



中华人民共和国国家标准

GB/T 26978.4—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4部分：绝热构件

Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed
steel tanks for the storage of liquefied natural gases—
Part 4: Insulation components

2011-09-29 发布

2012-03-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	3
4 绝热材料的设计要求、性能特性、测试和选择	3
4.1 总则	3
4.2 设计要求分析	3
4.2.1 概述	3
4.2.2 热阻性能	3
4.2.3 结构要求	3
4.2.4 特定设计要求	3
4.3 材料性能特性评估	4
4.3.1 概述	4
4.3.2 热阻性能	4
4.3.3 力学性能	4
4.3.4 耐温特性	4
4.3.5 耐水和水蒸气特性	4
4.3.6 储存产品的影响	5
4.3.7 化学性质	5
4.3.8 对火的反应	5
4.4 材料和系统测试	6
4.4.1 概述	6
4.4.2 测试方法	6
5 绝热保护-隔汽层	6
5.1 概述	6
5.2 外罐形成的防护结构	6
5.3 外部绝热材料的保护层	7
6 绝热系统设计	7
6.1 概述	7
6.2 热工设计	7
6.3 结构设计	8
6.3.1 概述	8
6.3.2 承载绝热材料/压缩荷载	8
6.3.3 承载绝热材料/其他荷载	9
6.4 储罐组件的绝热	9
6.4.1 概述	9
6.4.2 支承环梁	9

6.4.3	罐底绝热	10
6.4.4	罐壁绝热(外部)	10
6.4.5	罐壁/罐墙绝热(内部)	11
6.4.6	罐顶绝热(外部)	12
6.4.7	吊顶上的罐顶绝热	12
6.5	不同类型储罐的设计	12
7	安装	12
7.1	引言	12
7.2	一般要求	12
7.2.1	材料	12
7.2.2	现场作业条件	12
7.2.3	防腐保护	13
7.2.4	施工允许偏差	13
7.2.5	损坏防护	13
7.3	检验和测试	13
附录 A (资料性附录)	绝热材料	14
附件 B (规范性附录)	检测方法	17
附录 C (规范性附录)	储罐底部绝热-极限状态理论	20
附录 NA (资料性附录)	本部分与 EN 14620-4:2006 技术性差异及其原因	21
参考文献		22

前 言

GB/T 26978《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》分为以下 5 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：金属构件；
- 第 3 部分：混凝土构件；
- 第 4 部分：绝热构件；
- 第 5 部分：试验、干燥、置换及冷却。

本部分为 GB/T 26978—2011 的第 4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分修改采用 EN 14620-4:2006《现场组装立式圆筒形平底钢质操作温度介于 0℃～-165℃的冷冻液化气储罐设计和建造 第 4 部分：绝热构件》(英文版)。

主要差异如下：

保留了与液化天然气有关的内容，删除与液化石油气、乙烯、乙烷和类似的碳氢化合物以及液氨、液氧、液氮及液氢储存等相关的内容。

增加了“附录 NA(资料性附录)”，其中给出了技术性差异及其原因的一览表，以供参考。

为了便于使用，本部分以法定计量单位为主，非法定计量单位的相应值标在其后的括号内。

本部分的附录 B、附录 C 为规范性附录，附录 A、附录 NA 为资料性附录。

本部分由全国石油天然气标准化技术委员会液化天然气分技术委员会(SAC/TC 333/SC 43)归口。

本部分负责起草单位：中海石油气电集团有限责任公司、中国成达工程公司。

本部分参加起草单位：中国石油天然气股份有限公司唐山 LNG 项目经理部、中国石油天然气管道工程有限公司、中国石化集团中原石油勘探局勘察设计研究院、中国石油天然气与管道分公司。

本部分主要起草人：王彬、殷虹、刘利、梁东秀、宋明昭、赵旭青、王杰夫、何涛、邓青。

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4部分：绝热构件

1 范围

本部分规定了液化天然气(LNG)储罐的绝热材料、绝热设计及安装要求。

LNG 储罐用于存储低沸点,即低于正常环境温度的液化天然气。

常压储罐储存此类液态产品取决于气化潜热和绝热的组合。

所以,LNG 储罐的绝热系统是储存系统的一个重要组成部分,而不仅是储存系统(对于大多数环境压力下的烃类化合物储罐)的一个辅助部分。如果没有适当的设计、安装和维护,储罐将无法正常工作。

LNG 储罐中绝热的主要作用包括:

- 保持蒸发低于特定的限度;
- 保护储罐的非低温部件/材料(主要是储罐外部),使其处于所要求的环境温度下;
- 限制储罐底部的基础/土壤冷却,避免因冻胀而损坏;
- 防止和尽可能减少储罐外部表面的水蒸气冷凝和结冰。

可供用的绝热材料种类很多。然而,在不同类别的材料之间,材料的性质迥异,即使在同类材料间差别同样很大。

因此,本部分仅在材料的选择方面给予一般性指导。

注:有关材料选择的一般性指导,参见附录 A。

本部分适用于现场组装的立式、圆筒、平底、钢质,操作温度介于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的液化天然气储罐的设计和建造。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的,凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 10294 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法

GB 10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

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

ISO 844 硬质泡沫塑料 压缩性能测定(Rigid cellular plastics—Determination of compression properties)

ISO 4897 泡沫塑料 近乎环境温度条件下刚性材料的线性热膨胀系数测定(Cellular plastics—Determination of the coefficient of linear thermal expansion of rigid materials at sub-ambient temperatures)

EN ISO 62,1999 塑料吸水性测定(Plastics—Determination of water absorption)

EN ISO 3582:2000 柔性多孔聚合材料在小火焰条件下小试样水平方向燃烧特性的实验室评定(Flexible cellular polymeric materials—Laboratory assessment of horizontal burning characteristics of small specimens subjected to a small flame)

EN ISO 4590:2002 硬质泡沫塑料 开孔与闭孔的体积百分比测定(Rigid cellular plastics—Determination of the volume percentage of open cells and closed cells)

EN ISO 4624:2002 油漆和涂料 粘附力撕开试验(Paints and varnishes—Pull-off test for adhesion)

EN 826:1996 建筑物用绝热产品 压缩性质的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of compression behaviour)

EN 1604 建筑物用绝热产品 特定温度和湿度条件下尺寸稳定性的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of dimensional stability under specified temperature and humidity conditions)

EN 1606 建筑物用绝热产品 压缩蠕变的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of compressive creep)

EN 1607 建筑物用绝热产品 垂直于表面的抗拉强度的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of tensile strength perpendicular to faces)

EN 1608 建筑物用绝热产品 平行于表面的抗拉强度的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of tensile strength parallel to faces)

EN 1609 建筑物用绝热产品 局部浸入时短期吸水性的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of short term water absorption by partial immersion)

EN 12065 液化天然气的设备及安装 液天然气气围堰绝热内衬垫试验(Installations and equipment for liquefied natural gas—Testing of insulating linings for liquefied natural gas impounding areas)

EN 12086 建筑物用绝热产品 水蒸气透过性的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of water vapour transmission properties)

EN 12087 建筑物用绝热产品 浸入时长期吸水性的测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of long term water absorption by immersion)

EN 12088 建筑物用绝热产品 扩散型长期吸水性测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of long term water absorption by diffusion)

EN 12090:1997 建筑物用绝热产品 剪切性质测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of shear behaviors)

EN 12091 建筑物用绝热产品 抗冻融性能测定(Thermal insulating products for building applications—Determination of freeze-thaw resistance)

EN 12667 建筑材料和产品的热性能 通过防护加热板及热流计方法进行耐热性测定 高耐热性和中等耐热性的产品(Thermal performance of building materials and products—Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods—Products of high and medium thermal resistance)

EN 12939 建筑材料和产品的热性能 通过防护加热板及热流计方法进行耐热性测定 高耐热性和中等耐热性的厚型产品(Thermal performance of building materials and products—Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods—Thick products of high and medium thermal resistance)

EN 13468 建筑设备和工业装置应用绝热产品 对微量的水溶性氯化物,氟化物,硅酸盐,钠离子和 pH 的测定(Thermal insulating products for building equipment and industrial installations—Determination of trace quantities of water soluble chloride, fluoride, silicate, sodium ions and pH)

EN 13471 建筑设备和工业装置应用绝热产品 热膨胀系数测定(Thermal insulating products for building equipment and industrial installations—Determination of the coefficient of thermal expansion)

3 术语及定义

GB/T 26978.1—2011 中确立的术语和定义适用于本文件。

4 绝热材料的设计要求、性能特性、测试和选择

4.1 总则

选择适当的绝热系统和绝热材料应以以下内容为基准：

- 设计要求分析(见 4.2)；
 - 材料性能特性评估(见 4.3)。
- 有关所使用的绝热材料,参见附录 A。

4.2 设计要求分析

4.2.1 概述

绝热系统无论作为一个整体还是各个单独的组件,都应考虑以下设计要求。

4.2.2 热阻性能

4.2.2.1 储罐正常操作

应考虑导致绝热系统热量渗入的所有因素,例如：

- 产品温度；
 - 外部温度和其他气候条件(太阳辐射,风,湿度等)；
 - 导热系数；
- 注：因存在绝热材料老化引起的性能下降,应确定安全裕度。
- 热对流；
 - 热辐射；
 - 因冷桥产生的热量渗入(来自于绝热系统或储罐设计)。

4.2.2.2 事故状况

应考虑事故状况,包括：

- 要求的热阻性能,各绝热组件的技术规定以及设计事故状况的持续时间；
- 在这些条件下绝热层的热阻性能。

4.2.3 结构要求

绝热系统的设计应该符合以下结构要求：

- 各方向上静态和动态的荷载；
- 液密性(如要求)。

4.2.4 特定设计要求

除上述绝热要求和结构要求外,储罐的绝热设计应满足所有特定设计要求,这些要求与选择绝热系统、材料,安装方法,以及储罐类型密切相关,应根据具体情况逐项明确。

4.3 材料性能特性评估

4.3.1 概述

在设计要求的基础上,在操作温度范围内,应确定绝热材料的性能特性的要求。至少应考虑 4.3.2~4.3.8 中所规定的内容。

4.3.2 热阻性能

应考虑下列因素:

——导热系数;

a) 在要求的温度范围;

b) 在预计的外部 and 内部(产品的蒸发气空间、已置换的空间、与液体产品接触)环境中;

c) 考虑整个储罐设计使用寿命期的老化效应;

——可能因辐射产生的热量渗入;

——可能因对流产生的热量渗入(绝热材料及整个绝热系统的渗透率);

——因冷桥产生的热量渗入。

有关热阻性能的检测,见表 B.1。

4.3.3 力学性能

应考虑下列因素:

——短期和长期的压缩性能(蠕变);

——在可能受到横向力作用(例如:地震)下的绝热材料的抗拉强度和剪切性能;

注:为评估热力学荷载和热应力,可能也需要抗蠕变性能数据。

——通过粘结安装的绝热系统的粘结强度。

有关力学性能的测定,见表 B.2。

4.3.4 耐温特性

绝热材料应能够承受温度(最高和最低操作温度)以及可能遇到的温度变化。因此,为确定材料的收缩、膨胀以及可能出现的开裂,应考虑下列因素:

——热膨胀、收缩系数;

——设计温度范围内的抗拉强度,拉伸模量。

有关耐温特性的测试,见表 B.3。

4.3.5 耐水和水蒸气特性

应对水和水蒸气可能对绝热产生的负面影响进行评估,应考虑下列特性:

——闭孔率;

——水蒸气的渗透率;

——吸水率。

除此之外,应对水和水蒸气渗透产生的影响进行评估:

——热阻性能的降低;

——水或者冻结过程可能对绝热层产生的结构性损坏(可能的冻结/解冻循环)。

有关水和水蒸气的渗透性检测,见表 B.4。

4.3.6 储存产品的影响

应评估以下特性：

- 闭孔率(作为开/闭孔结构的指标)；
- 产品蒸发气的吸收和对绝热材料其他性能的影响(导热系数、力学性能、阻燃性能)；
- 对液体产品的吸收能力和渗透能力；
- 长期吸收液体对材料其他性能方面的影响；
- 解吸情况：时间/百分比。

注：储存的产品对于内部绝热系统的影响非常关键，因为它持续与产品蒸发气接触，并且在发生意外泄漏时可能直接与液体产品接触。

在产品存在状况下的材料性能的检测，见表 B.5。

4.3.7 化学性质

应根据以下可能会发生的化学反应之间的兼容性进行评估：

- 绝热系统，包括其所有组成：
 - a) 绝热材料；
 - b) 辅助材料(涂料、粘剂、玛蹄脂、密封剂、涂层等)；
 - c) 保护层(包覆层和捆扎件)；
- 所处环境：
 - a) 对于外部绝热：环境条件、水、水蒸气、空气和水中的污染物；
 - b) 对于内部绝热：产品蒸发气及液体、惰性气体、重质气体。
- 与绝热系统接触的储罐材料和(或)涂层。

应对典型的化学特性进行评估：

- 对于外部绝热：
 - a) 在可以代表现场情况的条件下(例如：海洋大气，被化学工业污染的大气)，评估绝热系统自身(或者其部分)的抗腐蚀性性能；
 - b) 绝热材料的防腐或腐蚀特性，例如：溶出或从绝热材料中析出腐蚀性物质的可能性，防水绝热系统的腐蚀防护性能；
- 对于内部绝热：
 - a) 绝热系统对储罐中产品蒸发气/液体的耐化学性；
 - b) 绝热层对罐中储存的产品呈惰性(不含污染物和化学反应物)。

有关化学特性评估的方法，见表 B.6。

4.3.8 对火的反应

应考虑以下重要方面：

- 施工过程中火灾风险；
- 外部起火时的反应(如果规定)。

因此，应考虑下列特性：

- 对火的反应：
 - a) 可燃性；
 - b) 防火特性；
 - c) 有毒气体产生；
- 材料的最高温度限制：熔化温度，分解温度，燃点温度；

——绝热层的阻火性(倘若绝热材料被设计成隔热和防火的双重角色)。
阻火性和对火的反应的评估方法,见表 B.7。

4.4 材料和系统测试

4.4.1 概述

绝热材料的性能特征,应通过以下方面证明:

- 实验室测试;
- 绝热系统的实物模型测试。

注1:由于有各种情况的组合,对储罐绝热系统性能的评估,仅仅采用单一的材料性能测试是不够的,故全尺寸实物模型测试是一个可供选择的解决方案。

或

- 对完成安装的储罐绝热系统进行测试。

注2:有限元计算可提供补充资料。

4.4.2 测试方法

只要可能,应按照附录 B 列出的标准测试方法进行。

注:附录 B 提供了绝热材料/绝热系统的工作性能试验方法,但不包括产品的其他测试,例如:密度测量、尺寸规格等,这些通常由绝热材料生产厂家提供。

5 绝热保护-隔汽层

5.1 概述

由于绝热系统是储罐的一个非自身支撑构件,绝热系统应固定,安放,嵌填于构件之间或由其他构件(混凝土和钢结构)支撑。

此外,还应保护绝热材料以避免各种可能的退化和损坏,例如:

- 机械损坏;
- 雨、雪等造成的浸入;
- 其他气候因素引起的浸蚀,例如,风、冰雹、紫外线等;
- 水蒸气渗透形成浸水和结冰;
- 火灾损害。

为防止以上情况发生,应设置保护层。

绝热材料、保护层及固定系统的完整组合被称为“绝热系统”。

5.2 外罐形成的防护结构

在多种类型的储罐中,外罐给绝热材料提供了保护和支承结构。应确保在这种情况下,外罐提供了充分的密闭性。

如外罐是由水蒸气和产品蒸发气可渗透的混凝土制造而成的,则应采取必要措施,使水蒸气和产品蒸发气不能透过混凝土层。

水蒸气和产品蒸发气的密闭性应通过以下措施实现:

- 选用金属衬里;
- 或聚合物隔汽层。

注:也可参见 GB/T 26978.3—2011 中第 9 章。

5.3 外部绝热材料的保护层

绝热材料安装于罐外部时,应为绝热材料提供适当的保护层。保护层应保护绝热材料的质量、效率和寿命免受所有不利因素的影响。

应考虑下列因素:

- a) 天气因素:
 - 1) 水蒸气;
 - 2) 雨、雪、冰雹;
 - 3) 风、暴风雨;
 - 4) 日光辐射,紫外线;
- b) 其他大气因素:
 - 1) 污染;
 - 2) 腐蚀;
- c) 人为或鸟类等引起的机械损坏;
- d) 火灾损害。

对于保冷材料,水蒸气的危害最大,是不可见和持续发生作用的,所以应阻止水蒸气渗透或将渗透降到最低,对于大多数的绝热系统,绝热材料外应安装有效的隔汽层(WVB),以消除水蒸气的渗透或使其渗透最小化。这种隔汽层可以单独设计,也可作为防护层的一部分。

在工程所在地的平均水蒸气分压下,隔汽层(WVB)的最大渗透率应为24小时 $0.02\text{ g}\cdot\text{m}^{-1}$ 。

外罐绝热的防护层和隔汽层应为:

- 金属的(绝热包裹层),或
- 非金属的(聚合物隔汽层,玛蹄脂隔汽层),或
- 二者的结合。

注:如是某种绝热系统本身可充分证明能够保持水蒸气不渗透,则不需要隔汽层。

6 绝热系统设计

6.1 概述

一般来说,储罐绝热系统根据结构和热工要求进行设计。此外,还应考虑安装方法,试运行及停运(置换、气体排除)的要求。

注:不同类型的储罐及储罐的不同部件(罐底、罐堵、罐顶),绝热设计将截然不同。因此很难规定每种类型储罐的具体要求,以下仅对一般性要求进行描述。

作为整个储罐绝热设计的一部分,在项目规格书中应清楚地说明储罐具体类型,储罐需要考虑的组件,所选的绝热材料及其他相关因素的附加要求。

6.2 热工设计

热工设计应考虑以下要求:

- 允许的最大蒸发率;
- 外罐组件的最低设计温度;
- 防止储罐外表面水蒸气的结冰/冷凝;
- 防止土壤冻结。

对于蒸发率,买方应规定最大允许的日蒸发量,并应考虑外部的气候条件。

热工设计应符合上述全部要求,通过将总的允许热渗入量分散到储罐各个部分形成一个绝热系统。

储罐热工设计中,除绝热系统的热阻之外,也应考虑储罐其他部件的热阻,如建造构件(混凝土)或储罐内部的蒸发气空间,应尽可能计算各构件在罐中各自位置和相应的温度范围内的热阻。

6.3 结构设计

6.3.1 概述

绝热系统的结构设计应基于许用应力和极限状态理论。

注:当地震条件起主导作用时,推荐采用极限状态理论。

6.3.2 承载绝热材料/压缩荷载

6.3.2.1 概述

储罐绝热的某些特定组件应考虑承受压缩荷载:

- 所有类型储罐的罐底绝热系统;
- 薄膜罐的罐底和罐墙;
- 罐底和罐墙间的热防护系统。

6.3.2.2 许用应力理论

6.3.2.2.1 脆性材料(如:泡沫玻璃)

公称抗压强度 σ_c 和设计压应力之间最小的总体安全系数应为:

正常操作:	3.00
水压试验:	2.26
运行基准地震:	2.00
安全停运地震:	1.50

注:总体安全系数应考虑到圆筒效应(column effect),安装、材料变化及检测差异的影响。

公称抗压强度 σ_c 应由以下条件决定:

- 抗压强度应按照 EN 826:1996,附件 A 进行测量;测量结果为最大抗压强度,用符号 σ_{c0} 表示;
- 足够数量的测试结果的统计平均值,称作这种材料的公称抗压强度,用符号 σ_c 表示;制造商应标明该值。

也应提供规定的下限值(平均值、低于两倍的标准偏差)。如果此值低于 σ_c 的67%,那么, σ_c 值应调整为规定的下限值的1.5倍。如果证明材料不受蠕变影响,则不要求对其做蠕变试验。

6.3.2.2.2 易蠕变材料[例如,聚氨酯泡沫塑料(PUF)、聚氯乙烯(PVC)等]

首先应确定材料的许用荷载。

这应根据两个准则分两步完成:

——短期压缩试验:

a) 短期压缩试验中的公称抗压强度 σ_{c1} :

- 1) 抗压强度应按照 EN 826:1996 测定;结果表示为 σ_{c0} (最大抗压强度)或 σ_{c1} (10%压缩时压应力);
- 2) 材料的公称抗压强度 σ_c 应按这类试验得到的足够数据统计的平均值计算;制造商应标明此值;

b) 制造商也应提供规定的下限值(平均值、低于两倍的标准偏差)。如果此值低于 σ_c 的67%,那么, σ_c 值应调整为规定的下限值的1.5倍。

——压缩蠕变试验：

压缩蠕变应按照 EN 1606 进行测量。

蠕变试验使用的压应力 σ_c 应在上述公称抗压强度 σ_n 的有效范围内选择，然后用该值乘以假定的许用荷载系数 (f_{PLD})。

注 1：例如，对于承重的 PUF 材料，许用荷载系数约为 0.30。

对每一特定的材料，许用荷载系数应通过反复蠕变试验，使用试凑法测定。首先，应根据材料的物理结构和/或现有数据假设许用荷载系数值。

为了验证此假设值的准确性，蠕变试验时的压应力应等于 $\sigma_n \times f_{PLD}$ (许用荷载系数)。

蠕变试验应确认，在外推到储罐设计寿命的压应力下，绝热材料的蠕变不应超出材料的蠕变比例极限或材料厚度的 5% (采用较低的值)。

如果蠕变测试得到肯定的结果，则该材料的许用荷载系数应予以使用。

然而，如果初始蠕变测试表明蠕变高于设定的限度，则该材料必须在较低压应力下重新测试，直到确定该材料的正确许用荷载系数值。

一旦确定正确的许用荷载系数，则许用荷载应见式 (6-1)

$$P_{LD} = \sigma_n \times f_{PLD} \quad \dots\dots\dots (6-1)$$

式中：

P_{LD} ——许用荷载；

f_{PLD} ——许用荷载系数。

一旦材料的许用荷载被确定，以下系数应在许用荷载和设计压缩荷载之间应用：

正常操作：1.25；

水压试验：1.00 (持续时间 ≤ 1 个月)；

运行基准地震：由材料供应商提供；

注 2：对于 PUF 和 RVC 材料，可使用 0.5；

安全基准地震：由材料厂商提供。

注 3：对于 PUF 和 PVC 材料，可使用 0.33。

6.3.2.3 极限状态

基于极限状态的承载绝热设计，应按照附录 C 进行。

6.3.3 承载绝热材料/其他荷载

当储罐绝热层受到垂直和水平组合力时，将产生剪应力，地震作用时罐底将承受剪应力。

注：绝热层也可能受到其他荷载 (例如，风、热量、变形等)。

应针对每种特殊情况确定产生的应力。

对于许用应力理论和极限状态理论两者的安全系数都应根据具体情况确定。

6.4 储罐组件的绝热

6.4.1 概述

除上述一般设计要求外，应考虑以下对储罐不同组件的特殊要求。

6.4.2 支承环梁

6.4.2.1 结构设计

结构设计应考虑：

- 横向力(储罐收缩、地震)；
- 罐壁可能发生的位移(风、灌注/排放、地震)；
- 环梁的防水和隔汽层。

6.4.2.2 热工设计

在可能的情况下,环梁的热工设计应结合基础底板加热系统一起考虑。设计时应最大限度的减小/避免支承环梁下出现“冷点”。对于由筏板基础支撑的基础底板,基础以下的温度不应低于 0 ℃。

注:此措施用来防止可能发生的冻胀。

6.4.2.3 穿过环梁的垂直锚固件

应考虑下列各项:

- 减少冷桥效应;
- 防止水/水蒸气进入;
- 锚固件的柔韧性。

6.4.3 罐底绝热

6.4.3.1 结构设计

结构设计应考虑以下几点:

- 基础底板的平整度(例如:内衬钢板可能会发生扭曲变形);
- 各绝热层的平整度;
- 使用辅助材料来提高承载以及荷载传递能力(例如:在绝热材料层间设置夹芯);
- 防水层和隔汽层;
- 如果有规定,应考虑置换装置;
- 如果有规定,应设置热防护系统。

6.4.3.2 热工设计

底部绝热层的厚度应根据规定的总的最大热渗入量和尽可能少的冷凝/结冰的要求来确定,还应结合罐壁和罐顶的绝热联合设计。

特别注意应避免罐底的冻胀。

6.4.4 罐壁绝热(外部)

6.4.4.1 结构设计

结构设计应考虑以下几点:

- 由于罐(以及锚固件)的尺寸变化在绝热层上产生的热-机械应力;
- 应考虑在罐壁周围固定绝热材料的方法和强度:
 - a) 自身荷载(包括保护层);
 - b) 风荷载;
 - c) 太阳辐射、雨、雪、冰产生的影响;
- 隔汽层的组合与保护。

6.4.4.2 热工设计

绝热层的厚度应根据规定的总的最大热渗入量和尽可能少的冷凝/结冰的要求来确定,还应结合罐

底和罐顶的绝热统一设计。

6.4.4.3 规定的耐火性

买方应根据当地环境(邻近设施、管道等),规定罐壁外绝热层的耐火性。

6.4.4.4 安装注意事项

应考虑下列几点:

- 选择合适的绝热系统以承受指定地点的外部气候环境和大气条件,从而达到规定的绝热设计寿命;
- 在选择绝热材料和绝热系统的过程中应考虑绝热层工作期间预计的天气条件。

6.4.5 罐壁/罐墙绝热(内部)

6.4.5.1 热工设计

罐壁绝热层的厚度应根据规定的最大总热渗入量和尽可能少的冷凝/结冰的要求来确定,还应结合罐底和罐顶的绝热统一设计。在某些情况下,绝热厚度应由实际情况来决定(疏松的填充绝热材料)。

6.4.5.2 固定于外罐内表面的绝热材料

应考虑下列各项:

- 应考虑在外罐罐体内表面安装绝热材料的方法和强度:
 - a) 绝热材料自身静载荷;
 - b) 热应力;
- 外罐罐体的收缩/膨胀;
- 绝热系统的气密性和液密性;
- 在环形空间条件下绝热层的耐化学性。

6.4.5.3 固定于内罐外表面的绝热材料

应考虑下列各项:

- 应考虑在外罐罐体安装绝热组件的方法和强度:
 - a) 绝热材料自身载荷;
 - b) 热应力;
- 外罐罐体的收缩/膨胀;
- 绝热系统的水蒸气气密性。

6.4.5.4 环形空间内疏松填充的绝热材料

应考虑下列各项:

- 因内罐和可能的外罐尺寸变化而施加在绝热材料上的热-机械应力;
- 内罐上的外部压力:此压力由于罐的循环荷载或由于可能发生的停运(膨胀)而增加。通过利用弹性毯可以降低此压力。承包商应通过试验或计算的方式来验证罐的假设压力是保守的。
- 在安装过程中通过振动的方法可以降低珍珠岩的沉降。然而总是会发生一些沉降,在这种情况下应考虑使用珍珠岩补充口或在罐的顶部使用所谓的“漏斗”(hopper space)进行补充。因此,在需要补充珍珠岩前,应在规定的最短时间内报告买方。

在储罐设计中,应考虑到珍珠岩补充口。

注:在绝热材料疏松填充的情况下,绝热层厚度常常根据实际情况来确定(环形空间内的最小工作空间)。

6.4.5.5 其他设计注意事项

应考虑下列各项：

- 在正常操作或泄漏的情况下绝热层对产品的吸收/解吸；
- 可能需要置换绝热材料。

6.4.6 罐顶绝热(外部)

应考虑下列各项：

- 罐顶绝热层的厚度应根据规定的最大总热量渗入量和尽可能少的冷凝/结冰的要求来确定；
- 应包括保护层和隔汽层；
- 适合承受选定地点的外界气候环境和大气条件；
- 罐体的尺寸变化产生并作用于绝热层上的热-机械应力；
- 适合设置检修通道和维护工作；
- 买方规定的阻燃性能要求。

6.4.7 吊顶上的罐顶绝热

应考虑下列各项：

- 根据规定最大总热渗入量和尽可能少的冷凝/结冰的要求，确定罐顶绝热层厚度。
- 对于临时通道，应专门布置，例如，人行通道等。
- 对于热工设计，不仅要考虑所选择绝热材料的导热系数，而且还要考虑到通过对流、冷桥(吊顶的拉杆)等可能产生的热泄漏。
- 绝热层可能会发生沉降(收缩)。

6.5 不同类型储罐的设计

对于不同类型的储罐，因设计要求不同，绝热系统的设计也应不同。

注：由于储罐有很多可能的类型，本部分将不对某一类型的储罐作单独处理。

作为储罐和绝热设计的一部分，对特定选择的储罐类型的所有设计要求具体情况具体分析，并且，绝热系统设计应符合所有设计要求。

7 安装

7.1 引言

本部分概括总结了用于所有类型的绝热材料的安装要求，但对于其他特殊类型绝热材料的要求，不包括在本部分之内。

7.2 一般要求

7.2.1 材料

所有材料应符合材料技术规格要求，还应通过测试和验证加以证明。

材料的运输和储存条件应保证在制造和安装阶段不会发生质量降低的问题(物理、化学或其他方面)。

7.2.2 现场作业条件

绝热施工的现场条件应满足作业质量的要求。

7.2.3 防腐保护

对于要求处理的所有储罐表层防腐保护,应在绝热施工开始前完成并验收批准,绝热施工应遵循不损坏防腐保护的方法进行(或应包括修理程序)。

7.2.4 施工允许偏差

无论绝热材料是固定或铺设在罐体组件之上,在安装程序文件中都应规定储罐组件的形式/形状、标高、尺寸的允许偏差。

安装程序文件中应包括纠正不合乎要求的储罐表面的不平度和尺寸偏差的方法,尤其是对于所有承受荷载的绝热层。

7.2.5 损坏防护

应保护绝热材料不受损坏。

注:一般来说,绝热材料是因以下因素损坏:

- 机械损坏;
- 蒸汽/水/其他气候因素(包括储罐水压试验);
- 火灾。

储罐施工方法和绝热系统安装方法应充分考虑上述附注中的风险,并且在下列工作中采取适当措施来避免:

- 储罐设计;
- 绝热系统详细设计;
- 储罐施工顺序;
- 绝热材料安装后的后续施工的保护性措施。

7.3 检验和测试

应结合设计要求和绝热设计依据的性能特征制定详细的检验和测试计划。

相关材料性质的性能检测方法,见附录 B。

与材料性质无关的性能(如尺寸控制),应按照制造商规定的方法进行符合性检测。

附 录 A
(资料性附录)
绝 热 材 料

A.1 表 A.1~表 A.3 中列出了在不同情况下的不同绝热材料的使用。

表 A.1 单容罐和双容罐

材 料		支承环	罐底绝热层	罐 顶		罐 壁	
				外部	内部 (包括吊顶)	单层钢罐 外部	双层钢壁罐
硬木		×	—	—	—	—	—
珍珠岩混凝土块/梁		×	—	—	—	—	—
轻质混凝土块/梁		×	—	—	—	—	—
钢筋混凝土		× ^a	—	—	—	—	—
泡沫玻璃		× ^b	×	×	—	×	×
膨胀珍珠岩		—	—	—	×	—	×
矿物棉毡		—	—	—	×	—	×
PVC 泡沫	MD	—	×	—	—	—	—
	HD	× ^b	×	—	—	—	—
PUF/PIR	ND BL-SPR-FIP	—	—	×	—	×	—
	MD BL-SPR	—	—	×	—	×	—
	HD BL-SPR	× ^b	×	—	—	—	—
	GR BL	× ^b	×	—	—	—	—
酚醛泡沫塑料		—	—	—	—	×	—
膨胀聚苯乙烯		—	—	—	—	× ^d	—
挤塑聚苯乙烯	ND	—	—	—	—	× ^d	—
	HD	—	×	—	—	—	—

^a 作为荷载分配板,置于底层绝热材料的上方。
^b 可能需要使用荷载分配板。
^c 在珍珠岩绝热层和内罐罐壁之间,矿物棉毡可以作为弹性毯使用。
^d 仅适用于双容罐(有限的耐温性)。
 符号说明:
 BL——块状;
 FIP——现场发泡;
 GR——增强玻璃纤维;
 HD——高密度;
 MD——中密度;
 ND——常规密度;
 SPR——喷射类型。

表 A.2 全容罐

材料	环梁	罐底 (正常操作)	罐顶绝热		罐壁/罐墙绝热 (正常操作)		热防护系统	
			在吊顶上	内罐拱 顶上	内部 空间内	壁的内侧	无 9% Ni 钢板	有 9% Ni 钢板
硬木	×	—	—	—	—	—	—	—
珍珠岩混凝土块/梁	×	—	—	—	—	—	—	—
轻质混凝土块/梁	×	—	—	—	—	—	—	—
钢筋混凝土	× ^a	—	—	—	—	—	—	—
泡沫玻璃	× ^b	×	—	—	—	—	—	×
膨胀珍珠岩	—	—	×	×	×	—	—	—
矿物棉毡	—	—	×	×	× ^c	—	—	—
PVC 泡沫	MD	—	×	—	—	—	—	×
	HD	×	×	—	—	—	—	×
PUF/PIR	ND BL-SPR-FIP	—	—	—	—	—	—	—
	MD BL-SPR	—	—	—	—	×	×	×
	HD BL-SPR	×	×	—	—	×	×	×
	GR BL	×	×	—	—	—	×	×

^a 作为荷载分配板,置于底层绝热材料的上方。
^b 在荷载分配板下面使用。
^c 在珍珠岩绝热层和内罐壁之间,矿物棉毡可以作为弹性毡使用。
^d 只适用于喷射、无缝隙、气密性、液密性系统的特定等级。

符号说明:
 BL——块状;
 FIP——现场发泡;
 GR——增强玻璃纤维;
 HD——高密度;
 MD——中密度;
 ND——常规密度;
 SPR——喷射类型。

表 A.3 薄膜罐

材料	罐底绝热	罐墙绝热	罐顶绝热	
			吊顶	拱顶内部
硬木	—	—	—	—
泡沫玻璃	—	—	—	—
膨胀珍珠岩	—	—	×	—
矿物棉毡	—	—	×	—

表 A.3 (续)

材料		罐底绝热	罐壁绝热	罐顶绝热	
				吊顶	拱顶内部
PVC 泡沫	MD	×	×	—	—
	HD	×	×	—	—
PUF/PIR	ND BL	—	×*	—	×
	MD BL	—	×	—	—
	HD BL	×	×	—	—
	GR BL	×	×	—	—
<p>* 仅适用于罐壁顶部。</p> <p>符号说明：</p> <p>BL——块状；</p> <p>HD——高密度；</p> <p>MD——中密度；</p> <p>ND——常规密度；</p> <p>GR——增强玻璃纤维。</p>					

附录 B
(规范性附录)
检测方法

B.1 材料各特性检测方法见表 B.1~表 B.7。

表 B.1 热阻性能检测

项目	特殊要求	检测方法
1. 导热系数	常温下的测量: ——新材料 ——在规定条件下老化后 ——在储罐操作条件下老化后,例如: ——产品蒸发气 ——液体产品	EN 12667 和 EN 12939 或 ISO 8301 或 ISO 8302 EN 12667 和 EN 12939 或 ISO 8301 或 ISO 8302 EN 12667 和 EN 12939 或 ISO 8301 或 ISO 8302
	温度范围内的测量 ^a : ——新材料 ——在规定条件下老化后 ——在储罐操作条件下老化后,例如: ——产品蒸发气 ——液体产品	EN 12667 或 ISO 8301 或 ISO 8302 EN 12667 或 ISO 8301 或 ISO 8302 EN 12667 或 ISO 8301 或 ISO 8302
2. 空气渗透性	适用于有渗透性的绝热材料(仅作为对试指示)	选择合适的检测方法 ^b

^a 温度范围:从常温至绝热材料的设计温度。
^b 试验方法应经过选择。

表 B.2 力学性能检测

项目	特殊要求 (根据实际情况而定)	检测方法
1. 抗压强度	在常温下	EN 826:1996
	温度范围	EN 826:1996 ^a 或 ISO 844 ^{b,c}
2. 压缩蠕变	常温(根据储罐设计的荷载和持续时间)	EN 1606
3. 拉伸性能 a) 抗拉强度 b) 拉伸率 c) 抗拉模量	在常温下 和 温度范围	EN 1607 和 EN 1608 ^d EN 1607 和 EN 1608 ^d
	在常温下 在应用温度下(根据在储罐内的位置)	EN 1607 或 EN ISO 4624 EN 1607 ^e 或 EN ISO 4624
4. 粘结强度	在常温下	EN 12090:1997
	在应用温度下(根据在储罐内的位置)	EN 12090:1997 ^f

注 1: 力学性能检测应在绝热材料在储罐中的所有受力方向上进行。
 注 2: 对各向异性材料,可能要求各个方向上的检测数据。
^a 规定为 23℃。然而,在必要更改的条件下,可以在其他温度下进行此试验。
^b 泡沫塑料的试验方法。
^c 可在所有要求的温度下试验。
^d EN 1607 检测垂直面,EN 1608 检测平行面。

表 B.3 耐温特性检测

项 目	特殊要求	检测方法
1. 热膨胀/收缩系数	温度范围	EN 13471 或 ISO 4897
2. 抗拉强度/抗拉模量	温度范围	见表 B.2 中 3 拉伸性能
3. 绝热系统对温度梯度变化的反应	半工业低温检测	根据实际情况确定方法 EN 12066

表 B.4 水和水蒸气的渗透率检测/水和水蒸气的影响检测

项 目	特殊要求	检测方法
1. 含水量	只适用于加水生产的材料产品(如混凝土、珍珠岩混凝土等)	(由厂家)建议
2. 吸水性	短期——局部浸没	EN 1509
	长期——全部浸没	EN 12087
	长期——扩散吸收	EN 12088
	总的吸水性	EN ISO 62
3. 水蒸气传递性		EN 12086
4. 闭孔率		EN ISO 4590*
5. 尺寸稳定性		EN 1504
6. 抗压性能		EN 12091
7. 热阻性的降低	在接触水/水蒸气后,测量热阻	EN 12667
* 仅用于泡沫塑料		

表 B.5 在有产品(LNG)环境中材料性能检测

项 目	特殊要求	检测方法
吸收和解吸特性		
1. 闭孔率	浸没前	·
	浸没后	
2. 产品液体的吸收和解吸特性	在规定的温度、压力和持续时间条件下的液体中浸没	·
浸没蒸发气/液体后的影响		
3. 闭孔率的变化	在规定的条件下浸没前/后	·
4. 抗压强度的变化	在规定的条件下浸没前/后	·
5. 导热系数的变化	在规定的条件下浸没前/后	·
注: 可以使用 DIN 53428 标准, 直到 ISO/EN 新的标准出台。		
· (由供货厂家)建议。		

表 B.6 化学特性检测

项 目	检测方法
1. 绝热材料对各种物料的耐化学性 a) 水 b) 水+污染物 c) LNG——蒸发气 LNG——液体 d) 置换气体	EN 12087 (由厂家)建议 (由厂家)建议 (由厂家)建议 (由厂家)建议
2. 绝热构件的抗腐蚀性	(由厂家)建议
3. 在绝热层中浸出的物质	EN 13463

表 B.7 阻燃性/对火反应检测

项 目	检测方法
1. 绝热材料对火的反应	EN 13501-1 EN ISO 3582
2. 温度限制 ——熔化温度 ——分解温度 ——燃点	(由厂家)建议
3. 阻燃性	(由厂家)建议

附录 C
(规范性附录)
储罐底部绝热-极限状态理论

在储罐底部绝热的情况下,应运用式(C.1)表示:

$$\gamma_i S \leq \frac{R}{\gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_i \cdot \gamma_l} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- R——绝热材料的特征强度值;
- S——作用力;
- γ_c ——圆筒效应的安全系数;
- γ_i ——安装的安全系数;
- γ_l ——应用于荷载的安全系数;
- γ_m ——绝热材料的安全系数;
- γ_i ——测试绝热产品的参考方法与其安装方法之间可能存在差异的系数。

应用于荷载的安全系数 γ_l 参见 EN 1991-1。

绝热材料的特征强度 R 应为低于 1.65 倍标准偏差的平均强度。

脆性材料的测试应按照 EN 826:1996。

易蠕变材料测试应按照 EN 826:1996,并且蠕变测试按照 EN 1592。

为确定材料安全系数 γ_m ,应证实特性统计分布和高斯模型符合。

安全系数 γ_m 按式(C.2)计算:

$$\gamma_m = \frac{1 - 1.65 \frac{\sqrt{s}}{\bar{r}}}{1 - 3.26 \frac{\sqrt{s}}{\bar{r}}} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- s——标准偏差;
- \bar{r} ——平均值。

绝热产品抗压强度的安全系数不应小于 1.25。

安装安全系数 γ_i 至少应为 1.6。

安全系数 γ_i 应以典型正确的安装为基础,且使用符合相关标准的产品。

圆筒效应系数, γ_c , 一层绝热应为 1,三层绝热应为 1.05,八层绝热应为 1.09。

系数 γ_i 应由设计者遵循重要的试验统计结果确定。如果安装法与参照的试验法相同,则 γ_i 为 1。

注 1: 式(C.2)基于 10^{-9} 总失效风险平均分布于作用力和阻力之间的假设。

注 2: 如施工者可证明至少 10 年以上使用相同的绝热系统、使用相同产地的相同产品,则 γ_i 可以减至 1.5。

注 3: 系数 γ_i 考虑了可以用一种不同于参考试验法的方法将绝热制品安装在储罐基础上的可能性。

注 4: 发现的一个案例是,泡沫玻璃与一种交叉层材料一起使用,这种材料不同于 EN 826:1996 附件 A 中规定的罐帽。

无论 $\gamma_l, \gamma_m, \gamma_c, \gamma_i$ 和 γ_i 取什么值, $\gamma_l \cdot \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_i \cdot \gamma_i$ 的乘积不应低于 2.5。

附录 NA

(资料性附录)

本部分与 EN 14620-4:2006 技术性差异及其原因

表 NA.1 给出了本部分与 EN 14620-4:2006 技术性差异及其原因的一览表见表 NA.1。

表 NA.1 技术性差异

序号	本部分的条款编号	技术性差异	原因
1	1	删除“冷冻液化气(LNG)”,改为:“液化天然气(LNG)”。	本部分修改采用 EN 14620-4:2006;保留与液化天然气有关的内容,删除与液化石油气、乙烯、乙烷和类似的碳氢化合物以及液氨等相关的内容。删除内容以适合修改采用。
2	2	删除“EN 14620-1:2006”,改为:“GB/T 26978.1—2011”。	EN 14620-1 拟修改采用为目标“GB/T 26978.1—2011”
3		删除“ISO 8301”,改为:“GB 10255”。	国家标准等效采用
4		删除“ISO 8402”,改为:“GB 10254”。	
5	5.2	删除“EN 14620-3:2006”,改为:“GB/T 26978.3—2011”。	“EN 14620-3:2006”,拟修改采用为国家标准“GB/T 26978.3—2011”。
6	6.3.2.2.2	将原公式“ $PLD = (n + PLDF)$ ”改为“ $P_{in} = n \times f_{in}$ ”并增加符号说明	
7	6.4.7	删除“应特别注意在储罐空壳内产品会发生冷凝的储罐,也就是因为这些产品,外部的环境温度会持续不断地或周期性地低于产品的沸点。 在这种情况下,吊顶绝热层(及吊顶本身)的设计不应受到冷凝液的影响或损坏。”	本部分修改采用 EN 14620-4:2006;保留与液化天然气有关的内容,删除与液化石油气、乙烯、乙烷和类似的碳氢化合物以及液氨等相关的内容。删除内容以适合修改采用。
8	附录 B 中表 B.1	选择合适的检测方法	为说明原表
9	附录 B 中表 B.6	删除:c) RLG——蒸发气; RLG——液体。 改为:c) LNG——蒸发气; LNG——液体。	本部分修改采用 EN 14620-4:2006;保留与液化天然气有关的内容,删除与液化石油气、乙烯、乙烷和类似的碳氢化合物以及液氨等相关的内容。删除内容以适合修改采用。

参 考 文 献

- [1] GB/T 26978.2—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2部分:金属构件
- [2] GB/T 26978.3—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3部分:混凝土构件
- [3] DIN 53428 当暴露在液体、蒸汽和固体时,泡沫塑料表现的确定
- [4] EN 1991-1-1 欧洲标准 1 结构上的荷载 第1-1部分:一般荷载 建筑物的密度、自重和外加荷载
- [5] EN 1991-1-2 欧洲标准 1 结构上的荷载 第1-2部分:一般荷载 火灾对结构影响
- [6] EN 1991-1-3 欧洲标准 1 结构上的荷载 第1-3部分:一般荷载 雪荷载
- [7] EN 1991-1-4 欧洲标准 1 结构上的荷载 第1-4部分:风荷载
- [8] EN 1991-1-5 欧洲标准 1 结构上的荷载 第1-5部分:一般荷载 热荷载
- [9] EN 1991-1-6 欧洲法规 1 结构上的荷载 第1-6部分:一般荷载 在施工期间的荷载
- [10] EN 13501-2 建筑制品和构件的防火等级 第2部分:根据耐火试验的数据分类(不包括通风设备)



GB/T 26978.4-2011

版权专有 侵权必究

书号:155066·1-44021

定价: 27.00元