



港口码头水下裂缝修复技术

陆志华, 吴启民

(中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 某港口码头因装配误差导致装配块水下部分出现裂缝, 须对结构进行水下处理: 采用 HK-963 触变型环氧粘结剂材料, 通过压力对装配块水下裂缝进行修复。经水下处理, 裂缝修复达到了预期的目的。探索修复工艺及可行性。

关键词: 港口码头; 水下裂缝; 修复技术; HK-963 水下环氧粘结剂

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)05-0160-05

Repairing technology for underwater cracks on port's wharf

LU Zhi-hua, WU Qi-min

(HYDROCHINA Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Cracks occur in the underwater part of a port's wharf due to the assembling error, thus measures shall be taken to deal with the cracks: adopting K-963 underwater thixotropic epoxy adhesive, the cracks in the underwater part of the assembled blocks are repaired under pressure. Practice proves that cracks' repairing has achieved the desired goal. This paper probes into the technology and feasibility of the repairing technology.

Key words: port's wharf; underwater crack; repairing technology; HK-963 underwater epoxy adhesive

1 工程概况

某港口项目, 业主原来为沙特阿拉伯矿业公司 (Saudi Arabian Mining Company), 后来由政府协调, 变更为沙特港务局 (Saudi Ports Authority), 咨工为 Worly Parsons。该项目位于沙特东侧海岸线的某半岛, 属于未开发的沙漠地区, 在波斯湾西海岸, 位于沙特王国北部。

国内某工程局于 2008 年开始中标承建, 某港口码头项目, 是中资企业自 1997 年进入沙特工程承包市场以来获得的单个合同额最大的项目, 该项目包括 1 个 7 万吨级散货泊位、1 个 7 万吨级杂货泊位、1 个 5 万吨级液体材料泊位和 1 个 7 000 吨级工作船泊位, 预计 2011 年 8 月完工。港口码头为方块重力式码头结构, 方块质量为 33 ~ 103 t, 码头正视及尺寸见图 1。

2 裂缝成因及修复原则

2.1 裂缝成因

码头基床为抛石基床, 分层两边八次锤夯, 每层最大厚度为 2 m 锤夯范围为基础加 2 m 的区域。选择 15 t 带有中空孔的铁锤进行夯击。基床倒坡设置斜率为 1:150, 基床顶面平整精度控制在 6 mm 内。

码头预制安装方块为无配筋素混凝土方块 (图 2), 采用错层推进安装。按照设计安装控制要求, 相邻方块高差小于 10 mm。而实际安装过程中相邻方块高差存在大于 10 mm 的情况, 最大高差达到 30 mm。安装后要求在码头顶预加总荷载 150 kPa, 预压荷载一次加载到预压块顶部, 持续时间为 1 d, 由于未对上下层方块由高差引起的水平缝进行处理, 在增加荷载过程中 3[#]泊位码头

收稿日期: 2013-09-29

作者简介: 陆志华 (1979—), 男, 高级工程师, 主要从事水下工程结构缺陷修复处理工艺、修复处理材料的研究及应用。

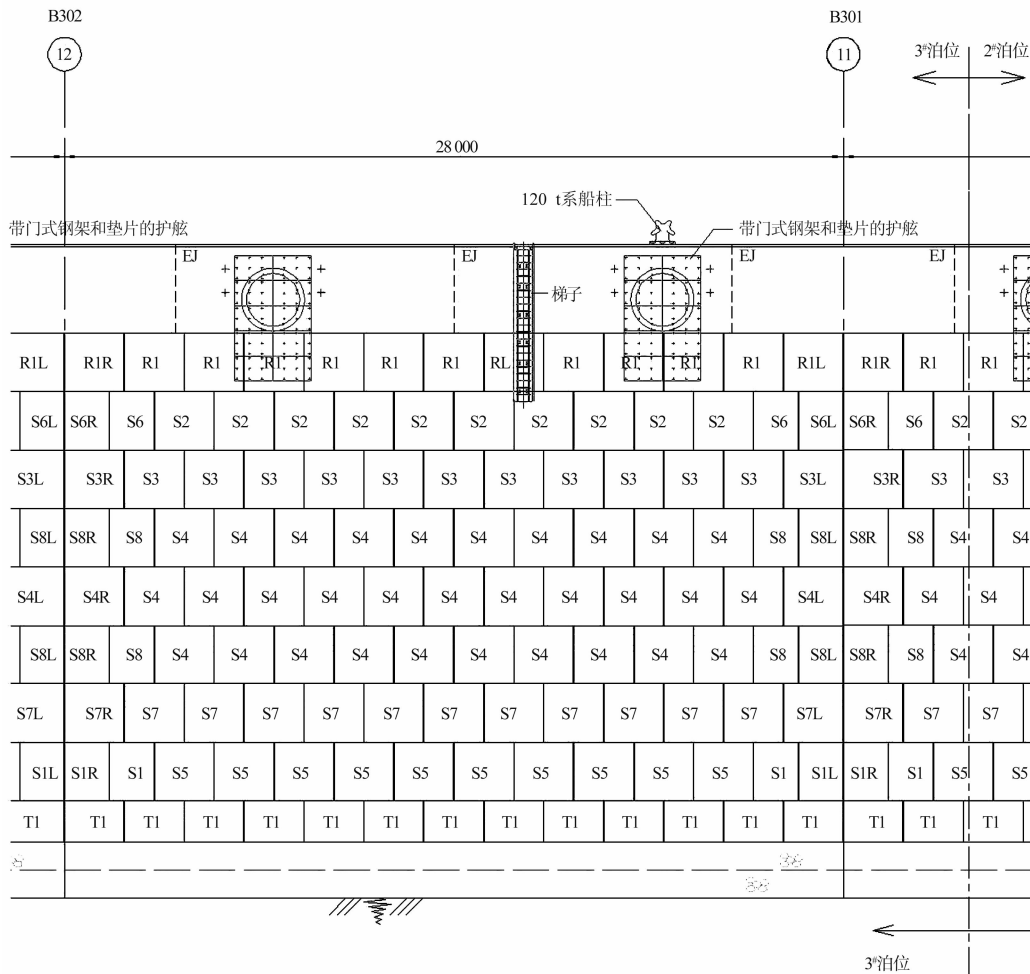


图 1 预制构件安装 T 型错缝结构正视图

方块出现裂缝, 经水下检查, 共发现存在裂缝的方块有 38 块, 破损形式有 3 类: 第 1 类是裂缝不与下层竖向安装缝贯通, 第 2 类裂缝与下层竖向安装缝贯通, 第 3 类是边角破损。

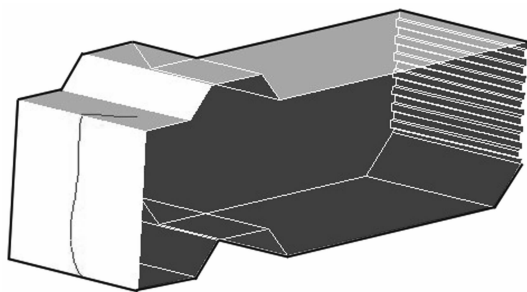


图 2 预制构件裂缝

2.2 裂缝修复原则

经对产生裂缝的方块受力计算分析, 认为方块损坏不影响码头整体结构, 仅需采用能承受、

有粘结性能的灌缝材料对损坏结构进行修复, 恢复其整体受力结构, 避免在今后码头使用过程中发生损坏试块掉落等问题。

2.3 裂缝修复的难点

1) 流动半径控制: 方块安装为错层叠装, 方块间均有安装缝, 为了保证水下灌注材料能最大程度充盈满裂缝, 不至于过多地流入安装缝中, 需选择具有触变性的材料进行水下灌注, 以保证灌注效果。

2) 现场环境影响因数: 施工现场地处中东, 8 月室外气温均在 35℃ 以上, 最高气温可达 45℃, 反应型材料对温度较为敏感, 高温可加快反应速度, 缩短可操作时间, 由于水下施工, 操作不便, 故需采取应对措施, 保证浆液在可控状态下准确灌注就位。

3) 与咨工的沟通: 该项目业主管理模式为

“大咨工”负责制，咨工来自世界各国，负责该灌注修复项目的咨工为加拿大人，其对“中国制造”有一定的不信任情节，故项目顺利实施还需以实际应用效果说服咨工，取得其支持和信任。

3 材料选择及试验验证

3.1 材料基本要求

施工现场温度较高且为海水中水下灌浆施工，选用材料不仅需满足水下修复的力学性能，同时还需适应压力灌注及高温环境，灌注材料需满足以下要求：

- 1) 水质适应性强，海水中可固化，水下粘结性能好，粘结强度不小于 2 MPa，抗压强度不小于 45 MPa；
- 2) 水下灌注材料需有一定的触变性能，兼顾有一定的流动性，保证流径；
- 3) 可采用灌浆工艺进行水下压力灌注；
- 4) 材料可操作时间能适应现场高温环境要求，不易暴聚，操作时间可调节。

根据上述要求，通过相关试验筛选后，选择了 HK-963 水下环氧粘结剂作为修复试验材料^[1]。该材料主要性能指标见表 1。

表 1 HK-963 水下环氧粘结剂主要性能指标

固化时间/h		粘接强度/MPa		抗压强度/MPa
表干	实干	潮湿	水下	
≤8.0(可调节)	≤72(可调节)	≥2.5	≥2.0	≥45

3.2 现场试验验证

通过室内试验选择了应用材料后，现场为验证修复试验效果，采用 6 块 1.2 m × 0.6 m × 0.6 m 预制构件，强度与码头方块相同，均为 C35，方块按二横四竖摆放，模拟出码头方块“T”型拼装结构，各方块顶面设有预制吊钩，预留接缝为 1 cm，并将其置于海水试验平台中（图 3），方块 1[#]，2[#]，3[#]为一组，4[#]，5[#]，6[#]为另一组，中间采用木板隔离，方块 1[#]，2[#]间外侧接缝不封闭，将方块 2[#]，3[#]前沿缝封闭并埋设灌浆管，通过压力将试验材料灌入“T”型缝中，达龄期后，将方块 1[#]，3[#]作为起吊点，同时起吊 3 个实验方块，如能

顺利起吊，不发生从预留缝处断裂散落现象，则说明修复材料具有良好粘结性能，灌浆方法是成功的，可以实施水下修复作业。

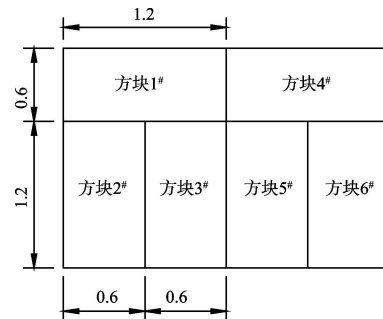


图 3 预制试验块放置示意图

3.3 验证材料对比

3.3.1 SIKA 公司材料

采用 SIKA 公司推荐的发泡树脂 SIKA INJECTION101 进行缝隙填充，再采用环氧型材料 SIKA INJECTION 420 对模拟裂缝进行灌注试验。

现场灌注时发现，SIKA INJECTION101 材料发泡后由于较轻，不能按预想要求就位，发生泡体漂浮现象，不能形成封闭，无法实施环氧浆材灌注。

3.3.2 BASF 公司材料

采用 BASF 公司推荐的 MASTERFLOW928UW 不离析灌浆材料对模拟安装缝灌浆，分步注浆后确保安装缝充填饱满，再采用环氧型材料对模拟裂缝进行灌注试验。

由于试验平台有潮差，灌注后发现，MASTERFLOW928UW 不离析灌浆材料尚未初凝，在海浪拍打后即发生流失现象，也不能形成封闭，无法实施环氧浆材灌注。

3.3.3 杭州国电材料

采用杭州国电公司推荐的 HK-963 水下环氧粘结剂对模拟缝进行灌注，未出现上述两种现象，灌注过程中虽 1[#]，2[#]方块外侧缝有部分材料流出，但由于其触变性能保证了充填效果，“T”型模拟缝填满约 3/4，并保持到终凝均未变化。14 d 后按预设方法进行起吊试验（图 4）一次成功，未出现从预留缝处断裂散落现象，达到了预期的试验效果，最终选择了 HK-963 水下环氧粘结剂作为项目修复材料。



图4 起吊试验

4 灌浆设备选择

因施工材料为黏稠膏状物具有一定的触变性, 且需经 20 m 以上的灌浆管道, 将浆液输送至水下 15 m 裂缝中, 再水平推进 5 m 以上, 要求设备能够提供稳定可调压力, 正常工作压力大于 4 MPa, 普通的化学灌浆设备对灌注浆液常要求为真溶液^[1], 而 HK-963 水下环氧粘结剂含有填料, 不能满足普通化学灌浆设备要求。通过对材料流态分析后, 认为采用螺杆挤出方式作为灌注压力提供是较为适合的。灌注设备选用 N2 型油漆腻子喷涂机, 在施工时采用螺杆泵进行挤出工作, 该设备可连续不断地通过螺杆旋转提供压力源, 同时螺杆转速可控, 可达到控制进浆速度的目的。灌浆管路采用高压灌浆管, 管道内径为 25 mm。经测试, 稳定出浆流量后, 该材料在 50 m 长管路中输送, 压力损失约为 2.5 MPa, 因此出口压力可达到 1 MPa 以上, 如管路较短压力损失会更小, 满足灌浆要求。N2 型螺杆泵技术参数见表 2。

表2 N2型螺杆泵技术参数

电压/ V	电机功 率/kW	输送压 力/bar	输送距 离/m	输送高 度/m	可接喷 涂管/m	料斗容 量/L
220	3	20	1~50	3~15	50	35

5 施工工艺^[2]

5.1 裂缝不与下层竖向安装缝贯通

基本工艺: 清缝→插管→密封→配料→灌注结构缝→分层灌注裂缝→扎管(图5)。

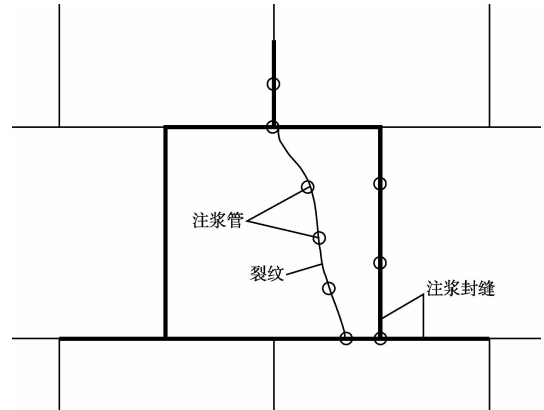


图5 裂缝与下层竖向安装缝不贯通

1) 清缝。

采用高压水和钢刷清除缝槽两侧混凝土面浮土、软体生物等影响粘结的杂物。

2) 插管。

沿裂缝间隔 50 cm 埋设高压注浆管, 在裂缝方块相邻的水平安装缝、竖向安装缝内间隔 40 ~ 60 cm 插入高压灌浆管, 并埋设灌浆观察管。注浆管预埋尽量深插, 不小于 15 cm, 在预埋注浆管之前, 沿着裂缝发展方向凿出凹槽, 对于较宽缝槽, 可直接将注浆管埋入缝内。灌注前应做好灌注点选择, 减小灌注阻力, 保证灌注效果。

3) 密封。

采用 SXM 水下快速密封剂、遇水膨胀橡胶止水条对安装缝、外侧竖缝、灌注竖缝进行密封处理。封缝材料塞入缝内深度不小于 3 cm, 并高出裂缝处混凝土面 2 cm, 其宽度不小于 10 cm 呈平滑连接, 在灌浆管处需加厚处理。

4) 配料。

因现场高温, 在灌注前需预先对 HK-963 水下环氧粘结剂进行预降温处理, 控制材料温度处于 20 ℃ 左右, 材料在灌注前 20 min 到场, 并保证材料随到随用, 最大限度减少因等候过程中受气温影响。

根据缝槽宽度选择合适的材料配比, 以满足灌浆料的稠度和可操作时间, 根据裂缝的长度、宽度及深度, 估算出灌浆材料体积, 按需配制灌浆材料, 避免浪费。

5) 灌注结构缝。

在裂缝灌注前,先对相邻安装竖缝和水平安装竖缝灌注 HK-963 水下环氧粘合剂,封堵相关结构缝,为裂缝灌注提供密闭空间。

6) 分层灌浆裂缝。

分次对水平安装缝和竖向安装缝进行定量灌浆再对裂缝灌浆。灌浆时采用低压连续灌浆,利用灌注材料的触变性,控制流动距离,使 HK-963 水下环氧粘合剂尽可能填满裂缝。

7) 扎管。

待灌浆观察管内出现 HK-963 水下环氧粘合剂或在定量灌浆结束后,将灌浆管绑扎封闭,进行下一道灌浆。

5.2 裂缝与下层竖向安装缝贯通

基本工艺:清缝→插管→密封→配料→灌注安装缝→分层灌浆裂缝→扎管(图6)。

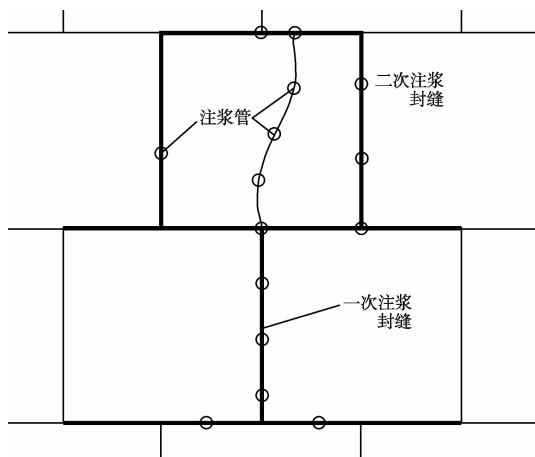


图6 裂缝与下层竖向安装缝贯通

先对与裂缝相通的下层安装缝进行定量灌注,使 HK-963 水下环氧粘合剂尽可能充填满安装缝后再进行上层结构缝的灌注。待裂缝所在方块下层及其周边安装缝灌注工作结束后再对裂缝进行低压连续灌浆,从下往上、分层灌注。

5.3 边角破损

基本工艺:裂缝修整→清洗→插管→密封→配料→灌注结构缝→灌注裂缝→扎管。

采用专用工具对局部破损缝口进行凿出修整。该类方块裂缝不长,发展浅,可在相应的方块边角裂缝中间和两端各设一个注浆管,在裂缝以外

的方块结构缝分设注浆管,分别对称于两端点(图7)。低压连续灌浆,先对裂缝以外的结构缝进行灌注,再对裂缝进行灌注,使 HK-963 水下环氧粘合剂尽可能填充破损块裂缝及周边安装缝、外侧竖缝,形成一个完整的受力体。

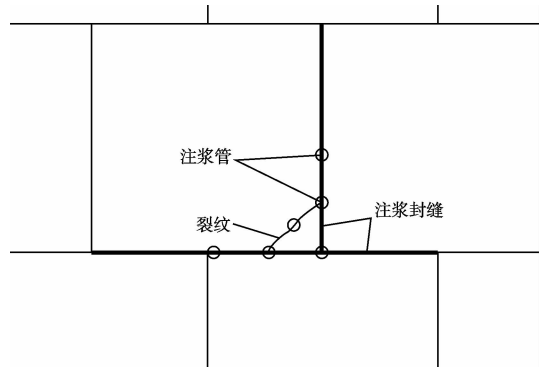


图7 角破损方块

5.4 灌注效果

灌注结束后,经水下录像检查,所有修复裂缝中均充盈有材料,达到了预期灌注的目的。

6 结语

在方块或沉箱等水下施工过程中,由于基床处理或互相碰撞等原因,产生破损和裂缝时有发生,在不影响整体安全的情况下,采取有效的修复措施十分必要。采用 HK-963 粘合剂和 SXM 水下快速密封剂相结合的处理方法和施工工艺对方块码头的裂缝方块进行修复。试验和施工现场检测结果表明,这种水下混凝土方块裂缝的修复技术可行有效,可供类似水下混凝土构件裂缝处理借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 包银鸿,程红,陆志华.水下混凝土缺陷处理的工法研究:材料部分[J].大坝与安全,2005(2):21-28.
- [2] 包银鸿.水下混凝土缺陷处理的工法研究:施工与应用部分[J].大坝与安全,2005(2):29-32.
- [3] 张捷.混凝土水下修补技术[J].大坝与安全,2004(5):8-13.