

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2011.06.003

液化天然气（LNG）储罐防腐理论与实践

——以淄博LNG气化站为例

□ 淄博绿博燃气有限公司（255000）刘新领

摘 要：本文以淄博LNG气化站LNG储罐外表面防腐实践为例，针对LNG储罐储存介质及结构的特殊性，运用相关防腐理论，提出了防腐涂料的选择方案及防腐施工工艺过程的控制方法，同时指出了施工防护要求和施工环境要求等问题，对目前国内LNG气化站内LNG储罐的防腐施工工艺控制具有较高的指导借鉴意义。

关 键 词：储罐 结构 涂料 防腐 防护

1 前言

自从国内首座液化天然气（LNG）气化站——淄博液化天然气（LNG）气化站2001年建成投用以来，起到了较好的示范作用^[1, 2]，至今国内已有上百座液化天然气（LNG）气化站建成投用。不论是作为主气源独立供气还是作为调峰气源、备用气源对管输天然气管网补充供气，这些气化站均发挥了较好的作用。实践证明，作为LNG气化站中关键设备之一的LNG储罐，其完好与否直接关系到气化站的正常运行，而该设备的完好包括基础的稳固性、储罐的自然蒸发状况和夹层真空度及附件、储罐内外表面的完好等方面，

国家相关规范^[3]提出了明确要求。在LNG储罐日常运行中，风吹日晒，储罐外表面不可避免地被腐蚀，特别是处于化工园区、沿海地区、南方多雨地区等的LNG气化站，LNG储罐的外表面遭受腐蚀更快或腐蚀更严重一些。由于LNG储罐的特殊性，要对其外表面进行有效的防腐，如何选择合适的防腐涂料，如何安全有效的进行防腐处理成为一个重要课题。淄博LNG储罐已运行近十年，其外表面出现了点状或片状腐蚀，必须对其进行防腐处理，达到完好状态。本文以淄博LNG气化站为例，对LNG储罐的外表面防腐实践进行总结讨论，以期对该种储罐外表面防腐的工艺过程控制起到示范作用。

选用具有压力管道元件生产资质的厂家的产品，若首次选用对方产品，应综合考虑以下几个主要方面：研发能力、生产规模、生产设备、质量控制体系及相关认证。另外，应谨慎核实查询网络信息确定对方资质和生产能力。

（4）为更好的建设节约型社会，在没有特殊要

求的情况下，建议使用配备低功耗电磁线圈的切断阀，以减少能源消耗。

（5）应尽快制定关于产品的国家标准或行业标准，使各生产厂在设计、生产、检测、维护和管理等方面有一个统一的、可遵循的标准，对规范这一市场起到良好作用。

2 LNG储罐的特点

2.1 储存介质的危险性

众所周知，LNG常压下约在 -162°C 储存，在 $0.3\text{MPa}\sim 0.7\text{MPa}$ 条件下，在 -145°C 左右储存（以组分不同决定），一旦泄漏后果十分严重。因此，相关资料^[4]提出了LNG的潜在危险性：即低温、BOG（蒸发气体）、着火（爆炸）和翻滚的危险性等问题，对设备的完好及安全管理提出了较高的要求。

2.2 储罐的结构特点

目前，城镇燃气LNG气化站的总容积多在 $2\,000\text{m}^3$ 以下，这些气化站的LNG储罐多为立式真空粉末绝热储罐，这种储罐为双层结构，内罐为不锈钢（ OCr18Ni9 ），外罐为碳钢，内外罐之间的夹层充填保温绝热材料并经抽真空处理，内罐靠外罐来支撑，再加上储存介质重量及其它载荷，就要求外罐要有较高的刚度和强度。另外，立式真空粉末绝热储罐罐体的高度较高（相对其他燃气设施），所有工艺接管管口均在储罐下部，中上部光滑。有关资料^[5]列出了某些典型LNG储罐的相关参数，见表1。

表1 某些典型LNG储罐相关参数

公称容积 (m^3)	全容积 (m^3)	最大充装 系数	外壳直径 (mm)	内容器直 径 (mm)	总高 (mm)
50	52.60	0.95	2 500	2 000	12 725
100	105.30	0.95	3 500	3 000	16 983
150	157.90	0.95	4 000	3 500	22 185

由此可见，这些典型 LNG 储罐的外罐直径多在 $2\,500\text{mm}\sim 4\,000\text{mm}$ ，高度在 $12\,000\text{mm}\sim 23\,000\text{mm}$ ，相比其他燃气设施来说，高度还是较高的，这就使得储罐的外表面特别是上部防腐维护较困难，风险较大。如果进行了较好的外表面防腐，防腐涂层不但能保护金属免受腐蚀或减缓腐蚀，同时还能将部分阳光反射出去，从而减少储罐的吸热，有效地保持合格的日蒸发率。

3 LNG储罐防腐涂料的选择与确定

3.1 防腐涂料的选择方案

为抑制腐蚀所采用的涂料应具有较好的防腐蚀作

用，这主要包括：涂料的阴极保护作用、涂料的阳极（钝化、缓蚀）作用和涂层的屏蔽作用。

涂料的阴极保护作用：涂层中含有对被保护金属成为牺牲阳极的金属颜料，且金属颜料的含量很高，使涂层中金属微粒之间、金属微粒与被保护金属之间达到电接触的程度，从而使金属基体免被腐蚀。

涂料的阳极作用：当涂层中含有具有缓蚀、钝化的化学型防腐颜料时，在有微量水存在时，就会从涂层中离解出具有缓蚀功能的离子，通过多种机理使腐蚀电池的一个电极或两个电极极化，从而抑制腐蚀进行。

涂层的屏蔽作用：涂层具有阻挡水、氧和离子从外界腐蚀环境穿过涂层到达金属界面的能力，从而使基体和环境隔离，免受腐蚀。

LNG气化站站址所处的环境决定了LNG储罐所处的环境，通常处于城市边缘地带或工业园区，南方更是潮湿多雨，沿海地区空气中盐分较高，这些因素都能加速LNG储罐外表面的腐蚀。又由于LNG储罐储存介质、结构的特殊性，必须选用具有上述防腐作用且质量优良的涂料。综合考虑上述因素，最终选择由底漆、中间层漆和面漆3层涂层组成防腐体系的方案。

3.2 防腐涂料的确定

针对淄博的实际情况，LNG储罐防腐涂料确定如下：底漆为环氧富锌底漆，中间层漆为环氧云铁中间层漆，面漆为白色丙烯酸脂肪族聚氨酯磁漆。其技术参数要求分别见表2、表3、表4。

表2 环氧富锌底漆技术参数

项 目	技术指标	试验方法
1. 漆膜颜色及外观	锌灰色，平整	GB/T9761
2. 粘度（涂-4粘度计），s	≥ 3	GB/T1723
3. 附着力，划格法，级	≤ 2	GB/T9286
4. 干燥时间，h，表干	≤ 4	GB/T1728
5. 耐盐水性（21d）	漆膜无脱落，允许锈蚀面积不超过5%	GB/T1763

表3 环氧云铁中间漆技术参数

项 目	技术指标	试验方法
1. 漆膜颜色及外观	云铁红色，漆膜平整	GB/T9761
2. 粘度（涂-4粘度计），s	≥ 30	GB/T1723

(续表)

项 目	技术指标	试验方法
3. 固体含量, %	≥65	GB/T1725
4. 干燥时间, h, 表干	≤4	GB/T1728
5. 附着力, 划格法, 级	≤24	
6. 柔韧性, mm	≤2	GB/T1720
7. 耐盐水性 (浸96h)	漆膜无脱落、无起泡	GB/T1731
	无锈点, 允许颜色轻微变浅、失光	GB/T1763
8. 对面漆的适应性	无不良现象	目测

表4 白色丙烯酸脂肪族聚氨酯磁漆技术参数

项 目	技术指标	试验方法
1. 颜色及外观	符合标准样板, 在色差范围内, 漆膜平整光滑	GB/T9761
2. 粘度 (涂-4粘度计), s	≥40	GB/T1723
3. 细度, μm	≤30	GB/T1724
4. 干燥时间, h, 表干	≤1	GB/T1728
5. 固体含量, %	≤18	
6. 附着力, 划格法, 级	≤45	GB/T1725
7. 柔韧性, mm	优于4A或4B	ANSI/ASTM
8. 耐候性 (经广州地区12个月天然曝晒后测定)	≤1	GB/T1731
	漆膜颜色变化, ≤4级	
	粉化, ≤3级	GB/T1767
	裂纹, ≤2级	GB/T1766

4 防腐施工及控制

4.1 防腐前的准备

通过招投标选择有相应防腐资质且经验丰富的施工单位, 签定施工合同和安全协议、质量保证协议; 施工单位应制定切实可行的施工措施计划 (方案); 有条件的应选用有相应资质的监理单位进行监理, 以监督防腐质量和施工安全管理等工作; 施工前办理好各种作业批准手续。

应保证采用的刷涂、滚涂和喷涂设备设施完好, 电力电缆不得破损、漏电。

对于施工用涂料, 应算好用量, 集中采购, 整批次购进; 应由生产厂家原有的、有清楚标识且尚未开启的容器盛装, 且在质保期内; 产品应有合格证及使用说明书等质量证明材料, 且符合前述技术要求和国家相关规范的规定; 应在仓库内集中存放, 不得露天存放, 同时远离火源等危险源。

4.2 施工控制

4.2.1 除锈

(1) 整体表面除锈。采用机械除锈法, 即首先利用空压机对储罐的外表面进行喷砂处理。喷砂用的石英砂应达到要求且颗粒均匀, 除锈过程应自上而下、自左至右均匀进行, 使喷砂质量达到《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB8923^[6]中规定的Sa2 $\frac{1}{2}$ 级标准。喷砂除锈后, 应及时清除罐体表面的浮灰和碎屑等。

(2) 特殊部位除锈。采用人工除锈法, 即对不能采用喷砂除锈的部位, 如储罐的支腿及其与罐体的连接部位、仪表接管部位及其他存在角焊缝等的部位, 采用人工用磨光机进行除锈, 使除锈质量达到《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB8923中规定的St3.0级标准的要求。同样, 除锈结束后也应及时清除除锈部位的浮灰和碎屑等。

4.2.2 涂漆

(1) 油漆的施工参数要求: 按底漆→中间层漆→面漆的施工顺序进行。对上述3种涂料的施工参数要求见表5、表6、表7。

(2) 涂装: 在储罐外表面除锈达到要求后, 应在4h内涂上环氧富锌底漆。涂漆时可采用高压无气喷涂设备喷涂, 也可用滚涂设备滚涂。可采用聚酯酰胺

表5 环氧富锌底漆的施工参数要求

项 目	技术指标
1. 密度	约2.0 kg/L
2. 混合配比	甲 (漆料): 乙 (固化剂) = 7: 1 (重量比)
3. 熟化时间	常温下0.5h
4. 干燥时间, 表干	≤4h
5. 适用期限	≤24h
6. 涂装间隔时间	常温下8h
	最短24h, 最长7d

表6 环氧云铁中间层漆的施工参数要求

项 目	技术指标
1. 密度	约1.36 kg/L
2. 混合配比	甲 (漆料): 乙 (固化剂) = 5: 1 (重量比)
3. 熟化时间	常温下0.5h
4. 干燥时间, 表干	≤2h
5. 适用期限	≤24h
6. 涂装间隔时间	常温下8h
	常温下最短24h

表7 白色丙烯酸脂肪族聚氨酯磁漆的施工参数要求

项 目	技术指标
1. 密度	约1.2 kg/L
2. 干燥时间, 表干 实干	≤1h ≤18h
3. 适用期限	常温下≤4h
4. 涂装间隔时间	常温下最短24h, 最长7d

作为固化剂,按前述要求将调配、搅拌好的环氧富锌底漆施涂3遍,每遍间隔至少4h,使底漆漆膜总厚度 $\delta \geq 80\mu\text{m}$,但在施涂后遍底漆涂料前,必须彻底清除表面的锌盐,以免影响漆膜的层间附着力;在底漆涂完并干燥24h后,采用原子灰刮补表面不平整部位,然后用砂布轻轻打磨补涂了原子灰的部位,注意不得损伤底漆涂层;再在整个表面涂调配、搅拌好的环氧云铁中间层漆2遍,使其漆膜厚度达到 $\delta \geq 80\mu\text{m}$;在环氧云铁中间层漆涂完并干燥24h后,在储罐整体表面施涂搅拌好的白色丙烯酸脂肪族聚氨酯磁漆3遍,保证漆膜厚度 $\delta \geq 80\mu\text{m}$ 。

对于储罐的某些“死角”部位,如支腿、接管、角焊缝及涂层损伤处等部位应分别及时用毛刷蘸取底漆、中间层漆、面漆将漆液“塞于”这些部位,保证漆膜厚度达到要求。

4.2.3 合格要求

施涂完毕后,储罐防腐后的整体外观要求为:罐体表面无明显流挂、凹陷现象,表面色泽均匀一致;漆膜的总厚度应达到 $240\mu\text{m}$ 以上(用电脑涂层磁性测厚仪测定),这是一个硬性指标;同时还应对相关指标检测合格;对防腐施工过程形成书面记录。组织相关方对工程进行验收并合格。达到上述要求后方可判定为防腐质量合格。

4.3 施工防护及注意事项

施工前,应采用帆布对LNG储罐下部周边的工艺管道、阀门、仪表等进行遮盖防护,以防锈屑、浮灰、涂料对其污染及下落物件对其砸坏;储罐储存量尽量减少,一般控制在20%(体积百分数)左右为宜;施工过程中储罐不得进行进液、出液、升压、倒罐等操作,并及时观测储罐内压力、液位等的变化。

应保证施工现场空气湿度不超过85%或保证罐体表面温度比此时空气的露点至少高 3°C 以上。环境温度必须高于 5°C ,最好在 10°C 以上,但不得高于

40°C 。特别是沿海地区、南方地区、冬雨季防腐施工时应特别注意,否则,将极大影响防腐效果。扬尘天气及风速较大的时候也不应防腐施工。

5 结语

淄博LNG气化站LNG储罐外表面防腐后已经运行了1年多,目前效果良好。一般LNG储罐在进行上述防腐处理后,防腐层使用寿命至少5年以上,特殊地区、特殊环境除外。由于LNG储罐结构、储存介质及高处防腐的特殊性,对防腐工作提出了较高的要求。我国幅员辽阔,各地LNG气化站所处环境不同,LNG储罐生产厂家不同,使用频次不同,管理水平不同,储罐外表面的腐蚀状况也就不同,其防腐处理方案可能存在差异。作者以淄博LNG气化站防腐实践为例,力图总结出较完整的LNG储罐防腐方案,以期对目前国内LNG气化站LNG储罐的防腐工作提供较高地借鉴指导意义,进一步提高LNG设备设施的管理水平,这就是论文作者的目的所在。

参考文献

- 1 刘新领.液化天然气供气站的建设[J].煤气与热力, 2002; 1
- 2 刘新领.LNG气化站增压系统的调整与改进[J].城市燃气, 2006; 9
- 3 中国城市燃气协会.城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术规程(CJJ51-2006),北京:中国建筑工业出版社, 2006
- 4 刘新领.论LNG气化站的安全技术管理[J].城市燃气, 2005; 6
- 5 严铭卿, 宓亢琪, 田贯三, 黎光华.燃气工程设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社, 2009
- 6 金晓鸿.防腐涂装工程手册[M].北京:化学工业出版社, 2008
- 7 GB8923-88, 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级[S]
- 8 袁振伟.防腐蚀施工安全技术[M].北京:化学工业出版社, 2009