



中华人民共和国国家标准

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

Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical,
flat-bottomed steel tanks for the storage of liquefied natural gases—
Part 3: Concrete 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 术语和定义	1
4 概述	1
5 气密性	1
6 材料	2
6.1 概述	2
6.2 混凝土	2
6.3 预应力钢材与钢筋	2
6.3.1 预应力钢材与锚具	2
6.3.2 钢筋	2
7 设计	2
7.1 概述	2
7.2 各种荷载的分项系数和荷载组合	2
7.3 液密性	3
8 详细规定	3
8.1 概述	3
8.2 预应力	3
8.3 罐墙的设计	3
8.4 钢质罐顶衬里	3
8.5 施工缝	3
8.6 钢筋和钢丝束的位置	4
8.7 混凝土保护层	4
8.8 最小配筋面积要求	4
8.9 钢筋混凝土围堰	4
9 施工和工艺	4
9.1 概述	4
9.2 裂缝控制	4
9.3 模板与系杆	4
9.4 定位垫块	5
9.5 养护	5
9.6 误差	5
10 衬里和涂层	5
10.1 概述	5
10.2 衬里	5

10.3 涂层.....	5
10.4 热防护系统(TPS).....	6
附录 A(资料性附录) 材料	7
附录 B(资料性附录) 预应力混凝土储罐	10
附录 NA(资料性附录) 本部分与 EN 14620-3:2006 技术性差异及其原因	14
参考文献	15

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 3 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 14620-3:2006《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 3 部分：混凝土构件》(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氮、液氧、液氮及液氦储存等相关的内容。

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 A、附录 B、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 355/SC 1)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、中国石化集团中原石油勘探局勘察设计研究院。

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、中国成达工程公司、中国石油天然气管道工程有限公司、中国石油天然气与管道分公司。

本部分主要起草人：武学勇、殷虹、张建强、赵建伟、银永明、孙青峰、付显华、赵旭青、陈晖。

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

1 范围

本部分为液化天然气储罐混凝土构件的材料、设计、建造的一般要求做出了规定。

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℃~—165℃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/T 26978.1—2011 现场组装立式圆筒平底钢质液化天然气储罐设计和建造 第1部分：总则

GB/T 26978.2—2011 现场组装立式圆筒平底钢质液化天然气储罐设计和建造 第2部分：金属构件

EN 206-1 混凝土 第1部分：技术规范、性能、生产和标准符合性 (Concrete—Part 1: Specification, performance, production and conformity)

EN 1992-1-1;2004 欧洲标准 2：混凝土结构设计 第1-1部分：总则和对建筑物的规定 (Eurocode 2: design of concrete structures—Part 1-1: General rules and rules for Buildings)

EN 1992-1-2;2004 欧洲标准 2：混凝土结构设计 第1-2部分：总则——结构防火设计 (Eurocode 2: design of concrete structures—Part 1-2: General rules—Structural fire design)

3 术语和定义

GB/T 26978.1—2011中确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低温 low temperature

低于—20℃的温度。

4 概述

有关一般钢筋混凝土和/或预应力混凝土结构的材料选择和设计，执行标准 EN 1992-1-1。

5 气密性

为了确保外罐（例如，全容罐）的气密性，应使用金属衬里或者聚合物涂层。

6 材料

6.1 概述

在低温条件下,混凝土和构件的材料特性会发生变化。这些变化中,有些变化是有利的,而有些是不利的。为了确保在构件可能遇到的所有温度范围内,结构整体性都不会受到损害,应使用具有合适特性的材料。结构整体性包括在稳定状态下和在瞬变状态下两种情况。

注:只有在需要保证结构的完整性、液密性和气密性的情况下,应满足在 6.2 和 6.3 中所给出的耐低温材料要求。

6.2 混凝土

在正常和低温条件下,混凝土材料应符合 EN 1992-1-1 规定的要求。

有关混凝土的性能、生产、浇注以及验收标准等方面的内容,应见 EN 206-1。

注:在附录 A 中给出了有关混凝土构件低温性能方面的更多资料。

6.3 预应力钢材与钢筋

6.3.1 预应力钢材与锚具

预应力钢材、锚具、套管等应符合 EN 1992-1-1。

另外,还应能够证明预应力钢材、锚具等在其可能暴露的低温环境中适用。

注:在附录 A 中给出了有关预应力混凝土低温性能方面的更多资料。

6.3.2 钢筋

对于在正常操作条件或者在紧急操作条件下设计温度不低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的钢筋混凝土结构设计,所使用钢筋应符合 EN 1992-1-1。

对于拉伸作用下的构件,如果在正常操作期间或紧急情况下,设计温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,应增加对低温要求。

注:有关这方面的指南参见附录 A。

环境温度条件下使用的钢筋连接件在指定的使用条件下的适用性应进行论证。

对于低温条件,应在金属设计温度条件下对钢筋连接件进行相同的试验,试验的结果应与在环境温度条件下的试验结果进行对比。如果低温试验结果与环境温度规定的试验结果的偏差在 5% 以内,则应认为该钢筋连接件是适用的。承包商应完成必要的试验,作为最低要求,应包括拉伸强度试验、延伸度试验。试验结果应满足设计者设定的标准。

7 设计

7.1 概述

需要考虑到各种荷载应符合 GB/T 26978.1—2011。

根据极限状态理论,应使用分项系数法确保混凝土构件的可靠性。

荷载的设计值、荷载的影响、材料特性、几何数据以及设计强度等应根据 EN 1992-1-1 加以确定。在涉及到热辐射的情况下,应参考 EN 1992-1-2。

7.2 各种荷载的分项系数和荷载组合

表 1 中给出了偶然作用的分项荷载系数。除在 EN 1991-1-1 中讲述的分项荷载系数外,还应使用

这些分项系数。

表 1 偶然作用的分项荷载系数

荷载组合	荷载系数					
	永久荷载		外加荷载 (Imposed)		偶然荷载	风荷载
	不利	有利	不利	有利		
正常荷载加上一个偶然作用	1.05	1.0	1.05	0	1.0	0.5

注：偶然作用是指地震 (SSE)、爆炸超压、外部冲击、火灾或者内罐泄漏。

7.3 液密性

为了保证液密性，应考虑下列问题：

a) 无液密性衬里或涂层的情况：

对于没有液密性衬里或涂层的混凝土外部容器，为保证混凝土的液密性，混凝土受压区厚度不应小于 100 mm。

b) 有液密性衬里或涂层的情况：

在应用液密性衬里或涂层 (为了确保容器的完全密封) 的情况下，如果混凝土部分的裂缝处于标准 EN 1992-1-1 所规定极限以内，应是允许的。

在此情况下，应对裂缝宽度加以计算，并应能证明衬里或涂层有能力将 100% 计算宽度的裂缝封闭起来。

8 详细规定

8.1 概述

关于预应力混凝土储罐的一般资料，参见附录 B。

8.2 预应力

对于预应力混凝土罐墙，应对其施加水平预应力。

注：施加竖向预应力不是必需的，它可以与水平预应力组合。竖向预应力的需求取决于罐的设计压力、罐的直径、混凝土截面内关联的永久和瞬变应力。

8.3 罐墙的设计

应依据下列条件确定罐墙的最小厚度：

- 所有钢筋和预应力钢筋应有足够厚的保护层；
- 应保证钢筋和预应力钢筋之间的间距，以便获得匀质的、具有液密性的混凝土结构。

8.4 钢质罐顶衬里

钢质罐顶衬里应牢固地锚固到混凝土罐顶上。

注：该衬里可以用作混凝土的模板，还可以与剪力钉配合使用。混凝土可分层浇筑，以避免对钢质衬里形成过应力 (也可参见 B.6)。

8.5 施工缝

在设计和施工过程中应合理安排施工缝的位置，以尽量降低不良施工缝的风险，在有液密性要求

的区域,承包商应根据已经验证的工程实践经验提供施工方法说明。由于缺乏证据,在必要时承包商应进行试验,以验证该施工缝符合液密性的要求。

8.6 钢筋和钢丝束的位置

对于使用扶壁和灌浆预应力钢筋的内预应力系统,在确定预应力系统位置的时候,应适当地考虑紧急条件(例如,火灾)。

注1:为起到防火作用预应力钢筋和钢丝束宜放置在混凝土墙的中央位置上。

在储罐的整个使用寿命期中,应有效地防止钢筋腐蚀。应提供灌浆程序,灌浆程序应在设计者与承包商之间达成协议,这样才能对钢筋提供充分的保护。

注2:为了给预应力钢筋提供更好的保护,在腐蚀性很强的环境中,可以考虑使用非铁质预应力套管。有关这方面的要求可参考《混凝土协会报告 TR47》中的“持久精铸后张拉力桥”部分[12]。有关无粘结预应力钢筋方面的内容宜参考 FIP 推荐 91[13]。

注3:在需要使用编织钢丝系统的情况下,钢丝宜以连续的螺旋状缠绕在罐壁外表面上,钢丝竖直间距不小于 8 mm。每层钢丝上面都宜喷射厚度最小为 5 mm 的喷射混凝土覆盖层。在所有钢丝都布置完毕并经过灌浆覆盖处理以后,宜在最外层钢丝上喷射厚度最小为 25 mm 的最后一层混凝土覆盖层。

8.7 混凝土保护层

钢筋混凝土保护层的选取应考虑到所处的环境类别,土壤条件以及应急设计条件(例如,防火设计)等诸多因素。

最低要求应符合 EN 1992-1-1。

8.8 最小配筋面积要求

最小配筋面积应符合 EN 1992-1-1。

8.9 钢筋混凝土围堰

允许使用钢筋混凝土建造围堰。围堰应根据本部分中所规定的要求来进行设计。

注:单仓罐需要建造围堰。出于结构方面的原因,混凝土围堰可以与土壤配合使用。

9 施工和工艺

9.1 概述

原则上,施工和工艺要求应符合 EN 1992-1-1。

对于混凝土的成分、生产、质量控制、浇注、振捣、养护等诸多环节都应特别注意,这样才可能确保混凝土结构的液密性符合 EN 206-1。

另外,还应符合以下各条款要求。

9.2 裂缝控制

承包商应对混凝土结构中的水化热、干燥和热收缩的影响进行调查研究。从而确定合适的混凝土配比、水泥的选型以及要采用的施工方法,以便将混凝土裂缝降低到最小。

在施工计划中,应考虑到新、旧施工界面之间的温度差异以及环境因素。

9.3 模板与系杆

所有模板的接缝应密封严实。模板应加以计算,确保其具有足够的强度和刚度。

为防止泄漏,应合理配置系杆。

所有锥形开口都必须加以密封,以便保证其液密性。

9.4 定位垫块

应使用定位垫块以便为钢筋提供合适的混凝土保护层,定位垫块应具有足够的强度和液密性。

9.5 养护

养护操作应符合 EN 206-1。

注:养护受到很多因素的影响,包括风速,空气温度以及混凝土混合料的构成。

在养护期间,应采取措施防止出现过度蒸发,还要使因为水化热所导致的温度影响保持稳定,直到混凝土获得足够的内部强度并足以承受所受到的内外应力时为止。

9.6 误差

混凝土结构的总允许误差要求应符合 EN 1992-1-1。承包商应调查研究是否采用更加严格的误差标准(例如,特殊衬里和薄膜罐的某种绝热系统)的必要性。

10 衬里和涂层

10.1 概述

应在混凝土内表面设置衬里和涂层,以避免潮气和蒸发气通过混凝土结构渗透。

注:衬里和涂层还可用于确保混凝土结构的液密性。

应采用如下材料:

- 使用钢板作为衬里。
- 使用增强或普通型聚合物作为涂层。

10.2 衬里

只要材料选取恰当,应认为钢质衬里具有气密性和液密性。应根据承包商所确定的金属设计温度选取材料。钢材类型的选择应符合 GB/T 26978.2—2011。

钢板最小厚度应为 3 mm。

由于结构的操作条件会引起混凝土的徐变或者长期变形,因此,在衬里设计时应予以考虑。

锚固系统的设计应考虑到剪力和拉力的组合。

10.3 涂层

衬里或涂层应作为蒸发气隔层,或气/液体隔层。涂层应直接喷涂到混凝土表面上。在涂层喷涂前,应对混凝土表面进行喷砂处理,然后再吸尘清洁处理。对于所有残留的脱模剂以及养护剂,如果其影响涂层的粘结力,应将其彻底清除。

当涂层的功能是作为蒸发气隔层时,则应符合下列要求:

- 最大水蒸气渗透率应为每 24 小时 0.5 g/m^2 。

注 1:推荐的试验方法为 ASTM E96 所规定的方法,试验的温度/湿度条件应与工程项目所在地的气候条件相当。

- 在长期与产品(蒸发气)相互接触以后,涂层不应老化。

注 2:推荐的试验方法为:浸设在产品蒸发气中,至少保持 3 个月。

- 涂层不应受到混凝土的影响而变质。涂层应具有耐碱性。

注3:推荐的试验方法为 ASTM D1647 标准或等同标准中所给出的方法。

——涂层对混凝土的附着强度应超过 1.0 MPa。

注4:推荐的试验方法为 EN ISO 4624 标准或等同标准中所给出的方法。

——对蒸发气的渗透应予以限制。产品蒸发气的渗透率限制在每 24 小时 0.1 g/m^2 以下时应认为合格。

——涂层应具有足够的伸缩性,以便能将一定宽度的裂缝遮挡封闭起来。涂层封闭裂缝的能力应在正常操作温度下计算出的设计裂缝宽度的 120%。

注5:试验方法宜由承包商建议。

在涂层还起到防止液体渗透作用的情况下,应进行多个项目的试验。承包商应能证明涂层在短时间喷溅或者长时间(3个月)与液体接触的情况下不会退化。

10.4 热防护系统(TPS)

当使用热防护系统时,应考虑如下各项事宜:

——所有可能的作用,包括产品的液体压力、蒸发气压力、以及混凝土和钢板徐变和收缩的影响;

——在顶端的墙体部分具有足够的液密性(混凝土有裂缝时);

——墙体部分具有足够的高度。

墙体部分的高度至少应比临时施工开口高 500 mm。

附录 A (资料性附录) 材 料

A.1 混凝土

关于混凝土,给出如下一般资料:

- 对于预应力混凝土,混凝土标号至少应为 EN 1992-1-1:2004 中规定的 f_{ck} 40;
- 作为建筑材料的混凝土,已知在低温时强度有所提高,但这种提高的强度一般不用于确定混凝土截面的极限强度。然而,在具有足够的试验数据的情况下,低温特性可以采用;
- 对于设计审核,宜考虑到降低的膨胀系数、热工性质以及弹性(Young)模量;
- 宜适当考虑到由于高应变率(例如,阀门冲击)所导致的强度增加;
- 对于某些应用场合,考虑使用高强度混凝土和/或纤维混合物是合适的;
- 采用低的水灰比是关键。因为这样可以降低混凝土基材中的孔隙水含量。孔隙水冻结所导致的膨胀大约为 9% 左右。一部分膨胀会被混凝土中的已有气泡所吸收,但是如果水分过多,就会导致混凝土内部开裂;
- 混凝土拌合料中可含 3% 的夹杂空气,根据有关标准,引气剂宜为树脂类。但不宜使用金属基引气剂;
- 要确保所使用的多种混凝土添加剂不会产生不良影响;
- 高炉矿渣或粉煤灰可以与硅酸盐水泥混合使用。这些材料有助于降低厚混凝土构件的水化热,进而减少其早期热收缩;
- 虽然添加水泥代用材料在减少早期热收缩和提高防环境污染方面是有益的,但使用者应知道,这样做会减缓混凝土强度的增加;
- 长期与烃类产品接触对于混凝土特性或使用寿命都没有明显的有害影响,即使在环境温度条件下也是如此;
- 可考虑使用微硅粉来提高混凝土的抗腐蚀能力。

A.2 预应力钢材与锚具

关于预应力混凝土结构的设计,提供如下资料:

- 在施工期间,当张拉荷载施加到预应力钢绞线或钢筋时,混凝土结构所要承受的荷载达到最大值。钢筋中的预拉应力大约为钢筋屈服强度的 80% 左右。在此之后,施加到预应力钢筋上的应力因为锚具锁定、传递、松弛以及蠕变等原因而下降。这是双容罐和全容罐的次容器不需要进行水压试验的部分原因;
- 要按照保守评估确定钢材在环境温度下的预应力损失及数值,同样,对低温时钢材特性的提高亦应保守评估;
- 如果设计温度低于 50 °C,宜通过试验证明预应力系统(钢筋、钢绞线和锚具)适合可能遇到的低温。关于这一点,宜参考如下文献:
 - a) “预应力混凝土材料的低温学特性”[14];
 - b) “对低温应用条件下结构材料力学特性的评价”[15]。

A.3 钢筋

A.3.1 取样

在进行钢筋试验时,宜分别从两个生产炉号中,从订货产品中的最大和最小钢筋直径中,从所有使用的强度等级中抽取加工好的钢筋。样品试验最小比率宜符合 EN 10002-1,在无法从生产商获得试验记录的情况下,宜按照 EN 10080 进行试验。

A.3.2 试验

宜在低温条件(金属设计温度)下进行拉伸试验,以便了解钢材的适用性。

注,金属设计温度宜为钢筋在异常荷载条件下可能遇到的最低温度。

在进行试验的过程中,试样的温度宜尽可能均衡一致。试样上任意两点之间的温度差异或试样上任意一点温度与设计温度之间的差异不宜超过 5℃。

应分别在有开口钢筋试样上和无开口钢筋试样上按照 EN 10002-1 进行拉伸试验。

宜遵循下列标准:

a) 开口敏感性比率(NSR)宜为:

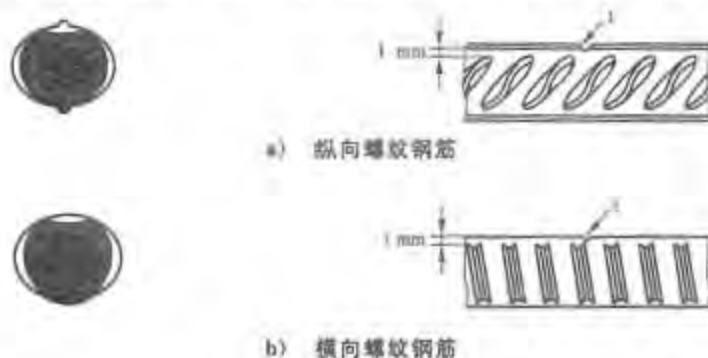
$$NSR = \frac{\text{有开口钢筋的拉伸强度}}{\text{无开口钢筋 } 0.2\% \text{ 弹性极限应力}}$$

或

$$NSR = \frac{\text{有开口钢筋的拉伸强度}}{\text{无开口钢筋较低屈服应力}}$$

韧性合格产品的开口敏感性(NSR)值需大于或等于 1。

对于有开口钢筋试验,宜在试验机夹头之间的试样的中间位置上加工开口。宜使用 V 型开口,其夹角为 45°,底部半径为 0.25 mm。加工工艺和允许误差宜符合 EN 10045-1[2]。对于纵向螺纹钢筋,开口宜穿过螺纹并切入钢筋基底 1 mm。对于横向螺纹钢筋,缺口应位于螺纹冠顶(见图 A.1)。



图中: 1——V型缺口。

图 A.1 钢筋上的开口

b) 塑性延伸

每一个无开口试样的塑性延伸率百分比不小于 3%。塑性延伸率百分比是对应于拉伸强度的原始计量长度以百分数表示的永久性拉长值。

c) 屈服强度

另外,在试验过程中得到的无开口试样的屈服强度至少宜达到设计中所使用的最小屈服强度的 1.15 倍。

A.3.3 可选择的解决方法

可考虑如下可选择的解决方法：

- 使用碳锰钢、9%镍钢或奥氏体不锈钢。有多种等级的不锈钢钢筋都符合 EN 10088-1[4]。在温度低至 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，大多数奥氏体不锈钢都能保持其延展性；
- 降低钢筋和预应力钢筋的许用拉伸应力。

注：对于 LNG 储罐，在 GB/T 20368—2006 中推荐了钢筋最大许用拉应力值。这个数值明显低于环境温度下所允许的应力数值，可能会导致不经济的设计。但在无法得到特种钢材，或得到特种钢材在经济上不合理的情况下，这个数值可能是有意义的。

附录 B
(资料性附录)
预应力混凝土储罐

B.1 概述

下列出版物为预应力混凝土储罐的设计细节和参数提供了参考资料:

- 特纳 F. H. “混凝土与低温学”[16];
- 布鲁格林, A. S. G. “适用于液化气存储的预应力混凝土”[17];
- “冷却液化气预应力混凝土储罐设计的初步推荐”[18].

预应力混凝土最适合于建造液密性混凝土结构,因此,可使用预应力混凝土建造罐墙。罐底和罐顶常常使用普通钢筋混凝土建造。

B.2 预应力系统

水平方向预应力总是需要的,竖向预应力是否需要取决于罐的设计(例如设计压力,罐顶厚度等)。水平方向上的预应力可通过如下工艺实现:

- 在储罐混凝土墙中的套管内放置水平钢筋束,水平钢筋束在罐墙外表面上的扶壁之间张拉;
- 将钢丝或钢绞线缠绕在罐墙外表面周围,形成钢筋架网。

注:缠绕钢丝系统宜以连续螺旋形放置在罐墙外表面周围,两层钢丝之间的垂直间距不少于 8 mm,宜在每层钢丝上喷涂混凝土覆盖层,在钢丝上喷涂混凝土的最小厚度为 8 mm。在所有钢丝都要放完并按照上述方法喷涂混凝土覆盖层以后,宜在最外一层钢丝上喷涂厚度最小为 25 mm 的最后一层混凝土覆盖层(AWWA D110)。

B.3 基础底板

储罐基础底板可使用预应力混凝土或钢筋混凝土建造。

对于使用桩基的预应力混凝土底板,在设计过程中应考虑到底板因为预应力作用而发生移动。

注:通常,基础底板是分段浇筑的,每一段都有施工缝。在浇筑施工缝的过程中,必须非常谨慎,以保证整个结构的整体性。

B.4 罐墙与基础的连接

可将罐墙与基础之间的连接设计为:

- 固定连接:在这种情况下,混凝土结构为整体性结构,可以防止罐墙相对于基础底板的移动。要将该种连接设计成可以承受此种设计所带来的相对大的力矩和剪力。
- 滑动连接:罐墙由基础底板支撑,罐墙可以在水平方向上移动。通常需要确保外罐不会发生横向移动。宜安装径向导轨,确保外罐与基础底板同心移动。宜安装柔性密封以防止液体或气体泄露,柔性密封通常采用的是不锈钢钢带的形式。
- 销接连接:罐墙也是由基础底板支撑,但它被水平固定住(通常在后张拉预应力之后),具有有

限的转动能力。主要的剪力从罐壁转移到基础底板上,但不需要连接点传递弯矩。在对罐壁施加预应力时,惯例是允许罐壁滑动。之后,使用一种装置将罐壁销接在设定位置上,但不能阻止罐壁垂直转动。

表 B.1 中总结了各种类型连接方式的优点和缺点。

表 B.1 罐壁与基础各种连接方式的优点和缺点

系 统	优 点	缺 点
滑动连接	能以很高的可靠性对各种应力进行预测 二次应力较小	要依赖于连接密封的适合性 可能发生不确定的过度滑动
销接连接	能以很高的可靠性对预应力加以预测 罐壁上最大力矩发生在远离连接点处,在此位置 上,竖向预应力筋的“末端效应”大部分被消除掉	随后的二次应力不甚可靠 剪力大,弯矩较大
固定连接	建造坚固 罐壁底部完全的垂直预应力	弯矩和剪力大 最大弯矩产生在连接部位

固定连接方式的液密性更好。

LNG 储罐罐壁与基础的连接必须使用热防护系统加以保护。

三种不同连接方式的设计表示在图 B.1 中。

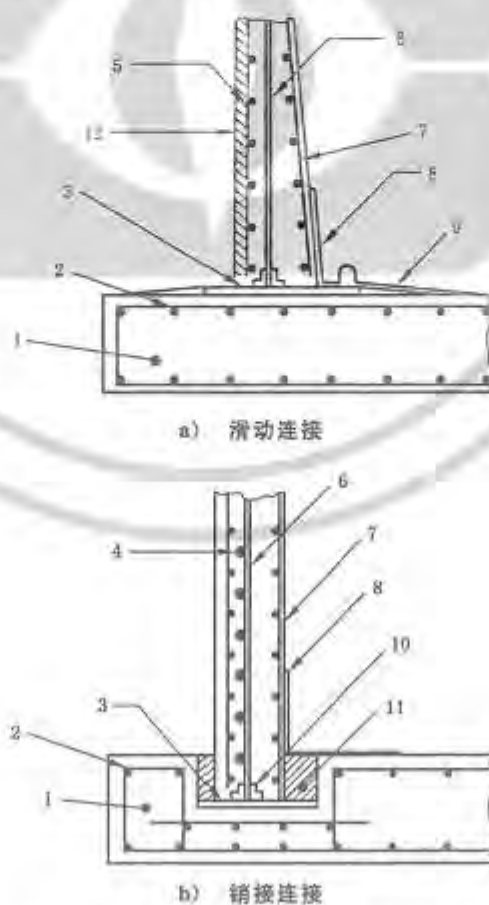
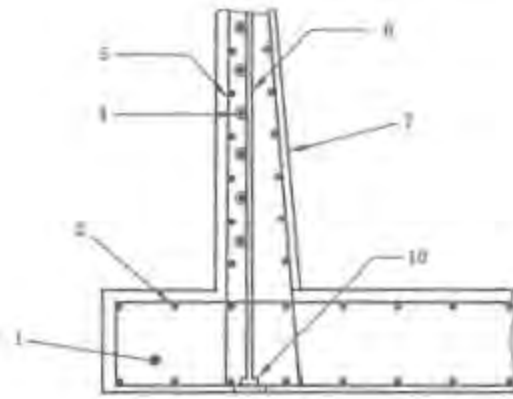


图 B.1 预应力罐壁与基础连接的几种典型节点



c) 固定连接

图例:

- | | |
|-------------|-----------------------------|
| 1——罐壁基础; | 7——预应力罐壁; |
| 2——基础钢筋; | 8——不锈钢/碳钢密封; |
| 3——垫板; | 9——径向带片; |
| 4——环向预应力筋带; | 10——预应力罐底; |
| 5——罐壁钢筋; | 11——罐底; |
| 6——竖向预应力筋带; | 12——钢丝缠绕的环向预应力钢筋束,带有端部锚固土脚。 |

图 B.1 (续)

B.5 罐壁与罐顶的连接

罐壁与罐顶的连接通常采用整体方式建造。

B.6 罐顶

在高设计压力情况下(例如,设计压力大于 14 kPa),通常使用混凝土罐顶是有利的。

罐顶一般使用钢筋混凝土制成,内部安装有钢质衬里,以确保罐顶的气密性。衬里可用作模板,还可作为复合结构使用。在这种情况下,衬里用螺柱锚固到混凝土上。

罐顶可以按环带连续浇注而成,也可分段施工。罐顶还可以根据其厚度分为几层分别浇筑而成,要充分注意选取合适的施工方法,使最终建造成的罐顶平整,无裂缝,表面光洁。对混凝土的生产效率、运输能力、施工人力安排以及罐顶的坡度等因素都要加以考虑。

在凝固期间,罐体内需保持必要的空气压力,并一直保持到混凝土达到足够的强度为止,以便支撑新浇混凝土的重量。

B.7 基础设计

B.7.1 概述

可考虑使用下列类型的基础:

- 浅基础(筏板或环梁类型);
- 桩基。

B.7.2 浅基础

B.7.2.1 筏板系统

如果地基具有足以支撑设计荷载所必需的性能,则可考虑使用地基支撑的钢筋混凝土平板作为基础。该钢筋混凝土平板的尺寸能将所承受荷载充分地分散到地基中,在需要承受高荷载的区域(例如,在储罐壳体和罐壁区域),应相应增加筏板的厚度。在筏板设计中,应考虑到在服务期间或者在紧急条件下所可能发生的局部不均匀沉降、干燥收缩、徐变、热应变等因素的影响,并宜采取一定的预防措施。

B.7.2.2 环梁系统

如果地基能够在容许沉降范围以内承受罐体及其储存物质重量所施加的荷载,则可考虑使用储罐-垫板型基础。该类型基础是由一个结构独立的环梁扩充而成的,环梁设计成支撑罐壁和/或罐壁并提供抵抗举升的锚固力。

必须充分注意环梁与储罐-垫板界面的设计,避免承受体发生剧烈变化。可能需要使用过渡支撑板。

注:在罐壁内部可能还要建造一个独立的环梁,以支撑内罐壁和绝热层的荷载,该环梁为主基础环梁的补充。在土壤条件不允许使用浅基础的地区,则宜采用桩基础。

B.7.3 桩基

宜使用深埋的桩或支柱从更深的土壤层中来提供充足的基础承载能力。桩的使用往往是依据经济上的合理性而作出的选择。桩的类型、直径和长度的可供选择范围很宽,这就为基础设计的优化提供了许多有利条件。

基础设计宜考虑到桩的刚度差异,桩的施工方法以及桩的承载力应通过试验桩和工程桩试验验证确定。在基础桩系统的设计过程中,要考虑到在某根单桩失效的情况下,其余的桩能够承受荷载的再分配。

注1:还应注意因为主容器倾斜而导致的基础混凝土底板受到冷冻的可能性,要考虑到基础混凝土底板的收缩,收缩程度将朝向混凝土底板中心递减。

注2:对支撑桩与基础之间的连接宜给予充分考虑。如果底层土壤特性合适,则可转向更紧密的细长桩刚性连接到基础上。在使用大直径就地成型桩的情况下,对于罐体中心附近的桩,可以使用刚性连接方法,但为其余的桩提供滑动接头。

注3:使用桩基时,为爆炸荷载所规定的水平力需要重点考虑。

注4:在双容或全容罐中,由偶然作用引起的水平力和力矩也可能传递给基础底板。

也可考虑使用架高的基础底板。设计时主要考虑是使用“可拆卸的”隔振器(抵抗地震荷载),或消除因加热引起的温度效应。

罐体下部的铺筑宜向罐体边缘倾斜,以便溢出产品流向外面。

附录 NA

(资料性附录)

本部分与 EN 14620-3:2006 技术性差异及其原因

表 NA.1 给出了本部分与 EN 14620-3:2006 技术性差异及其原因的一览表。

表 NA.1 本部分与 BS EN 14620-3:2006 技术性差异及其原因

序号	本部分的章条编号	技术性差异	原因
1	1	删除“冷冻液化气”;改为:“液化天然气(LNG)”	本部分修改采用 EN 14620-3:2006;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 删除 EN 14620-2:2006 改为 GB/T 26978.2—2011	EN 14620-1、EN 14620-2:2006 拟修改采用为国标“GB/T 26978.1—2011、GB/T 26978.2—2011”
3	7.1	删除 EN 14620-1:2006 改为 GB/T 26978.1—2011	EN 14620-1 拟修改采用为国标“GB/T 26978.1—2011”
4	10.2	删除 EN 14620-2:2006 改为 GB/T 26978.2—2011	EN 14620-2 拟修改采用为国标“GB/T 26978.2—2011”
5	附录 B	删除了 B.4 与 LNG 无关的 LPG 储罐的要求	本部分修改采用 EN 14620-3:2006;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。
6	附录 A.3.3 注	删除“ANSI/NFPA 59A”改为“GB/T 20368—2006”	已采标
7	参考文献	删除“第 11 条“NFPA59A 液化天然气生产、储存和输送”改为“GB/T 20368—2006 液化天然气生产、储存和装运”。	已采标

参 考 文 献

- [1] EN 10002-1 金属材料 拉伸试验 第1部分:在环境温度条件下的试验方法
- [2] EN 10045-1 金属材料 夏比冲击试验 第1部分:试验方法
- [3] EN 10080 钢筋混凝土用钢材 可焊接螺纹钢筋 概述
- [4] EN 10088-1 不锈钢 第1部分:不锈钢清单
- [5] 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
- [6] GB/T 26978.5—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5部分:试验、干燥、置换和冷却
- [7] EN ISO 4624:2002 油漆和涂料 剥离试验(ISO 4624:2002)
- [8] ASTM D1647 涂料干燥膜耐水和耐碱的标准试验方法
- [9] ASTM E96 水蒸气透过材料性能试验方法
- [10] AWWA D110 绕线,圆形,预应力混凝土水罐
- [11] GB/T 20368—2006 液化天然气的生产、存储和装运
- [12] “持久粘结后张桥”,混凝土协会报告 TR 47
- [13] “未粘合预应力钢筋的劣化” FIP 推荐标准 91,1936
- [14] “预应力混凝土材料的低温学特性” FIP 现状报告 904/128,1982
- [15] F. S. 罗斯特西教授“对低温应用条件下结构材料力学特性的评价” FIP 特刊报告 59, 98 页, 1988 年 6 月
- [16] 特纳 F. H. “混凝土与低温学”, 水泥与混凝土协会, 1979 年
- [17] A. S. G. 布鲁格林“液化气存储预应力混凝土”, 伦敦, E 与 P 斯劳, 1981
- [18] “冷却液化气预应力混凝土储罐设计的初步指南” FIP 使用指南 910/136, 1983