

LNG接收站利用电厂温排水的取排水方案探讨

冯道荣, 刘元向, 邓小明, 姜华军

引用本文:

冯道荣, 刘元向, 邓小明, 姜华军. LNG接收站利用电厂温排水的取排水方案探讨[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 36-42.

FENG Daorong, LIU Yuanxiang, DENG Xiaoming, JIANG Huajun. Discussion on the Water Intake and Drainage Schemes of LNG Terminal Using the Thermal Drainage from Power Plant[J]. Southern Energy Construction, 2022, 9(增刊1): 36-42.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

无人机在核电厂温排水监测中的应用

Application of Drone Surveying on Heat Disposal to the Ocean from Nuclear Power Plants

南方能源建设. 2019, 6(2): 94-98 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.017>

核电站常规岛厂房竖向标高设计影响分析

Impact Analysis of Vertical Arrangement for Conventional Island in Nuclear Power Plant

南方能源建设. 2015, 2(4): 128-131 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.04.023>

广州蓄能水电厂水工运行总结与思考

Summary and Thinking of Hydraulic Operation in GPSPS

南方能源建设. 2017, 4(2): 29-33 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.02.004>

插排水板堆载预压地基处理方案分析——以某滨海核电厂取水明渠工程为例

Application of Plastic Drainage Plate Combined with Surcharge Preloading: A Case Study of Water Intake Channel in a Nuclear Power Plant

南方能源建设. 2016, 3(3): 100-103,111 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.021>

利用串补技术提高电厂输送能力的探究

Research on Improving Transmission Capacity of Power Plant by Adopting Series Capacitor Compensation Technology

南方能源建设. 2018, 5(z1): 42-45 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.008>

LNG接收站利用电厂温排水的取排水方案探讨

冯道荣¹, 刘元向^{2,✉}, 邓小明¹, 姜华军¹

(1. 广东惠州液化天然气有限公司, 广东 惠州 516000;

2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 液化天然气 (LNG) 接收站通常需要耗费大量的水资源和电能来实现天然气的气化输送, 合理地选择取排水方案对于实现节能减碳具有重要意义。[方法] 充分利用临近已建电厂的温排水资源, 并提出海域取排水、电厂明渠取排水和电厂明渠取水海域排水三种不同的取排水方案, 从工程建设难度、经济和社会效益等维度对各个取排水方案进行比较和探讨。[结果] 方案比选结果表明: 与传统的海域取排水方案相比, 利用电厂温排水的取排水方案能够减少约 5.6% 的基础建设投资, 减少约 41% 的 LNG 接收站开架式气化器 (ORV) 用水量, 节省年运行耗电量约 547.1 万 kWh, 相当于每年至少可以减少 1 000 MW 超超临界发电机组约 3 548.3 t 的二氧化碳排放量。此外, 此取排水方案还大大节约了用海面积和减少了工程取排水对海洋生态的影响。[结论] 本研究提出的 LNG 接收站利用电厂温排水的取排水方案具有较好的社会、经济和环境效益, 能够为其他工程充分整合资源、进一步提高节能节水水平和减少碳排放提供借鉴。

关键词: LNG接收站; 取排水工程; 电厂温排水; 循环水综合利用; 碳减排

中图分类号: TE8; TM62; TV671

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0036-07

开放科学(资源服务)二维码:



Discussion on the Water Intake and Drainage Schemes of LNG Terminal Using the Thermal Drainage from Power Plant

FENG Daorong¹, LIU Yuanxiang^{2,✉}, DENG Xiaoming¹, JIANG Huajun¹

(1. Guangdong Huizhou LNG Co., Ltd., Huizhou 516000, Guangdong, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] Liquefied natural gas (LNG) terminal usually consume a lot of water resources and electric power to gasify and transport the gas. Reasonable selection of water intake and drainage schemes is of great significance to save energy and reduce carbon emissions. [Method] In order to make full use of the thermal drainage resources from the neighboring existing power plants, three different water intake and drainage schemes were proposed: Simultaneously draw and drain water from the ocean, simultaneously draw and drain water from the power plant open channel, and draw water from the power plant open channel and drain water to the ocean. All water intake and drainage schemes were compared and discussed on their engineering construction schemes, economic, and social benefits, etc. [Result] The results of the comparison and selection of the schemes show that compared with the traditional scheme of taking and drainage water from the ocean, those of taking water from the power plant could reduce the infrastructure investment by about 5.6%, reduce the water consumption of open rack vaporizer (ORV) by about 41%, and save about 5.471 million kWh of annual operating power consumption, which was equivalent to reducing carbon dioxide emissions from 1 000 MW ultra-supercritical generator sets by at least 3 548.3 tons per year. In addition, this water intake and drainage scheme also greatly saves the sea area and reduces the impact of water intake and drainage on marine ecology. [Conclusion] The new water intake and drainage scheme proposed in this study has good social, economic, and environmental benefits and provides some guidance for other projects to fully integrate energy, further improves energy and water conservation, and reduces carbon emissions from LNG terminal.

收稿日期: 2021-12-08 修回日期: 2022-02-12

基金项目: 中国能建广东院科技项目“发电厂取排水建(构)筑物系列设计导则”(ER05891W)

Key words: LNG terminal; water intake and drainage engineering; power plant thermal drainage; circulating water comprehensive utilization; carbon emission reduction

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

近年来,受到环保政策驱动、资源的多元供应和产业转型等因素影响,天然气作为一种清洁、优质能源,在能源消费中的比例逐步增加,预计未来15年仍将保持稳定增长的发展趋势^[1-2]。其中,液化天然气(LNG)在天然气供应中的需求逐年增加,浙江和上海的LNG供应量在总天然气消耗量中的占比已经超过一半,LNG成为最大的天然气来源^[3]。2018年,国家发展与改革委、国家能源局印发《关于加快储气设施建设和完善储气调峰辅助服务市场机制的意见》,明确了企业和政府的储气调峰责任,LNG接收站被正式纳入了储气调峰体系,LNG接收站的建设迎来新的发展阶段^[2,4]。

LNG接收站是存储和输送LNG的关键装置,LNG接收站的建设包括LNG码头和LNG储罐区^[5-6]。在碳达峰、碳中和背景下,行业对LNG接收站在存储及输送环节的安全性、经济性和能源的高效利用等方面提出了更高的要求。然而,传统的液化天然气利用海水进行气化的过程会消耗大量的电力能源和水资源。根据《液化天然气接收站工程设计规范》(GB 51156—2015)要求,当使用海水作为气化器的热源时,海水温降不应大于5℃。这给进一步降低LNG气化器的用水量提出了巨大的挑战。此外,传统的LNG接收站在海域取水和排水,产生的冷排水不仅对海洋生态环境产生不良影响,还占用了一定的海洋使用面积。因此,如何降低LNG接收站生产中的水电消耗和提高LNG接收站的社会环境效益已成为一个迫切需要解决的问题^[7]。

最新报道的1 000 MW新一代超超临界二次再热机组热效率可高达48.72%,但仍有一半以上的热能主要通过锅炉烟囱和汽轮机凝汽器的循环冷却水排放到环境中^[8]。其中,绝大部分热能通过循环冷却水排入附近水域,容易造成能源浪费和温排水污染^[9-10]。另一方面,LNG接收站在气化过程产生的冷能如何得到有效利用也成为近年来研究的热

点^[11-13]。将电厂的温排水用于LNG接收站的气化过程或将LNG接收站的冷排水作为电厂的循环冷却水,是两种热能和冷能变废为宝、综合利用的一种新思路。在海水排水温降限制的前提下,提高气化器的进水温度或将低于排放温降要求的冷排水二次利用,都可使热交换系统的设计温差加大,从而达到LNG接收站节水省电的目的。然而,在实际工程运用中,新建LNG接收站和已建发电厂之间如何相互协调、在技术和经济效益上的可行性以及所能带来的社会环境效益等问题还有待进一步分析,其中LNG接收站的取排水方案的选取是LNG接收站节能减碳的关键一环^[13]。本文以建设中的广东惠州某LNG接收站和平海电厂的取排水方案设计为例,从工程建设可行性、对发电厂的影响、能源和环境效益、运行维护工作量、建设和运行成本等方面对取水方案进行研究和分析,可为同类型项目实现碳减排目标提供借鉴。

1 工程背景

该项目LNG接收站的功能是接卸由LNG远洋输送船运来的LNG,在LNG储罐内储存,气化后的天然气通过输气管线送至用户,LNG亦可从罐区直接装车运输至用户。接收站分期建设,一期工程规模为400万t/a,供气能力56亿m³/a;远期工程规模为1 000万t/a,供气能力达到140亿m³/a。LNG接收一期工程配备3台开架式气化器(ORV),在最高海水温度33.3℃和年平均海水温度24.5℃时,所需的海水用量分别为24 750 m³/h和22 800 m³/h;LNG接收站远期工程拟配备7台ORV,在最高海水温度和年平均海水温度时所需的海水用量分别为57 750 m³/h和53 200 m³/h。

平海电厂循环水取水、排水明渠按6台1 000 MW机组设计,循环冷却水水源为海水,取自大亚湾海域,从防波堤南侧、煤码头港池外明渠引水,排水明渠引至厂区西北侧,以箱涵方式排入大亚湾海域。电厂取排水设计容量190.8 m³/s。目前已建成2

台机组, 后续4台机组的建设场地被规划为5台9H型LNG发电厂及LNG接收站用地。

已建成的2台1 000 MW机组, 每台机组配置3台循环水泵, 单泵设计流量 $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$, 共 $31.8 \text{ m}^3/\text{s}$, 2台机组合计 $63.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。满负荷工况下春、夏、秋三季循环水泵全部运行, 冬季每台机组运行2台循环水泵。低负荷时电厂可能会根据负荷和水温等调节循环水泵的运行台数。在设计工况条件下, 春夏秋冬三季电厂循环水排水温升约 $8.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 冬季循环水温度略高, 可按 $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 考虑。

2 取排水方案设计与可行性分析

为充分利用已建电厂取排水工程, 并综合利用平海电厂循环水排水的热能及LNG接收站海水排水系统的冷能, 本研究拟选定3种不同的取排水方案。取水排水工程设计方案如图1所示。

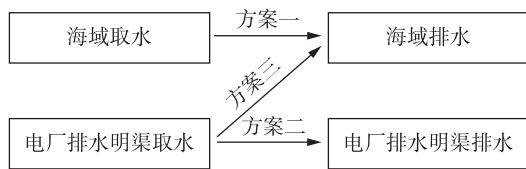


图1 取水排水工程设计方案

Fig. 1 Design scheme of water intake and drainage engineering

2.1 方案一: 常规海域取排水方案

根据项目场地自然条件、已取得的宗海界址图及冷排水数学模型试验研究成果, 并结合总平面布置方案, 海水取水布置在LNG接收站北护岸西侧, 取水口前沿距岸线距离约100 m, 海水取水泵房布置在储气库站址西北角, 取水口与海水取水泵房之间利用1条双孔引水箱涵连接, 海水取水泵房至ORV中间的压力供水管道采用玻璃钢管道连接, ORV至排水口采用排水箱涵连接。方案一取水口和排水口的位置如图2所示。其供水流程为: 从取水口引水箱涵引水至进水前池, 再引至海水取水泵房, 最后通过压力供水管供水至ORV区域, 如图3所示。

排水口布置在站址北护岸东侧, 近岸布置, 取水口和排水口的中心距离约325 m。为防止海水排水口产生泡沫对海域造成污染, 在排出口前预留排水消能井。LNG接收站ORV区域至排水消能井采用明渠排水, 排水消能井出口采用双孔排水箱涵穿越北护岸。其排水流程为: ORV排水至排水箱涵,



图2 工程位置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the project location

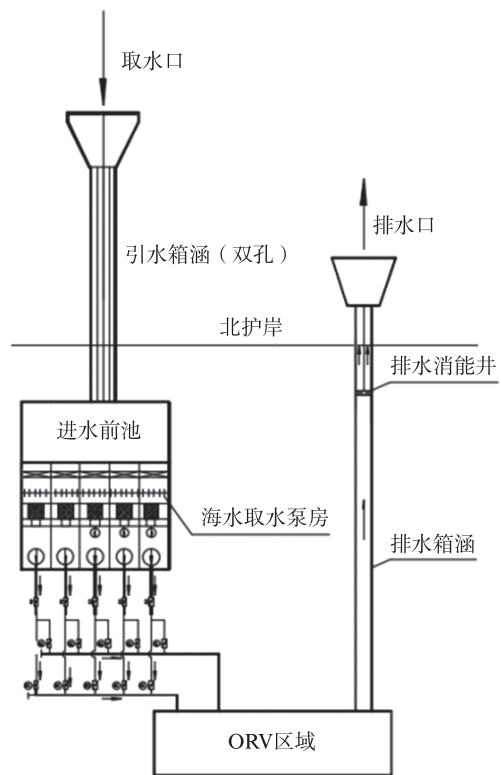


图3 方案一的供水系统图

Fig. 3 The water supply system diagram of scheme 1

再排至排水消能井, 最后至排水箱涵排水口排入海域。

2.2 方案二: LNG冷排水和电厂温排水综合利用方案

考虑到平海电厂现仅建成2台机组, 可能存在

2 台机组同时停运导致无电厂温排水可利用的情况, LNG 接收站从电厂明渠取水的设计方案均按常温海水用水量设计。按平海电厂 2 台机组同时停运的最不利工况考虑, LNG 接收站需通过电厂循环水排水明渠及引水箱涵将海水输送至 LNG 接收站海水取水泵房。按设计水量 57 750 m³/h 核算, 在 97% 设计低潮位时, 在排水明渠和接收站引水箱涵的流速分别为 0.21 m/s 和 0.12 m/s, 可保证接收站安全正常运行。因此, 现有平海电厂排水明渠及排水箱涵的高程布置及断面可满足 LNG 接收站远期海水取水需求。

在排水设计方面, 方案二拟在接收站西南角设置排水闸门井, 排水闸门井入口接电厂排水明渠, 出口接出双孔排水箱涵, 向西延伸, 从电厂引水明渠南侧接入引水明渠。此方案需要在现有运行的引水明渠内设置封堵堰, 开口接入 LNG 接收站排水管道后再拆除封堵堰, 排水箱涵需要布置在平海电厂及后续 LNG 燃机电厂场地内。方案二的供水系统如图 4 所示。

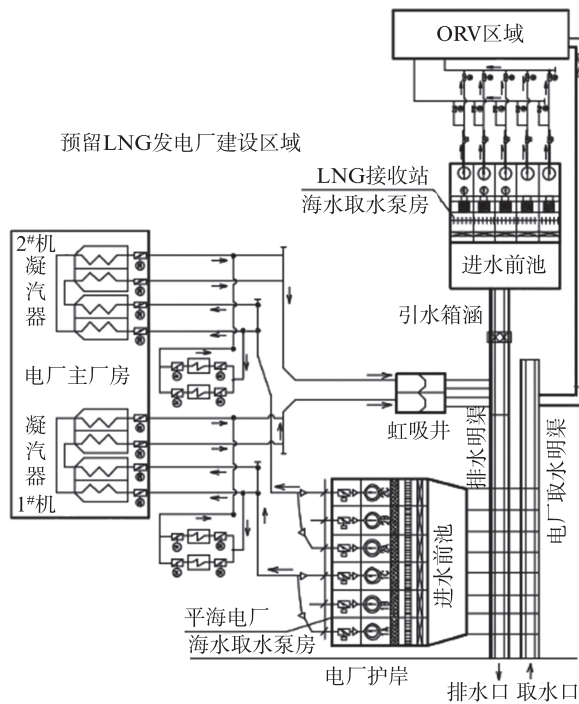


图 4 方案二的供水系统图

Fig. 4 The water supply system diagram of scheme 2

2.3 方案三: LNG 接收站利用电厂温排水方案

考虑到方案二中 LNG 接收站冷排水叠加电厂排水明渠的温排水, 可能会大大削弱 LNG 接收站

冷排水的利用价值, 方案三提出了仅利用电厂的温排水的热能价值而将 LNG 接收站的冷排水排入海域的设计路线。通过方案一和方案二的分析可知, 方案三同样能够满足海域排水的技术规范要求 and 应对电厂 2 台机组同时停运导致无电厂温排水可利用的工况。方案三的供水系统如图 5 所示。

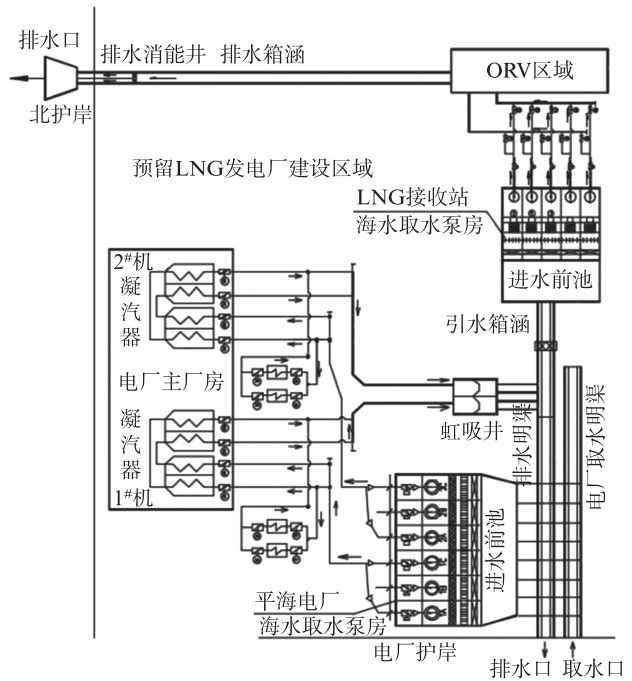


图 5 方案三的供水系统图

Fig. 5 The water supply system diagram of scheme 3

3 不同取排水方案对比分析

3.1 对发电厂的影响

首先, 从对平海电厂的影响来看, 方案二对电厂现有机组运行和扩建的影响最大, 方案一的影响最小。对于方案二, 在 LNG 接收站建设过程中, 需要在平海电厂开挖施工引水箱涵、排水箱涵和开挖平海电厂排水明渠, 这些施工过程对电厂环境和电厂运行有影响, 且工程建设难度比其它方案更大。在 LNG 接收站运行过程中, 如果接收站海水取水泵房因失电等原因引起全部水泵骤停时, 取水泵房前池易雍水, 不利于电厂的取水泵房的运行。与此同时, 电厂现仅建成 2 台机组, 如果 2 台机组同时停止运行, LNG 接收站运行水量需恢复到从海域取水时的工况, 水位波动造成 LNG 接收站运行工况不稳定, 对电厂运行要求较高。相对于方案三, 方案二因扩建排水明渠需穿越 LNG 燃机发电

厂建设区域,后续LNG发电厂建设过程对已建成的接收站设施存在一定的施工和安全隐患。总体而言,方案三对于电厂的影响小于方案二。但是对于方案一,接收站相对独立,施工过程在接收站范围内,不影响平海电厂运行,也不受后续LNG燃气发电厂建设的影响。

3.2 能源和环境效益

从能源的综合利用和环境保护角度来看,方案二在理论上的能源利用最为充分,方案三和方案一次之。若从排水明渠取水,本期LNG接收站所需的温排水用水量为 $13\,500\text{ m}^3/\text{h}$,远期用水量为 $31\,500\text{ m}^3/\text{h}$;若从海域取水,按年平均水温 $24.5\text{ }^\circ\text{C}$ 计算,LNG接收站的本期海水用量为 $22\,800\text{ m}^3/\text{h}$,长期用水量为 $53\,200\text{ m}^3/\text{h}$ 。经核算,当LNG接收站从电厂排水渠取水时,可充分利用平海电厂循环水排水热量,能够减少41%的LNG接收站ORV用水量,节省年运行耗电量约547.1万kWh。据报道,全国领先的1000 MW新一代超超临界二次再热机组的供电标煤耗为 260.16 g/kWh ,根据国家发改委能源研究所推荐的标准煤完全燃烧的二氧化碳排放系数2.493计算可得,LNG接收站相当于每年至少可以减少3548.3 t二氧化碳排放量^[8]。这不仅大大提升了LNG接收站的节能、节水和减碳的水平,还大大减少了电厂温排水对于海洋生态的影响。

在排水方案设计上,方案二还考虑到了LNG接收站冷能的利用。在凝汽器冷却面积、排汽焓和循环水量一定的条件下,冷却水进水温度直接影响凝汽器背压。国产1000 MW级燃煤发电机组循环水进水温度每降低(或升高) $1\text{ }^\circ\text{C}$,汽机热效率相应升高(或降低)约1.5‰。相关研究表明,使用气化LNG后的海水作为凝汽器的循环水降低了汽轮机背压,不仅有利于提高联合循环蒸汽轮机部分的出力,而且减小海水的温降有利于该海域的环境保护和生态平衡,该方案基本不需要增加太多额外的投资即可实现^[14]。但是在本工程选用的ORV有最小海水用量限制,ORV出水海水温降为 $5\sim 10\text{ }^\circ\text{C}$,而电厂循环冷却水的排水温升为 $8.5\sim 10\text{ }^\circ\text{C}$,并且电厂循环冷却水排水量大于ORV排水量。因此,在本设计方案中,LNG接收站的冷排水无法有效降低电厂的取水温度。虽然方案三的排水直接排入海域,但是由于取水自电厂温排水,排水温度与海水

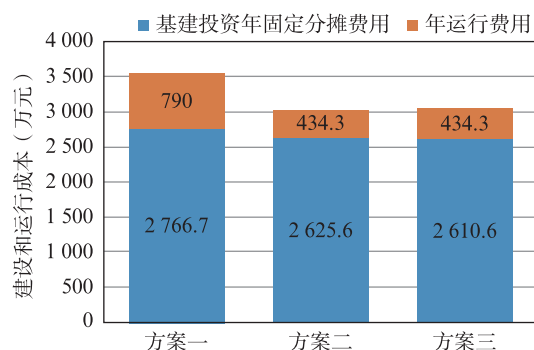
相差不大,降低了冷排水污染,同时大大减少了电厂的温排水水量,具有显著的环境效益^[15]。

3.3 运行维护工作量

从运行维护工作量来看,方案二和方案三,LNG接收站取用电厂循环水排水时,接收站海水清污系统的清污机、旋转滤网及次氯酸钠投加系统可基本不运行,维护工作量小。方案一从海域取水,其运行水量稳定,运行压力较低,受水泵骤停影响较小,但因直接从海域取水,旋转滤网、拦污栅及加药系统需经常性运行,运行维护工作量相对较高。

3.4 建设和运行成本

根据工程造价概算方法,方案一的投资金额远高于其它两个方案的投资金额,而方案二的投资金额仅略高于方案三的投资金额,方案一、方案二、方案三的基建投资费用分别为23517.2万元、22317.4万元和22190.0万元。方案一的电机轴功率为2083.4 kW,年总耗电量为1215.3万kWh;而方案二和方案三的电机轴功率为1145.5 kW,年总耗电量仅为668.2万kWh。按照LNG接收站的年利用小时为5833 h,外购电价0.65元/度计算,方案一每年的电费约为790万元,比方案二和方案三高355.7万元。从综合基建投资年固定分摊费用和LNG接收站运行费用来看,方案二和方案三的经济效益基本相当,远高于方案一的经济效益,如图6所示。



注:1.工程投资总费用包括管理费、设计费等各项取费,约占工程投资直接费用的15%;2.投资各方案的年固定分摊费用都按投资回收率10%、经济使用年限20年,大修费率2%考虑;3.LNG接收站年总耗电量以接收站达产工况计算。

图6 不同取排水方案的成本分析

Fig. 6 Cost analysis of different water intake and drainage schemes

3.5 综合对比分析

从对平海电厂的影响、能源综合利用效率和环境效益、运行维护工作量、经济成本等方

面对三种取排水方案的优缺点进行了总结,如表1所示。

表1 不同取排水方案的对比分析

Tab. 1 Comparative analysis of different water intake and drainage schemes

项目	方案一	方案二	方案三
方案描述	海域取排水	电厂排水明渠取水,电厂取水明渠排水	电厂排水明渠取水,海域排水
主要优点	(1)LNG接收站的建设不影响电厂的运行 (2)取排水水源单一、运行水量稳定、运行工况变化幅度小、系统运行调节幅度小	(1)能源利用最充分 (2)LNG接收站无海水外排,可同时减少接收站冷排水和电厂温排水对生态环境的影响 (3)运行维护工作量小,排水口无需消泡防泡 (4)方便后续LNG发电厂的建设	(1)电厂温排水热能得到充分利用 (2)减少温排水对生态环境的影响 (3)运行运行维护工作量小 (4)方便后续LNG发电厂建设投资
存在问题	(1)能源未得到充分利用,用水用电量较大 (2)无法减少电厂温排水对环境的影响 (3)用海面积大 (4)建设费用高	(1)施工过程对电厂有影响 (2)LNG接收站和电厂的运行互相影响,对电厂运行要求较高	(1)LNG接收站单独海水外排,需要考虑排水口消泡防泡的潜在技术风险 (2)增加LNG海水外排申报手续

由表1可知,方案二和方案三在经济方面基本相同,但方案二建设过程对平海电厂已建成循环水系统的影响较大,且LNG冷能对于提高电厂运行效率的价值较低。因此,综合来看,方案三为本工程的最优建设方案。

4 结论

在双碳目标背景下,LNG在区域储气调峰中的作用愈发突出,LNG接收站的节能和减碳要求也愈发严苛。本研究为综合利用电厂循环水排水的热能及LNG接收站海水排水系统的冷能提供了工程建设可行性和社会经济和环境效益等方面的对比分析,可为提高未来LNG接收站建设提供借鉴方案。主要结论和创新点如下:

1) 新建LNG接收站利用临近已建电厂温排水

资源的设计方案具有工程应用的可行性。

2) 从能源的综合利用效率、建设和运营成本、环境保护效益等方面来看,将电厂温排水用于LNG接收站的方案均比传统的海域取排水方案具有更大的优势。与传统的海域取排水方案相比,利用电厂温排水的取排水方案能够减少约5.6%的基础建设投资,减少约41%的LNG接收站ORV用水量,节省年运行耗电量约547.1万kWh,相当于每年能够减少1000MW发电机组约3548.3t的二氧化碳排放量。此外,此取排水方案还大大节约了用海面积和减少了工程取排水对海洋生态的影响。

3) 将LNG接收站的冷排水作为发电厂的循环冷却水取水,能够提高联合循环蒸汽轮机部分的出力并减少冷排水对生态环境的影响。但是LNG接收站选用电厂温排水作为水源,经ORV使用后再做为电厂取水时,能源利用率较低。

4) LNG接收站和电厂的一体化建设可能成为未来的发展趋势,这给多元能源的综合利用提供了优势,同时也对LNG接收站和电厂运行的稳定性提出了更高的要求。

参考文献:

- [1] 高芸,蒋雪梅,赵国洪,等. 2020年中国天然气发展述评及2021年展望[J]. 天然气技术与经济, 2021, 15(1): 1-11. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1132.2021.01.001.
GAO Y, JIANG X M, ZHAO G H, et al. China natural gas development: Review 2020 and outlook 2021 [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2021, 15(1): 1-11. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1132.2021.01.001.
- [2] 周淑慧,王军,梁严. 碳中和背景下中国“十四五”天然气行业发展[J]. 天然气工业, 2021, 41(2): 171-182. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2021.02.02.
ZHOU S H, WANG J, LIANG Y. Development of China's natural gas industry during the 14th five-year plan in the background of carbon neutrality [J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(2): 171-182. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2021.02.02.
- [3] 徐鹏飞,杨俊. 长三角地区液化天然气接收站的发展前景[J]. 水运工程, 2021(580): 35-40. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20210226.030.
XU P F, YANG J. Development prospect of LNG terminals in the Yangtze River Delta [J]. Port & Waterway Engineering, 2021(580): 35-40. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20210226.030.
- [4] 庞越侠,何永秀. 分布式天然气发电现状及价格体系的政策研究[J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 13-17. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.04.003.

- PANG Y X, HE Y X. Price policy research and situation of distributed natural gas system [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 13-17. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676. 2016. 04. 003.
- [5] 马倩倩. LNG接收站新型节能技术综述 [J]. 清洗世界, 2021, 37(9): 62-63. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8909. 2021. 09. 027.
- MA Q Q. Overview of new energy-saving technologies for LNG receiving stations [J]. Cleaning World, 2021, 37(9): 62-63. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8909. 2021. 09. 027.
- [6] 郑连军, 付静. 节能节水技术在LNG工程中的应用 [J]. 中国石油石化, 2016(增刊1): 285. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7708. 2016. z1. 259.
- ZHENG L J, FU J. Application of energy-saving and water-saving technology in LNG projects [J]. China Petrochem, 2016 (Supp. 1): 285. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7708. 2016. z1. 259.
- [7] 逢永健. 液化天然气接收站取排水口位置选择分析 [J]. 当代化工, 2016, 45(6): 1281-1283. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0460. 2016. 06. 057.
- PANG Y J. Selection of water intake and outfall location in LNG receiving terminal [J]. Contemporary Chemical Industry, 2016, 45(6): 1281-1283. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0460. 2016. 06. 057.
- [8] 王东雷, 张鹏, 霍沛强. 采用再热温度 630 ℃ 的 1 000 MW 新一代超超临界二次再热机组可行性研究 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(3): 33-41. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676. 2018. 03. 005.
- WANG D L, ZHANG P, HUO P Q. Feasibility study on 1 000 MW new generation ultra-supercritical unit with double re-heating cycles at 630 ℃ [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(3): 33-41. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676. 2018. 03. 005.
- [9] 张继周. LNG接收站工程冷排水及余氯排放对海洋生物的影响研究 [J]. 科技创新与应用, 2013(17): 64.
- ZHANG J Z. Research on the impact of cold drainage and residual chlorine discharge of LNG receiving station project on marine organisms [J]. Science and Technology Innovation and Application, 2013(17): 64.
- [10] 石功权. 无人机在核电厂温排水监测中的应用 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(2): 94-98. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676. 2019. 02. 017.
- SHI G Q. Application of drone surveying on heat disposal to the ocean from nuclear power plants [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(2): 94-98. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676. 2019. 02. 017.
- [11] 华贲. 大型 LNG 接收站冷能的综合利用 [J]. 天然气工业, 2008, 28(3): 10-15. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976. 2008. 03. 003.
- HUA B. Integrated utilization of cold energy from large-scale LNG receiving terminals [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(3): 10-15. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976. 2008. 03. 003.
- [12] 稽迎梅. LNG接收站冷能发电及海水制冰系统 [J]. 科技与创新, 2020(8): 140-141. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2020.08.062.
- JI Y M. LNG receiving station cold energy power generation and seawater ice making system [J]. Science and Technology & Innovation, 2020(8): 140-141. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2020.08.062.
- [13] 于海丽, 娄庆. LNG冷能利用现状及展望 [J]. 山东工业技术, 2018(13): 72. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2018.13.066.
- YU H L, LOU Q. LNG cold energy utilization status and prospects [J]. Shandong Industrial Technology, 2018(13): 72. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2018.13.066.
- [14] 李新成, 陈成学, 卓郑炜. LNG接收站与发电厂一体化建设初探 [J]. 能源与环境, 2003(3): 16-20. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9064. 2003. 03. 005.
- LI X C, CHEN C X, ZHUO Z W. A primary discussion on integrated construction of LNG receiving station and power plant [J]. Energy and Environment, 2003(3): 16-20. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9064. 2003. 03. 005.
- [15] 梁勇, 周元欣, 远双杰, 等. LNG接收站与电厂循环水综合利用方案分析 [J]. 天然气化工(C1化学与化工), 2021, 46(5): 96-101. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9219. 2021. 05. 015.
- LIANG Y, ZHOU Y X, YUAN S J, et al. Analysis on comprehensive utilization scheme of circulating water in LNG terminal and power plant [J]. Natural Gas Chemical Industry, 2021, 46(5): 96-101. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9219. 2021. 05. 015.

作者简介:



冯道荣

冯道荣 (第一作者)

1974-, 男, 浙江舟山人, 大学本科, 广东惠州液化天然气有限公司中级工程师, 主要从事液化天然气接收站运营设计工作 (e-mail) fengdaorong@geg.com.cn。



刘元向

刘元向 (通信作者)

1996-, 男, 广东广州人, 华南理工大学环境工程硕士, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司一级设计员, 主要从事电力行业的水工艺研究及设计工作 (e-mail) liuyuanxiang@gedi.com.cn。

(责任编辑 叶筠英)