



汉班托塔海港利用泻湖建港技术创新实践

莫文贺, 夏林, 周勇

(中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 斯里兰卡汉班托塔海港因地制宜, 利用泻湖建港技术的创新实践, 优化平面设计, 为港口长远发展预留了空间。突破传统建港理念, 将外海水上施工, 通过围堰止水内挖, 转变为陆地施工。这种理念创新对于海港建设理念的突破、设计与施工一体化、改进施工集约条件, 整体改善成本、风险和效益之间的关系, 均有较高的参考价值。

关键词: 创新; 泻湖; 港口; 设计; 干施工

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0060-04

Innovation & practice of Hambantota port construction in lagoon

MO Wen-he, XIA Lin, ZHOU Yong

(China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: Hambantota port, Sri Lanka is constructed based on the creative idea of “building a new harbor at the site of lagoon in line with local site conditions” via optimizing the general layout to provide sufficient space for its further development. The dry construction condition is achieved through cutting off concrete wall on the cofferdam instead of conventional method, i.e off-shore construction. It is of great value as the reference for the design and construction methodology of cofferdam.

Key words: innovation; lagoon; port; design; dry construction

1 项目背景和建设规模

斯里兰卡汉班托塔海港一期EPC总承包项目, 总平面如图1所示, 包括2个10万吨级通用泊位及配套设施, 1个10万吨级油码头泊位和1个工作船码头, 2条长度分别为988 m和3112 m的防波堤, 设计底面高程-17.0 m的港池、直径600 m的船舶调头圆及长度1 000 m航道的炸礁疏浚。

2 平面布置方案改进和创新

2.1 原规划设计方案

根据工程所在国要求, 港口要在无掩护的区域内实施建设, 即从岸边向深海区延伸, 新建两道防波堤。原方案主要问题是: 1) 防波堤口门直接面向印度洋, 港内水域小, 码头离口门近, 外



图1 汉班托塔海港建设一期工程平面

海波浪可直接涌入, 需要建较长的防波堤; 2) 该港口的码头只能在防波堤围好的水域内建设, 严重制约未来的发展; 3) 码头结构与防波堤同时施

收稿日期: 2013-02-21

作者简介: 莫文贺(1967—), 男, 高级工程师, 主要从事港口工程施工与管理。

工, 必须使用大型船舶海上作业, 受印度洋季风影响, 每年施工期仅5个月; 4) 项目启动投资规模大; 5) 该国有一条法律, “不能改变原有海岸带状态”, 若港口占岸线太长, 凸出太大, 法律难以通过。

2.2 现设计方案的创新优化

根据该国国情, 经综合比选论证, 因地制宜, 利用内陆泻湖作为港池来建港, 具有其他方案无可比拟的巨大优势。选择原则如下: 1) 湖泊靠近建港规划海域(减少开挖量); 2) 海岸边距深海水域近(航道短可以少炸礁疏浚), 有条件统筹建设施工期排水渠和泄洪溢流区; 3) 有利于形成内挖式干施工港口建设的一揽子方案(汉班托塔海港建设总平面布置, 图2); 4) 发展空间大, 计划二期工程建设5个10万吨级泊位, 远期具有发展建设17个10万吨级泊位的空间。

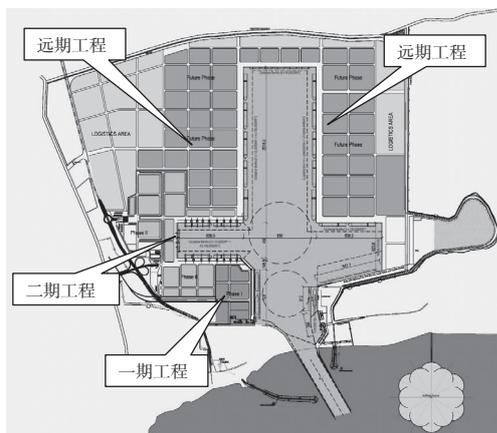


图2 汉班托塔海港建设总平面布置

该方案特点突出: 1) 码头和回旋水域布置在泻湖内, 掩护效果好, 陆域纵深大, 港口续建工程发展空间大; 2) 码头结构由原来的外海施工优化成为陆上干施工, 减少了使用船舶, 不受季风影响, 提高了施工效率; 3) 港池内干施工开挖出的石料用于防波堤及护岸的堤芯, 防波堤的长度大大缩短, 减少了大量船舶调遣和使用费用, 同原方案测算比较工程总投资减少了约30%, 缩短工期一年; 4) 内挖式港区, 未触动原岸壁, 仅是开了一条航道, 该国国会和大律师审核认为现设计方案符合该国保护海岸带状态的法律; 5) 利用泻湖建港不占用耕地, 不改变泄洪功能, 保护了

环境, 维护了自然生态平衡。

3 围堰设计

3.1 围堰总平面布置

要成功实施干施工方案必须解决2个关键问题: 一是确保临时围堰的安全稳定和防渗效果, 二是确保泻湖排水控制泻湖最高水位, 保障围堰安全。

围堰的布置原则: 1) 应满足施工机械及施工道路布置、基坑排水运行、防渗墙施工; 还应考虑基础地质, 减少围堰基础处理工程量; 2) 因围堰内开挖采用爆破施工, 为避免爆破对防渗墙体的破坏, 围堰前沿具有离开基坑开挖底100 m的缓冲区域; 3) 由于本工程南侧临海, 为了减少航道处海上开挖, 防渗墙尽量靠海布置, 并采取抛石护面防止波浪冲刷, 故南侧围堰设置于砂坝的外侧; 4) 在泻湖底面分布淤泥较厚的地段, 适当加大围堰与基坑的安全距离, 提高围堰的稳定性; 5) 在围堰转弯、折角或结构变化比较大的位置, 采取曲线、圆弧平缓过渡。

根据上述原则布置, 围堰总长为4 184 m, 所围闭的面积110万 m^2 , 占泻湖总面积的35%, 南侧面临印度洋最窄处宽度仅有70 m的砂坝与印度洋相隔, 其余均是用新回填成的土围堰。拟建码头、港池等水工建筑物位于泻湖内, 泻湖原地面高程为-1.0~0 m, 施工前与外海尚未连通。围堰布置见图3。



图3 围堰布置

围堰的高程设计, 须防止泻湖水或波浪越过围堰进入基坑影响基坑内的干地施工, 堰顶高程按设计水位+波浪爬高+安全超高, 临海面用海浪

的波浪爬高。围堰使用期间，考虑泻湖正常水位为1.0 m，设计高水位为2.0 m，根据计算堰顶高程最大值为3.72 m，围堰设计顶高程，靠泻湖侧围堰采用3.80 m，临海侧围堰采用5 m，面向陆地的围堰采用3.50 m。为满足防渗墙施工和稳定要求，围堰顶宽采用10 m。

3.2 结构设计

3.2.1 主要设计条件

地质分层从上至下为人工填土，冲积层，基岩为风化花岗片麻岩。地下水类型以孔隙水为主，其次为基岩风化裂隙水。孔隙水主要存于砂土层和黏性土层中，由泻湖湖水补给，水量丰富。基岩风化裂隙水主要分布在强风化岩带，由湖水及外海水补给。

3.2.2 围堰设计

因为围堰封闭后，围堰内需要进行干地的基坑开挖、爆破、码头结构和港池施工，根据施工工期的安排，围堰使用期为3 a，因此围堰按4级围堰进行设计。

围堰的形式应满足稳定、防渗和抗冲要求，结构形式简单，施工方便，能充分利用当地材料，经过综合比选，采用了土石围堰，该形式具有长期稳定性，能够充分利用开挖的砂性土和风化花岗片麻岩作为堰体材料，施工快捷，费用节省。根据工程区域地形和地质条件，围堰分为东围堰、东北围堰、南围堰、西围堰、北围堰5段，不同地段的围堰采用不同的设计断面。下面介绍地质条件差的东北围堰的结构设计。

东北围堰位于泻湖内，堰基淤泥较厚，最厚处约8 m，对堰基采用挖除淤泥换填开挖土处理，堰基淤泥开挖宽度为28~38 m，开挖坡度为1:4。围堰两侧坡度1:2.5、1:3，泻湖侧在高程1.7 m处设宽4 m平台，采用500 mm厚块石和200 mm厚的碎石护坡，防止湖水冲刷破坏，碎石下设土工布1层；基坑侧在高程1.2 m处设宽4 m平台，采用500 mm厚块石和200 mm厚的碎石护坡，碎石下设土工布1层。东北围堰断面见图4。

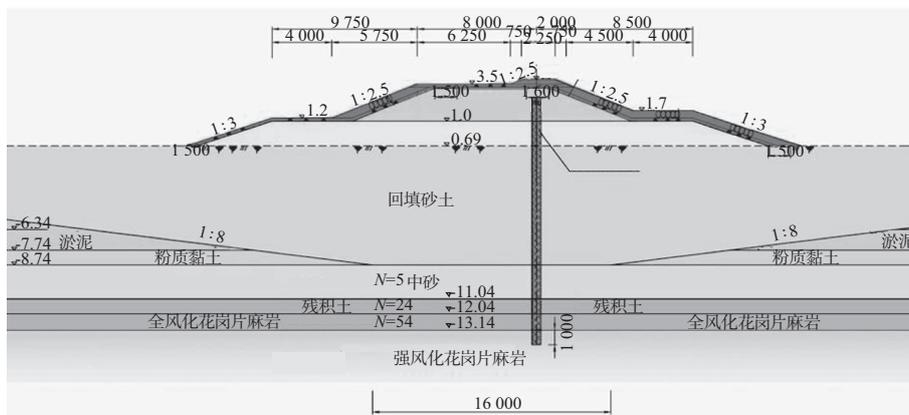


图4 东北围堰断面

4 防渗墙设计

4.1 防渗墙结构设计

采用垂直防渗方案，经对混凝土墙和高压旋喷桩墙进行比选后，认为混凝土防渗墙成槽质量可靠、工程质量稳定、止水效果好、施工速度快，防渗墙施工机械效率为旋喷桩机械的4~6倍，能缩短工期，降低设备和人力的投入，此外，施工遇到强风化岩部分可以采用冲锤、钻机形成槽段，满足防渗墙进入风化岩足够深度的要求，能提高止水效果，因此，采用混凝土防渗墙控制渗流量。

防渗墙的设计深度，以防渗墙的底部进入强风化岩1 m或中风化0.5 m为控制，防渗墙的设计深度大部分在10~20 m，最大深度23 m。

墙体厚度，防渗墙的厚度应满足墙体抗渗性、耐久性、满足墙体应力和变形的要求，同时还应考虑地质情况及施工设备等因素。防渗墙厚度设计时根据防渗墙破坏时的水力坡降确定墙体厚度(δ)，经验计算公式如式(1)和(2)。

$$\delta = \frac{\Delta H_{max}}{J} \quad (1)$$

$$J = \frac{J_{\max}}{K} \quad (2)$$

式中: δ 为墙体厚度(m); ΔH_{\max} 为墙体两侧最大水头差; J_{\max} 为防渗墙渗透破坏坡降,取300; K 为抗渗坡降安全系数,一般取3~5。

根据地质资料,本工程最大水头差为19 m,计算墙体厚度约32 cm。考虑施工质量和地基变形的适应性,本工程防渗墙厚度在地基条件好的地段采用40 cm,地质条件差的地段采用60 cm。

4.2 防渗墙材料的选用

防渗墙的材料大致分为3类:刚性、塑性和柔性材料。刚性混凝土弹性模量较大,塑性及抗裂性相对较差;塑性混凝土具有抗渗性能好,变形模量低,塑性应变值大,适应变形能力强等特点。

根据场地地质条件,本工程防渗墙墙体主要采用塑性和刚性混凝土两种。北围堰因流塑状淤泥较厚,且难以处理,采用刚性的C20钢筋混凝土防渗墙,增强结构的抵抗能力和稳定性。其它段采用塑性混凝土防渗墙适应地基和围堰变形,塑性混凝土主要控制性指标为抗压强度 ≥ 1.0 MPa,渗透系数 $\leq 3 \times 10^{-7}$ cm/s,弹性模量 $E \leq 800$ MPa。

5 南围堰注浆处理

南围堰由于基岩埋深浅,混凝土防渗墙施工深度浅,需要考虑防渗墙下帷幕注浆。帷幕灌浆孔为单排直孔布置,孔间距为1.5 m。采用防渗墙墙体上游侧布置灌浆孔形式,覆盖层部分采用套管跟进后下设PVC管进行护壁,墙下基岩微风化岩体以上部分帷幕灌浆的综合方案;灌浆采用基岩部分全孔段纯压式的灌浆工艺,浆液共采用3个比级水灰比的水泥浆液,止水效果比较理想。

6 监测措施

考虑本工程围堰的重要性,围堰施工期进行全面的监测,主要包括现场巡视、变形监测、地下水动态监测及应力应变等方面的内容,爆破施工时进行爆破振速监测。

7 施工期泻湖排水

施工期泻湖排水影响围堰安全,设置了基本

排水渠和应急溢流通道,根据统计资料近10年最大日降雨量为104 mm,洪水总量为575万 m^3 ,泻湖纳洪量460万 m^3 ,洪水高峰流量260万 m^3 ,泻湖水水位须控制在1.6 m以下,按泻湖库容外的排水要求,新建了平均流量12 m^3/s 的排水渠,排水渠入海口建在防波堤可掩护处,减少淤积。另外考虑了紧急排洪溢流区,能够有效控制泻湖水水位确保围堰安全。

8 围堰施工

8.1 基础处理

围堰底部淤泥超过2 m的进行清淤,使用箱型组合式简易绞吸船将泻湖内淤泥排除。东、西围堰堰底淤泥厚度在2 m以内,堰堤身直接推填土形成。

北围堰回填时疏浚设备未到现场没有清淤,淤泥厚度从西往东在2~4.5 m。堰体推填出水面后,堰顶出现多道纵向通缝,堰体两侧出现不同程度坍塌,局部出现大面积坍塌。

针对北围堰底淤泥抗剪强度低,固结系数小,固结时间长特点,在北围堰增加插打排水板处理,同时对在北围堰淤泥厚度较薄的西侧600 m基坑侧增设顶高程2.5 m,宽度12.5 m的石堤,泻湖侧增设顶高程2.5 m,宽度20 m的砂堤;北围堰淤泥厚度较厚的东侧400 m两侧均增设顶高程2.5 m,宽度12.5 m的石堤,石堤需夯,使堤底穿透淤泥层落于黏性土上。

8.2 基础表层砂置换

对于基础表层砂厚度比较大的南围堰部分地段进行局部置换,先开挖砂层至1.5~2 m高程,开挖出来的砂堆在海侧防浪,换填土分层碾压至5 m高程,围堰顶宽度10 m,利于防渗墙导向墙施工。

8.3 推填碾压形成围堰

堰堤身直接推填开山土形成,自卸车运输,推土机推填。每完成一层长度约100 m,即采用22 t振动压路机碾压5~7遍。全断面完成后采用反铲理坡,坡度为1:2.5。