

# LNG项目取水结构波压力物理模型试验

岳永魁<sup>1,2</sup>, 潘军宁<sup>3</sup>, 王登婷<sup>3</sup>

(1. 广州控股能源研究中心, 广东 广州 510623; 2. 中海石油深圳天然气有限公司, 广东 深圳 518040;  
3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 对某液化天然气(LNG)接收站取水结构采用1:36.5比尺进行了多种水位(100年一遇高水位,50年一遇高水位,设计高水位,设计低水位和50年一遇低水位)与不规则波组合作用下的波浪物理模型试验. 试验过程中测量了取水口岸头及第1节方涵的波压力,分析了取水量对波压力的影响以及不同水位条件下取水口岸头及第1节方涵波压力的变化规律. 取水条件按照一期取水量(27 600 m<sup>3</sup>/h)、二期取水量(55 200 m<sup>3</sup>/h)与不取水3种工况考虑. 试验结果表明,随着水位的降低,各点测得的波压力呈现出明显的增大趋势;不同取水量条件下,各点测得的波压力相差不大,最大相差幅度为5%~8%.

**关键词:** 取水口; 波压力; 波浪; 物模试验

**中图分类号:** TV139.2<sup>+</sup>6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2012)03-0087-05

火电厂、核电站和液化天然气(liquefied natural gas, LNG)接收站均涉及取、排水工程问题,波浪作用下取水建筑物的稳定性对于取水安全至关重要. 文献[1-9]对不同类型取水口结构的稳定性、取水口前的冲刷及防护等进行了试验研究. 王登婷等<sup>[1-2]</sup>验证了取水口结构稳定性并测量了波浪压力,李鹏等<sup>[3-7]</sup>研究了取、排水口前泥沙冲淤变化特征及其防护措施,郝瑞霞等<sup>[8]</sup>研究了取水口至泵房过渡前池的水力特性.

某LNG项目取水结构设计为矩形箱涵结构,三面受波浪作用,一面接引水方涵,且波浪行进为斜向波作用. 目前对于此类淹没直立式建筑物受斜向波作用时的波压力,尚无相应规范给出明确的计算方法. 因此建筑物所受的波压力需通过三维物理模型试验确定. 本文对取水结构采用1:36.5比尺进行了各种水位与不规则波组合作用下的波浪物理模型试验. 试验过程中测量了取水口岸头及第1节方涵的波压力,分析了取水量对波压力的影响以及不同水位条件下取水口岸头及第1节方涵波压力的变化规律.

## 1 基础资料

取水岸头布置见图1. 引水方涵剖面见图2. 由于图2中扭王字块体防护至引水方涵顶部使得方涵侧面及底面所受波压力减小,为工程安全计,设计部门要求测量方涵波压力时围护结构只采用100~300 kg块石(块石顶高程与原泥面齐平),如图3所示.

试验采用100年一遇高水位为3.52 m,50年一遇高水位为3.40 m,设计高水位为2.28 m,设计低水位为0.35 m,50年一遇低水位为-0.52 m. 试验波向为SSW向,波浪重现期为50年一遇,试验波要素见表1. 试验中取水条件按照一期取海水量(27 600 m<sup>3</sup>/h)、二期取海水量(55 200 m<sup>3</sup>/h)与不取水3种工况考虑.

收稿日期: 2011-10-30

作者简介: 岳永魁(1972-),男,河南许昌人,高级工程师,工学博士,电气工程博士后,主要从事能源系统工程及LNG工程研究. E-mail: yueyk@gdih.cn

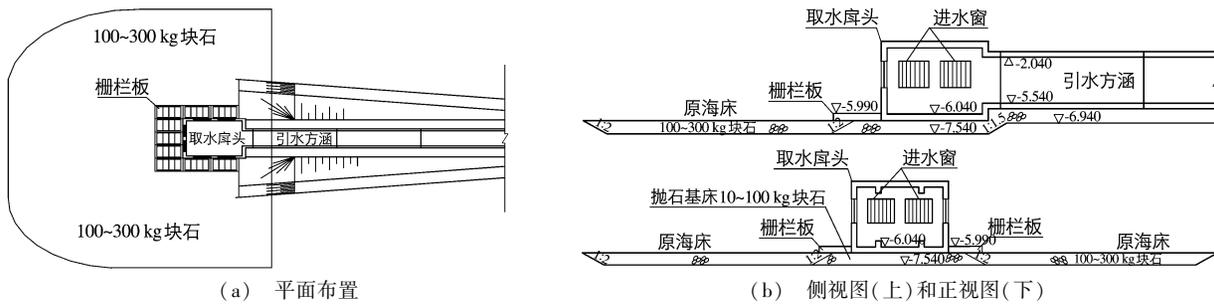


图1 取水戽头布置

Fig. 1 Layout of the water bucket head

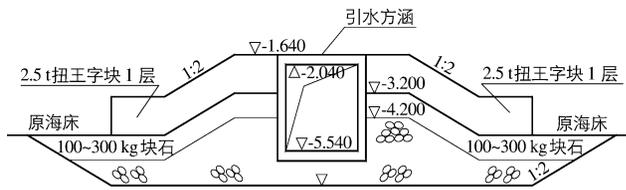


图2 引水方涵剖面

Fig. 2 The profile of water intake quadrate culvert

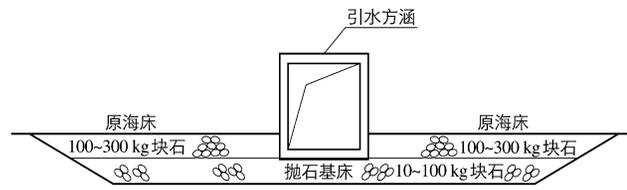


图3 波压力测量时采用的引水方涵剖面

Fig. 3 The profile of water intake quadrate culvert for the wave pressure test

表1 SSW向50年一遇试验波要素

Tab. 1 Wave elements with SSW direction

水位	100年一遇高水位	50年一遇高水位	设计高水位	设计低水位	50年一遇低水位
$H_{1\%}/m$	5.39	5.13	5.03	4.65	4.36
$H_{4\%}/m$	4.65	4.41	4.34	4.02	3.78
$H_{5\%}/m$	4.51	4.28	4.22	3.91	3.67
$H_{13\%}/m$	3.85	3.65	3.60	3.35	3.15
$\bar{H}/m$	2.52	2.39	2.36	2.21	2.08

注:  $H_{1\%}, H_{4\%}, H_{5\%}, H_{13\%}$  分别为累积频率为1%, 4%, 5%, 13%的波高,  $\bar{H}$  为平均波高. 各水位下, 平均波周期  $\bar{T}$  均取为9.00 s.

## 2 试验内容和方法

测量取水戽头及引水方涵结构不同工况所受到的波压力, 并分析取水量及不同水位条件对波压力的影响规律.

### 2.1 试验仪器设备

波浪试验在南京水利科学研究院河港所波浪港池中进行, 港池长50.0 m, 宽17.5 m, 高1.2 m. 波压力采用南京水利科学研究院研制的多功能监测系统测量. 波浪要素采用波高仪测量, 由计算机自动采集和处理.

### 2.2 模型设计和试验方法

试验遵照《波浪模型试验规程》<sup>[10]</sup> 相关规定, 采用正态模型, 按照 Froude 数相似律设计. 根据设计水位、波浪要素、试验断面及试验设备条件等因素, 取各物理量比尺为: 几何比尺  $L_r = 36.5$ , 时间比尺  $T_r = L_r^{1/2}$ , 质量比尺  $W_r = L_r^3$ , 流量比尺  $Q_r = L_r^{5/2}$ . 模型示意图见图4.

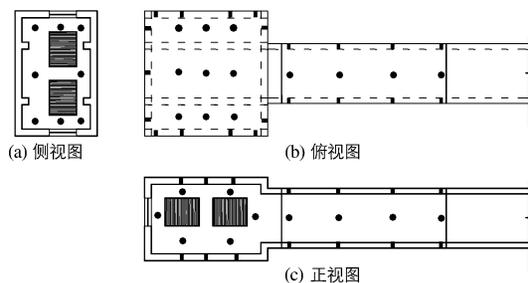


图4 波压力测点布置

Fig. 4 Layout of wave pressure measuring point

模型中试验断面包括取水戽头、引水方涵、护面块体等除与原型保证几何相似外,还保证质量相似. 试验采用不规则波,不规则波的波谱采用J谱. 波浪按重力相似准则模拟. 取水戽头及引水方涵各部位测点布置见图4. 图中的每个点位均布置2个波压力传感器以测量各点正、反两面的同步波压力,将测得的各点对应的正、反两面波压力同步值相减后得到各点的最终压力值.

### 3 试验结果及分析

图5为取水戽头及引水方涵不同部位在不同取水条件下(不取水、一期取水量、二期取水量)测得的波压力最大值随水位的变化关系.

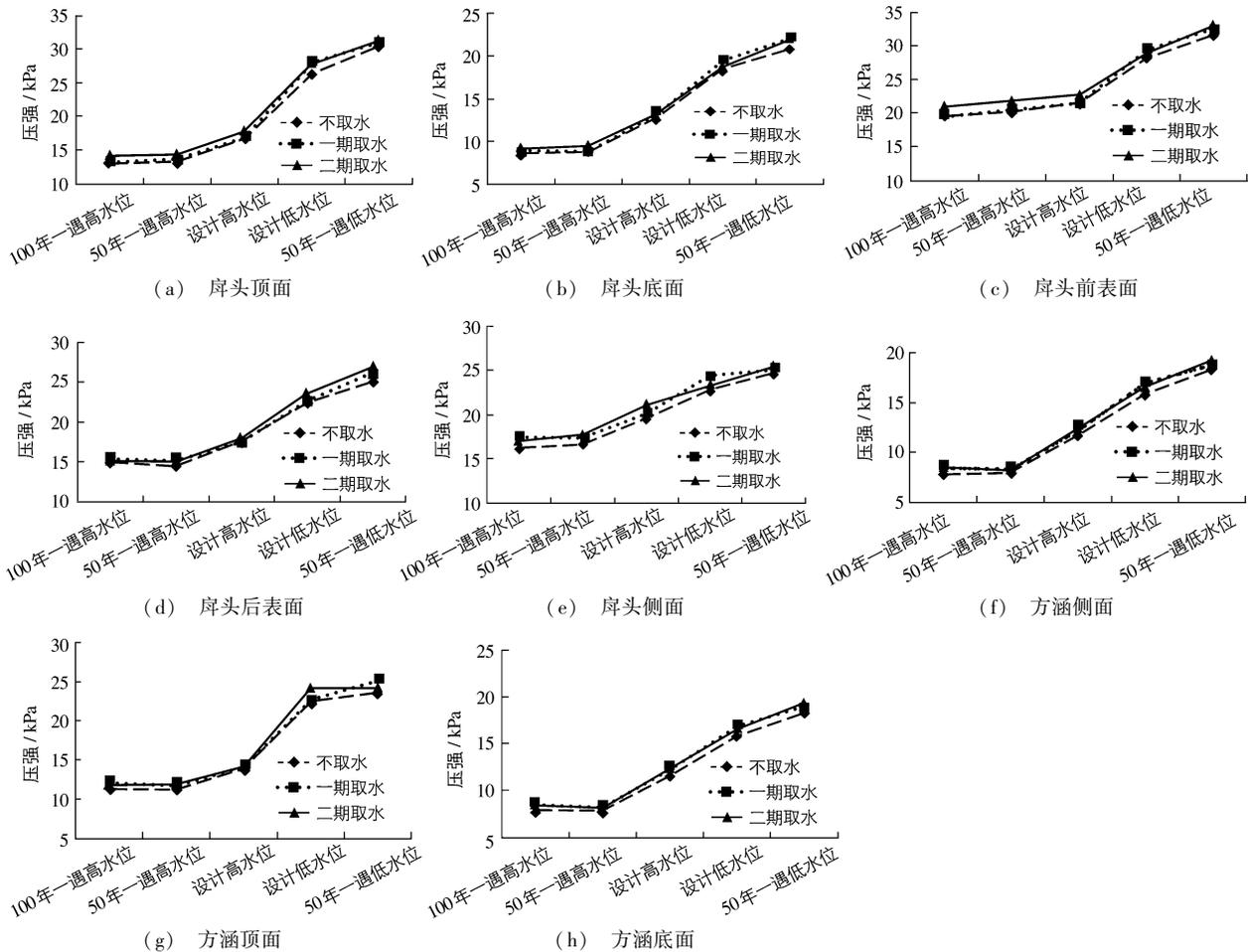


图5 不同取水量条件下戽头和方涵不同部位最大波压力随水位变化关系

Fig. 5 The relationships of the maximum wave pressure of different parts of the bucket head and quadrat culvert with changes in water levels under different conditions of water intake quantity

试验结果表明:由于100年一遇高水位、50年一遇高水位及其对应的波要素均相差不大,因此,这2个水位测得的各点波压力相差不大;各点波压力的最大值大都发生在50年一遇低水位条件下.对于100年一遇高水位(或50年一遇高水位)、设计高水位,设计低水位、50年一遇低水位,随着水位的降低,各点测得的波压力呈现出明显增大的趋势.不同取水量条件下,各点测得的波压力相差不大,最大相差幅度约为5%~8%.

上述试验结果是在引水方涵围护结构只采用100~300 kg块石(见图3)条件下得到的.当取水方涵围护结构扭王字块体防护至引水方涵顶部(见图2)时,取水戽头各部位(1#~40#点)、引水方涵顶面(41#~44#

点)测得的波压力与引水方涵围护结构只采用 100 ~ 300 kg 块石时的结果相差不大;引水方涵底面(45# ~ 48#点)及引水方涵侧面(49# ~ 56#点)测得的波压力相对较小,数值均小于 5.0 kPa.

## 4 结 语

(1)对于 100 年一遇高水位(或 50 年一遇高水位)、设计高水位、设计低水位、50 年一遇低水位,随着水位的降低,各点测得的波压力呈现出明显增大的趋势;

(2)不同取水量条件下,各点测得的波压力相差不大,最大相差幅度约为 5% ~ 8%.

## 参 考 文 献:

- [1] 王登婷,潘军宁. 深圳 LNG 项目取水口结构稳定性物模试验报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2011. (WANG Deng-ting, PAN Jun-ning. Physical model test report of the stability of water intake structure of the LNG project in Shenzhen [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [2] 王登婷,潘军宁. 广东华夏阳西电厂一期工程首二台机组取水口波浪力物理模型试验报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2007. (WANG Deng-ting, PAN Jun-ning. Physical model test report of the 1st-phase and the first two generation unit wave force on water intake structure in Guangdong Huaxia Power Station [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2007. (in Chinese))
- [3] 李鹏,琚烈红. 广西中电防城港电厂一期工程循环水排水沟道及排水口物理模型试验报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2006. (LI Peng, JU Lie-hong. Physical model test report of the 1st-phase project of recycled water's drains channel and the outlet in CLP Guangxi Fangchenggang Power Satition [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [4] 李鹏,王红川. 斯里兰卡普塔拉姆燃煤电站(1×300 MW)工程取、排水口波浪模型试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2009. (LI Peng, WANG Hong-chuan. Report of intake and outlet wave model test in Ram Gupta Coal-fired power station of Sri Lanka [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))
- [5] 李鹏. 沙特 Rabigh 2×660 MW 燃油机组工程取、排水口波浪模型试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2010. (LI Peng. Report of intake and outlet wave model test of the Rabigh 2×660 MW fuel unit project in Saudi Arabia [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [6] 丘宜平,朱爱林. 取水口流态及防沙措施研究[J]. 广东水利水电,1999(6): 36-38. (QIU Yi-ping, ZHU Ai-lin. Study on water intake flow pattern and sand prevention measures [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 1999(6): 36-38. (in Chinese))
- [7] 李富铜,丘宜平,潘载雄. 东江-深圳供水三期扩建工程东江抽水站引水口防淤工程措施研究[J]. 广东水利水电,1995(4): 17-21. (LI Fu-tong, QIU Yi-ping, PAN Zai-xiong. Research on the intake siltation-proof measurement of Dongjiang pumping station in the third-phase Dongjiang-Shenzhen water supply extension project [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 1995(4): 17-21. (in Chinese))
- [8] 郝瑞霞,毕慧英,曹靖,等. 惠州电厂取水口至泵房过渡前池的水力特性研究[J]. 科技情报开发与经济,2008(7): 151-153. (HAO Rui-xia, BI Hui-ying, CAO Jing, et al. Research on hydraulic characteristics of the transition fore bay from the intake to the pump room in Huizhou Power Station [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2008(7): 151-153. (in Chinese))
- [9] 吕文翠,彭清娥,张文江. 镇雄电厂一期取水口泥沙模型试验研究[J]. 东北水利水电,2009(2): 54-56. (LV Wen-cui, PENG Qing-e, ZHANG Wen-jiang. Experimental study on sediment model of 1st-phase water intake in Zhenxiong Power Station [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2009(2): 54-56.
- [10] JTJ/T 234-2001, 波浪模型试验规程[S]. (JTJ/T 234-2001, Wave model test rules [S]. (in Chinese))

## Model tests of wave pressures on water intake structure of LNG project

YUE Yong-kui<sup>1,2</sup>, PAN Jun-ning<sup>3</sup>, WANG Deng-ting<sup>3</sup>

(1. *GDIH Energy Research Center, Guangzhou 510623, China*; 2. *CNOOC Shenzhen Gas Co., Ltd., Shenzhen 518040, China*; 3. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

**Abstract:** Wave tests of a water intake structure in a liquefied natural gas (LNG) receiving station are carried out under the conditions of different water levels and irregular waves. The model scale is 1 : 36.5. During the tests, wave pressures of the water intake bucket and the first quadrate culvert are measured. Some influences of water intake quantity and water level on the wave pressures are analyzed. The conditions of water intake quantity are the first phase quantity (27 600 m<sup>3</sup>/h), the second phase quantity (55 200 m<sup>3</sup>/h) and zero. The test results show that the measured wave pressures become larger with water level decreasing. For different quantities, the max difference of the wave pressures is from 5% to 8%.

**Key words:** water intake; wave pressures; wave; physical model test

### 水利部公益性行业科研专项经费项目“气候变化对我国水安全影响及 对策研究”预验收会在北京召开

2012年5月8-10日,南京水利科学研究院、水利部应对气候变化研究中心在北京组织召开水利部公益性行业专项经费项目“气候变化对我国水安全的影响及对策研究”预验收会。会议由中国工程院院士、南京水利科学研究所所长、水利部应对气候变化研究中心主任张建云教授主持,水利部办公厅原主任顾浩教授、水利部水资源司原司长高而坤教授、水利部水利信息中心原总工刘春葵教授、河海大学郝振纯教授、南京水利科学研究院毛凤莲教授、吴永祥教授等专家出席会议。各课题负责人及研究骨干50余人参加了会议。

各课题负责人分别对照工作大纲和课题任务书,汇报了各课题取得的研究成果、考核指标的完成情况和存在的主要问题。与会专家在认真听取了汇报后,对每个课题进行了深入的质询和讨论。专家们对项目取得的研究成果给予了充分肯定,并就各课题需要加强和完善的方面提出了许多意见和建议,对各课题成果的进一步凝练和完善具有重要的指导意义。

项目负责人张建云院士在听取了各课题的汇报和专家意见后对会议进行了总结。首先肯定了各课题研究取得的重要进展和主要成果,对项目结题前的工作进行了详细部署,要求各课题根据预验收会上的讨论意见,对照任务书规定的研究内容,查漏补缺,对研究成果进一步总结和凝练;在做出结论时要认真分析,充分论证其合理性与可靠性,加强不确定性研究及风险分析,注重成果的实用性,着重面向水利行业和社会普遍关注的问题提出建设性和有操作性的意见和建议。课题之间应相互支持,加强沟通,实现资料共享,信息共享,成果共享;争取6月份前完成项目总报告的编制并申请验收。

摘自南京水利科学研究院网站