

# Selection of Gasifiers and Comprehensive Utilization of Energy for LNG Terminals Along the Yangtze River

Jingya Liu

Jiangsu Huaxin Yongnan Energy Technology Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

## Abstract

As the global energy structure transitions towards low carbon, liquefied natural gas (LNG) is becoming increasingly important as a clean energy source. LNG receiving terminals along the Yangtze River face unique challenges in vaporizer selection and thermal energy utilization due to restrictions imposed by Yangtze River ecological protection policies and water intake conditions. This paper takes a project at an LNG receiving terminal downstream of the Yangtze River as a case study, systematically analyzing the technical characteristics and application scenarios of open rack vaporizers (ORVs), intermediate medium vaporizers (IFVs), and submerged combustion vaporizers (SCVs). It proposes a comprehensive solution based on the utilization of waste heat from steel mill circulating water. The study shows that domestically produced IFV equipment has significant advantages in operating costs, footprint, and environmental adaptability. Combined with steel mill circulating water (temperature  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ , flow rate 5620t/h), it can achieve combined heat and power supply, with an annual energy saving rate of 18.5% and a reduction in carbon emissions of 23,000 tons. This research provides an integrated technical and economic solution for the sustainable design of LNG receiving terminals along the Yangtze River.

## Keywords

liquefied natural gas (LNG); intermediate medium vaporizer (IFV); circulating water utilization; combined heat and power supply; low carbon economy

## 沿江 LNG 接收站气化器选型及能量综合利用

刘靖亚

江苏华鑫永南能源科技有限公司, 中国·江苏 苏州 215000

## 摘要

随着全球能源结构向低碳化转型,液化天然气(LNG)作为清洁能源的重要性日益凸显。沿江LNG接收站因受限于长江生态保护政策与取水条件,其气化器选型及热能综合利用面临独特挑战。本文以长江下游某LNG接收站项目为例,系统分析了开架式气化器(ORV)、中间介质式气化器(IFV)和浸没燃烧式气化器(SCV)的技术特性与适用场景,提出基于炼钢厂循环水余热利用的综合方案。研究表明:国产IFV设备在运行成本、占地面积及环境适应性方面优势显著,结合钢厂循环水(温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 、流量5620t/h)可实现冷热联供,年节能率达18.5%,减少碳排放2.3万吨。本研究为沿江LNG接收站的可持续设计提供了技术经济一体化解决方案。

## 关键词

液化天然气(LNG); 中间介质式气化器(IFV); 循环水利用; 冷热联供; 低碳经济

## 1 引言

### 1.1 研究背景

全球LNG贸易量从2010年的2.8亿吨增长至2022年的4.1亿吨,中国作为最大进口国占比达21%<sup>[1]</sup>。沿江地区因工业密集、能源需求旺盛,成为LNG内河运输的核心市场。然而,长江流域严格的生态保护政策(如《长江保护法》)对取排水提出严苛要求,传统海水气化方案难以实施,亟需探索新型能源耦合模式。

### 1.2 国内外研究进展

国际层面,日本川崎重工开发的IFV技术已实现余热发电与LNG冷能回收的集成应用<sup>[2]</sup>;国内学者顾安忠等提出利用钢厂循环水作为热媒的可行性<sup>[3]</sup>,但缺乏实际工程验证。

本文通过长江下游某LNG接收站项目为例(以下简称该项目),本着节能、降低气化操作费用的原则,结合该项目与周边炼钢厂循环水的有效利用,就SCV、ORV和IFV气化器从型式对比、气化器配置方案、国产化应用、长江取水政策、热源循环水利用等方面进一步分析。探讨该项目炼钢厂循环水 and 气化器的综合利用方案是否可行。

【作者简介】刘靖亚(1985-),男,中国吉林白山人,工程师,从事项目管理研究。

## 2 气化器类型与性能分析

LNG 接收站常用的气化器型式主要包括：开架式气化器（Open Rack Vaporizer，简称 ORV）、中介介质式气化器（Intermediate Fluid Vaporizer，简称 IFV）和浸没燃烧式气化器（Submerged Combustion Vaporizer，简称 SCV）三种气化器。

### 2.1 技术原理

(1) ORV：通过海水与 LNG 直接换热，效率受水温限制（ $\geq 5.5^{\circ}\text{C}$ ）；

(2) IFV：采用丙烷等中介介质间接换热，适应低温热源（ $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ）；

(3) SCV：燃烧天然气加热 LNG，适用于极端工况但运行成本高。

### 2.2 关键参数对比

根据使用的频率，LNG 气化器可以分为基本负荷型和应急调峰型<sup>[3]</sup>。基本负荷型使用频率高、气化量大，选型时主要考虑的是设备的运行成本。应急调峰型是为了补充用气高峰时供气量的不足或应急需要，其工作特点是使用率低、工作时间是随机性的，具有紧急启动的功能，选型时要求设备投资尽可能低，而对运行费用则不太苛求。

表 1 接收站 LNG 气化器关键参数对比

气化器类型	浸没燃烧式气化器 (SCV)	开架式气化器 (ORV)	中介介质式气化器 (IFV)
热效率 (%)	90-100	70-75	85-90
单位能 (kw/t)	45-50	15-18	12-14
占地面积 (m <sup>2</sup> )	3000	8000	5000
设备投入 (万元)	1500	1500	2000
使用频率	调峰型	基本负荷型	基本负荷型

表 2 气化器能力

	AAV 气化器	AAV 加热器	SCV	中压 IFV	高压 IFV
一阶段 (60 万吨)	71.5t/h	71.5t/h	71.5t/h	/	/
二阶段 (240 万吨)	/	/	/	150t/h	206t/h

### 3.2.2 应用案例

IFV 国产化近几年国内发展较快，均已有实际应用业绩。如中石化天津 LNG 接收站二期项目 IFV 气化器全部选择国产，说明其一期 IFV 气化器运行良好，国产化 IFV 气化器技术已经成熟可靠。中海油江苏滨海 LNG 接收站 ORV 气化器全部选择国产，均在制造中，国产气化器设备发展势头良好。

该项目一阶段拟设置 16 台 AAV 空温气化器和 1 台 SCV 浸没燃烧式气化器；二阶段拟设置 1 台中压 IFV 和 2 台高压 IFV 中介介质式气化器。IFV 气化器可选择国产设备以降低设备投资。

## 3 气化器选型及 IFV 国产化现状

### 3.1 气化器选型

因该项目 LNG 接收站属于应急调峰型。一阶段气化外输量仅为 60 万吨/年，故设置 16 台空温式气化器以及 1 台浸没燃烧式气化器即可，以较低的成本满足一阶段气化需求；

二阶段气化外输量为 240 万吨/年，使用频率属于基本负荷型；考虑到空温式气化器气化能力较小，若要匹配该气化外输量占地过大；开架式气化器占地较广，配套设施投资也大，ORV 用水更要重新收集增压才能返回，而浸没燃烧式气化器后期运行成本较高；IFV 气化器在各种环境条件下都能保持良好的性能。综合比较后，该项目选择运行成本低、占地小、投资适中的 IFV 中介介质式气化器。

### 3.2 国产 IFV 气化器现状

#### 3.2.1 技术突破

国内厂商（如江苏中圣、航天晨光）通过引进消化再创新，实现 IFV 核心部件国产化：

(1) 高效换热管：采用波纹管设计，传热系数提升 30%；

(2) 智能控制系统：基于 PLC 的温差自适应调节，能耗降低 12%。

## 4 沿江 LNG 接收站的资源约束与政策挑战

### 4.1 长江取水限制

根据国务院长江水利委员会实施取水许可制度细则（长水资管【2020】650号）要求：长江取水 1 万方/天以内当地政府审批；超过 1 万方/天需在长江委审批。

### 4.2 生态环保约束

根据环保方面的设计要求，冷排水温度低于 5℃可能破坏水生生态。气化 562t/h 的 LNG 大约需要 22480t/h 长江水，水量消耗大，远超许可阈值，气化后冷排水不允许直接排入长江。

### 4.3 替代方案的必要性

该项目虽毗邻长江沿线，有着丰富的长江水资源，但是

若就近从长江取水需要单独设置工艺取水平台，需采用泵增压后输送至后方库区，沿途管线长，所需管径大，整条陆域管廊带钢结构建设投资达3.2亿元，且环保风险高。转向钢厂循环水利用可规避政策限制，降低前期投资35%。

## 5 炼钢厂循环水综合利用方案

该项目现场临近炼钢厂，炼钢厂作为工业领域的重要组成部分，在生产过程中会产生大量的废水。这些废水如果直接排放，不仅会对环境造成严重的污染，还会浪费宝贵的水资源。

所以，为了实现该项目与炼钢厂循环水热源综合利用，经过实地调研，根据炼钢厂和接收站各自的生产/检修周期安排、供热/供冷量等情况，确定炼钢厂热循环水供应与接收站冷量供应的匹配性，再根据匹配性情况确定是否需要增设其它供能或储能设施；

### 5.1 热源匹配性分析

#### 5.1.1 循环水温

根据调研，钢厂电力分厂全年凝汽器出水水温平均值在37.5℃，冬季最低30℃，夏季水温最高在45℃（这个受负荷和环境温度影响会有偏差），钢厂循环水温度完全能够满足IFV气化器热源介质温度要求。

#### 5.1.2 循环水量

根据设计计算，该项目采用IFV气化器可允许换热温差为20℃，气化用水约5620t/h，钢厂发电四个项目循环水量均能满足IFV气化器流量要求，具体见下表：

表3 钢厂循环水量一览表

序号	发电项目	设计循环水量 (t/h)	实际循环水量 (t/h)
1	一、二期煤气发电	12000	10000
2	三、四期煤气发电	12000	10000
3	五期煤气发电	6000	5000
4	80MW 煤气发电	12500	12000

#### 5.1.3 循环水质

参照GB/T50050-2017《工业循环冷却水处理设计规范》，该项目中间介质式气化器所采用钢厂循环水作为热媒，水质条件较优。其IFV热源水质要求和钢厂循环水实际水质对比见表3。

### 5.2 钢厂循环水管网建设

另外，该项目钢厂煤气发电项目距离LNG接收站仅为11.5公里，需要埋地建设11.5公里双管线（供/回水），采用高密度聚乙烯（HDPE）材料，防腐寿命达30年，总投资1.8亿元。

表4 循环水质对比一览表

序号	检测项目	IFV 热源水质指标	钢厂循环水水质（实际）
1	重金属离子	无汞离子铜离子含量 < 10*10 <sup>-9</sup>	一般不含汞离子铜离子含量 < 50*10 <sup>-9</sup>
2	固体悬浮物	< 80mg/L (10.4NTU)	< 10mg/L(1.3NTU)
3	PH 值	6.8-9.5	8-9
4	温度	> 25℃	> 30℃

## 6 经济效益与碳减排

### 6.1 成本对比

表5 取水投资表对比

项目名称	设备初期投资(亿元)	年运行维护成本(万元)
长江取水方案	3.2	1200
钢厂循环水方案	1.8	680

### 6.2 环境效益

(1) 节能：年节约电能  $1.2 \times 10^7$  kWh，折标煤3960吨；

(2) 减排：减少CO<sub>2</sub>排放2.3万吨/年，相当于种植12.5万棵树。

## 7 结论与建议

IFV国产化技术成熟且在沿江LNG接收站中综合性能最优，钢厂循环水方案可降低46%投资并实现冷热资源高效利用，该模式推广后预计全国沿江LNG项目年减排CO<sub>2</sub>潜力可达50万吨；未来还将进一步探索LNG冷能的多元化利用路径，推动冷能空分、冷能发电、冷库及制冰等应用落地，同时尝试将LNG冷能与数据中心相结合，挖掘冷能利用的更多价值。

### 参考文献

- [1] IEA. LNG Market Report 2023[R]. Paris: IEA Publications, 2023.
- [2] 川崎重工. 高效LNG气化器技术白皮书[R]. 东京: 川崎重工, 2021.
- [3] 顾安忠. 液化天然气技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.