



KRYOPAK EXP LNG 工艺简介

# An Introduction to Kryopak EXP<sup>®</sup> LNG Process



Max Universal Inc. 美国顶值国际, 中国地区独家代理

## **什么是 LNG, 为什么要用 LNG.....**

LNG 是液化天然气的英文 (Liquefied Natural Gas) 之简称。将天然气低温液化的目的是为了便于将天然气从生产地区向消费市场之运输。液化天然气的体积大约只是常压下天然气体积的 1/600。由于天然气液化的过程需要大量的能耗, 因此只有在管道输送至消费市场太远时, 才有它的经济可行性。

所有 LNG 的生产工艺都是基于一个共同的概念 --- 即将天然气冷却到一极低的温度 (大约-161°C), 在此温度下天然气在常压下变为液体。天然气冷却有着不同的制冷工艺过程, 但天然气冷凝的过程都是相同的。湿天然气首先要经过预处理以除去二氧化碳, 硫化氢, 水银, 硫醇和水份。经过预处理的天然气需要首先预冷到一个中间温度 (大约-35°C) 除去重组份, 以免在低温下固化。脱除重组份的天然气 (主要为甲烷和乙烷组份) 再被进一步冷却到大约-161°C (-258°F) 变为液化天然气, 并送去储罐储存。分离下的重组份可以进一步分离成市场所需要的产品, 例如丙烷, 丁烷等。

## **现在有什么样的 LNG 工艺-----**

所谓不同的 LNG 工艺是指制冷工艺的不同。有三种主要商用混合制冷剂工艺用于现有的大型 LNG 工厂, 它们分别是: APCI (美国空气化学产品公司) 的 C3MR (丙烷预冷混合制冷剂工艺), CONOCOPHILLIPS (美国康尼克飞利浦) 的 OCR (优化阶式制冷工艺) 和 PRICO 的单级混合制冷工艺, 以上均称为 MR (混合制冷剂工艺)。

尚有其它另外几种工艺, 例如 SHELL (壳牌) 的 DMR (双级混合制冷剂工艺), LIGUIFIE AXEUS 工艺, SFMR (单流混合制冷工艺), MFC (混合介质阶式工艺) 和 ABB 的双膨胀循环等, 但大都是处在有限制的应用和发展阶段。

## **为什么 KRYOPAK EXP LNG 工艺-----**

上述所有主要商用 LNG 工艺主要是为大型 LNG 液化工厂所设计, 因为需要复杂的工艺及设备以达到降低能耗之目的。但是对边远小型 LNG 液化工厂, 一般认为这些工艺并不适应, 因为它的工艺和设备复杂, 并且存在对于进料流量和天然气组份适应能力的限制。

观察一个典型的天然气液化 Q/T 图 (工温图), 如图-1 所示, 天然气的液化主要有三个阶段, 即预冷段, 液化段和过冷段。可以看出这三个阶段的曲线形状是不同的, 或者说比热是不同的, 应该注意的是不同的天然气组份其 Q/T 图的形状也是不同的。换句话说, 不同的天然气组份, 其预冷段, 液化段和过冷段相应于不同的温度和冷量区。

混合制冷剂 (MR) 循环工艺是针对一设计天然气组份而设计制冷剂以其达到将冷却曲线尽可能接近三个冷却段, 以达到提高制冷效率和降低能耗之目的。但当天然气组份变化时, 其 Q/T 图将相应变化。因此, 其两曲线的温度接近将使去原设计的目的, 更谈不上制冷的效率。

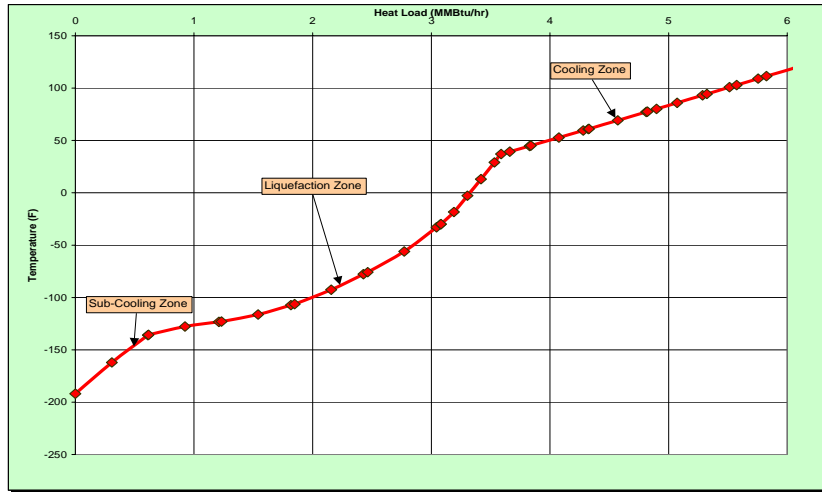


图-1：典型天然气液化 Q/T 图(工温图)

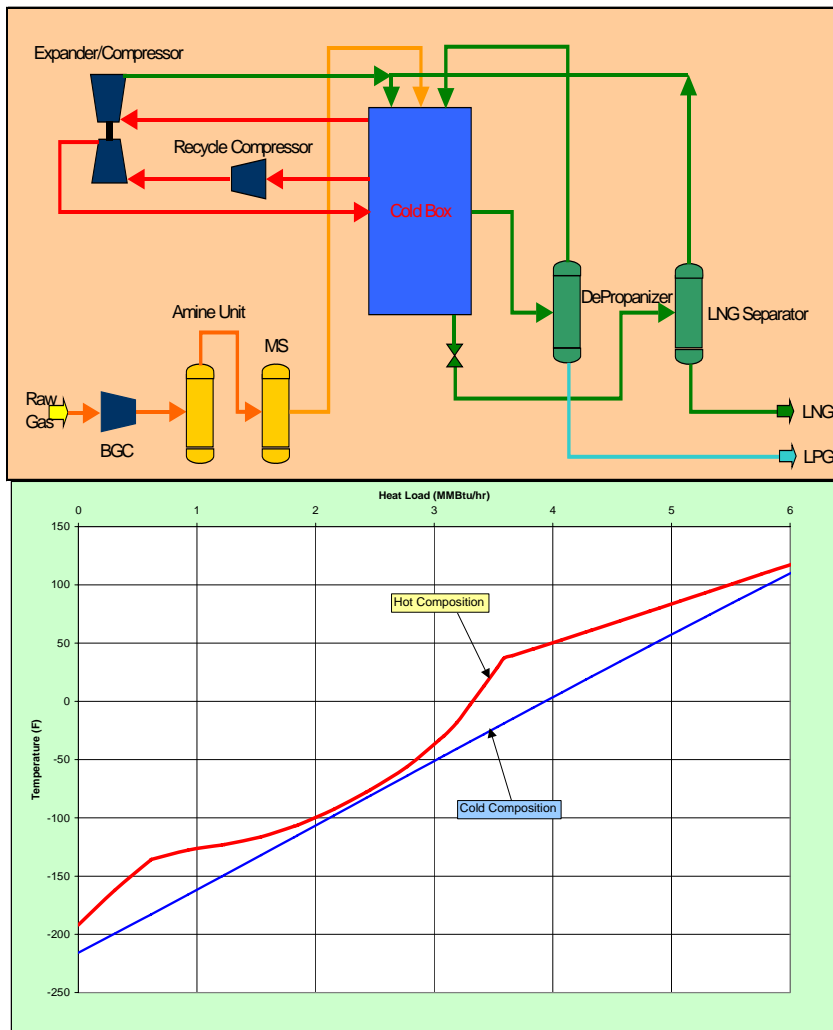


图-2：KRYOPAK EXP 工艺简图及 Q/T 图

KRYOPAK EXP 工艺采用一个单一封闭等商气体膨胀机进行制冷。如图-2 所示，其膨胀制冷气体的组份就是由最终 LNG 产品闪蒸出的气体。由于此工艺没有采用象 MR 式

的机械制冷方式，因此使其工艺大大简化。用此气体循环的方法其 Q/T 的形状将因冷量在不同的冷却段的注入量而相应变化，因此获得两曲线的温度接近并减小由于气体组份变化所导致的效率降低。循环气体的流量，进料气体和制冷气体的压力将改变其 Q/T 图的形状，这是此工艺设计中的优化点。此工艺的控制系统将识别这些变化并自动调控以达到系统的最佳状态。

在 KRYOPAK EXP 工艺中，功和制冷由气体膨胀输出，制冷用于气体的液化，而输出功用于膨胀循环气体的再压缩。从热力学的角度来说，这种膨胀循环应该与混合剂制冷循环有着相同的效率。现代气体膨胀机的热效率已达 85% 以上，这就使膨胀制冷工艺在 LNG 工艺中显现出更多的应用机会。应用这种设计理念，KRYOPAK EXP 工艺可以获得中等水平的制冷能耗 0.20 - 0.23 hp/lb LNG (13.5 – 15.5 kW/ton-day LNG)，可与报导的大型 MR 天然液化工厂的能耗 0.18-0.25 hp/lb LNG (12.2 – 16.8 kW/ton-day LNG) 相媲美。我们的一个 150,000 Nm<sup>3</sup>/day (125 tons /day LNG) 典型设计仅需 2,550 kW 的制冷能耗。

#### ***KRYOPAK EXP 工艺的好处及优点如下-----***

- 相比于 MR 工艺，此工艺非常简单。
- 由于制冷循环是由 LNG 液化之需冷量而自动调整，因此可适应于气体组份的变化而不改变工厂的效率。
- 循环制冷剂总是在气体状态，因此消除了象 MR 工艺那样的储存和分离制冷剂之所需，因此也消除了由此带来的安全之问题。单相气体也使冷箱的设计变得简化。
- 无须预先调配制冷剂。
- 所有的工艺设备都是选用常规设备，没有新设计或未经证明可用的新极术设备。

正象世界著名 LNG 工厂评价公司 PTL (PROJECT TECHNICAL LIAISON & ASSOCIATES) 对该工艺所评价的那样：

*“该工艺具有使用简单制冷系统和相对少的低温工艺设备并快速达到冷平衡之优点。工艺的简单化和自平衡特性使其操作简单化。此工艺对原料气组份的变化并不敏感(这已由三个例子所证明) -----。该工艺所使用的设备都是常规设备，因此一般设备厂商就可以提供----- “*

## Gas and LNG Facts..... (天然气和LNG之真值)

### Typical Components of Industry Gas Streams (典型工业气体)

Names	Components											
	CO2	H2S	N2	C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	C6	C7+
Inert Gas	x		x									
Acid Gas	x	x										
LNG			x	x	x	x	x	x				
Natural Gas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LPG					x	x	x	x				
Natural Gasoline						x	x	x	x	x	x	x
NGL					x	x	x	x	x	x	x	x
Condensate (Stabilized)							x	x	x	x	x	x

### Definitions of Words and Terms Used in the Gas Processing Industry

#### (天然气加工工业之常用词)

Cricondenbar	The highest pressure at which liquid and vapor phases can exist at equilibrium in a multicomponent system.
Cricodentherm	The highest temperature at which liquid and vapor phases can exist at equilibrium in a multicomponent system.
GPM	Preferably Gal/Mcf (gallons per thousand cubic feet): This term refers to the content in natural gas of components which are recoverable or recovered as liquid products.
Mcf	An abbreviation for one thousand cubic feet of gas.
MMscf	An abbreviation for one million cubic feet of gas.
RVP (Reid Vapor Pressure)	The vapor pressure of a material measured by the Reid Method and apparatus as detailed in ASTM Test Procedure D-323.
Wobbe Number	A number proportional to the heat input to a burner at constant pressure. In British practice, it is the gross heating value of a gas divided by the square root of its gravity. Widely used in Europe, together with a measured or calculated flame speed, to determine interchangeability of fuel gases.
Heating Value (Heat of Combustion)	The amount of heat obtained by the complete combustion of a unit quantity of material. The gross, or higher, heating value is the amount of heat obtained when the water produced in the combustion is condensed. The net, or lower, heating value is the amount of heat obtained when the water produced in the combustion is not condensed.

**Gas Properties and Pre-Treating for LNG (天然气之性质及 LNG 预处理)**

Components	MW	Boiling Temp		Freezing Temp		Gas Purity to LNG
		(°C)	(°F)	(°C)	(°F)	
Nitrogen	28.013	-195.80	-320.44	-209.90	-345.82	<1% (Note 1)
CO2	44.010	-78.50	-109.30	-56.60	-69.88	<50-100ppmv (Note 2)
H2S	34.080	-85.55	-121.99	-60.35	-76.63	<4ppmv
Methane	16.043	-161.49	-258.68	-182.48	-296.46	
Ethane	30.070	-88.63	-127.53	-183.27	-297.89	
Propane	44.097	-42.07	-43.73	-187.69	-305.84	
i-Butane	58.124	-11.73	10.89	-159.60	-255.28	
n-Butane	58.124	-0.50	31.10	-138.35	-217.03	<2%
Neo-Pentane	72.151	9.50	49.11	-16.55	2.21	<5ppmv
i-Pentane	72.151	27.85	82.13	-159.90	-255.82	
n-Pentane	72.151	36.07	96.93	-129.72	-201.50	<0.1%
n-Hexane	86.178	68.74	155.73	-95.35	-139.63	<0.5%
Mecyclopentan	84.162	71.81	161.26	-142.46	-224.42	
Benzene	78.115	80.10	176.18	5.53	41.96	1-10ppmv (Note 2)
Cyclohexane	84.162	80.74	177.33	6.55	43.80	1-10ppmv (Note 2)
Mecyclohexane	98.190	100.93	213.68	-126.59	-195.87	
Toluene	92.141	110.63	231.13	-94.91	-138.84	
E-Benzene	106.169	136.19	277.13	-94.98	-138.96	
p-Xylene	106.169	138.85	281.93	13.26	55.87	
m-Xylene	106.169	139.10	282.39	-47.87	-54.17	
o-Xylene	106.169	144.41	291.94	-25.18	-13.33	
n-C7	100.206	98.43	209.17	-90.61	-131.10	
n-C8	114.233	125.67	258.20	-56.80	-70.23	
n-C9	128.260	150.79	303.42	-53.52	-64.33	
H2O						<0.5ppmv
Mercury						<0.01microgram/Nm3
						<10Nanogram/Nm3

Note: 1. Limited by product specifications for particular projects

Note: 2. Depends on overall composition

**LNG Process Energy Usage Comparison (Assumed 100% Compression Eff)**

**(LNG 工艺之能耗比较 --假设 100%压缩效率)**

Process	Energy Consumption		Application
	kW/ton-day LNG	HP/lb-LNG	
APCI (C3MR)	12.2	0.18	Base Load
ConocoPhillips (OCR)	14.1	0.21	Base Load
Prico (SMR)	16.8	0.25	Base Load, Small Scale
Sell (DMR-SMR)	12.5	0.18	Base Load
ABB Dual Expander Cycle			
TEX + C3R	13.5	0.20	Small Scale
Dual TEX Cycle	16.5	0.24	Small Scale
Pre-Cooled Dual TEX Cycle	13.0	0.19	Small Scale
Kryopak EXP®	15.5	0.23	Small Scale
Kryopak PCMR®	13.0	0.19	Base Load, Small Scale
<p>Note: C3MR - Propane Mixed Refrigeration                      OCR - Optimized Cascade Refrigeration                      SMR - Single Mixed Refrigeration                      DMR - Dual Mixed Refrigerant                      C3R - Propane Pre-Cooled                      PCMR – Pre-Cooled Mixed Refrigerant                      EXP - Turbo-Expander                      TEX - Turbo-Expander</p>			

**Useful Conversions (常用单位换算)**

1 million tones LNG	=~ 2.2 million cubic meter LNG
1 million tones per year (tpy) LNG	=~ 140 million standard cubic per day (MMscfd) gas
100 MMscfd gas	~ 730,000 tpy LNG
	~ 2,100 tpd LNG
1 million cubic meter LNG	= 6.29 million bbl LNG
	=~ 460,000 tonnes LNG
1 cubic meter LNG	~ 600 cubic meter gas
	~ 21200 cubic foot gas
	=~
1 standard cubic foot (scf)	= 0.0268 normal cubic meter (Nm <sup>3</sup> )
1 standard cubic meter (scm)	= 1.057 normal cubic metter (Nm <sup>3</sup> )
1 kmole gas	= 22.41 Nm <sup>3</sup> @ 101.325kPa(A) and 0°C
1 lb-mole gas	= 379.49 scf @ 14.696psia and 60°F

## **Salof Refrigeration Co.**

### **Kryopak, Inc.**

#### ***Head Office***

5141 IH 35 South  
New Braunfels, TX 78132  
USA  
Tel: (800) 837-7174 or 830-625-1613  
Fax: (830) 625-0778  
Email: [gsalof@salof.com](mailto:gsalof@salof.com)

#### ***China Region Exclusive Agency ( 中国地区独家代理 )***

Max Universal Inc. (美国顶值国际)

16225 Park Ten Place Dr., Suite 500  
Houston, TX 77084  
USA  
Phone: (713) 574 1674  
Fax: (281) 398 0249

Email: [infomaxuniversal@max-universal.com](mailto:infomaxuniversal@max-universal.com)

Max Universal Inc. (美国顶值国际) (Beijing Office)

Room A 1007, No.8 Bei Chen Dong Lu  
Chaoyang District  
Beijing 100101, P.R. China  
Tel: (86)10 8497 2377  
Fax: (86)10 8497 2488  
E-mail: [qujing@max-universal.com](mailto:qujing@max-universal.com)