

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.01.007

# 乳胶基质运输车储存罐体及输送系统设计<sup>\*</sup>

迟洪鹏 李 鑫 查正清 龚 兵  
北京矿冶研究总院 (北京,100160)

[摘 要] 为了更好地发展现场混装乳化炸药技术,设计了车载乳胶基质存储罐体,分别对选材、结构、厚度、防波板及与底盘的连接方式进行了计算和设计。采用大容量专用存储罐,实现了有限空间内的大容量储料,加装防波导流板,减少了乳胶基质运输过程中的冲击和来回的流动。采用底螺旋输送加螺杆泵作为输出设备,对乳胶基质的输送系统进行了设计,可以使黏稠的乳胶基质干净顺畅地输送到其他设备。通过对乳胶基质运输车关键部分存储罐体及输送系统的设计,解决了乳胶基质专用运输车储料、出料等技术问题,提高了运输车的工作效率。

[关键词] 乳胶基质;罐体;运输车;输送系统

[分类号] TD235.2<sup>+1</sup>

## 引言

在欧美等发达国家,现场混装炸药所占比例高达 95% 以上,乳胶基质采用集中大规模制备,远程配送至全国各地的方式实现炸药现场混装<sup>[1-2]</sup>。澳大利亚奥瑞凯 (Orica) 公司利用运输车进行远程配送散装炸药年产量达 100 多万吨,实现了乳胶基质的大规模生产,跨地区、跨国界远程分级配送<sup>[2-3]</sup>。这种主要依托大型矿山建立一个乳胶生产基地,采用乳胶基质远程配送,向周边辐射的方式的优越性主要体现在如下几个方面:可规模化生产散装炸药,成本减小;实现柔性化生产,配方可灵活调整;机械化、自动化程度更高,更安全、高效<sup>[2]</sup>。

目前,我国现场混装炸药占比只有 10% 左右,远低于发达国家的水平<sup>[2]</sup>。主要采用一点一站的方式,此种方式无法实现资源有效地共享利用,安全性也不能更好地得到保障。随着现场混装乳化炸药技术的发展,集中制药、远程配送模式的兴起,乳胶基质能够长距离、大范围运输就需要开发大产能专用乳胶基质运输车。我国相关此类的乳胶基质运输车研制工作较少,乳胶基质配送使用的运输工具主要是装药车,而没有专用的乳胶基质运输车<sup>[4]</sup>。装药车装载量少、运输成本高,并且车载系统较多,远距离运输乳胶基质会加速车辆系统的折旧<sup>[5]</sup>。

本文成功研制了适用于通用四轴货车底盘的乳胶基质存储罐体及输送系统,解决了乳胶基质的远程配送问题,为集中制备、远程配送模式的发展提供了技术保证。

## 1 车载乳胶基质存储罐体设计

### 1.1 乳胶基质存储罐体的选材

乳胶基质存储罐体采用 5083 O 铝合金板加工制作,铝合金材料 5083 O 的有关参数见表 1。存储罐体材料采用铝合金材料,最大的优势在于其长期的经济效益。铝合金的密度相对较小,整车的燃油经济性更好;高速公路的计质量收费政策,使铝合金罐体的轻质量更经济。此外,铝合金罐体还有耐腐蚀性良好、寿命长、维修成本低、长久保持光亮美观、回收价值高、能量吸收性能好等优势。

表 1 铝合金材料 5083 O 的参数

Tab.1 Parameters of aluminum alloy material 5083 O

密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	延伸率/ %	抗腐 蚀性
2.7	275~350	≥125	≥15	良好

铝合金的抗腐蚀性相对不锈钢还是差些,但铝合金表面形成的致密氧化膜 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>),可防止进一步的腐蚀,作为乳胶基质的存储罐体能够满足要求。

乳胶基质在长时间运输过程中,对恒温有一定的要求。所以罐体可以采用 3 层保温设计:外层采用铝合金、中间采用聚氨酯保温材料、内层采用耐腐蚀性更好的不锈钢薄板做内衬。另外,可在罐体内部安装温度传感器以便实时监测乳胶基质的温度,从而满足乳胶基质的保温要求,提高运输车的环境

<sup>\*</sup> 收稿日期:2014-07-17

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA060405)

作者简介:迟洪鹏(1983~),男,博士,主要从事矿山机械与工程爆破的研究。E-mail:hongpengchi@163.com

适应能力。

## 1.2 储存罐体结构设计

乳胶基质储存罐体下部分采用  $45^\circ$  倒三角结构,罐体内部有 2 道防波板,把罐体分为前、中、后 3 部分,3 部分罐体上方对应各有一个进料口,在罐体的后下方有一个出料口,如图 1。

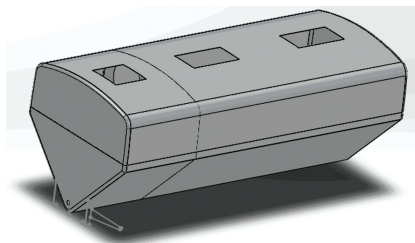


图 1 乳胶基质存储罐

Fig. 1 Storage tank of emulsion matrix

## 1.3 储存罐壁厚计算

参考油罐设计标准(GB50341—2003):

$$t_1 = 0.0049 \frac{\rho(H-0.3)D}{[\sigma]'\varphi} + C_1 + C_2. \quad (1)$$

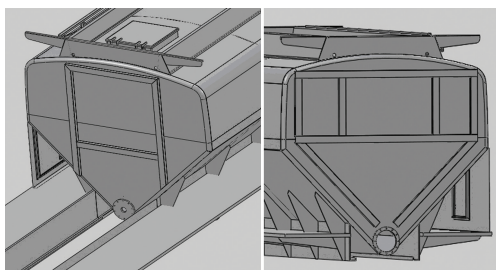
式中:  $t_1$  为储存介质时壁厚, mm;  $\rho$  为乳胶基质密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $H$  为罐体高度, m;  $D$  为罐体直径, m;  $[\sigma]'$  为设计温度下的许用应力, MPa;  $C_1$  为壁板负偏差, mm;  $C_2$  为腐蚀裕量, mm;  $\varphi$  为焊接接头系数。

存储乳胶基质密度为  $1\,350\text{ kg}/\text{m}^3$ , 罐体高度 2.25 m, 直径约 2.5 m, 采用铝合金设计温度下的许用应力取 140 MPa, 焊接接头系数 0.9, 壁板负偏差为 0.1 mm, 腐蚀裕量取 2 mm, 代入各参数值计算罐体厚度  $t_1$ :

$$t_1 = 0.0049 \times \frac{1350 \times (2.25 - 0.3) \times 2.5}{140 \times 0.9} +$$

$$0.1 + 2 \approx 2.36$$

罐体运输的乳化基质是特殊物料, 又存在动载荷, 取安全系数为 2, 因此可以采用罐壁的厚度为 6 mm 的铝合金板材(型号 5083 O), 并在前后罐壁采用加强骨架(图 2), 提高了罐体的强度, 以应对车辆在起步、刹车时的冲击载荷对罐壁的影响。



(a) 前壁

(b) 后壁

图 2 罐体加强骨架

Fig. 2 Strengthen skeleton of tank

## 1.4 罐体防波板的结构

液罐车防波板设计在罐体内部, 通常有横向、纵向和水平 3 种安装方式<sup>[6-7]</sup>。当车辆罐体满载乳胶基质行驶时, 遇急刹车、起步等情况, 如果没有防波板, 乳胶基质对罐体的前后罐壁的冲击压力会非常大<sup>[7-8]</sup>, 这对罐壁的结构强度要求很高, 另外对乳胶基质的冲击压力也会很大, 影响乳胶基质的稳定性<sup>[9]</sup>。采用了防波板, 把长的罐体隔开, 有效地解决了冲击压力过大的问题。此外, 可在防波板上冲制出相应的透孔, 对乳化基质传导给它的冲击力进行减压<sup>[10]</sup>。另外, 在运输过程中, 防波板的通透孔也保证罐体 3 部分乳胶基质的液面平衡, 防止了车辆重心的偏移。

防波板应力分析如下:

假设防波板是由紧密排列的小条形带组成, 互相之间不受力。各参数假设如下: 条形带厚度为  $\theta$ , 长度为  $l$ , 高度为  $dh$ , 防波板间离为  $b$ , 条形带变形前后的夹角为  $\gamma$ , 罐体弯曲时的伸长量为  $\Delta b$ , 板材的弹性模量为  $G$ , 液体密度为  $\rho$ , 罐车紧急制动时的最大加速度为  $a$ 。

由牛顿定律, 在紧急制动时, 防波板条形带受到的最大冲击力  $F_1$  为:

$$F_1 = ldh \times bpa; \quad (2)$$

条带和罐体链接部位的力  $F_2$  为:

$$F_1 = 2\sin\gamma F_2; \quad (3)$$

$$\text{则 } F_2 = ldh \times bpa / 2\sin\gamma; \quad (4)$$

由材料力学, 可得

$$F_2 = \sigma s = \sigma dh\theta; \quad (5)$$

由以上两式可以得

$$\sigma = lbpa / 2\theta\sin\gamma. \quad (6)$$

根据以上计算可得到应力和各个量之间的关系; 防波板应力与存储物料密度、车辆的加速度、防波板的弹性模量和厚度、罐体宽度和仓容的关系。

防波板的结构设计如图 3 所示, 采用交错的两个圆孔通透, 罐体下部安装有螺旋输送杆。

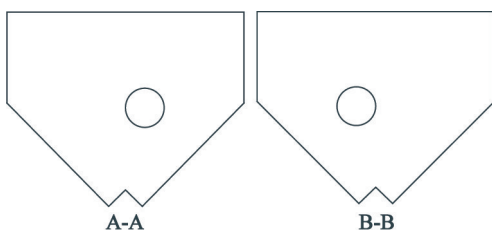


图 3 中间防波、导流板

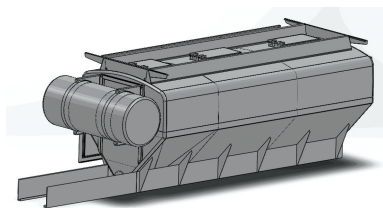
Fig. 3 Middle anti-wave plate and deflector

## 1.5 罐体与底盘的连接结构

非承载式的罐车的罐体与底盘的连接结构主要有罐角式、底架式及混合式 3 种。

罐角式最大的优点是可以有效地减轻自身质量,但容易导致罐体所受的应力集中。底架式通过横梁与纵梁焊接形成的二次底架总成与罐体进行焊接之后再连接到车辆底盘,它可以保证罐体受力均匀和合理,但此种结构会增加车辆自重。混合式是罐角式与底架式结合的连接方式。罐体与底盘的连接结构通常采用的型式是混合式连接。

根据以上设计思想,运输车采用混合连接结构并加装螺旋弹簧(图 4、图 5),图 5 是罐体与车架大梁的连接结构。罐车罐体上的底架通过连接角板进行连接,在罐角结构中加入螺旋弹簧进行连接,用于



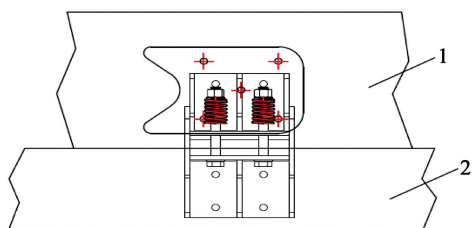
(a) 罐体整体三维模型



(b) 罐体底架照片

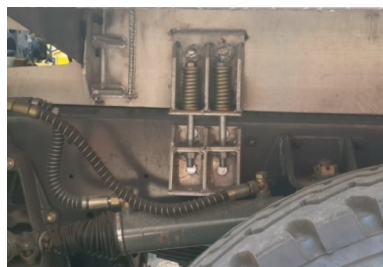
图 4 罐体底部连接底架

Fig. 4 Underframe linked the bottom of the tank



1 - 罐体底部支撑板; 2 - 底盘大梁

(a) 连接结构图



(b) 连接结构照片

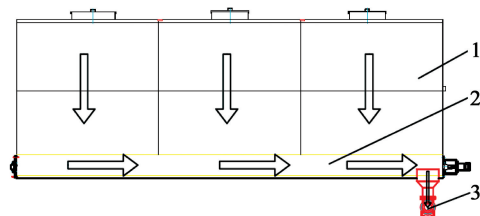
图 5 罐体与车架大梁的连接结构

Fig. 5 Link structure of tank and frame rails

消除因油罐车车架变形而产生的附加应力,并以此来改善罐体的受力状况。

## 2 乳胶基质输送系统

乳胶基质专用运输车输送系统主要由底部输送螺旋、螺杆泵及计量装置等组成,如图 6 ~ 图 9 所示。物料输送系统为全液压驱动,由液压马达驱动物料输送设备,液压马达工作平稳,安全可靠。液压马达所需高压液压油由变量主油泵供给;主油泵的动力来源于汽车发动机,通过取力器变速驱动。



1 - 乳胶箱; 2 - 底部输送螺旋; 3 - 螺杆泵

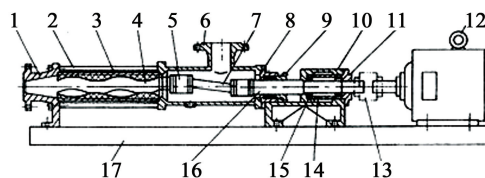
图 6 乳胶基质输送示意图

Fig. 6 Schematic diagram of emulsion matrix conveying



图 7 储存罐底部输送螺旋

Fig. 7 Conveying spiral at the bottom of storage tank



1 - 出料腔; 2 - 拉杆; 3 - 螺杆胶套; 4 - 螺杆轴; 5 - 万向节总成; 6 - 吸入口体; 7 - 连节轴; 8 - 填料器; 9 - 填料压盖; 10 - 轴承座; 11 - 轴承盖; 12 - 马达; 13 - 联轴器; 14 - 轴套; 15 - 轴承; 16 - 传动主轴; 17 - 底座

图 8 单螺杆泵结构图

Fig. 8 Structure of single screw



图 9 底部乳胶输送螺杆泵

Fig. 9 Conveying screw of emulsion at bottom

乳胶基质罐体下部采用倒三角的结构,乳胶基质由自身重力可以容易地下落到罐体的底部,通过罐体底部的输送螺旋杆可以把乳胶基质输送到后罐



体的出料口,然后再通过螺杆泵泵送至其他设备。当出料口螺杆泵不能及时把螺旋杆输送到后罐体的乳胶基质输送出去的时候,后罐体乳胶基质达到防波板的通透孔后,便可以回流到中部罐体,中部罐体的乳胶基质到达通透孔后可以回流到前部罐体,从而避免了乳胶基质在后部罐体堆积过多。

底部螺旋通过安装在一头的液压马达实现变速驱动。

螺杆泵的核心部件是偏心螺旋体的螺杆(称转子)和内表面呈双线螺旋面的螺杆衬套(称定子)<sup>[11]</sup>,如图 8 所示。传动可采用连轴器直接传动。

螺杆泵定子和转子的特殊结构形成了密封的容腔,密封腔内的乳胶基质随着螺杆的转动被连续地挤出泵体,容积保持不变,压力稳定。基质被推行均匀流动,内部流速低,不会产生搅动和涡流。

同时在乳胶泵的出口安装有乳胶基质流量计及压力传感器,可以方便地对输出流量进行记录,并对系统的压力实时进行检测。

乳胶基质运输车的技术参数见表 2,车辆外观照片见图 10。

表 2 运输车的主要技术参数

Tab. 2 Main technical parameters of carrier truck

设备名称	乳胶运输车
配送距离/km	≤1000
最大装载量/m <sup>3</sup>	20
最大固体粒子/mm	11
最大黏度/(Pa·s)	150
输出流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	15~21
输出压力/MPa	0~0.6
最高车速/(km·h <sup>-1</sup> )	80
计量误差/%	±2

### 3 小结

车载乳胶基质储存罐实现了有限空间内的大容量储料。通过罐体内加装防波、导流板,减少了乳胶基质在长距离运输过程中的冲击和来回的流动,对乳胶基质的稳定性起到了很好的保护作用。乳胶基质输送系统可以使黏稠的乳胶基质干净顺畅地输送到其他设备。

根据相关规定,乳胶基质运输车目前不允许做成罐、车分离式。本项目采用整车设计,核载量受到了影响。从民爆行业发展角度出发,开发满足属于非危险货物运输的乳胶基质,从而提高单车运输量,研制半挂车形式的乳胶基质运输车,将核载量提高至30吨/车以上,可更好地推动乳胶基质的集中制



(a) 前侧面



(b) 后侧面

图 10 乳胶基质运输车整车外观照片

Fig. 10 Exterior photos of emulsion matrix truck

备、远程配送模式的发展。

### 参 考 文 献

- [1] 秦虎,龚兵,熊代余,等. 地下矿用炸药现场混装技术的新进展[J]. 金属矿山,2009(9):152-154,164.  
Qin Hu, Gong Bing, Xiong Daiyu, et al. New advancement of site mixing and loading technique for underground mine explosive [J]. Metal Mine, 2009(9): 152-154, 164.
- [2] 李宏兵. 乳胶远程配送系统相关技术研究[J]. 爆破, 2010,27(2):88-91.  
Li Hongbing. Research on related techniques of long-distance delivering system of emulsion matrix [J]. Blasting,2010,27(2):88-91.
- [3] 韦锦初,开俊俊. 乳胶基质远程配送及储存技术的探讨[J]. 煤矿爆破,2011(4):35-36.  
Wei Jinchu, Kai Junjun. Discussion on the techniques of long-distance delivery and storage of emulsion matrix[J]. Coal Mine Blasting,2011(4):35-36.
- [4] 龚兵,熊代余,李国仲,等. BCJ 多功能装药车的研究与应用[J]. 爆破器材,2010,39(3):12-14.  
Gong Bing, Xiong Daiyu, Li Guozhong, et al. Development and application of BCJ multi-function charge truck [J]. Explosive Materials, 2010,39(3):12-14.
- [5] 熊代余,李国仲,史良文,等. BCJ 系列乳化炸药现场混装车的研制与应用[J]. 爆破器材,2004,33(6):12-16.  
Xiong Daiyu, Li Guozhong, Shi Liangwen, et al. Development and application of BCJ series loading machines for site sensitized emulsion explosive [J]. Explosive Materials, 2004,33(6):12-16.
- [6] Kang N, Liu K. Influence of baffle position on liquid sloshing during braking and turning of a tank truck[J]. Journal of Zhejiang University: Science A,2010,11(5):

- 317-324.
- [7] 乐增,江楠,杨卫国. 防波板对罐车在制动时的安全稳定性的影响[J]. 压力容器. 2012,29(4):18-22,6.  
Yue Zeng, Jiang Nan, Yang Weiguo. Baffle influence on security and stability in braking process of tank truck[J]. Pressure Vessel Technology, 2012,29(4):18-22,6.
- [8] 卢军,杨翊仁. 平放圆柱体内液体晃动特性及横向受力分析[J]. 科学技术与工程,2009,9(14):3945-3949.  
Lu Jun, Yang Yiren. Characteristics of liquid sloshing and transverse force analysis of horizontal liquid-filled cylindrical tank [J]. Science Technology and Engineering,2009,9(14):3945-3949.
- [9] 陈志伟. 移动式压力容器介质晃动数值模拟及防波装置研究[D]. 杭州:浙江大学,2006:55-56.
- Chen Zhiwei. Numerical simulation of liquid sloshing in transportable pressure vessel and research on the baffles [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006:55-56.
- [10] 刘奎,康宁. 罐车转向时液体晃动的仿真分析[J]. 北京航空航天大学学报,2009,35(11):1403-1407.  
Liu Kui, Kang Ning. Simulation of liquid slosh in turning process of tank truck[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35(11):1403-1407.
- [11] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2 版. 北京:冶金工业出版社,2008:147-149.  
Wang Xuguang. Emulsion Explosive[M]. 2nd Edition. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008:147-149.

## Design of Storage Tank and Conveying System of Emulsion Matrix Truck

CHI Hongpeng, LI Xin, ZHA Zhengqing, GONG Bing

Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy (Beijing, 100160)

[ABSTRACT] In order to better develop the technology of site mixed emulsion explosives, a vehicle-mounted emulsion matrix storage tank was designed. Material selection, structure, thickness, anti-wave plate and connections with the chassis were respectively calculated and designed. A large-capacity material storage within the limited space is achieved by using a large-capacity dedicated storage tank. The installation of anti-wave and diversion plate reduces the emulsion matrix shock and flow back and forth during transport. Screw conveyor and screw pump are installed at the tank bottom as the output device. Emulsion matrix conveying system was also designed, by which viscous emulsion matrix can be cleaned and handily carried output to other devices. By designing key part of latex matrix transportation vehicle, the storage tank and conveying system, technical problems, such as solved latex matrix storing and discharging, is solved, and the efficiency of transport vehicle is improved.

[KEY WORDS] emulsion matrix; tank; carrier truck; conveying system

## 文 摘

### 1 防水粒状炸药组成

日本专利,JP2002 60293,2002 年 2 月 26 日,共 6 页(日文)

这种防水炸药由多孔粒状硝酸铵和微球(microbalcon)组成。多孔粒状硝酸铵用粉状硝酸铵和聚合物包覆,并在包覆后固化。这种炸药具有和铵油炸药(ANFO)一样的处理特性。

### 2 使用直接稀释技术制备超细颗粒炸药的研究

《火炸药学报》,2001,24(4),46-47(中文)

介绍了使用直接稀释制备超细颗粒炸药方法的基本原理。试验了超细太安(PETN)和黑索今(RDX)的颗粒大小和颗粒大小的分布。

### 3 诺尼尔管用的高精度 MS 延期雷管

《北京理工大学期刊》2001,8(3),164-166(英文)

介绍了诺尼尔管(NONEL)用的高精度 MS 延期雷管(FDG-1 雷管)。关于 FDG-1 雷管的主要方面,包括结构的选择、延期药、气室的控制、最佳装药密度、每米诺尼尔管的适宜炸药量、底部点火装药及主要规格。对 FDG-1 雷管的特性改进作了系统试验。试验方法是可靠的,它的精度符合使用要求。

### 4 硝酸铵颗粒的包覆及其吸湿性

《火炸药学报》2001,24(4),24-27(中文)

硝酸铵颗粒用偶合剂 Si-K 和聚合物(聚合物-B)包覆。包覆后,硝酸铵颗粒的吸湿性和结块倾向能有效地降低。

钟一鹏译自美国《化学文摘》

Vol. 136, No. 13 ~ 16(2002)