

# LNG 低温冷藏车在我国的发展优势

谭宏博 厉彦忠 程向华 田宝聪

(西安交通大学制冷与低温研究所)

谭宏博等. LNG 低温冷藏车在我国的发展优势. 天然气工业, 2007, 27(6): 120-122.

**摘要** 我国每年有大量的易腐货物浪费在运输途中, 大力发展冷藏运输业、提高公路冷藏货物运输比例势在必行, 开展节能环保型冷藏车研究具有重大意义。在总结我国冷藏车发展现状和趋势的基础上, 提出发展利用液化天然气气化复温过程所释放冷量制冷的 LNG 冷藏车, 分析 LNG 作为冷藏车燃料和 LNG 为冷藏车提供冷量的可行性和优越性。结果表明: LNG 冷藏车具有清洁环保和节约能源的双重优点, LNG 气化复温所提供的冷量能够满足冷藏车制冷量需求, 节能效果明显, 具有显著的经济和社会效益。

**主题词** 液化天然气 冷藏车 冷量回收 节能

目前我国年产肉类食品 7260 万吨、水果 6100 万吨、水产品 4855 万吨、速冻食品 1000 万吨、冷饮 1000 万吨、奶制品 600 万吨、蔬菜 5.6 亿吨。但由于相关技术落后, 致使每年有近 100 万吨的水果腐烂变质或贬值处理, 捕捞的鱼类约 407 万吨烂掉, 30% 的蔬菜在中转运输和存放中腐烂损坏, 损耗和浪费每年高达 750 亿元。目前发达国家上述产品的冷藏运输率已超过 50%, 其中美国、日本、西欧等国家和地区超过 80%, 而我国只有 18% 左右<sup>[1]</sup>。我国冷藏运输行业现状远不能满足低温物流市场的巨大需求。公路冷藏运输以其机动灵活、方便快捷等特点, 成为易腐货物运输的重要组成部分, 发达国家公路冷藏货物运输比例已达 65%~85%, 而我国仅为 25%<sup>[1]</sup>。据估计, 2001~2010 年我国易腐货物年运输量将从 1900 万吨增至 7500 万吨, 公路冷藏运输比例也将逐步提高, 冷藏车市场需求将迅速增长。有资料显示: 今后 3~5 年, 我国冷藏保温车有望达 10~15 万辆。在这种形势下, 开展节能环保的新型冷藏车研发具有重要的现实意义。

## 一、我国冷藏车的现状和发展趋势

文中冷藏车特指具有隔热结构车厢, 且可以使车厢内温度达到 0℃ 以下的专用汽车。按照制冷方式不同, 冷藏车可分为机械冷藏车、冷板冷藏车、液氮(LN<sub>2</sub>)冷藏车和干冰冷藏车等。

机械冷藏车专门配备一套机械制冷装置提供冷量, 是目前主流冷藏车形式。制冷系统由压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器组成, 工作原理为蒸气压缩制冷, 压缩机经传动机构由汽车发动机驱动。目前, 机械冷藏车主要在制冷机组方面开展新技术的研发, 采用中冷器的螺杆压缩机技术在移动装置上的应用、节流阀采用恒压膨胀阀等技术, 大大提高了机械冷藏车的性能<sup>[2]</sup>。

冷板冷藏车是利用冷板内的相变材料相变蓄冷, 为车厢提供冷量, 有整体式和分体式之分。所谓整体式即动力装置、制冷装置和蓄冷板均置于车上, 可自主启动制冷机组为蓄冷板“充冷”。分体式则需要在地面动力源启动制冷机组为蓄冷板充冷。目前对冷板冷藏车的研究主要集中在冷板放热时间的影响因素<sup>[3]</sup>、冷板换热特性及冻结特性研究等方面<sup>[4]</sup>。

LN<sub>2</sub> 冷藏车和干冰冷藏车都是利用物质相变吸热的原理, 需要定期加注相变工质。此类冷藏车具有制冷量大、降温迅速及控温精准等特点, 具有广阔的发展前景。一些学者开展了 LN<sub>2</sub> 喷淋量、喷淋时间及其传热系数研究<sup>[5]</sup>, 整车性能的实验研究<sup>[6]</sup> 及以液态 CO<sub>2</sub> 为工质的低温冷藏车的研制<sup>[7]</sup>。

目前我国冷藏车以机械冷藏车为主要形式, 其他形式冷藏车市场占有率小。研究主要朝着厢体绝热性能优化、新制冷方式研究和新厢体结构研制三

**作者简介:** 谭宏博, 1982 年生, 博士研究生; 研究方向为 LNG 冷能回收。地址: (710049) 陕西省西安市。电话: 13759994011。E-mail: tanhongbo@stu.xjtu.edu.cn

大方向发展。“十一五”规划中明确提出要“发展循环经济”，“加快建设资源节约型、环境友好型社会”，因此大力发展节能、环保型冷藏车、改善我国冷藏运输业现状，减少易腐货物在运输途中的浪费应该得到更多的关注。以 LNG 为冷媒和动力的 LNG 冷藏车正是一种在总结各种冷藏技术基础上发展起来的顺应趋势的理想车型。

## 二、LNG 冷藏车的工作原理

LNG 冷藏车是以 LNG 为动力燃料，并利用 LNG 气化复温过程中所释放冷量制冷的低温运输专用汽车。在 LNG 冷能性质及其综合利用的研究基础上，笔者提出一套 LNG 冷藏车流程方案（见图 1）。

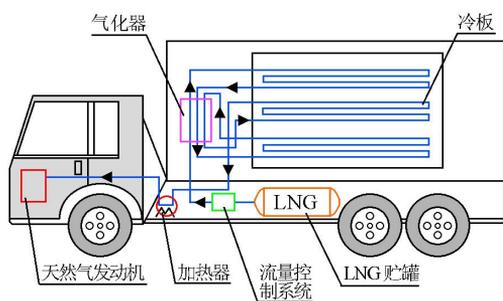


图 1 LNG 冷藏车工作原理示意图

LNG 在贮罐压力作用下从贮罐送出，经流量控制系统进入气化器中，被从冷板返回的天然气加热气化为低温天然气后，进入充满蓄冷介质的冷板，使冷板蓄冷后自身温度升高；之后进入气化器中降温，从气化器出来的低温天然气再次进入冷板吸热升温，如此反复一次，最后从冷板中出来的天然气经加热器加热至送气温度后，送入天然气发动机中燃烧。

该冷藏车采用天然气气化 LNG，避免了水浴式或空温式气化过程中遇到的冻结、结霜问题，改善换热状况。此外，以低温天然气为制冷介质，使冷板中的蓄冷剂相变蓄冷，保证厢内温度相对恒定，为低温运输的易腐货物提供了理想的温度环境。

## 三、LNG 冷藏车的发展优势

近来，数座大型 LNG 接收终端和液化工厂相继建成投产，拉开了我国 LNG 工业迅猛发展的序幕。作为 LNG 产业链中重要的一环，LNG 汽车也倍受关注，北京 2008 年“绿色奥运”也将成为其快速发展

的契机。在此形势下，兼节能、环保于一身的 LNG 冷藏车更应受到业界的关注。

### 1. LNG 作为冷藏车燃料的优势

在石油资源紧缺、油价飞涨的今天，替代燃料汽车的研究得到长足发展。从经济性和技术可行性考虑，天然气汽车是目前最具优势的替代燃料汽车，压缩天然气汽车 (CNGV) 和液化天然气汽车 (LNGV) 是其最主要的两种形式，众多科研机构对二者的优劣进行了比较<sup>[8-10]</sup>。

#### (1) LNGV 环保性能更好

由于 LNG 在低温下液化，且经净化处理，不含重烃、硫、氮等杂质，因此其燃烧无黑烟、气缸内无积炭，燃尽后无焦油和灰渣。其有害气体排放量更低，可以达到欧洲 III 标准，因此被誉为真正的绿色汽车。

#### (2) LNGV 经济性更明显

LNG 能量密度大 (约 17.1 MJ/kg)，存储密度是标准状态下的 600 多倍，一次加注行驶里程是 CNGV 的 2~2.5 倍。因此，LNG 所需加注站数量比 CNG 的少，且因为没有体积庞大的天然气压缩机，建站投资更小。LNG 贮罐为多层真空绝热，比 CNG 贮罐重量轻，占汽车有效载荷更少。LNGV 可回收利用 LNG 冷量，更具经济性。此外，LNG 加注站对 LNG 气化提压后可直接加注给 CNGV，可以缓解 CNG 加气站不足的现状。

鉴于以上优点，LNG 燃料汽车在美国已经成功应用于大型集装箱卡车、公交车、垃圾运输车。我国已在北京、乌鲁木齐、长沙、武汉等城市开展了 LNG 公交车试点工作。2008 年北京奥运会有望成为 LNGV“井喷”的起点，届时也将拉动 LNG 冷藏车的快速发展。

### 2. LNG 为冷藏车提供冷量的优势

笔者在对 LNG 低温冷能进行分析基础上<sup>[11,12]</sup>，将 LNG 冷能利用分为冷量利用与动力利用两类。从热力学角度分析，LNG 冷能的动力回收 (即利用其冷量驱动做功) 更科学，然而对于冷藏车，耗气量较少，相对于汽车发动机的功率而言冷量焓比例太小，回收利用投入成本过大。因此，LNG 的冷量回收是 LNGV 上冷能利用的可行方案。

假定 LNG 为纯甲烷，且为贮存压力为 0.4 MPa 的饱和液体，饱和温度  $T_s = 131.5 \text{ K}$ ，冷藏温度为  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ，从冷板出来的天然气温度 ( $T_{\text{out}}$ ) 取为  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。LNG 可回收冷量 ( $q_p$ ) 为：

$$q_p = r + C_p(T_{\text{out}} - T_s) \quad (1) \quad \text{回收冷量}(q_p)\text{为 } 718 \text{ kJ/kg.}$$

式中： $r$ 为气化潜热； $C_p$ 为天然气定压比热；求得可

相关文献<sup>[13]</sup>推荐冷藏车制冷量参照表1。

表1 冷藏车制冷量参照表

车厢容积(m <sup>3</sup> )							聚氨酯厚度 (mm)
7	10	13	18	23	28	35	
1.5~2.5 kW	2.0~3.5 kW	2.2~3.8 kW	3.05~4.0 kW	3.4~4.0 kW	3.4~4.3 kW	3.6~4.5 kW	50
1.3~2.4 kW	1.5~2.4 kW	1.8~2.85 kW	2.0~3.15 kW	2.2~3.55 kW	2.5~3.7 kW	2.95~4.0 kW	75
1.0~2.05 kW	1.0~2.1 kW	1.5~2.6 kW	1.5~2.8 kW	1.8~3.0 kW	2.0~3.0 kW	2.2~3.6 kW	100

注：车厢内温度均为-17.8℃。

大型冷藏车耗油量约为30 L/h,换算成天然气大约为22.9 kg/h,则其制冷能力( $Q_0$ )为:

$$Q_0 = q_p \cdot m = 718 \times 22.9/3600 = 4.56 \text{ kW} \quad (2)$$

计算可知LNG气化复温过程所释放冷量能够满足冷藏车制冷量需求。这一冷量的获得仅是由换热装置实现,无运动部件,无须从外界输入能源,节能效果显著。

与传统的机械冷藏车和冷板冷藏车相比较,LNG冷藏车的冷量完全来自于LNG气化复温过程,不需要利用发动机驱动压缩机制冷,也省去了冷凝器与膨胀阀,使制冷系统简化为几个简单的换热器,设备初期投资大大减小,运行费用也将降低。尽管LNG冷藏车制冷原理与LN<sub>2</sub>、液态CO<sub>2</sub>冷藏车相似,然而LNG是冷藏车的燃料,因此无须为相变低温液体单独设置贮罐和管路系统,这使冷藏车结构更简单。

## 四、结 论

根据我国冷藏车发展现状和趋势分析,发展LNG冷藏车符合我国建设资源节约型、环境友好型社会的趋势。LNG冷藏车清洁环保,排放性能优于目前汽、柴油燃料冷藏车;LNG气化复温过程释放冷量可以满足冷藏车制冷量需求。LNG冷藏车既对环境友好,又节省能源,经济和社会效益明显。

## 参 考 文 献

[1] 中国汽车新网.分析报告:重型专用汽车市场发展形势分析[EB/OL].[2006-09-12].<http://www.qiche.com.cn/>

files/200609/12031.shtml.

- [2] 于政道.冷藏车新技术的发展与应用分析[J].专用汽车,2003(2):14-15.
- [3] 陈焕新,朱先锋,刘国丰,等.冷板冷藏车放冷时间影响因素探讨[J].制冷,2005,24(1):66-70.
- [4] 杨培志,刘向龙.冷板冷藏车内冷板换热性能的研究[J].制冷与空调,2006,6(1):51-53.
- [5] 和胡涛,梁荣光.液氮喷淋冷藏运输中液氮喷淋量,喷淋时间及传热系数的计算[J].冷藏技术,1997,79(2):1-4.
- [6] 张玉文,田怀璋,袁秀玲.冷藏运输汽车采用液氮喷淋技术的实验研究[J].深冷技术,2001,3:6-8.
- [7] 严嘉,童明伟,臧仁德.液体CO<sub>2</sub>在毛细管中质量流量特性的实验[J].重庆大学学报,2005,28(2):47-50.
- [8] 王强,厉彦忠,张哲,等.LNG在汽车工业中的发展优势[J].天然气工业,2002,22(5):93-96.
- [9] PEREDEL SKII V A, LASTOVSKII YU V, DARBIN-YAN R V, et al. Analysis of the desirability of replacing petroleum-based vehicle fuel with LNG[J]. Chemical and Petroleum Engineering, 2005, 41(11):590-595.
- [10] 赖元楷.LNG燃料汽车的发展前景[J].天然气工业,2005,25(11):104-106.
- [11] WANG QIANG, LI YANZHONG, CHEN XI. Exergy analysis of liquefied natural gas cold energy recovering cycles[J]. Int J Energy research, 2005, 29(1):65-78.
- [12] 谭宏博,厉彦忠.液化天然气冷能构成及其利用方式探讨[J].化学工程,2006,34(12):58-61.
- [13] 王珂.冷藏车制冷机组制冷量的确定[J].专用汽车,1996(3):45-46.

(修改回稿日期 2007-04-18 编辑 赵 勤)