

《重型车用压燃式、气体燃料点燃式发动机排放污染物排放限值及测量方法（北京第 VI 阶段）》（征求意见稿）编制说明

《重型车用压燃式、气体燃料点燃式发动机排放污染物排放限值及测量方法（北京第 VI 阶段）》标准编制组

2015 年 11 月

目录#

1.	项目依据和背景	1
1.1.	项目依据	1
1.2.	任务来源	1
2.	标准制订的必要性分析	2
2.1.	北京市车辆保有量逐年增加	2
2.2.	重型车 NO _x 排放严重	2
2.3.	现行标准试验循环工况的局限性	4
2.4.	标准制订的目的	6
3.	国内外相关情况	7
3.1.	国外重型汽车排放相关标准和法令	7
3.2.	北京市重型汽车排放相关标准及研究	14
4.	标准的主要内容分析说明	17
4.1.	适用范围	17
4.2.	本标准引用的标准	17
4.3.	术语和定义	18
4.4.	技术要求和试验	18
4.5.	发动机环保核准的申请	23
4.6.	环保核准视同条件	23
4.7.	发动机环保一致性	23
4.8.	发动机在用符合性	23
4.9.	标准实施	24
4.10.	环保核准申报材料	24
4.11.	发动机环保标记	24
4.12.	发动机循环排放试验规程	24
4.13.	发动机非循环排放（OCE）试验规程	26
4.14.	车载诊断系统	28
4.15.	NO _x 控制措施正确运行的要求	29
4.16.	发动机系统耐久性	30

5.	VI阶段发动机的前期验证试验	31
5.1.	试验装置说明	31
5.2.	京V和欧VI标准差异总结	32
5.3.	验证试验项目	33
5.4.	气体分析仪的新要求	34
5.5.	颗粒物称重的新要求和建议	34
5.6.	DPF再生因子的验证	34
5.7.	OBD系统验证	36
6.	可行性分析	40
6.1.	实施本标准的环境效益分析	40
6.2.	技术可行性分析	40
6.3.	测试技术可行性分析	42
6.4.	经济可行性分析	42

重型车用压燃式、气体燃料点燃式发动机排放污染物

排放限值及测量方法（北京第 VI 阶段）

编制说明

1. 项目依据和背景

1.1. 项目依据

《中华人民共和国环境保护法》第 16 条规定“省、自治区、直辖市人民政府对国家污染物排放标准中未作规定的项目，可以制定地方污染物排放标准；对国家污染物排放标准中已作规定的项目，可以制定严于国家污染物排放标准的地方污染物排放标准。地方污染物排放标准应当报国务院环境保护主管部门备案”。

《中华人民共和国大气污染防治法》第 88 条规定“重点区域内有关省、自治区、直辖市人民政府应当实施更严格的机动车大气污染物排放标准”的规定，制定了北京市第六阶段机动车排放标准。

此外，《中华人民共和国大气污染防治法》第 50 条规定“省、自治区、直辖市人民政府可以在条件具备的地区，提前执行国家机动车大气污染物排放标准中相应阶段排放限值，并报国务院环境保护主管部门备案”，但北京市已经实施国家第五阶段排放标准，目前无更严格排放标准供地方选择，因此，北京市环保局组织制定北京市第六阶段机动车排放标准。

1.2. 任务来源

为改善首都大气环境质量，自 1998 年 12 月以来，北京市先后实施了十六个阶段控制大气污染措施，并经国务院批准于 1999 年、2002 年、2005 年和 2008 年分别执行了国家第一阶段、第二阶段、第三阶段和第四阶段机动车排放标准。通过实施一系列大气污染防治措施，北京市空气质量连续 13 年得到改善，但与国家标准还有一定差距，特别是颗粒物和臭氧问题仍较为突出。

2014 年 10 月，北京市 PM_{2.5} 来源解析最新研究成果发布。北京市全年 PM_{2.5} 来源中区域传输贡献约占 28-36%，本地污染排放贡献占 64-72%。在本地污染贡

献中，机动车、燃煤、工业生产、扬尘为主要来源，分别占 31.1%、22.4%、18.1% 和 14.3%，餐饮、汽车修理、畜禽养殖、建筑涂装等其他排放约占 PM_{2.5} 的 14.1%。

鉴于北京市机动车排放污染日趋突出的情况，为进一步改善空气质量，按照北京市政府发布的《北京市 2012-2020 年大气污染防治措施》（京政发[2012]10 号）和《北京市人民政府关于印发北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划的通知》（京政发[2013]27 号），以及北京市政府办公厅发布的《北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划重点任务分解》（京政办发[2013]49 号）的要求，北京市将实施第六阶段机动车排放标准，为此设立项目，开展北京市第六阶段机动车排放标准制定研究工作。

2. 标准制订的必要性分析

2.1. 北京市车辆保有量逐年增加

近些年来，北京市机动车增长迅速，目前，北京市机动车保有量已经超过 550 万辆，机动车排气污染已成为污染大气环境、危害人类健康的主要来源之一。为此，北京市环保局多年来持续针对机动车污染治理问题开展了大量工作。如建立和完善了 I/M（监测/维修）制度，大大削减了污染物的存量、2008 年 1 月 1 日实行了国 IV 标准，2015 年 6 月 1 日施行重型车京 V 以及其他针对北京市重型车排放特征制定的地方标准和公告，极大地控制了污染增量。尽管北京市采取了很多切实有效的机动车污染控制措施，但是机动车保有量的猛增还是给北京市巨大的环境污染压力，尤其是重型车排放，北京市重型柴油车保有量约 22 万辆，约占北京市机动车保有量的 4%，但排放 NO_x 和 PM 在 50%和 90%以上，重型车 NO_x 和 PM 排放已经是北京市大气污染源的一个重要来源，对北京市的空气质量造成很大影响，必须进一步加强重型车的排放控制管理。

2.2. 重型车 NO_x 排放严重

国内相关研究发现，国四公交车实际运行时，所排放的 NO_x 远远超出型式核准的限值，直接导致大量的 NO_x 污染物排放。对城市车辆实际运行时的 NO_x 排放超标问题，我国相关机构已经开展过相应的实车测试试验，采用车载测量设备（PEMS）进行排放测量，所收集到的 22 辆城市车辆实际运行的平均 NO_x 比排放数据见图 1。

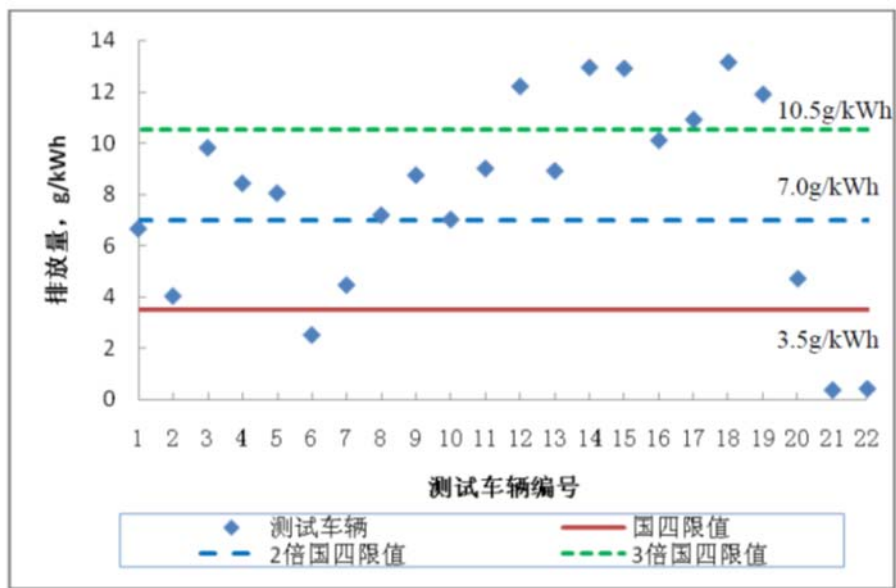


图 2.1 比排放数据

由图 2.1 可以看出，在 22 辆车的平均排放数据中，只有 3 辆车满足国四标准 3.5g/kWh 的排放限值，占 14%；在所有数据中，有 15 辆车的数据超过排放限值的两倍，占所有数据的 68%；甚至还有 27%（6 辆）的数据超过了排放限值的 3 倍。可见，在城市车辆实际运行时，NO_x 排放超标问题十分严重。国四车辆在城市的实际运行当中，排放大大超出了核准时的水平，这对我国城市 NO_x 总量减排目标的实现极为不利。据国际清洁交通委员会（ICCT）估计，中国自 2008 年至 2015 年间，由于国 IV 标准车辆在主要城市的城区行驶，NO_x 将会比预期多排放约 4 万吨。

研究国四车辆在城市运行中 NO_x 排放严重超标的问题，发现超标车主要为采用 SCR 技术的车辆。当企业设计国四（欧四）发动机时，通常主要有两条技术路线：EGR+DOC（或 DPF）和缸内净化+SCR；到国五（欧五）时，基本上所有的发动机生产厂家都要采用 SCR 系统。在已经满足国四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 SCR。SCR 技术的原理是通过在富氧的尾气中喷入还原剂氨气，在催化剂作用下，把 NO_x 还原成无害的氮气和水。在柴油车尾气排放控制领域，一般使用尿素溶液作为还原剂。

影响 SCR 系统 NO_x 转换效率的因素很多，除催化器材料、催化器的容积和尿素喷射的控制策略等相关设计参数外，还与温度有着密切的关系。当排气温度

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。对于大多数卡车和公交车装配的 SCR 系统来讲，在低于 280℃ 时，催化剂活性会显著降低，低于 200℃ 时，尿素将不能被转化为氨气，系统也被设计成不喷射尿素。

对于柴油发动机而言，排气温度通常是随着发动机负荷而变化的。在怠速时，排气温度能低至 100℃，而当发动机负荷接近最大时能超过 500℃。城区工况的典型特征就是低速而且反复停车-起步，车辆的负荷也相对较低。低转速、低负荷的城区工况一般会导致排气温度低于 300℃。在这种工况下，由于尿素喷射量的减少，并且催化剂活性较低，SCR 系统工作效率很低，SCR 系统降低 NO_x 排放的效果明显降低，从而导致发动机 NO_x 排放的严重超标。

2.3. 现行标准试验循环工况的局限性

目前，GB 17691-2005 中，型式核准时，要求发动机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）。国 IV 和国 V 的型式核准测试循环包括稳态循环（European Steady-state Cycle, ESC）和瞬态循环（European Transient Cycle, ETC）。ESC 包括 13 个稳态的发动机负荷点，ETC 为瞬态试验循环，包括 1800 个逐秒变化转速和负荷的工况点，构成一个整体试验循环并连续运行。

在整个 ETC 试验循环中，平均的发动机转速是额定转速的 57%，平均的发动机功率是额定功率的 31%，怠速时间占整个循环时间的 6%。ETC 试验循环与我国城市公交车实际运行情况差别较大，见图 2.2。ETC 测试循环相比城市公交实际运行情况，发动机平均负荷相对较高，这就意味着整个循环内的平均排气温度也较高。而且，在型式核准测试之前，厂家可以完全预热发动机，使发动机排气温度高于 300℃。在这种高温的测试条件下进行试验，装配 SCR 的发动机完全能够满足国 IV 和国 V 的 NO_x 排放限值。对于这种采用 SCR 技术的发动机，由于型式核准试验工况的缺陷，企业在开发时，基本没有考虑低温、低负荷的工况，以至于在实际的低温低负荷的城区工况中运行时，会产生很高的 NO_x 排放。

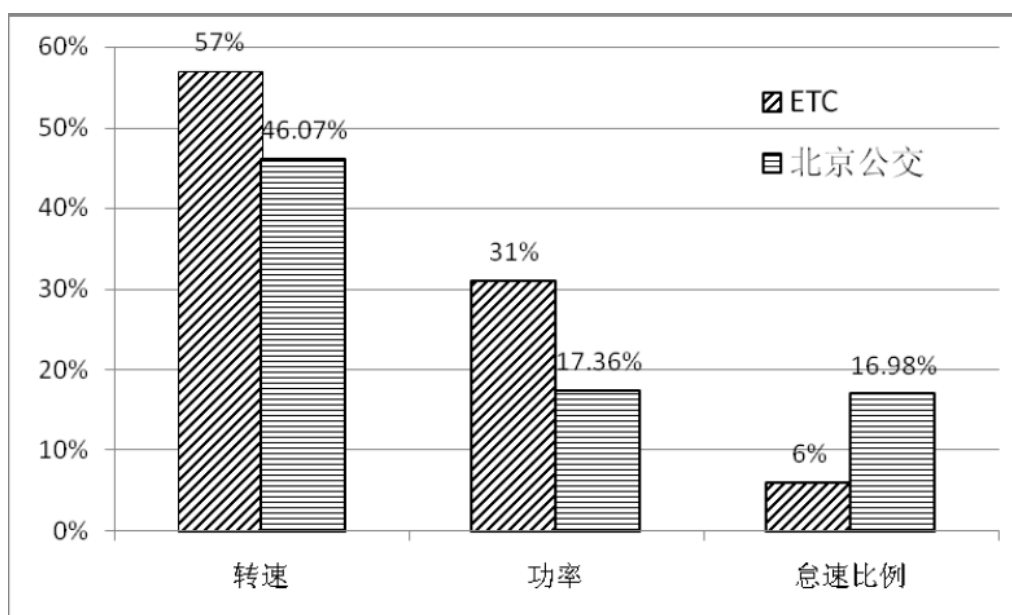
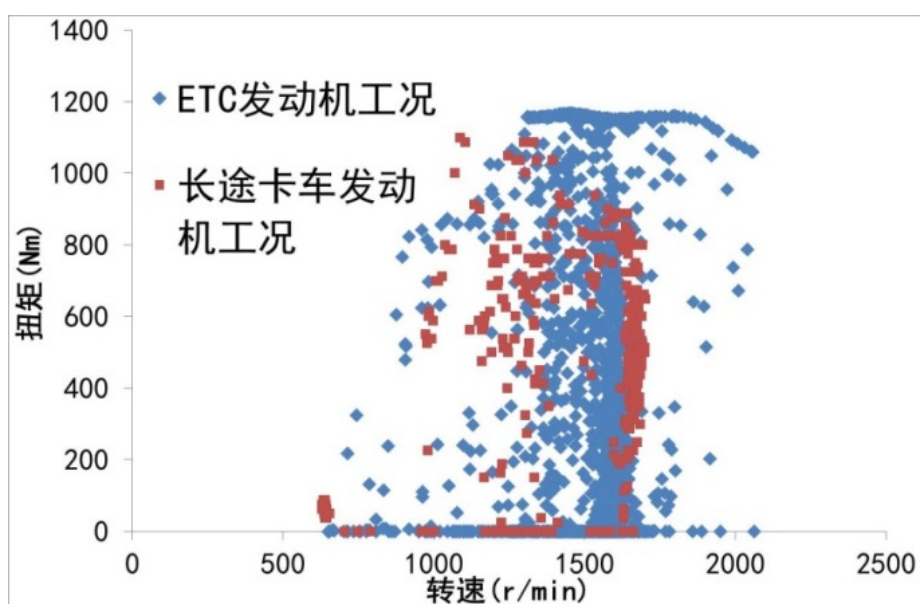


图 2.2 公交车实际运行工况与 ETC 比较

图 2.3 分别给出了长途卡车，自卸车和公交车实际道路循环的发动机工况与法规工况 ETC 的对比图。由图中可以看出，只有长途卡车的实际道路工况与 ETC 工况类似。其他车辆的实际运行工况都在 ETC 排放控制区域的外边。如果开发标定过程中不对这些区域进行控制，则排放必然失控。现行测试循环与重型车实际道路排放特征的差异性必然会导致重型车实际道路排放的恶化，因此有必要针对现行的发动机认证标准重新制定新的发动机排放测试标准。



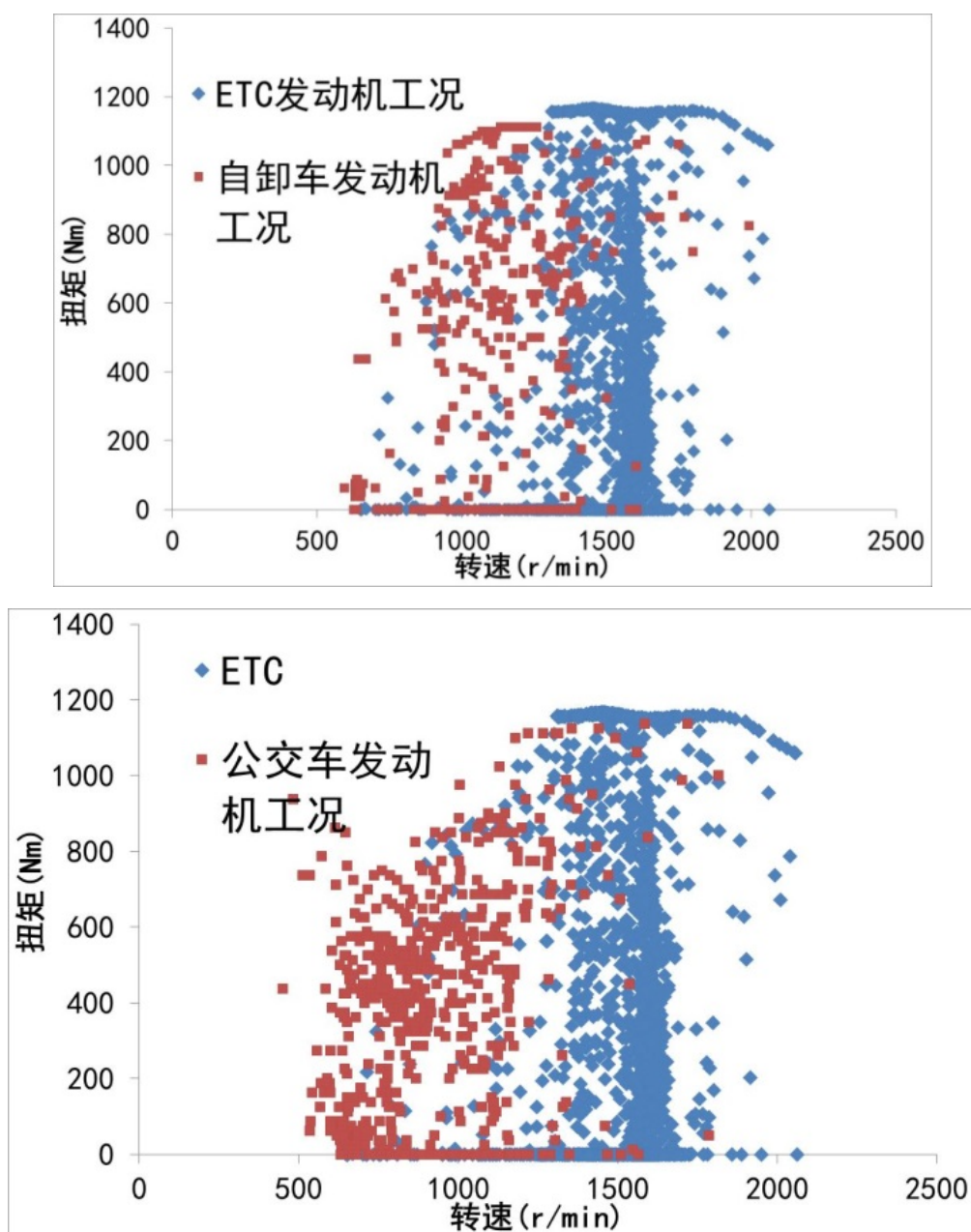


图 2.3 三类重型车实际道路发动机工况与 ETC 工况对比

2.4. 标准制订的目的

标准制订的目标是将京 VI 排放标准制订为国内外最为严格的排放测试标准。现行标准是 GB17691-2005，新制定的重型发动机排放测试标准以欧洲六阶段标准为基础，并在此基础上加严了 NO_x 控制措施要求，加严了非循环排放的要求。

与 GB17691-2005 相比，新标准在测试循环方面引入了冷热态的 WHTC 循环、稳态测试循环 WHSC 以及非循环排放测试循环 WNTC，且各污染物的排放限值明显

加严，在污染物评价种类方面则引入了颗粒物数量评价指标，在 OBD 和 NO_x 控制方面，标准对发动机的 OBD 功能要求更加完善，NO_x 控制策略更加侧重于对车辆 NO_x 排放控制。新制定的测试评价标准，从测试方法，测试限值以及监管思路都发生了较大的变化，标准的实施必将在很大程度上缓解重型车发动机台架测试达标，整车实际道路排放结果远远超标的问题，从而解决北京市重型车辆排放失控问题。

3. 国内外相关情况

3.1. 国外重型汽车排放相关标准和法令

3.1.1 欧洲

欧洲标准是欧盟国家为限制汽车排放污染物对环境造成的危害而共同采用的汽车尾气排放标准，由欧洲经济委员会（ECE）的排放法规和欧盟（EU）的排放指令共同加以实现的。排放法规由 ECE 参与国根据协议自愿采用认可，排放指令则是要求 EEC 或 EU 参与国强制执行并相互认可。为了减少汽车尾气排放，改善欧盟境内空气质量，规定工业部门应该确立一个明确的排放限值标准，并且允许有一个合适的相应期限来达到这个标准和技术水平。该标准体系将欧洲的汽车分为总质量不大于 3.5t 和大于 3.5t 两类。前者称轻型车，后者称重型车。轻型车包括柴油车和汽油车，重型车只有柴油车的排放标准而无重型汽油车的排放标准，这是由于欧洲不生产或极少生产重型汽油车。

欧洲自 1988 年通过 88/77/E1-C 指令控制总量 3.5t 以上柴油车排气污染物，分阶段实施欧 I 和欧 II 标准。从 2000 年、2005 年、2009 年先后实施欧 III、IV、V 机动车排放标准，并计划于 2014 年实施欧 VI 标准；欧洲重型车排放管理以发动机为主，但他们已经意识到重型车整车排放与发动机排放差异很大，并且在欧 VI 内增加了在用重型车整车的排放测试方法和限值。表 1 给出了欧洲重型柴油车排放标准演变过程。

表 3.1 欧洲重型柴油车排放标准 (单位：g/kWh，烟度：m⁻¹)

实施标准 ⁽¹⁾	实施时间	测试工况	CO	HC	NOX	PM	烟度	NMHC
ECER49	1981-1987 年	稳态 13 工况	14.0	3.5	18.0			

88/77/EEC		1988-1991 年	稳态 13 工况	12.3	2.6	15.8				
91/542 /EEC	欧 I	1991-1996 年 9 月, <85kW	稳态 13 工况	4.5	1.1	8.0	0.612			
		1992-1998 年 9 月, >85kW	稳态 13 工况	4.5	1.1	8.0	0.36			
	欧 II	1996 年 10 月 -2000 年 9 月, <85kW	稳态 13 工况	4.0	1.1	7.0	0.25			
		1998 年 10 月 -2000 年 9 月, >85kW	稳态 13 工况	4.0	1.1	7.0	0.15			
欧 III		1999 年 10 月, 仅对 EEVs	ESC/ ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15		
			ETC	3.0		2.0	0.02	0.15	0.40	
		2000 年 10 月 ~2005 年 9 月	ESC/ ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13	0.8	0.78	
			ESC/ ELR	2.1	0.66	5.0	0.16 0.21			
欧 IV		2005 年 10 月 ~2008 年 9 月	ESC/ ELR	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5		
			ETC	4.0		3.5	0.03	0.5		0.55
欧 V		2008 年 10 月 ~2012 年 12 月	ESC/ ELR	1.5	0.46	2.0	0.02	0.5		
			ETC	4.0		2.0	0.03	0.5	0.55	
欧 VI		2013 年 1 月	WHSC	1.5	0.13	0.4	0.01			
			WHTC	4.0	0.16	0.46	0.01		0.16	

(1) 欧 I-欧 VI 起始时间为型式认证开始时间, 至所有产品满足新标准有一年过渡期。

(2) EEVs 为推荐标准, 非强制性标准。

(3) 欧 III 试验工况修改为 ESC 和 ETC, 在此阶段允许制造商选择两种工况中的任何一种进行认证, 但限值不同。对于采用先进的排气后处理技术 (如降 NO_x 催化系统或微粒捕集器) 的重型车用柴油机, 欧 III 中还要求加试一个类似于美国重型车用发动机瞬态工况标准测试循环的欧洲瞬态 ETC, 以使检验排气后处理系统的动态性能。

(4) 适用于每缸排量小于 0.75dm³ 并且额定功率转速超过 3000rpm。

(5) 自欧 IV 开始必须采用 ETC 工况。

欧盟国家已经统一实施了柴油车排放标准, 其内容包括新开发车的型式认证试验和现生产车的生产一致性检查试验。在 2000 年以前, 欧洲所用的试验方法一直是稳态 13 工况法。从 2000 年的欧 III 阶段开始, 试验工况改为欧洲稳态循环 (ESC) 和欧洲瞬态循环 (ETC), 允许制造商选择二种工况中的任意一种进行

认证，同时增加自由加速烟度（ELR）。从欧 VI 开始则必须选择 ETC 工况，图 3.1、3.2 和 3.3 分别显示了三种测试循环。

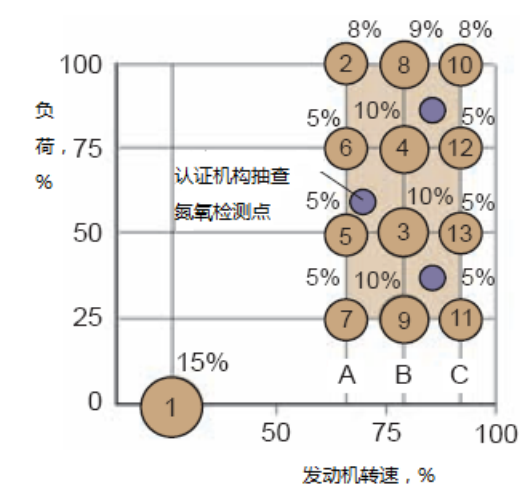


图 3.1 ESC 测试循环

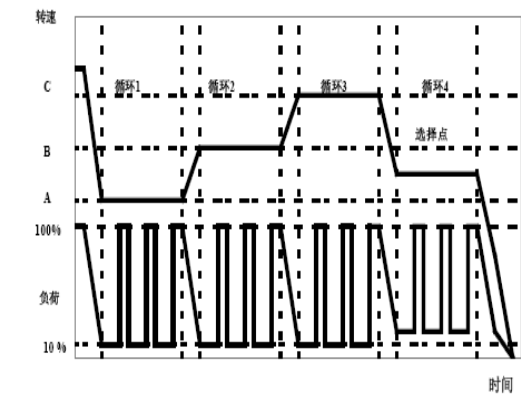


图 3.2 ELR 测试循环

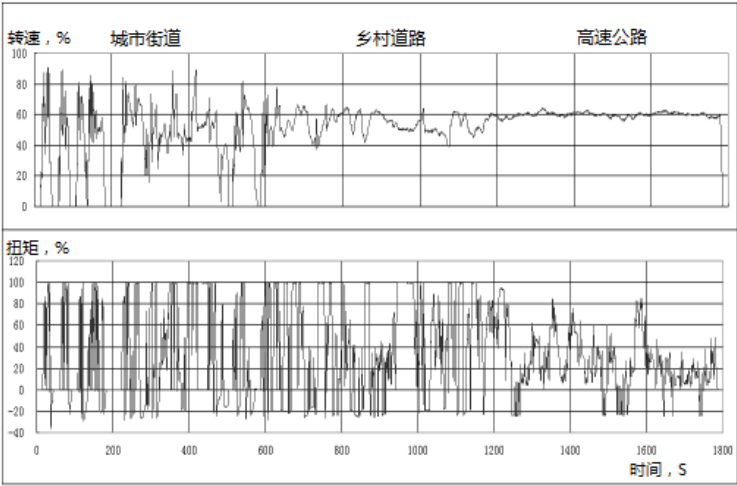


图 3.3 ETC 测试循环

欧洲稳态测试循环的测试转速有 3 个。标准中定义的外特性上功率为 50%额定功率所对应的转速为 0%转速。在超速时，功率降到 70%额定功率所对应的转速为 10%转速。测试转速 A、B 和 C，则分别为根据上述定义的 25%、50%和 75%转速。各工况点的运行时间，除了怠速 4min 外，其余 12 个工况点均为 2min。在欧洲 ESC 稳态测试循环中，为了防止利用电控系统作弊，排放考核时考核人员可以增加 3 个任意的工况点来考核系统的一致性。欧洲对柴油车/机烟度的考核，一直实施 86 年修订的限值——ECER24/03。从 2000 年开始，在欧洲 ECE 稳态测试循环中增加了一个加载烟度测试，在 A、B 和 C 三个转速下，从 10 %负荷开始，

把油门突然加到最大，测量这个过程的烟度最大值。考核人员可以在 A 和 B 之间增加一个测试点。加载烟度的测量可以模拟车辆在有载荷时的实际加速工况。

在欧 VI 阶段，欧洲已经意识到，从欧 III 到欧 V，现有的 ESC 循环和 ETC 循环很难反应车辆在实际运行过程中的排放情况，许多装备有 SCR 系统的新的欧 IV 和欧 V 车辆尽管能够在型式核准时满足排放法规的要求，但是在实际运行中，特别是在城区行驶的情况下，实际排放的氮氧化物（NO_x）却远高于型式核准的限值。因此，2009 年，欧盟发布 EC/595/2009 法规，并于 2011 年发布 EC/582/2011 法规进行修订，规定了重型车辆欧 VI 排放标准。在欧 VI 法规中，将采用世界统一的稳态测试循环（World Harmonized Steady-state Cycle, WHSC）和世界统一的瞬态测试循环（World Harmonized Transient Cycle, WHTC），该工况对各种路况，包括城区路况具有较好的代表性，并规定了相应限值。下面给出了欧 VI 标准与之前欧洲标准的主要变化：

- 更加严格的发动机排放限值，增加了对颗粒物数量(PN)和 NH₃ 的排放要求；
- 新的发动机排放测试循环，用 WHSC 和 WHTC 代替 ESC 和 ETC，增加非循环区域排放测试 WNTC；
- 更加严格的耐久试验要求；
- 增加重型车整车在用符合性排放核查方案；
- 更加严格的 OBD 和 NO_x 控制要求，增加在用车检测频率 IUPR_m 的核查。

其中图 3.4 为 ETC 与 WHTC 循环条件下，发动机负荷分布对比。由图中可以看出，在整个 ETC 试验循环中，平均的发动机转速是额定转速的 57%，平均的发动机功率是额定功率的 31%，怠速时间占整个循环时间的 6%。而在 WHTC 试验混合中，平均的发动机转速是额定转速的 36%，平均的发动机功率是额定功率的 17%，怠速时间占整个循环时间的 17%。

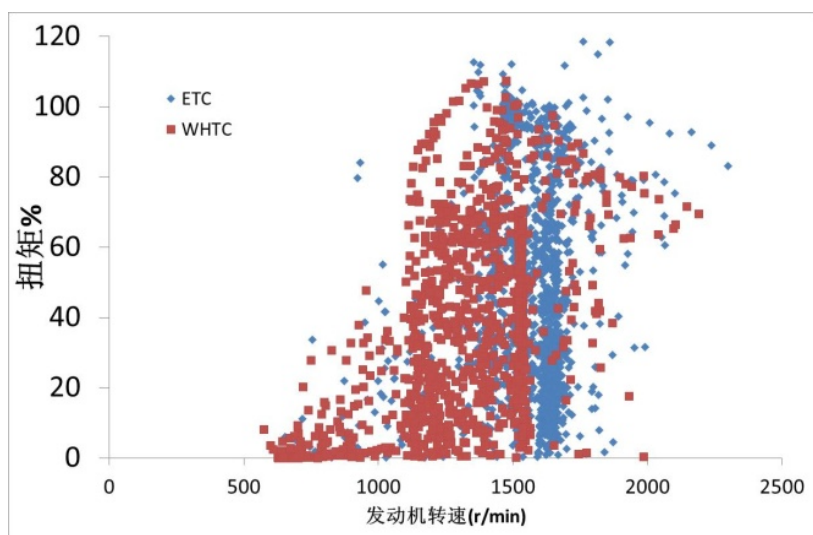


图 3.4 ETC 与 WHTC 循环条件下发动机负荷分布对比

同样，图 3.5 给出了 ESC 与 WHSC 测试工况点分布情况，由图中可以看出绿色的 WHSC 测试点基本分布在发动机中低速区域，ESC 则分布在中高速区域。WHSC 的循环功相当于 ESC 循环功的 50%。

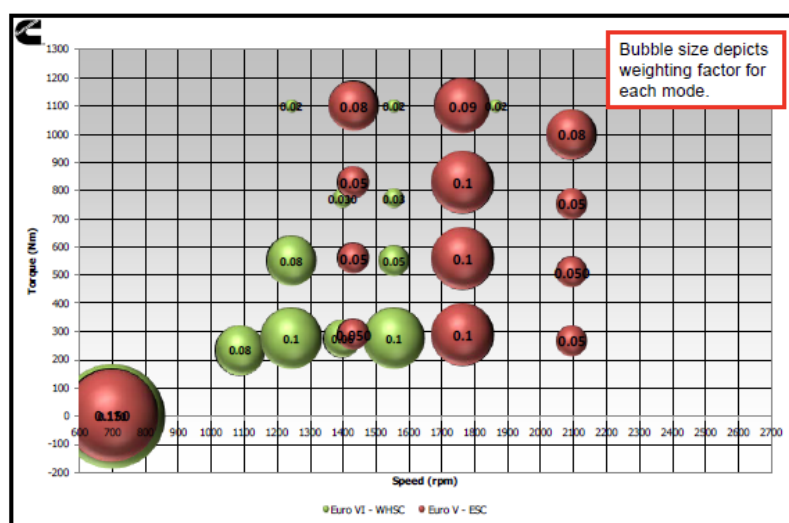


图 3.5 ESC 与 WHSC 测试点对比

表 3.2 给出了欧 VI 标准的限值，由表中可以看出，在加严原有限值的基础上增加了对氨和颗粒物数量的要求。

表 3.2 欧 VI 标准限值

	CO	THC	NMHC	CH ₄	NO _x	NH ₃	PM	PN
	mg/kWh					ppm	mg/kWh	#/kWh
WHSC ⁽¹⁾	1500	130	—	—	400	10	10	8×10 ¹¹

WHTC ⁽¹⁾	4000	160	--	--	460	10	10	6×10^{11}
WHTC ⁽²⁾	4000	--	160	500	460	10		6×10^{11}
(1) 为压燃式发动机；(2) 为点燃式发动机								

3.1.2 美国

美国是当今世界上控制汽车排放最严格的国家，其汽车排放标准主要分为美国环保署（EPA）排放标准法规体系和加州空气资源局（CARB）排放标准法规体系，一般 CARB 标准最严格。美国 80 年代前采用汽油车 9 工况法柴油车 13 工况法，80 年代后至 2004 年之前，加州和联邦分别对汽、柴油车设置限值，并且采用 EPA 瞬态工况，其中加州大约比联邦要早实施两年。1970 年美国首次制定重型卡车和公共汽车烟度排放标准。1985 年 EPA 又颁布了重型车用柴油机的排放标准。2000 年 EPA 签署了 2007 年及以后重型车用发动机的排放标准[4]。加州制定和实施了更加严格的地方排放标准，实施低排放标准和零排放标准，有力地推动了技术的前进，促进了电动汽车和替代燃料汽车的发展。

美国重型车用柴油机排放标准限值的演变过程见表 3.3。从表 3.3 中可见，对 PM 的控制是从 91 年开始的；从 85 年以来，对 CO、HC 和烟度的排放要求基本维持在同一水平，只逐步加严 NO_x 和 PM 的限值。

表 3.3 美国环保署的重型柴油机排放标准（单位：g/kW·h）

排放标准	实施年代	CO	HC	NOX	PM	NMH C	NM HC+ NOX	烟度（不透光度 /%）
	1970-1973 年							40/20/50
	1974-1978 年	53.6	21.4					20/15/50
	1979-1983 年	33.5	13.4 (HC:2.01)					20/15/50
	1984 年	20.8 20.8	0.67 1.74	12.1 14.3				20/15/50 20/15/50
	1985-1987 年	20.8	1.74	14.3				20/15/50
	1988-1989 年	20.8	1.74	14.3	0.804			20/15/50
	1990 年	20.8	1.74	8.0	0.804			20/15/50
	1991-1992 年	20.8	1.74	6.7	0.335			20/15/50

	1993 年	20.8	1.74	6.7	0.335/0.134			20/15/50
	1994-1995 年	20.8	1.74	5.4	0.134/0.094			20/15/50
	1996-1997 年	20.8	1.74	5.4	0.134/0.067			20/15/50
EPA 1998	1998 年	20.8	1.74	5.4	0.134/0.167			20/15/50
	1999-2003 年	20.8	1.74	5.4	0.134			20/15/50
EPA 2004	2004-2006 年	20.8	1.74	3.4	0.134	n/年	3.32 3.35	20/15/50
EPA 2007	2007-2009 年	20.8	1.74	0.3(族排放限值 1.6~0.2)	0.013	0.19		20/15/50
EPA 2010	2010-2013 年	20.8	1.74	0.3	0.013			20/15/50

注：表中烟度值三个限值分别为加速、加载和峰值烟度的限值。

美国从 84 年起实施的 EPA 以瞬态测试循环含有发动机非稳定运转状态，更接近车辆实际行驶状态。在瞬态测试循环中，给定的扭矩和转速值都是其最大值的相对值。根据已知的标定转速和全负荷特性曲线，可以给定每个瞬态的扭矩和转速值。瞬态测试循环要运转两次，一次冷起动、一次热起动。在冷起动和热起动的两个循环中，分别测量排放量，以 1:7 的比例（冷起动、热起动）进行加权平均。冷起动前的油温必须控制在 20-24℃，冷起动循环结束后，停车 20 分钟，再进行热起动的第二次循环和相应的排气分析。在瞬态测试循环中，PM、NO_x 和 CO 排放量，必须使用全流量的定容取样系统（CVS）。美国测试柴油车/机的烟度采用全流不透光烟度计，烟度的限值单位为透光度的百分比（%）。

美国法规中，还规定了非法规工况的排放要求（Not-To-Exceed, NTE）。NTE 方法以防止非法规检测点排放过高为目的，运用车载排放设备测试基于发动机负荷信息和车辆的瞬时排放数据，对车辆排放进行研究的一种方法，NTE 方法在自由工况下进行的测试。NTE 方法的主要监管对象为气态污染物包括 NMHC、NO_x 和 CO，气态污染物已于 2006 年 8 月强制施行，对于颗粒物的强制实施时间还未定，在进一步的讨论之中。

NTE 具体方法是利用车载测试获取发动机相关信息和瞬时排放数据，确定落

入 NTE 控制区域的发动机负荷点工况，并将落入 NTE 控制区内连续 30s 及 30s 以上的工况作为一个 NTE 事件。计算 NTE 事件内 NO_x 的平均排放。利用 NTE 法对车辆的排放进行计算，对每一个 NTE 事件内的排放均值与相应发动机在 FTP 试验下的排放限值的 1.25~1.5 倍进行比较，统计所有小于限值 1.25~1.5 倍的 NTE 事件的时间和，并计算该时间占有所有 NTE 事件总时间的比例。如果所计算的比例大于 90%，且任何一个 NTE 事件的排放均值都小于发动机 FTP 试验下的排放限值的 2 倍，则说明该车的整车排放合格；如果有不足 90%的比例，则所测试的车辆整车排放是不合格的。

3.2. 北京市重型汽车排放相关标准及研究

我国现行关于重型汽车（最大允许涉及总重量大于 3.5 吨）发动机排放标准系列包括以下两个系列：

- (1) 适用于重型压燃式、气体燃料点燃式发动机和汽车；
- (2) 适用于重型汽油发动机和汽车。

适用于压燃式、气体燃料点燃式发动机的汽车排放标准包括排气污染物和可见污染物（烟度）两个主要标准：

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）》及修改方案，标准主要内容：

- (i) 中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段排气污染物排放限值；
- (ii) 排气污染物试验；
- (iii) 车载诊断（OBD）系统（HJ437-2008）；
- (iv) 污染控制装置要求（HJ438-2008）；
- (v) 生产一致性；
- (vi) 在用符合性（HJ439-2008）。

GB3847-2005《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》，标准主要内容：

(i) 自由加速烟度限值及试验方法；

(ii) 全负荷烟度限值及试验方法。

GB 17691-2005 标准以及修改方案规定了重型压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车国三/四/五阶段排放限值及测量方法、并包括有关 OBD、耐久性和在用车辆/发动机符合性三项环境保护标准，即，HJ437-2008《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车车载诊断（OBD）系统技术要求》、HJ438-2008《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排放控制系统耐久性技术要求》和 HJ439-2008《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》。

GB17691-2005 排气污染物测试循环是基于发动机台架试验循环，即 ESC 稳态循环、ETC 瞬态循环和 ELR 烟度循环。

GB3847-2005 标准全负荷烟度测试采用发动机台架试验，自由加速烟度可采用发动机台架或整车试验。

企业在设计国五发动机时，基本上所有的发动机生产厂家都要采用 SCR 系统。在已经满足国四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 SCR。国内相关研究发现，城市公交车装用的选择性催化还原系统（SCR）在一些低速低温工况下不起作用、车用尿素溶液结晶等问题，导致车辆氮氧化物实际排放远远超出型式核准的限值，直接导致大量的 NO_x 污染物排放。在城市公交车实际运行时，平均的发动机转速是额定转速的 46.7%，平均的发动机功率是额定功率的 17.36%，怠速时间占整个循环时间的 16.98%。在整个 ETC 试验循环中，平均的发动机转速是额定转速的 57%，平均的发动机功率是额定功率的 31%，怠速时间占整个循环时间的 6%。ETC 试验循环与我国城市公交车实际运行情况差别较大。

由于国五以前新车型式核准试验工况的这一缺陷性，对城市公交车（或城市车辆）的低温低速工况不具备代表性，2013 年北京市发布了 DB11 964-2013《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物限值及测量方法（台架工况发）》。在现有标准基础上，对国 IV 及以上发动机，将全球统一的重型发动机试验循环（WHTC）增加为型式核准试验工况，并增加了冷启动排放要求和相应限值，表 3.4 是该标准限值要求。

表 3.4 WHTC 循环 4、5 阶段排放限值。

阶段	一氧化碳 (CO) g/kWh	非甲烷碳氢化合物 (NMHC) g/kWh	甲烷 (CH ₄) ⁽¹⁾ g/kWh	氮氧化物 (NO _x) g/kWh	颗粒物 (PM) ⁽²⁾ g/kWh
IV	4.0	0.55	1.1	3.7	0.03
V	4.0	0.55	1.1	2.8	0.03
⁽¹⁾ 仅适用于燃气发动机。					
⁽²⁾ 不适用于燃气发动机。					

2013 年开始实施全国第一个整车排放测试标准 DB11/965-2013《重型汽车排气污染物排放限值及测量方法（车载法）》。开始基于整车来管理重型车排放核准和在用符合性管理。北京根据我国重型车和发动机市场的特点，首次提出了基于整车的排放管理思路，在保留发动机排放监管的同时加入了基于整车的管理方案，并制定了整车排放系族。

北京市发布的这两项重型汽车地方标准，作为国家标准的补充，要求重型汽车（发动机）生产企业在研发、生产环节解决此问题。预计第四、第五阶段重型柴油车在城市运行时的单车氮氧化物排放可削减 60%。两项标准分别于 2013 年 3 月 1 日和 7 月 1 日开始实施。该标准的制定得到了国际清洁交通委员会（英文名称 ICCT）高度认可：“国际清洁交通委员会强烈推荐北京市环保局实施积极的管理措施，从而防止国 IV 和国 V 重型柴油车在特定的城市行驶工况下产生过量的 NO_x 排放。对新车实施两项附加要求——即在用车 PEMS 达标测试和完善车辆排放测试要求，是解决非法规工况排放问题的全面、必要且有效的方法。北京环保局提出的两份规定草案基本上与我们 2012 年 3 月发布的白皮书《欧 IV/V 卡车及公交车的非法规工况 NO_x 排放：欧洲及发展中国家面临的问题和解决方案》中提出的解决方案是一致的。在制订这些规定的过程中，北京市环保局再一次证明了其不仅在中国环保界的领跑者，在世界环保界也亦身处领先地位。我们期待这些管理措施的成功实施能够为北京市带来显著的公众健康收益，同时也希望世界上更多国家、地区和城市，包括全中国可以在日后学习北京的成功范例。”

2013 年北京对市内国 IV 和国 V 公交车进行了在用车改造，通过在 SCR 催化器或催化器前的排气管增加隔热保温材料来迅速提高排气温度，使得排温尽快

达到尿素喷射温度要求，同时提高 SCR 的转化效率。发动机标定数据也改为按 WHTC 循环标定的数据。经过改造后，公交车平均 NO_x 排放降低了 50%左右。

4. 标准的主要内容分析说明

4.1. 适用范围

本标准规定了压燃式发动机以及以天然气（NG）或液化石油气（LPG）作为燃料的点燃式发动机所排放的气态和颗粒污染物的排放限值及测试方法，以及环保核准要求、环保一致性和在用符合性判定方法。

本标准适用于装用在设计车速大于25km/h的N2和N3类，及车身长度大于6m的M3类机动车的压燃式（含气体燃料点燃式）发动机。

与GB17691 《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排放污染物排放限制及测量方法》相比，六阶段的适用范围将M2类和6米以下的M3类机动车划到了DB11 XX-XXXX 轻型汽车(点燃式)污染物排放限值及测量方法（北京第VI阶段）的适用范围。这样与同期出台的轻型车六阶段标准相衔接，分类划分更加清晰。避免了跨界车型选择较宽松的适用标准，实现对污染物实施最严格控制的总体目标。将车身长度引入M3类机动车的分类是考虑到现行管理中客车按长度分类的状况，便于今后各执法部门的协同管理。

双燃料发动机是近年来发展起来的机型，参照欧洲的六阶段标准，将其纳入管理范围，使得整个标准体系更加完善，消除排放监管的空白区。

4.2. 本标准引用的标准

本标准引用了以下标准的条款作为本标准的条款：

GB17691 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制及测量方法

GB/T 3730.1 汽车和挂车类型的术语和定义

GB/T 15089 机动车辆及挂车分类

GB/T 17692 汽车用发动机净功率测试方法

DB11 XX-XXXX 压燃式、气体燃料点燃式重型汽车排气污染物排放限值及测量方法（北京第VI阶段）

HJ 437-2008 车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车车载诊断(OBD)系统技术要求

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

需要说明的是，重型车六阶段标准分为整车和发动机两部分。这两部分的监管对象不同，共同构成重型车的监管体系。整车和发动机两部分标准存在一些相互引用，避免相同内容的重复与冲突。

4.3. 术语和定义

在术语和定义部分，重新定义了发动机试验循环，首次引入了 WNTE 非循环工况，其中规定了在一定区域内随机选取测试工况点，使得发动机的排放标定工作更加细致和全面，进一步扩大了排气污染物监控范围。

增加了后处理系统部分的连续再生、周期再生、除氮氧系统、壁流式颗粒物捕集器等概念，使台架测试能够区别对待，更好地反映发动机和车辆的真实排放状态，便于监督管理。

有关 OBD 重新定义了车载诊断系统。OBD 系族为今后的型式核准视同判定提供依据。NO_x 控制报警系统在车辆使用过程中对 NO_x 控制系统出现的故障实时提醒驾驶员，便于及时采取措施，消除隐患。诊断仪的明确要求为执法和测试提供通用的技术手段。永久故障码的要求避免人为删除故障信息，实施更为严格的监督管理。

全寿命的概念对 OBD 系统提出了更加严格的要求，只要车辆在使用，即使超过了有效寿命，仍然要保持 OBD 系统的监控功能。

此外，在一些附录中还有附录内使用的更加详细的术语和定义。

4.4. 技术要求和试验

4.4.1 发动机在环保核准时应进行的试验项目

下表给出了不同机型所需的试验项目。与欧洲六阶段标准相比，对于气体机，原来只要求瞬态循环测试增加了 WHSC 测试和 WNTE 测试的要求。

表4.1 发动机环保核准试验项目

发动机循环排放测试	WHSC	进行
	WHTC	进行
发动机非循环排放测试	WNTE	进行
OBD 系统验证试验		进行
NO _x 控制系统验证试验		进行

耐久试验	进行或用指定劣化系数
发动机装车非循环排放测试(车载法)	进行

4.4.2 排放限值

下表是发动机循环排放限值。

表 4.2 发动机循环限值

	限值							
	CO (mg/kWh)	THC (mg/kWh)	NMHC (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x (mg/kWh)	NH ₃ (ppm)	PM (mg/kWh)	PN (#/kWh)
WHSC (CI ⁽¹⁾)	1500	130	——	——	400	10	10	8.0×10 ¹¹
WHSC (PI ⁽²⁾)	1500	——	130	410	400	——	——	8.0×10 ¹¹
WHTC (CI ⁽¹⁾)	4000	160	——	——	460	10	10	6.0×10 ¹¹
WHTC (PI ⁽²⁾)	4000	——	160	500	460	——	——	6.0×10 ¹¹
⁽¹⁾ CI=压燃式发动机								
⁽²⁾ PI=点燃式燃气发动机								

与之前的五阶段相比，稳态循环 ESC 变成了 WHSC，瞬态循环 ETC 变成了 WHTC，增加了颗粒物数量 PN 限值。

与欧洲六阶段标准相比，对于点燃式燃气发动机，增加了 WHSC 的排放限值要求。

下表是发动机非循环排放限值。

表 4.3 发动机非循环排放限值

	CO (mg/kWh)	THC (mg/kWh)	NMHC (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x (mg/kWh)	PM (mg/kWh)
WNTE (CI)	2000	220	——	——	480	12
WNTE (PI)	2000	——	220	690	480	——

与欧洲六阶段标准相比，对于点燃式燃气发动机，增加了 WNTE 的排放限值要求。

下表是发动机装车非循环排放测试(车载法)排放限值。对应符合性系数为 1.2。

表 4.4 整车车载法排放限值

	压燃式发动机	点燃式发动机
计算方法	功基窗口限值 (mg/kWh)	功基窗口限值 (mg/kWh)
CO	≤4800	≤4800

THC	≤190	——
NMHC	——	≤190
CH ₄	——	≤600
NO _x	≤550	≤550
要求	满足限值要求的有效功基窗口达到 90%以上	

下面两表分别是压燃式发动机和气体燃料点燃式发动机 OBD 限值。

表 4.5 OBD 限值（压燃式发动机）

污染物	NO _x	PM
限值 mg/kWh	1200	25

表 4.6 OBD 限值（气体燃料点燃式发动机）

污染物	NO _x	CO
限值 mg/kWh	1200	7500

对于压燃式发动机，给出了氮氧化物和颗粒物质量的限值，对于气体燃料点燃式发动机，给出了氮氧化物和一氧化碳的限值。超出限值达到一定的时间后，车辆要按规定程序进行相应的限车速和限发动机扭矩的控制。这是本标准一个新增的内容。

装在车辆上的发动机的 OBD 系统，在任何情况下，当排放超过表 4 或表 5 所规定的 OBD 限值累计时间在 2 小时内，应依据附录 F 的规定将扭矩限制器激活。当排放超过表 4 或表 5 所规定的 OBD 限值累计时间在 4 小时内，应依据附录 F 的规定将车速限制器激活，此时车速应低于 80km/h，若车辆仍继续行驶，累积时间在 20 小时内，车速应低于 20km/h。

4.4.3 NO_x 控制系统

NO_x 控制系统应具备单独的符合附录 G 要求的 NO_x 控制报警系统来提示驾驶员，应采用扭矩限制器和车速限制器来确保 NO_x 控制系统的正确实施。

按表 4.7 要求装在车辆上的发动机，其 NO_x 控制系统应能正常进行报警、限扭和限速。

表 4.7 NO_x 控制系统报警、限扭和限速条件

项目	报警系统激活	扭矩限制器激活	车速限制器激活
----	--------	---------	---------

反应剂液位	液位不足 10%。立即激活	液位不足 2.5%。立即激活	液位空。立即激活，限 20km/h	
尿素喷嘴动作中断	立即激活	发动机运行 2 小时内 限到最大扭矩的 75%内	发动机运行 4 小时内， 限到 80km/h 以下	发动机运行 20 小时内， 限到 20km/h 以下
反应剂浓度 <CDmin ⁽¹⁾	NOx 排放超 0.46g/kWh 立即激活	发动机运行 2 小时内 限到最大扭矩的 75%内	发动机运行 4 小时内， 限到 80km/h 以下	发动机运行 20 小时内， 限到 20km/h 以下
反应剂消耗率<20%	NOx 排放超 0.46g/kWh 立即激活	发动机运行 2 小时内 限到最大扭矩的 75%内	发动机运行 4 小时内， 限到 80km/h 以下	发动机运行 20 小时内， 限到 20km/h 以下
EGR 阀卡滞 ⁽²⁾	立即激活	发动机运行 2 小时内 限到最大扭矩的 75%内	发动机运行 4 小时内， 限到 80km/h 以下	发动机运行 20 小时内， 限到 20km/h 以下
NOx 控制系统 传感器故障 ⁽³⁾	立即激活	发动机运行 2 小时内 限到最大扭矩的 75%内	发动机运行 4 小时内， 限到 80km/h 以下	发动机运行 20 小时内， 限到 20km/h 以下
(1) CDmin 指制造商提供的允许最小的尿素溶液浓度值 (2) 见 F. 2. 25 定义。 (3) 包括直接测试 NOx 浓度、尿素质量传感器、环境传感器以及监测反应剂给料动作、反应剂液位或反应剂消耗量的传感器等。				

与欧洲六阶段排放标准相比，限制发动机扭矩和限制车速的控制时间大幅缩短，车速限制分成两级，短时间先限制到 80km/h，第二步再限制到 20km/h。

4.4.4 车辆有效寿命期

制造商须确保安装在车辆上的发动机有效寿命期达到表 4.8 所规定的里程或时间，以先到者为准。

表 4.8 车辆有效寿命期

车辆分类	行驶里程/时间
N2 N3≤16 吨 M3 类≤7.5 吨	300000km/6 年
N3>16 吨 M3 类>7.5 吨	700000km/7 年

4.4.5 发动机试验要求

按附录 C 规定进行三台份一次 WHSC 和 WHTC 试验时，气体（含 NH₃）和颗粒物（含质量和数量）排放结果在乘以 4.3.5 确定的劣化系数后，应不超过表 1 所列的排放限值，同时三辆样机的排放试验统计量应不小于 3.327。

对不采用 EGR 系统的发动机，应将后处理拆除按附录 C 对原机进行 WHSC 和 WHTC 试验，原机排放乘以 4.3.5 确定的劣化系数后，应不超过表 1 限值的 5 倍，同时三辆样机的排放试验统计量应不小于 3.327。

这一条是针对简化的排气控制系统，在测试时提出的附加要求。由于没有 EGR，降氮氧化物的最终目标要靠后处理装置完成，5 倍限值实际上要求后处理装置具有至少 80%的转化效率。

发动机曲轴箱内的任何气体不允许直接排入大气，对闭式曲轴箱，则认定曲轴箱排放满足要求。否则，则应按照附录 C 内开式曲轴箱污染物评价方法进行测试。

因为对于闭式曲轴箱来讲，所有曲轴箱排放都要经过排气系统，已经在排气排放中得到了检测，因而不需额外的测试，否则需按要求专门测试。

在发动机台架上进行试验。按附录 E 规定进行一台份 WNTE 试验时，气体和颗粒物质量排放不应超过表 4.3 所列的排放限值。

在发动机台架上进行试验。环保核准应按附录 F.7 的规定进行发动机一台份 OBD 系统验证试验。

在发动机台架上进行试验。环保核准应按附件 GA 的规定进行发动机一台份 NO_x 控制系统验证试验。

在发动机台架上进行试验。环保核准应按附录 H 的规定进行发动机耐久试验以确定发动机的实际劣化系数，也可采用表 8 给出的指定劣化系数。

表 4.9 指定劣化系数

试验循环	CO	THC ⁽¹⁾	NMHC ⁽²⁾	CH ₄ ⁽²⁾	NO _x	NH ₃	PM	PN
WHSC	1.3	1.3	1.4	1.4	1.15	1.05	1.0	1.0
WHTC	1.3	1.3	1.4	1.4	1.15	1.05	1.0	1.0
注： 1) 用于压燃式发动机 2) 用于点燃式发动机 没有给出指定的相加的劣化系数，不允许将指定的相乘的劣化系数转化为相加的劣化系数。								

目前正在相关验证试验，根据验证试验结果对表 4.9 进行修订。

上述试验的具体方法都在相应的附录中予以说明。

环保核准时应按附件 EA 规定的程序，用源机安装在一辆车上进行车载法验证试验。排放结果应符合表 9 的限值要求。

这里的表 9 和 DB11 XX-XXXX 压燃式、气体燃料点燃式重型汽车排气污染物排放限值及测量方法（北京第 VI 阶段）中表 2 完全相同。

4.4.6 环保核准的燃料要求

对发动机排放的环保核准，应采用符合附录 D 的基准燃料。耐久试验应使

用市售燃料，但排放测试采用基准燃料。

4.5. 发动机环保核准的申请

本部分标准对环保核准申请时需要提交的各种文件和用于环保核准试验的源机提出相关要求。

4.6. 环保核准视同条件

本部分标准对发动机系族、环保核准对源机的选择、发动机系族的扩展、OBD 发动机系族作出相应的规定。

4.7. 发动机环保一致性

环保一致性检查应抽取三台发动机进行附录 C 的试验（WHSC 和 WHTC），抽样完成后不允许进行任何调整，测试结果经劣化系数校正需满足由表 1 给出的限值。计算统计量应不小于 3.327，否则直接判定为不合格，不再加抽样品试验。

选取其中一台进行附录 E 的试验（WNTE），结果应满足表 2 的限值，否则判定环保一致性检查不合格。

发动机车载诊断系统发送数据的一致性规定抽取一台发动机，要求如 OBD 诊断仪能根据附录 F 正常工作须能够以适当的方式读取 OBD 信息；按附件 CA 进行 WHSC 试验，验证 ECU 扭矩信号，每一工况下的平均扭矩与该工况平均实测扭矩的偏差不应超过 10%；按 GB/T17692-1999 进行发动机功率试验，验证 ECU 扭矩信号，每一工况下的平均扭矩与该工况平均实测扭矩的偏差不应超过 7%。以上三条全部满足则认为发动机环保一致性合格，否则认为发动机环保一致性不合格。

发动机 OBD 系统（含 NO_x 控制系统）环保一致性规定抽取一台发动机，按附录 F 进行试验。如发动机满足附录 F 中所述试验要求，则认为满足环保一致性要求。否则发动机环保一致性不合格。

4.8. 发动机在用符合性

对已通过污染物排放环保核准的发动机型，制造厂应采取适当措施确保在用符合性。排气污染物、OBD 和 NO_x 控制系统在用符合性检查见附录 J 的规定。

制造商采用的技术措施应确保发动机在车辆整个有效寿命期的尾气排放都

能得到有效控制并符合标准，且发动机 OBD、NO_x 控制系统在全寿命期内符合本标准要求。

这里特别要注意的是发动机 OBD、NO_x 控制系统在全寿命期内符合本标准要求。

环保核准部门可采用附录 J 的方法来检查发动机排放在用符合性,按表 J.3 判定。也可以按附录 C 和附录 E 的方法检查排放发动机排放在用符合性，按表 J.3 判定。

环保核准部门可采用附录 F.6 检查发动机 OBD 和 NO_x 控制系统在用符合性，按表 J.3 判定。

如发动机在用符合性不合格，制造商应按本标准附录 J 提交整改措施计划以纠正不符合情形。环保核准部门向制造商通报其批准或拒绝整改措施计划的决定。获批的整改措施计划由制造商负责执行。环保核准部门可以根据制造商整改措施的执行情况，采取暂停或撤销该发动机或车型的环保目录等措施，环保核准部门也可要求制造商对在用车辆实施召回措施。

4.9. 标准实施

本标准新车环保核准、环保一致性检查、在用符合性检查同步在 2017 年 12 月 1 日起实施。

4.10. 环保核准申报材料

附录 A 及附件描述了环保核准所需申报的资料。

4.11. 发动机环保标记

附录 B 描述了发动机环保标记的要求。

4.12. 发动机循环排放试验规程

附录 C 描述了发动机循环排放的试验规程。这是标准附件中最重要的部分。由于内容丰富，这里定义了很多术语。

这里的低转速 n_{l0} 是 55% 最大净功率时的最低发动机转速。而在三、四、五阶段的标准中 n_{l0} 是 50% 最大净功率时的最低发动机转速。

WHSC 和 WHTC 给出的都是归一化的转速和扭矩，需要将它们转化为实际转速和扭矩进行试验。首先进行动态外特性的测试，找出 95%最大功率点的对应的最高转速 n_{95h} 。

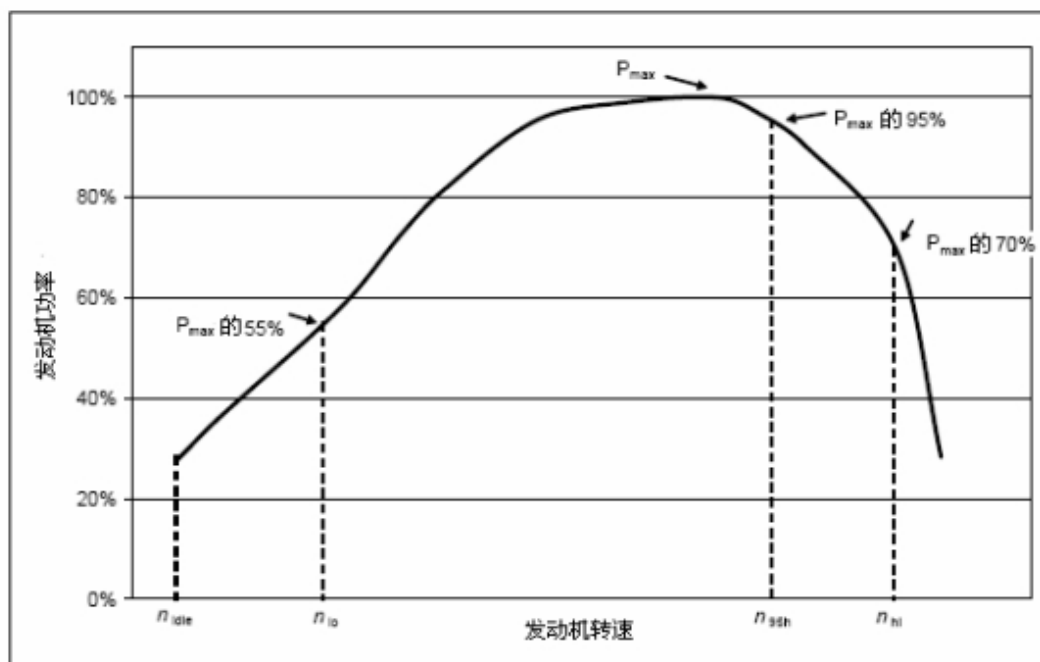


图 4.1 试验转速的确定

然后在怠速转速到 n_{95h} 之间对扭矩积分，找出对应 51%面积的参考转速点 n_{pref} 。

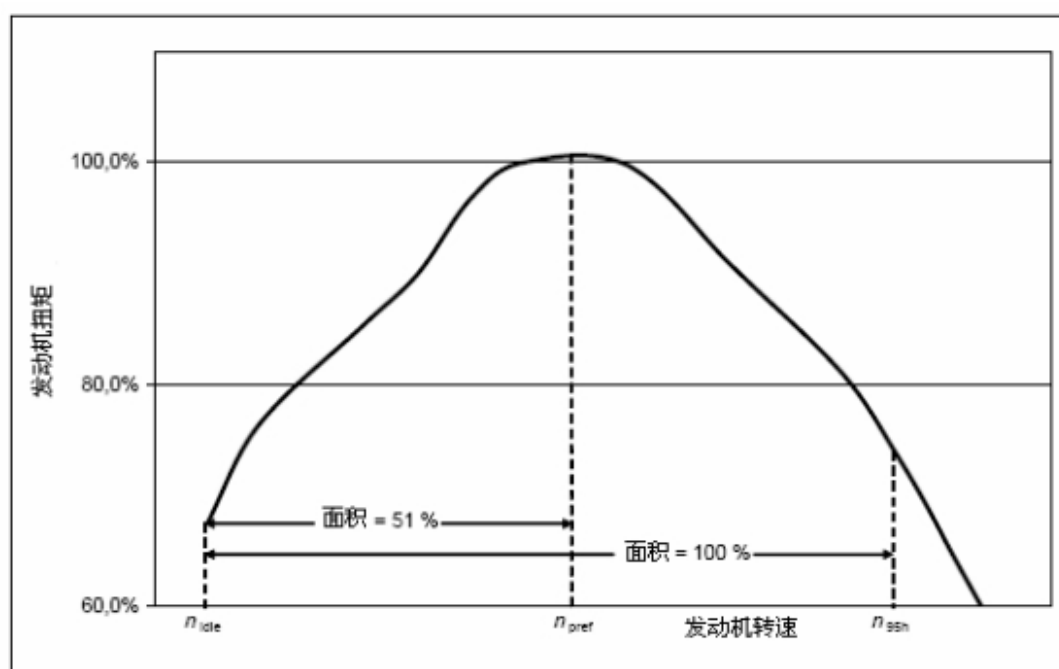


图 4.2 基准转速 n_{pref} 的确定

然后利用下面的公式计算出实际转速。

$$n_{\text{ref}} = n_{\text{norm}} \times (0.45 \times n_{\text{lo}} + 0.45 \times n_{\text{pref}} + 0.1 \times n_{\text{hi}} - n_{\text{idle}}) \times 2.0327 + n_{\text{idle}}$$

实际扭矩的计算相对简单，只需将归一化百分数乘该转速的最大扭矩值，在进行附件修正就可以了。

$$M_{\text{ref},i} = \frac{M_{\text{norm},i}}{100} \times M_{\text{max},i} + M_{f,i} - M_{r,i}$$

试验完成后，无论是 WHSC 还是 WHTC 都要对转速、扭矩和功率的目标值与测量值进行回归分析，以判定测试的有效性。

对于周期再生的后处理系统，应确定再生循环与非再生循环连续发生的比例关系，通过加权平均，得到最终排放结果。

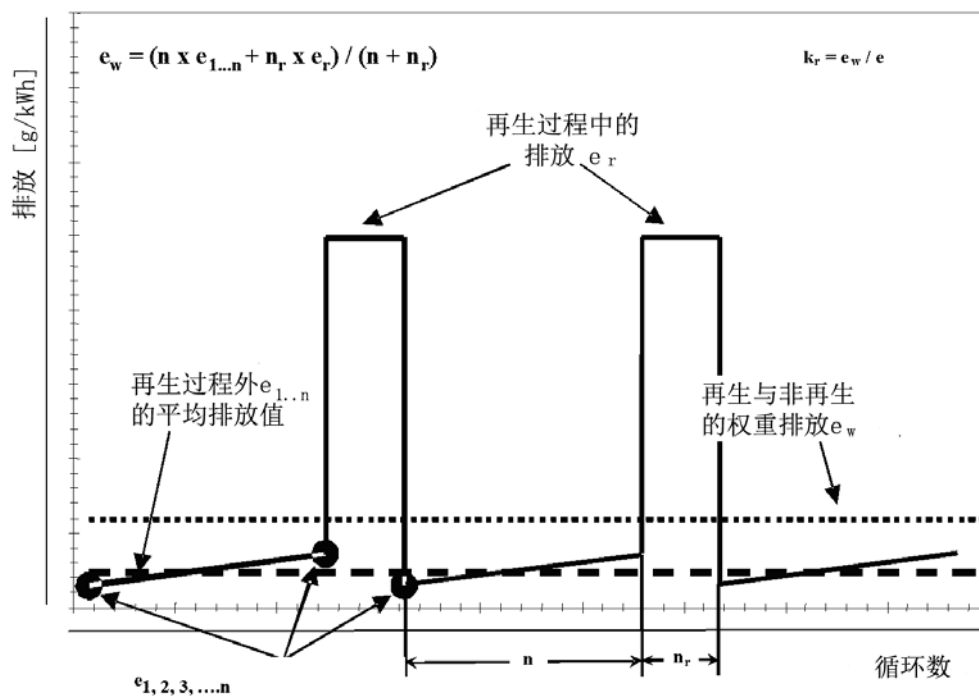


图 4.3 周期再生图

4.13. 发动机非循环排放（OCE）试验规程

与美国的 NTE 控制区类似，WNTe 的控制区也是由外特性曲线、30%最大扭矩线、30%最大功率线，高转速 n_{high} 和 n_{30} 几条线围成的区域。区别点在于， n_{30} 不是低转速到高转速之间 30% 转速点的位置。

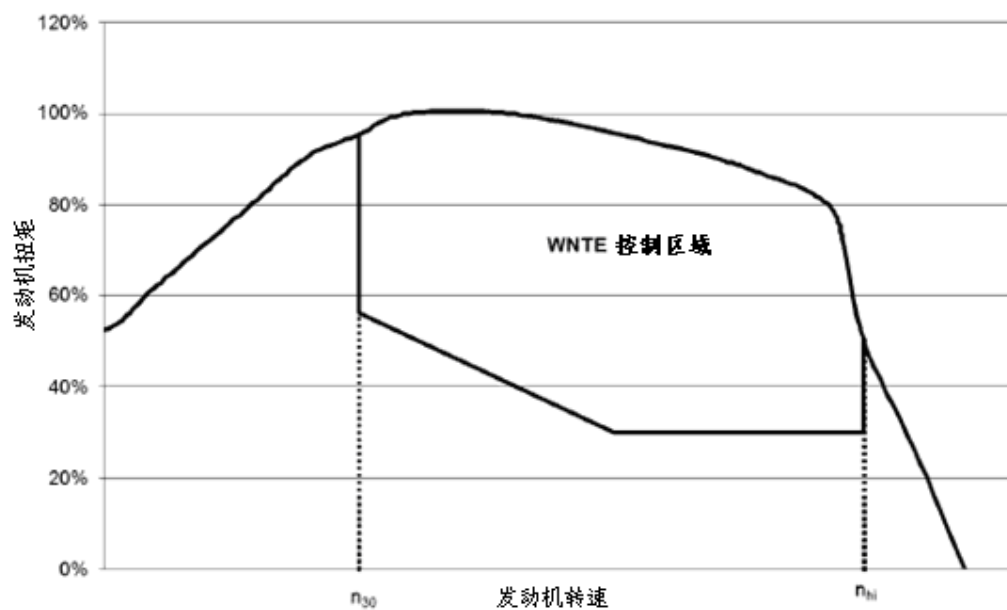


图 4.4 WNTE 控制区域示例

将 WHTC 的转速由低到高排列，累积频率达到 30%时对应的转速为 n_{30} 。

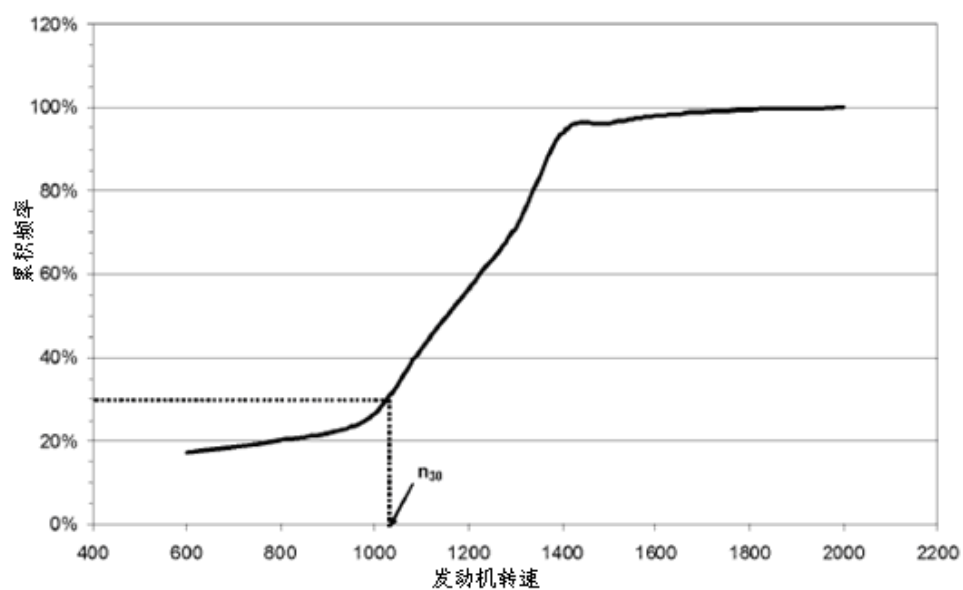


图 4.5 WNTE 转速累积频率分布图

根据发动机额定转速是否小于 3000 转/分钟，将 WNTE 区域划分为 9 个或 12 个小区，随机选取 3 个小区，每个小区随机选取 5 个测试点。

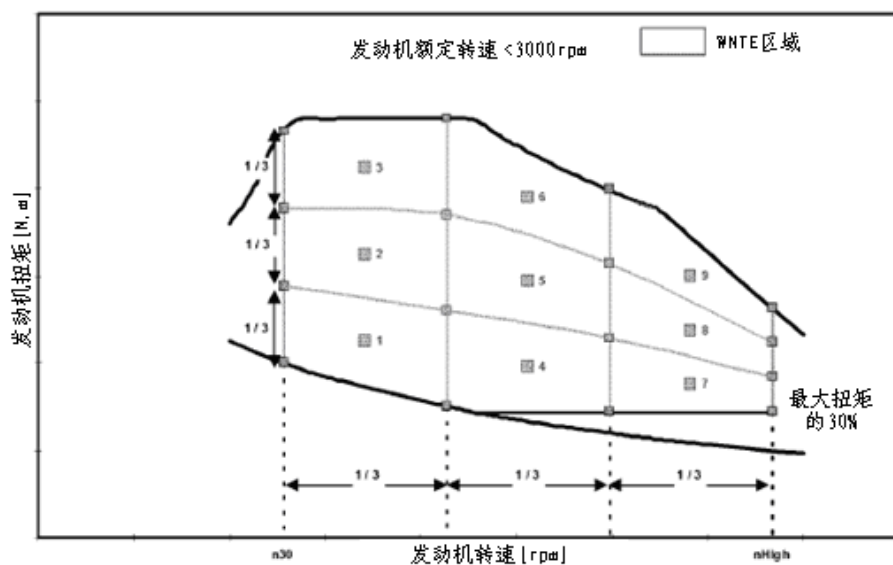


图 4.6 WNTe 试验网格

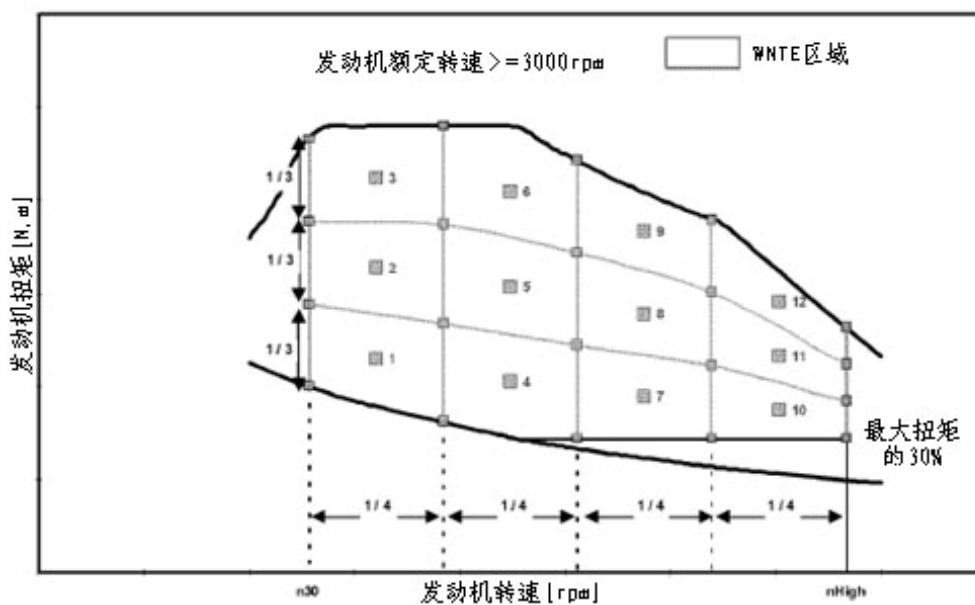


图 4.7 WNTe 试验网格

4.14. 车载诊断系统

附录 F 规定了车载诊断系统的相关要求。在重型车的六阶段标准中，将故障按照对排放的影响分为 A 类、B1 类、B2 类和 C 类。

A类故障

若故障导致的排放超过相应的OBD限值（OTLs），该故障划分为A类故障。当这类故障发生时，排放可能不超过OTLs是可接受的。

B1类故障

若故障导致的排放可能超过OTLs，但它对排放的影响无法估计，因此实际的排放可能高于或低于OTLs。在这种情况下故障划分为B1类故障。

B1类包括，例如基于传感器读数的排放水平监测或限制监测能力的故障。

B1类故障应包括限制OBD系统的能力，以执行对A类和B1类故障的监测。

B2类故障

对于影响排放但又不超过OTL限值的故障，定义为B2类故障。

OBD系统不能对B2类执行监测的故障，要划分为B1类或者B2类。

C类故障

对于可能影响排放但不会超过法规限值的故障，其定义为C类故障。

OBD系统不能确定对C类执行监测的故障，要划分为B1类或者B2类。

表 4.10 A 类故障的连续计数器和限值

	计数器第一次激活的 DTC 状态	低水平诱导的计数器值	第一/二级严重诱导的计数器值	第二级严重诱导发生后计数器冻结和保持的值
A 类故障连续-MI 计数器	确认并激活	2 小时	4/20 小时	18 小时

对于排放有影响的 A 类故障，逐步实行故障灯报警、低水平诱导的限制发动机限扭矩，严重诱导的限制车辆车速的措施，促使驾驶员尽快维修车辆。

4.15.NOx 控制措施正确运行的要求

表 4.11 计数器和限值

	计数器第一次激活的 DTC 状态	低水平诱导的计数器值	第一/二级严重诱导的计数器值	第二级严重诱导发生后计数器冻结和保持的值
反应剂品质计数器	确认并激活	2 小时	4/20 小时	18 小时
反应剂消耗计数器	潜在的或确认并激活	2 小时	4/20 小时	18 小时
定量给料计数器	确认并激活	2 小时	4/20 小时	18 小时
EGR 阀计数器	确认并激活	2 小时	4/20 小时	18 小时
监测系统计数器	确认并激活	2 小时	4/20 小时	18 小时

上表反映了从故障出现报警到两小时内扭矩限制器激活（不超过最大扭矩的 75%），4 小时内第一级限速（限 80km/h）激活，20 小时内第二级车辆限速（限 20km/h）激活的过程。

下图说明了故障出现后报警、限扭、一级限速、二级限速计数器保持、以及修理后故障是否在 36 小时不出现的不同处理方式。

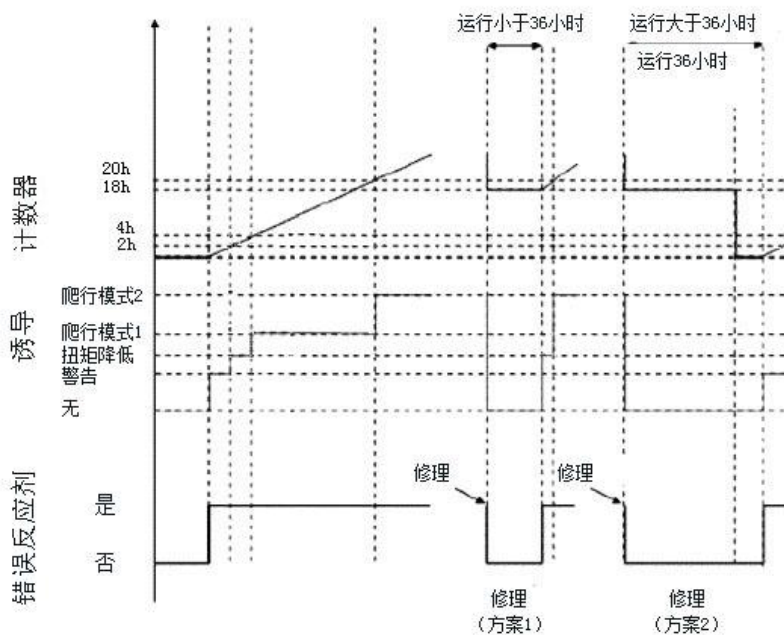


图 4.8 加入不正确质量的反应剂

4.16. 发动机系统耐久性

本附录规定了指定劣化系数和选择发动机进行最短行驶里程试验以确定劣化系数的试验规程。

最短行驶里程试验期间，每个试验点的热态 WHTC 和 WHSC 试验所测得的每种排放物的结果，用“最小二乘法”确立线性回归方程。测量结果应比本法规表 1 所示各排放物限值的小数位数多一位。根据本附录 E.3.2.1.4 的规定，如果中间试验点只采用了一种测试循环（热态 WHTC 或 WHSC），耐久开始和结束时使用了两种试验循环，则回归分析基于在所有点都进行了试验的试验循环结果来进行。

在制造商的要求下，经环保核准部门同意，可以采用非线性回归分析。

应基于回归方程计算最短行驶里程起点和有效寿命终点每种污染物的排放值。如果最短行驶里程比有效寿命短，应根据第 H.3.5.1 条确立的回归方程，利用插值法确定有效寿命终点的排放值。

每种污染物的劣化系数为有效寿命终点和最短行驶里程起点的排放之比。（相乘的裂化系数）根据制造商的要求，并经环保核准部门同意，可以使用相加的劣化系数。相加的劣化系数可认为是为有效寿命终点与最短行驶里程起点的排放之差。

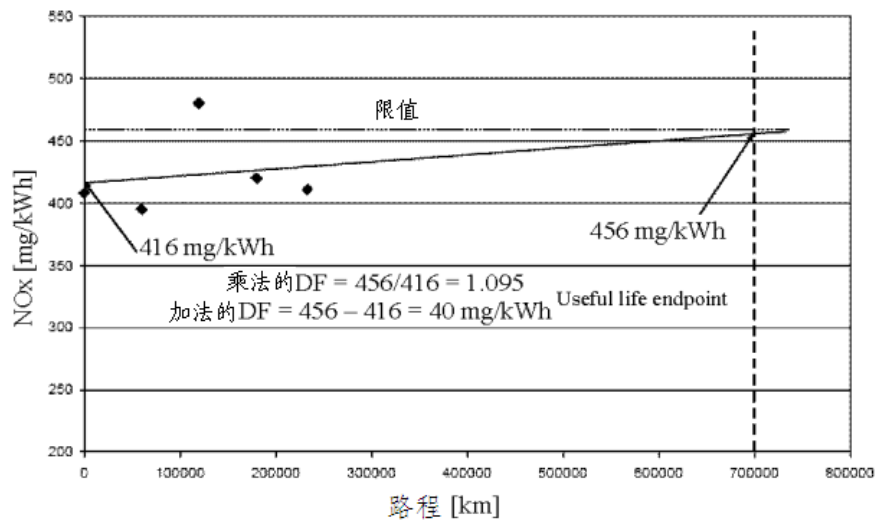


图 4.9 劣化系数计算示例

5. VI阶段发动机的前期验证试验

2014年5月24日-6月6日，在天津汽车检测中心发动机试验室，对重型发动机VI阶段标准规定检测项目进行了验证。本次验证试验特邀请了国外专家进行技术指导和交流，邀请两位经验丰富的设备工程师进行设备技术支持，邀请了发动机生产厂标定工程师进行发动机试验支持。现从以下几个方面对验证试验进行详细介绍：

5.1. 试验装置说明

本次验证试验采用潍柴根据欧VI标准要求研发的柴油发动机，试验照片见图 5.1，发动机主要技术路线为高压共轨+DPF+SCR。试验台架的配置见表 5.1，下文根据验证试验的结果，分析了该台架对VI阶段标准的满足情况。



图 5.1 试验发动机

表 5.1 台架试验设备配置

测功机	控制系统	稀释系统	气体分析仪	颗粒测量设备	滤纸称重装置	OBD 诊断仪
制造商: AVL 功率: 500kW 转速: 0-4000r/min 扭矩: 0-3000Nm	AVL PUMA OPEN1.4.1	型号: AVL CVS i60 最大流量: 150m ³ /min	常规气体分析仪: AVL AMA i60 NH ₃ 分析仪: HORIBA MEXA6000FT	PM 测试设备: AVL-PSS i60 PN 测试设备: AVL489 APC	环境箱: 国产 RXCH-500 称重天平: 德国 赛多利斯 CPA2P-F 精度: 0.001mg	国产满足 HJ437-2008 法规通用 OBD 诊断仪

5.2. 京 V 和欧 VI 标准差异总结

验证试验开始前, 天津汽车检测中心和国外专家共同总结了我国现有最严格的京 V 标准和欧 VI 标准在发动机认证要求上的主要差异。详见表 5.2。京 VI 标准采用了欧 VI 标准的相关要求。

表 5.2 京 V 标准和欧 VI 标准的差异对比

对比项目	京 V	欧 VI（京 VI）
测试循环	ESC、ETC、ELR、WHTC	WHTC、WHSC、WNTTE
气态污染物检测项目	CO、THC、NMHC/CH ₄ （限于燃气发动机）、NO _x 、NH ₃ （限于采用 SCR 装置的发动机）	相同
颗粒物测试项目	PM 测试，PN 测试（限于城市公交、环卫邮政等车辆）	PM 测试，PN 测试
限值	参见 GB17691-2005 和 DB11/964-2013	所有气态污染物和颗粒物的限值均加严
对设备的要求	参见 GB17691-2005	测试设备准备程序，颗粒称重等要求更为严格，此外需要新增 PN 测试设备。
OBD	参见 HJ437-2008	明显更为复杂，占据大量标准篇幅

5.3. 验证试验项目

本次验证试验完成了初耐久性试验以外的 VI 阶段标准要求的各项检测项目，包括 WHTC 试验、WHSC 试验、WNTTE 试验、DPF 再生因子的验证，以及 OBD 和 NO_x 控制系统验证试验。其中 PUMA-OPEN 系统自动生成了 WHSC、WHTC、WNTTE 的检测报告。气态污染物项目包括 CO、THC、NO_x 和 NH₃，颗粒物包括颗粒物质量和颗粒数目。OBD 验证试验进行了 A 类、B1 类、B2 类、C 类故障的验证。

验证试验表明，天津检测中心设备配置总体上是满足 VI 阶段标准关于发动机认证的要求的，但在气体分析仪的准备，以及颗粒物的称重等方面需要改进。

本次验证试验基于 CVS 全流测试系统进行，但国外专家指出，目前欧洲各大试验室除了全流测试系统，部分流测试系统测用于欧 VI 测试同样也很普遍。国内目前适用于第 V 阶段的部分流测试系统由于不具备 PN 测试功能，且只能采集一组滤纸，将不再适用于京 VI 阶段。同时 AVL 技术专家指出，本标准实施以后，

若采用部分流测试系统进行VI阶段标准的发动机检测或认证,应采用新的满足要求的部分流测试系统或对原有部分流测试系统进行改造。

天津检测中心另一试验室是按照欧VI标准要求建设的部分流测试台架,后续还将进一步进行VI阶段标准的验证试验。

5.4. 气体分析仪的新要求

相比于京V阶段的各项试验要求, VI阶段标准法规要求, 试验循环结束后30 分钟内或者热浸周期中需要对零点和量距气进行检查。试验前后的偏差在量距气浓度的±1%以内, 则测量浓度无需修正; 若超过±1%, 则应按照相关要求对试验结果进行修正。修正后的浓度计算的最终比排放结果与未修正的比排放进行对比, 两者之间的差值应在未修正结果的±4%或限值的±4%的较大者之间, 若超过±4%, 则试验无效。

为此, 数据记录和计算功能也应该进一步完善。

5.5. 颗粒物称重的新要求和建议

VI阶段标准颗粒物质量限值由 0.02g/kwh 降为 0.01g/kwh, 滤纸上采集的 PM 将更少, 应在满足法规要求的基础上, 尽可能在滤纸上获取更多的 PM, 以提高称重精度。主要有如下措施:

1. 法规要求对滤纸进行浮力修正;
2. 称重天平精度(标准偏差)至少为 2 µg, 分辨率至少为 1 µg;
3. 在法规要求范围内, 稀释比尽可能小;
4. 第V阶段采用的 Poll TX40 滤纸采集率高达 99%, 使用一张即可, 提高 PM 占滤纸总重的比例, 提高测试精度;
5. 47mm 滤纸取代 70mm 滤纸, 提高 PM 占滤纸总重的比例, 提高测试精度。

其中第1条和第2条为VI阶段标准强制要求的, 第3-第5条为国外专家根据其经验提出的建议性的说明。

5.6. DPF 再生因子的验证

5.6.1 VI阶段标准的规定

对于周期再生的排气后处理系统, 排放量的测量应至少进行 3 个热态的 WHTC 循环, 1 个在发生再生期间, 2 个在再生过程之外, 并且应是排气后处理系统稳定后的 WHTC 循环, 最后将测量结果根据下等式加权:

$$e_w = \frac{n \times \bar{e} + n_r \times \bar{e}_r}{n + n_r}$$

其中：

n ---两次再生之间的热态 WHTC 次数；

n_r ---再生期间的热态 WHTC 次数（至少为 1）；

$\bar{e}$ ---两次再生之间的平均比排放；

$\bar{e}_r$ ----再生期间的平均比排放。

再生之间的平均排放量 $\bar{e}$ 应通过几个近似的 WHTC 试验结果的算术平均值来确定。建议在发生再生之前，且尽可能地接近再生，进行至少一次 WHTC 试验；在再生结束后，立即再进行一次 WHTC 试验。作为替代选择，制造企业可以提供数据，来证明两次再生之间，测试结果偏差小于±25%或 0.005g/kwh 两者中的最大者，在这种情况下，只需进行 1 次 WHTC 试验，即得到 $\bar{e}$ 。

计算再生发生时的 WHTC 循环的平均值 $\bar{e}_r$ ，本试验发动机再生发生时的 WHTC 循环次数为一次，即为 $\bar{e}_r$ 。

在良好的工程经验的基础上，经认证机构同意，可以采用再生因子对再生结果进行校正。

相乘的再生因子计算公式：

$$k_{r,u} = \frac{e_w}{e} \quad (\text{上调})$$

$$k_{r,d} = \frac{e_w}{e_r} \quad (\text{下调})$$

对于比排放的计算，再生因子应按以下条款进行应用：

1. 无再生发生的试验，冷热态 WHTC 试验的加权比排放结果应乘以上调再生因子；
2. 有再生发生的试验，冷热态 WHTC 试验的加权比排放结果应乘以下调再生因子。

5.6.2 周期再生过程的实际验证

5.6.2.1 非再生模式下的排放结果的确定

分别进行再生前、再生后两次热态 WHTC 试验，试验结果见下表 5.3。则试验结果的平均值即可作为非再生模式下的排放结果。

表 5.3 非再生模式下的 WHTC 排放试验结果（单位：g/（kW·h））

试验循环	NO _x	THC	CO	PM	PM number （#/(kW·h)）	NH ₃ 泄露 均值/峰值 （ppm）	备注
WHTC	0.287	0.00	0.01	0.00507	1.12×10^{11}	0.93/1.74	再生前

WHTC	0.114	0.00	0.01	0.00574	3.34×10^{11}	0.76/1.59	再生后 1
WHTC	0.190	0.00	0.02	0.00592	2.31×10^{11}	0.82/1.98	再生后 2
WHTC	0.197	0.00	0.01	0.00558	2.26×10^{11}	0.84/1.77	平均值

5.6.2.2 再生模式下的排放结果的确定

表 5.4 所示的为再生模式下的热态 WHTC 试验结果。

表 5.4 再生模式下的 WHTC 排放试验结果（单位：g/（kW·h））

试验循环	NO _x	THC	CO	PM	PM number （#/（kW·h））	NH ₃ 泄露 /峰值（ppm）	备注
WHTC	0.628	0.04	0.14	0.09248	1.6×10^{13}	4.25/26.27	再生过程

5.6.2.3 最终排放结果的确定

根据表 5.3 和表 5.4 的试验结果及 5.6.1 规定的计算公式，可以计算出再生因子，如表 5.5 所示。冷热态完整 WHTC 试验的加权结果乘以再生因子和推荐劣化系数，就可以得到最终的计算结果见表 5.6。

表 5.5 再生因子计算结果（单位：g/（kW·h））

试验循环	NO _x	THC	CO	PM	PM number （#/（kW·h））
e_w	0.205	0.00	0.016	0.007281	5.34×10^{11}
$e_{k,u}$	1.04	-	1.18	1.31	2.37
$e_{k,d}$	0.33	0.02	0.11	0.08	0.03

表 5.6 再生因子及劣化系数修正后的排放结果（单位：g/（kW·h））

试验循环	NO _x	THC	CO	PM number （#/（kW·h））	PM
冷热态 WHTC 加权排放	0.311	0.01	0.047	1.11×10^{11}	0.00534
再生因子 $e_{k,u}$	1.04	-	1.18	2.37	1.31
乘以再生因子	0.323	0.00	0.055	2.63×10^{11}	0.00699
推荐劣化系数 DF	1.15	1.3	1.3	-	1.05
乘以劣化系数后的最终结果	0.371	0.00	0.072	2.63×10^{11}	0.00734

5.7. OBD 系统验证

以下介绍从制造厂提供的 OBD 文档中随机挑选的 4 个故障进行说明。

5.7.1 EGR 阀卡滞试验验证

如图 5.2 所示，拔掉 EGR 阀线束，EGR 阀开路，EGR 阀卡在全关位置。演示流程如下：

1. EGR 阀开路后，OBD 诊断仪读出图 5.3 所示故障；
2. 制造厂 OBD 文档定义 EGR 阀开路故障定为 B2 类故障，验证故障等级的测试循环为冷热态 WHTC；
3. 冷热态 WHTC 的 NO_x 排放结果为 0.5g/kWh，满足低于 1.5g/kWh 的排放要求，且 MI 指示灯符合标准要求，该故障验证成功。

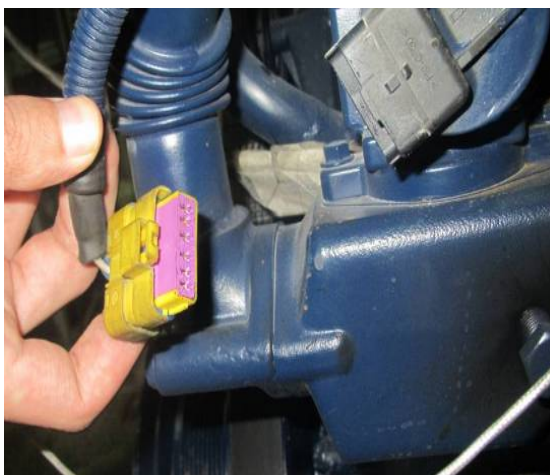


图 5.2 模拟 EGR 阀卡滞

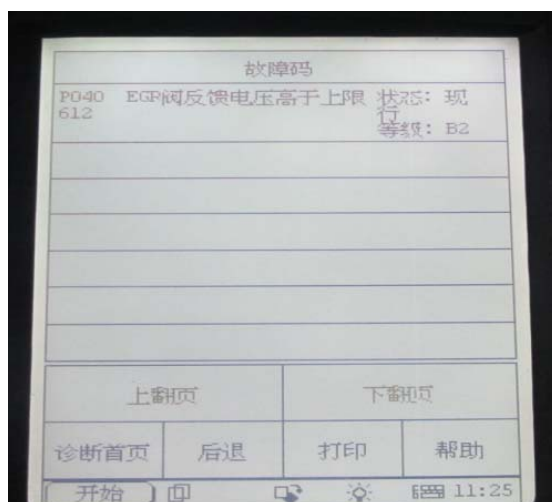


图 5.3 OBD 诊断仪读出的故障码

5.7.2DPF 移除试验验证

图 5.4 显示为模拟 DPF 移除，演示流程如下：

1. 安装移除了载体的假 DPF；
2. 发动机在合适工况下，当压差传感器测量的压差跟没有 DPF 时传感器测量的压差在同一数量级内时，系统报错，报错故障如图 5 所示；
3. 诊断仪显示为 A 类故障，与 OBD 文档定义一致，MI 指示灯符合标准要求，验证成功。



图 5.4 模拟 DPF 移除

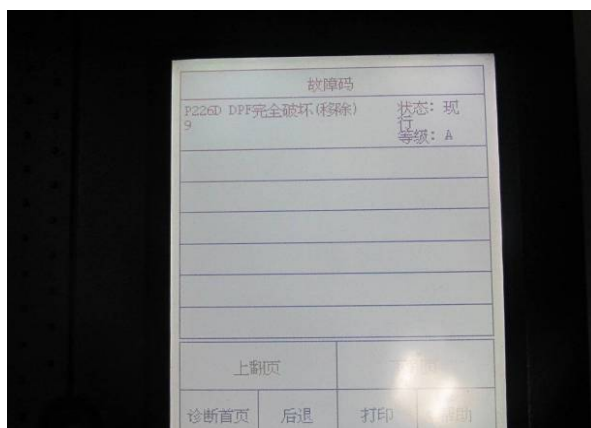


图 5.5 DPF 移除故障

5.7.3 DPF 捕获效率低验证

演示流程如下：

1. 按图 5.6 所示模拟 DPF 受损，捕获效率下降；
2. 发动机在合适工况下运行，当压差传感器测量的压差跟发动机 PM 排放处于 0.025g/kW.h 时压差传感器测量的压差处于同一数量级时，系统报错，如图 5.7 所示；
3. 诊断仪显示为 A 类故障，与 OBD 文档定义一致，MI 指示灯符合标准要求，验证成功。



图 5.6 模拟 DPF 捕获效率下降

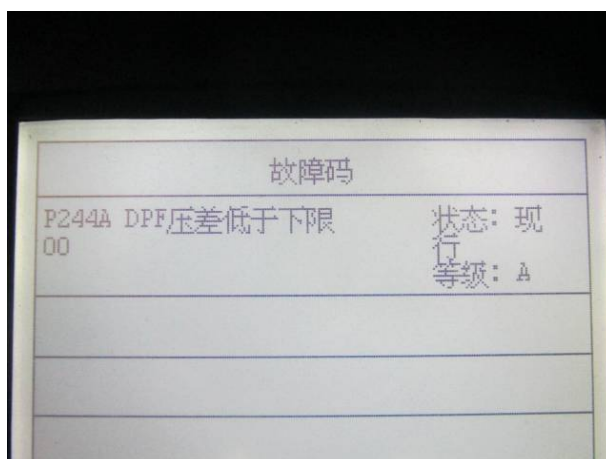


图 5.7 DPF 捕获效率下降故障

5.7.4 DPF 堵塞验证

演示流程如下：

1. 由于使用堵塞 DPF 进行试验存在安全风险, 可通过更改差压报警的限值或增大 DPF 后的压力来模拟;
2. 发动机在合适工况下, 当压差传感器测量的压差比 DPF 满载碳载量时的压差还大, 则系统报错 (压差传感器随碳载量的增大而增大, 本试验通过模拟压差传感器测量值变大来实现), 系统报错, 如图 5.8 所示;
3. 诊断仪显示为 A 类故障, 与 OBD 文档定义一致, MI 指示灯符合标准要求, 验证成功。

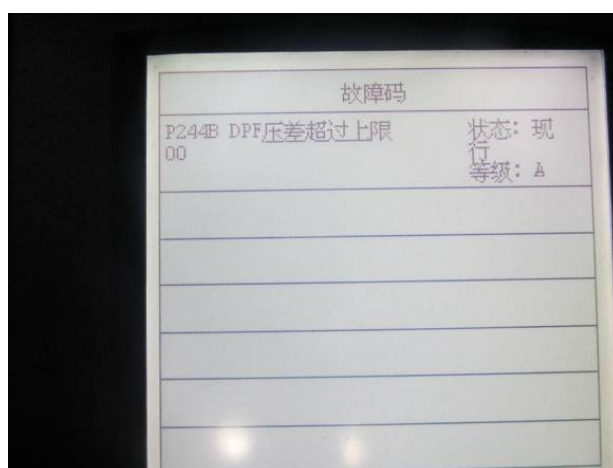


图 5.8 模拟 DPF 堵塞故障

6. 可行性分析

6.1. 实施本标准的环境效益分析

与现行的排放标准相比，新制定的VI阶段标准排放标准采用冷热态 WHTC 测试循环、WHSC 测试循环以及非循环排放 WNTC，除了国 IV/国 V 要求的各种污染物外还增加了颗粒物数量和氨排放要求，与国 V 限值相比，其 HC 污染物减少了 71%，NO_x 减少了 77%，PM 减少了 67%，在耐久性要求方面，增加了质保期，耐久要求的最短行驶里程也大幅增加。在 OBD 监管和 NO_x 控制措施方面，OBD 报警限值与国 V 相比大幅降低，同时增加了颗粒物质量要求。因此新制定标准的实施必将会带来重型车排放控制路线极大的革新，新标准的实施必将引导发动机生产企业在国 V 基础上，在机内净化技术、后处理技术、OBD 技术以及 NO_x 控制措施、热管理技术、机械开发技术以及整车标定技术方面做出质的飞跃。新标准的实施也必将带来环保部门在监管思路和监管体系方面的进一步完善和提升，从技术层面和监管层面切实有效的降低重型车排放过高问题，环境效益显著。

6.2. 技术可行性分析

DB11 964-2013《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物限值及测量方法(台架工况法)》要求重型车在满足 GB 17691-2005 基础上，要满足冷热态 WHTC 循环测试要求，发动机生产厂家通过优化发动机标定，在 ETC 基础上对发动机低速低负荷区域进行标定以及采用先进的热管理策略可以满足京 IV/京 V 排放标准要求，标准达标效果良好。

从京 V 升级到VI阶段标准排放标准，单一采用 SCR 技术或 DPF 技术已经远远不能满足京 VI 排放的限值要求，对发动机生产企业来说，需要充分进行机内优化，通过采用先进的机械工艺和先进喷射控制技术、EGR 技术、改良的增压技术等优化发动机排放，同时在机内充分优化的基础上，机外通过 SCR 技术、DOC 技术以及 DPF 技术的全组合或部分组合降低 NO_x 排放和颗粒物质量和数量排放。表 6.1 为 VI 阶段标准可能达标技术路线对比。

目前对发动机生产企业来说，SCR 技术、DPF 技术以及 DOC 技术、EGR 技术已经十分成熟，发动机生产企业须在以下六个方面多下功夫，满足京 VI 排放标准指日可待。第一是氮氧化物的排放控制技术，第二是热管理控制技术，第三是 DPF 再生控制技术，第四是整车标定技术，第五是 OBD 标定技术，第六是机械开发。

表 6.1 VI阶段标准可能达标路线分析

方案	低-EGR 高-SCR	低-EGR SCR	高-EGR 不带 SCR
供油系统	共轨系统 $\geq 1800\text{bar}$ 增加 200~500bar 有利于降低 Soot 和改 善油耗	共轨系统 $\geq 1800\text{bar}$	共轨系统 $\geq 2500\text{bar}$
排气后处理 技术	NO _x 的转化效率-90% PM 的转化效率-20%带 DOC 在外特性 15%EGR 率	NO _x 的转化效率-80% PM 的转化效率-60%带 DOC 带 DOC 和 DPF 在外特性 20%~25%EGR 率	NO _x 的转化效率-80% PM 的转化效率-90%带 DOC 采用 DPF 在外特性 45%~50%EGR 率
进气系统	VGT	VGT 和 2 级增压	2 级增压
燃油消耗	-5%至 3%	0	提高 6%至 7%
发动机	改善冷却系统 PFP 200bar	提高冷却系统 PFP 200bar	提高冷却系统 PFP 200bar

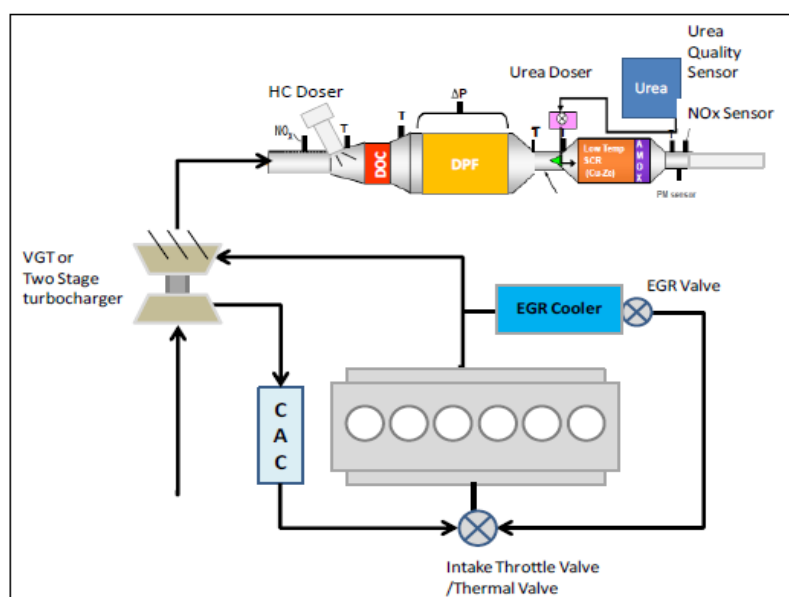


图 6.1VI阶段标准发动机技术示意图

6.3. 测试技术可行性分析

与VI阶段标准要求相比，VI阶段标准只是更改了测试循环，增加了对颗粒物数量要求，从测试设备来讲，各生产企业及检测机构只需在VI阶段标准基础上增加颗粒物数量测量装置，编制新的测试循环便可以满足VI阶段标准的测试要求。

目前国家授权的排放检测机构：如：中国汽车技术研究中心、济南汽车检测中心、国家汽车质量监督检验中心（长春）、国家机动车质量监督检验中心（重庆）、国家机动车产品质量监督检验中心（上海）、国家汽车质量监督检验中心（襄樊）等检测机构都有完善的排放测量设备，可以满足VI阶段标准排放测试要求。玉柴、潍柴等国内主流发动机生产企业也拥有满足欧 VI 排放的测试设备。

6.4. 经济可行性分析

VI阶段标准整车最重要的成本为发动机的升级，VI阶段标准整车必须配备满足VI阶段标准发动机排放标准的发动机。初步估算，VI阶段标准发动机相对于普通国五发动机成本增加 2~3 万元，而相对于北京特京五发动机成本增加 1~1.5 万元。