

Yehua Tianranqi ( LNG ) Keche  
Shiyong yu Weixiu Shouce



# 液化天然气 ( LNG ) 客车 使用与维修手册

金柏正 朱国军 ©编著



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

Yehua Tianranqi ( LNG ) Keche  
Shiyong yu Weixiu Shouce



# 液化天然气 ( LNG ) 客车 使用与维修手册

金柏正 朱国军 © 编著



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书是从事客车维修工作几十年的高级技术人员维修经验的总结。全书共分六章,内容包括:LNG(液化天然气)知识介绍,LNG 发动机专用装置的构造与工作原理,LNG 客车的正确使用,LNG 发动机的维修技术规范,LNG 装置的检测规程,LNG 发动机常见故障及案例分析。

本书适合从事 LNG 客车(含公交客车)生产、使用和维修的专业人员使用,也可作为汽车使用与维修专业人员的培训、教学参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

液化天然气(LNG)客车使用与维修手册 / 金柏正,朱国军编

著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2014. 7

ISBN 978-7-114-11526-4

I. ①液… II. ①金… III. ①液化天然气-客车-使用  
方法-技术手册②液化天然气-客车-车辆修理-技术  
手册 IV. ①U469. 1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 151640 号

书 名: 液化天然气(LNG)客车使用与维修手册

著 作 者: 金柏正 朱国军

责任编辑: 林宇峰 李 洁

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.chinasybook.com>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 10.5

字 数: 194 千

版 次: 2014 年 7 月 第 1 版

印 次: 2014 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11526-4

印 数: 0001 - 4000 册

定 价: 36.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



## 前 言 QIANYAN



液化天然气(LNG)客车以其优异的环保性、经济性和良好的安全性、使用性得以迅速推广应用,利国、利民又利企。但是客车生产厂、大专院校和维修行业都没有编写出版 LNG 客车使用与维修的作业指导书,使用与维修人员对 LNG 客车知之甚少。LNG 是一种超低温液体燃料,易蒸发、易泄漏、易燃烧,只有了解掌握它的特性,正确使用与维修,才能发挥其安全、清洁、经济的最大价值。杭州长运运输集团有限公司是交通运输部文明企业,有着强烈的社会责任感。以教授级高级工程师金柏正同志率领的汽车维修技术团队,2011 年曾编写出版了《客车维修问答与经典案例分析》一书,获得业界好评。经过三年来对 LNG 客车使用与维修的研究和实践总结,团队掌握了规范的使用与维修操作方法,为此编著了《液化天然气(LNG)客车使用与维修手册》一书,与同行分享相关知识和经验,愿为行业贡献绵薄之力。

本书由金柏正主编,其中第一、二、三章由金柏正编写,第四、五章由朱国军和金柏正编写,第六章由金柏正、朱国军、金文华、黄红军、俞文生、张铭健、屠焕强、赵小龙、李姚春编写。

本书在编写过程中得到了很多单位和同行的支持,在此要特别感谢宇通客车、查特公司、富瑞特装公司、潍柴、玉柴、苏汽集团卢汉成和杭州长运李西蒙、俞富强等同志的大力帮助。

作 者

2014 年 5 月



# 目 录 MULU



<b>第一章 LNG(液化天然气)知识介绍</b> .....	1
第一节 LNG 的一般特性 .....	1
第二节 LNG 的安全性能 .....	8
第三节 LNG 客车的环保性 .....	12
第四节 LNG 客车的经济性 .....	14
第五节 LNG 客车发展可行性 .....	17
<b>第二章 LNG 发动机专用装置的构造与工作原理</b> .....	25
第一节 天然气(NG)发动机特点 .....	25
第二节 LNG 专用装置结构与工作原理 .....	26
第三节 安全保护装置结构与工作原理 .....	44
第四节 天然气发动机的改进 .....	50
第五节 常用发动机的主要技术参数(潍柴、玉柴) .....	58
<b>第三章 LNG 客车的正确使用</b> .....	65
第一节 LNG 客车的日常维护作业规范 .....	65
第二节 LNG 客车驾驶操作要求 .....	66
第三节 加注 LNG 时注意事项 .....	70
第四节 LNG 客车停放要求 .....	75
第五节 LNG 客车驾驶员安全应急措施 .....	76
<b>第四章 LNG 发动机的维修技术规范</b> .....	78
第一节 一级、二级维护技术规范 .....	78
第二节 LNG 客车供气系统维修技术要求 .....	82
第三节 LNG 客车安全装置维修技术要求 .....	91
第四节 LNG 客车维修作业安全技术要求 .....	99
<b>第五章 LNG 装置的检测规程</b> .....	103
第一节 LNG 装置安全检测法规及标准 .....	103
第二节 LNG 安全装置的检测规定 .....	103
第三节 LNG 安全装置的使用要求 .....	106

<b>第六章 LNG 发动机常见故障及案例分析</b> .....	118
<b>第一节 LNG 发动机常见故障</b> .....	118
<b>第二节 故障排除案例分析</b> .....	133
<b>参考文献</b> .....	162

# 第一章 LNG(液化天然气)知识介绍

## 第一节 LNG 的一般特性

液化天然气(LNG)是气态天然气(CNG)经过净化处理,脱除重质烃、硫(S)及硫化物、水(H<sub>2</sub>O)和二氧化碳(CO<sub>2</sub>)等杂质后,在常压下气态天然气经深冷至-162℃,或经预冷与加压相结合的方式使其液化(天然气在常温下不能通过加压液化,将温度降到-80℃以下才能在一定压力下液化),而凝结成液体形式(图 1-1)。

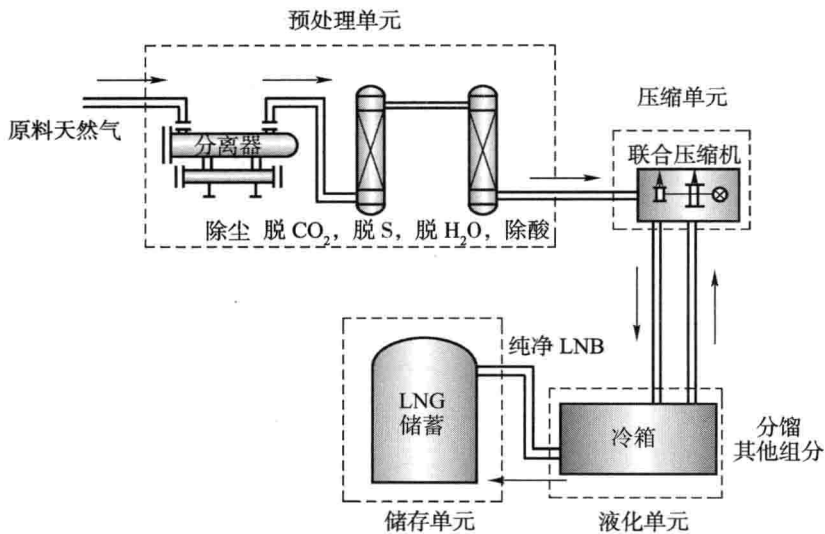


图 1-1 天然气液化处理示意图

### 一、LNG 的物理特性

LNG 是无色、无味、无毒且无腐蚀性的液体(图 1-2),它的主要成分是甲烷(CH<sub>4</sub>),其密度为 0.43 ~ 0.47kg/L,密度的大小取决于其组分,CH<sub>4</sub> 的含量越高,其密度越小。LNG 的体积约为同质量 CNG 体积的 1/600(图 1-3)。常态下 CNG 的密度是 0.75 ~ 0.80kg/m<sup>3</sup>,而空气的密度为 1.205kg/m<sup>3</sup>(在 20℃,标准大气压时),CNG



的密度仅为空气密度的 60%，所以在大气中 GNG 很快就飘浮上升了。LNG 是将 CNG 净化深冷化成的液体，它是一种清洁、优质的燃料。

### 1. 主要成分(图 1-4)

LNG 是以  $\text{CH}_4$  为主要组分的烃类混合物，主要由  $\text{CH}_4$  (75% ~ 99%) 和少量的乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) (15% ~ 0.5%)、丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) (5% ~ 0.1%) 及丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) (小于 1%) 等组成，其燃烧后的主要排放物是  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

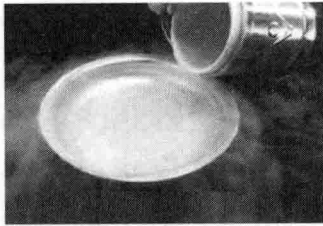


图 1-2 LNG

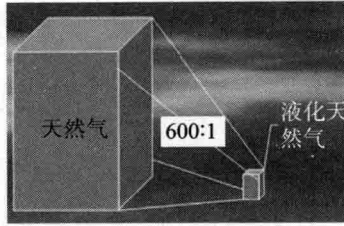


图 1-3 同质量 CNG 与 LNG 体积对比图

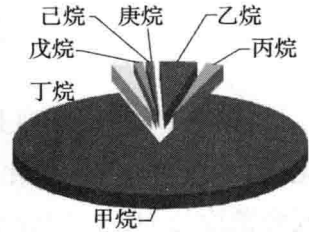


图 1-4 LNG 主要成分示意图

LNG 的性质因其组分不同会发生一定的变化。表 1-1 是三组不同成分的 LNG 的性质对比表。

三组不同成分 LNG 常压泡点下的性质对比表

表 1-1

组成(摩尔分数)(%)	组成 1	组成 2	组成 3
$\text{N}_2$	0.5	1.79	0.36
$\text{CH}_4$	97.5	93.9	87.20
$\text{C}_2\text{H}_6$	1.8	3.26	8.61
$\text{C}_3\text{H}_8$	0.2	0.69	2.74
$i\text{C}_4\text{H}_{10}$		0.12	0.42
$n\text{C}_4\text{H}_{10}$		0.15	0.65
$\text{C}_5\text{H}_{12}$		0.09	0.02
相对分子质量(kg/kmol)	16.41	17.07	18.52
泡点温度(°C)	-162.6	-165.3	-161.3
密度(kg/m <sup>3</sup> )	431.6	448.8	468.7
0°C 101325Pa 条件下单位体积液体生成的气体体积(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	590	590	568
0°C 101325Pa 条件下单位质量液体生成的气体体积(m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kg)	1367	1314	1211

目前汽车发动机常用的燃料有柴油、汽油、天然气和液化石油气(LPG)，这些常用燃料的特性不同，其燃烧方式也不同。汽油、天然气和液化石油气燃料都采用点燃式燃烧，而柴油是压燃式燃烧。汽车发动机常用燃料特性见表 1-2。



汽车常用燃料特性对比表

表 1-2

燃料种类	天然气	液化石油气	柴油	汽油
主要成分	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
常态下密度(kg/m <sup>3</sup> )	0.75~0.80(气态)	580	830	720~750
沸点(℃)	-162	-100	170~350	30~190
理论空燃比(kg/kg)	17.2:1		14.3:1	14.8:1
低热值(MJ/kg)	48.66	50.18	42.65	43.07
辛烷值(ROD)	130	100~110	23~30	90~98
十六烷值	0		40~60	27
燃烧极限(体积)(%)(V/V)	5~15	1.5~9.5	1.58~8.2	1.3~7.6
自燃温度(常压下)(℃)	650	490	220	427
闪点(℃)	-43		-187	60

注:(1)辛烷值。指与汽油抗爆性相同的标准燃料所含异辛烷的体积分数。

(2)低热值。低热值就是低位发热量。高位发热量是指1kg燃料完全燃烧时放出的全部热量,包括烟气中水蒸气已凝结成水所放出的汽化潜热。从燃料的高位发热量中扣除烟气中水蒸气的汽化潜热,称为燃料的低位发热量。

## 2. LNG 的沸点

### 1) 沸点

沸点是液体发生沸腾时的温度,即物质由液态转变为气态的温度。沸腾是在一定温度下液体内部和表面同时发生的剧烈汽化现象。沸点随外界压力变化而改变,压力低,沸点也低;压力高,沸点也高。

### 2) 饱和

在一个闭式空间内存放的液体,单位时间内由液体汽化成气体的分子数,与气体凝结成液体的分子数一致,我们称该液体/气体处于饱和状态。该状态下的温度和压力称为饱和温度和饱和压力。饱和状态是一个临界状态,瞬间失压或加入能量,液体会沸腾,直到重新达到平衡。反之,饱和状态的液体在瞬间加压或抽取能量的瞬间,气相空间内的气体会被冷凝。

### 3) 饱和蒸气压

在一定温度下,与液体或固体处于相平衡的蒸气所具有的压力称为饱和蒸气压。

当液体沸腾时,在其内部所形成的气泡中的饱和蒸气压必须与外界施予的压力相等,气泡才有可能长大并上升,所以,沸点也就是液体的饱和蒸气压等于外界压力的温度。液体的沸点跟外部压力有关。当液体所受的压力增大时,它的沸点升高;压力减小时,沸点降低。例如,蒸气锅炉里的蒸气压力,约有几十个大气压,锅炉里的水的沸点可在200℃以上。又如,在高原地区上煮饭,水易沸腾,但饭不易熟。这

是由于大气压随地势的升高而降低,水的沸点也随高度的升高而逐渐下降。在海拔1900m处,大气压约为79.8kPa(600mmHg),水的沸点是93.5℃。

LNG的饱和压力是在给定压力下,与液相平衡的蒸气压力。LNG饱和压力、密度随饱和温度而变化,如图1-5所示。

由图1-5可知:

(1)在给定温度下,液化天然气对应一定的饱和压力;不同温度下,LNG的饱和压力不同(图1-6)。

(2)调压过程中,饱和温度越高,LNG的对应饱和压力也越高,LNG的密度越小。

因为LNG的沸点很低(图1-7),1标准大气压时约为-162℃(LNG的沸点取决于其组分,在1标准大气压时通常在-166~-157℃),所以通常称LNG是沸腾液体。液体的沸点随压力的变化而变化,LNG沸腾温度(沸点)随蒸气压力的变化梯度约为 $1.25 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Pa}$ 。

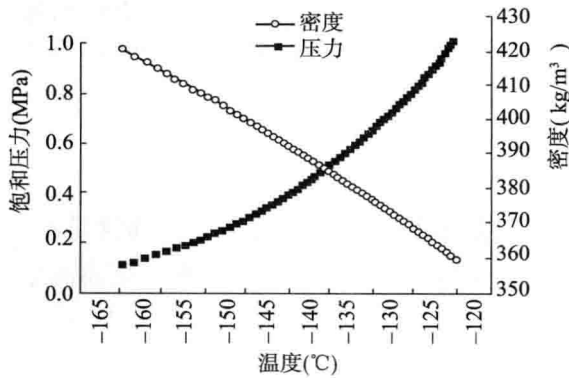
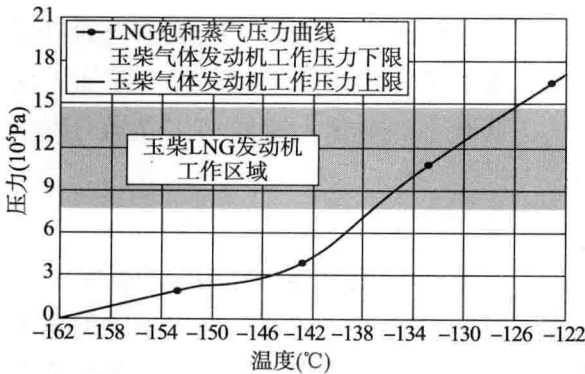


图 1-5 LNG 饱和压力、密度随饱和温度的变化



注:图中的压力是指在标准大气压下的表压数值(即相对值)。

图 1-6 LNG 饱和蒸气压力曲线图

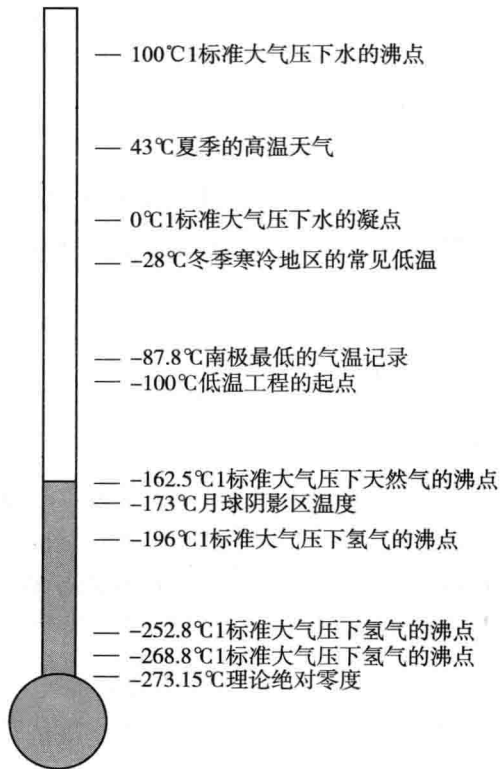


图 1-7 LNG 沸点示意图

在不同的压力条件下,LNG的沸点温度见表1-3。

不同压力下 LNG 的沸点温度

表 1-3

压力(MPa)	LNG 的沸点温度(℃)	压力(MPa)	LNG 的沸点温度(℃)
0.1	-162	0.6	-134
0.2	-152	0.86	-127
0.5	-138		

### 3. 压力单位的换算

英制(IP) psi(磅/平方英寸)

米制(metric)  $\text{kg}/\text{cm}^2$ (千克/平方厘米)

ISO 米制(ISO metric) Pa(帕), bar(巴)

$1\text{MPa} = 1000\text{kPa} = 145\text{psi}$

$1\text{bar} = 100000\text{Pa} = 100\text{kPa} = 0.1\text{MPa}$

$1\text{kg}/\text{cm}^2 = 98.067\text{kPa} = 0.9806\text{bar}$

$1\text{bar} = 1.02\text{kg}/\text{cm}^2$

## 二、LNG 的低温特性

### 1. 隔热保冷

LNG 系统的保冷隔热材料应满足导热系数低,密度低,吸湿率和吸水率小,抗冻性强,并在低温下不开裂,耐火性好,无气味,不易腐烂,对人体无害,机械强度高,经久耐用,价格低廉,方便施工等。

### 2. 蒸发特性

LNG 作为沸腾液体储存在绝热储罐中,外界任何传入的热量都会引起一定量液体蒸发成气体,这就是蒸发气(BOG)。标准状况下蒸发气密度约是空气 60%。当 LNG 压力降到沸点压力以下时,将有一定量的液体蒸发成为气体,同时液体温度也随之降低到其在该压力下的沸点,这就是 LNG 闪蒸。由于压力/温度变化引起的 LNG 蒸发产生的蒸发气处理是液化天然气储存运输中经常遇到的问题。

### 3. 泄漏特性

LNG 泄漏到地面,起初迅速蒸发,当热量平衡后便降到某一固定的蒸发速度。当 LNG 泄漏到水中会产生强烈的对流传热,在一定的面积内蒸发速度保持不变,随着 LNG 流动泄漏面积逐渐增大,直到气体蒸发量等于漏出液体所能产生的气体量为止。泄漏的 LNG 以喷射形式进入大气,同时进行膨胀和蒸发,与空气进行剧烈的混合。

#### 4. 储存特性

##### 1) 分层

LNG 是多组分混合物,因温度和组分的变化引起密度变化,液体密度的差异使气瓶内的 LNG 发生分层。

##### 2) 翻滚

若 LNG 已经分层,上层液体吸收的热量一部分消耗与液体表面所需的潜能,其余热量使上层液体温度升高。随着蒸发的持续,上层液体密度增大,下层液体密度减小,当上下两层液体密度接近相等时,分界面消失,液层迅速混合并伴有大量液体蒸发,此时蒸发率远高于正常蒸发率,出现翻滚。

##### 3) 快速相态转变(RPT)

两种温差极大的液体接触,若热液体温度比冷液体温度沸点温度高 1.1 倍,则冷液体温度上升极快,表层温度超过自发成核温度(当液体中出现气泡),此过程冷液体能在极短时间内通过复杂的链式反应机理以爆炸速度产生大量蒸气,这就是 LNG 或液氮与水接触时出现的 RPT 现象的原因。

### 三、LNG 的生理影响

LNG 蒸气是无毒的,但天然气是一种窒息剂。空气中氧气含量通常占空气体积的 20.9%,当大气中的氧气含量低于 18% 时,会引起窒息。在没有充分的保护下,人在低于 10℃ 环境下待久后,随着体温下降生理功能和智力活动下降。呼吸低温蒸气有损健康,短时间内导致呼吸困难,长时间就会产生严重的后果。当空气中的氧含量逐渐降低时,操作人员没有一点感觉,也没有任何警示。虽然 LNG 蒸气没有毒性,但其中含氧量低,使人窒息。如果吸入纯 LNG 蒸气,会迅速失去知觉,几分钟后会死亡。正常人暴露在体积分数为 9% 的甲烷环境中没有什么不良反应,但在空气中含高浓度天然气时由于缺氧会产生恶心和头晕。如果吸入过量天然气会引起缺氧窒息,当天然气的体积分数达到 50% 以上,会对人体产生永久性伤害。

LNG 接触到皮肤时,可造成与烧伤类似的起疱灼伤。从 LNG 中漏出的气体也非常冷,并且能致灼伤。如暴露于这种寒冷气体中,即使时间很短,不足以影响面部和手部的皮肤,但是,像眼睛一类脆弱的组织仍会受到伤害。人体未受保护的部分不允许接触装有 LNG 而未经隔离的管道和容器,这种极冷的金属会粘住皮肉而且拉开时将会将其撕裂。

作业时必须使用防护服。当处理 LNG 时,如果预见到将暴露于 LNG 的环境之中,则应使用合适的面罩或安全护目镜以保护眼睛。操作任何物品时,如其正在或

已经与寒冷的液体或气体接触,则应一直戴上皮手套。应戴宽松的手套并在接触到溅落的液体时能够迅速脱去。即使戴上手套,也只应短时间握住设备。

防护服或者类似的服装应是紧身的,最好是没有口袋也没有卷起的部分,裤子也应穿在鞋或靴子的外面。当防护服被寒冷的液体或蒸气附着后,穿用者在进入狭窄的空间或接近火源之前应对其进行通风处理。操作者应该明白,防护服只是在偶然出现 LNG 溅落时起保护作用,应避免与 LNG 直接接触。

#### 四、LNG 工业中应用的材料

最常用的建筑材料暴露在极低温度条件下时,将因脆性断裂而失效。尤其是碳钢的抗断裂韧性在 LNG 温度下( $-160^{\circ}\text{C}$ )是很低。因此用于 LNG 接触的材料应当验证其抵抗脆性断裂性能。

直接接触 LNG 而不会变脆的主要材料及其一般应用列于表 1-4 中,该表尚不完全。

用于直接接触 LNG 的主要材料及其一般应用

表 1-4

材 料	一 般 应 用
不锈钢	储罐、卸料臂、螺母与螺栓、管道和附件、换热器
镍合金、镍铁合金	储罐、螺母与螺栓
铝合金	储罐、换热器
铜和铜合金	密封件、垫片
混凝土(预应力)	泵套管
石棉,弹性材料	电绝缘
环氧树脂	泵套管
玻璃钢	泵套管
石墨	密封件,填料盒
氟乙烯丙烯(FEP)	电绝缘
聚四氟乙烯(PTFE)	密封件,填料盒,磨损面
聚三氟一氧乙烯(Kel F)	磨损面
斯太立特硬质合金	磨损面

注:(1)石棉不宜用新装置中。

(2)斯太立特硬质合金(Stelite):Co 55%,Cr 33%,W 10%,C 2%。

由于铜、黄铜和铝的熔点低且遇到溢出的 LNG 着火时将失效,因此倾向于使用不锈钢或含镍 9% 的钢材。液化装置的管式、板式换热器使用冷箱(钢制)加以保护。铝材常用于换热器,还可用于内罐的吊顶。经过特别设计用于液态氧或液态氮的设



备,通常也适用于 LNG。

## 五、其他特点

LNG 汽车还有动力性良好、续驶里程长、可使用性好的优点。

(1) 动力性良好——从平坦道路上行驶时 LNG 车辆与柴油机车没有明显差别,加速性良好,运行平稳,但上坡道路运行时会略显动力不足。

(2) 续驶里程长——装载一个 495L LNG 气瓶的 12m 客车可以确保行驶 700km。以气瓶的利用率为 85%,密度为 0.426kg/L 计算:储液量为  $495\text{L} \times 85\% \times 0.426\text{kg/L} = 179\text{kg}$ ,按 22kg/100km LNG 的消耗量计算,可行驶里程为  $179\text{kg}/22\text{kg}/100\text{km} = 813\text{km}$ 。如果选用双气瓶 ( $380\text{L} \times 2 = 760\text{L}$ ),则可行驶 1000km 以上 ( $760\text{L} \times 85\% \times 0.426\text{kg/L}/22\text{kg}/100\text{km} = 1250\text{km}$ )。

(3) 可使用性好——LNG 作为车用的优质燃料,与汽油、柴油相比,它不仅具有辛烷值高、抗爆性好、燃烧完全、排放污染少等优点。即使与 CNG 客车比较,它也具有储存效率高、续驶里程长、车载气瓶压力低、数量少、质量轻、安全性能好等优势。采用 LNG 大型槽罐车可长距离运送、存储,并且建 LNG 加注站不受供气管网的限制等优越之处,如采用 LNG 撬装站和 LNG 流动加注车,使 LNG 的推广应用方式更灵活、范围更广,因此推广 LNG 客车更具有可使用性。

## 第二节 LNG 的安全性能

### 一、LNG 安全性高

LNG 的安全性能包括 LNG 的使用安全性能和 LNG 客车供气系统安全保障性能。

与气态天然气(CNG)的存储压力 20MPa 相比,LNG 气瓶压力仅为 1.60MPa[设计压力为 1.60MPa,但为了减少超压排气浪费燃料,查特深冷工程系统(常州)有限公司(以下简称查特公司)和富瑞特种装备股份有限公司(以下简称富瑞公司)生产的气瓶出厂时分别调整到 1.93MPa 和 1.91MPa],存储压力小,安全性更高。同时,LNG 气瓶外部管路、阀件都设置在气瓶一端,其燃料供给系统装有过流保护、稳压阀、安全阀以及漏气报警等安全装置,与汽油车、柴油车非压力容器油箱相比,因车辆碰撞或翻覆,造成失火或爆炸的风险更小。

低温车载气瓶经过耐高温和低温试验、撞击试验、车载模拟试验等严格检验,

即使发生交通事故后也很难出现 LNG 泄漏问题。LNG 一旦泄漏立即挥发扩散,不易聚集发生爆燃现象。天然气爆燃浓度的体积分数为 5% ~ 15%,因 CNG 的密度仅为空气的 60%,LNG 汽化后在大气中快速扩散,所以在自然环境中引发爆燃十分困难。

LNG 燃料稳定性好,拥有不易引燃的高燃点,其燃点为 650℃(汽油燃点为 427℃,柴油燃点为 220℃),极强的逸散性,不易发生爆燃。而且天然气的燃烧速度较低,其最快燃烧速度只有 0.3m/s。天然气作为车用燃料,比液化石油气(LPG)和汽油、柴油车辆更安全(表 1-5)。

LNG 与 CNG、汽柴油安全性比较

表 1-5

	LNG	CNG	汽油、柴油
气瓶压力(MPa)	1.91	20	常压
燃烧浓度(体积分数)(%)	5 ~ 15		汽油 1 ~ 5 柴油 0.5 ~ 4.1
燃点(℃)	650		柴油 220 汽油 427
泄漏报警	泄漏时易检测报警		没有检测报警系统

注:北京公交 2002 年使用查特公司气瓶一直良好。

LNG 泄漏易监控,可安装燃气泄漏报警(甲烷报警器)装置,当发生泄漏达到报警浓度时,蜂鸣器即自动报警发出蜂鸣声,同时报警灯点亮,从而及时提醒驾驶员或修理工可快速消除安全隐患。

查特公司对 LNG 车用气瓶经过了多种状态下的严格测试,如在美国进行的各口径枪击测试,以及下面各项测试验证(图 1-8 ~ 图 1-12),可以做到安全排放,并且不超压。



图 1-8 10m 高度的跌落试验



图 1-9 气瓶口侧 3m 高的跌落试验

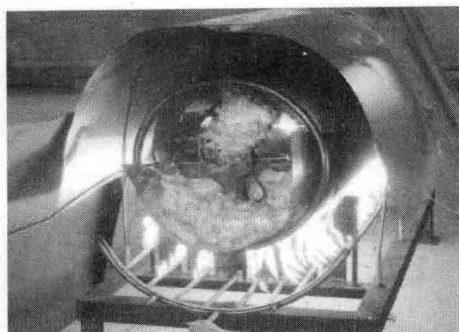


图 1-10 气瓶火烧试验

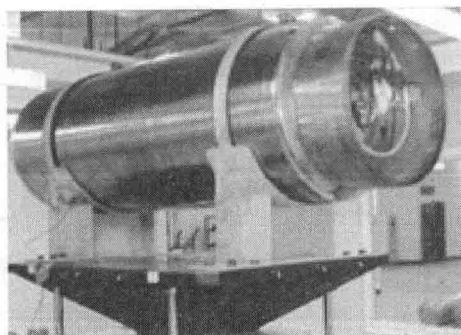


图 1-11 气瓶 10h 不间断振动测试



图 1-12 公交车燃烧爆炸模拟测试 (在波兰完成)

我国自 2009 年推广使用 LNG 汽车以来,使用至今没有因汽车发生交通事故后 LNG 供气系统而引发重大的次生事故。全国虽曾发生了几起 LNG 客车的火灾事故,但车用气瓶都是安然无事(图 1-13)。



图 1-13 某客运公司一辆客车因电器故障发生火灾,全车烧毁,但车用气瓶安然无恙

## 二、LNG 的缺点——易蒸发、易泄漏、易燃和窒息性

LNG 是经深冷、加压后实现液化的,它是一种沸腾液体储存在气瓶中,由于受气瓶保温的局限性,当任何外界传入的热量,都会引起一定量的 LNG 蒸发为气体。通常情况下气瓶压力为 0.7 ~ 1.6MPa。当 LNG 发生泄漏时,泄漏的 LNG 以喷射形式进入大气,然后迅速蒸发膨胀,与空气剧烈混合,如遇明火易燃。在空气中含有高浓度的天然气时,尤其是天然气含量达到 40% 时,人处在这种缺氧环境中会感觉到恶



心和头晕,导致昏迷,甚至窒息。

### 1. 泄漏、溢出和膨胀

当溢出情况发生时,少量的 LNG 能产生大量的气体,并与空气混合形成可燃的混合物,当体积分数达到 5% ~ 15% 时一遇明火就会发生爆燃,所有 LNG 溢出的附近存在发生火灾的危险(图 1-14)。

溢出时,最初蒸发气体的温度几乎与 LNG 的温度一样,其密度比周围空气的密度大。这种气体首先沿地面的一个层面流动,气体从大气中吸热升温,LNG 的温度上升到约  $-80^{\circ}\text{C}$  (与组分有关),使得其密度比周围空气密度小时,这种混合物将向上飘动。

随着 LNG 的溢出,由于大气中蒸气的冷凝作用将产生“雾云”(图 1-15)。当这种“雾云”可见时,此种可见“雾云”可用来显示蒸发气体运动,并且给出气体与空气混合物可燃性范围的保护指示。

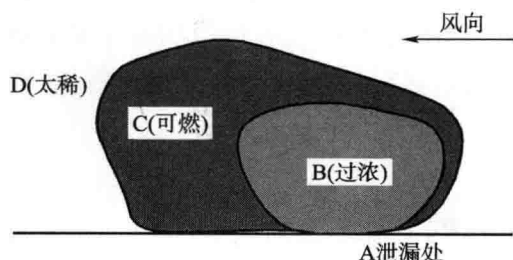


图 1-14 LNG 泄漏危险区

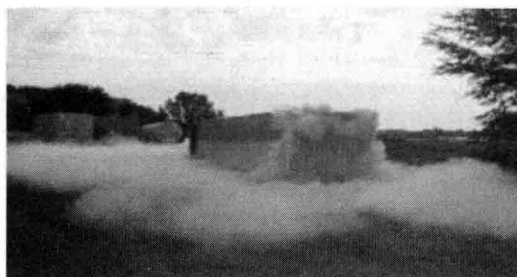


图 1-15 LNG 溢出产生的“雾云”

### 2. 爆炸与火灾

LNG 泄漏时能产生大量的气体,并与空气混合形成可燃的混合物,当体积分数达到 5% ~ 15% 时,一遇明火就会发生爆燃(图 1-16)。根据燃烧的条件——可燃物、助燃物、着火源,其中任何一个条件不具备,燃烧就不能进行。虽然 CNG 的密度只是空气的 60%,一般情况下很快向空中飘散,因此防范明火是安全重点。LNG 遇水时会产生冷爆炸,当温度不同的两种液体在一定的条件下接触时,可产生爆炸力。当 LNG 泄漏与水接触时,水与 LNG 之间产生非常高的热传递速率,LNG 将剧烈地沸腾并伴随巨大的响声、喷出水雾,导致 LNG 蒸气爆炸。



图 1-16 LNG 遇明火“爆燃”

### 3. 低温灼伤和低温冻伤(图 1-17)

与低温物体接触后,由于皮肤组织含有水分,受冻后变脆。如果皮肤的表面潮