

# 直立式防波堤基床薄层回淤清除施工关键技术

曲云霄

(中交一航局第三工程有限公司)

**摘 要：**为解决直立式防波堤基床薄层回淤问题，依托大连港大孤山西港区东护岸工程，对抓斗式挖泥船清淤、抽砂船清淤、空压机清淤、挖掘机上方驳清淤和高压水枪清淤 5 种工艺进行比选，选定挖掘机上方驳清淤为最佳方案。采用挖掘机上方驳清淤薄层，空压机清淤细部的联合施工工艺，从而达到了清淤效率高、质量可靠、成本投入低的最终效果，可为类似项目提供借鉴。

**关键词：**抛石基床；回淤；清淤；直立式防波堤

## 1 工程简介

### 1.1 工程概况

大连港大孤山西港区 15 号、16 号通用泊位工程东护岸工程为新建直立式护岸，护岸总长 1 263.15 m。护岸自 K0+00 处向西南向延伸与后续新建南护岸相衔接于 K1+263.15 处。护岸顶面标高与后方陆域规划标高一致，为+5.50~+10.00 m。

护岸采用直立式沉箱结构。护岸基础开挖至中风化板岩，基床采用 10~100 kg 块石。结构护底根据位置的不同分别采用大块石或 2 t 扭王字块防护，沉箱内填 10~100 kg 块石，沉箱后方回填棱体，结构上方现浇混凝土胸墙，胸墙顶高程为 +5.50~+10.00 m。

护岸的典型断面图见图 1。

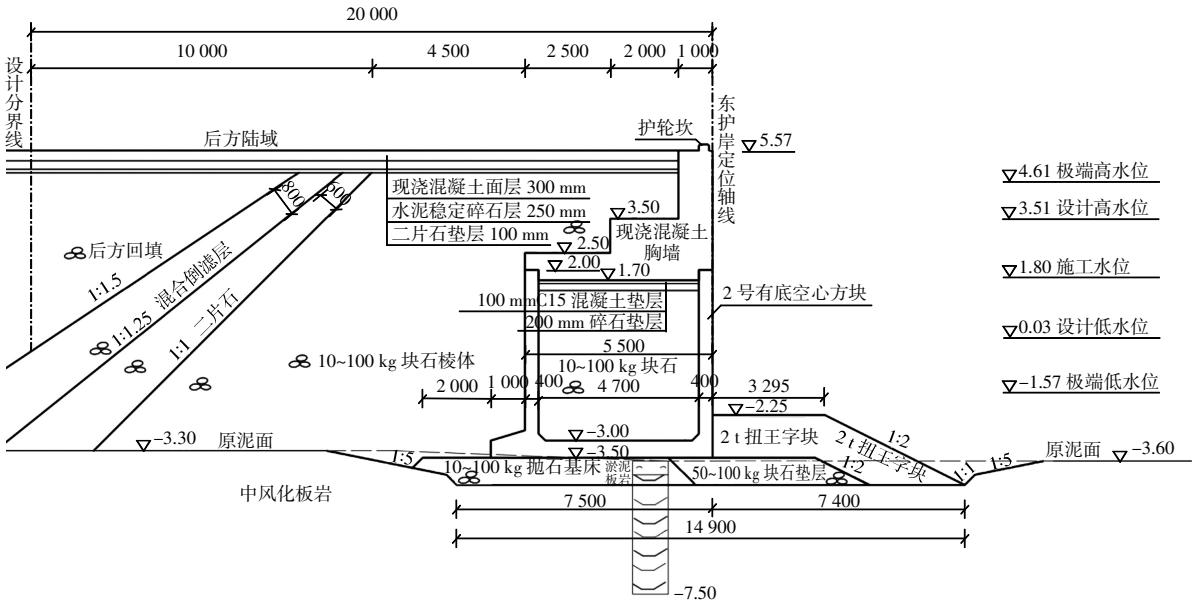


图 1 护岸典型断面示意图

### 1.2 工程地质

根据勘察结果，本工程在钻孔所达深度范围内岩土层自上而下分布为：

- ①-1 冲填土  
主要成分为淤泥及粉细砂，系近期受潮水冲

刷而成，主要分布于场地西侧，自西至东由厚到薄，通用泊位东侧逐渐有礁盘露出。灰黑色~深灰色，饱和，流塑~软塑，质地较均一。厚度 0.40~16.90 m，平均厚度 6.85 m；层底埋深 0.40~16.90 m；层底标高 -26.14~0.46 m，平均标高 -15.86 m。

容许承载力  $f=30$  kPa。

#### 2) ①-2 素填土

系近期填海造陆回填而成, 填龄约 9~10 a, 遍布场区内。其中船坞内表层约为 1.00 m 厚钢筋混凝土面, 其下为山皮土, 黄褐色, 稍湿~饱和, 稍密~中密。由碎石、黏性土组成, 碎石成分为强、中风化板岩、辉绿岩及石英砂岩, 粒径一般为 10.00~80.00 mm, 碎石含量约占 60%。厚度 1.10~4.00 m, 平均厚度 2.77 m; 层顶标高 -10.98~-6.47 m, 平均标高 -7.42 m。动探击数为 10~17 击, 平均为 13 击。

#### 3) ③-1 强风化板岩

黄褐~灰褐色, 结构构造大部分破坏, 岩芯呈土状、碎块状, 碎块手可掰碎, 岩质较软。层厚 0.50~5.40 m, 平均厚度 13.11 m; 层底埋深 0.50~22.80 m; 层底标高 -33.22~-3.50 m, 平均标高 -23.14 m。为软岩, 极破碎, 基本质量等级为 V 级。场区内均有分布。重型动力触探试验击数平均值  $N=12.66(7.5\sim23.9)$ , 容许承载力  $f=300$  kPa。

#### 4) ③-2 中风化板岩

黄褐~灰绿色, 泥质结构, 板状构造, 岩芯呈块状、柱状。最大揭露厚度 10.70 m, 场区内均有分布。容许承载力  $f=800$  kPa。

### 1.3 潮汐与潮流

本工程海域潮流性质属于不规则半日潮流区, 潮流因受海岸、岛屿和海底地形的制约, 落潮流的主流向走向大致与等深线或岸线的走向相一致。海流流速较小, 最大涨、落潮流速分别为 0.32 m/s、0.37 m/s, 涨落潮的主流向呈 NW—SE 向。余流较小, 最大余流流速为 0.06 m/s, 流向为 118°。

## 2 基床回淤原因分析

#### 1) 泥沙特点

施工区域属于典型的冲填土、淤泥质粉细砂海岸, 泥沙启动后落淤快, 易板结, 导致回淤问题的产生。同时附近海域施工作业船舶较多, 对原泥面粉细砂造成扰动, 使施工海域海水挟砂量大增。

#### 2) 潮汐影响

本工程基床顶面与后方陆域回填高差为 8.5 m, 本地区潮汐类型属于不规则的半日潮。从实测潮位过程曲线分析, 涨潮的流向以偏 N 为主, 落潮的流向多为偏 S。受海浪影响, 后方回填碎石料被海水冲刷在基床顶部形成淤积。

#### 3) 施工因素

施工过程中, 未能妥善处理后方陆域回填进度, 受海浪冲刷影响, 导致回填土、泥沙易落入水体中, 造成淤积。

#### 4) 天气因素

某些天气条件(如大风浪、潮流等)可能会引发海底泥沙的移动, 导致回淤问题的产生。本工程施工区域处于无掩护开敞水域, 受海上大风天气影响极其明显, 加剧了基床淤积的产生。

## 3 方案比选

### 3.1 抓斗式挖泥船清淤

抓斗式挖泥船清淤作业原理为: 利用抓斗在基床顶部抓取淤泥, 并通过抓斗提升和抛泥等步骤将淤泥逐斗清除。

#### 1) 优势

操作简便、挖掘效率高, 根据直立式防波堤基础薄层特点可选择 2 m<sup>3</sup> 斗容以下挖泥船进行施工。对于泥沙淤积厚度较大的区域抓斗式挖泥船清淤效率较高; 适应性强, 适合于各种泥质泥层以及障碍物较多的水体, 施工工艺相对简单; 相较于其他类型的挖泥设备, 抓斗式挖泥船对护岸和建筑物等产生的影响较小<sup>[1]</sup>。

#### 2) 缺点

因本工程多为基床薄层回淤, 抓斗式挖泥船清淤效率整体相对较低, 而且作业过程中需频繁移位; 精度较差, 清淤过程中无法准确控制抓斗施工精度, 且抓斗的斗齿极易对已完成的抛石基床造成二次破坏; 浅水区不应用, 抓斗式挖泥船一般吃水为 2 m 以上, 低潮时无法作业; 成本较高, 使用抓斗式挖泥船进行清淤相比其他清淤方式需要较高的成本; 清理效果相对有限, 可能无法完全清除一些黏性较强的泥沙。

### 3.2 抽砂船清淤

抽砂船清淤的作业原理为: 首先抽砂船驻位至指定的清淤区域, 测量定位完成后将抽砂船的绞刀头放入基床淤泥层, 开启绞刀并同时开启清淤泵, 将淤泥混合物通过抽砂管道排放于自身的砂驳中。

#### 1) 优势

抽砂船通过抽砂泵将水底的泥沙抽出, 可以更有效地清除水底的淤积物, 并且可以控制抽取的深度和范围, 达到更好的清理效果; 抽砂船的抽砂泵可以连续工作, 并且可以通过管道将泥沙

输送到指定的位置，因此可以更快地完成清淤工作，提高效率；抽砂船自身具备自航能力，施工作业比较灵活，而且与抓斗式挖泥船相比自身可装泥不需额外配备泥驳。

2) 缺点

绞刀功率过大，易对已抛基床边坡造成破坏，且该方法适合基床回淤具有一定厚度的区域，对薄层回淤清除效果不佳。抽砂船的设备成本相对较高，需要购买或租赁抽砂泵、管道、船舶等设备，增加了清淤的成本<sup>[2]</sup>。

3.3 空压机清淤

空压机清淤的作业原理为：利用空压机产生的高压气体将水体中的泥沙、垃圾等物质抽出，再通过输送管输送到岸上或者泥驳中处理。作业过程中需要潜水人员配合。

1) 优势

成本投入低，设备投入量较少；环保，空压机抽泥清淤不会产生噪音和污染，对水体环境影响较小；清理效果好，作业过程中有潜水员辅助施工，清淤范围和质量可以得到保证，且适合泥石混合物薄层清淤。

2) 缺点

抽泥过程中如泥浆堆积严重易阻塞；扬程受限，不适合深水区清淤；与挖泥船和抽砂船相比施工效率较低，不适合大范围作业，仅适合局部或超薄层清淤。

3.4 挖掘机上方驳清淤

挖掘机上方驳清淤作业原理为：挖掘机驻位在方驳上，采用挖掘机对基础回淤物进行清理。

1) 优势

挖掘效率高，具有强大的挖掘能力，可快速地将基床顶部淤泥和杂物挖掘出来；适应性强，可适应不同类型的水域和地形条件，对于一些复杂的水域也可以进行清淤作业，且驳船相比挖泥

船吃水浅，更适合浅水区作业；较为常见，购买和维护成本相对较低；更灵活，易操作，相比挖泥船清淤精度更高。

2) 缺点

受挖掘机臂长限制，不适用深水区；挖掘机上方驳清淤作业需要具备技术支持和经验积累，操作人员需要了解海上使用挖掘机的性能特点、使用方法和注意事项。

3.5 高压水枪清淤

高压水枪清淤作业原理为：利用高压水枪喷射高压水流，冲刷基床上的淤泥和杂物，使其漂出或向四周流动，再利用吸泥装置吸出泥水混合杂质。

1) 优势

成本投入低，设备投入量较少；由于高压水枪的喷射水流可以将淤泥冲散，再利用吸泥装置将冲散的淤泥吸出，清淤效果较好。

2) 缺点

与挖泥船和抽砂船相比施工效率较低，不适合大范围作业，仅适合局部或超薄层清淤；对于薄层淤泥，高压水枪的强大水流可能对已抛基床边坡造成破坏，影响基床整体稳定性；高压水枪清淤产生大量浑浊水体，环保效果较差。

3.6 方案确定

综合比选各方案，并结合本工程水深浅、回淤薄的特点，最终施工方案确定为先采用挖掘机上方驳清淤薄层、再采用空压机清淤的联合施工工艺。挖掘机上方驳清淤施工效率高、作业灵活、精度高，可清除回淤物上覆盖层，保证施工效率；空压机清淤效果好，可清除泥石混合层的淤泥，保证清淤质量。

4 施工工艺

4.1 施工工艺流程

清淤施工工艺流程见图 2。

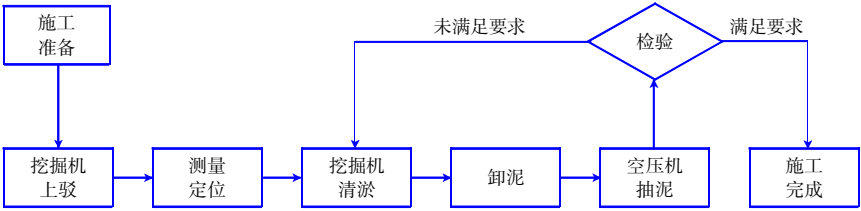


图 2 清淤施工工艺流程

## 4.2 主要施工工艺

### 1) 施工准备

首先,进行现场勘察,调查施工范围内的地理环境、水文与地质情况,并对护岸基床回淤区断面进行水深测量和记录。然后,进行机械准备,根据工程开工前的机械使用计划,确保机械提前进场,进行调试和保养。最后,进行技术及安全交底,及时收取天气预报,对灾害天气进行预防。

### 2) 挖掘机上驳

施工准备完成后,根据挖掘机上驳方案在指定码头上驳,并调试设备,保证挖掘机稳定性。

### 3) 测量定位

船舶采用 GPS 定位到达清淤指定区域,采用水砣进行深度测量。挖掘机清淤过程中勤测量,将测量结果反馈给挖掘机操作人员进行相应调整。

### 4) 挖掘机清淤

根据测量人员和指挥人员指令进行挖掘机清淤,挖除的淤泥抛至泥驳中暂时储存。清淤过程中应严格控制深度,避免对基床抛石层产生破坏扰动。

### 5) 卸泥

泥驳满载后,自航至指定弃泥点进行弃泥。

### 6) 空压机抽泥

空压机抽泥需潜水员下水配合作业,将抽泥泵口对准清淤处,船上开启抽泥泵,潜水员移动抽泥管端头进行水下抽泥。抽泥管留有一定富余长度,在基床上横向覆盖范围不小于 8 m,每个断面分 2 次完成清理。

### 7) 质量检验

清淤每完成一个作业单元后,立刻对基床标高和回淤物厚度进行复测,并安排潜水人员进行水下探摸。潜水人员用取样器取样(取样方式、密度按规范执行)。如遇槽底回淤沉积物密度  $\gamma \geq 12.6 \text{ kN/m}^3$ 、厚度超过 30 cm 的堆积物时应进行补挖<sup>[3]</sup>。清除后再复测,直至检验全部合格。

## 5 质量控制措施

1) 施工前准备:码头基础清淤施工前进行技术培训和交底,确保施工人员了解施工方案和操作规程。同时,检查并确认施工设备和材料符合要求,避免因设备和材料问题影响施工质量。

2) 施工过程控制:在施工过程中,需要采取一系列措施控制施工质量。首先,要建立完善的质量管理体系,明确各级管理人员和操作人员的

质量责任和义务。其次,要加强现场监督和管理,对每个施工环节进行严格的检查和验收,确保每个环节的施工质量都符合要求。

3) 淤泥清理控制:码头基础清淤的核心步骤是淤泥的清理和控制。在清理淤泥时,需要选取合适的清淤工具,并根据淤泥的特性和环境因素进行适当的清淤工作。同时,建立完善的淤泥清理记录,对淤泥清理的过程和结果进行详细的记录和控制。

4) 环境监测和控制:在进行码头基础清淤施工时,需要对环境进行监测和控制。包括对水文、气象、地质等环境因素的监测和记录,以及对施工现场的环境卫生、安全等方面的管理和控制。通过环境监测和控制,可以确保施工的顺利进行,同时减少对环境和生态的影响。

5) 验收和总结:在码头基础清淤施工完成后,需要进行验收和总结工作。包括对施工过程和成果进行评估和审核,以及对施工经验和问题进行总结和反思。通过验收和总结,可以发现和改进存在的问题和不足,提高码头基础清淤施工的质量和管理水平。

## 6 安全保证措施

在施工过程中,若发现安全隐患,及时报告至应急管理小组,启动应急预案。为确保施工安全,需严格执行以下措施:挖掘机上方驳前应制定安全专项施工方案,经过审核批复后方可施工;水上作业时,需注意水流速度和挖掘深度,避免在超过自身能力的水域作业;在驳船上作业时,务必穿戴安全带和救生衣,以防意外坠落;保持挖掘机的平衡性和稳定性也至关重要,以避免倾覆等意外事故;潜水员在下潜前需进行潜水装备的水密检查和通讯设备性能检查,合格后才能下潜;下潜过程中如遇身体不适,应立即停止下潜,待症状消失后再继续;潜水员到达作业点后应及时通知水上指挥人员;水下作业时,水面船只应保持静止状态;选择适合的抽泥设备(如泥浆泵、真空泵等)时,注意工作压力和流量是否符合要求,并定期维护保养;必须遵守操作规程,严格按照规定步骤和程序操作,避免因误操作引发事故;为应对突发状况,应制定应急处理措施。如遇突然停电、停水、设备故障等情况,应立即停止作业,并采取相应的应急措施;建立健全的安全管理制度,明确各级管理人员和操作人员的安

全职责和义务，加强安全检查和监督，及时发现和处理安全隐患。

7 实施效果

1) 施工成本低

施工过程中主要施工机械只需空压机、方驳、泥驳和挖掘机，另外只需要配备1组潜水人员进行水下作业，无论是人力投入还是设备租赁，成本投入与其他方案相比均比较低。

2) 施工效率高

采用2种工艺联合作业，可流水方式向前推进，且充分发挥了挖掘机精度高、效率高的特点，无漏挖和返工现象，施工效率极高。

3) 施工效果好

施工过程中，挖掘机上方驳清淤薄层可迅速移除较大面积的淤泥层，空压机则能对挖掘机无法触及的细小区域进行深度清淤。两者结合，可实现较好的清淤施工效果，确保了基床清淤质量。

8 结语

在直立式防波堤基床薄层回淤清除施工过程中，紧密结合现场实际特点，比选了5种不同的基床清淤工艺。根据实际情况进行选择和优化。针对工程水深浅、回淤层薄的特点最终选择了“挖掘机上驳+空压机抽泥”联合工艺，在特定环境下充分发挥工艺优势，该方案施工速度快，1500 m<sup>3</sup>回淤基床仅用7 d就全部清淤完成。既不会对已形成的抛石基床产生扰动破坏，也不会出现漏清的现象，保证了护岸基床的质量，可为类似工程提供参考和借鉴。

参考文献：

[1] 董帅帅. 浅析重力式码头深基槽回淤监测措施及清淤方法[J]. 中国水运, 2023(9): 34-36.

[2] 江帅, 蒋基安, 林风, 等. 大浦口码头清淤试验研究[J]. 水运工程, 2012(12): 101-106.

[3] JTS 257—2008, 水运工程质量检验标准[S].