

# 墩墙根部设置延性超缓凝混凝土过渡层 预防温度裂缝技术应用

朱炳喜<sup>1</sup>, 王 琰<sup>2</sup>, 姜西坤<sup>3</sup>, 胡明凯<sup>1</sup>, 居 强<sup>2</sup>, 朱 维<sup>2</sup>

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 扬州 225002; 2. 江苏省水利建设工程有限公司, 江苏 扬州 225002;  
3. 南通通源建设监理有限公司, 江苏 南通 226006)

**摘要:**墩墙混凝土温度裂缝带有普遍性,在墩墙根部浇筑一层延性超缓凝混凝土过渡层,能够减轻底板对墩墙早期外约束,减少温度应力,降低开裂风险。南通海港引河南闸站工程应用表明,拉应变可以降低83~135  $\mu\epsilon$ ,闸墩、站墩、出水池导流墩开裂面积降低47%~87%,并将有害裂缝转变为无害裂缝。

**关键词:**墩墙; 延性超缓凝混凝土; 温度裂缝; 外约束; 应用

中图分类号:TV431

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)07-0001-0005

## Application of temperature crack prevention technology by setting ductile super-retarding concrete transition layer at the root of pier wall

ZHU Bingxi<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, JIANG Xikun<sup>3</sup>, HU Mingkai<sup>1</sup>, JU Qiang<sup>2</sup>, ZHU Wei<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Water Conservancy Science Research Institute, Yangzhou 225002, China;

2. Jiangsu Hydraulic Engineering Construction Co., Ltd., Yangzhou 225002, China;

3. Nantong Tongyuan Construction Supervision Co., Ltd., Nantong 226006, China)

**Abstract:** The temperature crack of pier wall concrete is universal. Pouring a layer of ductile super retarding concrete transition layer at the root of pier wall can reduce the early external constraint of bottom plate on pier wall, reduce temperature stress and the risk of cracking. The application of Nantong Harbor South Gate Station project shows that the tensile strain can be reduced by 83~135  $\mu\epsilon$ . The cracking area of gate pier, station pier and diversion pier of outlet tank is reduced by 47%~87%, and the harmful cracks are transformed into harmless cracks.

**Key words:** pier wall; ductile super-retarding concrete; temperature crack; external restraint; application

温度裂缝为墩墙结构混凝土常见质量通病,这是由于混凝土凝结硬化阶段因温度收缩、自收缩、干燥收缩等引起的变形,受到底板等下部结构的约束,产生温度应力<sup>[1]</sup>。而普通混凝土抗压强度高,但

抗拉强度仅为抗压强度的1/10~1/13,弹性模量较高,延性较低;当混凝土温度应力超过抗拉强度时,将会产生裂缝。

为了解决墩墙温度裂缝问题,目前采取的技术

收稿日期:2022-01-06

基金项目:江苏省科技厅创新能力建设计划(BM2018028)

作者简介:朱炳喜(1966—),男,研究员级高级工程师,工程硕士,硕士生导师,主要从事混凝土质量保障、提升施工技术研究与推广应用。E-mail:1146513595@qq.com

措施主要有布置抗裂钢筋,设置加强带,减少墩墙结构尺寸,使用矿物掺合料降低水泥用量、降低混凝土水化热,降低混凝土入仓温度,通水冷却降低内部温度,掺入抗裂纤维降低混凝土早期收缩、分散裂缝并减少裂缝宽度,掺入膨胀剂补偿混凝土收缩、保温保湿养护。然而裂缝产生机理复杂,原材料质量变化大,施工环境复杂,施工养护不到位,采取现有的温控措施并不一定能有效控制墩墙裂缝的产生,大量的墩墙结构仍然出现温度裂缝,甚至还比较严重<sup>[2]</sup>。

在墩墙混凝土收缩变形中,干缩和自收缩占30%左右,降温收缩占70%左右。1~2.5 d即达到温度峰值,然后进入降温阶段。如果在墩墙根部设置过渡层,其强度、弹性模量增长速度低于上部混凝土,对上部结构的变形起到一定的缓冲作用,从而减轻了底板等下部结构对上部结构的约束,直到上部结构大部分变形完成后,过渡层混凝土才开始进入强度增长期;过渡层混凝土还能吸收部分温度变化造成的应力。因此,设置过渡层有利于减小因底板和墩墙之间的约束上部墩墙混凝土开裂风险。

在江苏省科技厅创新能力建设计划(BM2018028)资助下,江苏省水利科学研究院开展降低底板对墩墙早期约束预防裂缝施工技术研究,在墩墙的根部浇筑一层0.2~0.4 m厚度的延性超缓凝混凝土过渡层。延性超缓凝混凝土为在普通混凝土中掺入缓凝剂和橡胶粉微集料,标准养护条件下初凝48~72 h,7 d抗压强度为5~20 MPa,28 d为抗压强度25~50 MPa(与结构设计强度相同),其韧性好于普通混凝土<sup>[3]</sup>。该项技术已在多个工程试点应用,取得良好的技术经济效益。

海港引河南闸站工程位于南通市崇川区海港引河与长江连通处,主要功能为防洪、排涝、水资源调度及改善水环境。节制闸单孔净宽16 m;泵站双向引水排涝,设计流量48 m<sup>3</sup>/s。工程设计使用年限为100 a,主体结构混凝土设计强度等级为C35;闸墩长38 m,厚2 m,高9.73 m;泵站空箱层站墩(▽-1.8~4.0 m)长38 m,厚1.2 m,高5.8 m;泵站空箱层(▽-1.8~4.0 m)上下游挡水墙为固支结构,两端与站墩相连,墙长26 m,厚0.75 m;出水池导流墩长19 m,厚1.2 m,高9.73~13.73 m。2020年4月至2021年8月施工。

闸墩、站墩属厚大体积结构,温控防裂措施除采用通水冷却、掺入抗裂防渗剂外,施工过程中在闸墩、泵站空箱层站墩与挡水墙、出水池导流墩等

结构构件的根部实施过渡层防裂技术,即先浇筑一层延性超缓凝混凝土,再继续浇筑C35普通混凝土,与通水冷却、掺入抗裂防渗剂联合使用,有效降低了开裂风险。

## 1 原材料与配合比

### 1.1 原材料

(1)水泥。42.5普通硅酸盐水泥,标准稠度用水量27.2%~28.0%,28 d抗压强度48.0~51.2 MPa,物理力学性能符合《通用硅酸盐水泥(GB 175—2007)》的要求。

(2)粗骨料。5~25 mm连续粒级颗粒级配,松堆空隙率44%左右,吸水率0.8%,压碎值小于4%,针片状颗粒含量1%~2%,含泥量小于1%,无泥块。

(3)细骨料。为天然中砂,含泥量0.4%~0.6%,细度模数2.6~3.1,颗粒级配在Ⅱ区,氯离子含量小于0.002%。

(4)粉煤灰。烧失量小于3.5%,45 μm筛余小于21%,需水量比例为95%~96%,三氧化硫含量小于1%,符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰(GB/T 1596—2017)》规定的Ⅱ级灰技术要求。

(5)矿渣粉。为S95级粒化高炉矿渣粉,比表面积442 m<sup>2</sup>/kg,7 d和28 d活性指数分别为78%和105%,流动度比为104%,烧失量0.7%。

(6)外加剂。为PCA-10型聚羧酸高性能减水剂,与引气剂复合组成引气型减水剂。

(7)拌和用水。为自来水。

(8)抗裂防渗剂。闸墩、站墩等结构构件混凝土中掺入HME-V抗裂防渗剂,由膨胀剂和聚丙烯纤维复合组成。

(9)HLC-SRT混凝土缓凝剂,固含量18.9%,密度1.08 g/cm<sup>3</sup>,pH值7.28,氯离子含量0.006%,总碱量0.1%。

(10)橡胶粉。废旧轮胎加工处理制成橡胶粉,呈颗粒状,细度为50目,表观密度1 050 kg/m<sup>3</sup>,主要成分见表1。

表1 橡胶粉主要成分

橡胶烃/%	天然橡胶/%	硫磺/%	炭黑/%	丙酮苯/%
52.5	63.9	1.6	30.9	10.9

### 1.2 配合比

闸墩、泵站站墩和出水池导流墩混凝土以及根部延性超缓凝混凝土施工配合比与性能见表2。

表2 混凝土施工配合比与性能

类型	配合比/(kg·m <sup>-3</sup> )											坍落度/ mm	初凝 时间/h	强度/MPa		
	水泥	粉煤 灰	矿渣 粉	细骨 料	粗骨 料	水	减水 剂	抗裂防 渗剂	缓凝 剂	橡胶 粉	纤维			7 d	28 d	72 d
延性超缓凝混凝土	300	90	60	790	950	165	6.2	—	5	20	1	180~220	58.9	16.5	40.5	48.6
C35普通混凝土	280	50	60	760	1 060	150	6.3	30	—	—	—	150~180	15.8	32.8	42.2	47.9

注:细骨料、粗骨料为饱和面干状态。

2 施工质量控制

墩墙根部设置延性超缓凝混凝土过渡层的施工工艺流程为:结合面凿毛→清理→钢筋安装→应变计安装→模板安装→串筒安装→浇筑前检查验收→延性超缓凝混凝土生产→过渡层混凝土浇筑→墩墙上部混凝土浇筑→养护→拆模→拆模后检查→修饰。

2.1 浇筑前准备工作

(1)结合面检查。立模前结合面混凝土凿毛处理,表面杂物、粘附的碎屑清理干净。模板、钢筋安装后再次清理与检查,并在浇筑前对结合面清理、冲洗,处于湿润状态。

(2)钢筋制作安装质量检查。钢筋制作安装应符合设计要求和《水利工程施工质量检验与评定规范》(DB32/T 2334.2—2013)的规定,保护层垫块固定牢靠,保证保护层厚度。

(3)模板安装质量检查。对拉螺栓宜选用直径16 mm,纵横间距0.6 m,墩墙根部第1排对拉螺栓距离底板或结合面不大于0.2 m,根部至少3排对拉螺栓采用双螺母。模板安装工序质量检验结果应符合设计要求和《水利工程施工质量检验与评定规范》(DB32/T 2334.2—2013)的规定。

(4)应变计安装。在闸墩和出水池导流墩内安装振弦式应变计。

(5)串筒安装。串筒间距5~6 m,串筒与底板或结合面的距离1.5 m左右。

(6)原材料备料。检查原材料备料情况,原材料质量应符合合同约定,并与配合比试验用原材料基本一致。混凝土生产前,砂石骨料指定专用储仓;缓凝剂按每盘混凝土用量准确称量,用塑料壶盛装;橡胶粉袋装。

2.2 混凝土生产

(1)混凝土制备过程中,施工单位驻厂检查原材料、配合比、计量、拌和物质量等。

(2)缓凝剂、橡胶粉专人负责投料。

(3)拌和时间比常规混凝土延长20s以上,确保缓凝剂、橡胶粉等材料均匀分散。

(4)装料前将搅拌运输车搅拌筒内的积水排净,运输及等候过程中保持筒体转动,卸料前搅拌筒快速旋转搅拌40~60s再卸料。

2.3 浇筑

(1)到工混凝土应履行交货检验,核验送货单,核对混凝土强度等级、配合比,检查混凝土运输时间和混凝土拌和物外观,检测混凝土坍落度和含气量,入仓坍落度控制在180~220 mm之间,含气量2.5%~4%。

(2)延性超缓凝混凝土通过串筒入仓,控制每个串筒混凝土量,做到根部混凝土均匀摊铺。

(3)根部过渡层混凝土浇筑完成后,通过串筒继续浇筑上部普通混凝土,第一坏层混凝土厚度不宜大于30 cm。

2.4 拆模与养护

(1)过渡层混凝土浇筑期间,制作150 mm×150 mm×150 mm立方体同条件养护试件,拆模前检查同条件养护试件的混凝土抗压强度。或现场采用与墩墙同品种模板制作400 mm×400 mm×400 mm立方体试模,浇筑延性超缓凝混凝土,顶面覆盖模板。观测同条件试件凝结硬化情况,在拆除结构模板前先拆除同条件试件的模板,判断结构模板是否可以拆除。

(2)海港引河南闸站工程设计使用年限为100年,因此确定混凝土带模养护时间不少于14 d<sup>[2,4]</sup>。

(3)拆模后根部过渡层混凝土覆盖复合土工膜,每天洒水保湿养护,保持混凝土表面湿润,养护



时间至少28 d。

### 3 应用效果

#### 3.1 闸墩

南侧闸墩根部延性超缓凝混凝土浇筑厚度为30~35 cm,平均厚度为33 cm;北侧闸墩根部延性超缓凝混凝土浇筑厚度为20~25 cm,平均厚度为22.5 cm。

##### 3.1.1 中心温度

南北两侧闸墩距离底板1.4 m中心温度监测结果见图1,图1可见闸墩混凝土在入仓34~40 h达到最高温度80℃左右,说明混凝土水化热大、温升快,对裂缝预防十分不利。

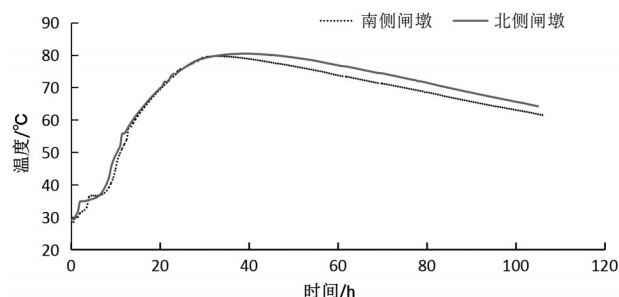


图1 海港引河闸墩中心温度发展曲线

##### 3.1.2 应变

分别在南侧闸墩和北侧闸墩距离底板1.4 m、2 m中心安装振弦式应变计,应变监测结果见图2。图2可见南侧闸墩拉应变小于北侧闸墩,其中,距底板1.4 m中心在40~50 h拉应变相差111~113  $\mu\epsilon$ ,距底板2 m中心在27~50 h拉应变相差43~53  $\mu\epsilon$ 。分析认为由于南侧闸墩根部过渡层厚度大于北侧闸墩,能够更好地减轻底板对闸墩上部混凝土的约束。

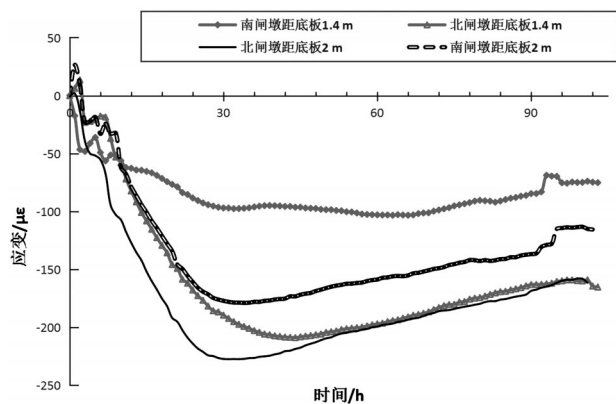


图2 海港引河闸墩混凝土应变监测结果

#### 3.1.3 裂缝情况

闸墩裂缝情况检查结果见表3,表3同时列举部分对比工程闸墩、站墩裂缝情况。表3说明海港引河南闸站闸墩设置过渡层技术后裂缝发生率低于对比闸墩或站墩,早期开裂面积降低47%~87%。

#### 3.2 泵站空箱层站墩

在泵站空箱层( $\nabla$ -1.8~4.0 m)站墩的根部浇筑一层0.3 m厚度的延性超缓凝混凝土。经检查,除站墩与上下游挡水墙固结交叉部位产生0.15 mm的裂缝外,其余部位没有产生裂缝。泵站站墩单位体积裂缝面积计算结果见表3,与类似工程相比,开裂面积降低67%~86%;空箱层与流道层相比,开裂面积降低58%。

#### 3.3 泵站空箱层挡水墙

泵站空箱层长江侧和内河侧挡水墙为固支结构,两端与站墩相连,挡水墙中间还与小隔墩相连,在挡水墙根部浇筑一层厚度0.6~0.8 m的延性超缓凝混凝土过渡层。经检查,长江侧挡水墙没有裂缝,内河侧挡水墙仅有一条缝宽0.08 mm、缝长2.2 m的微细裂缝。

目前长度20 m左右的扶壁式翼墙墙身、挡水墙一般出现1~3条缝宽0.15~0.25 mm的温度裂缝,严重的可能产生5~8条裂缝。挡水墙单位体积裂缝面积计算结果见表3,说明挡水墙采用过渡层技术能有效降低裂缝发生。

#### 3.4 出水池导流墩

在南侧出水池导流墩的根部浇筑一层厚度为0.25 m的延性超缓凝混凝土过渡层,作为对比北侧出水池导流墩未设置过渡层。

##### 3.4.1 中心温度

出水池导流墩距离底板2 m中心混凝土温度监测结果见图3,图3可见南侧出水池导流墩34 h最高温度为79.4℃,北侧出水池导流墩40.5 h最高温度为77.6℃。

##### 3.4.2 应变

在出水池导流墩分别距离底板0.8 m和3.2 m中心安装振弦式应变计,应变监测结果见图4。

由图4可见:①南侧出水池导流墩设置过渡层后,混凝土早期产生的拉应变低于未设置过渡层的北侧出水池导流墩,其中0.8 m高度中心拉应变降低135  $\mu\epsilon$ ,3.2 m高度中心拉应变降低83  $\mu\epsilon$ ;②北侧出水池导流墩在200 h左右拆模后混凝土出现应变突变;南侧出水池导流墩254 h左右拆模后也出现应变突变,表明拆模后对混凝土温度裂缝的发展

表3 闸墩/站墩温度裂缝发生情况统计

工程名称	结构尺寸(长度×厚度)	强度等级	浇筑时间	裂缝预防措施	单位体积裂缝面积/(mm <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> )
海港引河南闸站	闸墩 38 m×2 m	C35	8月	根部过渡层+掺膨胀剂+通水冷却	4.20
站墩	流道层 38 m×1.2 m	C35	6月	掺膨胀剂+通水冷却+混凝土芯墙	6.36
空箱层	38 m×1.2 m		7月	根部过渡层+掺膨胀剂+通水冷却	2.64
出水池	南侧 19 m×1.2 m	C35	8月	根部过渡层	2.54
导流墩	北侧			—	8.93
空箱层挡水墙	26 m×0.75 m	C35	7月	根部过渡层(厚度0.6~0.8m)+掺膨胀剂	0.60
某泵站空箱岸墙	33 m×1.25 m	C35	7月	掺膨胀剂+带模养护	19.50
JP泵站站墩	27m×1.15m(边/缝墩)	C30	11月	掺膨胀剂+通水冷却	8.94
JXH闸墩	20 m×1.5 m、20 m×1.2 m	C40	12月	掺膨胀剂+通水冷却	7.95

表注:单位体积裂缝面积指裂缝最大宽度和裂缝长度之积与墩墙的体积之比值。

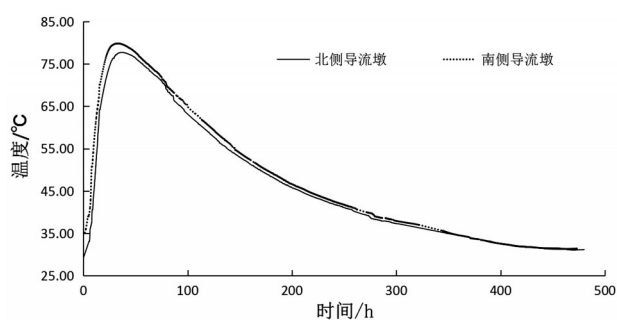


图3 出水池导流墩温度发展曲线

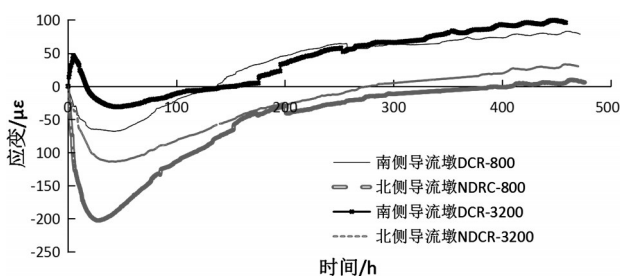


图4 出水池导流墩混凝土应变监测结果

可能带来影响;③掺入膨胀剂随着水化膨胀产物的产生,后期产生压应变。

#### 4.4.3 裂缝情况

南侧出水池导流墩设置过渡层后,在距离东侧伸缩缝8 m处产生1条缝宽0.1 mm、缝长7.1 m的竖向微细裂缝;北侧出水池导流墩未设置过渡层,在墩中心产生1条缝宽0.25 mm、缝长10 m的竖向裂缝。

出水池导流墩实际裂缝发生情况说明根部采用过渡层技术后,早期温度裂缝开裂面积降低72%,并将有害裂缝转变为无害裂缝。

## 4 结 语

(1)海港引河南闸站工程闸墩、泵站空箱层站墩与挡水墙、南侧出水池导流墩的根部设置延性超缓凝混凝土过渡层预防裂缝施工技术。现场温度、应变和开裂情况检测结果表明:闸墩、出水池导流墩中心最高温度为77.6~80℃;南、北两侧对比的出水池导流墩拉应变降低83~135 με,开裂面积降低72%;与对比工程相比,闸墩、泵站空箱层站墩、南侧出水池导流墩的开裂面积降低47%~87%,并将有害裂缝转变为无害裂缝。

(2)南北两侧闸墩根部过渡层平均厚度从22.5 cm增加到33 cm,开裂面积降低56.4%,距底板1.4 m、2 m中心拉应变分别减少111~113 με、43~53 με,说明增加墩墙根部过渡层厚度能够更好地减轻底板对上部混凝土的约束。

(3)墩墙根部设置延性超缓凝混凝土过渡层,能够减少墩墙混凝土早期受到的底板外约束,降低温度应力,减少开裂风险,为墩墙预防温度裂缝提供一种新的技术方法。

#### 参考文献:

- [1] 王铁梦. 混凝土裂缝控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 朱炳喜. 水工混凝土耐久性技术与应用[M]. 北京:科学出版社,2020.
- [3] 江苏省水利科学研究院. 墩墙根部设置延性混凝土过渡层施工技术研究与应用[R]. 南京:江苏省水利科学研究院,2021.
- [4] 朱炳喜. 试论沿海水工建筑物低渗透高密实表层混凝土施工质量控制要点[J]. 江苏水利,2017(11):1-8.