



船闸工程混凝土裂缝控制技术

邓春林¹, 范洪浩^{2,3}, 张琴飞³, 华建飞⁴

- (1. 中交四航工程研究院有限公司, 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230;
2. 衢州市港航管理局, 浙江 衢州 324000; 3. 衢州市衢江航运开发工程建设指挥部, 浙江 衢州 324000;
4. 浙江省第一水电建设集团股份有限公司, 浙江 杭州 310051)

摘要: 随着河流航运的发展, 船闸的数量逐渐增多, 船闸的尺寸逐渐增大, 混凝土裂缝问题日益突出。预防大体积混凝土产生裂缝, 防止混凝土内部钢筋发生锈蚀, 对保障船闸工程寿命至关重要。从船闸工程的结构特征入手, 分析船闸混凝土裂缝产生的原因, 从混凝土原材料、配合比、混凝土温度控制、施工工艺和构造设计等方面提出混凝土裂缝的控制措施。

关键词: 船闸; 混凝土; 裂缝控制; 温度

中图分类号: TV 431

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0123-05

Cracks control of concrete for locks

DENG Chun-lin¹, FAN Hong-hao^{2,3}, ZHANG Qin-fei³, HUA Jian-fei⁴

- (1. Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology, Ministry of Communications, CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;
2. Quzhou Port and Waterway Management Bureau, Quzhou 324000, China;
3. Qujiang Shipping Development Project Construction Headquarters of Quzhou, Quzhou 324000, China;
4. Zhejiang Provincial No. 1 Water Conservancy & Electric Power Construction Group Holdings Co., Ltd., Hangzhou 310051, China)

Abstract: With the development of river shipping, the number of locks gradually increased and the lock's sizes are increased. The concrete crack becomes a prominent problem day by day. Prevention of concrete cracks and reinforcement corrosion is of vital importance to guarantee the service life of lock projects. This paper analyzes the cause of concrete crack of lock engineering, and control measures for concrete cracks are put forward from the control of raw material and mix proportion of concrete, temperature control, construction technology and constitution design.

Keywords: lock; concrete; cracks control; temperature

20世纪80年代以前, 国内主要以单级船闸为主, 水头一般在5 m以下, 闸室长度一般为30~100 m, 闸室宽一般为9~13 m, 闸首门宽一般为4 m左右, 闸首结构形式一般为混凝土结构^[1]。到2010年时, 国内已建成船闸900多座, 其中大中型船闸300余座^[2]。

随着河流的开发和航运的发展, 船闸的数量

逐渐增多, 尺寸逐渐增大, 技术水平也逐渐提高。目前, 国内规模较大的船闸包括三峡船闸和葛洲坝等船闸。三峡船闸总长6 456 m, 其中上游引航道2 113 m, 下游引航道2 722 m, 船闸主体段1 621 m; 每线船闸主体段由6个闸首和5个闸室组成, 最大水头为113 m, 每个闸室长280 m × 34 m × 5 m^[3]。葛洲坝船闸是为配合三峡工程建造

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 邓春林(1982—), 男, 高级工程师, 从事混凝土裂缝控制工作。

的反调节航运梯级工程,葛洲坝1号船闸设计规模3 000吨级,最大工作水头为27 m,闸室有效尺度 $280\text{ m}\times 34\text{ m}\times 5\text{ m}^{[4]}$,与三峡船闸一致。

从2000年开始,京杭运河苏北段进行了全面扩容升级,苏北段有8个船闸完成了复线到三线的改造,目前已全部投入运营。珠江西江黄金水道近年来也进行了大幅度的航道整治和船闸扩建,位于广西梧州的长洲三线、四线船闸正在建设之中,设计3 000吨级,是有效尺寸 $340\text{ m}\times 34\text{ m}\times 6.3\text{ m}$ 的大型船闸^[2]。钱塘江航运复兴工程也已全面开工建设,规划按照Ⅳ级航道标准建设桐庐到衢州的钱塘江中上游航段,使其通行500吨级船舶,门槛水深达到4 m以上^[5],下游的富春江船闸,衢州境内的红船豆船闸、安仁铺船闸、小溪滩船闸等船闸已全面开工建设。

船闸由设有闸门和阀门的闸首、放置船舶的闸室、导引船舶入闸室的上游及下游引航道、为闸室灌水与泄水的输水系统,以及闸门与阀门的启闭机械和控制系统组成^[6]。船闸闸首、闸室尺寸一般较大,混凝土开裂问题比较普遍。

1 船闸混凝土裂缝原因

1.1 船闸工程结构特征

船闸工程的闸首、闸室一般为钢筋混凝土底板和边墩组成的整体坞式结构,混凝土配筋率较低,构件尺寸较大。国家标准中,大体积混凝土是指混凝土结构物实体最小尺寸大于1 m的大体量混凝土,国内某船闸工程输水廊道边墩厚度达4 m、闸首底板和闸室底板厚度达3 m、闸墙厚度达3 m,大部分构件属于大体积混凝土。输水廊道是船闸土建工程最重要的组成部分,断面结构十分复杂,尺寸较大,是典型的异型大体积混凝土结构,水化热问题较严重,约束条件也比较复杂。

根据国内某船闸验收阶段的裂缝统计结果,船闸工程的输水廊道顶部和侧墙、闸首底板、边墩、闸室底板、闸室墙、闸首门槛等大体积混凝土

构件易产生不同程度的裂缝,且数量较多,裂缝问题已成为船闸工程建设中主要的质量通病之一。预防大体积混凝土产生裂缝,防止混凝土内部钢筋发生锈蚀,对保障船闸工程寿命至关重要。

1.2 船闸工程混凝土裂缝原因

导致大体积混凝土开裂的主要因素有水化热、温差、混凝土收缩、约束等。裂缝是水工建筑混凝土结构中普遍存在的现象,不同的部位出现裂缝的原因各不相同,如材料、设计、施工等方面原因^[7]。船闸大体积混凝土结构产生裂缝的主要原因如下:

1) 结构配筋不足。在闸室中,闸墙一般为宽高的薄壁构件,且在墙体中需设置船槽、系船钩等构件,虽然沿长度方向布置了施工缝,但由于设计要求混凝土保护层较厚,虽然钢筋满足受力要求,但设计阶段有时欠缺考虑构造配筋的裂缝控制作用,导致某些区域出现混凝土裂缝。

2) 混凝土配合比不当。在一些船闸中,采用泵送混凝土、混凝土坍落度过大、水泥用量较大导致混凝土水化热太高、混凝土收缩率较大、骨料级配设置不合理等因素导致大体积混凝土结构易出现裂缝。

3) 浇筑工艺不当。一些需要分层浇筑的大体积混凝土结构,若浇筑速度太快,下层混凝土在硬化初期可能发生沉降,产生横向裂缝,也可能因为底层混凝土浇筑完成后,经过很久才浇筑上一层混凝土时,底部混凝土约束容易导致上层混凝土产生竖向的约束型裂缝。

4) 混凝土温度收缩。大体积混凝土浇筑完成后,水泥的水化热使混凝土内部温度升高,夏季中心最高温度可达70℃以上,中心温度降低速度较慢,表面降温速度较快,混凝土中心与表面产生较大的温度梯度,导致混凝土表面收缩应力大于混凝土的抗拉强度时,易出现肉眼可见的温差收缩裂缝。

5) 混凝土塑性收缩。在混凝土初凝前由于水

分蒸发,内部的水分不断向表面迁移,使混凝土在塑性阶段体积收缩,在混凝土内部水分向表面迁移供应不上蒸发量的情况下,混凝土表面失水干缩受内部混凝土的约束,表面会出现不规则的塑性收缩裂缝。或者当混凝土出现泌水现象,在重力作用下混合料中的固体颗粒有向下沉降而水向上浮动的倾向,这种移动当受到钢筋骨架或模板的约束时,在浇筑上表面容易形成沿钢筋长度方向的裂缝。

6) 地基不均匀沉陷。船闸底板裂缝的产生有时是因为地基不均匀沉降所引起,施工和运行阶段的静荷载和动荷载可能会导致裂缝发育扩大。

2 船闸混凝土裂缝控制技术

通过对船闸工程混凝土出现裂缝的原因分析,目前国内主要从混凝土原材料、配合比、温度控制和施工工艺等方面采取相应措施,以避免或减少混凝土出现裂缝:通过优化混凝土配合比,降低混凝土绝热温升、减小混凝土收缩、提

高混凝土极限抗拉强度;通过控制混凝土的入模温度、冷却水降温,表面保温等控制混凝土温升和温差;通过合理的分层、分块优化改善混凝土约束条件;等等。

2.1 混凝土材料组成控制

混凝土材料组成对大体积混凝土的裂缝控制至关重要,目前船闸工程主要以配制低热低收缩混凝土作为主要技术手段。在控制混凝土温度方面:在混凝土强度满足要求的情况下,尽量采用中低热水泥,降低混凝土水泥用量,掺入适量粉煤灰、磨细矿渣粉等掺合料以降低混凝土的绝热温升;在控制混凝土收缩方面:尽量采用大粒径的粗骨料,并调整各级骨料粒径使达到最紧密堆积,采用低含泥量骨料,尽量降低砂率,降低混凝土水胶比,采用低坍落度混凝土等。表1为国内部分已建船闸工程混凝土配合比,其中京杭运河万年闸船闸因为水泥用量较大、骨料级配不合理、水胶比较大导致施工阶段混凝土产生了较多裂缝。

表1 国内部分已建船闸混凝土配合比

船闸名称	混凝土等级	水泥量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	粉煤灰/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水胶比	砂率/%	骨料粒径/mm	坍落度/mm
邵伯三线 ^[8]	C25	297	29	0.47	41	二级配 5~31.5	120~140
台儿庄 ^[9]	C20	230	58	0.45	25	三级配	60~80
万年闸 ^[9]	C20	350		0.60	45	单级配 20~40	160~200
谏壁二线 ^[10]	C20	280	70	0.49	40	三级配 5~40	140~160
三峡 ^[11]	R ₉₀ 250号	160	69	0.45	32	三级配	50~70
三峡 ^[11]	R ₉₀ 200号	144	62	0.50	33	三级配	50~70
株洲 ^[12]	底板 C20	123	66	0.45	21	三级配 5~120	
株洲 ^[12]	墙身 C20	134	57	0.47	25	二级配 5~80	
红船豆	C25	244	131	0.47	48	二级配 5~31.5	140~160
安仁铺	C25	278	70	0.44	36	二级配 5~31.5	50~70

2.2 混凝土温度控制

大体积混凝土温控主要从控制混凝土入模温度和最高温度,控制内表温差等方面着手。根据JTS 202-1—2010《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》的要求,大体积混凝土施工阶段的温度指标宜满足下列要求:浇筑温度不高于

30℃,不低于5℃;内表温差不大于25℃,内部最高温度不大于70℃;混凝土块体降温速率不大于2℃/d。三峡永久性船闸最高温度控制指标是:基础强约束区不超过31℃,上部不超过35℃。该工程通过加冰、冰冻骨料、加冷却水等措施满足设计要求,但成本较大。

除三峡船闸外,目前国内建设的船闸采用加冰和冷冻骨料降温措施的工程并不多,夏季混凝土的入模温度有的超过 30 ℃,内部最高温度超

过 60 ℃,但是大量工程的裂缝控制也取得了较好的效果。表 2 为国内部分船闸混凝土温度控制数据。

表 2 国内部分船闸混凝土温度数据

工程名称	出机温度/℃	浇筑温度/℃	最高温度/℃	最高温出现时间/d	内外温差/℃	冷却水管温度/℃
株洲 ^[13]		26	56.4	3.3	21.7	
谏壁二线 ^[10]		32~34	61.0	2.5		
淮阴三线 ^[14]		28.3	54.9	2.5	13.1	
三峡 ^[11]	7	13	34.0	4.0		6~8
桂平船闸		31.2	54.5			
荆州船闸		23	50.9			

控制混凝土浇筑温度的措施主要有:1)加冰;2)延长水泥储存时间;3)适当提高砂的堆积高度,使用前剥离表层 1 m 左右砂;4)粗骨料喷淋降温;5)避开 11:00~19:00 时间段浇筑等。

控制混凝土内表温差的措施主要包括:1)通冷却水,一般可降低最高温度 2~4 ℃;2)尽量在 3~4 d 后拆模,拆模后采取表面保温措施等。

2.3 施工工艺与构造措施

一般认为,温度应力有 2 种:内部约束应力和外部约束应力。内部约束应力由混凝土断面内温度梯度而造成。由于内部约束应力的作用,在混凝土表面产生不规则的裂缝。外部约束应力是混凝土发生体积变化时,混凝土受到外部约束而产生的应力。外部约束应力作用下的混凝土产生的裂缝,常常形成垂直于约束面的裂缝,且经常

是贯通整个混凝土断面的裂缝^[15-16]。闸室墙倒角裂缝一般为竖向裂缝,大多位于分段长度 L 的 1/2 或 1/3 处,属于典型的规则裂缝,这类裂缝主要是外部约束应力导致。

控制外部约束应力裂缝的措施主要有两个方面:隔离或降低约束,提高混凝土的体积稳定性。混凝土体积稳定性即前面提到的混凝土材料措施和温度控制措施;约束问题则主要与设计施工工艺密切相关,通过合理的分块、分段、分层,设置滑动层等方法减小约束应力。滑动层的做法有:涂刷两道热沥青加铺一层沥青油毡,或铺设 10~20 mm 厚的沥青砂,或铺设 50 mm 厚的砂或石屑层(或涂两层海藻酸钠)等。最大限度降低底部和端部约束,往往对混凝土约束裂缝控制有决定性作用。

国内部分船闸混凝土施工工艺如表 3 所示。

表 3 国内部分船闸闸室施工工艺

工程名称	闸室底板厚度/m	分段长度/m	强度等级	闸墙混凝土分层高度/m	分块优化方案
三峡 ^[3]	5.3~10.2	12	C25	分层为约束区 1.5~2,非约束区 3	底板从 12 m×30 m 改为 12 m×15 m 两段;衬砌墙由 12 m×45 m 改为 12 m×15 m 三段
邵伯三线 ^[8]		20	C25	闸室分 2 层浇筑,高度为 2.1、9.8	
红船豆	2.5	15	C25	第 1~5 层分别为 2.0、3.3、3.35、3.35、2.8	底板 15 m×29 m
安仁铺船闸	2.5	15	C25	第 1~3 层分别为 1.8、5.6、5.6	底板 15 m×29 m 分成 15 m×13.5 m 两块,中间加 2 m 宽后浇带

3 结语

1) 船闸工程混凝土裂缝控制应根据结构特点及引起混凝土出现裂缝的原因,制定相应的技术措施。

2) 船闸混凝土裂缝控制措施主要从混凝土材料组成、温度控制、施工工艺和构造措施等方面考虑。

3) 通过对船闸混凝土进行合理的分块、分段、分层,设置滑动层等方法减小约束应力是混凝土裂缝控制的有效措施。

参考文献:

- [1] 葛明贤. 国内船闸建设概况[J]. 水运工程, 1979(9): 32-35.
- [2] 谢凯. 我国船闸建设分析与思考[J]. 交通信息与安全, 2010, 28(6): 69-72.
- [3] 杨宗立, 徐长义, 陈俊波. 三峡工程永久船闸混凝土施工及质量控制[J]. 水力发电, 2000(6): 34-37.
- [4] 杨本新, 李江鹰. 葛洲坝1号船闸混凝土裂缝成因及加固研究[J]. 人民长江, 2003, 34(2): 29-31.
- [5] 浙江省交通规划设计研究院. 钱塘江中上游衢江(衢州段)航运开发工程初步设计总报告[R]. 杭州: 浙江省交通规划设计研究院, 2009.
- [6] 马青春. 三峡船闸混凝土施工的几项重点技术[J]. 水利水电技术, 2004, 35(7): 5-8.
- [7] 朱平. 船闸工程闸室侧墙裂缝分析与处理[J]. 水运工程, 2006(8): 116-119.
- [8] 张倩. 邵伯三线船闸闸室墙倒角裂缝原因分析及防治[J]. 水运工程, 2011(4): 136-139.
- [9] 辛彦青, 李振声, 刘春俊. 船闸混凝土温度裂缝的经验教训[J]. 水运工程, 2002(8): 78-80.
- [10] 聂霞. 京杭运河谏壁二线船闸闸室墙防裂措施试验研究[J]. 中国港湾建设, 2002(2): 19-23.
- [11] 刘云华. 三峡工程永久船闸六闸首边墙混凝土高温季节的施工温控[J]. 四川水力发电, 2002(1): 91-95.
- [12] 唐宏斌. 株洲船闸大体积混凝土裂缝控制方法的研究与实践[J]. 水运工程, 2007(8): 93-95.
- [13] 曹周红. 株洲航电枢纽船闸混凝土工程温度控制措施研究[J]. 水运工程, 2005(4): 67-69.
- [14] 陆俊. 船闸工程质量通病及其防治措施[J]. 现代交通局技术, 2006(6): 83-86.
- [15] 冯乃谦, 顾晴霞, 郝挺宇. 混凝土结构的裂缝与对策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [16] 孔繁龙. 船闸混凝土结构裂缝防治综合技术[J]. 水运工程, 2013(3): 158-163.
- (本文编辑 郭雪珍)
-
- (上接第117页)
- [4] 杨海成, 熊建波, 王胜年. 透水模板布对海工高性能混凝土抗氯离子渗透性的影响[J]. 中国港湾建设, 2014(2): 18-21.
- [5] 马志鸣, 陈济洲, 赵铁军, 等. 内掺硅烷乳液防水混凝土的耐久性试验研究[J]. 中国建筑防水, 2012(20): 1-4.
- [6] 郭平功, 魏勇. 掺有机硅烷防水剂抗 Cl-1 侵蚀的影响[J]. 低温建筑技术, 2011(4): 21-22.
- [7] BS 1881: P122 Test Concrete: Method for Determination of Water Absorption[S].
- [8] 吴海平. 跨海大桥的耐久性措施[J]. 广东建材, 2013(7): 23-26.
- [9] 余喜平. 东华大桥主墩承台疏水化合孔栓物混凝土施工技术[J]. 福建建设科技, 2012(4): 85-86.
- [10] 杨帆. 疏水化合孔栓物在广州南沙开发区凤凰一桥的应用[J]. 广东建材, 2011(3): 83-84.
- (本文编辑 郭雪珍)