

液化天然气汽车的应用优势及存在的问题*

陈 曦 厉彦忠 王 强 张朝昌 苏 林

(西安交通大学制冷低温研究所)

摘 要 天然气用作汽车代用燃料对于改善石油资源的紧缺以及燃油汽车造成的尾气污染有着重大的意义,较之压缩天然气(CNG),液化天然气(LNG)具有存储压力低、能量存储密度大、一次充灌行驶里程长及低温储罐较高压钢瓶轻的巨大优势。此外,存储在 110 K 的低温下的 LNG 蕴藏着大量的冷能,回收该冷能用于制冷汽车空调,不仅有效利用了能源,而且减少了机械制冷造成的动力消耗和制冷剂泄漏造成的臭氧层破坏。随着 LNG 的生产和充灌、计量等配套设施的逐步完善,以及低温液体储运技术的发展,液化天然气汽车(LNGV)在我国将有着广阔的发展前景。

主题词 冷能回收 液化天然气汽车 燃料 汽车空调

当今交通工具特别是汽车排放的废气,对空气的污染引起了世界各国的关注。营造一个洁净清新的生存空间,成为世界性的急待解决的重要问题。根据国内外的考察和技术经济可行性分析,气体燃料——天然气,是最理想的燃料。试验证明:天然气发动机排放的废气,分别是柴油和汽车发动机的 1/5 ~ 1/10。我国东南沿海广东、福建、浙江、上海和江苏五省市人口密集,据悉,目前珠江三角洲、长江三角洲和福建利用天然气的可行性研究已经完成,在下个世纪对近海天然气和进口液化天然气的利用,可望对这里的环境质量改善做出较大的贡献。以天然气代替汽油的“绿色汽车”不论在技术上还是在经济上,以及其优质、高效、清洁的优点都将成为 21 世纪的发展热点。

液化天然气(LNG)是天然气(主要成分为甲烷)在常压下冷却至 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ 形成,与压缩天然气(CNG)相比,更具有储存密度高、加气连续行驶里程远,车装储罐压力小、重量轻、数量小,建站不受供气管网的限制等优越之处。如果把汽车工业、天然气工业及低温与制冷空调技术结合起来,开发一种以液化天然气为绿色汽车燃料的汽车空调系统,将会有很大的发展潜力。液化天然气吸热后气化温升至常态,再进入发动机的燃烧腔燃烧。由于液化天然气的优良环保特性,气化后用做汽车燃料,避免了汽车尾气造成的污染;同时,低温下存储的液化天然气具有大量的冷量,对该冷量进行回收用于汽车空调,可替代传统的氟里昂蒸汽压

缩式制冷机组,且整个制冷系统无任何机械运动部件,运行平稳,大大降低了噪音,也减少了机组的运行费用;此外还解决了因汽车制冷系统的制冷剂泄漏造成的臭氧层破坏,是一种真正意义上的绿色环保汽车,其研究应用将在汽车空调领域带来一场崭新的革命。

1 LNG 用作汽车绿色燃料的优势

目前,作为燃油汽车的替代燃料主要有天然气、液化石油气、太阳能、氢气及甲醇等。液化石油气的储量较少决定了液化石油气汽车(LPGV)很难有大的发展,而太阳能受地域和天气影响较大,决定了其只能作为一种辅助能源。氢气和甲醇的运行费用较高,且氢能的运用技术还远不成熟。因而污染较小、使用技术成熟且储量丰富的天然气作为现代汽车的绿色燃料是有极大优势的。

天然气发动机效率高、噪音小、废气几乎可以自由排放,作为汽车燃料近几年也取得了很大的发展,许多国家已成功开发出了以天然气为燃料的新型汽车,主要有压缩天然气汽车(CNGV)、吸附天然气汽车(ANGV)和液化天然气汽车(LNGV)。其中吸附天然气汽车还未进入商业推广阶段,目前存在着压缩天然气和液化天然气之争,这里主要就 CNGV 和 LNGV 进行比较。

压缩天然气是使用高压压缩机将天然气压缩存储,燃烧时通过减压装置减压释放,工艺流程相对简

* 基金项目:教育部高等学校骨干教师基金资助项目。

单,因而,目前 CNGV 的使用较为广泛。然而,CNG 的最大缺点是存储体积大、储气量小(一般为 $12 \sim 16 \text{ m}^3$),能量存储密度低、汽车连续行驶里程短、加气时间长。CNG 存储压力高(20 MPa 以上),对钢制气瓶储罐的制造要求高,因而危险性也大。

LNGV 起步较晚,但德国戴姆勒—奔驰公司推出的液化天然气技术系统(LNGT)一经面世就向世人展示了一种安全、经济、环保的汽车驱动新概念。LNG 是一种比 CNG 更优质的燃料,它是将天然气在 110 K 的低温下液化,在液化过程中首先要进行纯化处理,分离凝析油、重烃,除去 H_2O 、 CO_2 、 H_2S 以及有机硫化物等杂质。因而,LNG 不含硫和氮,其主要成分是 CH_4 ,着火点低,燃烧调节方便,无黑烟,单位发热量高($55\,700 \text{ kJ/kg}$),品质稳定,燃尽后也无灰渣和焦油,主要排放物是二氧化碳和水蒸气,是很好的“绿色”燃料。

表 1 LNG 与 CNG 的比较

成分	温度 (K)	压力 (MPa)	安全 性	密度 (kg/m^3)	一次充灌 行驶里程 (km)	能量 密度 (MJ/kg)
CNG (主要为甲烷 含有少量的 硫、氮等)	常温	$20 \sim 25$	差	130	$200 \sim 300$	5.0
LNG (纯化处理后, 基本为甲烷)	110	$0.05 \sim 0.5$	好	420	800	17.14

由表 1 的比较可以看出,用作燃料,LNG 较之 CNG 有许多明显的优势。LNG 存储密度大(420 kg/m^3),是标准状态下体积的 $1/625$,同时由于 LNG 的能量存储密度大,连续行驶距离一般也较长,通常是 CNG 的两倍以上。车载储液罐一般采用耐低温的特殊材料制造,夹层真空屏蔽,外设置相应厚度的隔热保温层,比 CNG 罐轻,制造成本也较钢制高压罐低,且存储压力低(接近常压),故安全性能好。从目前 LNGV 的实用效果看,LNGV 弥补了 CNGV 的许多不足,具有很强的发展势头,而且除了清洁高效的性能外,LNG 同时也是一种较为经济的燃料,其价格与汽、柴油相比具有一定的优势。同时,现有的 CNG 车用技术大部分可以直接移植到 LNG 车用系统上,从而有效降低 LNG 汽车的开发成本,这些都将给生产经营者带来良好的经济效益,因而 LNGV 是未来天然气汽车发展的重要方向。

2 回收 LNG 的冷能用作汽车空调

采用 LNG 作为汽车燃料不但缓解了石油供应的紧张、有效降低了汽车尾气污染,保护了环境,还具有免费供冷的优势。低温下储存的液化天然气,在汽化成室温气体的过程中将会释放出大量的冷能,其制冷量在 $860 \sim 883 \text{ kJ/kg}$ 之间,通过计算,普通汽车的回收

冷能约有 2.0 kW (大型汽车的回收冷能可达到 3.0 kW 以上),若将该部分冷能回收,用于汽车空调,不仅有效回收、利用了能源,而且减少了机械制冷造成的大量动力消耗和制冷剂泄漏造成的臭氧层破坏,具有可观的经济效益和环保效益。

目前,汽车空调采用的基本都是氟里昂蒸汽压缩制冷机组,压缩机一般都由汽车发动机通过连轴器驱动,这样制冷能力受车速的影响很大,由于汽车空调的震动很大,工作环境的恶劣使得汽车空调极容易损坏,所以汽车空调的维修保养就是一个大问题。蒸汽压缩制冷的汽车空调不仅有噪音污染,而且容易造成制冷剂的泄漏。氟里昂的泄漏对大气环境的破坏是明显的,CFC 工质的泄漏严重破坏了臭氧层。据统计,全世界每年泄漏到大气中的 CFC 达 $5.2 \times 10^4 \text{ t}$,其中 75% 是汽车空调泄漏的。鉴于此,如果将回收的冷能用于汽车空调,就无需配备单独的汽车空调制冷系统,既节约了汽车的制造成本,又彻底解决了汽车空调制冷剂泄漏。此外,整个制冷系统不使用压缩机,大大降低了噪音,因而可以说 LNG 汽车空调是真正意义上的绿色汽车,其研究将给汽车空调的发展带来新的思路。

根据液化天然气的性质,在用乙二醇作冷媒时,需研究低温工况下的换热规律,同时建立优化的冷量回收空调系统。为减少大温差下换热的不可逆损失,特设计天然气自加热并利用冷媒进行冷量回收的系统。通过对 LNG 自身的多次循环来进行加热增压,从而避免液化天然气直接与冷媒乙二醇大温差下的相变换热,这样就解决了乙二醇的冻结问题,避免了系统可能带来的冰堵。在实现 LNG 冷量回收的同时还可进行有效的蓄冷,以便于对整个冷量回收空调系统进行调节,满足不同行车工况下的冷量供应(见图 1)。

在该系统中,LNG 储存在低温储液罐 1 中,低温储

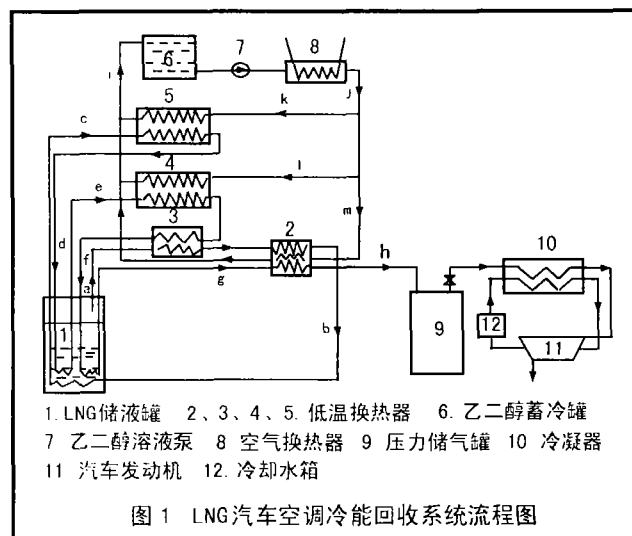


图 1 LNG 汽车空调冷能回收系统流程图

液罐采用多层真空屏蔽。其状态为 $P = 0.2 \text{ MPa}$ 下的饱和液。当储液罐阀门开启时,整个冷量回收的制冷空调系统便开始运行。

(1) 天然气侧的流动换热。储液罐中的液化天然气被三个盘管内的循环气态天然气加热,释放潜热气化为状态 a;汽化后的天然气保持罐内的压力且通过管路进入低温换热器 3,在 3 中被加热温度升高后再进入低温换热器 2 进一步提高温度到状态 b;然后回到罐内被液化天然气冷却,降温到状态 c,再进入低温换热器 5 被乙二醇复热到状态 d;然后又回到液体罐内降温到状态 e;接着进入低温换热器 4 中被乙二醇再加热升温后进入低温换热器 3 中,被从罐口出来的低温天然气先冷却到状态 f;再进入罐内进一步降温到状态 g;最后进入低温换热器 2 中被乙二醇加热汽化到状态 h 后进入储气罐 9,以供汽车发动机使用。

(2) 乙二醇侧的流动换热。乙二醇蓄冷罐 6 内的低温乙二醇溶液通过乙二醇溶液泵 7 升压进入空气换热器 8,与车厢回风进行充分的热交换,降温后的回风与新风按比例混合后送回车厢;温度升高后的乙二醇至状态 j;然后分为三股流体分别进入低温换热器 2、4、5 与低温天然气逆流换热,被低温天然气冷却后到状态 i,再返回乙二醇蓄冷罐 6,完成一个制冷循环。

3 LNGV 的发展所存在的问题

不可避免的,任何新生事物的发展都不是完美的,液化天然气汽车的工业化也存在着急需解决的问题。特别是我国的 LNGV 常处于试验阶段,液化天然气汽车要走出实验室,在我国的汽车工业中取得一席之地,需要天然气工业、汽车工业、低温与制冷工业的协作。目前的天然气发动机技术已经比较成熟,而对于低温制冷行业有以下几个方面还需要大力的研究和发展。

(1) 首先要解决汽车燃用 LNG 的自然汽化问题。无论采用多好的绝热技术,都会有漏热。低温容器(杜瓦)里的液化天然气受漏热作用会汽化,如果汽车处在正常运行状态,汽化后的天然气很快被发动机所消耗,因而不成问题。但如遇意外故障(如天气、道路、车辆等原因),汽车不能行驶,杜瓦内的气体量会越来越多,压力越来越高。一般低温容器设计为非耐压容器,因此内部压力的升高是非常危险的。目前的做法是,一旦压力超过规定极限,容器的安全阀会自动打开释放多余气体,其结果是把天然气排向大气,污染了环境,在车库里滞留久了还会有燃爆的危险。因而必须设计绝热性能优越的 LNGV 车用储罐。要求日蒸发率(NER)小于 1%,即带液静置 7 d 安全阀不起跳。液体充装率为 80%~90%(低温液体在密闭存储条件下都

有充装率的要求)。液位和压力指示灵敏、准确,抗干扰能力强。现在国外(特别是德国)的低温技术已经达到这个要求,我国的低温技术接近这个水平,还有待于大力的发展。

(2) LNG 必须能够大规模并且廉价的生产。国外从 20 世纪 70 年代就开始大规模生产,至今其总生产规模已达 $1 \times 10^8 \text{ t/a}$,占世界天然气销售量的 20%,且以每年 5%~7% 的速度增长。我国天然气资源丰富,但是天然气的液化产业还不够发达,因而还有很大的发展空间。

(3) LNG 的生产以及充灌、计量、储运等配套设施也必须逐步完善,这需要各级政府部门的大力扶持、鼓励和引导。

4 总 结

针对设计的液化天然气汽车的冷量回收汽车制冷空调系统,可以得出以下的几个优点:

(1) 采用液化天然气(LNG)作为汽车燃料及对其进行冷量回收,用于汽车空调,不但解决了汽车尾气污染,还杜绝了 CFC 制冷工质的泄露,保护了大气臭氧层,彻底实现了“绿色汽车”的环保理念。

(2) 对液化天然气(LNG)进行冷量回收用汽车空调,可将天然气液化生产所耗能量的 30% 加以回收利用,并且节省了压缩制冷所消耗动力(约占发动机输出动力的 10%),因而也就最大限度地利用了 LNG 燃料的总能量,节省了汽车燃料,降低了汽车运行成本。用乙二醇做冷媒,进行有效蓄冷,可以满足不同行车工况下的冷量供应。

(3) 降低了汽车的生产成本,节约了安装空间。该空调系统无任何机械运动部件,运行平稳,无噪音污染,维护费用低。

近几年,LNG 工业的快速发展以及相应政策的制定落实为液化天然气汽车(LNGV)的发展奠定了基础。目前,我国的汽车工业还不够发达,较之发达国家汽车数量较少,但随着经济的发展和加入 WTO,我国的汽车工业将大有发展潜力,考虑到可持续发展及能源结构多样化的需要,我国的汽车工业应该直接紧跟世界前沿技术。我国不大的汽车业规模减轻了改装和淘汰旧车所带来的包袱,也没有技术改造带来的更新换代需要的高成本,这些都极有利于液化天然气汽车在我国的应用与推广。相信随着天然气工业与低温工业的协调发展,LNGV 在我国将有着广阔的发展前景。

参 考 文 献

- 1 Ihlenburg F, Kesten M, Lürken F. Flüssiges Erdgas - der Zeitgemäße (下转第 300 页)

温方式等手段,能有效减小热效应的影响。

(3) 天然气中较重的组分在吸附剂上产生优先吸附,最难处理的是硫化氢。可采用传统精脱硫方式与以强氧化物为介质(例如:粉体吸附剂)的预吸附流化床反应再生装置组成的联合工艺来处理天然气,这样影响较大的组分基本都可以消除。

参考文献

- 1 裴梅硕士论文.石油大学(北京)
- 2 Matranga K R, Myers A L, Glandt E D. Storage of Nature Gas by Adsorption on Activated Carbon[J]. Chem. Eng. Sci., 1992, 47(7): 1569 ~ 1579
- 3 Chen X S, Enaney B M, T. J. Mays et al. Theoretical and Experimental Studies of Methane Adsorption on Microporous Carbons [J]. Carbon, 1997, 35 (9): 1251 ~ 1258
- 4 邹勇, 吴肇亮, 陆绍信 等. 天然气炭质吸附剂的最大理论吸附量和最大相当压力[J]. 石油与天然气化工, 1997, 26(3): 143 ~ 144
- 5 Marsh H, Crawford D. Carbons of High Surface Area. A Study by Desorption and High Resolution Electron Microscopy[J]. Carbon, 1982, 20(5): 419 ~ 426
- 6 Samdor G V. Study of Active Carbons by X-Ray Methods[J]. Colloid and Interface Science, 1984, 100(2): 536 ~ 539
- 7 白石念, 吉泽惠子, 大川胜美 等. 高比表面活性炭的微细组织. 炭素(日), 1992, 155: 295 ~ 300
- 8 周理, 李明, 周亚平. 超临界甲烷在高表面活性炭上的吸附测量及其理论分析[J]. 中国科学(B辑), 2000, 30(1): 49 ~ 56
- 9 刘海燕. 中国科学院山西煤炭化学研究所硕士论文, 1999
- 10 傅国旗, 周理. 吸附天然气储罐放气过程的数学模拟[J]. 计算机与应用化学, 2001, 18 (1): 35 ~ 40
- 11 Terry L. Cook. Low Pressure Adsorbed Nature Gas Vehicle Demonstration. 20th World Gas Conference Copenhagen, Denmark June, 1997
- 12 傅国旗, 周理. 天然气吸附存储实验研究[J]. 天然气化工, 2000, 25 (4): 12 ~ 14
- 13 傅国旗, 周理. 天然气吸附存储实验研究[J]. 天然气化工, 2000, 25 (6): 22 ~ 24
- 14 陈进富, 王嘉麟, 吴芳云 等. 天然气吸附存储技术用于汽车燃料的工业放大实验技术研究报告. 石油大学(北京), 2001, 12: 66 ~ 70

收稿日期: 2002-08-24 收修改稿: 2002-09-09 编辑: 康 莉

(上接第 291 页)

Kraftstoff. Gas Aktuell, 2000, 55: 36 ~ 42

- 2 Kuwahara N, Bajay S V, Castro L N. Liquefied Natural Gas Supply Optimization. Energy Conversion & Management, 2000, 41: 153 ~ 161
- 3 韩学春, 唐竞纯. 石油时代以后的汽车及能源展望. 汽车技术, 1996, (6): 43 ~ 49
- 4 刘延元. 国外天然气和液化石油气汽车的发展. 汽车技术, 1999, (4): 57 ~ 58
- 5 程劲松, 白兰君. 世界液化天然气工业发展综述. 天然气工业, 2001, 20(3): 101 ~ 105
- 6 张笑波, 林在犁. 液化天然气的汽车开发与应用. 汽车研究与开发,

2000, (3): 10 ~ 13

收稿日期: 2002-07-29 收修改稿: 2002-09-19 编辑: 康 莉

(上接第 294 页)

从图 2 可看出, 它的碳转化率高 1.39%, 活性寿命长。而由图 3 知, 在使用过程中, CN-18 催化剂的每天每立方米催化剂的吨氨产量始终比常用工业催化剂高, 其值为 $1.33 \text{ t}_{\text{NH}_3}/\text{d} \cdot \text{m}^3$ 催化剂左右。因此, 该催化剂是一种性能较优良的一段转化催化剂。

3 结 论

(1) 经工业一年多的试验表明, CN-18 催化剂的各项技术指标均达到工厂的生产使用需要, 且反应活性好。

(2) 该催化剂机械强度高, 使用一年后, 一段炉压力降仍稳定在 0.2 ~ 0.25 MPa 范围。

(3) 该催化剂在反应温度 760 °C, 水碳比为 3.0 下, 其出口残余甲烷比常用工业催化剂低 0.36%, 碳转化率比其高 1.39%。

(4) CN-18 催化剂每天每立方米催化剂比常用工业催化剂的产氨量高 1.33 t。

参考文献

- 1 冯孝庭. 气态蒸汽转化催化剂. 化肥催化剂实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1992 第一版, 71 ~ 115
- 2 戚蕴石. 催化剂的工程应用. 固体催化剂设计[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 1997 年第一版, 84 ~ 103
- 3 Feng C F and Stewar W E. Ind. Eng. Chem. Fund. [J], 1973, 12: 143

作者简介

夏代宽: 男, 1945 年生, 遂宁市人, 教授, 主要从事化学反应工程、化学工艺、化工环保等的科研和教学工作。

收稿日期: 2002-03-12 编辑: 康 莉

重 要 变 更

北京民和电气有限公司因业务发展需要, 原电话及传真号码及电子信箱变更如下:

联系电话: 010-64838529/30/31

传 真: 010-64861709

电子信箱: sales@tomoc.com.cn

ABSTRACTS

THE DEVELOPING ADVANTAGES OF LIQUEFIED NATURAL GAS VEHICLE (LNGV)

Chen Xi, Li Yanzhong, Wang Qiang, Zhang Zhaochang, Su Lin (Institute of Refrigeration and Cryogenics, Xi'an Jiaotong University). *CHEMICAL ENGINEERING OF OIL AND GAS*, VOL. 31, NO. 6, pp289 ~ 291, 2002 (ISSN 1007 - 3426, IN CHINESE)

ABSTRACT: It is of the great meanings that natural gas is used as automobile substitute fuel for improving the status about shortage of the petrol resource and the pollution of the auto exhaust. Compared with the Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Natural Gas (LNG) has the advantages of higher energy intensity, longer running mileage and the lighter of low temperature store liquid pot than high pressure steel bottle. So it is more suited to be used as auto fuel. In addition, LNG in cryogenic situation of 110K has plenty of cold energy. The cold energy recovered is used in auto air conditioning, which has both great economy and environmental protection benefit for greatly decreasing power consuming and destruction to ozonosphere. LNGV will has wide development prospects in our country with the production, fill and finish irritating, measure auxiliary facility gradual perfection of liquefied natural gas and the development of low temperature liquid storage and transportation technology.

SUBJECT HEADINGS: cold energy recovering, LNGV, fuel, automobile air conditioning

THE INDUSTRY PRE - OPERATION OF GAS HYDROCARBON STEAM REFORMING ON CN - 18 NICKEL CATALYST WITH DOUBLE HAMPED DISTRIBUTION IN PORE STRUCTURE

Xia Daikuan¹, Liu Zhonghua² (1. College of Chemical Engineering, Sichuan University, 2. The Southwest Research Institute of Chemical Industry). *CHEMICAL ENGINEERING OF OIL AND GAS*, VOL. 31, NO. 6, pp292 ~ 294, 2002 (ISSN 1007 - 3426, IN CHINESE)

ABSTRACT: The CN - 18 nickel catalyst of gas hydrocarbon steam reforming is used for the industry

pre - operation on the plant of steam reforming furnace with 20 000 t/a ammonia capability. Under the conditions: pressure 1.3MPa, furnace inlet temperature 400℃, outlet temperature 670℃, $m_{H_2O}:m_C = 3.0$, the pressure drop is 0.2MPa after a year. The furnace inlet temperature is lower 20℃ than usual industrial catalyst, which can save energy. The reaction activity of CN - 18 catalyst is greater 10% than usual industrial catalyst, and the remains methane content in reforming gas is less than 10%, the production capacity raises by 7.5%.

SUBJECT HEADINGS: CN - 18 catalyst, methane steam reforming, industry pre - operation

ETHYLENE RECOVERY FROM REFINERY GAS BY PRESSURE SWING ADSORPTION

Zhang Chuanjiang¹, Zhao Yongqin¹, Yang Shuchun² (1. Jingmen Petrochemical Complex, SINOPEC, 2. Chengdu Huaxi Research Institute of Chemical Industry). *CHEMICAL ENGINEERING OF OIL AND GAS*, VOL. 31, NO. 6, pp295 ~ 297, 2002 (ISSN 1007 - 3426, IN CHINESE)

ABSTRACT: Through the choice of adsorbents and operating conditions, the ethylene in refinery gas with low concentration is recovered by pressure swing adsorption, the ethylene content of product is 66% and recovery rate is up to 58%.

SUBJECT HEADINGS: ethylene, pressure swing adsorption, adsorbent, recovery

THE INFLUENCING FACTORS AND MODIFIED MEASURES IN THE APPLYING PROCESS FOR ANG

Xu Wendong, Chen Jinfu, Li Shuyuan et al (School of Chemical and Engineering, University of Petroleum, Beijing). *CHEMICAL ENGINEERING OF OIL AND GAS*, VOL. 31, NO. 6, pp298 ~ 300, 2002 (ISSN 1007 - 3426, IN CHINESE)

ABSTRACT: The influencing factors in the applying process for ANG are summed up in this paper. The factors consist mainly of microcosmic structure of adsorbent, the effect of adsorption heat and components of natural gas. The methods catalyze and