

地连墙结构在大型干船坞设计中的应用

徐光华 郝道平

(江苏省水利勘测设计研究院 江苏 扬州 225009)

摘要 在设计、建造江苏省新世纪造船股份有限公司 30 万吨级干船坞中,根据工程位置及地质条件的特殊性,采用薄壁混凝土地连墙作为永久性干船坞墙体。实践表明,这种设计不仅解决了施工场地小和防渗、截渗问题,而且工程施工速度快,工程量小,造价也较钢板桩方案节省 30% 以上。

关键词 地连墙;干船坞;设计方法;施工技术

中图分类号:TV543+.8

文献标识码:B

文章编号:1006-764X(2001)08-0022-03

在沿江、沿海软淤泥质土或粉砂土地区,其地基承载力一般较低,地下水位较高,土壤渗透系数大。以往在这类地区建造水利水运工程,基础多采用桩基、沉井,利用冬季低潮位结合降、排水施工,基坑开挖常采用放缓边坡的大开挖、大回填的方法。相对来讲,施工期较长,投资大。20 世纪 70 年代初,我国水利系统引进了混凝土地下连续墙这项新技术,尤其近年来,逐步将它应用到水库堤坝截渗、闸站基础防渗、基坑围护和减少挖填土方工程量方面,但该项技术被运用到软淤泥土和粉砂土互层的高水位差、高挡土结构的永久性主体建筑的大型干船坞设计中,尚不多见。

1 工程概况

江苏省新世纪造船股份有限公司(原靖江造船厂)位于长江三角洲黄金水道,江阴长江大桥下游 10 km 处的斜桥镇新港港口,公司为适应生产发展需要,在场区现有 3 万吨级老船坞右侧,再增建 1 座 30 万吨级的大型干船坞。

增建的干船坞设计等级为 I 级,工程位于地震基本烈度 6 度区。设计的干船坞地面高程(废黄河零点,下同) 6.0 m,坞室内底板面高程 -5.5 m,高程 0.0 m 以下坞室墙为 45 cm 厚单锚地连墙结构,地连墙顶为 6 m 高的空箱墙体,东、西侧空箱顶分别安装 100 kN 高架吊机和梁跨式 6000 kN 巨型龙门吊机。这座跨世纪的大型干船坞,最大有效净尺寸为 360 m × 76 m × 8.5 m(长 × 宽 × 平均吃水深度),干船坞净深达 11.5 m。工程于 2000 年年 5 月开工,经过 15 个月施工,不仅坞室施工完成,节省投资 30% 以上,且在该

坞内已即时为国外客商建成两艘 5.1 万吨级散货轮。

2 坞室结构设计

2.1 结构选型

由于工程周边施工环境的有效面积狭小,地面向下 1 m 左右就有地下水位,地下水位受长江潮汐影响约在 1.5 ~ 5.0 m 间来回变化,地基高程 -13.0 m(局部为 -15.0 m)以上为青灰色软粘土和粉沙土,允许承载力仅有 65 ~ 120 kPa,土壤渗透系数在 1.2×10^{-3} cm/s 左右。

为降低施工时的地下水位,减少坞室、坞首基坑土方开挖及回填方量,减少工程的混凝土浇筑工程量,在布置坞室基坑周边深井抽降地下水的前提下,对坞室结构造型进行多方案比选,最终采用高程 0.0 m 以上为空箱墙体和下部为地连墙加桩基的组合结构,各种水、电、气管道均沿空箱墙内布置。箱体底板前趾下为 45 cm 厚薄壁钢筋混凝土地连墙,箱体底板下设透水软管排水和布置两排直径为 100 cm 钢筋混凝土灌注桩(纵向桩距为 3.0 m),以承担坞室空箱墙体自重和墙顶 6000 kN 巨型龙门吊机传下的垂直作用力。为提高降水、截渗效果,在距 45 cm 厚地连墙外 22.5 m 处另设 1 道 22.0 cm 厚截渗素混凝土连墙,截渗地连墙顶高程 -1.5 m 以上接锚拉杆的锚定墙,锚定墙顶高程为 5.0 m。坞室墙两侧的锚拉杆(除空箱墙底板外)分别长 16.75 ~ 15.65 m,锚拉杆中间设置预应力紧张器,锚拉杆采用直径 70 mm @ 1.5 m 一根圆钢,安装高程 0.5 m。锚定墙前 8.5 ~ 7.2 m 范围内回填三七灰土夯实,高程(-5.5) ~ (-7.6 m)处为钢筋混凝土坞室底板,底板垂直坞室

纵轴线方向分为3块,两侧每块宽28.5m,中间1块宽19.0m,共计宽达76.0m。底板底部布有导渗垫层,同时预埋具有纵横向排水减压的第三代透水软管,便于将水引入坞首集水井抽入长江。每块坞室底板下设1排主龙骨墩,龙骨墩根据船体重量要求,设有直径100cm钢筋混凝土灌注桩。底板下其它部位均布设直径60cm的深层水泥搅拌桩形成复合地基。桩距为1.0~1.4m不等。坞室结构型式见图1(回填土按图中A、B、C顺序进行)。坞首结构型式类同常规的船闸闸首。

2.2 结构计算

该干船坞坞室设计计算包括水力渗流计算,坞底承载力计算,坞首稳定计算,坞室空箱墙下桩基计算,坞室地连墙、锚定墙及锚拉杆等结构计算。在此主要介绍坞室地连墙及锚拉杆的结构计算方法。

2.2.1 计算作用力

因工程地处6度地震烈度区,地连墙设计计算不计其地震力的影响,在正常的造船期间,考虑坞室墙顶地面作用有20kN/m²活荷载,计入坞墙后有11.5m的土压力作用和6.5m的压力水头作用等。对于干船坞坞室结构,最不利的作用力计算组合为施工完建期,故设计计算以完建期作用力为计算控制对象。其它作用力工况,均通过严格的施工程序将其控制在设计计算值之内。

2.2.2 计算方法

a. 平面框架法。坞室墙下部的地连墙,在空箱墙底以上的只考虑上部墙后土压力及土重等作用,空箱墙底部土体用若干个弹性杆代替。空箱墙底下灌注桩全部置于土中,按竖向弹性地基梁计算,在桩侧土压力只计入桩顶以上(除龙门吊机作用力外)的作用力部分,桩顶以下的土体用若干个弹性杆代替。钢锚拉杆与空箱体、桩基、地连墙,形成了一个

联合结构图式,计算取东侧坞室墙,如图2所示。根据JTJ292-98《板桩码头设计与施工规范》的有关规定,坞室墙后土压力按主动土压力计算,水平向压力强度按下式计算:

$$e_{ax} = (q + \sum \gamma_i h_i) K_a \cos \delta - \frac{2c \cos \varphi \cdot \cos \delta}{1 + \sin(\varphi + \delta)} \quad (1)$$

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta} [1 + (\sin(\varphi + \delta) \frac{\sin \varphi}{\cos \delta})^2] \quad (2)$$

式中: e_{ax} 为主动土压力水平强度,kPa($e_{ax} < 0$ 时,取 $e_{ax} = 0$); γ_i 为计算面以上各土层的容重,kN/m³; h_i 为计算面以上各土层的厚度,m; K_a 为计算土层土的主动土压力系数; δ 为计算土层土与墙面间的摩擦角(°); c 为计算土层土的粘聚力,kPa; φ 为计算土层土的内摩擦角(°); q 为地面上的均布荷载,kPa。

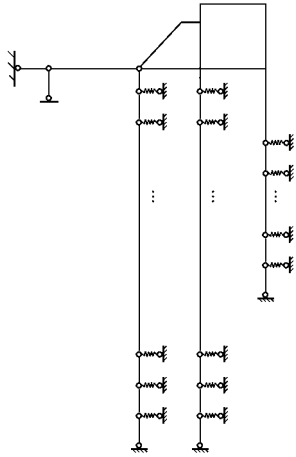


图2 结构计算图式

对于土压力的分配问题,按式(1)和式(2)计算出的总土压力并非全部作用在坞室地连墙上,而是与墙后的两排灌注桩共同承担。计算中近似按横向抗弯刚度进行分配,每根灌注桩承担40%,坞室地连墙承担20%。水压力计算,坞室墙后水位取1.0m,坞室内侧水位考虑在-5.5m。

b. 嵌固法。针对干船坞坞室墙的具体工程设计,计算假定将其墙体分为上下两部分,分别进行计算分析,求得锚拉杆拉力。上部刚度较大的空箱考虑在底板高程0.5m处锚拉杆作用,对高程1.0m以上计算墙后水平土压力及坞顶地面高程6.0m处

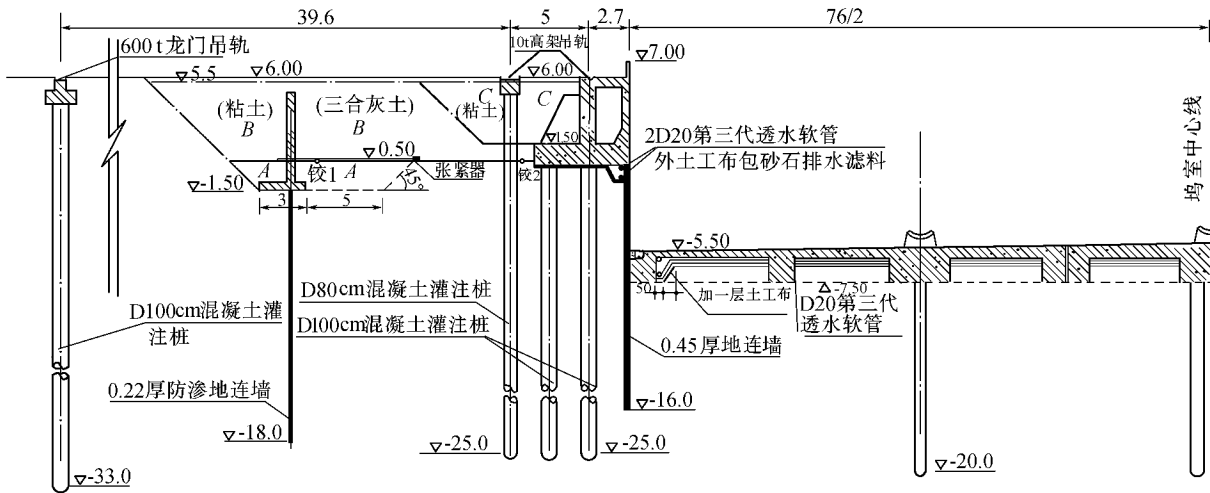


图1 闸室结构示意图(单位:m)

20 kN/m²作用力,墙后地下水位取 1.0 m,该段 1.5 m 宽土压力采用朗金公式计算.

$$E_a = 1/2 \gamma H^2 \tan^2(45^\circ - \varphi_d/2) \cdot 1.5 \quad (3)$$

式中: E_a 为 1.5 m 宽水平主动土压力合力, kN; γ 为墙后回填土的容重, kN/m³,取 18.6 kN/m³; H 为墙后回填土高度, m; φ_d 为等效内摩擦角(°),取 28°.

高程 1.0 m 以下地连墙按弹性线法计算.由于坞室地连墙厚为 45 cm 钢筋混凝土结构,地连墙直接挡水、挡土的高差达 6.5 m,地连墙结构计算时,为安全计,忽略空箱墙底下灌注桩抵抗水平力的作用,计算简图如图 3 所示.同时根据《水闸设计规范》和结合工程经验,将各层土的粘聚力 c 和内摩擦角 φ 各按 50%、90% 折减和不折减分别进行计算比较.地连墙的弯矩折减系数取 0.8,间距 1.5 m 一根的锚拉杆,其增大系数考虑到锚定墙为连续墙体,且锚拉杆安装后预先要张拉 20 kN,接着杆周浇有 10 m×0.5 m×0.3 m 混凝土握裹阻滑块,故增大系数取用 1.0.

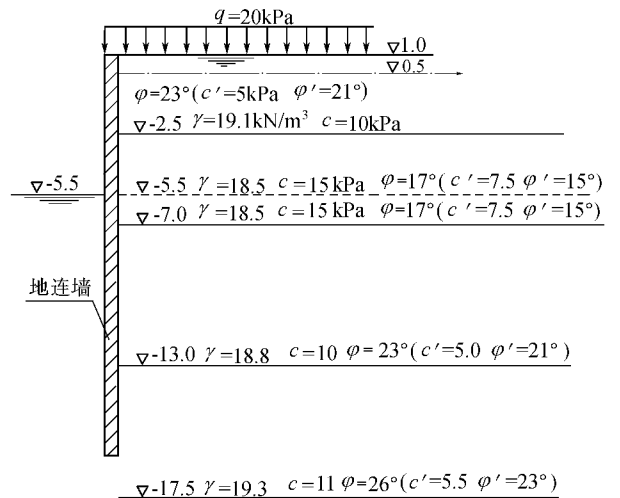


图 3 结构计算简图

2.2.3 计算结果

坞室墙采用上述两种计算方法进行计算,结果见表 1.

由表 1 可见,当 c, φ 值均不折减,采用平面框架法与嵌固法所算出的地连墙弯矩值较为接近; c, φ 值折减后,两者计算的弯矩值相差较多,而不论何种情况,拉杆的拉力值均相差较多,这与灌注桩承担不承担水平抗拉力的假定有关.由于该工程为大型干船坞,设计人员又是首次采用钢筋混凝土地连墙作为永久性结构使用,故从偏安全考虑,坞室地连墙配筋及墙后锚拉杆截面按嵌固法计算设计.

2.3 施工技术要求

依据分析计算,设计人员对干船坞坞室的施工提出了严格的施工顺序及技术要求.

表 1 坞室地连墙及锚拉杆计算结果(弹性状态)

计算方法	每根灌注桩 桩顶弯矩 (kN·m)		每米长坞室 地连墙弯矩 (kN·m)		坞墙 水平 位移 /mm	每根锚拉杆 拉力/kN
	后排	前排	墙顶	墙身		
平面框架法	974	998	278		10.4	130
嵌固法				221*		上 180* 下 170*
				407		上 180 下 279

注:带*者为各土层的 c, φ 值不折减情况.

3 结 语

大型干船坞的设计与施工实践表明,大胆而又科学地将钢筋混凝土地连墙技术运用到永久性主体工程是可行的.墙前土方挖去后,墙体平整,接头良好.它不仅解决了施工场地小和防渗、截渗问题,且施工速度快,工程量小,造价也较钢板桩方案省 30% 以上.

值得一提的是,在干船坞的施工抢工中,一度也出现过 6 号、7 号坞室墙产生过大水平位移,最大位移量达 13.75 cm,当采取加大墙后降水、挖土卸载措施后得以控制,其它墙体位移量基本控制在计算值以内.但根据监测成果分析,有以下两点值得注意:

a. 在高地下水位的软弱地基中,采用射水法或抓掘法成槽,进行混凝土薄壁地连墙施工时,搞好降、排水是根本.只有按结构设计要求提前将地下水位降到地连墙施工基面 1 m 以下,同时结合搞好成槽护壁泥浆浓度,才能保证槽壁不坍塌,保持墙体浇筑平整、接缝良好和不冒潮.

b. 把地连墙水平位移控制在设计允许范围内,严格施工程序,狠抓地连墙、锚定墙附近降水水位与回填土质量是关键.在地连墙施工结束后,墙后排水管路未贯通前,如何二次开挖坞室土方到设计高程,顺利进行坞室底板等部位混凝土施工,一方面要严格施工程序,不得轻易更改;另一方面,不能随便停抽降水工作,应千方百计将地下水位降至设计施工要求高程以下.否则,在整个建筑物底部的排水系统未完全形成前,地连墙后地下水位抬高,将加大墙体水平推力,不利于墙体水平位移控制.再则,土方的回填应严格按回填土的技术要求与范围分层夯实,尤其是锚定墙两侧机械无法靠近的薄弱部位,必须采取人工夯实,确保三合土回填质量.

总之,钢筋混凝土地连墙被用于永久性主体建筑物前景广阔,但仍需针对地质条件、地下水位变化和结构体系的综合情况,结合工程设计进行相关的应用研究与检测,以检验计算方法的适用性和计算成果的合理性,不断扩大地连墙应用范围.

(收稿日期 2001-02-19 编辑:马敏峰)