

天然气集卡车载LNG气瓶防冻技术改造分析

陈 瑞

宁波港集装箱运输有限公司 浙江 宁波 315000

摘 要:随着我国汽车产业的逐渐发展,为响应国家节能减排号召,天然气集卡数量逐渐提升,相较于柴油集卡,天然气具有更高的经济效益。港口行业在天然气集卡的使用上走在相对前列,随着天然气集卡在集装箱码头作业中广泛投入使用,安全、降耗一直是主要攻关的课题之一。近几年通过不断规范操作方法等措施较有成效,但同时也发现天然气集卡长时间运行后车载LNG气瓶阀件区域结冰现象愈发严重,驾驶员需将车开到指定地点,人工热水冲冰,存在一定的安全隐患,也影响了天然气集卡作业效率,“LNG气瓶结冰”现象成为关注的焦点。本文从天然气集卡运行原理、使用场景以及车载LNG气瓶安全阀结构等方向展开分析,在此基础上研究其解决对策,提出车载LNG气瓶防冻技术改造方案。

关键词:天然气集卡;车载LNG气瓶;结冰;防冻

前言

随着我国社会经济和科学技术的不断发展,国家对环境保护日益重视,液化天然气作为一种安全、清洁、经济、高效的燃料,因其良好的经济性和安全性等特征,在交通运输行业得到了广泛应用,我公司天然气集卡从最初的二十辆发展到五百多辆,天然气集卡占比接近50%。

1 天然气集卡的发展

据相关资料显示,我国的天然气(LNG)汽车产业从2003年开始起步发展,随着技术的不断发展和政策的支持,天然气汽车产量增长迅速。2020年,我国天然气重卡全年销量首次突破10万辆,刷新了年销量的历史记录。受疫情和宏观经济影响,2021年以来国内天然气汽车销量逐年下滑,2022年销量约4.6万辆。国内重卡市场头部企业陕西汽车集团有限责任公司、中国重汽集团济南特种车有限公司、安徽华菱汽车股份有限公司、安徽江淮汽车股份有限公司商用车公司等纷纷推出天然气重卡。经过近些年持续的研发投入和市场应用,天然气重卡技术逐渐成熟,如中国重汽集团技术发展中心动力设计院研发推出的MC07、MT07、WD615系列天然气发动机产品覆盖了220马力和380马力的功率段,充分满足了中重型载重货车的各种需求。潍柴动力开发的WP5NG、WP6NG、WP7NG、WP10NG、WP12NG等车用气体发动机产品系列,功率覆盖120-280千瓦,广泛应用于城市公交、公路客车、重型卡车等各个领域,并出口到多个国家和地区。随着车辆续驶里程的增加、加气站建设的布局完善,天然气重卡的行驶半径进一步增大,并逐渐形成天然气加注站网络化的格局,天然气重卡得到越来越

多用户的认可。

2 天然气集卡车载 LNG 气瓶的运行原理

天然气集卡LNG车载气瓶是指天然气集卡储存LNG的高真空绝热容器,由内胆、外壳、绝热结构、支撑系统和刚性组件等组成;内胆用来储存低温液态的LNG,内部有加注喷淋管、液位探头等;车载LNG气瓶设计有双层(真空)结构,在其外壁缠有多层绝热材料,具有超强的隔热性能,同时两层容器之间的空间被抽成高真空,形成良好的绝热系统;外壳保护内胆并对整个瓶体起支撑作用,具有高强度及良好绝热性能的支承系统将内胆悬挂在外壳之内。当天然气集卡工作时,车载LNG气瓶中的液化天然气在自身压力作用下,从液体管道中流出,经燃料切断阀和过流阀进入汽化器内被加热气化,进入发动机燃烧室供发动机使用产生动力。

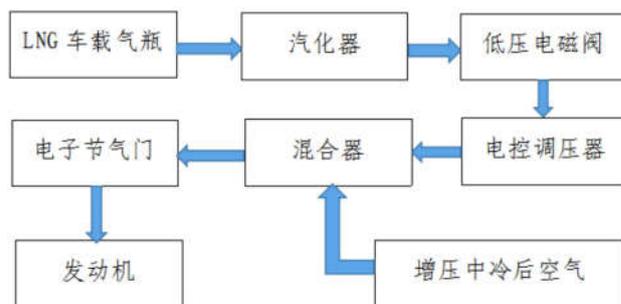


图1 LNG结构工作流程图

3 港口应用场景中存在的问题

港口应用场景中集卡主要以短驳作业为主,每辆集卡日平均行驶里程在200公里左右,经过近些年技术发展,天然气集卡发动机和整车技术已基本成熟,由于LNG是以超低温液态储存,加气站的建设也相对灵

活，天然气价格相对柴油价格优惠很大，有一定的经济性，因此天然气集卡在港口生产作业中应用较为广泛，目前我公司天然气集卡占比达到近五百台。然而由于LNG的低温特性，在冬天寒潮来临时，码头面气温极低、空气湿气重，天然气集卡长时间运行后，LNG车载气瓶相关部件极易结冰，带来较大的安全隐患，同时也影响动力输出，造成天然气损耗。为了减少安全隐患、降低影响，改造前采用热水冲冰的方式来解决，不仅影响了天然气集卡的生产效率，也造成燃料和水资源的浪费。

4 原因分析

天然气集卡动力燃料是液态天然气（液态温度-162℃），该燃料储存在抗低温的车载LNG气瓶内。天然气集卡发动机工作时液态天然气经过汽化后进入发动机缸内燃烧从而提供集卡动力，由于液态天然气的低温特性，在流经车载LNG气瓶端部的汽化管道和阀件时会导致该区域温度急速下降，空气中的水分在此区域遇冷后极易结冰，出现结冰、积霜现象，在低温阴雨天气尤为严重。随着发动机运行时间的延长，冰霜会逐渐覆盖住出液阀、安全阀等，使出液阀无法关闭、安全阀无法有效泄压或是在泄压到指定压力后内部组件无法复位致使连续泄压，一方面造成安全阀保护失效或燃气泄漏带来较大安全隐患，另一方面持续泄压排气导致LNG燃料供给压力不足影响发动机动力输出，也造成天然气的损耗。

5 技术方案

5.1 要解决的技术问题

设计一种结构简单、安装方便、节能环保，解决车载LNG气瓶出液管道阀件附近积冰过量，降低安全隐患的装置。

5.2 技术改造方案

根据水的凝固原理，若能保证结冰区域温度持续高于水的凝固点，就能防止车载LNG气瓶结冰。而天然气集卡启动后，发动机需要通过冷却系统不断进行散热，如能利用发动机冷却系统散发的热能在车载LNG气瓶易结冰区域搭建一个热交换装置，即可提高易结冰区域温度，达到防止车载LNG气瓶结冰的目的。为验证可行性，选取两台结冰现象较为严重的天然气集卡进行技术改造，使用中空的硅胶水管一端连接外部发动机的出水口，另一端连接外部的散热器/膨胀水箱的进水口，并依次绕经车载LNG气瓶主安全阀、副安全阀和出液阀等区域（见图2），将发动机的热废水通过中空的硅胶水管导热至车载LNG气瓶的几处关键阀件上，降低阀件积冰的可能性。初次试验因热交换装置所引出的热能不够，除冰效果不明显。通过分析改进“加大热交换装置的管道

内径、将热交换装置结构改为螺旋式结构并将硅胶水管替换为铜管”，防冻成效显著。

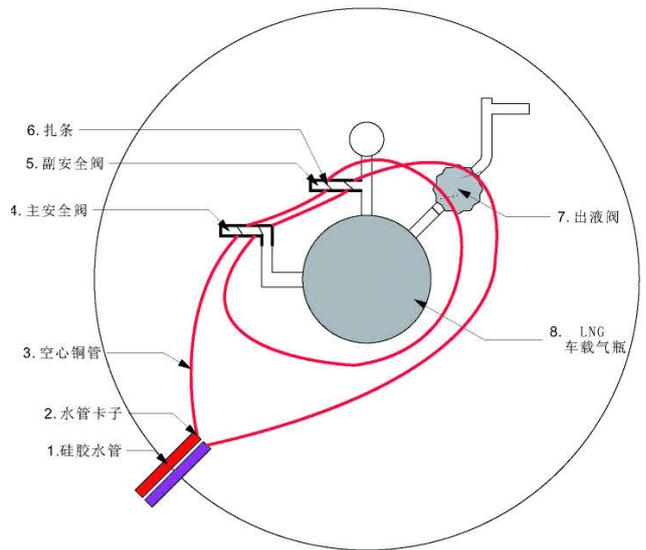


图2 热交换装置示意图

5.3 模型设计、方案实施

根据改造后的天然气集卡运行情况，最终确定天然气集卡车载LNG气瓶“防冻”装置实施方案为：利用中空铜管将热交换装置进水端与发动机散热水管连接（发动机端见图3），热交换装置出水端与水箱连接，以确保冷却液的循环。

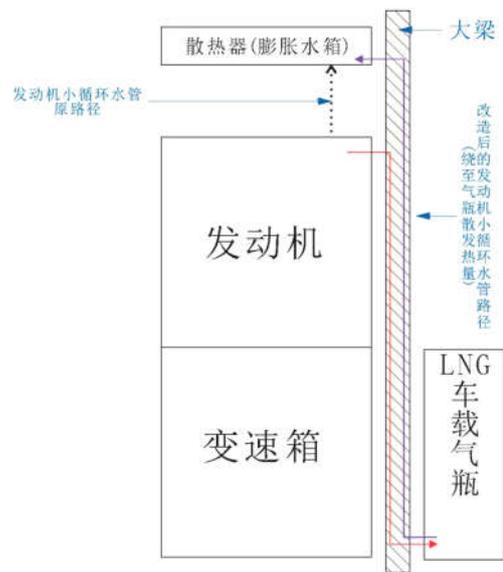


图3 发动机端

在缠绕中空铜管时，将中空铜管依次绕经主安全阀、副安全阀和出液阀，通过扎带进行定位固定（气瓶端见图4）；同时为加强防结冰效果，将热交换装置设计成螺旋结构，加大热交换面积。天然气集卡启动后，利用水泵产生的压力将冷却液压入热交换装置中，中空铜

管能够将外部发动机的“热废水”通过铜管导热至主安全阀、副安全阀和出液阀附件，避免因长时间工作，使主安全阀、副安全阀和出液阀部位出现结冰、积霜的现象，避免出现出液阀无法关闭，主安全阀和副安全阀无法有效泄压或是在泄压到指定压力后内部组件无法复位致使连续泄压，造成资源的浪费，产生安全隐患，整体的结构简单，能够有效利用发动机产生的废热，将其引导至车载LNG气瓶的几处关键阀件上，使阀件不再受积冰影响而产生安全隐患，延长了车载LNG气瓶的使用寿命。

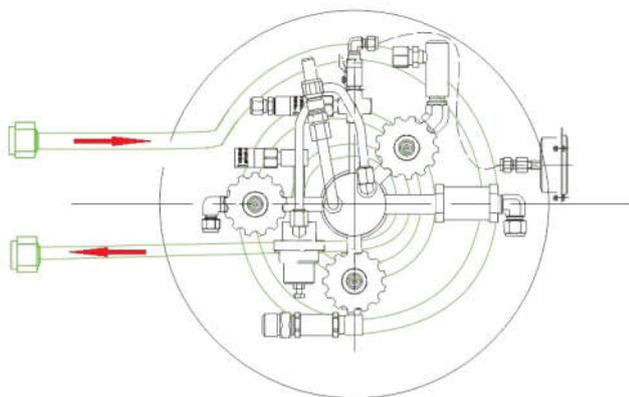


图4 气瓶端

6 效果验证

热交换装置设计方案论证完成后，我公司对首批天然气集卡进行技术改造，跟进发现改造后的车载LNG气瓶结冰范围明显缩小，安全阀区域不再结冰（见图5），确保气瓶各项关键阀件地有效运转。为确保技术改造的安全性，我公司邀请天然气集卡生产厂家技术专家来公司进行技术论证，现场对防冻技术改造方案的安全性、实用性等方面进行了测试，经过结果对比分析，最终成功验证了热交换装置的材料、结构设计、安装方法等技

术方案的科学性。



图5 改造前后LNG气瓶阀件附近结冰情况

7 结束语

本文针对天然气集卡在港口码头应用场景中，长时间作业后出现的车载LNG气瓶结冰现象，经过分析、研究，在不改变天然气集卡原有动力传动系统的情况下，提出了一种结构简单、较为合理的且具有一定经济性的技术方案，通过设计加装一种热交换装置，利用集卡发动机运转产生的“废热”，有效地提升车载LNG气瓶关键阀件附近的温度，使阀件不再受积冰影响而产生安全隐患。通过在实际作业过程中的跟踪验证，车载LNG气瓶结冰问题得到有效缓解。

参考文献

- [1] 宁波港集装箱运输有限公司,专利号CN201821843812.2《一种出液管道带防冻功能的车载LNG气瓶》
- [2] 陈昊,韩斌,陈轶嵩,等.著.《天然气汽车发展现状及趋势》
- [3] 李恩光,李毓,冯美宁,赵航,吴丹,等.著.《天然气重型货车节能技术发展路径分析》
- [4] 焦运景.著.《天然气发动机系统优化设计》