

软土地区上锚下撑船闸闸室变形研究

冯伯林¹, 简艳春¹, 陈志明², 张金木³

(1. 河海大学交通与海洋工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水利工程建设局, 江苏 南京 210000;
3. 南京振高水利建筑安装工程有限公司, 江苏 南京 211300)

摘要: 针对软土地区上锚下撑船闸闸室变形较大的缺陷, 通过对典型实例的有限元分析, 并借鉴建筑基坑相关经验, 研究了影响软土地区上锚下撑船闸闸室墙水平位移的设计因素和施工因素。研究表明, 采用被动土体加固、增大墙体刚度等方法可控制闸室墙变形。

关键词: 软土地基; 船闸; 侧向变形; 土体加固; 有限单元法

中图分类号: U641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2002)04-0053-04

1 问题的提出

软土地区上锚下撑船闸具有施工速度快、可避免大开挖、投资省等优点, 对施工场地狭窄的二、三线船闸尤其实用, 但它也存在船闸闸室变形较大的缺点。竣工验收规范对船闸宽度尺寸有严格规定^[1], 如何有效地控制船闸闸室变形, 是该结构形式应用的关键之一。

船闸闸室变形主要是指闸室墙的水平位移, 它的影响因素很多。例如闸室平面形状、深度和地基土性质显然是影响变形的重要因素, 但它们在结构设计时已基本确定。此外还有许多其他因素影响到闸室的变形量, 为研究方便可以把它们分为两类: 设计因素和施工因素。对上锚下撑支护船闸而言, 影响变形的设计因素主要包括闸室墙刚度、锚杆的刚度及设置位置、被动区土体加固等; 影响船闸闸室变形的施工因素主要包括锚杆预应力、分级开挖工艺、开挖结束到底板施工前的延误时间等。

软土地区船闸和高层建筑基坑实际上非常相似, 但对前者的研究远远少于后者, 因此, 借鉴建筑基坑的研究方法对软土地区船闸的研究将十分有益。

本文主要通过具体算例研究设计参数及施工方法对船闸闸室墙水平位移的影响。

2 算例简介

闸室断面如图 1。闸室长 220 m, 分 11 节, 每节长 20 m, 闸室宽 16 m。闸室底板为透水底板, 闸室墙为地连墙上接现浇混凝土墙, 厚 0.42 m, 采用上锚下撑支撑, 底板内设撑梁, 上部设锚杆(锚杆直径为 50 mm)。地基土为内摩擦角 $5^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的粘土, 平均内摩擦角 16° 。

施工工艺为: 先开挖上层土方至 0.00 m 高程, 进行地连墙和现浇上部闸墙施工以及锚杆安装, 待锚杆可承受设计荷载后再进行闸室土方开挖, 然后做闸室底板, 待底板内撑梁达到受力强度后再进行闸室墙后土方回填, 最后放水。

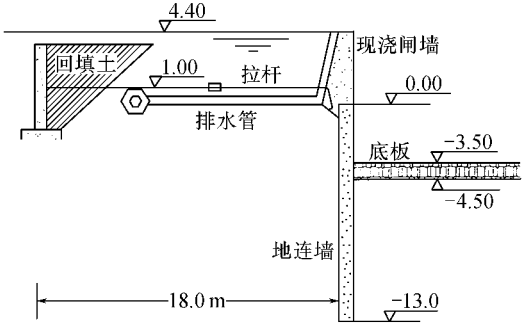


图 1 闸室断面

Fig.1 Cross section of lock chamber

3 被动区土体加固的效果

被动区土体加固在软土建筑基坑中应用广泛, 且被证明不仅可以提高基坑稳定性, 还能有效地控制基坑变形, 这一方法已开始被应用到船闸工程中。实际上, 软土地区上锚下撑船闸在闸室放水前与建筑基坑几乎

没有区别,放水后变形略有改善,因此建筑基坑的相关经验很值得借鉴。

被动区土体加固方案主要包括以下几个要点:土体加固的宽度、土体加固的深度、土体加固区的形状及土体加固方法。以下结合算例分别讨论。

3.1 土体加固区的宽度

图 2 为在加固深度 $0.3H$ 时(H 为闸室深度,下同),不同加固宽度下的闸室墙位移曲线。

可以看出,在加固宽度小于 $0.6H$ 时,增加加固宽度可以明显地减小闸室墙水平位移,当加固宽度超过这个值时,增加加固宽度的效果明显减小。所以被动区土体加固宽度宜为 $0.6H$ 左右。

3.2 土体加固区的深度

图 3 表示在加固宽度为 $0.6H$ 时,不同加固深度下的闸室墙位移曲线。

可以看出,当加固深度达到 $0.3H$ 时,闸室底板处闸墙位移减小接近 50%,但此后继续增加深度作用不很明显。所以被动区土体加固深度宜为 $0.3H$ 左右。

3.3 加固区的形状

根据建筑基坑的经验,加固区形状可以是矩形或三角形。从图 4 可发现,加固深度和宽度相同时,采用两种形状加固区的效果差别很小。从设计角度来看,采用三角形方案既经济又有效;从施工角度看,三角形方案不太方便。因此,实际工程中可以考虑采用折中方案,例如台阶形加固区。

3.4 加固方法

土体加固的方法主要有深层搅拌法、化学灌浆法、高压旋喷法等。化学灌浆法价格非常昂贵;另两种方法的加固原理相似,都是用掺入水泥的办法改善软土的性能,只是工艺不同而已。

使用深层搅拌法除施工质量外,效果主要取决于水泥掺入比的大小,通常采用的掺入比在 8% ~ 15% 之间。在实际工程中,适当提高水泥掺入比,经济上费用不大,又有一定控制变形的效果,是一种经济实用的方法。需要指出的是,水泥土的强度和弹性模量等参数是随养护时间而变化的,实际工程中应保证开挖前加固区土体获得足够时间的养护。

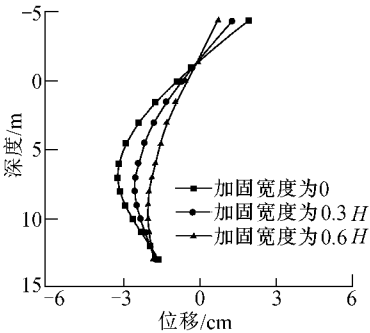


图 2 不同加固宽度的闸室墙水平位移
Fig.2 Horizontal displacement of lock wall vs. reinforced width

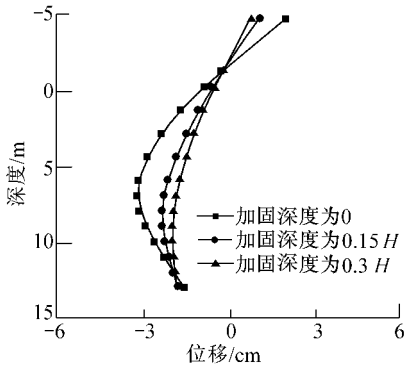


图 3 不同加固深度的闸室墙水平位移
Fig.3 Horizontal displacement of lock wall vs. reinforced depth

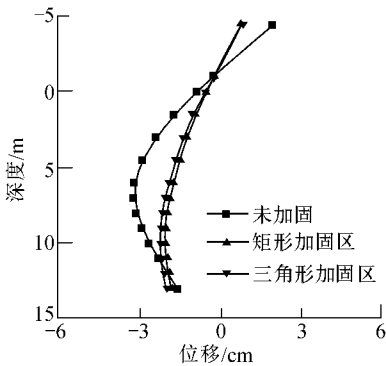


图 4 不同加固区形状的闸室墙水平位移
Fig.4 Horizontal displacement of lock wall for different shapes of reinforced zone

4 其他设计参数的影响

4.1 闸室墙刚度的影响

图 5 为不同闸室墙刚度下的闸室墙水平位移曲线。可以发现,增大墙体刚度,可以有效地控制墙体顶端水平位移和墙体最大水平位移。

但从经济的角度考虑,增大闸室墙刚度将加大墙体厚度,这势必增加工程造价,所以实际工程中需要与其他方法相比较,找到一个既经济又有效的变形控制方法。

4.2 锚杆刚度的影响

图 6 为不同锚杆刚度下的闸室墙水平位移曲线.可以看出 ,锚杆刚度对控制闸室墙水平位移的作用不很明显 ,所以结构设计时锚杆有一定刚度即可 .

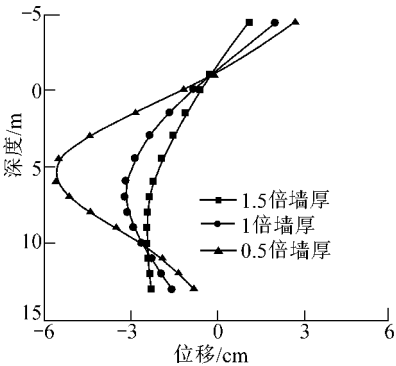


图 5 不同闸室墙刚度的闸室墙水平位移
Fig.5 Horizontal displacement of lock wall vs. rigidity of lock wall

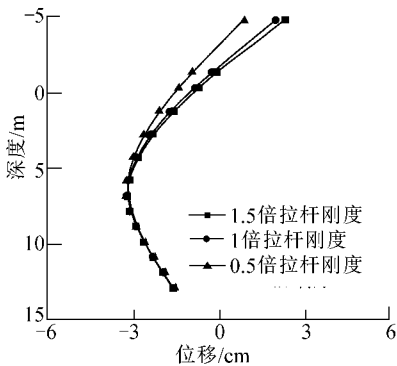


图 6 不同锚杆刚度的闸室墙水平位移
Fig.6 Horizontal displacement of lock wall vs. rigidity of anchor rod

5 施工方法对闸室变形的影响

船闸工程施工中影响闸室变形的因素主要有 :锚杆预应力的大小 ;“先撑后填”还是“先填后撑”的施工方式 ,开挖结束到底板施工前的延误时间 ,以及开挖的分级、分块、开挖速度等 .由于问题非常复杂 ,目前对这些影响因素的研究基本停留在定性水平和经验性结论上 ,以下将分别讨论 .

5.1 锚杆预应力的影响

锚杆预应力不仅可以防止锚杆松弛 ,还可以增加墙外侧主动土压力区的土体水平应力 ,减小被动区土体的水平应力 ,从而增加土体稳定性 ,减小塑性区 ,能有效地减小闸墙的变形 .

图 7 为在不同大小锚杆预应力下的闸室墙水平位移曲线 .不难看出 ,当锚杆预应力加到设计轴向内力的 50% 时 ,底板高程处位移值可减小 40% 左右 .

5.2 “先撑后填”与“先填后撑”施工方式的影响

从理论上讲 ,墙后回填时 ,“先撑后填”闸室墙及墙后土体是在约束条件下加载 ,而“先填后撑”闸室墙和墙后土体是先加载然后加约束 .图 8 为在两种回填方法下的最终闸室墙水平位移比较 .相对而言 ,前者回填时墙外侧主动土压力区的土体水平应力较大 ,被动区土体的水平应力较小 .减小了塑性区 ,从而使闸墙变形更小 .

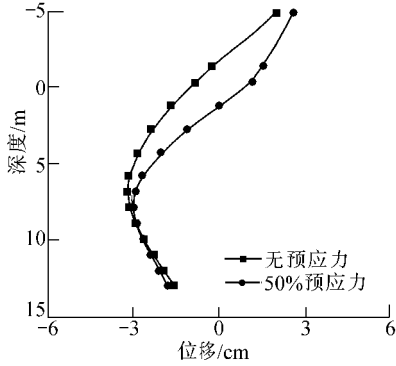


图 7 不同锚杆预应力的闸室墙水平位移
Fig.7 Horizontal displacement of lock wall vs. prestress of anchor rod

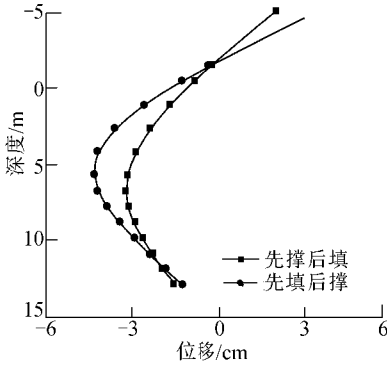


图 8 不同回填方法的闸室墙水平位移
Fig.8 Horizontal displacement of lock wall for different ways of back filling

5.3 开挖结束到底板施工前的延误时间的影响

软土船闸施工中,周围土体均达到一定的应力水平,且有部分区域为塑性区。

软土一般有明显的流变特征,开挖卸载后还存在固结现象。软土的固结和流变使闸室墙变形在相对稳定的状态下随时间发展,因此闸室坑底在开挖结束底板施工前的暴露时间越长,将使闸室墙水平位移越大。

根据刘建航院士针对上海地区建筑深基坑提出的时空效应估算方法,挖到坑底后浇筑底板前,坑底暴露时间超过10d后,每拖延1d将使最大闸室墙水平位移增大超过1mm^[2]。这一提法虽然来源于建筑基坑的实践经验,但其思想方法对软土地区船闸很有借鉴意义。

5.4 开挖分级、分块的影响

船闸实际上是一个空间结构,实际工程开挖也是分层进行的,每一层中又是分块开挖的。建筑基坑的实践证明,如能严格按照规范建议的“分层、分区、分块、分段、抽槽开挖、留土护壁、快挖快撑、先形成中间支撑,限时对称平衡形成端头支撑,减少无支撑暴露时间^[3]”的开挖方法,将能明显地减小基坑变形。这一经验非常值得船闸设计施工借鉴。

6 结 论

a. 采用被动区土体加固方案,随着土体加固宽度或深度的增大,闸室墙水平位移明显减小,但不同加固区形状对闸室墙水平位移的影响差别很小。

b. 随着闸室墙刚度的增大,闸室墙水平位移明显减少,从而可有效地控制墙顶水平位移和墙体最大位移。

c. 施工方法亦是影响闸室墙变形的主要因素,制定科学、合理的施工工艺可减小闸室墙水平位移,确保工程质量。

参考文献:

[1] JTJ 261—265 船闸设计规范[S]。

[2] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 建筑工业出版社, 1997. 217 ~ 221。

[3] 中华人民共和国冶金工业部. 建筑基坑工程技术规程[M]. 北京: 中国冶金出版社, 1998. 92 ~ 93。

Chamber deformation of up-anchored and down-supported ship locks on soft soil foundation

FENG Bo-ling¹, JIAN Yan-chun¹, CHEN Zhi-ming², Zhang Jin-mu³

(1. College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Jiangsu Water Conservancy Construction Bureau, Nanjing 210000, China;

3. Nanjing Zhen 'gao Irrigation Works Engineering LTD, Nanjing 211300, China)

Abstract: In consideration of the large deformation of up-anchored and down-supported ship lock chambers on soft soil foundation, based on finite element analysis of a typical project and related experiences in construction of foundation pits, some design and construction factors influencing the horizontal displacement of ship lock chambers are studied. The results show that measures, such as passive soil reinforcement and increase of rigidity of lock walls, can prevent deformation of lock walls.

Key words: soft soil foundation; ship lock; lateral deformation; soil reinforcement; finite element method