

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2018.01.007

30 t 级乳胶基质配送车的设计研究*

张小勇 周 宇 杨敏会 杜华善 陈红刚
中国葛洲坝集团易普力股份有限公司(重庆,401121)

[摘 要] 设计开发了乳胶基质配送罐车、复合保温系统及车载乳胶基质泵送系统,结合负载敏感液压技术及余料报警功能,避免了乳胶基质泵送过程中超压、空转,保证了卸料过程的安全性,提高了卸料效率,实现了操作的便捷性。利用有限元程序对承载式罐体结构进行了优化设计和受力分析,载运乳胶基质最高可达31 t以上。解决了乳胶基质大吨位、高效率、安全可靠配送的技术难题。

[关键词] 乳胶基质;配送;大吨位;安全;运输车

[分类号] TD235.2⁺1;TQ560

Design and Research of an Emulsion Matrix Delivery Vehicle with the Capacity of 30 Tons

ZHANG Xiaoyong, ZHOU Yu, YANG Minhui, DU Huashan, CHEN Honggang
Explosive Co., Ltd., China Gezhouba Group (Chongqing, 401121)

[ABSTRACT] Emulsion matrix delivery tanker vehicle, composite insulation system and vehicular emulsion matrix pumping system were designed and developed. With load sensing hydraulic technology and surplus material alarm function, overpressure and racing in emulsion pumping process were prevented, safety of unloading process was guaranteed, discharging efficiency was improved, and convenient operation was realized. Using the finite element program, structure of the bearing tank was optimum designed and its stress was analyzed. The maximum load of the emulsion matrix can reach more than 31 t. It has solved the technical problems to realize large-tonnage, high-efficiency, and safety for the delivering of emulsion matrix.

[KEYWORDS] emulsion matrix; delivery; large-tonnage; safety; delivery vehicle

引言

乳胶基质远程配送技术是国外现场混装爆破工程应用中的一项成熟技术,乳胶基质配送车能够实现乳胶制备与现场混装炸药相结合,是实现乳胶基质远程配送功能的关键设备^[1]。随着现场混装炸药技术的应用推广,现场混装乳化炸药在矿山、基建等爆破工程的需求逐年提升,对乳胶基质的需求越来越大。目前,国内部分民爆企业在国家倡导的民爆一体化政策鼓励下,开展了乳胶基质配送车的研制工作,研制生产的乳胶基质配送车装载量大多为15 t,且没有合理的泵送系统及伴热保温结构;而国外乳胶基质配送车装载量达到30 t以上;相比之下,显现出了国内乳胶基质配送车运行成本高、效率低

等缺点,严重制约了民爆一体化的发展。因此,设计与研制高装载量的乳胶基质配送车已成为民爆行业未来发展的要求。

乳胶基质是生产现场混装乳化炸药和现场混装重铵油炸药的主要半成品,联合国编码为UN. 3375^[2],可作为液态危险货物的5.1项氧化剂进行运输。公路运输时,乳胶基质必须取得有资质单位的检测报告,即按照联合国《关于危险货物运输的建议书——试验和标准手册》第五修订版系列8试验^[3,4]检验合格。承载式双锥半挂罐车具有重心低、运输安全的特点,且罐体自身能起到车架作用,有效降低整车装备质量、大幅提高运载量,因而承载式双锥半挂罐车是运输乳胶基质最有效的运载载体。

本文中,介绍了乳胶基质配送车罐体的设计,还设计了罐体的保温系统和卸料系统,以保证现场混

* 收稿日期:2017-06-29
作者简介:张小勇(1976-),男,工程师,主要从事工业炸药技术与装备方面的研究。E-mail:kaixinzy@163.com

装炸药的性能以及生产的便捷性。并利用商用程序对罐体的力学性能进行了数值分析。

1 乳胶基质配送车的设计

1.1 乳胶基质配送罐车

乳胶基质是一种非牛顿假塑性流体,当乳胶基质的剪切应力超过其屈服应力后,乳胶基质会流动,且其流动性为线性^[5-6];当乳胶基质的剪切应力小于其屈服应力时,乳胶基质无流动性。乳胶基质配送车如简单地采用普通罐体运载,乳胶基质配送车卸料时会出现无法将乳胶基质全部流出的现象。为保证乳胶基质在罐体内具有一定的流动性,罐体应具备一合适的锥角 φ 。为方便分析,将罐体看做一倾斜放置的大口径管道,对储存在锥罐内的乳胶基质取一乳胶基质圆柱单元进行受力分析(图 1)。

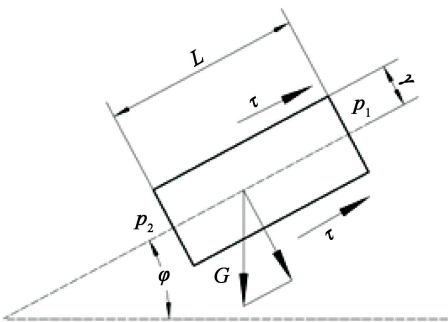


图 1 乳胶基质受力分析图

Fig. 1 Stress analysis of emulsion matrix

由图 1 可知,乳胶基质沿圆柱单元轴线流动时,其 p_1 与 p_2 压差公式如下:

$$p_1 - p_2 = \left[\left(\frac{32\eta_p v}{D^2} + \frac{16}{3} \cdot \frac{\tau_0}{D} \right) + \rho \frac{dv}{dt} + \rho g \sin\varphi \right] \cdot L. \tag{1}$$

式中: p_1 、 p_2 为乳胶基质圆柱单元两端的压强; η_p 为乳胶基质黏度系数; D 为管道直径; L 为乳胶基质圆柱单元流过管道长度; φ 为乳胶基质圆柱单元倾角; τ_0 为乳胶基质屈服应力; dv/dt 为乳胶基质流动速率; ρ 为乳胶基质密度。

从式(1)可知,乳胶基质流动与管径、乳胶基质流动速率、乳胶基质圆柱单元倾角等有关。在乳胶基质实际流动时,往往是按一个恒定速率流动,即 $dv/dt = 0$,由此可知,当罐体倾角越大,乳胶基质越容易流动。同时,为取得乳胶基质屈服应力 τ_0 ,采用 R/S + 流变仪(图 2)对乳胶基质进行了屈服应力流变试验,取得了乳胶基质屈服应力 $\tau_0 = 29 \text{ Pa}$ (图 3),即当乳胶基质受到的剪切应力大于屈服应力 τ_0



图 2 R/S + 流变仪

Fig. 2 R/S + rheological

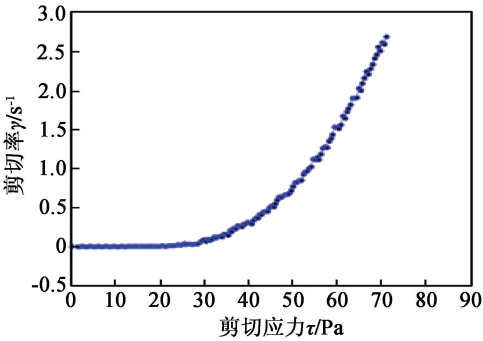


图 3 流变特性数据——屈服应力

Fig. 3 Data of rheological properties—yield stress

$= 29 \text{ Pa}$ 时,乳胶基质就会流动。

为使乳胶基质配送车具有较高的经济性,即在符合国家道路运输相关法规、标准的情况下,每次运输的量尽量达到最大,同时,为防止运输过程发生翻车,整车重心在可正常行驶的结构基础上保证最低。据此设计开发了牵引车拖挂双锥罐式半挂车的乳胶基质配送车结构形式(图 4)。该罐车采用轻量化、双锥罐体结构(图 5),在充分降低整车重心的基础上充分利用双锥罐体的强度、刚度,将一般半挂车具有的牵引车架省略,由双锥罐体承担牵引车架,半挂车的纵向载荷完全可以由罐体来承担。这种由罐体作为车架一部分的结构,其罐体除作为容器外,还起车架作用,有效减少了整车装备质量。由于省去



图 4 乳胶基质配送车

Fig. 4 Emulsion matrix delivery vehicle

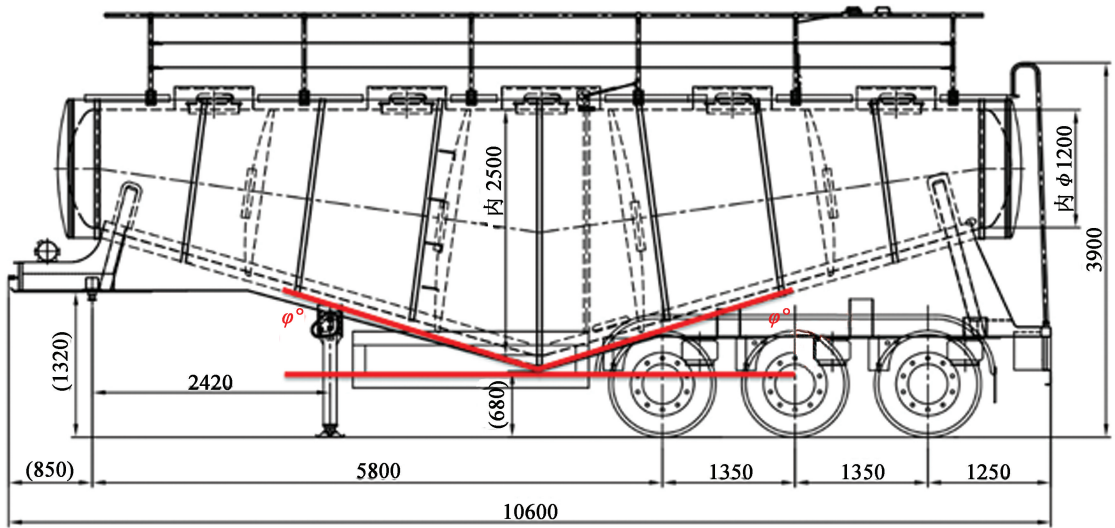


图 5 双锥罐体
Fig. 5 Double cone tanks

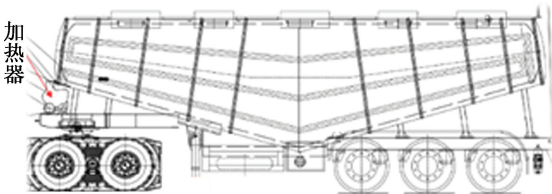
了车架部分质量,所以,在总质量一定的情况下,装载质量要比普通罐车大,整车可运载乳胶基质 30 t 以上。

1.2 乳胶基质配送车复合保温系统

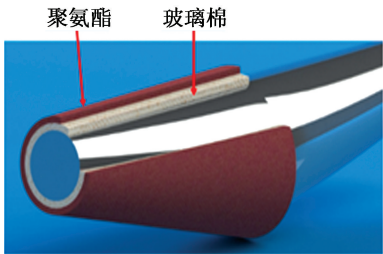
图6为热水伴热加物理隔热的复合保温系统。



(a)加热器



(b)热水伴热循环管路图



(c)复合保温结构

图 6 复合保温系统

Fig. 6 Heat and thermal insulation system

乳胶基质是一种油包水型乳化液,是一种不稳定的热力学体系。在温度下降时,不仅黏度会变大,而且短时间内敏化密度难以满足生产标准,直接影响现场混装乳化炸药的性能。因而,乳胶基质在配送时应具有保温系统,据此设计了乳胶基质的复合保温系统,即设计了热水伴热加物理隔热的复合保温系统。保温材料的性质见表 1。

表 1 保温材料性质

Fig. 1 Property of thermal insulation material

隔热材料	最高使用温度/ ℃	推荐使用温度/ ℃	使用高度/ (kg · m ⁻³)	导热系数 参考公式/ [W · (m · °C) ⁻¹]
聚氨酯		≤110	30 ~ 60	$\lambda = 0.024 + 0.00014T_m$
离心玻璃棉	350	300	≥45	$\lambda = 0.031 + 0.00017T_m$
硅胶 铝棉		≤400	64	$\lambda = 0.042 + 0.0002T_m$

实施方式是在罐车前端安装一个热水加热装置,双锥罐外壁布置热水循环伴热管道,利用循环泵使热水在伴热管道内循环流动,补偿双锥罐内乳胶基质损失的热量;同时,在伴热管外敷设玻璃棉及聚氨酯复合保温结构,有效利用玻璃棉较高的耐热性及聚氨酯较低的导热性,保证更好的绝热效果。

伴热和复合保温系统减少了乳胶基质配送车在长距离运输过程中的热量损失,在冬季低温情况下,使乳胶基质温度的波动范围控制在 2 ~ 4 °C (12 h) 之间,乳胶基质温度保持在合理范围内,保障了生产炸药的性能,解决了乳胶基质长距离运输中的保温

难题。

1.3 乳胶基质配送车卸料系统

为提高乳胶基质配送车卸料效率,实现操作的便捷性,设计了两种卸料方式,即泵送卸料和重力卸料,并可由设置在同一回路的气动球阀自由切换。泵送卸料时,流量可达每小时 50 m³,扬程可达 20 m,泵送效率高,操作便捷;同时,也可在具有较好地势高差的环境采用重力卸料,不需要消耗动力,节能环保,如图 7 所示。

泵送系统主要由橡胶凸轮转子泵(图 8)及负载敏感液压系统组成。橡胶凸轮转子泵在运转过程中,由驱动齿轮和从动齿轮带动两个相互啮合的橡胶转子转动,形成变化的容积,转子与转子、转子与

泵体之间保持一定间隙的无滑动摩擦;同时,凸轮转子运行转速低、排量大,有效地避免了可能产生的乳胶基质热累积,与螺杆泵相比,泵送安全可靠,卸料效率高。

为保障泵送安全,设计了防止泵空转的安全措施——余料报警系统,即在罐体底部容积约 2 m³ 处设置电容式物位计(图 9)。通过电控控制系统实时监测罐体内剩余的物料,当卸载物料少于 2 m³ 时发出声光报警,有效提醒操作人员罐车物料已接近泵送完成,促使卸料人员按卸料操作工艺完成卸料停机工作。

1.4 整车参数

乳胶基质配送车整车尺寸:长 14.84 m,宽 2.5

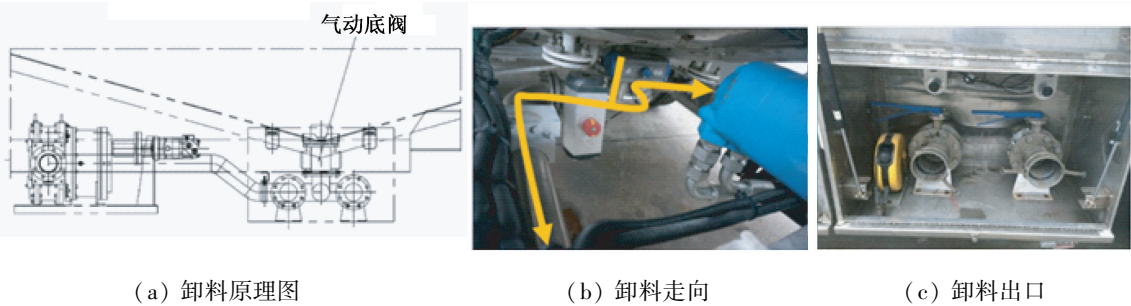


图 7. 卸料系统

Fig. 7 Unloading system

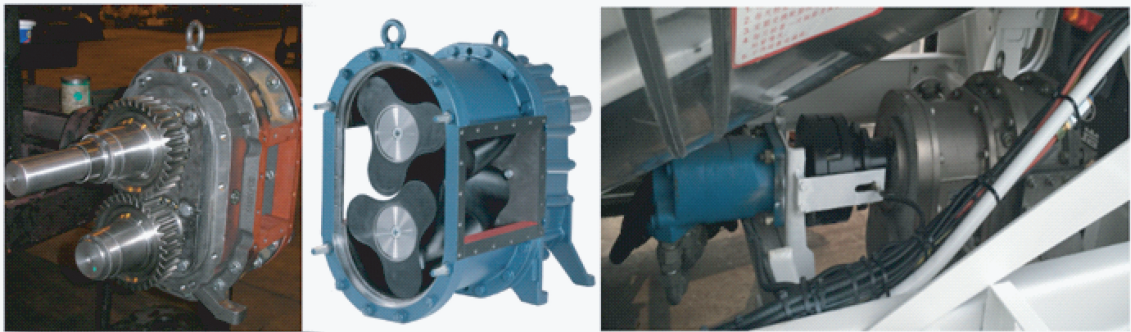
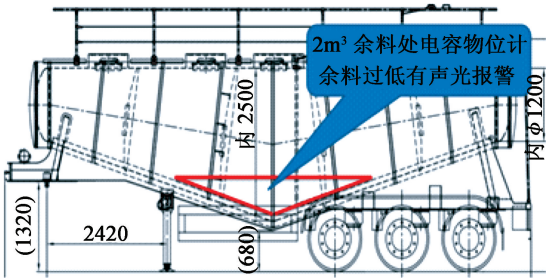


图 8 橡胶凸轮转子泵

Fig. 8 Rubber CAM rotor pump



(a) 原理图



(b) 实物图

图 9 余料报警系统

Fig. 9 Surplus material alarm system

m,高 3.9 m;罐车装载质量 31.8 t;卸料效率可以达到 700 kg/min。

2 基于有限元数值模拟分析乳胶基质配送车罐体

2.1 模型及材料的选择

罐体使用 ANSYS 进行有限元分析,采用 MESH200 单元建模。罐体、封头和防浪板的材料是 304,前、后车架支座等材料是 Q345A,材料机械性能见表 2。

2.2 计算模型边界条件

为模拟罐体结构与周围其他结构之间的受力作用,悬架和牵引销处采用固定约束。

2.3 计算工况

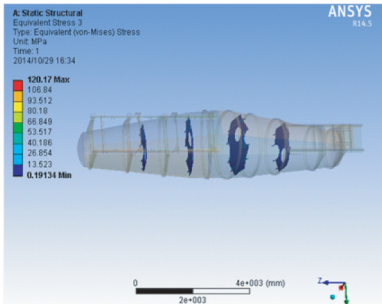
数值分析载荷以罐车 31.8 t 满载进行计算,按

- 照国家标准^[7-8],各种工况如下:
- 1)沿行驶方向,即纵向:双倍的总质量;该方向上作用的载荷即车辆行驶过程中紧急制动时产生的冲击载荷。
 - 2)与行驶方向成直角,即横向:单倍的总质量;该载荷为车辆行驶过程中急速转弯时产生的离心载荷。
 - 3)垂直向上:单倍的总质量;该载荷为车辆高速行驶过程中遇到突起的路面时产生的载荷。
 - 4)垂直向下:双倍的总质量;该载荷为车辆高速行驶过程中遇到路面凹坑时产生的载荷。

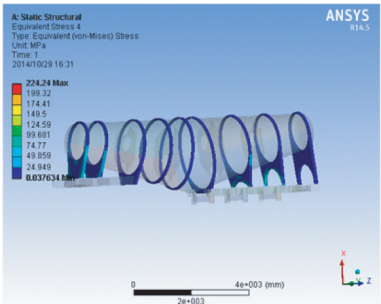
2.4 计算结果

根据表 2 材料建立的力学模型,对其加上载荷和边界条件后,用 ANSYS 有限元软件进行计算求解,得到各工况下罐体结构的应力图,如图 10 所示。图 10 中,应力单位为 MPa,Max 表示最大应力,Min 表示最小应力。

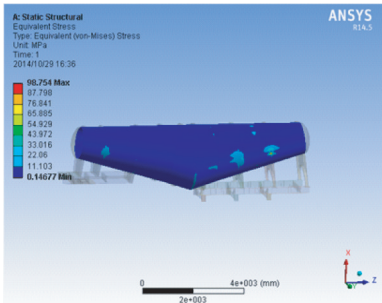
表 2 材料机械性能						
Tab.2 Mechanical properties of materials						
材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$)	弹性模量/ MPa	最小抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	泊松比	许用应力/ MPa
304	7.93×10^{-6}	2.00×10^5	515	205	0.33	153.75
Q345A	7.85×10^{-6}	2.06×10^5	509	345	0.33	258.75



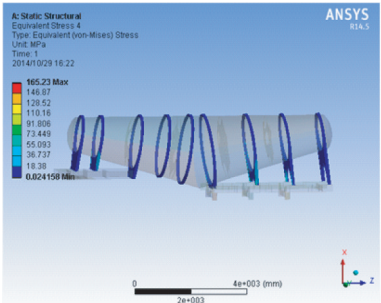
(a)纵向双倍总质量



(b)横向单倍总质量



(c)垂直向上单倍总质量



(d)垂直向下双倍总质量

图 10 各种工况下罐体的应力图

Fig. 10 Stress diagram of the tanker under various working conditions

最大应力分别发生在防浪板结构处及支座部分,分别为 120.17 MPa 和 224.24 MPa,均小于材料的许用应力(见表 2),在材料允许范围内,能够满足要求。

计算结果表明:罐车装满 31.8 t 乳胶基质,罐体考虑上述静态及动态载荷的影响时,其结构强度满足设计要求。

3 结 论

1) 基于乳胶基质流变特性的研究,确定了可使乳胶基质顺畅流动的双锥体参数;基于有限元分析,开展了承载式罐体结构的优化设计,既减少了车身质量,又有效提高了装载量,载运乳胶基质最高可达 31 t 以上。乳胶基质配送车现已实现工业化试验,其载运乳胶基质最高可达 32 t,解决了乳胶基质大吨位、高效率、安全可靠配送的技术难题。

2) 设计研发了车载乳胶基质泵送系统,结合负载敏感液压技术及余料报警功能,避免了乳胶基质泵送过程中的超压、空转,保证了卸料过程的安全,并提高了卸料效率,实现了操作的便捷性。

3) 设计研发了玻璃棉和聚氨酯的复合保温结构,减少了乳胶基质运输过程中的热量损失,保证了乳胶基质温度控制要求,节能环保,更好地适应了远程配送。

乳胶基质配送车对现场混装爆破作业技术的发展意义重大,符合民爆行业产业政策和技术发展方向,为民爆行业发展现场混装一体化服务模式提供了硬件支撑;同时,通过应用该车提升了炸药性能和爆破效果,对提高工程质量具有重要意义,社会、经济效益显著,应用前景广阔。

参 考 文 献

[1] 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 H B. Research on related techniques of long-distance delivering system of emulsion matrix[J]. *Blasting*, 2010, 27(2):88-91.

[2] United Nations Economic Commission for Europe. European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road:(ADR)[S]. Geneva:UN. ECE, 2001.

[3] 联合国. 关于危险货物运输的建议书:规章范本[S]. 纽约和日内瓦, 2009.

[4] Headquarters Departments of the Army, the Navy, the Air Force, and the Defense Logistics Agency. Department of Defense Ammunition and Explosives Hazard Classification Procedures: TB700-2/NAV SEAINST 8020. 8B/TO11A-1-47/DLAR8220. 1[R]. Washington D C, 1998.

[5] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2 版. 北京:冶金工业出版社, 2008:269-270.

WANG X G. Emulsion explosives[M]. 2nd ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008:269-270.

[6] 綦海军, 明刚, 刘再强, 等. 乳胶基质管路的压力降研究与安全分析[J]. 爆破器材, 2016, 45(2):50-55.

QI H J, MING G, LIU Z Q, et al. Research on pressure drop and safety in transport of emulsion matrix[J]. *Explosive Materials*, 2016, 45(2):50-55.

[7] 赵伦峰, 成凯, 燕伟华, 等. 半挂液罐车罐体结构强度和刚度有限元分析[J]. 专用汽车, 2003(4):9-11.

ZHAO L F, CHENG K, YAN W H, et al. The finite element analysis for its intensity and toughness about tank of liquid tank semitrailer[J]. *Special Purpose Vehicle*, 2003(4):9-11.

[8] 道路运输液体危险货物罐式车辆第 1 部分:金属常压罐体技术要求:GB18564.1—2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.

Road tanker for dangerous liquid goods transportation-part 1: technical requirements of atmospheric pressure metal tank: GB18564. 1—2006 [S]. Beijing: China Standard Press, 2006.