

# 利用 LNG 气化站冷能的 冷库系统研究

1. 深圳中燃哈工大燃气技术研究院, 深圳 518033;
2. 上海燃气工程设计研究有限公司, 上海 200070;
3. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150090

聂廷哲<sup>1</sup>、焦琳<sup>2</sup>、段常贵<sup>3</sup>

## 1. LNG 气化站冷能利用概述

近年来, 我国一些城市相继建立了 LNG 气化站作为城市气源, 向用户提供天然气。LNG 通常以  $-160^{\circ}\text{C}$  左右的低温液体状态储存在罐中, 在供给用户前, LNG 需要重新升温气化, 在这个过程中, 大量的低温冷能被释放, 其值大约为  $830\text{kJ}/\text{kg}^{[1]}$ 。回收这部分可用冷能, 具有可观的经济效益和社会效益。

LNG 冷能利用的研究和实际应用已取得了一定的进展, 从现有的冷能利用方式可见, 无论是用于空分装置、冷能发电、制取二氧化碳还是冷冻仓库, 都不能简单地得出结论说那种方式最好, 因为它们是在不同能级利用 LNG 冷能。LNG 气化站的气化压力较低, 一般为  $0.6\text{Mpa}$  左右, 根据压力对 LNG 火用影响得知, 其压力火用较小, 低温火用大, 故在确定冷能利用方案时应充分利用其低温火用。结合 LNG 气化站本身的特点, 考虑站场规模同冷能利用规模的关系, 确定冷冻仓库是一种比较适合 LNG 气化站的冷能利用方式<sup>[2]</sup>。

## 2. 冷库简介

冷库是在特定的温度和相对湿度条件下, 对食品、工业原料等进行加工或储存的建筑物。随着我国农业深加工、农业产业化步伐的加快, 水产品、果品及蔬菜等的保鲜、加工储存需要呈大幅增加势头, 作为现代物流系统重要组成部分的冷库日益受到关注。

冷库一般包括冻结间、低温库和高温库, 属于用电大户。根据统计资料, 冷库冻结间耗电指标平均值为  $110\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ , 但耗电指标高的达到  $180\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ , 低的仅为  $70\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ ; 低温库耗电指标平均值为  $0.4\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ , 但耗电指标高的达到  $1.4\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ , 低的仅为  $0.2\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ ; 高温库耗电指标平均值为  $0.5\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ , 但耗电指标高的达到  $1\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ , 低的仅为  $0.3\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{t}\cdot\text{日})$ 。由此可见, 冷库耗电指标相差悬殊, 节能潜力很大<sup>[3]</sup>。如果能够把 LNG 气化冷量用作冷库冷源, 这将无疑大大提高

了系统效率，达到节能的效果。

### 3. 冷库利用 LNG 冷能系统的确定

LNG 储存温度一般为  $-162^{\circ}\text{C}$ ，冷库库房温度一般在  $-60\sim-25^{\circ}\text{C}$  之间，一般的换热设备是难以实现如此大的换热温差。因此必须考虑通过中间冷媒来降低换热温差，即将 LNG 的冷量先转移至低凝固点的中间冷媒上，再通过冷媒的循环把冷量传递给需要冷却的空气，尽量减小一次传热温差，把传热温差控制在  $100^{\circ}\text{C}$  以内<sup>[4]</sup>。由于 LNG 气化站冷量产生的不均匀性，在利用气化冷量作为冷库的冷源时，必须用到蓄冷技术，把冷量储存起来。

文献[5]提到 LNG 蓄冷装置是利用相变物质的潜热存储 LNG 冷能。原理如下：白天 LNG 冷能充裕时，相变物质吸收冷量而凝固；夜间 LNG 冷能供应不足时，相变物质溶解，释放出冷量供给冷能利用设备。考虑到 LNG 气化站的实际运行情况以及冷能利用情况，在设计蓄冷系统时，不是简单的用中间相变物质，而是采用类似于冰蓄冷的系统。

蓄冷槽的采用不但可以弥补 LNG 气化站冷量产生不均的不足，而且加快了初冷速度，使得库房温度稳定，冷却设备不需要化霜，减少了基建投资和氨液泄露的同时也保证了冷藏产品的品质。为了保证冷库的制冷品质，其工作模式应为：气化冷量必须经过一中间载冷剂（可能为相变物质）再传递给氨液，然后再供用户使用。该过程表明冷量必须经过蓄冷系统，故工作模式只有三种：单蓄冷、单溶冰、蓄冷溶冰同时进行。系统示意图见图 1。

该系统有三种工作模式：(1)单蓄冷：冷库不工作，只有 LNG 气化放出冷量，然后蓄冷槽只蓄冷，工作的只有换热器和蓄冷槽。(2)单溶冰：LNG 不气化，蓄冷槽只把本身储存的冷量释放出来供冷库制冷用。(3)边蓄边供：换热器、蓄冷槽和末端冷却设备同时工作，但 LNG 气化释放冷量大于冷库所需冷量，就把多余的冷量通过蓄冷槽储存起来。

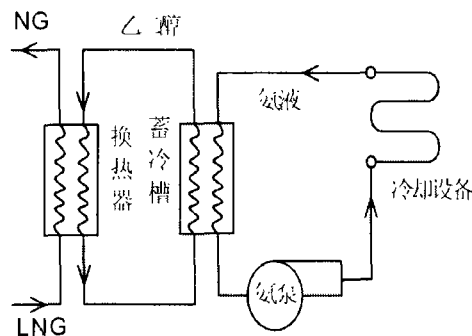


图 1 利用 LNG 冷能的冷库系统示意图

### 4. 冷库利用 LNG 冷能系统的设计

针对某一实际 LNG 气化站进行冷库利用 LNG 气化冷能系统设计。天然气供气规模为  $5\ 921$  万  $\text{Nm}^3/\text{年}$ 。其它参数见表 1。

表 1 系统参数

项目	环境温度 (K)	系统压力 (MPa)	甲烷比例 (mol%)
数据	300	0.6	78.48

冷库设计为低温冻结库，库温为  $-25^{\circ}\text{C}$ 。用中间冷媒来降低换热温差，并采用蓄冷槽以解决 LNG 气化站气化冷量同用户用气不均匀性之间的矛盾。确定冷媒为 60% 的乙二醇溶液，LNG 通过与乙二醇换热气化成气态天然气，释放冷量通过乙二醇的循环传递给蓄冷槽储存，最后通过氨液的循环为冷库提供冷量。换热器统一选取板翅式换热器。同时考虑实际生产过程的需要，对进库产品进行预冷，预冷间温度为  $10^{\circ}\text{C}$ 。冷能回收系统流程图见图 2。

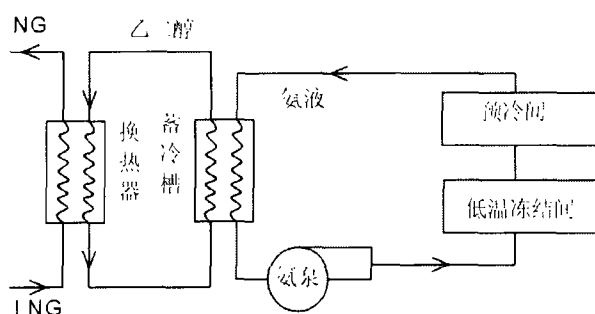


图 2 冷能回收系统流程图

## 5. 冷库利用 LNG 冷能系统的分析

### 5.1 能量分析

计算该规模气化站产生的冷量负荷大小，数据见表 2。

表 2 气化站冷量数据

日均气化量 ( $\text{Nm}^3/\text{d}$ )	释放冷量 ( $\text{MJ}/\text{d}$ )	冷量回收率 (%)	回收冷量 ( $\text{MJ}/\text{d}$ )	合计 ( $\text{kW}$ )
162 220	107 283.22	32.66	35 038.7	405.54

即该 LNG 气化站提供有效冷负荷为  $400\text{kW}$  左右。根据文献[6]可知，一库长  $30\text{m}$ 、宽  $20\text{m}$ 、高  $5\text{m}$  的低温冷库群总耗冷量为  $252.28\text{kW}$ ，可见该 LNG 气化站产生的冷量可用于建造一定规模的冷库。

通过计算可知，库温  $-25^{\circ}\text{C}$  时的 LNG 冷能回收量完全可以满足该冷库的耗冷量，无需再采用其它制冷设备。还可考虑把节余的冷量充分利用起来，以免浪费。

### 5.2 经济分析

该气化站的具体投资和收益见表 3。

表 3 气化站投资和收益

回收冷量 (MJ/d)	35 038.7
冷量价格 (元/MJ)	0.056
冷量收益 (万元/a)	71.05
冷能回收系统投资 (万元)	32.41
年折旧费用 (万元/a)	1.02
每期现金流入 (万元/a)	69.43
投资回收期 (年)	0.487

从上表可以看出, 只需要 0.487 年就可以完成投资回收。投资回收期之所以这么短, 主要是因为计算时并未考虑人工费用、系统能源消耗等运行费用。即使把上述因素都考虑进去, 系统的回收期也会保证在一年左右<sup>[7]</sup>, 可见利用 LNG 冷能作冷库冷源是一种十分理想的利用方式。

## 6. 结论

LNG 气化站冷能利用具有较高的经济效益和社会效益, 冷库系统是进行 LNG 气化站冷能利用的一种有效方式。通过对冷库利用 LNG 冷能系统进行能量分析和经济分析, 表明在一定规模下, LNG 冷量完全可以满足冷库的用冷需要, 并且在较短时间内就可完成系统的投资回收。

### 参考文献:

- [1] 朱刚, 顾安忠. 液化天然气冷能的利用. 能源工程, 1999, (3): 1~2
- [2] 焦琳. LNG 气化站冷能利用研究. 哈尔滨工业大学硕士论文. 2006
- [3] 董瑞连. 冷库制冷系统节能措施. 节能技术, 2002, 20(2): 41~42
- [4] 王强, 厉彦忠等. LNG 汽车冷能回收空调系统. 天然气工业, 2005, 25(10): 124~126
- [5] 张君瑛, 章学来, 李品友. LNG 蓄冷及其冷能的应用. 低温与特气, 2005, 23(5): 7~9
- [6] 唐贤文, 杨泽亮. LNG 卫星站中的冷能应用于冷库设计探讨. 第一届中国液化天然气论坛文集, 2006, 345~348
- [7] 吴胜琪, 杨冠雄. 利用 LNG 冷能于冷冻冷藏库与其他节能系统应用研究. 国立中山大学博士论文. 2003