重力式码头胸墙面层混凝土裂缝形态及控制措施

肖　维，王迎飞
（中交四航局第三工程有限公司，广东 湛江 524005）

摘要：针对重力式码头胸墙，通过不同阶段的观察统计，研究面层混凝土的开裂情况。根据形态特征将其分为主要裂缝、伴生裂缝以及次要裂缝 3 种类型，并结合各种裂缝的长度、深度以及宽度等特征，分析各种裂缝产生的原因及其危害性，并有针对性地提出裂缝控制措施。

关键词：重力式码头；胸墙；面层；裂缝；形态；控裂

中图分类号：U 655　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1002-4972(2015)10-0196-05

Crack form and crack control measures for surface concrete of crest wall in gravity quay

XIAO Wei, WANG Ying-fei
(The Third Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Zhanjiang 524005, China)

Abstract: The cracking of surface concrete is studied for the crest wall of gravity quay based on the observation and statistics of different stages. According to the crack form, cracks are divided into three types, i. e. the main crack, associated crack and secondary crack. The reasons and harm of cracks are analyzed, and relevant control measures are taken.

Keywords: gravity quay; crest wall; surface concrete; crack; form; crack control

华南地区某重力式码头为沉箱突堤式结构，上部为现浇厚度 50 ~ 80 cm 的面层混凝土。该码头胸墙面层混凝土在浇筑完成后的 7 d 龄期左右出现了不同类型、不同程度的裂缝[1-4]。现场采取增设防裂钢筋网、调整混凝土配合比、蓄水养护以及表面切缝等技术措施试图控制面层混凝土的开裂，但总体效果不明显。针对此情况，在面层混凝土浇筑完成后养护过程中密切监控面层裂缝的出现时间、部位、深度、长度以及发展情况等，为开裂原因的分析、裂缝控制与修补提供参考依据。

1　工程概况

该重力式码头标准结构段胸墙面层分段长度为 12.5 m，宽度为 17.26 m，胸墙内设 3 道管廊，胸墙顶部为现浇面层结构，该面层结构配置 2 层受拉钢筋，其中第 1 层受拉钢筋布置于面层结构上表面，第 2 层受拉钢筋布置于管廊上方。胸墙断面如图 1 所示。

面层混凝土强度等级为 C40，面层采用皮带机输送方式进行混凝土浇筑，单段面层混凝土浇筑方量约 120 m^3，受天气情况影响混凝土浇筑温度 32 ~ 35 ℃。采用 P·O42.5 水泥、Ⅱ级粉煤灰、S95 级矿粉、5 ~ 40 mm 连续级配碎石、中粗河砂以及聚羧酸减水剂配制面层混凝土，并掺入 1.1 kg/m^3改性聚酯纤维提高混凝土抗裂性能，混凝土配合比如表 1 所示。

收稿日期：2015-02-27

作者简介：肖维（1972—），男，高级工程师，从事港口航道工程、公路桥梁施工工作。

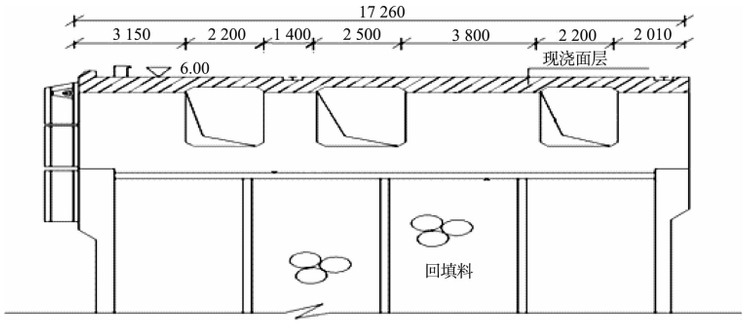

图 1　胸墙结构断面（尺寸：mm，高程：m）

表 1　面层混凝土配合比　　kg/m^3

水泥 P·O42.5	粉煤灰 Ⅱ级	矿粉 S95	碎石 5～40	中砂	拌合水	聚羧酸减水剂	改性聚酯纤维
256	76	68	1 123	689	148	4.8	1.1

2　裂缝情况

按照胸墙面层混凝土龄期发展分 2 个阶段对裂缝形态特征进行观察：第 1 阶段是在每段面层混凝土浇筑完成 14 d 内进行观察统计，记录每条裂缝出现的位置、走向、长度以及最大宽度；第 2 阶段是在面层混凝土浇筑完成 4 个月之后，再次对第 1 阶段出现的裂缝进行观测，确定经过 4 个月龄期各裂缝走向是否发生变化、长度与宽度是否发生扩展。

胸墙面层混凝土裂缝有 3 种形态：第 1 种裂缝垂直码头长度方向，位于单跨面层跨中以及约 1/4 处，裂缝较长，是码头面层混凝土开裂的主要形式，称之为“主要裂缝”；第 2 种裂缝主要出现在面层人孔及活动盖板孔的附近，大多位于人孔、盖板孔的中部或边角，部分裂缝与盖板孔轴线呈 45°角，称之为“伴生裂缝”；第 3 种裂缝为不规则裂缝，这种裂缝较短，大多与前 2 种裂缝交叉相连或位于附近，部分裂缝甚至沿着码头轴线方向延伸，与第 1 种裂缝垂直相交，称之为“次要裂缝”。北侧与南侧码头胸墙面层混凝土的裂缝分布情况分别如图 2 与图 3 所示，北侧与南侧码头二十段胸墙面层共计出现 93 条可见裂缝。

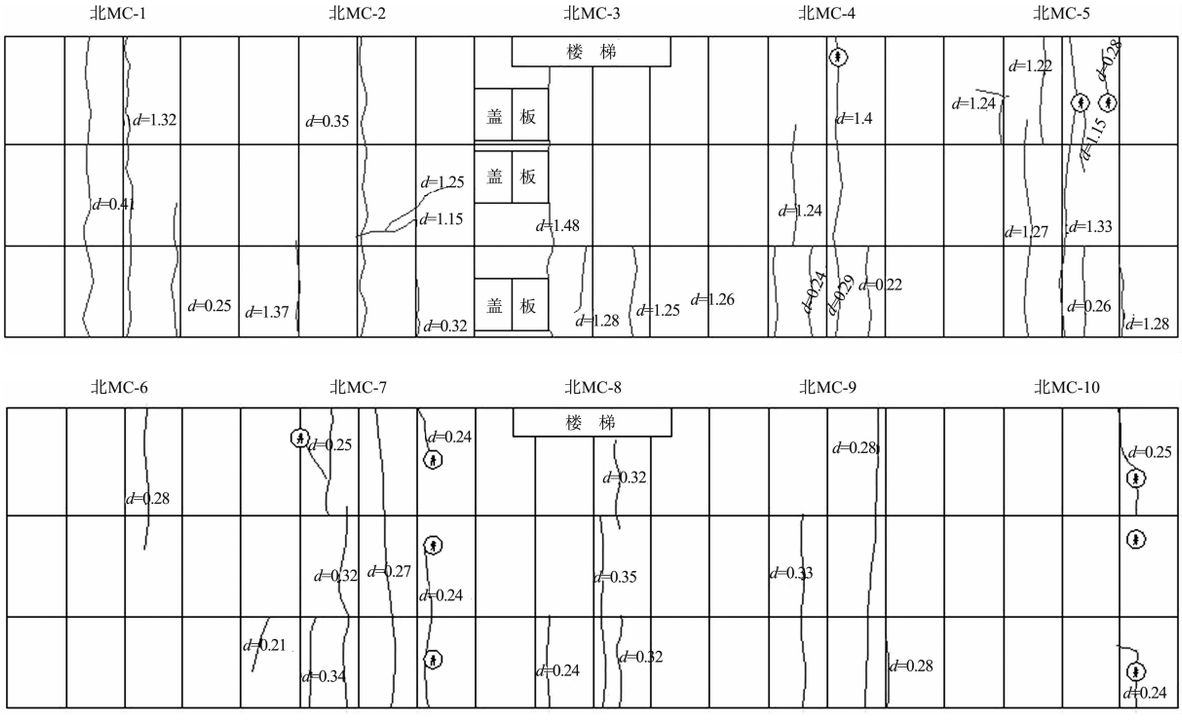

图 2　北侧码头 1#～10#胸墙面层裂缝分布（单位：mm）

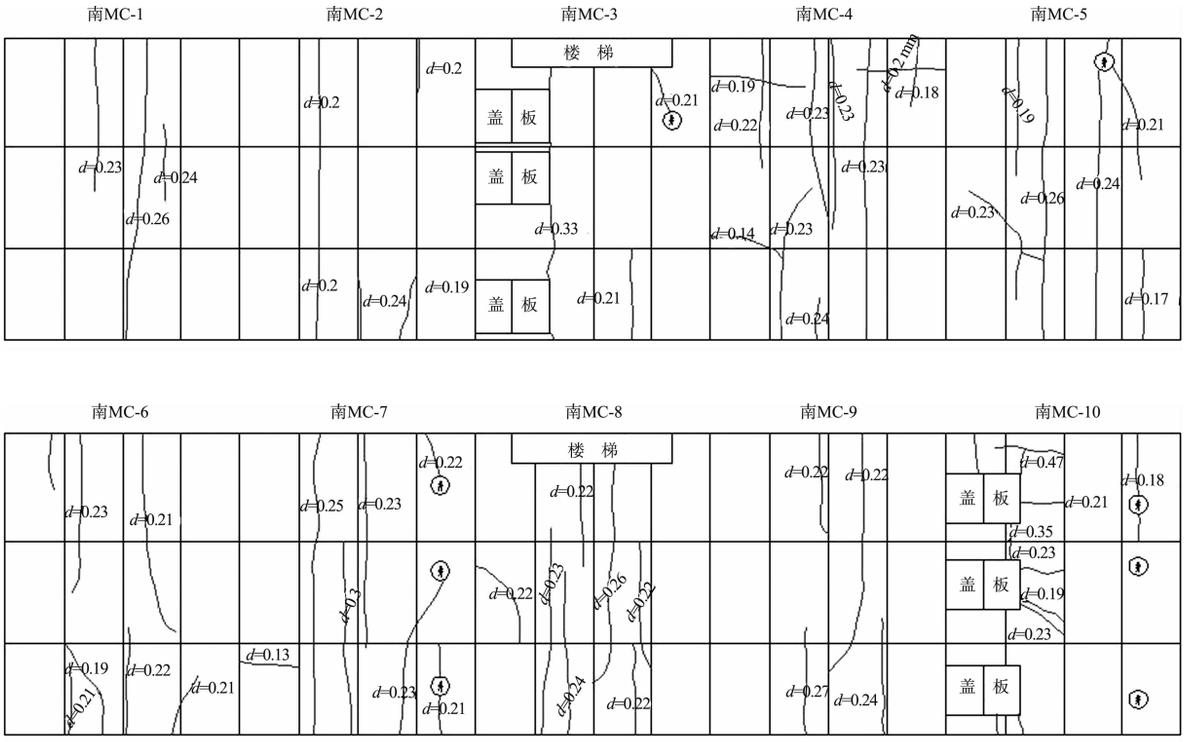

图 3　南侧码头 1# ~ 10#胸墙面层裂缝分布（单位：mm）

3　裂缝分类及特征

3.1　主要裂缝

主要裂缝形态如图 4 所示，大多在混凝土浇筑完成后的 3 ~ 7 d 龄期内出现，位于单跨面层跨中以及约 1/4 处，沿码头宽度方向延伸发展，裂缝较长，均大于面层宽度的 2/3，甚至沿垂直码头长度方向横跨整个面板，这种裂缝在北侧与南侧码头 20 段胸墙面层共计出现 33 条。这种裂缝源于胸墙对面层底部混凝土的强约束，基本由下至上贯通，在面层的上表面呈现出跨越切缝与轨道槽，整条裂缝连通的形态，属于贯穿性裂缝。这种裂缝宽度较大，大部分宽度大于 0. 2 mm，甚至部分裂缝超过 0. 3 mm，并在约束作用下呈现底部裂缝窄、表面裂缝宽的裂缝宽度变化形式。第 1 种裂缝并不是数量最多的裂缝，但其长度和深度最大、宽度也较大，是影响面层混凝土外观、耐久性以及承载力的主要裂缝，也是码头面层混凝土开裂的主要形式，更是导致其它裂缝产生、扩展并相互交叉连接的主要原因。主要裂缝附近经常会伴随出现其它种类的裂缝。

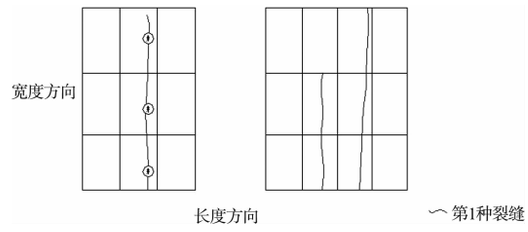

图 4　主要裂缝形态

胸墙面层混凝土受到的约束主要源于底部，四周约束可忽略。面层混凝土直接浇筑于胸墙混凝土顶部，面层混凝土与胸墙混凝土浇筑间隔在半年以上，与胸墙混凝土直接接触部分受到胸墙混凝土的强约束。位于 3 道管廊上方的面层混凝土由木模板支撑，受木模板弱约束。根据面层底部强约束、弱约束分区，面层混凝土可分为 4 个强约束区和 3 个弱约束区。

胸墙面层为典型的平板式混凝土结构，厚度较小而表面积较大，在硬化过程中混凝土水化热损失快、收缩大。面层混凝土与其下部胸墙混凝土浇筑间隔很长，胸墙混凝土强度以及收缩均已充分发展，面层混凝土浇筑后，其温度与收缩引起的体积变形在胸墙混凝土强约束作用下产生拉应力，并且

随着面层混凝土龄期逐渐增大，当拉应力达到一定程度后即在面层长度方向的中部产生向表面发展并沿面层宽度方向的贯穿性裂缝。虽然这种裂缝是由下至上扩展的，但底部约束明显强于表面。由于约束对裂缝宽度具有显著的限制作用，所以这种裂缝表现出“上宽下窄”的形态（图4）。

虽然引起这种主要裂缝的拉应力主要集中在强约束区，但当裂缝产生时，会迅速向弱约束区发展，穿过弱约束区，并与由另外一段强约束区发展而来的裂缝连接。当 4 个强约束区形成的裂缝均向弱约束区发展时，将形成贯通面层混凝土宽度方向的裂缝。

3.2　伴生裂缝

伴生裂缝形态如图 5 所示，其出现时间略晚于主要裂缝，位置在面层人孔及活动盖板孔附近，大多位于人孔、盖板孔的中部或边角。这种裂缝大多与主要裂缝延伸方向一致，沿码头宽度方向发展，也有部分裂缝与盖板孔轴线呈 45°角。在 20 段胸墙面层共计出现 19 条。这类裂缝并不长，长度大多小于面层宽度的 1/3，但其深度与宽度变化较为复杂。由于这类裂缝主要出现在人孔、盖板孔的中部或边角等约束、应力集中部位，所以裂缝的发展形式多样，裂缝宽度集中在 0.2 ~0.3 mm。相对于主要裂缝，这种裂缝深度变化较大，大部分裂缝由人孔、盖板孔为中心向面层深处发展，但大部分并未贯通面层整体，属于深层裂缝。次要裂缝与主要裂缝应力释放程度密切相关，只是在少量的面层混凝土人孔、盖板孔附近出现，是数量最少的裂缝。虽然这类裂缝较少，但这类裂缝是深层裂缝，影响面层混凝土的外观及耐久性。

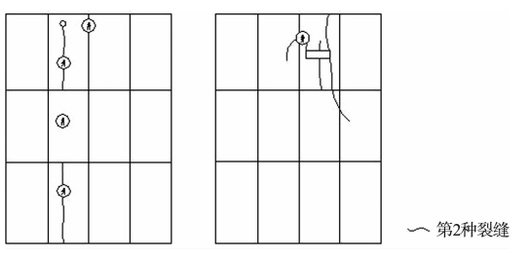

图 5　伴生裂缝形态

温度与收缩引起的体积变形受突变约束或集中约束影响，在面层的人孔、盖板以及轨道槽附近有较大的拉应力出现。但与受底部约束产生的拉应力有所不同，其引起的裂缝是由上表面向面层内部扩展，并逐渐延展到远离集中约束的位置。因此，这种伴生裂缝的深度与长度均明显小于主要裂缝。

3.3　次要裂缝

次要裂缝为不规则裂缝，方向变化多样，但大部分沿着码头长度方向延伸，位于第 1 种、第 2 种裂缝附近或与之交叉相连，并有部分裂缝由面层边缘向内部扩展（图 6）。次要裂缝基本上和主要裂缝同时出现在面层表面，虽然数量略多，但其长度明显比主要裂缝小，并稍长于伴生裂缝，且其最大长度不超过面层长度的 3/4。次要裂缝主要出现在面层上表面，为浅层裂缝，深度小于 20 mm，均未向面层的深处扩展。次要裂缝的宽度小于主要裂缝与伴生裂缝，裂缝宽度大多集中在 0.2 mm 附近。次要裂缝的数量最多，但其深度明显比前 2 种裂缝浅，虽然对面层混凝土外观影响较大，而对面层混凝土耐久性以及承载力的影响最小，可视为无害裂缝[5]。

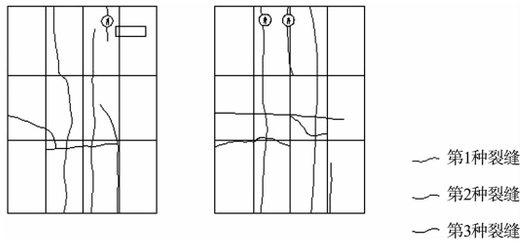

图 6　次要裂缝形态

面层混凝土在外界高温和干燥等环境因素影响下，表面混凝土收缩大而内部混凝土收缩小，内外混凝土收缩不同步。当在表面产生超过混凝土抗拉强度的拉应力时，便引起次要裂缝的产生。次要裂缝一般出现在收缩较大的部位，如面层表面与空气直接接触的部分、面层四周以及边界等位置。

4　裂缝控制措施

在约束作用下，面层混凝土在硬化过程中因温度变化及收缩而产生较大的拉应力，导致面层混凝土结构出现不同类型的裂缝。为控制面层混凝土结构裂缝的产生，同时从以下几方面着手降

低混凝土硬化过程中拉应力，取得了显著的控裂效果，各种裂缝的产生减少了 80% 以上。

1）缩短浇筑长度。

在保持其他结构尺寸及设计施工条件不变的情况下，将每跨面层混凝土浇筑长度降低为 6.25 m。缩短面层混凝土浇筑长度，可以降低强约束区对面层底部的约束，达到降低长度方向温度收缩应力的目的，显著减小主要裂缝出现的几率。

2）配合比优化。

虽然目前面层混凝土采用混掺粉煤灰与矿粉的胶凝材料体系，但粉煤灰与矿粉在胶凝材料中所占比例偏低，没有充分发挥出矿物掺合料降低水化热、降低混凝土收缩的作用。通过配合比优化，将胶凝材料用量降低至 380 kg/m^3，并增加粉煤灰与矿粉的比例，显著提高了面层混凝土的抗裂性能，减小主要裂缝、伴生裂缝及次要裂缝出现的几率(表 2)。

表 2　面层混凝土优化配合比

胶凝材料用量/(kg·m^{-3})	水胶比	水泥/%	粉煤灰/%	矿粉/%	砂率/%	聚羧酸减水剂/%	改性聚酯纤维/(kg·m^{-3})
380	0.37	50	25	25	36	1.2	1.1

3）保温保湿养护。

面层为典型的薄板式大体积混凝土结构，外界环境极大促进了面层混凝土硬化过程中拉应力的增加。在缩短浇筑长度的基础上，采取覆盖双层土工布 + 蓄水进行保温保湿养护，在混凝土浇筑完毕后立即覆盖潮湿土工布进行早期养护，混凝土强度达到 3.5 MPa 以后，顶面混凝土覆盖双层土工布并在面层顶面四周粘贴聚乙烯泡沫形成包围圈，中间蓄常温水养护。管廊底模混凝土达到设计强度的 70% 以上拆除，侧模板在混凝土强度满足 3.5 MPa 后进行拆除，模板拆除后立即采用双层土工布进行包裹，自来水潮湿养护。

面层混凝土的保温保湿养护，降低了阳光、大风等外界环境的影响，减少了主要裂缝、伴生裂缝及次要裂缝的出现。

4）表面切缝。

当面层混凝土强度达到 10 ~ 15 MPa 时，按照设计分缝线进行测量放线，采用混凝土割缝机对线进行切割分块，切缝宽度为 5 mm，深度为 30 mm，完成切割作业后用淡水冲洗干净泥浆及尘埃，风干后进行填缝。

5　结论

1）受施工条件影响，重力式码头胸墙大多采用分层浇筑工艺，其面层混凝土与胸墙混凝土浇筑时间间隔很长，在各种约束作用下，面层混凝土出现了较为严重的开裂现象。

2）受底部约束影响，面层混凝土的主要裂缝多在混凝土浇筑完成后的 3 ~ 7 d 龄期内出现，沿码头宽度方向延伸发展，裂缝的长度和宽度大，在宽度方向以及深度方向均贯穿整个面层，对面层混凝土的外观、耐久性以及承载力均有显著的不利影响。

3）受突变约束或集中约束影响，伴随着主要裂缝在面层的人孔、盖板以及轨道槽附近出现沿码头宽度方向延伸发展的伴生裂缝，其深度与长度均明显小于主要裂缝，对混凝土的外观、耐久性以及承载力有一定的负面影响。

4）受内外混凝土收缩不同步的影响，在面层混凝土与空气接触表面出现的不规则次要裂缝属于浅层无害裂缝。

5）针对面层结构不同类型的裂缝，采取了缩短浇筑长度、优化混凝土配合比、保温保湿养护以及表面切缝措施，将裂缝数量降低了 80% 以上。

参考文献：

[1]　王成启. 码头面层混凝土干燥收缩试验研究[J]. 水运工程, 2012(7): 62-66.

[2]　季辉, 李超, 熊建波. 重力式码头胸墙混凝土的早期温度应力计算及应变监测[C] // 中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土分会混凝土耐久性专业委员会. 第七届全国混凝土耐久性学术交流会论文集, 2008: 518-525.

[3]　熊建波, 邓春林, 徐兆全, 等 . 海港重力式码头胸墙和面层混凝土裂缝控制[J]. 中国港湾建设, 2014(4): 30-33.

[4]　昌红霞, 柳光. 重力式码头胸墙裂缝质量通病的防治[J]. 水运工程, 2007(S1): 33-40.

[5]　杨文科. 现代混凝土科学的问题与研究[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012: 93-99.

（本文编辑　郭雪珍）