

大型低温LNG储罐设计与建造技术的新进展

宋 健

中交城市能源研究设计院有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘 要: 随着我国经济的高速增长, 对我国液化天然气的需求量也日益增大, 各种燃气项目也越来越多。LNG低温储罐是存储液化天然气的重要设备, 对其使用有着非常高的要求。通过进行LNG低温储罐干燥与置换, 可以有效降低储罐的露点和氧气含量。

关键词: LNG低温储罐; 建造技术; 液化天然气

引言: 上海液化天然气接收站, 是负责收集、贮存、蒸发和运送液化天然气的液化天然气接收站, 是中国除传输管线和液化天然气接收点以外最大的通用专用港、液化天然气总排放管售后服务站, 总投资数十亿元。比如福建省莆田市累计60亿吨石油, 福建省莆田市累计投资60亿吨石油, 该文中简要阐述了中国LNG低温储罐的建设标准与实施流程, 并为中国LNG低温罐的建设标准作出了规范。

1 关于大型低温 LNG 储罐的概要

LNG低温罐大致包括两类, 分别是地下罐和地面罐。地下罐常见的为圆筒形薄膜罐, 其宜建立在地震多发地区, 在我国西部地区应用较为广泛。同时, 圆柱形薄膜罐还具有优越抗震性能以及对抗风暴性能。对于地下罐的建设前期的准备工作尤为重要, 原因在于地下罐需要进行大量的地面勘测与地下勘测, 对于地下罐所在区域的水文与地质环境有着较为严苛的要求^[1]。另外, 对于地基的挖掘往往工程量比较大, 在一定程度上讲, 增加安全上的风险。因此, 国内还是普遍使用地面罐。地面罐的形式是非常多样的, 主要有地球罐单容式、双容式、全容式以及薄壁加工储罐等多种类型。当下, 出于安全、性能以及造价上的综合考虑, 我国大型低温LNG储罐主要采用全容罐结构形式。

2 全容式储罐设计概要

全容式储罐主要采用材料为9%镍钢, 在通过了各种工序的设计和施工试验后, 已成为当前世界主流的LNG储罐建设方法。全容式罐顶的设计方式为敞开式, 其外罐采用圆柱形构造, 用作首要的气体包容层和液相天然气的第二包容层, 其具有良好的应用效果。全容式储罐具有良好的抗击打能力, 并具备一定的抗震性能, 同时, 其占地面积相对于其他储罐也是比较小的。全容罐在外罐进行了相关的防火设计, 使其内罐在发生泄漏或者是火灾事故时, 外罐内罐进行对LNG液体以及蒸发

气的短暂容纳, 给予工作人员一定的处理时间, 防止火灾的蔓延。根据相关资料, 目前关于全容式罐容的最大量已经达到240000m³, 因此在设计加入故障的处理应急系统, 即当设备发生故障时, 或者系统关断之前, 操作系统仍然能够持续进行操作, 并保持一周的工作时间。

3 大型低温 LNG 储罐设计的基本理论分析

关于在对低温LNG储罐设计中所应用的标准, 目前主要是API六百二十以及英国标准BS-EN14620。而关于对板壁的设计方法, 而关于许用应力方法, 具体来说, 是按弹性或匀质刚体力学方式求设计时的内部应力。当构件中的任意一个, 其应力均不能超过材料的最大容许应力时, 就能够判断构件是安全的^[2]。根据极限状态理论, 即认为一个构件甚至是整个结构中的某个部分, 在达到某一特殊情况时, 都不能达到工程要求的某种特性条件, 所以, 将该特殊状况叫做某种特性的限制条件。另外, 我们可将理解为采用一个特殊的“极限状态”作为一个参考尺度, 这样, 其所采用的系统和部件具备严格程度上的可靠性, 由此可以防止某部分结构甚至是部件在工作环境中产生的极端情况。

4 LNG 低温储罐的特殊要求

4.1 液化天然气的沸点是-160℃, 因此贮液瓶的气压高出正常气压很多。LNG和高压的常温液态罐一样, 而且还能显著提高安全性能, 此外, 它还具有优异的耐低温和保冷性能。

4.2 安全要求高。事故发生后储液温度低, 大量冷却蒸发, 气体在初始冷却状态下形成的气团约体积为原来的300倍, 在国际API/BS等规范中, 双壁结构和块体概念规定中有明确条例, 如果事故发生在存储容器的第一层, 储存容器的第二层可以完全阻挡液化天然气和液体天然气, 确保储罐的安全。

4.3 材质特殊, 罐内壁必须耐低温, 一般采用06Cr19Ni10等材料。罐外壁采用应力钢筋混凝土, 整体设计牵引力必

须大于20KPa。

4.4 保温防护措施应当严谨。由于罐内外的温差较大,其中-200℃为普遍,所以如果维护-160℃罐内的温度必须采取一种保冷性能良好的方法,而内罐和外罐之间也必须需要采用某种高性能、承压力高的保冷材料,尤其是对储罐底,保冷材料更加迫切地需要进一步强化^[3]。

4.5 抗震性能良好。尽管在一般建筑物的防震条件下可以破碎而不能倾覆,但储罐的防震特性也应落于一定的地震负荷下,应充分确保并确保储罐在意外荷载下的安全性,使罐体不发生破碎和不会倾覆。所以,在选定的建筑地点一定要远离地震危害区域,要在建造之前先对储罐做好防震测试,并研究储罐在动态环境下的结构特性,保证储罐在给定的地震烈度下不会发生损坏。

4.6 施工规范严格,对焊接材料需要进行百分之百磁粉检测(MT)、百分之百射线检测(RT)和百分之百真空气密检测(VBT),对冷绝缘材料也需要进行严格筛选,将力进行热传递时,在设计时还需要更加严密地检测力罐壁的倾斜和垂直性。水泥储罐内外板具有很好的耐电抗和牵引特性,并且可以承受一般物体下坠时的冲击,由于罐内混凝土比较厚,在进行浇灌过程中应严格控制其水化温度,避免因为温度变化引起裂缝。

5 大型全容式 LNG 低温储罐施工工艺流程

大型LNG低温储罐有多种结构形式,本文仅讨论目前应用最广泛、最常见的圆柱形常压低温全容式大型LNG储罐的施工工艺。

圆柱形整容式大型LNG低温罐的基本构造包括内、外二个壳体构造。外罐主要由预应力钢筋砼罐壁、支座承台和钢筋砼穹顶等构成。内罐采用耐低温、具有较好机械性能的9%Ni钢板焊接而成^[4]。罐顶采用耐低温的型钢骨架和蒙皮板焊接预制成半球形固定顶拱顶结构。拱顶蒙皮板可作为穹顶混凝土浇筑的内模板,拱顶梁下用吊杆悬挂铝合金吊顶,用于承载吊顶保冷材料。罐底铺水泥垫片、发泡玻璃砖、沥青毡、干砂层等,内、外罐中间的环形位置填充了膨胀珍珠岩,罐底有热角保护系统,以保证储罐的低温要求。罐壁圆周无任何管道开口,所有管道均从罐顶开口接入罐内。

圆柱形全容式大型LNG低温储罐建设按施工内容专业性可大致分为桩基、土建、安装、保冷、调试等工程,其主要内容包括试桩、灌注工程桩、接桩、承台浇筑、外罐墙体浇筑、拱顶片预制、拱顶片罐内组装、铝吊顶板组装、承压环安装、拱顶气顶升、墙体衬板防潮板安装、罐底衬板安装、环梁浇筑、穹顶浇筑、墙体预应力施工、环形区域保冷、二次底安装、热角保护保冷

及壁板安装、内罐壁安装、中心区域保冷、内罐底安装、内罐附件及管道安装、罐外结构和管道安装、内罐临时洞口封堵、水压/气压试验、罐内泵安装、罐内仪表安装、外罐临时洞口封堵、环形空间保冷、吊顶保冷、罐外机管电仪安装及调试、管道保冷、罐体涂装、氮气置换、试车准备、联合调试、机械完工等环节^[5]。

6 大型 LNG 低温储罐的建造技术要点分析

6.1 要充分考虑强度

在大容量LNG全容低温罐的建设时必须综合考虑罐体质量,才能达到天然气的储存条件。一般需要通过测试的方法对其强度加以验证。具体内容如下:

(1) 水压试验。水压检测。因为大型LNG低温罐是低温常压罐,所以,在开始应用初期,应该通过水压检测对设备温度和基础的沉降能否达标进行检测。首先,有关技术人员应该利用吸尘泵等设备清洗干净罐中材料,并在承包商的指导下提出适当的施工工艺措施;然后,应确定具体的罐体受力状态,并形成精度较大的测试数据^[1]。在高水压试验阶段,首先应确保储罐内液面到达最高限位,并安装适当的隔水装置,以避免罐底部因试验时冲击而产生稳定性降低的现象;最后,要严格把控好填充空间的水位,并确保在焊接组件安装完毕后顺利开展测试。(2) 气压试验。在水压试验时确认基础沉降符合相关标准的要求之后,进行充气试验。在水面以上空间施加1.25倍设计压力的空气,并保持压力1h后,将空气压力降低至设计压力,然后检查罐体焊缝是否发生泄漏。在进行气压试验的时候,应同步检测储罐压力泄放阀和真空泄放阀的开启压力是否符合设计的要求。

6.2 合理控制成本

在大型LNG低温罐的质量满足要求时,适当减少建设成本。而在生产成本的合理限制上,应该从建筑材料和使用方法的角度入手:在建筑材料角度考虑,因为单纯采用的建筑材料可能使得储罐建设成本过高。所以我国有应加强的研究力量,如镍钢等^[2]。所以,在制造工艺的实际应用阶段需注意对金属材料的选择,避免了成本浪费的现象,从而增加大型LNG低温罐建设工艺的经济效益。但在产品设计角度上,要具备节约能力,在保证质量的前提下注重财政资金使用额度,包括安装、壁厚等环节的成本,才能给公司创造更多利润。

6.3 自主设计形式

为突出大型LNG低温储罐建造技术更大的优势,必须运用自主的手段对结构进行改造,才能构建出经济效益和可靠性更大的罐。目前,我国制造容量在30000m³的大型LNG低温罐所使用的制造工艺已日趋完善^[3]。我国在

其建筑设计领域所拥有的专利建造技术和其它国家还具有相当的距离,所以在基础上还需要实现独立发展。在实际施工过程中,在镍钢护墙板焊、板气吹升顶等工艺的运用上困难很多。在处于低温环境时,罐会产生很好的弹性和耐压性,但由于大型LNG全容低温罐的条件越高,所需要的技术也会越多。通过多年探索,在目前工程实施中已基本攻克原有技术难题。所以,要想使大型LNG全容低温罐建设技术对天然气的使用提供有利条件,还必须采用一种技术手段,据此可使储罐的建设技术取得预期效益。在建设大中型LNG全容低温储罐中,还必须强调其低温强度和防裂纹的功能。

6.4 选用合理的保冷结构和材料

天然液化原油是一类需要低温贮存环境下储存的物质,在大型LNG低压罐施工阶段必须充分考虑保冷系统和材质的正确选择,以确保储罐的蒸发量达标。大型LNG低温储罐的保冷结构型式一般分为三部分:底部绝热层、侧部绝热层和顶部绝热层。底部绝热层主要通过热传导的型式进行热传递,内罐底板外边缘板下面是一圈珠光砂混凝土圈梁,用于均布内罐罐体的重量载荷,在保证强度符合要求的情况同时具有较好的保冷效果,圈梁内部和下部均采用泡沫玻璃砖。侧部绝热层主要采用膨胀珍珠岩粉末填充进行绝热,在内罐壁外侧安装弹性毡,弹性毡压缩安装,以避免内罐冷缩后的膨胀珍珠岩粉沉降,还可以减少粉末对内罐罐壁产生的侧压应力^[4]。顶部绝热层主要是放置在吊顶板上的玻璃棉毡,玻璃棉毡导热系数小密度小,施工也十分简单和方便,是顶部绝热的理想材料。

7 大型 LNG 低温储罐安全事项

在通过对干燥空气与氮气的干燥和置换的过程中,很易引起窒息和噪声影响。而如果人在这种处理过程中吸入的高压空气下量太大,很易使人没有意识甚至死去。所以,在干燥空气置换的过程中,工人必须对干燥空气出入口认真进行隔离管理,在氮气放空出口附近设置了3米左右高度的烟囱,工人才可直接佩带空气呼吸器开展高空作业。而且,在进行替换作业的过程中,通常

都会形成相当大的高速空气,当高速经过放空出口时,就会出现很大的噪声,对人体健康影响严重,因此必须配戴耳塞加以保护。

从以上分析可知,对于后期储罐边缘部位的保冷层的测试结果已经可得到证明,而造成干燥性能较差的重要因素是保冷材料上附着了大量的业主。大气压力稀释作用置换方法,对内罐、拱顶、LNG泵池以及环形空间的高压下置换作用比较好,但对底部保冷层的作用却并没有十分好^[5]。为了有效解决这个问题,可以采用以下的一些措施:一、在氮气置换工作开始之前,由于水压测量处并不是排水的好地方,因此必须使底部保冷层进入比压强处略大的干热气流中,并保持一段时间,以便于降低保冷层的露点。二、将底板的干起砂现象换成水泥结构,不但更便于对罐底板进行浇筑,而且能够提高底板浇筑的平整度。三、认真做好施工过程控制,将间隙大小控制在合理的区间范围,避免出现通孔过大的问题。

结语

大型低温LNG储罐的设计工作,需要在保障储罐的设计强度、安全性以及科学性等方面进行保证之外,还需要对设计材料、施工技术条件和造价的合理限制,最大程度的减少了工程造价成本,以增加经济效益。同时,大型低温LNG的储罐设计应该符合相关的设计规范,从而从设计层面,提高大型低温LNG储罐的安全性。

参考文献

- [1]陈威威.基于ANSYS大型LNG储罐静力场和温度场模拟研究[D].青岛:青岛科技大学,2019.
- [2]腾飞.大型立式低温LNG储罐的结构设计和强度分析[D].大庆:东北石油大学,2017.
- [3]蔡文刚.浅谈大型LNG低温储罐的建造技术[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(06):181-182.
- [4]陈虎,王骞,张鹏,etal.9Ni钢大型LNG低温储罐施工及焊接技术[J].中国化工装备,2019,21(3).
- [5]张志琪.大型LNG低温储罐衬里底板施工技术优化[J].石油工程建设,2016,38(4):46-48.