

# 某干坞工程钢闸门止水效果试验研究

张小林

(中交一航局第三工程有限公司)

**摘 要:** 为验证某干坞工程钢闸门止水效果, 保证干坞工程投入使用期的安全性, 采用在特制水箱内安装钢闸门, 模拟干坞工程投入使用期各种工况变化, 通过不断优化调整、检验证明钢闸门的预紧系统, 得到满足止水要求的钢闸门预紧点位置、拉合力大小及操作方法、止水橡胶连接方式等, 可为类似工程钢闸门设计、加工和止水效果检验提供参考。

**关键词:** 止水效果; 水箱模拟; 钢闸门预紧点; 干坞工程

## 0 引言

干坞坞门是构件出坞的必经通道, 为满足构件出坞及坞内蓄水的要求, 坞口处设置具备开启功能的浮坞门。传统的干坞坞口浮坞门一般采用全钢结构, 止水工艺成熟。但某干坞工程因其建造工艺特殊性未选用全钢结构浮坞门, 而是以重力式沉箱作为坞门, 并在坞门与坞门墩之间设置活动钢结构——钢闸门, 该钢闸门为国内首次设计应用, 钢闸门预紧后的止水效果无法预料。干坞工程的止水体系设计和施工如果存在缺陷, 干坞建造结束后很难发现漏水点, 甚至在使用期出现无法控制的局面。因此, 在干坞施工过程中, 必须对多环节的止水系统给予充分的认识和重视, 采取有效地预防措施, 以确保整个干坞工程达到预期的止水效果<sup>[1]</sup>。因此, 需要对某干坞工程钢闸门止水效果进行试验研究。研究过程中, 需要设计一个场所, 能够模拟干坞使用期不同工况对钢闸门止水效果的影响, 从而判定钢闸门的预紧点、拉合力、止水橡胶连接方式的可行性。

## 1 干坞工程概况

干坞工程是某工程的配套工程, 为某工程大型构件预制提供干地条件, 干坞设计包含东、西 2 个坞室, 坞室内长 480 m, 北侧宽 135 m, 南侧宽 74.7 m。东、西坞室由中隔岸壁分开对称独立, 两坞室的南侧各设置 1 个坞门, 坞门为沉箱结构。

坞门止水依靠坞门底板上的“Ω”形止水带和贴合在沉箱坞门与坞门墩之间的钢闸门, 钢闸门安装位置如图 1 所示。钢闸门预紧系统由钢丝绳、滑轮、拉力计和紧固器等组成, 钢闸门宽 2 m、

高 16.48 m, 止水橡胶带沿钢闸门边缘按照“U”形布置。

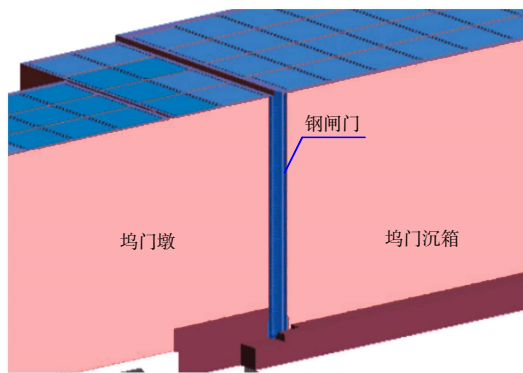


图 1 钢闸门安装位置图

## 2 试验准备

### 2.1 试验背景

本工程干坞使用的钢闸门是国内先例, 之前没有工程在类似工况下使用过此类钢闸门, 本次试验需要一个场所能够模拟干坞使用期的 3 种工况, 以检验钢闸门止水效果。当钢闸门止水效果不佳时, 需要根据钢闸门自身结构特点和预紧系统特点, 提出优化措施, 进而改进钢闸门的止水效果。

### 2.2 试验设想

试验场所选择在陆上实施, 为取水方便, 场所距离海边约 20 m。钢闸门依据设计图纸同比例加工, 为模拟钢闸门使用期间两侧潮水高低变化, 需要特制 1 个水箱, 用 2 块竖向钢隔板将箱体分为两舱, 钢闸门安装在钢隔板处, 拉合在水箱上, 采用向舱内(外)注(排)海水的方式, 实现工况模

拟，同时方便观察钢闸门止水效果。

2.3 模拟工况确定

1) 工况一

坞门沉箱原位施工结束和钢闸门安装就位后，拆除土堤围堰及坞口围护结构<sup>[2]</sup>，拆除围堰后，坞内为干地，坞外海水会逐渐升起，之后随潮汐变化。此工况需要模拟水箱无水状态下安装钢闸门，在水箱有钢闸门一侧逐渐注入海水、排放海水，观察钢闸门止水效果。考虑干坞使用过程中经历多个潮汐，此工况水箱内的注水高度按照实际工况极端高水位模拟，排水高度按照实际工况模拟至极端低水位。

2) 工况二

大型预制构件第1次出坞后，坞门沉箱和钢闸门安装就位，干坞内外侧均有海水，排出坞内一侧海水，形成干地。此工况需要模拟水箱在存水状态下安装钢闸门，逐渐排放水箱无钢闸门一侧海水，观察钢闸门止水效果。考虑干坞排水过程中需经历几个潮汐，此工况水箱内的水位高度按照实际工况极端高水位模拟。

3) 工况三

考虑施工期坞门沉箱制作与安装质量出现允许偏差，钢闸门安装就位时，干坞内外侧均有海水，抽干坞内一侧海水。质量允许偏差包括坞门沉箱制作过程中的竖向倾斜及表面平整度。大型预制构件第1次出坞后，坞门沉箱安装可能会与坞门墩沉箱存在错位偏差。此工况需要模拟的是施工期坞门沉箱制作与安装出现最大允许偏差30 mm时，分别模拟工况一和工况二内容，检验钢闸门止水效果。本工况模拟前，需要改造水箱内单块钢隔板厚度，使其增厚3 cm。

2.4 水箱与钢闸门加工

1) 水箱结构设计及制作

水箱结构设计为直径4 m、高16.5 m圆柱形箱体。外侧面板和底板钢板采用Q235钢材，厚度为10 mm；面板外侧由8号槽钢做横肋，水箱底部至水箱4.5 m高处，横肋间距为300 mm，距水箱底部4.5~12.5 m范围内，横肋间距为600 mm，距水箱底部12.5 m至顶部范围内，横肋间距为700 mm；竖肋采用63 mm×40 mm×5 mm(边长×边长×厚度)不等边角钢，间距为300 mm。水箱内部的钢格板由宽1.5 m、厚20 mm的钢板焊接在水箱内，由1 cm厚三角板形成支护，支护间距300

mm。水箱缆风支撑采用直径20 mm的钢丝绳，共4根，固定在距水箱离地面2/3高度位置。水箱底座安装设计图纸中的橡胶块、止水带等。

水箱加工的主要流程为：焊接水箱底座→安装预埋件→安装Ω止水带、胶垫板→预压缩Ω止水带→现浇混凝土块体，包裹预压缩的Ω止水带→分层安装并焊接水箱中间隔板、外壁钢板、围檩及支撑体系→钢板焊接连接→验收水箱。其中安装预埋件包括固定橡胶支座的M10螺栓、固定Ω止水带的锚板、预紧Ω止水带的埋件。

因水箱容积的问题，等比例模拟钢闸门预紧系统不能实现。为解决这一问题，在水箱内壁增设2组定滑轮，水箱顶部工作平台位置设置拉合点，通过改变钢丝绳预紧线路、换算预紧力，实现预紧系统的功能。钢闸门预紧安装示意图如图2所示。

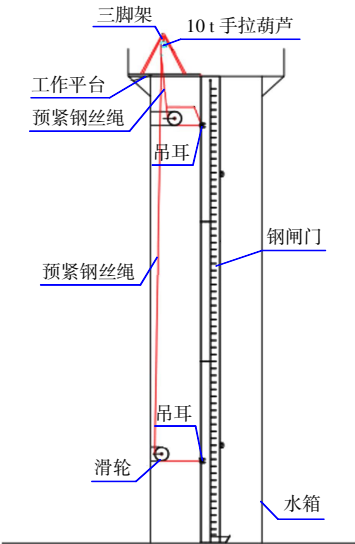


图2 钢闸门预紧安装示意图

2) 钢闸门制作

钢闸门制作过程中使用的材料见表1。

表1 主要材料表

| 材料名称                    | 数量    | 备注   |
|-------------------------|-------|------|
| 胎架/t                    | 5     | 胎架   |
| φ700 mm 钢管/t            | 5.845 | 闸门   |
| 16 mm 厚立面板/t            | 2.52  | 闸门   |
| Ω 止水带/m                 | 32.76 | 止水材料 |
| 橡胶块 515 mm×90 mm(长×宽)/个 | 2     | 止水材料 |
| 压条/m                    | 65.92 | 止水材料 |
| 承压垫/m                   | 32.96 | 止水材料 |
| M16 螺栓/套                | 402   | 止水材料 |

钢闸门加工的主要流程为：闸门钢管焊接接长→胎架制作→打磨、消除钢板应力→闸门表面进行空气喷涂→使用螺栓将 $\Omega$ 止水带与承压垫固定在钢闸门立面板上→螺栓固定闸门底板橡胶块→验收钢闸门。其中胎架制作包括钢管、立面板、加劲板结构件安装并焊接固定。

受一些因素影响，钢闸门竖向止水带与底部止水橡胶没有在一个模具内热连接，竖向止水带与底部止水橡胶之间存在缝隙。因此，试验验证内容需要增加一项，即竖向止水带与底部止水橡胶存在缝隙对钢闸门止水效果的影响。

### 3 试验过程及结果

在3个工况模拟试验正式开始前，需要对水箱进行“满水试验”，分别在加水量占水箱总水量的20%、40%、60%、80%、100%这5个阶段做静置观测和检查，检验水箱结构的渗漏水情况和水箱结构的刚度、稳定性等，水箱未有渗漏或者变形方可继续进行试验。

#### 3.1 水箱满水试验

通过水泵、消防水带向水箱内注水，分别在加水量占水箱总水量的20%、40%、60%、80%、100%阶段做静置观测和检查，5个阶段均未发现水箱有渗漏水情况和变形的情况，可以继续开工况试验。

#### 3.2 工况一试验

1) 安装钢闸门。使用起重机将钢闸门安入水箱中，通过固定在水箱上部的支架、手拉葫芦、滑轮和钢丝绳对钢闸门进行预紧。当起重机将钢闸门安入水箱且钢闸门距水箱底座5 cm时，人工通过手拉葫芦将钢闸门下部预紧点调整至20 kN拉合力，然后将钢闸门平稳地放在水箱底座上，继续将钢闸门下部预紧点调整至40 kN拉合力，开始拉合钢闸门上部预紧点。当上部预紧点拉合力达到40 kN后，继续拉合下部预紧点达到60 kN，然后拉合上部预紧点达到60 kN，如此反复，直至下部、上部预紧点拉合力均达到70 kN。拉合力大小通过拉力计来控制。

2) 水箱注水，检验钢闸门止水效果。使用100 m扬程的水泵和消防水带，以25 m<sup>3</sup>/h的速度将海水注入水箱有钢闸门一侧，计划注入15.76 m高的海水。但海水刚注入水箱后，水箱无钢闸门的一侧出现了严重的漏水现象，水箱内两舱水位几乎同高。

3) 分析试验结果。根据钢闸门漏水的位置及漏水量情况，考虑是由钢闸门下部预紧点距钢闸门底部较远造成，拉合力传递至钢闸门底部时，不足以使其两侧止水带达到预期压缩量，导致钢闸门底部漏水。因此，对钢闸门下部预紧点进行了调整，将距底部3 m高、斜方向45°处的预紧点改至距底部0.5 m高正中心处，钢闸门底部预紧点调整示意图如图3所示。

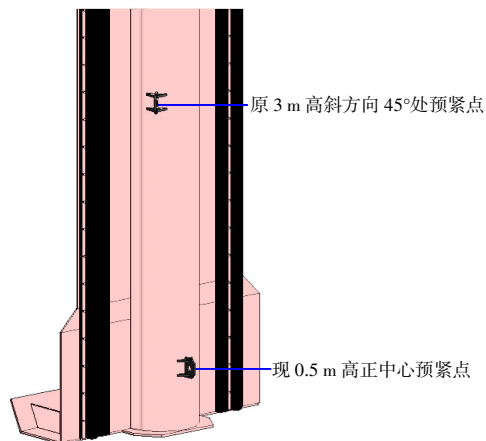


图3 钢闸门底部预紧点调整示意图

4) 再次试验验证。钢闸门预紧点修改完成后，重新进行工况一试验，过程中仅在最初注水时有少量渗漏，在注水高度达到距钢闸门底部3 m高时不再渗漏。同时，将水箱内海水从15.76 m高(极端高水位)降至11.46 m高(极端低水位)时，也未发生渗漏现象。

#### 3.3 工况二试验

1) 安装钢闸门。通过水泵和消防水带向水箱两舱内注水，注水高度15.76 m。在工况一试验改进基础上，重复工况一安装钢闸门的方法并进行预紧。

2) 水箱排水，检验钢闸门止水效果。逐渐排出水箱内无钢闸门一侧的海水，排水速率控制在25 m<sup>3</sup>/h的速度。试验过程中，钢闸门中上部出现比较严重的漏水情况。

3) 分析试验结果。根据钢闸门漏水的位置及漏水量情况，考虑为钢闸门上部预紧点距钢闸门顶部较近，拉合力传递至钢闸门中上部时，不足以使其两侧止水带达到可止水的压缩量，因此将距底部15 m高、斜方向45°处的预紧点改至距钢闸门底部10 m高正中心处，钢闸门上部预紧点调整示意图如图4所示。

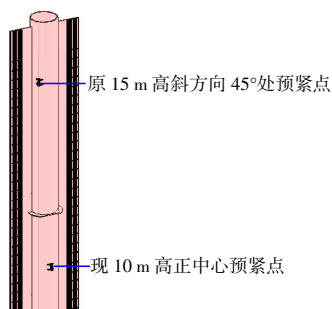


图4 钢闸门上部预紧点调整示意图

4) 再次试验验证。对钢闸门上部预紧点修改完成后,重新进行工况二试验,未再出现渗漏现象,钢闸门达到了止水效果。

### 3.4 工况三试验

1) 改造水箱。在水箱一块立面钢隔板上,通过连续焊接的方式增加一块 30 mm 厚(最大允许误差)钢板,加厚的钢板与底部止水带通过环氧树脂进行封堵。

2) 重复工况一步骤进行试验。在海水刚注入水箱后,钢闸门底部漏水非常严重,水箱内两舱的水位几乎同高。根据现场测量数据及漏水量分析,钢闸门底部止水带基本未压缩,推测是拉合力不足导致的。因此,重新调整预紧点的拉合力至 91 kN。在刚注水时,钢闸门底部有少量渗漏情况,但水位达到 5 m 高后不再渗漏。同时,将水位从 15.76 m 高降至 11.46 m 高时,底部也未发生渗漏现象。

3) 重复工况二步骤进行试验。在排出单侧海水过程中,钢闸门两侧水位差达到 50 cm 后,渗漏几乎为 0。

### 3.5 试验结果

1) 工况一和工况二试验过程中,通过对钢闸门预紧点位置的调整,使钢闸门的止水效果达到要求。

2) 工况三试验过程中,通过对钢闸门拉合力的调整,钢闸门止水效果达到要求。

## 4 试验结论与验证

### 4.1 试验结论

本次钢闸门止水试验通过 3 个工况的验证,发现钢闸门原预紧系统预紧点的位置需要优化,否则影响止水效果。经过优化的钢闸门会在进水的初期出现少量渗漏现象,随着进水量增加,钢闸门两侧水头差增大至 3 m,再无渗漏现象出现,止水效果满足干坞使用要求。

### 4.2 改进意见

通过本次试验研究,对钢闸门的设计、加工和使用提出以下改进意见:

1) 调整钢闸门预紧点的位置。下部预紧点由距底部 3 m 高、斜方向 45° 处的位置改至距底部 0.5 m 高、正中心处的位置;上部预紧点由距底部 15 m 高、斜方向 45° 处的位置改至距底部 10 m 高、正中心处的位置。

2) 调整钢闸门拉合力。通过试验,预紧系统的拉合力需要达到 91 kN。

3) 钢闸门底部橡胶块与两侧的  $\Omega$  止水带可不进行热连接,不影响使用效果。

4) 在干坞建设中,钢闸门安装时严格按照工况一中的操作要求进行,防止钢闸门因拉合力不足影响止水效果。

### 4.3 试验验证

止水系统作为船坞工程施工最关键的部分,是船坞工程赖以生存的生命线<sup>[9]</sup>。某干坞工程在使用期间,应用上述钢闸门止水效果良好,未出现明显渗漏现象,实现干坞使用功能,保障了干坞内作业人员的安全。

## 5 结语

通过试验设想、模拟工况分析、实体设计、现场试验、分析改进存在的问题,对某干坞工程钢闸门止水效果进行试验研究,提出了调整钢闸门预紧点的位置、拉合力大小、控制钢闸门安装质量等改进措施,保证了钢闸门的止水效果,从而保证了某干坞工程使用功能,可为同类试验研究提供借鉴。但研究中存在一些不足,还需进行以下深入研究:1) 可以通过在水箱不同位置安装水下高清摄像头,观察钢闸门止水效果,以减少人员攀爬水箱进行观察工作带来的安全风险,同时采用流量计、液面计等辅助工具,更加精准的计算钢闸门渗漏水情况;2) 通过计算机软件优化钢闸门结构设计,构建出复杂程度更高的模型,可以对钢闸门预紧点、拉合力进行试算,从而减少实物验证的繁琐。

### 参考文献:

- [1] 张小玉,沙益春.浅谈船坞工程中坞口止水帷幕的施工方法[J].科协论坛(下半月),2010(1):19-20.
- [2] 黄晓明,徐镭.船坞工程坞口施工关键技术问题探讨[J].造船技术,2010(3):9-11,22.
- [3] 郭鹏.大型船坞工程湿法施工止水系统应用浅析[J].价值工程,2015,34(12):140-141.