



第五届中国液化天然气大会

The Fifth China LNG Conference

# 低温储运系统配套金属全容罐结构与安全分析





# 1. 全容罐概述

## 1.1 储罐应用场所 (LNG为例)

(1) LNG液化工 (2) LNG调峰装置 (3) LNG液厂+调峰



阳光8000m<sup>3</sup>LNG全容罐



沃能1万m<sup>3</sup>LNG全容罐



美锦2万m<sup>3</sup>LNG金属全容罐

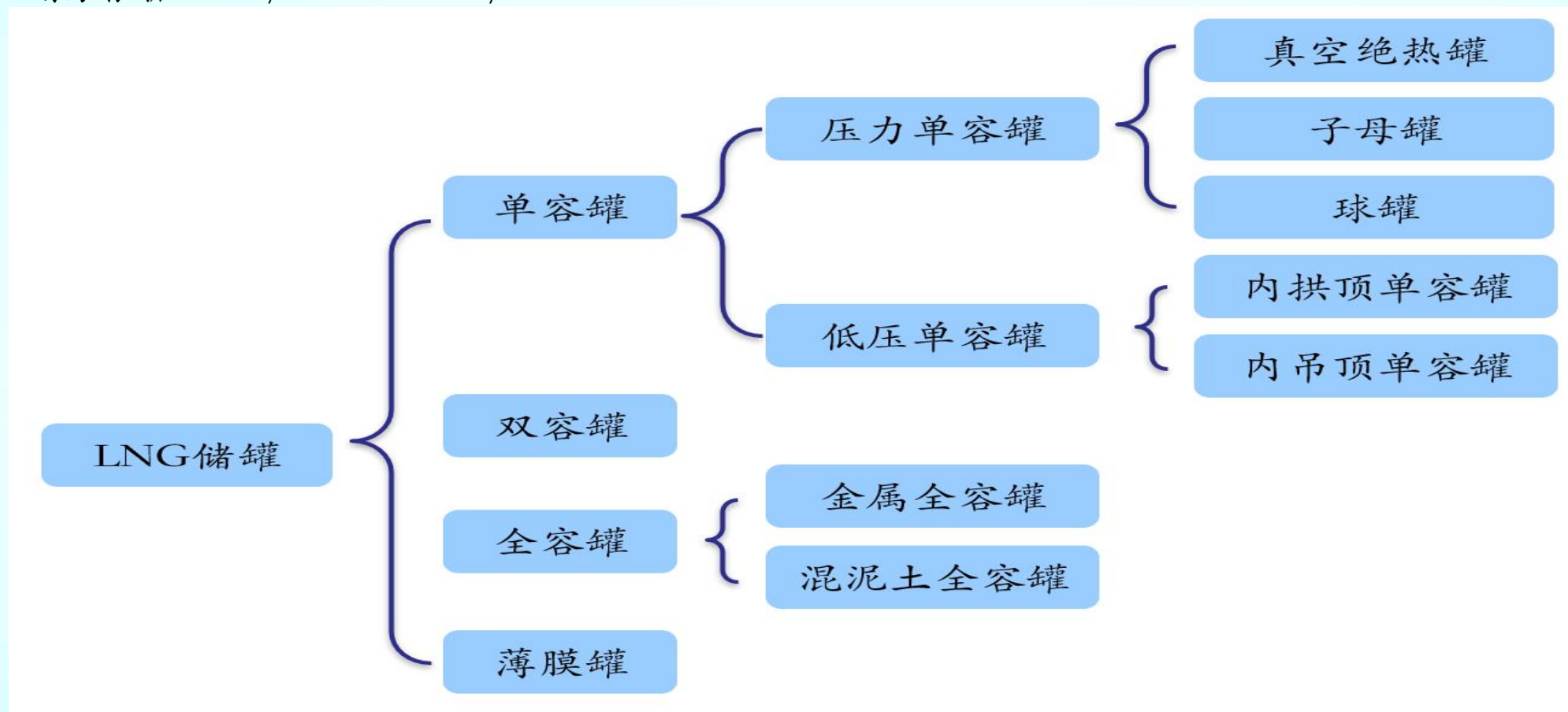


宜川2.9万m<sup>3</sup>LNG全容罐



## 1.2 储罐概述

划分依据：GB/T26978、GB/T20368、GB50183、GB51261、EN14620







储罐分为单容罐、双容罐、全容罐、薄膜罐。

**10.3.4** 围堰和集液池至室外活动场所、建(构)筑物的隔热距离(作业者的设施除外),应按下列要求确定:

1 围堰区至室外活动场所、建(构)筑物的距离,可按国际公认的液化天然气燃烧的热辐射计算模型确定,也可使用管理部门认可的其他方法计算确定。

2 室外活动场所、建(构)筑物允许接受的热辐射量,在风速为0级、温度21℃及相对湿度为50%条件下,不应大于下述规定值:

- 1)热辐射量达  $4000\text{W}/\text{m}^2$  界线以内,不得有50人以上的室外活动场所;
- 2)热辐射量达  $9000\text{W}/\text{m}^2$  界线以内,不得有活动场所、学校、医院、监狱、拘留所和居民区等在用建筑物;
- 3)热辐射量达  $30000\text{W}/\text{m}^2$  界线以内,不得有即使是能耐火且提供热辐射保护的在用构筑物。

3 燃烧面积应分别按下列要求确定:

- 1)储罐围堰内全部容积(不包括储罐)的表面着火;
- 2)集液池内全部容积(不包括设备)的表面着火。

**10.3.5** 本规范第10.3.4条2款1)、2)项中的室外活动场所、建筑物,以及站内重要设施不得设置在天然气蒸气云扩散隔离区内。扩散隔离区的边界应按下列要求确定:

1 扩散隔离区的边界应按国际公认的高浓度气体扩散模型进行计算,也可使用管理部门认可的其他方法计算确定。

2 扩散隔离区边界的空气中甲烷气体平均浓度不应超过2.5%;

3 设计泄漏量应按下列要求确定:

- 1)液化天然气储罐围堰区内,储罐液位以下有未装内置关闭阀的接管情况,其设计泄漏量应按照假设敞开流动及流通面积等于液位以下接管管口面积,产生以储罐充满时流出的最大流量,并连续流动到0压差时为止。储罐成组布置时,按可能产生最大流量的储罐计算;
- 2)管道从罐顶进出的储罐围堰区,设计泄漏量按一条管道连续输送10min的最大流量考虑;
- 3)储罐液位以下配有内置关闭阀的围堰区,设计泄漏量应按照假设敞开流动及流通面积等于液位以下接管管口面积,储罐充满时持续流出1h的最大量考虑。



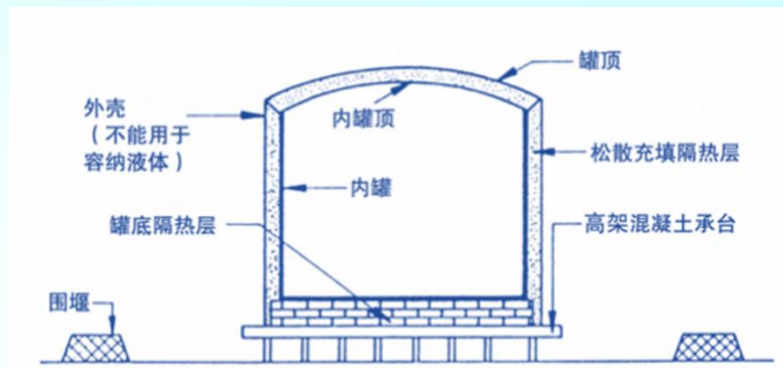
## 单容罐

只有一个储存低温液体的自支撑式钢质储罐,该储罐可由带绝热层的单壁或双壁结构组成,具有液密性和气密性。

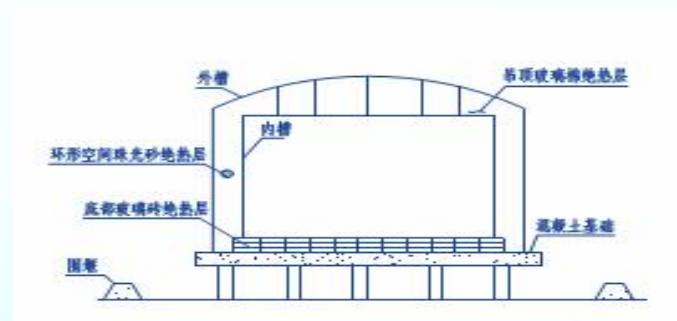
产品蒸发气应储存在:

- a) 容器的钢质拱顶内:
- b) 当主容器是一个敞开的杯状体时,储存在包围主容器的气密金属外罐内,金属外罐仅设计用于储存产品蒸发气及支撑和保护绝热层每个单容罐的周围应筑有围堰,以容纳可能泄漏的产品。

根据蒸发气储存和绝热的方式不同,有多种形式的单容罐。



(1) 固定顶单容罐简图



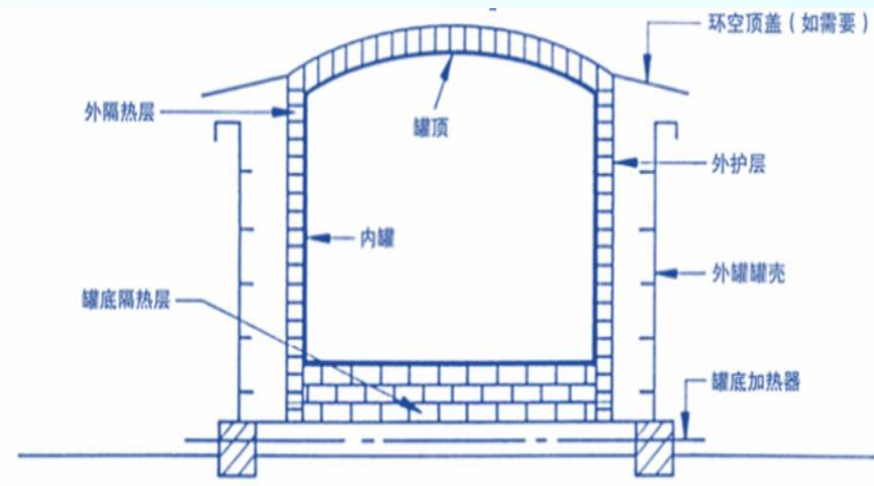
(2) 吊顶单容罐简图



## 双容罐

具有液密性的次容器和建立在次容器之中的单容罐共同组成的储罐,次容器与主容器水平距离不大于6 m 且顶部向大气开口。

次容器顶部为敞开式,无法防止产品蒸发气的逸出。主容器与次容器之间的环形空间可用一个“防雨罩”遮盖,以防止雨水、雪、尘土等进入。



双容罐结构简图





## 全容罐

具有液密性、气密性的次容器和建立在次容器之中的主容器共同组成的储罐,次容器为独立的自支撑带拱顶的闭式结构。

主容器应为以下两种形式之一:

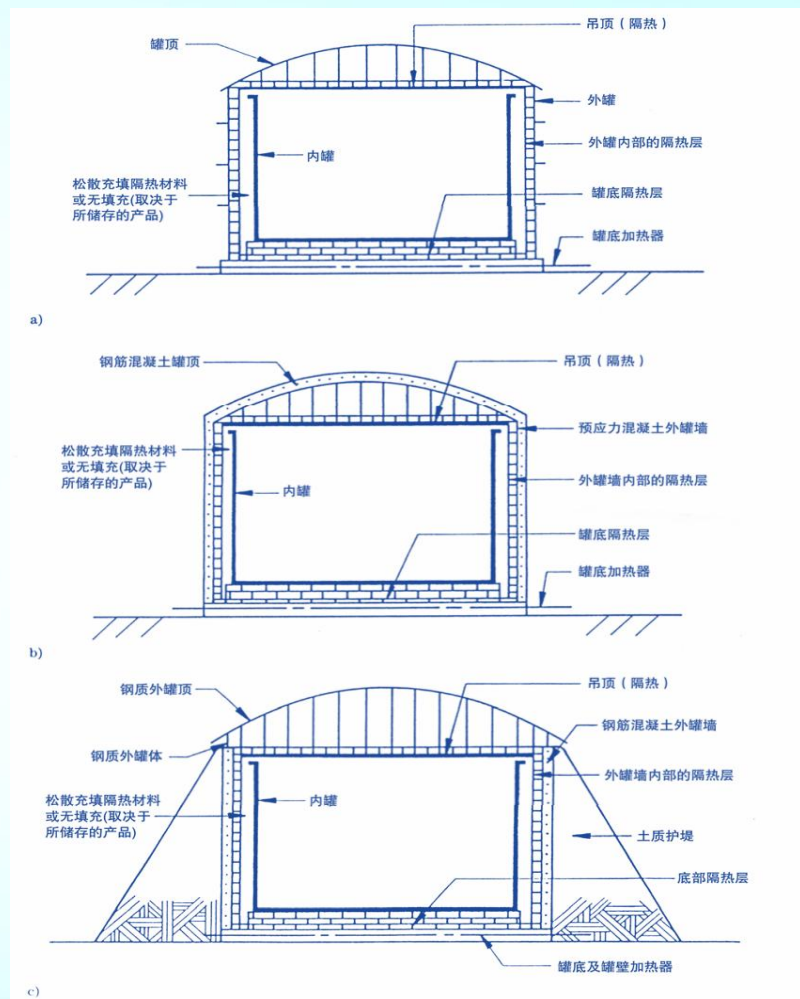
- 在顶部开口,不储存产品蒸发气;
- 配备拱顶,可储存产品蒸发气。

次容器应是一个具有拱顶的自支撑式钢质或混凝土储罐,其设计应同时满足以下要求:

- 在储罐正常操作条件下:作为储罐的主要蒸发气容器(此情况适用于顶部开口的主容器),并支撑主容器的绝热层;
- 在主容器泄漏的情况下:装存全部的液体产品,并保持结构上的气密性。可以进行排气,但应通过卸压系统对其进行控制。

主容器和次容器之间的环形空间径向宽度不应大于 2.0 m。

在次容器外部设置有绝热层的全容罐也应符合上述要求。





## 薄膜罐

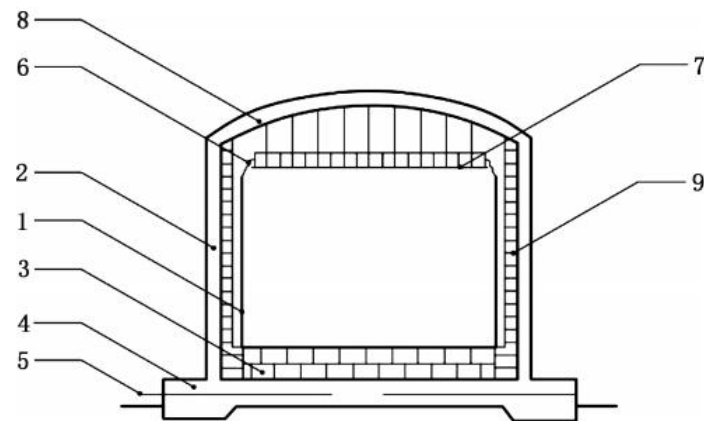
有一个薄的钢质主容器(即薄膜)、绝热层和预应力混凝土罐体共同组成的能储存低温液体的复合结构。

金属薄膜内罐为非自支撑式结构,用于储存低温液化气,其液相荷载和其他施加在金属薄膜上的荷载通过可承受荷载的绝热层全部传递到混凝土外罐上,其气相压力由储罐的顶部承受。

作用在薄膜上的全部静液压荷载及其他荷载均应通过承载绝热层转移至混凝土罐上。

蒸发气应储存在储罐顶部,该储罐顶部既可以是复合结构,也可以由气密拱顶和吊顶上的绝热材料构成。

混凝土罐和绝热系统应按照在薄膜泄漏时能够装存液体的形式进行设计。



标引序号说明:

- 1——主容器(薄膜);
- 2——次容器(混凝土);
- 3——底部绝热层;
- 4——基础;
- 5——基础加热系统;

- 6——柔性绝热密封;
- 7——吊顶(绝热);
- 8——混凝土顶;
- 9——预应力混凝土外罐内侧的绝热层。





### 1.3全容罐定义（结构基本功能要求）

#### (1) “全容罐”的核心基本功能要求

根据GB/T 26978.1-2011 现场组装立式圆筒平底钢质液化天然气储罐的设计与建造 第1部分 总则要求：

（次容器）在**主容器泄漏**的情况下：**装存全部的液体**产品①保持结构上的气密性②可以进行排气。从上述标准定义看，在主容器发生泄漏（含大量泄漏）后，“全容罐”的核心功能要求是：

①次容器应能“**装**”、“**存**”泄漏的“全部产品液体（LNG）”

②次容器应能“**装**”、“**存**”“全部产品气（BOG）”

也即是说，“全容罐”结构设计上应满足装存主容器泄漏工况下的全部液体和气体。

#### (2) 结构上如何设计能满足上述“金属全容罐”基本功能及要求

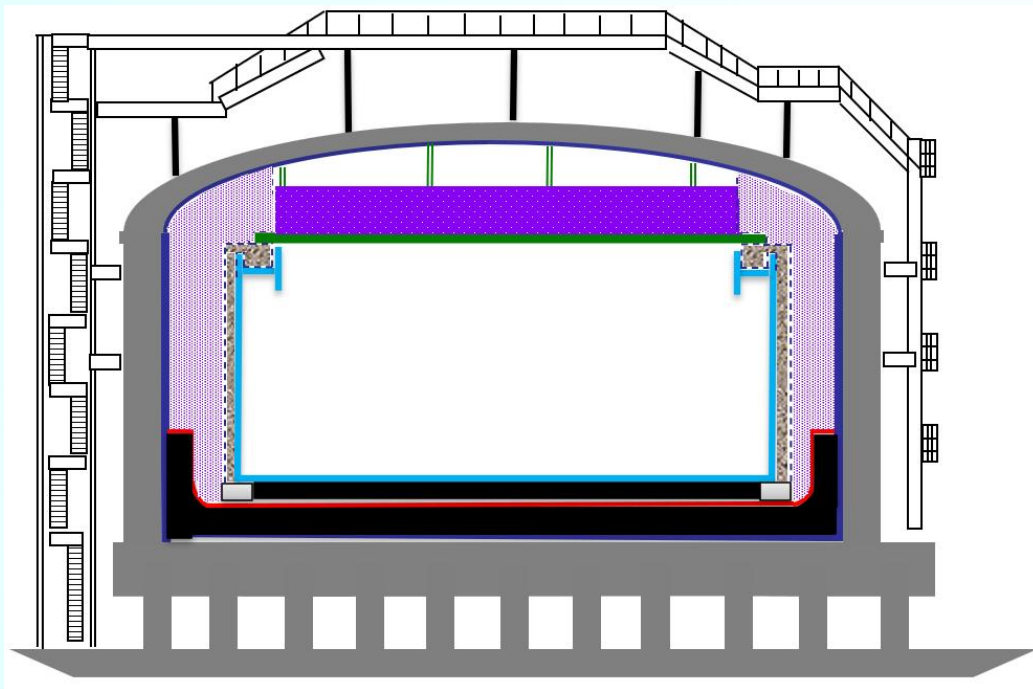
目前市场上金属全容罐的主要结构探讨分析（略）

#### (3) “全容罐由一个主容器和一个次容器组成，此二者共同构成一个完整的储罐”。全容罐“次容器”由“次液体容器、蒸发气容器”组合的标准依据

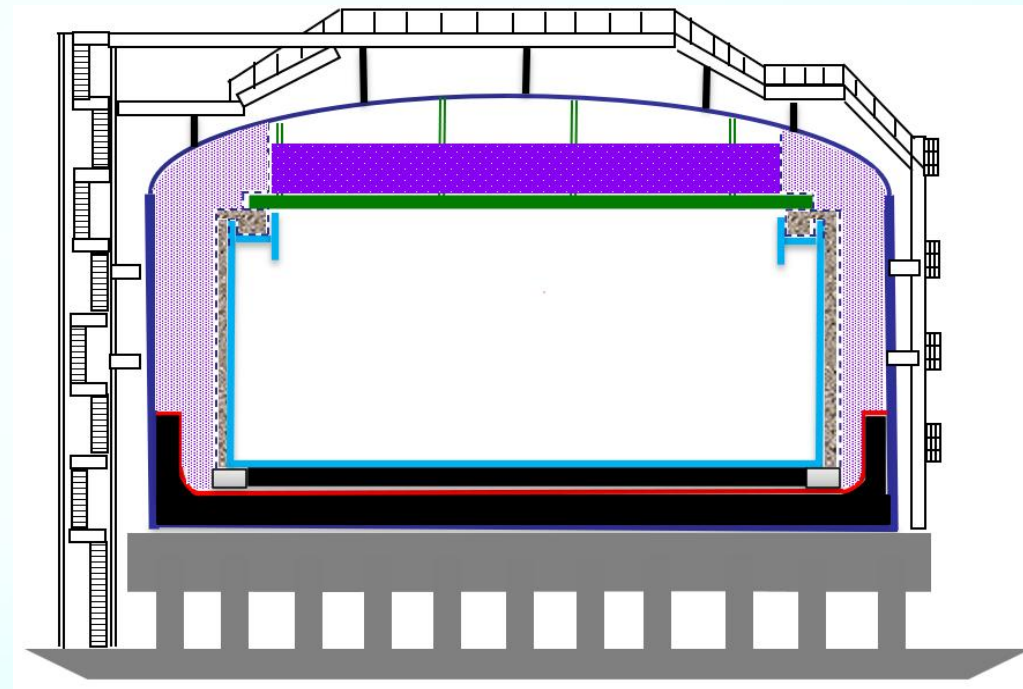


## 2. 全容罐结构探讨

### 双金属全容罐由来



GB/T26978: 预应力混凝土全容罐示例



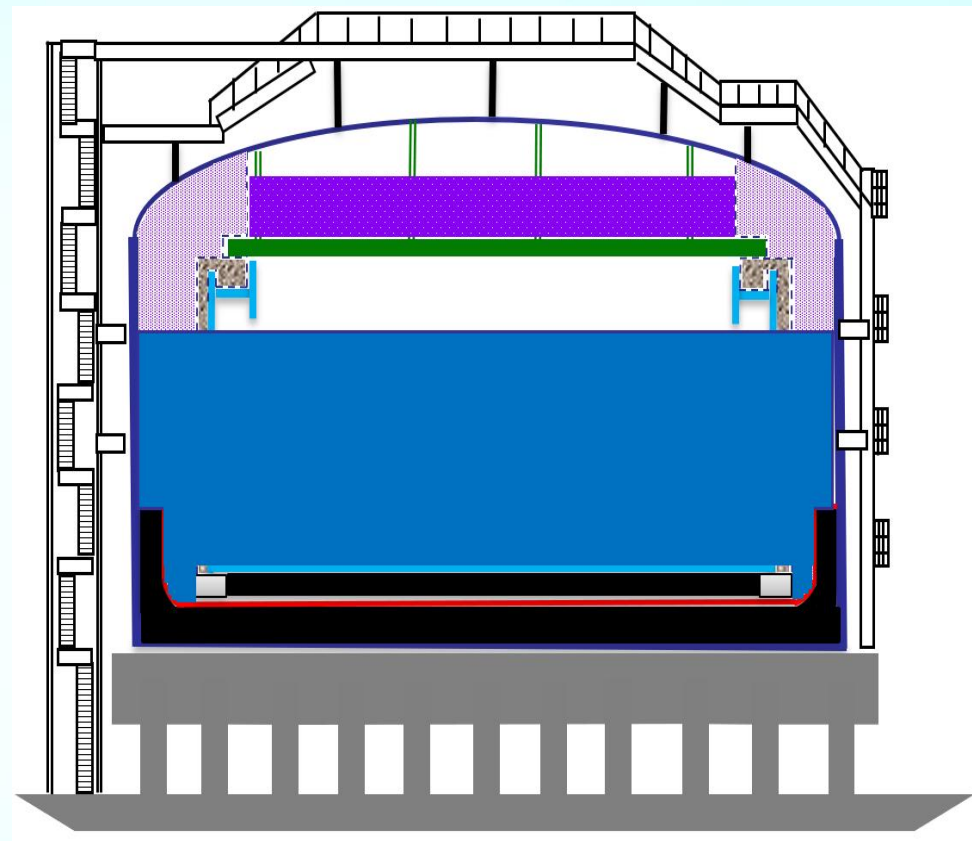
带热角保护的双金属壁金属全容罐



## 2.1 “缺憾”的双金属全容罐

### (1) 设计结构“缺憾”

主容器完全泄漏工况下应力分析、温度场分析难以通过。



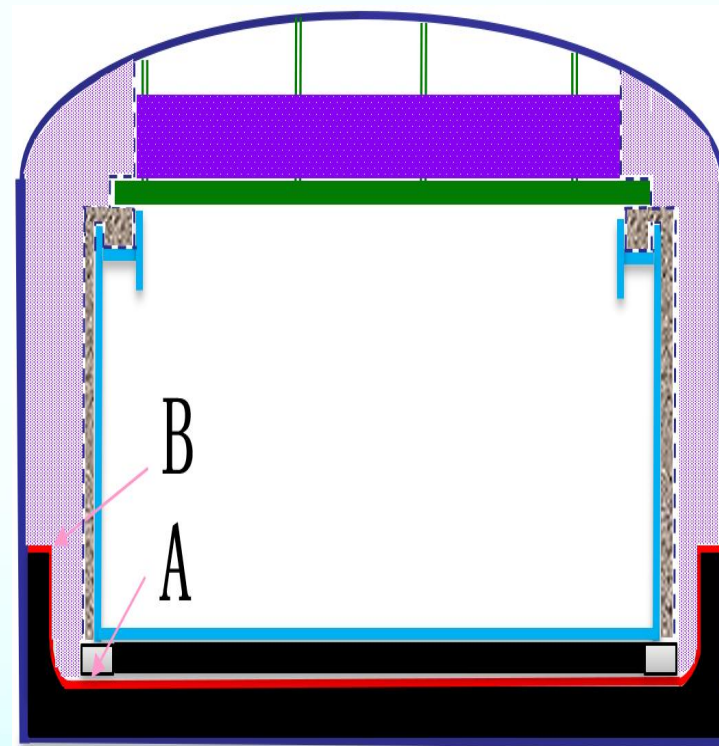
双金属全容罐泄露工况示意图





## (2) 双金属全容罐自身的结构“缺憾”

- ◆ 在环境温度较低或吹扫不彻底或设计缺陷或微漏工况下：结霜，蒸发率高，基础可能出现结露或结冰；



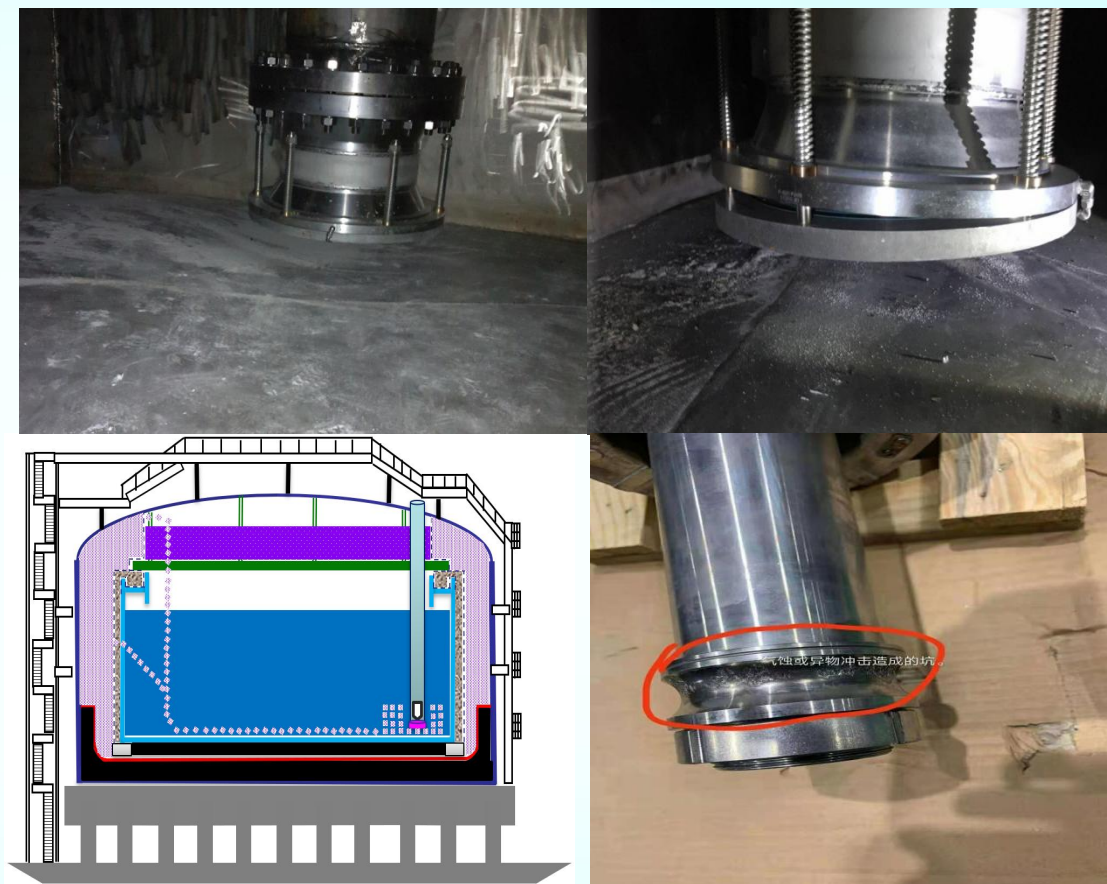


### ◆ 泄漏工况下其他风险

泄漏时若珠光砂进入主容器中，LNG不能保证清洁度，对泵、阀门有损伤，可能导致LNG无法转移；

底板泄漏，导致底板下LNG受热膨胀，圈梁内不能及时释放BOG，导致底板变形凸起，进而可能使得泵底阀偏心倾斜，最终泵无法出液。

角保护层底板与主容器底板温差约 $80^{\circ}\text{C}$ ，主容器泄漏时，角保护层底板的局部温差应力较大，不能自由收缩底板开裂可能性增大。若热角保护层底板开裂，液体将会漏入基础上表面。





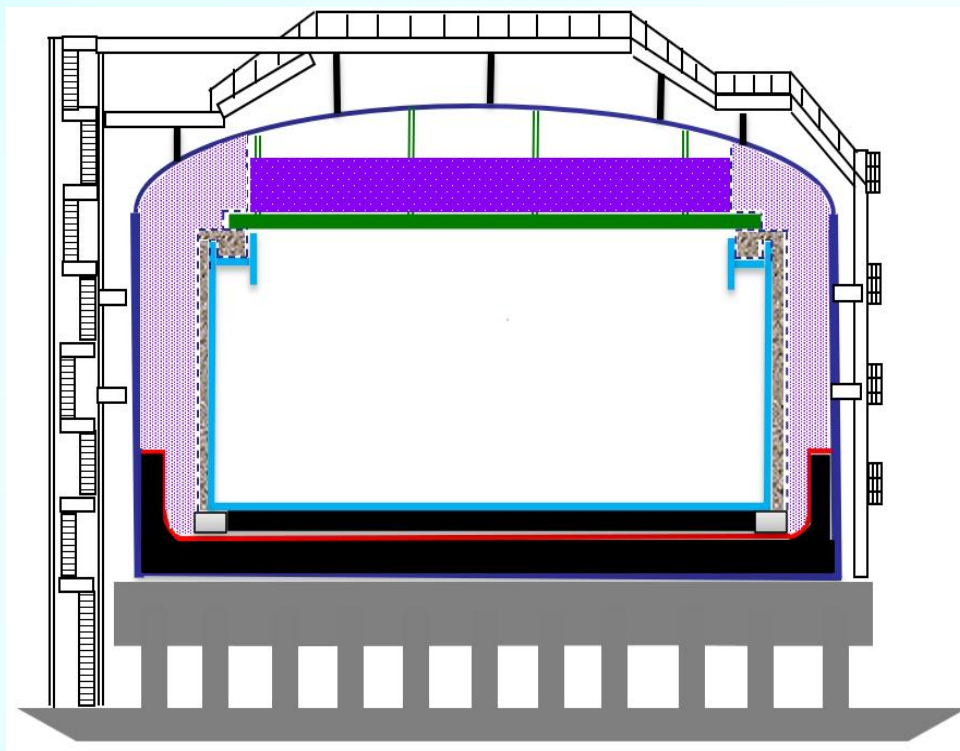
- ◆ 维修难度大，时间长，
- ◆ 成本高，彻底修复难度大



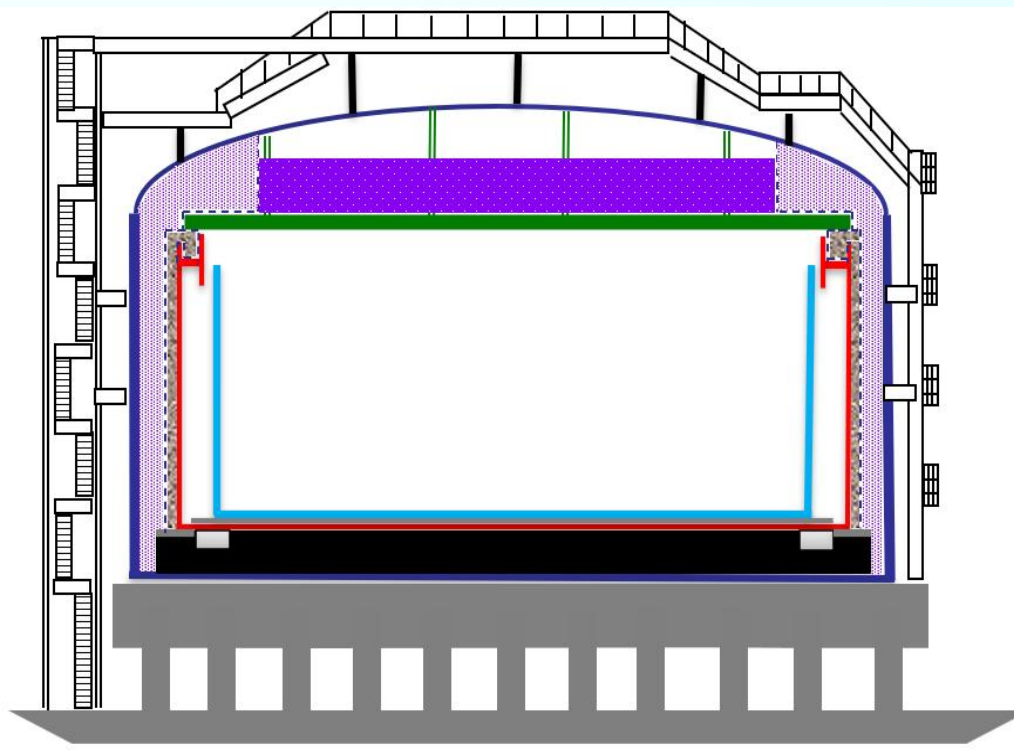




## 三金属全容罐由来



带热角保护的双金属壁金属全容罐



三层壁金属全容罐



## 2.2 三金属壁全容罐指标（以LNG为例）

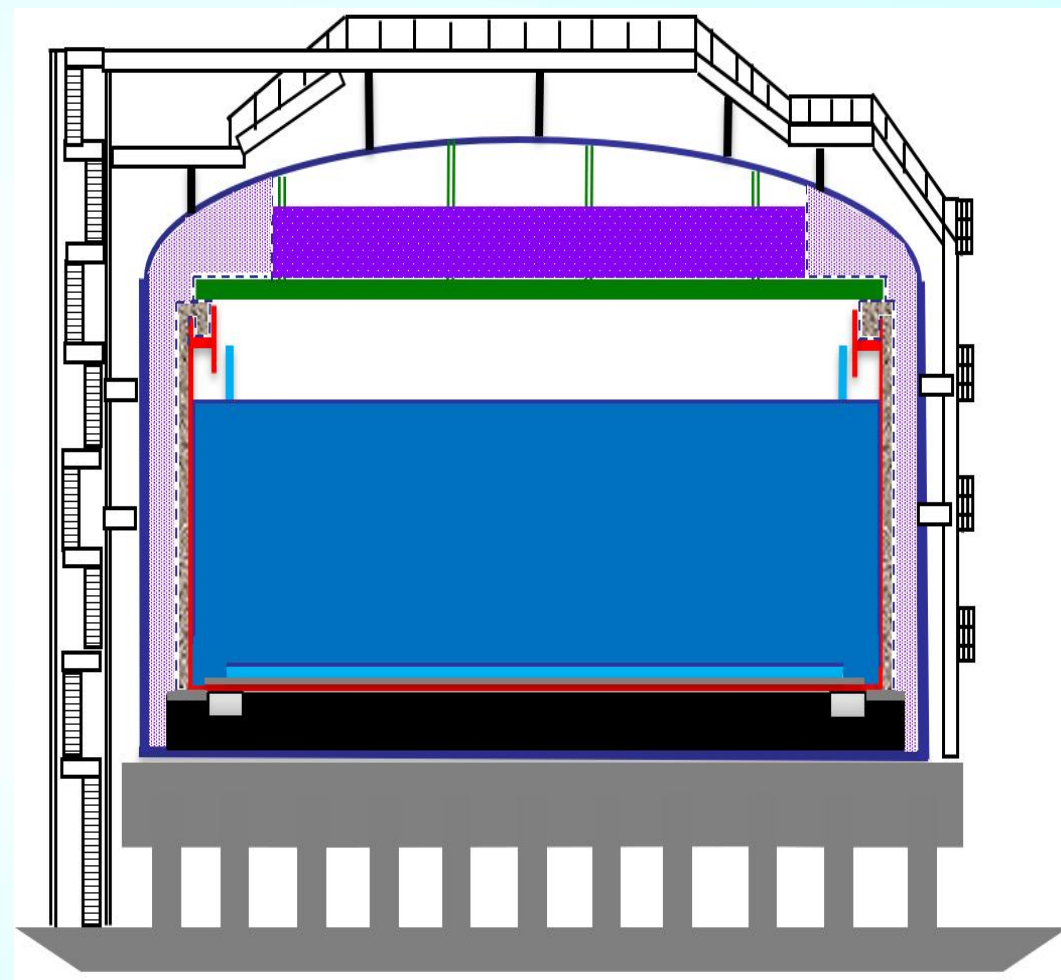
### （1）性能指标的改进

#### ◆ 正常工况性能保证

全容罐主要性能指标体现为全容罐的最大日蒸发率（以正常最高液位为计算基准），3万全容罐性能保证值为：计算值：0.04%，保证值：0.06%。

#### ◆ 最大泄漏工况蒸发率计算

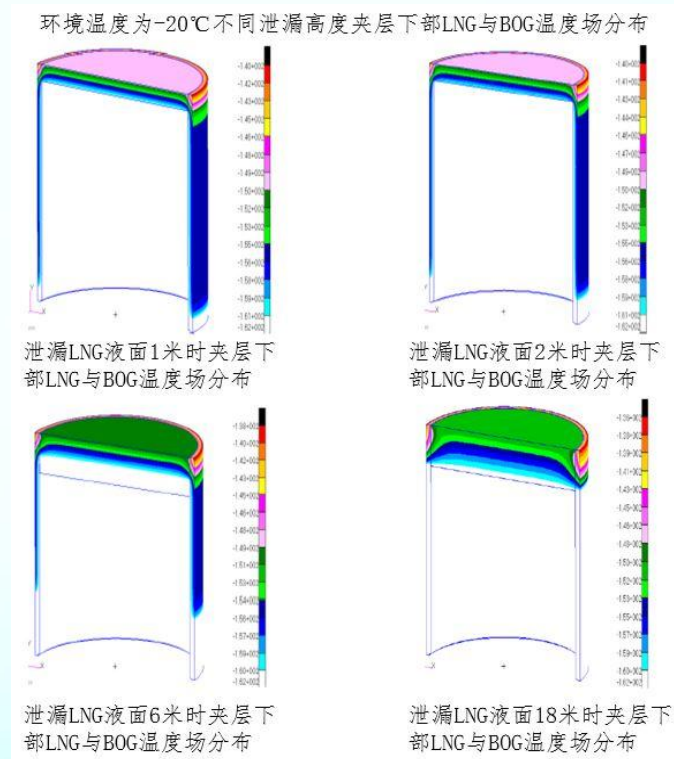
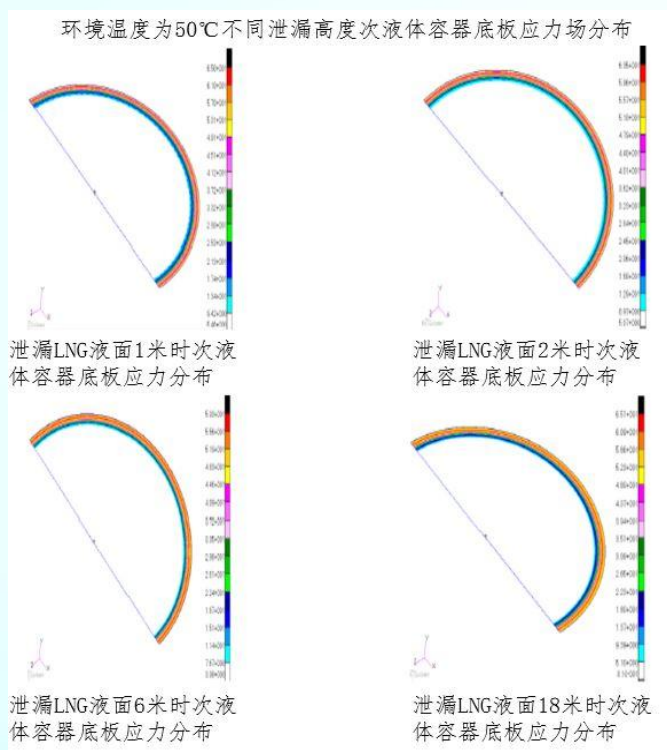
在最大泄漏工况下，以内外罐液位达到平衡的工况所产生的BOG进行计算，最大泄漏工况下蒸发率计算值：0.06%，仍不弱于单容罐的正常操作工况。





## (2) 设计文件的全面性

泄漏工况下应力分析、温度场分析满足全容罐要求。

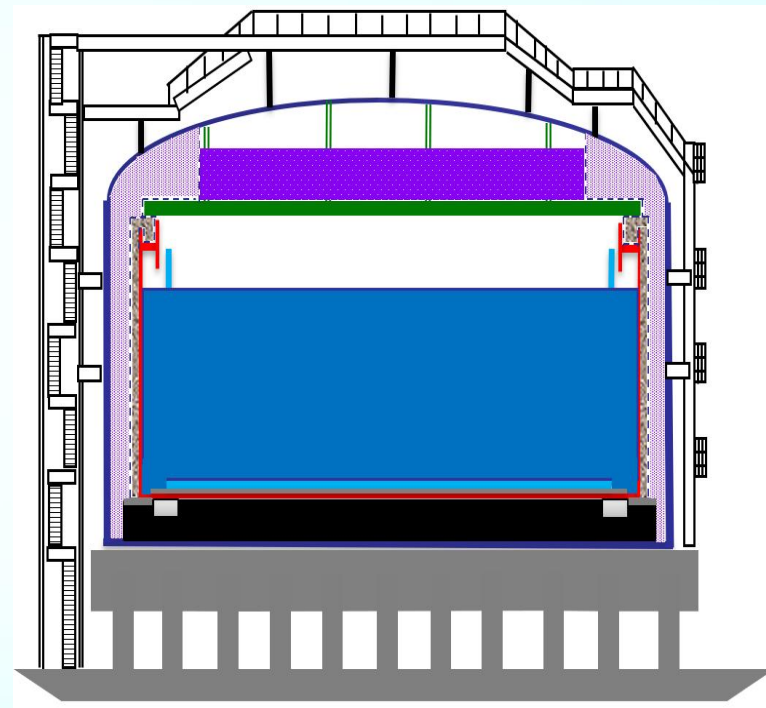






### (3) 安全性

- ◆ 各种工况下外罐、基础不会出现结霜结冰情况；
- ◆ 泄漏按最大工况考虑3万立方的全容罐BOG最大放量约 $456\text{Nm}^3/\text{h}$ ，属于正常排放，安全性高，泄漏工况下不弱于单容罐正常操作工况；而3万双金属全容罐最大泄漏工况产生的BOG量为 $166862\text{Nm}^3/\text{h}$ ；
- ◆ 各种工况下，泄漏的LNG全部在次液体容器，无珠光砂，保证LNG清洁度，可以合理安排转运维修；
- ◆ 泄漏时次液体容器底板与主容器底板温差相差极小，底板开裂的可能性极小；
- ◆ 泄漏后维修方便、维修时间短成本低；
- ◆ 各种工况下对基础无影响。





## (4) 经济性

### ◆ 设备投资费用

与双金属全容罐比较设备价格基本相当，若双金属全容罐考虑外罐保冷（考虑主容器大量泄漏后产生的大量BOG超压排放的安全问题，次容器/外罐外侧应有保冷措施），则前者价格远高于后者价格。

### ◆ 设备操作与维修费用

与双金属全容罐比较操作维修费用有以下优势：蒸发率更低；次液体容器与主容器之间的环形空间为空腔（没有绝热材料），主容器泄漏后的维修更简单、快捷、经济，无需做拔砂、装砂处理，维修时间大为缩短；主容器泄漏后，泄漏至次液体容器的液体纯洁度不受影响，维修时避免大量液体的损失。

### ◆ 土建费用

基础采用常规钢筋混凝土即可，虽然基础直径加大但基础总体投资费用低。

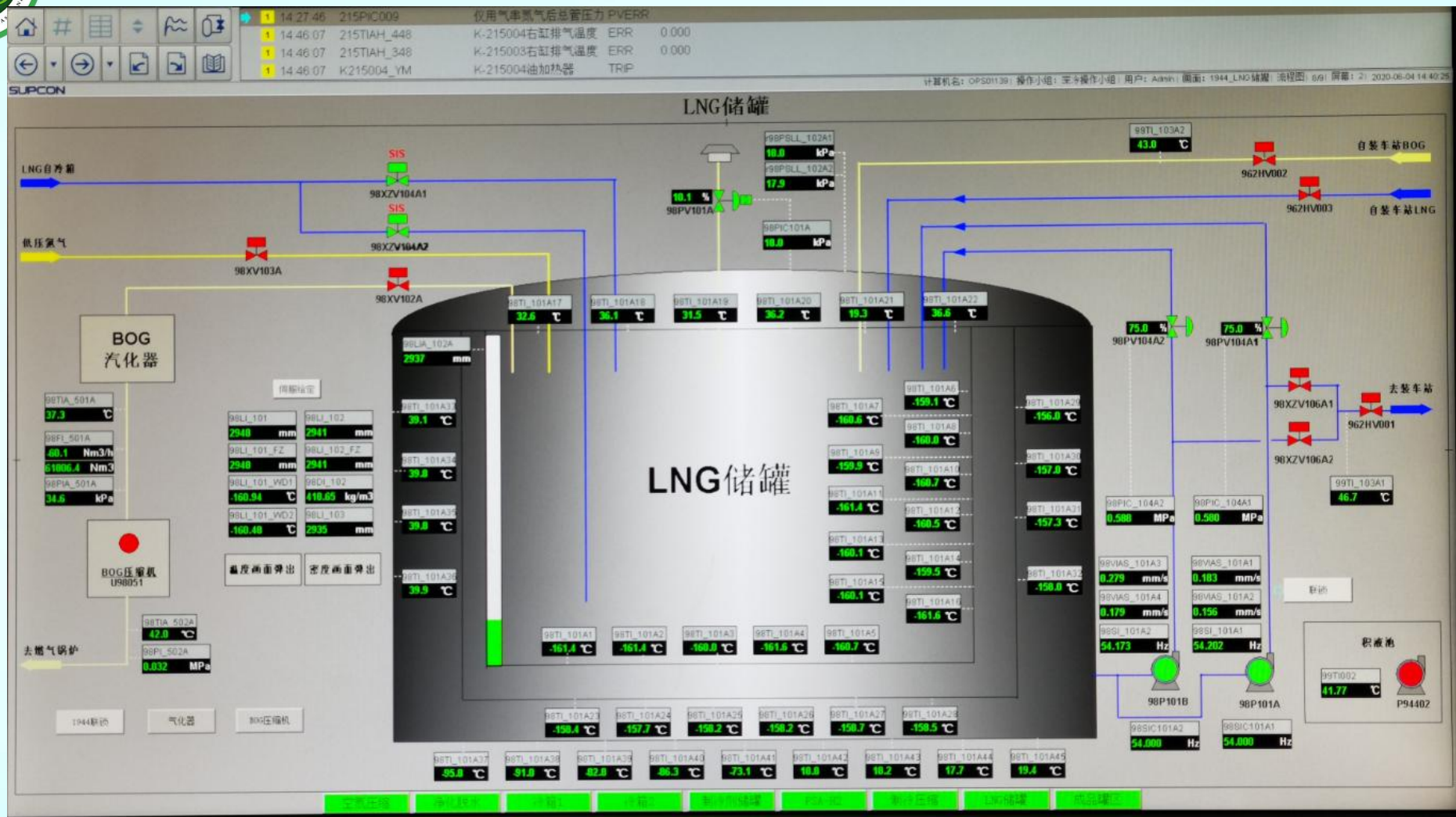


## (5) 施工程序简化



第五届中国液化天然气大会  
The Fifth China LNG Conference







谢 谢

第五届中国液化天然气大会  
The Fifth China LNG Conference