

# 虚拟风洞下的车辆散热器模块性能改进

刘佳鑫<sup>1,2</sup>, 秦四成<sup>1</sup>, 徐振元<sup>1</sup>, 张 奥<sup>1</sup>, 习 羽<sup>1</sup>, 张学林<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 机械科学与工程学院, 长春 130022; 2. 徐工集团 徐工道路机械事业部, 江苏 徐州 221000)

**摘要:**为了提升车辆散热器模块性能,保证车辆工作可靠性,在已有的研究基础上提出 3 种改进方案,依据图纸资料建立动力舱三维模型,使用热交换模型代替散热器模块,结合 CFD 数值方法在虚拟风洞内对各改进方案进行仿真,根据仿真结果进行评估。结果表明:3 种改进方案均能提高车辆散热器模块性能,其中在消声器附近增加空气出口效果最好,与原始模型对比,中冷器、水、液压油散热器热流体出口温度分别降低了 14.48%、1.39%、2.28%。

**关键词:**车辆工程; 动力舱; 散热器; 数值分析; 热交换

**中图分类号:**U415.52    **文献标志码:**A    **文章编号:**1671-5497(2014)02-0330-05

**DOI:**10.13229/j.cnki.jdxbgxb201402009

## Improvement and analysis of heat exchange performance of vehicle radiator module in virtual tunnel

LIU Jia-xin<sup>1,2</sup>, QIN Si-cheng<sup>1</sup>, XU Zhen-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Ao<sup>1</sup>, XI Yu<sup>1</sup>, ZHANG Xue-lin<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Road Machinery Division of Xuzhou Construction Machinery Co., Ltd., Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** In order to improve the vehicle radiator capacity and keep vehicle reliable, three new improvement schemes were proposed on the foundation of former research. A 3D model based on the drawing from manufactures was set up. Heat exchange model was used as substitute for radiator module. Each improved model was simulated in virtual tunnel with commercial CFD software. These schemes were assessed based on the simulations. The results show that all of three schemes could enhance radiator performance. Addition of air exits near muffler has the best effect. Compared with original model, the intercooler, water radiator and oil radiator of the improved schemes could lower the thermal fluid outlet temperature by 14.48%, 1.39% and 2.28%, respectively.

**Key words:** vehicle engineering; engine cabin; radiator; numerical analysis; heat exchange

工程车辆动力舱内具有较多的发热部件,这些部件的布置形式、工况载荷均会影响散热器模块性能及动力舱内热流场特征<sup>[1]</sup>。目前国外最新

研究成果是采用激光感应散热器冷流体侧与热流体侧分布点的温度,利用温度变化实时调整控制策略<sup>[2]</sup>;也有部分研究侧重于散热器的几何特征

收稿日期:2013-01-15.

基金项目:国家自然科学基金项目(50775096);国家科技支撑计划项目(2013BAF07B04).

作者简介:刘佳鑫(1983-),男,博士研究生. 研究方向:工程机械系统节能. E-mail:nihao9002002@yahoo.com.cn

通信作者:秦四成(1962-),男,教授,博士生导师. 研究方向:工程车辆系统节能与控制技术.

E-mail:qsc925@hotmail.com

对性能的影响,通过改变压阻特性强化其散热性能<sup>[3]</sup>;还有部分学者利用风洞结合含有纳米粒子的冷却液来进一步提高换热性能<sup>[4]</sup>。实际上,散热器从风洞安装到车上后,实际性能会出现降低,甚至出现换热性能不佳致使系统过热的现象,该现象的产生与整车设计中散热器布置方式等有着极为密切的联系<sup>[5-6]</sup>。作者曾结合国内目前主流的压路机就动力舱几何特征与散热器的组合特征进行了初步研究<sup>[7-9]</sup>,结果表明,具有规则几何特征的动力舱配合侧置的散热器组可以有效地提高整车散热性能。

本文在已有研究的基础上,结合国内某型压路机使用 ANSYS/CFD 数值仿真模块对散热器传热性能进行分析,主要涉及冷却风扇与散热器组之间的布置方式、增加动力舱空气出口两方面对散热器模块性能变化的影响。

## 1 动力舱以及风洞模型

### 1.1 冷却风扇模型<sup>[10-11]</sup>

$$P_s = \left( \frac{\bar{\rho} r v_s}{30 k_z R^2 (1 - \chi_b^2)} - \frac{\rho v_s^2}{2\pi^2 R^4 (1 - \chi_b^2)} \right) Q^2 \quad (1)$$

式中: $\rho$ 为空气密度; $\bar{r}$ 为叶片切面相对半径; $v_s$ 为冷却风扇后的旋流系数; $R$ 为风扇叶片半径; $\chi_b$ 为冷却风扇轮毂比; $k_z$ 为转数与体积流量的比例系数; $Q$ 为经过冷却风扇的空气体积流量; $P_s$ 为冷却风扇静压。

风扇几何尺寸确定后,面向大气的风扇静压近似表达为关于体积流量平方的二次函数。利用式(1)可以初步拟合多转数下的面向大气时风扇静压值来表征风扇性能。

### 1.2 散热器模型

目前的国内外研究大部分采用散热器压阻与换热量作为其性能表征。本文采用效能单元法( $\epsilon$ -Ntu)进行换热性能计算。其具体表达式<sup>[11]</sup>为

$$\begin{cases} \epsilon = 1 - \exp[-\frac{Ntu^{0.22}(1 - e^{-C_r Ntu^{0.78}})}{C_r}] \\ Q_r = \epsilon C_{min} (T_{hotin} - T_{coldin}) \\ C_r = \frac{\min[(C_{p1} m_1)_{hot}, (C_{p2} m_2)_{cold}]}{\max[(C_{p1} m_1)_{hot}, (C_{p2} m_2)_{cold}]} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\epsilon$ 为散热器散热效率; $Q_r$ 为散热器换热量; $Ntu$ 为效能单元数; $T_{hotin}$ 为热流体入口温度; $T_{coldin}$ 为冷流体入口温度; $C_{p1}$ 、 $C_{p2}$ 分别为热、冷流体的定压比热; $m_1$ 、 $m_2$ 分别为热、冷流的质量流

率。

散热器压阻  $\Delta P$  表达式为

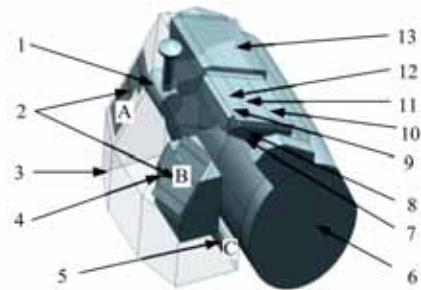
$$\Delta P = \frac{\dot{m}_1^2}{2\rho_{cold} A_c^2} \left[ K_e + K_c + \frac{4fW}{D_e} \right] \quad (3)$$

式中: $\rho_{cold}$ 为冷流体密度; $A_c$ 为通流面积; $K_e$ 、 $K_c$ 分别为进口和出口阻力系数; $f$ 为范甘宁摩擦因子; $W$ 为冷流体侧流道长度; $D_e$ 为水力直径。

为获取散热器压阻与换热特性,本文结合供应商提供的资料,提取所需的变量对性能曲线进行拟合。

### 1.3 动力舱及风洞模型

根据生产厂商提供的设计图纸建立动力舱三维模型。为了便于网格划分,尽量在不影响仿真结果的前提下对模型进行简化,具体模型如图 1 所示,风洞模型参见文献[7-9]。



1-空气滤清器;2-动力舱空气出口 A、B;3-动力舱;4-发动机机体;5-消声器;6-振动轮;7-冷却风扇;8-导风罩;9-动力舱空气进口;10-液压油散热器;11-水散热器;12-中冷器;13-燃油箱

图 1 动力舱三维模型

Fig. 1 Engine cabin three-dimensional model

## 2 CFD 数值仿真

温度边界、网格划分、工况选定、实验验证具体见文献[7-9],选用标准湍流模型<sup>[12-13]</sup>。

在保持动力舱内各部件总体位置不变的前提下,提出 3 种可行的改进方案:①调整冷却风扇相对于散热器组的轴向距离。将冷却风扇沿轴向远离散热器组方向移动 12.5 mm。②调整冷却风扇相对于散热器组的径向位置。将冷却风扇沿径向方向移动 37 mm,使冷却风扇居中。③增加高温区域动力舱空气出口,在消声器附近增加两个空气出口。各改进方案在原方案基础上通过修改模型几何特征实施,依照改进方案分别建立模型 1、模型 2、模型 3,具体如图 2 所示。

由图 3 可知,模型 3 流经中冷器空气温度变

化明显,该模型中水散热器内部空气绿色高温区域最小,液压油散热器下端的高温区已消失。与原模型相比,模型 1、模型 3 中散热器散热效率有

所提升,较明显特征是水散热器出口处的黄色高温区消失。

由图 4 可知,模型 1 散热器内部出现较大范

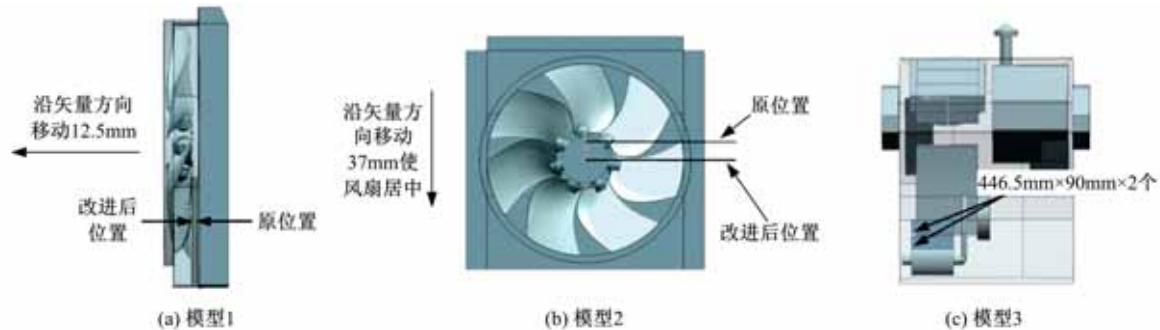


图 2 改进方案模型图

Fig. 2 Improvement model

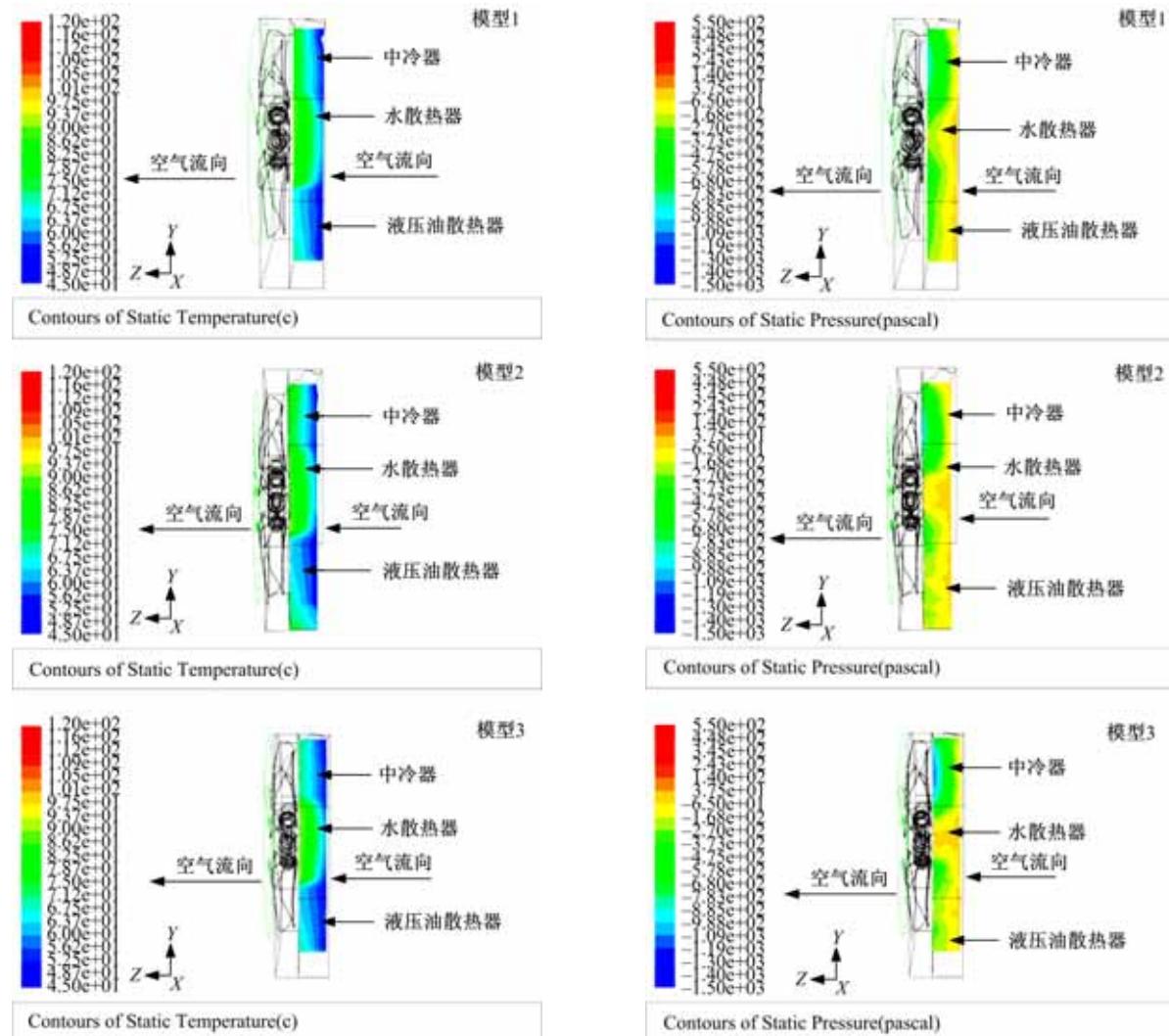


图 3 改进模型风扇中心处散热器模块的温度分布

Fig. 3 Temperature contour of radiator module at cooling fan center of improvement model

图 4 改进模型风扇中心处散热器模块的压力分布

Fig. 4 Pressure contour of radiator module at cooling fan center of improvement model

围的连续低压区,加大冷却风扇与散热器组间的距离使得冷却风扇前端空气流动性得以充分改善。模型3散热器进出口压强差绝对值较高。与原模型相比,模型1、模型2散热器进出口压强均有所增大。

由图5可知,改进模型在冷却风扇出口处温度变化不明显,但在发动机及消声器附近温度变化较大,其中模型1中的黄色高温区范围较广。模型3中高温区域较小是由于其附近的高温气体从新增出口流出,具体见图6。由图7可知,由于改进模型仅针对散热器模块及动力舱出口,所以动力舱内部的压强变化趋势相差不大。

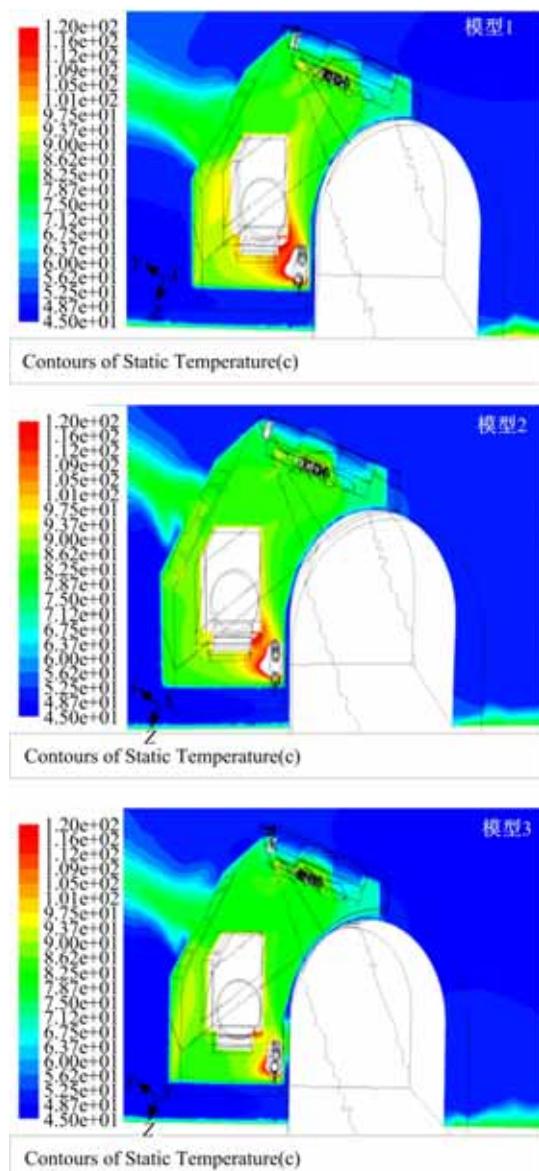


图5 改进模型风扇中心处动力舱的温度分布

Fig. 5 Temperature contour of engine cabin at cooling fan center symmetrical place of improvement model

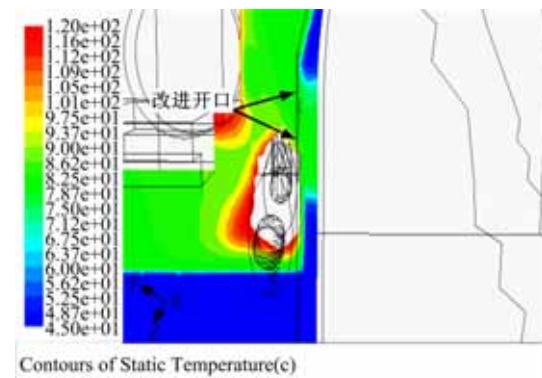


图6 改进开口处的温度云图

Fig. 6 Temperature contour of improved air exit

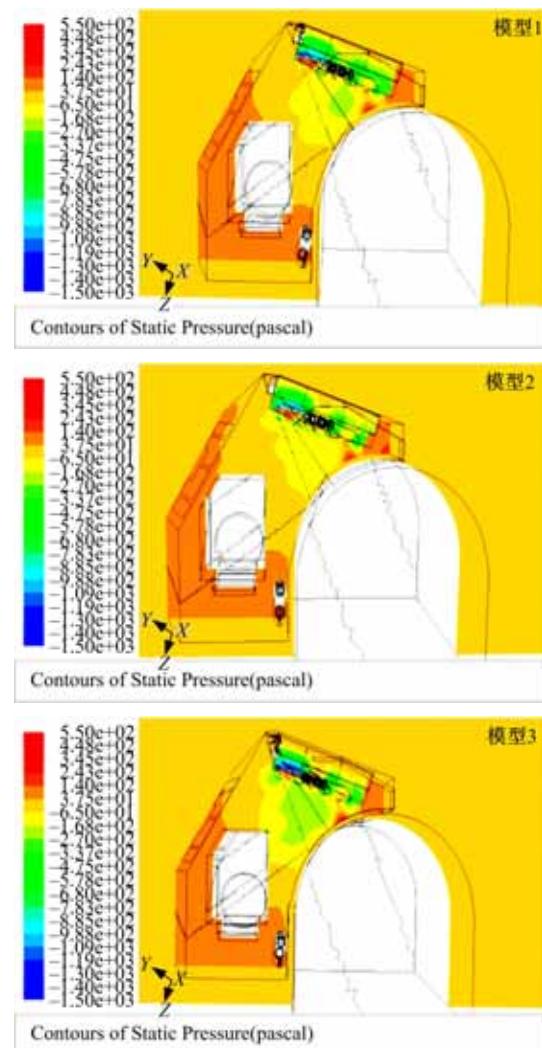


图7 改进模型风扇中心处动力舱的压强云图

Fig. 7 Pressure contour of engine cabin at cooling fan center symmetrical place of improvement model

### 3 对比分析

提取原模型与3种改进模型中散热器热流体

出口温度,具体如表 1 所示。

表 1 原始模型与改进模型热流体出口温度对比表

Table 1 Outlet temperature of thermal fluid in original and improvement models

模型	中冷器		水散热器		液压油散热器	
	温度 /℃	变化率 /%	温度 /℃	变化率 /%	温度 /℃	变化率 /%
原始	60.56	0	93.94	0	67.67	0
改进 1	59.46	-1.82	93.55	-0.42	67.31	-0.53
改进 2	61.65	1.80	93.47	-0.50	66.83	-1.24
改进 3	51.79	-14.48	92.63	-1.39	66.13	-2.28

注:百分比表示改进模型相对原始模型的温度变化,正号表示温度上升。

由表 1 可知,改进模型 3 综合效果最好,该模型通过减少热空气在动力舱内的滞留时间、减少热空气回流改善了散热器模块热环境,同时改进模型 3 实施成本较低,易于实现。

## 4 结束语

以国内某型双钢轮振动压路机为研究对象,利用热交换模型和 CFD 数值方法对车辆散热模块换热性能进行了仿真研究。针对提出的 3 种改进方案分别建立模型并进行仿真,结合仿真结果对方案进行了评估,为实际的车辆散热系统设计提供了一定参考依据。

## 参考文献:

- [1] 秦四成,王雪莲,秦司南,等. 轮式装载机热源系统空气场特征分析[J]. 中国公路学报,2010,23(3):123-126.  
Qin Si-cheng, Wang Xue-lian, Qin Si-nan, et al. Analysis of air-field property in heat source system of wheel loader [J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23(3):123-126.
- [2] Khaled M, Mangi F, El Hage H, et al. Fan air flow analysis and heat transfer enhancement of vehicle underhood cooling system—towards a new control approach for fuel consumption reduction[J]. Applied Energy, 2012, 91(1):439-450.
- [3] Woo B, Lee Y, Kang C. Water cooling radiation method for inverter system of hybrid electric vehicles[C] // 31st International Telecommunications Energy Conference. Korea: Incheon, 2009.
- [4] Ravikanth S, Debendra K, Praveen K. Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al<sub>2</sub>O and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2010, 31(4):613-621.
- [5] Timothy C, Dhananjay S. Engine cooling module sizing using combined 1-Dimensional and CFD modeling tools[C] // SAE Paper, 2009-01-1177.
- [6] Stéphane Bilodeau. Integrated technology based on thermal storage to reduce trucks idling for overnight heating or cooling[C] // SAE Paper, 2005-01-2010.
- [7] 刘佳鑫,秦四成,徐振元,等. 基于 CFD 仿真的车辆散热器性能对比分析[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2012,40(5):24-29.  
Liu Jia-xin, Qin Si-cheng, Xu Zhen-yuan, et al. Comparative analysis of heat exchange performance of vehicle radiator based on CFD simulation [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 40(5):24-29.
- [8] 刘佳鑫,秦四成,孔维康,等. 虚拟风洞下车辆散热器模块传热性能数值仿真[J]. 吉林大学学报:工学版, 2012, 42(4):834-839.  
Liu Jia-xin, Qin Si-cheng, Kong Wei-kang, et al. Numerical simulation analysis of heat transfer performance of vehicle radiator module in a virtual wind tunnel [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2012, 42 (4):834-839.
- [9] 刘佳鑫,秦四成,孔维康,等. 工程车辆散热器模块散热性能数值仿真[J]. 西南交通大学学报, 2012, 47(4):623-628.  
Liu Jia-xin, Qin Si-cheng, Kong Wei-kang, et al. Numerical simulation of heat exchange performance of radiator module in construction vehicles [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2012, 47(4):623-628.
- [10] 姚仲鹏. 车辆冷却传热[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001.
- [11] 徐振元. 工程车辆波纹翅片散热器特性分析与应用研究[D]. 长春:吉林大学, 2012.  
Xu Zhen-yuan. Research on characteristics and application of wave fin radiator in engineering vehicle [D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [12] 傅立敏. 汽车超车过程的空气动力特性研究[J]. 空气动力学学报,2007,25(3):351-356.  
Fu Li-min. Research on aerodynamic characteristics during the vehicle overtaking process [J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2007, 25(3):351-356.
- [13] 傅立敏. 队列行驶车辆的空气动力特性[J]. 吉林大学学报:工学版,2006,36(6):871-875.  
Fu Li-min. Aerodynamic characteristics of vehicle platoon[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2006, 36(6):871-875.