

# 基于模拟环境的特种车辆热平衡试验研究

柳振杰, 刘坤, 陈环

(中国北方车辆研究所, 北京 100072)

**摘要:** 对环境模拟试验室进行了技术改造, 将设计指标设定为模拟环境温度 $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 满足功率为 $400\text{ kW}$ 车辆的动态热平衡。在环境温度 $35\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 环境模拟试验室制冷能力有了很大提高, 采取适当的试验方法在环境模拟试验室中进行功率 $400\text{ kW}$ 以上车辆的热平衡试验, 既可以满足国军标中规定的试验条件, 又可以发现被试车辆研制过程中存在的问题, 为工程设计人员提供了可靠的设计或改进依据。

**关键词:** 模拟环境; 特种车辆; 热平衡

**中图分类号:** U467; TJ810.3<sup>+</sup>1      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2013)01-0045-04

## Research on Thermal Balance Test of Special Vehicles Based on Simulated Environment

LIU Zhen-jie, LIU Kun, CHEN Huan

(China North Vehicle Research Institute, Beijing 100072, China)

**Abstract:** Vehicle environmental testing lab in NOVERI was designed to simulate the lowest environmental temperature  $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$  and to meet the demand of thermal balance test for  $400\text{ kW}$  vehicles. When the temperature is between  $35\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the lab has great advance in refrigeration ability. The thermal balance test for  $400\text{ kW}$  vehicles with proper method in the lab can meet the requirement for test condition by GJB and the problems of tested vehicle in research can be found during the test, and test data can be great help for designers.

**Key words:** simulated environment; special vehicle; thermal balance

目前, 特种车辆广泛采用经济性较好的水冷柴油机作为动力来源, 其热效率约为 $30\%\sim 40\%$ , 其中超过 $30\%$ 的热量通过不同的传热方式传递给柴油机各部件。不加冷却或冷却效率过低会导致机油温度、传动油温度、水温以及发动机排气温度报警, 使车辆无法正常运转。因此, 柴油机没有冷却是不能工作的。

实践证明, 柴油机应在合适的温度下工作, 经常

工作在过热、过冷的状态, 其使用寿命、动力与经济性都会受到较大影响。

汽缸内温度过高, 吸入的空气受热, 体积膨胀, 一定吸入流量下空气吸入质量减少, 燃烧不充分, 导致发动机功率下降; 温度过高, 导致零部件受热, 出现不同程度的膨胀, 零部件间的配合间隙发生变化; 机油黏度随温度的升高而降低, 甚至发生质变, 使各

收稿日期: 2012-08-10

作者简介: 柳振杰(1963—), 男, 北京人, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为特种车辆总体试验和环境模拟试验技术。

摩擦表面间的润滑恶化,加剧了零件的磨损。

汽缸内温度过低,柴油不能充分雾化,燃烧不充分;冷却系带走的热量增多,散热损失和冷却系消耗功率增大;机油黏度随温度降低而增大,零部件间运动阻力变大;过冷导致功率下降,加大油耗<sup>[1-2]</sup>。

发动机工作时,应保证冷却系排出适量热量,使发动机油、水温度始终在合适的温度范围(85~103℃)。考虑到整车空间紧凑型要求和总体布置的需要,车辆动力系统冷却系统设计受到限制,如何提高冷却效率,是发动机及传动系统热平衡要解决的首要问题。

## 1 整车动力系统热平衡台架模拟试验

中国北方车辆研究所的车辆环境试验室于1997年建成,主要针对特种车辆,其环境模拟部分的主要性能见表1。

表1 车辆环境试验室环境模拟性能指标

Table 1 General specification of vehicle environmental testing lab

|         |                                      |
|---------|--------------------------------------|
| 试验间尺寸   | 16 000 mm(L)×6 000 mm(W)×4 500 mm(H) |
| 温度范围    | -(57±2)~+(72±2)℃                     |
| 相对湿度    | 95%±5%                               |
| 压缩机的电功率 | 220 kW                               |
| 系统制冷能力  | -43℃时,约为20.9×10 <sup>5</sup> kJ/h    |

针对试验室制冷能力不足的问题,2005年上半年建成了动态补气室,试验对象主要是特种车辆。改造后,制冷能力扩大到20.9×10<sup>5</sup> kJ/h,可以对单轴输出车辆进行高低温动态加载试验及低温冷启动试验。当模拟环境温度为-43℃时,满足功率为400 kW车辆的动态热平衡试验要求。

2005年车辆环境模拟试验室技术改造完成以后,采取适当的方法,可以完成模拟环境温度30~55℃、发动机功率1100 kW的高温热平衡动态环境模拟试验任务。尽管不具备车辆风速试验模拟条件,不能完全替代实际环境下的跑车试验,然而模拟环境下的试验室试验条件更为苛刻,各种流场更为复杂,能通过模拟环境试验热平衡考核的车辆,在真实环境中不会过热;没有通过模拟环境热平衡试验考核的车辆,则可以进行问题排查,找出问题所在并

采取解决方案,为工程设计人员提供可靠的试验依据。试验室环境模拟热平衡试验,不受外界环境条件限制,解决了气候环境制约野外跑车的难题,节省了因场地条件所需的运输费用和人员、后勤保障费用等,缩短了试验周期。

### 1.1 模拟试验的条件

车辆在试验室内架起并固定在试验室的基座上,主动轮通过万向节与两侧的测功机连接,由测功机加载并吸收动力,将机械能转化为电能反馈回电网。车辆在热平衡试验中产生的热量,由模拟环境试验室制冷系统提供冷却,循环风机在开放式环境模拟状态下进行空气循环。在试验中采取逐步开启试验室大门的方法,既可以解决进气量不足的问题,又可以弥补制冷系统制冷能力的不足,并且可以部分模拟车辆行驶状态。采取这样的模拟试验方法,动力载荷可以达到1100 kW的80%~100%,发动机进气温度的模拟精度可以达到±5℃,满足国军标中规定的模拟试验条件。

### 1.2 模拟热平衡试验方法的应用

根据对某特种车辆辅助系统的匹配研究和整车热平衡试验的方法研究,以及对其它多种车型特种车辆在模拟环境下的热平衡实际应用,结果表明,环境温度为30~55℃时,功率在400 kW以下的车辆采取完全封闭状态下的环境模拟动态热平衡试验,功率在400 kW以上采取开放式模拟环境热平衡试验,都圆满完成了试验任务,试验方法获得成功。

## 2 动力系统热平衡台架模拟试验过程中的问题

某功率在400 kW以上的车辆、V档2000 r/min的热平衡试验中,机油散热器和水散热器进出口温度变化趋势如图1所示。由图1可知,试验开始14 min后,发动机机油散热器进口温度过高,即发动机机油温度过高,超出125℃发动机报警保护上限,达不到热平衡要求。

试验发现,风侧成为影响整车热平衡的主要原因,包括进/出风阻、散热器通过阻力、动力舱回风。

动力舱内回风的影响是指已通过散热器的“热

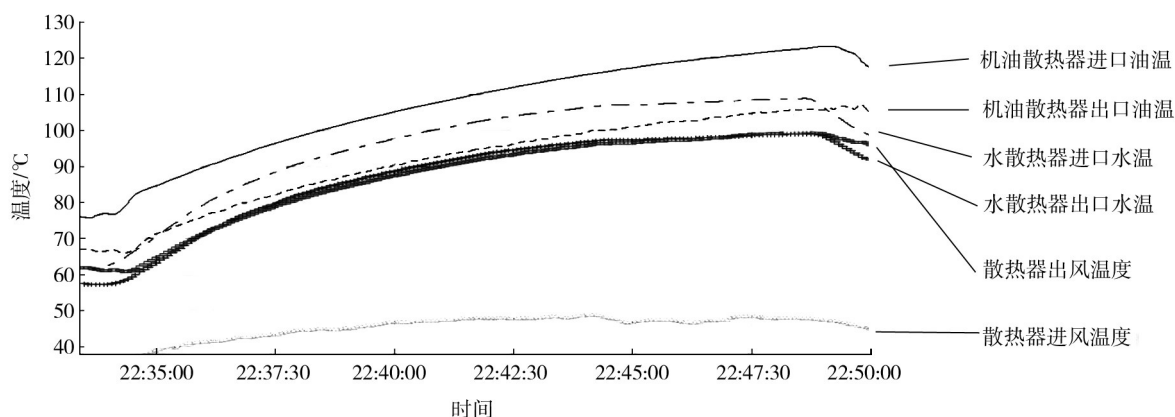


图1 改进前热平衡试验温度趋势

Fig. 1 Temperature trend of thermal balance test before improvement

风”回流至动力舱,不能带走更多的热量,反而导致动力舱内温度升高<sup>[3]</sup>。

### 3 动力系统热平衡的改进措施

在环境模拟试验室进行的试验结果表明,解决动力舱热平衡问题的关键在于对风侧进行优化。优化方法包括:1)采用管带式散热器,能力提升6~8℃;2)对散热器两侧间隙进行有效密封,能力提升2℃左右;3)优化动力舱内隔板结构,能力提升4~5℃;4)优化散热器侧对散热,能力提升有限。

风扇转速比与系统散热能力成正向线性关系,但考虑到发动机的整体性能,一般不采用增加风扇转速比的方式。提高风扇转速会导致动力性和燃油

经济性下降,风扇噪声增大,风扇轴承座的使用寿命降低,降低了发动机的可靠性。

受到车辆总体布置尺寸限制,一般不会加大水泵和传动油散热器尺寸。

综合考虑各种因素对热平衡的影响,将某特种车辆辅助系统热平衡优化集中在以下几个方面:1)减小风阻,降低散热器的通过阻力;2)减小回风量,加强进、排气涡壳的密封,防止向动力舱内压入高温气体,堵上涡壳左、右排气窗;3)动力舱隔板结构中改动窗口位置,改善进风条件;4)散热器出风口增加一个导风罩,减少回风量,提高散热率;5)增加进风量;6)优化导风罩结构<sup>[2]</sup>。

改进后,再次进行同样条件下的热平衡试验,试验结果如图2所示。

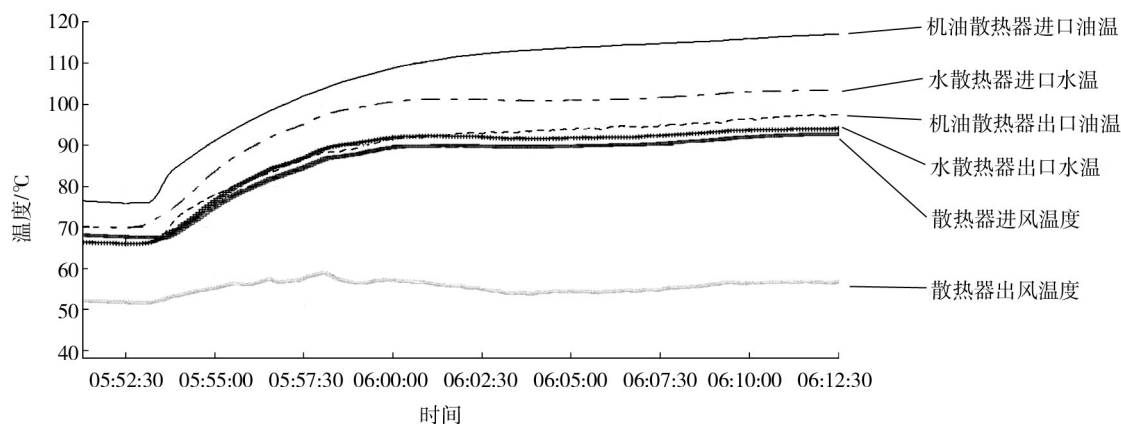


图2 改进后热平衡试验温度趋势

Fig. 2 Temperature trend of thermal balance test after improvement

从图2中可以看出,在试验开始10 min后,发动机各项温度指标都稳定在一定的范围内,并保持了12 min以上,且未超出发动机机油温度125℃报警保护上限。根据国军标,车辆进行改进后可以达到模拟试验状态下的热平衡技术要求。

模拟环境试验室内试验在车辆研制过程中发挥了很大的作用,找出了试验过程中出现的问题并采取了相应的解决方案,为车辆总体设计人员提供了可靠的设计或改进方面的试验依据。试验方法取得了成功。

## 4 结语

模拟环境温度为30~55℃时,根据被试车辆的

动力大小,采取完全封闭状态下的环境模拟动态热平衡试验,或者采取开放式模拟环境热平衡试验,多种车型都圆满完成了试验任务,试验方法获得成功。

### 参考文献:

- [1] 李建华. 发动机热平衡试验数据处理和热平衡水平估算[C]//黄荣华. 内燃机科技——中国内燃机学会2005年学术年会暨APC2005年联合学术年会论文集. 武汉:华中科技大学出版社,2005:487—490.
- [2] 孟庆勇,焦旭东,梁凤远. 装载机冷却系热平衡改进[J]. 工程机械与维修,2007(12):1—3.
- [3] 黄晖. 发动机冷却系统研究与优化设计[D]. 济南:山东大学,2005.

(上接第3页)

表3 电容量 $GM(1,1)$ 模型的检验结果

Table 3 The verification test results of capacitance  $GM(1,1)$  model

| 试验地点 | $\overline{\Delta}$ | $p^0$  |
|------|---------------------|--------|
| A地   | 0.007 41            | 99.259 |
| B地   | 0.008 06            | 99.194 |
| C地   | 0.001 65            | 99.835 |
| D地   | 0.004 25            | 99.575 |

长期贮存寿命进行了预测,结果见表4。

表4 长期贮存寿命预测结果

Table 4 Storage life prediction results

| 试验地点 | 寿命/a |
|------|------|
| A地   | 44   |
| B地   | 38   |
| C地   | 36   |
| D地   | 32   |

由表4可知,该种电容器在A地的贮存寿命最长,在D地的贮存寿命最短。

## 5 结语

将灰色预测理论中的 $GM(1,1)$ 模型应用于该种电容器的贮存寿命预测中,预测结果表明该种电容器在A地的贮存寿命最长,为44 a;在D地的贮存寿命最短,为32 a。

### 参考文献:

- [1] 肖新平,宋中民,李峰. 灰技术基础及其应用[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [2] 张彦. 基于灰色理论的汽车产品可靠性工程研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2006:7—18.
- [3] 刘思峰,党耀国,方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [4] 张子华,李坤兰. 某型固体继电器储存性能退化规律研究[J]. 装备环境工程,2009,6(6):39—41.