中小型液化天然气运输船储罐的制造与检验

张家港圣汇气体化工装备有限公司　（江苏　215600）　杨巧英

1. 概述

近年来，环保型新能源液化天然气（LNG）在全球广泛应用，而大型的LNG运输船外型大，吃水深，受航道条件等外部因素的限制，不能广泛应用于中小型城市、沿海地区和内河航运，因此世界各地广泛提出一种新型船舶——半冷半压式中小型LNG运输船，它凭借营运周期短、中转频繁、制造价格合理等优势而吸引了大量的客户。此类船舶的核心设备——C型独立液货舱（以下简称储罐）属于压力容器范畴，在国内制造行业史上空白，无经验可循。本文根据相关规范要求和实际生产经验，从材料选用、制造装配、焊接、水压试验和气密性试验等主要生产环节，来探讨中小型LNG运输船储罐的制造工艺和检验方法。

2. 材料的选用及验收

（1）板材的选用及验收　储存介质为液化天然气（简称LNG），其主要成分是甲烷。在常压下，其沸点为-162℃，根据IGC Code、CCS Code等相关规范，考虑到设计温度、设计压力、介质特性、操作特点、材质焊接性能、储罐的制造工艺及经济成本等方面，通常我们选用奥氏体不锈钢。

对于主要受压件的钢板，要求由船级社作出产品认可，即钢板材质证明书标注的化学成分和力学性能符合标准规范，并由相关船级社的验船师签字盖章。

（2）锻件的选用及验收　值得注意的是，锻件规格DN≥250mm，订货时需注明Ⅲ级锻件，制造和验收严格按NB/T 47010—2010《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》标准要求执行，并在相关验船师的见证下进行复验，其化学成分和力学性能需满足该标准和规范要求。

（3）焊接材料的选用及焊接工艺评定认可　焊材的选用如附表所示。

焊接材料的选用

母材材质	焊条电弧焊（SMAW）	埋弧焊（SAW）		氩弧焊（GTAW）
		焊丝	焊剂	
304	A132	H00Cr21Ni10	SJ612	H0Cr21Ni10
304L	A002	H00Cr21Ni10	SJ612	ER308L
316L	A022	H00Cr19Ni12Mo2	SJ612	ER316L
304N	UTP 1915 ϕ3.2	UTP UP1915 ϕ3.2	UTP FX1915	UTP A 1915
	UTP 1915 ϕ4.0	UTP UP1915 ϕ4.0	—	

对于不同的焊材、焊接方法和焊接位置必须按规范要求进行焊接工艺评定认可，具体步骤：①按规范取样。②试板焊后按规范进行外观评定。③按JB/T 4730—2005.2进行X射线探伤或对应的船级社规范，探伤比例为100%。④2个拉伸试验。⑤4个弯曲试验。⑥5组低温冲击试验（每组3个，共15个），试验温度为-196℃（具体位置：焊缝中心线1组、熔合线一组、距熔合线1mm一组、距熔合线3mm一组、距熔合线5mm一组）。

3. 储罐的制造

（1）材料复验　按压力容器的规范要求对储罐的钢板和锻件主要受压元件在制造前应进行材料复验，合格后方可下料使用。而制造船用储罐所采购的这些原材料都是验船师在原材料制造过程中已进行质量监控并发相关的认可证书，因此可以不需复验，但开工前仍需验船师见证文件是否与实物相符。对未经验船师认可批准，工厂事先与验船师沟通后待材料质量证明书齐全后，取样复给补发证书。

（2）冷热加工成形　罐体分两部分制造，各包括筒体和半球形封头。详细加工要求按GB 150—1998中10.2条，封头的压制参照GB 12337—1998的7制造中7.1.10条。

（3）封头制造与检验时注意事项　此类储罐的半球形封头采用混合式排版，具体组装要求参照 GB 12337—1998 中 8.2 条。值得注意的是，在胎架上将顶圆板和瓜片装配成球形封头，注意每条焊缝放 2mm 的焊接收缩量，经检验合格后施焊，采用双面焊条电弧焊，先焊外口，里口清根后再焊。焊后封头如图 1 所示。

图1　球形封头焊缝布置

（4）筒体制造与检验注意事项　本身的壳体部分按 GB 150—1998 第 10 章制造要求进行，因为是运输船用储罐，与一般压力容器有以下几点不同：①在设计上因考虑船体自重量轻，不同部位的板厚不等，不同厚度板组对成筒体时里口平齐，外壁单面削薄，削薄弦长不是 GB 150—1998 中的厚度差的 3 倍，而是按船级社规范要求弦长不小于 200mm。②止荡壁与筒体环焊缝之间要求错开 150mm。③储罐的支持构件：每一个储罐配置有 2 个鞍座，其中一个为固定鞍座，另一个为活动鞍座。除承受正常负荷（筒体重量和物料重量）以外，固定鞍座还应能够承受相当于液货舱和载物的 1/2 重量的向前冲力，也可防止船舶摇晃时，储罐可能出现的转动；活动鞍座能够满足液货罐在温度和压力发生变化时所产生的位移，同样也可以防止液货罐出现转动。④罐体的锁紧抗浮螺栓：为防止液货舱进水时罐体漂浮而导致液货泄漏，IGC 规则要求设置液货舱防浮装置。该装置能满足空舱时。当液货舱内进水至满载水线位置时液货罐仍不会漂浮起来，不会引起船体结构的塑性变形。

4. 储罐的焊接要求

（1）焊前准备　焊接施工人员必须持有经船检认可的相应类别和位置的有效焊接操作资格证；容器施焊前的焊接工艺评定认可应按规范要求进行；焊接材料（如焊条、焊丝、焊剂）必须按规定选用，并由验船师验收合格，出具证书。

（2）焊缝布置及焊接程序　①封头焊缝由温带板与温带板之间的径向焊缝、极中板与极边板组成的顶圆板焊缝、顶圆板与温带板之间的环向焊缝组成，全部采用双面焊条电弧焊。②为减小焊接变形量，施焊人员尽量对称分布，先完成温带板间的径向焊缝焊接，立向上焊。③由4～6 名焊工分段对称等速地完成环向焊缝的焊接。

（3）筒体焊缝布置及焊接程序　①焊缝由单个筒节的纵向对接焊缝（三拼、四拼、六拼等）和筒节与筒节之间的环向对接焊缝组成。②纵向焊缝采用双面焊条电弧焊自下向上立焊。③筒节与筒节组装起来置于滚轮胎架，水平转动完成筒体环焊缝的埋弧焊接，如图 2 所示。

图2　筒节与筒节组焊后焊接过程

（4）筒体附件的焊接　采用焊条电弧焊先完成附件的装配与焊接，然后再由两名焊工对称等速，采用分段焊接方式完成附件与筒体的焊接。

（5）焊缝质量检验　①外观质量：成形美观，焊缝表面不得有裂纹、气孔、咬边及夹渣等缺陷。②无损检测：对封头拼板缝、筒体纵、环缝及短节接缝等做 100% X 射线检测，按 JB/T 4730—2005.2 作 100% RT，Ⅱ级合格。角焊缝内、外表面按 JB/T 4730—2005.5 做 100% PT 检测，Ⅰ级合格。

5. 产品焊接试板的制备要求

（1）产品试板的数量根据 IGC、CCS 规范要求与 GB 150—1998 不同，对接焊缝焊接方法：每 50m 需带一副产品试板，纵缝试板应带在纵缝延伸部位，每种位置的焊接方法应覆盖，并由验船师确认。

（2）产品试板焊接后对焊缝外观检查合格后做 100% RT 检测。根据 JB/T 4730—2005.2 或其他船级社对应的标准规范，评定Ⅱ级合格。

（3）焊接试板的力学性能检验和试样加工尺寸要求按 JNB/T 47016—2011。

（4）焊接试板力学性能检验中的弯曲试样按 CCS 规范要求：当试板厚度≤20mm 时，做一个背弯和一个面弯。当试板厚度＞20mm 时，做四个侧弯。试样为直径的 4 倍，厚度的弯曲度为 180°时，不应断裂。

（5）与 GB 150—1998 不同之处，船用储罐的产品试板需做一个宏观金相试样。

6. 水压试验

（1）储罐灌水前控制水的氯离子含量≥25mg/L。

（2）储罐压力试验时，其水温度≥5℃。

（3）制造完工的储罐应按规定进行压力试验，压力试验必须用两个量程相同并经过校正的压力表。压力表的量程在试验压力的两倍左右为宜，且不应低于 1.5 倍或不高于 3 倍的试验压力；表径选用 200mm（考虑设备较大）、表的精度为 1.6 级。

（4）试验压力 P_t = 设计压力 × 1.5 倍设计压力 ×（试验温度下材料许用应力/设计温度下材料许用应力）+液柱静压力。

（5）灌水前应考虑试压场地地基沉降等因素，做好沉降基准观测点，两个相邻点最大沉降偏差为 5mm。

（6）试验时储罐顶部应设排气口，充水时应将储罐内的空气排尽。试验过程中，应保持储罐观察表面的干燥。

（7）试验时压力应缓慢上升，达到规定试验压力后，保压时间一般≥30min。然后将压力降至规定试验压力的 80%，并保持足够长的时间以对所有焊缝和连接部位进行检查，如有渗漏，修补后重新试验。

（8）液压试验完毕后，应将水排尽并用压缩空气将罐体内部吹干。

7. 气密性试验

储罐经液压试验合格后方可进行气密性试验。试验压力为设计压力的 1.05 倍。试验时压力应缓慢上升，达到规定试验压力后保压 10min，然后降至设计压力。对所有焊缝和连接部位进行泄漏检查，如有泄漏，修补后重新进行水压试验和气密性试验。

8. 结语

我司已成功制造的这类储罐成品如图 3、图 4 所示，成品及吊运如图 5、图 6 所示。实践证明，只有正确的选材、制定科学的制造工艺及合理的检验手段，才能确保产品质量，是这类液化天然气运输建造的质量保障关健。

目前我国的一些燃气公司建造的小型液化天然气接受站都是要用槽车（现每台最大容积为 51.6m^3）从液化天然气工厂或大型站运输的，运输成本大；随着新能源液化天然气（LNG）广泛推广应用（城市燃气、汽车加气和船上动力油改气项目推进），中海油国内市场份额不断增大，将在浙江、海南、珠海、江苏等建接收站，中海油能源发展股份有限公司还考虑在天津、山东、江苏附近海域增加三个浮式进口 LNG 码头。因此使用小型液化天然气运输船一直以来都受到全球范围的广泛关注。

图 3　储罐成品两大段其中一段

图 4

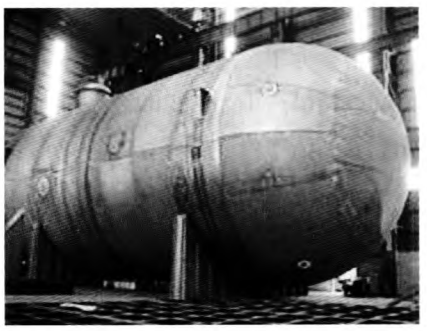

图 5　储罐成品

图 6　储罐外部做完绝缘后吊装上船过程

MW　（20120222）