

内燃机可持续发展论坛

2006年4月18-19日

北京

中型/重型发动机的排气排放如何满足未来的中国排放标准

戴姆勒-克莱斯勒（中国）投资有限公司 Albert Flotho 博士

戴姆勒-克莱斯勒股份公司 Jürgen Stein

摘要

中国正在推行降低内燃机排气排放的法规，从而控制交通运输快速发展所导致的空气污染进一步恶化。本报告的重点是中型/重型载重车柴油机的未来排气排放限值。

在未来排气排放限值方面，有关中型/重型载重车柴油机的步骤是在 2007 年初推行欧 III 标准，在 2010 年推行欧 IV 标准，并在 2012/2013 年推行欧 V 标准（尚处于讨论之中）。尽管通过柴油机内部改良就可以满足欧 III 排放限值，但满足比欧 III 更为严格的排放限值则需要另外的技术，例如“装有柴油机微粒滤清器（DPF）的排气再循环（EGR）”和/或“选择性催化还原（SCR）”。本报告介绍了这些技术在满足欧 IV/V 排放限值方面的应用，并根据中国市场的具体情况，讨论了这些技术的优点和缺点。本报告的结论是推荐选择性催化还原方案，主要原因在于：与排气再循环和柴油机微粒滤清器相比，选择性催化还原方案在燃油消耗量以及对欧 III 燃油（含硫量为 350ppm）敏感度方面具有明显优势。

对于欧 VI 标准的展望也显示了选择性催化还原概念的巨大潜力：在应用选择性催化还原系统时，甚至可以在不增加燃油消耗量的情况下达到 1g/kWh 的氮氧化物排放限值。进一步降低氮氧化物排放量则需要附加措施，并且导致燃油消耗量增加，这也意味着二氧化碳排放量增加。在欧洲，关于欧 VI 排放限值的讨论刚刚开始，并且在讨论中考虑了成本和燃油消耗量。可能的情况为氮氧化物排放限值介于 0.2-1.0g/kWh 之间，微粒排放限值介于 0.01-0.025g/kWh 之间（基于 ETC 测试）。满足微粒排放限值将需要柴油机微粒滤清器以及优质油品（硫含量不超过 10ppm）。如果从欧 IV 标准就广泛应用选择性催化还原技术，那么中国为超低硫柴油（10ppm）进行的柴油脱硫工作就可以延迟到推行欧 VI 标准时进行。

1 介绍

在限制内燃机排气排放方面，所有发达国家都有严格的法规，旨在保护当地环境以及全球气候。空气污染问题是伴随着经济增长以及交通运输快速增长而产生。图 1 显示了欧洲、美国（北美自由贸易区）以及日本目前实施的限值以及计划实施的限值。从图 1 中可以看出，到下一个十年的初期，氮氧化物排放限值（横轴）将低于 1g/kWh，微粒排放限值（纵轴）将低于 0.025g/kWh。本报告未涉及其他的排气排放限值，因为高性能柴油机都能够满足这些限值。

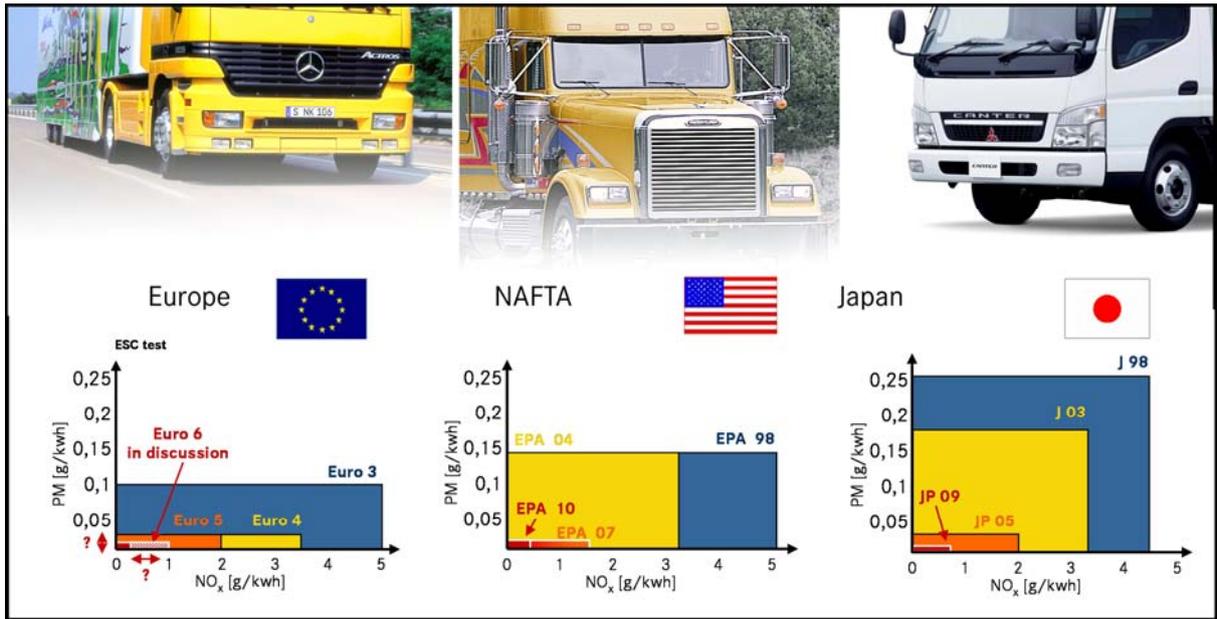


图 1：发达国家的排气排放法规

从图 1 中的载重车品牌可以看到，戴姆勒-克莱斯勒已经涉足所有这些地区，并且正在开发必要的技术。

由于经济迅猛发展，中国实际上正面临着类似于发达国家所面临的问题。经济迅猛增长导致了交通运输迅速增长，特别是在大城市中。上届人大会议已经确定：中国将加大可持续性环境保护力度，不仅要采取防治空气污染的措施，而且要审慎地使用资源。对于柴油机来说，这不仅意味着降低排气排放，而且意味着提高发动机效率，也就是节约燃油。

中国政府公布的法规将沿用欧洲法规。现在，中国实行的排放法规相当于欧 II 标准。相当于欧 III 标准的排放法规将于 2007 年初在全国推行；相当于欧 IV 标准的排放法规将从 2010 年推行（图 2）。在图 2 中，与同样沿用欧洲法规的国家（例如巴西）相比，推行排气排放限值的时间期限显示了中国正在大力推进排放法规。

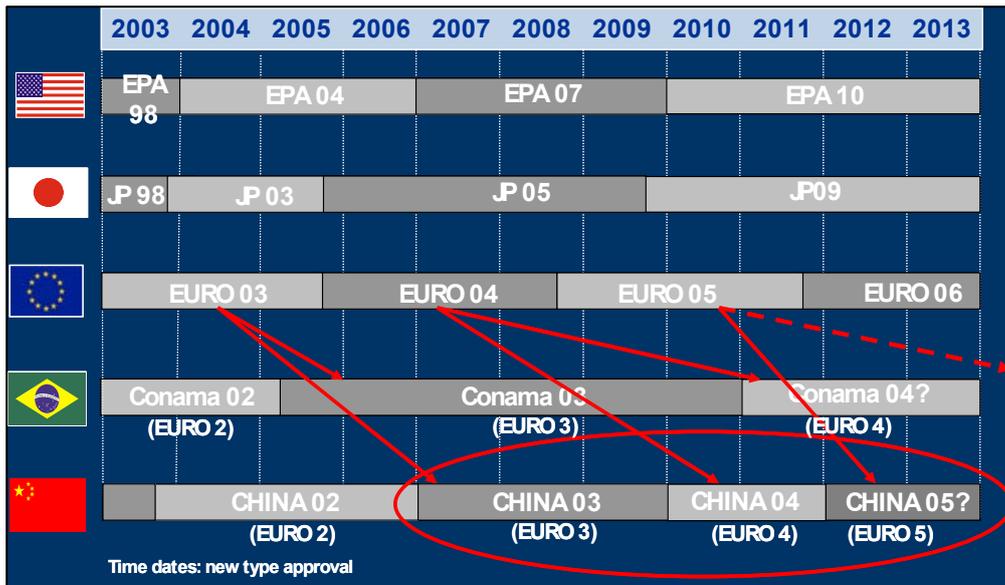


图 2：推行排气排放限值的时间期限

2. 降低排气排放的技术

2.1 欧 II \Rightarrow 欧 III

如上所述，为 2007 年推行欧 III 发动机是中国载重车行业面临的实际挑战。图 3 显示，氮氧化物排放必须从 7g/kWh 降低到 5g/kWh（横轴），微粒排放必须从 0.15g/kWh 降低到 0.1g/kWh（纵轴）。

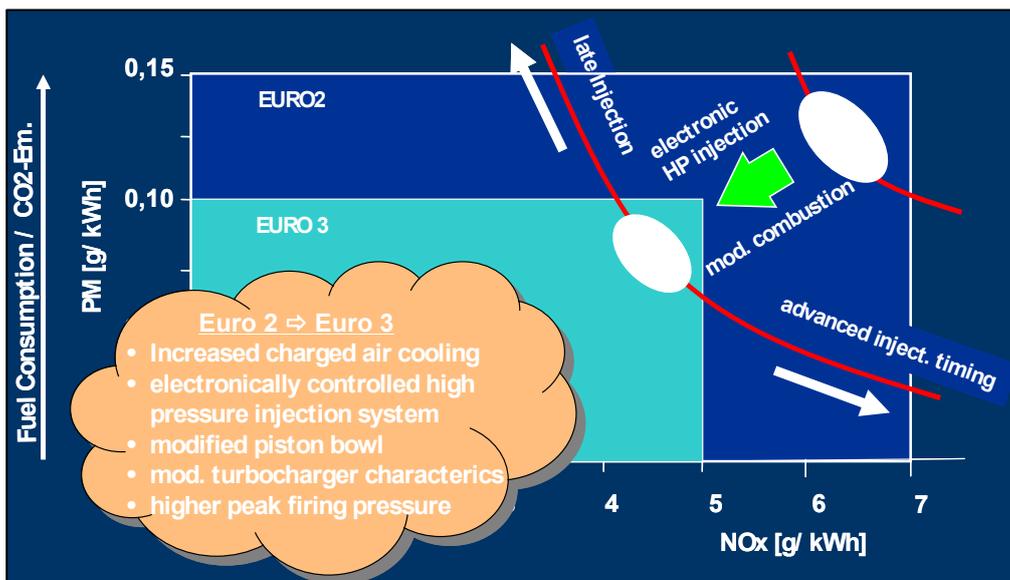


图 3：从欧 II 提升到欧 III

白色椭圆分别显示了满足欧 II 和欧 III 标准的典型发动机排放值。在转换到欧 III 标准时必须对发动机进行技术改进。例如，仅仅通过延迟喷油正时不可能使欧 II 发动机达到欧 III 标准。这时必须在发动机上应用其他措施。

- 必须通过加强中冷来进一步冷却进气温度（将会降低氮氧化物排放）；
- 欧 II 发动机的机械控制喷射系统必须更换为电控高压喷射系统。其他的电控选择可以实现各个工作点的最优化，以降低氮氧化物和微粒排放，更高的喷射压力将会进一步降低微粒排放。
- 为了提高发动机效率，这通常需要同时采取其他的措施，例如通常需要更高的峰值点火压力。

根据戴姆勒-克莱斯勒的经验，这种组合措施将能够满足欧 III 限值，同时能够降低燃油消耗量。另外，发动机成本将略有上升。

2.2 欧 III ⇔ 欧 IV/V

图 4 介绍了欧 IV/V 标准的目标以及可选技术方案。这两个排放阶段具有相同的微粒排放限值：0.02g/kWh（稳态测试）和 0.03g/kWh（瞬态测试），但是氮氧化物排放限值有所不同，欧 IV 为 3.5g/kWh，欧 V 为 2.0g/kWh。

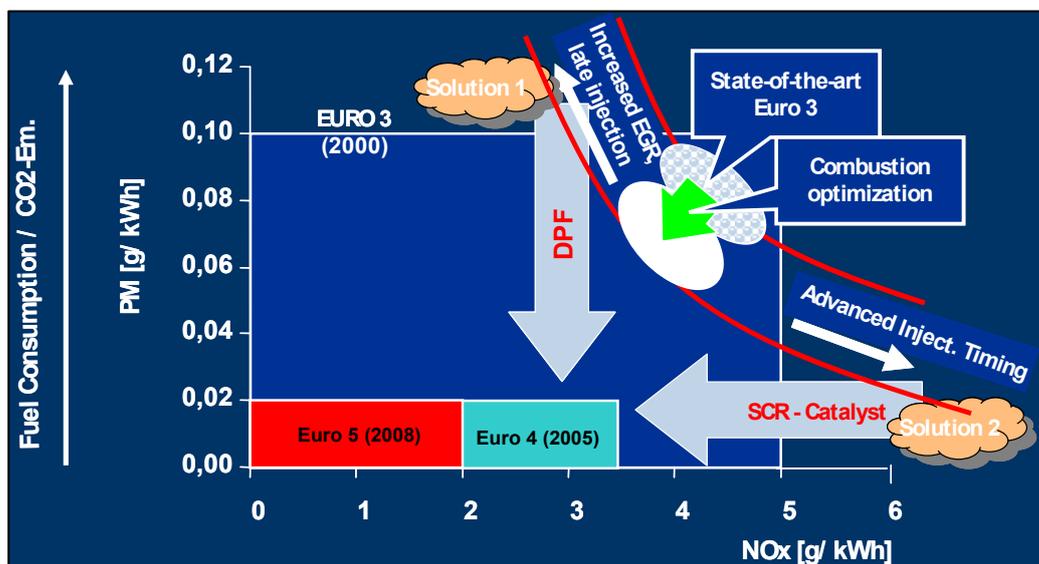


图 4：能够满足欧 IV/V 排放限值的可选方案

欧 III 方框的右上角显示了欧 III 发动机的典型排放值。进一步优化发动机内部参数可以进一步降低排放，但是不足以满足欧 IV 限值。为了满足欧 IV 限值，发动机还需要应用其他技术。有两种基本的可选方案可以弥补与欧 IV/V 目标之间的差距：

- 方案 1: 增加冷却式“排气再循环”以及改进的燃烧系统 (→ 适应排气再循环的燃烧系统); 这将会降低氮氧化物排放, 但是会增加微粒排放。因此, 在排气流中必须安装“柴油机微粒滤清器”, 以降低微粒排放。
- 方案 2: 通过喷射系统和喷油正时提前来优化发动机, 以降低微粒排放; 这些措施能够满足微粒排放限值, 但是会增加氮氧化物排放。因此, 在排气流中必须安装脱氮催化器 (例如选择性催化还原), 以降低氮氧化物排放。

2.2.1 EGR 系统

图 5 简要介绍了按照方案 1 的系统 (叫做“排气再循环系统”)。

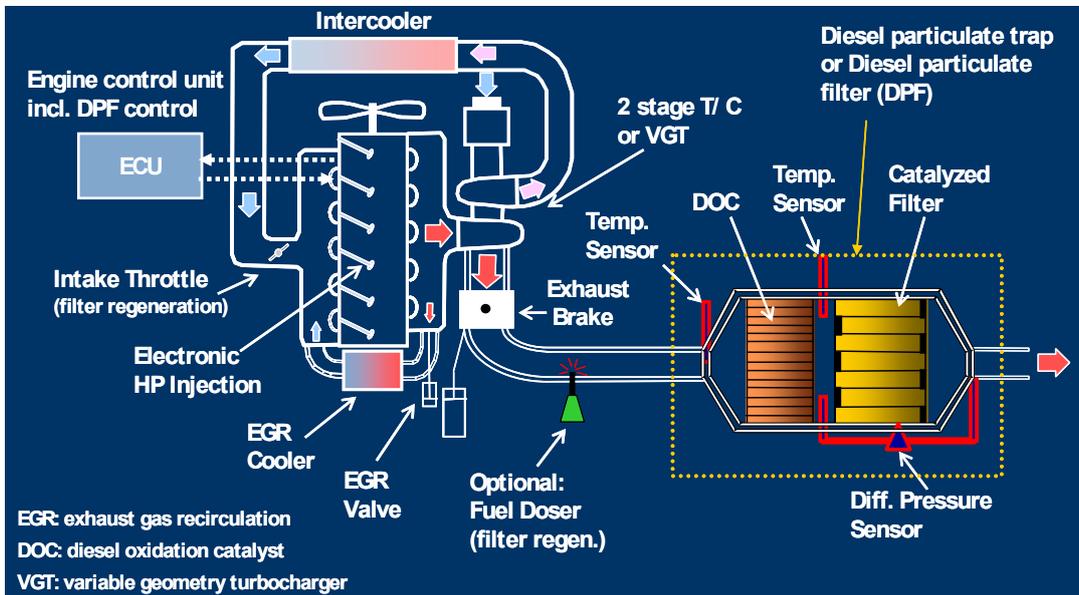


图 5: 排气再循环系统和柴油机微粒滤清器

对于排气再循环来说, 一部分排气取自排气歧管, 在排气再循环冷却器中进行冷却, 然后混合到进气之中。排气再循环的质量流量由排气再循环阀控制。将排气 (“燃烧的” 气体) 混合到进气之中可以降低气缸充气中的氧气浓度, 从而在燃烧过程中降低气体的最高温度, 并因此降低氮氧化物排放。但是, 在降低氮氧化物排放的同时, 燃油消耗量将会增加 (见图 4), 原因在于燃烧和改进型气缸换气, 以及微粒后处理装置的背压。

另一方面, 气缸充气的氧气浓度比较低将会增加微粒排放, 因此需要柴油机微粒滤清器降低微粒排放。柴油机微粒滤清器的载体由多孔材料组成, 可以是陶瓷也可以是金属。载体的结构由管道组成, 这些管道具有封闭的入口或出口。因此, 排气在进入出口封闭的管道之后必须通过多孔管壁进入相邻的只有出口开放的管道。在穿过管壁时, 微粒从排气流中分离出来, 并堆积在管壁上。视滤清器

材料和系统布局而定，滤清效率一般介于 80-90%之间。

如果不通过滤清器再生来清除滤清器壁上沉积的微粒，这些微粒最终将阻塞滤清器。如果发动机在高负荷下运转，那么排气温度可能足以燃烧这些微粒。在柴油机微粒滤清器上游添加“柴油机氧化型催化器”（DOC）可以提高再生过程的效率，这将进一步降低碳氢化合物排放。这种柴油机氧化型催化器通常由具有贵金属（例如白金）涂层的载体构成。

如果发动机在低负荷下运转（例如用于市区配送的车辆），排气温度通常不足以启动再生过程，因此需要热管理来提高排气温度。这种为了“安全再生”的热管理形式包括进气节流阀、通过排气制动阀增加排气背压或者“延迟后喷射”（通过喷射系统或者通过燃油定量喷射装置），或者是上述方法的组合。延迟后喷射将在排气中产生更多的碳氢化合物，这些碳氢化合物将由柴油机氧化型催化器进行转化，从而提高柴油机微粒滤清器上游的气体温度。所有这些措施将会不同程度地导致燃油消耗量增加。为了避免滤清器阻塞，系统必须通过柴油机微粒滤清器的压差以及进气温度来进行控制。

上述介绍显示了这种系统的复杂性，也表明了这是价格不菲的方案。对于欧 IV 标准，发动机可以仅仅通过柴油机氧化型催化器来进行适当的再生。但是，对于欧 V 标准，由于发动机的微粒排放量更高，所以需要完整的系统。

这些有贵金属涂层的各种微粒后处理系统的缺点在于它们不仅仅转化碳氢化合物，而且在排气含有硫的情况下也将硫转化为硫酸盐。硫酸盐是规定微粒的组成部分。图 6 显示了燃油中的硫对微粒排放的影响。

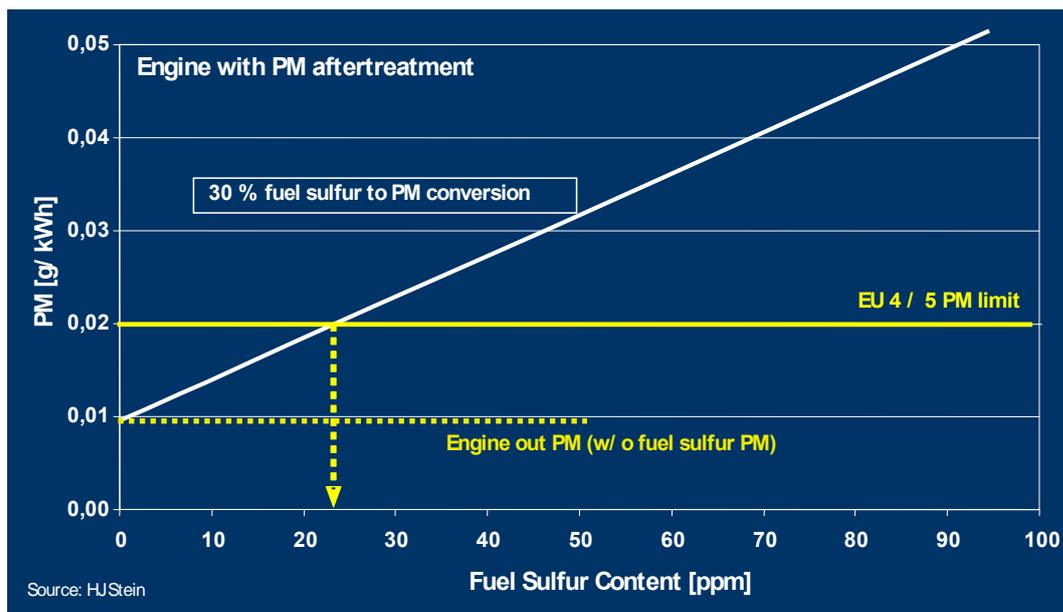


图 6：柴油的含硫量对微粒排放的影响（可能的情况）

这个图表非常清楚地反映了典型的微粒后处理，例如有白金涂层的柴油机氧化型转化器或者连续再生式捕集器（CRT）。如图 6 所示，只有在燃油的含硫量低于 20ppm 时才可能达到欧 IV/V 的微粒排放限值（假设发动机的微粒排放不超过 0.01g/kWh 且不包括燃油所含的硫）。这个图表也显示，如果使用含硫量为 50ppm 的欧 IV 燃油时，微粒排放（大约为 0.04g/kWh）将远远超过微粒排放限值。

在使用欧 III 标准的燃油（燃油的含硫量可达 350ppm）或者油品更差的燃油时必须避免运行微粒滤清器系统，这不仅因为达不到微粒排放限值，而且因为系统受损的风险。发动机可以免遭由排气再循环系统所产生硫酸的腐蚀（例如使用特殊材料涂层的进气歧管、进气门、活塞环和缸套），但是柴油机微粒滤清器再生将被硫酸盐钝化，并且滤清器将被不可逆转地阻塞。因此，装备柴油机微粒滤清器的车辆只能使用最低为欧 IV 标准的燃油。

最后，在应用排气再循环时还有一个非常重要的方面。来自排气再循环冷却器的热流将会传递到发动机的水循环系统。因此，如果要达到欧 IV 标准，水冷器能力必须提高 30%；如果要达到欧 V 标准，水冷却器能力必须提高 50%。这可能导致在车辆上难以安装这种加大的冷却器，因为车辆的可用空间是有限的，特别是对于中国载重车概念。

2.2.2 选择性催化还原系统

图 7 显示了方案 2：应用选择性催化还原器的后处理系统。为了降低微粒排放，发动机必须进行优化，这主要通过高压喷射和喷油正时提前与提高涡轮增压器增压比相结合。如图 4 所示，这样会降低燃油消耗量，但是会增加氮氧化物排放。根据戴姆勒-克莱斯勒研发部门的经验，发动机可以实现分别为 0.015g/kWh 和 6.5g/kWh 左右的微粒和氮氧化物排放量。

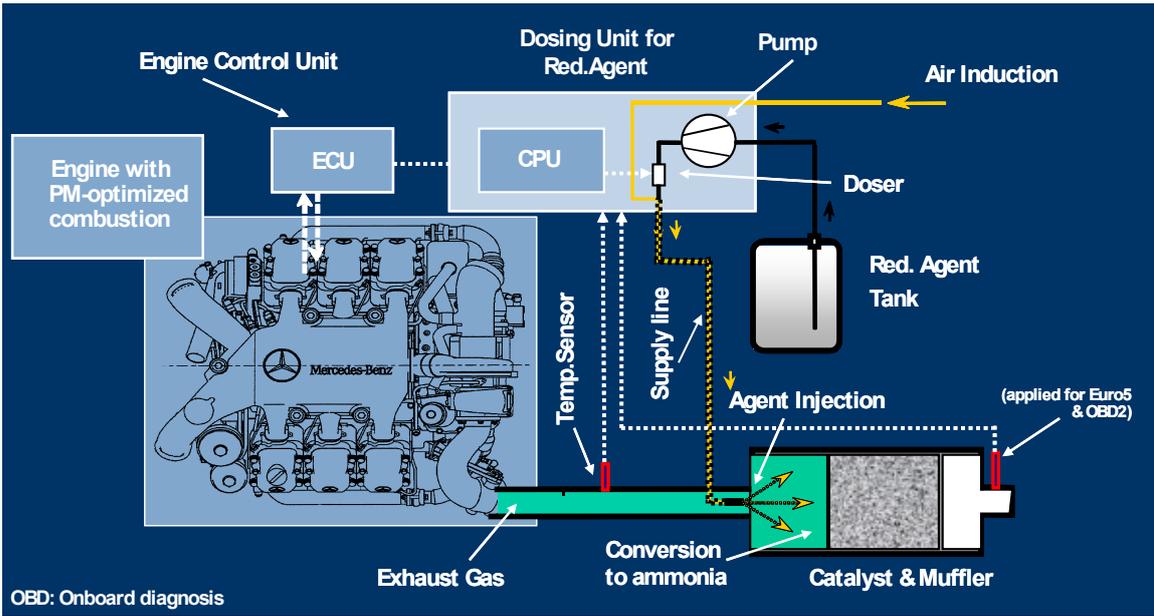


图 7：装有选择性催化还原后处理系统的发动机

当微粒排放在不使用任何附加措施的情况下即可符合欧 IV/V 标准时，氮氧化物排放就必须通过安装在排气流中的选择性催化还原器来降低。选择性催化还原器需要用氨作为排气降氮的还原剂，这通过向选择性催化还原器的上游排气管中喷射尿素溶液产生。尿素溶液必须根据发动机工作状态定量喷射；因此，定量喷射模块的逻辑与发动机控制模块相联结。

从 2007 年 10 月开始，欧洲排放法规将要求不论应用哪种技术都必须安装排放监测系统，以探测氮氧化物排放的增加。戴姆勒-克莱斯勒将采用的方案是使用排气流中的氮氧化物传感器来监测降氮系统的效率；这个系统在发生故障时向驾驶员传递信息，并将该故障记录下来，以便随后诊断时使用。今后，戴姆勒-克莱斯勒也将使用氮氧化物传感器来优化选择性催化还原系统的效率。

图 8 简要介绍了催化剂中的化学反应。催化剂由 TiO₂、V₂O₅、WO₃（全部无涂层）组成，形状为标准圆柱几何体。这些圆柱插入消声器的管道中（位于图 8 中间的图片）。圆柱数量取决于排气的质量流量。决定催化剂总体积的原则是即使在高度动态的工作条件下也不会出现氨泄露的情况。因此，这个系统不需要在安装额外的氧化型催化转化器。为了满足噪声排放法规以及背压需求，消声器的总体积必须增加 15%。

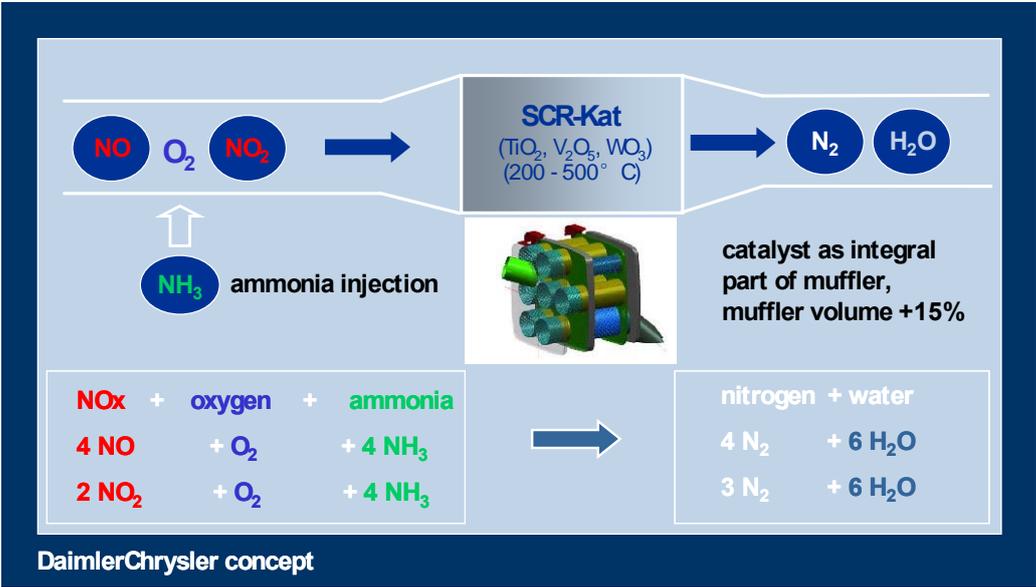


图 8：选择性催化还原的降氮过程

选择性催化还原的效率取决于气体温度：如果在 200-500° C 的温度范围内工作，氮氧化物到氮和水的转化率可达 85%，这种条件基本上就是实际车辆运行的条件以及欧洲稳态试验循环（ESC）和欧洲瞬态试循环（ETC）的条件。在试验循环中，对于欧 IV 标准的转化率必须达到 50%左右，对于欧 V 标准的转化率必须达到 70%左右。

欧洲载重车行业对于选择性催化还原所需要的标准化还原剂已经达成一致意见。这就是一种含量为 32.5% 的高纯度尿素溶液，尿素溶液必须贮藏在独立的贮藏罐之中。尿素溶液必须达到 DIN 70070 标准中规定的严格质量标准，以保证选择性催化还原在整个欧洲市场中的稳定工作条件。AdBlue® 品牌能够提供这种质量。AdBlue® 由人工合成，无毒、无味、无害，属于最低的水污染级别，可以简单和安全地进行处理。在第一家公共加油站设立加注站之后的两年中，AdBlue® 加注站在整个欧洲如今已经达到 1500 家左右，并且 AdBlue® 加注站的数量在不断增长。在欧洲，AdBlue® 的实际价格是柴油价格的一半左右。

在满足欧 IV 标准的应用中，AdBlue® 的典型消耗量为燃油消耗的 3.5% 左右；满足欧 V 标准的应用中，AdBlue® 的典型消耗量为燃油消耗量的 5% 左右。

戴姆勒-克莱斯勒应用的选择性催化还原系统不需要氧化型催化转化器或者其他的微粒后处理。因此，装载选择性催化还原系统的车辆可以使用欧 III 柴油，而且微粒排放不会超过欧 IV/V 限值。

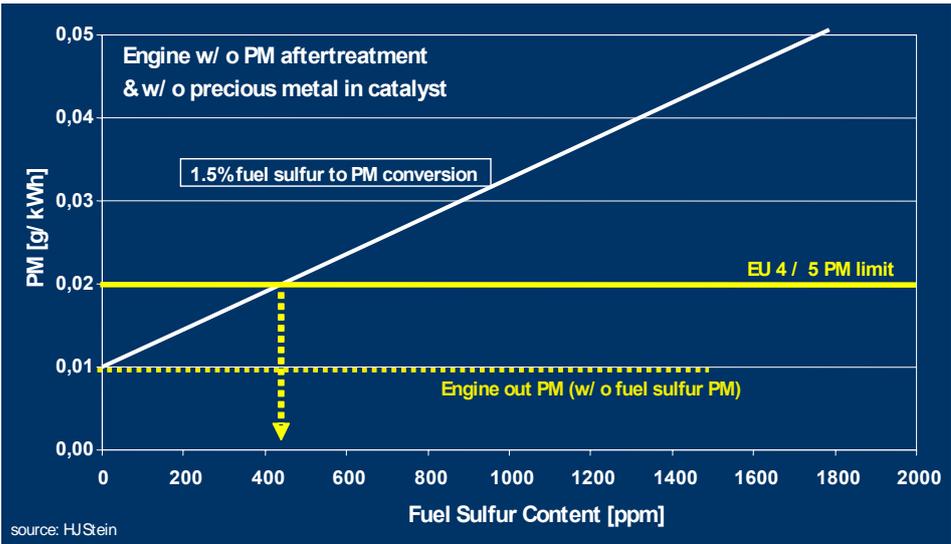


图 9：柴油的含硫量对微粒排放的影响（可能的情况）

如图 9 所示，通过燃烧，燃油所含的硫只有极少部分转化为微粒，典型的转化率是 1.5%。即使含硫量为 350ppm 时（即欧 III 燃油），也能够满足欧 IV/V 微粒排放限值（其他条件与图 6 相同）。这意味着，在市场推广阶段，如果欧 IV 燃油供应未能覆盖全国时，这种车辆也可以行驶于城市之间和国家之间。

在安装选择性催化还原系统方面，图 10 例举了一辆牵引车，因为牵引车只能提供有限的安装空间。

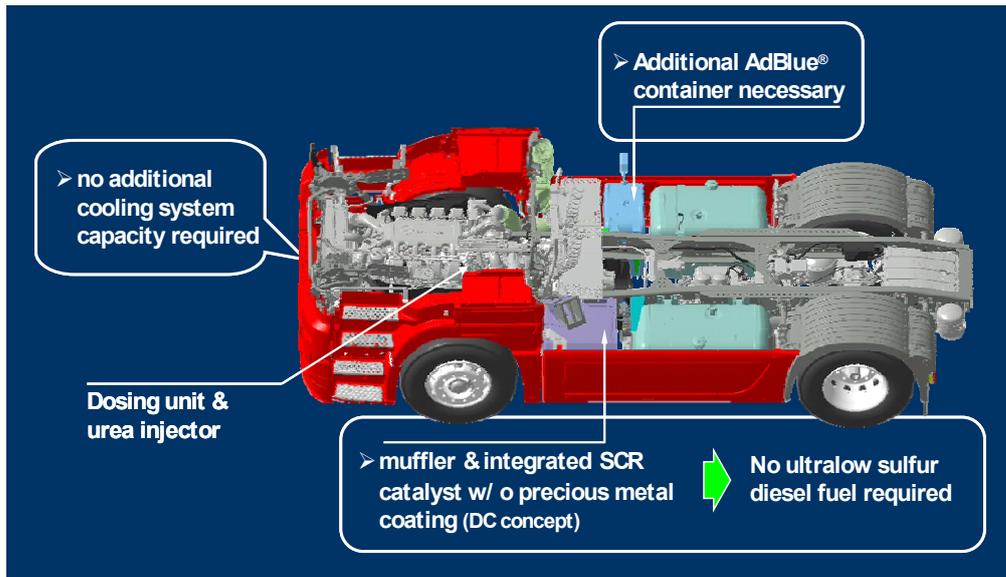


图 10: 长途运输牵引车安装的选择性催化还原系统

选择性催化还原系统虽然可以非常便利地安装在这种载重车上，但缺点在于需要额外的 AdBlue® 贮藏罐。另一方面，选择性催化还原系统不像排气再循环系统那样需要更大的冷却装置，而这种需求通常会与中国载重车的目前驾驶室设计产生矛盾（与欧 III 配置相比）。

2.2.3 排气再循环与选择性催化还原的比较

有关欧 IV/V 技术的决定将主要取决于中国到 2010 年是能够提供“超低硫柴油”还是能够提供像 AdBlue® 的附加还原剂。图 11 中的表格总结了主要项目。

EGR needs: ultra low sulfur fuel quality	SCR needs: infrastructure for add. agent
<ul style="list-style-type: none"> ➢ Fuel quality has a significant influence on exhaust gas emissions mainly due to fuel sulfur contribution to the PM emission by the formation of sulfates, especially with PM after treatment systems → ultra low sulfur fuel needed !!! ➢ The actual Chinese diesel fuel quality will not full-fill the requirements, even the sulfur content of proposed Euro 3 fuel with about 350 ppm ➢ Fuel supply infrastructure needs to be provided 1 year before new emission standards are set to clean the supply network ➢ The refinery industry will need more time than available till introduction of the new standards; the industry in Europe needed about 10 years for modifications of their processes ➢ High risk ?? 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ An additional substance for generating ammonia is necessary aboard the vehicle; this means, the infrastructure of fueling in the market has to be widened ➢ An aqueous urea solution is used for that purpose in the European Market named AdBlue®. This is a non-toxic, odorless, non-hazardous fluid, which allows a simple and safe handling ➢ The introduction of production and distribution of AdBlue® is possible in the remaining time till 2010 according to the experience in the European Market ➢ The bigger share of automotive industry should have common agreement for this technology and the government authorities should support it ➢ Good perspective ??

图 11：推行超低硫柴油还是提供 AdBlue®基础设施

我们认为，在中国推行欧 IV 燃油的过程将类似于推行欧 III 燃油的实际过程：从几个大城市开始，然后到中型城市，最后覆盖整个国家。但是，这将超过在实施欧 IV 标准之前的剩余时间。根据欧洲市场建设 AdBlue®基础设施的经验，在实施欧 IV 标准之前的剩余时间应该足以在中国市场建设 AdBlue®基础设施。这归功于 AdBlue®具有比较简单的生产过程，并且可以安全地处理。

在这种情况下，选择性催化还原技术显然更加可取。如果欧 IV 车辆（例如城市公交客车或小型配送载重车）仅仅运行于能够提供欧 IV 燃油的大城市之中，那么这两种技术都可以应用。但是，城间运输或者长途运输就需要选择性催化还原方案，因为这种方案对于燃油的含硫量具有较低的敏感度。否则，这部分车辆只能在晚些时候才能纳入欧 IV 标准。另外，选择性催化还原技术可以在只能提供欧 III 燃油时就能够提前推行欧 IV 车辆。

作为一个附加标准，燃油消耗量也必须考虑进来。图 12 将装载排气再循环或者选择性催化还原的欧 IV/V 载重车与实际的欧 III 载重车在欧洲长途运输中进行了比较：

- 与欧 IV 载重车相比，装载排气再循环系统（欧 IV）的载重车的燃油消耗量高 2-5%左右。
- 装配选择性催化还原系统的梅赛德斯-奔驰载重车能够节省 3%左右的柴油。
- 选择性催化还原/欧 IV 所需要的 AdBlue®消耗量为柴油消耗量的 3.5%，相当于柴油消耗量成本的 1.7%；与 US07 发动机使用的排气再循环/柴油机微粒滤清器相比，选择性催化还原可以节省 7%的燃油消耗量，节约的燃油成本远远超过了 AdBlue®消耗量的成本。

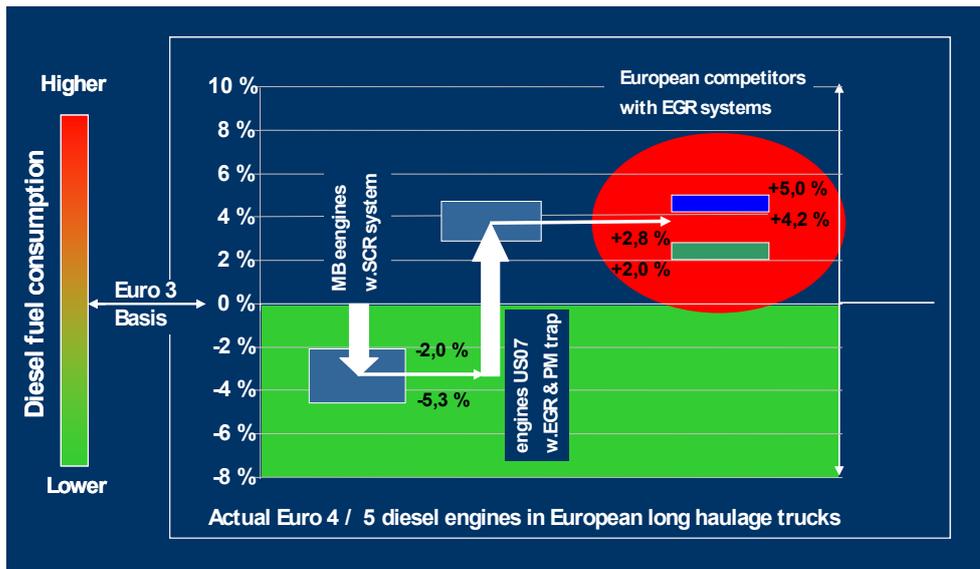


图 12: 燃油消耗量的比较

在市场上的现有 US04 载重车显示了排气再循环系统的另一个缺点：机油更换周期必须缩短（根据欧洲和美国的油品，预计缩短 30%左右），因为炭烟进入机油的比率比现有欧 III 载重车更高。这是由于为排气再循环优化的燃烧是在较低空气/燃油比的条件下进行。在中国市场的条件下也将是如此，超低硫燃油的供应将使机油更换周期能够延长到目前的欧洲水平。

图 13 总结了两种系统之间的差异。

Criteria \ Techn. solution	Euro 4		Euro 5	
	SCR	medium EGR + DOC	SCR	High EGR + DPF
Preconditions:				
> Sensitivity against sulfur fuel	++	-	++	--
> need of infrastructure. Adblue®	-	++	-	++
Complexity:				
> System Application	+ / 0	0	+	-
> OBD Capability	0	0	+	+ / 0
Economy:				
> Installed costs	0 / -	0	0 / -	-
> Fuel Consumption	+	-	++	--
> Service	+	-	+	--
Vehicle configuration:				
> Cooling System	+	-	+	--
> Adblue® Tank	-	0	-	0
> Muffler + Cat or DPF	0 / -	0	0 / -	--
Summary	😊	😐	😊	😞

图 13: 排气再循环系统与选择性催化还原系统的比较

对于欧 V 标准来说，选择性催化还原方案显然更加可取，主要因素包括：

- 与超低硫柴油相比，中国的基础设施更适合 AdBlue[®]；
- 经济性考虑，主要基于更低的燃油消耗量；
- 与在车辆上安装冷却装置相比，选择性催化还原系统更加易于安装。

对于欧 IV 标准来说，与 AdBlue[®]基础设施所需投资相比，排气再循环的缺点可能并不严重。但是，必须承认，装配排气再循环的车辆只能在能够提供欧 IV 燃油的大城市及其周边行驶。

不管怎样，这只是针对欧 IV 标准的短期方案，因为图 13 清晰显示了欧 V 标准的各种参数选择。中国立法部门已经宣布，将在欧 IV 标准之后不久实施欧 V 标准。因此，如何选择降低排放的技术应取决于长期战略而不是短期解决方案。

3. 对欧 VI 概念的展望

有关欧 VI 标准的讨论始于去年，当时欧盟委员会发布了调查问卷，旨在调查与不同的降低排放情景相关的成本和能源消耗量。这些情景在图 14 中显示为从 A 到 D 的选项。

	Euro 4	Euro 5	Euro 6			
			Option A	Option B	Option C	Option D
NOx [g/ kWh]	3,5	2,0	0,2	0,4	0,5	1,0
PM [g/ kWh] stationary	0,02	0,02				
PM [g/ kWh] transient	0,03	0,03	0,01	0,025	0,015	0,015

➡ presently uncertainties; EU COM Euro 6 proposal not expected before 2007

图 14：欧 VI 标准（讨论中）的选项

这些情景的范围介于选项 A 和选项 D 之间，选项 A 实际上是 US 2010 限值，选项 D 是将欧 V 标准中的氮氧化物和微粒排放分别降低 50%。选项 B 是对应非道路机动车辆（NRMM）的限值，这已经确定于 2013 年开始实施。每一个微粒排放标准都将要求微粒后处理以及各自的氮氧化物限值。根据

不同利益相关者提供的反馈，欧盟委员会将在 2007 年向欧洲议会和欧洲理事会提交欧 IV 提案。考虑到欧盟立法程序，欧 IV 标准将可能在 2009 年获得批准并在 2010 年和 2012 年之间生效。

有关欧 IV 排放限值的最终决定将对发动机和处理技术产生重大影响。上述四个选项（从 A 到 D）都将需要柴油机微粒滤清器，从而有效地降低微粒排放。因此，技术选择在很大程度上取决于氮氧化合物的水平。总之，选择性催化还原概念具有显而易见的巨大潜力，最有可能成为唯一持久的氮氧化物后处理技术。

Test cycles		NOx-Limits			
		Option A	Option B	Option C	Option D
		0,2 g/kWh	0,4 g/kWh	0,5 g/kWh	1,0 g/kWh
ETC/ ESC □ NOx ≈ 85%	required NOx engine out	1,4 g/kWh	2,7 g/kWh	3,3 g/kWh	6,7 g/kWh
	challenge engine technology	high	strong	strong	significant
	exhaust gas aftertreatment SCR: selective catalytic reduction DPF: Diesel particulate filter	new SCR + active DPF	new SCR + active DPF	new SCR + active DPF	today's SCR passive DPF
	fuel consumption (in comparison to Euro 5)	+ 9%	+ 4 %	+3 %	0 %
	CO ₂ balance	--	0 / -	0	+
WHTC/ WHSC □ NOx ≈ 65%	required NOx engine out	0,6 g/kWh	1,2 g/kWh	1,5 g/kWh	3,0 g/kWh
	challenge engine technology	???	very high	high	strong
	exhaust gas aftertreatment SCR: selective catalytic reduction DPF: Diesel particulate filter	new SCR + active DPF			
	fuel consumption (in comparison to Euro 5)	>> + 10 %	+ 10 %	+ 8 %	+ 3,5 %
	CO ₂ balance	---	---	--	0

ETC/ ESC: European transient / stationary cycle WHTC/ WHSC: WW harmonized transient/ stationary cycle

图 15: 欧 VI 后处理技术的途径图

图 15 显示了欧 VI 后处理的情景。在对比可能的欧 VI 技术时，也必须考虑到排放试验循环。如表格的上半部分所显示，欧洲 VI 的情景是基于欧洲瞬态循环（ETC），典型的氮氧化物转化率为 85%。目前正在讨论是否作为全球技术规范的全局统一瞬态循环（WHTC）可能会成为欧 VI 标准的一种选择甚至可能成为强制标准。如表格的下半部分所显示，全球统一瞬态循环包括了大部分市区运行，在市区运行时，排气温度比较低，氮氧化物转化率也比较低（大约为 65%）。

不同的发动机技术呈现了不同难度的挑战：“比较困难”、“困难”、“相当困难”、“极为困难”。在欧洲瞬态循环中，选项 D（对应的氮氧化物排放限值为 1g/kWh）通过选择性催化还原系统就可以实现，而且不会对燃油消耗量产生任何影响，并且很可能不需要排气再循环。但是，在全球统一瞬态循环中，同样的选项已经呈现了的严峻挑战，需要使用排气再循环，并且燃油消耗量略有上升。在进一步降低氮氧化物排放时，除了选择性催化还原和排气再循环之外，还需要越来越多的尖端发动机技术，并导致燃油消耗量持续增加，对二氧化碳平衡产生不利影响。在欧洲瞬态循环中，这种

增长比较缓和地降至 0.4g/kWh 的氮氧化物排放水平。在欧洲瞬态循环中将氮氧化物排放降低到 0.2g/kWh，以及在全球统一瞬态循环中将氮氧化物降低到 0.5g/kW 或者更低，将会导致燃油消耗量和二氧化碳排放大幅增加 8%和 10%以上，即使是使用全新开发的发动机。

戴姆勒-克莱斯勒认为：欧 VI 提案应该在低氮氧化物排放以及低油耗/二氧化碳平衡之间取得良好的平衡。作为降低排放技术的起点，选择性催化还原技术具有出色的燃油经济性，因此比排气再循环和其他技术更加可取。对于技术解决方案而言，推行全球统一瞬态循环提出了更加苛刻的要求，但是有助于在全球范围内营销产品。

如上所述，可能的欧 VI 微粒排放限值将需要柴油机微粒滤清器以及良好的油品（含硫量不超过 10ppm）。最迟到推行欧 VI 排放限值时，中国必须在全国范围内完成柴油的脱硫工作，以提供含硫量不超过 10ppm 的超低硫柴油（ULSD）。但是，如果在欧 IV/V 标准时就应用选择催化还原系统，中国炼油行业可以利用在推行欧 VI 标准之前的时间，从而逐步改善油品。这是较为合理的时间期限，与几年前欧洲推行低硫燃油的情况基本相同。

4. 结论及建议

为了满足比欧 III 标准更加严格的排放限值，柴油机技术必须辅以其他降低排放的技术，例如排气再循环、柴油机微粒滤清器或者选择性催化还原。有关哪种技术最为合适的决定将取决于中国市场到 2010 年是提供超低硫柴油（ULSD）还是提供还原剂 AdBlue®。

我们明确推荐选择性催化还原技术以及并建设相应的 AdBlue®基础设施，而不是排气再循环和柴油机微粒滤清器，这主要是基于以下原因：

- 具有更加出色的节油能力；
- 在推行欧 VI 标准之前，对如今欧 III 燃油的敏感度比较低；
- 具有包括欧 VI 标准的长期潜力；
- 对车辆（特别是驾驶室设计）的影响比较小；
- 发动机复杂性比较低；
- 预计总体成本比较低，特别是对于欧 V 标准；
- 能够同时满足欧 IV/V 标准，可以在部分地区提前推行；
- 在基础设施仍然落后时，即使在开始阶段也可以确保车辆的安全运行。

应用选择性催化还原技术（品牌名为 BlueTec® 4/5）的梅赛德斯-奔驰载重车所取得的巨大成功证实了这项技术的优势和成熟性。在上市之后的第一个年度中，BlueTec 载重车的销量就超过了 1 万辆。



图 16：为达到欧 IV/V 标准而应用 BlueTec® 选择性催化还原技术的梅赛德斯-奔驰中型/重型载重车
(95-440 千瓦)