

# 大型沉箱预制标准段自动喷淋养护技术的应用

张小波<sup>1</sup>, 孙俊丰<sup>1</sup>, 刘明<sup>2</sup>

(1. 中交一航局第五工程有限公司, 河北 秦皇岛 066002;

2. 中交第一航务工程局有限公司, 天津 300461)

**摘要:** 大型沉箱预制传统养护存在不及时、不到位、不彻底等诸多问题, 养护质量直接影响沉箱表面质量和抗渗性能, 严重制约沉箱的耐久性。针对沉箱预制传统养护存在质量通病的特点, 以钦州港 9 号、10 号自动化集装箱泊位沉箱标准段预制养护为例, 创新提出一种降本增效、安全环保、高效节能的沉箱预制自动喷淋养护技术。现场实施效果表明, 自动喷淋养护技术有效解决了传统养护通病问题, 达到了标准化、自动化及数字化施工的应用水平, 具有较高的工程实用意义, 可在类似工程中推广应用。

**关键词:** 沉箱预制; 标准段; 自动喷淋; 养护技术; 数字化

中图分类号: U655.4; U655.34

文献标志码: B

文章编号: 2095-7874(2023)09-0020-05

doi: 10.7640/zggwjs202309004

## Application of automatic spray curing technology for large caisson prefabrication

ZHANG Xiao-bo<sup>1</sup>, SUN Jun-feng<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>2</sup>

(1. No.5 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei 066002, China;

2. CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

**Abstract:** The traditional curing method of large caisson prefabrication has many common problems such as untimely, inadequate and incomplete maintenance. The curing quality directly affects the apparent quality and impermeability of the caisson, which seriously restricts the durability. Aiming at the common problems of traditional curing for caisson prefabrication, taking the caisson prefabrication and curing at the standard section of Qinzhou Port No.9 and No.10 automated container berths as an example, an innovative technology of automatic spray curing for caisson prefabrication was presented, which has the advantages of cost reduction and efficiency improvement, safety and environmental protection, and high efficiency and energy conservation. The on-site implementation results show that the automatic spray curing technology solves the common problems of traditional curing effectively, reaches the application level of standardization, automation and digital construction, and has high engineering practical significance, which can be promoted and applied in similar projects.

**Key words:** caisson prefabrication; standard section; automatic spray; maintenance technology; digitization

### 0 引言

沉箱养护是预制过程中的重要工序, 养护不及时、不到位、不彻底不仅影响沉箱表面强度, 还会使其产生裂缝和孔隙, 直接影响混凝土的表观质量和抗渗性, 严重制约着沉箱的耐久性<sup>[1]</sup>。目前, 沉箱预制养护常采用传统养护方式, 主要包

括人工浇灌、喷涂养护剂等, 其养护质量直接取决于操作者的质量意识和工作态度, 很难达到有效养护的效果<sup>[2]</sup>。

自动喷淋养护技术作为一种新型养护技术, 可全方位、无死角、全天候、不间断地有效养护, 保障沉箱养护质量, 提升沉箱预制效率。本文以

收稿日期: 2023-06-20

作者简介: 张小波 (1982—), 男, 河北秦皇岛人, 高级工程师, 水利水电与港航工程专业。E-mail: zhangxiaobo@ccccltd.cn

钦州港 9 号、10 号自动化集装箱泊位大型沉箱预制养护为例, 提出一种结构合理、安全环保、高效节能的预制沉箱自动喷淋养护技术, 具有较高的工程实用意义, 可在类似工程中推广应用。

### 1 工程概况

钦州港大榄坪港区大榄坪南作业区 9 号、10 号自动化集装箱泊位工程为沉箱重力式结构, 位于钦州保税港区内的南端, 岸线总长 783 m。沉箱预制 33 座共 4 种类型, 混凝土强度等级 C40, 最大沉箱尺寸 23.92 m×15.8 m×21 m(长×宽×高), 仓格数量 3×5, 设计总重量 3 600 t。泊位效果图及沉箱效果图见图 1、图 2。

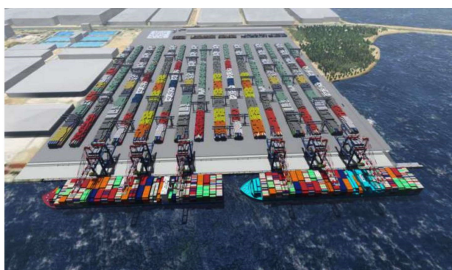


图 1 钦州港 9 号、10 号自动化集装箱泊位效果图

Fig. 1 Design sketch of the No.9 and No.10 automated container berths of Qinzhou Port

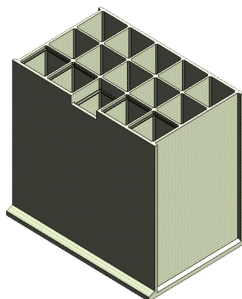


图 2 钦州港 9 号、10 号泊位 A3 型沉箱效果图

Fig. 2 Design sketch of A3 type caisson at No.9 and No.10 berths of Qinzhou Port

该工程具有以下特点: 1) 北部湾预制场位于广西钦州港大榄坪港区金鼓江东岸, 该地区高温多风气候常发; 2) 沉箱预制工期紧张, 存在夜间施工; 3) 工程建设意义重大, 社会关注度高, 沉箱养护质量及现场文明施工要求高; 4) 工程创国家优质工程、平安百年品质工程, 安全质量环保要求高。为确保沉箱养护质量达到项目建设目标, 基于前人<sup>[3-4]</sup>研究基础开展沉箱、墩柱、箱梁等大型构件的自动喷淋养护技术的研究与应用。

### 2 自动喷淋养护技术的优点

大型沉箱构件尺寸大、尤其高度高, 所以养

护难度较大。传统人工洒水养护费时费力, 且操作难度大, 养护效果较差<sup>[5]</sup>。大型沉箱自动喷淋养护技术避免出现传统人工养护用水量大、劳动力投入大、水管需求量大、养护不及时、漏养等养护“通病”现象, 具有成本低、安装方便、维修方便、节水等显著优点。通过沉箱表面温湿度变化, 实现沉箱的自动喷淋养护, 最大程度减少人为操作的干扰, 确保沉箱混凝土养护质量; 自动喷淋技术可有效减少人为操作, 降低人工成本和劳动强度, 提高了劳动生产率。同时喷淋养护根据温湿度控制, 采用三合一自动摇摆半雾化喷头, 降低喷淋用水量, 能达到全天候、全湿养护质量标准, 养护效果十分显著, 具有较高的实用意义和经济效益。

### 3 自动喷淋养护工作原理

#### 3.1 自动喷淋系统

自动喷淋系统由控制系统、管道系统、喷淋系统及基础设施 4 部分构成, 其中控制系统包括开关、时间继电器、电磁阀控制器、变频稳压器、温湿度传感器及 APP 控制平台等; 管道系统包括水泵、输水管路、喷淋管路及阀门等; 喷淋系统包括喷洒装置及自动摇摆雾化喷头; 基础设施包括水泵、储水池、沉淀池、管沟、井架等。沉箱自动喷淋设施布置见图 3。

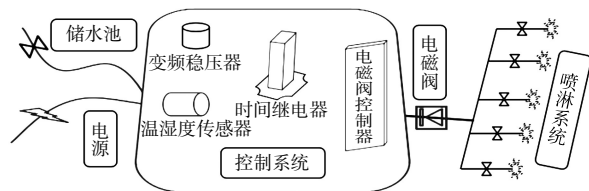


图 3 沉箱自动喷淋设施布置示意图

Fig. 3 Layout diagram of caisson automatic spray facilities

#### 3.2 自动喷淋流程

自动喷淋养护技术是利用高扬程水泵从储水池内抽水输送至管道系统, 通过温湿度传感器设定设计要求养护指标, 自动(手动)开启电磁阀, 使喷淋系统进入工作状态, 通过自动摇摆雾化喷头喷淋沉箱表面, 水流均匀且自然流淌, 喷淋时间达到预定时间后, 通过时间继电器或电磁阀控制器停止喷淋<sup>[2]</sup>。时间继电器设置时间间隔和持续时间, 实时监测气候及温湿度传感器数据, 喷淋系统可实现供水停水自动控制、降雨自动关闭、无人化作业、远程 APP 操作, 在保证沉箱表面充

分湿润、预制台座无积水的情况下,最大程度节约用水,达到绿色文明施工的目的。沉箱自动喷淋流程图见图4。

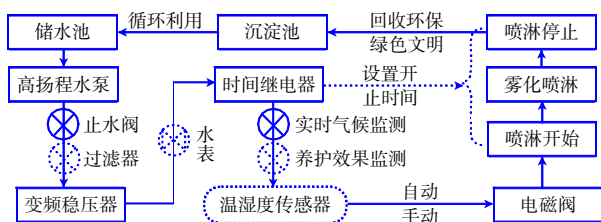


图4 沉箱自动喷淋流程图

Fig. 4 Flow chart of caisson automatic spray

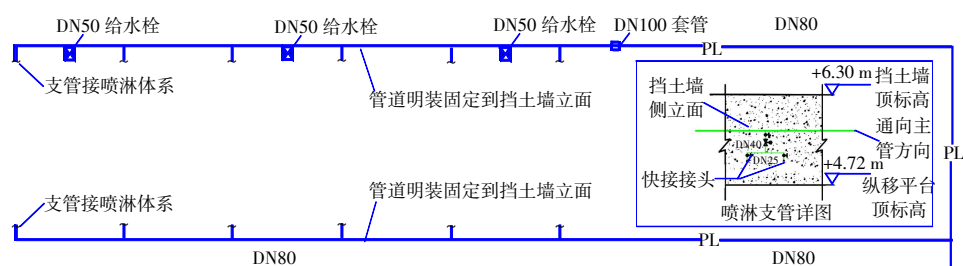


图5 沉箱自动喷淋管线平面布置图

Fig. 5 Pipeline layout drawing of caisson automatic spray

#### 4.2 后端供水设置

沉箱自动喷淋后端供水配置见图6。

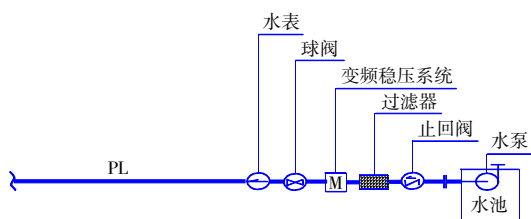


图6 沉箱自动喷淋后端供水配置图

Fig. 6 Configuration diagram of back-end water supply for caisson automatic spray

沉箱自动喷淋后端供水管线设置1条DN80管线,通过预制场拌合站水池水泵抽水进行后端供水。为实现30 m雾化喷淋养护效果达到设计要求,水泵选择CDL40-140型卧式潜水泵,其水泵设计流量40 m<sup>3</sup>/h、扬程140 m,功率18 kW。主

#### 4 自动喷淋养护技术应用

##### 4.1 整体管路布置

沉箱自动喷淋供水主管道规格为DN80,设计压力为1.6 MPa;沉箱预制区域采用镀锌钢管明装在两侧挡土墙上,其余部分埋入地下管沟,每个沉箱台座伸出规格为DN40的支管,支管设置NYX电磁阀,自动(手动)控制喷淋系统自动摇摆雾化喷头喷淋,每个支管设置4个快接接头,通过30 m“Z”形爬梯与喷淋操作平台的喷淋管连接。沉箱自动喷淋管线平面布置见图5。

管设置1套5 kW变频稳压系统,实时控制供水管道水流压力,确保自动喷淋雾化效果最佳。供水主管设置过滤装置,防止雾化喷头堵塞造成养护质量不佳;设置止回阀装置,防止主管高压水流倒向流入水泵冲击水泵元件造成损坏,影响水泵使用寿命;设置DN80-PN1.6高压水表,实时监控喷淋养护水用量及循环利用效果。

##### 4.3 前端接口设置

沉箱自动喷淋前端接口固定在预制区混凝土挡土墙上,预制台座之间管沟设置1条DN40规格供水管线,并通过“Z”形爬梯向上供水,沉箱每段顶部预留4个DN25快速接头连接喷淋管。DN40支管前端设置电磁阀,前端控制喷淋系统供水。前端快接接头通过抗高压软管与自动喷淋操作平台连接。沉箱自动喷淋前端接口平面布置见图7。

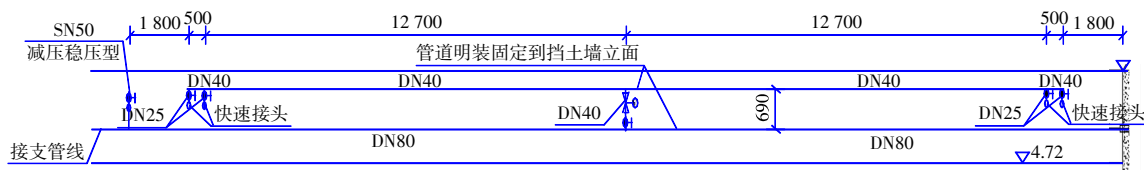


图7 沉箱自动喷淋前端接口平面布置图(mm)

Fig. 7 Layout drawing of front-end interface for caisson automatic spray(mm)

4.4 喷淋平台设置

沉箱自动喷淋设置 4 个 1.3 m×1.3 m 喷淋操作平台, 用于布置喷淋管、固定雾化喷头及外模板支立操作。喷淋主管通过 U 形卡固定在操作平台外侧, 喷头固定在操作平台外侧立柱顶端, 固定高度 1.2 m, 布置间距 2.0 m。操作平台底端外侧靠近沉箱表面处设置 1 条 80 cm×50 cm 止浆条, 布置间距 1.0 m, 防止自动喷淋倒流至操作平台, 造成操作平台底部钢板生锈, 持续喷淋发生流锈现象, 影响沉箱表观质量。沉箱自动喷淋平台布置见图 8。

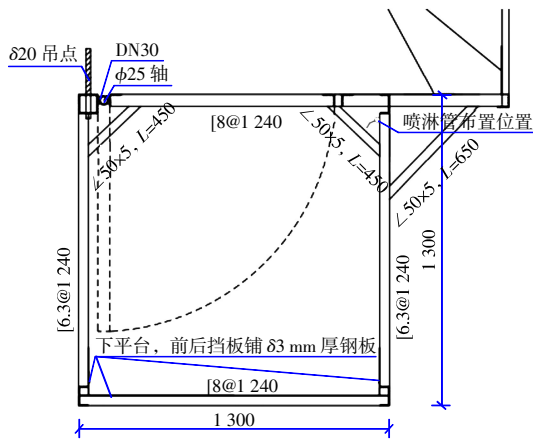


图 8 沉箱自动喷淋平台布置断面图

Fig. 8 Sectional drawing of the platform layout for caisson automatic spray

4.5 喷淋控制系统设置

控制系统主要由时间继电器、电磁阀、温湿度传感器及喷头雾化调节装置组成。通过设置时间继电器的开关时间, 实现喷淋系统的定时喷淋。现场根据实时气候监测及温湿度传感器, 随时调整时间继电器设置时间, 可通过计算机端及手机 APP 远程控制, 保证沉箱的养护效果, 提升项目数字化管理。设置三合一自动摇摆(6-12-18 孔)喷头, 可根据养护效果实时调节喷头雾化程度。

自动喷淋养护主要通过时间继电器和电磁阀实现供停水定时控制, 供水时间和间隔时间是根据气温、天气、相对湿度、风力、养护高度等因素预先设定, 喷淋状态下实现供水与停水的自动化控制。

为确保满足用电安全、绿色环保及文明施工的要求, 自动喷淋系统时间继电器设置标准电闸箱, 防止出现雨水、碰撞及误操作等现象。设置双电磁阀供水模式, 防止因电磁阀过水面积较小导致管道供水量不足, 影响沉箱喷淋养护效果。

5 现场实施及应用

5.1 现场实施效果

2021 年 1 月 27 日自动喷淋养护系统首次于 2 号台座投入现场实施, 其他 5 个台座沉箱预制自动喷淋养护系统安装调试后于 2 月 17 日投入使用。喷淋系统从供水到喷淋结束, 基本实现了全过程自动控制, 喷头雾化均匀, 养护效果极佳。

沉箱表面设置专用温湿度传感器, 根据温湿度及相关规范要求<sup>[6-7]</sup>, 结合智慧工地视频监控系统, 喷淋养护通过手机 APP 及计算机端远程控制, 实现沉箱预制全过程养护质量监控。

通过时间继电器设置自动喷淋开始、结束及喷淋周期, 根据现场施工经验及温湿度传感器设置喷淋周期, 根据沉箱高度设置喷淋持续时间, 确保夜间沉箱养护不间断, 保护沉箱混凝土养护质量。

5.2 现场应用效果

北部湾预制场沉箱尺寸 23.92 m×14.8 m×21.0 m(长×宽×高), 构件尺寸大, 尤其高度高, 采用分段预制工艺, 上下段之间施工间隔时间较短。沉箱自动喷淋养护技术通过沉箱表面温湿度变化, 实现沉箱的自动喷淋养护, 解决了传统人工养护难度大、养护不连续、养护效率低、安全风险大、养护效果不佳等问题, 达到了降本增效、提质争优、实行数字化应用的良好效果。此外, 雾化喷头及沉淀池的设置有效节约了淡水资源, 贯彻了安全环保、绿色文明的施工理念。

施工现场收集数据与传统人工养护对比发现, 沉箱自动喷淋养护技术在工期、成本、质量、安全、环保及效益等方面均体现了数字化施工优越性。沉箱自动喷淋养护技术与传统养护对比项及指标见表 1。

表 1 沉箱自动喷淋养护技术特点及提升指标  
Table 1 Technical characteristics and improvement indexes of caisson automatic spray curing

项目	技术特点	提升指标
工期方面	不受夜间和天气影响	提高工效 2~3 倍
成本方面	劳动力投入减少, 雾化喷头节约水, 养护水重复利用, 材料可重复使用	降低劳动力投入 2/3, 节约用水 80%
质量方面	全方位、全天候	提升养护质量 100%
安全方面	设置喷淋操作平台, 设置“Z”形爬梯	高空作业 0
环保方面	设置沉淀池、标准化施工	环境污染 0
效益方面	数字化、自动化程度高	顾客满意度 100%

## 6 结语

沉箱自动喷淋养护技术在北部湾预制场的应用表明,自动喷淋养护技术有效解决了传统养护不彻底、不及时、不连续等问题,提升了养护质量和施工效率,降低了资源投入和安全风险,达到了环保节能和文明施工的理念,体现了施工标准化、自动化程度,实现了工程实用价值和社会应用价值,促进了水运工程行业数字化施工技术应用水平的提升。

### 参考文献:

- [1] 中交第一航务工程局有限公司. 沉箱重力式结构施工生产 60 年[Z]. 2018.  
CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd. Construction and production of caisson gravity structure for 60 years[Z]. 2018.
- [2] 中交第一航务工程局有限公司. 2011 年推介施工工艺[Z]. 2012.  
CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd. Introduction of construction technology in 2011[Z]. 2012.
- [3] 何延龙. 自动喷淋养护在高墩混凝土施工中的应用[J]. 四川建材, 2020, 46(12): 137-138.  
HE Yan-long. Application of automatic spray maintenance in the

construction of high pier concrete[J]. Sichuan Building Materials, 2020, 46(12): 137-138.

- [4] 程洋. 自动喷淋养护技术在箱梁预制中的应用[J]. 城市住宅, 2020, 27(12): 203-204.  
CHENG Yang. Application of automatic spray maintenance technology in box-girder prefabrication[J]. City & House, 2020, 27(12): 203-204.
- [5] 中交第一航务工程局有限公司. 港口工程施工手册: 上册[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.  
CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd. Port engineering construction manual: Volume I [M]. 2nd edition. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [6] 交通运输部安全与质量监督管理局. 水运工程施工标准化建设指南施工工艺篇: 码头工程[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.  
Department of Safety and Quality Supervision and Management Forministry of Transport. Guidelines for standardized construction of water transport engineering construction process: Wharf engineering[M]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [7] JTS 202—2011, 水运工程混凝土施工规范[S].  
JTS 202—2011, Specifications for concrete construction of port and waterway engineering[S].

(上接第 6 页)

10 号泊位工程,设计实施的“标准化、数字化预制场 1 座;升级传统预制工艺,采用沉箱钢筋分段预制装配安装、智能养护、电驱顶运一体台车移运沉箱”的创新工艺,有效地解决了钢筋安装同模板拼装起重设备交叉作业时间长、吊人高空穿筋危险性大;混凝土养护用水需求数量大、人工养护工效低;传统台车布顶移运工序交叉、对轨道高差及岸船接驳位置适应能力差、沉箱移运安全风险高等问题。

大型沉箱工业化预制成套技术的应用,推动沉箱重力式码头数字化施工技术不断发展,“机械化减人,自动化少人,智能化无人”作业,提升本质安全、质量控制水平,具有较高的借鉴价值。

新工艺开发是一个循序渐进的过程,本技术的研发还有改进的空间,下一步将继续在钢筋网片焊接组装、智能养护感应设计、相邻台车移运速度自动校核等方面进行研究,提升数字化赋能

深度,为水运行业技术发展提供一航方案。

### 参考文献:

- [1] 中交第一航务工程局有限公司. 沉箱重力式结构施工生产 60 年[Z]. 2018.  
CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd. Caisson gravity structure construction production for 60 years[Z]. 2018.
- [2] 中交第一航务工程局有限公司. 港口工程施工手册: 下册[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.  
CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd. Handbook for harbour engineering construction: Volume II [M]. 2nd edition. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2014.
- [3] 王元战. 港口与海岸水工建筑物[M]. 北京: 人民交通出版社, 2013.  
WANG Yuan-zhan. Port and coastal hydraulic structures[M]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2013.
- [4] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].  
GB 50017—2003, Code for design of steel structures[S].
- [5] JTS 257—2008, 水运工程质量检验标准[S].  
JTS 257—2008, Standard for quality inspection of port and waterway engineering construction[S].