

《重型车用发动机与汽车车载测量方法及 排放限值》（征求意见稿）

编制说明

《重型车用发动机与汽车车载测量方法及排放限值》编制组

二〇一五年七月

目 录

1	项目背景.....	1
1.1	任务来源.....	1
1.2	工作过程.....	1
2	重型车行业概况.....	1
2.1	重型车在我国的发展概况.....	1
2.2	重型车在欧美日地区的发展概况.....	4
3	标准制（修）订的必要性分析.....	5
3.1	国家及环保主管部门的相关要求.....	5
3.2	国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求.....	6
3.3	现行环保标准存在的主要问题及实施状况.....	6
4	重型车行业排污情况及污染控制技术分析.....	7
4.1	重型车排污情况分析.....	7
4.2	重型车污染控制技术分析.....	8
5	重型车排放污染物的环境影响分析.....	9
5.1	重型车排放污染物的环境影响.....	9
5.2	汽车行业的污染事故及环境诉讼.....	10
6	标准主要技术内容.....	11
6.1	标准适用范围.....	11
6.2	标准结构框架.....	11
6.3	术语和定义.....	12
6.4	污染物项目的选择.....	12
6.5	排放数据分析方法的确定.....	12
6.6	气态污染物排放限值的确定.....	15
6.7	发动机机型（或系族）、车型合格与否的判定方法.....	19
6.8	颗粒物测试方法的确定.....	20
6.9	测试要求.....	20
6.10	标准的实施.....	22
7	主要国家、地区及国际组织相关标准研究.....	23
7.1	主要国家、地区及国际组织相关标准.....	23
7.2	本标准与主要国家、地区及国际组织同类标准的对比.....	27
8	实施本标准的环境效益及经济技术分析.....	28
8.1	实施本标准的环境（减排）效益.....	28
8.2	实施本标准的技术成本分析.....	29
8.3	检测能力可行性分析.....	30

1 项目背景

1.1 任务来源

根据《关于开展 2013 年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办函〔2013〕154 号），按照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》（环保总局公告 2006 年第 41 号）的有关要求，完成《重型车用发动机与汽车车载测量方法及排放限值》制修订任务及相关技术性工作。

本项目承担单位为中国环境科学研究院、清华大学、中国汽车技术研究中心。

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。编制组进行了相关资料的查阅和收集工作，收集了目前已发布的机动车排放标准、相关法律法规及重型汽车行业状况、相关标准实施情况、国外相关法规标准等有关资料，对行业污染排放情况及治理技术水平进行了调研。随后，在北京、重庆、珠海等国内典型城市对 32 辆重型车进行实际道路排放了测试，其中包括：11 辆重型货车，21 辆城市公交车。测试车辆的选取具有较好的代表性，基本属于中国目前的主流车型。道路类型涵盖了高速路、市郊路、市区路和山路，能够较好地反映国内重型车的道路排放状况。在清华大学汽车系的发动机台架实验室对 3 台典型重型发动机开展测试以评估不同工况（实际道路工况与法规测试循环）和不同测试仪器（实验室测试设备和 PEMS 仪器设备）所引起的排放结果差异。

2013 年 12 月完成标准开题论证。标准开题论证会后，编制组开始分析整理试验数据，并多次与环保部机动车排污监控中心、环保部环境标准研究所、北京市环保局、欧洲汽车工业协会的专家交流，逐步完善标准征求意见稿。到目前为止，已经完成了标准征求意见稿和编制说明等文件。

2 重型车行业概况

2.1 重型车在我国的发展概况

（1）重型车保有量分析

中国汽车工业从 1953 年开始起步创业，历经 60 年从无到有，从小到大，直至近十几年更是高速发展，2009 年我国汽车产销量首次跃升至世界第一，到 2012 年已连续 4 年居世界第一位，目前中国汽车保有量排在美国之后位居世界第二。

在各种燃料类型的车辆中，柴油车具有燃料效率高、动力性强等优势，因此

在载货汽车以及大型客车等商用车中占有很大的比例。图 1 反映了 2000 年以来我国历年生产的商用汽车中柴油车的比例，从图中看出，2000 年以来，我国新生产商用车中柴油车比例始终保持在 65% 以上，2002 年后达到 80% 左右，随后基本保持在这一比例，2011 年和 2012 年柴油车在商用汽车中的比例分别为 81.6% 和 78.5%¹²。

重型汽车主要是指大、中型客车和中、重型货车，其中绝大部分为柴油车，主要承担着我国公路客、货运输。2006 年国内重型汽车保有量为 634 万辆，2011 年达到 1002 万辆。2012 年，受宏观经济增速趋缓等因素影响，我国重型汽车保有量下降到 962 万辆，其中大型客车和重型货车保有量略有增长，中型客、货车下降明显，中型货车减少 38.6 万辆。图 2 为我国近年来重型车保有量变化情况。

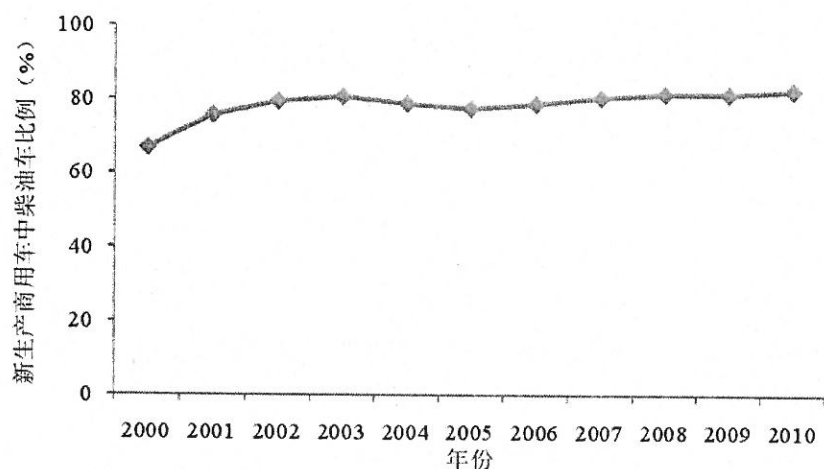


图 1 新生产商用车中柴油车比例

¹中国汽车技术研究中心，中国汽车工业年鉴，天津：2011.

²中国汽车技术研究中心，中国汽车工业年鉴，天津：2013.

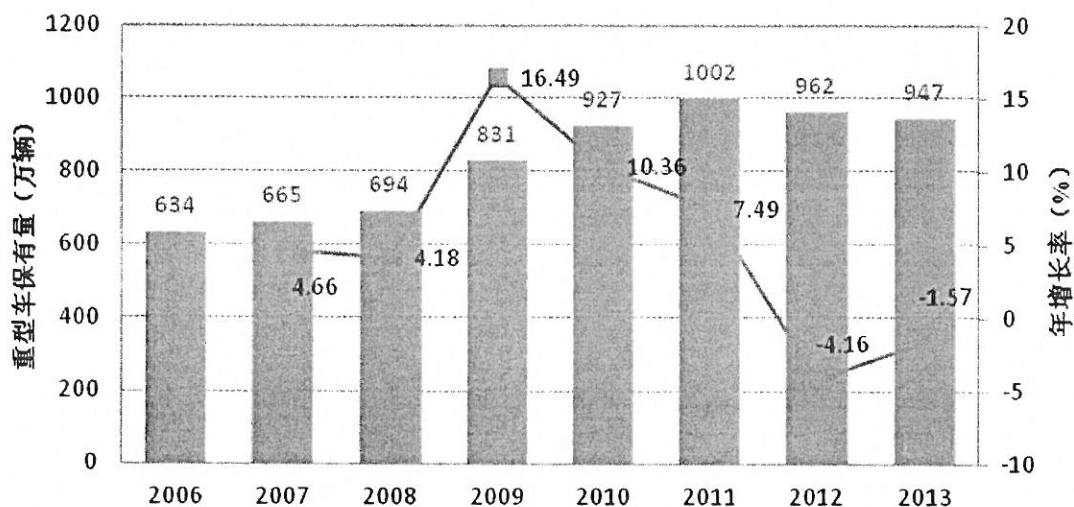


图 2 重型车保有量及年增长率

(2) 重型车标准及排放现状

2011 年 9 月，国务院“十二五”节能减排综合性工作方案发布，第一次将 NO_x 纳入污染物排放总量控制体系³。2012 年 2 月，环保部发布了新修订的《环境空气质量标准（GB3095-2012）》，首次引入了 PM_{2.5} 浓度限值作为空气质量的评价指标⁴。机动车排放是城市大气中 NO_x 和 PM_{2.5} 的主要来源之一。而在机动车排放的 NO_x 和 PM_{2.5} 中，重型柴油车的贡献日益突出。

环保部数据显示，2013 年柴油车保有量占汽车总量的 15.2%，但 NO_x 排放分担率高达 68.8%，颗粒物排放分担率则达到汽车排放总量的 99%⁵。对大城市而言，有研究表明上海市重型车保有量只占机动车总量的 5.5%，但其 NO_x 和颗粒物排放贡献率分别达到 65% 和 56%。同样广州市 2009 年重型车对 NO_x 和 PM₁₀ 排放的贡献率分别达到 50% 和 70%^{6,7}。

³ 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知

⁴ 中华人民共和国环境保护部. GB 3095-2012. 环境空气质量标准. 北京：中国环境科学出版社，2012.

⁵ 中华人民共和国环境保护部. 2014 年中国机动车污染防治年报. 北京，2014.

⁶ Wang H, Chen C, Huang C, et al. On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China. Science of The Total Environment, 2008, 398(1-3): 60~67.

⁷ Zhang S, Wu Y, Liu H, et al. Historical evaluation of vehicle emission control in Guangzhou based on a multi-year emission inventory. Atmospheric Environment, 2013, 76: 32-42.

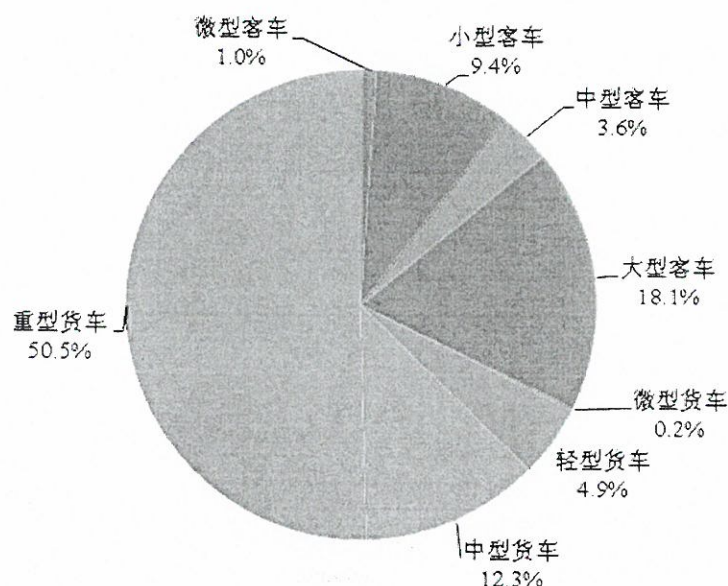


图3 全国分车型 NOx 排放分担率 (2013 年)

为了控制重型柴油车污染物排放，我国已发布重型柴油车国 I~国 V 阶段排放标准，随着标准在全国范围的逐步实施，各种污染物排放限值下降了 38%~72%。然而，尽管新车排放标准一再加严，重型柴油车的实际道路排放控制效果却并不理想，部分车型的 NOx 排放甚至出现不降反升的情况，主要原因是重型车实际道路排放与法规测试之间存在很大差异。有研究表明，如果出现尾气净化装置（如 SCR 系统）失效的情况，国 IV 重型柴油车的 NOx 排放比国 III 车还要高。因此实施国 IV 及以后的重型车排放标准时，有必要尽快引入基于车载的实际道路排放测量方法，强化重型车排放监管的技术手段，缩小法规测试与实际道路排放之间的差距，弥补当前重型车排放监管上的不足。

表 1 重型柴油车污染物排放限值

排放标准	排放限值 (g/kWh)				
	CO	HC	NMHC	NOx	PM
国 I 前	全负荷烟度测试，滤纸烟度<40				
国 I (ECE R-49)	4.5	1.1	-	8	0.36
国 II (ECE R-49)	4	1.1	-	7	0.15
国 III (ESC/ETC)	2.1/5.45	0.66	0.78	5.0	0.1/0.16
国 IV (ESC/ETC)	1.5/4.0	0.46	0.55	3.5	0.02/0.03
国 V (ESC/ETC)	1.5/4.0	0.46	0.55	2.0	0.02/0.03

2.2 重型车在欧美日地区的发展概况

从欧洲汽车工业协会公布的数据⁸可以看出，2001 年至 2013 年全球商用车产

⁸ The Automobile Industry Pocket Guide ACEA, 2014-2015

量较为集中的国家和地区主要为北美自贸区、中国、欧盟、日本、泰国等。北美自贸区依然为主要的商用车生产地区，2013 年产商用车 680 万辆，占全球商用车产量的 43%。欧盟地区也是商用车生产和研发的重要地区，国际知名的重型车生产商如沃尔沃、斯堪尼亚、MAN 等都起源于欧洲，2013 年欧盟地区商用车年产量为 160 万辆，占全球商用车产量的 7.2%。基于日本汽车工业协会（JAMA⁹）数据库的查询，2013 年日本商用车产量为 144 万辆，占 2013 年全球商用车产量的 6.6%。

截至 2014 年底，欧盟已实施的欧 VI 排放标准中 NOx 限值为 0.46g/kWh，美国实施的 USEPA 2010 年排放标准中 NOx 限值为 0.20g/bhp-hr，日本实施的排放标准中 NOx 限值为 0.7g/kWh。上述地区的重型柴油车 NOx 排放限值均大大严于我国现行国四标准中的限值（3.5g/kWh）。

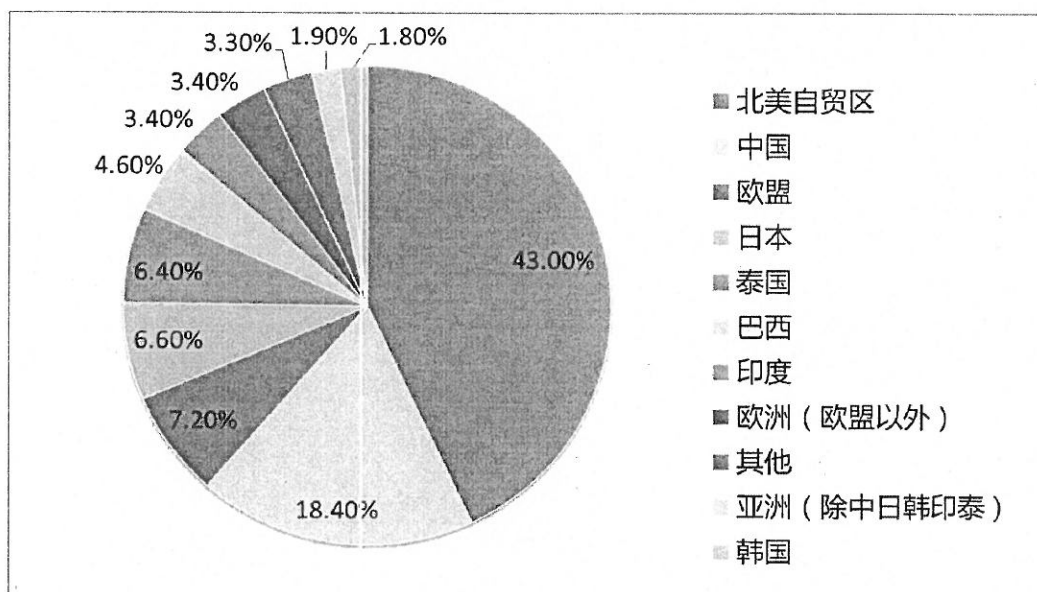


图 4 全球商用车产量分担率（2013 年）

3 标准制（修）订的必要性分析

3.1 国家及环保主管部门的相关要求

《中华人民共和国大气污染防治法》

第三十二条：机动车船向大气排放污染物不得超过规定的排放标准。

第三十三条：在用机动车不符合制造当时的在用机动车污染物排放标准的，不得

⁹ <http://www.jamabj.cn/>

上路行驶。

《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的第二十四章第一节强化污染物减排和治理中指出要加大机动车尾气治理力度。

《国家环境保护“十二五”规划》强调继续加强机动车环保定期检验和环保标志管理，实施更严格的国家机动车排放标准。

在国务院办公厅转发《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》中，将“加强机动车污染防治”列为工作重点，内容包括提高机动车排放水平、完善机动车环境管理制度、加快车用燃油清洁化进程和大力发展公共交通。

《大气污染防治行动计划》中，第一条“加大综合治理力度，减少多污染物排放”中明确要求“强化移动源污染防治”，内容包括提升燃油品质、加快淘汰黄标车和老旧车辆、加强机动车环保管理、加快推进低速汽车升级换代、大力推广新能源汽车。

3.2 国家相关产业政策及行业发展规划中的环保要求

2004 年国家发改委出台的《汽车产业发展政策》第八条指出国家引导和鼓励发展节能环保型小排量汽车；第六十一条中提出引导汽车消费者购买和使用低能耗、低污染、小排量、新能源、新动力汽车，加强环境保护。

工信部在 2009 年 3 月发布的中国《汽车产业调整和振兴规划》中指出要重点支持汽车生产企业提高节能、环保、安全等关键技术水平，要提高传统乘用车的节能、环保和安全技术水平。

3.3 现行环保标准存在的主要问题及实施状况

（1）本行业执行的现行环保标准的名称及编号

目前我国重型汽车排放标准中与本标准相关的主要是GB 17691-2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法（中国III、IV、V阶段）》、HJ 689-2014《城市车辆用柴油发动机排气污染物排放限值及测量方法（WHTEC 工况法）》和HJ 439-2008《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车在用符合性技术要求》。表2列出了与重型车排放控制相关的国内主要法规标准汇总。

表 2 与重型车排放控制相关的主要法规标准汇总

序号	标准项目	标准编号	实施日期
1	《车用压燃式发动机排气污染物排放限值及测量方法》	GB 17691-2005	2007-07-01
2	车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法	GB 3847-2005	2005-07-01
3	确定压燃式发动机在用汽车加载减速法排气烟度排放限值的原则和方法	HJ/T 241-2005	2006-01-01
4	柴油车加载减速工况法排气烟度测量设备技术要求	HJ/T 292-2006	2006-09-01
5	车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车在用符合性技术要求	HJ 439-2008	2008-07-01
6	在用压燃式发动机汽车加载减速法排气烟度排放限值	DB 31/379-2007	2007-07-01
7	重型汽车排气污染物排放限值及测量方法（车载法）	DB 11/965-2013	2013-07-01

（2）我国现行排放标准存在的问题

为保障国家“十二五”NO_x总量减排目标的实现，改善大气环境质量，我国已实施重型柴油车第四阶段排放标准，提出了在用符合性要求，这对防治在用重型车的污染物排放具有重要意义。然而，目前我国现行排放标准规定重型车在用符合性检查是采用和型式核准相同的发动机台架测试规程，测试时需要将在用重型车的发动机和排放控制部件拆下移到台架上，测试完毕后再装回车上。这样的测试方法操作困难且成本高昂，测量结果也无法真实反映重型车在实际道路上的排放状况。

4 重型车行业排污情况及污染控制技术分析

4.1 重型车排污情况分析

随着机动车保有量的快速增长，我国大中城市的空气污染逐渐转变为煤烟和机动车排放为主的复合型污染，PM_{2.5}成为很多城市最为突出的大气污染问题。在机动车排放的NO_x和颗粒物中，分别有60%以上和80%以上来自于重型柴油车。

尽管重型柴油车的保有量远小于轻型汽油车，但其单车排放很高，减少重型柴油车的排放已成为机动车减排的重中之重。《中国机动车污染防治年报》和相关学者的研究成果表明，2009年到2013年我国在用重型车的CO和HC排放量逐渐下降，PM排放量基本持平，而NO_x排放量不降反升，排放变化情况如图5所示。

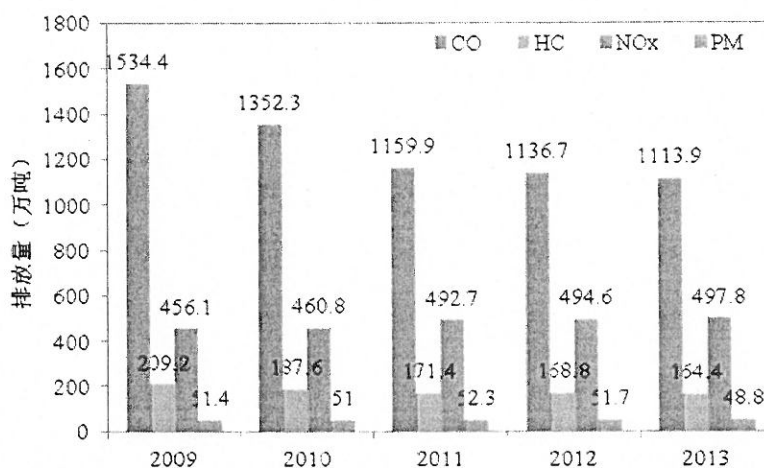


图 5 2009~2013 年我国在用重型车污染物排放量

4.2 重型车污染控制技术分析

重型车用发动机及汽车排气污染控制主要包括下面三类技术途径：

(1) 前处理：前处理方法主要是改变燃烧性质，对燃料和空气在进入汽缸燃烧前预先处理，以改变缸内的燃烧反应过程，从而降低有害排放量。采用增压和中冷技术是提高柴油机功率和燃油经济性以及降低有害污染物排放的最有效措施之一。柴油机采用进气涡轮增压后，由于提高了进气压力，亦即提高了过量空气系数，并提高了整个循环的平均温度，因而降低HC和CO的生成，但增压而不带中冷器时，由于进气温度较高，提高了最高燃烧温度，反而使NO_x的比排放增加。只有当增压带中冷器时，进气空气冷却，才能使NO_x的排放浓度下降，NO_x的比排放随增压压力的提高而降低。

(2) 机内净化：对燃烧过程本身进行改进，以减少有害气体的产生，机内净化方法主要有推迟喷油、提高喷油速率、加强进气涡流、采用分隔式燃烧室等。

1) 电控柴油喷射，可以实现循环喷油量控制、喷油定时控制、怠速控制、进气控制等功能，可以在任何工况下都选择最佳的喷油量、喷油定时和进气量，从而改善柴油机的燃油经济性和排放性能。

2) 废气再循环（EGR），主要作用是降低NO_x，但是直接作用在于减少了有害废气的绝对排放量，而且再循环的那部分废气，通过在气缸中的燃烧，使其

中所含的可燃成分，又一次获得燃烧机会，因而亦可降低HC和CO的排放。

(3) 后处理：用各种催化反应方法、除尘滤清装置对排气进行最后处理，可进一步降低有害污染物排放。

1) 氧化催化技术 (DOC)

DOC通常是以陶瓷蜂窝或金属蜂窝为载体，负载氧化物涂层和活性金属组分。活性组分包括Pt、Pd等贵金属，稀土或碱土金属作为促进剂。车用柴油机加装DOC，可以除去排放颗粒物中90%的可溶性有机成分 (SOF)，从而使PM排放减少40%~50%，同时对排放HC与CO也有良好的净化效果，但DOC出去颗粒物中的炭烟的效果较差；DOC可作为DPF再生的辅助装置，氧化喷入排气中的柴油产生热量，提高排气温度，实现DPF再生；将排气中的NO氧化成NO₂，促进DPF上炭烟低温氧化；DOC可作为SCR反应器的预氧化装置，将排气中的NO部分氧化成NO₂，提高低温下SCR反应器的NO_x还原效率。

2) NO_x选择性催化还原技术 (SCR)

以NH₃、HC和H₂为还原剂，分别构成NH₃-SCR、HC-SCR和H₂-SCR系统。考虑到NH₃的强刺激性、毒性与腐蚀性，实际应用中以尿素代替NH₃，即尿素-SCR技术。目前，尿素-SCR技术已大规模应用于柴油车尾气NO_x处理，HC-SCR和H₂-SCR技术处于发展中，有望今后实际应用。

3) 柴油车颗粒物捕集器 (DPF)

DPF是减少柴油机颗粒物最直接的方法，也是目前国际上最接近商品化的柴油机微粒后处理技术。其利用的是碰撞、颗粒物最直接的方法，也是目前国际上最接近商品化的柴油机微粒后处理技术。颗粒捕集器的优点是过滤效率高，可达到40%~95%。其缺点是再生困难且再生频率高，碳颗粒物的热力氧化温度高达825~875K，而柴油机的排气温度为450~675K。所以需要外加热源（如电加热、微波加热等）或选择一种高活性的催化剂来降低碳颗粒的氧化温度，使过滤下来的碳烟颗粒被氧化除去而再生。但再生过程可产生2000℃以上的高温，很容易将陶瓷载体烧熔或发生局部过热而烧损。

5 重型车排放污染物的环境影响分析

5.1 重型车排放污染物的环境影响

相比汽油车，柴油车的动力大，燃油经济性好，比较耐用，是客货运输中的

首选车型。但随着对汽油车排放控制效果的显现，我国柴油车排放污染问题日益突出，其尾气黑烟常常给道路边的行人造成困扰，对城市和区域的大气灰霾、光化学烟雾等污染都有着重要影响，这些污染危害人体的呼吸系统，也会引发心血管疾病，是公众长期关注的对象。

有研究表明在机动车中，柴油车单车排放的颗粒物是汽油车排放的几十倍，同时我国柴油车排放控制水平落后，对城市大气颗粒物分担率高，在机动车排放污染中，约 80% 以上 $PM_{2.5}$ 来自重型柴油车。重型车排放的 $PM_{2.5}$ ，富含大量的有毒、有害物质且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量影响更大。重型车排放的 NO_x 以 NO 、 NO_2 为主，与空气中的水结合最终会转化成硝酸和硝酸盐，硝酸是酸雨的成因之一；它与其他污染物在一定条件下能产生光化学烟雾污染。

5.2 汽车行业的污染事故及环境诉讼

20 世纪 90 年代，美国环保局通过对重型发动机“循环外排放”（off-cycle emissions）的调查表明，柴油机厂商常常利用先进的发动机技术对排放控制策略进行调整，以获得节油的效果，但会导致 NO_x 排放大幅升高。如图 6 所示，柴油机的颗粒物和 NO_x 排放控制此消彼长，颗粒物减排和节油的目标是一致的，而节油却会导致 NO_x 排放升高。这种控制技术会使发动机在试验室认证测试时满足要求，而在实际道路行驶时排放的污染物比试验室的认证值大得多。美国环保局将这种方法称之为“排放失效装置”（Defeat Device），认为它规避了有关环保法规，但后果是对环境造成了严重损害，因而是非法的。

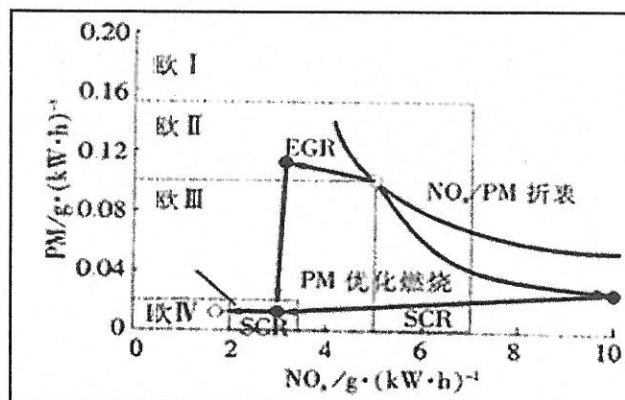


图 6 柴油机 NO_x 和颗粒物控制的关系

针对上述问题，美国环保局通过司法部对这些公司的超标排放提起联邦诉讼，

并赢得了胜利。1998年，经过双方协商，美国5大柴油机制造商（卡特比勒、康明斯、底特律柴油机、迈克卡车和沃尔沃北美卡车公司）与美国环保局和司法部达成了“和解协议”。根据和解协议，原定2004年1月1日生效的美国重型卡车下一阶段尾气排放标准提前到2002年10月1日实施，并提出制造商生产的发动机应满足在用符合性要求。美国环保局根据和解协议的内容，并为了防止将来发动机厂商再次利用此类控制策略作弊，他们对重型车在用符合性检测提出了NTE（Not-To-Exceed）法规，利用便携式排放测试系统（portable emissions measurement system, PEMS）对重型车进行实际道路上的排放测试，以加强对排放控制策略的监管力度，大大提高了重型车在用符合性管理的可行性和有效性。

随着经济的发展，我国机动车保有量迅猛增加，机动车排放逐渐成为城市空气污染的主要来源。全国九大城市的大气污染源解析中北京、杭州、广州、深圳四城市空气中颗粒物的首要污染来源是机动车。近几年，PM_{2.5}重污染事件的持续发生，对人民群众的身体健康和生产生活造成严重影响，受到了公众、舆论和中央等各个层面的迫切关注。

6 标准主要技术内容

6.1 标准适用范围

本标准规定了满足 GB17691-2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法》第四或第五阶段标准的发动机与汽车型式核准、新生产车检查和在用符合性检查中排气污染物的车载测量方法及排放限值。

本标准适用于设计车速大于 25km/h 的装用压燃式、气体燃料点燃式发动机的 M₂、M₃、N₂ 和 N₃ 类及总质量大于 3500kg 的 M₁ 类机动车排气污染物排放测量。

目前，排气颗粒物的车载测试方法相比气态污染物复杂得多，国内的测试条件尚不成熟，数据的可靠性有待进一步提升，因此，本标准规定的颗粒物测量方法为推荐性方法，未提出颗粒物排放物限值要求。

6.2 标准结构框架

标准的结构及主要内容分为前言、正文（共六章）和三个附录。标准规定了重型车用发动机与汽车采用便携式排放测试系统（PEMS）在实际道路行驶过程中气态污染物 CO、THC 和 NO_x 的排放限值，并在附录中给出了重型车用

发动机与汽车气态污染物的测量方法以及颗粒物的推荐测量方法。

6.3 术语和定义

本标准的术语和定义基本沿用了欧盟标准《重型发动机和汽车的在用符合性检查》(No.582/2011 ANNEX II)、北京地标《重型汽车排气污染物排放限值及测量方法(车载法)》(DB11/965-2013)等的相关内容,但是对于便携式排放测试系统、车载法、功基窗口法及有效功基窗口的表述,考虑到相关内容的进一步细化和完善,做了相应修改。

6.4 污染物项目的选择

在标准的制订的过程中,对重型车用发动机与汽车在实际道路行驶过程中的气态污染物 CO、THC 和 NO_x 的排放限值可调节度及宽限值进行了分析,而没有涉及颗粒物限值的可调节度及宽限值分析。这主要是因为颗粒物的车载测试方法相比气态污染物复杂得多,国内的测试条件尚不成熟,在研究过程中也进行过尝试,考虑到数据的可靠性存疑,本标准中只提出颗粒物的推荐测量方法,待研究成熟后再提出重型柴油车车载测试方法的颗粒物限值。

6.5 排放数据分析方法的确定

基于重型车的保有量和使用情况,选择了国内典型城市的 32 辆重型车(包括 11 辆重型货车,21 辆城市公交车),利用(便携式车载排放测试系统)PEMS 开展车辆在实际道路上 CO、THC 和 NO_x 等主要污染物排放的车载测试,尽可能多的收集实时排放数据。由于是排放结果判定需要与瞬态认证循环限值进行比较,故本标准的污染物测量结果表达形式与型式核准时的相同,即以 g/kWh 为单位。

本标准中排放数据分析方法确定的原则是:通过对数据进行全面分析,一方面评价 PEMS 在我国在用重型车排放测试中的适用性,另一方面分析 NTE 和功基窗口法两种方法在我国重型车用发动机与汽车的型式核准、新生产车检查、在用符合性检查中的适用性,并确定测试中数据采集的要求。对某一类重型车,如果判断 NTE 和功基窗口法两种数据分析方法都不适合型式核准、新生产车检查、在用符合性的检查,则进一步对污染物排放的测试数据进行深入分析,提出适用于我国的该类重型车测试方法。

(1) NTE 方法适用性研究

NTE 的控制区域是按如下方式定义的:发动机的转速大于 n_{15} , 发动机的转

矩大于等于30%的最大转矩，发动机的功率大于等于30%的最大功率。某典型重型柴油机所对应的NTE区域如图7所示。每个进入NTE控制区域不小于30秒的发动机运行工况被称为一个有效的NTE采样事件。如果对某种常规污染物基于时间权重有90%的有效NTE采样事件的比排放不大于现行的NTE排放限值，则对于该种特定污染物而言受试发动机满足了车辆达标准则。

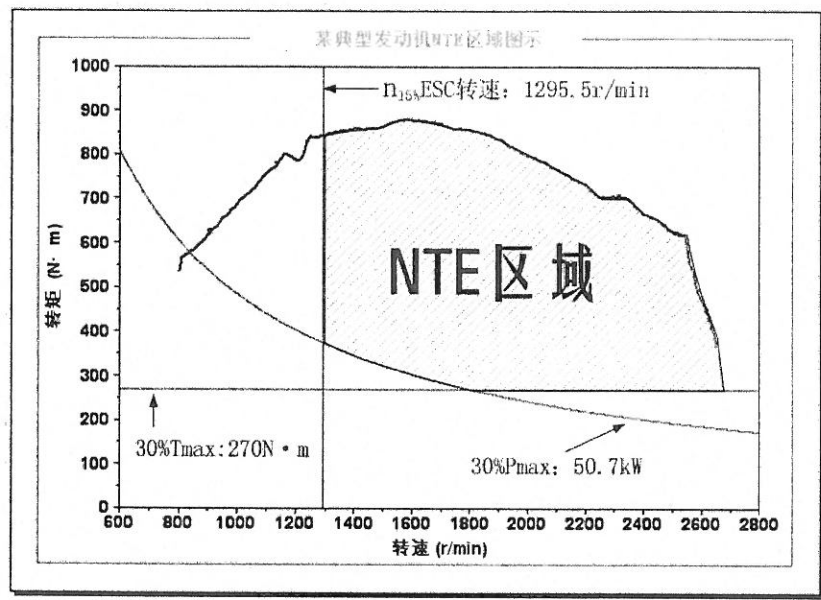


图 7 NTE 区域的定义

NTE 区间位于发动机外特性图的偏右上角。若进入 NTE 区间就要求发动机中高转矩、负荷，同时转速不能太低，而 NTE 事件要求发动工况变化不能剧烈，能在 NTE 区间里维持至少 30 秒。通过实际道路测试，可获得实验车辆的实时排放数据及发动机运行参数，进而可以计算出实验车辆的数据进入 NTE 区间的时间比例，同理进入有效 NTE 事件的数据也可以计算得出。

在 32 辆测试车辆中，尤其是城市公交车，进入 NTE 区间的有效数据很少，有效的 NTE 事件更少（数据利用率低于 5%）。究其原因，一方面，城市公交车一般负载较小，发动机一般运行在中小负荷，低转速区域，即发动机外特性曲线图的左下角，正是 NTE 区间不包含的区域；另一方面，我国城市的市区道路路况不好，拥堵现象比较普遍，公交车频繁的加减速，发动机工况变化很剧烈，很难形成有效的 NTE 事件。

在低负荷下发动机的污染物排放通常较低，但由于分母小，g/kWh 的排放系

数并不低。美国的 NTE 区间不考虑发动机 30%负荷以下数据点，但是低负荷的情况在现实中存在，如对城市公交车而言是一种普遍现象。

（2）功基窗口法适用性研究

在车载排放测试的达标判定方法上，欧盟对功基窗口法和美国 NTE 法进行了评估和研究，结果表明美国定义的 NTE 方法并不适用于欧洲的驾驶习惯。而功基窗口法的作用不仅仅是提供了一种对公路用重型柴油机进行在用车排放测试的替代方法，而更重要的是，它为那些不经常工作在 NTE 区域内的发动机，例如城市公交车的发动机进行型式核准、新生产车检查和在用符合性检查提供了可能性。基于对车辆实际道路运行工况的统计，欧洲功基窗口法所设定的窗口平均功率限值是最大功率的 20%，因为这既能涵盖绝大多数重型车辆的日常运行工况，又避开了发动机超低负荷工况（车辆怠速或空载运行）的影响。

测试数据表明：对于较高负荷的车辆，功基窗口法可以充分利用排放测试数据，利用率最高达到 100%；但对于低负荷的车辆，功基窗口法和 NTE 一样难以获得有效测试数据，利用率最低为 0%。对日常运行时发动机负荷经常低于 20%的城市公交车而言，目前的功基窗口法无法获得足够多有效数据，但我们也注意到，绝大多数时间里公交车的发动机负荷都在 15%以上。因此，如果在处理数据时增加发动机平均负荷在 15%~20%的区域，绝大多数测试车辆的有效数据比例就会大幅提升，几乎都可满足数据处理的要求。因此，为保证判断车辆的排放情况时有足够的测试数据，本标准规定采用功基窗口法判定时，窗口平均功率百分比大于 20%的窗口个数要大于或者等于所有窗口个数的 50%。对于 HJ689 规定的城市车辆采用功基窗口法判定时，如窗口平均功率百分比大于 20%的窗口个数不能达到所有窗口个数的 50%，可增加窗口平均功率百分比在 15%~20%的判定区域，使窗口平均功率百分比大于 15%的窗口个数大于或者等于所有窗口个数的 50%。

比较分析 NTE 和功基窗口法两种数据分析方法的适用性可知，NTE 方法更注重道路工况点与发动机性能曲线的结合，只有在符合条件的工况点，才能提取有效排放数据，减少了工况剧烈变化可能带来的干扰，但在测试车辆中，进入 NTE 区间的有效数据很少，有效的 NTE 事件更少，数据利用率最高仅为 24%，绝大多数测试车辆的数据利用率低于 5%。而功基窗口法所设定的窗口平均功率

限值最大功率的 20%(对于城市公交车增加了发动机平均负荷在 15%~20%的区域),因为这既能涵盖绝大多数重型车辆的日常运行工况,又避开了发动机超低负荷工况的影响,使得几乎所有测试车辆的有效数据比例均可达到 50%以上。它不仅为那些不经常工作在 NTE 区域内的发动机(如城市公交车、市政车辆的发动机等)进行排放达标判定提供了可能性,而且数据具有连续性,其测试结果是结合台架试验的做功计算出排放的滑动窗口平均值。

综合考虑,本标准选择功基窗口法作为重型车用发动机及汽车排放达标判定的数据分析方法。

表 3 功基窗口法和 NTE 两种数据分析方法的比较

数据分析方法	功基窗口法	NTE
发动机参数采集	发动机的转速、扭矩、燃油喷射速率、冷却液温度	发动机的转速、扭矩、燃油喷射速率、冷却液温度; 发动机外特性曲线
认证数据采集	发动机瞬态认证循环做功量	—
车载测试数据采集	污染物排放速率、尾气流量、发动机转速、扭矩	污染物排放速率、尾气流量、发动机转速、扭矩
优点	数据利用率高且具有连续性;既能涵盖绝大多数重型车辆的日常运行工况,又避开了发动机超低负荷工况的影响,更接近于实际的排放情况	注重道路工况点与发动机外特性曲线的对比; 工况剧烈变化对测试结果干扰小
缺点	不易于单独反映 NO _x 控制区的排放情况	数据利用率低,对某些类型的车辆(如公交车)适用性差

6.6 气态污染物排放限值的确定

参考欧美相关法规中关于车载测试方法排放限值的构成方式确定重型车用发动机与汽车车载测试气态污染物的排放限值。本标准限值计算公式为:

功基窗口法达标限值=瞬态认证循环限值×可调节度+在用符合性宽限值+新设备宽限值

其中，瞬态认证循环限值为 GB17691 规定的相应排放阶段的发动机台架 ETC 循环认证限值。此处未选用 HJ 689 提出的城市车辆用柴油发动机排气污染物 WHTC 工况法排放限值，是由于 WHTC 冷启动时的污染物排放会升高，因此瞬态认证循环选择与车载测试同为发动机热启动的 ETC 循环。可调节度则通过分析国内典型车辆的排放测试结果确定。在用符合性宽限值主要参考美国 40 CFR 86.007-11 根据车辆实际行驶里程确定。新设备宽限值为法规台架测试设备和车载排放测试设备不同而导致的测量差异。

6.6.1 功基窗口法可调节度分析

由于实际道路工况和法规台架测试工况存在较大差异，加上受到天气、司机驾驶习惯等因素影响，法规台架测试时排放达标的发动机在实际道路上的排放因子可能会高于法规限值。因此，在设置道路车载测试的排放限值时，需要在法规限值的基础上增加可调节度。美国 40 CFR 86.007-11 规定 NTE 达标阈值的可调节度为 $\times 1.25$ 或 $\times 1.5$ ，欧盟在 Euro VI 阶段才开始引入重型车车载测试排放限值，EU No.582/2011 规定功基窗口法的最大可调节度 $\times 1.5$ 。对于中国的国 IV 和国 V 阶段重型车用发动机与汽车，功基窗口法可调节度则根据测试车辆的各污染物的符合性因子大小确定。参考欧美相关法规对可调节度的规定，污染物排放符合性因子较大的可调节度设为 $\times 1.5$ ，符合性因子较小的可调节度设为 $\times 1.25$ 。

1) 功基窗口法 NO_x 排放限值的可调节度分析

排放控制系统有效运行的测试车辆实际道路 NO_x 排放的符合性因子基本在 1.5 左右。对于个别的测试货车，其 NO_x 排放因子较高，是因为发动机的低负荷工作，尾气温度不高，难以达到 SCR 发挥较高催化效率所需要的条件。所以若能改进 SCR 喷射策略，测试车辆 NO_x 排放的符合性因子也可达到 1.5 左右。

而对于公交车而言，NO_x 排放水平存在明显差异。符合性因子大于 2 的测试车辆，经测试数据分析和现场调研得知，它们的 SCR 处于失效或故障的状态，未能起到催化转化 NO_x 的作用。而符合性因子在 2 左右的测试公交车是由于日常低速低负荷的运行状态，导致 SCR 工作效率偏低，但如果采取尾气管和排放控制系统保温、更新发动机的标定等措施，以改善 SCR 的工作状态，其 NO_x 符合性因子达到 1.5 左右是有可能实现的。中国环境科学研究院的研究结果表明，改进标定（由 ETC 改进为 WHTC，扩大排放控制区）结合后处理保温，会增加

尿素喷射频率，提高 NO_x 转化率。在同样的控制策略下，经 WHTC 标定的公交车 NO_x 排放比 ETC 标定要低。

综合考虑重型货车和城市车辆的排放状况，当功基窗口法的 NO_x 排放限值可调节度设定为 $\times 1.5$ 时，排放控制系统有效运行的车辆基本都可以达标。

2) 功基窗口法 CO 排放限值的可调节度分析

CO 排放因子对较低，除个别测试车辆的 CO 符合性因子为 1.4 外，绝大多数测试车辆的 CO 符合性因子均在 1.0 以下。因此，可将功基窗口法 CO 排放限值的可调节度可确定为 $\times 1.25$ 。

3) 功基窗口法 THC 排放限值的可调节度分析

研究表明天然气车排放的 THC 中约有 90%以上为 CH₄，因此在计算天然气车的符合性因子时，将 GB17691 规定的 CH₄ 排放限值视同为 THC 排放限值；柴油车尾气排放的 THC 中 CH₄ 含量很低，所以在计算柴油车的符合性因子时将 GB17691 规定的 NMHC 排放限值视同为 THC 排放限值。分析测试结果得出，测试柴油车的 THC 排放因子较低，其符合性因子均在 1.2 以下；而以天然气作为燃料的测试车辆 THC 符合性因子较大，分别 1.7 和 1.0。因此，本标准针对重型柴油车和天然气车提出了不同的功基窗口法 THC 排放限值的可调节度，分别设定为 $\times 1.25$ 和 $\times 1.5$ 。

6.6.2 在用符合性宽限值分析

在用符合型宽限值主要是基于排放后处理系统的劣化来确定，对于重型柴油车 CO 和 THC 劣化程度较低，故参考美国 40 CFR 86.007-11 的规定根据车辆实际行驶里程只将 NO_x 在用符合性宽限值确定为 0.10-0.20g/hp-hr (0.13-0.27g/kWh)：

1) 当车辆实际行驶里程 $\leq 11.0 \times 10^4$ mile (17.7×10^4 km) 时，NO_x 在用符合性宽限值为 0.10 g/hp-hr (0.13 g/kWh)；

2) 当车辆实际行驶里程在 11.0×10^4 mile (17.7×10^4 km) 和 18.5×10^4 mile (29.8×10^4 km) 时，NO_x 在用符合性宽限值为 0.15 g/hp-hr (0.20 g/kWh)

3) 当车辆实际行驶里程 $\geq 18.5 \times 10^4$ mile (29.8×10^4 km) 时，NO_x 在用符合性宽限值为 0.20 g/hp-hr (0.27g/kWh)。

对于天然气车，后处理 TWC 也存在劣化的风险，这对 THC 的排放有显著

影响，因此本标准参考 HJ438 有关气体燃料点燃式发动机劣化系数的规定，将天然气车 THC 在用符合性宽限值确定为 ~ 0.2 g/kWh。

6.6.3 新设备宽限值

采用不同测试设备（车载测试仪器和台架测试设备）在实验室发动机台架实际道路复现工况下同步测量了 3 台发动机 NO_x、CO 和 THC 的排放数据。基于对测试结果的分析，因测试设备差异而导致的 NO_x、CO 和 THC 宽限值可分别设定为 0.3 g/kWh、0.7 g/kWh 和 0.1g/kWh。

6.6.4 气态污染物排放限值

国 IV 重型车用发动机与汽车车载测试标准限值的确定：

1) 关于重型车用发动机与汽车车载测试标准的 NO_x 排放限值，对法规台架 ETC 测试循环限值的可调节度设为 $\times 1.5$ ，在用符合性宽限值为 0.13 $\sim$ 0.27g/kWh，因不同测试仪器设定 0.3g/kWh 的宽限值，调整后限值再往上取到 0.5 的倍数，以作为达标判定依据。例如，对于 ETC 认证循环 NO_x 排放限值为 3.5 g/kWh 的国 IV 重型柴油车，车载排放限值取为 $3.5 \times 1.5 + 0.13 (\sim 0.27) + 0.3 = 5.68 (\sim 5.82) \approx 6.0$ g/kWh；

2) 对于 CO，重型车用发动机与汽车车载测试标准的 CO 排放限值对法规台架限值的可调节度设为 $\times 1.25$ ，因不同测试方法和仪器设定 0.7 g/kWh 的宽限值，调整后限值再往上取到 0.5 的倍数，以作为达标判定依据。

3) 对于 THC，在本标准中不再区分 CH₄ 和 NMHC。由于柴油车和天然气车存在显著的差异，故对与柴油车和天然气车会提出两个不同的限值。柴油车 THC 排放限值对法规台架 NMHC 限值的可调节度设为 $\times 1.25$ ，建议的天然气车 THC 排放限值对法规台架 CH₄ 限值的可调节度设为 $\times 1.5$ ，因不同测试方法和仪器设定 0.1g/kWh 的宽限值，调整后限值再往上取到 0.2 的倍数，以作为达标判定依据。

国 V 重型车用发动机与汽车车载测试标准限值的确定：

由于目前市场上国 V 重型车占有率较低，尤其是占重型车保有量绝大多数的重型柴油车货车才进入国 IV 阶段不久，无法获得足够的国 V 重型车车载测试数据，因此国 V 重型车用发动机与汽车车载测试标准限值则根据国 IV 和国 V 法规台架瞬态认证循环限值下降比例在国 IV 车载测试标准限值的基础上下调。如

从国 IV 到国 V，NO_x 的 ETC 限值由 3.5 g/kWh 下降到 2.0 g/kWh，车载排放限值则应从 6.0 g/kWh 下调到 3.4 g/kWh，调整后的限值再往上取到 0.5 的倍数。因此，本标准将国 V 重型车用发动机与汽车车载测试的排放限值确定为 3.5 g/kWh。

表 4 车载测试的污染物排放限值

污染物限值分类	可调节度	在用符合性宽限值	不同测试设备宽限值	备注	国 IV 限值 (g/kWh)	国 V 限值 (g/kWh)
NO _x 排放限值	法规台架限值×1.5	0.13~0.27 g/kWh	0.3 g/kWh	将限值往上取到 0.5 的倍数	6.0	3.5
CO 排放限值	法规台架限值×1.25	-	0.7 g/kWh	将限值往上取到 0.5 的倍数	6.0	6.0
THC 排放限值	法规台架限值×1.25	-	0.1 g/kWh	将限值往上取到 0.2 的倍数	THC ¹⁾ : 0.80	THC ¹⁾ : 0.80
	法规台架限值×1.5	0.2 g/kWh ²⁾			THC ²⁾ : 1.8	THC ²⁾ : 1.8

注：1) 适用于使用柴油作为燃料的车辆；2) 仅适用于使用气体燃料的车辆

6.7 发动机机型（或系族）、车型合格与否的判定方法

本标准所规定的发动机机型（或系族）、车型合格和不合格的判定数通过国际标准 ISO 8422/1991 计算，该判定方法与欧盟第六阶段重型车排放法规中的相关规定相同。排放合格判定的测试方案如表 5 所示，合格与否应遵循以下要求：

- 1) 测试样本量 n 最小为 3，最大为 10；
- 2) 如果超标车辆数小于或等于合格判定数，则发动机机型（或系族）、车型排放判定为合格；
- 3) 如果超标车辆数大于或等于不合格判定数，则发动机机型（或系族）、车型排放判定为不合格；
- 4) 如果超标车辆数不能判定发动机机型（或系族）、车型排放合格与否，则逐一增加测试样本，继续判定。

表 5 测试方案（最小样本量为 3 辆）

样本数, n	超标辆数	
	合格判定数	不合格判定数
3	-	3
4	0	4
5	0	4

6	1	4
7	1	4
8	2	4
9	2	4
10	3	4

例如，测试车辆仅有 3 辆时不能做出合格判定的结论，但当 3 辆测试车辆均超标时可判定为不合格。假设一：3 辆测试车辆中超标辆数为 0，不能判定是否合格，则测试车辆+1（4 辆）继续判定，此时若第 4 辆车仍然达标（即超标辆数为 0）可判定为合格，若第 4 辆车超标（即超标辆数为 1），不能判定合格与否，需要继续逐一增加测试车辆，继续判定，直至做出判定结论。假设二：在 3 辆测试车辆中超标辆数为 1，不能判定不合格，则测试车辆+1（4 辆）继续判定，无论第 4 辆车是否超标都不能判定合格与否，需要继续逐一增加测试车辆，继续判定，直至做出判定结论。

6.8 颗粒物测试方法的确定

鉴于颗粒物在线监测目前还不够稳定，计算在线监测结果时，需要采用滤膜采样前后增重量等相关数据计算的颗粒物排放总质量，对颗粒物质量浓度在线数据进行校正。因此对于颗粒物测试，滤膜采样和在线监测需同时进行。

排气取样系统等比例采样稀释系统要求将汽车的排气在控制的条件下用环境空气连续稀释。等比例采样系统的测量概念中，应满足三个条件：尾气采集量应与机动车排气量成一定比例，并按这一比例连续收集测试车辆排气，然后进行定容稀释。应测定尾气采集量与稀释空气的混合气的总容积，并按容积比例连续收集样气进行分析。排气污染物的质量由样气浓度确定，而样气浓度则根据采样比（尾气采集量/尾气排放量）、稀释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，使用滤膜采样装置和在线监测设备同时进行颗粒物的测量。

鉴于颗粒物的车载测试方法相比气态污染物复杂得多，国内的测试条件尚不成熟，数据的可靠性有待进一步提高，因此本标准中只提出 PM 的推荐测量方法，待研究成熟后再考虑提出重型柴油车车载测试方法的颗粒物限值。

6.9 测试要求

6.9.1 测试车辆的选取原则

对于发动机制造企业，本标准将发动机机型（或系族）作为监管对象。为保

证测试车辆具有足够代表性，制造企业可根据实际销售情况，选取安装同一发动机型（或系族）、不同用途的车辆进行测试。

对于汽车制造企业，本标准将车型作为监管对象。但是我国汽车制造企业众多，为减少测试工作量和测试成本，将同时满足下列条件的，视同为同一个车型：

- （1）整车由同一制造企业生产；
- （2）发动机为同一机型（或系族）；
- （3）满足 GB20890 第 6.2 条“污染控制装置”中规定的要求；
- （4）车辆用途一致，如 M₂ 和 M₃ 类车辆（公交车等特殊用途的车辆除外）、公交车和环卫车辆、N₂ 类车辆和 N₃ 类车辆。

6.9.2 测试仪器

PEMS 可以进行实际在用车辆测试，并可提供比传统的实验室发动机或车辆测试设备更多的数据。相比发动机型式核准程序和测试工况，利用 PEMS 测试更能客观的反映车辆在实际运行工况下的实际排放情况。

PEMS 是一种集成化的车载尾气分析系统，它集高精度的排放分析仪器与路谱分析仪于一体，可实时测量机动车尾气污染物（NO_x、CO₂、CO、THC 等）排放的体积浓度、排气流量以及机动车行驶过程中的地理信息、环境参数、汽车运行参数等分析测试车辆的排放速率及进行车辆排放水平所必不可少的基础参数，如发动机参数（转速、扭矩等）、车辆行驶过程中的地理位置（即经度、纬度和海拔高度）和行驶速度等，数据采集频率为 1Hz。颗粒物采样使用等比例采样系统，即尾气采集量应与机动车排气量成一定比例，等比例性的相关性系数≥0.90，并按这一比例连续收集机动车排气，然后进行定容稀释。尾气颗粒物浓度则根据采样比、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，使用滤膜采样装置和在线监测设备同时进行颗粒物的测量。

6.9.3 测试工况

测试时不指定特定的测试循环工况，但工况构成应接近于车辆正常使用时的道路运行路况的分布。经过对国内典型城市的车辆实际运行工况的实地调查并参考欧盟第六阶段排放法规（EU No.582/2011）的规定，车辆运行路况可根据行驶速度的大小划分为：市区道路，车辆行驶速度在 0 至 50km/h；市郊道路，车辆行驶速度为 50km/h 至 75km/h；高速路，车辆行驶速度大于 75km/h 三种道路类

型。根据欧盟 No.582/2011 规定的特征工况分配比例和已有的研究结果，按车辆类别确定车辆测试时三种道路的运行时间分配比例，并允许实际构成比例有 $\pm 5\%$ 的偏差。由于一些实际原因，在制造企业和监管机构协商后，测试工况构成比例也可根据实际情况进行合理调整。

6.9.4 测试时长

根据测试车辆的日常用途，在实际道路上按照日常行驶条件行驶，测试持续时间原则不少于 3 小时。当发动机负荷较大工况较短，符合性系数曲线就会相对较短，用于判断车辆的排放情况的数据就相对变少，因此，需要保证有足够的测试数据数量。测试时应保证测试中非怠速工况时间不得少于 2 个小时。但若测试车辆的累计功到达发动机 ETC 循环做功的 3 倍或 WHTC 循环做功的 5 倍时，测试可提前终止。

6.9.5 环境条件

为了 GB17691 修改方案规定瞬态认证循环测试条件保持一致，本标准推荐选择的环境温度在 $2^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间；海拔高度不超过 1000m（或相当于大气压 90kPa）。

环境湿度因受天气、地形、温度等条件影响较大，故在本标准中不作规定。虽然在实际道路的测试过程中 NO_x 的排放与环境湿度有关，但确定排放限值时已经考虑复杂的环境条件和测试工况，同时参考了欧六标准的相关规定，因此本标准对 NO_x 排放测算时不再进行湿度修正。

6.10 标准的实施

为了推动发动机排放控制技术水平的不断提升和完善，发动机制造企业除按 GB 17691-2005 的要求向型式核准主管部门提出型式核准申请并完成规定的检验内容外，还应按本标准将同类（或同系族）发动机安装在适用用途的整车上进行污染物排放测试，并向环保主管部门提交排放测试报告。在按照 HJ 439-2008 进行在用符合性检查时，应按本标准规定的试验方法进行排气污染物排放测试。

在发动机制造企业已对发动机机型（或系族）完成型式核准的情况下，汽车制造企业对车型申请型式核准时，只需提交一份其所安装的发动机机型（或系族）的型式核准证明。在按照 HJ 439-2008 进行在用符合性检查时，汽车制造企业可按本标准进行车型的在用符合性自查。

本标准适用于发动机或汽车制造企业的自查，也适用于环保主管部门对发动

机机型（或系族）、车型进行新生产车和在用车排气污染物排放的监督性检查。

7 主要国家、地区及国际组织相关标准研究

为了控制柴油车造成的排放污染，世界各国均依据各自的国情相继制订了柴油车排放标准体系，并不断加严排放限值。从科学角度来讲：对柴油车排放有害物的控制，既包括气体污染物 CO、HC 及 NO_x 等，又包括微粒污染物 PM 和可见污染物黑烟。当今世界上已形成美国、日本、欧洲三个主要的排放标准体系，虽然其试验方法各不相同，但对排放限值的要求都是非常严格的。其共同特点包括：1）都制定了完善的法律法规和先进的汽车污染物排放控制标准，以及与之相配套的检测方法；2）政府相关部门的分工明确，职责清晰，运作效率较高；3）政府、企业与车主之间的责任、权利于义务界定清楚，社会监督机制健全。下面介绍一下欧盟和美国针对控制柴油车尾气排放方面的经验。

7.1 主要国家、地区及国际组织相关标准

7.1.1 美国重型柴油车排放监管体系

（1）基于发动机台架测试方法的重型车排放型式核准

美国对重型汽车的界定是用最大总质量超过 8500 磅（3856 kg），同样是在发动机台架上进行污染物排放的测量。1984 年以前，美国也是用的十三工况稳态测量方法，但是，其个别工况点和欧洲的工况有些不同。从 1990 年开始，美国对重型车发动机的排放测试必须使用瞬态测试循环，在测量中要运行两次，一次冷起动循环，一次热起动循环，加权系数为 1:7（冷起动：热起动）。测试中，污染物排放必须使用全流式的稀释取样系统。和欧洲十三工况相比，美国瞬态工况中高速大负荷的比例较大，而欧洲则是中速大负荷的比例较大。这也体现了美国高速公路运输占主导地位。自从 1984 年采用瞬态工况以后，其污染物排放限值又经过多次修订，见表 6。

表 6 美国重型柴油发动机排放标准

年份	NO _x (g/hph)	颗粒物 (g/hph)
1984	10.7	0.60
1991	5.0	0.25
1994		0.10
1998	4.0	
2004	2.0	

2007	0.20	0.01
------	------	------

(2) 美国重型车车载排放测试标准的发展

传统上, 重型柴油车或发动机是在试验室的发动机台架上, 按预定工况对排放污染物测试并认证的。对重型车在用符合性检测也是采用从测试车辆上拆下发动机, 然后进行与试验室认证同样的测试方法来验证的。但是这种方法有局限性, 就是在发动机实际的使用过程中, 其排放值很可能超出试验室认证时的情况。为了防止厂商利用类似“循环外排放”(off-cycle emissions)等控制策略作弊, 美国环保局提出了 NTE 法规, 并采用便携式排放测试系统对重型车实际道路排放进行测试。

NTE法规适用于对车辆总重评级大于8500磅(3856 kg)的重型车辆(包括公共汽车)所装配的柴油机进行在用符合性检查。美国环保局建立了一套完全强制的、分两阶段进行的在用重型柴油机测试规范, 2005年6月美国环保局签署的柴油车在用符合性测试规程最终报告中, 明确要求使用车载方法测量气态污染物和颗粒物排放, 以保证柴油机的排放标准符合实际行驶工况。对气态污染物(重点是NO_x)排放的车载测试从2007年正式开始, 但由于重型车尾气颗粒物排放车载测量的难度大、技术要求高, 对颗粒物的测试要求直到2011年才最终确定。

7.1.2 欧盟重型柴油车排放监管体系

(1) 基于发动机台架测试方法的重型车排放型式核准

欧盟对重型柴油机排放控制的基本指令是 88/77/EEC, 该指令于 1987 年颁布, 1988 年开始对新定型的发动机和车辆实施, 1990 年对销售、注册和使用的车辆或发动机实施。其测试工况是稳态十三工况法。在 Euro 0 阶段对颗粒物没有要求。Euro 0 阶段应该说是柴油发动机的原始未控制状态, 不需要采取任何控制措施基本都能够达到, 对 NO_x 的要求甚至比原始状态还要宽松, 旨在促进企业改善发动机的燃烧状况, 提高燃烧效率, 一定程度的降低 CO、HC 和黑烟排放。

如表 7 所示, 欧盟于 1992 年开始对重型柴油车实施 Euro 1 法规, 1995 年实施 Euro 2 号法规, 其相应的指令是 91/542/EC, 测试方法仍然是稳态十三工况, CO、HC 和 NO_x 限值加严, 并增加了对颗粒物的要求, 对颗粒物采用部分流或全流稀释取样测量。到 Euro 2 阶段, 对颗粒物的控制明显加严, 和未控制时相比, 约下降 55%左右。但尽管如此, 其单车污染物的减少量也并不像轻型车那样

明显。

2000 年欧盟开始实施 Euro 3 法规,并于 2005 年、2008 年分别实施 Euro 4、Euro 5 法规。Euro 3、Euro 4、Euro 5 的法规号是 1999/96/EC,后又被 2006/51/EC 修订,该指令是到目前为止的最新版本。到 Euro 4、Euro 5 阶段,重型柴油发动机的颗粒物和 NO_x 排放有了明显的下降。Euro 4 阶段颗粒物下降了 95%,Euro 5 阶段 NO_x 减少了 86%左右,满足 Euro 4、Euro 5 法规的柴油车辆在正常状况下是看不见黑烟的较为清洁的柴油车。从 Euro 3 开始,测试工况开始采用欧洲稳态工况 (ESC)、负荷烟度试验 (ELR) 和欧洲瞬态工况 (ETC)。

表 7 欧盟重型柴油发动机排放标准

实施年份	指令	控制阶段	NO _x (g/kWh)	颗粒物 (g/kWh)
1990	88/77/EEC	Euro 0	15.8	— ¹⁾
1992	91/542/EEC	Euro 1	9.0	0.4
1995		Euro 2	7.0	0.15
2000	1999/96/EC	Euro 3	5.0/5.0 ²⁾	0.10/0.16
2005	2001/27/EC	Euro 4	3.5/3.5	0.02/0.03
2008		Euro 5	2.0/2.0	0.02/0.03

注: 1) Euro 0 未控制颗粒物; 2) ESC 限值/ETC 限值

(2) 欧盟重型车车载排放标准的发展

在车载排放测试的达标判定方法上,欧盟也对美国 NTE 等不同的方法进行了评估和研究,最终考虑使用做功窗口的方法来对车辆的在用符合性进行评价,而且不仅仅是 NO_x 的排放,而是对所有的污染物包括诸如二氧化碳和颗粒物等其他排放物进行评价。欧盟委员会 (EC) 的联合研究中心 (JRC) 在“欧盟-便携式排放测试系统” (EU-PEMS) 项目中表现出了对基于做功窗口的方法的兴趣,因为他们认为在美国定义的 NTE 方法并不适用于欧洲的驾驶习惯。该种基于做功窗口的方法,它的作用不仅仅是提供了一种对公路用重型柴油机进行在用车辆排放测试的替代方法,而更重要的是,它为那些不经常工作在 NTE 区域内的发动机,例如城市公共交通巴士,市政车辆的发动机进行在用符合性检测提供了可能性。

考虑到车载排放测量方法及限值确定的技术成熟度和应用条件等因素，欧盟从第VI阶段开始，才对重型车在用符合性检查提出车载排放测试的强制性要求。这也意味着，车载排放标准将对包括选择性催化还原（SCR）和颗粒物捕集器（DPF）等技术在内的重型车排放控制策略进行全面的在用符合性监管。

7.1.3 日本重型柴油车排放监管体系

日本是历史上第一个推出汽车尾气排放国家标准国家。1966 年运输省制定限制汽油车排放 CO 量的国标。1968 年后，日本以《大气污染防治法》为基础，通过法律手段强化汽车尾气排放标准。1971 年，为控制汽车尾气排放，CO、HC、NO_x、PM 和铅化合物被增加进了《大气污染防治法》。

日本对于重型汽车控制，主要体现在对发动机台架测试法规及较为完善的监管上，目前尚未提出重型车用发动机与汽车的车载测试方法。

随着车辆节能减排技术的创新发展，日本也开始不断修订其汽车尾气排放标准，还规制了更为严格的法规。1992 日本年制定了《关于在特定区域削减汽车排放的氮化物总量的特别措施法》（简称《汽车 NO_x 法》），于 1993 年 12 月 1 日起实施，规定在特定区域内，禁止使用不符合特别排放标准的卡车、公共汽车等机动车辆，东京和大阪及其周边地区被指定为特定区域，并将 NO_x 排放总量列入专项制定计划中。

严格的汽车尾气排放标准虽然在日本得到了有效地施行，但 NO_x 的标准依旧难以达到环保基准。另外，汽车尾气排放中的颗粒物被认为致癌物，引起了民众的普遍关注。由此，日本政府针对颗粒物于 2001 年 6 月修订了《汽车 NO_x 法》，将之更名为《汽车 NO_x-PM 法》，对排放的 PM 以及 NO_x 进行了规制，此法规定在规制的对象中，只有符合法律标准的汽车才能核准登记，过了登记放宽期限还仍使用的汽车不能发放车检证。

表 8 日本新生产重型柴油车排放标准

时间	测试工况	单位	CO	HC	NO _x	PM
			平均 (最大)	平均 (最大)	平均 (最大)	平均 (最大)
1988/89	6 mode	ppm	790 (980)	510 (670)	DI: 400 (520)	
					IDI: 260 (350)	

1994	13 mode	g/kWh	7.40 (9.20)	2.90 (3.80)	DI: 6.00 (7.80)	0.70 (0.96)
1997 ^a					IDI: 5.00 (6.80)	
2003 ^b			7.40 (9.20)	2.90 (3.80)	4.50 (5.80)	0.25 (0.49)
2005 ^c	2.22		0.87	3.38	0.18	
	2.22		0.17 ^d	2	0.027	
	2009		2.22	0.17 ^d	0.7	0.01

a 1997: GVW ≤ 3500 kg; 1998: 3500 < GVW ≤ 12000 kg; 1999: GVW > 12000 kg

b 2003: GVW ≤ 12000 kg; 2004: GVW > 12000 kg

c 2005 年底全部实施

d 非甲烷总烃

7.2 本标准与主要国家、地区及国际组织同类标准的对比

(1) 标准的实施时间与排放阶段对比

本标准计划从2016年开始,对国IV和国V阶段重型车用发动机与汽车进行车载排放测试。(EU) No. 582/2011指令规定从2014年,即欧VI阶段开始实施车载排放测试的要求。而美国的车载排放测试标准于2007年正式实施,并于2010年开始对颗粒物排放提出要求。相比而言,我国的重型车用发动机与汽车车载排放测试标准实施时间晚于欧盟和美国,但对应的排放阶段和美国相近,早于欧盟。

(2) 测试方法和设备对比

本标准规定不同类别的重型车用发动机与汽车需按照相应的测试工况利用PEMS设备开展实际道路排放测试。PEMS设备集成了高精度的排放分析仪器(HFID测量THC,使用NDIR测量CO和CO₂,使用NDUV或CLD测量NO和NO₂)、O₂及环境参数传感器、汽车运行参数接口及全球卫星定位仪于一体,可逐秒记录测试车辆尾气污染物的排放速率及进行车辆排放水平分析所必不可少的基础参数,如发动机参数(转速、扭矩等)、车辆行驶过程中的地理位置(即经度、纬度和海拔高度)和行驶速度等。这与欧美对PEMS测试方法和设备的要求基本一致。

(3) 计算方法与限值对比

本标准与欧盟(EU) No. 582/2011均采用功基窗口法进行计算,区别于美国标准采用NTE方法进行计算。欧洲重型车标准从欧六阶段开始执行,美国从MY2007起执行,两者的排放限值均为相应瞬态认证循环(欧洲为WHTC,美国

为FTP)限值的1.5倍。北京地标DB11/965-2013也提出了基于车载测试的重型车排放限值,与本标准所规定的限值相比,其仅规定了NO_x的排放限值且较为宽松(见表9):

表9 本标准规定限值与北京地标限值对比 (g/kWh)

排放阶段	CO	THC	NO _x
国IV	6.0	0.80/1.8 ¹⁾	6.0
国V	6.0	0.80/1.8 ¹⁾	3.5
京IV	-	-	7.0/6.0 ²⁾
京V	-	-	5.0/4.0 ²⁾

注: 1) 仅对天然气发动机; 2) 采用 NTE 方法的限值。

8 实施本标准的环境效益及经济技术分析

8.1 实施本标准的环境(减排)效益

基于大量实验数据的比较分析,发现部分国IV、国V重型柴油车的实际道路CO和THC的排放基本在发动机型式核准时的水平以下,而NO_x排放远高于发动机型式核准时的水平。重型柴油车的平均NO_x排放并没有随标准的加严而显著降低。在实际道路上,国IV、国V重型柴油车的平均NO_x排放因子高出排放限值约0.5~1.5倍。

分析部分国IV、国V重型柴油车的实际道路NO_x排放偏高的原因,主要有以下几点:

(1) 后处理技术的适应性: 国IV及以后排放阶段的重型柴油车通常需要采用尾气净化技术来达到相应的排放标准,如选择性催化还原(SCR)技术。但SCR系统对排气温度有一定的要求,通常钒基催化剂在200℃以上才能较好地发挥效用,在发动机低负荷工作、环境温度过低(北方冬季)的条件下都易出现SCR失效、NO_x还原效率低的情况,导致NO_x排放大幅升高。

(2) 目前我国的重型柴油发动机排放法规测试循环(ESC和ETC)不能很好地反映实际道路工况。ESC无法反映车辆的瞬态运行状况,而ETC的工况点分布和我国的车辆实际运行状况也有较大差距,特别是城市公交车的运行工况,实际道路工况在发动机转速和发动机负荷上都与瞬态循环ETC有比较大的错位。

但 2015 年城市车辆柴油机发动机排放测试循环将采用 WHTC (HJ689-2014) 进行型式核准, WHTC 测试循环在发动机转速、功率和怠速比例等循环特征参数方面与城市车辆道路工况特征参数接近, 这可能使得城市车辆 NO_x 排放有所降低。

基于上述的讨论, 由于国 IV 及以后重型柴油车存在高 NO_x 排放的风险, 本研究对国 IV 及以后高排放车可能导致的潜在 NO_x 排放增量做了一个粗略的估算。估算过程如下:

(1) 我国的重型卡车和重型客车销量: 根据统计数据, 2009 年为 93 万辆, 2010 年为 123 万辆, 2011 年为 114 万辆, 2012 年为 93 万辆, 由于 2010 年的情况比较特殊, 保守预测在 2016~2020 年期间, 重型车平均销量为每年 100 万辆左右;

(2) 通常而言, 很多重型汽车的年均行驶里程都在 8 万公里以上, 但考虑到还有一部分重型汽车使用频率低, 这里采用 6 万公里的单车年均行驶里程;

(3) 关于重型汽车的 NO_x 平均排放因子, 在不实施本标准以加严重型汽车实际道路排放监管的情况下, 对国 IV 车和国 V 车的实际道路排放因子采用 10g/km 和 7g/km; 而在实施本标准、强化重型汽车实际道路排放监管的情况下, 对国 IV 车和国 V 车的实际道路排放因子采用 8g/km 和 5g/km; 也就是说, 实施本标准, 将能够推动国 IV 和国 V 重型汽车的实际道路排放因子降低 2g/km 左右;

(4) 基于上述的前提假设, 估算 2020 年重型汽车的 NO_x 减排量约为 60 万吨, 占机动车 NO_x 排放总量的 10% 左右。

从上面的估算可以看到, 尽管数据可能存在一定的不确定性, 但如果国 IV 及以后重型汽车的排放监管不足, 其 NO_x 排放增量将严重影响我国 NO_x 总量减排目标的实现。

8.2 实施本标准的技术成本分析

实施本标准将能够保障《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法 (中国 III、IV、V 阶段)》(GB17691-2005) 第四、第五阶段的有效实施。

通过实施本标准, 可以对重型车用发动机与汽车排放进行有效监督和管理, 使企业有效匹配整车排放性能, 采用切实有效且具有良好耐久性的排放控制技术, 避免以降低油耗为目的而采用排放控制失效策略, 确保车辆在实际使用过程中保

障发动机的排放达标，真正有效减少重型汽车的排放，保障重型汽车第四、第五阶段预期的单车减排效果。

因为没有对国四或国五排放标准加严限值，对于现有国四或国五阶段重型车用发动机及汽车没有本质上的技术升级需求，所以成本不会有显著增加。但由于目前已核准的发动机型确实普遍存在一些问题，比如在低速低负荷工况下的 NO_x 排放大大超过排放限值，还有的机型采用失效控制策略，上路运行时，排放控制装置（如 SCR）处于失效或低效状态，达不到预期的 NO_x 减排效果。随着本标准的发布与实施，存在类似问题的重型车用发动机及汽车通常需要在现有基础上进一步改善，目前可以普遍应用的技术主要有：一是修改完善 ECU 排放控制策略（MAP 图），二是提高选择性催化还原（SCR）催化剂的低温活性；三是对排气热量进行有效管理，提高进入 SCR 的排气温度等。由于不同发动机需要采用的技术可能不同，成本增加差异较大，比如：优化排放控制策略或尿素喷射策略，不需要增加任何硬件成本；对排气管路和 SCR 进行保温包裹，成本增加在 500 元左右；用铜分子筛催化剂替代钒基催化剂，催化剂成本将比钒基催化剂增加约 50%，等等。

8.3 检测能力可行性分析

满足本标准要求的测试设备技术成熟，国内很多检测机构或研究单位，以及发动机生产企业等已有应用。当然，本标准实施后，一些企业或检测机构等，需要新增该测试设备，通常购置一套 PEMS 测试设备所需费用，约 200-300 万元（包括颗粒物分析单元）。对于重型车用发动机和汽车企业以及检测机构等，该成本是可以接受的。