

《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车冷启动排气污染物排放限值及测量方法》  
(征求意见稿) 编制说明

《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车冷启动排气污染物排放限值及测量方法》标准编制组

二〇一二年七月

# 目 录

<b>1</b>	<b>背景</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>国 IV 城市重型车 NOx 排放问题</b> .....	<b>2</b>
2.1	城市重型车 NOx 排放过高.....	2
2.2	城市重型车 SCR 系统低温性能变差.....	3
2.3	城市车辆实际运行特点.....	4
2.4	现行标准试验循环工况的局限性.....	5
<b>3</b>	<b>国外情况研究</b> .....	<b>7</b>
3.1	欧盟.....	7
3.2	美国.....	11
3.3	日本.....	13
3.4	英国.....	14
3.5	小结.....	14
<b>4</b>	<b>本标准制定思路</b> .....	<b>16</b>
4.1	整体思路.....	16
4.2	测试循环的选定.....	16
<b>5</b>	<b>标准主要技术内容</b> .....	<b>18</b>
5.1	标准适用范围.....	18
5.2	标准结构框架.....	19
5.3	试验规程和试验循环的确定及依据.....	19
5.4	排放限值及确定的依据.....	20
<b>6</b>	<b>排放限值的试验验证</b> .....	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>实施本标准的环境效益及可行性分析</b> .....	<b>22</b>
7.1	环境效益.....	22
7.2	技术可行性.....	22
7.3	测试条件可行性.....	23
	<b>参考文献</b> .....	<b>24</b>

# 《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车冷启动排气污染物排放限值及测量方法》编制说明

## 1 背景

北京、上海提前实施国四排放标准以来，发现了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超标的情况。

为了解相关情况并听取各方意见，环保部科技标准司于2012年3月16日专门召开了“重型柴油车国四标准实施问题讨论会”。会议邀请了环保部污防司、地方环保局、环保科研院所、高校、汽车排放检测机构，以及汽车、发动机、排气后处理装置和检测设备生产厂等单位的20余位专家。

大多数与会专家认为，该问题的出现，主要是因为新车型式核准试验工况存在缺陷，对城市公交车（或城市车辆）的低温低速工况不具备代表性，使得企业开发机型时基本没有考虑低速低负荷的城市工况，导致城市车辆实际运行时氮氧化物排放超标。为了解决上述问题，对城市车辆在现有标准基础上，追加一个更具代表性的冷启动测试循环，可以较好的解决城市车辆低速低温工况氮氧化物超标的问题。

因此，环保部科技司下达标准制定任务，由中国环境科学研究院承担，要求尽快开展相关研究工作，并补充制订相应标准。与会专家同时认为，根据现有研究成果，在发动机平均转速、平均功率、怠速时间、排气温度等方面，全球统一的重型发动机试验循环（WHTC）与目前实际城市车辆运行工况吻合较好，可以考虑作为新标准的试验工况。

## 2 国 IV 城市重型车 NO<sub>x</sub> 排放问题

### 2.1 城市重型车 NO<sub>x</sub> 排放过高

国内相关研究发现，国四公交车实际运行时，所排放的 NO<sub>x</sub> 远远超出型式核准的限值，直接导致大量的 NO<sub>x</sub> 污染物排放。

对城市车辆实际运行时的 NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> 比排放数据<sup>[1]</sup>见图 1。

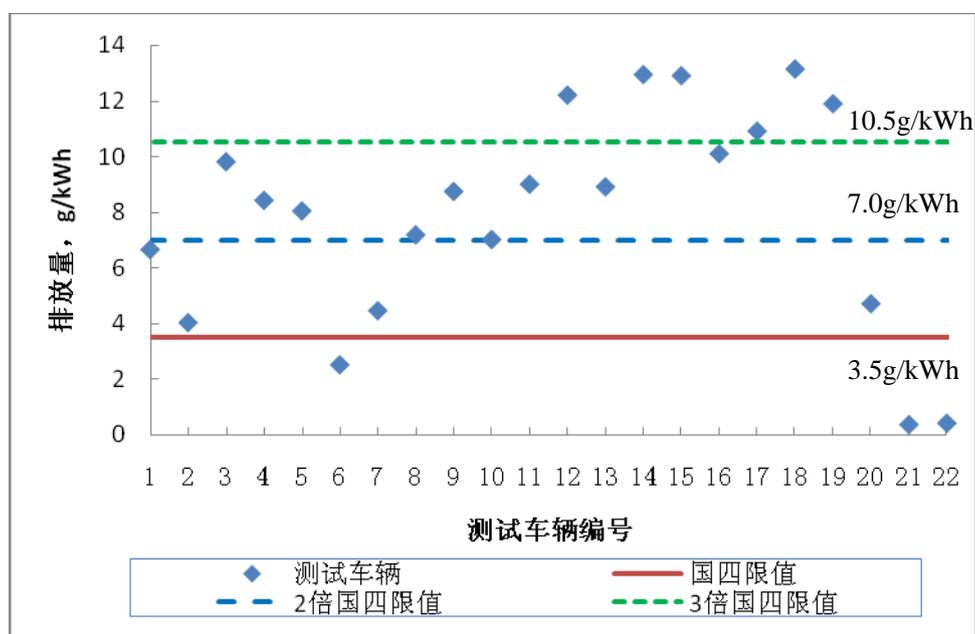


图 1 22 辆整车 NO<sub>x</sub> 排放数据<sup>1</sup>

由图 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，占有所有数据的 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<sub>x</sub> 排放超标问题十分严重。

<sup>1</sup> 数据来源：中国汽车技术中心承担的北京市《重型汽车整车污染物排放要求及测试规范》标准项目。

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<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> 将会比预期多排放约 4 万吨<sup>[2]</sup>。

## 2.2 城市重型车 SCR 系统低温性能变差

研究国四车辆在城市运行中 NO<sub>x</sub> 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<sup>[3]</sup>。

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<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> 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<sup>[4]</sup>。

### 2.3 城市车辆实际运行特点

根据相关研究表明，在城市运行的公交和市政车辆，在交通高峰时段的平均车速只有 15km/h 左右，在正常时段的平均车速也超不过 30km/h，在整个运行工况中怠速占很大的比例，表 1 是对公交车实际运行状况下的平均转速、平均功率，以及怠速情况等进行监测的数据<sup>[5]</sup>。

表 1 城市公交车实际运行状况

车号	转速			功率			怠速比例		
	额定转速	平均转速	平均/额定%	额定功率	平均功率	平均/额定%	运行时间	怠速时间	怠速比例%
1	2300	1016	<b>44.17</b>	165	24.69	<b>14.96</b>	3585	835	<b>23.29</b>
2	2300	973	<b>42.30</b>	165	23.11	<b>14.01</b>	4403	1274	<b>28.93</b>
3	2300	908	<b>39.48</b>	165	25.59	<b>15.51</b>	2290	0	<b>0.00</b>
4	2300	1046	<b>45.48</b>	165	43.56	<b>26.40</b>	7473	1181	<b>15.80</b>
5	2300	1131	<b>49.17</b>	165	49.62	<b>30.07</b>	6345	843	<b>13.29</b>
6	2300	996	<b>43.30</b>	166	25.81	<b>15.55</b>	6016	1066	<b>17.72</b>
7	2300	1003	<b>43.61</b>	166	29.20	<b>17.59</b>	6377	1077	<b>16.89</b>
8	2200	1123	<b>51.05</b>	177	18.16	<b>10.26</b>	6458	987	<b>15.28</b>
9	2200	1145	<b>52.05</b>	147	22.91	<b>15.59</b>	7313	1500	<b>20.51</b>
10	2200	1137	<b>51.68</b>	147	23.31	<b>15.86</b>	7009	992	<b>14.15</b>
11	2200	978	<b>44.45</b>	172	26.00	<b>15.12</b>	5597	1168	<b>20.87</b>
均值			<b>46.07</b>			<b>17.36</b>			<b>16.98</b>

从表 1 的数据可以看出，在公交车实际运行时，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%。

试验同时测得发动机排温随时间变化的曲线，见图 2。

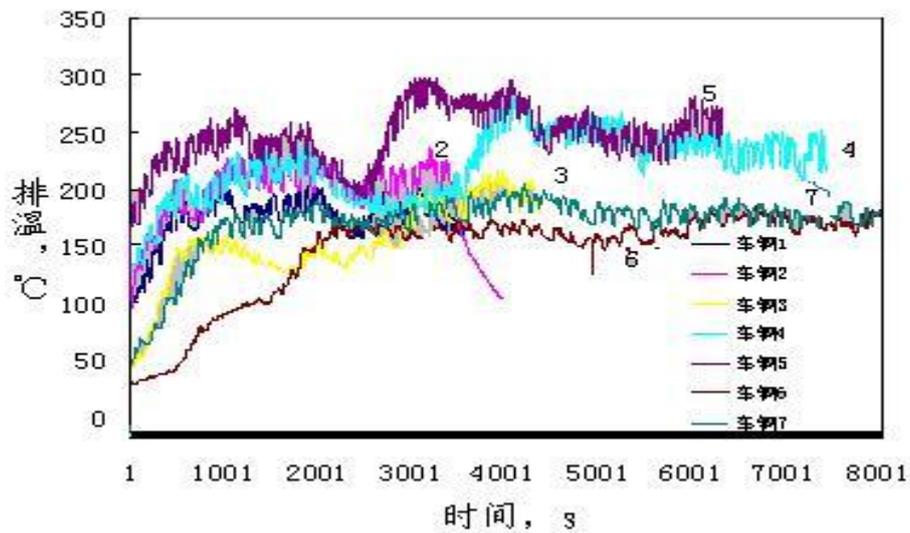


图 2 柴油公交车排温曲线

由图 2 可以看出，柴油公交车排气温度基本在 200°C 以下，即使在车速较高的路段（车辆 4 和车辆 5），排温也就在 250°C 左右，这将导致公交车采用的选择性催化还原系统（SCR）效率大为降低，因此，NO<sub>x</sub> 排放升高情况的出现也就不难理解了。

#### 2.4 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。

ETC 测试循环的扭矩和转速随时间变化的曲线见图 3。

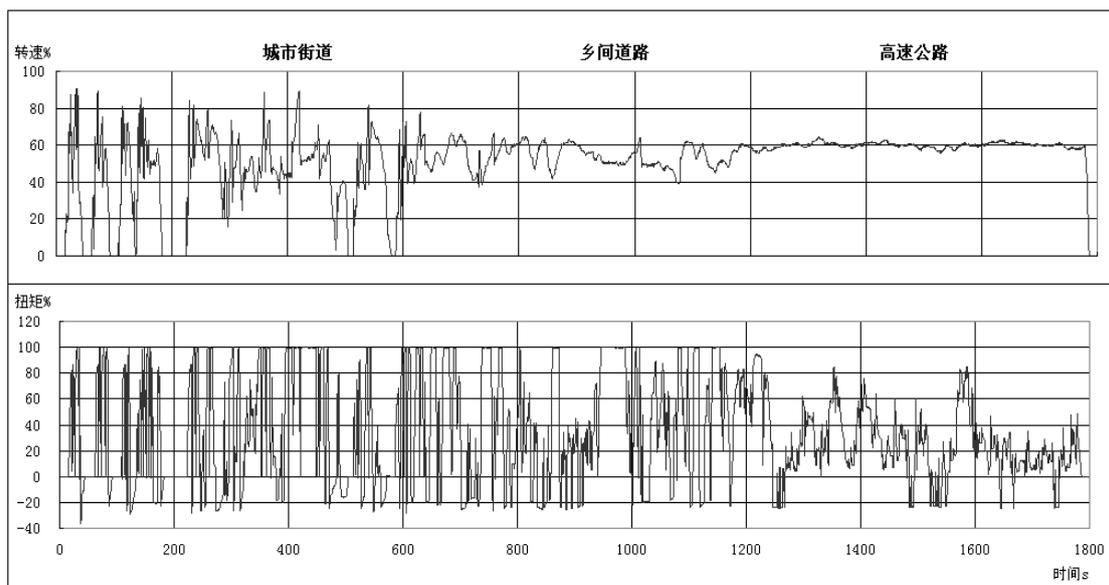


图 3 ETC 试验循环

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<sup>[5]</sup>，见图 4。

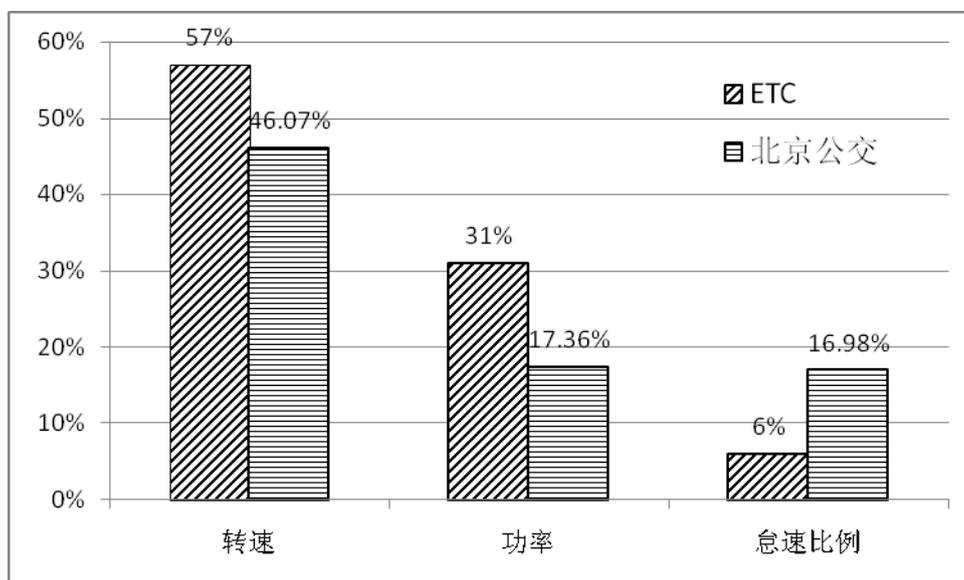


图 4 ETC 工况与城市公交实际运行情况比较

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<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> 排放。

### 3 国外情况研究

#### 3.1 欧盟

##### 3.1.1 欧盟城市车辆 NO<sub>x</sub> 排放超标问题

欧洲在实施欧 IV 和欧 V 的过程也发现了类似的问题，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<sub>x</sub>）却远高于型式核准的限值。

图 5 和图 6 分别展示了满足欧 IV 和欧 V 的卡车，在实际道路上使用车载排放测量设备（portable emission measurement system, PEMS）进行 NO<sub>x</sub> 排放测试的结果。可以看出，在平均车速较低的城市工况，NO<sub>x</sub> 排放是限值的 2-3 倍左右，远远高于排放限值，与高速工况相比，城市工况的 NO<sub>x</sub> 排放也明显增加<sup>[6]</sup>。

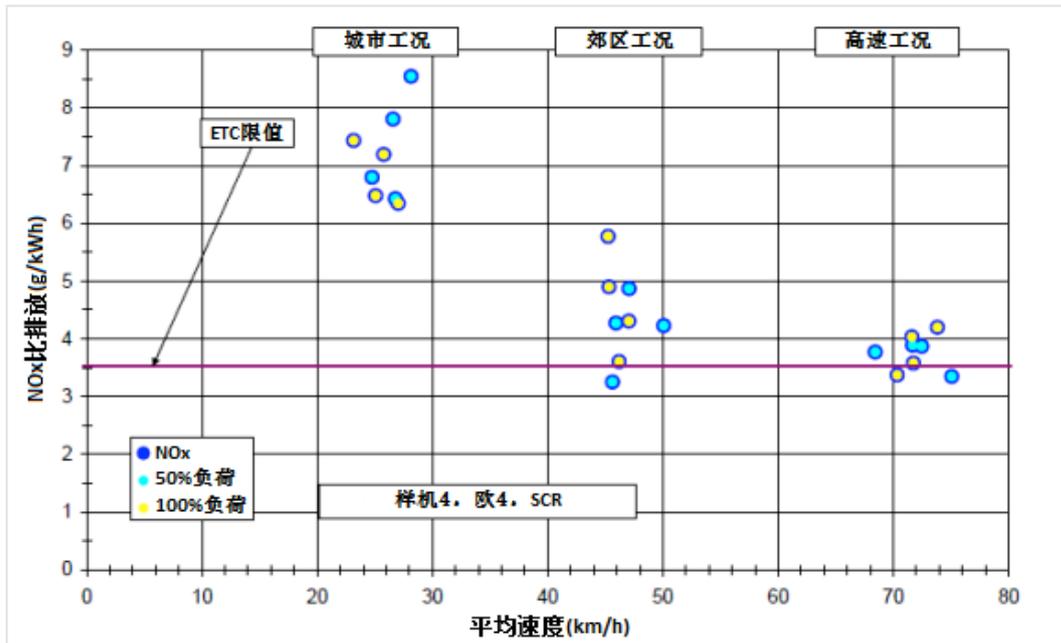


图 5 欧 IV 卡车实际运行 PEMS 测试 NOx 排放

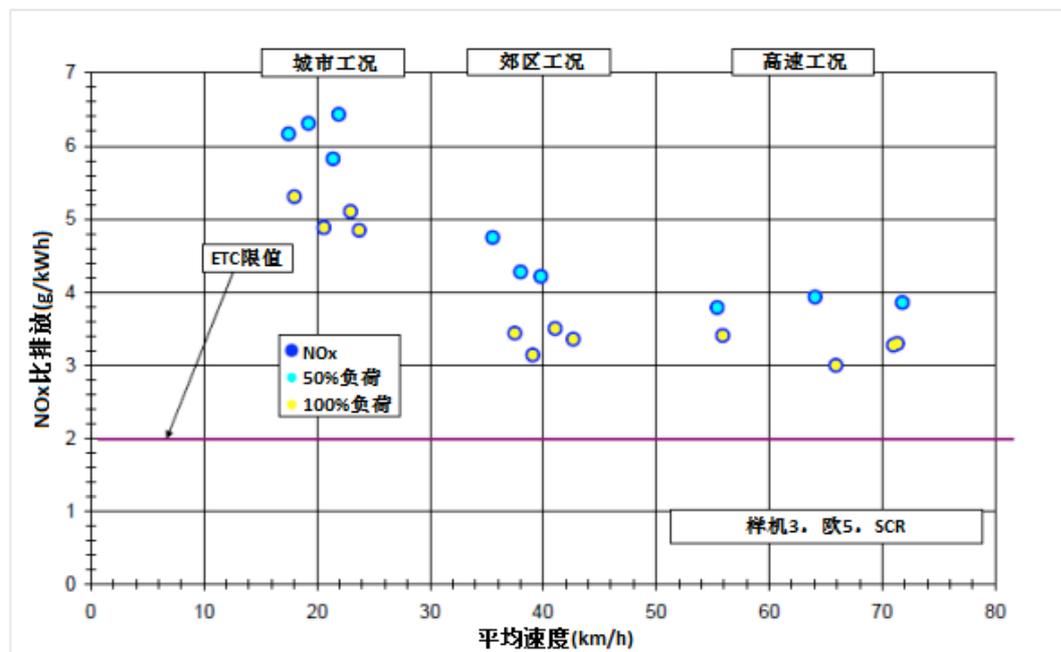


图 6 欧 V 卡车实际运行 PEMS 测试 NOx 排放

### 3.1.2 欧 VI 标准的改进

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，见表 2。

表 2 欧 VI 法规排放限值<sup>[7]</sup>

	Limit values							
	CO (mg/kWh)	THC (mg/kWh)	NMHC (mg/kWh)	CH <sub>4</sub> (mg/kWh)	NO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (mg/kWh)	NH <sub>3</sub> (ppm)	PM mass (mg/kWh)	PM <sup>(2)</sup> number (#/kWh)
WHSC (CI)	1 500	130			400	10	10	8,0 × 10 <sup>11</sup>
WHTC (CI)	4 000	160			460	10	10	6,0 × 10 <sup>11</sup>
WHTC (PI)	4 000		160	500	460	10	10	<sup>(3)</sup>

PI = Positive Ignition.

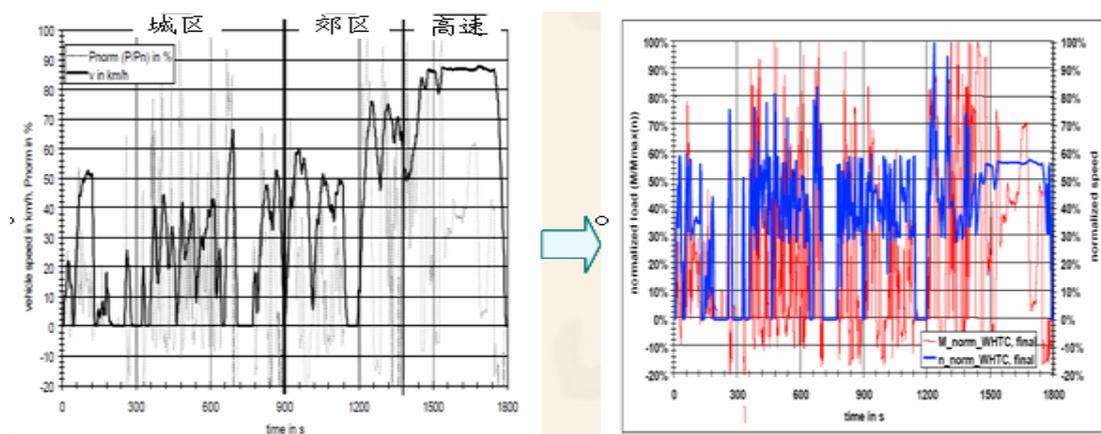
CI = Compression Ignition.

<sup>(1)</sup> The admissible level of NO<sub>2</sub> component in the NO<sub>x</sub> limit value may be defined at a later stage.

<sup>(2)</sup> A new measurement procedure shall be introduced before 31 December 2012.

<sup>(3)</sup> A particle number limit shall be introduced before 31 December 2012.'

世界车辆法规协调论坛（WP29）在制订第 4 号全球技术法规《全球统一的重型车测试规程（WHDC）》时，充分考虑了世界各地的道路情况，各种车辆的行驶特征，其中城市工况占 49.6%，郊区工况占 26%，高速工况占 24.3%，见图 7 中图（a）。



(a) 车辆行驶工况

(b) WHTC 循环

图 7 WHTC 试验循环

由车辆行驶工况（WHVC）转换成的发动机台架试验工况，WHTC 试验循环见图（b），WHTC 试验循环中，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%。

欧 VI 法规另一个很重要的改变就是 WHTC 测试要求发动机冷启动。测试程序要求首先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 14%,热启动的加权系数为 86%。图 8 是一台装备 SCR 系统的欧 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<sup>[8]</sup>。

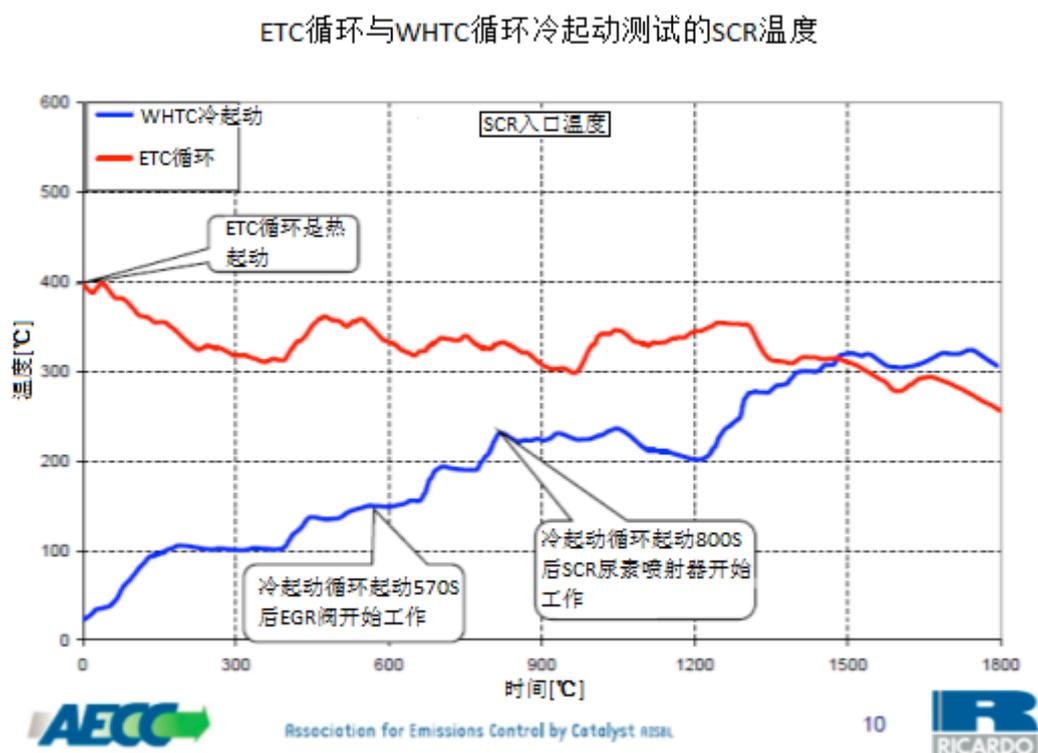


图 8 ETC 循环与 WHTC 循环冷启动的排气温度比较

结果表明,在 ETC 循环中,排气温度很高,测试一开始就可以进行尿素喷射,但是在 WHTC 冷启动测试中,75%以上工况点的排温都低于 300°C,在试验开始后大约 800S (13 分钟)的时间内尿素喷射不能启动,在试验开始后 570S 大约 (9 分钟)的时间内 EGR 阀都不工作。增加冷启动试验循环会促进发动机生产企业想办法改善 SCR 的低温性能。

现有的证据显示:只要采取措施正确,便可改进 SCR 技术,克服在低负荷条

件下过多 NO<sub>x</sub> 排放的问题。由于使用了相对低负荷的世界统一测试工况（WHTC）和附加的冷启动要求，同时，法规还规定使用 PEMS 测量在用车排放，考查其在用符合性，满足欧 VI 标准的汽车被认为在低温排放时会表现出更佳的使用性能<sup>[8]</sup>。

### 3.2 美国

美国的重型发动机排放法规中，要求使用 FTP 瞬态测试程序。重型柴油车的 FTP 循环见图 9。

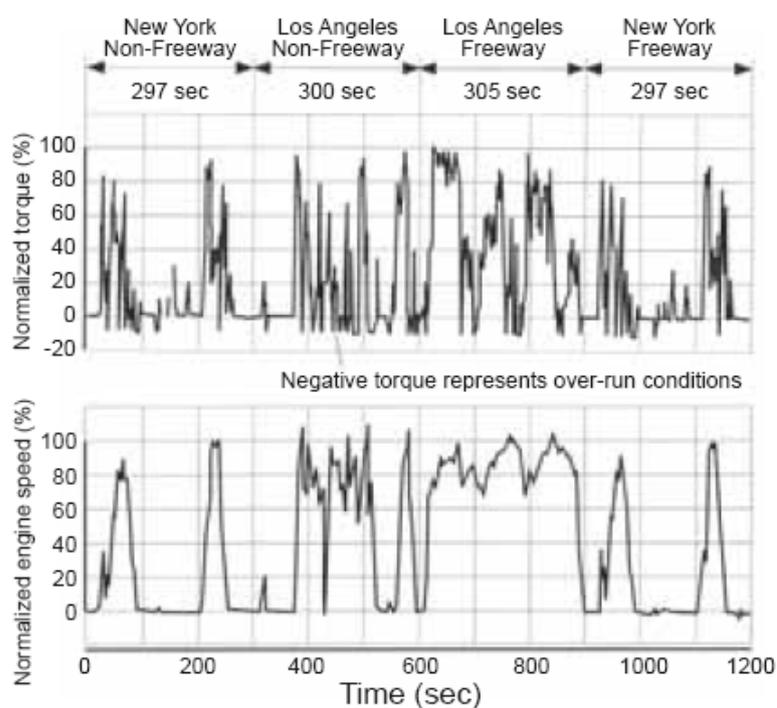


图 9 美国柴油车 FTP 瞬态循环<sup>[9]</sup>

美国测试程序中的怠速时间较多，并包含了冷、热两个试验循环，两次测试中间有 20 分钟的浸机时间，最后试验结果是两种试验循环结果的加权，其中冷循环占 1/7，热循环占 6/7，这种试验方法有助于控制排放后处理装置的低温排放特性。

美国法规中，还规定了非法规工况的排放要求（Not-To-Exceed, NTE）。NTE 方法是以防止非法规检测点排放过高为目的，利用车载排放测量设备（PEMs）

获取发动机负荷信息和车辆瞬时排放数据进，从而进行达标分析和判定，类似于欧洲的在用符合性要求。

美国法规中规定了 NTE 控制区，NET 控制区反应的是重型车辆发动机在正常使用和运行时所遇到的发动机转速和负荷区域，NTE 控制区见图 10。

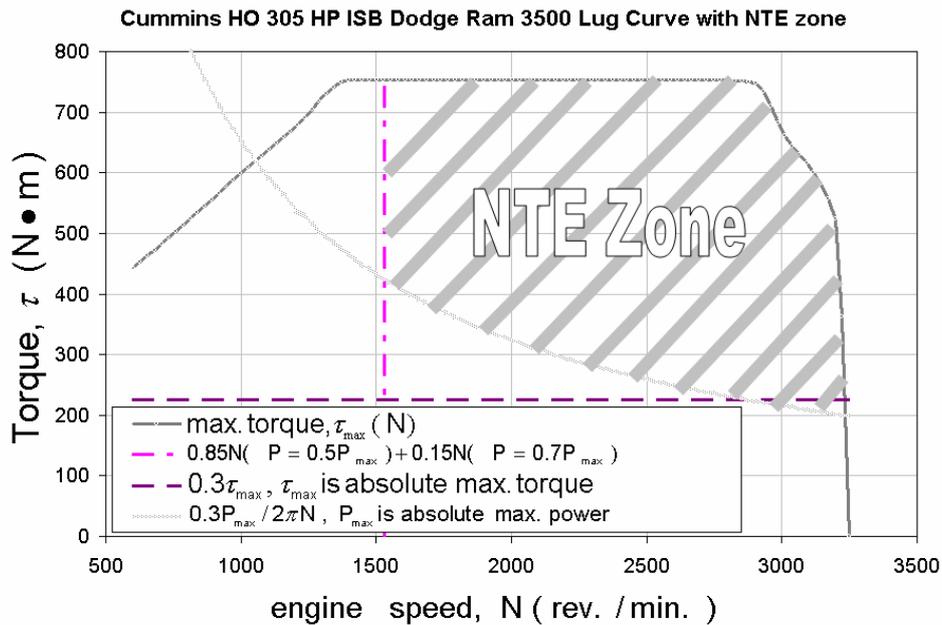


图 10 美国 NTE 控制区<sup>[10]</sup>

法规规定，车辆运行时，将落入 NTE 控制区内连续 30s 或以上的工况作为一个 NTE 事件。如果所有的 NTE 事件中，排放值小于 FTP 限值 1.25-1.5 倍（NO<sub>x</sub> 为 1.5 倍）的 NTE 事件总时间占所有 NTE 事件时间和的 90% 以上，且任何一个 NTE 事件的排放值都小于型式认证 FTP 限值的两倍，则认为该车的排放是合格的<sup>[11]</sup>。NTE 要求的引入，使车辆在正常使用时的污染物排放得到了有效的控制。

由于认证试验工况（FTP）怠速时间较多，测试循环中规定了冷启动要求，并同时规定了 NTE 的要求，为满足法规要求，在美国认证的重型发动机所选用 SCR 系统，一般都使用低温性能较好的铜分子筛催化剂，并且，大部分需要采用排气热量管理系统，提高发动机在城区工况低负荷时的排气温度，从而保持尿素的喷射和 SCR 系统的活性。

### 3.3 日本

日本的 2005 汽车排放标准与欧洲虽然认证程序不一样，但也有类似问题发生。日本国家交通安全与环境实验室（NTSEL）发现，装备 SCR 的汽车可能会出现高排放问题，但装备 DPF 的卡车使用 EGR 控制 NO<sub>x</sub> 的性能较好。东京都立研究院（TMRI 2009）在底盘转鼓试验台上测试了几款装备 SCR 的重型车在代表东京驾驶条件的 11 个瞬态和稳态测试工况下的排放（图 11）。

正如图中所显示的，平均测试工况速度和 NO<sub>x</sub> 排放之间明显相关，最低的 NO<sub>x</sub> 排放出现在高速情况下，平均车速越低，NO<sub>x</sub> 排放越恶劣，甚至可以超过法规认证工况点的 2-4 倍<sup>[12]</sup>。

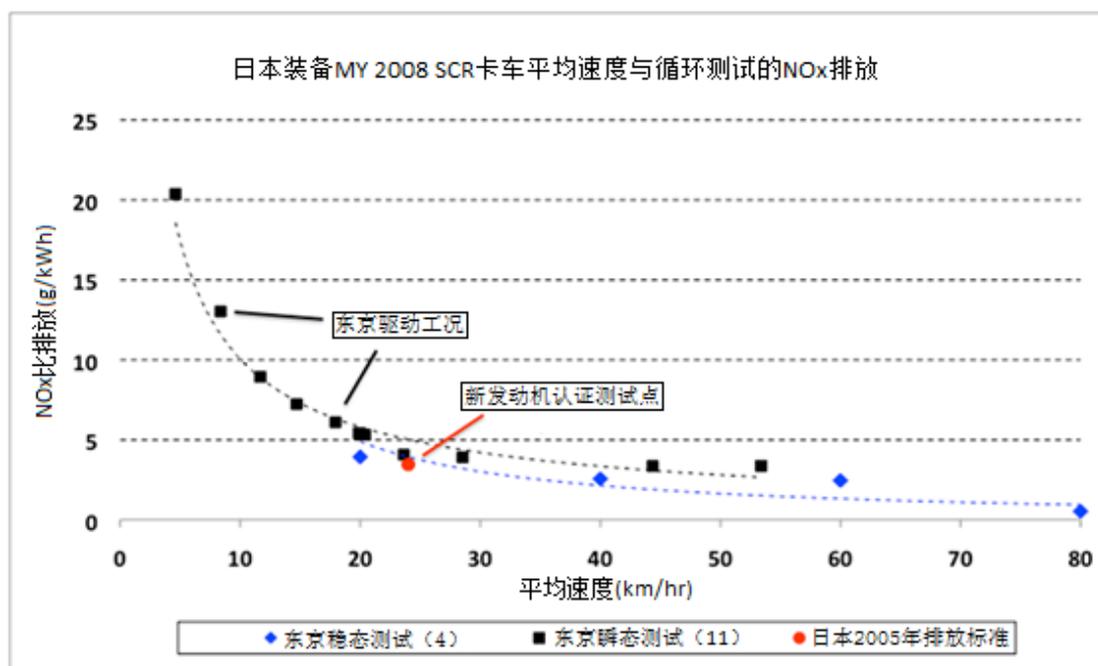


图 11 日本装配 SCR 系统的卡车 NO<sub>x</sub> 排放与平均速度的关系

日本自 2005 年开始，重型车（包括汽油和柴油）开始使用 JE05 测试循环，为满足日本 2005 年标准，企业通常会使用铁分子筛催化剂，这种催化剂需要排温在 300℃ 以上才能有效，低温性能较差。

日本（2009）标准提出了更严格的排放要求，为满足标准要求，需要同时使

用颗粒过滤器（DPF）和 SCR，在前端的 DPF 可以提高 NO<sub>2</sub>/NO 比例和排气温  
度，这将使 SCR 低温转化效率有所提高。同时，日本还提出了冷启动测试要求，  
这将对 SCR 的冷启动性能提出更高的要求。冷启动测试的加入和 DPF 的使用，  
有效的解决了城市车辆的在用排放问题。

### 3.4 英国

英国采用欧盟的排放法规，所以，同欧盟一样也存在型式核准工况与实际情  
况不符，导致实际 NO<sub>x</sub> 排放过高的问题。英国伦敦等城市为解决该问题，更好  
的控制城市重型车辆（发动机）的排放，专门制订了适用的城市工况。伦敦公交  
工况（Millbrook London Transport Bus, MLTB）就是基于伦敦公交车的实际行驶  
情况而制定，具有停站多、速度慢的特点。

伦敦交通局（Transport for London）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，伦敦交通局依据伦敦公交工况，对所有它们购买的新公交  
车进行测试，来确定实际行驶情况下的 CO<sub>2</sub>、PM 和 NO<sub>x</sub> 的排放量。

如果伦敦交通局判定车辆排放的 NO<sub>x</sub> 高于型式核准的水平，他们将与客车制  
造企业协商，让其“自愿”改进车辆在 MLTB 循环测试中的排放量。这通常包  
括对发动机重新调整并改善低温性能<sup>[13]</sup>。

### 3.5 小结

欧盟和美国的重型车排放法规，采用不同的排放测试循环，图 12 对比了  
ETC、WHTC 和美国 FTP 测试循环在各个转速和负荷区域的时间比例。

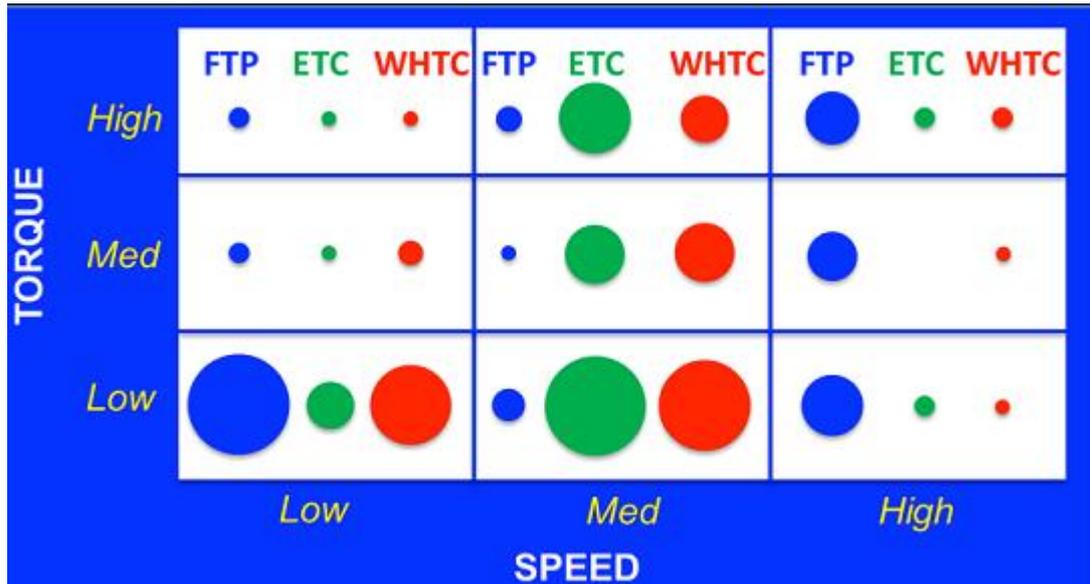


图 12 FTP、ETC 和 WHTC 测试循环的对比

可以看出，ETC 的主要工作区域是中速的低、中、高负荷，WHTC 显著提高了低速低负荷的比例，美国 FTP 工况低速低负荷所占比例也很大。

在美国，认证试验工况（FTP）怠速时间占比例较大，测试循环中规定了冷启动要求，并同时规定了 NTE 的要求，很好的避免了城市车辆实际运行时 NO<sub>x</sub> 排放过高的问题。

在欧 IV 和 V 阶段，法规中的 ETC 工况存在缺陷，对于低速低负荷的城市工况不具备代表性，同时也没有冷启动测试要求，导致城市车辆实际运行时 NO<sub>x</sub> 排放过高。在欧 VI 阶段，欧盟引入了更具代表性的 WHTC 测试循环，增加了冷启动要求，同时还增加了较为严格的在用符合性要求，这些措施将有望改进城市工况下 NO<sub>x</sub> 排放过高的问题。

实际上，采用欧洲排放法规的发展中国家，比如印度和巴西，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，也将面临和欧洲同样的问题。如果不对型式核准程序作出调整，毫无疑问将重蹈欧洲覆辙。

## 4 本标准制定思路

### 4.1 整体思路

综上所述，由于我国排放标准引用的是欧洲排放法规，欧洲排放法规认证工况存在的缺陷，也同样影响了我国。目前，尽管许多装备有 SCR 系统的国 IV（欧 IV）车辆在型式核准时候能够满足排放限值要求，但是在实际行驶过程中，特别是在城区行驶的时候，其 NO<sub>x</sub> 排放却明显升高。我国即将全面实施国 IV 和国 V 标准，如果不及时做出调整，那么也必将面临和欧洲相同的问题，很可能不会取得预期的减排效益，获得空气质量的改善。

根据国外经验和各方专家建议，为解决这一问题，最为直接有效的办法，就是在现有标准的基础上，增加一个可以代表城市车辆实际运行状况的试验循环工况，并在型式核准时，增加冷启动排放要求。这样一来，制造企业在设计发动机时，就会同时考虑低温排放问题，采取措施，保证低温排放性能，避免在实际使用时 NO<sub>x</sub> 超标问题的再次发生。

因此，在现有标准基础上，增加一个更具代表性的冷启动测试循环和相应限值，可较好解决城市车辆 NO<sub>x</sub> 排放超标问题。

### 4.2 测试循环的选定

根据第 3 章的研究结果，ETC 工况与城市车辆实际行驶情况差别较大，而美国的 FTP 工况和欧 VI 标准将采用的 WHTC 工况都是具有较好代表性的循环工况，由于我国标准一直沿用欧盟排放法规体系，为保持标准体系的一致性，选择同一体系的欧 VI 标准 WHTC 工况更为合理。

WHTC 工况是联合国世界车辆法规协调论坛（WP29）第 4 号全球性技术法规《全球统一的重型车测试规程（WHDC）》中的试验循环，其具体内容可参见第 3.1 节。

WHTC 瞬态试验循环包括一组 1800 秒逐秒变化的规范转速和扭矩百分值，WHTC 试验循环见图 13。为在发动机试验台上进行试验，首先要根据每台发动

机的瞬态性能曲线将规范百分值转化成发动机实际转速和扭矩值，形成基准试验循环，再按照发动机基准循环进行试验。

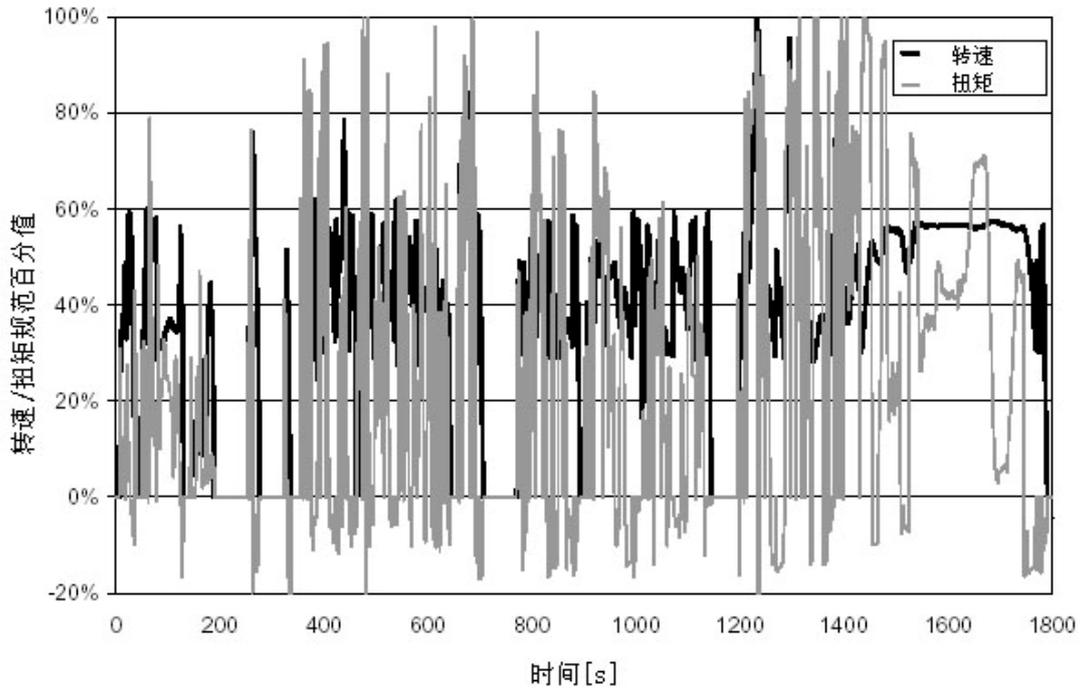


图 13 WHTC 试验循环

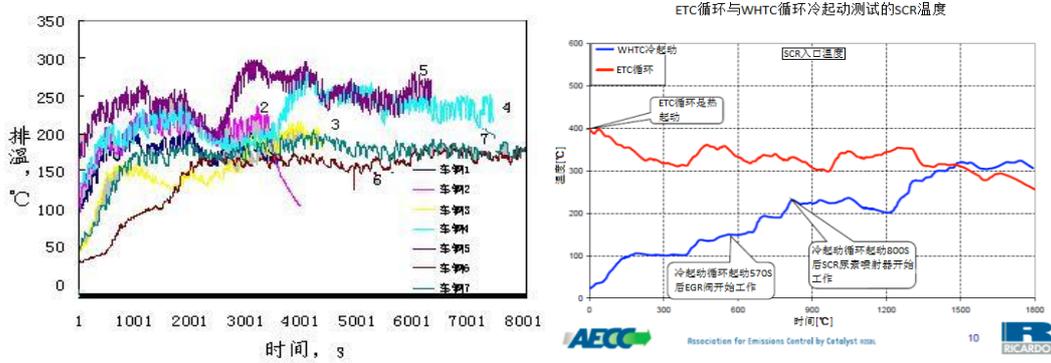
WHTC 试验循环相比 ETC 循环，与我国城市车辆的实际运行状况（功率、转速和排气温度等）更为接近，见第 2.3 节，ETC、WHTC 试验循环和城市公交实际运行情况对比，见表 3。

表 3 城市公交运行状况与各测试循环的对比

	ETC	WHTC	公交实际道路工况
平均的发动机转速/额定转速 [%]	57	36	46.07
平均的发动机功率/额定功率 [%]	31	17	17.36
怠速时间/整个循环时间 [%]	6	17	16.98

从上表数据比较可以看出：城市公交实际道路工况和 WHTC 工况从转速、负荷和怠速时间的分配比例看，相比现行标准规定的 ETC 工况要更为接近。

城市公交车实际运行时的排温情况与 WHTC 也更为类似。具体见图 14。



(a) 公交车实际运行排温

(b) WHTC 工况台架试验排温

图 14 公交车与 WHTC 工况排温对比

图 14 中，实测的城市公交道路行驶排温情况见图 (a)，WHTC 冷启动后发动机排温情况见图 (b) 中蓝线（红线为 ETC 工况台架试验排温）。可以看出，与图 (b) 中的 ETC 和 WHTC 冷启动排放温情况相比，城市公交车在实际运行时的排温情况与 WHTC 冷启动的排温情况更为类似，全程最高温度都在 300°C 左右，且都是起步时温度较低，之后逐渐升高。

综上，为与现行标准体系保持一致，并且，WHTC 冷启动测试循环相比较于 ETC 工况，更具代表性，更接近于城市车辆的实际运行状况。所以，本标准选择了 WHTC 冷启动试验循环，来作为原标准（GB 17691-2005）的补充，测量并考核城市车辆在低温低负荷运行状态下的污染物排放。

## 5 标准主要技术内容

### 5.1 标准适用范围

本标准适用于压燃式发动机的客车和城市用货车（环卫车辆、邮政车辆等）的第 IV 和 V 阶段型式核准、生产一致性检查和在用符合性检查。

鉴于所有客车都会在城市运行（即使是部分时间），比如公交车、单位班车、旅游大巴等，这些客车都有在市区内运行的情况，所以，本标准包括了所有的重型载客车辆（M 类车）。

对于货车（N类车），有些货车可能大部分时间都在城际之间的道路上运行，很少进城，为了尽量缩小四、五阶段型式核准补充试验影响的车辆范围，本标准只包括了主要在城市中运行的载货车辆（环卫车辆和邮政车辆等）。

## 5.2 标准结构框架

本标准文本包括 8 章内容，如下：

- (1) 1. 适用范围
- (2) 2. 规范性引用文件
- (3) 3. 术语和定义
- (4) 4. 型式核准和申请
- (5) 5. 技术要求和试验
- (6) 6. 生产一致性
- (7) 7. 发动机在重型汽车上安装的附加要求
- (8) 8. 标准的实施

本标准还包括两个规范性附录和规范性附件：

- (1) 附录 A WHTC 试验规程
- (2) 附件 AA WHTC 试验循环中发动机测功机的设定规范
- (3) 附录 B 型式核准证书
- (4) 附件 BA 型式核准证书附件

本标准主要内容为采用 WHTC 工况法，测量发动机排气污染物排放的限值及测量方法。在本标准第 5 章中，规定了常温冷启动的排放限值，在附录中，规定了具体的 WHTC 循环试验规程。

## 5.3 试验规程和试验循环的确定及依据

### (1) 试验循环

本标准采用的试验循环为 WHTC 试验循环，具体内容及确定的依据参见第 4

章。

在全球技术法规中，WHTC 试验规程包括三部分，分别是冷启动、热浸和热启动，最终的试验结果需要通过加权得到。鉴于本标准的作用只是对原 GB 17691-2005 标准的补充，原标准的型式核准试验仍然有效，因此，只增加一个冷启动的 WHTC 循环，无需进行热启动的 WHTC 循环测试，以尽量减少对原标准的改动和企业的型式核准试验的成本。

## (2) 试验规程

为了尽量和 GB 17691-2005 标准一致，本着对 GB 17691-2005 标准改动最小的原则，所以，除了 WHTC 试验规程中的特殊要求外，试验规程中其他一些在试验中比较能够互通的要求和内容，都采用了 GB 17691-2005 中的 ETC 试验规程中的相关规定，如试验条件、测量取样规程、标定规程，以及分析和取样系统的要求等。

## 5.4 排放限值及确定的依据

我国 GB 17691-2005 规定的第 IV、V 阶段 ETC 的 NO<sub>x</sub> 排放限值为 3.5g/kWh 和 2.0g/kWh。本标准确定 WHTC 冷启动排放限值的原则，是在发动机原有水平上，重点改善其低温排放性能，根据低温排放性能改进后，发动机所能达到的冷启动排放水平，确定 WHTC 冷启动排放限值。

确定 WHTC 冷启动的排放限值，以下技术内容可以作为依据：

(1) 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》标准中规定，在用符合性 NO<sub>x</sub> 限值为型式核准限值的 1.3 倍<sup>[14]</sup>。

(2) 欧 VI 法规中规定的在用符合性要求中，欧 VI 采用 PEMs 法测量的在用符合性限值为型式核准限值的 1.5 倍<sup>[15]</sup>。

(3) 美国对重型车辆规定的在用车 NTE 要求中，车辆实际运行时，落入 NTE 区域超过 30s 的工况 (NTE 事件)，NO<sub>x</sub> 排放不能超过认证限值的 1.5 倍<sup>[10]</sup>。

(4) 同时参考可采取的具体技术措施所能达到的排放情况，具体参见第 7 章。

我国在用符合性、欧 VI 在用符合性和美国 NTE 要求中，给出的限值分别是型式核准限值的 1.3、1.5 和 1.5 倍。综合考虑，由于本标准适用对象是新定型发动机，而并非在用车辆，同时，考虑冷启动的因素，本标准将 WHTC 冷启动 NO<sub>x</sub> 限值确定为 ETC 限值的 1.4 倍；其他污染物排放限值不变，与 ETC 限值一致，具体见表 4。

表 4 WHTC 冷启动排放限值

阶段	一氧化碳 (CO)	非甲烷碳氢化合物 (NMHC)	甲烷 (CH <sub>4</sub> )	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	颗粒物(PM)
第四阶段	4.0	1.55	1.1	4.9	0.03
第五阶段	4.0	0.55	1.1	2.8	0.03

## 6 排放限值的试验验证

标准编制组根据本标准规定的 WHTC 冷启动试验规程，对 NO<sub>x</sub> 限值进行了试验验证。由于目前企业大多在开发国五阶段发动机，在较短时间里只完成了两台国五发动机低温性能改进的工作，尚未找到经过改造的国四发动机。两台国五发动机的验证数据见表 5。

表 5 国五 NO<sub>x</sub> 排放限值试验验证数据 (g/kWh)

编号	WHTC 冷启动排放			ETC 排放			采取的改进措施
	原机	改进后	限值	原机	改进后	限值	
1	-	2.618	2.8	-	1.33	2.0	Mapping 调整、保温措施 调整尿素喷射参数
2	3.95	2.6		1.86	1.64		

通过上表的验证情况可以看出，对现有发动机不进行任何改进，WHTC 冷启动的排放是不能满足本标准规定的限值要求的，对发动机瞬态性能曲线 (mapping) 进行调整并采取保温措施，或者调整尿素喷射参数等，都可以使发动机 NO<sub>x</sub> 排放在满足 GB 17691-2005 规定的 ETC 排放要求的同时，满足本标准的 WHTC 冷启动限值要求，说明本标准规定的限值是可行的。

## 7 实施本标准的环境效益及可行性分析

### 7.1 环境效益

实施本标准后，将确保 GB 17691-2005 的有效实施，使在城市运行的重型车在实际运行时能够真正的满足标准的排放要求，削减污染物排放。

根据相关数据，国四公交车在城市运行时，实际 NO<sub>x</sub> 排放可能达到 8-10g/kWh，远远超出了标准的限值要求，本标准实施后，将控制其实际 NO<sub>x</sub> 排放放在 5.0g/kWh 以内，削减率将能达到 37%-50%。

### 7.2 技术可行性

截至目前，移动源 SCR 已经采用的催化剂主要有：钒基催化剂（普遍应用于欧洲欧 IV 和欧 V 达标的车辆）、铜基催化剂（主要应用于满足美国 2010 年标准的发动机及车辆）和铁基催化剂（主要应用于满足日本 2005 年标准的发动机及车辆）。表 6 总结了这些技术的主要优缺点。

表 6 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 <sub>x</sub> )	300 <sup>o</sup> - 450 <sup>o</sup> C	225 <sup>o</sup> - 500 <sup>o</sup> C	300 <sup>o</sup> - 500 <sup>o</sup> + 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 <sup>1</sup>
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 <sup>2</sup>	好	
其他问题	难以与主动再生的 DPF 集成	低温性能很依赖 NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 比例	

<sup>1</sup> 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。  
<sup>2</sup> NO<sub>x</sub> 转化效率可能降低，500°C 以上可能会排放 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。

从上表中可看出，任何一种单独的催化剂都无法满足冷启动性能（到达催化剂起燃温度的时间）、耐久性、成本和集成 NO<sub>x</sub>/PM 控制的所有条件。

为了改善城市车辆低温工况 NO<sub>x</sub> 排放,目前普遍可以应用的技术主要有两大类,第一是提高低温时 SCR 催化剂的活性,第二是对排气热量进行管理,具体的技术措施见表 7。

表 7 改善低温排放的技术措施

	技术	作用	成本	备注
提高低温 SCR 催化剂活性	在 SCR 前加装氧化催化剂 (DOC)	优化 NO: NO <sub>2</sub> 比例	体积约为 0.3~0.5 倍发动机排量, 成本为 250 元/L	加重成本、增加背压
	铜分子筛催化剂	更好的低温活性	价格大约是矾基 SCR 的 1.5 倍	低硫燃油(50ppm) 加重成本
	优化控制策略和尿素喷射策略 (Mapping 调整)	高负荷时增加氨储备, 用于低温时使用	无成本增加	闭环控制、氨逃逸风险
	增大 SCR 体积	降低排气速度	每升大约增加 200 元成本 (含衬垫, 封装)	加重成本、增加背压
排气热量管理	汽缸内燃油后喷	燃油在排气管中氧化, 提高排气温度	无成本增加	满足 US2010 标准, 增加油耗
	进气或排气节流阀技术	增加排气温度	1000-1500 元	满足 US2010 标准, 增加油耗
	在催化剂上直接往排气中喷射燃油	燃油氧化后提升排气温度	需要一套喷射系统	加重成本、增加油耗
	对排气管路和 SCR 进行保温包裹	降低散热损失	200-500 元	

由上表可以看出,对本标准提出的 WHTC 冷启动排放要求,在技术上有多种措施可以应对,且在验证试验中也已经得到证实,本标准具有技术可行性。

### 7.3 测试条件可行性

进行 WHTC 工况测试,国内大多数测量设备需要在现有基础上进行软件升级,就能满足新的测量工况要求,大多数实验室可以自行解决,不需要增加额外费用。

## 参考文献

- [1] 中国汽车技术研究中心。《重型汽车整车污染物排放要求及测试规范》征求意见稿编制说明。北京市环保局，2012：15-16
- [2] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 12-13
- [3] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 25
- [4] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 14-15
- [5] 济南汽车检测中心。北京公交车车载排放试验总结。2012.7
- [6] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 9-10
- [7] Official Journal of the European Union. COMMISSION REGULATION (EU) No 582/2011. implementing and amending Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and amending Annexes I and III to Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council. 2011.5.25:163
- [8] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 19-20
- [9] DELPHI. Worldwide Emissions Standards Heavy Duty and Off-Road Vehicles. 2011:32
- [10]胡京南。工况区达标法规和便携式排放测试系统的应用。中国环境科学研究院，2008.6：8-10
- [11]中国汽车技术研究中心。《重型汽车整车污染物排放要求及测试规范》征求意见稿编制说明。北京市环保局，2012：3-5
- [12]Daniel Rutherford, Fanta Kamakaté, Freda Fung, Ben Sharpe. 满足欧盟标准的

移动源SCR应用 在实施上面面临的挑战和为发展中国家政策制订者提供的建议.  
国际清洁交通委员会. 2011.6: 20

[13] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 42

[14] 环境保护部。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》。中国环境科学出版社，北京。2008： 3

[15] Dana Lowell, Fanta Kamakate.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。国际清洁交通委员会,2012.3: 21