

# 基床升浆止水技术在临时围堰工程中的应用

李鑫垚, 曲云霄, 于天宇

(中交一航局第三工程有限公司)

**摘要:** 基床升浆施工技术一般应用于大型船坞止水工程。主要应用于坞墙止水、堵口围堰止水等部位。文章结合大型干船坞临时围堰水下预填骨料升浆止水施工案例, 对升浆混凝土临时止水的技术特点、关键工艺、施工要点及质量控制方法等进行了介绍和分析, 对升浆施工过程中可能出现的技术问题给出了指导性建议, 可在同类工程中推广应用。

**关键词:** 止水围堰; 升浆基床; 水下升浆混凝土

## 1 工程概况

大洋厂区1号船坞改造项目临时围堰止水工程, 现有船坞长250.0 m, 宽41.0 m。为满足特殊船型使用要求, 坞室内中间31.0 m宽度范围向下挖深改造, 形成倒“凸”形坞室, 北侧坞墩向船坞内侧扩建2.0 m, 南侧扩建5.0 m, 坞口内宽为34.0 m。改造后坞门槛标高-9.50 m, 比原有标高加深3.0 m。原卧倒式坞门改设为浮箱式坞门。坞口止水围堰结构形式为钢筋混凝土重力式沉箱结构, 总长146.2 m。沉箱基础为水下预填骨料升浆石基床, 基槽均需开挖到强风化岩面, 基床厚度为2.0~7.0 m不等。沉箱底高程为-8.5 m, 顶高程为+4.5 m, 沉箱尺度为20.2 m×13.5 m×11.0 m, 空腔内回填水下混凝土。沉箱基础块石粒径采用80~200 mm的碎石基床, 孔隙率在40%~45%, 基床采用升浆法充填水泥砂浆。保证沉箱围堰的止水效果, 最终保证船坞主体改造工程形成干地施工条件。

## 2 工艺原理

水下预填骨料升浆混凝土是在围堰的基槽挖泥施工完成后, 在基槽内抛填一定粒径级配的碎石骨料, 形成具有一定孔隙率的碎石基床。待沉箱安装完成后, 打设升浆管, 采用砂浆泵将符合施工性能的砂浆在压力作用下输送到基床骨料的空隙中去进行填充。砂浆在水下骨料中由压力高处向压力低处移动, 移动在上面和前面的浆液由于与水接触, 浆液浓度降低, 密度减小。浆液在整个移动过程中, 密度小的浆液始终在整体移动浆液的上面和前面, 而密度较大的浆液在下面。随着砂浆的不断输入, 浆液在骨料中不断的移动,

将粗骨料空隙中的水全部置换成砂浆, 最终填充所有骨料的空隙, 达到水下预填骨料全部被升浆填充成混凝土的目的。

## 3 陆上升浆试验及砂浆配合比

### 3.1 升浆混凝土的技术参数要求

本工程设计提出的具体技术指标要求如下:

- 1) 砂浆流动性, 流动度为 $(18\pm 2)$  s;
- 2) 砂浆泌水率 $\leq 3\%$ , 膨胀率0.5%~1%;
- 3) 砂浆缓凝指标, 初凝时间12~14 h(25℃);
- 4) 升浆混凝土抗压强度 $\geq 20$  MPa;
- 5) 选用的块石粒径为80~200 mm, 空隙率为40%~45%。
- 6) 砂浆与垫层的结合混凝土抗渗S8。

### 3.2 砂浆的基本性能要求

砂浆应当满足施工要求所需的流动性能, 在运输和压浆过程中不得产生离析现象, 而且能使形成的水下混凝土具有工程所需的强度与耐久性。施工用砂浆应具有以下性能:

- 1) 砂浆具有良好的流动性和注入性, 能完全充填粗骨料空隙;
- 2) 砂浆在施工过程中要避免材料离析, 水泥浮浆要少;
- 3) 砂浆应具有适当的膨胀率;
- 4) 硬化后具有必要的抗压强度和黏结力; 且具有足够的耐久性和水密性。

### 3.3 砂浆配合比

本工程所用的砂浆配合比是根据止水围堰特定作用和用途进行设计的。在设计时应考虑砂浆的流动度、膨胀率、泌水率、凝结时间和抗压强度等指标。并根据工程实际情况进行配合比调整。

为满足本工程的设计要求,针对技术参数要求,做对比试验。确定砂浆配和比,具体总结如下:

#### 1) 机制砂

本工程砂浆细骨料采用机制砂,因机制砂为全国首次应用于升浆施工过程中,故特对机制砂进行专项试验确定参数,见表1。通过试验确定砂的细度模数为2.1,石粉含量 $\leq 10\%$ ,平均粒径为0.32 mm,石粉含量为8.3%。

表1 升浆用砂筛析分析

公称粒径/mm	方孔筛筛孔边长/mm	累计筛余/%
5.00	4.75	0
2.50	2.36	0
1.25	1.18	25~0
0.63	0.60	40~16
0.315	0.30	85~55
0.16	0.15	100~90

#### 2) 流动度

在砂浆中掺加高效减水剂,流动度会有明显的改善,见表2。通过试验得到,砂浆流动度控制在14~19 s时,砂浆的性能较好。当流动度低于13 s时,砂浆易出现沉淀、离析的情况。当流动度大于23 s时,极易造成升浆管路的堵塞,给施工带来困难并不能保证施工质量。

表2 不同配合比砂浆的流动度和泌水率

配合比	流动度/s	泌水率/%
1:2.2:0.59	21	1.9
1:2.2:0.58	24	1.6
1:2.2:0.57	27	1.5
1:2.4:0.62	15	2.1
1:2.4:0.61	17	2.0
1:2.4:0.60	19	1.8

#### 3) 凝结时间

因围堰升浆施工一次性升浆方量大,且本工程运输距离较长,需要砂浆应具有相适宜的缓凝时间,为满足施工要求并保证工程质量,砂浆中易采用缓凝型外加剂,适当延缓由于温度的影响使砂浆浆液初凝时间缩短的问题,保证在一个升浆单元的连续性。通过试验确定在砂浆中掺入适量的高效减水剂,可以达到砂浆缓凝的效果,在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的条件下,初凝时间为12.0~14.0 h,可以满足施工凝结时间要求。

#### 4) 膨胀率

水下膨胀率设计要求为0.5%~1.0%,止水围

堰基床平均水深为12.0 m,根据波义尔定律,陆上配置砂浆膨胀率应该控制在0.9%~1.8%。HEA-1膨胀剂掺量7.9%,膨胀率为1.4%,水下膨胀率为 $E_p = E_0 / (1 + h/10) \approx 0.8\%$ 。

#### 5) 配合比

根据试验的比对,确定配合比为胶凝材料:机制砂:水灰比=1:2.4:0.61,HTY-1减水剂掺量为1.6%,HEA-1膨胀剂掺量为7.9%。此砂浆配合比用试模成型的28 d强度为39~42 MPa,按照规范试验方法,完全模拟水下升浆施工条件,先将200 mm×200 mm×200 mm试模内填满石料并注满海水,在装石料的过程中预埋1根升浆管,然后将砂浆用漏斗通过预埋的铁管注入试模内往外排水,形成石料与砂浆的混合体。拆模后将其浸泡在海水中,成型的混合体28 d强度为26.7 MPa。

#### 3.4 陆上模拟升浆试验

为了验证施工工艺可行性和确定砂浆性能参数,确保升浆体饱满,在正式升浆施工前,特进行了水下预填料升浆混凝土施工陆上模拟试验。根据沉箱实际升浆管的间距,制备了两个长宽高为3.0 m×3.0 m×1.5 m的钢箱模具,内部分别预填80~200 mm骨料,注满海水,上覆土工布并用碎石袋压载。将升浆管放置在模具的中间部位,采用UB4.0砂浆泵进行砂浆的升浆试验。试验过程中详细记录升浆泵压力、砂浆性能参数等数据。升浆试验完成72 h后进行拆模,通过观察及钻芯取样,升浆效果良好。骨料缝隙填充饱满,且各项试验数据都满足升浆要求。

### 4 升浆施工工艺

#### 4.1 工艺流程

水下升浆施工工艺流程见图1。

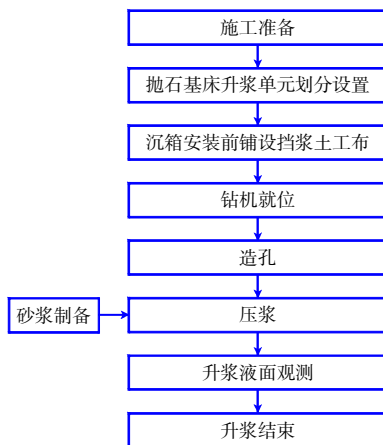


图1 升浆施工工艺流程图

4.2 施工设备及机具

本工程的升浆工程量为 5 600 m<sup>3</sup>, 所有砂浆均采用砂浆拌合站集中制备。制备完成后, 砂浆运输采用混凝土罐车运输砂浆至施工现场的储浆罐内, 采用灌浆泵进行灌浆施工。现场砂浆储浆罐的容量为 1.5 m<sup>3</sup> 且带有慢速搅拌机, 搅拌机搅拌速度应易控制在 60~120 r/min 范围内。升浆成孔通过地质钻机的卷扬提升重锤施打带底部装有冲尖的压浆管, 将其锤击下沉至设计深度。灌浆施工选用 UB4.0 型砂浆泵。灌浆所用设备具如表3所示。

表 3 灌浆施工设备表

机械设备名称	型号	数量	用途	性能参数/kW
地质钻机	XY-1	6	成孔	15
砂浆泵	UB4.0	8	传送砂浆	10
低速搅拌器	1 m <sup>3</sup>	4	储备砂浆	5.5
罐车	12 m <sup>3</sup>	16	运输砂浆	—

4.3 施工方法

4.3.1 施工段划分

施工段划分应根据实际的施工能力水平、项目进度要求、砂浆生产能力、现场平面布置等因素进行科学划分, 本工程每个升浆单元以沉箱为单位, 长为 20.2 m, 宽为 18.0 m。为了防止施工过程中砂浆在水下外溢流失, 升浆施工前以及过程中应做好止浆工作。各升浆单元间及块石基床表面采用水下铺设土工布进行覆盖分隔。

4.3.2 挡浆土工布铺设

抛石基床周围采用土工布覆盖挡浆, 防止升浆过程中砂浆外溢。基础覆盖土工布铺设采用卷轴水下潜水员滚动铺设方式施工, 铺设前应根据基床覆盖面有效宽度剪裁好土工布尺寸, 坡脚处延伸 1.0 m。基床坡脚处采用袋装碎石压载固定土工布, 见图 2。边界搭接或外伸不小于 1.0 m。为减少土工搭接, 土工布卷轴前可将两卷土工布采用“包缝”缝制方法缝制成一卷, 增加土工布宽幅。这种做法既节省材料, 又能保证施工质量。

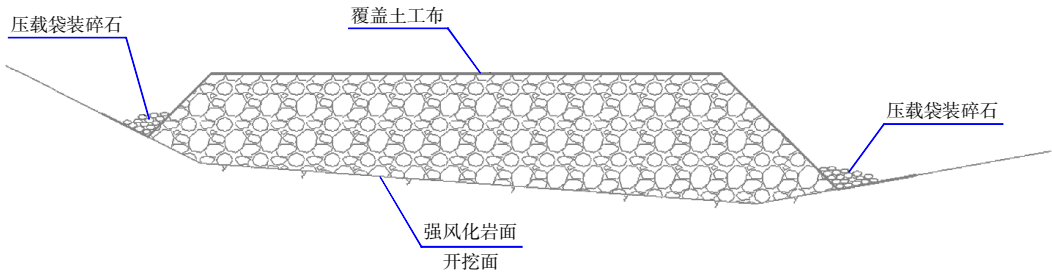


图 2 挡浆土工布铺设示意图

按预填骨料升浆混凝土基础的大小及升浆能力宜对基础进行分段抛填和升浆, 常用的隔断措施有钢板、土工布及混凝土方块隔断等。本工程采用铺设土工布做隔断。以单个沉箱基础为一个升浆单元, 进行抛填和升浆施工。

4.3.3 成孔工艺

本工程采用锤击造孔法完成造孔。根据设沉箱上预留的注浆孔位, 将钻机就位。采用 SGZ—Ⅲ A 型地质回转钻机卷扬提拉 150.0 kg 重锤进行锤击造孔, 施打底部装有冲尖的  $\phi 50$  mm 升浆钢管, 并将其穿透抛石基床达到基槽顶面。锤击造孔的工艺原理是抛石基床的块石粒径为 80~200 mm, 粒径较小, 级配较差, 基床块石在冲尖的巨大冲击下, 或被击碎或被挤开, 达到升浆管造孔

目的。成孔工作结束后, 要测量孔深, 计算出压浆管的底标高, 设置观测管, 其成孔与压浆管的成孔方式一致。造孔施工前, 根据挖泥基槽标高确定造孔参考的孔底标高; 施工过程中, 针对岩基基础可采用沉管贯入度来控制造孔深度, 当造孔实际高程接近参考标高时, 记录平均贯入度, 如平均贯入度小于 5 mm/次时, 即认为已达到基岩面; 对非岩基基础实际造孔深度应低于参考孔深标高 200 mm。

4.3.4 升浆顺序

升浆施工段顺序按照升浆单元, 以沉箱宽度方向为轴线, 从一端向另一端逐步推进施工。每升浆单元的升浆顺序, 应先施工临海侧升浆孔, 待外排孔压浆接近结束时施工内排孔。

#### 4.3.5 压浆工艺

1) 水下升浆应按照先低后高的原则进行施工, 施工时采用一泵对应一孔。升浆施工前, 将升浆管向上提升 200~300 mm, 使升浆管底冲尖脱落。连接升浆管路系统, 首先进行通水试验, 检查灌浆管路是否畅通。

2) 升浆管路检验完毕后, 先灌注纯水泥浆进行润管, 之后进行灌注砂浆直至升浆结束。

3) 为了保证升浆质量, 每个灌浆管压力应保持均匀, 并采用一泵一孔一一对应方式。为保证水下砂浆面均衡上升, 应先灌注基床底面较低的部位。升浆管埋入水下砂浆深度不得低于 1.0 m。根据砂浆液面不断上升, 应及时提升浆管高度, 升浆管逐件拆卸。每次提升高度不应超过 1.0 m, 确保升浆管底部的埋入深度。整个水下压浆过程必须连续进行, 没有异常情况升浆过程中不得随意中断施工。

4) 如在升浆过程中发生升浆管堵塞问题, 应采用小管径钢管放进升浆管内进行上下疏通, 不得采用通水的方法进行处理, 否则会影响升浆质量且会使后续砂浆发生离析极易造成二次堵孔。

5) 升浆过程中, 应派专人对观测孔进行砂浆浆面标高观测。砂浆浆面的上升情况可采用比重测锤观测。升浆管上提高度根据砂浆液面标高确定。升浆管每次上提高度应进行记录。升浆过程中应适时转动观测管, 保持观测孔内浆液与外部畅通。

6) 浆液面动态观测: 利用预留观测孔和邻近未注浆孔用比重测锤观测砂浆浆液面, 并详细记录砂浆浆液面的上升高度。同时潜水员应在水下配合观察抛石基床两侧坡肩砂浆填充及外溢情况。

7) 水下升浆施工过程中, 围堰应留用过水通道, 保持围堰内外侧水压一致。

8) 升浆施工应尽量避免夏季高温和冬季低温条件下施工, 如工程因进度要求必须此季节施工, 则应制定可行的施工措施上并经论证后方可进行施工。

#### 4.3.6 结束标准

当相邻观测孔内砂浆浆面在沉箱底面以上 200 mm 时, 本孔升浆即可结束。当砂浆灌入量达到抛石体积的 40%~45%(理论计算方量)且全部升浆观测孔均可观测到砂浆浆面后, 该升浆单元即可结束。

### 5 施工质量控制

#### 1) 灌浆压力

水下预填骨料升浆混凝土的砂浆是通过砂浆泵进行输送, 其压力的大小与升浆深度、砂浆性能和管理通畅特性有关。一般可控制在 0.1~0.4 MPa 范围内。

#### 2) 砂浆质量控制

砂浆制备过程中应严格按照施工配合比进行拌制, 砂浆运输应固定专车运输, 并且运输前应将混凝土罐车内残留碎石清理干净, 避免发生升浆管路内碎石阻塞现象。每罐砂浆均应测试流动度, 确保满足施工要求后方可进行压浆。

### 6 施工过程中的问题处理

#### 6.1 漏浆处理

施工中, 如通过观测管观测浆面不上升或上升缓慢时, 应及时通知潜水进行水下检查, 查找漏点后, 采用土工布或沙袋、碎石袋进行覆盖; 升浆时亦应对漏水部位的升浆孔采用间歇施工, 间隔时间不允许超过 30 min, 直至浆面上升正常。

#### 6.2 升浆管堵塞处理

由于每个施工段方量大、升浆持续时间长, 为防止输浆管路、升浆管堵塞, 在施工中应间隔 4~8 h 采用水泥浆进行管路疏通。施工中, 如发生升浆管堵塞, 应及时对升浆管进行疏通。升浆管疏通采用直径为 2.0 cm 钢管进行疏通, 如疏通确实有困难, 必要时将升浆管提出进行重新造孔, 造孔深度应在临近观测管所测浆面以下 0.6~2.0 m 之内。升浆施工过程中常遇到输浆管路堵塞问题, 其主要原因有: 砂浆配合比不好, 稠度变化太大; 管路布置不合理; 管路内有积水。应采取的措施包括: 升浆前采用水泥净浆润管; 堵管时间不长, 将升浆泵反复启动关闭, 借其压力使其畅通; 或采用小管径钢管放进升浆管内进行上下疏通; 或使用振动器在堵管外壁适当振动; 如若上述方法无效, 可转至观测井中压注。应注意不得采用通水的方法进行疏通处理。

#### 6.3 施工中断的处理

升浆施工应保持连续, 施工过程中不可中断。施工中, 由于天气或机械的原因不得不停止施工时, 应在砂浆初凝时间内尽快恢复施工; 如间隔时间超过砂浆的初凝时间, 恢复施工前必须对原升浆浆面进行高压水或大水流水冲洗, 使两次升浆面能够结合良好, 并详细表明该中断部位的深

度和位置,在后序施工时对该部位重点处理。

## 7 结语

大洋厂区1号船坞改造项目已完工,临时堵口围堰止水效果良好,每日渗水量不超过200.0 m<sup>3</sup>,远超设计预期效果。临时围堰良好的止水效果给工程总工期及工程成本都带来良好的收益,故本施工方法可在同类工程中推广应用。同时应注意以下方面:

1) 施工前应进行详细的策划,并进行相关试验,取得相关参数。尤其是升浆孔和观测孔的布设、土工布铺设工艺、砂浆配合比配置、升浆模拟试验等。

2) 为保证施工质量并节省时间,在条件满足

情况下建议采用“平升”施工工艺,即同一施工段升浆管同时升浆。

3) 因基床升浆施工具有方量大且持续时间长的特点,保证砂浆供应连续性和稳定性是关键。

4) 基床升浆需昼夜连续施工,施工过程中应注意人员调配及夜间施工相关安全保证措施。

## 参考文献:

- [1] 康松涛,李广森,郁祝如.水下预填骨料升浆混凝土的应用[J].中国港湾建设,2013(1):65-68.
- [2] 郁祝如,经东风.大连中远六万吨级船坞湿法施工[J].水运工程,2000(1):42-48.
- [3] 雷进生,文亮,冯章杰,等.船坞工程水下抛石基床升浆止水施工技术[J].水运工程,2013(2):152-156.