



SMW 工法止水帷幕在船坞工程中的应用

黄振瑜

(中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

摘要: 止水帷幕是船坞工程中的关键部位, 是有效隔断水源确保船坞安全的根本保障。止水帷幕的合理选择直接影响船坞的质量和工程造价。常规止水帷幕均存在一定的缺陷, 如钢板桩价格高, 高压旋喷桩漏水点多, 因此新型帷幕的研究应用势在必行。详细论述 SMW 工法在船坞坞墙和坞口基坑工程中的设计应用及工程实效, 为类似工程提供借鉴。

关键词: SMW 工法; 止水帷幕; 渗透系数; 基坑围护; 钻孔排桩

中图分类号: U 673.33

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)04-0205-04

Application of SMW method cut-off wall in dock engineering

HUANG Zhen-yu

(China Ship-building NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: As a key part in dock engineering, the cut-off wall is the foundation to make sure that dock can be operated safely against water. The choice of the kind of cut-off wall impacts tremendously the dock quality and project cost. Normal cut-off walls have certain flaws such as high price of the steel sheet pile, many leaks of high-pressure jet grouting pile, etc. So, it is imperative to research and apply new-type curtain walls. This paper describes the first application and construction effect of SMW method cut-off wall used in dock wall and foundation pit of dock head, which may serve as reference for similar engineering.

Keywords: SMW method; cut-off wall; permeation coefficient; foundation pit; bored piles in row

1 工程概述

上海华润大东船务工程有限公司位于上海崇明岛城桥镇的沿江地段, 临近长江入海口, 与上海港隔江相望, 地理水域条件优越, 占地面积 102 万 m^2 , 沿江岸线 2 300 m。为提升公司修船能力, 适应船舶大型化和改装业务的市场需求, 公司急需新建一座干船坞, 位于厂区岸线的中部, 干船坞有效尺度为 380 m $\times$ 103 m $\times$ 13.6 m, 最大可并列修理 2 艘 15 万 t 散货船, 或并列修理 30 万 t 油船和 7 万 t 散货船各 1 艘, 船坞宽度 103 m 兼顾海洋产品改装业务, 成为目前国内最宽的修船坞。

拟建场地地形较为复杂: 南临长江口, 坞口位于新大堤之外, 坞室横跨新、老大堤。场地陆域和近岸处属河口、砂岛、砂嘴和潮滩地貌类型, 水域为河床地貌, 陆域场地平坦, 地面现状高程 2.5 ~ 3.3 m, 设计高程为 5.3 m。工程地基土主要由饱和黏性土、粉性土和砂土组成。

2 技术难点

2.1 坞口建造

坞口建造是船坞工程中的技术关键, 其建造方式的不同直接影响到工程造价和建设工期, 且

收稿日期: 2014-07-22

作者简介: 黄振瑜 (1968—), 女, 高级工程师, 从事港口水工和地下工程结构设计。

受场地条件影响因素较大。本工程坞口位于一线大堤外约 31 m, 原始泥面高程 0.0 ~ 1.0 m, 有大量抛石分布。船坞上游约 148 m 处为 3[#]修船码头, 下游约 116 m 处为 10 万吨级浮船坞, 整个施工过程中必须确保码头和浮船坞的正常生产, 常规土围堰和双排钢板桩围堰均不具备条件, 必须采取较新技术适宜本坞口的建设, 坞口前沿直接面临长江, 整个工期需跨年施工度汛 1 次, 防汛要求为 200 a 一遇加 12 级风下限, 坞口建造的安全性和可靠性面临严峻挑战。

2.2 船坞止水帷幕

船坞埋深一般较大, 结构需承受强大的水压力和浮托力, 止水帷幕一般设置于坞墙墙后进入不透水土层, 形成封闭的帷幕系统, 有效隔断水源, 减小基底结构扬压力, 确保船坞结构施工和正常使用的安全。本工程属典型的软土地基上的特大型船坞工程, 船坞开挖深度约 14 m, 坞底位于②_{3,2}层灰色砂质粉土, 渗透系数达 10^{-3} cm/s, 属强透水层。墙后止水一旦失效, 不仅影响坞室施工, 还会造成造价失控, 目前钢板桩止水效果最好, 但其造价昂贵, 难以推广, 其次便是高压旋喷桩止水运用较多, 但以往工程或多或少存在局部漏水现象, 影响船坞质量, 本工程必须汲取经验, 开拓新技术, 提升设计水平。

3 止水帷幕设计

3.1 坞口基坑围护止水帷幕设计

为适应工程特点, 坞口采用基坑围护法^[1-2]建造。船坞坞口主体采用桩基现浇“U”型整体结构, 水泵房一般设置于坞墩后方, 考虑本工程坞口建造不得影响邻近码头和浮船坞的生产, 施工场地越小越好, 近几年发展的基坑围护法施工形式较为适合本场地情况。为减小基坑范围、简化施工工序、控制工期, 将水泵房和坞墩结构结合为整体, 即将坞口和水泵房结构全部围拢同步建造, 形成 1 个矩形的大基坑。为保证水泵房使用空间及满足船坞宽度的要求, 使得基坑平面尺度

较大, 长 137 m, 宽 38 m, 面积超过长兴 1[#]、2[#]坞基坑^[3], 在同类工程中面积最大, 且基坑直接面临长江, 前沿围护墙体还须承担一线大堤的防汛任务, 抵御 200 a 一遇的防汛水位 6.24 m, 坞口基坑开挖深度达 14.65 m, 泵房处为 18.45 m, 该基坑的设计难度高, 风险大。设计通过多方案比较, 进行整体建模空间计算分析, 为有效控制基坑变形, 围护墙体采用钻孔灌注桩。同时, 坑内设置 4 道水平支撑, 第 1 道为混凝土支撑, 其余 3 道为钢支撑, 在泵房局部落深处再增加 1 道钢支撑, 支撑采用角撑和对撑相结合的形式, 并在基坑后方预留一定量的土体, 正好用以平衡前沿的水压力, 使得整个基坑四边受力均匀, 确保基坑安全性(图 1、2)。

基坑止水帷幕首次采用 SMW 工法三轴搅拌桩^[4]套打形式。考虑基坑位置距离大堤较近, 地下障碍物较多, 钻孔灌注桩位置先采用 SMW 工法低掺量三轴搅拌桩进行预加固, 水泥掺量为 15%, 深度 18 m, 即便于沉槽又加强止水效果, 墙后再采用 SMW 工法高掺量三轴搅拌桩 $\phi 850$ mm 止水, 水泥掺量为 20%, 深 31 m。SMW 工法三轴搅拌桩结合低掺量三轴搅拌桩的止水形式在民用基坑围护结构中运用较多, 但在船坞基坑中属首次运用, 船坞基坑直接面临长江水, 风险大, 对止水要求高, 配合坑内支撑体系, 整个基坑开挖过程中没有明显漏水, 止水效果较好, 为坞口主体结构顺利建造创造有利条件, 保障了整个工期(图 3)。



图 1 坞口基坑施工

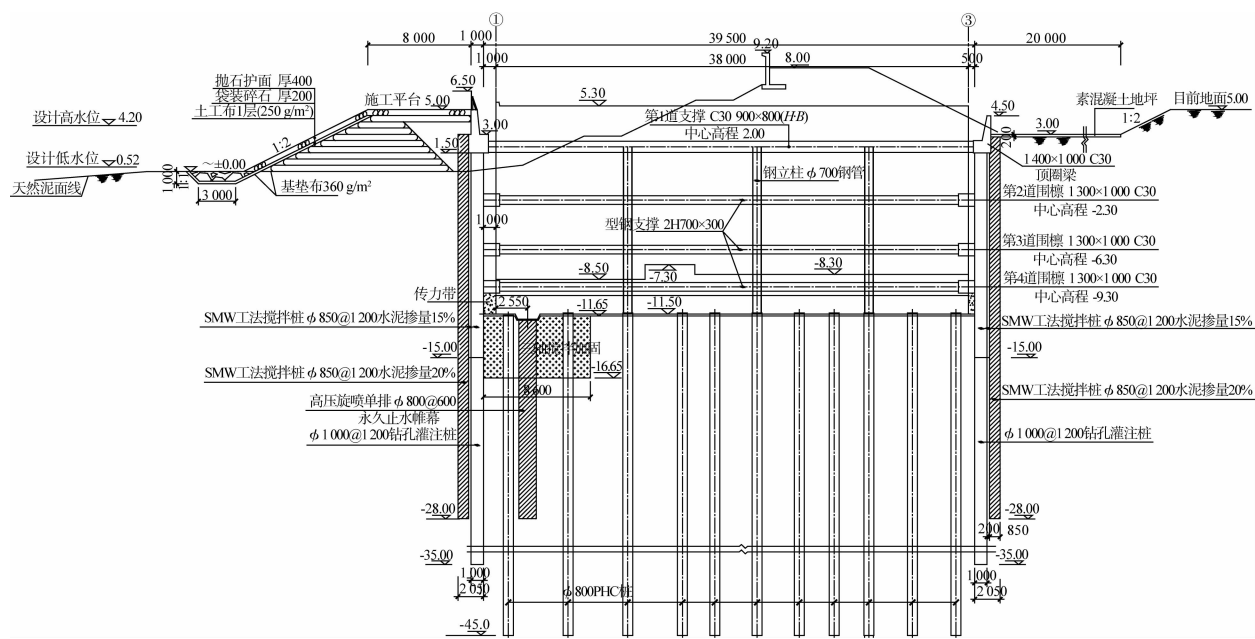


图 2 坞口基坑围护剖面（高程：m；尺寸：mm。下同。）

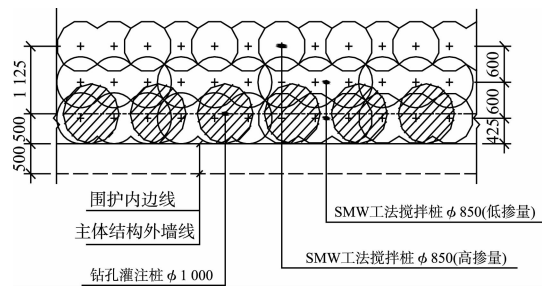


图 3 坞口基坑止水帷幕

3.2 坞墙止水帷幕设计

船坞坞壁采用 $\phi 950$ mm 钻孔排桩拉锚结构，钻孔排桩之间净距离 200 mm，该缝隙必须采取有效的止水帷幕进行封堵。以往工程墙后止水帷幕常规采用高压旋喷桩加密注浆形式，为确保整个坞室的止水效果，本工程在坞尾结构中首先实施该形式的止水帷幕结构作为试点，开挖后发现漏水点较多，止水效果不理想，后通过化学封堵及补旋喷桩等措施加以解决（图 4）。

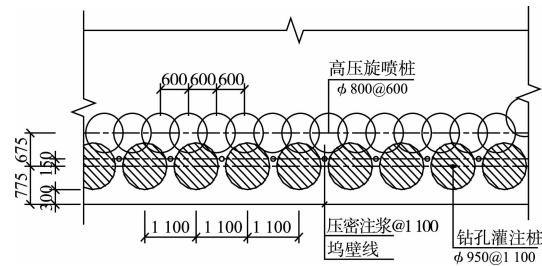


图 4 坞墙旋喷桩止水帷幕

分析原因，坞室主要在 $\textcircled{2}_{3-2}$ 层灰色砂质粉土中开挖，该土层透水性强，旋喷桩提升速度和压力一旦控制不好容易造成空隙，形成漏水点，后处理不仅影响工程造价还会延长工期，因此，两侧坞墙的止水帷幕必须进行优化调整，结合坞口止水施工经验，改用 SMW 工法三轴搅拌桩 $\phi 850$ mm 止水，搅拌桩与钻孔桩之间空隙再采用高压旋喷封堵，帷幕深度 25.8 m，由于 SMW 工法套打形式的三轴搅拌桩功率大，搅拌均匀，再加上旋喷桩空隙封堵，其止水效果大大提升，坞室开挖过程中基本没有漏水点，通过压水试验，渗透系数达 10^{-6} cm/s，完全满足止水要求（图 5）。

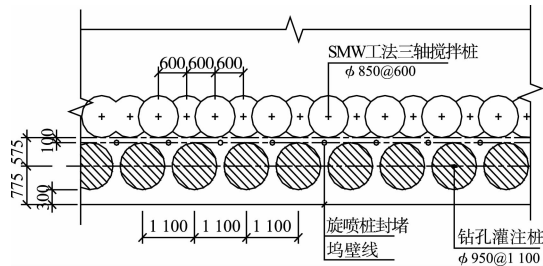


图 5 坞墙 SMW 工法止水帷幕

SMW 工法止水帷幕不仅止水效果优于常规的旋喷桩止水，其经济指标也具有一定的优势，经比较 SMW 工法止水帷幕比常规旋喷桩止水每延米

工程造价可节省约 2 000 元,止水帷幕的可靠性即保障了坞室墙体的稳定性,又保障了施工工期,钻孔排桩结合 SMW 工法止水的坞墙形式技术新颖、造价低、无防腐问题、止水效果好。

4 实施效果

本工程坞口基坑止水采用 SMW 工法三轴搅拌桩低掺量套打形式,坞室止水帷幕采用 SMW 工法三轴搅拌桩结合高压旋喷桩的形式,坞口基坑采用低掺量搅拌桩作为钻孔桩成槽加固处理,即保证了钻孔桩施工质量,又针对砂质粉土透水层进行了预加固,加强了止水效果,基坑开挖后止水情况良好,保证了坞口主体结构的顺利进行,避免了漏水后处理等问题,具有潜在的经济效益。施工监测数据显示,基坑围护墙体深层位移最大值一般出现在深度 20 m 左右,图 6 为基坑外侧监测点 KCX10 和内侧监测点 KCX4、KCX6 在基坑施

工全过程中的最大累计位移量,内侧墙体最大位移量约 82 mm,外侧墙体最大位移量约 44 mm,均小于同类工程。

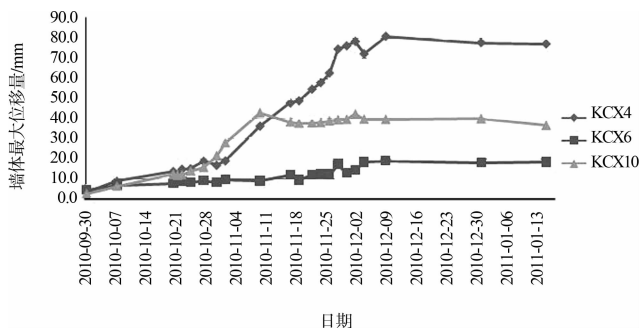


图 6 坞口基坑墙体最大累计位移量

坞墙采用钻孔排桩,刚度较大,加上 SMW 工法止水效果显著,坞墙水平位移控制相当好,坞室开挖建造过程中最大墙体水平位移控制在 84 mm 内,图 7 监测点为上下游坞墙在坞室施工全过程中实际发生的最大累积位移量,一般控制在 80 mm 以内。

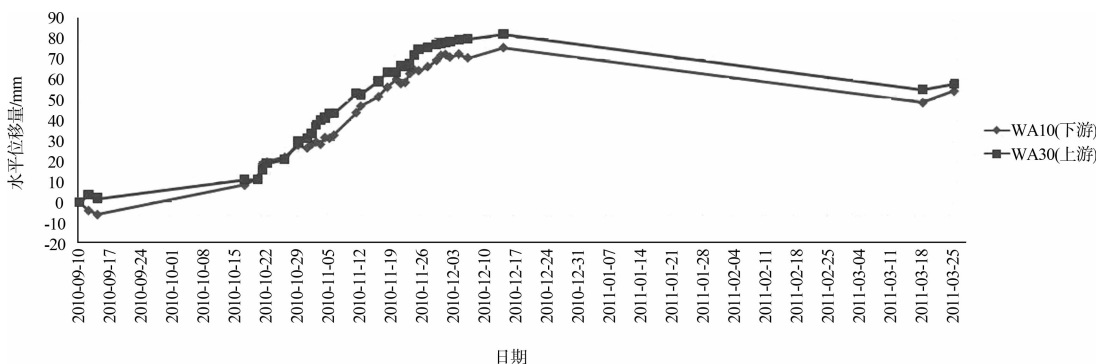


图 8 坞墙墙体最大累计位移量

5 结语

SMW 工法止水帷幕首次在船坞工程中应用成功,其止水性能良好,施工方便,适用于软土地基,坞口基坑及坞墙实施后基本无漏水点,是确保工程质量和控制工期的首要保障,技术上有新的突破,且经济成本低于常规的高压旋喷桩止水,值得步推广运用。

参考文献:

[1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程设计手册[M]. 北京: 中国建

筑工业出版社, 1997.
[2] 顾倩燕. 船坞工程结构设计技术创新与实践[J]. 水运工程, 2009(8): 26-36.
[3] 李小军, 陈映华, 宣庐峻. 采用水上深基坑围护法建造特大型船坞坞口的创新设计研究[C] //中国船舶工业工程建设论文集. 上海: 中船第九设计研究院工程有限公司, 2008: 442-447.
[4] J 11631—2010 地基处理技术规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)