液压式模板台车在闸室墙施工中的研究及应用

孙红月，李昆鹏
（中交一航局第二工程有限公司）

摘　要：为保障闸室墙高大模板安装的施工安全，提高模板安装效率及精度，实现闸室墙及外侧悬挑电缆槽一次浇筑工艺，增加模板台车的周转次数，从而降低施工成本。在调研闸室墙常规施工方法的基础上，对比分析分层浇筑法、贝雷架式模板台车、型钢支架式模板台车的优缺点，自主研发了液压式模板台车。引江济淮白山船闸闸室墙施工过程中采用液压式模板台车安装、加固、移动及拆除模板，实现了模板安装、拆除及移动一体化，避免了高大模板的起重吊装作业，提高了模板安装精度及模板稳定性，模板台车通过螺栓进行连接，增加了模板的周转次数，可为类似工程提供借鉴。

关键词：闸室墙；高大模板；液压式模板台车；稳定性；安全性

0　引言

目前国内常见的闸室墙施工工艺主要有分层浇筑法、贝雷架式模板台车、型钢支架式模板台车。分层浇筑法一次浇筑 3~5 m，施工效率较低，且模板支撑体系稳定性较差，无法保证施工安全。贝雷架式模板台车组装时间较长，一般需 2~3 个月，且台车悬挑段抗弯强度较低，采用手拉葫芦调整模板，安装精度较低，影响闸室墙施工质量。型钢支架式模板台车整体重量较大，且所有构件通过焊接成型，不利于台车周转。为解决传统台车模板安装精度差、经济性差的问题，在传统工艺基础上，研发了液压式模板台车，实现了闸室墙及电缆槽一次浇筑施工，极大提高了闸室墙施工效率，有效降低了施工工期。利用液压油缸安拆及顶升模板，保障了施工安全，提高了安装精度。所有构件通过螺栓连接，有利于后续不同级别船闸间的改造，增加了模板台车周转次数。

1　施工工艺研究

1.1　施工工艺现状

1.1.1　分层浇筑法

1980—1990 年，一般采用分层浇筑法进行施工，分层浇筑法采用组合钢模板组拼，脚手架对模板顶撑逐节段施工，受模板和支撑系统强度和刚度较弱等影响，单个节段一般 3~5 次浇筑到顶。该工艺存在劳动强度大、工效低、模板拼缝多、对拉螺栓孔眼多、留有分层施工缝等问题，容易造成平整度差、色泽不一、施工缝渗水等质量通病。施工过程中安全风险高，脚手架搭设标准要求高，模板吊装作业量大。

1.1.2　贝雷架式模板台车

1995 年前后，出现贝雷架式模板台车[1]用于闸室墙施工，见图 1。贝雷架式模板台车立柱、纵横梁及斜撑采用贝雷片进行拼装，采用贝雷梁悬挂模板，利用手拉葫芦进行模板开合。其整体强度、刚度及稳定性不及型钢支架式模板台车，在悬挂大片钢模板时上部横梁易产生变形。



图 1　贝雷架式模板台车

横梁及立柱一般在现场组装完成后采用大吨位吊车进行安装，吊装风险较高，构成横梁及立柱的贝雷片构件数量较多，组装周期较长。上部结构安装需人工辅助，高空作业安全风险较高。该工艺一般采用电动葫芦或手拉葫芦配合紧张器开合模板，模板移动无法保持同步，易造成模板平面出现扭曲或模板变形。

1.1.3　型钢支架式模板台车

近年来，施工现场普遍采用型钢支架式模板台车[2]，见图 2。型钢支架式模板台车采用圆形钢管作为立柱、纵横梁及斜撑，通常由 3~5 联门架构成，整体强度、刚度及稳定性较好，但台车整体重量较大，导致其造价偏高。该工艺门架系统单构件重量较大，安装过程中需要大吨位吊车辅助作业，且持续时间较长，一般安装周期为 2~3 个月。在安装上部构件时，需要人工辅助安装，安装风险极高。型钢支架式模板台车通常采用电动葫芦或手拉葫芦配合紧张器开合模板，模板移动无法保持同步，易造成模板平面出现扭曲或模板变形。采用手拉葫芦开合模板，劳动强度大、工效低、经济效益差。



图 2　型钢支架式模板台车

从经济性、安全性、强度、刚度及稳定性方面对比分析（表 1），总结了传统分层浇筑、贝雷架式模板台车及型钢支架式模板台车的优缺点，从而研发了液压式模板台车。

表 1　闸室墙模板台车优缺点对比表

工艺类型	经济性	安全性	强度、刚度及稳定性
分层浇筑	模板和设备投入较多，劳动强度高，工效低	采用脚手架辅助施工，分层浇筑，高空作业风险高	模板整体稳定性差
贝雷架式模板台车	台车重量大，造价较高。一般需要 10~15 人作业，劳动强度低，工效高	立柱及横梁现场组装完毕后，采用大吨位吊车进行吊装，安装风险高	台车强度、刚度、稳定性一般，顶部横梁易变形
型钢支架式模板台车	台车重量较大，造价较高。一般需要 10~15 人作业，劳动强度低，工效高	门架系统单构件重量较大，吊装风险高，且需人工辅助高空安装	台车强度、刚度、稳定性高
液压式模板台车	台车重量较小，造价较低，构件通过螺栓连接，方便后续周转使用。一般需要 6~10 人作业，劳动强度低，工效高	单片门架现场组装完毕后整体吊装，重量较小，安装风险较低	台车由 7 联门架组成，整体强度、刚度及稳定性较高

1.2　施工原理

液压式模板台车采用门架悬臂悬挂模板，模板的开合及顶升通过液压油缸提供动力，所有油缸由总液压站统一集成，实现精准控制。行走电机作为动力装置，为门架及模板系统行走提供动力。采用大片钢模板实现闸室墙一次浇筑工艺，减少施工缝的设置。

1.3　设备及功能

液压式模板台车由门架系统、行走系统、液压控制系统、模板系统及安全防护系统组成，见图 3。

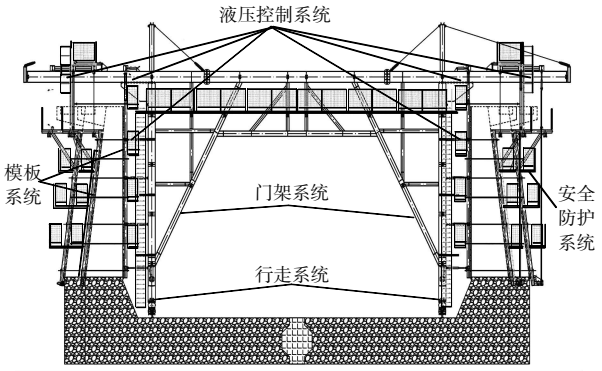

图 3　液压式模板台车系统布置图

1）门架系统：由立柱、下纵梁、外八字斜撑、内八字斜撑、外门架横梁、立柱横向连接梁、立柱竖向连接梁、立柱纵向连接梁、立柱斜连接梁、斜撑、上纵梁等组成，各部件通过螺栓连接。门架系统通过悬臂端悬挂模板，作为模板行走的载体。

2）行走系统：考虑到台车自身较重，采用 4 组动力行走，行走机构的电机功率为 7.5 kW，行走速度为 3~5 m/min；采用链条链轮传动，链条链轮型号为 28A，节距为 45.45 mm，使用高效益摆线针轮减速机，减速机型号 xwed95–289–7.5 kW，行走系统采用 1 组线，单个开关控制，保证两侧行走电机同步。

3）液压控制系统：主要为开合模提供动力，由顶升油缸、外平移油缸、内平移油缸、内脱模油缸、外脱模油缸、液压站组成。所有油缸由总液压站统一集成控制，实现精准开合。

4）模板系统：为了提高模板制作精度，采用大型激光切割机设备下料，面板为 6 mm 钢板，法兰为 12 mm 钢板，模板内筋为 10 号槽钢，背楞为双拼 18 号槽钢，拉杆采用 ϕ25 mm 精轧螺纹钢。

5）安全防护系统：防止施工作业人员从高处坠落。

2　施工工艺

2.1　施工工艺流程

室底板及倒角浇筑完成后，首先进行钢筋绑扎及浮式系船柱轨道和模板安装。模板台车就位后调整闸室墙模板平面、立面位置，其次绑扎电缆槽钢筋，安装相关预埋件，最后浇筑闸室墙混凝土。待混凝土强度满足规范要求后，拆除模板，模板台车移动至下一节段。闸室墙施工工艺流程如图 4 所示。

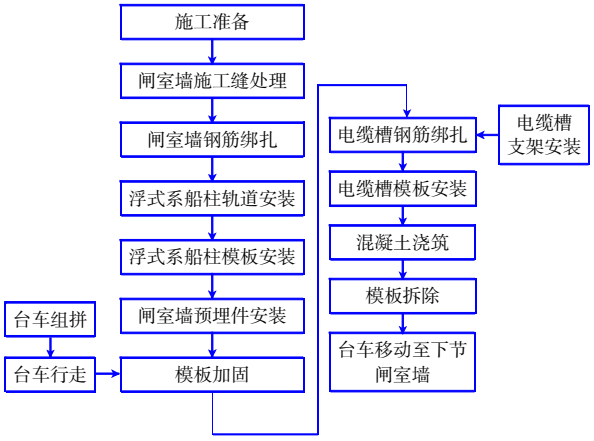

图 4　闸室墙施工工艺流程图

2.2　台车及模板拼装

2.2.1　门架系统及行走系统

行走系统(轨道、轮组及下纵梁)安装完毕后，进行门架系统安装。为减少高空作业，单联门架采用现场拼装后整体吊装形式，单联门架重约 12 t，经计算，采用 130 t 吊车进行吊装，满足要求。

2.2.2　模板系统

闸室墙模板系统由外模板、内模板、端模板、爬梯槽模板、浮式系船柱模板组成，各模板间通过钢吊带与门架上纵梁连接。外模设计高度 8 088 mm，内模板设计高度 9 250 mm，模板设计长度按照 2–13 号块设计，长度 18.1 m，1 号及 14 号模板待 2–13 号块施工完毕之后进行改装，底口包边 50 mm，并设置 6.3 号槽钢进行止浆，6.3 号槽钢内设置丁形橡胶止浆条。端模采用钢模板，并在距离侧墙迎水面 350 mm 及 700 mm 位置设置紫铜片止水及橡胶止水槽。从下至上共设置 4 道围檩，围檩采用双拼 18 号槽钢，围檩间距分别为 2.5 m、2.5 m、2 m，拉杆采用 ϕ25 mm 精轧螺纹钢，拉杆竖向间距分别为 2.5 m、2.5 m、2 m，水平间距 0.75 m。闸室模板单块最大重量 2.5 t，经计算，采用 50 t 吊车吊装满足要求。待标准段(2 号、4 号、5 号、7 号、8 号、10 号、11 号、13 号)施工完毕之后，更换爬梯槽模板施工非标准段。

2.2.3　液压控制系统

模板台车的液压控制系统由液压站、顶升油缸、内脱模油缸、外脱模油缸、外平移油缸及内平移油缸组成。顶升油缸安放在下纵梁上部，用来调节模板高程；内脱模油缸及外脱模油缸放置在门架顶部，通过顶推上纵梁(模板通过钢吊带与上纵梁连接)进行内外模板平面位置的调节，门架立柱与内模通过水平油缸进行连接，辅助内脱模油缸进行内模平面位置调节。所有油缸由总液压站统一集成控制，实现精准开合。

2.3　浮式系船柱模板及轨道安装

浮式系船柱一般采用二次浇筑，一期浇筑完毕后凿毛进行二期混凝土浇筑。为减少二期混凝土施工时操作空间狭小、表观质量与一期混凝土存在明显色差等问题，浮式系船柱采用一次浇筑施工工艺，先安装模板再安装轨道。模板优化为圆角形式，模板中间用丝杠连接，模板加固及拆除通过松紧丝杠实现。在加工场用槽钢固定轨道，运输至施工现场进行整体吊装。浮式系船柱模板及轨道不与台车同步行走，在闸室墙钢筋绑扎完毕之后即可安装。

2.4　模板安装

首先顶升油缸顶升门架进行标高调整，使标高满足图纸及规范要求，待标高调整到位后，利用内平移油缸顶推内模进行粗调；然后利用外平移油缸顶推顶部横梁进行外模粗调，内外模粗调完成后进行模板精调，最后安装端模。

2.5　电缆槽施工

因闸室墙墙背回填淤泥质土，后期采用支架方式施工电缆槽难度较大，成本较高。在台车模板设计时，考虑电缆槽与闸室墙整体浇筑。闸室墙外侧模板预留施工平台，在外侧模板平台上搭设型钢支架，支架间距 650 mm，支架上方铺设 5 cm×8 cm 方木及 1.5 cm 厚竹胶板，最后绑扎电缆槽钢筋。部分悬挂模板的钢丝绳穿过电缆槽结构，墙后回填前采用吊模法进行封堵。

2.6　模板拆除

因电缆槽悬挑长度 1.9 m，需待混凝土强度达

到设计强度的 75%之后方可拆除[3]。首先拆除拉条，使模板摆脱固定状态；其次利用顶升油缸卸压，使模板整体降低约 20 cm；然后利用外平移油缸顶推上部横梁，实现外模与外侧混凝土面的分离；最后利用内平移油缸实现内模与内侧混凝土面的分离。

3 工艺实施效果

液压式模板台车实现了模板安装、拆除及移动一体化，采用大片钢模板实现了闸室墙施工一次到顶，避免了分层浇筑，目前闸室墙整体施工工效 10 d/节段，极大提高了施工效率。模板台车采用液压油缸加固、拆除、移动及顶升模板，规避了高大模板起重吊装作业，保障了施工安全，提高了模板安拆效率及精度。电缆槽与闸室墙整体浇筑施工工艺，缩短了施工周期，降低了施工成本；模板台车门架系统所有组件采用螺栓连接，有利于后续 2 级、3 级船闸闸室墙施工模板台车的改造，增加模板周转摊销次数，降低施工成本。

4 存在问题及改进措施

1）闸室墙喷淋养护过程中，未对水质进行检测，造成首件混凝土面受到污染；对受污染闸室墙进行清理，采用养护液进行养护。

2）浮式系船柱轨道采用槽钢进行焊接加固，造成轨道局部烧伤；槽钢拆除后，进行二次防腐。

3）模板底部出现漏浆现象，造成混凝土局部观感质量较差；沿顶板边缘凿出 1 道凹槽，采用 6.3 号槽钢+丁形橡胶进行止浆。

4）闸室墙底部 3 m 范围竖向裂缝；优化施工工艺，降低闸室墙与闸室底板施工间歇至 7 d 内。

5 效益评估

5.1 安全效益

闸室墙液压式模板台车通过液压系统加固、拆除、移动模板，规避高大模板吊装作业。模板台车门架由 7 联组成，较贝雷架式模板台车及型钢支架式模板台车的强度、刚度及稳定性更高，从技术层面上提高了闸室墙施工的安全性。

5.2 经济效益

采用液压式模板台车及模板系统每浇筑段仅需 6 人即可完成模板安拆工作；一次浇筑成型工艺(包含闸墙顶电缆槽)分包成本低、措施投入少、工作效率高、施工周期短。液压式模板台车相比传统施工工艺每方节省周转材料摊销费约 11.25 元；新工艺安拆便捷，分包成本每方降低约 22.05 元；一次浇筑闸墙电缆槽减少后期垫层措施费用约 5.4 万元，整体闸室墙施工共减少成本约 53 万元。

5.3 质量效益

采用液压式模板台车整体浇筑闸室墙，减少了施工缝，避免后续施工缝渗水等质量通病的产生。整体钢模板减少了模板拼缝及对拉螺栓孔多、平整度差及混凝土色泽不一等问题。

6 结语

白山船闸施工中利用液压式模板台车实现了闸室墙一次性浇筑及模板安拆一体化施工，保障了施工安全、提高了施工效率、降低了施工成本，值得推广应用。但目前该项技术只适用于 3 级船闸闸室墙施工，需在更高等级的船闸施工中探索模板台车的稳定性及适用性。

参考文献：

[1] 陈贤达，元永勋. 移动模架在船闸钢筋砼整体式闸室墙体施工中的设计和应用[J]. 现代交通技术，2011，8(S1)：164–170.

[2] 池建业. 整体式模板台车在上海内河船闸工程中的应用[J]. 交通与港航，2019，6(5)：84–87.

[3] JTS 202—2011，水运工程混凝土施工规范[S].