

重力式码头混凝土裂缝修补技术应用

丁志阳, 毕玉双, 胡志远

(中交一航局第五工程有限公司)

摘 要: 随着我国基建工程的迅速发展, 混凝土结构物裂缝问题越来越频繁的出现, 这引起了大众和业界的广泛关注。混凝土裂缝问题不仅对混凝土的外观有影响, 也对结构物的安全稳定有着深远的影响。为探究出有效的混凝土裂缝修补技术, 以东莞市虎门港麻涌港区海昌散杂货码头工程水工主体工程为依托, 进行了密封修补和灌浆修补 2 种技术的对比试验, 得到了一套较为完整的混凝土裂缝修补技术体系, 预防了裂缝的继续发展, 确保了结构物整体的安全稳定, 有效地解决了码头混凝土的裂缝问题。

关键词: 混凝土裂缝; 封闭修补; 化学灌浆

0 引言

混凝土是一种非均质的脆性材料, 当受到温度变化、干湿变化、不均匀沉降、结构损伤等因素作用时, 将产生裂缝, 从而引起渗漏、保护层剥落、钢筋锈蚀、混凝土碳化、结构强度降低等问题^[1]。尤其是贯穿性的混凝土裂缝, 严重影响工程结构的耐久性与使用寿命, 因此对混凝土裂缝修补至关重要。

采用封闭、灌浆修补混凝土裂缝已有几十年的历史, 应用技术也趋于成熟^[2]。近些年国内对混凝土裂缝的研究发展迅速, 但由于混凝土裂缝成因繁多, 所研究方向大多为多种技术的概括总结, 缺少针对特定修补技术的深入研究, 本文重点对密封修补及灌浆修补 2 种工艺进行阐述, 形成了一套行之有效的裂缝修补技术体系, 可为以后工程混凝土裂缝修补提供借鉴和参考。

1 工程概况

东莞市虎门港麻涌港区海昌散杂货码头工程水工主体工程包括 5 万吨级散货泊位 365 m, 过渡段 20.23 m, 南护岸 471 m, 北护岸 477.25 m, 东护岸 177.7 m, 南侧临时围堰 493 m, 码头面标高 +4.40 m, 港池底高程为 -15.5 m、-7.5 m 和 -4.5 m。

5 万吨级散货泊位(以下简称主码头)码头结构采用重力式方沉箱结构, 沉箱基础采用 10~100 kg 块石暗基床, 码头基础持力层为中风化泥岩, 基槽底标高为 -17.5 m, 抛石顶面标高为 -15.5 m, 基床采用水下重砣夯实。沉箱尺寸为 19.18 m×13 m×18.1 m(长×宽(带趾)×高), 趾长 1 m, 单个沉箱重 2 064 t, 共 20 座, 沉箱内回填中粗砂, 沉箱上部为现浇钢筋混凝土胸墙, 墙后抛填减压棱体, 棱体后回填中粗砂振冲密实, 码头面标高为 +4.4 m。主码头断面图见图 1。

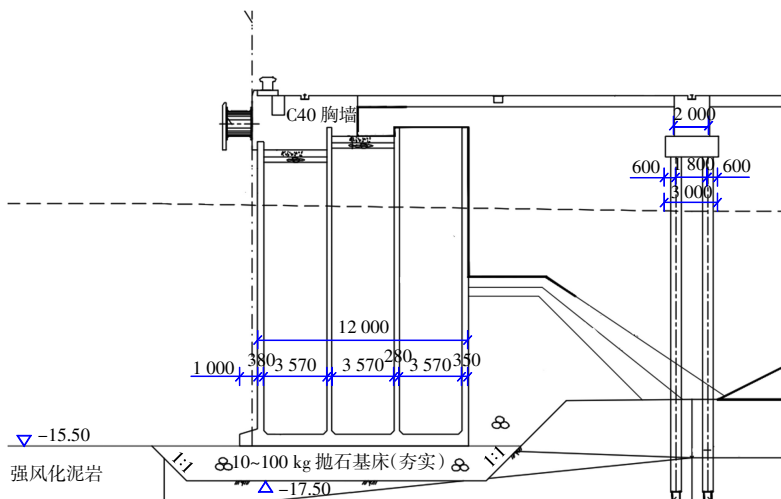


图 1 主码头断面图

主码头胸墙设计底标高为+1.3 m,顶标高为+4.4 m,单段胸墙长 19.23 m,宽 60 m,其中面层厚 60 cm;南、北护岸码头胸墙设计底标高为+1.3 m,顶标高为+4.4 m,其中面层厚 60 cm,单段胸墙长 17.52 m,宽 50 m;海昌二期预留段胸墙设计底标高为+1.3 m,顶标高+4.4 m,其中面层厚 60 cm,单段胸墙长 10.32 m,宽 6 m,胸墙结构悬挑出沉箱 30 cm,胸墙间设置 20 mm 厚沥青木板伸缩缝。

2 裂缝病害情况

主码头面层上裂缝较多,裂缝走向及分布不均匀、不规则,大部分裂缝分布在前轨后方面层上。迎水面胸墙裂缝较面层裂缝少,均垂直于码头前沿线,裂缝分布不均匀,走向不统一。南护岸、北护岸、东护岸出现的裂缝较主码头情况稍好,裂缝均不规则出现。委托有资质检测单位抽取码头面层 174 条裂缝,迎水面 50 条裂缝情况进行检测,码头裂缝宽度比例情况见表 1。

表 1 码头裂缝宽度比例表

检测项目	裂缝宽度/mm	所占比例/%
面层裂缝	<0.2	9.8
	[0.2, 0.3)	64.9
	≥0.3	25.3
迎水面裂缝	<0.2	14.0
	[0.2, 0.3)	20.0
	≥0.3	66.0

经长时间观察,码头裂缝形态、尺寸和数量均已稳定,裂缝不再发展。按 JTS/T 311—2023《港口水工建筑物修补加固技术规范》^[3]要求对其进行封闭及化学灌浆修补。

3 主要施工工艺

3.1 基本规定

根据《港口水工建筑物修补加固技术规范》规定,按裂缝宽度采用不同的修补方法,具体如表 2 所示。

表 2 裂缝修补适用范围表

适用范围	修补方法	修补材料
I 类裂缝(裂缝宽度<0.2)	暂时不修补	—
II 类裂缝(0.2≤裂缝宽度<0.3)	封闭修补	环氧基液、环氧砂浆
III 类裂缝(裂缝宽度≥0.3)	化学灌浆	环氧基液、环氧砂浆、灌浆液
注:对修补材料进行调色处理并试修补,使修补部位与实体颜色相近。		

3.2 修补材料、机具及配合比

裂缝修补的材料有环氧基液、环氧砂浆、灌浆液 3 种,根据使用部位的不同选定不同的原料和比例配置。本次工程需要用到的原料有膏体环氧树脂、液体环氧树脂、固化剂、砂子、水泥、丙酮及二甲胺基甲基苯酚(DMP-30),施工配合比如下:

- 1) 面层环氧基液^[4]施工配合比为膏体环氧树脂:固化剂:丙酮=1:1:1.5(质量比); 2) 面层环氧砂浆^[5]施工配合比为膏体环氧树脂:固化剂:砂子:水泥=1:1:2:1.5(质量比); 3) 迎水面环氧基液施工配合比为膏体环氧树脂:固化剂:丙酮:DMP-30=1:1:1.5:0.05(质量比); 4) 迎水面环氧砂浆施工配合比为膏体环氧树脂:固化剂:砂子:水泥:DMP-30=1:1:2:1.5:0.05(质量比); 5) 灌浆液^[6]施工配合比为液体环氧树脂:固化剂:丙酮=1:1:1.5(质量比)。

各修补材料性能指标见表 3。

表 3 修补材料性能指标表

名称	强度/MPa		硬化时间/h	备注
	1 d	3 d		
面层环氧基液	—	—	3.5	基液初步凝固便可进行环氧砂浆密封
面层环氧砂浆	44.3	53.3	5.5	—
迎水面环氧基液	—	—	2.0	基液初步凝固便可进行环氧砂浆密封
迎水面环氧砂浆	46.1	57.9	2.5	—
灌浆液	—	—	48.0	—

裂缝修补需一定数量机具,具体使用情况见表 4。

表 4 裂缝修补主要机具使用表

机具名称	规格型号	数量
空气压缩机/台	ZBM-0.1/8	1
裂缝宽度观测仪/台	ZBL-F130	1
裂缝测深仪/台	ZBL-F610	1
取芯机/台	Z1Z-200M	1
高压灌浆机及配件/套	LC-999	1
交通船/艘	—	1
自制低压灌浆机及配件/套	—	2
施工辅助小型器具/套	—	2

3.3 面层裂缝全部封闭修补施工工艺

本工程面层裂缝以 II 类裂缝为主,采用环氧基液配合环氧砂浆的封闭修补措施。

首先用钢丝刷将裂缝周围混凝土表面清理干净,露出坚实的混凝土表面。沿裂缝走向齐缝凿深度约 30 mm,宽度约 30 mm 的 U 形凹槽^[3]。清

除裂缝周围松散层、油污、浮灰和其他不牢附着物,随后用吹风机将槽中的水分吹干,确保槽内干净干燥。在槽内刷一层环氧基液,确保基液完全、均匀覆盖 U 形槽,且不流淌。准确称量、拌制封缝材料,待基液晾干后,对裂缝表面进行密封,对于开槽的裂缝采用一次压入,并使其略高出槽面,并抹平修整。

3.4 迎水面裂缝修补施工工艺

本工程迎水面裂缝以Ⅲ类裂缝为主,采用环氧基液、环氧砂浆配合灌浆液的灌浆修补措施。灌浆过程中采用以下 4 种方案进行对比试验,最终选出最佳方案。

1) 低压灌浆工艺 I

用钢丝刷将裂缝周围混凝土表面清理干净,露出坚实的混凝土表面。沿裂缝走向齐缝凿深度约 30 mm,宽度约 50 mm 的 U 形凹槽。清除裂缝周围松散层、油污、浮灰和其他不牢附着物,随后用吹风机将槽中的水分吹干,确保槽内干净干燥。在槽内沿裂缝走向、紧贴裂缝埋设 1 根直径 5 mm 电缆线(裂缝较长时可分多段埋设,埋设时线上刷层机油),电缆线上覆盖 2 cm 厚水泥砂浆。砂浆密封后,不定时从两侧缓慢拖拽电缆线,以防砂浆粘结电缆线。待水泥砂浆初凝前(砂浆不再具有流动性),将电缆线从一侧缓慢拽出,过程中若水泥砂浆出现开裂、坍塌等情况及时进行修补,最终形成一条下浆通道,在下浆通道孔洞处竖向埋设灌浆嘴,灌浆嘴埋设 3~4 cm,并确保密封良好。准确称量、拌制封缝材料,待砂浆终凝后,按竖向缝自下而上、水平缝自一端向另一端的顺序进行压力灌浆,灌浆压力为 0.2~0.8 MPa,采用一次压入,并使其略高出槽面,并抹平修整^[3]。

2) 低压灌浆工艺 II

沿裂缝走向齐缝凿深度约 30 mm,宽度约 30 mm 的 U 形凹槽,并确保槽内干燥、清洁。按 300~1 000 mm 间距设置灌浆嘴,在裂缝的端部、裂缝交叉处及贯穿裂缝处垂直打深 30 cm,直径 16 mm 孔洞,并将孔洞内杂物清理干净。打孔处垂直埋设灌浆嘴,并确保密封良好^[4]。在槽内刷环氧基液,确保基液完全均匀覆盖 U 形槽,且基液不流淌。待基液凝固后,按裂缝封闭修补方法对裂缝进行封缝处理,待密封胶强度满足要求后,进行压气检查灌浆嘴的连通和封闭效果^[5]。按竖向缝自下而上、水平缝自一端向另一端的顺序进行

压力灌浆,灌浆压力为 0.2~0.8 MPa。

3) 高压灌浆工艺 I

对于潮湿基层,先清扫积水,待基层全部清理干净、表面稍干时,仔细寻找裂缝,用记号笔沿裂缝做好标记;对于干燥基层,清理后可用气泵或吹风机吹除表面灰尘。在距离裂缝断面末端约 50~100 mm 位置处,沿裂缝方向一侧斜向成孔。孔距 300~500 mm,相邻两孔呈交叉状。钻孔时采用直径 14 mm,长度 350 mm 的加长型钻头,孔与裂缝断面成 45°~60°交叉,根据几何换算尺寸,算出理论钻孔深度,确保钻孔时钻透裂缝^[6]。止水针头埋设时用工具紧固,并保证针头的橡胶部分及孔壁在未使用前干燥,同时严格确保止水针头埋设深度不穿过裂缝。灌注浆液按竖向缝自下而上、水平缝自一端向另一端的顺序进行压力灌浆,灌浆压力为 14~28 MPa。当浆液从裂缝表面持续冒出,立即停止,移入第 2 枚继续灌注,依次向前进行。在灌注过程中,如浆液已灌满相邻针头位置,可以跳开不注;如注浆后发现裂缝两端仍有裂缝延伸,或有裂缝与其交叉,应在该位置补孔,重新注浆。为使裂缝完全灌满浆液,应进行二次注浆。第 2 次灌注与第 1 次灌注间隔 3~5 h,但必须在浆液凝固前完成^[7]。

4) 高压灌浆工艺 II

按高压灌浆工艺 I 方法找出裂缝并清除混凝土裂缝表面松散物和缝内异物,按低压灌浆工艺 II 裂缝封闭修补方法对裂缝进行封缝处理,并按高压灌浆工艺 I 进行钻孔及注浆操作。主要施工工艺流程为:施工准备→配合比配制→裂缝开槽→涂刷基液→环氧砂浆密封→裂缝两侧斜向成孔→灌浆液灌注→二次灌浆→取芯验证。

按上述 4 种工艺进行现场试验,分别抽芯验证灌浆效果。4 种工艺施工数据对比见表 5。

表 5 施工数据对比表

方案名称	压浆嘴 型号	压浆嘴 间距/mm	灌浆液 配合比	注浆压力/ MPa
低压灌浆工艺 I	牛油头嘴	1 000	液体环氧 树脂:固化 剂:丙酮= 1:1:1.5 (质量比)	0.2~0.8
低压灌浆工艺 II	牛油头嘴	300~500		0.2~0.8
高压灌浆工艺 I	A-15 止水针头	300~500		14.0~28.0
高压灌浆工艺 II	A-15 止水针头	300~500		14.0~28.0

上述 4 种工艺灌浆后取芯数据验证对比情况如表 6 所示。

表 6 灌浆取芯验证情况统计表

裂缝部位	工艺类型	灌浆方式	修补裂缝取芯位置	芯样长度/cm	芯样灌浆深度/cm	灌浆效果
迎水面裂缝	低压灌浆工艺 I	先表面密封后灌浆	自北向南,距 3 号系船柱北侧 5.9 m,距护轮坎 3 m	39	<5(浆液不饱满)	差
	低压灌浆工艺 II	未密封直接灌浆	自北向南,距 5 号系船柱南侧 6.3 m,距护轮坎 5.3 m	46	<5(浆液不饱满)	差
	高压灌浆工艺 I	未密封直接灌浆	自北向南,距 4 号系船柱南侧 4.4 m,临水面	30	>30(浆液较饱满)	较好
	高压灌浆工艺 II	先表面密封后灌浆	自北向南,距 1 号系船柱南侧 8.7 m,临水面	52	>52(浆液饱满)	好

经 4 种工艺现场施工数据对比及现场抽芯验证,低压灌浆工艺 I、II 基本无效果,无法将浆液灌入裂缝,高压灌浆工艺 I、II 效果明显,但高压灌浆工艺 II 浆液灌的更加饱满,故经多次试验及对比确定高压灌浆工艺 II 为最终修补方案。

4 应用效果

本工程修补 II 级裂缝采用封闭修补工艺,现场实际封闭效果较好,与裂缝结合紧密;修补 III 级裂缝采用高压灌浆工艺 II,根据现场抽芯情况,裂缝间隙浆液饱满,粘结层牢固,完美的与结构物形成整体。以上 2 种工艺均有效地阻止了裂缝的进一步发展,使结构物形成了完整的密封整体。高压灌浆工艺 II 修补后现场实际效果见图 2。



图 2 修补效果图

5 结语

本文对东莞市虎门港麻涌港区海昌散杂货码头工程水工主体工程码头混凝土裂缝的修补工艺进行了深入研究,针对不同类型裂缝选定技术方案,通过对比试验确定最佳工艺,并将此工艺成功应用于工程中,取得了良好的工程实践效果,对类似工程裂缝修补具有借鉴意义。虽然在密封修补及灌浆修补工艺中得到了技术最优方案,但仍有许多其他修补工艺值得深入研究。后续将对更多的修补工艺进行探索和研究,以期在工程实践中发现更高效、经济的修补方法,进一步提高混凝土结构的安全性和耐久性。

参考文献:

[1] 王万力,邵高峰,王昆泰.《混凝土裂缝修补灌浆材料技术条件》编制解读[J]. 中国建筑防水,2012(4):36-39.

[2] 杨斌,魏涛,李珍. 混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料及其标准[J]. 新型建筑材料,2008(4):71-74.

[3] JTS/T 311—2023,港口水工建筑物修补加固技术规范[S].

[4] JG/T 333—2011,混凝土裂缝修补灌浆材料技术条件[S].

[5] DL/T 5193—2021,环氧树脂砂浆技术规程[S].

[6] JCT 1041—2007,混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料[S].