

两辆国 5 轻型汽油车实验室和实际道路排放测试研究

杨柳含子, Yoann Bernard, Francisco Posada, John German¹

如今，在全球范围内有越来越多的研究表明，车辆在实际行驶过程中的排放会明显高于实验室中测试出的认证排放值。导致上述问题的主要原因之一就是型式核准管理规程存在缺陷。目前，中国采用的轻型车测试工况循环是新欧洲行驶工况循环（NEDC），该工况循环无法良好地反映出实际道路行驶状况。为了应对这一问题，中国轻型车国 6 排放标准已经从 NEDC 工况改为更具代表性的世界统一轻型车测试规程（WLTP）、增加了实际行驶排放（RDE）测试要求、并出台了更全面的在用车达标管理方案。在新的测试框架体系中，生产企业需要证明车辆不仅能够在实验室测试中满足排放限值要求，还需证明在标准规定的使用寿命周期内，车辆在实际行驶过程中也能满足排放限值的要求。

本研究的目标是更好地了解中国轻型车的实际道路排放情况。在此研究中，我们选择了两款国 5 汽油轿车，在实验室中进行了底盘测功机测试，并利用车载排放测试系统（PEMS）进行了实际道路排放测试。这些测试均由厦门环境保护机动车污染控制技术中心负责开展。在实验室中进行的底盘测功机测试首先包括了国 5 型式核准标准测试（NEDC, 25°C, 冷启动）。其次，为了反映实际行驶环境的复杂性，还另外在多种工况循环和条件下进行了测试，例如低/高温、冷/热启动、开启空调以及在 WLTP 规程下进行测试²。RDE 测试路线、设备和环境条件均符合国 6 标准中 RDE 法规的相关规定。

图 ES1 展示了两辆车实验室测试和 RDE 测试结果的整体情况。车辆 A 是一辆 1.6L、采用进气道喷射（PFI）技术的小型轿车，而车辆 B 是一辆 2.4L、采用汽油缸内直喷（GDI）技术的多功能车，需要注意的是，车辆 A 属于第一类车，而车辆 B 属于第二类车³，所以两辆车适用的排放限值有所不同。两辆车均在 NEDC 工况下通过了国 5 型式核准测试。但是，车辆 A 在 NEDC 工况热启动下的氮氧化物（NO_x）排放和在标准 WLTP 工况冷启动下的 NO_x 排放都明显高于国 5 限值。此外，车辆 A 在 RDE 测试中的 NO_x 平均排放结果是国 5 实

¹ 本文作者为国际清洁交通委员会（ICCT）研究员。作者感谢 Pisces Foundation, Energy Foundation China, 以及 Rockefeller Brothers Fund 的大力资助。感谢王若素的翻译。

² NEDC 和 WLTC 工况都有测试规程要求，规定了测试温度，NEDC 规定为 25°C，WLTP 规定为 23 °C。本次测试还包含了在较低（14°C）和较高（30°C）温度下进行测试。热启动测试指在完成一次 NEDC 或 WLTP 测试后 50 分钟内进行的测试，此时发动机缸体、冷却液和后处理系统的温度均高于冷启动测试的响应温度。

³ 中国是根据欧盟的分类标准来对轻型车类型进行划分的：

第一类车：乘客（含驾驶员）不超过 6 人的 M1 车辆，GVWR ≤ 2.5 吨；

第二类车：其他轻型车（包括 N1 类轻型商用车），根据基准质量进一步分为三个级别。

实验室排放限值的 1.6 倍。车辆 B 在实验室和 RDE 测试中的所有 NO_x 排放结果均比国 6b 限值还要低。通过我们的深入分析，车辆 A 出现 NO_x 排放过高很可能是由于燃油喷射控制方案设计不佳，控制方案过于宽松。

两辆车在动力性更激进的 WLTP 测试中一氧化碳（CO）排放均有显著升高。这可能是因为 WLTP 的加减速更多，发动机负载更高，车辆在富燃条件下运行。在 RDE 测试中，CO 排放在有些情况下可高达国 5 限值的 2.8 倍。这些结果表明汽油车的实际道路 CO 排放控制并不到位，需要引起管理部门的格外重视。

作为传统的 PFI 车辆，车辆 A 的颗粒物数量（PN）排放在各种测试条件下始终保持在很低的水平。而作为 GDI 车辆，车辆 B 的 PN 排放无论是在实验室测试中还是 RDE 测试中均明显高于车辆 A。我们的测试结果进一步证明了加强控制 GDI 轿车颗粒物排放的重要性。

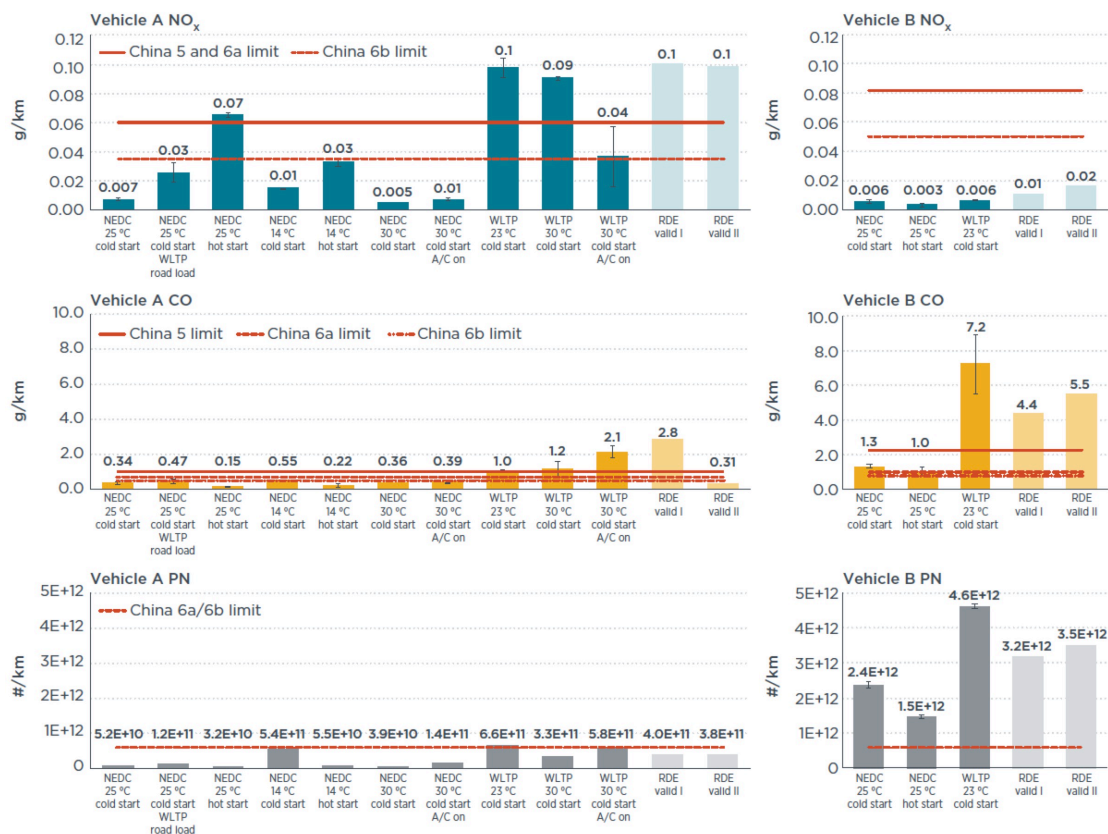


图 ES1 两辆国 5 汽油轿车实验室和 RDE 测试结果（车辆 A 为 PFI 小型轿车；车辆 B 为 GDI 多功能车，误差线表示标准差）

本研究是首次在中国进行的第三方独立 RDE 测试，为进一步研究我国轻型车实际道路排放情况提供了良好的基础，本研究的结论也为中国今后的排放标准制定和在用车达标管理方案提供了一些启示。在此具体提出以下几项建议：

- 新的国 6 轻型车排放标准将于 2020 年 7 月 1 日开始实施，这是中国在有效控制轻型车实际行驶排放方面迈出的重要一步。我们建议空气污染问题较为严重的省市尽可能提早实施国 6 标准。
- 国 6 RDE 法规暂未将冷启动运行纳入数据评估。本研究再次表明冷启动过程中的污染物排放是不容忽视的。在 RDE 法规要求中纳入冷启动是确保排放控制技术合理应用的关键。我们建议在今后的 RDE 测试项目中进一步开展冷启动影响方面的研究，并尽快在 RDE 法规中纳入冷启动要求。
- 国 6 RDE 法规要求监测实际行驶 CO 排放，但并未设置 CO 限值。本研究的结果表明，汽油车在实际行驶中的 CO 排放相当高。由于总碳氢化合物（THC）和 CO 排放通常是一起升高或降低的，限制 CO 排放将会直接限制汽油车的 THC 排放。THC 包括诸如苯、甲苯、乙苯和二甲苯等有毒物质，还会形成二次有机气溶胶，是导致空气中 PM_{2.5} 形成的重要组成部分。
- 在已有研究的基础上，本研究结果再一次表明 GDI 车辆的 PN 排放较高。进一步研究颗粒物尺寸分布能够更好地了解 GDI 车辆的 PN 排放特征。
- 实际道路 PEMS 测试是在用车达标管理的有力工具。加强型实验室测试（改变法规测试条件等）能够作为前期筛查工具，帮助发现高排放车辆和失效装置。