

附件 2

《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(中国第一、二阶段)  
(征求意见稿)》编制说明

《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》标准编制组

二〇二三年十二月

# 目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 铁路内燃机车及其发动机概况.....	3
2.1 我国铁路内燃机车及其发动机发展概况.....	3
2.2 全球其他国家和地区内燃机车及其发动机发展概况.....	5
3 标准制订的必要性分析.....	6
3.1 国家及环保主管部门的相关要求.....	6
3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求.....	7
3.3 现行环保标准存在的主要问题.....	8
4 铁路内燃机车排放情况及污染控制技术分析.....	8
4.1 铁路内燃机车大气污染物排放现状.....	8
4.2 铁路内燃机车及其发动机排气污染物防控技术.....	9
5 标准主要技术内容.....	10
5.1 标准适用范围.....	10
5.2 标准结构框架.....	10
5.3 术语和定义.....	10
5.4 污染物项目的选择.....	11
5.5 污染物排放限值的确定.....	11
5.6 耐久性要求.....	13
5.7 在用符合性.....	13
5.8 监测要求.....	13
6 主要国家、地区及国际组织相关标准研究.....	14
6.1 标准限值对比.....	14
6.2 测试方法对比.....	15
6.3 耐久及劣化系数.....	16
6.4 在用符合性.....	17
7 实施本标准的环境效益及经济技术分析.....	17
7.1 实施本标准的环境（减排）效益.....	17
7.2 实施本标准的技术经济分析.....	18
7.3 实施本标准的技术可行性分析.....	20

# 1 项目背景

## 1.1 任务来源

2020 年，生态环境部法规与标准司和大气环境司下达了《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》标准制订任务，项目编号为 2020-10。项目承担单位为北京交通大学，中国环境科学研究院、大连中车柴油机有限公司和天津内燃机研究所（天津摩托车技术中心）参加。

## 1.2 工作过程

2020 年 4 月，项目承担单位接到任务后，与中国环境科学研究院、大连中车柴油机有限公司、天津内燃机研究所（天津摩托车技术中心）成立标准编制组，并依据《国家大气污染物排放标准制订技术导则》（HJ 945.1-2018）、《国家移动源大气污染物排放标准制订技术导则》（HJ 1228-2021）等文件，制定了标准修订工作计划。同月，标准编制组对铁路内燃机车及其发动机国内外标准及相关支撑文件进行了检索、整理、分析和归纳，并研究了国家相关产业政策和环保法律法规与标准。

2020 年 4 月 15 日，生态环境部大气司召开标准编制组研讨会，初步形成本次标准编制目的和范围，明确本标准主要针对新制造铁路内燃机车，实现源头控制削减污染物排放，促进铁路内燃机车及其发动机技术进步。

2020 年 4 月-2020 年 11 月，标准编制组人员根据各自负责内容，完成了标准编制开题报告初稿和标准草案。

2020 年 11 月 4 日，标准编制组组织召开专题研讨会，围绕开题报告初稿进行充分讨论，包括标准制定的必要性、国内外及组织相关标准研究、标准制定的基本原则、技术路线以及标准主要技术内容。提出了开题报告初稿和标准草案存在问题和下一步需完善的工作。

2020 年 11 月 11 日，标准编制组与铁道行业内燃机车标准化委员会（简称“铁路内标委”），以及中车戚墅堰机车有限公司、中车资阳机车有限公司和大连内燃机车研究所等国内主要内燃机车生产企业进行研讨。针对内燃机车技术发展，大气污染物排放控制、大气污染物后处理技术的研发状况及技术经济成本等关键问题进行了充分讨论，为标准编制开题报告和标准草案完善奠定基础。

2020年12月-2021年3月，标准编制组进一步完善了开题报告，完成了《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》标准草案。

2021年3月2日，生态环境部大气环境司组织标准开题论证会，论证委员会通过标准的审议，确定本标准编制范围为新制造铁路内燃机车及其发动机，建议进一步研究耐久性和在用符合性测试方法，进一步论证内燃机车排放检测方法。

2021年3月-2021年12月，标准编制组进一步开展广泛调研、讨论和论证，编制《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》标准草案文本。

2021年12月15日，标准编制组与中车戚墅堰机车有限公司进行线下研讨，深入分析我国内燃机车排放现状、技术升级、内燃机车系族划分、测试循环、排放试验方法等技术细节，为标准关键技术环节的制定提供支撑。

2021年12月26日-28日，标准编制组前往江苏常州中车戚墅堰机车有限公司进行现场调研，实地考察机车测试循环、排放测定等具体试验规程，听取专家对台架试验和机车试验的过程分析，进一步完善标准具体测试规程与方法相关内容。

2022年1月12日，铁路内标委组织铁路行业研讨会，邀请国家铁路局科技与法制司、中国国家铁路集团有限公司、中国铁路交通协会、中国铁道科学研究院、北京交通大学、中国中车股份有限公司等主管部门、生产企业、用户、科研院所、检测机构、行业协会等22家单位30位专家和领导，就标准草案进行了深入研讨交流。会议围绕着标准草案中存在的问题进行了逐条讨论，会后编制组对专家提出的意见进行了逐条修改和答复，补充了附录B、C、D与现有国标对比报告，并向铁路内标委提供了美国与欧盟标准对标报告。

2022年2月14日，标准编制成员单位中国环境科学研究院邀请卡特彼勒公司专家，开展美国和欧盟铁路内燃机车及其发动机排放标准研讨，标准编制组、国家铁路局、中国国家铁路集团有限公司及铁路内标委成员单位相关人员参会。会上国外专家就美国和欧盟法规中关键技术条款、具体测试方法和标准实施情况进行了详细介绍。

2022年3月31日，标准编制组邀请中车戚墅堰机车有限公司、中车资阳机车有限公司、大连内燃机车研究所、中铁检验认证（大连）机车检验站有限公司和中国铁道科学研究院集团有限公司进行国标专题讨论会，生态环境部大气环境

司派员指导，国家铁路局科技与法制司派员参会。会议总结了“采用灵活测试方案”、“综合考虑行业技术水平与环境管理需求”以及“在用符合性积累数据方案”三条意见，为标准可行性提供了保证。

2022年4月-2022年10月，标准编制组与各方充分研讨，完成《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》标准征求意见稿和编制说明。

2022年10月17日，生态环境部大气环境司组织标准征求意见稿审查会，审查委员会通过标准征求意见稿审查，同意征求意见。建议进一步优化有效寿命、生产一致性、在用符合性等技术要求。

2022年10月-2023年11月，根据标准征求意见稿审查会意见，标准编制组进一步完善标准征求意见稿和编制说明。

## 2 铁路内燃机车及其发动机概况

### 2.1 我国铁路内燃机车及其发动机发展概况

#### 2.1.1 我国铁路内燃机车及其发动机发展历史

我国内燃机车的发展大致可以分为起步、发展和转型三个阶段。起步阶段始于上世纪60年代，国产内燃机车开始发展，实现了“从无到有”的历史跨越。1966年-1979年，我国先后开发出多种新型机车柴油机，内燃机车进入快速发展阶段。这一时期的内燃机车柴油机大多采用自主设计的交直流电传动装置或改进的液力传动装置，并通过不断技术更新，逐步开始采用电子喷射技术、交流电传动装置和微机控制系统，产品性能不断接近国外同类产品的先进水平。铁路内燃机车年产量和保有量占比均达到峰值，并开始走向国际市场。进入新世纪，随着我国电力机车的快速发展以及国家对环境质量的日益关注，我国铁路内燃机车保有量逐年下降。自2004年起，在铁道部的支持下，我国内燃机车制造企业生产了近千台在排放模式下满足USEPA Tier 2排放要求的内燃机车。近年来，在国铁集团提出研发具备智能化、节能环保的新一代产品的要求下，各内燃机车制造厂通过不断努力，开始研发满足EU IIIB排放要求的新型柴油机，我国铁路内燃机车行业正向“智能化、低排放”不断迈进。

### 2.1.2 我国铁路内燃机车及其发动机发展趋势

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。截止到 2020 年，我国电力机车占比 64%，内燃机车占比下降到 36%。2014-2019 年，平均每年生产铁路内燃机车 100-200 台，整体呈下降趋势。

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，受电力机车冲击，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。

### 2.1.3 我国铁路内燃机车及其发动机管理体系

根据《铁路机车车辆设计制造维修进口许可实施细则》（国铁设备监〔2014〕19 号）（以下简称《细则》），将铁路机车行政许可工作分为设计、制造、维修、进口四大类进行分别管理。《细则》规定，设计新型铁路机车车辆，设计企业应当取得型号合格证；已取得型号合格证的产品，制造企业在投入批量制造之前，应当取得制造许可证；承担铁路机车车辆整机性能恢复性修理（即“大修”）的维修企业在维修样车投入运营前，应取得维修许可证；进口新型铁路机车车辆，在该产品投入运营前，国内进口企业应当取得进口许可证。

《细则》还规定，设计、制造、进口样车的型式试验报告、运用考核报告、解体检查报告由专业技术机构出具，专业技术机构应当通过国家计量认证，取得相关资质。专业技术机构应当对型式试验报告、运用考核报告和解体检查报告的真实性和有效性负责并承担法律责任。维修样车的例行试验报告由申请企业出具，申请企业应按照规定填写申请材料，对申请材料内容的真实性、有效性负责。国家铁路局科技与法制司负责受理行政许可申请和送达行政许可决定书、行政许可证书，设备监督管理局负责行政许可审查。

型式试验是指按照标准和技术条件对整车及关键零部件所做的基本参数、结构和性能等检验，由专业技术机构组织实施。例行试验指按照规定的标准和程序进行的常规检测试验。运用考核包括运行考核、作业考核，指样车按照实际运行和作业要求通过里程或者时间、负荷率所进行的考核。解体检查指样车达到运用考核规定里程或者时间、负荷率后，对样车进行分解检查，并进行测试评定。技

术评价指按照规定的程序和标准，对产品的技术、质量水平和实用价值所进行的技术评审或者成果鉴定。

针对铁路内燃机污染物排放控制方面，国家铁路局发布了中华人民共和国铁道行业标准 TB/T 2783-2017，我国铁道行业标准一直与国际铁路联盟 UIC 标准保持一致。TB/T 2783-2017 与 UIC IIIA 限值一致，国际铁路联盟 UIC IIIA 开始采用欧盟 EU IIIA 限值。我国铁道行业 TB/T 2783 作为推荐性标准，对铁路内燃机行业技术发展具有很强的指导作用，但非强制性标准。

## 2.2 全球其他国家和地区内燃机车及其发动机发展概况

美国铁路以货运为主，营业里程 22.1 万公里，经过百余年发展，拥有世界营业里程最大的铁路网和规模最大的内燃机车数量。美国铁路协会根据年收益和营业里程将铁路分为一级、二级和三级。美国内燃机车主要制造商为 GE 公司和 EMD 公司，如表 1 所示。

表 1 美国一级铁路主要内燃机车技术参数

机车型号	ES44C4	ES44DC	ET44AC	ET44C4	SD70-M2	SD70A CE-T4	F125	Siemens Charger SC(44)
制造商	GE	GE	GE	GE	EMD	EMD	EMD	西门子
生产年份	2009	2005	2015	2015	2005	2016	2015	2016
柴油机 型号	GEVO12	GEVO12	GEVO12	GEVO12	710G3C-E S16	1010	C175-20	QSK95
传动方式	交流	交-直	交流		交-直	交流		
柴油机功 率 kW	3255	3255	3255	3255	3200	3280	3500	3280
排放等级	Tier 2	Tier 2	Tier 4	Tier 4	Tier 2	Tier 4	Tier 4	Tier 4

欧洲的铁路机车处于全球领先水平，铁路密度大，内燃机车保有量也较高。西欧干线铁路里程 172680 公里；东欧干线铁路里程 88204 公里。欧洲铁路市场具有很高的铁路密度和高度发展的基础设施，并且拥有世界领先的内燃机车制造商，主要包括阿尔斯通（Alstom）、庞巴迪（Bombardier）、西门子（Siemens）、沃斯洛赫（Vossloh）和福依特（Voith）五大公司。它们在高端内燃机车产品上

一直具有优势，重视研发和创新，不仅引领了欧洲铁路市场，对世界其他地区也有很大影响。

欧洲铁路内燃机车柴油机本土制造商主要是 MTU 和 MAN。MTU 公司的主力铁路机车柴油机包括 1800、1600、2000 和 4000 系列。几十年来，MTU 持续对旗下的柴油机机型技术提升，目前 1600、2000 和 4000 系列柴油机均有配备两级增压和 EGR 等前沿污染物减排技术，可达到 EU IIIB 排放水平。

俄罗斯铁路运营里程约 8.6 万公里，电气化线路 4.33 万公里，电气化率 50.8%。2011 年，俄罗斯联邦开始将“柴油机制造技术提到一个新水平”作为联邦目标计划。科洛姆纳厂及乌拉尔柴油机公司（UDMZ）相继开发了 12 缸 26.5/31 D500 型中速机及 DM-185 型系列高速机，用于船舶、机车、电站及工程机械，燃油消耗分别低于 200 g/kW h 及 196 g/kW h，排放达到 UIC II / EU IIIA 水平。

### 3 标准制订的必要性分析

#### 3.1 国家及环保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) 《国家环境保护“十三五”规划》

严格环保能耗要求，加快交通运输工具升级改造，完善环境标准和技术政策体系，强化环保达标监管。

铁路内燃机车是高能耗的交通运输方式，要加快相关技术升级。实施能耗总量和强度“双控”行动，全面推进交通运输重点领域节能。同时加快机动车和非道路移动源污染物排放标准、燃油产品质量标准的制修订和实施。

(3) 《国家环境保护“十四五”规划》

第五章 加强协同控制，改善大气环境

以改善大气环境质量为核心，坚持源头防治、综合施策，持续推进大气污染防治攻坚行动，进一步降低PM<sub>2.5</sub>浓度，提升优良天数比例，减少重污染天气。

(4) 国务院《“十四五”节能减排综合工作方案》

该方案中指出，提升铁路电气化水平，推广低能耗运输装备，推动实施铁路内燃机车国一排放标准。

(5) 国务院《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》

规划中提出，鼓励铁路推广使用交-直-交电力机车，逐步淘汰柴油发电车。

(6) 国务院《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》

规划中提出，坚持绿水青山就是金山银山理念，坚持生态优先，全面推动交通运输规划、设计、建设、运营、养护全生命周期绿色低碳转型，协同推进减污降碳，形成绿色低碳发展长效机制，让交通更加环保、出行更加低碳。

(7) 国务院《中国制造2025》

指出加强绿色产品研发应用，推广轻量化、低功耗、易回收等技术工艺，持续提升电机、锅炉、内燃机及电器等终端用能产品能效水平，加快淘汰落后机电产品和技术。

### 3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求

(1) 中国内燃机工业协会《内燃机产业高质量发展规划（2021-2035）》

规划提出，以节能、减碳、“近零排放”、内燃机热效率的持续提升为牵引，围绕“碳达峰、碳中和”战略目标，通过组织行业企业、高校与科研机构协同创新研究和攻关，补齐产业短板，实现产业链安全可控。

(2) 中国内燃机工业“十三五”发展规划

提出发展理念为“协调、创新、绿色、开放、共享”，发展目标为节能减排和提质增效。坚持把高效环保内燃机推广可持续发展作为重要着力点，加强节能环保技术、工艺、装备推广应用，全面推行清洁生产。以内燃机节能减排为突破口和创新重点，做好内燃机产品的升级换代，满足绿色增长和生态保护协调发展的社会需求。

(3) 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、工程建设、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。

(4) 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》

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。

### 3.3 现行环保标准存在的主要问题

十三五期间，我国完善了移动源排放标准体系建设，现已基本形成道路机动车和非道路移动源的污染物排放标准体系，涵盖汽车、摩托车、非道路移动机械、船舶等多个领域。

但目前，我国铁路内燃机车没有国家排放标准，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。

## 4 铁路内燃机车排放情况及污染控制技术分析

### 4.1 铁路内燃机车大气污染物排放现状

目前，国铁集团保有铁路内燃机车中，2004 年以后技术引进和消化吸收再创新生产的和谐系列内燃机车占比约 20%，这些机车在排放模式下基本满足 USEPA Tier 2 排放标准要求。其余“既有内燃机车”占比约 80%，排放水平较差，基本在 UIC I 以下。

根据中华人民共和国生态环境部 2022 年《中国移动源环境管理年报》，2021 年非道路移动源排放  $\text{NO}_x$ 、HC 和 PM 分别为 478.9 万吨、42.9 万吨和 23.4 万吨，其中铁路内燃机车  $\text{NO}_x$ 、HC 和 PM 排放量分别为 13.41 万吨、0.82 万吨和 0.49 万吨，分别占非道路移动机械年排放总量的 2.8%、1.9%和 2.1%。

尽管我国铁路内燃机车排气污染物整体排放水平在非道路移动源排放中占比较低，但就单车排放水平来看，大部分铁路内燃机车排放水平较差，也受到了人民群众高度关注，排放现状亟需改善。

#### 4.2 铁路内燃机车及其发动机排气污染物防控技术

铁路内燃机车及其发动机排气污染物控制技术主要有延迟喷油定时、米勒气门正时、两级增压、高压共轨技术、废气再循环(EGR)、选择性催化还原(SCR)和颗粒捕集器(DPF)等。现代柴油机设计，采用综合多项减排技术为一体的技术路线，满足排放性、可靠性的同时提升经济性。

通过采用延迟喷油、高压共轨、米勒循环、高效增压等机内净化技术，可实现铁路内燃机车及其发动机大气污染物排放达到 EU IIIA / EPA Tier 3 水平，如表 2 所示。若未来进一步达到 EU IIIB / EPA Tier 4 排放水平，需增加后处理技术 EGR+DPF 或 SCR 技术路线，如表 3 所示。

表 2 铁路内燃机车及其发动机达到 EU IIIA / EPA Tier 3 排放水平采用的技术路线

柴油机型号	240H	265	D180	260
排放标准	EU IIIA	EU IIIA	EU IIIA	EU IIIA
延迟喷油定时	√	√		
高压共轨燃油系统			√	√
米勒循环			√	
EGR				
高效增压系统	√	√	√	√

表 3 铁路内燃机车及其发动机达到 EU IIIB/EPA Tier4 排放水平采用的技术路线

柴油机型号	CAT C175	MTU4000	Cummins QSK95	EMD 1010J
排放标准	EU IIIB	EU IIIB	Tier 4	Tie 4
高压共轨燃油系统	√	√	√	√
米勒循环		√		
EGR		√		√
高效增压系统	搭配两级中冷单级 高压比增压器	搭配中冷二级增 压	单级四个增压器	搭配中冷二级增 压

柴油机型号	CAT C175	MTU4000	Cummins QSK95	EMD 1010J
DPF		√		√
SCR	√		√	

## 5 标准主要技术内容

### 5.1 标准适用范围

本标准规定了铁路内燃机车及其牵引用柴油发动机所排放的气体和颗粒污染物的排放限值及测试方法。

本标准适用于新制造铁路内燃机车（含动力集中动车组的动力车）及其牵引用柴油发动机型式检验、生产一致性检查和在用符合性检查。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柴油发动机。

### 5.2 标准结构框架

本标准结构框架包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、污染控制要求、铁路内燃发动机标牌、技术要求和试验、铁路内燃发动机在机车上的安装要求、系族和源机和标准实施等 9 部分内容，同时还包括型式检验相关信息、铁路内燃发动机试验规程、铁路内燃机车试验规程、气体和颗粒物分析和取样系统、铁路内燃机车及其发动机有效功率试验所需安装的装备和辅件、型式检验结果、生产一致性保证要求及检查、在用符合性技术要求、劣化系数的确定和缩写、符号及单位等 10 个附件。

### 5.3 术语和定义

本标准术语和定义共有 21 个，包括铁路内燃机车、铁路内燃发动机、铁路内燃机车及其发动机型式检验、铁路内燃发动机机型、铁路内燃发动机系族、铁路内燃机车车型、铁路内燃机车系族、源机、排气污染物、气体污染物、颗粒物、有效功率、标定功率、标定转速、负荷百分比、中间转速、有效寿命、试验循环、基本排放策略、辅助排放策略和失效政策。

其中，铁路内燃机车和铁路内燃发动机主要参考 GB/T 3367.1-2008《内燃机车词汇》、美国环保署（US EPA）法规 40 CFR PART 1033《铁路内燃机车排放控制》和欧盟（EU）指令 2016/1628（截止到修订版 2020/1040）《关于非道路移动机械用内燃机气体和颗粒污染物排放限值及型式批准的要求》。

其余 19 个标准术语主要参考《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）》（GB 20891-2014）、《内燃机车词汇》（GB/T 3367.1-2008）、《往复式内燃机 排放测量 第 7 部分：发动机系族的确定》（GB/T 8190.7-2018）、《内燃机 发动机功率的确定和测量方法 一般要求》（GB/T 21404-2008）、《往复式内燃机 排放测量 第 4 部分：不同用途发动机的稳态试验循环》（GB/T 8190.4-2010）、《Reciprocating internal combustion engines—Exhaust emission measurement—Part 4: Steady-state and transient test cycles for different engine applications》（ISO 8178-4: 2020）和《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 17691-2018）并根据本标准具体内容进行了修改和补充。

#### 5.4 污染物项目的选择

本标准在深入调研铁路内燃机行业排污现状的基础上，参考国内外相关标准及其他指导性文件，依据如下原则选择污染物项目：

- （1）选择排放量较大，且广泛存在的污染物；
- （2）选择可对人体造成直接伤害的污染物；
- （3）国内外相关标准中列为管控项目的污染物。

综上，本标准将  $\text{NO}_x$ 、HC、CO 和 PM 作为排气污染物控制项目，与美国、欧盟、国际铁路联盟以及我国铁道行业标准相一致，也与我国移动源《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、第二阶段）》（GB 15097-2016）和《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 17691-2018）排气污染物控制项目一致。

#### 5.5 污染物排放限值的确定

本标准根据我国行业现状，以当前我国铁路内燃机行业所能达到的较高水平作为确定限值的基本依据，充分考虑铁路内燃机车及其发动机技术水平和污染控制技术经济可行性，参考国内外相关标准，综合考虑确定标准限值。

##### 5.5.1 第一阶段排放限值

根据目前柴油机排放相关技术发展，不考虑劣化系数条件下满足 EU IIIA 排放的大功率柴油机产品已经具备，部件、系统及技术成熟度较高。我国已有几款满足 EU IIIA 排放水平的铁路内燃机车取得了生产许可，所采用的 240H、265

及 R280 系列柴油机，采用可变几何涡轮增压、排放优化型喷油器以及智能化缸内燃烧等机内净化技术，可达到 EU IIIA 排放水平。

国内外标准实施方面，美国 Tier 3 阶段排放标准实施于 2012 年，欧盟 EU IIIA 标准实施于 2009 年。相比而言，我国铁路内燃机车及其发动机排放标准晚于美国和欧盟。我国铁道行业推荐标准《牵引动力装置用柴油机排放试验》（TB/T 2783-2017），采用等同 EU IIIA 排放限值，于 2018 年 1 月 1 日开始实施。

综上，本标准第一阶段拟采用欧盟 EU IIIA 限值，如表 4 所示，总体技术可行，成本可控，时机成熟。考虑技术升级以及劣化系数积累时间的需求，拟定本标准第一阶段实施时间为 2025 年。

表 4 铁路内燃机车（或发动机）排气污染物第一阶段排放限值

污染物	2025 年 1 月 1 日起适用的限值 g/kW·h		
	100kW <P≤560kW	560 kW<P≤2000 kW，且单气缸排量<5L	P>2000kW，或单气缸排量≥5L
CO	3.5	3.5	3.5
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> +HC≤4.0	6.0	7.4
HC		0.5	0.4
PM	0.2	0.2	0.2

### 5.5.2 第二阶段排放限值

第二阶段排放限值将进一步加严，拟采用欧盟 EU IIIB 限值，如表 5 所示。中车大连公司新开发的 D180-16 型高速柴油机，已于 2019 年通过铁总的型式认证试验，目前正装载在 FXN3 型内燃机车上准备进行运用考核。D180-16 型高速柴油机作为国内首款自主研发的机车用大功率高速柴油机，采用了两级增压技术、米勒循环技术、高压共轨燃油系统以及智能电喷控制系统等国际先进技术，其裸机可满足 EU IIIA 排放标准，在加装 SCR 后处理系统后，可满足 EU IIIB 排放标准。对于以上排放性能，D180-16 型高速柴油机已经通过第三方检测机构的检测。目前我国生产企业已经开始研发满足 EU IIIB 排放标准的柴油机和机车，并在技术方面有了一定累积。

美国和欧盟已相继从 2015 年和 2012 年，开始实施 Tier 4 和 EU IIIB 阶段铁路内燃机车和发动机排放法规要求。考虑技术、成本、配套设施等多方面的制约

因素，我国第二阶段标准的执行期限适当延长，拟定于 2035 年 1 月 1 日实施。标准第二阶段实施前，主管部门组织对第一阶段在用符合性进行评估。

表 5 铁路内燃机车（或发动机）排气污染物第二阶段排放限值

污染物	2035 年 1 月 1 日起适用的限值 g/kW·h
	P>0
CO	3.5
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> +HC≤4.0
HC	
PM	0.025

## 5.6 耐久性要求

我国《国家移动源大气污染物排放标准制订技术导则》（HJ 1228-2021）明确提出了耐久性要求。耐久性规定可更好的保证内燃机车在有效寿命期内满足排放要求，保护环境。参考国内外相关标准，提出了耐久性要求和劣化系数（或劣化修正值）的确定方法。

## 5.7 在用符合性

我国《国家移动源大气污染物排放标准制订技术导则》（HJ 1228-2021）明确提出了在用符合性要求。根据欧盟相关法规，结合我国现状，本标准提出我国铁路内燃机车第一阶段在用符合性积累数据方案。铁路内燃机车的在用符合性应在正常使用条件下，有效寿命期内，生产企业按规定进行自查，并向主管部门提交在用符合性自查报告。在用符合性测试应是完整机车，不是未安装在机车上的发动机。铁路内燃机车生产企业按自查计划进行在用符合性自查，在用符合性自查报告应进行信息公开。

## 5.8 监测要求

### 5.8.1 测试循环

根据《往复式内燃机 排放测量 第 4 部分：不同用途发动机的稳态试验循环》（GB/T 8190.4-2010），并结合欧盟标准和中国铁道行业标准，本标准规定铁路内燃机车及其发动机按表 6 中三工况稳态循环进行试验。

表 6 三工况稳态循环试验

工况号	1	2 <sup>b</sup>	3
转速	额定转速	中间转速	怠速
功率/%	100 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	0
加权系数	0.15	0.25	0.6

注：a) 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。

b) 对于内燃机车进行排放试验的情况，由于受到机车档位设置的限制，工况2可以选取最接近工况2的档位。

### 5.8.2 测试仪器

测试仪器参考国标《往复式内燃机 第 2 部分：气体和颗粒排放物的现场测量》（GB/T 8190.2-2011）。本标准使用下列分析仪测量污染物组分：

- (1) 测试 HC 的 HFID 或 FID 分析仪
- (2) 测试 CO 和 CO<sub>2</sub> 的 NDIR 分析仪
- (3) 测试 NO<sub>x</sub> 的 HCLD 或 CLD 分析仪

测试 HC 的加热型氢火焰离子化探测器(HFID)和火焰离子化检测仪(FID)是检测分析碳氢化合物的高灵敏度通用型检测器，几乎对所有有机物响应，是国际上检测内燃机车尾气中 HC 含量的常用仪器。

非分散红外分析仪（NDIR）是测试 CO 和 CO<sub>2</sub> 最常用的仪器，具有稳定性好、响应速度快、测量范围宽等优点。

化学发光检测器（CLD）或加热型化学发光检测器（HCLD）是目前测定排气中 NO<sub>x</sub> 的最好方法，也是各国法规规定的优选测试方法。CLD 敏感度高达 0.1 ppm，应答性好，在 10000 ppm 范围内输出特性呈现线性关系，适用于连续分析。

PM 浓度根据采样比、环境空气中的污染物含量和试验期间的总流量加以修正，经等比例采样稀释后，使用滤膜采样装置进行颗粒物的测量。

## 6 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

### 6.1 标准限值对比

本标准与美国、欧盟、国际铁路联盟和我国铁道行业铁路内燃机车及其发动机大气污染物排放限值比较如表 7 所示。

表 7 不同国家和组织机车或发动机的排放限值（单位：g/kW·h）

国家或地区	阶段	净功率 (kW)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	实施日期
美国	Tier 0	—	6.71 / 10.73	1.34 / 2.82	12.74/18.77	0.80 / 0.97	2000
	Tier 1	—	2.95 / 3.35	0.74 / 1.61	9.92 / 14.75	0.60 / 0.72	2002
	Tier 2	—	2.01 / 3.22	0.40 / 0.80	7.38 / 10.86	0.27 / 0.32	2005
	Tier 3	—	2.01 / 3.22	0.40 / 0.80	7.38 / 6.71	0.13 / 0.13	2012
	<b>Tier 4</b>	—	<b>2.01 / 3.22</b>	<b>0.19 / 0.19</b>	<b>1.74 / 1.74</b>	<b>0.04 / 0.04</b>	<b>2015</b>
欧盟 (EU)	EU IIIA	130≤P<560	3.5	4.0		0.2	2007
		P>560	3.5	0.5	6.0	0.2	2009
		P>2000	3.5	0.4	7.4	0.2	2009
	EU IIIB	P>130	3.5	4.0		0.025	2012
	EU V	P>0	3.5	4.0		0.025	2021
国际铁路联盟 (UIC)	UIC IIIA	130<P≤560	3.5	4.0		0.2	2007
		P>560	3.5	0.5	6.0	0.2	2009
	UIC IIIB	P>130	3.5	4.0		0.025	2012
铁道行业标准 (TB/T 2783)	UIC II	P≤560	2.5	0.6	6.0	0.25	2006
		P>560	3.0	0.8	n>1000r/min 9.5 n≤1000r/min 9.9	0.25	
	UIC IIIA	130<P≤560	3.5	4.0		0.2	2009
		560<P≤2000	3.5	0.5	0.2	0.2	
		P>2000	3.5	0.4	0.2	0.2	
本标准	第一阶段	100<P≤560	3.5	4.0		0.2	2025
		560<P≤2000	3.5	0.5	6.0	0.2	
		2000<P	3.5	0.4	7.4	0.2	
	第二阶段	P>0	3.5	4.0		0.025	2035

本标准第一阶段 2025 年执行，排放限值与欧盟 EU IIIA（2009 年）和国际铁路联盟 UIC IIIA（2009 年）一致，与美国 USEPA Tier 3（2012 年）限值相比，NO<sub>x</sub>、HC 的限值一致，CO 和 PM 限值略高。第二阶段 2035 年执行，排放限值与 EU IIIB（2012 年）一致，与 USEPA Tier 4（2015 年）排放限值相比，除 PM 外，其余污染监控项目均高于 USEPA Tier 4 所规定的排放限值。

## 6.2 测试方法对比

欧盟现行排放指令 EU 2016/1628 规定，用于铁路内燃机车的发动机采用三

工况 F 循环测试，国际铁路联盟 2019 年发布 IRS 60624《柴油机牵引发动机排气排放试验》，测试循环与欧盟标准一致。欧盟和国际铁路联盟规定的三工况 F 循环，见表 8。本标准测试方法采用《往复式内燃机 排放测量第 4 部分：不同用途发动机的稳态试验循环》（GB/T 8190.4）规定的 F 试验循环即“轨道牵引”试验工况进行测试，与欧盟和国际铁路联盟测试循环基本相同。

表 8 F 循环试验工况及加权系数

工况号	1	2 <sup>d</sup>	3
转速 <sup>a</sup>	额定转速	中间转速	怠速
扭矩 <sup>a</sup> /%	100 <sup>c</sup>	50 <sup>c</sup>	5 <sup>b</sup>
加权系数	0.15	0.25	0.6

a: 见 ISO 8178-4:2020 第 7.2、7.4 对测试转速的定义；  
b: 该模式下的功率（%）与模式 1 相关；  
c: 该模式下的功率（%）是相于发动机转速下的最大功率；  
d: 对使用离散控制系统（即档位控制）的发动机，模式 2 定义为在最接近模式 2 或 35% 额定功率的档位中操作。

### 6.3 耐久及劣化系数

针对耐久性，美国 USEPA 规定铁路内燃机车有效寿命为额定功率的 7.5 倍（以 MW h 计）或 10 年，以先到者为准。对于 2000 年 1 月 1 日之前制造且未配备 MW h 仪表的机车，有效寿命为 75 万英里或 10 年，以先到者为准。欧盟规定排放耐久性为 10000 小时。根据我国铁路内燃机车运行特点及维修规程，本标准规定铁路内燃机车（或发动机）有效寿命为 90 万公里或 5 年，以先到者为准。

针对劣化系数，美国 USEPA 规定可基于先前的测试数据通过工程分析，或通过实际排放测试，或基于良好工程判断借用其它已认证系族的排放劣化系数确定。基于工程分析确定的排放劣化系数不能与在用测试得到的数据相矛盾。欧盟规定劣化系数可以基于发动机台架测试或实际测试，但测试时间至少达到耐久性的 1/4，然后计算外推到 10000 小时。也可选择通过工程经验获取劣化系数，或者直接选择法规中推荐的排放劣化系数。

本标准借鉴美国和欧盟经验，拟采取灵活的劣化系数确定方法。铁路内燃机车（或发动机）生产企业可以基于实际运行或产品技术分析确定劣化系数或者劣化修正值，并提供所有数据、分析和评估结果。如铁路内燃机车（或发动机）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，则铁路内燃机

车（或发动机）生产企业应在检测机构监督下，完成耐久性试验，并确定劣化系数或劣化修正值。

#### 6.4 在用符合性

美国 USEPA 每年都会向证书持有者提出需进行在用符合性测试的具体发动机系族，生产厂商负责开展在用符合性测试，每个发动机系族至少测试 2 台机车，测试基于完整的机车进行。USEPA 基于失败率、排放水平以及现存的故障来判断在用测试是否通过。USEPA 基于在用测试结果可决定是否启动排放召回。

欧盟第 V 阶段已提出对 NRE-v-5 和 NRE-v-6 非道路发动机在用测试要求，处于数据累积阶段。相关工作由发动机制造商负责。在发动机制造商取得欧盟型式认证，相应发动机系族开始生产后 1 个月内，发动机制造商需要提交一份在用测试计划。该计划需要包括计划纳入在用测试计划的发动机系族及型号、发动机清单以及试验方案。认证机关在收到发动机制造商提交的在用测试计划后需要在 2 个月内批复。

本标准在用符合性拟借鉴欧盟方案，铁路内燃机车（或发动机）生产企业取得环保型式认证，相应机车车型（或机型）开始生产后 3 个月内，生产企业需向主管部门提交一份在用符合性测试计划。生产企业应根据机车实际运行工况，确定在用符合性测试循环方案及各工况权重。每个内燃机车系族应在在用符合性测试开始后，按自查计划完成测试的当年，提交在用符合性自查报告。

## 7 实施本标准的环境效益及经济技术分析

### 7.1 实施本标准的环境（减排）效益

铁路内燃机车保有量按历史数据模拟预测，对标准实施后进行环境效益分析。假设 2022-2050 年间，每年淘汰老旧机车 125 台，均为 UIC I 或 Tier 0 以下机车；每年新生产机车 125 台，标准第一阶段实施日期前（2022-2024 年），新增机车为满足 UIC II 和 Tier 0 的机车，比例为 3:1。2025-2050 年间，按实施和未实施方案对比环境减排效益：

（1）实施方案：2025 年执行第一阶段限值，2035 年执行第二阶段 EU IIIB 限值。即 2025-2034 年，新增机车均为满足第一阶段限值的机车；2035-2050 年，新增机车均为满足第二阶段限值的机车。

(2) 未实施方案：2025-2050 年，自然更替老旧 UIC I 和 Tier 0 标准以下机车为满足 UIC II 和 Tier 0 机车。

根据铁路内燃机车污染物排放水平，结合标准实施后铁路内燃机车保有量预测数据，按照实施方案，对标准实施后 NO<sub>x</sub> 和 PM 污染物排放量进行预估，如表 9 所示。

表 9 标准实施与未实施的未来内燃机车排放量对比

	实施方案		未实施方案	
	2025 第一阶段; 2035 第二阶段		NO <sub>x</sub>	PM
	NO <sub>x</sub>	PM		
2020 年排放量 (万吨/年)	12.43	0.40	12.43	0.40
2030 年排放量预测 (万吨/年)	7.76	0.22	8.04	0.23
2035 年排放量预测 (万吨/年)	7.36	0.21	7.95	0.23
2040 年排放量预测 (万吨/年)	6.69	0.18	7.86	0.22
2050 年排放量预测 (万吨/年)	5.34	0.13	7.68	0.22
与未实施方案相比， 2020-2050 年实施标准累计减排量 (万吨)	26.10	0.91	0	0

与未实施方案相比，采用实施方案，2020-2050 年累积 NO<sub>x</sub> 和 PM 减排量分别为 26.10 万吨和 0.91 万吨。

## 7.2 实施本标准的技术经济分析

### 7.2.1 第一阶段经济成本分析

目前，我国达到 EU IIIA 排放水平的铁路内燃机车，按发动机型号可以分为两类。

一类由中车大连公司生产制造。采用 240H 和 265 系列柴油机，均为经过排放技术升级后的老款中速柴油机，通过高效高压比增压器、可变涡轮几何截面增压、燃油电子喷射、排放优化型喷油器以及智能化缸内燃烧等机内净化技术，达到 EU IIIA 排放水平。在不考虑研发成本的情况下，该类机车单车成本增加 50-60 万元。检修成本由于排放耐久性(劣化系数等因素)的要求，如柴油机的喷油器、

中冷器、增压器等排放相关部件，以及机车换热器等部件检修频次可能会有所增加，但目前由于缺乏数据积累，还无法给出具体的增加值。

另一类由中车戚墅堰公司开发制造并进行量产的 R12V280ZJ 柴油机，其部件、系统及运用技术成熟度较高，在不进行改造的情况下可满足 EU IIIA 排放要求。若使用米勒循环和高压共轨技术对 R12V280ZJ 柴油机进行技术升级，则可在满足 EU IIIA 排放的同时，综合油耗降低约 10%，柴油机新造成本增加约 50-60 万元。

无论采用哪种技术，满足 EU IIIA 排放时，柴油机的主要部件规格、技术指标均无显著变化，因此维护成本和周期不变，排放指标提升不会产生额外的检修成本。

### 7.2.2 第二阶段经济成本分析

相对于 EU IIIA 排放水平来说，EU IIIB 排放水平的污染物限值大幅下降，高压共轨燃油系统、高效高压比增压、米勒循环技术、电子燃油喷射和后处理系统等技术将成为必不可少的基本技术需求。EGR 机内减排技术和 SCR 尾气后处理技术，再辅以氧化催化器（DOC）和 DPF 是目前实现 EU IIIB 标准甚至更高标准的两条途径。

中车大连公司新开发的 D180-16 型高速柴油机采用 SCR 技术路线，可以满足 EU IIIB 排放标准，并且通过了铁路行业型式认证试验及第三方检测机构的排放认证试验，具备了装载到内燃机车上的资质。因为 D180 为首款高速机，在国内铁路内燃高速机范围国内无前例进行单机成本对照，但与更高功率中速机成本相比无增加。对于 D180-16 型高速柴油机排放水平从 EU IIIA 到 EU IIIB，额定负荷的油耗下降约 1.5%。但由于采用 SCR 技术，需要消耗尿素水溶液，根据近期国内尿素水溶液的价格换算后，从运行成本方面看，因消耗尿素水溶液增加的成本与油耗下降节约的成本相近。因此，从尿素和燃油的总燃料消耗成本上看，运行成本变化不大。关于检修成本，由于增加了 SCR 后处理系统，检修成本会有一定幅度增加，但目前由于缺乏数据积累，还无法给出具体的增加值。

戚墅堰公司采用 EGR 技术路线，在 12V260ZJ 型柴油机上开展升级排放的设计工作，使其达到 EU IIIB 排放标准。由于发动机为全新开发，且采用了两级增压、高压共轨等多项前沿技术，发动机油耗水平不会带来额外的燃油成本，甚至

会降低燃油成本。排放水平从 EU IIIA 提升到 EU IIIB，由于柴油机的爆发压力、增压压力以及喷射压力等各方面技术指标均显著提升，参考国际同类型产品定价，柴油机新造价格增长可能超过 50%。一台满足 EU IIIA 排放标准的 R12V280ZJ 柴油机的名义价格约 350 万元，则相近功率满足 EU IIIB 的 12V260ZJ 柴油机价格约 500 万元，柴油机增加 150 万元。二者的 C5 修成本分别约 250 万元和 370 万元，增加 120 万元。另外，满足 EU IIIB 的柴油机须使用低硫柴油（含硫量 < 10ppm），目前国内已强制推广普及该型柴油，因此燃料方面不会带来额外的成本提升。

### 7.3 实施本标准的技术可行性分析

目前，国内中车集团下属生产企业，采用高效高压比增压器、可变涡轮几何截面增压、燃油电子喷射、排放优化型喷油器以及智能化缸内燃烧等机内净化技术等，已生产了 6 台满足 EU IIIA 标准要求铁路内燃机车（未考虑劣化系数）。其中，中车大连公司共计生产 5 台铁路内燃机车，1 台调车机车正在运用考核 1.5 年，运行约 5 万公里；1 台干线货运机车已完成运用考核，运行约 25 万公里；3 台干线客运机车量产运用 2.5 年，每台运行 30 万公里。中车戚墅堰公司生产了 1 台干线货运机车，已完成运用考核，运行 28 万公里。

因此，本标准制定第一阶段排放限值具备技术可行性。同时，根据柴油机及后处理系统研发周期和现阶段各生产企业技术累积情况，为实现本标准制定第二阶段排放限值，已经预留了充足的准备时间，从研发准备时间和达标技术两方面均具备可行性。