

重型柴油车污染物排放量计算方法比较分析

张红玉, 王华

(32392 部队, 昆明 650222)

摘要: **目的** 计算大功率大吨位级重型柴油车的污染物排放量。**方法** 根据《公路隧道通风设计细则》和世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告, 分别计算 32 t 重型柴油车的污染物排放量和稀释污染物所需的通风量, 对比分析两种计算方法的差异。**结果** 对《公路隧道通风设计细则》中柴油车的车型系数和海拔高度系数提出建议。根据世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告, 在 0~2000 m 低海拔地区, 国产 32 t 柴油车的 CO、NO_x 和烟尘排放量分别为 88.6、166.0 m³/(h·veh) 和 84.2 m²/(h·veh), 如果考虑 NO_x 的空气污染, 稀释单辆国产 32 t 柴油车排放污染物所需空气量约为 33 000 m³/h; 如果不考虑 NO_x 的空气污染, 所需空气量约为 28 000 m³/h。**结论** 结合工程实际, 建议大功率大吨位级重型柴油车的污染物排放量根据世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告进行计算。

关键词: 大功率大吨位级; 重型柴油车; 污染物排放量; 通风量

中图分类号: TJ81 文献标识码: A 文章编号: 1672-9242(2021)12-0019-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.12.004

Comparative Analysis for Calculating Methods of HGV Emissions

ZHANG Hong-yu, WANG Hua

(Unit 32392 of PLA, Kunming 650222, China)

ABSTRACT: The purpose of this paper is to calculate vehicle emissions from high power and large tonnage diesel vehicle. According to "Guidelines for Design of Ventilation of Highway Tunnels" and the report provided by The World Road Association (PIARC) in 2012, the pollutant emissions of 32 t heavy-goods diesel vehicles and ventilation volume required to dilute pollutants are calculated respectively, and the differences between the two calculation methods are compared and analyzed. Propose reasonable suggestions for vehicle type factor and altitude factor for "Guidelines for Design of Ventilation of Highway Tunnels". According to the report provided by PIARC in 2012, in 0~2000 m altitude area the emissions of CO, NO_x and PM from domestic 32 t diesel vehicle are 88.6, 166.0 m³/(h·veh) and 84.2 m²/(h·veh) respectively. The air volume flow necessary for pollutant dilution is about 33,000 m³/h if air pollution of NO_x is considered. If not, 28,000 m³/h is required. Combined with project experience, it is suggested the report provided by PIARC in 2012 should be the suitable method for calculating high-power and large-tonnage HGV emissions.

KEY WORDS: high power and large tonnage; HGV; vehicle emission; ventilation

收稿日期: 2021-06-15; 修订日期: 2021-08-20

Received: 2021-06-15; Revised: 2021-08-20

作者简介: 张红玉 (1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为防护工程设计。

Biography: ZHANG Hong-yu (1985—), Female, Master, Senior engineer, Research focus: protection engineering design.

引文格式: 张红玉, 王华. 重型柴油车污染物排放量计算方法比较分析[J]. 装备环境工程, 2021, 18(12): 019-024.

ZHANG Hong-yu, WANG Hua. Comparative analysis for calculating methods of HGV emissions[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(12): 019-024.

世界各国对重型车的质量限值不尽相同,主要分为欧美体系、欧洲体系和日本体系,其中美国以 3855 kg、欧洲等国和日本以 3500 kg 划定重型车界限^[1-2]。柴油机由于在动力性、经济性和可靠性方面有着汽油机不可比拟的优势,是重型车的主要动力源^[3]。伴随长距离运输、采矿、石油勘探、航空航天和新型武器装备的更新发展,大吨位(30~60 t)、大功率(221~441 kW)、多轴型(3~8 轴及以上)适合于专业化运输的重型柴油车将成为我国重型柴油车发展的主要方向^[4]。其中,重型多轴特种运输车是为了满足运输单体超长超重货物和越野特殊要求而开发的车辆,通常运输质量大于 80 t,车辆轴数大于 6。在军用领域,主要用于运输和发射战略导弹,在民用领域可用于运输超宽、超重货物或改装为吊车、消防云梯车、泵车、油田修井车等^[5-8]。特殊领域的重型特种运输车不仅用于室外运输,还有可能在工程内部发动运行。因此,有必要探究大功率大吨位级重型柴油车污染物排放量和稀释污染物所需通风量的合理计算方法,为类似工程项目建设提供理论依据。

1 重型柴油车污染物排放特点

机动车所排的主要污染物包括 HC、CO、NO_x 和颗粒状物(PM),由于柴油车发动机燃烧温度高、燃烧均匀性差、控制技术落后,导致大部分 NO_x 和颗粒状物(PM)来源于柴油车^[9-11]。大功率大吨位级柴油运载车辆,燃烧进气量及排烟量大。这类车辆在工程内部发动运行时,除与人员争氧外,还将产生大量含 CO、NO_x、HC 及颗粒状物(PM)的有毒尾气,若不完全燃烧,还可能产生含油蒸汽等易爆易燃物质。特别是在高海拔地区,大气含氧量大大低于内地,燃烧不充分的情况尤为突出,人员缺氧窒息的可能性更高,以上这些情况在过去的工程建设中少有遇见。

2 重型柴油车污染物排放量计算方法

2.1 JTG/T D70/2-02—2014《公路隧道通风设计细则》^[12]计算方法

交通部 2014 年发布的《公路隧道通风设计细则》未把 NO_x 列入隧道内空气污染的控制因素,只考虑 CO 和烟尘排放量。烟尘、CO 排放量表达式为:

$$Q_{VI} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{VI} \cdot f_{a(VI)} \cdot f_d \cdot f_{h(VI)} \cdot f_{iv(VI)} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^{n_D} (N_m \cdot f_{m(VI)}) \quad (1)$$

$$Q_{CO} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{CO} \cdot f_a \cdot f_d \cdot f_h \cdot f_{iv} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n (N_m \cdot f_m) \quad (2)$$

式中: Q_{VI} 为烟尘排放量, m^3/s ; Q_{CO} 为 CO 排放量, m^3/s ; q_{VI} 为设计目标年份的烟尘基准排放量, $m^2/(veh \cdot km)$; q_{CO} 为设计目标年份的 CO 基准排放量, $m^2/(veh \cdot km)$; $f_{a(VI)}$ 、 f_a 分别为烟尘、CO 的车况系数; f_d 为车密度系数; $f_{h(VI)}$ 、 f_h 分别为烟尘、CO 的海拔高度系数; $f_{iv(VI)}$ 、 f_{iv} 分别为烟尘、CO 的纵坡车速系数; L 为隧道长度, m ; $f_{m(VI)}$ 、 f_m 分别为烟尘、CO 的车型系数; n_D 为柴油车类别数; n 为车型类别数; N_m 为相应车型的交通量, veh/h 。

文中以单辆 32 t 重型柴油车为例计算污染物排放量,即 $n_D=1$ 、 $n=1$ 、 $N_m=1$,上述表达式可简化为:

$$Q_{VI} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{VI} \cdot f_{a(VI)} \cdot f_d \cdot f_{h(VI)} \cdot f_{iv(VI)} \cdot L \cdot f_{m(VI)} \quad (3)$$

$$Q_{CO} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{CO} \cdot f_a \cdot f_d \cdot f_h \cdot f_{iv} \cdot L \cdot f_m \quad (4)$$

稀释烟尘所需风量表达式为:

$$Q_{req(VI)} = \frac{Q_{VI}}{K} \quad (5)$$

式中: $Q_{req(VI)}$ 为稀释烟尘的需风量, m^3/s ; K 为烟尘设计浓度, m^{-1} 。

稀释 CO 所需风量表达式为:

$$Q_{req(CO)} = \frac{Q_{CO}}{\delta} \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot 10^6 \quad (6)$$

式中: $Q_{req(CO)}$ 为稀释 CO 的需风量, m^3/s ; δ 为 CO 设计体积浓度, cm^3/m^3 ; p_0 为标准大气压,取 101.325 kN/m²; p 为计算地点大气压, kN/m^2 ; T_0 为标准气温,取 273 K; T 为计算地点气温, K。

2.2 世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告^[13]计算方法

PIARC 2012 年技术报告将 CO、NO_x、烟尘和非尾气排放颗粒物均列入隧道内空气污染的控制因素。烟尘、CO、NO_x 排放量表达式为:

$$Q = q_{ex}(v,i) \cdot f_h \cdot f_i \cdot f_e \cdot f_m + q_{ne}(v) \quad (7)$$

式中: Q 为 CO、NO_x 的排放量, $g/(h \cdot veh)$ 和烟尘的排放量, $m^2/(h \cdot veh)$; $q_{ex}(v,i)$ 为 CO、NO_x 的基准排放量, $g/(h \cdot veh)$ 和烟尘的基准排放量, $m^2/(h \cdot veh)$; $q_{ne}(v)$ 为非尾气排放因子, $m^2/(h \cdot veh)$; f_h 为海拔高度修正系数; f_i 为计算年修正系数; f_e 为排放标准修正系数; f_m 为质量修正系数。

稀释烟尘、CO、NO_x 所需风量表达式为:

$$V = \sum (n_{veh} \cdot Q) \cdot \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}} \quad (8)$$

式中: V 为稀释污染物的需风量, m^3/s ; n_{veh} 为隧道内车辆数量; $C_{adm}-C_{amb}$ 为污染物设计浓度限值, g/m^3 (烟尘的浓度限值以 K_{adm} 代替, m^{-1})。

文中以单辆 32 t 重型柴油车为例,计算污染物排放量,即 $n_{veh}=1$,式(8)可简化为:

$$V = Q \cdot \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}} \quad (9)$$

3 重型柴油车污染物排放量和通风量计算

3.1 根据 JTG/T D70/2-02—2014《公路隧道通风设计细则》计算

根据 JTG/T D70/2-02—2014《公路隧道通风设计细则》，选取海拔高度为 400、2000、3000、4500 m 时，车速为 10 km/h 的国产柴油车，在长 600 m、坡度 0% 的道路上行驶，车辆的尾气污染物排放量和稀释尾气污染物所需空气量的计算结果见表 1。

《公路隧道通风设计细则》中，污染物基准排放量以 2000 年为起点，其他年份按 2% 的递减率计算，表 1 计算目标年份为 2020 年。根据计算结果，如果不考虑 NO_x 的空气污染，柴油车的烟尘排放量为通风系统设计的控制指标。由于不考虑质量修正，不同质

量的同类型柴油车烟尘排放量仅与海拔高度有关，表 1 计算按拖挂车、集装箱进行车型系数修正。在 400、2000、3000、4500 m 海拔高度下，拖挂车、集装箱柴油车的烟尘排放量分别为 11.2、16.6、20.0、25.1 m³/h，稀释污染物排放量所需最大空气量分别为 3749、5549、6674、8361 m³/h。

3.2 根据世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告计算

世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告已完全取代 2004 年的版本，该报告中分别给出欧洲、中国和其他国家产小轿车、轻型车 (总质量小于 3.5 t) 和重型柴油车的污染物基准排放量。因缺乏国产柴油车高海拔地区实验数据，未给出海拔高度 2000 m 以上的污染物排放量修正系数。

在海拔 0~2000 m 的地区，车速为 10 km/h 的欧洲产 32 t 柴油车在坡度为 0% 的道路上行驶时，车辆的尾气污染物排放量和稀释尾气污染物所需空气量计算结果见表 2。

表 1 根据《公路隧道通风设计细则》计算的车辆污染物排放量和稀释污染物所需空气量

Tab.1 Exhaust pollutant emissions of diesel vehicles and the amount of air required to dilute exhaust pollutants calculated according to "Guidelines for Design of Ventilation of Highway Tunnels"

项目	CO				烟尘			
	400	2000	3000	4500	400	2000	3000	4500
海拔高度/m	400	2000	3000	4500	400	2000	3000	4500
基准排放量 q_{v1}		0.015 m ³ /(veh·km)				2.0 m ² /(veh·km)		
计算年份基准排放量 q_{v1}		0.010 m ³ /(veh·km)				1.34 m ² /(veh·km)		
车况系数 f_a		1.2				1.3		
车密度系数 f_d		6				6		
海拔高度系数 f_h	1.00	1.89	2.44	3.28	1.00	1.48	1.78	2.23
纵坡-车速系数 f_{iv}		0.8				0.6		
隧道长度 L/m		600				600		
设计浓度限值		30 cm ³ /m ³				0.003 m ⁻¹		
污染物排放量 $Q/(m^3 \cdot h^{-1})$	0.035	0.065	0.085	0.113	11.2	16.6	20.0	25.1
当地大气压 $p/(kN \cdot m^{-2})$	96.71	80.25	71.42	59.97				
所在地温度 T/K	293	293	293	293				
通风量 $V/(m^3 \cdot h^{-1})$	1298	2953	4294	6858	3749	5549	6674	8361

表 2 根据世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告计算的欧洲产 32 t 柴油车污染物排放量和稀释污染物所需空气量
Tab.2 Emissions of exhaust pollutants and the amount of air required to dilute exhaust pollutants from 32 t diesel vehicles in Europe according to the report provided by PIARC

项目	CO	NO _x	烟尘
基准排放量 $q_{ex}(v,i)$	42.5 g/(h·veh)	163.5 g/(h·veh)	18.2 m ² /(h·veh)
海拔修正系数 f_h	1	1	1
计算年修正系数 f_t	0.34	0.35	0.33
排放标准修正系数 f_e	1	1	1
柴油车质量系数 f_m	1.9	1.9	1.9
非尾气排放因子 $q_{ne}(v)$	—	—	4.9 m ² /(h·veh)
设计浓度限值	20 cm ³ /m ³	5 cm ³ /m ³	0.003 m ⁻¹
污染物排放量 Q	22.9 m ³ /(h·veh)	57.2 m ³ /(h·veh)	16.3 m ² /(h·veh)
稀释污染物通风量 $V/(m^3 \cdot h^{-1})$	1144	11445	5437

在海拔 0~2000 m 的地区, 车速为 10 km/h 的国产 32 t 柴油车在坡度为 0% 的道路上行驶时, 车辆的

尾气污染物排放量和稀释尾气污染物所需空气量计算结果见表 3。

表 3 根据世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告计算的国产 32 t 柴油车污染物排放量和稀释污染物所需空气量
Tab.3 Exhaust emissions of domestic 32 t diesel vehicles and the amount of air required to dilute exhaust pollutants according to the report provided by PIARC

项目	CO	NO _x	烟尘
基准排放量 $q_{ex}(v, i)$	68.5 g/(h·veh)	203.2 g/(h·veh)	54.3 m ² /(h·veh)
海拔修正系数 f_h	1	1	1
计算年修正系数 f_t	0.817	0.817	0.769
排放标准修正系数 f_e	1	1	1
柴油车质量系数 f_m	1.9	1.9	1.9
非尾气排放因子 $q_{ne}(v)$	—	—	4.9 m ² /(h·veh)
设计浓度限值	20 cm ³ /m ³	5 cm ³ /m ³	0.003 m ⁻¹
污染物排放量 Q	88.6 m ³ /(h·veh)	166.0 m ³ /(h·veh)	84.2 m ² /(h·veh)
稀释污染物通风量 $V/(m^3 \cdot h^{-1})$	4431	33206	28080

PIARC 2012 年技术报告中污染物基准排放量以 2010 年为起点, 表 2 和表 3 计算目标年份为 2020 年。根据计算数据可得, 同等条件下, 国产重型柴油车的污染物基准排放量大于欧产车, 导致国产车污染物排放量和稀释污染物所需通风量远高于欧产车, 国产车的烟尘排放量甚至达到欧产车的 5 倍。在 0~2000 m 海拔高度下, 32 t 国产柴油车的 CO、NO_x 和烟尘排放量分别为 88.6、166.0 m³/(h·veh) 和 84.2 m²/(h·veh), NO_x 为通风系统设计的控制指标, 稀释 NO_x 所需空气量为 33 206 m³/h。

4 计算方法比较分析

4.1 污染物排放量计算

《公路隧道通风设计细则》的污染物基准排放量为单车行驶 1 km 的排放浓度, 污染物排放量计算公式中, 考虑了隧道长度 L 和车密度系数 f_d , 不同车速和道路坡度考虑纵坡-车速系数修正。因此, 按《公路隧道通风设计细则》计算的污染物排放量为某长度隧道内全部通行车辆尾气污染物的排放总量。PIARC 2012 年技术报告污染物基准排放量为单车排放量, 按小轿车、轻型车 (总质量小于 3.5 t) 和重型柴油车分类考虑, 其数值与车速和道路坡度有关。对于特定工程项目, 工程内部发动运行车辆数与公路隧道不同, 并不取决于隧道长度和车行速度, 因此按 PIARC 2012 年技术报告计算单辆车的污染物排放量更具实用性。另外, PIARC 2012 年技术报告将 CO、NO_x、烟尘和非尾气排放颗粒物均列入隧道内空气污染的控制因素, 对于保障工程内部工作人员的健康极为重要, 应予以考虑。

4.2 污染物排放量修正

《公路隧道通风设计细则》计算柴油车 CO 排放

量时, 未考虑车型修正主要是与当时 PIARC 技术报告及日本现行规范 (1985 版) 一致^[14]。烟尘基准排放量按车型修正, 而不是按质量修正, 将满载重 9.5 t 的中型柴油货车车型系数定为 1.0, 重型货车、大型客车的车型系数为 1.5, 拖挂车、集装箱车的车型系数最大为 3。PIARC 2012 年技术报告指出, 柴油车的污染物排放量与其总质量几乎成正比例关系, 报告中给出的重型柴油车 (HGV) 基准污染物排放量测试车型为平均质量 23 t 的柴油车, 对其他质量的柴油车给出了相应修正系数, 见表 4。即同等条件下, 按 PIARC 2012 年技术报告计算质量为 32 t 的柴油车烟尘排放量约为 15 t 柴油车的 2.7 倍, 而按《公路隧道通风设计细则》计算 32 t 和 15 t 的柴油车烟尘排放量相同。因此大功率大吨位级的柴油车污染物排放量按 PIARC 2012 年技术报告进行计算更加合理, 同时建议《公路隧道通风设计细则》对柴油车的车型系数修正予以质量限制。

表 4 柴油车质量修正^[12]
Tab.4 Vehicle type factor for diesel vehicle^[12]

车辆质量/t	CO	NO _x	烟尘
15	0.7	0.7	0.7
23	1.0	1.0	1.0
32	1.9	1.9	1.9

4.3 海拔高度修正

PIARC 2012 年技术报告指出, 对于达到 A 级技术标准的车辆, 在 0~2000 m 海拔高度范围内, 尾气污染物排放量不需要进行海拔高度修正。该报告由于缺乏国产柴油车高海拔地区检测数据, 未给出国产柴油车 2000 m 以上的海拔高度系数。《公路隧道通风设计细则》给出的 CO、烟尘海拔高度系数的高度限值分别为 2200 m 和 2400 m, 取值超过限值时, 系数按

图作线性延伸。已有相关研究表明^[15-18], 柴油机的 CO 和烟尘排放量会随着海拔高度的增加而明显增加, 海拔高度系数按规范线性延伸取值与实测结果存在较大差距, 不能真实反映有害气体的排放情况。因此建议按《公路隧道通风设计细则》给出的海拔高度系数图作定性分析, 而不应作为定量计算的依据。

4.4 通风量计算

车辆污染物排放量是通风系统设计的重要依据, 由表 1 和表 3 计算结果和上述分析可知, 按照《公路隧道通风设计细则》计算的国产柴油车烟尘排放量远小于按照 2012 年 PIARC 技术报告的计算值。此外, 《公路隧道通风设计细则》的污染物设计浓度限值参考了 2004 年 PIARC 的技术报告, 而 2012 年 PIARC 的技术报告对 CO 的浓度限值已由 $30 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 调整为 $20 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ (隧道内进行养护作业时), 因此按《公路隧道通风设计细则》计算的稀释污染物所需的通风量更小。

综上所述, 对于大功率大吨位柴油车的污染物排放量计算应考虑车辆的总质量, 污染物排放量和通风量计算方法建议采用世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告。以国产 32 t 柴油车为例, 在 0~2000 m 低海拔地区, CO、NO_x 和烟尘排放量分别为 88.6、166.0 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{veh})$ 和 84.2 $\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{veh})$ 。如果考虑 NO_x 的空气污染, 稀释单辆 32 t 柴油车排放污染物所需空气量约为 33 000 m^3/h ; 如果不考虑 NO_x 的空气污染, 所需空气量约为 28 000 m^3/h 。

5 结语

根据《公路隧道通风设计细则》和世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告, 对 32 t 重型柴油车的污染物排放量和稀释污染物所需空气量进行了计算, 计算结果相差较大。对比分析两种计算方法, 并结合工程应用实际, 得出采用世界道路协会 (PIARC) 2012 年技术报告的计算方法更合理。

因重型柴油车的质量对污染物排放量影响较大, 建议《公路隧道通风设计细则》对柴油车的车型系数修正予以质量限制。另外, 对于高海拔地区重型柴油车的污染物排放量计算建议按《公路隧道通风设计细则》给出的海拔高度系数图作定性分析, 而不应作为定量计算的依据。

现阶段有关柴油车在高海拔地区污染物排放量的测试多为小型载重货车^[16-20]。为满足实际需求, 有必要加快进行高海拔地区大功率大吨位级柴油车的尾气检测实验, 开展柴油机内净化与尾气后处理技术与特殊领域重型柴油机应用相结合的研发工作, 为大功率大吨位级特种重型运输车的应用和相关工程项目建设提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 司康. 国内外中重型商用车排放法规演变及对比[J]. 汽车与配件, 2010(52): 21-25.
SI Kang. Emission rules evolution & comparison of heavy commercial vehicle both at home & abroad[J]. Automobile & parts, 2010(52): 21-25.
- [2] 赵磊, 鲍晓峰. 国外重型车排放标准体系研究[C]/2012 中国环境科学学会学术年会论文集. 南宁: 中国农业大学出版社, 2012.
ZHAO Lei, BAO Xiao-feng. Study on the emission standard system of heavy-duty vehicles abroad[C]// Proceedings of 2012 annual meeting of Chinese Society of Environmental Sciences. Nanning: China Agricultural University Press, 2012.
- [3] 王兰. 谭旭光: 柴油机 50 年内仍大有可为[J]. 汽车观察, 2019(2): 104-107.
WANG Lan, TAN Xu-guang: There are bright prospects for diesel engine in 50 years[J]. Automotive observer, 2019(2): 104-107.
- [4] 范明强. 我国应加快发展重型车用大功率柴油机[J]. 汽车工业研究, 2005(5): 30-34.
FAN Ming-qiang. China should speed up the development of Heavy-duty diesel engines[J]. Auto industry research, 2005(5): 30-34.
- [5] 唐波. 重型多轴特种运输车辆的应用前景[J]. 汽车与配件, 2012(48): 32-33.
TANG Bo. Application prospects of multi-axle special heavy-duty vehicle[J]. Automobile & parts, 2012(48): 32-33.
- [6] 唐波. 多轴重型特种运输车辆简介[J]. 商用汽车, 2010(S5): 30-33.
TANG Bo. Introduction of multi-axle special heavy-duty vehicle[J]. Commercial vehicle, 2010(S5): 30-33.
- [7] 李敏堂, 隋博, 常健. 美军重装备运输车发展概况及特点[J]. 专用汽车, 2016(11): 68-71.
LI Min-tang, SUI Bo, CHANG Jian. Development and characteristics of heavy equipment transport vehicle in US army [J]. Special purpose vehicle, 2016(11): 68-71.
- [8] 缪菊平. 浅谈军用重型装备运输车的研制及发展[J]. 汽车实用技术, 2013(9): 83-87.
MIAO Ju-ping. Elementary introduction development of army heavy equipment carrying lorry[J]. Automobile technology, 2013(9): 83-87.
- [9] 中国环境保护部. 国机动车污染防治年报(2018 年度)[R]. 北京: 中国环境保护部, 2018.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China vehicle emission control annual report(2018)[R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2018.
- [10] 束嘉威. 基于实际道路工况的重型柴油车排放规律研究[D]. 北京: 清华大学, 2013.
SHU Jia-wei. Emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles under real-world driving conditions[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013.

- [11] 周磊, 王伯光, 汤大钢. 重型柴油车对空气质量的影响及其排放的控制[J]. 环境科学, 2011, 32(8): 2177-2183.
ZHOU Lei, WANG Bo-guang, TANG Da-gang. Impact of heavy-duty diesel vehicles on air quality and control of their emissions[J]. Environmental science, 2011, 32(8): 2177-2183.
- [12] JTG/T D70/2-02—2014, 公路隧道通风设计细则[S].
JTG/T D70/2-02—2014, Guidelines for design of ventilation of highway tunnels[S].
- [13] PIARC Technical Committee C4 Road Tunnels Operation. Road tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation[R]. World Road Association(PIARC), 2012.
- [14] JTJ 026.1—1999, 公路隧道通风照明设计规范[S].
JTJ 026.1—1999, Specifications for design of ventilation and lighting of highway tunnel[S].
- [15] 李国田, 李腾腾, 景晓军, 等. 不同海拔下国V柴油机的性能和排放[J]. 内燃机工程, 2017, 38(6): 29-34.
LI Guo-tian, LI Teng-teng, JING Xiao-jun, et al. Performance and emissions of a China V diesel engine at different altitudes[J]. Chinese internal combustion engine engineering, 2017, 38(6): 29-34.
- [16] 严涛, 王明年, 郭春, 等. 高海拔隧道中考虑 CO 和烟雾的海拔高度系数[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(11): 4012-4017.
YAN Tao, WANG Ming-nian, GUO Chun, et al. Altitude coefficient considering CO and smoke emission in high altitude highway tunnels[J]. Journal of Central South University (science and technology), 2014, 45(11): 4012-4017.
- [17] 李志厚, 姜睿, 夏才初, 等. 高海拔公路隧道海拔高度系数及运营通风的修正[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014, 10(1): 169-172.
LI Zhi-hou, JIANG Rui, XIA Cai-chu, et al. Amendment on altitude coefficient and operation ventilation in high altitude highway tunnels[J]. Journal of highway and transportation research and development (application technology), 2014, 10(1): 169-172.
- [18] 余林啸, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 重型柴油机在不同海拔地区的燃烧与排放特性[J]. 内燃机学报, 2013, 31(6): 507-512.
YU Lin-xiao, GE Yun-shan, TAN Jian-wei, et al. Combustion and emission characteristics of a heavy-duty diesel engine at different altitudes[J]. Transactions of CSICE, 2013, 31(6): 507-512.
- [19] 孙继东, 何川, 翁汉民, 等. 鹧鸪山隧道高海拔营运通风的研究[J]. 隧道建设, 2008(2): 148-150.
SUN Ji-dong, HE Chuan, WENG Han-min, et al. Field measurement study on modified altitude coefficient of Zhegushan tunnel[J]. Tunnel construction, 2008(2): 148-150.
- [20] 刘浩学. 动态环境下汽车污染物排放及环境因素影响的研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.
LIU Hao-xue. Study on the vehicle emissions under dynamic condition and effects of environmental factors[D]. Xi'an: Changan University, 2002.