

城市欧IV/V卡车和公交车在非法规循环 工况中的氮氧化物排放问题

欧洲各国及发展中国家的
问题及解决方案

Dana Lowell 和 Fanta Kamakate

这报告由 Dana Lowell (MJ Bradley & Associates LLC) 和 Fanta Kamakaté. 撰写。ICCT 项目经理: Fanta Kamakaté。

作者感谢汤大纲, 大聖泰弘, Axel Friedrich, Alan Lloyd, 小原昌, Anumita Roychowdhury 和 Michael Walsh, 以及所有 ICCT 的内部评审员。本报告的内容并不代表国际清洁交通委员会的委员或评审专家所代表的组织或政府机构的意见。

International Council on Clean Transportation (ICCT)

国际清洁交通委员会

1225 I Street NW Suite 900

Washington DC 2005

www.theicct.org • communications@theicct.org

©2012 International Council on Clean Transportation

国际清洁交通委员会

这项研究工作的资金由 William and Flora Hewlett Foundation 慷慨提供。

目录

报告概要	1
1. 介绍与背景	2
1.1 问题所在——非法规循环的城区工况下 NO _x 排放过高	2
1.2 原因 – SCR 系统在低排温下的性能变差	8
1.3 欧 IV 和欧 V 型式核准的局限性	10
1.4 欧洲的未来：即将在 2014 年到来的欧 VI 法规	11
1.4.1 新测试循环：世界统一测试循环（WHTC）	12
1.4.2 冷启动测试	12
1.4.3 非法规循环排放的要求	13
1.5 发展中国家和新兴市场：中国、印度、巴西和墨西哥	14
1.5.1 采用欧洲排放法规模式	14
1.5.2 燃油硫含量水平及其对排放控制技术的影响	15
1.5.3 发展中国家和欧洲国家车辆构成情况的比较	15
2. 降低城区工况下装备 SCR 发动机 NO _x 排放的技术方案	17
3. 改进发动机型式核准过程的管理选择	23
3.1 测试循环和程序	23
3.2 在用车符合性	23
4. 建议	24
4.1 欧洲	24
4.1.1 提前报废项目	25
4.1.2 针对性的城市机动车改造	25
4.1.3 对于提前达到欧 VI 标准车辆的激励	26
4.2 发展中国家	26
4.2.1 测试工况和流程	27
4.2.2 在用车一致性	27
4.2.3 地方层面的补充性排放要求	28
参考文献	32

图清单

图 1: 重型发动机的 NO _x 和 PM 排放限值	3
图 2: 总质量为 18,000 kg 的欧 IV 和欧 V 牵引车的实际 NO _x 排放	5
图 3: 总质量为 18,000 kg 的欧 IV 快递卡车分别在低速工况和高速工况下的 NO _x 和 PM 的排放 (g/kWh)	6
图 4: 装配 SCR 系统的日本卡车 NO _x 排放 (g/km) 与平均车速的相关性	7
图 5: SCR 系统及其上游的 DOC 和 DPF 安装示意图	9
图 6: WHTC、ETC 和美国 FTP 测试循环各个模式下相对时间的对比 (%)	12
图 7: WHTC 冷启动循环和 ETC 循环排气温度对比	13
图 8: 世界主要国家和地区重型柴油车排放标准	14
图 9: 世界主要国家和地区柴油机硫含量限值 (ppm)	15
图 10: WTVc 车辆测试循环	29

表清单

表 1: 主要国家和地区年平均新重型车辆注册量 (2007–2010)*	16
表 2: SCR 催化剂特性 *	17
表 3: SCR 系统低温性能改善方案总结	20
表 3: SCR 系统低温性能改善方案总结	21
表 3: SCR 系统低温性能改善方案总结	22
表 4: 欧洲推荐的政策选择	30
表 5: 为发展中国家推荐的政策选项	31

报告概要

本报告的重点是目前欧 VI 和欧 V 重型货车和公交车所面临的一个问题，即尽管许多装备有选择性催化还原 (selective catalytic reduction, SCR) 系统车辆在型式核准时候能够满足更加严格的排放法规，但是在实际行驶过程中，特别是在城区行驶的时候，其氮氧化物 (nitrogen oxides, NO_x) 排放却明显升高。在某些情况下，这些车辆在城区工况下的实际 NO_x 排放和那些仅经过较宽松的排放法规认证的旧车一样高，甚至还要高于那些旧车。

这些较高的“非法规循环工况”下的 NO_x 排放成为很多欧洲城市提高或改善环境空气质量的巨大威胁。同时也是很多发展中国家，包括印度和中国非常关注的问题，这些国家正采用或者计划采用欧洲标准对本国新卡车和公交车实施更严格的排放法规。如果这些国家没有对这些法规作出修改或者调整，很可能不会取得预期的空气质量改善效益。

从技术上来说，在非法规循环下产生较高 NO_x 排放的原因是由于这些车辆运行过程中排气温度太低而导致其 SCR 系统 NO_x 转换效率很差。然而，这个问题的根本原因是欧 IV 和欧 V 排放法规的型式核准核准过程存在一些缺陷，包括测试工况不具备代表性、没有冷启动测试要求、对在用符合性要求比较弱等。有很多可供选择的技术手段，可以解决 SCR 在排放温度过低时的转换效率问题——特别是在城区行驶工况条件下，但是目前的欧 IV 和欧 V 型式核准核准规程没有要求制造商必须执行这些技术方案。

自 2014 车型年起，欧 VI 排放标准将强制要求在欧洲销售的新重型柴油机进一步降低 NO_x 和颗粒物 (Particulate Matter, PM) 的排放。同时，欧 VI 法规将显著地改进型式核准的测试程序，从而改进欧 IV 和欧 V 法规可能导致城区工况下的实际 NO_x 排放过高的问题。这些改进条款包括使用新的更具有代表性的测试循环、要求进行冷启动排放测试和较为严格的在用符合性条款要求，包括在用车测试的要求。

虽然满足欧 VI 型式核准核准的卡车和公交车可能不会再存在实际 NO_x 排放过高的老问题，但是在未来的 5 年至 10 年中还有多达 550 万辆的欧 IV 或者欧 V 排放水平的卡车在欧洲道路上行驶。不容乐观的是对这类卡车能采用的实际可行的改造措施很少，大范围的改造项目除了考虑成本和困难以外，同时也缺乏政策来强制执行这些措施。然而，本报告将推荐适用于欧洲典型城区车辆的自愿改造项目，同时使用可靠的改造技术验证程序来支持 NO_x 改装技术的应用。本报告还推荐一些相应的激励措施，使车辆组成更快地过渡至欧 VI 车辆。

采用欧洲排放法规的发展中国家，比如印度、中国和巴西，目前正在全国范围内或者主要城市内实施欧 IV 或欧 V 排放法规。但是还没有任何一个国家开始着手计划实施欧 VI 排放法规。如果这些国家不对欧 IV 和欧 V 型式核准核准程序作出调整，毫无疑问将重蹈欧洲覆辙：城市运行中 NO_x 排放过高，使得这些国家对提高城区空气质量所作的努力大打折扣。

本报告推荐这些发展中国家的空气质量监督管理部门对欧 IV 和欧 V 发动机的型式核准作出调整，防止在城区实际工况中高 NO_x 排放的产生。推荐的改进措施大部分是效仿欧 VI 排放法规中的优化方法。这些措施包括要求进行冷启动测试、型式核准发动机的认证工况采用世界统一瞬态循环工况 (World Harmonized Transient Cycle, WHTC)，还有在在用车符合性条款中引入 NTE (Not-To-Exceed) 排放上限和强制执行在用车达标测试。

如果在国家层面上不能够快速的作出调整，由省或者城市层面的监督管理部门或者公众及私人公司对新车贯彻执行上述补充规定也是很好的做法。在地方政府层面，如果地方

法规能赋予地方管理机构权限来确保车辆能够在实际行驶过程中满足型式核准限值的要求，这些补充法规要求也可以通过地方法规得到执行。这些要求也可以由私人机构或者公司通过新车购买合同上要求得到贯彻实现。无论通过法规或者合同方式，汽车生产企业应该能证明在代表城区驾驶情况的整车或发动机的工况测试下，其生产的发动机或车辆都能满足排放要求。本报告建议使用发动机测试循环工况 WHTC 或者世界统一的车辆瞬态循环工况（World Transient Vehicle Cycle, WTVC）来进行这测试。无论是否采用上述两种工况，最关键的是要提出冷启动测试要求，而“认证”排放结果也要权重冷启动和热启动排放结果后计算得出。

1. 介绍与背景

许多装备有选择性催化还原 SCR 系统的新的欧 IV 和欧 V 车辆尽管能够满足更加严格的排放法规，但是在实际运行中，特别是城区驾驶的情况下¹，排放的氮氧化物（NO_x）却反而明显增加了。在某些情况下，这些车辆在城区驾驶情况下的实际 NO_x 排放甚至有可能比那些仅满足更为宽松的排放法规的旧车还要高。这些较高的“非法规循环工况”下的 NO_x 排放成为很多欧洲城市提高或改善环境空气质量的巨大威胁。同样或更需要令人关注的是很多发展中国家，包括印度和中国，正采用或者计划采用欧洲标准对本国新卡车和公交车实施更严格的排放法规，而如果这些国家没有对这些法规作出修改或者调整，新法规对空气质量改善效果将大打折扣。

本报告解释了目前满足欧 IV 和欧 V 排放要求的卡车为什么在非法规循环城区工况下会产生高的污染物排放，同时讨论了在未来可供卡车采用的能降低 NO_x 排放的技术和法规规程，以及对欧洲和发展中国家提出了具体的建议。

本报告是在美国和欧洲发表的论文文献综述和报告基础上，与 14 位制造商、测试试验和重型车法规行业方面专家学者讨论而来，这些专家分别是来自美国、欧洲、日本和中国的法规制定者、学者、咨询专家、发动机和后处理装置制造商。

1.1 问题所在——非法规循环的城区工况下 NO_x 排放过高

在过去的 20 年里，欧洲、美国和日本的立法者逐步地对用于新重型卡车和公交车的重型发动机执行了越来越严格的排放法规²，如图 1 所示³。2005 车型年之前，欧洲的重型发动机要求满足欧 III 法规。由 2005 至 2007 车型年，所有重型发动机要满足欧 IV 法规，从 2008 车型年到 2013 车型年实施欧 V 法规，而欧 VI 法规将在 2014 车型年起生效。

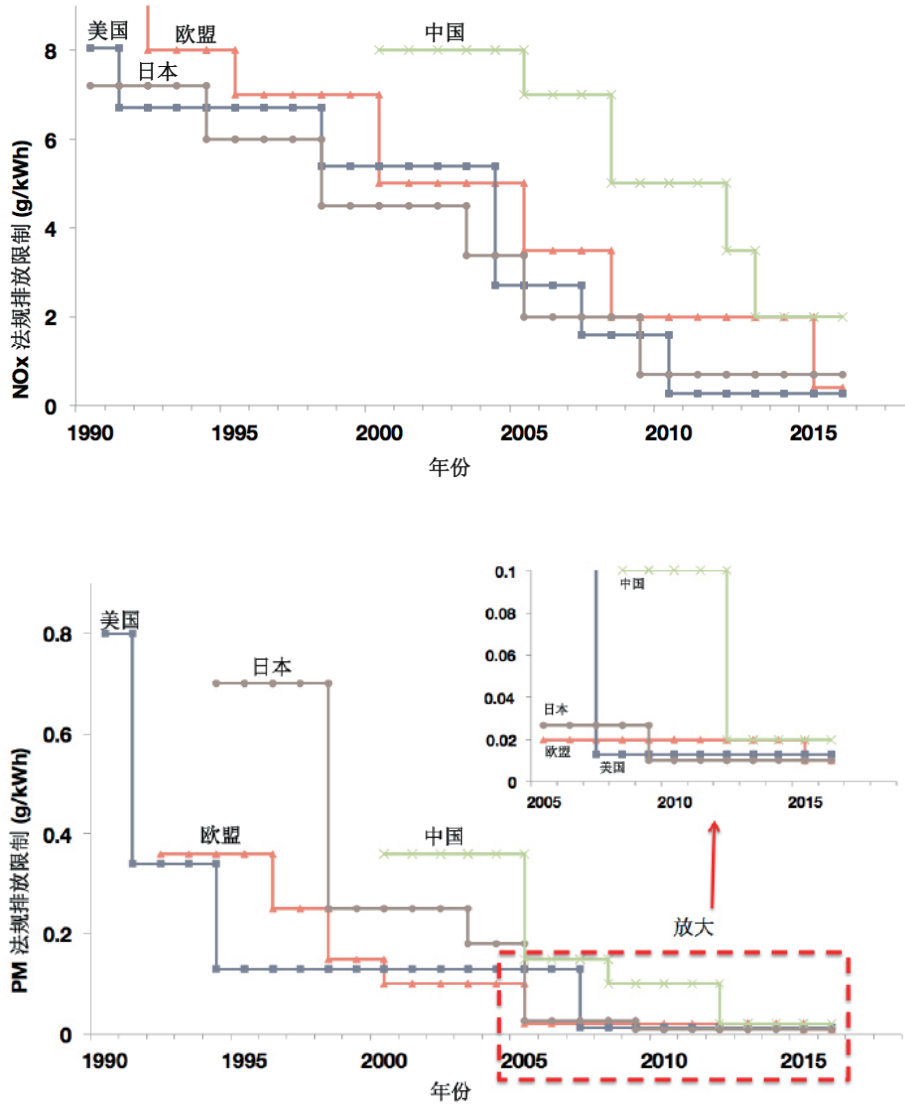
按照法规排放测试循环测试结果，通过欧 IV 型式核准的发动机排放比欧 III 发动机 NO_x 排放低 30%，而 PM 排放要低 80%。

¹ 目前日本的重型卡车一般装备的是类似欧 IV 和欧 V 型式核准核准发动机所使用的 SCR 系统，虽然认证的程序是不一样的，但是也发现有类似的现象——在城区工况实际的 NO_x 排放过高。

² 在美国，整车质量高于 3,800kg (8,000 磅) 通常被归类为重型车，其发动机按重型发动机认证。在欧洲重型发动机排放法规适用于整车质量大于 3,500kg 的车辆。

³ 注意在美国，欧洲和日本使用的是不同的测试循环和测试程序来满足图 1 所列排放限值的具体数值。

图 1： 重型发动机的 NO_x 和 PM 排放限值 *



* 来源：ICCT (2011)

欧 V 发动机的 NO_x 排放必须比欧 III 发动机低 60%，PM 的排放⁴ 低 80%。当到 2014 车型年欧 VI 排放法规开始执行后，NO_x 和 PM 排放将要比欧 III 的限值分别低 92% 和 90%。但是越来越多的确凿证据表明，通过了欧 IV 或者欧 V 型式核准的发动机其在城区交通的状况下行驶的实际的 NO_x 排放却远高于型式核准的限值。图 2-4 展示了欧洲和日本在实验室和实际道路上的卡车排放测试结果。

图 2 表示的是一辆通过欧 IV 型式核准和一辆通过欧 V 型式核准的卡车在德国的道路上使用便携式排放测量系统 (portable emissions measurement system, PEMS) 的实际道路排放测量结果。在图 2 的各个图表中，紫色的线表示实际的 ETC 测试限值 (g/kWh)。与高速工况相比，两辆卡的 NO_x 排放在低速的城区工况明显增加了。

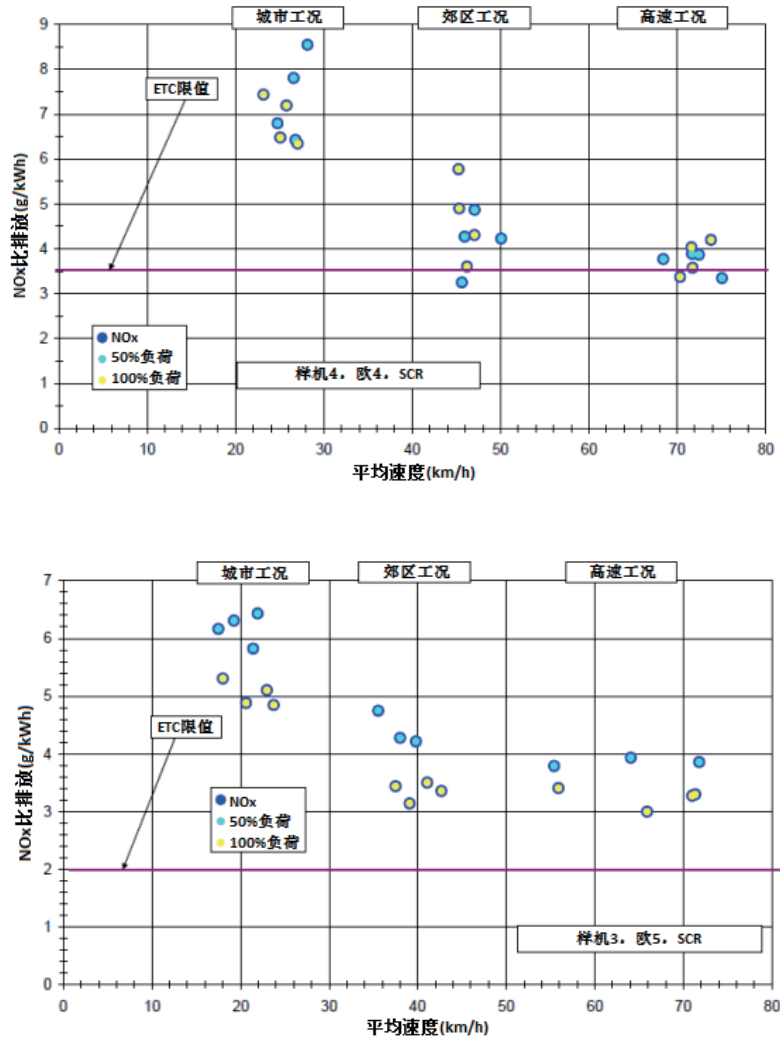
图 3 表示的是装配通过欧 IV 型式核准发动机、整车质量为 18,000 千克的货运卡车在实验室分别运行低速城市货运车工况和高速工况的排放测量结果。在这些图表中淡蓝色的线代表调整后的欧 IV 排放限值⁵。图中结果表明，在高速工况下所有卡车的 NO_x 排放都低于调整后的欧 IV 排放限值，但是在低速城市货运车工况是大部分卡车的 NO_x 排放都显著增加了。

图 4 表示的是一辆装配 SCR 的日本卡车在实验室进行排放测试的结果。结果表明平均车速与 NO_x 排放 (g/km) 有明显的相关性。在低速的城区行驶工况，NO_x 排放为 JE05 认证测试循环 (JE05 测试循环是日本发动机型式核准中的标准测试循环) 下的结果的 2 到 4 倍。

⁴ 欧 IV 和欧 V 颗粒物排放限值一样，但欧 V 车 NO_x 排放限值低于欧 IV 车辆。

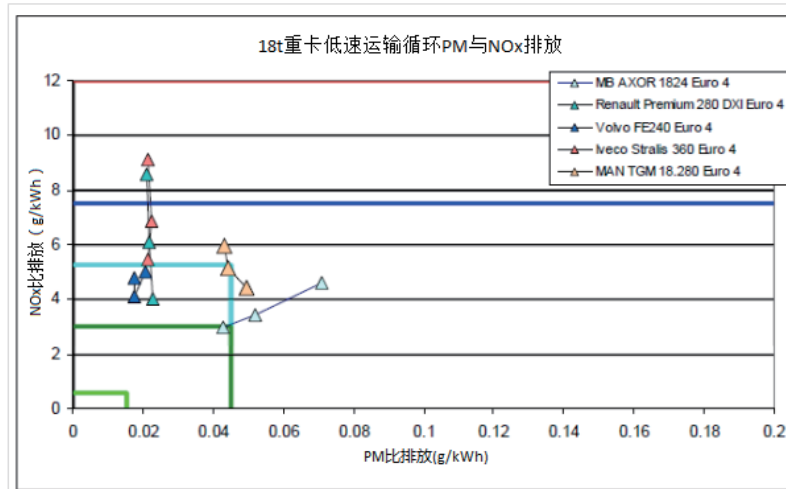
⁵ 所示的限值为在 ETC 循环下的发动机限值乘以 1.5 以计入发动机与驱动轮之间的理论动力传动损失 (原始报告作者的假设)。

图 2：总质量为 18,000 kg 的欧 IV 和欧 V 牵引车的实际 NO_x 排放 *

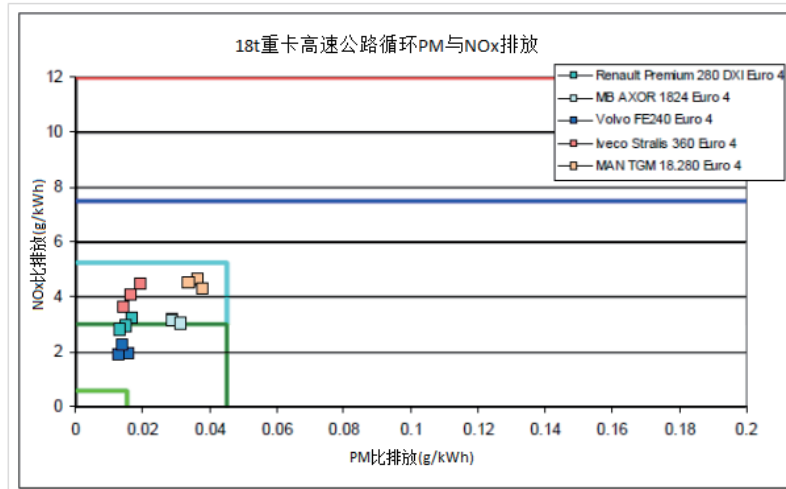


* 来源: Kieinebrahm (2008)。得作者允许可复制使用。

图 3：总质量为 18,000 kg 的欧 IV 快递卡车分别在低速工况和高速工况下的 NOx 和 PM 的排放 (g/kWh) *



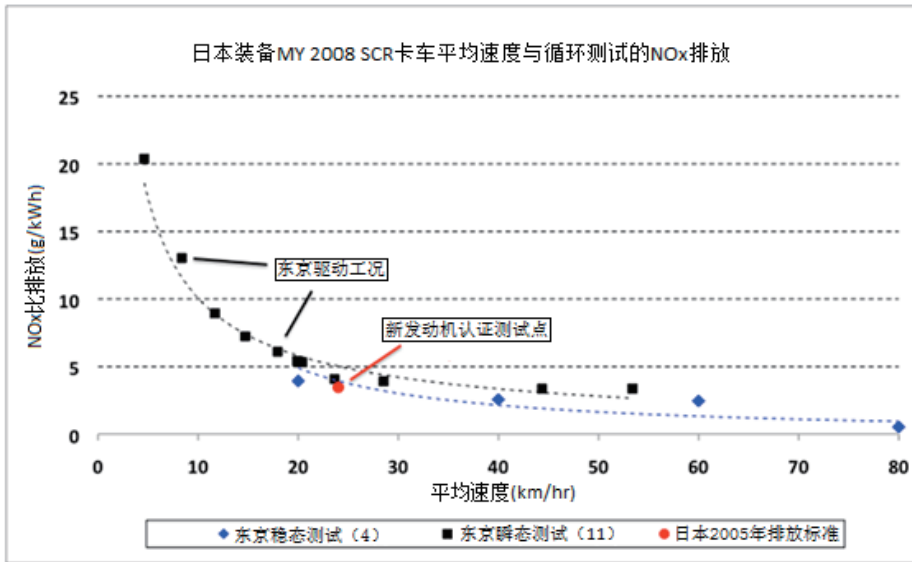
低速运输循环



高速公路循环

* 来源：VTT (2009)。得作者允许可复制使用。

图 4：装配 SCR 系统的日本卡车 NOx 排放 (g/km) 与平均车速的相关性 *



* 来源：TMRI (2009)。得作者允许可复制使用。

目前，大约 230 万辆欧 IV 和 170 万辆欧 V 重型卡车在欧洲道路上行驶。这些车辆约占所有重型卡车的 18%⁶。另外，在 2014 车型年欧 VI 法规实施之前，还有多达 150 万辆欧 V 卡车将在欧洲市场销售⁷[4]。重型车辆与预期相比高的 NOx 排放将会导致道路附近 NO2 浓度的升高。虽然目前欧洲还没有关于空气质量影响的研究与分析，荷兰的研究者们已经发现他们国家的 NO₂ 浓度已经接近 40 μg/m³ 的限值。他们发现到 2015 年卡车较高的 NOx 排放可能导致 NO₂ 浓度超标的道路长度增加一倍 (Velders, G.J. et al.)

在全球范围内，预计在接下来的 5 年里超过 1000 万辆通过欧 IV 或欧 V 排放标准的重型和中型卡车在发展中国，包括中国、印度和巴西，的道路上行驶⁸。ICCT 估计，在中国自 2008 年至 2015 年间，由于国 IV 标准车辆在主要城市的行驶情况下的高 NOx 排放会导致比预期多约 4 万吨 NOx 的排放 (ICCT 2012a)⁹。对于印度，依据其在大城市中实施欧 IV 排放标准的确实时间，在 2010 年至 2015 年将会有 4.5 至 7 万吨 NOx 排放 (ICCT 2012b)¹⁰。

⁶ 根据欧洲环境保护署，在 2009 年欧洲 27 国在用卡车的保有量为 2,210 万辆 (TERM 032, Size of the Vehicle Fleet, January 2011)。

⁷ 基于整车质量大于 3,500kg 的商用车的销售数据，由欧洲机动车制造商协会 (European Automobile Manufacturer's Association, ACEA) 发表；目前欧 IV 和欧 V 的在用卡车来自欧盟 27 国和欧洲自由贸易联盟 (EFTA) 国家在 2005 - 2010 的销售总量。预计的额外欧 V 卡车数量给予 2010 年的销售量 (488,706 辆)。在目前的卡车当中，41% 的总质量大于 16,000 kg，59% 的总质量处于 3,500 kg 和 16,000 kg 之间。

⁸ 见 1.5.3 节的表 1。

⁹ ICCT 中国车队模型的结果。ICCT (2010)。

¹⁰ ICCT 印度车队模型的结果 (将发表)。

1.2 原因 — SCR 系统在低排温下的性能变差

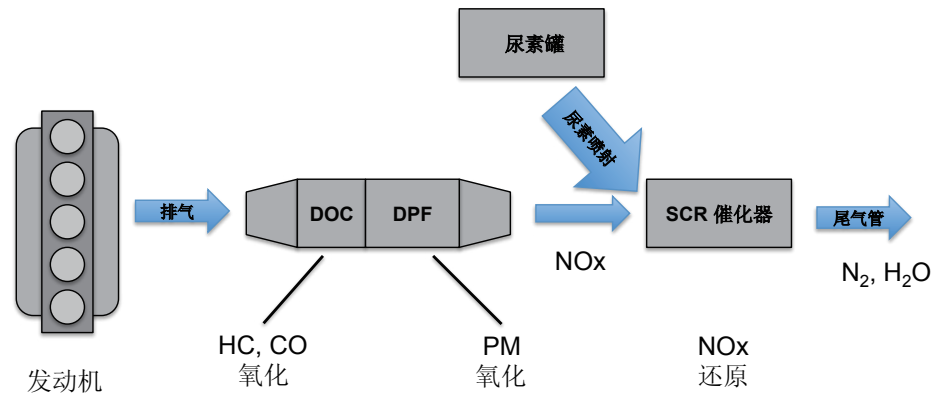
- 降低柴油机尾气排放主要有两种方法：1) 改进发动机技术降低发动机排气污染物；
2) 采用后处理技术在发动机尾气从缸内排出但未排放到大气中之前将污染物除去。

当采用发动机机内技术时，存在 NO_x 排放、PM 排放和发动机效率平衡的问题。降低 PM 排放的同时会倾向于升高最高燃烧温度，从而提高发动机的效率和导致 NO_x 排放的增加。而降低 NO_x 排放的方法将会增加 PM 排放并且降低发动机效率。

当开发设计的发动机要满足欧 IV 法规时，有些制造商选择使用尾气再循环 (Exhaust Gas Recirculation, EGR) 技术来降低发动机 NO_x 排放，同时在排气管上使用后处理器如柴油车氧化催化器 (Diesel Oxidation Catalyst, DOC) 或者催化型部分流捕集器 (catalyzed partial-flow filter, PFF) 来降低 PM 排放。另外一些制造商选择不同的缸内技术 (提高最高燃烧温度) 来降低发动机的原始 PM 排放，同时使用后处理——特别是选择催化还原 (SCR) 系统，来满足 NO_x 排放的限值。当开发的发动机需要满足更严格的欧 V 法规的 NO_x 排放限值时，基本上所有的欧洲发动机生产厂家都采用了 SCR 系统。

SCR 使用液态的还原剂，通过催化还原，把柴油机尾气中的 NO_x 还原成元素氮。对于移动应用设备，一般使用的还原剂是质量分数为 32% 的尿素和水的混合液。SCR 还原性催化器被安装在排气管道上，尿素水溶液被喷射到催化器之前的尾气中 (详见图 5)。

图 5: SCR 系统及其上游的 DOC 和 DPF 安装示意图¹¹



¹¹ 该配置图是一个典型的用于满足美国 2010 排放法规的发动机和后处理器系统设置，预计用于满足欧 VI 排放法规的系统设计也会使用类似的布置。

专栏 1 EGR + PFF 可能存在别的其它问题

本报告强调了在城区工况行驶过程中 SCR 在低温条件下性能变差的问题。之前有证据表明，通过欧 IV 排放型式核准的装配 EGR 和 PFF 的发动机在城区工况下比装配 SCR 的发动机 NO_x 排放要低，但是这些发动机可能有较高的 PM 排放。PFF 过滤了发动机排出的一部分尾气，尾气中碳基的 PM 会被过滤器介质捕集并通过氧化作用来去除。但是，这些设备在过滤器周围设有“旁路”用以防止堵塞和造成发动机背压增加。在排气长时间处于低温时，捕集的 PM 不能被氧化以至于过滤器被塞满。一旦过滤器被堵塞，全部尾气都将在未经过滤的情况下直接从设备中排出。(US EPA, 2008; Mayer, 2009)

尾气中的热量把尿素热解成氨气，当氨气与氮氧化物通过 SCR 催化器时发生还原反应。SCR 系统在移动设备上的应用示意图见图 5。

尿素的喷射量必须要精确控制，要与发动机运行相匹配——如果尿素太少，最终排放出的 NO_x 就达不到预期的削减效果。如果太多的话，尾气管排出的氨气污染物将增加。有些系统包括“氨泄漏氧化催化器” (ammonia slip oxidation catalyst)，可以氧化 SCR 催化器释放出的氨，防止其进入大气¹²。

SCR 系统减排 NO_x 的效率（相对发动机原始 NO_x 降低的 %）取决于一系列的设计参数，包括催化器材料，催化器的容积，尿素喷射的控制策略，还有系统中各装置的位置。SCR 的工作效率还与温度有关，如果排气温度低于某个阈值时被喷射的尿素将无法转化成氨气。在低温条件下，催化剂的活性也会显著降低。

SCR 转换效率降低的温度阈值的具体数值与系统设计有关。对于大多数欧洲卡车和公交车装配的 SCR 系统来讲，催化剂活性在低于 280 °C 时会显著降低，低于 200 °C 时就不再喷射尿素，因为即使喷射了也不能被转化为氨气。然而系统设计的很多方面都能影响温度阈值，最主要的影响因素是基于钒基催化剂的使用，事实上欧洲所有的 SCR 都是用钒基催化剂。与其他催化器相比，钒基催化器成本低，有较好的耐硫性能，但钒基催化器的低温性能相对较差。（详见第二部分）

对于柴油发动机，排气温度通常随发动机负荷变化而变化。在怠速时，排气温度能低至 100 °C，而当发动机负荷接近最大时能超过 500 °C。城区工况的典型特征就是低速而且反复停车一起步，车辆的负载也相对较低。低转速、低负荷的城区工况一般会导致排气温度低于 300 °C。在这种工况下，由于尿素喷射的缩减和催化器的较低活性，普通的欧洲 SCR 系统基本上一直工作在很低的 NO_x 转化效率的状态。

¹² 欧 IV/V 型式核准规定 ETC 循环中氨排放不超过 25ppm。欧 VI 法规要求降低至 10ppm。

专栏 2 EEVs 具有较好的低温 NO_x 性能

正在实施的欧 V 法规中 (2005/55/EC) 包括了一项针对环境友好车辆 (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle, EEV) 的自愿性排放法规。据报道, 虽然实际的 EEV 法规只要求 PM 排放要比欧 V 型式核准的要求低, 但是有些制造商因应顾客的要求生产了降低 PM 排放的同时改进在城区工况下低温时的 NO_x 排放的 EEV (Stein, 2011)。

所有类型的卡车都有 EEV; 例如, 2010 年在德国有 52% 新注册的城市公交车和城际客运车是 EEV, 同时还有 32% 的牵引车和 19% 的其它整车质量大于 3,500 kg 的卡车属于 EEV (KBA, 2011)。虽然所有 EEV 的 PM 排放要低于其他类似级别的通过欧 V 型式核准的车辆, 但是不太确定其中有多少车辆在城区工况中能减低 NO_x 的排放。实际的排放测量表明其中的某些车辆的确具备在城区工况中降低 NO_x 排放的能力 (Ligterink, 2009), 但是 EEV 的定义还不足够保证所有的 EEV 都一样。

有些公交公司, 譬如伦敦公交集团, 要求制造商提供通过具体的实际道路测试循环来表明其提供的车辆在城区工况也只有很低的 NO_x 排放 (Coyle, 2010); 某些公司可能通过实际的尿素使用量来判断实际的 NO_x 排放降低性能 (Stein, 2011)。

为了能达到更好的低温 NO_x 转化性能, 这些车辆使用与普通的欧 V 车辆一样的 SCR 硬件系统, 但是可能有更大的催化器、不同的系统布置、不同的控制策略以及不同的发动机标定。对于这些车辆, 一般来说牺牲 1-2% 的燃油成本就能达到在城区工况低 NO_x 排放的效果。

1.3 欧 IV 和欧 V 型式核准的局限性

导致通过欧 IV 和欧 V 型式核准的卡车和公交车在城区工况下 NO_x 排放较高的原因是型式核准过程的局限性。目前所有的排放认证都是要求发动机或汽车在一个或多个指定的测试循环下运行, 并能够满足特定的排放限值要求 (法规工况排放)。而当发动机和车辆在法规测试循环之外的工况条件下运行时, 许多其他国家的认证规定也提出了额外的在用车排放限值 (在用车符合性或非法工况排放)。目前欧 IV 和欧 V 车辆所面对的问题就是型式核准流程存在缺陷, 管理规定中也没有提出在用车符合性方面的要求。

欧 IV 和欧 V 的型式核准是基于发动机的欧洲稳态循环 (European Steady-state Cycle, ESC) 和欧洲瞬态循环 (European Transient Cycle, ETC) 的测试。ESC 由一系列的稳态发动机负荷点 (最高转速的 % 和最高负荷的 %) 组成, 而 ETC 是瞬态工况, 即在测试循环内发动机的转速和负荷连续地变化。但事实上, 这两个测试循环都不能全面的代表发动机在实际运行过程中的所有工作范围。在整个测试中, 这两个测试循环中发动机平均负荷都相对较高, 这就意味着整个循环内的平均排气温度也较高。而且, 测试程序允许发动机制造商自行定义测试之前发动机的预处理状况。事实上所有的厂家都会在测试开始之前完全预热发动机使发动机排气温度高于 300°C。在这种测试条件下, 装配 SCR 的发动机能够满足欧 IV 和欧 V 的 ETC 测试限值, 即使其 SCR 系统在低排温下的 NO_x 转化效率很低。

欧盟法规相对较弱的在用符合性条款更加大了实验循环的局限性。事实上, 在欧 V 排放法规中唯一涉及在用符合性要求是在第 2 条的第 10 部分, 在 ETC 测试中规定 “在任意随机选择的负载条件下, 除非发动机运行条件属于本规定豁免的特殊情况, 在指定的控制区域内, 污染物排放取样结果 (不低于 30 秒) 不应超过限值要求的 1 倍”。

欧洲委员会从来没有完整的给出“指定的控制区域”和“特殊的发动机运行条件”的定义，而且也从来没规定一个测试程序来评估上述规定的达标情况。而且，发动机制造商一般都把这个要求理解为实际道路排放（比如城区工况）不高于 ETC 的限值 2 倍是合法的。这种情况下，欧 IV 车辆的 NO_x 排放能高达 7 g/kWh，而欧 V 车辆能高达 4 g/kWh¹³。

对于装配 SCR 的发动机，即使其使用的 SCR 系统在低排温条件下 NO_x 转化效率很低以至于在实际的城区工况中产生很高的 NO_x 排放，也可能会顺利的通过欧 IV 和欧 V 的型式核准。

欧 IV 和欧 V 法规没有强而有力的实施制度容许其成员国强制要求制造商由于实际道路高排放问题对在用卡车作出改造。欧 IV 和欧 V 法规没有规定制造商要进行实际道路排放测试。另外，对于一个具体型号的发动机，如果通过欧 IV 和欧 V 型式核准后在新法规生效前其型式核准证书是一直有效的——譬如在 2014 车型年欧 VI 法规生效之前¹⁴。缺乏实际道路测量和对型式核准进行周期性更新的要求使得审批机构很难由于实际道路排放很差而撤销目前的型式核准。

1.4 欧洲的未来：即将在 2014 年到来的欧 VI 法规

相比欧 IV 和欧 V 排放法规，欧 VI 法规改进了发动机型式核准的测试程序和在用符合性条款规定，加强了对低负荷城区工况和非法规循环的污染物排放的控制。审阅过本报告的专家一致认为上述改进将迫使制造商改进他们 SCR 系统在低排温时的性能，所以经过欧 VI 型式核准的发动机将显著降低欧 IV 和欧 V 发动机汽车在城区工况下 NO_x 污染物的排放¹⁵[9]。

最主要的改进包括要求冷启动试验，规定测试开始时发动机和后处置装置系统的温度在具体的范围之内；使用不同的更具代表性的测试循环；以及较强的在用符合性条款要求。

1.4.1 新测试循环：世界统一测试循环（WHTC）

欧 VI 排放法规将使用世界统一稳态循环（World Harmonized Steady-state cycle, WHSC）和世界统一瞬态循环（World Harmonized Transient Cycle, WHTC）。这两个测试循环比 ETC 和 ESC 更能代表实际工作状态，包括城区工况。

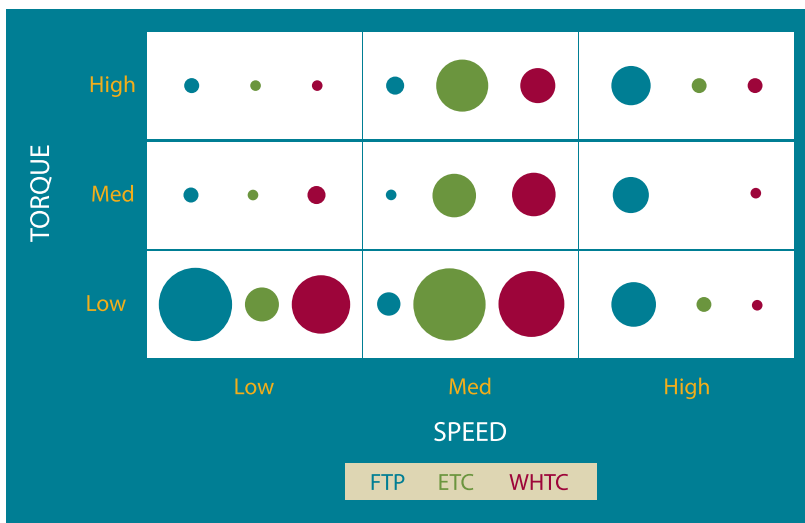
图 6 对比了 WHTC、ETC 和美国认证测试循环 FTP 在发动机不同工作区域的时间百分比。由图示可知，ETC 主要工作区域是中等转速下的从中等负荷到高负荷，而 WHTC 显著提高了低转速和低负荷测试占用的时间比例，这正是发动机在城区工况运行时的典型工况。WHTC 循环下发动机平均转速与最高转速时间比是 36%，而 ETC 是 57%。WHTC 的平均发动机功率是 17%，而 ETC 是 31%。另外，WHTC 循环包含了 17% 的怠速时间，而 ETC 只有 6%。所以对于一台典型的发动机在运行 WHTC 循环时的平均排气温度要低于 ETC 循环。

¹³ 欧 V/V 法规要求配备 OBD 系统来监测系统以及实际的 NO_x 排放。OBD 要求欧 IV 和欧 V 车辆 NO_x 排放高于 5.0g/kWh 和 3.5g/kWh 时候，系统报警。对于欧 IV 和欧 V 汽车，如果测量的 NO_x 排放高于 7g/kWh，发动机会限制发动机转速，这样就会清楚地告诉驾驶员车辆需要维修调整。

¹⁴ 相比之下，美国环保局要求发动机制造商在每个车型年都需要从新认证其所生产的发动机车型。

¹⁵ 本报告作者调查了美国、欧洲、日本和中国的 14 位法规制定者、专家、咨询机构工作者、和发动机及后处理装置生产商等行业的专家学者。

图 6：WHTC、ETC 和美国 FTP 测试循环各个模式下相对时间的对比 (%)



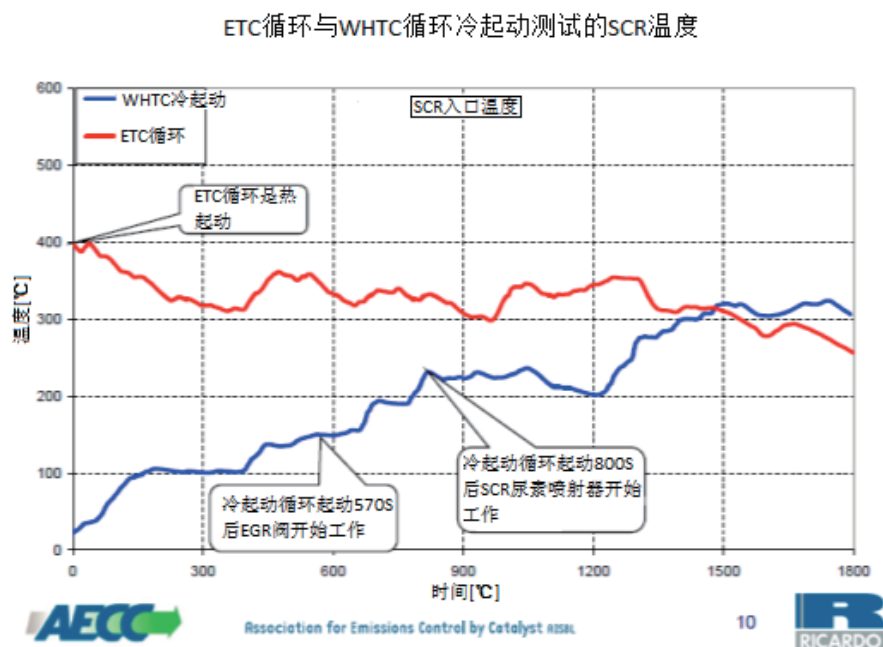
1.4.2 冷启动测试

另一个很重要的改变就是 WHTC 测试要求发动机是冷启动¹⁶。整个测试协议要求进行一个完整的冷启动 WHTC 测试，紧接着是 10 分钟的热浸时间（发动机关闭并且不采集数据），然后一个热启动的 WHTC 测试。发动机最终的认证排放值由冷启动和热启动加权计算而来，冷启动的加权系数为 10%，热启动的加权系数为 90%。图 7 是一台装备 EGR 和 SCR 的欧 IV 发动机运行欧 IV/V 型式核准的 ETC 循环和 WHTC 冷启动循环时的排气温度比较结果。结果表明，在 ETC 循环中排气温度很高以至于测试一开始就可以进行尿素喷射，但是在 WHTC 冷启动测试中，因为排温太低，尿素在循环的前约 800 秒（13 分钟）都无法进行喷射。在冷启动试验中，即使 EGR 系统也需要在测试启动了 9 分钟后才能开始运行。

欧 VI 排放法规对冷启动测试的引入将迫使发动机厂商不得改善 SCR 系统在低排温下的性能，否则他们将不能满足欧 VI 法规 WHTC 循环的测试限值。

¹⁶ 冷启动程序要求定义在 UN/ECE 法规 49 部分，附录 4B，7.6.1—7.6.2。法规允许自然或强制的发动机冷却，冷启动试验要求发动机冷却液、润滑剂和后处理装置系统温度在 20°-30°C 之间。与欧 V 不同，在欧 VI 标准下是不允许生产商自己设定预处理范围的。

图 7： WHTC 冷启动循环和 ETC 循环排气温度对比 *



* 来源：Richert (2007)。得作者允许可复制使用。

1.4.3 非法规循环排放的要求

欧 VI 排放法规同时还特别要求制造商采取措施以限制非法规循环排放。法规要求制造商要有效控制正常使用车辆的整个生命周期内的排放，包括发动机可能工作的所有运转工况。

为了证实符合性，厂商必须对各个认证发动机系族的排放使用 PEMS 展开实际道路排放测试项目。排放测试必须要在型式核准后的 18 个月内开始，而且在发动机寿命周期内每两年重复一次。所有的实际道路测试必须覆盖车辆运行的典型的路线，包括城区工况 (<50 km/h)，郊区工况 (50<km/h<75) 和高速工况 (>75 km/h)。对于大多数车辆，城区工况所占的比例应该占数据采集总量的约 45%¹⁷。每次进行实际道路测试的最短持续周期由发动机产生的总功率决定而不是时间；每次测试必须连续进行直到发动机发出的总功至少是该发动机运行 WHTC 测试循环产生的净功率的 5 倍。

分析实际排放测试数据时将采用“移动平均窗口”(Moving Average Window) 方法。这意味着数据并不是整个测试周期内的平均值，而是在一组数据子集或“窗口数据”内进行平均，每组窗口数据的数据量应等效于发动机运行一次 WHTC 测试循环的数据量。要想达标，各个窗口的平均排放 (g/kWh) 不能高于 WHTC 测试限值的 1.5 倍。

虽然欧 VI 排放法规要到 2014 车型年才会实施，很可能在这两年之内如果有的话也只有很少的新欧 V 发动机进行型式核准。但制造商将会继续销售那些已经通过欧 V 和 EEV 核准的发动机和车辆。

¹⁷ 对于 N3 类车辆（整车质量大于 12,000 kg 的货车）城区工况必须占约 20%，郊区工况 25%，高速工况 55%

1.5 发展中国家和新兴市场：中国、印度、巴西和墨西哥

欧洲车辆排放标准并不仅仅影响欧洲。与欧洲相比，虽然在实施时间上存在一定的延后，但世界上很多发展中国家采用了欧洲法规内容。

欧 IV 和欧 V 的型式核准程序的局限性同样也会在这些发展中国家产生类似的影响，即在城区工况中产生较高的 NOx 排放。因为这些国家的车辆通常行驶在低速工况，车队的很大比例是城市车辆，这种现象在这些国家，例如印度和中国，很可能显得更加突出，严重削弱他们为提高空气质量所做的努力。

1.5.1 采用欧洲排放法规模式

图 8 显示了世界上重型卡车和公交车保有量最多的国家重型发动机排放法规实施时间变化情况。从图中可以看出，许多欧盟以外的国家都是采用欧洲法规进行发动机认证，这些国家包括中国、印度、巴西、俄罗斯、韩国和泰国。墨西哥以前是采用美国排放法规，但最近变成了可以在美国和欧洲法规任选其一认证发动机。

截止到 2011 年，中国和印度除了少数大城市，在全国的大部分地区已经对新重型车实施了欧 III 排放标准。中国计划在 2012 年在全国范围内对新卡车和公交车实施国 IV 排放标准，但最近决定推迟到 2013 年 7 月 1 日实施；北京市正在考虑从 2012 年开始要求在北京注册的新卡车和公交车满足欧 V 排放标准¹⁸。印度只是在 2010 年在几个主要城市中实施了欧 IV 排放标准。墨西哥从 2008 年开始对新发动机执行欧 IV 排放标准（或美国 2004 标准）。巴西计划从 2012 年 1 月起跨越了 PROCONVE 6 标准，直接执行 PROCONVE P7（相当于欧 V 标准），而之前执行的是 PROCONVE 5（相当于欧 III）。

上述没有一个国家制定了具体实施欧 VI 或美国 2010 排放标准的时间表，虽然墨西哥于 2011 年中期成立了一个法规工作组研究在 2015 年执行这些排放标准。

若照搬现行的欧 IV 和欧 V 认证程序，在这些国家销售的新卡车将重蹈欧洲现有在用卡车的覆辙，这将严重削弱这些国家实施新法规预期带来的效益。

图 8：世界主要国家和地区重型柴油车排放标准

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
欧盟体系	欧盟	Euro IV		Euro V						Euro VI	
	中国 ⁽¹⁾	China II (Euro II)		China III				China IV			
	印度 ⁽¹⁾	Bharat II (Euro II)			Bharat III			TBD			
	韩国	Euro III		Euro V			TBD				
	俄罗斯	Euro I	Euro II	Euro III		Euro IV		Euro V		Euro V	
	泰国	Euro II		PROCONVE P-5 (Euro III)				PROCONVE P-7 (Euro V)			
非欧盟体系	日本	New Short Term Standards					Post New Long Term Standards				
	美国	US 2004		US 2007		US 2010					
	加拿大 ⁽²⁾	US 2004		US 2007		US 2010					
	墨西哥 ⁽³⁾	US 1998 / Euro III		US 2004 / Euro IV			TBD				

(1) 主要城市已引入排放法规加速计划，表中所列年份为全国执行时间
 (2) 加拿大排放法规设计成与美国排放法规保持一致
 (3) 墨西哥排放法规设计成与美国和欧盟的排放法规保持一致，发动机制造商可自由选择美国排放法规或欧洲排放法规进行发动机认证

¹⁸ 主要城市包括德里、孟买、加尔各答、钦奈、班加罗尔、海得拉巴、艾哈迈达巴德、普纳、苏拉特、坎普尔和阿格拉。

1.5.2 燃油硫含量水平及其对排放控制技术的影响

不同的国家对柴油燃料中硫含量的限制值有很大的差异。如图 9 所示，大多数的发达国家都已经强制将柴油燃料中硫含量的限值降得很低（10–15ppm），但是像印度、中国和巴西这些国家现在仍然允许使用较高硫含量的燃油。在中国、印度和巴西，硫含量小于 50ppm 的超低硫柴油（Ultra-Low Sulfur Diesel, ULSD）只在某些主要城市供应。在巴西，从 2012 年 1 月 1 日起，在全国的一些加油服务站供应了硫含量 50ppm 的柴油。在墨西哥，低硫柴油只供应靠近美国边境的地区和一些大城市（仅用于公交车车队）。

燃料中的硫很重要，因为包括 SCR 在内的很多基于催化原理用于降低柴油机 NOx 和 PM 排放的技术对于燃油中的硫含量都非常敏感。正如第二节中所讨论的，一些用来改善欧 IV 和欧 V 发动机 SCR 系统低温性能的技术，特别是应用铜分子筛的催化剂，在油品硫含量大于 50ppm 时是不能使用的。

没有超低硫燃料，要满足中等严格的排放标准（比如欧 V）需要采用其他成本较高、实施难度更大的技术。要满足最严格的排放标准（例如欧 VI），没有超低硫燃料是近乎不可能的。

图 9：世界主要国家和地区柴油机硫含量限值（ppm）

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
欧盟体系	欧盟	50			10							
	俄罗斯	2,000			350		50		10			
	韩国	100	30			15						
	泰国	350					50					
	中国	2,000					350					
	印度	500					350					
	印度城市	350					50					
	巴西	2,000			1,800 / 500				1,800 / 500 / 50			
非欧盟体系	日本	50		10								
	美国	500		15								
	加拿大	500		15								
	墨西哥	500										
		ULSD										

1.5.3 发展中国家和欧洲国家车辆构成情况的比较

表 1 统计了在 2007 至 2010 年之间在美国、欧洲、中国、印度和巴西的卡车年均注册和销售量。

如表所示，美国的轻卡销售量达到了欧洲和中国的五倍以上，但是大部分轻卡并不是真正意义上的商用车，而是私人的交通工具¹⁹。美国的货运车辆绝大部分是大型组合式卡车。相比于美国，中国和欧洲的轻型和中型卡车占商用车的百分比更大。

不计美国的轻型卡车销售量，中国的整个卡车市场销售量远超出西方发达国家的销售总量，其中中国的中、重型卡车年销售量近 200 万辆，美国和欧洲加起来仅 90 余万辆²⁰。

¹⁹ 绝大多数的这些美国轻型卡车是皮卡和运动型多用途车。其中一些皮卡是用作商业用途，但大部分是私人汽车。这类别的车辆还包括面包车，其中一部分用作营运的或私人客运。

²⁰ 须注意的是表 1 的数据包括美国经历经济危机和衰退的时期，欧洲在同一时段也受金融危机影响但幅度相对较小。2007 至 2010 年，重型货车的年均销售量与 2006 年相比，美国下降了 50%，欧洲各国则下降了 17%。

西方国家机动车保有量与发展中国家比如中国、印度的另一个显著的区别在于发展中国家的车辆组成中大部分是“城市车辆”，尤其是公交车。例如，中国的商用车中有 12% 是公交车，印度则达到 22%，相比之下，欧洲只有 3%，美国不到 6%。

与欧美国家相比，发展中国家（包括中国、印度）的卡车功率与重量比较小。尤其是中国，据报告中国的货车经常超载，这使得比功率的差别更大。此外，发展中国家货车的行驶速度往往比欧美国家的慢—包括在市内、高速公路以及乡镇道路的行驶状况。要想精确描述这些运行工况的差别对平均排温的影响是很困难的。通常低速工况会使排气温降低，但低的比功率又会使排气温升高。

表 1：主要国家和地区年平均新重型车辆注册量（2007–2010）*

国家 / 地区	轻型商用车		中型商用车		重型商用车		总计
	公交车	其他	公交车	其他	公交车	其他	
欧洲	11,000	1,791,000	38,000	341,000	24,000	243,000	2,448,000
	小于3.5吨		3.5吨~16吨		大于16吨		
美国	NA	6,406,000 ¹	13,000	138,000	3,000	118,000	6,678,000
	小于4.5吨		4.5吨~15吨		大于15吨		
中国	137,000	1,192,000	256,000	1,073,000	3,000	610,000	3,271,000
	小于3.5吨		3.5吨~18吨		大于18吨		
印度	NA	NA	8,200 ²	73,100	57,300 ³	156,400	295,000
	小于3.5吨		3.5吨~12吨		大于12吨		
巴西	NA	3,600	7,100	37,500	7,300	81,800	137,300
	小于4.5吨		4.5吨~15吨		大于15吨		

1 包括所有小于4.5吨的轻型卡车，其中很多是用于私人交通工具 2 包括所有的小于5吨的公交车
3 包括所有大于5吨的公交车

* 来源：ACEA (2011)²¹；US Commerce (2011)，Polk (2009)，Polk (2010)；Segment Y (2011)，Polk (2011)。

在所有的发展中国家，预期满足欧 IV 和欧 V 标准的技术路线是借鉴欧洲和日本的方法。对于欧 IV，一些发动机制造商可能会采用 EGR+DOC 或 PFF 的技术路线，而实际上对于欧 V 所有制造商都会采用 SCR。例如，在已经满足欧 IV 标准并且在中国通过型式核准在售的 553 个重型柴油机型号中，有 13% 采用 EGR，87% 采用 SCR²²。另有 72 个型号采用 EGR 技术的发动机尚待批准²³。

²¹ 数字显示为在欧盟 27 国和 3 个欧洲自由贸易区国家平均在 2005–2010 年每年注册的数字。

²² 所有使用 EGR 降低 NO_x 的发动机也都使用了催化转化器来降低 PM。大约 3/4 使用 PFF 加上 DOC，而 1/4 只使用 DOC，还有很少的使用壁流式催化过滤器。

²³ 与机动车排污监控中心关敏的个人通讯

2. 降低城区工况下装备 SCR 发动机 NO_x 排放的技术方案

在低排温时 SCR 系统对 NO_x 的降低效率受到两个不同因素的限制：1) 作为还原剂的尿素无法分解为氨；2) SCR 催化剂活性低。因此改善低温条件下尿素 SCR 系统性能的技术方法分为两类：1) 提高尿素的分解能力；2) 提高低温时催化剂的活性。第一个方法可以通过使用尿素混合器、尿素加热器或者尿素分解催化剂等来实现。

表 2 总结了 SCR 系统中使用的不同类型的催化剂。大部分欧 IV 和欧 V 的 SCR 系统使用低温活性较差的钒基催化剂，但是可以通过在 SCR 催化剂前面使用氧化催化剂来优化排气中的 NO 和 NO₂ 的比例从而提高钒基催化剂的低温活性。或者使用低温活性较好的铜分子筛催化剂，但是这种催化剂对燃油硫含量更为敏感。不论采用何种材料催化剂，还可以通过增加催化剂的体积或者通过不同喷射策略优化氨在催化剂中的存储来提高。然而，当 SCR 催化剂后面没有有效的氨泄漏催化剂时，最后一个策略会增加排气管中的氨排放（氨逃逸）。

表 2： SCR 催化剂特性 *

特性	催化剂材料		
	钒	铜分子筛	铁分子筛
主要市场	欧IV	美国，自2010起	日本，自2005起
最佳工作温度 (deNO _x)	300 ^a – 450°C	225 ^a – 500°C	300 ^a – 500 ^a + C
冷启动性能	差	好	差
对燃油硫含量的耐受力	2000 ppm	50 ppm	50 ppm ¹
成本	~\$2,200 US	~\$3,200 US	~\$2,700 US
抗HO 中毒性	较高	较低	
热稳定性	差 ²	好	
其他问题	难以与主动再生的DPF集成	低温性能很依赖 NO ₂ /NO _x 比例	
¹ 如果尾气在600°C以上可以定期再生那么能够承受350ppm的硫含量。 ² NO _x 转化效率可能降低，500°C以上可能会排放V ₂ O ₅ 。			

* 来源：Johnson (2009)；Cheng (2009)；MECA (2007)；Hodzen (2010)。²⁴

²⁴ 与康明斯 Hodzen, E. 的个人通讯, 2010.

相关的改善方法还有使用不同的还原剂，或者除了尿素外同时使用第二种还原剂，这样在排气温度低的时候也能保证较高的 NO_x 降低效率。还原剂的潜在替代者包括氨和硝酸铵。氨对人体有很高的毒性，同时在相关的配送和在线存储方面可能引起安全问题。一种在商业化早期阶段使用的潜在技术把氨吸附在一个固态存储介质 (AdAmine™) 然后根据需求再释放氨。任何一种除尿素之外的替代或者附加还原剂都将需要开发新的配送和供应设施。

另一种潜在的改良方法涉及主动排气热量管理——即控制发动机运行参数，提高发动机在城区工况低负荷时发动机排温，从而保持尿素的喷射和 SCR 系统的活性。排气温度的增加可以通过延迟燃油喷射时刻、使用燃油后喷或者使用进气或排气节流阀来实现。还有一种独立于发动机操作而能够增加发动机排气温度的方法是直接往排气中喷射燃油（在催化剂上喷射或者在一个燃料燃烧嘴中燃烧放热）。

大部分满足美国 2010 年排放标准的大型柴油机已经应用排气热量管理，在改善低温下 SCR 系统性能的同时也能使主动 DPF 再生。这对欧洲很多厂家而言也很可能是一个能够满足欧 VI 标准的重要策略。除了成本和包装问题，这个策略最重要的权衡就是所有排气热量管理方法一般都增加 2% 甚至更多的燃料消耗。最先进的方法（如缸内后喷和进气、排气节流）同样需要高压共轨燃油喷射和可变几何涡轮增压，但是这些技术并不是所有的欧 IV/V 发动机上都有。

最后，还可以使用另一种方法来降低低负荷时发动机的原始 NO_x 排放，从而在 SCR 系统的 NO_x 转化效率很低时排气管排放的 NO_x 仍然很低。方法包括改善增压中冷和更高的 EGR 率。但是在低负荷时使用高 EGR 率会同时增加燃油消耗和颗粒物排放。

表 3 总结了可以使用的方法包括其发展状态、使用限制以及涉及的权衡利弊。

当评价各种技术方案对改善欧 IV 和欧 V 的 SCR 系统性能改进时，必须考虑成本和应用于三种不同类型的卡车的可行性问题：

- 1) 在欧洲、中国和印度的部分城市和自 2012 车型年起在巴西已经交付并使用的 2005 – 2012 车型年的卡车和公交车²⁵
- 2) 还没有交付欧洲使用的 2013 车型年的卡车和公交车（欧盟试制）
- 3) 在中国、印度和其它发展中国家使用的 2013 车型年以后的卡车和公交车（非欧盟试制）

即使某种改造方案对于上述的一类车辆是可行的且具有较好的成本效益比，这种方案也未必适用于其它两类车辆。特别是，中国和印度的燃油硫含量高，可能使得在欧洲国家可行的技术方案变得不可行。此外，事实上表 3 中囊括的技术方法可以被将来的新发动机采用，但是很多方法难以用于目前卡车的改装，特别是排气热量管理的缸内控制方法。其他方法即使技术上可行，但可能成本太高或者对于在用车的改造来讲在整车集成方面有很大的困难。

²⁵ 虽然直到 2013 年欧 IV 标准才会在中国全国范围内实施，但是国内几个城市已经在实施。欧 IV 标准在印度的几个城市中 2010 年开始实施。欧 V 在巴西 2012 年 1 月实施。具体见 1.5.1 部分。

除了成本，整车集成通常是大多数重型汽车改装方案中最重要的制约因素。重型车辆市场很复杂，而且分散在很多国家，车型和配置也多样化。为了使新的或者改造过的组件配备到现有的排气系统中，尽管多种配置的车使用相同的发动机和底盘，每个车型或者配置都需要独特的设计。

NO_x 改造方案必须由一个可靠的认证和测试项目为售后改造设备提供支持，以保证改造措施不会引起意想不到的后果，譬如导致被改造的发动机 PM、氨气或者 N₂O 排放更高。

车辆升级费用依具体的技术以及是否是由原设备作出改变或者是改造而不同。一些技术也相当的便宜。一个柴油氧化催化器或者尾气加热器的成本还不到 1000 美元。一些在这报告建议的方法是在现有的系统中作出改变（如提高 SCR 催化器体积）。由于满足欧 VI 排放标准的技术成本较高，我们预期通过升级改造原有车辆来降低城市 NO_x 排放的成本会相对较低；成本增加的上限预计为 5000 美元 / 辆²⁶。这是在美国或欧洲总车辆费用中很小的一部分。

²⁶ 我们预计额外的费用将接近满足欧 VI 排放标准的成本减去添加 DPF 的费用。独立的成本评估分析预计在 2012 年将一台 13 升发动机从欧 IV 提升到欧 VI 排放水平，额外的费用为 4866 欧元（约 6200 美元）（Gense et al., 2006, ICCT, 印刷中）。ICCT 估计 DPF 以及附属的硬件的成本约为 1600 美元（ICCT, 印刷中）。在发展中国家工资成本应较低。

表 3: SCR 系统低温性能改善方案总结

方法	技术	目的	发展状况	使用限制	权衡利弊	来源
提高尿素的分解能力	尿素加热喷射、反应器	保证尿素能在低温度排气情况下分解为氨	在研发中	<ul style="list-style-type: none"> 整车集成 控制策略 	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本 要使用燃料或电加热 	Kowatari et al. 2006 Emitec 2010
	尿素混合器	<ul style="list-style-type: none"> 降低蒸发时间 改良还原剂在催化剂上的分布 	在研发中	整车集成	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本 增加背压 	Johnson 2011a, Zhan et al. 2010, Tenneco 2011
	尿素分解催化剂 (TiO ₂)	保证尿素能在低温度排气情况下分解为氨	在研发中	整车集成	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本 增加背压 	Johnson 2011a, PSI 2010
提高低温时催化剂的活性	在SCR前面放置氧化催化剂 (DOC)	<ul style="list-style-type: none"> 优化 NO:NO_x 比例 对钨基催化剂, 目标为 50:50, 分子筛催化剂需要更高 NO₂ 的比例 	生产中	整车集成	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本 增加背压 	Chatterjee et al. 2008 MECA 2007
	铜分子筛催化剂	<ul style="list-style-type: none"> 比钨基催化剂在低温度排气情况下达到更高 NOx 转化效率 较好的热稳定性 	生产中	<ul style="list-style-type: none"> 要求燃料的硫含量低于 50 ppm 在长时间急速的情况下催化剂会有碳氢化合物中毒的风险 	加重成本	Johnson 2011a Walker 2010, Yang et al. 2010
	优化控制策略/尿素喷射策略	在高负荷时增加催化剂的氨储备, 这多余的氨储备可在低负荷时使用。	生产中	<ul style="list-style-type: none"> 要求闭式回路控制 要求有有效的氨逃逸催化剂 	<ul style="list-style-type: none"> 氨逃逸的风险 可能产生 NO 可能需要较大的催化剂体积 	专家访问
	改进氨逃逸催化剂	<ul style="list-style-type: none"> 对氨氧化物更高的选择性 可能可以容许更强的尿素喷射策略 	在研发中	控制策略	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本? 可能产生 N₂O 	Johnson 2011a, Follic 2010

表 3: SCR 系统低温性能改善方案总结

方法	技术	目的	发展状况	使用限制	权衡利弊	来源
提高低温时催化剂的活性	增加 SCR 催化剂体积	<ul style="list-style-type: none"> •降低空速 •可转化成 SCR 催化性的 DPF 	生产中	整车集成	<ul style="list-style-type: none"> •加重成本 •增加背压 	Johnson 2011a Walker 2010
	改善 SCR 载体	更薄的载体壁、更高的网孔密度可提供更大表面积	在研发中		<ul style="list-style-type: none"> •加重成本? 	Johnson 2011a Heibel 2010
	低质量 DPF	与现在使用的DPF比较, 加快 SCR 催化剂在冷启动时的起作用	在研发中		<ul style="list-style-type: none"> •加重成本? •DPF 耐久性? 	Johnson 2011a Heibel 2010
另类或补充还原剂	稀油氮氧化物捕集器 (LNT)+SCR	<ul style="list-style-type: none"> •结合 LNT 和 SCR •LNT 在低负荷还原再生时能产生氨 	在研发中	<ul style="list-style-type: none"> •整车集成 •LNT 还原再生控制策略 	<ul style="list-style-type: none"> •加重成本 •LNT 还原再生会消耗燃料 	Johnson 2011a Kodama et al. 2010 Chen et al. 2010
	氨吸附 SCR 系统 (AdAmmine)	<ul style="list-style-type: none"> •氨吸附于携带在汽车上的“罐”中的固体物质 •当发动机废气产生时, 气态氨被释放 	早期生产阶段	<ul style="list-style-type: none"> •整车集成 •AdAmmine 携带在汽车上的“罐”的位置和保修 	AdAmmine 配送基础设施	Johnson 2011a, Johannessen 2010
	喷射硝酸铵 (NH ₄ NO ₃)	<ul style="list-style-type: none"> •在喷射尿素以外同时喷射NH₄NO₃ •与NO_x 的作用相似, 可以改善钨基及分子筛基催化剂NO_x 的转化效率 	在研发中	<ul style="list-style-type: none"> •整车集成 •控制策略 •NH₄NO₃ 的车载存储问题 	<ul style="list-style-type: none"> •在车上存储第二种还原剂 •NH₄NO₃ 配送基础设施 •可能有腐蚀或安全问题 	Johnson 2011b Forzatti et al. 2010.

表 3: SCR 系统低温性能改善方案总结

方法	技术	目的	发展状况	使用限制	权衡利弊	来源
排气 热量管理	汽缸内燃油后喷	<ul style="list-style-type: none"> 在发动机循环尾气喷射(接近下止点) 未燃烧的燃料跟着排气离开汽缸, 在排气管中氧化 提升进入SCR的废气温度 	生产中 (满足US2010标准)	需配备高压共轨喷油系统	增加油耗	Charlton 2010
	进气及/或排气节流	在低负荷时增加排气温度	生产中 (满足US2010标准)	需配备可变几何涡轮增压器	增加油耗	Kodama et al. 2005 Charlton 2010
其他	在催化剂上直接往排气中喷射燃油	<ul style="list-style-type: none"> 在氧化催化器前对发动机排气直接喷射燃料 燃料氧化后提升进入SCR的废气温度 可以使用相同于主动再生DPF的设备 	生产中 (用作DPF再生还原)	<ul style="list-style-type: none"> 整车集成 控制策略 	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本 增加油耗 	专家访问
	排气燃烧放热器	<ul style="list-style-type: none"> 在SCR前方加一个燃烧放热器 (fuel burner) 将发动机排气温度提升 可以如用作提升/保护发动机冷却液的柴油加热器 	在研发中	<ul style="list-style-type: none"> 整车集成 控制策略 	<ul style="list-style-type: none"> 加重成本 增加油耗 	Tenneco 2011
	在冷启动和低负荷时提高 EGR 率	<ul style="list-style-type: none"> 提高 EGR 率会减少发动机产生的 NOx, 故不需要SCR 催化剂达到高的NOx 转化率 	不清楚	<ul style="list-style-type: none"> 要求发动机需配备 EGR 和SCR 控制策略 	<ul style="list-style-type: none"> 增加油耗 可能增加颗粒物排放 	专家访问

3. 改进发动机型式核准过程的管理选择

现在在用的欧 IV 和欧 V 卡车在城区运行时的高氮氧化物排放是由于新车型式核准工况的局限性。如果想改变这种状况必须改进新发动机型式核准规程。如前 1.3 节讨论，2014 年实施的欧 VI 法规能够在欧洲解决这个问题，2014 年之后的新车都将达到欧 VI 标准。欧 VI 标准着重强调了在用车排放的问题，改进了型式核准的测试规程和在用符合性的要求。

但是没有任何一个采用欧洲标准的发展中国家给出实施欧 VI 标准的时间表。在可以预见的将来，仍有具有高 NO_x 排放潜力的新车在这些国家销售。没有政府的法令，制造商自觉改进 SCR 系统在低温性能不太可能，因为这些工作可能会使他们的竞争力下降。如第二部分谈论的，虽然有多种可以改善 SCR 低温性能的技术手段，但都会使发动机的成本增加，而且相对于目前的欧 IV 和欧 V 标准的发动机，这些技术都有可能增加发动机的油耗。

当我们考虑到如何改进现在发展中国家发动机型式核准规程来解决这个问题时，欧 VI 法规和美国认证法规可以视为一个参考。为了彻底解决这个问题，我们需要从两个方面入手来解决标准测试工况和非标准工况的排放问题：1) 改进测试工况和认证过程，使其能更好的反映低负荷、低排温时的行驶情况（改进标准测试工况的排放）；2) 实施在用符合性要求来限制非法规排放。

3.1 测试循环和程序

对欧 IV/V 型式核准测试程序的最大的改进是增加了冷启动测试以检测低温时 SCR 系统的性能。不管测试循环是现行 ETC 或者其他的测试循环，都可以增加冷启动测试。发动机的冷启动测试必须是发动机冷却液和润滑剂以及后处理装置均在代表典型的环境条件的特定状况下才能开始。欧 VI 法规型式核准测试规程具体要求发动机和后处理装置温度必须在 20°C ~ 30°C 之间才能进行冷启动试验。在进行冷启动排放测试时，试验数据会在发动机和排气系统还没达到稳定操作温度时已开始收集。

冷启动测试完成之后，发动机可以关闭或者保持运行（怠速运行）一段时间，然后开始第二个测试，即“热启动”测试。发动机的“认证”排放值是冷启动测试和热启动测试的结果来加权得到。对于重型发动机，美国的冷、热启动的比例为 15% 和 85%，欧洲 VI 标准为 10% 和 90%。

如果保持欧 IV 和欧 V 测试标准限值不变，但是要求发动机的冷、热启动测试的加权结果来满足此限值，这将迫使发动机制造商改进 SCR 系统的低温性能。

为了提供一个更严格的标准使制造商改进 SCR 系统的低温性能，型式核准测试应该是一个不同于目前 ETC 工况的测试循环。理想的测试工况中，低负荷、低温条件的能反映城区车辆行驶状况的时间比例应该增加。

政策制定测国家可以采用现有的测试工况或者开发一个新的符合本国家实际情况的测试工况。对于现有的测试工况，美国的 FTP 工况和欧 VI 标准将采用的 WHTC 工况都可以作为备选工况。

3.2 在用车符合性

在排放法规中，在用车符合性要求：1) 预期车辆在所有变化条件下运行时的排放，而不仅是与法规核准工况相似的条件排放，都能得到有效控制；2) 为监管部门日后要求制造商改进在用车排放水平或取消其核准资格提供法规基础和途径。

理想的在用车符合性法规应：1) 清楚陈述在用车排放必须有效控制及列出要达到有效排放控制的条件和状况；2) 特别禁止通过修改发动机参数和控制策略的失效装置，这种装置使发动机在非法工况运行时排放增加；3) 要求进行在用车符合性测试。

一般来说，实际道路测试或者非法循环测试是基于法规工况排放限值而定，即采用大于 1 的“一致性系数”或者“不超越 (NTE)”排放限值（也就是说，在用车排放 [g/kWh] 可大于测试工况下的平均值，但不是无边际的）。如前面 1.3 节讨论的，欧 IV 和欧 V 所采用的法规没有对 NTE 的 2.0 限值的使用条件进行严格的定义。欧 IV 和 V 法规也没有强制要求车辆在型式核准时还是投入使用后进行测试以表明与实际排放限值的一致性。

欧 VI 法规作了更详细的在用车排放限制规定，要求车辆在各种条件下运作排放均能有效控制。欧 VI 也将进一步加严了 NTE 限值至 1.5 倍 WHTC 工况的限值，而且还提出了一个检查一致性的测试项目。

中国、印度和其他国家即使保持欧 IV 和欧 V 原有限值，也可以透过采取欧 VI 法规类似的在用车符合性规定来大幅加强对型式核准的规定。对不符合在用车符合性规定的惩罚也很重要。欧洲法规要求成员国制定有效的、相称的、劝诫性的惩罚规定，并且采取必要的措施确保规定得到实施 (EC NO 595/2009)。在美国的排放法规中一些得到有效实施的惩罚措施包括要求制造商付费实施的召回和维修规定，和对采用失效装置采取的罚款措施等。

4. 建议

在本节当中，我们将针对欧 IV/V 标准型式核准的卡车在城市中实际行驶 NO_x 排放较高的问题提供一些管理政策建议。由于欧洲已经颁布了欧 VI 标准，因此对欧洲的建议主要集中在在用车改造和车队更新方面。对发展中国家来讲，由于在全国或者部分地市正在实施欧 IV/V 标准，这部分车辆还会继续销售，因此建议主要集中在对新车的型式核准程序变化上。

在报告后的表 4 和表 5 归纳总结了具体的政策建议。

4.1 欧洲

目前，没有什么特别切实可行的方法来解决欧洲现有的欧 IV/V 卡车和公交车在用车实际道路高氮氧化物排放的问题。如果对目前的欧 V 管理法规进行修改，从着手修订到最终采纳至少需要一年的时间，而届时欧 VI 标准也即将实施，使得这项工作没有意义。考虑到欧 VI 标准的实施只有两年时间了，从现在到 2013 年底之前应该不会有新发动机进行欧 V 法规的型式核准。

本报告调查的专家一致认为考虑到欧 VI 法规即将实施生效，政府对欧 IV/V 卡车的进行改造的意愿并没有多少，而且将会受到发动机 / 汽车制造商和用户的强烈抵制²⁷。而且在欧洲型式核准不需要像美国那样进行更新，以及法规在用一致性要求方面的不足将限制监管部门可采取的管理手段。

²⁷ 这个项目中作者对 14 位相关的人士进行调查，涉及制造商、测试人员、法规制定者以及后处理设备商。

大多数专家都认为，欧洲在解决在用车排放问题方面政治上和经济上的投入更应该投放到加快实施欧 VI 标准和老旧车辆的淘汰上。有些专家也担忧大范围的改造项目可能会有潜在的副作用，比如如果对很少在城区行驶的长途运输牵引车进行改造，这些降低 NO_x 排放的技术大多数会增加燃油消耗（见第二节）。也有人认为有些降低 NO_x 的技术可能会增加颗粒物、氨或 N₂O 的排放。

尽管有种种挑战，在欧洲尤其是在地方层面上仍然有若干排放控制的项目正在进行，这些项目能在 2014 年欧 VI 法规实施之前，最大程度的降低在用车高氮氧化物排放对城市空气质量的影响。这些项目，包括老旧车辆提前报废、改造，以及对提前达到欧 VI 标准的财政奖励，将在下一章详细描述²⁸。

4.1.1 提前报废项目

最直接的控制老旧车辆高排放的办法就是通过强制或者发放补助的手段将它们从城市机动车队中去除。在大部分的提前报废项目中，只有用新车代替报废的旧车才能获得补贴，因此，这个项目能够在降低排放的同时也能促进经济的发展。

设计优良的报废项目，如加州空气资源委员会的 Carl Moyer Fleet Modernization Program，根据每吨污染物的成本效益（包括氮氧化物，颗粒物和 ROG_s）名次发放补贴。每笔补助的申请者都应按照车辆型号和使用情况，估计自己的每一辆车淘汰更新能带来的排放削减量。加州空气资源委员会然后依成本效益的估计来确定补助金额。而每项目补助金额也不可以超过一定的最大成本效益上限。

政策制定者应对报废项目加强管理，以确保项目预期的削减量能真正得到实现。最佳的情况是，项目能确保更新的新车与报废的旧车在功率和使用上保持一致，而且高排放的旧车确实报废了（而不是转移到了另一个国家或者地区）。

报废项目如果能够与其他在用车排放控制项目，如改造、财政奖励等，一同实施，将能获得最大的成功。

4.1.2 针对性的城市机动车改造

对高氮氧化物排放的城市机动车进行改造是政策制定者可以考虑的一个方案。然而，改造机动车是个复杂的、应用工程密集型的工作，必须谨慎实施以确保效果、预防对机动车和改造装置造成损坏并保证该装置和车辆的耐久性。在国际上，大多数机动车排放控制改造项目都是针对削减颗粒物排放的。尽管目前已经有越来越多的能够同时降低颗粒物和氮氧化物的改造技术，但是单独降低氮氧化物的改造项目经验还是有限的。一个例子是比利时 De Lijn 公交公司改造项目，大约淘汰更新了 250 辆欧 III 公交车，占该公司车队的 10%。

任何改造项目的核心问题都是必须同时推行可靠的技术认证项目以确保改造后车辆在用车的氮氧化物真的降低了，而其他的污染物排放并没有增加。欧洲和美国许多现有的认证改造技术都是用于降低颗粒物排放（或者同时降低颗粒物和氮氧化物）的设备，可能不能够保证降低低温时氮氧化物排放²⁹。政府在实施在用车氮氧化物排放改造项目之前，

²⁸ 本部分只讨论降低满足较低排放标准的机动车的项目；本部分不讨论降低“总排放源”的情况，这些机动车额外的排放是由于车辆损坏或者发动机、排放后处理系统的非正常工作导致的。

²⁹ 为了能够确保低温时氮氧化物排放的降低，认证过程需要一个包含相对较低排气温度或者冷启动过程的测试循环。应用现有的欧 V 认证过程是不够的

都应先制定降低氮氧化物排放设备的认证项目，例如，伦敦交通局根据伦敦公交车测试工况制定了氮氧化物改造标准。在一般情况下，这样的技术认证项目必须使用适当的测试工况和程序以充分涵盖低负荷、低温度的城市行驶状况，并最小必须测试颗粒物、氨氮以及氮氧化物的排放量，以确保这些污染物不会由于改造技术的应用而增加。

在欧洲，欧 IV/V 卡车高氮氧化物排放的改造项目，无论是强制的还是自愿的，都是针对城区行驶的车辆——如公交车、垃圾车和中型的快递卡车。除了实施对于 SCR 系统的改造，政策制定者应鼓励制造商们在未来两年推广已经应用于 EEV 的低温氮氧化物减排技术，无论是用于改造还是安装于未来两年出产的新车上³⁰。产商也可能有机会应用其他技术，如铜分子筛催化剂，前置 DOC，尿素加热喷射和排气加热装置，于车辆改造的项目。

对于最旧的车型（特别是欧 II 和更低排放水平），淘汰更新比改造的成本要低。有一些在用车排放控制项目，如加州空气资源委员会的 Carl Moyer 项目和美国环保部的国家清洁柴油机计划，除了资助车辆改造，还资助车辆的淘汰和以旧换新。这样可以保证实施者能够根据成本来决定资金的使用，而不考虑项目的类别。

4.1.3 对于提前达到欧 VI 标准车辆的激励

激励政策，如财政激励、车辆禁行，提供给车辆的所有者/使用者改造或者以旧换新以外的激励。税收激励用于鼓励车辆提前达到欧 VI 标准。数百个低排放区域 (Low Emission Zones, LEZ) 已经在欧洲很多地方得到推广，没有达到最低排放标准的车辆禁止（或者须付费才能）在其中行驶。随着时间的推移，低排放区域的要求会逐步严格，以促进城市中心车辆满足更低的排放要求。有些地区还对车辆根据它们的排放标准收取环保收费、污染税³¹。本报告讨论中，由于欧 V 认证并不能确保在城市工况中低氮氧化物排放，因此政策制定者要对欧 VI 卡车和公交车以及欧 V 经过低排放认证的车辆制定比普通没有低氮氧化物排放认证的欧 V 车辆较低的费用来最大限度的发挥低排区的作用。

为了使效果最佳，决策者应该综合运用多种手段。例如，伦敦空气质量改善计划要求淘汰欧 II 和更低标准的公交车，对所有欧 III 公交车进行 NO_x 和 PM 改造，引进混合动力和燃料电池公交车，并且设置了低排放区域，根据排放标准对在低排放区域行驶的车辆进行收费。

4.2 发展中国家

对于发展中国家，如印度、中国、巴西，欧 IV、欧 V 标准的剩余“寿命”比欧洲要长很多。在这些国家，满足目前排放法规车辆还将在可以预见的未来继续在市场销售。因此，与即将实施欧 VI 的欧洲相比，在这些国家改进欧 IV/V 法规可以获得比在欧洲更多的效益。

这些国家如在全国或地区采用重点关注低负荷、低温度的新测试工况和测试流程，同时采用与现在一致或者相似的排放限值，可以取得很高的减排效果。如果还采用更严格的

³⁰ 然而如上所述，EEV 的定义并不能充分的确保车辆在城市工况运行下低温排放受控制。与改造项目的情况一样，这些低 NO_x 排放的技术需要经过标准化的技术认证项目来证明实际效用。

³¹ 如前所述，欧 V 认证不能保证在城区行驶时机动车具有较低的 NO_x 排放；为了使 LEZ 的设置更有效，收费标准中，欧 VI 卡车和经过认证具有较低城区 NO_x 排放的欧 V 卡车的收费，相对于没有低 NO_x 排放的欧 V 卡车，应该低很多。

在用车一致性要求可以更有效的保证效果。

4.2.1 测试工况和流程

对目前发展中国家的测试工况最优先考虑的改进是加入冷启动测试。冷启动测试和冷、热启动测试加权系数在美国的重型发动机法规 (40 CFR 1065) 和欧 VI 法规 (EU No 582/2011) 中已经成熟; 都可以作为发展中国家的参考模板。

其次是采用一个比 ETC 更具有代表性的测试工况, 用来替代 ETC 或者作为 ETC 的补充。虽然每个国家都可以开发能够代表当地情况的测试工况, 这个工作十分费时间和耗费大量经费, 而且它与目前汽车排放法规的全球统一的趋势相矛盾, 与重型发动机工业的全球化相矛盾。

为了尽早实施和提高法规的效果和全球统一性, 最好使用同一个现有的测试工况。这样, WHTC 工况是一个合理的选择。这个工况是由联合国欧洲经济委员会开发的, 作为它开发全球统一的排放测试法规的一部分。它是基于美国、欧洲、日本和澳大利亚的卡车实际道路的行驶数据而制定, 因此它能够代表最新的在用车的行驶状况, 而且这工况已由多个地方的专家仔细审阅过。这个工况已经采纳用于欧 VI 法规认证, 美国环保署也在考虑将其用于未来美国的重型发动机认证。

WHTC 工况可以在认证测试中作为 ETC 的替代工况, 或者作为现有测试工况的补充以检测发动机是否 在这两个工况运行时均能满足相应的限值。如是前者, 目前欧 IV/V 排放测试限值 (g/kWh) 需要根据工况的不同以及 ETC 和 WHTC 其他的差异来进行调整。如是后者, 相应新工况 WHTC 的排放限值需要确定。为准备欧 VI 法规的实施, 欧洲的研究单位已经为确定 ETC 和 WHTC 的修正系数完成了大量研究工作。研究单位呈递给欧盟的最终报告中建议欧 VI 的 NO_x 排放限值从基于 ETC 的限值增加 10% 作为 WHTC 的限值。这些已完成的研究都可以用来为欧 IV/V 法规中 WHTC 测试工况限值进行设定。

其中一种在低温条件下提高 SCR 系统性能的方法是当发动机在低温运作时增加尿素喷射的剂量。虽然这方法可能会减少 NO_x 的排放量, 但可能会导致排气管中氨的排放量增加。在欧洲, 欧 IV / V 的氨氮排放量标准为每百万不超过 25 个单位 (25 ppm)。为防止当标准检测规程改变时造成氨氮排放量的增加, 发展中国家应采用欧 IV / V 的氨氮排放标准。

4.2.2 在用车一致性

为了保证空气质量改善达到预期的目标, 必须有严格且可行的在用车一致性要求作为认证测试的补充。在用车一致性要求为认证机构要求制造商对在用车排放的过度增加须承担责任提供了法规依据, 而且在最理想的情况下能够为认证机构提供需要的工具在标准实施早期发现可能出现的问题。在用一致性要求的核心组成部分包括: 1) 对失效装置严格的禁止; 2) 清晰的规定在用车排放必须得到有效地控制; 3) 对在用车排放控制的条件范围的确切的定义; 4) 在用车排放或者非标准工况排放的 NTE 限值; 5) 特定的在用车测试程序来证明符合要求。

如前面 3.2 节讨论的, 欧 VI 法规包括了以上所有的条款, 为发展中国家改进欧 IV 和欧 V 标准提供了很好的参考模板。这些国家的认证机构尤其应该考虑采用 ETC/WHTC 氮氧化物限值的 1.5 倍作为在用车 NTE 的氮氧化物限值, 并且以 PEMS (便携式排放测试系统) 为测试手段来评价一致性。在用车测试要求测试的工况要代表典型行驶状况, 并应该包含较多的城区行驶工况, 引入“移动平均窗口 (moving average window)”的概念, 将整个测试数据与 NTE 限值对比来判定那车辆是否符合在用一致性要求。

如前面 4.2.1 节讨论的，加强在用车一致性要求与认证测试工况的改进如能同时实施将是最有效的，因为这将缩小“法规工况 (on-cycle)”和“非法规工况 (off-cycle)”的排放差异。当法规认证测试基于一个不具有代表性的测试工况时，要求制造商遵守严格的在用车排放标准将会是不现实的，并且实施起来很困难。

专栏 3 在用车一致性应包括车辆的驾驶员

装有 SCR 系统的车辆需要使用尿素这种消耗品。没有尿素，NO_x 排放将会比发动机型式核准的值高很多。为了确保 SCR 系统对空气质量的改善效果，必须有一套有效的机制来确保供应商销售的尿素的质量达标，而且驾驶员在坚持使用。

这套机制应该包括以下方面：

- 在路边或者加油站设有监测点；
- 城市或地区应从宏观角度监察和比较尿素与燃油销售情况；
- 审查机动车的尿素购买记录。

此外，型式核准要求发动机和汽车制造商应该依照最优做法在尿素不够时，对驾驶员提出警告和采用激励手段鼓励司机添加尿素。

4.2.3 地方层面的补充性排放要求

虽然对于主管部门来说改进所有新车的测试规程是最好的，但在一些国家全国范围的改变需要很长的时间。在这种情况下，它可能更适合于地方或省级主管部门以及公共机构和私人公司来确保任何购买的新车在市区行驶时达到氮氧化物低排放量的要求。如果有专门的权威管理部门，可以通过修改地方法规来解决上述问题。如果不能，也可以通过新车销售合同来实施相关要求。

无论是通过管理规定或是通过销售合同，制造商都需要通过一些特定的能够代表城市工况的测试循环，依照指定的测试流程来证明其产品可以满足欧 IV / V 型式核准排放限值的要求。测试可以像型式核准实验那样采用发动机测功机进行发动机实验，也可以通过底盘测功机进行整车实验。

在任何一种情况下，地方部门或机构可以开发能反映当地的具体情况测试循环或程序（见专栏 4：地方排放补充要求示例）。然而，如果这些测试循环目前不存在或测试的车辆数量相对较少这种方法可能是耗时和昂贵的。ICCT 建议地方利用现有的测试循环和程序来确保地方法规或采购合同中新的机动车实现氮氧化物的低排放量要求。

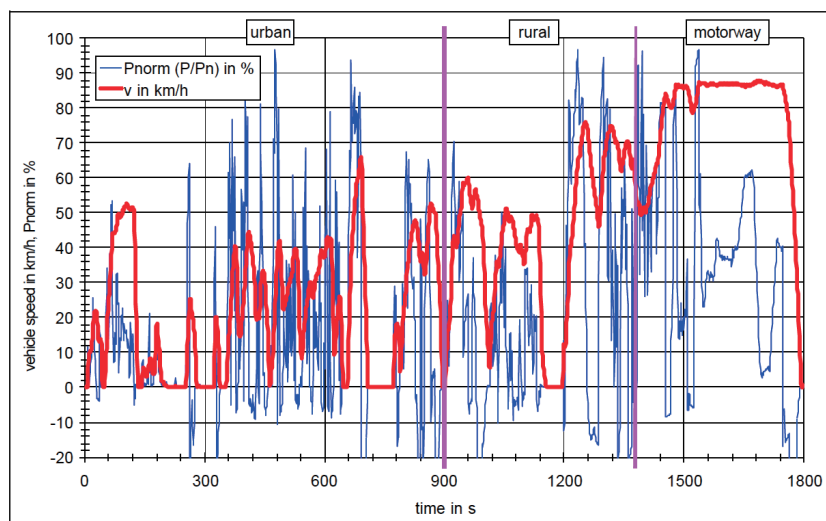
如在 4.2.1 节中讨论，ICCT 建议在发动机测试中使用 WHTC 循环。在整车底盘检测中 ICCT 建议使用世界统一的车辆瞬态循环工况（World-wide Transient Vehicle Cycle, WTVC）。WTVC 是一个车辆速度随时间周期变化的循环，这是从之前使用的发动机 WHTC 循环基础上发展而来的。因此这两个循环在功能上是相同的。WTVC 循环曲线见图 10。如图所示，循环总时间的一半花在低转速、高瞬态的“都市”工况上，一半是花在高转速的“农村”和“高速公路”的工况。

使用这些现有的循环补充地方的排放标准，而不是本地开发循环将有以下好处：

- 一。可以马上实施，政策制定者不需要花费时间进行数据收集和工况循环改进。
- 二。制造商可以降低认证达标成本，使得汽车的售价降低。
- 三。其他城市、机构或公司可以直接从尽早实施地方补充排放标准中获益
- 四。当地方政府都采纳现行的工况循环来制定补充排放标准和测试以后，将会加快国家标准的改良，使其尽快得到完善。

在进行符合性认证试验时，无论是采用发动机试验（WHTC 工况）还是整车试验（WTVC 工况），关键的是标准规定的试验都要求同时包含冷启动和热启动试验，并将两项试验的结果加权后计算出“认证”排放水平³²。如 3.1 节所述，在认证试验中纳入冷启动要求关键是为了确保车辆实际在城市中行驶时，在尾气温度低的情况下，NO_x 排放也是较低的。对于冷启动的要求甚至比采用整个试验工况都更为重要。

图 10：WTVC 车辆测试循环 *



* 来源：Heinz (2001)。得作者许可可复制使用。

³² 对于一个针对特定类型车辆的地方补充认证排放限值，可以以克/公里来表达限值。然而，在其他的状况下，使用克/千瓦时的限值会更可取，因为它允许额外的限值可以设定为原有工况下限值的倍数，这便能对所有车辆（发动机）设置一个限值。

专栏 4：地方排放补充要求示例

伦敦

负责管理由私人经营或承包经营的 8500 条伦敦公交固定路线的伦敦交通局 (Transport for London, TfL) 会测试所有它们购买的新公交车型号来确定现实行驶情况下的 CO₂, NO_x 和 PM 的排放量。测试在公交采购的早期阶段进行, 主要是为了确定公交是否符合低碳排放公交车的补贴和根据低 CO₂, 排放水平制定的财政奖励的资格。公交车试验采用的是 Millbrook London Transport Bus (MLTB) 伦敦公交工况, 该工况是基于伦敦 159 路车的实际行驶情况而制定, 具有停站多、速度慢的特点。

这个测试中同时也测量 NO_x 和 PM 排放量。如果伦敦交通局判定巴士排放的 NO_x 高于型式核准时的水平, 他们将与客车制造商谈判让其“自愿”改进并安装 SCR 系统来降低在 MLTB 循环测试中的排放量。这通常包括重新调整并改善低温性能。交通局发现这个计划的实施很成功, 它们与希望维持市场份额并期望减少制定更严格强制性排放要求的可能性的客车制造商建立了良好的合作关系。

伦敦交通局 (TfL) 目前正在制定计划使 2700 辆欧 II 和欧 III 的巴士通过改装 SCR 系统使 NO_x 排放量减少 70%。它们将使用 PEMS 在用测试来确认车辆是否能符合合同规定的减排水平 (与 Coyle 的个人通信)。

北京

在中国, 重型车辆特别是公交车, 由于严重的城市交通拥堵问题通常运行的速度和扭矩比美国或欧洲的车辆要低。中国的研究人员已经发现在认证工况外重型柴油车高 NO_x 排放的案例。北京一直是全国推进机动车尾气排放控制措施的先导者。北京市环保局已主办了多个研究项目以制定针对欧 V 公交车的额外认证和在用监测要求。有建议提出增加 NTE 排放上限或 moving-window 排放限值要求, 并增加一个对补充的城市行驶认证工况。不过到目前为止北京市政府还没有推出实质的相关管理要求。

表 4： 欧洲推荐的政策选择

选项	说明	实施须考类的问题
汽车报废奖励	对老旧车辆报废和替换欧 VI 车辆的车主提供金钱鼓励 (赠款、税收优惠)。	必须规定和确认旧车和发动机确实是被拆解而不会被重复使用。 加强管理从而确保新更换的车辆在尺寸大小和功率上没有显著增加
车队改造	对特定的、城市使用的车队进行改造以降低在用氮氧化物的排放量	针对城市公交车、垃圾运输车、城区送货卡车 必须建立一个完备的技术验证计划, 以确保改造技术实际的减排效果 对于一些剩余价值不高的车辆, 改造的成本可能过于高昂。
低排放区域	在一个特定的区域 (即市中心) 对不符合最低排放要求的车辆征收每天的费用。	征收欧 VI 车辆的费用必须明显低于欧 IV 或者欧 V 的车辆的费用

表 5: 为发展中国家推荐的政策选项

选项	说明	须考类的问题
改变形式核准程序	对于欧IV/V发动机的形式核准采用一个不同的、更具代表性的试验循环和强制进行冷启动测试。	<p>推荐使用WHTC的测试循环</p> <p>认证的排放限值应为冷和热启动测试结果的加权平均值（15%冷启动，85%热启动）。</p> <p>可能需要调整欧IV/V的排放限值(+10% g/kWh)</p> <p>如果没有包括应限制氮氮排放量</p>
车队改造严格的在用一致性要求	在型式核准流程中增加在用车一致性测试的环节，从而刺激生产企业控制工况外的高排放，并为相关部门执法管理在用排放的问题提供法律基础。	<p>内容包括：1) 规定限制在用车的排放，2) 对在用车排放控制的条件范围的确切的定义，3) 严格禁止使用失效装置，4) 在用车排放或者非标准工况排放的NTE限值</p> <p>应包括在用车的符合性测试</p> <p>如果和改良了形式核准程序相结合是最有效的</p>
地方补充排放要求	通过地方法规或合同要求实施比形式核准限值更加严格的排放限值。	<p>如果国家标准需要很长时间来修改，可作为暂时改善方案。</p> <p>必须以发动机或整车测试来确认符合标准。</p> <p>推荐使用WHTC（发动机）或WVTC（整车）测试循环</p> <p>规定测试必须包含冷启动实验，认证的排放限值应为冷和热启动测试结果的加权平均值。</p>

参考文献

- Chatterjee, S. et al. (2008). Emission Control Options to Achieve Euro IV and Euro V on Heavy Duty Diesel Engines (SAE Technical Paper 2008-28-0021). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Charlton, S. (2010). Meeting the US Heavy Duty EPA 2010 Standards with Increased Customer Value. SAE International Heavy-Duty Diesel Emissions Symposium. Gothenburg, Sweden.
- Chen, H., Weigert, E., Fedeyko, J., Cox, J. et al. (2010). Advanced Catalysts for Combined (NAC + SCR) Emission Control Systems (SAE Technical Paper 2010-01-0302). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Cheng, Y., Montreuil, C., Cavataio G., and Lambert, C. (2009). The Effects of SO₂ and SO₃ Poisoning on Cu/Zelite SCR Catalysts (SAE Technical Paper 2009-01-0898). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Coyle, F. (2010). Cutting Carbon from the London Bus Fleet. Transport for London. Eco2 Transport. London, England.
- Delphi. (2009). Worldwide Emissions Standards: Heavy Duty and Off-Road Vehicles. Accessed at www.delphi.com/pdf/emissions/2009_Delphi_HD.pdf.
- Emitec (2010). MinNO_x Conference. Berlin, Germany.
- European Vehicle Manufacturers' Association (ACEA) (2011). New Vehicle Registrations by Country. Accessed at www.acea.be/news/news_detail/new_vehicle_registrations_by_country/.
- Folic, M. et al. (2010). Selective Ammonia Slip Catalyst Enabling Highly Efficient NO_x Removal Requirements of the Future. Directions in Engine- Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference. Detroit, Michigan.
- Forzatti, P., Nova, I., and Tronconi, E. (2010). Removal of NO_x from Diesel Exhausts: The New "Enhanced NH₃-SCR" Reaction. SAE International Journal of Fuels and Lubricants. Vol. 3, No. 1, pp. 654-663.
- Gense, N.L.J. et al. (2006). Euro VI technologies and costs for heavy-duty vehicles- The expert panel summary of stakeholders responses. Delft, The Netherlands: TNO Science and Industry.
- German Federal Motor Transport Authority (KBA) (2011). New registrations and title transfers of motor vehicles for emissions and fuel—year 2010. FZ 14, Table 5. Accessed at <http://www.kba.de/>.
- Heibel, A. (2010). Advancements in Substrate Technology. SAE International Heavy-Duty Diesel Emissions Symposium. Gothenburg, Sweden.
- Heinz, S. (2001). Development of a World-wide Harmonized Heavy-Duty Engine Emissions Test Cycle, Executive Summary Report. ECE-GRPE WHDC Working Group. Geneva, Switzerland: United Nations.
- International Council on Clean Transportation (2011). Developing a world- class technology pathways program in China: International practices for vehicle emission standards (White Paper No. 14). Washington, DC: ICCT.
- ICCT. (2010). Overview of China's vehicle emission control program- Past successes and future prospects.

ICCT (in press). Estimated cost of emission reduction technologies for light-duty vehicles. Washington, DC: ICCT.

ICCT (in press). Cost of emission reduction technologies in heavy-duty vehicles. Washington, DC: ICCT.

Johannessen, T. (2010). Compact Ammonia Storage Systems for Fuel-Efficient NO_x Emissions Reduction. CTI Forum SCR Systems 2010. Stuttgart, Germany.

Johnson, T. (2009). Diesel Emission Control in Review (SAE Technical Paper 2009-01-0121). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Johnson, T. (2010). SAE International Heavy-Duty Diesel Emissions Symposium. Gothenburg, Sweden.

Johnson T. (2011). Diesel Emission Review. SIAT conference. Pune, India.

Kleinebrahm, M. et al. (2008). On-Board Measurements of EURO IV / V Trucks, Final Report, a research project of the Federal Environmental Agency (FKZ: 204 45 144). Germany: TUV NORD Mobilität.

Kodama, K., Hiranuma, S., Doumeki, R., Takeda, Y. et al. (2005). Development of DPF System for Commercial Vehicles (Second Report) - Active Regenerating Function in Various Driving Condition (SAE Technical Paper 2005-01-3694). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Kodama, Y. and Wong, V. (2010). Study of On-Board Ammonia (NH₃) Generation for SCR Operation. SAE International Journal of Fuels and Lubricants. Vol. 3, No. 1, pp. 537-555.

Kowatari, T., Hamada, Y., Amou, K., Hamada, I. et al. (2006). A Study of a New Aftertreatment System (1): A New Dosing Device for Enhancing Low Temperature Performance of Urea-SCR. (SAE Technical Paper 2006-01-0642). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Kröcher, O. et al. (2010). Highly developed thermal analysis methods for the characterization of soot and deposits in urea SCR systems. AVL International Exhaust Gas and Particulate Emissions Forum. Ludwigsburg, Germany.

Li, M. (2011). Introduction to heavy-duty vehicle complete vehicle emission test formulation (in Chinese). Advanced Diesel Emission Control Technology Conference. Beijing, China.

Ligterink, N. et al. (2009). On-road NO_x emissions of Euro-V trucks (MON-RPT-033-DTS-2009-03840). Delft, the Netherlands: TNO Science and Industry.

Mayer, A., et al. (2009). Nanoparticle-Emission of EURO 4 and EURO 5 HDV compared to EURO 3 with and without DPF (SAE Technical Papers 2007-01-1112). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Manufacturers of Emission Controls Association (2007). Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles. Washington, DC: MECA.

Polk Automotive (2009). US new vehicle registration data (January 2003– December 2007), including coaches, transit buses, school buses, and shuttle buses. <https://www.polk.com/>.

Polk Automotive (2010). China new vehicle registration data (January 2007– August 2010). <https://www.polk.com/>.

Polk Automotive (2011). Brazil new vehicle registration (January 2005– December 2010). <https://www.polk.com/>.

European Parliament and Council (2009). Regulation (EC) No 595/2009 of 18 June 2009 on type-

approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and on access to vehicle repair and maintenance information and amending Regulation (EC) No 715/2007 and Directive 2007/46/EC and repealing Directives 80/1269/ EEC, 2005/55/EC and 2005/78/EC. Accessed at <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:188:0001:0013:EN:PDF>

Rickert, G. (2007). Overview of Emissions on World-Harmonized and Non-road Cycles from the AECC Euro VI Programme. AECC Technical Seminar of Heavy-duty Engine Emissions. Brussels, Belgium.

Segment Y Automotive Intelligence. (2011). India new vehicle registration data (2006–2010). <http://www.segmenty.com/India.htm>.

Stein, J. (2011). Personal communication.

Tenneco (2011). SCR Application Under Low Temperature Duty Cycles. U.S.- China Energy Cooperation Program, CVEC Conference. China.

Tokyo Metropolitan Research Institute (TMRI) (2009). Electronic communication of test results from 1 through 10 December.

Truck Manufacturers Association (TMA) (2011). Class 6–8 truck sales through 2009.

U.S. Commerce Department (2011). Light truck and heavy truck sales through 2010. Accessed at <http://www.commerce.gov/>.

U.S. Environmental Protection Agency, Transportation and Regional Programs Division, Office of Transportation and Air Quality (2008). Case Study: Diesel Bus Retrofit in Beijing, China (EPA XA-83262001). Washington, DC: EPA.

Van Steenberghe, F. (2010). NO_x and PM reduction by retrofit on buses. MOVES conference. Hong Kong. Delft, The Netherlands: TNO Science and Industry.

Velders G. J. M. et al. (2011). Higher than expected NO_x emission from trucks may affect attainability of NO₂ limit values in the Netherlands. *Atmospheric Environment*. Vol. 45, pp. 3025-3033.

Verbeek R.P. et al. (2008). Correlation Factors between European and World Harmonized Test Cycles for Heavy-duty Engines (MON-RPT-033- DTS-2008-03854). Delft, The Netherlands: TNO Science and Industry.

VTT Technical Research Center of Finland (2009). Heavy-Duty Vehicles: Safety, Environmental Impacts and New Technology “RASTU”, Summary Report 2006-2008 (VTT-R-04084-09). Espoo, Finland: VTT.

Walker, A. (2010). Optimising Future Catalyst Systems. SAE International Heavy-Duty Diesel Emissions Symposium. Gothenburg, Sweden.

Yang, X and Narula, C. (2010). A Simple Approach of Tuning Catalytic Activity of MFI-zeolites for Low-temperature SCR of NO_x. Directions in Engine- efficiency and Emissions Research (DEER) Conference. Detroit, Michigan.

Zhan, R., Li, W., Eakle, S., and Weber, P. (2010). Development of a Novel Device to Improve Urea Evaporation, Mixing and Distribution to Enhance SCR Performance (SAE Technical Paper 2010-01-1185). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.



THE INTERNATIONAL COUNCIL
ON CLEAN TRANSPORTATION

国际清洁交通委员会是一个为环保政策制定者提供最优、客观的研究及技术和科学分析的独立非盈利组织。我们的使命是改善道路、海运、航空交通运输的环保和能效水平，以改善人类健康和减轻气候变化的影响。

北京

柏林

布鲁塞尔

旧金山

华盛顿

www.theicct.org