



不同条件下船闸工程基坑支护 与防渗方案的选择*

徐志峰¹, 王玉波², 魏超²

(1. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029; 2. 江苏科兴项目管理有限公司, 江苏南京 210029)

摘要: 船闸施工多涉及深基坑开挖与基坑降排水工作。以高良涧船闸、扬州宝应船闸和高邮运东船闸为例, 阐述根据各船闸闸址地质条件及特点选择各自支护方式的原因及优缺点。在施工中, 可根据不同的地质条件、所处地理位置、施工周期以及安全等级选择合适的基坑支护及防渗方案。

关键词: 船闸工程; 基坑支护; 防渗

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)12-0071-05

Selection of foundation pit support and seepage control scheme for ship lock project under different conditions

XU Zhi-feng¹, WANG Yu-bo², WEI Chao²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Jiangsu Kexing Project Management Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: The construction of ship lock relates to deep foundation pit excavation and foundation pit dewatering work. Taking the Gaoliangjian ship lock, Baoying ship lock in Yangzhou, and Yundong ship lock in Gaoyou as examples, the excavation and seepage are described respectively. The reasons, advantages and disadvantages when choosing the support type are introduced in detail according to the geographical conditions and the characteristics of the ship locks. In the future, the appropriate foundation pit support and seepage control scheme can be selected according to geological conditions, different geographical conditions, construction periods and safety grades.

Keywords: ship lock engineering; foundation pit support; seepage control

随着船闸建设规模逐步增加以及施工所处地理环境更加复杂, 基坑开挖深度逐渐增加, 基坑支护及防渗要求逐步提高。作为船闸工程施工的基础工程, 基坑开挖及支护方案在很大程度上决定了工程整体施工的进度和费用控制目标, 对工程整体实施的成功具有决定性作用。基坑开挖往往要达到地下水位以下, 为保证深基坑内建筑物施工安全, 必须做好必要的基坑支护与防渗工作^[1]。由于各地船闸所在地环境、水文、地质等的差异性, 所选择的防渗、支护各不相同。地连墙支护、防渗帷幕支护以及放坡开挖 3 种不同类

型的基坑开挖及支护方案具有典型的适用范围以及优缺点, 在实际施工过程中可根据工程特点分别应用, 也可根据具体部位综合应用^[2]。

1 地连墙支护

1.1 工程概述

高良涧船闸主体工程建设规模为 23 m × 230 m × 4 m (口门宽 × 闸室长 × 槛上水深, 下同), 上、下闸首长度分别为 28、30.9 m, 闸室平面尺寸为 230 m × 23 m, 上、下闸首开挖底高程分别为 0.23、0.53 m, 闸室底高程为 1.83 m。地面高程

收稿日期: 2016-09-19

*基金项目: 中央级公益性科研院所专项资金 (Y415011)

作者简介: 徐志峰 (1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港航、岩土工程研究。

为 16.33 m。

该工程具有如下特点：

1) 施工场地狭小，施工期二线闸正常通航。闸室主体范围内由于受二线船闸限制，上、下闸首的外边缘距水边线的最小距离只有 21 m，不具备放坡开挖要求，必须进行垂直开挖。同时，施工期需密切关注基坑开挖及降水对二线船闸运行的影响，做好二线船闸变形观测工作。

2) 地下水位高，水源补给丰富，渗透系数高。船闸位于洪泽县高良涧二线船闸闸管区内，为较为平坦的湖滨带沼泽区，地面高程 13.83 ~ 16.83 m，两侧堤防顶高程 19.33 ~ 20.5 m。项目区范围内基岩埋深大于 50.0 m，土类型为中软土。根据勘探资料分析，闸址区地下水类型主要为孔隙潜水及承压水，影响较大的为 2-3 层、3-1c 层、3-3 层，埋深均较大，根据现场抽水试验报告显示，船闸闸室水位与场地 3-3 层承压水水位联系密切，观测的 3-3 层承压静水水头高程为 12.88 m，计算得 2.1×10^{-3} cm/s。模拟施工期计算得：降水影响半径采用 92 m，闸室开挖范围内用水量 Q 估算为 $1\ 493\ m^3/d$ 。各主要土层渗透系数及分级见表 1。

表 1 高良涧船闸闸址区岩土层渗透系数及渗透性分级

岩土编号	岩土名称	渗透系数 $K/(cm/s)$	渗透性分级	土体分布部位
2-3	粉土	4.1×10^{-4}	中等	闸室中部
3-1c	粉土	4.0×10^{-3}	中等	闸室闸首底高程部位
3-3	粉砂(土)	2.1×10^{-3}	中等	水源补给区

针对上述特点，上下闸首、闸室施工期的闸塘开挖基坑开挖与支护共分 5 步进行(图 1)。考虑先采用大开挖挖至 9.33 m 高程以后施工地下连续墙，地连墙施工完毕且强度达到 80% 后，开始基坑开挖工作，基坑开挖配合钢围檩同步施工。基坑四周均采用地下连续墙支护，对基坑的防护较为彻底。基坑开挖整体断面见图 2。

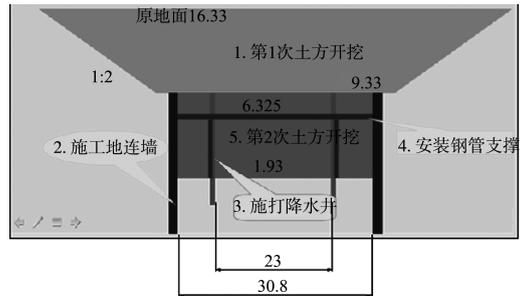


图 1 地连墙支护 (单位: m。下同)

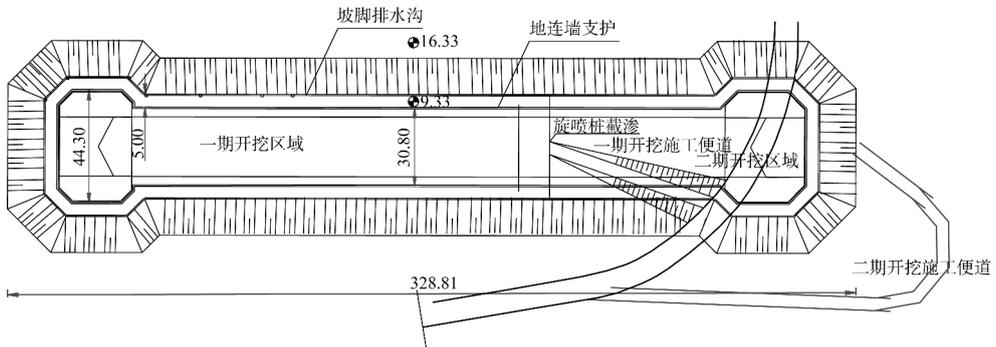


图 2 基坑开挖示意

1.2 优缺点

1) 优点：采取该种基坑支护及防渗结构，基坑支护安全稳定性较好，可以达到闸室底板干地施工的要求，保证二线船闸的安全运行需求，避免场地大面积放坡开挖、节约场地，一次施工完成减少后期维护费用。

2) 缺点：施工费用高，高良涧船闸地连墙支

护费用达 2 100 万元以上；施工周期长，施工期间难以与基坑开挖流水施工，地连墙施工周期达 3 个月以上；施工难度大，地连墙施工较传统防渗帷幕施工难度较大，后期因钢围檩的支护，大大增加了基坑开挖的施工难度。

1.3 应用范围^[3]

此类基坑支护方法较适合应用于地下水位高、

基坑防渗要求高、周边建筑物稳定性要求高、普通基坑支护与防渗要求难以达到支护效果或场地狭小难以进行放坡开挖的工程项目。

2 防渗帷幕支护

2.1 工程概述

宝应船闸连通京杭大运河和宝射河, 宝应船闸扩容工程为拆除老船闸、建设新船闸, 扩容后船闸尺度 $23\text{ m} \times 180\text{ m} \times 4\text{ m}$, 宝应船闸上闸首距离京杭大运河 250 m 。上游京杭运河最高洪水水位 9.0 m , 最高通航水位 8.5 m , 最低通航水位 6.0 m , 施工期正常水位 7.0 m 。下游宝射河最高洪水水位 3.5 m , 最高通航水位 2.8 m , 最低通航水位 0.7 m 。

工程具有如下特点:

1) 紧邻京杭大运河, 水源补给丰富。根据设计图纸, 钻探揭示场地地下水类型主要为上层滞水及孔隙性承压水。⑤层、⑦层粉土与⑨层粉砂相互连通, ⑪层粉砂室构成场地第二承压含水层。现场实测得上层滞水水位 $1.81 \sim 2.40\text{ m}$, 平均 2.04 m ; 测得承压水位为 1.93 m 。上游(京杭运河侧)河水位 6.5 m 左右、下游(宝射河侧) 1.4 m 左右。主要土层渗透系数及渗透性分析见表 2。

表 2 宝应船闸闸址区岩土层渗透系数及渗透性分级

岩土编号	岩土名称	渗透系数 $K / (\text{cm/s})$	渗透性分级	岩体分布部位
⑤	砂质粉土夹薄层黏土	$1.9 \times 10^{-5} \sim 2.4 \times 10^{-4}$	中等	闸址区
⑦	砂质粉土	$1.5 \times 10^{-5} \sim 7.2 \times 10^{-4}$	弱-中等	与⑤层土互通
⑨	粉砂	$1.2 \times 10^{-5} \sim 9.7 \times 10^{-4}$	弱-中等	与⑤层土互通
⑪	粉砂	$3.5 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$	弱-中等	第 2 层承压水

船闸主体底板设计底高程: 上闸首 -4.8 m , 地面高程 11.0 m ; 闸室 -5.7 m , 地面高程 3.0 m ; 下闸首 -7.0 m , 地面高程 4.5 m 。上下闸首及闸室均坐落在⑤层砂壤土层, 上闸首基坑开挖深度 16 m , 下闸首基坑开挖深度 11.5 m 。闸址紧邻京杭大运河, 地下水补给路径短, 闸址处⑤层砂壤土渗透系数较大, 具中等-弱透水性。

2) 周边存在居民区, 场地较开阔。船闸基

坑与地面存在较大高差, 基坑周边 30 m 外为密集居民区, 基坑降水后, 基坑底承压水头较大。根据以往类似船闸施工经验, 如降排水措施不当, 施工期难免会发生基坑管涌, 给工程实施带来困难, 周边建筑物也会因地下水位下降产生位移沉降^[4]。

针对上述特点, 采用防渗帷幕支护, 在地面高程 3.00 m 外侧, 沿基坑四周设置防渗帷幕墙作垂直防渗(图 3), 防渗墙顶高程 3.0 m 、底高程 -15.0 m , 其中在高程 $-15.0 \sim -9.0\text{ m}$ 土体承载力较大, 普通防渗小直径搅拌桩难以穿透土层形成防渗墙, 经技术经济方案综合比选, 上部承载力较小段采用小直径搅拌桩, 下部地基承载力较大段采用高压旋喷桩形成组合防渗墙(图 4)。并在沿基坑高程 -1.50 m 平台灌浆帷幕内侧布置直径 300 mm 间距 20 m 的降水井, 在基坑底部四周设明沟排水, 以保持船闸基坑干地施工。

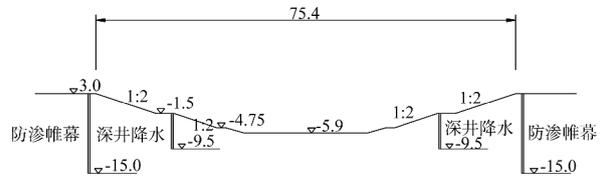


图 3 闸室横向开挖断面

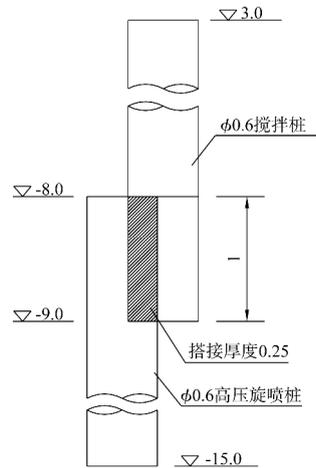


图 4 沿基坑四周设置防渗帷幕墙作为垂直防渗

2.2 优缺点^[5]

1) 优点: 防渗效果较好, 船闸基坑开挖及工程施工中未见明显渗透异常, 周边建筑物稳定,

工程防渗效果明显；工程造价适中，宝应船闸基坑围护费用约 230 万元；施工周期短，防渗帷幕施工周期约 2 个月，可与降水井同步开展施工，与基坑开挖安排流水施工，缩短施工周期。

2) 缺点：宝应船闸基坑周边建筑物距离基坑较远，稳定性要求较低，此种方案不适合周边有稳定性要求较高的建筑物，因水泥搅拌桩防渗帷幕不承受水平剪力，基坑开挖需放坡施工，对施工场地要求较高。

2.3 适用范围

基坑四周防渗帷幕支护与防渗方案适用于基坑四周无稳定性较高建筑物，地下水位较高且补给丰富，场地可满足放坡开挖施工要求。

3 基坑放坡开挖

3.1 工程概述

通扬线运东船闸位于京杭大运河支流，为拆除老船闸、建设新船闸，扩容后船闸尺度 23 m×230 m×4 m，上游京杭运河最高洪水水位 8.83 m，最高通航水位 8.33 m，最低通航水位 5.83 m，施工期正常水位 7.0 m；下游最高通航水位 2.92 m，最低通航水位 0.7 m。

该工程具有如下特点：

1) 施工场地开阔，无稳定性要求高建筑物；工程所处地段施工场地开阔，满足大开挖要求。

2) 地下水源补给较少，渗透系数低；船闸主体底板设计底高程：上闸首 - 5.17 m，闸室 - 6.1 m，地面高程 3.0 m；下闸首 - 7.1 m，地面高程 4.5 m。上下闸首及闸室均坐落在 3-3 层粉质黏土，该层为弱承压水层，水量丰富，以上各部分土层均为黏土，根据室内渗透试验测定，闸址以上部分渗透系数均值为 3.7×10^{-8} cm/s，3-3 层渗透系数为 4.2×10^{-5} cm/s。渗透系数较低，水源补给量较少。勘察期间测得钻孔稳定地下水位埋深 2.60~4.00 m，地下水位高程 0.0~1.50 m，主要接受大气降水补给及河流侧向补给。

针对上述特点，船闸主体基坑采取大开挖的

方法进行施工，即从地面以边坡 1:1.3 开挖至 -3.0 m 高程，留 5 m 宽平台，再以 1:1.5 开挖至基坑底(图 5)。基坑开挖前在闸室四周设置深井降水，降低地下水位，保证干地开挖，基坑内部采取明沟排水，上闸首等开挖深度较大部位采取轻型井点降水施工方案。因土层渗透系数低，水源补给不足，基坑开挖后立即进行底板等结构施工，可有效的保证基坑干地施工的要求。基坑开挖时遇局部软土，可采取木桩临时支护挡土，阴雨天气于该部位设置土工布及袋装土防护即可。

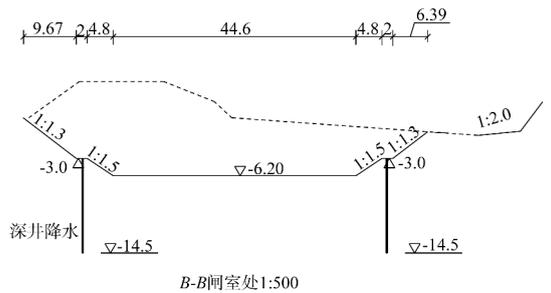


图 5 闸室开挖断面

3.2 优缺点

1) 优点：施工费用低，采取此种方案基坑支护费用较低，仅需进行局部软土进行临时支护，开挖土方可有效调配使用；施工难度低；施工周期短，降水井施工完成后即可进行开挖施工，根据底板施工进度安排流水施工。

2) 缺点：该种方案不适用于基坑四周有稳定性要求较高建筑物，不适用于地下水源补给丰富的项目；基坑大面积开挖需有较大的场地进行施工，不适合长期降水，底板施工完成后需立即进行回填，减小降水压力。

3.3 适用范围^[6]

基坑四周地下水位影响范围内无建筑物、场地适合大面积开挖、土层渗透系数较低、水源补给不足、施工周期短的项目可采取该种降水方案。

4 方案对比分析

从进度、费用以及施工难度等方面对上述 3 种方案进行对比分析，结果见表 3。

表 3 开挖及支护方案对比

开挖及支护方案	关键线路 占用时间/d	施工及维护 费用/万元	施工 难度	适用范围
地连墙支护	90	2 100	高	地下水位高, 防渗要求高, 周边建筑物稳定性要求高, 场地狭小
防渗帷幕支护	60	230	中	地下水位较高且补给丰富, 场地宽阔, 周边建筑物要求低
放坡开挖	15	10	低	土层渗透系数较低, 水源补给不足的, 场地宽阔, 周边建筑物要求低

通过对比可见, 基坑开挖及支护方案的选择对工程实施的进度、安全、费用控制至关重要, 在船闸施工过程中, 需要从项目所处地理位置、地质条件、地下水位及水源补给等情况综合考虑选择合适的施工方案。在实际施工过程中可以将多种方案进行综合运用以期达到最佳的施工效益^[7]。

5 结论

1) 地连墙的支护及防渗效果良好, 其在水源丰富、防渗及周边建筑物稳定性要求高的工程中较多采用, 但其具有较为显著的缺点, 即施工周期长、工程费用高。

2) 防渗帷幕支护可在地下水位高、场地开阔、水源补给较丰富的工程中优先选用, 其施工周期及费用适中, 较多为船闸工程所采用。

3) 放坡开挖作为施工周期及费用最优的方案, 仅在水源补给不足、地质条件优、场地开阔等条件下适用。

不同的船闸基坑施工方案适宜条件及要求不

尽相同, 应从各方面提出针对性的施工方案, 不宜盲目套用以往施工方案。

参考文献:

- [1] 韩忠杰, 崔超, 李成鹏. 高含水区船闸基坑防渗墙施工控制措施研究[J]. 中国水运: 下半月, 2009, 9(11): 165-166.
- [2] 胡雪梅. 浅谈船闸软土地基深基坑开挖技术[J]. 中国水运: 下半月, 2015, 15(11): 261-263.
- [3] 卞璇屹, 周效国, 沈波, 等. 刘老涧三线船闸深基坑支护方案设计与施工[J]. 四川建筑科学研究, 2014, 40(4): 172-174.
- [4] 潘宣何, 刘晓平, 林积大, 等. 基坑开挖对邻近船闸的影响研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(11): 87-90.
- [5] 王昆. 高压摆喷截渗技术在某船闸工程中的应用[J]. 施工技术, 2009, 38(1): 83-85.
- [6] 杨嵌. 浅谈平原地区船闸基坑工程设计[J]. 中国水运: 下半月, 2015, 15(11): 259-260.
- [7] 李金国, 林匡成. 水利枢纽工程基坑围闭支护施工技术探讨[J]. 科技与生活, 2011(9): 147.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

烟台港首座 30 万吨级原油码头投产试运营

近日, 随着希腊籍大型油轮“基西拉勇士”号顺利靠泊, 由一航局承建、三航院设计的烟台港西港区 30 万吨级原油码头首船卸油作业正式开始, 标志着山东半岛北部首座 30 万吨级原油码头投产试运营。

该工程 2014 年 7 月开工, 2016 年 2 月通过交工验收, 采用“蝶形”离岸形式布置, 重力沉箱墩台式梁板结构, 泊位长 430 m, 与烟台港西港区 150 万 m³ 罐区仓储、烟台-淄博 480 km 管道输送等环节共同组成“船舶-码头-战略储备(仓储)-管道-最终用户”完整物流链条。

码头的投产运营将进一步调整港口布局、优化港口功能, 更好地服务山东半岛蓝色经济区石化产业发展。