



浮式闸门在极寒地区防冰害的安全运行设计

蒋梦嫣

(中船第九设计研究院工程有限公司, 工程设备设计研究院, 上海 200090)

摘要: 针对浮式闸门在极寒地区结冰期防冰害安全运行的问题, 以俄罗斯远东地区某大型浮式闸门为例, 研制出闸门外部气泡防冻结系统、辅助电加热系统、止水带防冻结系统、外部防冻结检测系统及融冰监控系统、内部水舱防冻结系统等, 使得大型浮式闸门在极端气候条件下仍可正常安全运行。该闸门的成功研制, 使得极寒地区的港区在极端工况下仍正常通行船舶变为了可能, 扩展了港区选址的水域范围, 同时提高航道利用率和周转率, 降低航运周期及成本。

关键词: 浮式闸门; 防冰害安全运行; 防冻结系统

中图分类号: U 641.3+31; TV 663

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)06-0125-06

Safe-operation design of floating gate against ice damage in extremely cold area

JIANG Mengyan

(Engineering Equipment Design & Research Institute, China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200090, China)

Abstract: Aiming at the problem of safe-operation of the floating gate against ice damage in the freezing period in extremely cold area, taking the large floating gate in the Far East of Russia as an example, this paper develops the gate external bubble anti-freezing system, auxiliary electric heating system, water stop anti-freezing system, external anti-freezing detection system and melting ice monitoring system, internal water tank anti-freezing system, which can make the floating gate still operate normally and safely under extreme climate conditions. The successful development of the gate makes it possible for ships to pass normally in the port area in the extremely cold area under extreme working conditions. It expands the water area for the site selection of the port area, improves the utilization rate and turnover rate of the channel, and reduces the shipping cycle and cost.

Keywords: floating gate; safe-operation against ice damage; anti-freezing system

闸门是港区及航道的重要配套设备, 起挡水作用^[1]。闸门的操作性、安全性等, 直接影响到整个航道的完整性, 进而影响航行周期和船舶的周转率。

浮式闸门利用其内部压载水舱的进排水实现闸门的沉浮, 从而达到开关闸门的目的。而位于严寒地区的浮式闸门在冬季存在水舱内的压载水、闸门与外部水域冻结的情况, 严重影响闸门正常的开启关闭以及闸门自身结构安全。以往未有冬季工况下结冰现象对浮式闸门正常工作的影响、相关应对措施等应用研究。

1 工程概况

2018年, 国内中标俄罗斯远东地区超大型浮式闸门设计-采购-施工(EPC)总承包项目。该浮式闸门结构形式为倒T形, 长114.85 m、高13.5 m、宽12.0 m, 设计高、低水位分别为11.85、9.70 m, 需要在冬季极端气温低至-30℃、水域冰层最厚达0.7 m时进行沉浮开关门作业。因为不能使用化学药剂融冰以免破坏环境, 对闸门提出了严苛的设计要求。本文依托上述极寒地区浮式闸门工程, 分析在冬季工况下如何解决闸门内部水舱水冻结以及闸门外部临水处水域冻结等问题。

收稿日期: 2022-08-11

作者简介: 蒋梦嫣(1982—), 女, 高级工程师, 从事机械非标设备设计与研究。

2 防冻结系统

极寒地区冬季时期,当闸门下沉到闸口指定位置,其压载水舱内水面与外部水平面齐平。此时,闸门靠低水位或无水一侧的外舱壁会直接接触寒冷空气。闸门的钢质材料在气温 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的导热系数高达 $53\text{ kW}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$,极高的传热系数使得闸门水舱内部的热量极易传导到外界的空气和水中。如无相应措施,则存在闸门内部水舱内水冻结的可能。而当闸门较长时期处于关门挡水状态时,如无相应措施,则闸门与水域接触的一侧,则会因冻结而承受对门体结构危害很大的冰荷载,从而影响闸门正常沉浮开关,对闸门及航道造成巨大安全隐患且影响航道正常通行。

为保证浮式闸门在极寒地区的极端工况下能正常运作,须从闸门外部及其内部水舱防冻结两方面进行考虑。

2.1 外部防冻结系统

2.1.1 气泡防冻结系统

目前工程上使用成熟的水域防冻结措施主要为射流防冰,即利用管路将潜水泵与射流口连接,在水下形成连续不断的射流流体防止水面结冰^[2-4]。射流防冰装置虽然前期投资较少,但在结冰期使用时需要不间断运行潜水泵,运行能耗较大。而且根据实际使用效果,射流防冰装置的融冰范围仅为一条窄缝,目的是保持冰层断开,如遇当地风雪天气或冰层随洋流漂移时,浮冰及暴雪极易将融冰窄缝覆盖冻结,从而影响融冰效果。

经过前期研究,比对防冻结效果、运行能耗、投资经济性等参数,最终在该浮式闸门上采用气泡防冻结系统,用以消除冰害(静冰压力、冰拔力、冰爬力等)对闸门门体结构的破坏,保证闸门在严寒气候下的安全使用。

该系统包括空气过滤器、空气干燥机、空压机(2台,其中1台备用)、储气罐、压力表、压力传感器、上位机、集控阀组和水下气泡发生装置,见图1。在闸门临水侧水面以下一定深度设置气密管路,传输压缩空气,利用水下气泡发生装置产生连续气泡,形成符合要求的流场,破坏冰晶核,防止相应水域冻结。该系统设有温度传感

器、水压传感器等,配合电控,达到程序设定时间规定的运行方式。该套气泡防冻结系统全部集成在浮式闸门上,闸门启闭时随之一起移动(图2)。该系统既可接岸电箱供电,又可接闸门内部柴油发电机组供电,适应闸门各类运动工况。

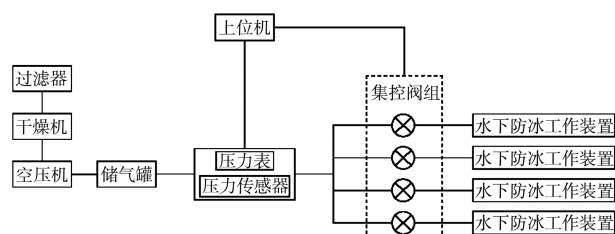
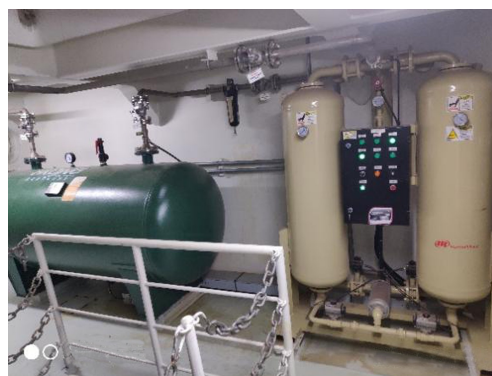


图1 气泡防冻结系统原理



a) 室外组件



b) 室内组件

图2 气泡防冻结系统

与现有技术相比,该套气泡防冻结系统的工作效率高、融冰范围宽度较大,从实际效果看,融冰宽度可达 2 m 以上(图3),且布置灵活、环境友好、无污染、空压机无需长时间连续工作、后期运行能耗低(约为射流防冻结系统的30%)、维护简单。

进入冬季后,该系统可以通过调节供气量大小、启停控制方式、调整运行时间段等,满足不同低温条件下的防冻结要求。



图 3 气泡防冻结系统实际运行情况

2.1.2 辅助电加热系统

气泡防冻结系统的水下气泡发生装置在运行过程中可能发生局部意外受损的情况，在意外受损处的水域存在冻结风险。此时可以开启辅助电加热装置，在与闸门冻结的冰层上融出小范围无冻结区域，加强相邻正常工作的水下气泡发生装置的防冻效果，扩展无冻结水面面积。在极端低温 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、冰层厚度 0.7 m 工况下，一般运行 0.5 h 左右即可融化出半径约 65 mm 的水域。考虑到闸门两侧都可能临水，因此在闸门两侧水下气泡发生装置的上方设置电加热装置。如因突发恶劣低温天气，未能及时打开气泡防冻结系统，该系统也可先行开启进行融冰，再开启气泡防冻结系统加快融冰效果。由于该系统能耗较大，一般作为应急系统，配合气泡防冻结系统使用(图 4)。

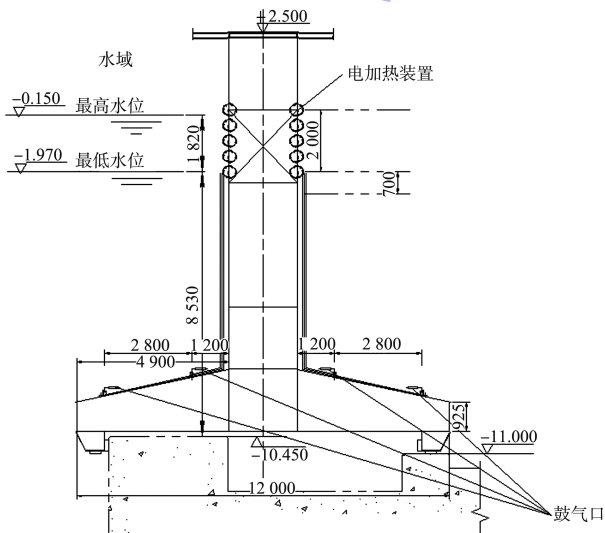


图 4 辅助电加热系统 (尺寸: mm; 高程: m)

2.1.3 止水带防冻结系统

极寒地区冬季工况下，闸门处于关门止水状态时，其橡胶止水条容易与土建预埋止水带钢板冻结，如果此时闸门进行上浮开门动作，极易造成橡胶止水带撕裂损坏，故设计了止水带防冻结系统，解决上述问题。

闸门止水带防冻结系统，是在贴合闸门橡胶止水条的土建预埋止水带钢板后方设计钢制箱形梁，其内部架设供暖热水管道，通过外接厂区锅炉热水，对箱形钢梁内部空间传热，间接提高箱梁内部空间及相关结构的温度，防止闸门橡胶止水条与土建预埋止水带冻结。箱形钢梁整体埋入闸口混凝土门墩和门槛内，既防止热量损失，又减少了腐蚀。

2.1.4 外部防冻结检测系统及融冰监控系统

闸门外部防冻结检测系统主要包括液位计、温度传感器、中央处理器等，该系统与气泡防冻结系统采用电性连接。将温度传感器安装在闸门外部端板附近，液位计安装在闸门两侧临水处，中央处理器并入闸门总控系统，与闸门启闭动作互锁。闸门处于长期静止状态时，可开启检测系统，通过检测室外气温判断是否有结冰可能，然后通过液位计检测闸门两侧是否有水，当外界气温低于设定值时，打开有水侧的气泡防冻结系统组件，达到智能识别运行能力(图 5)。通过该检测系统可设置气泡防冻结系统在温度低于某设定值时运行，或按照预先设定时间段运行。气泡防冻结系统具备自动运行、远程运行、手动运行 3 种运行方式，可根据需要自行选择。

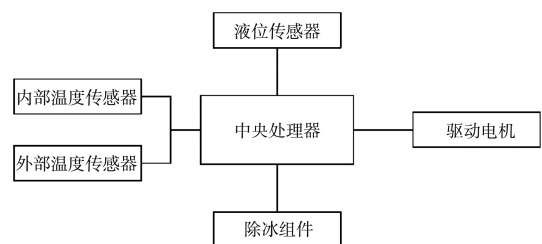


图 5 外部防冻结检测系统原理

闸门外部融冰监控系统与气泡防冻结系统和辅助电加热系统采用电性连接，用于统一控制上述2套防冻结系统(图6)。通过总控模块，能够在检测到气泡防冻结系统出现故障时及时启动辅助电加热系统，提供维护气泡防冻结系统所需的时间。采用最佳的网络通讯方案，实现现场运行数据的快速集中和实时采集，便于快速响应运维需求，并通过人机界面进行日常管理。

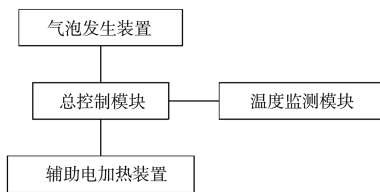


图6 外部融冰监控系统原理

2.2 内部水舱防冻结系统

2.2.1 水舱内保温

为了隔绝水舱外寒冷环境对于水舱内部的影响，需要在水舱内部增设保温措施。由于水舱内部构件复杂，没有较大的平整表面，常规的保温板(如参考电厂蓄冷池采用的成品聚氨酯保温壁板、硬质橡胶板等)施工困难。

考虑施工和维护便捷性，闸门内部水舱保温采用喷涂聚氨酯保温、聚脲防水的加工工艺，同时兼具防水、耐磨、防腐和高效保温的效果，使用寿命长。聚氨酯泡沫具有较好的热性能和机械性能等特点且成本较低，外部喷涂的聚脲弹性体技术既能满足环保要求，又具有防水、耐磨、防腐等优点。

2.2.2 水舱内部防冻结措施

浮式闸门内部水舱的防冻结措施需要综合考虑工况环境、运行时间、使用安全等问题。由于浮式闸门内部水舱为相对封闭空间，仅有少量细小气管通到闸门外。如采用气泡防冻结系统，其在工作时需要持续向密闭水舱内注入大量压缩空气，而这些气体将无法及时排出水舱。气体大量压缩积累后，

存在将水舱内压载水经连通外水域水管排出舱外造成“跳门”危险的可能。同时，大量气体短时间内通过细小气管排出闸门外时，会产生较大分贝的“啸音”，也是一种噪声污染。综合以上原因，气泡防冻结系统不适用于水舱内部防冻结。

另外，由于该浮式闸门采用的倒T形结构，使得闸门在长期关闭挡水时可以排空压载水舱内的水。所以结冰期只要保证在浮式闸门水舱进水下沉，至港池内水排空这一段时间内水舱内的水不结冰即可(通常不超过1d)，防冻结系统需要运行的时间较短。当浮式闸门处于漂浮状态时，水舱内无压载水，无需考虑防冻结。

针对水舱相对封闭、需要防冻结的时间较短、充分利用岸上已有热源节能降本等工程实际情况，决定在水舱内部选择以下防冻结措施：

1)水舱内加热。在水舱内布置若干加热盘管(类似于光排管散热器，见图7)，固定于水舱内壁钢板上，多个盘管连接起来，通过连接岸上已有锅炉热水供暖。水舱内部加热冷却系统由系统A、B连接而成，如图8所示。

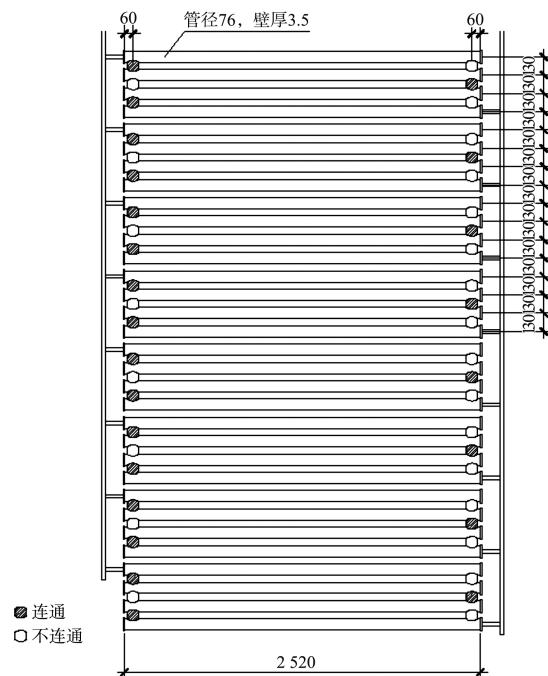
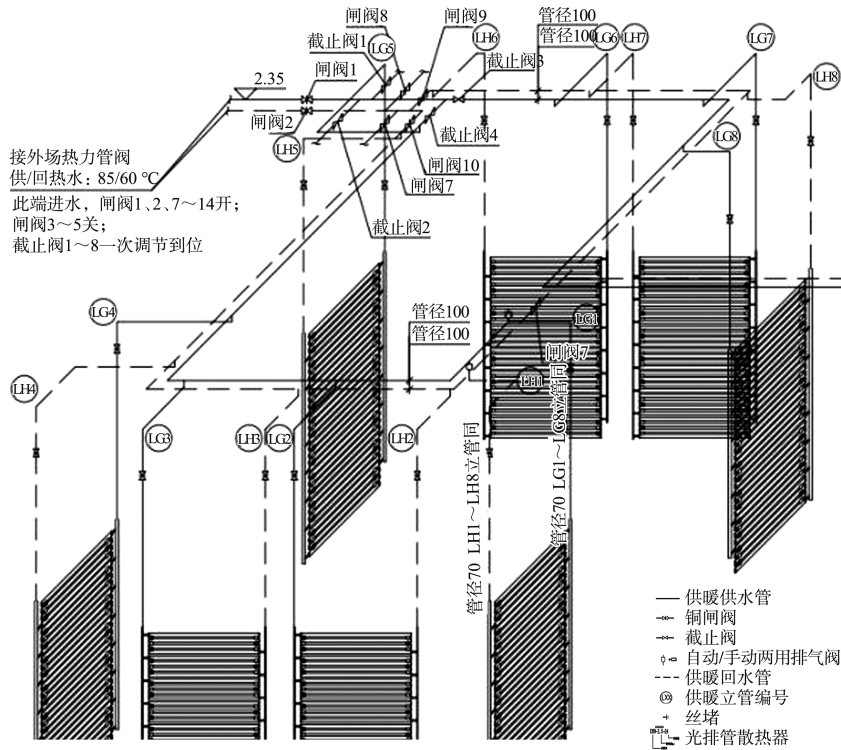
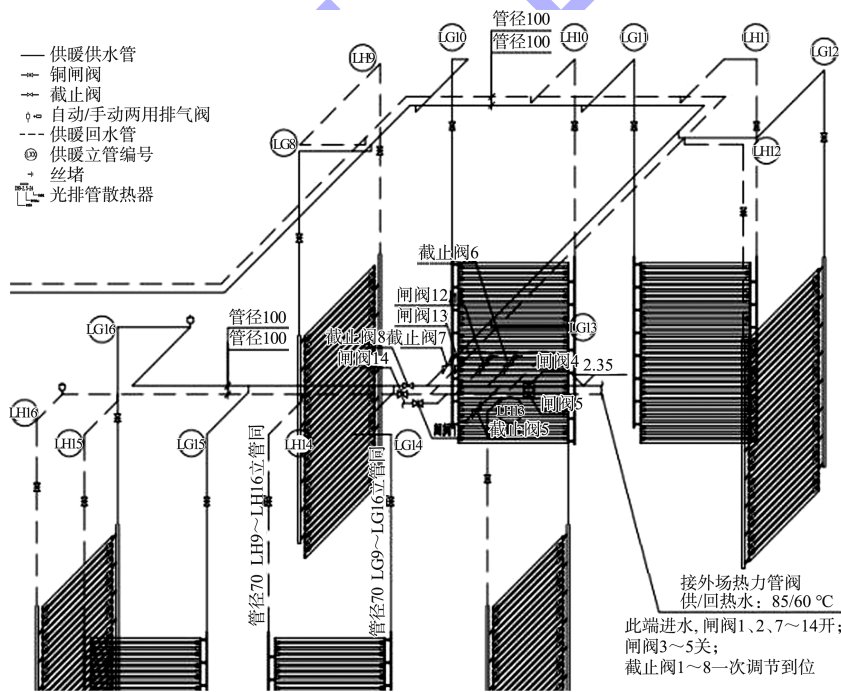


图7 单组加热盘管(单位: mm)



a) 系统A



b) 系统B

图8 水舱内加热防冻系统（尺寸：mm；高程：m）

2) 水舱内射流防冻结系统。除了保温和内部布置加热盘管等措施，还可以在水舱中设置射流防冻结系统，减少成冰可能。该装置可以安装在水舱内，持续产生流体扰动水体，破坏冰结晶，

防止水面冻结^[5]，见图9。该系统既可连接岸电供电，又可使用闸门内部柴油发电机组供电，采用人工控制，结冰期在水舱进水后启动，在水舱排水前关闭。

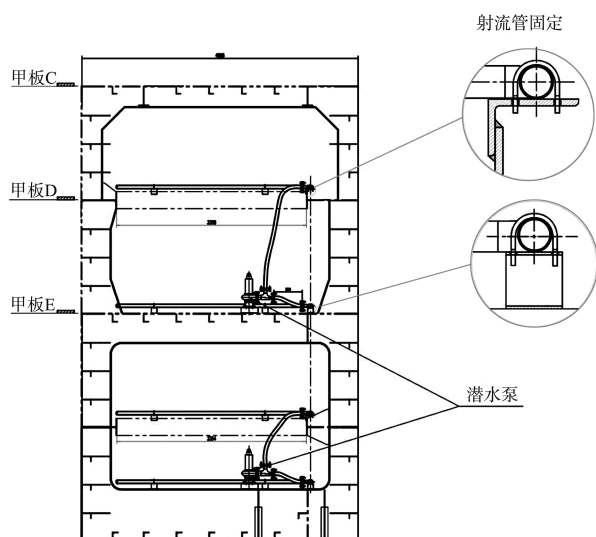


图9 水舱内射流机组

3 结语

1) 该浮式闸门在极寒地区成功应用且已连续两年安全过冬, 防冻效果达到预期目标, 同时满足结冰期正常启闭闸门的要求。

(上接第124页)

各工况中, 一线船闸停船段各测点在靠近趸船侧局部区域的横向流速在 0.15 m/s 以内, 纵向流速大于 0.5 m/s; 航线中心及偏河侧测点纵向、横向流速仍较大。对比二线船闸未建前, 优化方案下一线船闸的进闸船舶停靠位置与二线船闸未建前停靠位置基本一致, 可认为该方案未降低一线船闸通航标准。

4 结论

1) 原方案各工况下, 二线船闸停船段存在局部点横向流速超标; 一线船闸停泊段和口门区存在普遍流速超标现象, 且水流条件劣于二线船闸未建前。

2) 在优化方案下, 二线船闸通航水流条件在各工况下均满足要求; 一线船闸口门区及靠船墩水流条件有了一定的改善, 且该方案未降低一线

2) 该浮式闸门在极寒工况下仍能正常沉浮开关运行, 使得极寒地区的港区在极端工况下仍正常通行船舶变为可能, 这一突破扩展了港区选址的水域范围, 同时提高航道利用率和周转率, 降低航运周期及成本。

参考文献:

- [1] 中水东北勘测设计研究有限责任公司. 水利水电工程钢闸门设计规范: SL 74—2019[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019.
- [2] 孔佑鹏, 蒋波. 南水北调中线涿涿段水泵射流扰冰装置的应用[J]. 水电站机电技术, 2018, 41(S2): 28-31.
- [3] 王永强, 韩彩红, 庞雷, 等. 大直径超高压旋转水射流装置的研制及工程应用[J]. 流体机械, 2011, 39(10): 42-44.
- [4] 金长德. 压力水射流法在水库防冰冻灾害中的应用[J]. 吉林水利, 2006(12): 26-27.
- [5] 中水东北勘测设计研究有限责任公司. 水工建筑物抗冰冻设计规范: GB/T 50662—2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.

(本文编辑 王璁)

船闸的通航标准。研究成果为万安二线船闸的设计提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 周华兴. 双线船闸共用引航道的尺度分析[J]. 水道港口, 1992(4): 42-48.
- [3] 徐进超, 宣国祥, 刘本芹, 等. 贵港二线船闸下引航道物理模型试验研究[J]. 水利水电工程学报, 2017(6): 9-13.
- [4] 刘本芹. 西江航运干线贵港航运枢纽二线船闸工程整体水工模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2014.
- [5] 南京水利科学研究院. 水工(常规)模型试验规程: SL 155—2012[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.

(本文编辑 王璁)