

LPG&LNG相互补充的可行性分析

1 LPG与LNG国内外发展现状

1.1 LNG国内外发展现状

天然气作为我国提倡的经济环保性能源，在经历了2017年的“气荒”及价格波动之后，天然气的使用也进入理性阶段，各个地区开始实施“以气定改”“宜气则气、宜煤则煤、因地制宜”的政策，2018年全国天然气消费量达到2800亿 m^3 ，环比增长16.5%，能源消耗出现阶梯式增长。预计2020年我国天然气消费量将要达到3600亿 m^3 ，2030年达到5400亿 m^3 。

作为天然气的液化产品LNG在2018年进口总量5400万t，仅次于日本成为全球第二大LNG进口消费国。随着天然气消费量的不断增长，以及环境治理力度的加大，LNG的消费量也在不断增长，LNG供应站接收站的不断增加，使得LNG成为天然气供应格局中的重要一环，发挥着不可替代的作用，但是目前LNG在我国仍属作为发展中的行业，存在很多重大挑战。

首先，我国在供气紧张的季节及环境中，LNG不能对天然气管道气提供充足的补充，LNG接收站、储气库等数量不足，一旦环保政策的加强，时刻会出现大面积气荒现象。其次，现有LNG港口接收能力有限，且区域分布不足，虽然我国加强了LNG的各种基础设施的建设，但从北方供需情况来看，LNG仍无法满足天然气管道运输的缺口。比如，华北地区的天津港LNG接收站、曹妃甸LNG接收站虽然在2017年将接收能力提高至最大值，但仍然不能满足供气需求，造成严重的气荒。

1.2 LPG国内外发展现状

与LNG能源相比，我国LPG一直处于稳定增长阶段，且市场开放较早，在上世纪90年代一直是居民主要用气气源，随着国内天然气管道的铺设，城市现代化的建设，以及天然气进口量的增加，民用LPG消费量受到较大的冲击，但在2014年底国际油价的下滑，以及安全环保要求的严格实施下，LPG替代品二甲醚逐渐失去原有的市场，反而促进了LPG在民用领域恢复性增长。外加天然气的使用需要建设供应基站、铺设管道、政府支持等，前期投入成本较大，国内的偏远地区和一些小商小贩的燃气需求仍然无法用天然气或LNG来解决。而在国内一二线城市，流动人口较大LPG瓶装气仍然是刚性需求，液化石油气在民用燃烧端的需求量并未出现萎缩，一直存在良好态势，而随着乙烯生产以及芳构化、烷基化、甲基叔丁基醚（MTBE）和PDH等工艺过程的发展，LPG在工业原料领域发展迅速，需求不断上升，LPG消费迎来巨大增长空间，极大地推动了国内LPG在国内需求的增长。

2 主要研究过程

2.1 物理性质的研究

2.1.1 LNG基本物理性质

LNG即为液化天然气，主要成份为甲烷，化学名称为 CH_4 ，还有少量的乙烷 C_2H_6 ，无色、无味、无毒且无腐蚀性。沸点为-162℃，着火点为650℃，液态密度为0.420~0.46T/ m^3 ，气态密度为0.68~0.75kg/ m^3 ，气态热值38MJ/ m^3 ，液态热值50MJ/kg，爆炸范围：上限为15%，下限为5%。

2.1.2 LPG基本物理性质

LPG即为液化石油气，主要成分是丙烷、正丁烷、异丁烷，它含有少量的乙烷、不饱和烃等。沸点是-42℃，爆炸极限为1.5%~9.5%。液态热值为45.22~50.23MJ/kg、气态热值为87.92~100.50MJ/ m^3 。

2.1.3 性质对比

表 1 LNG 与 LPG 物理性质对比

种类	液化天然气	液化石油气
英文名称	liquefied natural gas	liquefied petroleum gas
简称	LNG	LPG
主要成分	C1	C3、C4
来源	天然气净化处理之后,在经过低温(-162℃)液化形成	油气田开发中分离,从石油加工炼厂中作为副产品提取
密度	约0.45kg/m ³	约0.53kg/m ³
热值	32MJ/M ³ ; 44MJ/kg	110MJ/M ³ ; 46MJ/kg

3安全危害性研究

液化石油气(LPG)与液化天然气(LNG)都是优质、清洁的能源,然而不管是LPG还是LNG,都是危险的易燃易爆类化石燃料,在使用过程中都可能发生爆炸危险事故,尤其在存储和运输过程中。由于LPG和LNG成分和性质的不同,以及存储运输方式存在的差异,它们的危害事故也会不同。

3.1 LPG安全危害性研究

3.1.1 LPG的存储运输特点

LPG的主要成分为C3和C4的混合物,C3和C4的沸点分别为-42 和-0.6 。按存储压力和温度的不同,LPG一般可以分为两种存储方式,常温高压存储和低温常压存储,即压力罐储存和冷冻罐储存。

冷冻罐储存就是在常压下,储罐采取保冷隔热措施,储罐具有保温隔热层,避免与外界热量相互流动,保持储罐内温度。压力罐储存就是指LPG的存储温度是自然条件下的环境温度,而存储压力为存储温度对应的饱和压力的一种存储方式。这种存储方式的储存容器只考虑壁面的耐压性,而不考虑绝热性,因此,罐壁不具有阻止热量的作用。

LPG运输方式是槽车运输与船舶运输,一般是以槽车配送至终端用户(三级站、炼厂等),主要荷载量在25吨左右,由于外界环境的温度是不断变化的,LPG运输槽车一般采用常温高压罐,即不带绝热保温层,因此在运输过程中,如果外界环境温度很高,外界环境的热量会进入槽车内,导致罐内LPG温度升高,压力上升。

3.1.2 LPG主要危害事故及机理

LPG作为一种低温、易燃、易爆的燃料,具有多方面的危险性,如中毒、窒息、爆炸、火灾等,一旦发生泄露事故,将会造成巨大的经济损失、人员伤亡。然而,在LPG的存储运输中,最严重的一种事故为沸腾液体膨胀蒸气爆炸(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion,简称BLEVE)。

BLEVE本质上是一种物理爆炸,由于LPG槽车罐内的压力比较高,当罐壁由于某种原因发生破裂,破裂处的压力迅速降低,造成裂口处的LPG达到过热状态,而迅速大量蒸发,这些蒸发的蒸气穿过液体上升入罐的顶部蒸气区,从而导致储罐内压力急剧上升,就发生了BLEVE。

如果在高温环境下,槽车罐内的温度和压力都会有所上升,相应的罐壁的强度会下降,当罐内的压力达到安全阀开启压力后,压力就会通过安全阀得到释放,如果安全阀出现故障或安全阀的泄压能力不够,罐内的压力就会继续上升,直至储罐出现裂缝,压力突然降低,液体瞬间达到过热状态,就会剧烈沸腾蒸发,对裂缝形成巨大的冲击,造成裂缝继续扩大,最终储罐彻底破裂,形成BLEVE。

3.1.3 Bleve危害案例

自液化气体广泛应用以来,发生了很多事故,造成了巨大的损失。1998年4月9日,美国爱荷华州的一个农场,一个

容积68m³的液态丙烷储罐泄露，着火后发生了Bleve爆炸，造成了2名消防员死亡，7名受伤。

2017年6月5日，临沂金誉物流有限公司在进行LPG卸车时，连接管口突然脱开，大量LPG喷出并急剧气化扩散，遇到点火源发生火灾，现场LPG车辆由于外界温度急剧升高，造成罐体Bleve爆炸，罐体残骸、飞火等飞溅物接连导致1000立方米液化气球罐区、异辛烷罐区、废弃槽罐车、厂内管廊、控制室、值班室、化验室等区域先后起火燃烧。现场10名人死亡，9名人员受伤。



图1 国内企业LPG爆炸现场图

能源情报

3.2 LNG安全危害性研究

3.2.1 LNG存储运输特点

液化天然气（LNG）的主要成分是甲烷，LNG的温度是极低的，沸点为-162℃，故需要储存在相应低温的储气库中，常见的储气库形式有两种，一种是地上储气库，另一种则是地下储气库。无论是从成本费用还是从环境保护的角度上来说，地下储气库都有着绝对的优势。运输主要包括槽车运输和船舶运输，在我国国内贸易环节中，也是以槽车运输为主，现有运输技术已经相对比较完善，单辆LNG运输槽车的最大容积已经达到52.8m³，可承受的最大压强为0.7MPa，槽车运输的速度平均为60km/h，整个LNG运输过程总液态天然气并无损失。

3.2.2 LNG主要危害事故及机理

LNG是一种低温液化气体，与LPG在很多方面具有相似性，因此与LPG一样，LNG也具有低温、中毒、爆炸等危险性，LNG的储罐具有导热率极低的隔热层，因此LNG在存储过程中，储罐的散热是很小的，这也使得它的日蒸发率很低，发生BLEVE事故机率很小，最常见、最危险的事故是分层翻滚现象。

LNG翻滚是一种热不稳定性现象，这种热不稳定性是由密度变化引起的，其产生的必要条件是分层界面受到扰动。在LNG储罐中，密度小的液体会集聚在密度大的液体之上，抑制了下层液体的挥发。当储罐内的LNG出现明显的分层现象时，由于上层LNG静压的抑制作用，使得外界传入的热量无法通过下层的LNG液体的蒸发而散失，导致下层LNG处于过饱和状态，下层液体就会温度升高，少量的其他气体如N₂就会首先汽化，破坏两层液体的界面，在LNG储罐内就会出现上下扰动，也就是翻滚现象。如果储罐内上层的LNG密度大于下层，下层LNG突然上升，导致边界层破坏，液体挥发，产生剧烈扰动，储罐内的温度上升，压力也急剧上升，使翻滚现象进一步加剧。

3.2.3 LNG翻滚现象案例

LNG翻滚现象给天然气的安全威胁较大，1971年8月，在意大利LaSpezia的SNAMLNG接收站，这是有记录以来的第一次翻滚事故，当时新充装的LNG较原来存储的LNG密度大，逐渐形成了分层，同时，新充装的LNG温度也较高，带入了较多的热量，促进了层间混合，在充装后18小时，发生了翻滚现象，储罐压力迅速上升，储罐度破坏，LNG泄

露近200吨。

为了防止LNG翻滚事故发生，需要在相应储罐设置安全释放阀，放散火炬，回收压缩等装置，并尽量使同一个储罐尽量存储同一个产地的LNG，控制其组分变化。

4 LPG与LNG应用

4.1 液化石油气的使用

4.1.1 LPG在燃烧领域应用

LPG最为一种清洁能源，最主要的是燃烧为主，虽然近年来我国大力推广更为清洁的天然气，但天然气的使用需要相应的管道和供应基站等辅助设施做支撑，国内的偏远地区和一些商用燃气需求并无法用天然气来解决，液化石油气在民用燃烧端的需求量并未出现萎缩。即使在北京、上海、广州等大城市，由于流动人口较多，LPG需求量并没有减少。此外，国内很多炼厂、陶瓷、玻璃、钢厂等也会使用LPG作为燃烧燃料。民用、工业燃烧的需求占据国内液化石油气需求量的50%以上，但是增长缓慢，基本维持不变。（见图2）

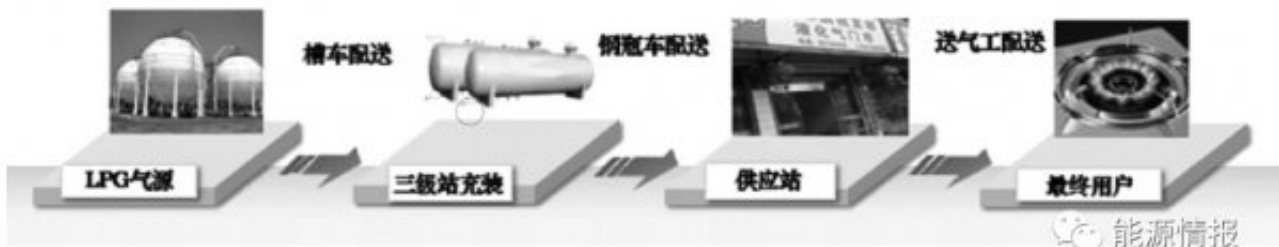


图2 LPG产民用业链示意图

LPG先通过槽车配批发送至终端三级站，三级站充装成钢瓶，部分钢瓶可直销至终端用户，更多的是通过批发至供应站及，最终由送配送工送至终端用户。

4.1.2 LPG在车用领域的应用

LPG汽车在车用领域需求量较少，2018年全国车用LPG量仅为75万吨，占比约1.5%，主要分布在广州地区，东北地区的沈阳、丹东、锦州、葫芦岛、哈尔滨以及山东的威海、烟台等地。

广州市曾经是LPG汽车应用推广示范性城市代表。LPG作为清洁汽车能源，1999年广州市起步发展LPG汽车，但在2010年10月，广东省做出“自2011年起珠三角地区新增的城市公交汽车必须是LNG汽车、混合动力和纯电动汽车”的规定，LPG汽车逐渐被淘汰出清洁车用能源市场，目前江苏地区LPG能源汽车有所发展，但需求增长速度远远不及广州市退出速度，预计至2022年底，广州市出租车基本实现全面新能源化，LPG汽车将主要在东北、山东零星市场。

4.1.3 LPG在深加工原料领域应用

随着LPG在深加工领域的发展，其占比越来越大，已然成为LPG消费量保持增长的关键因素，起产能爆发式增长烯烃深加工装置——MBTE装置和烷基化装置外，丙烷脱氢等烷烃深加工装置的大幅度投入使用，也极大地推动了国内LPG深加工产业的转变，主要分为烷烃加工路线和烯烃加工路线。（见图3）

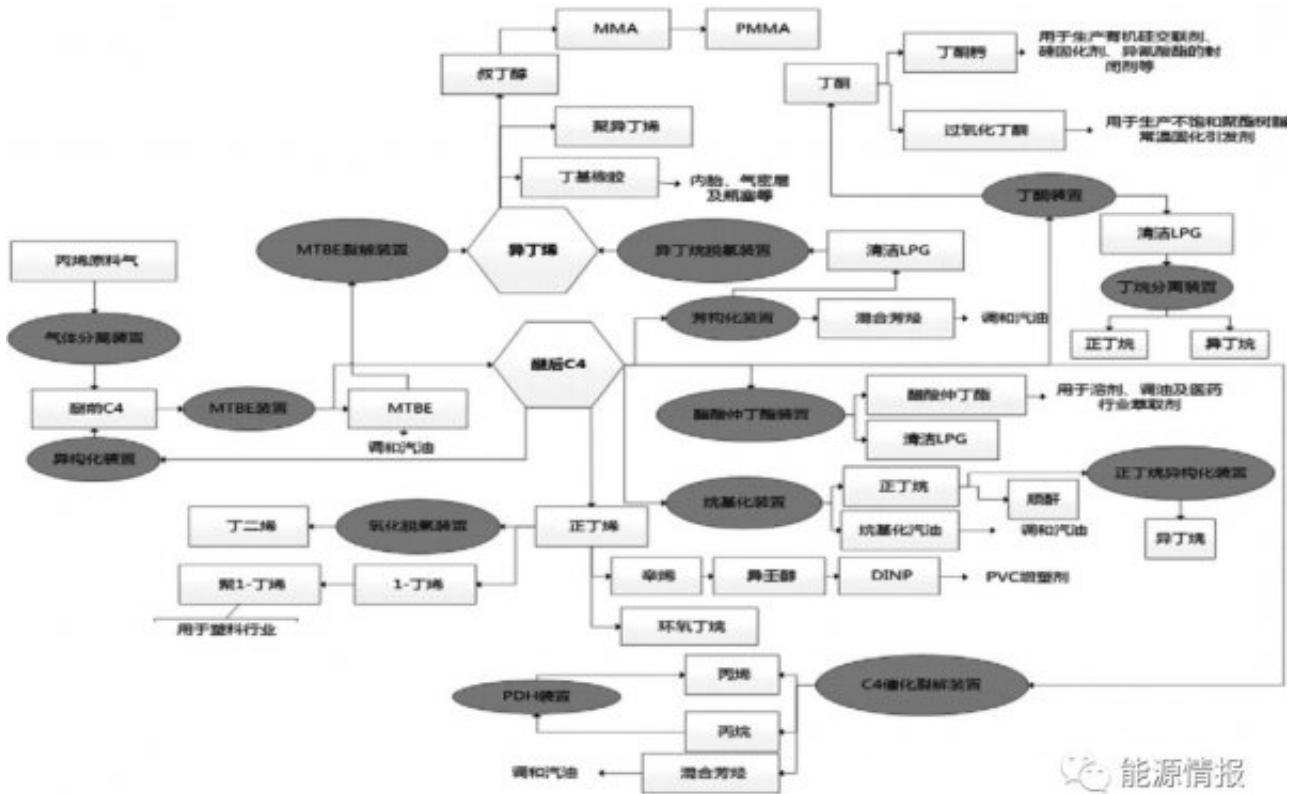


图3 LPG深加工路线图

烯烃深加工主要是利用LPG中的正丁烯和异丁烯作为原料进行生产，含有异丁烯组分的醚前碳四通过MTBE装置生产MTBE和甲醇，MTBE装置生产后的液化气称为醚后碳四，醚后碳四中的异丁烯组分反应完毕后，剩余正丁烯和丙、丁烷，醚后碳四在进入烷基化装置反应，生产烷基化油和正丁烷，此时反应掉的组分为正丁烯和异丁烯，丙烷、正丁烷又可进入烷烃深加工装置。

烷烃深加工主要是将LPG中的丙烷和丁烷提纯，然后分别进行深加工，丙烷通过脱氢装置生产丙烯；正丁烷通过异构化装置生产异丁烷，异丁烷通过脱氢装置生产异丁烯。生产出的异丁烯，随后又可以进入烯烃加工装置。

4.2 LNG的主要用途

4.2.1 LNG应用于调峰

天然气作为重要的燃料，其主要用途在燃烧方面，如电厂、供暖、工厂燃料等，LNG中其存在的杂质相对于较少，在燃烧时产生的气体对环境污染较少，各大城市用气以天然气为主，当城市遇到管道天然气短缺时，LNG作为液化气天然气，可以对城市进行有效的补充，确保居民用气的安全性与稳定性，此外，由于我国国土面积大，山川、河流遍布，天然气管道铺设工作困难，利用LNG技术也可以保证国家所有地区天然气的供应，实现天然气的调峰，促进天然气行业长久的为社会经济和社会发展做出贡献。

4.2.2将LNG应用于工业燃烧

煤炭作为我国燃烧燃料，一直起到重要的作用，广泛的作为电力、炼厂、工厂等燃料，但煤炭又是污染严重的能源，对于“青山绿水”的建设十分不利，LNG作为液化天然气运输方便，在燃烧时产生的气体对环境污染较少，清洁不含杂质，以最小的占地面积保证能源的供应，将LNG作为工厂、电厂、炼厂等替代煤炭，是企业经济与环境双向发展的重要方向。

4.2.3 LNG冷能的应用

天然气从气态转化成液态，必须通过相应的冷冻技术达到-162℃才能保证形成LNG，在液化的过程中储存了大量的可应用能量。LNG应用过程中，又要再一次的从液化转化成气态，吸收大量的热能，同时释放同等的能冷，这些冷能都是可应用的资源，将LNG汽化过程中的冷能加以回收利用，则可以获得较大经济利益，如释放的冷能投放到冷冻仓

库或冷冻制品，还可以利用冷能制造二氧化碳、冷冻食品等，让能量循环利用。

4.2.4 LNG汽车燃料应用

汽柴油作为汽车主要原料可以保证汽车的正常使用，保证汽车能够满足人们的需求，但是燃烧中会产生大量的污染气体，汽车尾气是导致环境污染的重要方面。液化天然气在燃烧中可以为汽车提供动力，保证汽车能够正常的行驶并且很好的降低石油材料。车用天然气（LNG）发展速度大不如前，主要在于国家各种利好政策大力发展新能源汽车，加之气价高企、季节性和区域性供应不足，导致了天然气汽车份额被压缩。汽车电动化成为了发展趋势，但对于家庭用车，公交、长途客车等能方面，LNG汽车则具备一定发展优势。

4.3 LPG与LNG价格经济性研究

2014年LPG价格最高达到了7000元/吨，价格远远高于LNG价格，2015年起，随着国际原油价格下跌，其副产品LPG价格也一路下滑不足3000元/吨，至2016年LPG价格基本稳定在3000元/吨以上，并且开始小幅度上涨，此时LNG开始扩大市场，价格逐渐上涨，统计2016年-2018年LPG与LNG价格如下。

表 2 2016—2018年 LPG 与 LNG 价格指数对比

时间	2016年		2017年		2018年	
	LNG指数	LPG指数	LNG指数	LPG指数	LNG指数	LPG指数
1月	/	3347	2846	4158	5936	4764
2月	/	3035	2909	4304	5802	4220
3月	2700	3024	3259	4066	3723	3799
4月	2666	3006	3133	4163	3237	3927
5月	2585	3036	3002	3855	3775	4293
6月	2505	3048	2944	3361	3539	4167
7月	2705	2853	3001	3206	4051	4470
8月	2711	2775	3053	3722	4017	4940
9月	2617	3153	3195	4072	4227	5454
10月	2652	3388	4138	4508	4375	5320
11月	2968	3540	4975	4661	4466	4242
12月	2974	3860	7589	4706	4976	4150
平均值	2708	3172	3670	4065	4344	4544

LNG热值44MJ/kg，LPG热值46MJ/kg，按照购买1吨LPG与LNG价格能够产生的热值测算经济型，设LPG价格为X，LNG价格为Y，若LPG经济性高于LNG经济性，则需要 $46 \div X > 44 \div Y$ ，即 $X < 1.045Y$ ，故当LPG高于LNG价格4.5%以内，LPG更具经济性。2016至2018年LPG全年价格指数与LNG价格比值分别为1.171，1.108和1.031，即2018年LPG全年经济型要高于LNG。

5 LPG补充LNG应用

通过LPG与LNG安全、应用上的研究，可以发现，由于LPG与LNG同样在车用领域的停滞，物理性质的不同，使得

在深加工、冷能方面，都有自身的不可替代性，故主要在燃烧领域有很大的相同性，都是清洁能源，故针对LNG发展的特点，LPG可在调峰、居民用气、工业燃烧用气等方面，有较大补充应用可能性

5.1调峰补充应用

LPG作为LNG调峰补充使用，可以利用城市已有的中、大型LPG储罐，如一级库、二级库等，增加大型混空设备，将液化石油气与天然气管输设备结合起来，调配液化气、甲烷、空气比例，达到燃烧使用要求。一方面可以拓展了城市管网，提高调峰、储备能力。另一方面，相对于建立LNG调峰储备站，利用现有的LPG存储设备，只需建立大型混空设备即可对天然气管网进行有效补充，投资运营成本较低。

LPG替代LNG的燃烧要求主要参考华白指数，华白数是代表燃气特性的一个参数，最早于1926年由意大利人华白（Wobbe）提出，又称沃泊指数，现为各国所通用。若两种燃气的热值和密度均不相同，但只要它们的华白数相等，就能在同一燃气压力下和同一燃具上获得同一热负荷。

5.2小型储罐的应用

LPG小型储罐应用，是指在居民小区、酒店等周边建立小型LPG储罐，建立管网，将液化气槽车对小型储罐定期配送供气，再管输至居家用户，实现LPG对区域内清洁能源的集中供应。此方案灵活、高效且经济可靠，可在我国经济不发达地区使用。即可解决我国LPG钢瓶充装运输过程中存在的问题，也是对LNG应用的有效补充，在欧美、日本等国家，已经普遍运用。（见图4）



图4 日本小型储罐应用示意图

2018年11月，我国青海省西宁市大通县土关村建造了一个“煤改气”的“试验田”，该村配套了一个液态LPG储罐，通过管线供应村内的燃气使用。

5.3炼厂燃料燃烧的补充应用

原油炼厂和一些凝析油、液化气深加工炼厂一般都自产液化石油气，并且作为副产品销售，随着“煤改气”政策的落实，炼厂锅炉燃烧原料已经改为天然气，在天然气供应紧张时，需要进行LNG补充，由于自产LPG只需简单的改造，就可以将LPG作为锅炉的燃料，此时只需简单计算LPG与LNG经济型即可，在适当的价格中，完全可以将LPG补充替代LNG甚至是管道天然气。（文/胡谦青 中海油能源发展股份有限公司销售服务分公司）

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/news/147983.html>