

风管穿舱设计工艺研究与分析

张会霞, 嵇亚东, 李 师

江苏海洋大学海洋工程学院, 江苏 连云港

收稿日期: 2021年11月8日; 录用日期: 2021年12月6日; 发布日期: 2021年12月14日

摘 要

在船舶风管系统布置过程中, 风管不可避免地需要穿过不同类型的舱壁或甲板。本文以公约和规则对风管穿舱时的要求为基础, 从选型选材、结构性能、振动噪声和密封性能四个方面研究和分析了风管穿舱情况, 设计和分析了矩形风管和螺旋风管穿过舱壁或甲板时的典型节点结构。

关键词

风管穿舱, 穿舱件, 振动噪声, 节点结构

Research and Analysis on Design Technology of Duct Penetration

Huixia Zhang, Yadong Ji, Shi Li

School of Ocean Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang Jiangsu

Received: Nov. 8th, 2021; accepted: Dec. 6th, 2021; published: Dec. 14th, 2021

Abstract

In the process of duct system layout, ducts inevitably need to pass through different types of bulkheads or decks. Based on the requirements of the convention and regulations, this paper studies and analyzes duct penetration from four aspects: material selection, structural performance, vibration and noise, and sealing performance, and designs and analyses typical joint structure of rectangular duct and spiral duct passing through bulkhead or deck.

Keywords

Duct Penetration, Penetration Piece, Vibration and Noise, Joint Structure

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着船舶大型化, 船舶舱室更加密集、功能更多、舒适等环境要求更高, 这就导致风管系统更加复杂。风管系统不可避免地需要穿过不同类型的舱壁或甲板, 风管在穿越不同功能的舱室时需要进行针对性的结构设计, 以保障舱室功能不受影响且使风管正常运转, 因此风管穿舱设计研究在风管系统中尤为重要。

当前的风管穿舱设计工艺研究方法有两种: CFD 数值模拟, 现场工艺应用研究。沈正帆[1]等人通过基于显式动力学计算方法对控制船舶液压系统的通舱管件进行数值仿真实验, 验证了弹性隔振相比于原直接焊接在舱壁上的通舱管件能更有效地降低振动。陈国锋[2]等人通过数值仿真对阻尼隔振的管路弹性穿舱件的振特性和隔舱密封特性进行分析, 得出了采用含有弹性体的穿舱件可以有效降低舰船流体管路的结构振动和流体振动激励向舱壁的传递, 同时能满足舱壁的隔舱密封要求。贾玉光[3]等人通过对腹板要求材质、穿舱件材质、焊接方式、管径、制作难易程度、舱壁开孔大小、应用位置对半潜式平台上三种水密穿舱件和六种非水密穿舱件进行了对比分析。尹海军[4]在圆筒型 FPSO 穿舱件设计, 根据主甲板、压载舱吸水管线、排舷外套管三个不同穿舱位置的穿舱件设计进行了对比分析及改善。王超众[5]等人主要从防火等级、管径、现场施工方案对洛克赛克的 MCT、BELLE 公司的 NOFINO、诸暨金桥的 DGM & NG、喜得利的 CP670 四种海洋平台穿舱件进行了对比分析。本文对风管穿舱时的选型选材、结构性能、振动噪声和密封性能进行了分析, 设计和分析了九个典型节点结构, 便于以后对复杂的穿舱结构进一步探究。

2. 公约和规则要求

2.1. SOLAS 公约要求

SOLAS 公约主要对穿过 A 级分隔和 B 级分隔的风管提出了要求[6]。对于穿过 A 级分隔, 若风管有效截面积不超过 0.02 m^2 , 开口应装设钢套管, 钢套管要求为长度大于或等于 200 mm , 在舱壁两侧的距离最好相等, 厚度应大于或等于 3 mm 。对于穿过甲板的情况, 钢套管应全部位于甲板的下面。若有效截面积小于或等于 0.075 m^2 , 但大于 0.02 m^2 , 则套管厚度至少为 3 mm , 长度大于或等于 900 mm , 钢套管的防火要求和穿过的舱壁或甲板相同。若有效截面积大于或等于 0.075 m^2 , 除上述要求外, 所有风管均需装设满足相关要求的自动挡火闸。对于穿过 B 级分隔, 若风管有效横截面积大于 0.02 m^2 , 除满足要求的钢质风管外, 应设有钢板套管, 钢质套管的要求为长度至少为 900 m , 在舱壁两侧的距离最好相同。

2.2. 国内航行海船法定检验技术规则(2020)要求

《国内航行海船法定检验技术规则》(2020)基本和 SOLAS 的要求一致, 区别在于穿过 A 级分隔截面积大于 0.02 m^2 的风管在通过甲板或舱壁处为钢质且满足以下要求时, 可以不装钢质套管: a) 钢质套管的长度大于或等于 900 mm , 在舱壁两侧的距离相同, 壁厚大于或等于 3 mm 。风管的耐火完整性要求同通过的甲板或舱壁一致; b) 净截面积超过 0.075 m^2 的风管, 在满足(a)要求的基础上, 需设置满足要求的挡火闸[7], 但风管穿过的处所不使用风管且该处所被 A 级分隔包围, 风管耐火完整性和其穿过的分隔相同的除外。

3. 研究要点分析

3.1. 选型选材

船舶每个舱室有不同的防火和密封性要求，而风管在设计时需要穿过不同的舱室，因此需要根据舱室的具体要求，对风管穿舱材料进行分析。穿舱件的材质主要分为碳钢穿舱和不锈钢，船体结构主要分为主甲板以上的上层建筑和主甲板以下主船体两部分，正常情况下上层建筑部分和主甲板以下部分是分开建造的。主甲板以下船体部分的穿舱件主要分为水密和非水密，另外不同舱室的防火及风管的绝缘要求还需考虑穿舱件是否需要覆盖绝缘材料。

为了保障风管和舱室的安全，风管穿舱件的结构强度需要进行研究。从船体结构强度出发，船体结构强度被穿舱件的影响基本可以忽略。主要考虑穿舱件和舱壁或甲板连接、穿舱件和风管连接的强度和变形是否满足技术要求。同时还需要具备便利的安装性能和更少的安装空间。

3.2. 振动噪声性能

风管在工作过程中由于内部空气流动，会出现一定程度的振动，该振动可以通过穿舱件传递到舱壁或甲板，影响船舶船舶舒适度和船员的工作和生活环境，长时间的振动可能对风管的结构造成损坏、降低船舶电子仪器的可靠性。国际海事组织海上安全委员会《船上噪声等级规则》(MSC337(91))对船舶不同处所的噪声有严格的要求如表 1。正常情况下，通舱件与船体都是通过焊接进行刚性连接的，振动噪声在船体构件间的传播很容易。可以通过以下方法进行减振降噪：a) 降低风管内空气的流速；b) 选用合适的材料使通舱件与舱壁或甲板进行弹性连接；c) 在《船舶设计手册》中已经说明，相同流量条件下，圆截面风管比矩形风管噪声低 20~25 分贝。将通风管由矩形管变为圆形管，并增加消音管[8]。

Table 1. Limits of noise in different locations of ships

表 1. 船舶不同处所的噪声极限值

| 舱室及区域名称 | 1600~10,000 总吨船舶 | ≥10000 总吨船舶 |
|--------------------|------------------|-------------|
| 居住舱室及医务室 | 60 分贝 | 55 分贝 |
| 餐厅 | 65 分贝 | 60 分贝 |
| 娱乐室 | 65 分贝 | 60 分贝 |
| 办公室 | 65 分贝 | 60 分贝 |
| 机器处所 | 110 分贝 | 110 分贝 |
| 驾驶室和海图室 | 65 分贝 | 65 分贝 |
| 无线电室(无线电工作，但不产生信号) | 60 分贝 | 60 分贝 |

3.3. 密封性能

船舶大多数舱室对密封性能具有要求，从水密性能考虑，分为水密和非水密舱壁或甲板，水密舱壁基本在主甲板以下，要求比较高。从防火性能考虑，主要分为“A”级、“B”级和“C”级分隔。其中“C”级分隔要求最低，“A”级分隔要求最高，“A”级分隔划分为四等，定义可以概述为：a) 钢质或同等材料，有适当的防挠加强；b) 用认可的不燃材料隔热，使之在下列时间内，其背火一面的温度较初始温度升高不超过 1400 C，且在包括任何接头在内的任何一点的温度较初始温度升高不超过 1800 C：“A-60”级 60 min，“A-30”级 30 min，“A-15”级 15 min，“A-0”级 0 min；c) 1 小时的标注耐火试验能防止烟雾和火焰通过；d) 原型舱壁或甲板已被主管机关按《耐火试验程序规则》的要求进行一次满足上述要求。对穿舱件的密封性能研究主要考虑穿舱件和舱壁或甲板连接的密封性以及穿舱件和风管连接的密封性。

4. 节点结构

4.1. 矩形风管

矩形风管穿过钢质围蔽或甲板时，矩形风管有效截面积 HXB 大于 0.02 m^2 但不超过 0.075 m^2 ，穿过“ $A60$ ”级舱壁或甲板时的节点结构设计时，穿舱件的材质一般为钢质，壁厚大于或等于 3 mm ，长度至少为 900 mm ，舱壁的两侧各为 450 mm ，对于穿过甲板，穿舱件应全部位于甲板下面。在此长度范围内和在舱壁或甲板开孔两侧至少 450 mm ，且耐火完整性和穿过的分隔相同。舱壁或甲板的开孔尺寸比通舱件外壁尺寸单边大 50 mm ，通舱件通过补板与舱壁或甲板进行焊接，补板在有防火要求的一侧且厚度要大于或等于 4 mm 。通舱件两侧分别固定有法兰，两侧的风管分别通过风管法兰与通舱件法兰以螺栓、螺母进行连接固定，其中法兰为扁钢或角钢，如图 1 所示。

当矩形风管有效截面积不大于 0.02 m^2 时，穿过“ $A60$ ”级舱壁或甲板时的节点结构如图 2 所示。当矩形风管有效截面积超过 0.075 m^2 ，穿过“ $A60$ ”级舱壁或甲板时的节点结构设计如图 3 所示，风管穿过舱壁时， $L_1 = L_3 \geq 450 \text{ mm}$ ，风管穿过甲板时， $L_1 \geq 800 \text{ mm}$ ， $L_3 = 100 \text{ mm}$ 。

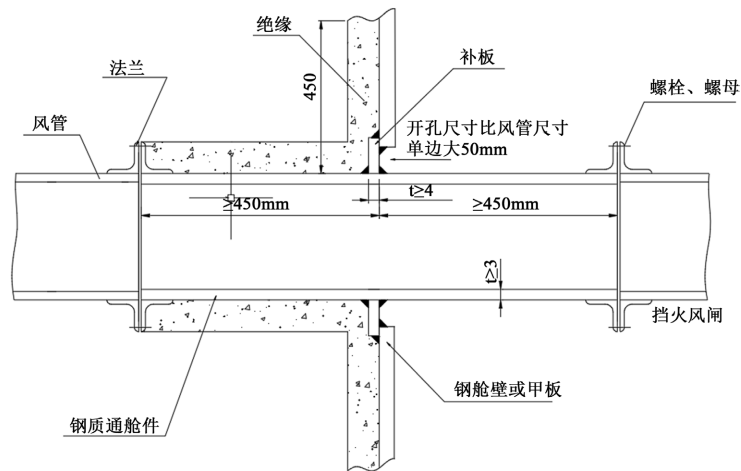


Figure 1. $0.02 \text{ m}^2 < HXB \leq 0.075 \text{ m}^2$, structure of rectangular duct passing through “ $A60$ ” bulkhead
图 1. $0.02 \text{ m}^2 < HXB \leq 0.075 \text{ m}^2$ 时矩形风管穿过“ $A60$ ”级舱壁时的结构

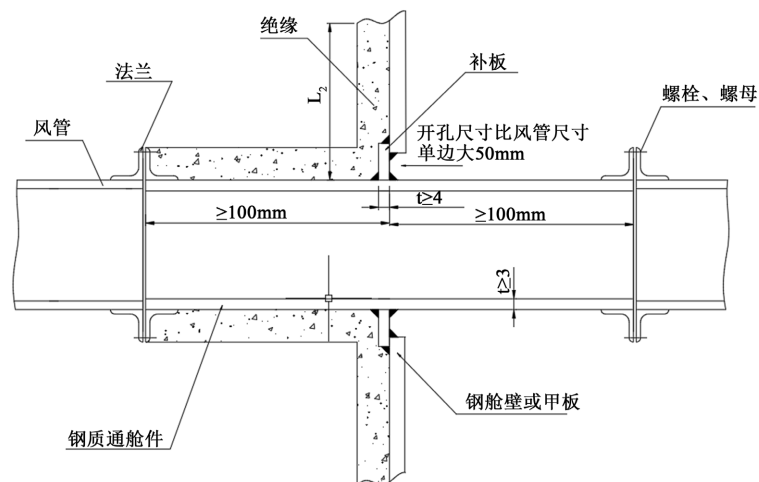


Figure 2. $HXB \leq 0.02 \text{ m}^2$, structure of rectangular duct passing through “ $A60$ ” bulkhead
图 2. $HXB \leq 0.02 \text{ m}^2$ 时矩形风管穿过“ $A60$ ”级舱壁时的结构

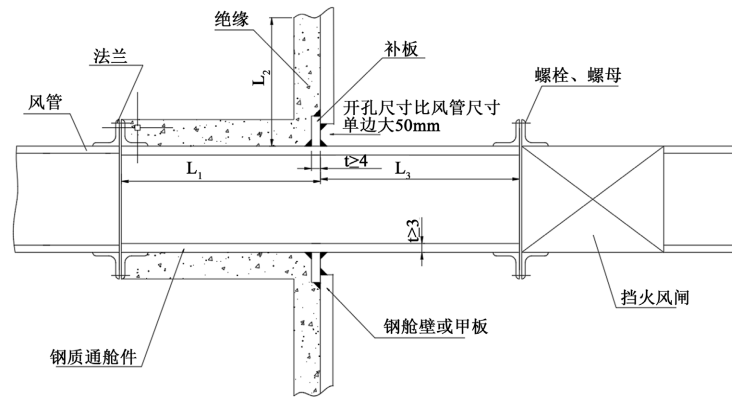


Figure 3. $0.075 \text{ m}^2 < \text{HXB}$, structure of rectangular duct passing through “A60” bulkhead
图 3. $0.075 \text{ m}^2 < \text{HXB}$ 时矩形风管穿过 “A60” 级舱壁时的结构

风管穿过穿过 “A0” 级舱壁或甲板时, 将在穿过 “A60” 级舱壁或甲板的节点结构基础上将耐火隔热物去除既可。风管穿过非 “A” 级或非 “B” 级水密舱壁或甲板时如图 4 所示, 风管穿过非 “A” 级或非 “B” 级非水密舱壁或甲板时如图 5 所示。

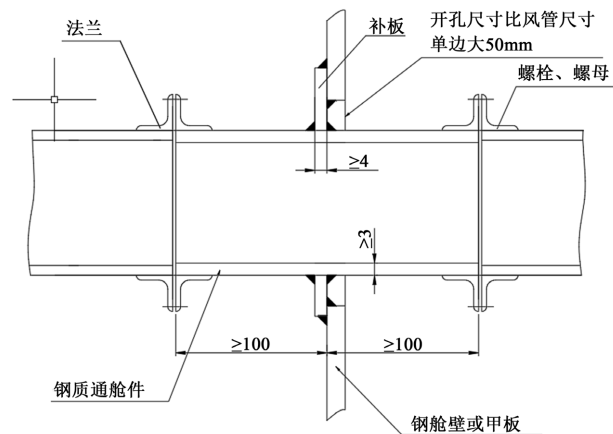


Figure 4. Structure of rectangular duct passing through non-“A” or non-“B” watertight bulkhead
图 4. 矩形风管穿过非 “A” 级或非 “B” 级水密舱壁时的结构

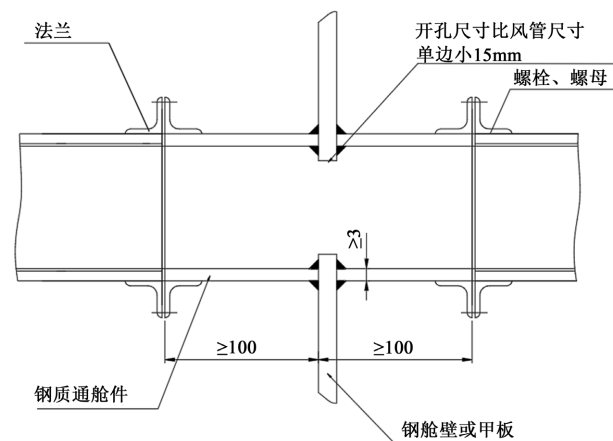


Figure 5. Structure of rectangular duct passing through non-“A” or non-“B” non-watertight bulkhead
图 5. 矩形风管穿过非 “A” 级或非 “B” 级非水密舱壁时的结构

4.2. 螺旋风管

螺旋风管主要分为绝缘螺旋风管和非绝缘螺旋风管，穿过舱壁或甲板时，绝缘螺旋风管需要用绝缘通舱件，同理非绝缘螺旋风管需要非绝缘通舱件。

绝缘螺旋风管穿过舱壁或甲板时，风管有效截面积 HXB 大于 0.02 m^2 但不超过 0.075 m^2 ，穿过 A60 级舱壁或甲板时的节点结构设计，绝缘通舱件的壁厚至少为 3 mm ，长度至少为 900 mm ，舱壁的两侧各为 450 mm ，对于穿过甲板，整体位于甲板下面。在此长度范围内和在舱壁或甲板开孔两侧一定范围内覆盖耐火隔热物，该隔热物的耐火完整性和穿过的分隔相同。舱壁或甲板的开孔尺寸略大于通舱件外壁尺寸，方便进行焊接。通舱件两侧分别固定有螺纹接头并用螺钉进行加固，两侧的风管通过螺纹接头与通舱件进行连接，如图 6 所示。当绝缘螺旋风管有效截面积不大于 0.02 m^2 时，穿过“A60”级舱壁或甲板时的节点结构如图 7 所示。

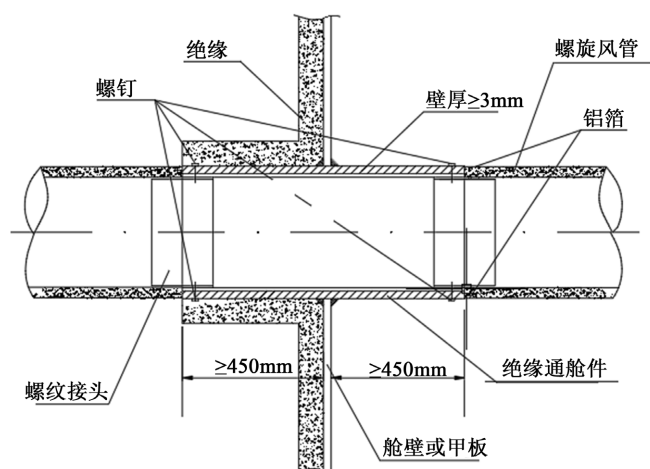


Figure 6. $0.02 \text{ m}^2 < HXB \leq 0.075 \text{ m}^2$, structure of insulated spiral duct passing through “A60” bulkhead
图 6. $0.02 \text{ m}^2 < HXB \leq 0.075 \text{ m}^2$ 时绝缘螺旋风管穿过“A60”级舱壁时的结构

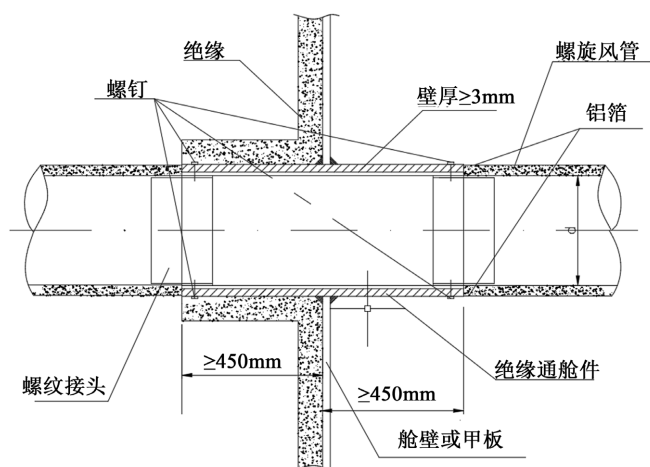


Figure 7. $HXB \leq 0.02 \text{ m}^2$, structure of insulated spiral duct passing through “A60” bulkhead
图 7. $HXB \leq 0.02 \text{ m}^2$ 时绝缘螺旋风管穿过“A60”级舱壁时的结构

当绝缘螺旋风管穿过“A0”级舱壁或甲板时，风管有效截面积 HXB 大于 0.02 m^2 但不超过 0.075 m^2 时的节点结构设计如图 8 所示。风管有效截面积 HXB 不大于 0.02 m^2 时，节点结构如图 9 所示。

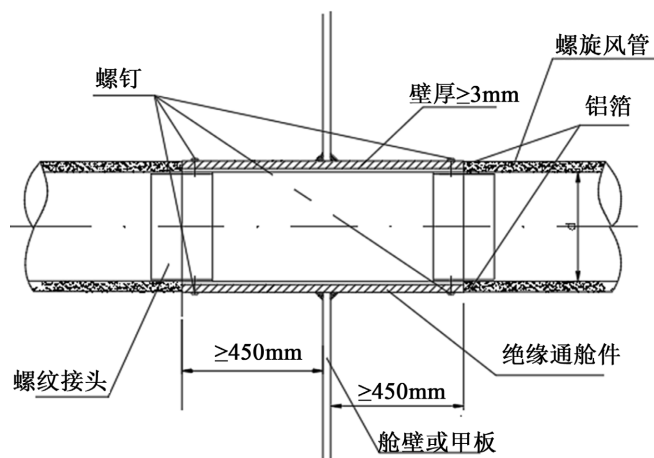


Figure 8. $0.02 \text{ m}^2 < \text{HXB} \leq 0.075 \text{ m}^2$, structure of insulated spiral duct passing through “A0” bulkhead
图 8. $0.02 \text{ m}^2 < \text{HXB} \leq 0.075 \text{ m}^2$ 时绝缘螺旋风管穿过 “A0” 级舱壁时的结构

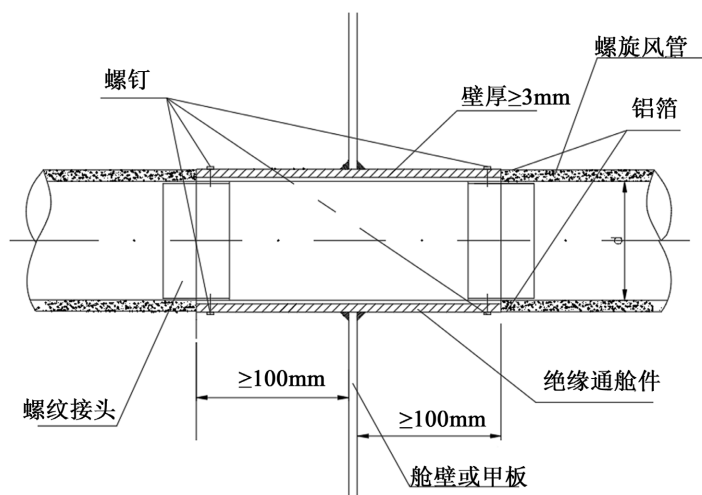


Figure 9. $\text{HXB} \leq 0.02 \text{ m}^2$, structure of insulated spiral duct passing through “A0” bulkhead
图 9. $\text{HXB} \leq 0.02 \text{ m}^2$ 时绝缘螺旋风管穿过 “A0” 级舱壁时的结构

5. 结论

船舶各舱室根据功能主要划分为机器处所、起居处所、公共处所、服务处所、货物处所、滚装处所、控制站等，风管穿过舱壁或甲板时根据各舱室的防火、水密、管径等不同要求，可以参考本文设计的典型节点结构并进行一定程度的优化。

基金项目

江苏省研究生实践创新计划项目(KYCX2021-086)。

参考文献

- [1] 沈正帆, 吴声敏, 张瑶, 等. 基于有限元仿真的隔振通舱管件设计[J]. 舰船科学技术, 2013, 35(12): 73-77.
- [2] 陈国锋, 李伟, 王博, 李盼. 管路弹性穿舱件隔振与密封技术[J]. 舰船科学技术, 2020, 42(21): 63-65.
- [3] 贾玉光, 崔鹏, 魏玉垒, 丰兴盛, 谭晓光. 半潜式生产平台管路穿舱件选型研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(18): 120-121+123.

- [4] 尹海军. 圆筒形 FPSO 穿舱件设计[J]. 石化技术, 2020, 27(3): 51-52.
- [5] 王超众, 陈果, 刘洋, 郭雪丰, 刘斌. 海洋平台建造中管线穿舱方案分析[J]. 石油和化工设备, 2017, 20(4): 74-76.
- [6] International Maritime Organization (2014) International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). International Maritime Organization, London.
- [7] 中华人民共和国海事局. 国内航行海船法定检验技术规则[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020: 476-477.
- [8] 王静超. 船用舱室通风降噪方法探究[J]. 广船科技, 2021, 41(2): 37-40.