

# LNG 接收站浸没燃烧式气化器运行与维护

吴建宇（江苏液化天然气有限公司，江苏 南通 226400）

**摘要：**浸没燃烧式气化器（SCV）作为目前LNG行业常见的气化器广泛应用于各个接收站，其主要具有热效率高、运行稳定、操作简便等特点，主要在接收站冬季海水温度低且生产负荷大的时候使用，用于增加外输量和补充开架式气化器（ORV），因海水温度限制造成的气化能力不足，或因海水泵检修而造成ORV不备用的情况下投用，维持接收站正常负荷运行，本文以德国塞拉斯林德公司所生产的SCV举例，其同样适用于国产SCV。

**关键词：**LNG 气化器；SCV；结构；原理；运行维护

气化器作为LNG接收站的核心设备起着将液化天然气（LNG）气化为天然气（NG）进行外输的重要作用，目前液化天然气（LNG）接收站可选择的气化器种类繁多，具体根据生产成本、气候环境、外输负荷等因素，去选择不同类型的气化器。海水水质良好，冬季水温较高的南方地域的LNG接收站选用开架式气化器（ORV）和中间介质气化器（IFV）较多，而冬季海水温度较低且冬季保供任务重的北方地域LNG接收站则选用浸没燃烧式气化器（SCV）作为主要气化器来应对大负荷外输，但因为浸没燃烧式气化器（SCV）需要燃料气燃烧产热来进行热量传递，其生产成本相对于ORV与IFV来说偏高。SCV设备结构的动设备有鼓风机与冷却水泵，静设备则囊括燃烧室、烧嘴、换热管束，与其他气化器相比较为复杂，仪表阀门较多，所以故障率较高，日常维护也相对频繁，所以对SCV进行分析优化来提高生产运行的稳定性，保障冬季生产任务顺利完成起着至关重要的作用。

## 1 SCV 的结构与工作原理

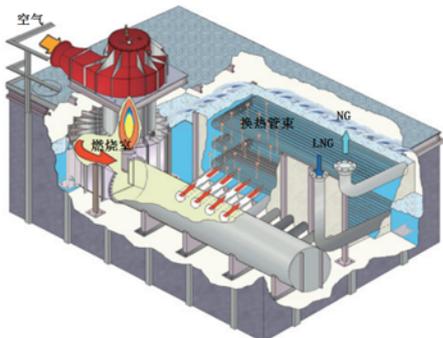


图1 浸没燃烧式气化器工作原理

SCV的工作原理如图1所示，空气与燃料气在燃烧器内按比例混合后完全燃烧，燃烧后的高温烟气从烟气分布支管上的排气孔喷射到水浴池中，在水浴中形成大量的气泡，迅速上升加热并搅动水浴，烟气与

水直接接触换热，湍动的水浴再通过浸没在水中的换热管加热管内的流体，使管内的LNG气化。换热后的废气从烟囱排放大气，而燃烧产生的水则从溢流口排出。

SCV的主体结构大致分为燃烧器、换热管束、烟气分配器、溢流堰、烟囱、鼓风机、冷却水泵、碱罐以及配套仪表及管线等。SCV燃烧器为双螺旋通道的扩散式燃烧器，无耐火内衬，采用低NO<sub>x</sub>型烧嘴，具有负荷调整范围宽，燃烧稳定，NO<sub>x</sub>低排放等特点，能够保证烟气排放NO<sub>x</sub>浓度≤45ppm，CO浓度≤80ppm。其由顶部蜗壳、中间锥体和底部蜗壳组成。加压后的空气分两路进入燃烧器燃烧。一次风从燃烧器底部进入燃烧室（约占总风量的20%），与燃料气进行贫氧燃烧，可降低中心区域的燃烧温度，抑制高温区域内氮氧化物的生成。二次风（约占总风量的80%），从燃烧器顶部蜗壳进入燃烧室，在蜗壳的作用下在燃烧室外围区域形成强烈旋流，使燃烧室内温度分布均匀。燃料在二次风的作用下进一步燃尽，生成的高温烟气喷射进入溢流堰与水浴换热。SCV换热管束位于围堰内部的水浴中，管外为湍动的水浴，管内为被加热的流体介质，LNG在管内从下往上流动，吸收管外传递的热量，温度逐渐升高气化为NG外输。烟气分布器由分配总管和分配管组成，通过法兰与燃烧器出口烟道相连。燃烧产生的高温烟气经烟气分布器喷射入水浴，加热池水并使水浴产生湍动，增强换热。分配总管、分配管及分配管上烟气孔共同组成的烟气通道可以确保管束周围气泡的均匀分布，并使气泡贯穿整个负荷变化范围。溢流堰分为上部箱体、下部箱体、总管支撑三部分，将管束四周完全包围，仅保留顶部与底部未被覆盖。其功能是将燃烧生成的烟气限制在溢流堰内部，使烟气仅在溢流堰内的水浴槽

中，从而与溢流堰内管束实现换热。烟囱的烟气进口处安装除雾装置，限制水浴槽水的进入。充足的分散空间、较低的排气烟囱排放速度以及除雾器的特殊排列可确保最少的烟气带水量。

## 2 SCV 的运行与控制原理

SCV 的运行原理主要分为启停机的逻辑控制和运行控制，SCV 整机启动自动化程度比较高，可以从上位机按逻辑顺序进行手动启动，也可以“一键启动”。

“一键启动”命令来自 DCS 系统或装置自身控制系统，两者间形成互锁状态，在上位机上可以进行两者间的切换。如果系统有禁启报警，应首先进行报警复位，报警解除后再进行启动。以现场 LCP（就地控制柜）启动为例，在 SCV 操作站上确认启机联锁，控制状态为“Operator is from LCP（就地控制）”后，操作人员即可在现场 LCP 上按下整机启动按键，一键点火启动，SCV 会按照自身的 MCC 逻辑，对设备各单元进行顺控，流程如图 2 所示。



图 2 浸没燃烧式气化器启机顺控

当 SCV 运行信号传输到系统以后，才能收到 LNG 许可信号，才允许开阀让 LNG 进入装置进行汽化。相对于启机来说，SCV 设备停机更为简单，MCC 收到停机信号后，燃烧器先停止工作，然后鼓风机对装置进行吹扫，吹扫结束后装置待机。SCV 运行控制分为天然气出口温度控制、水浴酸碱 pH 值控制以及水浴电

加热控制。在 SCV 运行期间，控制程序中设置了独立的天然气温度控制 PID 回路：①检测变量（PV）：天然气出口温度；②设定值（SP）：5℃（以德国塞拉斯林德公司所生产的 Sub-X® 型气化器举例）；③回路输出值（CV）：0~100%。

回路的输出值直接作为四台调节阀的开度给定。4 台调节阀分别为：燃料气调节阀 FCV01、鼓风机进口风量调节阀 FCV02、助燃空气调节阀 FCV03、抑制 NOx 冷却水调节阀 FCV04，以此来调节控制设备运行。

水浴酸碱度 pH 值控制是鼓风机和水泵运行后，加碱阀会根据水浴中 pH 计所测酸碱度来开关阀门，将水浴 pH 值控制在 6~7 之间。当 pH 值小于 6 时，加碱阀打开；pH 值大于 7 时，加碱阀关闭，在燃烧器燃烧过程中，即便有冷却水对烧嘴部位进行降温，但是燃料气燃烧时仍然会产生 NOx 和 CO<sub>2</sub> 等，这些物质会溶解到水中，使 SCV 水浴的水 pH 呈酸性，酸会对混凝土罐内管道等设施产生腐蚀，所以需要向水浴中加入碱中和酸使水浴的水呈中性，维持水浴 pH 稳定也是 SCV 能够平稳运行必不可少的一环。

水浴电加热器控制则是在装备处于停机状态下，为了防止因为气温过低而导致水浴结冰，系统会根据水浴温度启动水浴电加热器，让设备保持备用，避免因水浴结冰而造成的设备故障。

## 3 SCV 日常维护与保养

SCV 因为管线仪表众多，配套设备复杂的原因，故障点也相对较多，所以做好日常维护保养是能够保证设备正常使用的前提。当 SCV 启机预冷时，要注意控制冷却的速度，防止 LNG 入口阀门、法兰因为冷热不均造成泄漏。当 SCV 增减负荷时，增减 SCV 的负荷一定要注意查看 NG 出口温度以及火检值，两者任意一个偏小时，都应放缓负荷调整的速度，防止因为负荷调节过快导致 NG 出口温度过低或火检值过低触发联锁导致设备跳车，当 SCV 在正常运行时，现场需要对设备进行定期巡检，巡检要点大致分为以下几个方面：①各个就地显示表是否正常；②各个阀门是否有泄漏；③风机入口是否有杂物；④鼓风机润滑油颜色及液位是否正常；⑤鼓风机是否存在漏油；⑥风机运行声音是否异常；⑦冷却水泵的润滑油颜色及液位；⑧冷却水泵运行声音振动是否正常；⑨碱罐的液位。在 SCV 长时间备用时，应定期检测化验水浴池内水的质量，确保氯离子、pH 值均在合格的范围内，若发现水浴水变质，应及时更换。在 SCV 维修后，SCV 进

行内部维修或是干备用后,重新向水浴池注水时,一定要确保注入的是合格的软化水,且氯离子的含量也应在合格范围之内。当 SCV 在冬季运行时还应注意若气温低于 5℃ 时,应在上位机上手动启动冷却水泵,同时需定期检查各管线的电伴热都在正常运行。

除此之外,建议每月对 SCV 进行一次月度测试,每年对 SCV 进行一次详细检查。

SCV 的月度测试有以下内容,仪表风供应是否正常、各个仪表显示是否正常、碱罐内的液位是否足够、结构或主要部件有损坏迹象、燃烧器顶板是否固定牢固、水浴池有无明显泄漏、点火时点火枪动作是否正常、观火孔是否有杂物、火焰探测器工作是否正常、冷却水泵运行声音是否正常、运行时冷却水泵出口压力是否正常、运行时燃烧嘴冷却水分配阀门动作是否正常、运行时冷却水流量是否正常、运行时冷却水回水口是否有水流出、燃料气压力调节阀是否能正常调节、点火时各个阀门是否能按程序设定正常开关、燃料气流量调节阀是否能正常动作、燃料气流量计是否正常、出口气动阀门动作是否流畅、鼓风机隔音室内是否有杂物、鼓风机隔音室是否漏水、鼓风机轴承润滑油液位是否足够、运行时鼓风机轴承温度是否正常、运行时电机三相温度是否正常、运行时电机轴承温度是否正常、运行时鼓风机振动是否正常、运行时鼓风机入口阀门动作是否正常、运行时空气分配阀门动作是否正常、运行时空气流量是否正常、运行时空气压力是否正常、控制盘上指示灯是否正常、控制盘上按钮外观是否正常、HMI 系统(上位机)是否可以正常使用、HMI 系统是否有不可复位报警。

SCV 年度检查对于 SCV 结构检查较多,从燃烧室内部检查燃烧喷嘴底部螺纹连接是否紧固、结构是否损坏;喷气孔有无污垢,是否堵塞;检查冷却水盘管有无破损腐蚀、有无积碳现象;检查燃烧室壁板、底板以及烟气管道有无损坏腐蚀、有无积砂、积碳、积垢;检查水浴池底部有无积砂、遗留物,防腐层是否损坏;检查管线、设备连接有无松动、锈蚀、连接处有无缝隙;检查换热管束有无变形、腐蚀、结构;检查烟气分配管喷气孔有无污垢、是否堵塞;检查烟囱底部孔网是否破损;检查燃烧炉构件有无损坏、锈蚀;检查水浴顶板有无损坏、松动;检查管道及其撬装有无损坏、泄漏。

#### 4 SCV 运行中存在的故障及解决方案

SCV 在运行中可能会发生一些故障,现拿其中比

较常见的故障举例,如表 1 所示。

表 1

故障	产生原因	解决方法
火检失败	LNG 负荷调节过快导致火检值波动	放缓负荷调节的速度
火检失败	积垢堵住火焰探测器探测口导致探测器检测不到火焰	清理污垢
燃烧不充分	阀门安装校准出错导致空燃比不合适	重新校正
燃烧不充分	烧嘴安装时底部螺纹连接未紧固,运行时气流移动其位置,无法得到良好冷却而烧坏	更换燃烧喷嘴
鼓风机异响/振动值高	润滑油液位低	添加润滑油
冷却水压力低	出口过滤器堵塞	清理过滤器
冷却水压力低	冷却水泵密封漏水	更换密封
水浴 pH 值低	碱罐碱量不足	添加 NaOH
撬装设备连接处泄漏	预冷速度过快	降低预冷速度

#### 5 结束语

由于 SCV 设备一般属于冬季调峰关键设备,尤其是北方 LNG 接收站,海水温度降低到 ORV 或者 IFV 不能够使用时,SCV 的正常运行至关重要,关系到 LNG 接收站的外输量。各 LNG 接收站选用的 SCV 厂家不同,但原理都相同,接收站各专业应该根据 SCV 厂家的技术资料 and 实际运行情况,制定 SCV 设备专用的检修资料。SCV 属于成套设备,自动化程度高,尤其是 PLC 控制程序,集成在工艺包内,一旦出现问题,如点火不成功,燃料气燃烧不完全等,需要接收站维护人员掌握一定的检修技能,包括点火空燃配比测试,PLC 控制程序检测等。目前,进口浸没燃烧式气化器(SCV)在国内各 LNG 接收站占据主导地位,日常维护的经验比较缺乏,邀请国外厂家检修费用高昂,因此掌握 SCV 的日常维护对设备的生产运行至关重要。

#### 参考文献:

- [1] 马文婷,等.国内液化天然气接收站海水气化器的比较与选择[J].石油化工设备,2014,43(04):93-97.
- [2] 梅丽,等.国内首台浸没燃烧式气化器 SCV 燃烧器结构分析[J].天然气技术与经济,2017,11(S1):9-12.
- [3] 刘世俊,郭超,雷江震等.浸没燃烧式 LNG 气化器燃烧器的研究[J].城市燃气,2016,49(05):9-13.
- [4] 王玉娟,等.LNG 浸没燃烧式气化器的传热特性及运行优化[J].天然气工业,2021,41(06):134-143.

#### 作者简介:

吴建宇(1995-),男,汉族,河北石家庄人,大学本科,助理工程师,研究方向:LNG 接收站生产运营。