算根据第二次全国污染源普查情况进行了调整；不含小型通用机械、柴油发电机组、三轮农用运输车和四轮农用运输车（下同）；

^② 船舶排放包括内河、沿海与远洋船舶排放，地理范围为领海基线外24海里向陆地一侧的水域

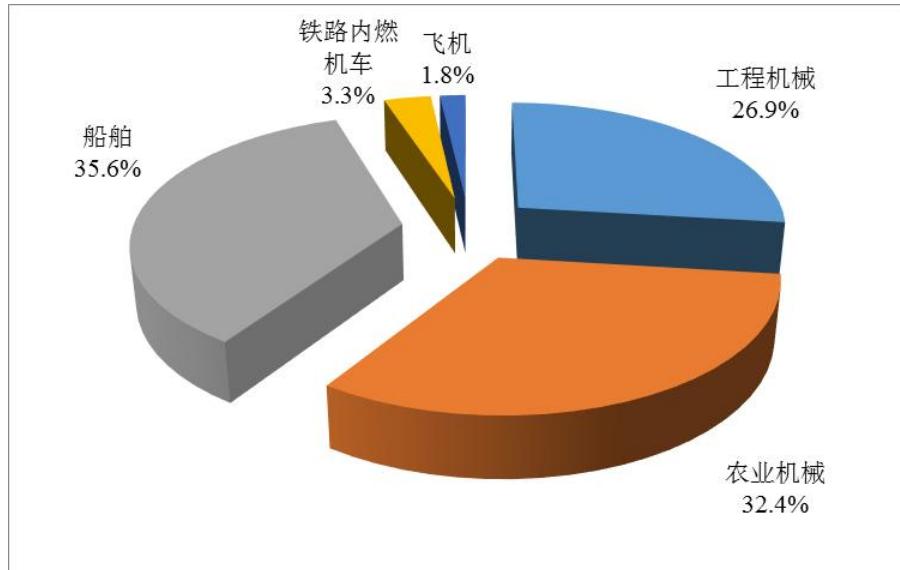


图 3 非道路移动源 NOx 排放量构成

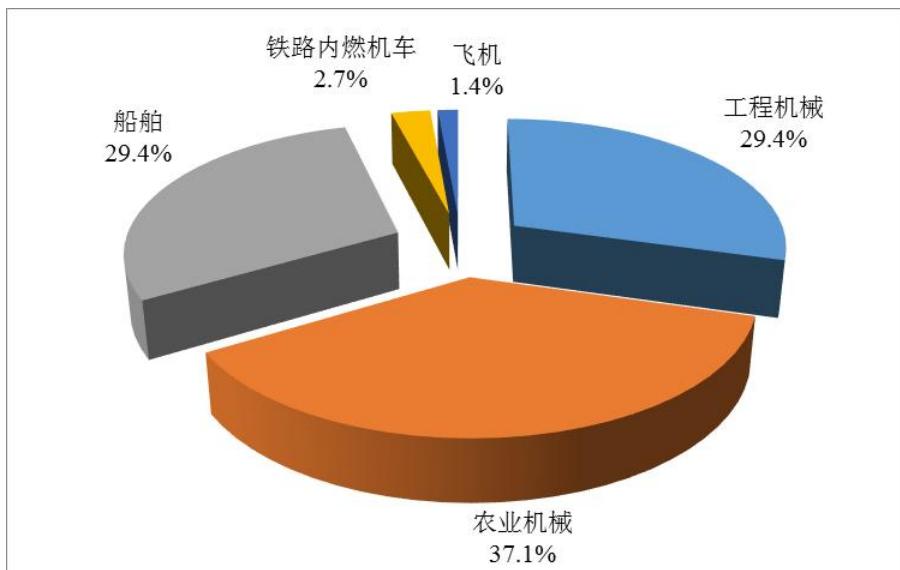


图 4 非道路移动源 PM 排放量构成

3. 标准制订的必要性分析

3.1. 合法合规性情况说明

根据《中华人民共和国环境保护法》第十六条规定，国务院环境保护主管部门有权根据国家环境质量标准和国家经济、技术条件，制定国家污染物排放标准。同时，《大气污染防治法》第九条进一步明确，国务院生态环境主管部门或省、自治区、直辖市人民政府在制定大气污染物排放标准时，应以大气环境质量标准和国家经济、技术条件为依据。

3.2. 国家及生态环境主管部门的相关要求

(1) 《中华人民共和国大气污染防治法》（中华人民共和国主席令 第 31 号）

第五十一条 机动车船、非道路移动机械不得超过标准排放大气污染物。

禁止生产、进口或者销售大气污染物排放超过标准的机动车船、非道路移动机械。

第五十二条 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。

第五十六条 生态环境主管部门应当会同交通运输、住房城乡建设、农业行政、水行政等有关部门对非道路移动机械的大气污染物排放状况进行监督检查，排放不合格的，不得使用。

(2) 国务院关于印发《空气质量持续改善行动计划》（国发〔2023〕24号）
强化非道路移动源综合治理，加快推进铁路货场、物流园区、港口、机场、工矿企业内部作业车辆和机械新能源更新改造。大力推动老旧铁路机车淘汰，鼓励中心城市铁路站场及煤炭、钢铁、冶金等行业推广新能源铁路装备。**到 2025 年，基本消除非道路移动机械、船舶及重点区域铁路机车“冒黑烟”现象。**

(3) 生态环境部等 15 部委《柴油货车污染治理攻坚行动方案》(环大气〔2022〕68 号)

到 2025 年，运输结构、车船结构清洁低碳程度明显提高，燃油质量持续改善，机动车船、工程机械及**重点区域铁路内燃机车**超标冒黑烟现象基本消除。

(4) 中共中央 国务院《关于全面推进美丽中国建设的意见》
到 2027 年，新增汽车中新能源汽车占比力争达到 45%，老旧型内燃机车基本淘汰，港口集装箱铁水联运量保持较快增长。

(5) 国务院《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》(国发〔2024〕7 号)

坚持标准引领、有序提升。对标国际先进水平，结合产业发展实际，加快制定修订节能降碳、环保、安全、循环利用等领域标准。统筹考虑企业承受能力和消费者接受程度，有序推动标准落地实施。

(6) 生态环境部《“十四五”生态环境标准工作方案》（环办法规〔2022〕

29 号)

研究下一阶段汽车、摩托车排放标准。制修订非道路汽油、柴油移动机械和船舶、内燃机车排放标准，实现非道路移动源排放标准全覆盖。

(7) 生态环境部《加快推动排放标准制修订工作方案（2024—2027）》（环办法规〔2024〕24号）

深入研究国际机动车污染防治法规标准最新进展，制定我国第七阶段轻型车和重型车排放标准，完善排放控制和检测检验要求，加强减污降碳协同控制。制修订移动机械、摩托车、铁路内燃机车等移动源排放标准，更新相对落后的控制要求。

3.3. 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求

(1) 国家铁路局《关于铁路行业全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》（国铁综〔2018〕62号）

提出逐步建立完善内燃机车等动力设备排放标准，积极推动在行业内推广实施。

(2) 国家铁路局《老旧型铁路内燃机车淘汰更新监督管理办法》（国铁设备监规〔2024〕24号）

老旧型铁路内燃机车有下列情形之一的，应当报废，不得参与铁路运输：运用年限满30年的；对经修理、调整或者采用控制技术后，排气污染物排放仍不符合国家法律法规或强制性标准要求的，或排气黑度超过限值的；发生事故或者遭遇意外灾害导致主要部件破损严重且无法恢复其基本性能的；其他原因需要报废的

(3) 交通运输部《交通运输大规模设备更新行动方案》交规划发〔2024〕62号

(一) 加快老旧机车淘汰。支持老旧机车淘汰报废。推动出台《铁路内燃机车大气污染防治管理办法》等部门规章，建立基于机车运用年限、污染排放、安全性能的强制报废管理制度，明确老旧铁路内燃机车报废运用年限为30年，建设机车排气污染物排放检验体系，加强机车运用状态、排气污染物的动态跟踪管理。(二) 鼓励新能源机车更新。组织有关企业针对不同地域、不同场景打造谱系化、平台化中国标准新能源铁路装备平台，实现机车排放、油耗、舒适性等指标均达到国际先进水平。依托复兴型等系列机车产品研发，采用大功率动力电池、

新一代柴油机、内电双源、氢动力系统、低碳/零碳燃料发动机等技术，推动老旧内燃机车更新升级。采用混合动力及新能源动力等技术，实现调车机车替代应用；装用新一代低排放低油耗中高速柴油机，实现干线货运机车替代应用；采用柴油机+动力电池集成应用，实现干线客运机车替代及动集系列化；采用高效交流传动技术，实现机车产品技术迭代升级。

（4）国家铁路局联合五部委印发《推动铁路行业低碳发展实施方案》

为更好服务美丽中国建设，研究出台推动铁路低碳化发展的实施方案，加大新能源机车推广应用，加快老旧型内燃机车淘汰报废。

（5）国家铁路局《“十四五”铁路科技创新规划》

指出把绿色科技贯穿铁路技术装备、工程建造、生产运营全过程，着力降低铁路综合能耗，强化生态保护修复、降低污染物排放等各方面关键技术的研发与应用，提高监管水平，打造更高水平绿色生态铁路。

（6）《交通运输部等十部门关于推动交通运输与能源融合发展的指导意见》
交规划发〔2025〕42号

推动铁路机车车辆绿色低碳转型。推进高耗能、高排放机车车辆节能改造和低碳化升级，建立老旧机车车辆更新换代机制，鼓励引导高耗能、高排放机车车辆有序退出。完善机车车辆能耗和排放监测评估体系，开展铁路装备碳积分管理制度研究，推进装用新一代低排放、低油耗中高速柴油机铁路内燃机车应用，推进电网结构薄弱地区长续航电动、氢能、混合动力等铁路新能源机车车辆和配套供能设施规模化应用。

（7）国务院安全生产委员会《安全生产治本攻坚三年行动方案(2024-2026)》
各用车单位依法加快推进老旧型内燃机车报废。

3.4. 污染物排放控制及监管需求

（1）补完标准体系

我国已经构建了较为完善的移动源排放体系，对机动车、非道路移动机械从信息公开、到生产一致性、在用符合性，再到在用车检查都做了较为明确的规定，但对于铁路内燃机车的排放控制仍处于起步阶段。据统计，国铁集团保有铁路内燃机车中，约 80% 的排放水平相当于国际铁路联盟标准 UIC I 以下，相当于柴油车国一前的水平，排放现状亟需改善。国务院“十四五”节能减排方案中明确提出推动实施铁路内燃机车国一排放标准的要求，生态环境部已发布实施第一阶段

铁路内燃机车标准（GB 45841-2025）。为完善我国移动源排放标准体系，也为推动在用铁路内燃机车排放控制，亟需开展在用铁路内燃机车排放标准的制订工作。

（2）落实相关政策要求

国务院《空气质量持续改善行动计划》中提出，“大力推动老旧铁路机车淘汰，鼓励中心城市铁路站场及煤炭、钢铁、冶金等行业推广新能源铁路装备。到2025年，基本消除非道路移动机械、船舶及重点区域铁路机车‘冒黑烟’现象。”同时还提出，研究制定铁路内燃机车污染物排放等强制性国家标准的要求。制订在用铁路内燃机车污染物排放标准，是落实国务院相关政策文件的重要举措。

（3）构建铁路内燃机车污染物排放全寿命监管体系

为构建铁路内燃机车从生产制造到淘汰报废的全寿命污染物排放监管体系，生态环境部正在组织制订铁路内燃机车新车排放标准，同时，国家铁路局正在会同生态环境部组织制订铁路内燃机车污染防治管理办法。在用铁路内燃机车的排放监管是铁路机车排放监管的重要一环，制订该标准对构建铁路机车污染物全寿命环境监管体系至关重要。

4. 国内外相关标准研究

目前针对在用内燃机车污染物排放标准主要是美国 EPA Part1033 法规，其中除了对内燃机车的 NO_x、CO、HC 及 PM 污染物有限制外，还对排气不透光度及检测设备有相关要求，不透光烟度是在用柴油机相关标准（在用柴油车、在用非道路柴油移动机械等）的关键指标，因此，本报告对该美国法规进行详细介绍。另外，我国正在制订新生产铁路内燃机车排放标准，在用柴油机方面，我国已经实施在用柴油机械和在用柴油车标准，在用船舶排放标准也正在制订，因此，本报告对以上几项标准进行介绍。

4.1. 美国 EPA 铁路内燃机车标准

4.1.1. 适用范围

该标准适用于所有新机车和包含新机车发动机的机车。

4.1.2. 测试方法

污染排放试验可采用稳态测试循环或带过渡工况的稳态测试循环（见表 1 和表 2）。不透光烟度测试可以和各项污染物排放同时进行测试，也可单独测量。不透光烟度单独测量时，每挡位的最短持续时间应为 180 s。

表 1 EPA 铁路内燃机车稳态测试循环

测试工况	挡位设置	工况时间 (min)	排放采样所需时长 (s)
测试前怠速	最低怠速	10~15	不适用
A	低怠速 (如适用)	5~10	300±5 s
B	正常怠速	5~10	300±5 s
C	动态制动 (如适用)	5~10	300±5 s
1	挡位 1	5~10	300±5 s
2	挡位 2	5~10	300±5 s
3	挡位 3	5~10	300±5 s
4	挡位 4	5~10	300±5 s
5	挡位 5	5~10	300±5 s
6	挡位 6	5~10	300±5 s
7	挡位 7	5~10	300±5 s
8	挡位 8	10~15	300±5 s

表 2 铁路内燃机车带过渡工况的稳态测试循环

RMC 测试阶段	测试工况	挡位设置	干线机车		调车	
			加权系数	工况时间 (s)	加权系数	工况时间 (s)
测试前怠速	NA	最低怠速	NA	600~900	NA	600~900
阶段 1 (怠速)	A	低怠速 (如适用)	0.380	600	0.598	600
	B	正常怠速		600		600
阶段 2	C	动态制动 (如适用)	0.389	1000	0.377	
	1	挡位 1		520		868
	2	挡位 2		520		861
	3	挡位 3		416		406
	4	挡位 4		352		252
	5	挡位 5		304		252
阶段 3	6	挡位 6	0.231	144	0.025	1080
	7	挡位 7		111		144
	8	挡位 8		600		576

4.1.3. 污染物类别及限值

内燃机车排气污染物排放限值分调车和干线机车分别规定（见表 3），而不

透光度限值（光通道长度为 1 m）对于调车和干线机车则采用相同限值，每排放阶段对应 3 个限值，即稳态值、30 s 峰值和 3 s 峰值（见表 4）。

- ① 稳态值：取各测试工况结果中的最高值，对于持续时间 ≥ 180 s 的工况，计算工况开始后 120~180 s 内逐秒数值的平均值；对于带过渡工况且持续时间 < 180 s 的稳态循环，计算该工况最后 60 s 内逐秒数值的平均值。
- ② 30 s 峰值：取所有测试工况中，30 s 移动平均值的最高值。
- ③ 3 s 峰值：取所有测试工况中，包含最高数值点的 3 s 平均值的最高值。

表 3 铁路内燃机车污染物排放限值

排放标准	干线机车					调车				
	原始制造年份	NO _x	PM	HC	CO	原始制造年份	NO _x	PM	HC	CO
Tier 0	1973-1992	8.0	0.22	1.00	5.0	1973-2001	11.8	0.26	2.10	8.0
Tier 1	1993-2004	7.4	0.22	0.55	2.2	2002-2004	11.0	0.26	1.20	2.5
Tier 2	2005-2011	5.5	0.10	0.30	1.5	2005-2010	8.1	0.13	0.60	2.4
Tier 3	2012-2014	5.5	0.10	0.30	1.5	2011-2014	5.0	0.10	0.60	2.4
Tier 4	2015 及以后	1.3	0.03	0.14	1.5	2015 及以后	1.3	0.03	0.14	2.4

表 4 铁路内燃机车烟度限值

排放标准	稳态	30 s 峰值	3 s 峰值
Tier 0	30	40	50
Tier 1	25	40	50
Tier 2 及以后	20	40	50

4.2. 中国新制造铁路内燃机车污染物排放标准

4.2.1. 概述

很长一段时间以来，我国仅有国家铁路局发布的中国铁道行业标准，最新版本为 2017 年修订的《牵引动力装置用柴油机排放试验》（TB/T 2783-2017），等同采用国际铁路联盟 UIC IIIA 排放标准，其限值与欧盟 EU IIIA 一致。该标准对行业发展起到很强的指导作用，但由于其为推荐标准并非强制国标，实际作用有限。

为完善我国移动源排放标准体系，落实国务院“十四五”节能减排方案中推动实施铁路内燃机车国一排放标准的要求，推动铁路内燃机车行业技术进步和发

展，有必要制定铁路内燃机车及其发动机排气污染物国家排放标准。因此，生态环境部 2020 年下达了《铁路内燃机车及其发动机排气污染物排放限值及测量方法》标准任务，该标准目前已经发布，本部分将对该标准主要内容进行介绍。

4.2.2. 适用范围

该标准适用于新制造铁路内燃机车及其牵引用发动机，不适用于标准执行日期之前已制造的铁路内燃机车及其牵引用发动机。铁路内燃机车是指采用柴油机作为牵引动力的铁路机车（含柴电混合动力机车）。

该标准适用于型式检验、生产一致性检查和在用符合性检查。不适用于在用车的排放检查。

4.2.3. 排放限值

该标准管控的项目包括排气污染物和颗粒物，规定了 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放限值（见表 5）。

表 5 铁路内燃机车及其发动机排气污染物第一阶段排放限值

污染物	排放限值, g/(kW·h)		
	100 kW < P ≤ 560 kW	560 kW < P ≤ 2 000 kW, 且单气缸排量 < 5 L	P > 2 000 kW, 或单气缸排量 ≥ 5 L
CO	3.5	3.5	3.0
NO _x	NO _x +HC ≤ 4.0	6.0	7.4
HC		0.5	0.4
PM	0.2	0.2	0.2

4.2.4. 测试方法

标准规定铁路内燃机车及其发动机的排放测试可在发动机台架上，或者机车上进行，在固定工况下测量污染物排放结果。对于非恒速发动机，采用三工况进行测试，对于恒速发动机，采用五工况进行排放测试。

表 6 铁路内燃机车及其发动机的稳态循环试验

三工况稳态试验循环			
工况号	1	2 ^a	3
转速	标定转速	中间转速	怠速
功率/%	100 ^b	50 ^b	0
加权系数	0.15	0.25	0.6

五工况稳态试验循环					
工况号	1	2	3	4	5
转速	标定转速				
功率/%	100	75	50	25	10
加权系数	0.05	0.25	0.3	0.3	0.1

注：a) 对于内燃机车进行排放试验的情况，由于受到机车挡位设置的限制，工况 2 可以选取最接近工况 2 的挡位。b) 该功率百分数为相对于各工况对应转速下最大功率的百分数。

4.2.5. 耐久性

标准还规定了排放耐久性要求，铁路内燃机车的有效寿命应满足 5 年或 90 万 km（以先到者为准）。但是，鉴于当前不具备铁路内燃机车耐久性数据基础，因此，标准仅规定耐久性要求，但型式检验时，并不需要对排放测试结果进行劣化系数的修正。

为了收集耐久性数据，标准还规定必须进行劣化系数的确定并上报生态环境主管部门。铁路内燃机车用发动机生产企业可以采用基于实际运行的分析，替代耐久性试验来确定劣化系数或劣化修正值，但需说明确定劣化系数或劣化修正值方法的合理性，并提供所有数据、分析和评估结果。如发动机生产企业无法根据实际运行或产品分析获得劣化系数或劣化修正值，则发动机生产企业应在检测机构相关人员现场监督下，完成耐久性试验，并确定劣化系数或劣化修正值。

耐久性试验可以在发动机或机车上进行，也可以采用加速老化的方法。为了便于试验的开展，如果在机车上进行耐久性试验，可结合机车的运用考核同时进行。

4.2.6. 实施管理

自2025年9月1日起，新型铁路内燃机车及其发动机均应按该标准要求进行型式检验。但是已经完成型式检验的老旧型号，仍可进行销售。在该标准型式检验实施日期之后两年起，也就是自2027年9月1日起，所有生产、进口和销售的铁路内燃机车及其发动机（含作为配件的发动机），其污染物排放应符合该标准要求。凡不满足要求的铁路内燃机车及其发动机不得生产、进口和销售。

4.3. 中国在用柴油车排放标准

4.3.1. 概述

GB 3847—2018《柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）》是中国为控制所有在用柴油车排气污染而制定的国家标准，由生态环境部组织制订，生态环境部与国家市场监管总局于 2018 年 11 月 7 日发布，2019

年 5 月 1 日正式实施。

该标准是我国开展在用柴油车排放监管的核心标准，通过标准实施，确保所有在用柴油车能够得到正确的维护和使用，促进车主对排放超标车辆进行维修，防止车辆被恶意篡改，保证在用柴油车的污染排放控制效果。

4.3.2. 适用范围

标准规定了在用柴油车的管控项目，适用于柴油车污染物排放控制，包括新生产汽车检验、注册登记检验和在用汽车检验。该标准也适用于其他装用压燃式发动机的新生产和在用汽车。该标准同时适用于进口汽车的入境检验。

4.3.3. 管控项目

《柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）》规定在用汽车检验项目包括外观检验(含对污染控制装置的检查和环保信息随车清单核查)、车载诊断系统（OBD）检查及排气污染物检测，检验前应进行环保联网核查，查验车辆有无环保违规记录，并按标准规定报送信息。排气污染物检测采用加载减速法或自由加速法进行检测。

外观检查包括对发动机排气管、排气消声器和排气后处理装置的外观及安装紧固部位进行外观检验，观察是否存在烧机油或者冒黑烟现象等，并且检查车辆是否配置有 OBD 系统，判断车辆是否适合进行加载减速法检测。外观检验内容应实时录入检测系统。

对配置有 OBD 系统的在用汽车，在完成外观检验后进行 OBD 检查，内容包括检查故障指示器状态，并使用 OBD 诊断仪查看故障代码、故障里程和就绪状态值。另外需要说明的是，排气污染物检验过程中，不可断开 OBD 诊断仪。

排放检测采用自由加速法或加载减速法，若采用自由加速法时检测尾气的不透光烟度（光吸收系数或不透光度）和林格曼烟度，若采用加载减速法检测尾气时还需检测尾气中的氮氧化物浓度。

4.3.4. 排放限值

在用柴油车污染物检测项目及限值见表 7。

表 7 在用汽车排气烟度检验排放限值

类别	自由加速法	加载减速法		林格曼黑度法
	光吸收系数/ m^{-1} 或不透光度/%	光吸收系数/ m^{-1} 或不透光度/%	氮氧化物/ 10^{-6}	
限值 a	1.2 (40)	1.2 (40)	1500	1
限值 b	0.7 (26)	0.7 (26)	900	

对于海拔高度高于 1500m 的地区加载减速法可以按照每增加 1000m 增加 0.25m^{-1} 幅度调整，总调整不得超过 0.75m^{-1} ；2020 年 7 月 1 日前限值 b 过渡限值为 1200×10^{-6} 。

4.3.5. 测试方法

自由加速法是指在自由加速工况时检测尾气排放的试验方法，属于无负载的检测方法，常用于生态环境部门路检路查和入户抽查。加载减速法试验是指将受检车辆放置在底盘测功机上，通过底盘测功机加载模拟车辆在道路上的高负荷运行工况，按照 GB 3847—2018 标准规定的试验程序测量车辆的排气烟度和氮氧化物，属于有负载的检测方法。

对全国装用压燃式发动机的汽车进行的环保定期检验，应采用 GB 3847—2018 标准规定的加载减速法进行，无法使用加载减速法检测的车辆，可采用标准规定的自由加速法进行。

(1) 自由加速法

使用不透光烟度计对汽车进行检测。在实验开始前，车辆应充分预热，在每个自由加速循环的开始点均处于怠速状态。对重型车用发动机，将油门踏板放开后至少等待 10 s。在进行自由加速测量时，必须在 1 s 内，将油门踏板快速但不猛烈、连续地完全踩到底，使供油系统在最短时间内供给最大油量。

对每一个自由加速测量，在松开油门踏板前，发动机必须达到断油点转速。对带自动变速箱的车辆，则应达到制造厂声明的转速（如果没有该数据值，则应达到断油转速的 2/3）。关于这一点，在测量过程中必须进行检查，例如，通过监测发动机转速或延长油门踏到底后与松开油门前的间隔时间，对于重型汽车，该间隔时间应至少为 2 s。

计算结果取最后 3 次自由加速测量结果的算术平均值，在计算均值时可以忽略与测量均值相差很大的测量值。

(2) 加载减速法

该试验适用于装用压燃式发动机、最大设计速度大于或者等于 50 km/h 的在用汽车，测试需要在底盘测功机上进行。全时四轮驱动车辆不能按加载减速法进行试验，可按自由加速法进行检测。柴油车主要以货运为主，往往满载甚至违法超载运行，此时柴油车的功率输出达到极限状况，排放更为恶劣。加载减速工况法（即 Lug Down 法）正是针对该行驶状况设计的一种排气检测方法，通过底盘

测功机加载模拟车辆在道路上的高负荷运行工况，测试过程更贴近车辆高负载实际行驶状况，测试结果能更有效地表征柴油车的真实排放状况。

加载减速试验在底盘测功机上进行，检测前应对车辆和检测系统进行检查：一是对车辆进行预先检查，确定受检车辆与证件是否一致，以及进行排放检测的安全性。如果发现受检车辆的车况太差，不适合进行加载减速法检测，应进行修理后才能进行检测。二是检查底盘测功机参数是否能够满足待检车辆的功率要求，同时检查检测系统的工作状态是否正常。

正式检测开始前，检测员应按下面步骤操作，以便使控制系统能够获得自动检测所需的初始数据：将车辆放置在底盘测功机转鼓上，按照车辆道路实际运行时的路面行驶阻力情况设置测功机，启动发动机，变速器置空挡，逐渐加大油门踏板开度直到最大，并保持在最大开度状态，系统自动记录这时发动机的最大转速，然后松开油门踏板，使发动机回到怠速状态。由驾驶员选择不同的挡位，油门踩到底运行车辆，记录最大车速，选出最大车速最接近 70 km/h（但不超过 100 km/h）的挡位，则该挡位为试验挡位。

同时，计算机对按上述步骤获得的数据自动进行分析，判断是否可以继续进行检测，所有被判定为不适合检测的车辆都不允许进行加载减速检测。

检测时，将底盘测功机切换到自动检测状态。驾驶员在测试挡位下，油门踩到底运行车辆，直到系统提示完成检测，同时，测试系统自动运行功率扫描和排气测量过程。当被检车辆在转鼓上按正常路面行驶阻力达到最高车速时，开始进行功率扫描，通过底盘测功机不断增加负荷，使车辆因行驶阻力加大而逐渐减速，同时计算轮边功率值，寻找被检车辆发出最大轮边功率值时所对应的转鼓表面线速度（VelMaxHP）值。获得 VelMaxHP 值并完成功率扫描后，系统自动开始排气测量过程，通过改变底盘测功机加载负荷，将被检车辆的车速按顺序分别稳定控制在 VelMaxHP 值的 100% 和 80% 两个工况点，在每个工况点稳定至少 5s 后，采集 7s 的检测数据，包括轮边功率、发动机转速、排气光吸收系数及氮氧化物。取 7s 内的平均值为检测结果。

必须将不同工况点的测量结果都与排放限值进行比较。若修正后的最大轮边功率低于所要求的最小功率，或者测得的排气光吸收系数 k 和 NO_x 超过了标准规定的限值，均判断该车的排放不合格。

4.3.6. 实施管理

GB 3847—2018于2019年5月1日期实施，注册登记、在用汽车OBD检查和氮氧化物测试自2019年5月1日起仅检查并报告，自2019年11月1日起正式实施。

限值a是为防治在用汽车排气污染，促进在用汽车强制维护保养而制定的排气污染物排放限值；而汽车保有量达到500万辆以上，或机动车排放污染物为当地主要空气污染源，或按照法律法规设置低排放控制区的城市，应在充分征求社会各方面意见基础上，经省级人民政府批准，并依法经国务院生态环境主管部门备案后可以选用限值b，但应设置足够的实施过渡期。

北京市生态环境局自2024年7月1日起，率先执行国家在用汽油车和柴油车排放标准限值b，要求本地注册车辆在排放检验（包括定期检验和监督抽测）中符合限值b要求，目前全国除北京外各省市均采用a阶段限值。

4.4. 中国在用非道路柴油移动机械标准

4.4.1. 概述

GB 36886-2018《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》是中国为控制非道路移动机械柴油机排气污染而制定的国家标准，由生态环境部组织制订，生态环境部与国家市场监管总局于2018年11月7日联合发布，并于2018年12月1日正式实施。

标准的核心目标是通过限制非道路柴油移动机械的排气烟度（光吸收系数和林格曼黑度），减少非道路柴油机械对环境的污染，防治冒黑烟现象，助力《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的实施。

4.4.2. 适用范围

该标准适用于装用在非恒定转速下工作的柴油机的非道路移动柴油机械（如工程机械、农业机械、林业机械、材料装卸机械、工业钻探设备、雪犁装备、机场地勤设备等），以及装用在恒定转速下工作的柴油机的非道路移动柴油机械（如空气压缩机、发电机组、渔业机械、水泵等）。

该标准适用于以上非道路移动机械的在用机械排气烟度检验，对于新生产和进口机械的排气烟度检查也可以参照本标准执行。

4.4.3. 管控项目

标准管控的项目主要是非道路移动机械的排气烟度，包括不透光烟度和林格

曼烟度，其中：

——不透光烟度采用光吸收系数进行评价，光吸收系数指光束被单位长度的排烟衰减的系数，单位为 m^{-1} ，使用不透光烟度计进行测量。

——林格曼烟度采用林格曼黑度级数来评价，林格曼黑度级数是评价烟羽黑度的一种数值，将观测的烟羽黑度与林格曼烟气黑度图对比得到。标准的林格曼烟气黑度图由 $14\text{ cm} \times 21\text{ cm}$ 的不同黑度的图片组成，除全白与全黑分别代表林格曼黑度 0 级和 5 级外，其余 4 个级别是根据黑色条格占整块面积的百分数来确定的，具体见下图。

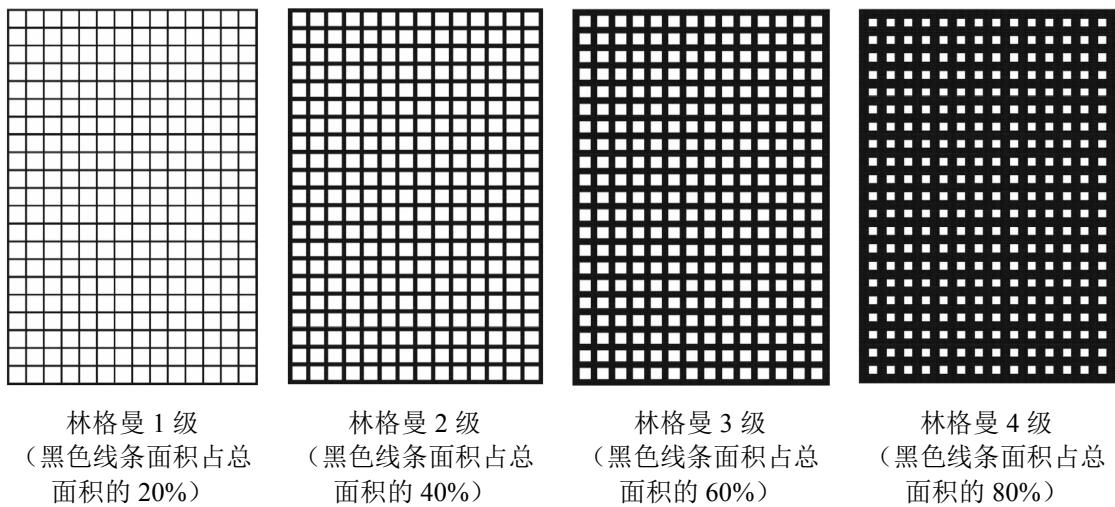


图 5 林格曼黑度级数

4.4.4. 排放限值及判定

基于在用机械的排放标准阶段不同，按照“新机型新办法，老机械老办法”的原则，标准设定了分类限值（见表 8）：

——满足 GB 20891—2007 第二及以前阶段排放标准的非道路移动柴油机械，执行 I 类限值。

——满足 GB 20891—2014 第三及以后阶段排放标准的非道路移动柴油机械，执行 II 类限值。

同时，为了满足地方主管部门更高的环境管理需求，标准还设定了 III 类限值，III 类限值仅适用于（禁止使用高排放非道路移动柴油机械的区域）。

另外，为了防治冒黑烟现象，以及后续监管的便利性，标准还要求执行 II 类 ($P_{max} \geq 19\text{ kW}$) 和 III 类限值的非道路移动柴油机械，在正常工作过程中，目视不能有明显可见烟。

表 8 非道路移动机械排气烟度限值

类别	额定净功率 (P_{max}) /kW	光吸收系数/ m^{-1}	林格曼黑度级数
I类	$P_{max} < 19$	3.00	1
	$19 \leq P_{max} < 37$	2.00	
	$37 \leq P_{max} \leq 560$	1.61	
II类	$P_{max} < 19$	2.00	1
	$19 \leq P_{max} < 37$	1.00	1
	$P_{max} \geq 37$	0.80	
III类	$P_{max} \geq 37$	0.50	1
	$P_{max} < 37$	0.80	

注：在海拔高于 1700m 的地区使用的各类非道路移动柴油机械的排气不透光烟度（光吸收系数）限值应在限值基础上增加 $0.25m^{-1}$ 。

生态环境主管部门进行检查时，可以直接采用林格曼烟度法进行判定，如果非道路移动柴油机械的林格曼烟度超标，则判定烟度排放检验不合格。若林格曼烟度检验合格的非道路移动柴油机械，生态环境主管部门也可继续采用不透光烟度法进行现场排气烟度检验，满足排气烟度限值要求，判定合格，否则为不合格。

4.4.5. 测试方法

由于非道路移动机械种类多样，结构复杂，无法准确进行工况模拟，且生态环境主管部门进行排放监管的目的就是确保机械在实际使用过程中的排放达标，因此，标准建立了一种全新的测试方法，即“自由加载法”：现场检验人员可以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），测量非道路移动柴油机械的排气烟度。在测试过程中，需要使用不透光烟度计连续测量非道路移动柴油机械排气的光吸收系数，取测量过程中不透光烟度计的最大读数值作为测量结果。

同时，标准还规定，在非道路移动柴油机械不具备加载条件下，可采用 GB 3847 描述的自由加速法进行烟度测量，即在 1 s 时间内，将油门踏板快速、连续但不粗暴地完全踩到底，使喷油泵供给最大油量。在松开油门踏板前，发动机应达到额定转速（采用手动或其他方式控制供油量的发动机采用类似方法操作），在测量过程中应进行检查。自由加速法应取最后三次自由加速烟度测量结果最大值的算术平均值作为不透光烟度的测量结果。

对于林格曼烟度，应连续观测非道路移动柴油机械的排气烟度，将观测的林格曼烟度的最大值确定为排气烟度测量结果。检验过程中，可以使用视频、摄像或者执法记录仪等手段获取烟度检测结果。

4.4.6. 实施管理

标准要求制造企业应制定自查规程，对新生产的机械进行排放达标自查，并将自查结果信息公开。进口非道路移动柴油机械代理商也应进行排放达标自查。

依照城市人民政府划定禁止使用高排放非道路移动柴油机械区域的要求，可采取登记、安装定位系统等方式加强对其跟踪管理。

4.5. 中国在用船舶标准

4.5.1. GB 8840—2009 简述

GB 8840—2009《船用柴油机排气烟度限值》是我国船用柴油机的强制性国家标准，由我国原质量监督检验检疫总局（现国家市场监督管理总局）和标准管理化委员会于2009年3月9日联合发布，并于2009年8月1日正式实施。

该标准仅仅管控各类船用柴油机在额定工况或订货合同规定的持续运转功率工况下滤纸烟度（FSN）。烟度限值根据柴油机不同的排量，需先计算该柴油机的名义排气流量，不同的柴油机名义排气流量对应着不同的限值要求。柴油机测量结果应小于名义排气流量对应的滤纸烟度要求。限值如表9所示。

GB 8840—2009在执行过程中，基本作为一个企业的质控标准在执行，企业新产品开发过程中，均要求满足GB 8840—2009标准的要求，并自行出具检验报告。

表9 柴油机排气烟度允许限值

名义排气流量 G/ (L/s)	滤纸烟度 Sr/ FSN	名义排气流量 G/ (L/s)	滤纸烟度 Sr/ FSN
≤45	4.86	>290~350	3.27
>45~55	4.77	>350~400	3.08
>55~65	4.58	>400~500	2.99
>65~75	4.48	>500~600	2.90
>75~85	4.30	>600~700	2.71
>85~95	4.20	>700~900	2.62
>95~110	4.11	>900~1150	2.43
>110~125	4.02	>1150~1500	2.24
>125~140	3.92	>1500~2000	2.05
>140~160	3.83	>2000~3000	1.96
>160~185	3.74	>3000~5000	1.77
>185~210	3.64	>5000~7000	1.59
>210~250	3.46	>7000	1.40
>250~290	3.36		

4.5.2. 新修订的 GB 8840 主要内容介绍

随着柴油机行业及测控技术行业的发展，GB 8840—2009 标准已经不能满足主管部门的管理需要，2020 年生态环境部提出了该标准修订的任务，目前该标准正在修订过程中，基于《大气污染防治法》的要求，标准提出了整船烟度的管控要求，近期将会发布征求意见稿。新修订的 GB 8840 主要内容有：

- 1) 标准的适用对象除船用柴油机外，还增加了船舶；
- 2) 测量的污染物为船舶排气烟度；
- 3) 限值及测量方法为船舶在正常航行和系泊期间，其排气烟度持续 30 s 不得超过林格曼黑度级数 2 级。

该标准还将继续开展编制工作，相关内容可能会有所调整，当前内容仅供参考。

4.6. 小结

我国新制造铁路内燃机车排放标准正在制订中，该标准采用标准台架测试循环，测量排气污染物和颗粒物排放，并提出限值要求，该标准将使我国铁路内燃机车制造行业进入新的阶段，从源头提升铁路内燃机车的污染物排放控制水平。其他在用柴油机相关标准均以排气烟度测试为核心，旨在促进在用柴油机的正常使用和保养，出现排放问题后督促车主进行维修，保证在用柴油机的污染控制水平。

几项标准简单对比见表 10：

表 10 相关柴油机标准对比分析

内容	标准项目			
	新制造铁路机车	在用柴油车	在用非道路柴油移动机械	在用船舶
标准状态	制订中	现行	现行	制订中
适用环节	型式检验 生产一致性检查 在用符合性检查	下线检验 注册登记检验 在用车检验	下线检验 在用机械检验	在用船舶检验
控制项目	污染物排放：CO、NOx、HC、PM	外观检验 OBD 检验 排放检验： -不透光烟度 -林格曼烟度 -NOx 浓度	排放检验： -不透光烟度 -林格曼烟度	排放检验： -林格曼烟度
限值管理	统一限值	提出 a、b 限值，分级管理	提出 I 类、II 类和 III 类限值管理	统一限值
测试方法	台架标准试验循环	自由加速法和加载减速法	自由加载法和自由加速法	正常行驶工况

以上各类柴油机相关标准，根据用途不同，实际运行特点差异，提出了不同的测试方法、控制项目和限值管理模式，对于在用铁路内燃机车，也应在参考上述标准的同时，根据铁路内燃机车自身特点来确定测试程序等相应内容。

5. 标准制订的基本原则和技术路线

5.1. 制订标准的原则

本标准基于以下原则编制：

- (1) 与我国相关的法律法规、标准协调配套，与环境保护方针政策一致。
- (2) 在实现环境保护目标的同时，充分体现行业管理特点，促进铁路内燃机行业绿色可持续发展。
- (3) 以落实相关政策“基本消除非道路移动机械、船舶及重点区域铁路机车‘冒黑烟’现象”为基本原则，确定排放限值及测量方法。
- (4) 力求使标准内容科学合理，技术可行，达标成本合理。

5.2. 制订标准的技术路线

本标准的制定是在对行业发展情况进行充分了解的基础上，在主管部门的监管需要和指导下，结合我国环境管理需求、当前铁路机车污染物排放现状、相关移动源在用标准测试设备和方法等，明确“冒黑烟”的定量化指标，确定标准控制目标，形成排放测试方法并进行验证，编写标准草案，完成标准开题论证、征求意见、技术审查和报批。标准制订技术路线如下：

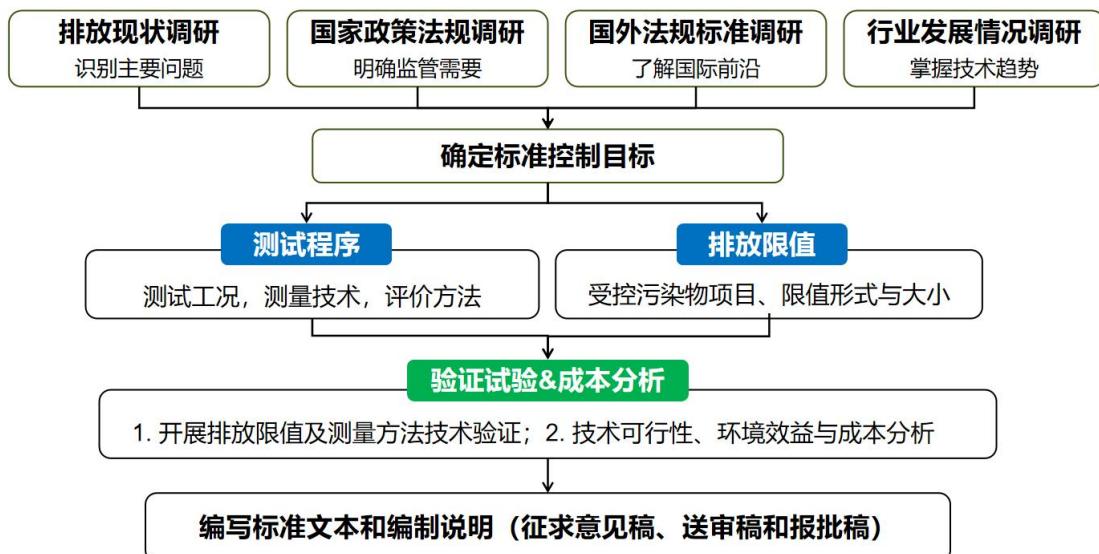


图 6 技术路线图

6. 标准主要技术要求

6.1. 适用范围

本标准规定了铁路内燃机车排气烟度限值及测量方法。

本标准适用于在用铁路内燃机车、新生产（进口）铁路内燃机车出厂、大修后铁路内燃机车出厂的排气烟度检验。

6.2. 框架结构

标准按照正文和附录的形式分别规定限值等技术要求和测试程序等细节和规范，初步确定核心章节如下：适用范围、规范性引用文件、术语和定义、烟度限值及测量方法、判定规则、数据记录、保存和报送要求、标准实施共 7 个章节，静置自负荷法试验程序、动态加载法试验程序、不透光烟度计的特性和安装要求、林格曼烟度法、检验报告、实时上报数据项共 6 个附录。

6.3. 排放限值及确定依据

6.3.1. 排放限值

本标准在深入调研在用铁路内燃机及其发动机排气污染现状的基础上，参考在用柴油车和非道路移动机械排放标准，将烟度作为污染物项目进行控制。包括不透光烟度（光吸收系数）和林格曼烟度（林格曼黑度级数），拟定排放限值见表 11。

表 11 在用铁路内燃机车排放限值

类别	光吸收系数 (m^{-1}) ^a	林格曼黑度级数
限值 a	1.1	2
限值 b	0.7	1（不能有可见烟）

注：a) 海拔高度高于 1500 m 的地区，可以按照每增加 1000 m 增加 $0.25 m^{-1}$ 的幅度调整，总调整不得超过 $0.75 m^{-1}$ 。

鉴于第一阶段铁路内燃机车排放标准即将发布实施，因此，本标准规定了限值 a 和限值 b 两级限值，对于满足第一阶段排放标准的铁路内燃机车，执行更为严格的限值 b。

另外，在《空气质量持续改善行动计划》划定的重点区域内运行的铁路内燃机车，按照相关政策要求，应“基本消除非道路移动机械、船舶及重点区域铁路机车‘冒黑烟’现象”，因此也应执行限值 b，其他区域可以选择执行较为宽松的限值 a。

按照以上要求，对于满足第一阶段排放标准要求的铁路内燃机车，不论是否

在重点区域行驶，均应满足限值 b 要求，对于不满足第一阶段标准要求的铁路内燃机车，若其排放性能较好，能够满足限值 b 要求，则也可在重点区域运行，否则将只能在重点区域以外的地区行驶。此外，测试时还应同时进行一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化合物(NO_x)和二氧化碳(CO₂)排放测量，并进行记录。

6.3.2. 限值确定的依据

以 CKD6S 型机车为基础，开展不同烟度水平和视觉效果的对比试验，确定“冒黑烟”的量化评价指标。通过调节柴油机燃油参数（喷油量、提前角、功率、进气量），对不同烟度排放进行模拟，实现 CKD6S 机车柴油机排放恶化摸底验证试验，实现了稳定工况下 $0.2 \text{ m}^{-1} \sim 1.7 \text{ m}^{-1}$ 烟度值的调整，并同时进行视频拍摄效果和光吸收系数的比对。试验现场图片如下：



图 7 CKD6S 型机车烟度摸底试验现场

不同烟度值对应烟度效果照片如下：

					
0.36	0.38	0.42	0.50	0.55	0.60

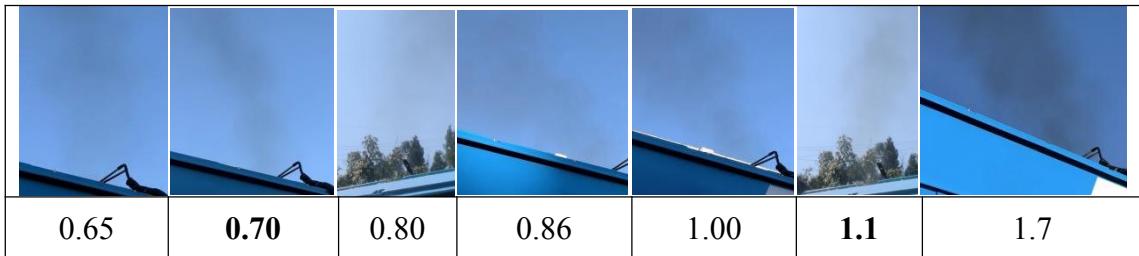


图 8 不同烟度值对应烟度效果

根据上图烟度对比试验中的视频和照片（天空背景）分析，烟度值在大于 0.4 m^{-1} 时能略见黑烟，在 0.7 m^{-1} 左右时黑烟较明显。因此，建议将“冒黑烟”对应的烟度值 k 值设置为 0.7 m^{-1} ，对应林格曼黑度级数为 1 级。当光吸收系数大于 1.1 m^{-1} 后，黑烟情况已经较为清晰，且基本能够达到林格曼黑度 2 级标准。

为保证标准实施的顺利过渡，标准提出两级限值指标，其中限值 a 取值 1.1 m^{-1} ，以促进老旧机车适当的维护保养，能够按照国家铁路局《老旧型铁路内燃机车淘汰更新监督管理办法》的要求有节奏的退出运用。限值 b 取值 0.7 m^{-1} ，严格要求满足第一阶段排放标准的铁路机车，以及重点区域使用的铁路机车，按相关政策要求“基本消除‘冒黑烟’现象”。

6.4. 测量方法

6.4.1. 试验工况和工况模拟方法

本标准规定了三种实现工况模拟的方法，具体如下：

静置自负荷法：对于有自负荷功能的铁路内燃机车，可以通过自负荷准确模拟机车的不同工况，因此，要求铁路机车的每个挡位或问题工况均应满足限值要求。测试时，应按照发动机输出功率从低到高的顺序，至多进行五个稳定工况的排放测试，且必须包括怠速和最大运用功率工况点；

——对于固定挡位的机车，除怠速和最大运用功率外的稳定工况点，可在任何挡位进行选择；

——对于无级调速的机车，除怠速和最大运用功率外的稳定工况点，可在任何稳定输出功率工况点进行测试，每个输出功率工况点应至少间隔最大运用功率的 10%；

——若机车的自负荷功能无法满足最大运用功率稳定运行要求，则应取自负荷功能可达到的最高稳定功率输出工况点代替最大运用功率工况点进行测试；

——对于柴电混合动力机车，则测试工况点的选取应覆盖不同的发动机稳定输出功率点。

因为自负荷测试时，铁路内燃机车可以静置在原地不动，只需要通过自负荷装置消耗掉发动机的做功，所以，本标准给该方法取名为“静置自负荷法”。为获取稳定的排放数据，静置自负荷法测试的每个工况点，应稳定运行最少 60 s，最多 90 s，取第二个 30 s 的数据作为有效数据进行排放计算。

动态加载法：对于无自负荷功能的铁路内燃机车，为了使铁路内燃机车加载，需要有额外的负载方式，如采用牵引其他货车，在封闭铁路路段动态行驶，以对测试工况进行模拟。因为这种方式受限于负载车辆或路线等，无法各个工况点，因此，只要求进行三个稳定工况点，要求每个工况点应至少间隔最大运用功率的 10%；测试过程中，每个工况点发动机输出功率应尽量保持稳定。因为这种方式需要在铁路机车行驶状态下进行测试，因此，本标准给其命名为“动态加载法”。

6.4.2. 采样和分析

不论采用以上哪种方法，正式试验前 1 分钟（或大于 1 分钟）开始记采样并录数据。每个试验功率或工况需稳定运行不少于 60s，最多 90s，记录保存整个测试周期的试验数据。应包括但不限于各工况开始时间、结束时间、发动机机油温度、发动机冷却液温度、机车挡位（如有）、主发动机功率（如有）、烟度测量结果，排放测试数据记录频率不小于 1Hz，

具体分析时，取该试验功率或工况的第二个 30s 测量结果的平均值，作为该工况的测试结果。取所有工况的最大测量值，作为该次测试的测量结果。测试工况和采样要求见图 9。

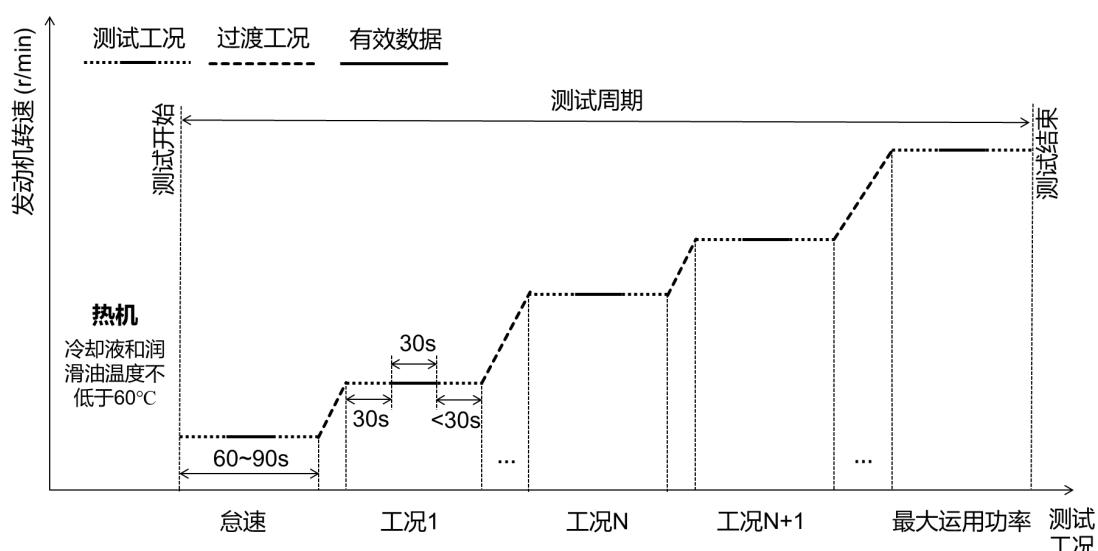


图 9 铁路机车测试工况

6.4.3. 测试程序确定的依据

铁路内燃机车与普通的柴油车不同，柴油机只参与发电，通过电力带动铁路内燃机车行驶，与增程式汽车的工作原理类似。铁路内燃机车用柴油机只在固定挡位运行，每个挡位对应一个固定的转速和功率，通常铁路内燃机车有 16 个挡位或 8 个挡位。

为了确定如何进行测试，编制组对一台 CKD6S 型机车（共 16 档），进行了怠速（惰转）、加载（间隔两个挡位进行一次测试），以及模拟了自由加速工况的烟度测试。测试结果见图 11。

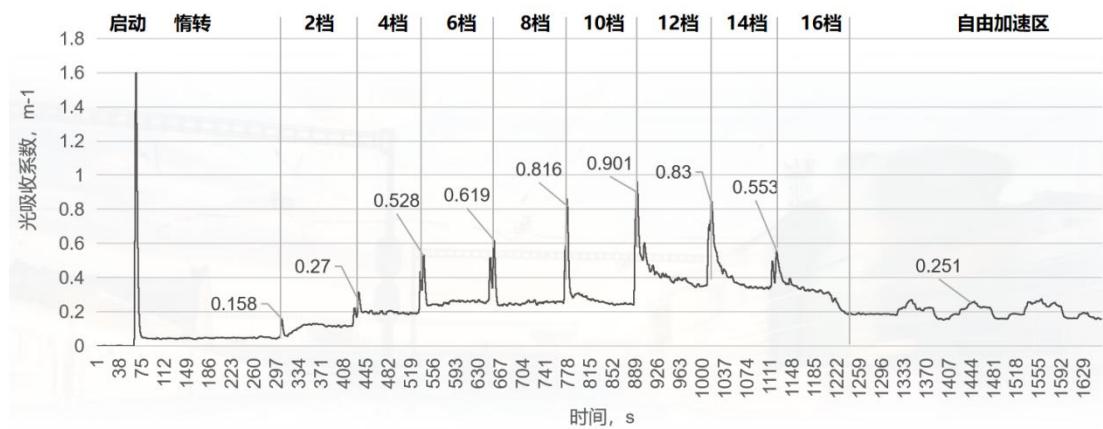


图 11 CKD6S 型机车不同工况下的烟度测试

由图可以看出，怠速工况烟度值非常低，自由加速的烟度排放则相对不稳定，且铁路内燃机车通常不会有自由加速的情况出现，因此，编制组放弃了这两种方法。

各个挡位的加载试验中，在挡位切换瞬间，烟度值出现峰值，之后待工况稳定后，烟度值回归正常水平。降低挡位切换时的烟度峰值，从当前车辆技术来看，降低调速率是可行的方式，通过试验发现，调速率降低后，在升档时，目标功率的 90% 功率可以随转速提升而快速达到，但剩下的 10% 需要较长时间才能达到，对机车挡位切换时的动力快速响应造成了较大影响。且降低调速率，对烟度影响在 0.18-0.26 间变化，调速率对烟度的影响较小。

考虑到铁路内燃机车大多在稳态工况运行，挡位切换在所有工况中占比极小，对排放影响有限，因此，本标准确定在稳态工况下进行烟度测试。

另外，在所有挡位中，第 12 挡的烟度值最高，更低挡位和更高挡位的烟度值均下降，多台机车测试结果显示的规律也不尽相同，因此，标准规定在用机车

可在所有挡位进行测试，取最高值作为排放结果。

6.5. 判定规则

林格曼黑度级数或光吸收系数任一项超标，均可判定排放检验不合格。

6.6. 数据保存和传输要求

除排放限值和测量方法外，标准还规定了数据保存和报送等内容，具体如下：使用计算机系统记录和保存检验信息。应将标准中要求进行的仪器检查及检定（含校准）结果自动储存在计算机中。检验报告纸质档案和电子档案保存期限应不少于6年。检验机构应向生态环境主管部门和国家铁路局实时传输检验信息。铁路内燃机车的新生产出厂检验、进口检验和大修后出厂检验应通过计算机系统实时自动检测、记录、传输、存储，依法向国务院生态环境主管部门和国家铁路局联网报送。

7. 本标准与相关标准的对比

标准设定的排放限值，与我国在用柴油车标准和在用非道路移动机械标准基本处于相同控制水平，且均进行分级限值设定，严格限值一般适用于更高排放标准阶段的柴油机或重点区域使用的柴油机等，宽松限值一般适用于较低排放阶段的柴油机。美国法规仅设定不透光度限值，限值水平比我国在用柴油车标准略严。

表 12 本标准与同类标准限值对比

标准	宽松限值			严格限值		
	光吸收系数	不透光度	林格曼黑度	光吸收系数	不透光度	林格曼黑度
本标准	1.1		2	0.7		1
在用柴油车	1.2	40	1	0.7	26	1
在用柴油机械 ^a	1.61		1	0.8 (0.5 ^b)		1
美国铁路机车		30			20	

注：a) 在用柴油机械取最大功率段限值进行对比。b) 为了满足地方主管部门更高的环境管理需求，标准还设定了III类限值，III类限值仅适用于（禁止使用高排放非道路移动柴油机械的区域）

8. 标准实施可行性和经济效益分析

8.1. 标准实施可行性

编制组开展了43台老旧型机车的烟度摸底测试，经筛选后约22台机车测试数据质量较好，其中14台具备自负荷功能，8台不具备自负荷功能；另外项目

组还开展了 4 台满足第一阶段排放标准的新型机车烟度测试，其中两台测试数据可用，另两台因测试设备或其他原因导致数据未能有效采集。

对于具备自负荷功能的机车，每两个挡位进行一次测试（每台机车测试 8 次）；对于不具备自负荷功能的机车，按不同转速进行测试（每台机车测试 3-4 次），测试结果均取所有测试挡位或转速的最高值。

具体烟度情况见图 12。

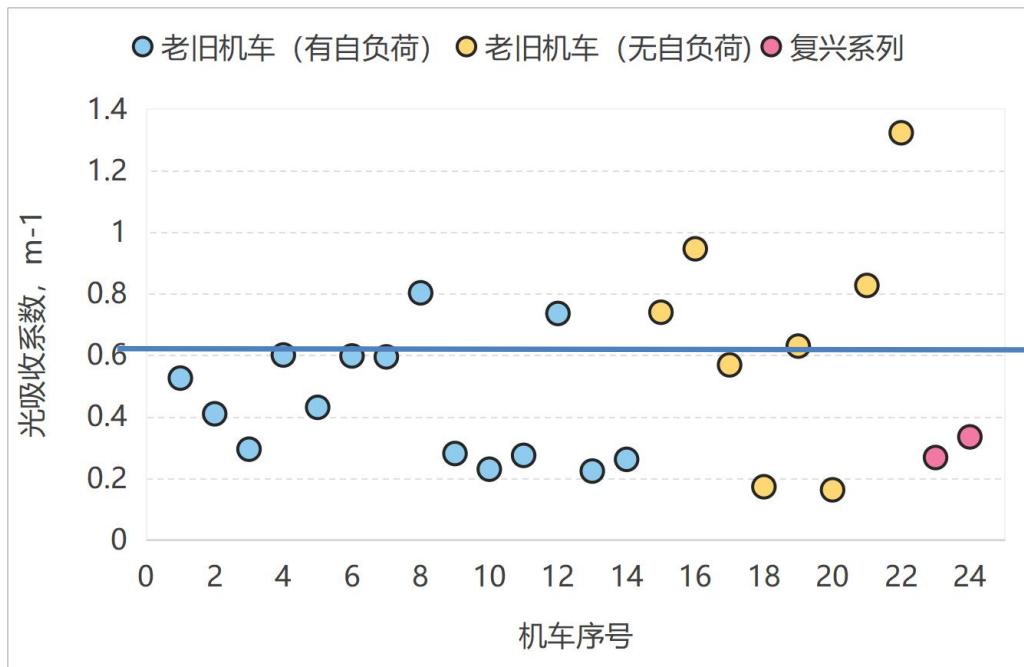


图 12 铁路机车烟度摸底测试情况

从以上数据可知，在所有 24 台摸底数据中，有 6 台超过标准限值要求，高排放机车筛查率约 25%。其中，对于有自负荷功能的机车，超标数量为 2 台，超标率为 14.3%，无自负荷功能的机车，超标数量为 4 台，超标率为 50%（分析原因为不具备自负荷功能的机车都是在动态过程中进行测试的，无法保证较长时间的稳态，所以测试结果相比具有自负荷功能的机车偏大），两台复兴系列机车均达标。

8.2. 标准实施的效益分析

本标准适用于在用铁路内燃机车的排放检验，标准的实施能够有效促进在用铁路内燃机车的有效维护和保养。对老旧机车，尤其是年限较长，长期未进行大修，缺乏保养，严重冒黑烟内燃机车，本标准的实施将促使其进行维修，降低黑烟排放。另外，本标准提出的限值 b 适用于《空气质量持续改善行动计划》划定的重点区域内运行的铁路内燃机车，将基本消除重点区域铁路内燃机车冒黑烟现象。