

浙江 LNG 接收站项目气化器选型及系统优化

吕俊 王蕾

(中海浙江宁波液化天然气有限公司)

吕俊等.浙江 LNG 接收站项目气化器选型及系统优化.天然气工业,2008,28(2):132-135.

摘 要 气化器作为接收站的重要设备决定并影响着整个 LNG 接收站及输气管道的正常运行。针对浙江地区环境条件和浙江 LNG 接收站项目自身操作参数,从热源、材料、类型、经济性等方面分别进行讨论,选出以海水为热源的中间介质气化器(IFV)及空气为热源的空温式换热器(Smart V)作为基荷气化器,并辅以开机速度块,投入少的浸没燃烧式气化器(SCV)作为备用气化器。然后根据一次性投入和25年运行成本的计算及比较,得出4台IFV+2台SCV比4台Smart V+2台SCV的气化系统节约固定投资及运行成本约50%,且前者在技术性及可操作性上也具备一定的优势。

主题词 液化天然气 气化器 气化 系统 选择

一、气化器热源选择

气化器是接收站的重要设备^[1]。气化器有自然(空气、海水)与人工(工业热载体、蒸气)等热源。根据浙江 LNG 项目所处地理位置和环境,可供选择的热源有:海水、蒸气或热水、空气和工业专用传热载体(例如导热油、水乙二醇混合物)等。

1. 海水热源

接收站位于浙江省宁波市北仑区,三面环山,面朝大海。海水作为 LNG 气化热源,具有来源直接、资源丰富、操作成本低廉等优点。站址附近海水温度变化情况为:年平均水温为 18.84℃;极端最低水温为 7.8℃。根据水质检测结果,该地区海水含有大量的全固体、溶解态固体和悬浮固体,大小在 1~20 μm 之间,含量为 1213~18454 mg/L,水质较差。

2. 空气热源

接收站站址属北亚热带季风气候,地区年平均气温为 16.6℃,极端最低气温为 -6.6℃。空气作为热源不利的是,由于加热介质是空气,膜传热系数及设备总传热系数相对较低,空气侧须采用翅片管以强化传热,使设备尺寸及数量都要增加;空气热源气化器须由动力驱动风机强制空气流动,需要一定的操作成本。

3. 蒸气热源

蒸气作为热介质被石油、化工行业广泛采用,但使用蒸气或热水时存在易结垢、安全性能差等弊端。

另外,随着 LNG 流量变化,加热蒸气的流量和压力也需进行调节。这对于相流经常变化的蒸气,可能会造成调节滞后,达不到预期控制精度的要求。所以蒸气热源作为加热介质既不经济也不可行。

4. 导热油热源

导热油是石油、化工等工业上常用的加热介质,但最大劣势在于操作成本较高。而且,根据目前导热油锅炉容量,项目共需 10 套装置。所以,虽然具备一定的可行性,但缺乏经济性。

二、气化器选材

气化器选材直接影响到气化器的选型及将来接收站能否持续稳定地运营。由于下游管网的需求,浙江 LNG 气化器 LNG 侧设计压力须大于 8 MPa。根据《压力容器安全技术检查规程》,设备属于高压三类容器。LNG 气化操作温度范围为 -162~0℃,其材料须耐低温,因此普通碳钢、低合金钢都无法满足要求。虽然 LNG 对材料腐蚀性很小,但气化器若采用海水作为热源,海水侧则必须选用抗海水腐蚀性能较好的材料,如双相不锈钢、Al-Zn 合金、铁白铜、钛材等;如果采用空气或导热油热源,则无此要求。综合来讲,低温、高压、抗腐蚀性三大因素决定了 LNG 气化器材料的选择。

1. 304 L 不锈钢

304 L 不锈钢是一种通用性的不锈钢,广泛用于制作各种综合性能要求良好的设备和机件^[2]。其抗

作者简介:吕俊,1977年生,工程师,硕士,2005年毕业于浙江大学;现从事项目管理工作。地址:(315010)浙江省宁波市中山西路226号新兴大酒店11楼。电话:(0574)87082954。E-mail:lvjun2@cnooc.com.cn

晶界腐蚀能力优秀,使用温度为-196~800℃。

2.316 型不锈钢

316 型不锈钢在海洋和化学工业环境中的抗点腐蚀能力较强。但 316 钢种的综合强度和机械性能较弱。根据项目的输出压力,所需材料厚度将超出国内不锈钢材料标准要求 60 mm 的限制。因此在本项目中不适用。

3.铁白铜

铁白铜为结构铜镍合金,有良好的力学性能,在海水、淡水和蒸气中具有高的耐蚀性,但不能用于-162℃工况,所以在本项目中不适用。

4.A1-Zn 合金

Al-Zn 合金耐海水腐蚀优良,其工作温度可达-269~200℃,但在使用中易附着海生物,减短设备使用寿命。另外,根据 GB151-1999《管壳式换热器》规定,铝和铝合金管用于换热器时,其设计压力应不大于 8.0 MPa,且根据日本接收站运营商多年经验,当海水中悬沙含量大于 80 mg/L 时,Al-Zn 合金制造的气化器寿命将大大降低。所以,Al-Zn 合金也不推荐使用。

5.双相不锈钢

双相不锈钢具有良好的抗氯化物应力腐蚀性能、抗点腐蚀性能和较高的强度,但其适宜工作温度为-40~250℃,因此也不适用。

6.钛和钛合金

钛是具有强钝化倾向的金属。钛及钛合金在大部分介质中均具有良好的抗腐蚀性能;钛还具有非常良好的低温性能,使用温度可达-269℃;钛的强度也较高,设计压力可达 35 MPa。各种金属在海水中的相对抗蚀能力见表 1^[3]。从表中看出,在浑浊海水中,只有钛可以保持较高的抗蚀性。

表 1 各种材料在海水中的抗蚀性比较表

材料	海水水质	全面腐蚀	点蚀	应力腐蚀开裂	冲击腐蚀
钛	净	1	1	1	2
	浊	1	2	1	2
黄铜合金	净	2	1	1	2
	浊	2	4	4	2
铜镍合金	净	2	1	1	3
	浊	2	4	4	3
不锈钢	净	1	2	1	1
	浊	2	4	4	1

注:其中干净海水定义:悬沙小于 80 mg/L;浑浊海水定义:悬沙大于 80 mg/L。1 为非常优秀,2 为良好,3 为普通,4 为不合格。

三、气化器选型

目前市场上比较成熟的气化器类型比较和选择如下。

1.以海水为热源的气化器

(1)开架式气化器(ORV)

开架式气化器(open rack vaporizer)是目前应用最广的基本负荷型 LNG 气化器。通常以海水或电厂的循环水为热源,运行成本低廉。

在开架式气化器中,LNG 从下部总管进入,然后沿着成幕状结构的 LNG 换热管上升,与经分布器分配后下降的海水换热,气化成常温气体送出。

(2)中间介质气化器(IFV)

中间介质气化器(intermediate fluid type LNG vaporizer)是一种在日本应用较广的基本负荷型 LNG 气化器。气化器由 LNG 气化加热单元和天然气加热单元两部分组成。在气化加热单元,丙烷作为中间加热介质,被海水加热气化,气化后的丙烷蒸气去加热低温 LNG,使其在管程内气化为低温天然气。在天然气加热单元,被气化的低温天然气经海水再升温后(大于 0℃)进入天然气总管。气化流程见图 1^[4]。由于 IFV 的换热管采用了钛金属,所以即使海水水质恶劣,IFV 也能安全稳定的运行。

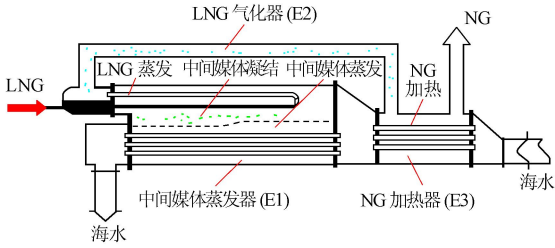


图 1 中间介质气化器气化流程图

(3)海水热源气化器的比较与选择

ORV 是全球应用最广的气化器。由于其低廉的投资和运营成本,ORV 已被广泛应用于 LNG 行业。但根据 ORV 制造厂商提供的可适用海水标准来看,若确保 ORV 防腐层在 7~8 年不出现问题,海水含固体悬浮物的浓度应小于 10 mg/L。而据前所述,若使用 ORV 作为本项目气化器,其防腐层寿命将大大缩短。所以从安全性及维护成本考虑,对以海水为热源的气化器,IFV 是最可行的选择。

2.空气为热源的气化器选择

空温式气化器主要是依靠吸收大气环境热量而实现气化功能。在气温较低的地区,气化将达不到额定值,需要其他备用热源来进行 LNG 换热。

Smart V 空温式换热器 (smart vaporizer) 采用混合热介质的加热方式。在气温较高时,完全采用空气作为热源;当气温太低无法担负气化 LNG 的全部热负荷时,起用备用热源。但 Smart V 因占地较大、一次性投入非常大、在寒冷季节需要起用备用热源,因此操作成本较高。

3.其他类型气化器选择

其他类型气化器最主要有浸没燃烧式气化器 (SCV) 和蒸气加热式气化器 (SEV)。SCV (submerged combustion vaporizer) 包括换热管、水浴池、浸没式燃烧器、燃烧室和鼓风机等。在 SCV 中, LNG 通过热水淋浴而被气化,热水通过燃烧的天然

气被间接加热,这种蒸发器的热效率可超过 95%,且安全可靠^[5]。但由于需要消耗天然气(在水温为 30℃时,消耗天然气约 1.33%)故运行成本较高。所以 SCV 一般不作为基本负荷型气化器,主要用于调峰和备用。

四、气化器系统的组成及经济性

根据上述讨论,按照浙江 LNG 项目自身特点,气化器只有从 IFV、Smart V 及 SCV 中选择。选择操作成本较低的 IFV 或 Smart V 作为基荷气化器,可同时具备可行性和经济性。另选启动速度快、投入小、占地少的 SCV 作为前两者的备用气化器,组合形成气化系统,将大大增强整个系统的可靠性。下面对 IFV+SCV 或 Smart V+SCV 这 2 套系统分别进行经济性计算,以进一步比较而得出优化系统。

1. IFV+SCV 气化系统

(1) 固定资产投资

1) IFV4 台, SCV2 台

按接收站最大小时输出量 942 t/h 计算,如果按每台气化器 240 t/h 的能力(目前单台设备最大能力),接收站需要 4 台 IFV。另选 2 台 SCV (120 t/h) 作为备用(见图 2)。

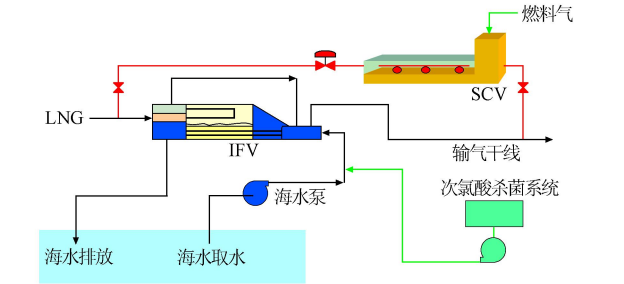


图 2 IFV+SCV 气化系统组成图

2)其他

另取水头、海水排水口各一座,相应的还有海水泵、取水和排水管线、海水过滤装置及安装等投资。

(2) 运行成本计算

IFV+SCV 系统的运行费用主要体现在 IFV 配套海水泵的电力消耗上。根据经验,IFV 每气化 1 t LNG,约需耗电 9.57 kWh。以 25 年计算,运行费用=25 年 LNG 需求量×9.57 kWh/t×电费=708.9 (百万元)。

维护费用按照固定投资的 1% 计算(运营商经验值)。

根据上述公式计算的结果见表 2。

表 2 IFV+SCV 气化系统投资和运行成本表

项 目		IFV	SCV	其他
固定资产投资(百万元)		208.8	31.6	90
运行成本(百万元)	运行	708.9	/	/
	维护	52.2	7.9	/

2. Smart V+SCV 气化系统

(1) 固定资产投资

1) Smart V 4 台, SCV 2 台

按 Smart V (240 t/h)、SCV (120 t/h) 计算。其中 SCV 作为 Smart V 的备用。

2)其他

包括相应的中间介质输送泵、缓冲罐、阀门、管线、配套的控制系統及其安装等投资。

(2) 运行成本计算

Smart V+SCV 系统的运行费用主要体现在 Smart V 配套的风机、中间介质循环泵、补热炉的电力消耗上。Smart V 每气化 1 t LNG,约需要耗电 12 kWh。运行费用=25 年 LNG 需求量×12 kWh/t×电费。

维护费用按照固定投资的 1% 计算(运营商经验值)。

根据上述公式计算的结果见表 3。

上述两种气化系统经济性比较见表 4。

表 3 Smart V+SCV 气化系统投资和运行成本表

项 目		Smart V	SCV	其他
固定资产投资(百万元)		909.2	31.6	12
运行成本(百万元)	运行	888.9	/	/
	维护	227.3	7.9	/

表 4 IFV+SCV 与 Smart V+SCV 系统经济性比较表

项 目	固定资产投资 (百万元)	运行成本 (百万元)	总 计 (百万元)
IFV+SCV	330.4	769	1099.4
Smart V+SCV	952.8	1124.1	2076.9

五、结 论

(1)气化器热源有自然热源与人工热源等。根据浙江 LNG 项目自身特点,笔者认为以海水与空气为热源是经济、可行的方案。

(2)气化器的选材应从项目自身特点、热源性质及材料特性综合考虑。若采用海水作为气化器热源,钛和钛合金材料具有可行性;如采用其他热源,304 L 不锈钢则可行。

(3)若以海水作为热源,考虑到项目海水的特性,IFV 最可行;若以空气作为热源,使用 Smart V 具有可行性。另外,体积小、开机速度快但操作费用高的 SCV 可作为上述两种基荷气化器的备用气化器而构成气化系统。

(4)根据表 4 可以得知,IFV+SCV 组成的气化系统在固定资产投资及运行成本上远低于 Smart V+SCV 构成的气化系统。另外,如果从 Smart V+SCV 气化系统占地面积大、系统构成复杂、控制繁琐等因素综合考虑,笔者认为本项目气化系统应由 4 台 IFV (240 t/h)+2 台 SCV (120 t/h)构成。

参 考 文 献

[1] 初燕群,陈文煜,牛军锋,等.液化天然气接收站应用技术[J].天然气工业,2007,27(1):120-123.

[2] 解鲁生,张海利.管壳式换热器选材问题的探讨[J].区域供热,2002(5):3-8.

[3] 伊藤英男.Titanium application in nuclear power plant[J].Japan Titanium Society,1988,34(4):229-242.

[4] 方江敏,钱颂文.新一代的节能装置——自然能液化气气化器[J].化工装备技术,2002,23(5):16-19.

[5] 王育明.液化天然气的储存和气化工艺及其冷能利用[J].石油规划设计,2004,15(3):17-18.

(修改回稿日期 2007-12-24 编辑 赵 勤)