

LNG 双金属全容罐设备布置及配管技术要点

李 桃 (中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610000)

摘 要: 本文探讨了 LNG 双金属全容罐配管设计时遇到的问题及要点。技术问题及要点包括 LNG 双金属全容罐设备布置, 罐顶各平台定位、潜液泵定位和管口方位定位, 管塔的设计, 潜液泵主平台配管, 罐顶放空平台设计、罐顶消防干粉灭火系统及消防喷淋装置。

关键词: LNG 储罐; 设备布置; 配管要点; 管塔设计

0 引言

现如今 LNG (即液化天然气) 已逐渐发展成为城市重要的绿色能源, LNG 作为天然气的重要补充气源, 有非常好的前景。LNG 全容储罐作为国内城市天然气应急调峰建设项目的配套设备, 大容量的 LNG 储罐都是不可或缺的。

由于双金属全容罐相比单容罐防火间距相对小 (即占地面积小)、安全性能高, LNG 双金属全容罐近年来越来越受欢迎。而且出现存储容量越来越大的趋势, 从前几年的 2 万方、3 万方、5 万方, 增加到 10 万方、20 万方不等。

LNG 双金属全容罐的配管呈现管道众多、应力管线多、潜液泵平台空间狭窄、罐顶立柱结构梁网众多, 配管难度大, LNG 储罐的配管设计无疑也是 LNG 项目中配管的难点之一。

本文着重探讨 LNG 双金属全容罐的设备布置及配管技术要点。

1 LNG 双金属全容罐设备布置

LNG 双金属全容罐由内罐和外罐组合而成, 内罐是不锈钢材质, 外罐是碳钢或不锈钢, 为节约成本一般采用碳钢。双金属全容罐的内罐和外罐都能储存低温冷冻液体, 内外罐距离为 1~2m, 外罐外壁和顶盖均为钢结构。全容罐的优点是当内罐发生泄漏时, 外罐可以储存泄漏的 LNG 及闪蒸气, 起到了双层保护的作用, 储罐不需要设置围堰。且该种罐的气密性较好, LNG 及蒸发气的挥发量小, 储罐防火间距比其他形式储罐较小。缺点是双容罐结构较复杂, 制造难度高, 安装周期也较单容罐长, 造价较单容罐高。由于双金属全容罐相比单容罐占地面积小、储存容量大、安全性能高、技术成熟, LNG 双金属全容罐已成为近年来国内城市天然气应急调峰建设项目的首选。

LNG 液化烃属于甲 B 类可燃性液体, LNG 双金属全容罐不应毗邻布置在高于工艺装置、全场性重要设

施或人员集中场所的阶梯上, 而应布置在厂区地势较低处, 且不宜靠近排洪沟布置。LNG 双金属全容罐应单独成组布置, 储罐与其他储罐或装置要分开布置, 并满足防火间距要求。储罐罐底不能布置中间缓冲罐, 储罐下面只能设置与本储罐相关的辅助设备。储罐罐区的事事故集液池需距离储罐管壁不应小于 30m, 且应设置排水设施。储罐距离事故集液池应设置导液管, 储罐顶溢漏的 LNG 液体能顺利的流出罐体并自流入集液池。出于防火考虑, LNG 储罐区四周应设置环形消防通道, 且储罐罐区内严禁绿化。根据 GB50160-2018《石油化工企业设计防火规范》^[1] 要求, LNG 双金属全容罐除了满足石油化工企业总平面布置的防火间距要求外, 还需要满足与工艺装置、建构筑物或设施之间的防火间距。

根据 GB/T20368-2012《液化天然气 (LNG) 生产储存和装运》^[2] 标准火灾安全要求, LNG 储罐罐底管道的所有切断阀要距离储罐外罐罐壁至少 15m。罐底切断阀阀门平台的位置必须满足安全间距要求。由于 LNG 属于甲 B 类可燃性液体, LNG 泄露火灾危险性大, 配管需要尽量减少泄漏点, 且在可能存在泄漏点的地方, 需设置可燃气体检测仪、可燃声光报警器、火焰探测器、火灾声光探测器等火气设备, 保证现场人员安全。

2 LNG 双金属全容罐配管技术要点

2.1 技术要点一: LNG 双金属全容罐各平台定位、潜液泵定位和管口方位定位

LNG 储罐的设计技术难点其实还是在机械设计, 包括 LNG 储罐的设备保冷设置、外罐罐壁和罐顶的钢支撑结构立柱梁网结构、管口深入罐底支撑问题和众多管口与罐支撑两相互匹配的方位确定。而机械设计的这几个难点都与配管设计息息相关, 需要配管专业与机械专业一起确定罐顶的布置。主要体现在以下三个方面:

一是 LNG 全容罐罐顶上平台众多，包括罐顶环形平台、潜液泵主平台、仪表平台、罐顶中间平台和罐顶放空平台、吊装检修平台。由于 LNG 储罐储量大，储罐高度高，平台所处位置本来就高，罐顶设备管道众多，平台面积大，平台均布荷载和集中荷载都大，且罐顶受力情况复杂，机械往往很难算过荷载。所以罐顶所有平台要求配管尽量布置的低而窄，但平台上工艺设备管道众多，潜液泵主平台下还需要布置很多低温大管道以及积液盘的位置，平台太低也不能满足工艺要求。罐顶各平台的标高及定位，包括平台宽度和角度定位都有一定的难度，配管需要满足工艺要求与机械设计要求最终敲定。主平台的定位是关键，定位主平台需要要把物料进出管方位、管塔方位、潜液泵的位置和罐顶自支撑立柱和轴网确定好。潜液泵因与内罐罐壁位置有要求，一定要结合工艺要求与机械设计要求一起定位。潜液泵定位后，才能确定罐顶立柱支撑的角度和柱距。另外还要考虑潜液泵的吊装梁的位置与潜液泵位置协调，吊装梁高度一定要留够吊装高度。主平台定位及标高确定好了，其他平台的位置相对简单一些，放空平台一般设置在主平台对角，仪表平台设置在主平台旁边。

二是管口众多，包括工艺管口、检修人孔、氮气稳压管口、仪表管口及消防水管口，不同管口距离内外壁的距离各有要求，主要是考虑管口深到内罐管道的支撑问题及避开罐顶众多结构梁网。配管专业需先确定各管口的工艺要求，管口接口位置及支撑等特殊要求（比如储罐 LNG 进口管线从罐顶上部接入并需延伸至罐底 200mm 处，LNG 进料管口需要利用外管内壁做支撑，不能据外罐罐壁太远）。这些都需要配管根据管塔、各平台相对位置确定管道研究图，并与机械专业不断沟通，共同商定；管口方位确定最难的还是工艺管口的确定，既要考虑管塔的位置，也要考虑罐顶轴网的位置，及工艺管道布置要求。

三是集液盘的设置，由于 LNG 易燃易爆，处于安全考虑，罐顶有 LNG 泄漏，需要及时的引走，所以罐顶上在可能泄露的地方需要设置集液盘。在罐底需要有集液盘溢流管线引至收集沟。由于罐顶上的主平台要压缩的很低，而管子又众多，在设计前期确定平台高度的时候，除了考虑管道和潜液泵所占用的空间外，还要考虑集液盘的高度，否则一旦平台定低了，积液盘和平台下面穿管布置起来非常困难。

归纳成一句话：罐顶平台定位、潜液泵定位和管

口方位确定非常重要，配管设计除了满足工艺和配管要求还需要满足机械设计要求，一旦平台定位不合理，后期改动非常大。

2.2 技术要点二：管塔的设计及提资

管塔是指从罐底上到罐顶的一排工艺管道、公用工程管道、消防水管道及检修楼梯及钢结构的总称。

国内 LNG 储罐管塔的设计有两种方案：一个种是检修通道和平台结构合并一起一排上到罐顶，管道及管道支撑的钢结构另一排上罐顶，两个是独立分开的装置；另一种是管道、管道支撑、检修通道和平台结构合并成一个整体一起上罐顶。两种方案各有优缺点，出于安全的考虑，把管道与人行通道分开当然更好，标准上也有一定要求，不过不是强文；但是考虑到储罐罐顶不经常操作在保证安全性的前提下，第二种方法更节约成本。配管设计时因结合项目具体情况选择管塔方案。现行国内 LNG 储罐选择第二种管塔方案的更多。

因双金属全容罐容量大，储罐高度很高，管塔上又有众多管径较大的低温管道，管塔受到的垂直力和水平力都很大，所以管塔的设计也是相当有难度的。管塔的设计主要考虑管塔的宽度、每层钢结构层高、垂直管道导向间距要求和塔顶弹簧的设置。管塔宽度根据上管塔管子数量及间距要求确定，注意考虑管子数量时不能漏了上管塔的两根消防主管道和积液盘溢流管道。管塔每层钢结构层高主要考虑检修通道的需和上管塔的管道立管的最大导向间距确定。

由于上管塔的管道基本上都是低温大管道，管道必须经过详细应力计算。且上下管塔低温管道的柔性收缩，管道可能存在脱架情况，因此管塔上下还需设置弹簧支架。管塔上的各点的受力情况十分复杂，管塔受到的垂直力和水平推力都很大，管塔的结构设计很难。配管根据应力报告结果，把管塔各层高管道钢结构的点荷载、集中荷载和均布荷载提供结构专业，结构专业才能校核管塔钢结构是否满足管塔荷载。

2.3 技术要点三：潜液泵主平台的配管

潜液泵主平台的配管是 LNG 储罐配管设计的重点和难点。首先是潜液泵的定位，及吊装轨道设计、吊装梁高度设计。吊装高度需根据潜液泵厂家尺寸及电动葫芦尺寸计算。潜液泵定位好了，主平台配管也是难点，主要原因是潜液泵主平台低温管道多、阀门多、自控仪表阀多、低温管托直管段要求长管道穿平台众多、平台立柱横梁众多，平台与积液盘标高层高低，

导致潜液泵主平台配管较困难。主平台管道多为低温管道，且潜液泵管口带角度，管道也是带角度的，管道管径大又是低温管道需满足柔性要求，配管需要通过管道自然补偿，并避开众多泵吊装立柱，且平台上管子需要尽量少，管道无阀门的地方都要走平台下，且管道尽量不要穿积液盘，配管相当难布置。在配管初步确定后，需要提给应力做应力计算，并结合应力意见调整优化。

配管要点：

在满足工艺要求、满足应力柔性要求下，平台上管道应布置整齐美观、阀门检修操作方便，无阀门的管道尽量布置在平台下方。平台下方的管道由于立柱梁网结构复杂，配管设计时需要在满足工艺要求的前提下，综合各专业意见。

LNG 储罐管道布置在满足柔性分析的条件下，需要遵循“管道短、弯头少、袋形少”的原则。GB/T 51257-2017《液化天然气低温管道设计规范》^[3] 标准专门针对 LNG 低温管道设计做了要求。

除材料变化、仪表连接、维修要求必须采用法兰连接外，管道宜采用对焊连接，低温管道的选材法兰应考虑锻件。低温管道上的弯头和三通不宜与法兰直接焊接，应设置一段不小于保冷厚度的直管段。管道应采用保冷防腐措施。

LNG 管道设计温度在 -170°C ，LNG 管道阀门属于低温阀门。由于低温阀门采用长颈阀盖结构，低温阀门在安装时阀杆方向必须在垂直向上的 45° 角范围内（防止阀门填料失效），所以 LNG 液态管道的所有阀门需要安装在水平管道上。LNG 阀门一般选用有泄压结构的低温球阀，球阀有泄压方向的要求。配管时应严格按照 PID 中球阀泄压方向设置。否则泄压的方向一旦装错，则可能将可燃 LNG 介质，泄向操作检修侧，造成人员伤害。

2.4 技术要点四：罐顶放空平台的设置

LNG 储罐属于甲 B 类液体储罐，储罐罐顶需设置安全泄压装置和呼吸阀。因储罐采用了氮气气封措施，罐顶还应设置事故泄压自动仪表阀门。

罐顶放空平台主要有高点放空的安全阀、呼吸阀、事故泄放仪表阀和消防干粉灭火撬块。呼吸阀是固定在储罐顶上的通风装置，以保证罐内压力的正常状态，防止罐内超压或真空使储罐遭受损坏，也可减少罐内液体挥发损失。罐顶安全阀的放空高度应高出 10m 范围内平台 3.5m 高度，安全阀放空管低点处设置泪孔，

防止积水，并在排放口设置防鸟网。

由于 LNG 储罐罐顶安全阀管径较大，安全阀出口的排气反力和瞬时力较大，因此此处的集中荷载较大，此处安全阀管线的瞬时荷载一定要找应力计算，并提供给机械专业。安全阀放空瞬时荷载较大，平台机械计算荷载时也不容易算过，此平台也应尽量设置低而窄。

2.5 技术要点五：罐顶消防干粉灭火系统及消防喷淋装置

LNG 双金属全容罐的罐顶消防干粉灭火系统及消防喷淋装置是很重要的设施，在储罐发生火灾时，它能及时的降低储罐表面的温度，避免储罐温度过高，LNG 大量气化导致储罐爆炸，及将火势蔓延的邻居装置。

储罐罐顶设置消防干粉灭火系统，储罐管壁一圈设置多层消防喷淋管道和消防喷淋装置。消防喷淋装置一般是由专业厂家来做，配管应当及时与厂家沟通喷淋管道的位置及要求，避免与工艺管道相撞。并需要引入消防喷淋管线的主消防水管道。一般主消防水管道都是从地下管网引入 LNG 储罐管塔，并上罐顶。同时也需要在罐底设置消防喷淋水的收集沟，以便及时排放消防喷淋水。

3 结束语

LNG 双金属全容罐的配管设计是国内城市 LNG 天然气应急调峰建设项目的重点和难点。配管设计时应把控好从设备布置，罐顶各平台定位、潜液泵定位和管口方位定位，管塔的设计，潜液泵主平台配管，罐顶放空平台设计、罐顶消防干粉灭火系统及消防喷淋装置的每一个环节，确保 LNG 储罐在满足工艺要求和安全性能的前提下，做到储罐管道布置整齐美观、设备阀门检修操作方便。

参考文献：

- [1] GB50160-2018. 石油化工企业设计防火规范 [S]. 北京：中华人民共和国住房和城乡建设部，国家市场监督管理总局，2018.
- [2] GB/T20368-2012. 液化天然气 (LNG) 生产储存和装运 [S]. 北京：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，2012.
- [3] GB/T51257-2017. 液化天然气低温管道设计规范 [S]. 北京：中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2017.