

中远船务启东海工基地坞口围堰工程的设计与施工

阮龙飞,王永庆

(长江勘测规划设计研究院上海分院,上海 200439)

摘要 通过对格型钢板桩、双排钢板桩和聚丙烯编织布充砂管袋斜坡式 3 种围堰结构形式的比选,认为中远船务启东海工基地坞口围堰应采用聚丙烯编织布充砂管袋斜坡式围堰结构形式。该结构形式的最大优点是对软土地基产生的变形和沉降适应性强,就地取材,施工设备简单,拆除方便,工期短,投资省。设计采用通长加筋充砂管袋,水下筑堤与加筋相结合,确保围堰结构断面在软土地基上的整体稳定。

关键词 坞口围堰;聚丙烯编织布充砂管袋;子母式管袋;加筋土工机织布;混凝土联锁块;垂直防渗;高压喷射灌浆;安全监测

中图分类号:TV551.3+2 文献标识码:B 文章编号:1006-7647(2009)06-0090-05

Design and construction of dock-gate cofferdam of Cosco Qidong marine base//RUAN long-fei, WANG Yong-qing (Changjiang Institute of Survey, Planing, Design & Research, Shanghai 200439, China)

Abstract :Through comparison of the structure of the lattice steel pile, the double row of sheet-pile, and the polypropylene woven bag filled with sand, the appropriate type of polypropylene woven bag filled with sand was adopted for the dock-gate cofferdam of the Cosco Qidong marine base. The most important advantages of this structure are its adaptability to deformation and settlement on the soft ground, its use of local materials and simple construction equipment, its convenience for installation and disassembly, its short construction time, and its low cost. The design adopts longer reinforced-filling sand bags combined with a stiffened underwater embankment, which ensures the overall stability of the cofferdam structure section.

Key words :dock-gate cofferdam; polypropylene woven bag filled with sand; primary-secondary tube bag; reinforced geotextile; concrete interlocking block; vertical anti-seepage; high pressure jet grouting; safety monitoring

1 工程概况

中远船务启东海工基地坞口围堰工程位于启东市的东南部,是长江口北支入海口与黄海交汇处,在连兴港河口上游侧约 500 m 处。海工基地需建 1 座干船坞,船坞的主要尺寸为 150 m × 120 m × 14.3 m (长 × 宽 × 深),船坞施工时需开挖至高程 - 12.05 m (1985 国家高程基准,下同),并且坞口前沿线位于长江堤防位置,因此需建 1 座施工临时围堰,围堰平面布置考虑坞口开挖,留有一定的施工场地及坞口前沿水深条件,围堰轴线距离坞口前沿线为 70 m,工程平面布置见图 1。

2 工程水文及地形、地质条件

2.1 水文条件

2.1.1 潮位

长江口北支入海口与黄海交汇处位于长江口潮

流界内,潮型属非正规半日浅海潮,据北支三条港历年潮位实测资料统计,潮位特征值如下:历史最高潮位为 4.58 m;历史最低潮位为 - 2.37 m;平均最高潮位为 3.59 m;平均最低潮位为 - 1.79 m;平均高潮位为 1.88 m;平均低潮位为 - 1.14 m;平均潮差为 3.07 m。

2.1.2 波浪

该水域靠近吕四海域,据国家海洋局吕四海洋环境监测站统计,无浪天占全年的 43% 左右,常浪向在西北与东南之间,强浪向在西北至东北之间,各方向的年平均波浪高为 0.48 m (不包括无浪天)。

2.1.3 潮流

工程段潮流运动呈往复流性质,涨潮历时短于落潮历时,大中潮期涨潮平均流速大于落潮平均流速,小潮期落潮流速大于涨潮流速。流速在 1.19 ~ 0.11 m/s 之间。

c. 设计风速。该工程地处长江口北支河段,围堰外沿直接面对东南向,长江口地区潮汛强台风出现较多为东南向,对围堰的浪击影响较大,为设计主风向。利用启东气象站的历史资料,依照 Pearson-III 型适线方法推算工程区域 50 年一遇重现期风速为 16.3 m/s。

d. 最小抗力分项系数。根据 JTJ 250—98《港口工程地基规范》^[3],最小抗力分项系数:短暂状况为 1.1~1.3,持久状况为 1.3~1.5。

3.2.2 断面设计

a. 堰顶高程及宽度。按设计潮位和风浪要求及考虑安全超高,通过计算得出围堰顶高程为 6.80 m,为节省投资,在堤顶采用防浪墙结构,防浪墙顶高程为 6.80 m,围堰顶高程为 5.80 m,防浪墙高 1.0 m。为了便于拆除,防浪墙采用浆砌块石结构。考虑到围堰顶的交通要求,堰顶宽度取 5.0 m。

b. 断面结构。围堰断面结构形式采用聚丙烯编织布充砂管袋斜坡式堤坝形式。围堰两侧边坡:高程在 -4.00 m 以上两侧边坡均为 1:2.5;高程在 -4.00 m 以下外侧边坡为 1:4.0,内侧由于船坞施工要求,需开挖至高程 -12.05 m,高程 -4.00 m 以下设计开挖边坡为 1:3.0,并在 -4.00 m 及 -8.50 m 高程处设置 5 m 宽的平台,确保开挖边坡稳定及作为施工便道。由于围堰属于临时工程,考虑便于拆除及减少施工工期,外侧 1.00 m 以上采用干砌块石表面勾缝护坡,1.00 m 以下采用便于拆除的土工格栅碎石包护底。为确保水下堰身不被涨落潮水淘刷,在水下充砂管袋外边坡铺设 1 层混凝土联锁块余排,余排宽度为铺至堤坝坡脚线外 10 m 处;混凝土联锁块软体排排体布采用 230 g/m² 丙纶长丝机织布与 150 g/m² 涤纶短纤无纺布复合制作;混凝土联锁块采用 C30 混凝土,单片混凝土联锁块尺寸为 400 mm×400 mm×160 mm。内侧边坡结合内侧船坞开挖施工护砌,采用钢丝网喷锚混凝土,厚度为

100 mm。由于该工程堤轴线处滩面较低,水深较深,难以对充砂管袋的厚度进行控制;施工时因水流急促,难以对充砂管袋进行准确定位。对此,设计上采用‘子母式管袋及其施工工艺’的国家专利技术,对水下充砂管袋进行厚度控制及准确定位,确保围堰工程的施工质量。围堰底层先铺设 1 层 1 m 厚的渗透系数大的聚丙烯编织布统长充砂管袋,以利于围堰软土地基的排水固结;聚丙烯编织布统长充砂管袋袋布采用 230 g/m² 编织布制作;为防止坝身断面出现圆弧滑动,保证坝体稳定,第 2 层以上至 0.00 m 高程,考虑机织布加筋堤身,均采用统长的加筋土工机织布充砂管袋,统长的加筋土工机织布充砂管袋袋布采用 230 g/m² 机织布制作;高程 0.00 m 以上设置外棱体,棱体外边坡为 1:2.5,内边坡为临时边坡,坡度采用 1:1。内侧采用充砂管袋子堰进行加高,充砂管袋子堰袋布采用 160 g/m² 编织布制作;子堰与外侧棱体之间采用吹填粉土或粉砂土筑堤芯至设计堤顶高程。为了有效阻断江水通过围堰堰身和堰基向坞口基坑内渗透,减少围堰渗水量,确保船坞基坑开挖到设计标高时基坑内不产生流土和管涌等现象,在围堰轴线外侧 1.50 m 处布设高压喷射防渗墙,采用单排两序孔,摆喷型的连接形式,孔距为 1.5 m,防渗墙墙顶标高为 5.0 m,底高程 -16.00~-18.00 m,厚度为 0.30 m。为了降低围堰浸润线在堰身内的高程,分别在围堰内坡高程 0.00 m 和 -4.00 m 设深井并点,底高程至 -26.00 m,间距 15 m。围堰断面见图 2。

c. 围堰渗流计算。围堰建成后,围堰内侧无水,外侧为长江,由于长江口为潮汐河口,围堰堰身内的浸润线随潮位变化而变化。渗流计算水位组合分成短暂工况和长期工况。短暂工况:长江侧水位 4.07 m,围堰内侧 -12.05 m(无水);长期工况:长江侧平均高潮位水位 1.88 m,围堰内侧 -12.05 m(无水)。该工程渗流分析计算按 2 种情况进行,一种为未设防渗措施的围堰堰体及地基渗流,另一种为设

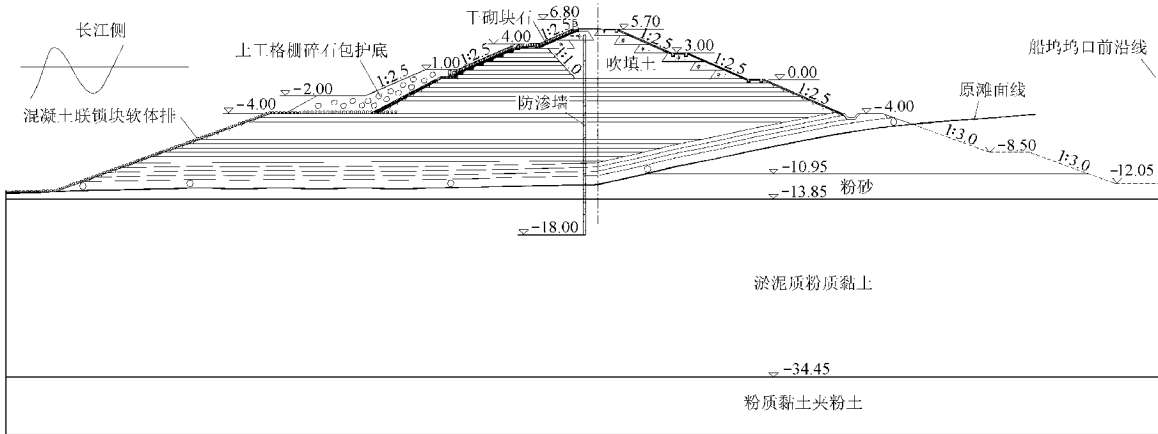


图 2 围堰断面结构(高程单位:m,尺寸单位:mm)

有防渗墙的围堰堰体及地基渗流。在前述长期工况和短暂工况下,无防渗措施和设防渗措施进行渗流的有限元分析计算见表 2。

表 2 渗流计算成果

序号	计算工况	渗流量*/ ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	坡面 出逸坡降	基础面 出逸坡降
1 短暂工况	未设防渗墙	0.247 17	0.74	0.62
	设有防渗墙 至 -18.0m	0.171 37	0.38	0.32
2 长期工况	未设防渗墙	0.191 00	0.51	0.34
	设有防渗墙 至 -18.0m	0.133 40	0.27	0.19

注: *表示单米渗流量。

从表 2 可知,围堰未设防渗墙,无论是短暂工况还是长期工况,计算断面沿下游基坑坡面渗流出逸坡降和基础面出逸坡降均大于粉砂允许出渗比降 0.30 的要求。设有防渗墙后,长期工况时,计算断面沿下游基坑坡面渗流出逸坡降和基础面出逸坡降均小于粉砂允许出渗比降 0.30 的要求;短暂工况时,计算断面沿下游基坑坡面渗流出逸坡降和基础面出逸坡降均大于粉砂允许出渗比降 0.30 的要求。因此,该工程围堰断面中设防渗措施。对于在短暂工况条件下,计算断面沿下游基坑坡面渗流出逸坡降和基础面出逸坡降稍大于粉砂允许出渗比降 0.30 的要求,坞口开挖时,在围堰防渗墙后设管井井点和采取井点降水措施,降低围堰堰身浸润线高度。

d. 围堰稳定计算。围堰作为临时建筑物,是为船坞干施工临时挡水的建筑物,围堰施工结束后,围堰内侧由于船坞施工需要,需从高程 0.00 m 开挖至高程 -12.05 m,所以进行围堰稳定计算时,分别计算了围堰施工结束、内坡开挖至 -8.50 m 及

-12.05 m 高程时围堰的整体稳定。由计算得出,围堰内侧坞口基坑开挖至 -8.50 m 高程时,围堰内坡的抗力分项系数小于允许最小抗力分项系数的要求,因此,在 -8.50 m 平台内侧,从 -8.50 m 高程至 -16.00 m 高程采用宽 2.95 m 的水泥质量分数为 18% 的深层水泥搅拌桩进行坞口基坑维护加固处理,围堰内侧坞口基坑开挖至 -12.05 m 高程时,围堰内坡的抗力分项系数小于允许最小抗力分项系数的要求,因此,在 -12.05 m 高程平台处进行坞口基坑维护深层加固处理,从 -12.05 ~ -26.00 m 高程采用 10.65 m 宽的水泥掺量为 18% 的深层水泥搅拌桩进行加固;为防止深层滑动,从 -8.50 ~ -36.00 m 高程采用宽 3.20 m 的高压旋喷桩对土体进行加固。坞口基坑维护加固断面见图 3。

经过以上坞口基坑维护加固处理后,围堰整体稳定最小抗力分项系数均满足规范要求,同时考虑到地基中存在软弱土层,有可能形成复合滑动面,因此对可能存在的复合滑动面也进行了计算,其最小抗力分项系数均满足规范要求。

e. 围堰堰基沉降计算。按照 GB 50286—98《堤防工程设计规范》^[4]推荐的分层总和法采用地基各土层的 $e \sim p$ 关系曲线计算最终沉降量;同时按照 JTJ 017—96《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》^[5]推荐的方法计算任意时刻地基的沉降,由此可以计算各分级加荷下的沉降量以及竣工后任意时刻(基准期)的残余沉降量。经计算得出堰基最终沉降量为 1.63 m,围堰堤顶竣工验收高程考虑预留超高。

4 工程施工

为解决充砂管袋在遇到深水、急流的情况下无

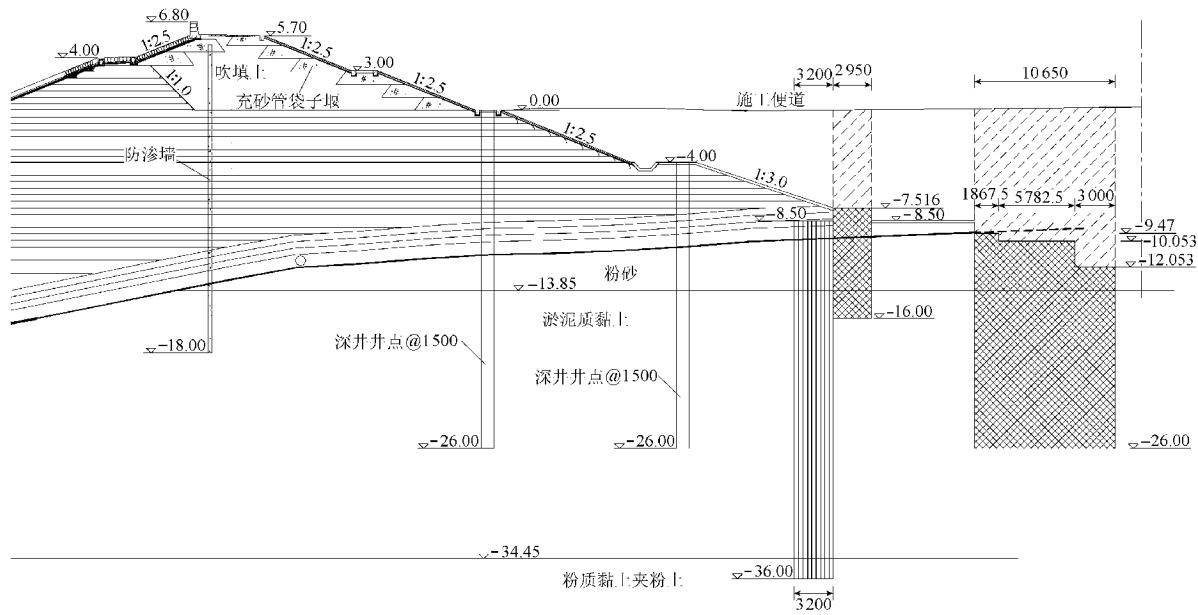


图 3 坞口基坑维护加固断面(高程单位:m,尺寸单位:mm)

法充填下沉、定位的问题,设计上采用“子母式管袋及其施工工艺”的发明专利技术,对水下充砂管袋进行厚度控制及准确定位,确保围堰工程的施工质量。“子母式管袋”施工方法:在平潮时用4条定位船将大型充砂管袋展布水面上,先充灌子袋使整个充砂管袋下沉到预定的位置,接着充灌母袋,直至充灌完成。按同样方法充灌第2层充砂管袋,到高程-4.00 m后,在围堰外坡水下铺设砂肋软体排及混凝土联锁块余排,铺设完成后再进行统长充砂管袋至0.00 m高程,统长充砂管袋完成后进行外侧棱体及充砂管袋子堰的施工,外侧棱体及内侧子堰构筑好后,即可进行中间吹填粉砂土的施工,土方吹填至设计高程后,即进行外坡土工格栅碎石包护底及干砌块石表面勾缝护坡的施工,最后再对内坡进行钢丝网喷混凝土护砌。在围堰进行内外坡保护施工的同时,亦可进行中间高压喷射防渗墙的施工,以及内侧开挖线下的坞口基坑维护加固处理的施工。

5 围堰安全监测

5.1 监测项目

工程区基础主要由淤泥质粉质黏土、粉砂组成,根据其基础地质条件及围堰工程坞口开挖的施工特点,其可能产生的不利影响主要为基础过大沉降及围堰基础的侧向滑动变形等。因此,选定以下项目作为施工期的主要监测项目:①围堰基础和堰身沉降变形监测;②围堰基础软土侧向滑动变形监测;③背水侧各级马道坡脚的水平位移监测;④堰身浸润线及围堰基础孔隙水压力监测;⑤吹填区沉降变形监测;⑥工程区附近水下地形监测。

5.2 监测结果

围堰安全监测工程于2008年6月开始动工至2009年5月底围堰拆除为止,整个监测工程为期11个月。围堰施工及运行期间各部位的观测仪器运行正常,观测方法可靠,监测成果的精度满足设计要求,监测数据成果真实、可靠,及时有效地反映了围堰的整体情况。综合分析围堰各种物理量,各观测成果表明:①运行期围堰内部是正常的,物理量变化较稳定。围堰及防渗墙内部渗水压力较小,趋势平稳,无明显突变,防渗体后的水压力基本保持平稳变化,表明防渗墙防渗效果良好。②从围堰在施工期和运行期的沉降及水平位移观测成果分析来看,围堰施工期及运行期的垂直压缩模型量估算未超出规范要求的位移和沉降速率,沉降基本保持在50 cm左右。③围堰在汛期及大潮期间各高程监测仪器观

测成果分析显示,堤身及堤面变形、渗流压力、堰体内部滑动、沉降变化量基本保持正常发展,未见异常突变现象,围堰的工作状态正常。④围堤附近水下地形监测成果分析显示,水流形态正常,滩面未见冲刷区,基本处于稳定状态。

6 存在的问题

由于该围堰工程前期工作消耗时间较长,工程施工开工较迟,工期时间紧,又遇汛期施工。因此,在施工时,围堰充砂管袋加载速度过快,且0.00 m高程以下的统长充砂管袋均采用底层的“子母式管袋”进行施工,充填袋厚度比设计要求大,有些甚至达到1.5 m,致使袋体之间搭接较差,形成较多的三角形通道。监测结果显示,渗流量稍大于设计值,围堰沉降比设计值稍大。但在高压喷射防渗心墙的内侧水头值明显降低,渗流也有较明显的减小,因此防渗心墙的施工质量在围堰防渗中极其关键。

7 结 语

中远船务启东海工基地坞口围堰于2008年3月31日设计交底,4月初开始施工,至7月6日土方工程全部结束,高压喷射防渗心墙于8月23日开始施工,用时3个月,于11月20日完成;内侧基础加固处理于9月4日开始施工,至11月22日全部竣工。工程于11月22日开始深井降水后进行坞口开挖。2009年3月船坞开挖至-12.05 m时,围堰运行状况良好,防渗效果显著,安全监测数据正常。围堰于2009年5月开始拆除放水,至此,围堰工程圆满完成任

务。采用聚丙烯编织袋充填砂在水深达15 m的长江口边滩上建造船坞围堰的经验还较少。该设计方案的最大优点是对长江口地区软土地基产生的变形和沉降适应性强,且堤身材料可就地取得,施工简单,工期相对较短,拆除也很方便,投资省,为今后类似的工程树立了成功的典范,积累了成功的施工经验,取得了较好的经济效益。

参考文献:

- [1] JTJ 251—87, 干船坞水工结构设计规范[S].
- [2] SL 252—2000, 水利水电工程等级划分及洪水标准[S].
- [3] JTJ 250—98, 港口工程地基规范[S].
- [4] GB 50286—98, 堤防工程设计规范[S].
- [5] JTJ 017—96, 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].

(收稿日期 2009-08-22 编辑 方宇彤)