

# 大型液化烃低温储罐结构及其保冷设计探讨

陈森平 (安徽实华工程技术股份有限公司宁波分公司, 浙江 宁波 315000)

**摘要:** 本文首先根据液化烃储存种类进行详细研究, 并且针对现阶段常见的大型液化烃低温储罐深入探究, 以此作为核心研究条件, 总结储罐保冷设计对比方案。

**关键词:** 大型液化烃低温储罐; 保冷设计; 低温常压储存模式; 单壁金属罐结构

## 0 引言

由于液化烃能源属于优质能源, 具有体积小、便于储存、热值高、环境污染小和经济效益好等优点, 尤其是在石油等资源日趋枯竭和二氧化碳、氮氧化物对环境污染加重的今天, 其在全球范围内的应用更加广泛。

## 1 液化烃储存种类

气体状态天然气能源想要提升保存时间, 应经过冷冻液化致使自身体积减小气体状态的 1/625 之后通过灌装实现能源储存, 极大提升能源储存质量和效率。为此液化烃储存种类的选择成为储存方案设计中首要问题, 在液化烃低温储存种类选择上, 影响能源储存模式的因素复杂, 比如: 液化烃能源储存量、能源传输速度、传输频率、传输模式、储存液化烃物理特点、设备支出成本以及储存模式运行费用等方面, 为此应根据特点选择适合的储存模式。

现阶段常见大型液化烃储存模式主要分为两种: 其一为压力储存模式, 包含: 常温压力储存和低温压力储存。其二为低温常压储存模式。根据液化烃能源特点设计储存模式时, 需要根据储罐设备的基础储存能力选择适合的储存技术。

### 1.1 低温常压储存模式

低温常压储存主要将液化烃能源自身温度降低至蒸汽压力数值最接近常压的温度指数, 以此完成能源储存。因此首先将液化烃物质储存温度减少至自身沸点标准温度以下, 时刻保证能源物质处于冷冻状态, 随后低温储罐技术操作压力进行标准设计时应该略高于常压参数, 不断减少储罐内壁基础厚度, 完成液化烃稳定储存。与传统压力储存模式相比较, 其储存压力较低, 具有显著的安全性能, 并且液化烃能源如果始终处于冷冻状态能够减低发挥速率, 使用低温常压储存模式下的储罐设备, 其自身气体状态储存空间相对较小, 极大地增加液化烃物质的基础储存数量, 适合大容量的储罐。高经

济性的低温常压储存模式已逐渐成为液化烃能源常见储存模式之一, 不仅技术成熟化, 而且所搭配的储罐设备储存体积同样向大型化方向转变。

### 1.2 低温压力储存模式

由于液化烃长期处于低温条件和环境下, 能源液体状态下的蒸汽压力低, 其储存设备的压力设计同样比常温压力储罐低, 减少储罐生产钢材基础消耗数量。因此储存模式主要应用在北方地区, 能够最大程度节省制冷设备运转所需要支出的经济成本, 为此北方大多数中型液化烃储存站使用此种储存模式。

### 1.3 常温压力储存模式

由于液化烃能源物质在常温环境下的基础储存压力明显低于常温环境下饱和蒸汽压力数值, 常温压力储存模式所开展的方案设计压力参数最高限度, 通常为液化烃能源物质液体状态温度条件下的饱和状态气压参数。其中该储存模式方案设计压力越高, 储罐钢材基础消耗数量则越大, 但是常见储罐内部结构设计时受到钢材材质厚度数据的约束和限制, 其内部结构容积不能过大, 一般情况下不超过 5000m<sup>3</sup>。加上大型的液化烃能源储存区域如果使用常温压力储存模式, 则会由于储罐数量增加提高基础占地面积, 因此, 此种能源储存模式通常应用在储存数量较小的中、小型液化烃储备站点。

## 2 大型液化烃低温储罐结构种类

大型液化烃低温储罐的保温结构层是确保液化烃能源物质始终处于深度冷却状态的重要结构之一。因此实际开展液化烃储罐保冷方案设计时, 其保温材料通常无需承担设备以及液化烃基础压力, 使用常见的保冷材料均能够满足抗压强度需求, 为此通常使用膨胀珍珠岩原材料进行自然堆积的顶部保冷核心材料, 而液化烃储罐隔冷结构则应该针对储罐不同结构特点使用适合的保冷材料。其中单壁金属罐结构需要选择质量较轻的聚氨酯发泡原材料, 有效附着在储罐周边实现结构保温, 双壁金

属罐结构由于保冷模式特殊，其内部结构主要包含金属储罐以及混凝土储罐两种结构模式，所以保冷材料主要利用膨胀珍珠岩。

薄膜储罐结构一般需要使用高强度的玻璃纤维硬质聚氨酯泡沫材料，进而针对液化烃储罐结构进行合理保冷处理和内部结构设计，确保储罐内部结构冷损失效率降低至最小，同时所选择的保温材料基础抗压强度还能够有效支撑储罐内部结构、液化烃能源以及保温结构等总体重量，为此针对储罐开展方案设计时，始终坚持储罐底部不同位置承压灵活性，以及降低储罐冷损失率等基础原则，可以将储罐底部隔热保温结构划分为周边内壁横梁以及核心隔热两个环节，使用不同类型的保冷材料。

由于储罐保冷周边横梁是承担储罐以及液化烃能源重量的重要内部结构零部件，因此对于材料保冷隔热要求相对较高，储罐建设过程中一般使用结构强度较高的珍珠岩混凝土作为周边横梁的核心保冷材料。珍珠岩混凝土使用之前，首先需要调整岩石和混凝土基础占比，以此满足储罐保冷方案设计所要求的基础抗压强度系数和导热系数。而针对储罐底部的保冷材料来说，现阶段使用较多为泡沫玻璃材质，该材料与珍珠岩混凝土材料相比较，能够无需重复加工和性能测试直接应用在施工环节，并且该材料使用过程中可以有效满足储罐保冷隔热方案设计需求。如表 1，材料抗压应力数值。

表 1 材料抗压应力数值

材料名称	标准编号	规格厚度 (mm)	规定最小数值		压力的最大许用应力 $S_{15}$ MPa
			抗压强度 MPa	屈服点 MPa	
					104
Q235-B	GB/T 700 GB/T3274	≤ 16	375	235	104
		17-40	375	235	112
Q235-C	GB/T 700 GB/T3274	≤ 16	375	235	112
		17-40	375	235	120
Q345R	GB 3531	6-16	490	315	159
12MnNiVR	GB 19189	6-16	610	490	183

### 2.1 单壁金属罐结构

单壁金属罐结构是现阶段常见的地上模式储罐设备，为此储罐顶部一般使用膨胀珍珠岩作为基础保冷隔热材料，其中液化烃能源物质如果长期在极低温度环境下储存，普通碳钢材质极易硬化变脆，

并不适合用于液化烃储罐的生产和建造，针对此种特殊环境，应该使用基础含量为 9% 的镍合金钢材料或者低温合金钢材料，确保在低温环境下液化烃的稳定性。而单壁金属罐结构一般具有能源载定型保冷基础功能，所以保冷结构层通常使用聚氨酯原材料，材料一次性生产完毕。

为了保证单壁金属罐结构稳定性，储罐底部部位必须使用泡沫玻璃生产材料，致使所生产出储罐机械强度系数可以均匀分布。而珍珠岩混凝土应该分布在储罐内部主要位置有效支撑储罐重量，而储罐外部结构则需要增加金属保护板保护保冷材料，抵抗外界不可逆冲击力和极端天气。如图 1。

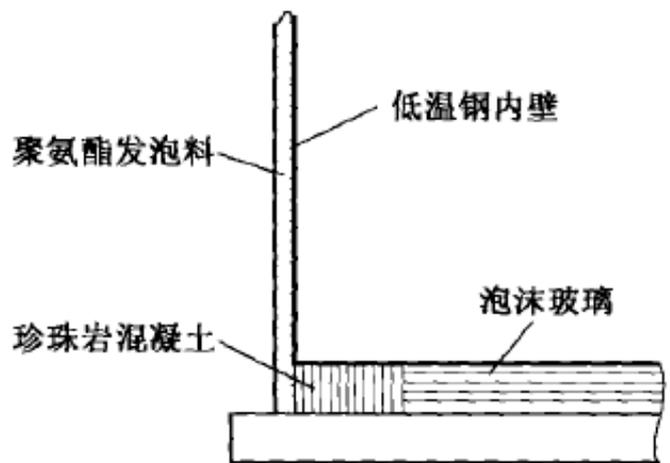


图 1 单壁金属罐结构

### 2.2 双壁金属罐结构

双壁金属罐由于内部结构设置过程中相比单壁金属罐增加了一层外部罐体，如图 2。

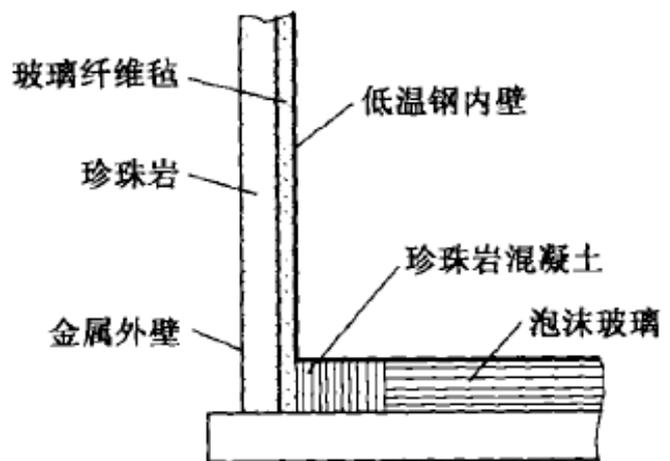


图 2 双壁金属罐结构

由图 2 可知，双壁金属罐结构外部保护区域可以装载保冷材料，针对内部罐体进行保护的同时有

效防止储罐产生二次渗漏风险，因此双壁金属罐结构具备较高的抗震、抗压、抗渗透以及抗冲击能力等优势和特点。除此之外，作为液化烃低温环境的主要承载结构，其自身具备高水平密封性，可防止一次性渗透问题，而保温结构层设置在内罐与外罐之间，确保液化烃能源物质始终处于低温储存状态。

### 2.2.1 金属结构

金属结构的罐体主要由两个独立区域组成套装，其中罐体顶部的保冷材料通常使用膨胀珍珠岩材料进行堆积，储存天然气能源物质的内罐结构与单壁金属罐基本相同，主要由基础含量为9%的镍合金钢材料或者低温合金钢材料共同构成，而该储罐结构的外部环境则由钢材生产和制作，该保护层主要是外部保护。金属结构罐体侧面内壁保冷材料选择珍珠岩，等待液化烃物质充满设备尾部结构中，内罐会不断缩小导致金属结构储罐侧面内壁上部分区域以及边缘区域的珍珠岩填充不足，此时如果进行材料二次填充不仅基础填充数量较高，并且技术操作难度较大。为此应该在金属储罐内罐结构外部保护内壁上增加具有一定弹性的保温材料，确保珍珠岩在内罐不断增加的压力作用下被压制缩小，等待内罐在此降温处理时，外部保护的玻璃纤维材料可以及时回弹，以此不断补充罐体基础收缩数量，防止材料的重复填充问题的产生。

### 2.2.2 薄膜结构

薄膜结构设计模式来源于LNG运输船只的基础储存技术，与自我支撑结构储罐设备相比较，该结构模式技术特点主要将储罐进行气体密封，并且与储罐机械强度相互独立分开，由于气体密封所产生的基础功能不会受到外部应力的影响，因此储罐保温层需要将所有作用应力传输至混凝土储罐内壁结构中。同时薄膜储罐结构内部通常使用具有膨胀能力的低温钢材质，因此其内部结构强度系数进行方案设计时应该充分考虑液化烃能源物质的液体静态压力，而罐体外部除需承担内罐液化烃能源静态压力以外，还需要承担各种机械压力的作用，为此罐体外部保温材料需要使用玻璃纤维材料，确保罐体直接与预应力混凝土结构直接接触。

## 3 大型液化烃低温储罐保冷设计

通常情况下，大型液化烃低温储罐保冷技术的选择应该根据罐体生产工程的经济投入水平、技术操作难度以及施工流程等实际情况，并且充分结合自然条件和气候环境进一步决定。

### 3.1 单内壁罐体

单内壁罐体在生产和保冷设计过程中属于早期生产产品，由于该设备内部结构设计十分简单，因此有方案设计简单、施工周期时间较短、经济造价较低、罐体内部维护便捷、保冷材料等技术优势，但单内壁罐体与双壁罐体相互比较，该结构模式在安全性和稳定性相对较低，在相同环境和自然条件下，该罐体结构明显缺少对内部罐体结构的保护性，除此之外，在保冷隔热应对措施方面，单内壁罐体一般使用聚氨酯原材料作为基础保温材料，核心保冷面积相对较大，虽然生产过程中能够均匀发泡操作但是技术操作难度相对较大，在后续使用过程中，其外部保温结构层极易受到损坏，影响罐体保冷隔热基础效果，除此之外，由于单内壁罐体结构相对比较单薄，所以罐体经济维修成本相对较高。

### 3.2 双内壁罐体

由于双内壁罐体结构生产和设计具有明显复杂性，因此该储罐整体占地面积较大，经济投入极高，后续施工和生产难度大。由于双内壁罐体由于双层保护结构，所以罐体生产安全性相对较高，无需经常维护尤其适合使用在自然环境恶劣的地区，所产生的经济收益同样明显大于单内壁罐体。

### 3.3 混凝土罐体

混凝土罐体在生产技术、安全性、稳定性等方面普遍具有技术长处，成为现代化先进的储罐保冷设计模式，该保冷罐体主要应用在对应用区域自然条件要求不高的地区，一般可以建造为地上模式、半地上或者地下模式，金属罐体一般在地上安装。

## 4 结语

由此可见，液化烃能源是我国重要能源之一，为此液化烃在供应与使用之间需要确保基础平衡性，但是现阶段随着城市液化烃能源使用数量不断增加，连续传输和供应与基础需求数量之间产生了明显的矛盾问题，加上液化烃的开发效率大幅度提升，能源运输距离随之提高，增加了两者之间的矛盾问题，为有效解决以上问题，需积极引进和研究全新储存模式和设备，尽可能降低储存过程中的损耗，确保液化烃能源使用质量。

### 参考文献：

- [1] 王金孝. 16万<sup>m</sup><sup>3</sup>LNG低温储罐2400型泡沫玻璃砖国产化应用[J]. 石化技术, 2020, 27(6): 2-2.
- [2] 魏成革, 张婷婷, 马青军, 等. LNG储罐弹性毡拉伸强度测试及分析[J]. 物理测试, 2021, 39(1): 3-3.