

高良涧扩容船闸闸室计算研究

徐高亮¹, 石德珊²

(1. 华设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014; 2. 江苏省交通运输厅港航事业发展中心, 江苏南京 210004)

摘要: 船闸底板通常简化为平面问题的地基梁进行计算, 地基梁分析的目的在于地基与地基梁(即底板)共同工作的假设为前提, 来确定地基梁与地基之间接触压力(地基反力)的分布, 从而可求得地基梁的内力。由于在实际工程施工中各支撑安装时间不同, 其未必与主体结构同时开始受力。对于墙体而言, 即在支撑或锚杆加上前, 墙体已产生了内力和位移, 支撑或锚杆是在墙体产生了一定的位移后才加上的。因此各支撑发挥作用的时刻是不同的, 为考虑这一种设置支撑和开挖的施工过程, 提出了增量计算方法。

关键词: 闸室; 支护; 增量法

中图分类号: U641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 08—0083—03

1 概述

高良涧扩容船闸闸位布置在二线船闸东侧, 船闸闸首及闸室与原二线船闸对齐布置^[1]。由于扩容船闸与二线闸之间的中心距为 70m, 上下闸首与二线船闸闸首、闸室之间的净距分别约为 26m、41m, 由于距离较近, 常见的开挖方式如大面积开挖不能用于本工程中。同时上、下闸首外缘距水边线距离最小值只有 21m, 无法达到闸首施工所需要的防渗要求。由于新建扩容船闸闸位与二线船闸距离较近, 为确保在扩容船闸施工期间, 二线船闸的正常运行, 扩容船闸采用地下连续墙+钢管支撑的支护方式, 以减少基坑开挖对二线船闸的影响。闸室处地连墙支护断面如图 1 所示^[2]。

因此, 高良涧扩容船闸的闸室受力计算不同于一般基坑大开挖的情况, 需要结合地连墙支护、土方开挖及钢管支撑等不同工况, 对闸室内力进行计算。

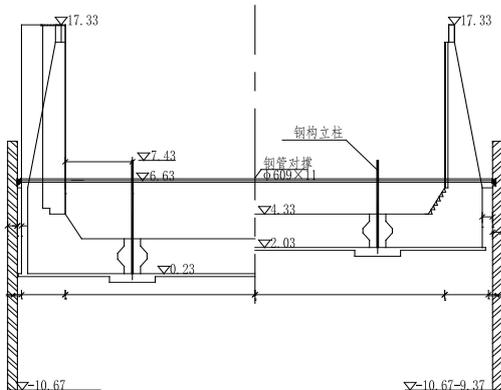


图 1 闸室地连墙支护断面图

2 计算方法分析

2.1 底板的水平地基梁解法

船闸闸室底板通常的做法是按地基梁进行计算, 从

而使船闸底板简化为平面问题, 该方法有一个重要假设, 即地基与地基梁(底板)共同工作, 基于这个假设可确定地基梁与地基之间接触压力的分布, 从而可求得地基梁的内力。首先必须选择或者建立合理的地基模型, 然后选择合适的地基梁计算方法。常用的地基模型或假设有: 反力直线分布假设、文克尔地基模型、弹性半无限地基模型、有限压缩层地基模型、分层地基模型等; 常用的地基梁计算方法有解析法、有限差分法、有限梁单元法、连杆法、地基反力函数法。

其中反力直线分布假设中地基梁与地基之间的压力按直线分布, 不考虑地基梁与地基之间的相对弹性, 可在一些小型建筑物的设计计算中使用。文克尔地基模型把土体模拟为一系列各自孤立的弹簧, 适合于力学性质与水相近的地基; 基础底部塑性区域较大的地基; 地基可压缩厚度 H 小于基础底面宽度 L 之半的薄层地基。弹性半无限地基模型认为地基是连续、完全弹性、匀质、各向同性的, 充分考虑了地基的整体性和连续性, 适用于应力水平不高、塑性区开展范围不大的相对均匀的粘性土地基。有限压缩层地基模型假定弹性层与刚性层完全粘合, 适合于横观同性地基。分层地基模型能较好的反映地基土扩散应力和变形能力, 可以反映邻近荷载的影响, 能够考虑土沿水平与深度变化的非均匀性, 适用于应力水平不高、塑性区开展范围不大的地基。

本闸室底板下部地基压缩层, 主要位于两侧地连墙之间, 适合采用文克尔地基模型。基床系数 K_0 按下式计算:

$$K_0 = \frac{P}{S} \quad (1)$$

K_0 —土的基床系数 (kN/m^3);

p —荷载强度的数值 (kN/m^2)。

2.2 地连墙的竖向地基梁法

桩体在水平力作用下会产生水平向位移、弯矩及转角,由于土体与桩之间的相互作用,土体会抵消桩基所产生的位移及力。根据土体的相关性质,二者之间的相互作用为较为复杂的非线性关系,在实际工程中,无法通过解析方式来准确表达,因此对工程进行设计时存在较多不便。目前在工程界中计算桩土的计算方法主要有线性地基反力法、非线性地基反力法等。本文所建立的桩土模型采用线性地基反力法进行地基反力的模拟。

国内外用于计算弹性桩的方法较多,最常采用弹性地基反力法,该法中,土体被假定为弹性体,桩的水平力运用梁的弯曲理论进行求解。微分方程为:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Bp(x, y) = 0$$

$$p(x, y) = k_H y \quad (2)$$

式中: $p(x, y)$ —单位面积上的桩内土抗力 (kN/m^2); y —水平方向位移 (m); x —计算点埋深 (m); B —桩体计算宽度 (m)。

地基水平基床系数有五种不同的分布方式,地基水平向基床系数采用下式表示:

$$k_H = A_0 + kz^n \quad (3)$$

式中: z —距离开挖面或者地面的深度; k —比例系数; n —指数,反映地基水平基床系数随深度的变化情况; A_0 —开挖面或地面处的地基水平基床系数,一般取为零。

根据公式(3),当指数 $n=1$, $A_0=0$ 时,即地基水平向基床系数随深度按线性规律增大。该地基水平向基床系数的计算方法称为 m 法,公式常用表示方法为 $k_H=m_z$ 。不同规范或规程得到的 m 的取值范围可能相差较大,因此工程应用中 m 值的确定还应结合当地的工程经验进行选取。

2.3 增量法

由于在实际工程施工中各支撑安装时间不同,其未必与主体结构同时开始受力。对于墙体而言,在支撑设置工序之前,墙体由于已经受力,所以产生了内力和位移,这部分力支撑并不承担,支撑仅在其设置之后墙体受力时发挥作用。因此各支撑发挥作用的时刻是不同的,为考虑这一种设置支撑和开挖的施工过程,提出了增量计算方法。

增量法把每一施工过程所增加的荷载作为增量荷

载,每一施工过程计算体系随着结构发生变化而不同。增量荷载一般包括土压力增量和上一过程已受力的土弹簧在本次施工将其挖掉时的反力荷载,如图2所示。每一施工过程支护结构的受力和变形为前面增量计算结果的迭加。增量法考虑整个施工过程结构型式及荷载的变化,结果较不考虑过程变化的计算方法更贴合实际,对多撑或多锚式支护结构的计算,应使用增量法来进行计算。

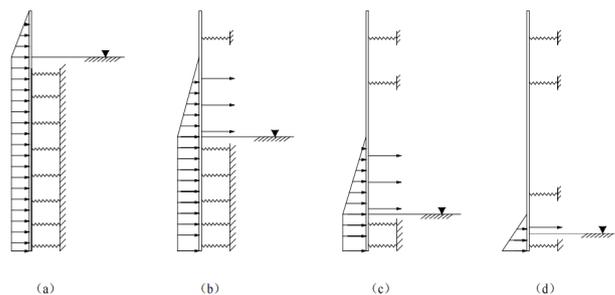


图2 增量法计算过程

3 计算工况与计算步

本工程闸室结构计算按顺序共分为基坑开挖期、底板施工期、闸室完建期、闸室使用期四种设计工况,8步计算,如表1所示,重点为地连墙及闸室的内力及位移。

表1 计算工况与计算步

序号	工况	计算步	地连墙合力指向
T1	基坑开挖期	内支撑安装前开挖	墙前
T2		内支撑安装后开挖	墙前
T3	闸室施工期	底板施工	墙后
T4		内支撑拆除	墙前
T5		墙身浇筑到顶	墙后
T6	闸室完建期	封铰,墙后回填	墙前
T7	闸室使用期	闸室高水期	墙后
T8		闸室检修期	墙后

3.1 基坑开挖期

T1: 内支撑安装前开挖: 场地原地面 $\nabla 16.13$, 施工宽缝封铰前, 闸内地下水位保持 $\nabla 5.13$, 闸外地下水位取平台高程 $\nabla 9.33$ 。地连墙施工 ($\nabla 9.33 \sim \nabla -9.37$) 厚度 0.6m , 材料采用 C25 砼。第一层开挖 $\nabla 9.33 \sim \nabla 6.63$, 地连墙处于无锚板桩受力状态, 不考虑地连墙自重及其浮托力产生的影响。

T2: 内支撑安装后开挖: 安装 $\varnothing 609\text{mm}$ 钢管对撑 ($\nabla 6.63$, 间距 8m) 后, 第二层开挖 $\nabla 6.13 \sim \nabla 2.03$ 。闸外地下水位 $\nabla 9.33$, 闸内地下水位 $\nabla 1.43$ 。

3.2 闸室施工期

T3: 底板施工: 砖砌填充作为外侧模板, 浇筑边

底板▽ 2.03~▽ 6.13, 中底板▽ 2.03~▽ 4.33。闸外地下水位▽ 9.33, 闸内地下水位▽ 1.43。

T4: 内支撑拆除: 底板砼达到强度后, 拆除支撑体系。拆除支撑体系之前, 在宽缝位置对应支撑的位置, 间距 8 米, 设置厚度 1m, 宽度 1.5m 的砼支撑。砼支撑材料为 C30 混凝土。闸外地下水位▽ 9.33, 闸内地下水位▽ 1.43。

T5: 墙身浇筑到顶: 新浇筑闸墙高程▽ 6.13~▽ 16.13, 闸外地下水位▽ 9.33, 闸内地下水位▽ 1.43。

3.3 闸室完建期

T6: 封铰, 墙后回填到顶: 待混凝土强度达到设计强度的 80% 后, 预留宽缝封铰, 即可进行墙后土回填。通过宽缝内预留的降水管抽排, 闸内地下水位保持在▽ 1.43。

3.4 闸室使用期

T7: 闸室高水期: 闸墙后纵向排水管起止于上、下闸首的边墩两侧, 起、止点高程分别为▽ 10.13 ~▽ 9.33, 排水管的纵坡约 1:500。闸墙后排水系统完成, 水位上升至▽ 10.13。闸室高水位, 墙后水位 10.13, 闸室水位 14.83。

T8: 闸室检修期: 检修期, 墙后水位 10.33, 闸室无水。

4 计算结果分析

建立以上计算模型, 并对各计算步进行计算, 得出如下计算结果:

4.1 闸室底板弯矩

在闸墙浇筑 T5、完建期 T6、高水期 T7 底板弯矩增量相对较大。负弯矩出现在底板中部, 闸墙浇筑期 T5 负弯矩最大 $-1273.2\text{kN}\cdot\text{m}$; 完建期 T6、检修期 T8 正弯矩较大, 端部约 $4082.3\text{kN}\cdot\text{m}$ 。底板弯矩特征值见表 2。

表 2 底板弯矩特征值表 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

	位置	3- 底板施工	4- 拆撑	5- 闸墙施工	6- 完建期	7- 高水期	8- 检修期
增量	跨中	-525.54	433.40	-1181.01	2285.13	-717.96	31.68
	端部	0.06	630.50	555.49	2848.00	-2292.64	48.21
累计	跨中	-525.54	-92.15	-1273.15	1011.97	294.02	1043.65
	端部	0.06	630.56	1186.05	4034.05	1741.41	4082.26

4.2 墙体剪力与弯矩

第一步开挖 T1 时, 墙体向前位移、墙后受拉, 最大负弯矩 $-358.6\text{kN}\cdot\text{m}$, 第二步开挖 T2 时, 钢管支撑处剪力较大, 有突变, 支撑以下向前位移、墙前受拉, 最大正弯矩 $553.4\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

在换撑后各工况 T4-T8 中, 由于砖墙高度较大, 呈现宽支座效应, 在砖墙顶部、底部两端支承反力大, 分别在高程 6.13m、2.08m 处, 剪力较大存在突变, 弯矩出现尖峰型转折。

各工况累计值来看, 完建期砖墙顶部、底部剪力最大, 分别为 391.0kN 、 -357.0kN 。在底板中线高程 3.18m 处, 正负弯矩较大, 其中第一步开挖负弯矩 $-358.6\text{kN}\cdot\text{m}$ 、闸墙浇筑时 $232.8\text{kN}\cdot\text{m}$ 。砖墙顶部在换撑后负弯矩增大, 完建时最大为 $-461.9\text{kN}\cdot\text{m}$ 。墙体剪力、弯矩特征值分别见表 3、表 4。

表 3 地连墙剪力特征值表 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

	极值	1- 开挖 1	2- 开挖 2	3- 底板施工	4- 拆撑	5- 闸墙施工	6- 完建期	7- 高水期	8- 检修期
增量	最大	91.33	237.21	19.60	64.57	99.37	236.54	137.81	108.57
	最小	-112.39	-202.02	-21.35	-222.09	-96.49	-276.34	-143.42	-97.87
累计	最大	91.33	163.50	166.27	180.00	201.18	391.03	311.64	293.16
	最小	-112.39	-150.45	-155.08	-180.07	-214.79	-357.03	-231.47	-327.47

表 4 地连墙弯矩特征值表 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

	极值	1- 开挖 1	2- 开挖 2	3- 底板施工	4- 拆撑	5- 闸墙施工	6- 完建期	7- 高水期	8- 检修期
增量	最大	9.85	553.42	7.32	11.83	173.66	90.33	196.83	161.32
	最小	-358.55	-188.22	-19.08	-111.03	-52.68	-414.23	-37.57	-4.53
累计	最大	9.85	194.87	200.57	180.51	232.80	147.80	171.40	158.90
	最小	-358.55	-237.35	-243.27	-242.72	-266.56	-461.91	-349.10	-300.59

5 结论

闸室及地连墙在实际施工过程中, 受力状态、施工步骤较为繁杂, 基于增量法的闸室结构计算能反映不同施工步荷载、内力、位移的变化趋势。通过对不同施工步模型的计算分析, 得到了考虑施工过程中更科学的计算结果, 模型各单元均在发生作用的施工步被激活, 有效避免了荷载条件与实际受力结构不匹配的情况。对于其他工程的计算具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 张跃东, 陈雅娟. 淮河出海航道高良涧扩容船闸平面布置难点及对策 [J]. 中国水运 (下半月), 2014, 14(02): 302-303+306.

[2] 江苏省交通规划设计院股份有限公司. 淮河出海航道高良涧船闸扩容工程施工图设计 [R]. 2012.