

· 施 工 ·



船坞工程水下抛石基床升浆止水施工技术

雷进生¹, 文亮¹, 冯章杰^{1,2}, 陈建飞¹, 曹雪廷¹

(1. 三峡大学土木与建筑学院, 湖北宜昌 443002; 2. 葛洲坝集团第六工程有限公司, 湖北宜昌 443002)

摘要: 水下升浆混凝土施工技术大大降低了临时围堰工程造价, 为岩石地基条件下建造船坞及码头工程时预制钢筋混凝土沉箱的成功和广泛应用提供了可能。结合大型船坞工程水下抛石基床临时止水施工案例, 对升浆混凝土临时止水的技术特点、工法程序、施工要点及质量控制内容等进行了叙述和分析, 对于升浆施工过程中可能出现的技术问题给出了指导性建议。水下升浆混凝土施工技术有自己独特的工法, 具有经济、方便、快速和安全的施工特点, 可在同类工程中推广应用。

关键词: 升浆混凝土; 船坞工程; 湿法施工; 临时止水

中图分类号: TV 43; TV 36

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2013)02-0152-05

Construction technology of rising mortar concrete for water stop of underwater riprap foundation in dock engineering

LEI Jin-sheng¹, WEN Liang¹, FENG Zhang-jie^{1,2}, CHEN Jian-fei¹, CAO Xue-ting¹

(1. College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. Gezhouba Group No.6 Engineering Co., Ltd., Yichang 443002, China)

Abstract: The construction technology of underwater rising mortar concrete greatly reduces the engineering cost of temporary cofferdam, which makes it possible for the success and wide application of precast reinforced concrete caisson when building dock and terminal on the rock foundation. Combining with the project case of temporary water stop in the engineering of large docks, this paper analyzes the technical features, engineering methods and programs, construction points and quality control of temporary water stop construction of rising mortar concrete, and gives the instructive suggestions to the possible technological problems encountered in the rising mortar construction. The construction technology of underwater rising mortar concrete has its own unique construction methods and the construction characteristics of being economical, convenient, fast and safe, which can be extended in and applied to similar projects.

Key words: ring mortar concrete; dock engineering; wet construction; temporary water stop

施工围堰和基坑是船坞建设的重要部分。施工围堰费用一般占总投资的15%~20%, 技术难度高, 风险大, 工期也较长, 关系到工程的成败、质量和工期, 其设计与施工一向是业内同行重视的热点^[1]。

近年来在岩基地区水上建造船坞工程时, 一般优先考虑利用预制钢筋混凝土沉箱作为围堰的

主体结构。水下升浆技术和水下高压旋喷等止水施工技术, 大大降低了临时围堰工程造价, 为岩石地基条件下的预制钢筋混凝土沉箱的成功和广泛应用提供了可能。

渤海船舶重工有限责任公司船坞工程规模为480 m × 107 m × 12.75 m, 采用升浆抛石基床沉箱结构。沿船坞两侧的沉箱可同时作为舾装码头和

收稿日期: 2012-07-16

作者简介: 雷进生(1970—), 男, 副教授, 从事基础工程加固方法与计算理论、结构安全监测与评估技术等方面的研究工作。

船坞坞墙使用。主体工程施工完成后,西北侧土石围堰及堵口围堰须拆除,南侧沉箱围堰作为码头予以保留^[2]。采用升浆法在沉箱下部碎石基床内充填水泥砂浆,与下部基岩的帷幕灌浆连接形成围堰的止水帷幕。

1 工程概况

1.1 工程地质和水文地质条件

渤船重工船坞及码头工程位于葫芦岛南部海域。该区域海底地形起伏较大。工区出露的地层为第四系土层、侏罗纪基岩和震旦系基岩3种,且风化较严重,岩层中裂隙发育,其内充填物为土黄色黏性土,夹有碎石及少量细砂等,基岩面起伏较大,基岩层渗水量较大。

渤海湾潮汐属于正规半月潮,在每年的12月至次年2月份一般都出现不同程度的结冰现象。工区内地下水有第四系覆盖层内的孔隙水与基岩裂隙水两种。由于海水中含有各种盐类,对混凝土和钢结构均有一定的腐蚀作用。

1.2 止水工程施工概况

一期临时湿法止水工程项目主要包括:东侧、西北侧及新增土石围堰旋喷和帷幕,南码头、堵口抛石基床升浆止水和软弱夹层旋喷,南码头、堵口岩石内止水帷幕,南码头、堵口旋喷加固。

二期永久止水工程在坞室内抽干水后施工,主要项目为永久旋喷止水、永久帷幕止水施工,主要分布于东坞墙、南坞墙、北坞墙、坞口、中间门槽。

升浆工程历时97 d,共计完成升浆钻孔1 475.5 m,升浆浆量21 797.7 m³,各部位工程量见表1。

表1 升浆混凝土完成情况

工程部位	单元数	孔数	钻孔长度/m	升浆量/m ³
南码头	6	327	970.8	14 931.9
堵口围堰	3	155	504.7	6 865.8
合计	9	482	1 475.5	21 797.7

2 升浆混凝土施工技术

升浆混凝土施工工艺采用振动升浆成型法,即只搅拌砂浆,振捣成型时粗骨料直接下沉入

模,水泥砂浆相对上升而形成的混凝土。大连中远6万t船坞采用了国内首创的升浆混凝土湿法施工工艺,并成功推广应用^[3-7]。升浆混凝土适用于一般混凝土工程和钢筋混凝土工程,尤其适用于大梁、基础、船坞等大体积混凝土工程。

升浆工程是止水工程的第一道环节,升浆质量的好坏,直接影响到后序施工工程的顺利进行。升浆混凝土的整体强度及作用是在水中随着时间推移过程逐渐形成的,整个施工方法、操作过程完全处于湿法施工状态中。相比于传统混凝土施工方法和导管法水下混凝土施工,其主要的技术经济优点有:无需轧碎石块来搅拌混凝土;灌注的砂浆从模板的底部慢慢开始向上,故水下施工时可将粗骨料空隙中的水全部置换成砂浆,较易制作出优质混凝土^[8];无需搅拌机拌合骨料,施工简便,利于加快施工进度;泵送时只需泵送水泥砂浆,相比于普通混凝土其泵送工艺得到改善。

3 升浆试验及其施工工艺

3.1 施工主要技术要求

渤船重工船坞及码头工程抛石体为粒径80~150 mm,无风化、无针状、粒径新鲜的硬质石料,孔隙率45%左右;砂浆流动度12~16 s,泌水率<0.3%,初凝时间>12 h;混凝土抗压强度≥8MPa。

土工布的质量要求:纵向抗拉强度≥2 500 N,横向抗拉强度≥2 000 N;等效孔径<0.2 mm;顶破强度≥3 800 N;有较大的延伸率和较好的抗老化性能;垂直渗透系数>10⁻⁴ cm/s。

3.2 升浆试验

为了确定施工工艺参数,确保升浆体饱满,渤船重工船坞工程在大规模升浆前,先编制《升浆混凝土施工方案》以及《升浆混凝土施工作业指导书》,完成升浆混凝土施工陆上模拟试验。

船坞抛填工程均为水下隐蔽工程,施工工序繁多,质量控制难度大,对于抛石料有更加严格的要求^[9]。抛石料除满足水工混凝土一般要求外,尚须具有一定的空隙率,以满足砂浆流动的均匀性。

石块中的空隙率一般认为约为40%~50%。依据相关试验资料,抛石料粒径 $D < 50 \sim 60$ mm,

当砂浆表面与水平底面所成坡角 $\beta > 70^\circ$ 则不能流动;若 $D > 400$ mm, $\beta = 4^\circ$ 为常值,相当于砂浆在自由空间内流布的坡角,抛石料粒径以 80 mm $< D < 300$ mm为宜。

砂浆选配时除考虑强度,抗冻性等技术要求外,还遵循如下原则:砂浆应具有合适的流动性及和易性;选用流动度损失较小的外加剂,高效减水剂(1.5%) 9.9 kg/m³;砂浆缓凝性能指标为初凝时间12~14 h;砂浆应具有适当的膨胀性,且与骨料粘结良好,膨胀率为0.5%~0.1%。

在实际水下压注施工中,稠度宜为23 s左右。而水灰比、灰砂比及砂的形状大小决定了砂浆稠度。通过控制水灰比,变动其他两因素来保证试样强度。工程用砂筛析成果见表2。

试验后确定砂浆配合比为水:水泥:砂=0.5:1:31.3,采用32.5普通硅酸盐水泥,细砂细度模数为1.4~1.6,砂浆设计强度为C20S8。

表2 工程用砂筛析分析

筛孔径/mm	质量/g	所占百分比/%	累计筛余%
9.50	38	3.8	3.84
4.75	150	15.2	19.01
2.36	316	32.0	50.96
1.18	200	20.2	71.18
0.60	152	15.4	86.55
0.30	120	12.1	98.69
0.15	10	0.9	99.59
0.074	3	0.3	99.89

3.3 升浆工程施工主要设备

渤船重工船坞升浆工程施工主要设备见表3。

表3 升浆工程主要设备

名称	型号	数量	功率/kW
地质钻机	Xu-300	30	17×13
空气压缩机	V-7/10	6	55×5
砂浆泵	2SNS	14	7.5×14
清水泵	HG-80	8	5.5×8
离心泵		2	7.5×2
高压清水泵	3D2-S	3	75×3
搅拌机	0.8~1.6 m ³	7	5.5×7
泥浆泵	BW-150	8	7.5×8
高喷台车		6	6×5
高压泥浆泵		5	75×5
双层搅拌机	0.4 m ³	8	3×6

3.4 施工工艺

3.4.1 钻埋注浆管法升浆

基床抛石、碎石找平结束,安放沉箱后,通过沉箱预制时预留的升浆孔,采用回转钻机在预填骨料上钻孔下插注浆管,然后进行压浆施工,连续、不间断压浆。

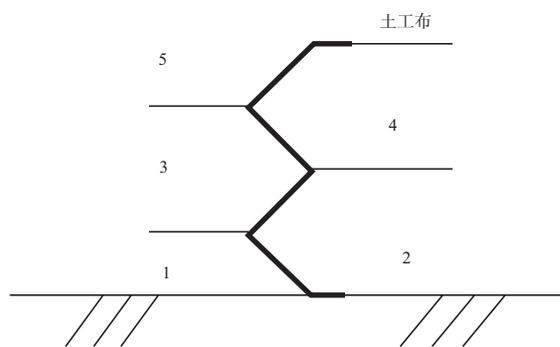
3.4.2 工艺流程

工艺流程:施工准备→基床抛石前分仓缝设置→沉箱安装就位前铺设挡浆土工布→沉箱安装后施工平台搭设→钻机就位→造孔→压浆→液面观测→压浆结束。

3.4.3 施工方法

1) 分仓缝设置。

根据注浆施工设备施工能力,在确保浆液初凝前完成某一仓面注浆任务为原则,设置分仓缝,分仓按一个沉箱一个仓位划分,缝口处采用土工布隔离(图1)。



注:图中序号为抛石顺序。

图1 土工布隔离

土工布在大面积抛石料前,由潜水员指挥在土工布两侧定点抛填石料铺设。

2) 基床两侧土工布铺设。

为确保压浆施工时,浆液不从基床两侧流出,采用沿石料斜坡面铺设土工布。覆盖基床土工布由潜水员水下由上往下铺设。土工布每边与边界搭接或外伸不小于1 000 mm,搭接方法采用带结,然后回填石渣覆盖(图2)。

3) 施工平台搭设。

升浆混凝土施工在沉箱安放后进行。沉箱顶高程为2.5 m,受潮汐影响,考虑施工的连续性保

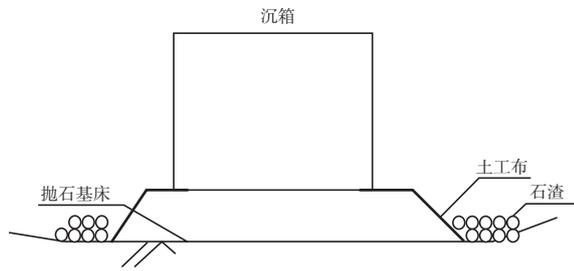


图2 土工布水下铺设

证, 采用I14工字钢以及 $\phi 48$ mm钢管, 搭设固定式脚手架施工平台。平台高程为5.1 m, 上铺8 cm厚脚手板。

4) 布孔。

南码头MCX1~5、17~24及6~16沉箱各布置3排及2排升浆孔; 堵口DCX1, 3~7, 9~10及2, 8, 11~13 a沉箱分别布置3排及2排升浆孔。布置原则是: 采用梅花形布置方式, 孔距在3.0 m以内, 排距约3.0 m。

5) 钻孔。

在钻机钻孔中, 先将钻机移至升浆孔对应孔位, 下入钻具钻孔, 同时上下提升钻具, 钻进至岩面或基石底面, 从而完成钻孔工作。钻孔孔径 $\phi 75$ mm。将升浆管从钻孔下入至基岩后, 采用高压风和大流量水冲洗堵塞的升浆管。

6) 升浆孔升浆。

升浆孔升浆就是将合格的砂浆通过砂浆泵、灌浆管路、升浆管, 在自流压力作用下把砂浆压入钻孔基石内, 与基床结合成新的混凝土。

①升浆: 砂浆由拌和楼集中拌制, 混凝土泵车运输至施工现场, 砂浆泵注入孔内。砂浆泵压力控制在0~0.3 MPa。当浆面升至沉箱底板后, 该孔即可结束灌注。

②升浆浆面观测: 在升浆过程中, 使用测锤随时观测浆液面变化情况, 升浆孔升浆5 min或10 min记录一次, 特殊情况需及时记录。

③基床升浆结束标准: 当砂浆灌入量达到抛石体积的40%~45%(计算方量), 第2排升浆管内浆面在沉箱底以上, 最后1排浆面在沉箱底以上20~30 cm, 灌浆即可结束。

4 升浆质量控制

4.1 升浆前检查

升浆前检查主要有: 检查升浆孔孔数, 设计孔深, 升浆管道畅通性及布设合理性等。

4.2 过程检查

1) 检查升浆过程中的排序和孔序的安排的合理性。

2) 浆液温度和流动度。

3) 保证造孔孔深到达基床底面。

4) 保证基床升浆施工连续性。

5) 随时检查升浆过程中的灌浆压力。若施工被迫中断, 在两次施工结合面处必须高压冲洗, 且将注浆管沉入施工完毕的基床混凝土内, 充分搅动悬浮。

6) 使用测锤对该升浆孔的邻近孔的浆面上升情况随时观测, 及时记录和反馈。

7) 潜水员水下检查坡面跑浆情况。

5 单位水泥注入量和透水率分析

通过分析不同部位升浆的单位水泥注入量和透水率发现, 单位注入量偏大, 超过水泥定量。分析原因主要有以下几个方面:

1) 船坞区地质条件差。

根据钻孔揭示, 该区主要为矽质灰岩, 属震旦系地层, 经过多次地壳运动, 使得地层裂隙、层理、节理发育, 软弱夹层发育, 致使该部位水泥耗用量严重偏大, 其中, 21~24沉箱第一排平均单位耗灰量为429.85 kg/m。

2) 基岩面有太多沉积泥、砂出现。

由于清基时难以将淤积物全部清除, 升浆基床和基岩面间出现泥砂夹层, 而该层为强透水体, 渗透性能好, 也导致水泥耗用量大。

3) 沉箱底和升浆混凝土间存在部分缺陷, 为了保证止水的连续性, 对缺陷部位进行灌浆处理, 也导致水泥耗量增大。

统计显示, 各部位灌浆孔平均单位耗灰量两边排孔较大, 中间排孔较小, I序孔较大, II序孔较小。总体随灌浆次序呈递减。有少数部位和孔段出现异常, 后序孔段较前序孔段单位注灰量

大,甚至远大于前序孔,分析主要是由于裂隙、节理等分布不均所致。

6 升浆止水施工过程中的问题处理

6.1 船坞基坑抛填骨料的回淤

坞室基底清淤和码头基槽清淤有所不同,坞底地质结构复杂,不宜干法建坞。由于船坞坞首的深基坑处安装有一定长度沉箱,已清淤后的船坞基坑经过一段时间后,推移质淤泥和悬浮质淤泥下沉会造成回淤。实践证明采取以下措施是有效的:1)基槽抛填骨料前及时清淤,可在最大程度上防止回淤;2)对于已抛填的应加以覆盖,防止淤泥进入块石空隙,基槽处以高压水冲淤;3)禁止利用升浆管作为块石清淤时的吸泥管,避免堵塞升浆管;4)为达到预防回淤的目的,可提前安装堵口围堰沉箱。

6.2 输浆管路堵塞

升浆施工中常遇到输浆管路堵塞,其原因主要有:砂浆配合不好,稠度变化太大;管路布置不合理。应采取的措施包括:若堵管时间不长,将开关迅速开关几次,借助压力使其畅通;使用振动器在堵管外壁适当振动;若上述方法无效,可转至观测井中压注。

7 结语

渤船重工30万t船坞工程施工区域地质条件复杂,通过慎密施工使整个防渗体系的施工质量均达到设计标准。基础处理后坞室内的排水量每天(24h)3000m³,通过检查孔压水试验进行检查,透水率q值全部小于3Lu,达到了预期防渗目的,整个船坞基础防渗体系是安全可靠的。

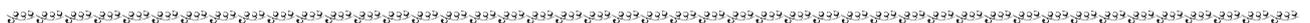
渤船重工30万吨船坞工程升浆混凝土施工克服了无相应技术规范,施工工艺不成熟等一系列难题,其成功经验可供同类工程参考。

升浆混凝土施工方法简洁,既不同于干法施工,也不同于水下竖管混凝土施工,更不同于压浆施工,它有着自己的工法特点,适用于有渗透浮托力情况或不具备干法施工条件下的水下施工,还可用于坞墙基础的湿法施工及破损沉箱码头结构的加固,其应用范围可进一步推广。

参考文献:

- [1] 顾倩燕. 船坞工程结构设计技术创新与实践[J]. 水运工程, 2011 (1): 75-86.
- [2] 林本华, 刘志强, 李海军. 升浆止水施工技术在大型船坞工程施工中的应用[J]. 水利水电施工, 2007(2):28-31.
- [3] 齐锦原, 王新河, 张勇. 升浆混凝土施工技术在港工建筑物加固工程中的应用[J]. 水道港口, 2008, 29(4): 283-286.
- [4] 王琳, 生为光. 升浆法混凝土试验初探[J]. 水利水运工程学报, 1987 (3): 59-70.
- [5] 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.
- [6] 中港第一航务工程局, 中港一航局三公司. 大连中远6吨级船坞湿法施工新工艺的研究与实践[J]. 中国港湾建设, 2000 (5): 18-22.
- [7] 王海滨. 在复杂石灰岩地质条件下建造船坞不同施工工艺的实践[J]. 中国港湾建设, 2000 (3): 1-6.
- [8] 李广森, 陈颖, 李莉, 等. 粉煤灰在船坞升浆混凝土中的应用[J]. 水运工程, 2010 (7): 133-136.
- [9] 姜汉柱, 杜以发, 郁祝如. 升浆混凝土骨料抛填及坞墙基础施工[J]. 中国港湾建设, 1999 (6): 21-28, 52.

(本文编辑 郭雪珍)



· 消 息 ·

长湖申线浙江段今年完成改扩建

2013年1月23日,湖州港航部门将全面推进“七个港航”建设,完成长湖申线(浙江段)扩建工程建设任务,建成畅、洁、绿、美的千吨“水上高速”航道。

长湖申线浙江段经过4年多的改造建设,湖州段航道工程已基本完工。今年长湖申线浙江段航道扩建工程已基本完工。今年长湖申线浙江段航道护建工程将全线建成贯通,并启动建设京杭运河湖州段三级航道整治工程。到2017年,湖州市千吨级航道将达149 km,500吨级及以上高等级航道里程将达317 km,实现通达长三角周边大中城市的干线航道高等级化,建成干支直达、千吨成网、安全通畅的内河航道网体系。

摘编自:《中国交通报》