

Design of a Multifunctional Forest Fire Vehicle

Chengxuan Wu, Yanping Zheng*, Zhe Wang

College of Automotive and Traffic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu
Email: *284667330@qq.com

Received: Nov. 2nd, 2016; accepted: Nov. 18th, 2016; published: Nov. 21st, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Compared with foreign countries, the forest fire vehicles that developed in China have gaps in technical content, multi-functionality and fire-fighting efficiency. Therefore, this paper designed a multi-functional and efficient fire-fighting forest fire vehicle, chose the performance parameter of the vehicle power unit, and determined vehicle general layout and structure size parameter. The finite element analysis of the front collision device, moldboard plough opener and carriage is used to make sure that the design meets the requirements.

Keywords

Forest Fire Vehicle, Multifunctional, Finite Element Analysis, Parameter Matching

某多功能森林消防车的设计

吴承宣, 郑燕萍*, 王 哲

南京林业大学汽车与交通工程学院, 江苏 南京
Email: *284667330@qq.com

收稿日期: 2016年11月2日; 录用日期: 2016年11月18日; 发布日期: 2016年11月21日

*通讯作者。

文章引用: 吴承宣, 郑燕萍, 王哲. 某多功能森林消防车的设计[J]. 交通技术, 2016, 5(6): 174-184.
<http://dx.doi.org/10.12677/ojtt.2016.56022>

摘要

国内自主研发的森林消防车与国外相比，其技术含量、多功能性和灭火效率都存在一定差距，因此本文设计了一款多功能高效灭火的森林消防车。设计选择了整车动力装置参数，确定整车总体布置和结构尺寸参数。并对前顶撞装置、后开沟犁和车厢进行结构有限元分析，保证结构设计满足使用要求。

关键词

森林消防车，多功能，有限元分析，参数匹配

1. 引言

森林火灾时有发生，当发生森林火灾时，森林消防车能够迅速将消防人员及设备带到火灾现场，有效控制火势，进行快速灭火，因此消防车在森林火灾灭火中发挥着极为重大的作用。当前，国内自主研发的森林消防车虽然在越野性能及承载能力上取得了实质性地突破，但与国外相比其技术含量、多功能性和灭火效率都存在一定差距。因此研究一款多功能高效灭火的森林消防车具有十分重要的意义。

2. 森林消防车主要功能设计

本课题旨在研发一款具有高效灭火、高附着性和通过性的多功能森林消防车，通过对消防车底盘结构和灭火装置的合理设计，实现可携带更多灭火装备、具备开设防火线和多途径高效灭火的目标，并强化火场通信和定位导航功能，全面提升森林消防车的作战能力[1]。

2.1. 灭火功能

消防车最主要的功能就是灭火，现在多数消防车以水作为首选消防介质，但常规水的密度大且效果不佳，而使用压缩气体泡沫不仅可以隔离燃烧物和空气，同时能渗透入燃烧物内部，吸收热量使燃烧物冷却，因此本消防车采用压缩气体泡沫为主消防介质，装配气液比例混合发泡器以使灭火效率快速提高。消防车还配备方便装载的水泵、风力灭火器、林地切割器等辅助消防装备[2]。

2.2. 动力性能

在发生森林火灾时，消防车需要将消防员及消防设备快速运抵火灾现场，因此车辆应具有良好的动力性能。本消防车按动力模式匹配整车动力参数，通过最高车速、最大爬坡度等要求来初选发动机型号。

2.3. 越野性能

目前市面上的消防车大多数采用履带式行驶系统，虽然此系统具有良好的牵引性能和通过性能，但其结构复杂、行驶速度较低、转移作业场地困难、对路面破坏程度比较大[3]。因此本课题尝试设计四轮驱动式消防车，提高快速灵活的作战能力。

2.4. 行车障碍清除功能

消防车行驶在森林中时，由于森林地表环境复杂，会对消防车的行驶产生障碍，因此需要在消防车前端设计一款开辟道路的前顶撞装置，该装置在底端配备切割刀片，从而协助消防车快速清理灌木丛等障碍。

2.5. 开挖防火带功能

森林火灾的蔓延一般是由地面开始的，因此开挖防火带对控制火势蔓延极为有效。本课题在车辆后端装备了一款开沟犁，达到防止火势急速蔓延的作用。

2.6. 通信功能

森林中环境恶劣，为保证消防人员的安全，消防车应具有良好的通信功能，同时有利于消防中心指挥作战，提高灭火效率。本消防车采用北斗与 GPS 综合火灾定位评估通信装置，可进行火灾定位、火势评估和指挥作战等工作[4]。

3. 整车动力装置参数的选择

为提高森林消防车的灭火效率，在设计时从提高动力性方面考虑，对整车动力装置参数进行匹配。其最高车速越高，到达火灾地点的时间越短；加速能力越强，其平均车速越高；最大爬坡度越大，消防车才能克服不同的森林地形，保证森林消防车顺利通过。

3.1. 发动机功率的选择

本次设计的多功能森林消防车要求最高车速 $\geq 105 \text{ km/h}$ ，因此通过最高车速来初步确定发动机功率。所选发动机功率应与汽车行驶的阻力功率相平衡，车辆在最高车速行驶时，忽略加速阻力与爬坡阻力[5]，则可由式(1)初步确定发动机功率。

$$P_e = \frac{1}{\eta} \left(\frac{Gfu_{a\max}}{3600} + \frac{C_D A}{76140} u_{a\max}^3 \right) \quad (1)$$

式中： P_e ——发动机功率，kw；

C_D ——空气阻力系数； A ——迎风面积， m^2 ；

$u_{a\max}$ ——最高速度， km/h ； η ——机械效率；

G ——作用于车辆上的法向载荷，N； f ——滚动阻力系数。

经计算可得 $P_e \geq 176.8 \text{ KW}$ 。

同时由于消防车行驶在森林中，还需要考虑车辆在爬坡时的要求。根据整车设计要求，消防车在爬坡度角 10° 时，车速要求不低于 20 km/h ，因此由式(2)计算发动机功率需求。

$$P_e = \frac{1}{\eta} \left(\frac{Gfu_a \cos \alpha}{3600} + \frac{C_D A}{76140} u_a^3 + Gu_a \sin \alpha \right) \quad (2)$$

式中 α ——坡度角， $^\circ$ 。

经计算得出 $P_e \geq 192.2 \text{ KW}$ 。

本课题设计的多功能森林消防车，选择发动机功率时还应该考虑到消防设备所需功率，本车所配消防设备需求功率约为 30 KW 。综合考虑发动机功率和整车动力性的前提下，在目前市场现有的发动机系列中，选定型号为 WD 615.87 的发动机，其功率为 229 KW 。

3.2. 最小传动比的选择

汽车所能达到的最高车速 $u_{a\max}$ 是图 1 中发动机驱动功率曲线与汽车阻力功率曲线的交点，发动机最大输出功率所对应的为车速 u_p ，而最小传动比即当 $u_{a\max}$ 和 u_p 相等时的传动比。

根据多功能森林消防车要求最高车速 $\geq 105 \text{ km/h}$ ，所选取发动机转速 n_p 为 2200 r/min ，轮胎的滚动半径为 0.6325 m 。由式(3)可算得传动系最小传动比 $i_{\min} \leq 5.01$ 。

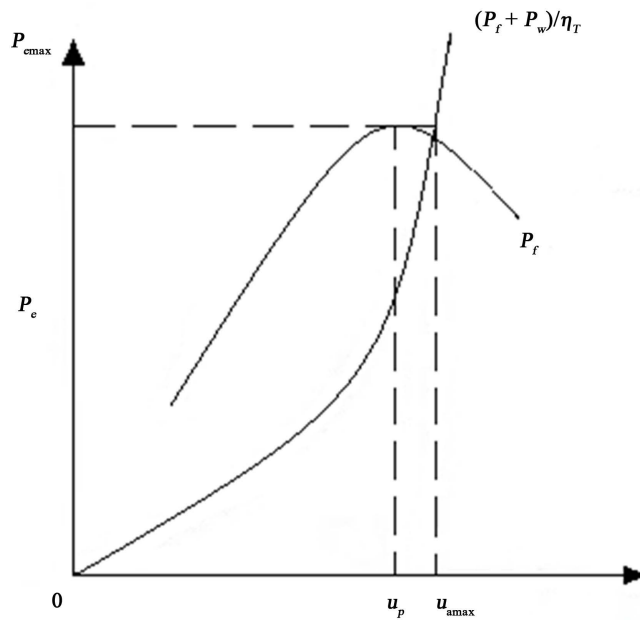


Figure 1. Balance diagram of power and resistance of engine
图 1. 发动机功率 - 阻力功率平衡图

$$i_{\min} = 0.377 \frac{n_p r}{u_{a \max}} \quad (3)$$

式中: i_{\min} ——最小传动比; n_p ——转速, r/min; r ——车轮半径, m; $u_{a \max}$ ——最大车速, km/h。

3.3. 最大传动比的选择

最大传动比主要影响汽车的爬坡度, 此外还要考虑附着力, 爬坡时消防车在低速行驶, 汽车所受空气阻力远小于行驶阻力, 因此忽略空气阻力与加速阻力。

根据消防车爬坡度的要求及所选发动机的转矩特性, 由式(4)可算得最大传动比 $i_{\max} \geq 80$ 。

$$\frac{T_{i q} i_{\max} \eta}{r} = mg (f \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (4)$$

式中: i_{\max} ——最大传动比; α ——坡度角, $^{\circ}$ 。

3.4. 分动器的选择

为保证良好的越野性能, 本消防车设计为四轮驱动布置形式, 所以需要配有分动器。本课题选取具有固定速比值的两档变速分动器, 高速档传动比为 1, 低速档传动比为 1.75, 以实现减速增矩。车辆在正常路况下使用高速档, 在越野或附着条件较差的情况下使用低速档。

3.5. 变速器的选择

汽车的挡位数应根据汽车的使用情况不同而选取相对合适的挡位数。一般而言, 挡位数越多, 发动机的动力性和经济性会越好, 但同时会带来变速器尺寸过大、结构复杂的缺点。因此本设计根据最大和最小传动比以及平顺换档的需求, 选用多档变速器, 其传动比范围为 0.87~8.2, 最终选用型号为 HW15710C, 变速器速比为 10.73, 7.98, 5.91, 4.38, 3.29, 2.45, 1.82, 1.35, 1.00, 0.75, 10.49 (倒档 1), 2.39 (倒档 2)。

3.6. 轮胎的选择

森林中道路恶劣，多为无路地带，因此对轮胎的耐磨损、抗刺扎和气密性要求较高。同时，由于消防车需要承载消防人员及设备，要求轮胎有足够的负荷能力，以满足动力性、通过性和操纵稳定性的要求。

针对以上要求，选用型号为 14.0-20 的轮胎，其气压为 770 ± 20 kPa，选用的轮辋型号为 10.0-20，轮胎花纹为越野花纹。

综上，选择 ZZ2167M4627 A/MOWAZ 越野载货车底盘，其相关性能参数如表 1。

4. 多功能森林消防车的总体布置

4.1. 整车尺寸和质量参数

关于消防车的整车尺寸，GB1589-1989 对其外廓尺寸进行规定；轴距对轴荷分配、传动轴长度和汽车总长等有影响；轮距对汽车总宽和侧倾刚度等因素有影响，增加轮距有利于增加汽车横向稳定性；本车选用平头型车头，其长度一般在 1400~1500 mm 之间；同时整车尺寸还应满足 GB-T_6244-1986 对重系列消防车的尺寸要求。

多功能森林消防车属于特殊车辆，为了能将尽量多的消防设备及消防介质快速运送到火灾现场，在恶劣的森林环境中提高灭火效率，其质量尺寸大于一般货车。由此确定整车的主要尺寸和质量参数如表 2。

Table 1. Technical parameter of fire vehicle

表 1. 消防车配置技术参数

项目	技术参数
发动机型号	WD615.87
变速器型号	HW15710C
分动器型号	1200 分动器
驱动桥	斯太尔 ST16 驱动桥速比 5.73
最小转弯直径	18.9 m
最小离地间隙	360 mm
接近角/离去角	34°/23°
轮胎型号	14.00-20

Table 2. Dimension parameter and quality parameter of fire vehicle

表 2. 消防车尺寸参数和质量参数

项目	技术参数
外廓尺寸(mm)	8068 × 2496 × 3180
轴距(mm)	4600
轮距(mm)	2072
车头长度(mm)	1490
车箱尺寸(mm)	5500 × 2450 × 600
整备质量(kg)	6890
总质量(kg)	16000

4.2. 布置草图

在对车辆的底盘数据、整体尺寸参数和质量参数进行初步选定之后，需要绘制总布置草图，以观察初步选定的各部件结构和尺寸是否符合整车设计要求[6]。

消防车总布置草图如图2所示，以左侧前、后车轮与地面接触点连线为X轴，前轴左、右车轮与地面接触点连线为Y轴，左前轮垂直中心线为Z轴，尺寸单位为mm。数字所代表的结构如表3。

经过对消防车的总体设计，将本消防车与其他几款消防车进行性能对比，见表4。

由表4可得，本消防车最高车速高于其他消防车，处于上游水平，发动机功率及单位质量功率属于中上等水平。

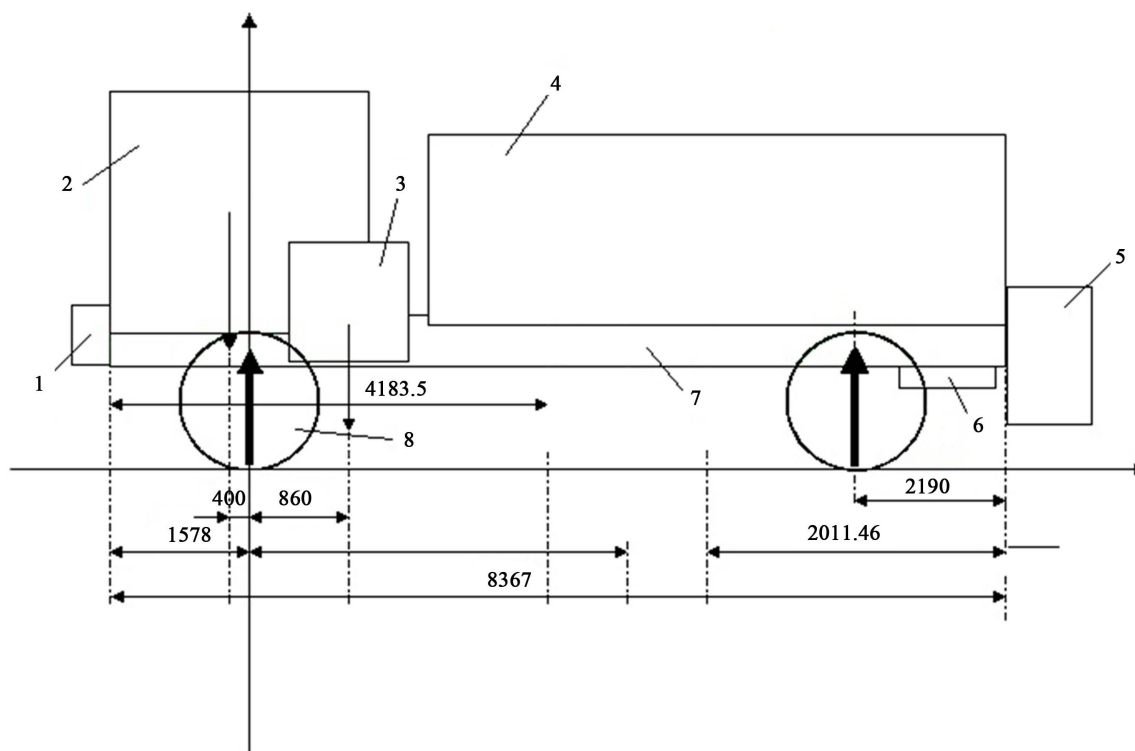


Figure 2. General layout sketch of fire vehicle

图2. 消防车总布置草图

Table 3. Structure description of fire vehicle

表3. 消防车总布置草图结构说明

序号	结构
1	前顶撞装置，实现行车障碍清除的功能
2	平头式驾驶室，可乘坐3名消防员
3,7	ZZ2167M4627 A/M0WAZ 越野载货车底盘及动力装置
4	车厢，装载消防设备及压缩气体泡沫
5	后开沟犁，实现开挖防火带的功能
6	备用轮胎，在车尾部通过悬链式固定在车架上，保证拆装方便
8	车轮，直径为1240 mm

Table 4. Performance comparison of fire vehicle**表 4.** 消防车性能对比

车辆种类	发动机功率/kW	最高车速/km/h	总质量/t	单位质量功率/kW/t	车长/mm
本消防车	229.0	≥105	16.00	14.31	8068
SX2	55.1	38.2	7.17	7.69	7420
BFC804	235.3	50.0	14.54	16.23	6700
A531	191.2	60.0	12.81	14.93	5467
SXD09	175.0	55.0	11.90	14.71	5500

5. 消防车改装结构的有限元分析

5.1. 前顶撞装置

5.1.1. 结构设计

本装置采用两块长 1280 mm 厚 10 mm 钢板压制成以迅速推倒有碍消防车前进的路障,并以 150° 夹角焊接而成,从而获得良好的稳定性;刀片是采用铰接的方式固定在挡板下方用于砍断前方的灌木;挡板后方的横梁和支架采用矩形钢焊接而成;整个顶撞装置通过两个支架焊接在车前方[7],同时保证在合理的切茬高度上进行工作,结构图如图 3 所示。

5.1.2. 有限元分析校核

在 CATIA 中建立前顶撞装置的三维数字化模型,然后导入 ANSYSWorkBench 中自动划分网格、施加载荷和约束,经过计算得到等效应力云图 4 及总体变形图 5。

该装置最大应力为 47.63 Mpa,最大变形发生在挡板下方焊接缝处,最大值为 0.06 mm,均在安全范围之内,因此该装置设计满足使用要求。

5.2. 后开沟犁

5.2.1. 结构设计

总体结构图如图 6 所示。开沟犁整体通过上承载部件铰接固定在车身上,中间承载部件将下承载部件与上承载部件连接在一起,下承载部件主要起支撑刀片的作用,其中中间承载部件与下承载部件之间装有弹簧,起减震作用。

5.2.2 有限元分析

由于在开沟犁工作过程中刀片为主要受力件,因此对刀片进行有限元分析[8]。经过 ANSYS 计算得到总体变形云图,如图 7。

由图可知,刀片最大变形发生在犁铧刃口末端,最大值为 0.32 mm,应力最大值 89.36 Mpa,均在允许范围内,符合刚度和强度的要求。

5.3. 车箱设计

5.3.1. 结构设计

车箱设计是本车设计中的重要部分,车箱越大,所能携带的消防设施越多,但同时会使整备质量过大,在车速较快时,由于迎风面积变大而使空气阻力增加。因此根据现有的底盘参数,全面考虑所带装备、乘员、泡沫以及水的情况,将车箱设计成长方体形状,为使车箱能尽量多的携带消防设备及介质,

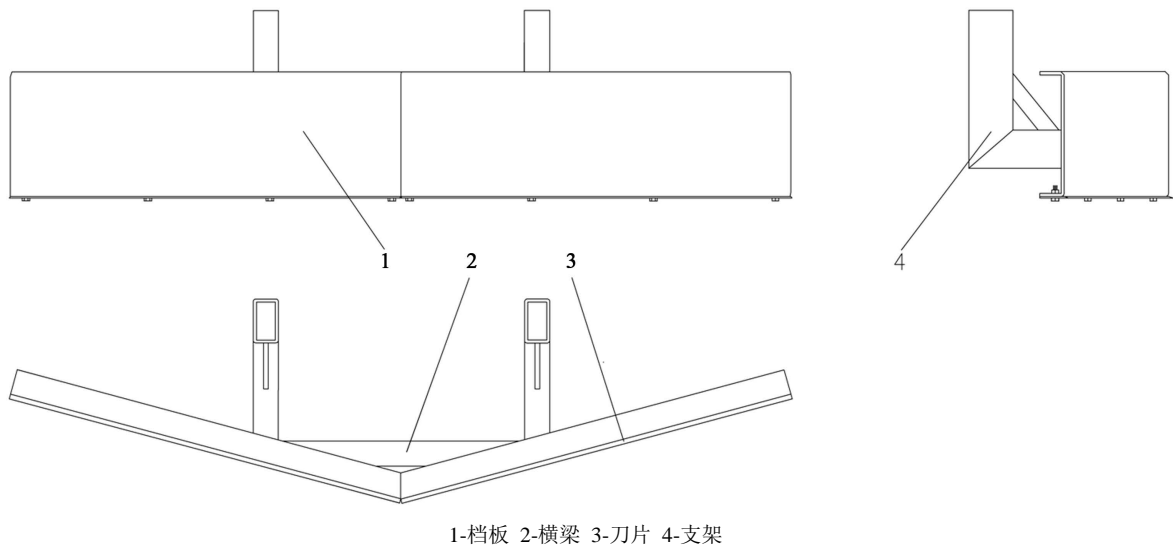


Figure 3. Structure diagram of front collision device

图 3. 前顶撞装置的结构图

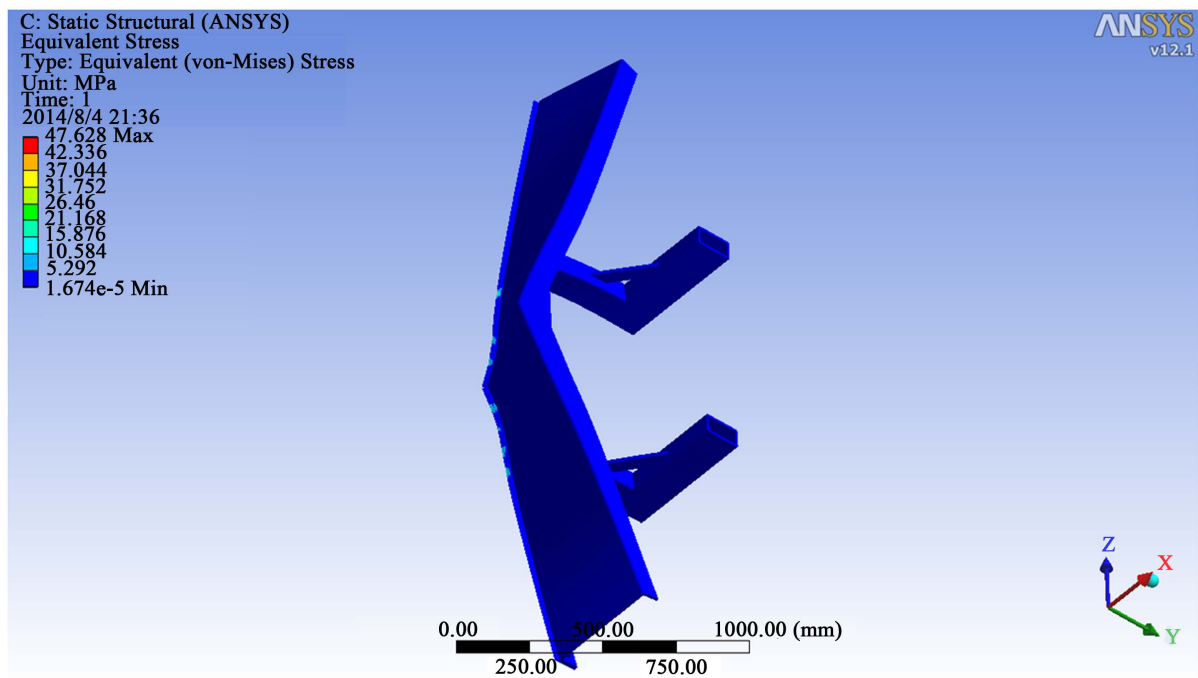


Figure 4. Equivalent stress of front collision device

图 4. 前顶撞装置等效应力云图

合理设计消防车内部结构，并对车箱骨架进行校核，确定车身布置方案的合理性。所设计的车箱正视图及俯视图如图 8、图 9 所示。

由于本消防车消防介质选择压缩气体泡沫，因此应在车箱合适位置放置水和泡沫，并使其能快速、有效混合，以达到快速灭火的目的。根据水和泡沫的混合比例，计算储存罐的体积，并在车箱后部安装泡沫混合装置。车顶安装泡沫喷射枪。车身左右各六个格子用于放置风力灭火器、林地切割器、移动式消防泵等便携式消防设备。

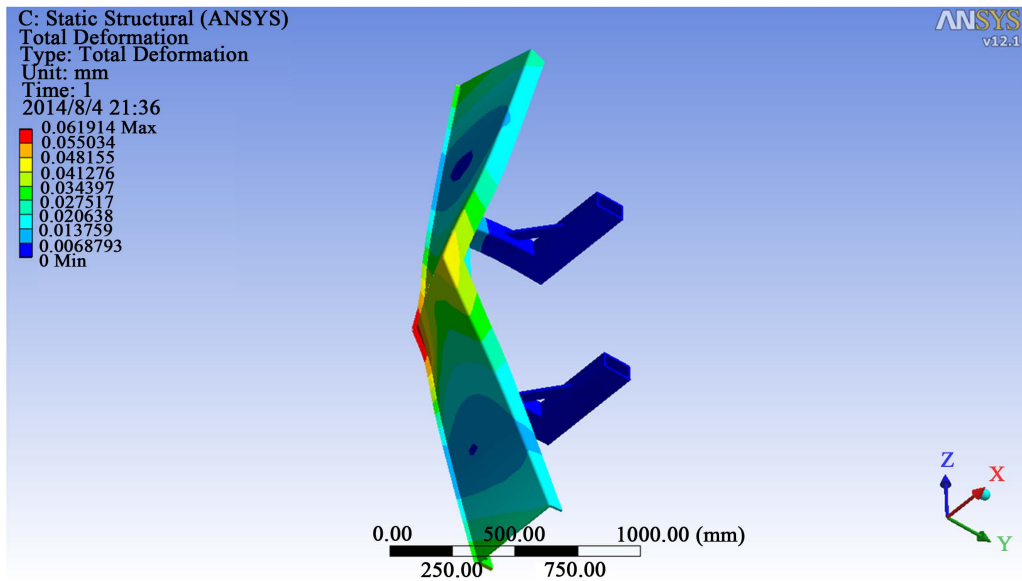
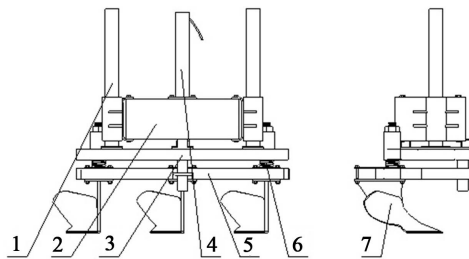


Figure 5. Total deformation of front collision device
 图 5. 前顶撞装置总体变形图



1-圆柱导轨 2-上承载部件 3-中间承载部件 4-液压缸 5-下承载部件 6-减振弹簧 7-刀片部分

Figure 6. General structure diagram of moldboard plough opener
 图 6. 铧式犁开沟器总体结构图

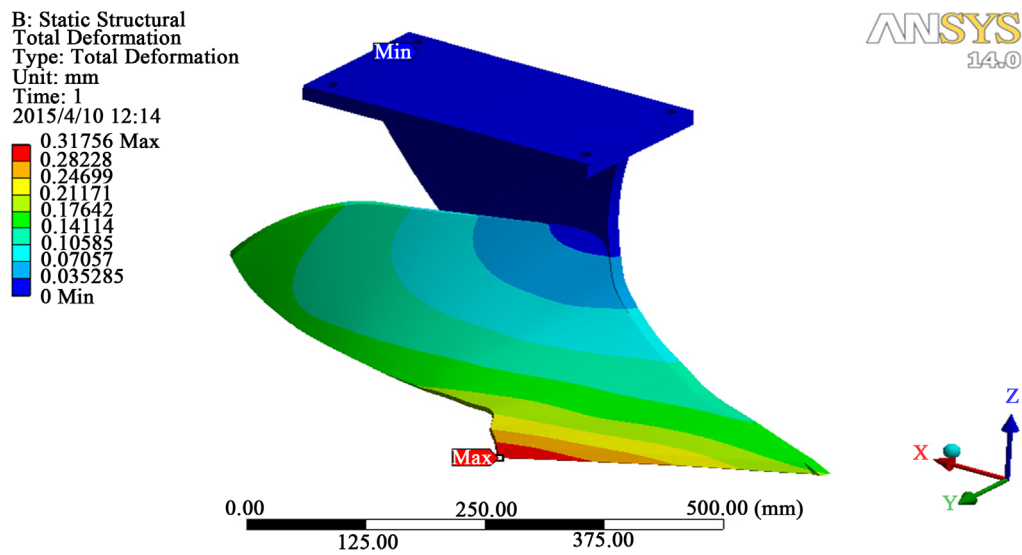


Figure 7. Total deformation of plough
 图 7. 铧式犁总体变形云图

5.3.2. 有限元分析

车箱承载结构为车箱骨架，因此对车箱骨架强度进行有限元分析校核，确保其强度及变形符合要求。将 CATIA 中建立好的车箱骨架三维模型导入 ANSYSWorkBench 中自动划分网格，施加约束及载荷，经过计算，得到车箱骨架总体变形图 10 及等效应力图 11。

由图 10 和图 11 可知，车箱骨架最大变形发生在骨架后部，数值为 1.6036 mm；车箱结构梁之间连接处的应力较大，数值为 66.633 MPa，小于材料屈服强度。设计满足车箱的强度和刚度要求。

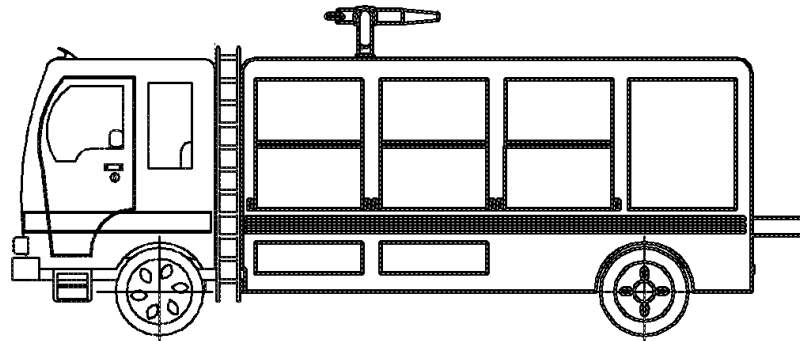
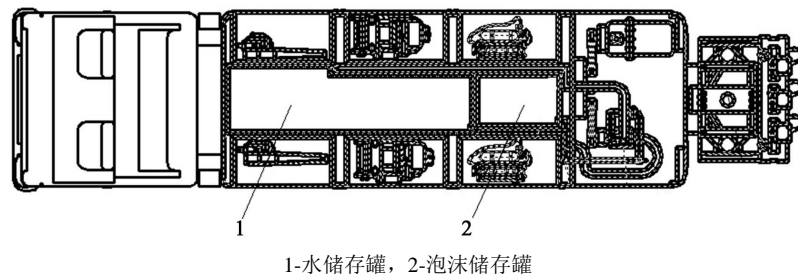


Figure 8. Front view of carriage structure

图 8. 车箱结构正视图



1-水储存罐，2-泡沫储存罐

Figure 9. Vertical view of carriage structure

图 9. 车箱结构俯视图

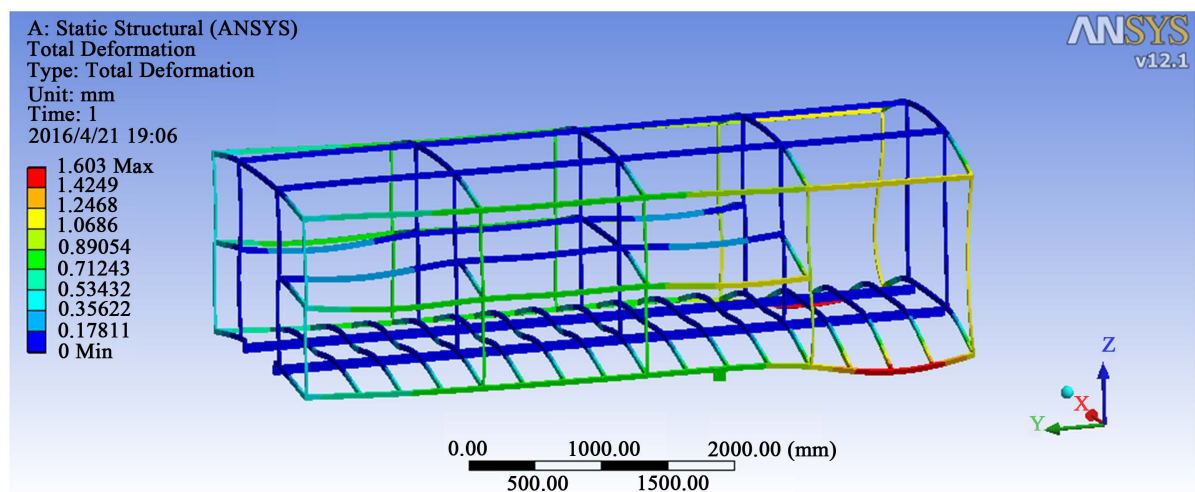


Figure 10. Total deformation of carriage

图 10. 车箱结构总体变形图

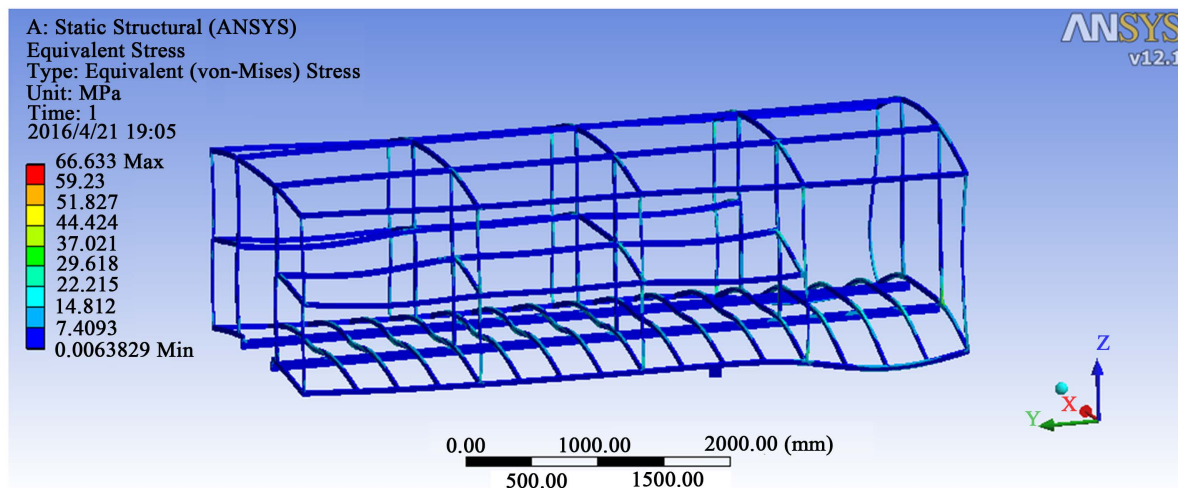


Figure 11. Equivalent stress of carriage
图 11. 车箱结构等效应力图

6. 结论

本文通过选配森林消防车的动力装置参数、整车功能设计及车身结构设计，使该款森林消防车具备了行车障碍清除能力、开挖防火带和携带多种消防设备的能力，而且采用的泡沫灭火方式、轮式行驶系统保证了消防车的高效灭火性能，实现了本课题的设计目标。

参考文献 (References)

- [1] 丛静华, 何瑞银, 等. 森林消防车的发展现状和功能分析[J]. 林业机械与木工设备, 2006, 40(8): 4-6.
- [2] 任海, 高昌海, 王晓辉. 国外森林火灾扑救新技术及设备[J]. 林业机械与木工设备, 2005, 22(7): 12-15.
- [3] 季学武, 赵六奇, 等. 轮式越野车辆通过性分析[J]. 石油物探装备, 1996(8): 6-10.
- [4] 杨洪泽, 李博, 李滨. 重载型森林消防车功能和造型的设计初探[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(25): 12707-12709, 12734.
- [5] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [6] 邸泽民. 从消防车的发展看其外观造型设计的理念内涵[J]. 专用汽车, 2013(7): 70-73.
- [7] 钱啸冬, 茹煜, 汪东. 多功能森林消防车前顶撞装置的力学分析[J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43(2): 13-15.
- [8] 钱啸冬, 茹煜, 汪东, 等. 森林防火开沟装置研究现状及展望[J]. 农业工程, 2014, 4(4): 5-9.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org