

柴油车道路循环工况下 NO_x 的排放特性

Investigation on Diesel Vehicle On-Road NO_x Emission Behavior

陈晓明

(北京交通大学)

摘要：利用 GT-power 和 GT-drive 软件模拟分析了柴油车道路循环工况下 NO_x 的排放特性。研究表明，行车过程中突加速等过度工况，尤其是高速加速区对车辆 NO_x 排放水平影响最大。怠速工况与合理的驾驶习惯对车辆总体排放水平也有重要影响。

关键词：柴油车，循环工况，NO_x 排放

Abstract： The GT-power and GT-drive simulation model was built up, and based on this model the diesel vehicle on-road NO_x emission behavior has been analyzed. It is investigated that the process of acceleration, especially the high speed and acceleration areas has the most important effect on the NO_x emission behavior. The process of idle and the reasonable habit of drive also have the effect on the NO_x emission behavior.

Key words: Diesel Vehicle , On-Road , NO_x emission

1 引言

柴油机由于其油耗低、热效率高、性能可靠，被广泛地应用于车辆、工程机械和船舶等动力机械。目前，重型运输车辆多以柴油机为动力，轿车内燃机柴油化也已成为汽车的发展趋势。但随着柴油车的日益增多，柴油机的排放对环境 and 人类健康的危害日益严重，各国政府对此非常重视，并制定了相对严格的排放标准对柴油机进行限制。

对于车用柴油机而言，NO_x 是需要控制的有害排放物之一，因为它对大气环境和人类健康具有相当程度的危害，因此对柴油机的 NO_x 的排放特性的研究具有十分重要的意义。目前，对柴油机稳态工况下 NO_x 的排放特性的研究已经相当成熟，而对其瞬态工况下的排放特性的研究则刚刚起步。众所周知，车辆在实际运行中多处于瞬态工况，即发动机的转速和扭矩是时间的函数，因此对柴油机在瞬态工况下 NO_x 的排放特性的研究有着十分重要的意义，尤其是对柴油车在不同的道路工况下 NO_x 的动态排放特性的研究显得更为重要^[1, 2]。

本文利用 GT-power 建立了 6114 涡轮增压柴油机的仿真模型，通过所建模型计算柴油机万有特性和 NO_x 排放的 map 图，利用所得 map 图在 GT-drive 中定义柴油机，并对柴油机与整车进行匹配进而使整车运行不同的道路循环工况得到柴油车在道路循环工况下 NO_x 的排放特性，通过分析研究 NO_x 的动态排放特性，可以为柴油车动态排放研究提供一些依据。

2 仿真模型

2.1 6114 涡轮增压柴油机模型

GT-power 由美国 Gamma Technologies 公司开发，适用于对内燃机工作过程及性能仿真分析的大型软件。本文利用 GT-Power 建立了 6114 涡轮增压中冷柴油机的仿真模型，如图 1 所示。通过仿真计算得出 6114 涡轮增压柴油机的万有特性曲线和 NO_x 的排放特性曲线^[3]，用以定义整车模型中的柴油机。

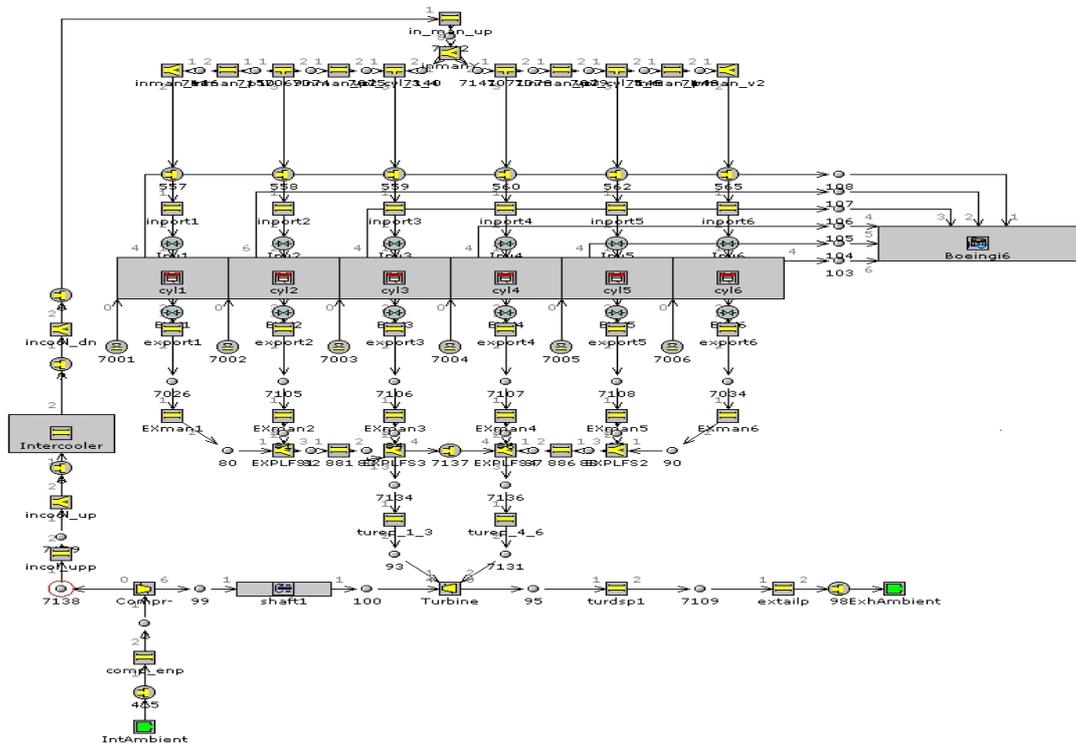


图 1 6114 涡轮增压柴油机仿真模型

2.2 柴油车整车模型

本节利用 GT-drive ,运用上一节计算所得柴油机万有特性,首先对柴油机,变速箱以及车辆的传动系统进行了匹配^[4],通过静态特性计算选择合理的传动系参数建立了柴油车整车模型,如图 2 所示。

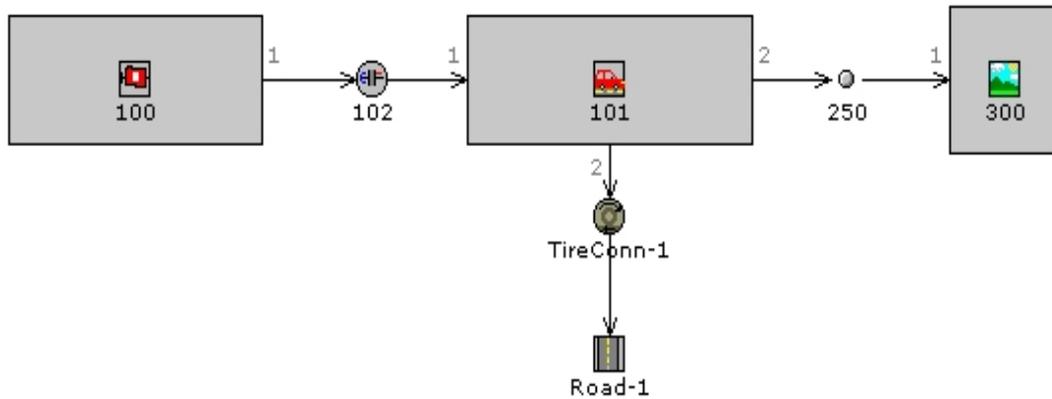
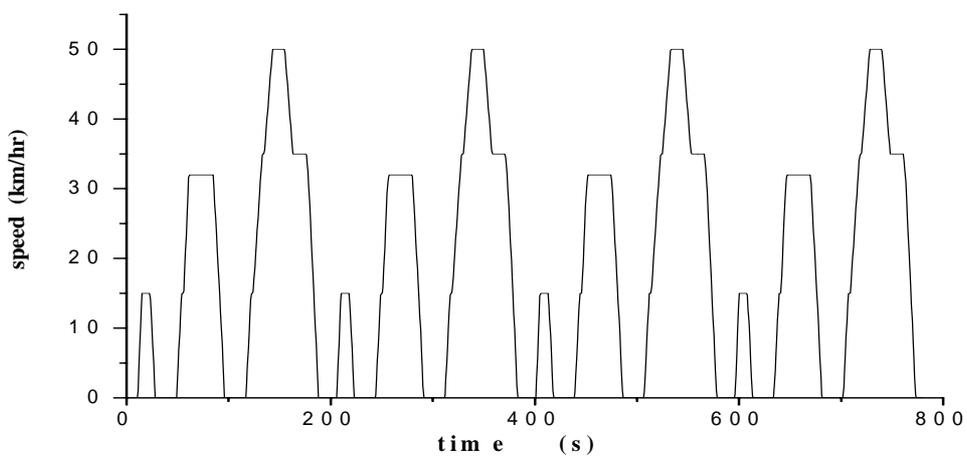


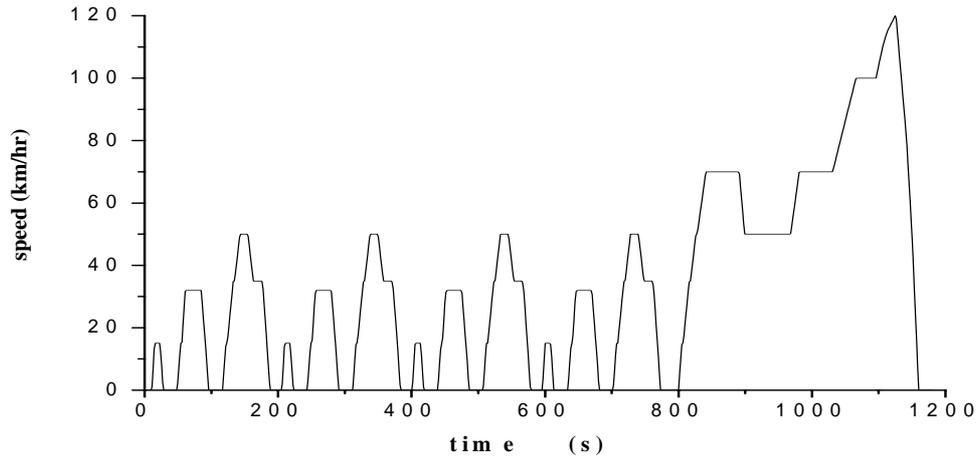
图 2 柴油车整车模型

3 仿真计算及分析

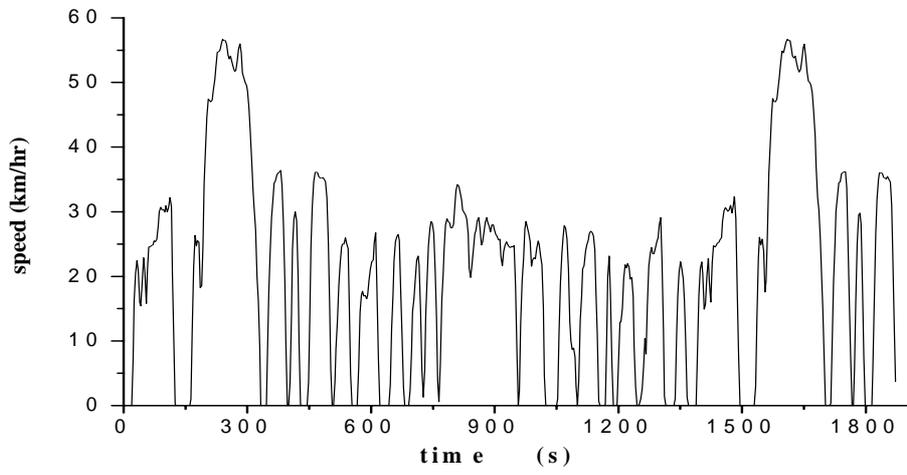
在仿真分析过程中,通过使整车模型运行如图 3 所示道路工况,得出了 6114 柴油车在以下三种道路工况下 NO_x 的排放特性,并对其进行了分析。对车辆在整个行车过程中 NO_x 高排放工况区进行了讨论。



(a) UDC

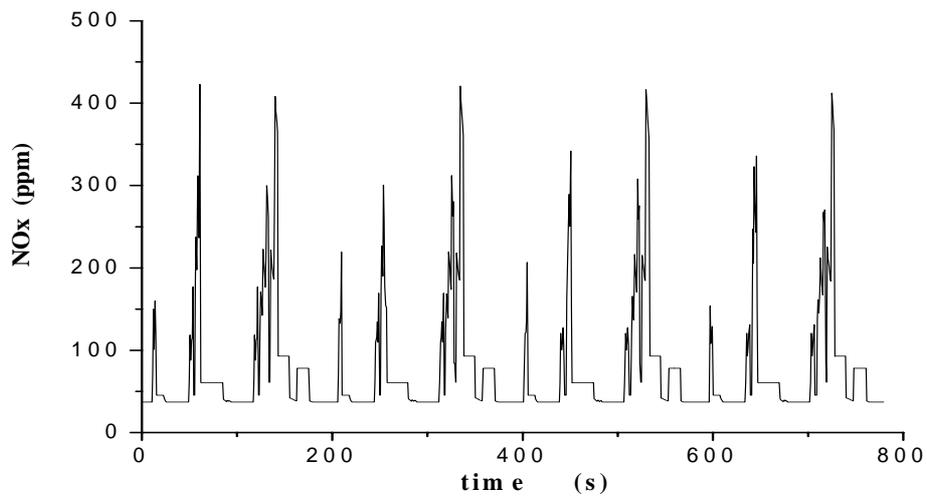


(b) NEDC

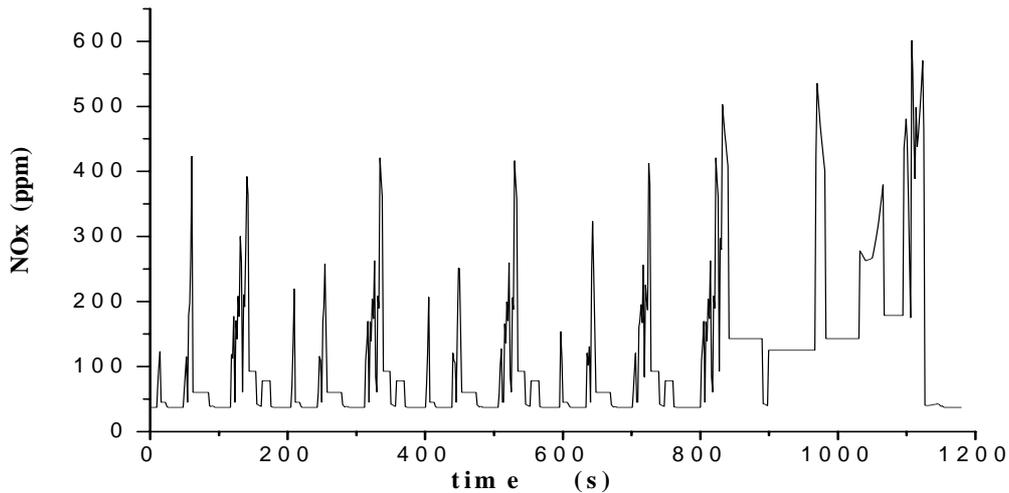


(c) FTP75

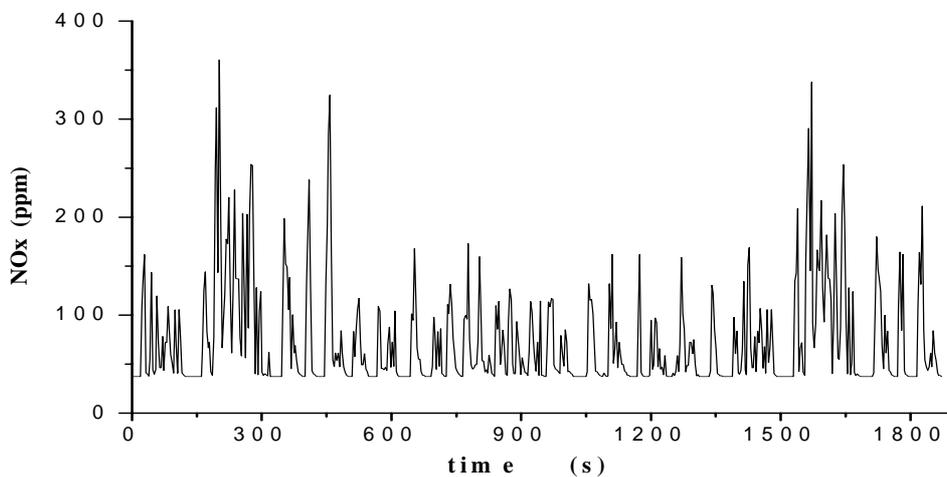
图3 整车模型运行的道路循环工况 (a) UDC, (b) NEDC, (c) FTP75



(a) UDC



(b) NEDC



(c) FTP75

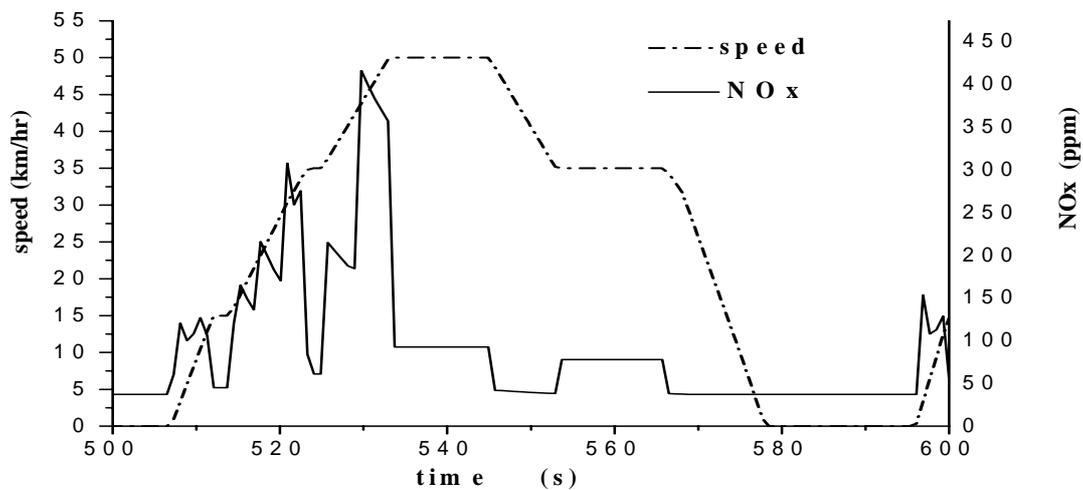
图 4 整车模型运行三种道路循环工况下 NO_x 排放浓度

(a) UDC, (b) NEDC, (c) FTP75

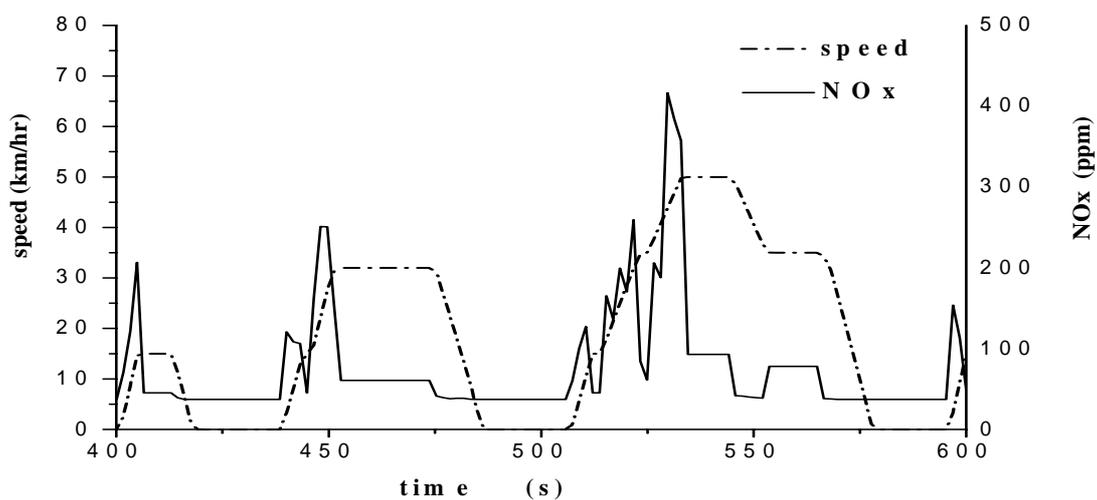
图 4 给出的是柴油车整车模型运行图 3 所示工况时 NO_x 动态排放特性。结合图 3，从图 4 中可以看出，在不同的道路循环工况下，柴油车 NO_x 的排放与车速密切相关。也就是说，在行车过程中柴油车 NO_x 排放的浓度是与行车路况紧密联系的。道路工况越恶劣，汽车的车速变化越剧烈，汽车处于不断的加速、减速过程。柴油机 NO_x 排放浓度的变化也越剧烈。

图 5 给出了三种道路循化工况下车速和 NO_x 排放随时间的变化规律。从图 5 (a) 中可以看出，汽车在突加速过程中，NO_x 排放的浓度随着加速过程剧烈变化，当汽车由怠速突然加速到 50km/hr 时，NO_x 的浓度由怠速时的 37ppm 迅速升高至 127ppm，并在此之后，随着加速过程的不断进行，NO_x 浓度呈现出波动上升的趋势并且其高浓度值一直保持到加速

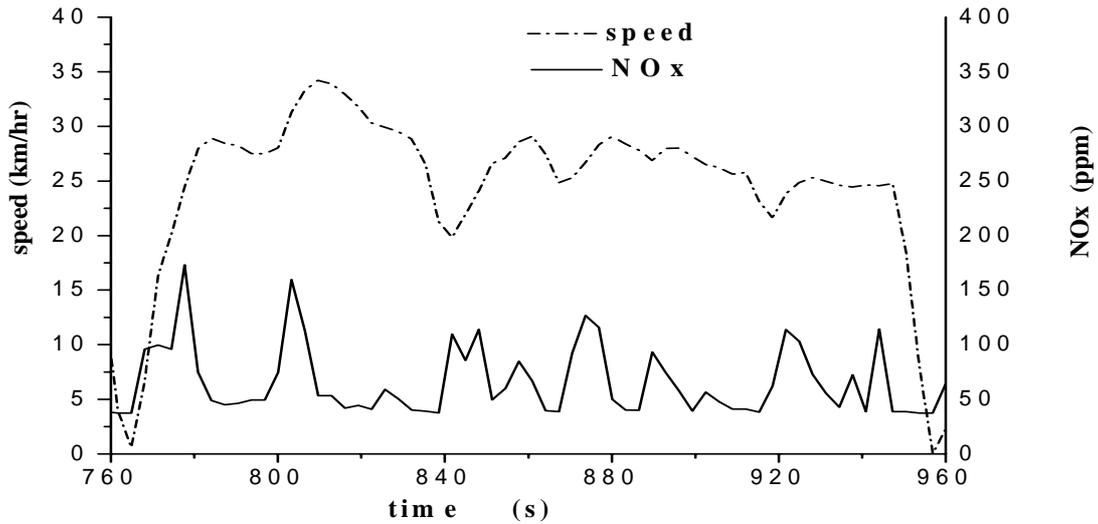
过程结束,其最大峰值可达到 420ppm。从图 5 (a) 中还可以看出,当汽车车速达到 50km/hr 并保持匀速行驶时,NO_x 排放的浓度由加速过程的峰值迅速下降至 92ppm,并随车速的稳定一直保持稳定。并且由图 5 (a) 看出,加速过程中,尽管整车的车速相对于所要达到稳定车速要低,但在加速过程中 NO_x 排放的峰值相对于车辆以 50km/hr 匀速行驶时要高出 4 倍多。可见,在突加速过程中汽车的排放性能恶化非常严重,必须要加以高度重视。经分析可知,产生这种 NO_x 排放升高的主要原因是在突加速过程中,柴油机负荷突然增大,导致气缸内温度迅速上升,而高温对于 NO_x 的形成十分有利。



(a) UDC



(b) NEDC



(c) FTP75

图5 道路循环工况下车速和 NOx 排放随时间的变化规律

(a) UDC, (b) NEDC, (c) FTP75

从图 5 (b) 中可以看出，突加速过程对柴油机排放性能影响很大，对于不同的加速过程 NOx 的排放特性也不尽相同，随着车速的不断升高，汽车在加速过程中，NOx 的排放浓度升高的更快，并且其峰值也更高，也就是说在高速加速区 NOx 的排放浓度相对较高。这主要是因为高速加速时，柴油机燃烧温度更高并且其进气量更大，这些都为 NOx 的生成创造了有利条件。

通过以上分析可知，柴油车 NOx 在道路循环工况下其动态排放特性与车速密切相关，频繁的突加速对整车的 NOx 排放将造成不利影响，控制车辆突加速过程中 NOx 的排放，尤其是对高速加速区 NOx 排放的控制对于降低车辆的整体排放具有十分重要的意义。同时，实际道路的交通状况对车辆的排放水平也有着重要的影响，对道路进行合理的规划，保证车流有条不紊的行进，避免造成车辆频繁的加速，减速，对车辆 NOx 排放水平的降低也是十分有帮助的。

通常人们在对柴油机 NOx 排放进行研究时，往往将注意力集中在柴油机大负荷时 NOx 的排放上，而对怠速时柴油机 NOx 的排放不是很关心。通过对图 5 三种道路工况下 NOx 的排放特性的分析发现，在整车行驶过程中，对于车速为 0 km/hr 时的怠速过程，NOx 的排放浓度确实是相对较低，与突加速过程所排放出的 NOx 相差甚远，但与车辆在 30—50km/hr 匀速行驶时所排放出的 NOx 相比确是不容忽视的。对于 UDC 道路循环工况来说其怠速时间为 215s，占整个道路循环工况的 27.6%，对于 NEDC 道路循环工况来说其怠速时间为 270s，

占整个道路循化工况的 22.9%，其所占比例还是相当大的，也就是说怠速过程 NO_x 的排放对于整个道路循环工况 NO_x 整体排放确实是存在着重要的影响。由此可见，对于整车在道路循环工况下怠速时其 NO_x 排放的控制是十分必要的，它对于降低在整个道路循化工况下 NO_x 的排放同样具有非常重要的意义的。

比较图 5 三种道路工况下 NO_x 的排放特性可以看出，在车速同为 30km/hr 左右时，匀速行车相对于车速在 30km/hr 上下波动行车时整车的排放性好，其 NO_x 的排放浓度约为 60ppm，并保持相对稳定，而车速在 30km/hr 上下波动时，尽管车速变化不是很大，在 5km/hr 左右，仍造成 NO_x 排放浓度出现相对较大峰值的现象，其峰值最大达到 159ppm 的水平。通过分析可知，在行车过程中，驾驶员的驾驶习惯，即所谓的换档策略和驾驶方式也会对车辆在道路工况下的排放水平有着十分重要的影响，冲动的驾驶方式会使车辆的排放性能变得十分恶化。因此在行车过程中尽量使车速保持匀速状态，对降低 NO_x 总体排放具有很重要的意义。

4 结论

- (1) 车辆行驶过程中，突加速等过度工况，尤其是高速加速区对车辆 NO_x 的排放有着重的影响，对过度工况的排放控制有利于降低车辆的排放水平，同时，需要进行合理的交通规划，尽量避免频繁地出现突加速等过度工况。
- (2) 行车过程中，怠速工况的排放对车辆的整体排放水平有重要的影响，需要引起重视。
- (3) 合理地驾驶习惯有利于降低车辆的整体排放水平，行车过程中应尽量使车速保持稳定状态。

参考文献

- [1] 刘忠长. CA6DE1-21K 柴油机瞬态工况 NO_x 的排放特性. 燃烧科学与技术. 2004
- [2] 谭丕强. 车用直喷式柴油机氮氧化物的排放特性. 内燃机学报. 2003
- [3] 周龙保. 《内燃机学》 机械工业出版社. 1999
- [4] 余志生. 《汽车理论》 机械工业出版社. 2000