

ICS 47.020.01
CCS U 06

T/CANSI

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 99—2022

陆上薄膜罐设计和建造要求

Design and construction requirement of onshore membrane storage tank

2022-10-01 发布

2022-10-01 实施

中国船舶工业行业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 缩略语	4
5 典型结构形式	4
6 设计	6
6.1 设计流程	6
6.2 材料	6
6.3 性能要求	9
6.4 荷载	10
6.5 薄膜绝热系统设计	11
6.6 外罐设计	14
6.7 电气	16
6.8 消防	17
7 建造	17
7.1 薄膜绝热系统	17
7.2 外罐建造	21
8 检验	21
8.1 总则	21
8.2 薄膜绝热系统	21
8.3 外罐	22
8.4 薄膜罐试验	22
8.5 铭牌	22
8.6 试运行验收	22
附录 A（资料性） 屏蔽薄膜用金属钢板的化学成分和力学性能	24
附录 B（资料性） PSSR 重点内容	25
参考文献	26

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会归口。

本文件起草单位：中太海事技术（上海）有限公司、中国石化工程建设有限公司、江苏中圣高科技产业有限公司。

本文件主要起草人：陈世福、张健、王文焘、李凤奇、郭宏新、魏颖、何炜、李明、赵翠钗、刘丰、田朝阳、张金林、吴皓、王康、冯宪高、陈瑞金、于海奇、卫刚、尹青锋、王金光、于国鹏、张贤福、何松、毛玉海、王与兵。

陆上薄膜罐设计和建造要求

1 范围

本文件规定了陆上薄膜罐的典型结构形式、设计、建造和检验等的技术要求。

本文件适用于设计压力不高于 50 kPa，设计温度不低于-196 ℃，储存介质为低温液化气体的陆上薄膜罐的新建和改建。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 709—2019 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 3191 铝及铝合金挤压棒材
- GB/T 3531 低温压力容器用钢板
- GB/T 12459 钢制对焊管件 类型与参数
- GB/T 13401 钢制对焊管件 技术规范
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 20673 硬质泡沫塑料 低于环境温度的线膨胀系数的测定
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带
- GB/T 26978—2021 现场组装立式圆筒平底钢质低温液化气储罐的设计与建造
- GB/T 39936 深冷保冷用泡沫塑料
- GB/T 40916 液化气储运用高强度聚氨酯泡沫塑料
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50068 建筑结构可靠性设计统一标准
- GB 50160 石油化工企业设计防火标准
- GB 50183 石油天然气工程设计防火规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
GB 51081 低温环境混凝土应用技术规范
GB 51156—2015 液化天然气接收站工程设计规范
GB 55001 工程结构通用规范
GB 55002 建筑与市政工程抗震通用规范
GB 55003 建筑与市政地基基础通用规范
GB 55008 混凝土结构通用规范
JGJ 369 预应力混凝土结构设计规范
NB/T 47013 承压设备无损检测
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47018.3 承压设备用焊接材料订货技术条件 第3部分：气体保护电弧焊丝和填充丝
SY/T 7349 低温储罐绝热防腐技术规范
YB/T 4641 液化天然气储罐用低温钢筋
TSG Z8001 特种设备无损检测人员考核规则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低温液化气体 cryogenic liquefied gas

由于温度低而呈液态的气体，如液氮、液氩、液化天然气（LNG）、低温液化烃或混合物以及其它相似介质。

3.2

薄膜罐 membrane storage tank

由薄膜绝热系统（3.5）和预应力混凝土或钢制外罐等共同组成的用于储存低温液化气体（3.1）的储罐。

3.3

主屏蔽薄膜 primary shielding membrane

与储存低温液化气体（3.1）直接接触的金属薄膜。

3.4

次屏蔽薄膜 secondary shielding membrane

主屏蔽薄膜（3.3）泄露时，与低温液化气体（3.1）接触的金属或复合材料薄膜。

3.5

薄膜绝热系统 membrane insulation system

由主屏蔽薄膜 (3.3)、次屏蔽薄膜 (3.4)、绝热模块 (3.8)、防潮隔离膜 (3.9)、锚固件 (3.10)、密闭金属封板 (3.11)、内置管道和仪表等组件所组成的具有独立密闭性的系统。

3.6

主屏蔽层 **primary shielding layer**

由金属主屏蔽薄膜 (3.3) 和绝热模块 (3.8) 组成, 直接接触低温液化气体的结构。

3.7

次屏蔽层 **secondary shielding layer**

位于主屏蔽层 (3.6) 外侧, 由次屏蔽薄膜 (3.4) 和绝热模块 (3.8) 组成, 在主屏蔽层 (3.6) 失效的情况下, 接触低温液化气体的结构。

3.8

绝热模块 **insulation module**

位于主屏蔽薄膜 (3.3)、次屏蔽薄膜 (3.4) 外侧, 能将介质荷载传递至外罐上的绝热结构。

3.9

防潮隔离膜 **vapour barrier**

附着于预应力混凝土外罐内壁和内底表面防止罐外潮气进入绝热空间的隔离膜。

3.10

锚固件 **anchor piece**

用于将主屏蔽层 (3.6)、次屏蔽层 (3.7) 固定在绝热模块 (3.8) 或外罐上的结构件。

3.11

密闭金属封板 **close plate**

位于主屏蔽薄膜 (3.3)、次屏蔽薄膜 (3.4) 末端, 分别与外罐内壁相连接, 用于形成各自独立密封腔体的金属板。

3.12

设计压力 **design pressure**

设定的薄膜罐 (3.2) 顶部的最高压力, 与相应的设计温度 (3.13) 一起作为基本设计荷载条件, 其值不低于工作压力。

[来源: GB 150.1, 3.1.3, 有修改]

3.13

设计温度 **design temperature**

薄膜罐 (3.2) 正常工作情况下, 设定元件的温度 (沿元件截面的温度平均值), 设计温度与设计压力 (3.12) 一起作为基本设计荷载条件。

[来源: 按 GB 150.1, 3.1.7, 有修改]

3.14

设计液位 **design liquid level**

确定静态下主屏蔽薄膜（3.3）、次屏蔽薄膜（3.4）以及混凝土厚度的参数之一，为设定的储罐运行期间的最高液位。

[来源：GB/T 26978—2021，3.1.27，有修改]

3.15

日蒸发率 **daily boil-off rate**

薄膜罐（3.2）因漏热产生的日蒸发量与储罐总容量的百分比，以主要纯组份计。

[来源：GB 51156—2015，2.0.11，有修改]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

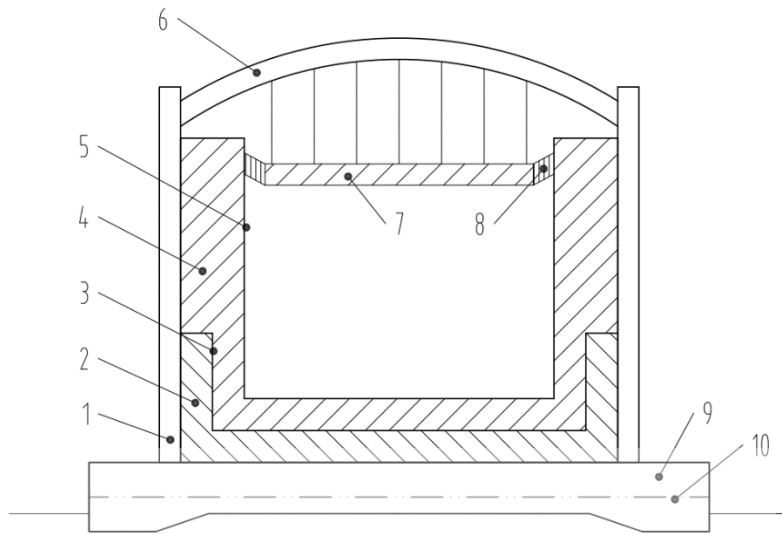
- ALE——安全停运地震余震（Aftershock Level Earthquake）
- DCS——分散控制系统（Distributed Control System）
- ESD——紧急停车系统（Emergency Shut-down System）
- GDS——可燃和有毒气体检测系统（Gas Detection System）
- OBE——操作基准地震（Operating Base Earthquake）
- PSSR——开车前安全检查（Pre-startup Safety Review）
- PLC——可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）
- SSE——安全停运地震（Safe Shutdown Earthquake）
- SIS——安全仪表系统（Safety Instrumented System）
- WPS——焊接工艺规程（Welding Procedure Specification）

5 典型结构形式

5.1 薄膜罐典型结构主要包含：主屏蔽薄膜、次屏蔽薄膜，绝缘模块（主）、绝缘模块（次）及预应力混凝土或钢质外罐等组件。

5.2 薄膜罐的顶部是由罐顶和吊顶上的绝热材料构成，亦可采用由拱顶屏蔽膜、绝热模块（拱顶）与罐顶组成的复合结构。

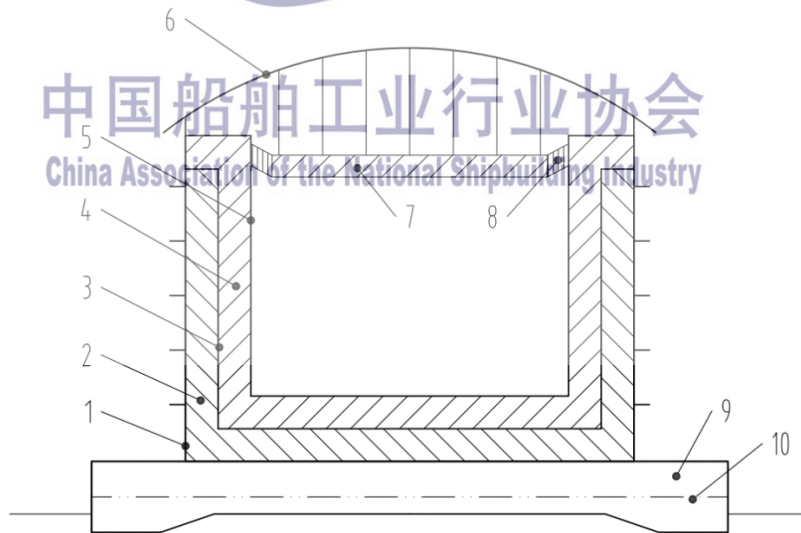
5.3 混凝土外罐薄膜罐示意图见图 1，钢制外罐薄膜罐示意图见图 2，拱顶屏蔽薄膜型薄膜罐示意图见图 3。



标引序号说明:

- | | |
|-------------|----------------|
| 1、预应力混凝土外罐; | 6、混凝土罐顶; |
| 2、绝热模块(次); | 7、吊顶(绝热); |
| 3、次屏蔽薄膜; | 8、柔性绝热密封; |
| 4、绝热模块(主); | 9、基础; |
| 5、主屏蔽薄膜; | 10 基础加热系统(如需)。 |

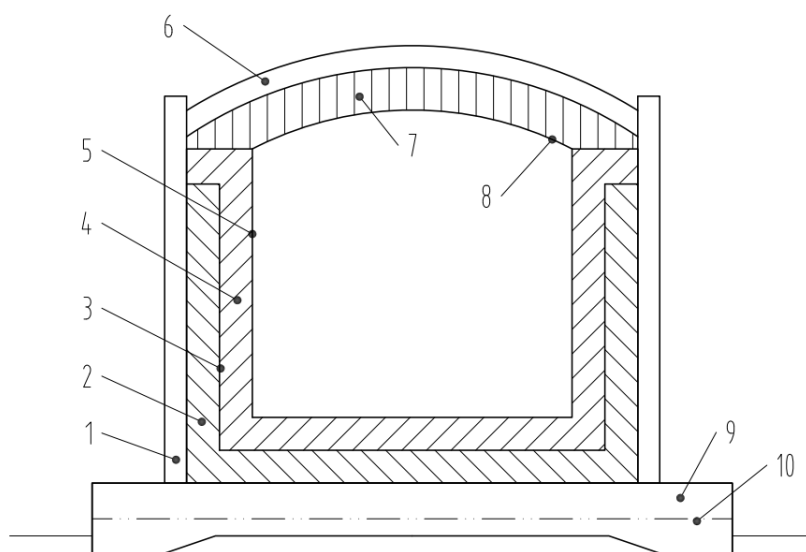
图 1 混凝土外罐薄膜罐示意图



标引序号说明:

- | | |
|------------|----------------|
| 1、钢制外罐; | 6、钢制罐顶; |
| 2、绝热模块(次); | 7、吊顶(绝热); |
| 3、次屏蔽薄膜; | 8、柔性绝热密封; |
| 4、绝热模块(主); | 9、基础; |
| 5、主屏蔽薄膜; | 10、基础加热系统(如需)。 |

图 2 钢制外罐薄膜罐示意图



标引序号说明:

- | | |
|------------------|----------------|
| 1、预应力混凝土外罐/钢制外罐； | 6、混凝土罐顶/钢制罐顶； |
| 2、绝热模块（次）； | 7、绝热模块（拱顶）； |
| 3、次屏蔽薄膜； | 8、拱顶屏蔽薄膜； |
| 4、绝热模块（主）； | 9、基础； |
| 5、主屏蔽薄膜； | 10、基础加热系统（如需）。 |

图3 拱顶屏蔽薄膜型薄膜罐示意图

6 设计

6.1 设计流程

6.1.1 薄膜罐设计应首先确认材料、性能要求、荷载等设计条件，其他需要确认的设计条件应满足各专业设计需求。

6.1.2 分别进行薄膜绝热系统、预应力混凝土或钢制外罐、电气与消防等专业的设计。

6.1.3 薄膜绝热系统应采用应力分析或模型试验的方法对屏蔽层进行设计评价，并根据预应力混凝土或钢制外罐的外形尺寸，完成屏蔽薄膜、绝热模块、树脂胶泥、屏蔽层内置管路和屏蔽层内温度压力监测等组件的设计。

6.1.4 预应力混凝土或钢制外罐的设计应满足薄膜绝热系统的相关设计要求，并完成基础、外罐、罐顶、吊顶、人孔、安全附件和仪表等组件的设计。

6.2 材料

6.2.1 薄膜绝热系统材料

6.2.1.1 总体要求

6.2.1.1.1 主屏蔽薄膜应选用奥氏体不锈钢、36%镍铁合金等金属材料。

- 6.2.1.1.2 次屏蔽薄膜宜采用奥氏体不锈钢、36%镍铁合金等金属材料，亦可采用复合材料。
- 6.2.1.1.3 锚固件、密闭金属封板等材料宜采用与主屏蔽薄膜或金属次屏蔽薄膜相同的材料。
- 6.2.1.1.4 绝热材料的选用应满足薄膜罐设计条件下的绝热性能、耐高温性能、与储存介质的相容性、防潮性能、化学稳定性、燃烧性能等，尚应根据承载要求满足相关力学性能。

6.2.1.2 钢板

- 6.2.1.2.1 奥氏体不锈钢板应符合 GB/T 24511 的规定，其表面加工类型为 2B 级（冷轧、热处理、酸洗或除鳞、光亮处理），低温冲击试验要求见附录 A 中表 A.1。
- 6.2.1.2.2 36%镍铁合金的化学成分、力学性能及低温冲击试验要求见附录 A 中表 A.1、表 A.2、表 A.3。
- 6.2.1.2.3 板材允许偏差应满足下列要求：
 - a) 金属屏蔽薄膜用不锈钢板材厚度偏差应符合 GB/T 24511 冷轧钢板和钢带的要求，直线度应符合 GB/T 24511 冷轧钢带及卷切钢板的要求；
 - b) 其它板材的允许误差应满足下列要求：
 - 1) 对于通过计算而确定厚度的部分，其板材允许偏差应符合 GB/T 709—2019C 类偏差；
 - 2) 对于考虑最小公称厚度而确定厚度的部分，其板材允许偏差应符合 GB/T 709—2019B 类偏差。
- 6.2.1.2.4 材料保护：奥氏体不锈钢、36%镍铁合金等板材或卷材应采取防水、防潮等保护措施。

6.2.1.3 屏蔽层内管道

- 6.2.1.3.1 主屏蔽层内的管道及其组成件材料应按介质泄漏工况进行选取。
- 6.2.1.3.2 管道材料应符合 GB/T 14976 的规定。
- 6.2.1.3.3 管件应符合 GB/T 14383、GB/T 13401 和 GB/T 12459 的规定。

6.2.1.4 焊接材料

- 6.2.1.4.1 不锈钢屏蔽薄膜及钢结构所用焊接材料应符合 NB/T 47018.3 的规定。
- 6.2.1.4.2 36%镍铁合金薄膜用焊接材料应与母材相匹配，并满足相关设计要求。

6.2.1.5 锚固件

锚固件用螺栓、螺钉、铆钉等紧固件材料宜选用奥氏体不锈钢或铝合金，并应符合 GB/T 1220 或 GB/T 3191 的规定。

6.2.1.6 绝热模块

- 6.2.1.6.1 聚氨酯发泡绝热板除应符合 GB/T 39936、GB/T 40916 的规定，尚应符合以下要求：
 - a) 与泄漏后的低温液化气体应具有良好的化学兼容性；
 - b) 能够抵御介质气体、氮气、氨气和氦气等相关气体的侵入；
 - c) 能够满足介质静液压荷载及其它荷载；
 - d) 应具有良好的抗老化性能；
 - e) 耐疲劳破坏和裂纹扩展性能。
- 6.2.1.6.2 支撑板可采用胶合板、聚四氟乙烯板等耐低温板材，适用温度： $-196\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。支撑板若采用胶合板可参考下列要求：
 - a) 胶合板进行杀菌处理；
 - b) 胶合板按设计要求进行室温下抗压强度（平行于胶合板板面、垂直于胶合板板面）、抗拉强度

试验（垂直于胶合板纤维方向、平行于胶合板纤维方向）、剪切强度试验、静曲强度试验、老化试验、含水率检测、以及线膨胀系数测定等相关试验，可参照 GB/T 17657、GB/T 20673 等相关标准；

- c) 按照设计要求进行设计温度下的相关性能试验；
- d) 胶合板缺陷可参照 ISO 2426-2 中的级别 II 进行控制。

6.2.1.6.3 胶粘剂适用温度：-196 °C~80 °C，可用于支撑板、复合材质的次屏蔽薄膜、聚氨酯发泡绝热板等材料之间的相互粘结。胶粘剂应进行下列试验：

- a) 固化试验；
- b) 老化试验；
- c) 粘结剪切试验；
- d) 粘合剥离试验；
- e) 拉力试验。

试验要求、试验结果应满足设计要求。

6.2.1.7 树脂胶泥

树脂胶泥与存储介质接触而不产生任何化学反应，能够承受设计所需的荷载，并应满足正常操作工况与存储介质泄漏工况下的安全稳定性能。

树脂胶泥应进行下列试验：

- a) 体积稳定性测试；
- b) 线膨胀系数测试，可参照 GB/T 1036；
- c) 单、双剪切力特性测试，可参照 ISO 4587；
- d) 拉伸曲线、拉伸屈服强度、断裂时的拉伸强度、断裂伸长率、弹性模量，可参照 ISO 527-1~527-2；
- e) 抗压屈服强度、压缩模量测试，可参照 ISO 604；
- f) 压缩蠕变试验，可参照 GB/T 15048；

试验要求、试验结果应满足设计要求。

6.2.1.8 防潮隔离膜

防潮隔离膜附着于预应力混凝土外罐内壁和内底表面，应具有良好的延展性。施工前，预应力混凝土外罐内表面应进行清理，并应符合下列要求：

- a) 与混凝土表面的粘结强度大于 1.0 MPa；
- b) 在工程所在地的平均水蒸气分压下，最大水蒸汽渗透率为每 24 小时 0.5 g/m²；
- c) 与存储介质或其蒸发气相互接触以后，不发生老化或化学反应；
- d) 具有耐碱性，且不受到混凝土的影响而变质。

6.2.2 外罐材料

6.2.2.1 总体要求

预应力混凝土外罐或钢制外罐的材料应根据次屏蔽薄膜的高度进行选择，如次屏蔽薄膜的高度低于设计液位，外罐材料应满足存储介质温度；如次屏蔽高度高于设计液位，外罐材料应满足外罐的设计温度。

6.2.2.2 预应力混凝土外罐衬板及结构用钢板

6.2.2.2.1 当工作温度大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，钢板的质量等级、设计等级及设计参数应符合 GB 50017 的相关规定。

6.2.2.2.2 当工作温度不大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，应进行材料选用的抗低温设计。

6.2.2.3 金属外罐及结构用钢板

根据设计温度不同，金属外罐用钢板宜采用低合金钢板、低温低合金钢板、低镍钢、9%镍钢及奥氏体不锈钢，钢板应符合 GB/T 713、GB/T 3531、GB/T 24511 等，钢材牌号和和使用温度下限见表 1。

表 1 钢材牌号和和使用温度下限

材料类型	材料牌号	使用温度下限 ($^{\circ}\text{C}$)
低合金钢板	Q345R 等	-20
低温低合金钢板	16MnDR 等	-40
低温低合金钢板	15MnNiNbDR 等	-50
低温低合金钢板	09MnNiDR 等	-70
低镍钢	08Ni3DR 等	-100
9%镍钢	06Ni9DR 等	-196
奥氏体不锈钢	S30408 等	-196 (免低温冲击试验)

6.2.2.4 混凝土

6.2.2.4.1 当工作温度大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土材料应符合 GB 50010 的相关要求。

6.2.2.4.2 当工作温度不大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土材料应符合 GB 51081 的相关要求。

6.2.2.4.3 混凝土的性能、制拌、浇筑以及验收标准应按 GB 50204 的相关要求执行。

6.2.2.5 预应力钢材及钢筋

6.2.2.5.1 预应力钢材、锚具、套管等应符合 GB 50010、GB 14370 的相关要求，并应进行低温匹配性试验、低温锚固性能试验等。

6.2.2.5.2 对用于低温环境的钢筋，应分别在设计温度和环境温度条件下对钢筋连接件进行相同的试验，并对比试验的结果。应开展静载锚固性能试验、拉伸强度试验、延伸率试验。

6.2.2.5.3 低温钢筋应是热轧高屈服强度钢筋，其屈服强度特征值（标准值）不低于 500MPa。低温钢筋应满足 YB/T 4641 的相关要求。

6.2.2.5.4 低温钢筋取样，宜包含不同炉号、不同直径，不同强度等级的样品。最小抽检比例应符合 YB/T 4641 的要求。生产厂家无法提供试验证明材料时，应按照 YB/T 4641 的要求进行抽检试验。

6.3 性能要求

6.3.1 设计使用年限

薄膜罐设计使用年限为 50 年。

6.3.2 薄膜绝热系统性能要求

6.3.2.1 在正常操作条件下，储存低温液化气体和蒸发气。

6.3.2.2 保持罐内压力在设计要求的压力范围。

6.3.2.3 防止空气和湿气进入，但真空泄放阀工作的情况除外。

6.3.2.4 按照日蒸发率要求进行绝热系统设计，控制储罐外表面的凝结/结霜现象。

6.3.2.5 偶然工况和地震工况下，不应引起液体损失。

6.3.3 预应力混凝土外罐的抗震性能要求

6.3.3.1 中震弹性，外罐在 OBE 工况下处于正常使用状态，从结构抗震分析角度，外罐应视为弹性系统，采用弹性反应谱进行弹性分析；在中震后不应损坏储罐及其附属结构，不应影响系统重启及安全运行。

6.3.3.2 大震不屈服，在 SSE 工况下，外罐基本完好，构件材料不屈服，储罐可以安全停运。在大震发生后的 ALE 工况时，仍不应造成系统损坏。

6.4 荷载

6.4.1 屏蔽层上的荷载

作用在屏蔽薄膜上的荷载应通过绝热模块传递到混凝土或钢制外罐上，屏蔽层的设计应满足以下荷载：

- a) 设计压力；
- b) 热荷载：温度差异所导致的荷载；
- c) 机械荷载：包括自重、外罐变形产生的作用等；
- d) 液压荷载；
- e) 周期荷载：
 - 1) 最大液体高度与最小液体高度之差，应根据罐体设计寿命和预计的操作条件确定的周期数；
 - 2) 在冷却过程中的温度变化、灌注和排空而导致的温度变化，应根据罐体设计寿命和预计的操作条件确定的周期数；
 - 3) 如用户未提供以上罐体预计操作条件方面的信息，则应根据每星期装载 / 卸载一次和每两年停止使用 / 启动一次的假定工况进行设计。
- f) 地震荷载；
- g) 其他荷载。

6.4.2 外罐荷载作用及其组合

6.4.2.1 薄膜罐的工况

薄膜罐的设计工况包括：正常操作工况、试压工况、偶然工况和地震工况。正常操作工况：冷却、灌注、排空，停运等情况；试压工况包括：气液混合压力试验、气压试验、泄漏试验；偶然工况包括：爆炸情况、火灾情况、主屏蔽薄膜泄漏情况；地震工况包括：OBE、SSE 和 ALE。

6.4.2.2 永久作用

永久作用包括：外罐自重、薄膜绝热系统自重、预应力。当荷载有利时分项系数为 1.0，当荷载不利时分项系数为 1.3。

6.4.2.3 可变作用

可变作用包括：罐顶活动荷载、操作压力、介质重量、充水荷载、气压试验荷载、风荷载、雪荷载。当荷载有利时分项系数取 0，当荷载不利时分项系数取值按表 2：

表 2 可变荷载不利时分项系数

荷载	荷载不利时的分项系数
罐顶活动荷载、雪荷载、风荷载、操作压力	1.5
介质重量	1.3
充水荷载、气压试验荷载	1.1

按 GB 50068 和 GB 51006，针对持久设计状况、短暂设计状况、偶然设计状况和地震设计状况，进行荷载作用效应组合，组合系数见表 3。

表 3 可变荷载的组合系数

荷载	荷载不利时的组合系数
罐顶活荷载	0.7
介质重量	1.0
充水荷载、气压试验荷载	1.0
操作内压	1.0
风荷载	0.6
雪荷载	0.7

6.4.2.4 偶然作用

偶然作用包括火灾、泄露、爆炸，其荷载组合应符合 GB 50068 的相关要求。

6.4.2.5 地震作用

地震设计状况中地震作用的组合及分项系数应符合 GB 55002 的相关要求。

6.5 薄膜绝热系统设计

6.5.1 总体要求

薄膜绝热系统设计应满足在薄膜罐设计使用年限内能承受所有可能的静态和动态荷载，经过平稳的变形和移动后能保持其形状不发生改变，确保其稳定性。

6.5.2 屏蔽薄膜设计

6.5.2.1 屏蔽薄膜设计总体要求

6.5.2.1.1 屏蔽薄膜设计厚度应不大于 10 mm。屏蔽薄膜的设计应依据材料特性，其形状应满足在所有荷载条件下的热膨胀和其他膨胀或收缩得到补偿。

6.5.2.1.2 次屏蔽薄膜的设计高度宜高于设计液位。若次屏蔽薄膜的设计高度低于设计液位，应按照热角保护作用设计，除应满足 GB/T 26978—2021 中热角保护的相关要求，尚应高于临时施工洞口 500 mm 以上。

6.5.2.1.3 屏蔽薄膜的设计应采用应力分析或模型试验的方法，应能证明在周期荷载作用下屏蔽薄膜不发生渐进性变形、屈曲或折断、疲劳失效。屏蔽薄膜应固定在绝热模块或外罐上，在设计使用年限内保持其位置不变。

6.5.2.2 屏蔽薄膜应力分析

屏蔽薄膜应力分析应满足以下要求：

- a) 采用非线性弹-塑性或弹塑性大变形理论方法分析；
- b) 在分析过程中不出现失稳垮塌；
- c) 在热荷载与液体压力荷载的共同作用下，经过 10 次循环，屏蔽薄膜的任何部分不发生递进变形；
- d) 数值分析应依据 Tresca 理论或 Von Misses 理论，计算静态设计和疲劳设计的等效应力；
- e) 分析屏蔽薄膜的锚固点隔热性能，不产生漏冷现象；
- f) 利用 Miner 法则进行累积损伤评估；
- g) 分析方法具体按 GB/T 26978—2021，考虑应力应变曲线的建立、失稳和屈曲分析、递进变形分析、疲劳特性分析、地震荷载下的薄膜稳定性分析。地震荷载下的稳定性分析应考虑：
 - 1) 分析地震荷载下的薄膜稳定性时，在 SSE 地震的情况下，次屏蔽层能够储存介质。
 - 2) 分析地震荷载下的薄膜稳定性时，按照 GB/T 26978—2021 的 4.2.4 确定 OBE 和 SSE 反应谱以及水平分量反应谱和垂直分量反应谱，并符合 GB 50011 的相关规定。

6.5.2.3 屏蔽薄膜模型试验

屏蔽薄膜模型试验应满足下列要求：

- a) 模型试验要求每一组件均应以全尺寸进行试验，模型试验可在环境温度条件下进行，试样数目应保证试验结果可靠性；
- b) 试验荷载分为温度荷载和压力荷载，试验中宜同时施加温度荷载和压力荷载，也可选择替代性的试验条件。试验方法可通过计算屏蔽薄膜在温度荷载和压力荷载下的变形量，在室温下进行机械变形试验；
- c) 模型试验评判原则：
 - 1) 在荷载作用下，屏蔽薄膜不应发生失稳；
 - 2) 在试验的 1 个荷载周期内，屏蔽薄膜的每一部分应保持稳定，在 10 个荷载周期后，屏蔽薄膜不应出现渐进变形；
 - 3) 应利用 Miner 法则进行累积损伤评估。

6.5.3 绝热模块

6.5.3.1 总体要求

6.5.3.1.1 绝热模块由绝热材料和支撑板等构成，绝热模块应通过安全可靠的连接方式固定在薄膜罐外罐的内壁上，在静态和动态荷载条件下，保持其自身结构的稳定性。

6.5.3.1.2 绝热模块的设计应采用应力分析或模型试验的方法，其它要求应符合 GB/T 26978—2021 的规定。

6.5.3.2 绝热性能

绝热性能应满足下列要求：

- a) 薄膜罐存储介质的日蒸发率应低于设计要求；
- b) 外罐的次屏蔽层保护区域符合设计温度要求；
- c) 外罐外表面不因介质传热而出现结霜或结冰。

6.5.3.3 力学性能

力学性能应满足下列要求：

- a) 绝热模块将施加在屏蔽薄膜上的液相压力、气相压力和其它荷载传递到混凝土或钢制外罐上；
- b) 绝热模块在静态和动态荷载作用下，其压缩性能满足设计要求；
- c) 绝热模块在受到横向力作用下绝热材料的抗拉强度和剪切性能满足设计要求；
- d) 绝热模块的粘结强度满足设计要求。

6.5.4 屏蔽层内置管路

6.5.4.1 应设置惰性气体注入管路。

6.5.4.2 应设置进行干燥和置换管路。

6.5.4.3 应设置泄漏蒸发气取样管路。

6.5.4.4 应满足用于屏蔽层的相关性能检测。

6.5.4.5 屏蔽层内置管路应满足下列要求：

- a) 屏蔽薄膜上不设置管道接口和人孔；
- b) 所有内置管路的进出口设计在外罐罐壁或罐顶；
- c) 管路设计不应导致环境空气的进入；
- d) 管路连接采用焊接的方式。

6.5.5 屏蔽层内监测要求

6.5.5.1 总体要求

通过监测屏蔽层空间气体组分、压力变化和温度变化分析屏蔽薄膜泄漏的可能性。

6.5.5.2 空间气体组分监测控制

如存储易燃易爆介质，屏蔽层应充惰性气体，以监测正常运行期间泄漏介质的蒸发气浓度保持在可燃下限的 30% 以下，储存可燃介质的薄膜罐的屏蔽层内监控设备应设计为防爆型。

6.5.5.3 压力监测控制

6.5.5.3.1 控制主屏蔽层压力在设计范围内，防止储存介质大量泄漏进入主屏蔽层，导致薄膜破损。

6.5.5.3.2 控制主屏蔽层与次屏蔽层的压差，防止压差过大导致屏蔽薄膜破损。

6.5.5.3.3 监测并控制屏蔽层内惰性气体的压力，保证压力在设计范围内，防止超压和负压现象产生。

6.5.5.4 内置温度监测

屏蔽层内应设置温度传感器，用于监测温度变化。

温度监测设计应满足以下要求：

- a) 温度传感器及其连接电缆考虑与存储介质相适应性；
- b) 同一区域温度传感器宜采用一用一备；
- c) 温度传感器均匀布置；
- d) 温度传感器布置适应温度变化。

6.5.6 防潮隔离膜

防潮隔离膜的设计应满足以下要求:

- a) 防潮隔离膜阻止罐外水蒸汽渗透到屏蔽层内;
- b) 防潮隔离膜与混凝土内表面预埋板搭接距离不小于 20 mm;
- c) 防潮隔离膜的厚度满足设计要求。

钢制储罐外罐可不设防潮隔离膜。

6.6 外罐设计

6.6.1 混凝土、钢制外罐

6.6.1.1 总体要求

6.6.1.1.1 混凝土、钢制外罐的设计应符合 GB 51156—2015 中的相关规定。

6.6.1.1.2 对于持久设计状况,外罐应采用线弹性分析方法进行设计,材料的强度指标应取设计值;对于偶然设计状况,外罐宜采用弹塑性分析方法进行设计,材料的强度指标应取标准值。

6.6.1.1.3 主屏蔽薄膜泄漏,当有液密性要求时,应验算外罐的液密性,预应力外罐壁的混凝土受压区厚度不小于截面厚度的 10%和 100 mm 二者的较大值。

6.6.1.2 预应力混凝土外罐

6.6.1.2.1 预应力混凝土外罐应采用以概率理论为基础的极限状态设计法,以可靠度指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式,按承载力极限状态、正常使用极限状态和耐久性极限状态进行设计,应符合 GB 50068 中的相关规定。

6.6.1.2.2 预应力混凝土外罐宜采用预应力混凝土结构,设计时应计入锚具变形与钢筋内缩、预应力钢筋与孔道间的摩擦、预应力钢筋的应力松弛、混凝土收缩徐变等因素引起的预应力损失。

6.6.1.2.3 钢筋混凝土保护层应按所处环境类别、土壤条件以及应急设计条件等诸多因素进行选取。保护层厚度应符合 GB 50010 中墙保护层的最低要求。

6.6.1.2.4 外罐内侧应设置防潮隔离膜,以保证预应力混凝土外罐的气密性。

6.6.1.2.5 混凝土罐壁应满足薄膜绝热系统设计的要求,平整度应满足屏蔽层安装工艺要求。

6.6.1.2.6 预应力系统的设计应符合 GB/T14370 和 JGJ 369 的相关要求。预应力钢绞线系统应进行设计温度下的低温锚固性能匹配性试验,试验应符合 GB/T 14370 的相关要求。

6.6.1.3 钢制外罐

钢制外罐的设计应考虑以下荷载或荷载组合作用下的强度和稳定性,应按最不利的情况进行组合计算。

- a) 固定荷载;
- b) 设计正压;
- c) 设计负压;
- d) 介质静压;
- e) 充水试验静液压;
- f) 活荷载(均布或集中,包括部分雪荷载);
- g) 管道外载;
- h) 风荷载;
- i) 雪荷载(超出活荷载的部分);
- j) 地震荷载;

k) 其它荷载。

6.6.2 罐顶设计

6.6.2.1 混凝土储罐罐顶应采用钢筋混凝土结构，钢穹顶作为浇注混凝土结构的模板。

6.6.2.2 钢穹顶与混凝土结构进行可靠的计算分析并采取构造措施后可作为组合结构。

6.6.2.3 作为混凝土穹顶模板的钢穹顶，应采用几何非线性的整体稳定分析对气顶升及安装工况进行设计。

6.6.3 吊顶设计

6.6.3.1 吊顶及其支承结构应按照最低设计温度条件进行设计。

6.6.3.2 应按照任何一根吊杆出现失效仍保证安全进行结构设计。

6.6.3.3 吊顶通气口应使吊顶上下空间之间的压差产生作用力不超过吊顶的重量。

6.6.3.4 吊顶的设计计算至少应考虑下列荷载：

- l) 吊盘及其附件重力荷载；
- m) 吊盘上方保冷材料的重力荷载；
- n) 均布活荷载；
- o) 安装工况人员机具等产生的集中活荷载；
- p) 温度荷载；
- q) 吊盘上下压差引起的荷载；
- r) 地震荷载。

6.6.3.5 吊顶绝热设计应满足以下要求：

- a) 绝热层厚度的确定需考虑日蒸发率，冷凝和结冰；
- b) 应设置临时人行通道；
- c) 传热设计需考虑导热、对流、冷桥（吊顶拉杆）等的热泄漏。

6.6.4 基础设计

6.6.4.1 基础的设计应满足承载力和沉降要求。从隔冷形式上可采用架空基础和电伴热基础。根据地质条件选用天然地基或桩基础。

6.6.4.2 储罐的最大允许整体沉降和不均匀沉降量应满足 GB 51156—2015 的相关规定。储罐建设和服役期间应开展沉降监测。储罐基础上应安装沉降测量标记，宜设置测斜管，并在墙体和穹顶安装过程中，水压试验之前、期间和之后进行沉降测量，以后每隔 3 个月测量一次，直到沉降稳定为止。

6.6.4.3 基础的设计应满足 GB 55001、GB 55002、GB 55003 和 GB 55008 的相关要求。当采用电伴热基础时应设置基础加热系统，加热系统设计应保证基础任意部位的温度不宜低于 5 ℃。

6.6.5 管路设计

6.6.5.1 低温介质管道布置宜步步高或步步低，避免袋形。

6.6.5.2 低温管道间距应根据法兰、阀门、测量元件的保冷厚度及管道的侧向位移确定。

6.6.5.3 低温管道支、吊架应有防止冷桥产生的措施。

6.6.5.4 架空敷设的低温管道采用的绝热材料应满足 GB 50264 相关要求。

6.6.5.5 在两段有可能关闭且因外界影响可能导致升压的管道上，应采取安全泄压措施。

6.6.5.6 低温管道布置宜为自然补偿，在满足管道柔性设计要求的前提下，应使管道敷设线路短，弯头数量少。

6.6.5.7 工艺管道应设置氮气吹扫设施，吹扫压力不应大于被吹扫工艺设备及管道的设计压力。

6.6.5.8 管道构件、紧固件应按下列要求设计：

- a) 低温管道采用对焊连接，不采用螺纹连接；
- b) 低温管道上的阀门采用延长阀盖设计，延长阀盖通过浇铸或预制成型，其所有焊接部位进行100%射线检测；
- c) 低温管道上采用分体式盲板与环垫；
- d) 低温管道上阀门阀腔内有可能集聚气体时设置腔内泄压设施，泄压方向满足工艺要求。
- e) 低温管道上使用软密封球阀时，选用防（耐）火型结构的球阀；
- f) 低温管道上阀门及阀门的操作系统在结冰情况下仍可操作。

6.6.6 人孔

罐顶人孔内径不宜小于 600 mm。

6.6.7 安全附件、仪表

6.6.7.1 安全附件

6.6.7.1.1 薄膜罐应设置不少于两级超压排放系统，防止储罐超压破坏。第一级应通过压力控制阀排放至火炬系统，第二级应通过安全阀排放至火炬系统或大气。

6.6.7.1.2 薄膜罐应设置不少于两级补气系统，防止储罐负压破坏。第一级应通过压力控制阀补气，第二级应通过真空安全阀补气。

6.6.7.2 仪表

6.6.7.2.1 薄膜罐应设置满足预冷、运行和停车操作要求的液位、压力、温度、密度检测。

6.6.7.2.2 薄膜罐应设置 2 套独立的液位连续检测仪表。

6.6.7.2.3 薄膜罐应设置 1 套独立的、用于高液位监测的液位检测仪表。

6.6.7.2.4 泵不发生汽蚀的最低液位高度加上储罐 7 天蒸发量所对应的液位高度应设置为储罐的低低液位，储罐达到低低液位时控制系统应联锁停泵并关闭泵的出口阀门。

6.6.7.2.5 低低液位加上储罐 15 分钟最大体积外输量对应的液位高度应设置为储罐的低液位，储罐达到低液位时液位检测仪表应报警。

6.6.7.2.6 达到储罐有效容积所对应的液位高度应作为储罐的最高操作液位；最高操作液位加上储罐充装 15 分钟最大充装体积流量所对应的液位高度作为高高液位。达到高高液位时控制系统应联锁关闭储罐进料管道阀门。

6.6.7.2.7 薄膜罐应设置满足正常操作、高压、低压及负压监测需要的压力检测仪表。

6.6.7.2.8 薄膜罐应设置多点温度检测仪表。

6.6.7.2.9 薄膜罐穹顶应设置测定气相氧含量及露点的取样口。

6.6.7.2.10 当储存介质为混合组分，且可能有分层工况时，应设置防翻滚系统。防翻滚系统应检测储存介质的液位、温度、密度。

6.6.8 其它

6.6.8.1 薄膜罐应设置预冷喷淋系统，满足储罐预冷要求。

6.6.8.2 泵塔设计时，泵塔整体冷缩变形不应屏蔽层造成影响。

6.7 电气

电气相关配置、要求应满足 GB 51156—2015 的电气部分相关条文。

6.8 消防

消防应按下列要求进行设计：

- a) 薄膜罐应设置与所储存介质的火灾危险性类别、操作条件等相适应的消防设施；
- b) 混凝土外罐薄膜罐当储存 LNG、低温液化烃或混合物时，其罐顶泵出口、仪表、阀门、安全阀平台及检修通道处应设置固定式水喷雾冷却系统，罐顶和罐壁可不考虑冷却。冷却水供给强度应符合 GB 51156—2015 的有关规定；
- c) 钢制外罐薄膜罐当储存 LNG、低温液化烃或混合物时，其罐顶和罐壁应设置固定式水喷淋冷却系统，罐顶泵出口、仪表、阀门、安全阀平台应设置固定式水喷雾冷却系统。罐顶和罐壁的固定式水喷淋冷却系统应分开设置。冷却水供给强度应符合 GB 51156—2015 的有关规定；
- d) 储存 LNG 的薄膜罐罐顶通向大气的安全阀出口处应设置固定式局部应用干粉灭火系统。启动干粉灭火系统之前或同时，应切断储存介质的供应源；
- e) 薄膜罐四周应设置固定水炮及消火栓。

薄膜罐的消防设计除应执行本标准外，尚应符合 GB 50160、GB 50183 及 GB 51156—2015 中钢制或混凝土外壁储罐的有关规定。

7 建造

7.1 薄膜绝热系统

7.1.1 材料准备

7.1.1.1 材料验收

屏蔽薄膜、绝热模块等用材料应经过质量部门的验收，确保其相关机械性能满足相关标准和设计要求。

7.1.1.2 材料切割

屏蔽薄膜切割应满足下列要求：

- a) 奥氏体不锈钢屏蔽薄膜板材的切割：
 - 1) 板材切割前确保保护膜完好；
 - 2) 板材宜采用剪切、激光切割、等离子切割、线切割等方式。
- b) 36%镍铁合金屏蔽薄膜板材的切割：
 - 1) 板材宜采用剪切、激光切割、等离子切割、线切割等方式；
 - 2) 板材切割后板材边缘直线度应满足折边和焊接要求。

绝热模块的切割应按照技术要求进行切割。

7.1.2 加工成型

7.1.2.1 成型

屏蔽薄膜及其相关组件宜采用冲压成型、冷弯、深拉拔等工艺，成型后的最小厚度、线性尺寸、弯曲半径、直线度、平面度应满足设计要求。

7.1.2.2 外观



屏蔽薄膜及其相关组件制作成型后应保证表面圆滑过渡，如材料表面发现机械损伤、压痕、凹坑、划痕、裂纹等缺陷，应按照设计要求进行判定和修复。

7.1.2.3 抽检、批检

奥氏体不锈钢屏蔽薄膜的工厂成型应按设计要求进行外观、尺寸等参数抽检。抽检数量按照表 4 要求。

表 4 屏蔽薄膜检验数量

制造工序	件数	验收比例
试制	5~10	100%
前期制造	11~50	5%
	51~100	3%
	101~1000	1%
批量生产	每 1000 件	0.1%

7.1.2.4 供货期间应依据设计要求进行抽检或批检，所有抽检应做到正确的标记和可追溯性，批检若发现一件样品不合格，应进行复检并增加抽检数量，如复检时发现任何一项检查不合格，则该批次应进行 100% 检验，若再发现任何一项不合格，则整批次均应判定为不合格产品。

7.1.3 预制

7.1.3.1 屏蔽薄膜、绝热模块及其相关组件通过车间预制成型，现场进行组装、焊接或粘连。

7.1.3.2 屏蔽薄膜、绝热模块及其相关组件预制的尺寸及几何形状公差应符合设计要求。

7.1.4 安装

7.1.4.1 预埋件

预埋件应于混凝土浇筑过程中同步完成，预埋件安装精度应满足设计要求。

7.1.4.2 防潮隔离膜

7.1.4.2.1 防潮隔离膜施工前应对预应力混凝土外罐内壁表面粗糙度、清洁度进行确认。

7.1.4.2.2 施工程序、工艺、设备及操作人员应符合技术要求。

7.1.4.2.3 防潮隔离膜在粘连强度拉力、预埋件拉力等试验结束后必须进行涂层修复。

7.1.4.2.4 对于薄膜罐设计锚固件固定在预应力混凝土内壁上，对防潮隔离膜造成损伤或破坏的，需要对其进行修补、检验并保证整体气密性。

7.1.4.3 划线

7.1.4.3.1 为保证绝热模块、屏蔽薄膜及其相关组件的安装精度，宜预先在外罐内壁上划线，并按划线位置将其定位安装。

7.1.4.3.2 划线宜采用软件计算与几何测量相结合的方法。

7.1.4.3.3 划线精度应满足设计和安装工艺要求。

7.1.4.4 基准面调平

7.1.4.4.1 可通过基准面调平方法对外罐内壁平整度偏差进行修正，即建立理论基准面，并由楔块进行安装调节。

7.1.4.4.2 楔块材料可选用胶合板或耐低温塑料垫。

7.1.4.4.3 楔块安装后平面度应符合设计要求。

7.1.4.5 锚固件

7.1.4.5.1 锚固件可采用螺栓、螺母、连接基座等形式固定到外罐内壁上，需考虑与防潮隔离膜的气密性。

7.1.4.5.2 可采用拉力试验方法测试锚固件的连接强度，试验应避免损伤防潮隔离膜。

7.1.4.6 绝热模块安装

7.1.4.6.1 绝热模块的安装应满足 SY/T 7349 的要求。

7.1.4.6.2 绝热模块安装宜采用树脂胶泥和锚固件固定在外罐内壁上。

7.1.4.6.3 绝热模块的安装空隙可采用聚氨酯泡沫板、玻璃棉、泡沫等绝缘材料进行填充。

7.1.4.7 屏蔽层内置管路

7.1.4.7.1 管路应与绝热模块同步安装，焊接接头均应进行无损检测，固定方式应满足设计要求。

7.1.4.7.2 管路安装完成后应进行清理并检验。

7.1.4.8 屏蔽层内置温度监测系统

7.1.4.8.1 内置温度传感器安装应符合设计要求，避免因传感器或保护罩等刚性材料安装凸起造成主、次屏蔽薄膜损坏。

7.1.4.8.2 电缆布线应满足：

- a) 不宜与主、次屏蔽薄膜直接接触；
- b) 布线应保持松弛状态以应对热胀冷缩，并适当固定；
- c) 拐角及其特殊区域应为转弯半径留出充足余量，并采取适当防护措施。

7.1.4.9 屏蔽薄膜

7.1.4.9.1 为控制屏蔽薄膜安装精度，可采用划线、预安装、预拼装等方式方法。屏蔽薄膜在罐壁的安装顺序宜采用从上到下，罐底安装顺序宜采用从中心向外。

7.1.4.9.2 屏蔽薄膜及其组件间的搭接宽度、折边高度和装配精度等应符合设计要求。

7.1.4.9.3 如屏蔽薄膜采用复合材料，安装过程中应严格按安装工艺执行。

7.1.4.10 泵塔基座

泵塔基座宜在车间预制完成，现场安装步骤宜采用预先划线、定位、焊接。

7.1.5 焊接

7.1.5.1 总体要求

焊接应符合 GB/T 26978—2021 中的相关要求。

7.1.5.2 焊接工艺评定

7.1.5.2.1 焊接工艺评定应依据设计要求，并参照 NB/T 47014 的相关要求。

7.1.5.2.2 奥氏体不锈钢和 36%镍铁合金屏蔽薄膜薄板焊接工艺评定可依据相关标准免做低温冲击试验。

7.1.5.3 焊工及操作工

焊工及操作工应依据设计要求完成培训、考核、持证上岗，并参照 GB/T 26978—2021 中的相关要求。

7.1.5.4 产品试件

屏蔽薄膜焊接试件应按不同的设计结构、焊接位置、焊接方法进行制备。

7.1.5.5 屏蔽薄膜焊接

7.1.5.5.1 屏蔽薄膜应采用自动焊接和手工焊接方式相结合。

7.1.5.5.2 连续焊、间断焊和点焊应采用评定合格的焊接工艺，焊接过程宜采取适当措施防止焊接变形。

7.1.5.5.3 焊接接头的表面不应有裂纹、气孔、弧坑、未熔合，角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

7.1.5.6 焊接返修

当发现不可接受的缺陷时，应依据评定合格的 WPS 进行焊接缺陷修补，按原质量验收标准，重新进行检查。同一位置的返修次数不宜超过 2 次。

7.1.5.7 安装过程清洁要求

薄膜绝热系统安装过程中，每进行下一步安装，应对下列相应部位进行清洁：

- a) 防潮隔离膜；
- b) 预埋件；
- c) 绝热模块；
- d) 屏蔽薄膜及其组件；
- e) 其它重要部位。

7.1.6 搬运、标记、包装和储存

7.1.6.1 搬运

屏蔽薄膜、绝热模块等用材料应独立搬运和存放，手工搬运屏蔽薄膜板及其组件时应佩戴清洁手套，如屏蔽薄膜材质为 36%镍铁合金应佩戴皮质手套进行搬运。

7.1.6.2 标记

7.1.6.2.1 薄膜绝热系统所有组件均应依据质量控制要求，做好标记，并具有可追溯性。

7.1.6.2.2 屏蔽薄膜所用板材不应使用硬印标记。

7.1.6.3 包装

7.1.6.3.1 包装应保证所有产品或零部件在储存、搬运和运输过程中完全保护不受损坏。

7.1.6.3.2 在使用前，产品应保持原包装，密封包装上应使用合适且可见的标识，以保证可追溯性的连续性。

7.1.6.4 存储

- 7.1.6.4.1 存储的条件应保证所有部件在使用前都受到保护，不受天气、阳光直射或任何其它可能影响产品一致性的损害。
- 7.1.6.4.2 36%镍铁合金和绝热模块的存储环境相对湿度小于 70%。
- 7.1.6.4.3 屏蔽薄膜应有独立的存储空间对材料表面进行保护，禁止与碳钢、低合金钢接触，防止铁离子污染。
- 7.1.6.4.4 绝热模块材料按设计要求的环境参数存储。
- 7.1.6.4.5 焊接材料应按照焊接材料标准规定或技术要求的推荐，选择二者中更严格的规定进行保护和存储。

7.2 外罐建造

7.2.1 预应力混凝土外罐

- 7.2.1.1 混凝土施工前应开展专门的混凝土配合比设计。
- 7.2.1.2 在施工计划中，需充分考虑新、旧施工界面之间的温度差异以及环境温度对混凝土结构的影响。

7.2.2 钢制外罐

钢制外罐建造除满足设计要求外，尚应符合 GB/T 26978—2021 中的要求。

8 检验

8.1 总则

- 8.1.1 无损检测人员应通过考试合格并取得相应资质，符合 TSG Z8001 的规定。
- 8.1.2 所有检验应制定检验和试验程序，按制定的程序进行相应的检验。

8.2 薄膜绝热系统

8.2.1 材料标记

应维护好材料的标记，保证材料在安装过程中的任意时间能被识别和后续的可追溯性。

8.2.2 屏蔽薄膜

- 8.2.2.1 屏蔽薄膜安装应依据设计要求检验划线、锚固件定位、平面度、倾斜度、层差、焊缝外观等。
- 8.2.2.2 复合屏蔽薄膜如采用粘连方式固定，粘连检验应重点关注粘连的连续性、搭接、转角、溢胶等位置的密闭性。

8.2.3 绝热模块

绝热模块安装前应进行外观检查：无灰尘、无胶带痕迹、无铆钉突出、无油脂，无裂纹、无气孔、无机械损伤等缺陷，依据设计要求对安装后的间隙、树脂胶泥挤压情况、平面度等进行检验。

8.2.4 内置管路、仪表

按照设计要求对安装在屏蔽层内置管路、电缆和传感器等进行检验，确保其安全可靠。

8.2.5 防潮隔离膜

按照设计要求对防潮隔离膜整体外观、均匀度、膜厚度、粘接强度、搭接间距和连续性等进行检验。

8.2.6 划线

按照设计要求对罐内壁面中心垂线、参考标记、底面中心点、绝热模块参考线等划线进行检验。

8.2.7 基准面

按照设计要求应对调平楔块安装后的基准面进行复核检查。

8.2.8 锚固件

锚固件安装后按照设计要求对其进行外观、尺寸、定位、拉力等检验。

8.2.9 无损检测

8.2.9.1 薄膜绝热系统的焊接接头应依据 GB/T 26978—2021 和设计要求，按 NB/T 47013 进行无损检测。

8.2.9.2 不应使用对材料有腐蚀性的着色渗透剂。

8.3 外罐

8.3.1 外罐尺寸和几何形状

屏蔽层安装前应按照设计要求对外罐内壁高度、宽度、直径、垂直度、平面度等进行检验。

8.3.2 钢制外罐的无损检测

钢制外罐壳体的焊接接头应依据 GB/T 26978—2021 和设计要求，按 NB/T 47013 进行无损检测。

8.4 薄膜罐试验

8.4.1 试验应符合 GB/T 26978—2021 或设计要求。

8.4.2 试验包括预制组件的试验和现场组装试验。

8.4.3 薄膜绝热系统相关预制产品，如屏蔽薄膜及其组件，绝热模块等产品应根据设计要求进行试验，并提供相关试验检测报告。

8.4.4 薄膜罐现场组装试验是指在现场安装过程中，对关键安装步骤进行独立第三方检测和试验，并提供相关报告，其中至少包括：

- a) 防潮隔离膜粘连强度试验；
- b) 绝热模块锚固件拉力试验；
- c) 屏蔽薄膜强度、密性试验。

8.5 铭牌

薄膜罐铭牌应符合 GB/T 26978—2021 中的相关规定。

8.6 试运行验收

8.6.1 程序

薄膜罐运行前需要编制干燥、置换和冷却等程序，置换和冷却应连续进行。编制程序中应体现任意过程中断时的应急方案。

8.6.2 投料试车

投料试车前应完成投料试车条件检查，并将所有影响投料试车的问题整改完毕。条件许可时也可开展 PSSR，检查内容见附录 B 中的表 B.1。

8.6.3 干燥

薄膜罐干燥方案可参照 SY/T 4114 中的相关内容，尚应符合下列要求：

- a) 屏蔽薄膜如采用 36%镍铁合金材料，露点不宜大于 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 屏蔽薄膜如采用不锈钢材料，露点不宜大于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

8.6.4 置换

薄膜罐置换可参照 GB/T 26978—2021 中的相关规定，尚应符合下列规定：

- a) 按照设计要求对屏蔽层空间进行置换；
- b) 置换过程中控制设计要求的屏蔽层内外压差。

8.6.5 冷却

薄膜罐冷却除应符合 GB/T 26978—2021 中的相关规定，尚应满足屏蔽薄膜内外压差要求。



中国船舶工业行业协会
China Association of the National Shipbuilding Industry

附录 A
(资料性)

屏蔽薄膜用金属钢板的化学成分和力学性能

奥氏体不锈钢和 36%镍铁合金的冲击试验要求见表 A.1。36%镍铁合金的化学成分见表 A.2。36%镍铁合金的力学性能见表 A.3。

表 A.1 奥氏体不锈钢和 36%镍铁合金钢板、钢带的冲击试验要求

	使用状态	厚度 mm	冲击试验要求	
			试验温度 ℃	夏比 V 型缺口
				冲击吸收能量的平均值 KV ₂ J
奥氏体不锈钢	冷轧固溶	1.5~8	≥-196℃ 免做冲击	
36%镍铁合金	钢带退火	0.5~3	注	注
	钢板热轧	8	注	注

注：首次采用应进行-196℃冲击试验，试验结果应满足设计要求。

表 A.2 36%镍铁合金的主要化学成分（熔炼分析）

	主要成分						
	Ni	Mn	SI	S	P	C	Fe
含量/%	35~37	≤0.4	≤0.30	≤0.0015	≤0.008	≤0.04	平衡

表 A.3 36%镍铁合金的力学性能

厚度 mm	室温			最低设计温度（注1）	
	强度指标		断后延伸率 A	强度指标	
	R _{p0.2}	R _m		R _{p0.2}	R _m
0.5-3	≥270	≥450	≥35	注	注
8	≥230	≥440	≥30	注	注

注：可选，由供需双方协商。

附录 B
(资料性)
PSSR 重点内容

PSSR 重点内容见表 B.1。

表 B.1 PSSR 重点内容

专业/系统	重点内容
安全消防系统	消防设施、消防检查、消防测试、消防检测、消防依托、消防演练、消防通道、安全设施、特种设备等
设备专业	总体情况、罐内泵、储罐、蒸发气压缩机、火炬、氮气系统、起重机、施工情况、控制系统、测试情况、阀门状态等
工艺专业	图纸和说明书、操作手册、安全标识、培训情况、通讯系统、放空排凝、临时设施拆除、盲板拆装记录、封闭系统检查、阀门检查等
电气专业	总变电站、区域变电站、中控室的电气系统图纸及说明书、完工情况、试验记录、联锁测试、临时线路拆除、ESD 测试、电机测试、绝缘测试、防爆检查、防雷检查、防静电检查等
仪表专业	仪表系统图纸及说明书、完工情况、质量检查、测试情况、回路测试、绝缘测试、仪表风测试、控制阀测试、报警值校对、联锁值校对、PLC 测试、防爆检查等
DCS、SIS、GDS	图纸及说明书、逻辑核对、ESD 功能测试、DCS 功能测试、GDS 控制测试等
配管专业	设备上的工艺及仪表管口方位、设备上的梯子和平台方位、阀门和设备的主要操作平台、固定式吊车及起重机及横梁、防火设备（消防栓、检测装置、水喷淋系统、雨淋系统等）、洗眼器的位置、仪电装置（接线盒、变送器、现场配电箱、照明箱）、管廊及区域内的仪电电缆槽架、坑和沟

参考文献

- [1] GB 150 压力容器
 - [2] GB/T 1036 塑料-30°C~30°C线膨胀系数的测定 石英膨胀法
 - [3] GB/T 15408 硬质泡沫塑料压缩蠕变试验方法
 - [4] GB/T 17657 人造板及饰面人造板理化试验性能方法
 - [5] GB/T 26978—2021 现场组装立式圆筒平底钢质低温液化气储罐的设计与建造
 - [6] SY/T 4114 天然气管道、液化天然气站（厂）干燥施工技术规范
 - [7] ISO 527-1 Plastics-Determination of tensile properties-Part1: General principles
 - [8] ISO 527-2 Plastics-Determination of tensile properties-Part2: Test conditions for moulding and extrusion plastics
 - [9] ISO 604 Plastics-Determination of Compressive properties
 - [10] ISO 2426-2 Plywood-Classification by surface appearance-Part2: Hardwood
 - [11] ISO 4587 Adhesives-Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies
-