

薄壁空腔构件施工成套工艺研究

张永波

(中交一航局第二工程有限公司)

摘要: 为了降低薄壁空腔预制构件破损率及成本,依托岷江(龙溪口枢纽至宜宾合江门)航道整治一期工程,制定针对性的预制方案及安装方案,采用钢制整体内模和钢制分离式外模的方式进行构件预制,使用内撑式自动脱钩吊具进行构件安装,提高了鱼巢砖预制施工质量及施工进度,降低了鱼巢砖预制报废率及施工成本,保证了鱼巢砖安装的质量及工效。

关键词: 水工结构;薄壁空腔预制构件成套工艺;鱼巢砖;自动脱钩安装夹具

0 引言

随着长江水系及国家水利资源的综合开发利用及国家长江环境保护法的实施,生态多样性保护成为长江水系开发的重中之重。为了保证项目顺利立项开发建设,需在设计时增加鱼类生态增殖方案,设计通过增加一些预制构件吸引鱼类筑巢增殖,但此类预制构件因地域环境及建造价值通常采用低强度的薄壁素混凝土构件,导致预制、安装困难,且破损率较高。因此在预制与安装中降低破损率及成本对施工的影响至关重要。本文结合岷江航道项目现场实施情况,自主设计鱼巢砖预制整体式^[1]内模及分离式外模及相关的内模拆除设备,分析总结出薄壁空腔预制构件标准化施工工艺^[2]。该工艺针对山区河流小型构件安装施工作业条件,因地制宜设计制定高效的鱼巢砖安装施工方案,最终完善形成山区河流预制件安装的成套施工工艺。

1 项目概况

岷江(龙溪口枢纽至宜宾合江门)航道整治一期工程河段航道里程为 47 km,整治碍航滩险 13 处,其中 12 个滩位于长江上游生态重点自然保护区内,生态保护及增殖要求高,设计采用增加鱼巢砖的方式弥补及保护建设对岷江水系鱼类生态产生的影响,从而实现对项目生态的补偿,最终实现岷江水系的生态平衡及发展。

项目设计在坝体迎水坡脚 2 m 宽范围安放 1 层鱼巢砖,采用正方体结构,C30 混凝土预制,边长 0.9 m,壁厚 0.1 m,五面中心开圆孔半径 0.14 m,一面敞开,为全素混凝土结构。

2 重难点分析

1) 构件尺寸较小,若预制时内模加工采用分离式模板,支拆模效率低,施工成本高,若采用整体式模板,拆模难度大,易导致构件破损;

2) 构件为全素混凝土结构且强度较低,在吊装及安装时采用传统的剪刀式夹具,易受水平分力而对向挤压破碎;

3) 设计构件为并排或成排安装,传统的安装夹具因吊具尺寸影响无法实现并排或成排安装;

4) 构件安装时开口朝上,闭口朝下,在安装入水时容易受到水流力及浮力,造成构件的摆动出现自动脱钩现象。

3 方案比选

针对上述问题,提出以下 3 种预制方案和 3 种安装方案。

3.1 预制方案

1) 预制采用气囊芯模加钢制分离式外模,利用气囊的充气及放气实现脱模。该方案可以实现现场作业,但模板造价成本高、安拆需要气泵等设备、芯模循环次数少。经综合分析核算相关费用,从经济成本角度否决该方案。

2) 预制采用楔形内模加钢制分离式外模,拆除时先活动内模,待强度满足要求后再拆模。但因该内模高度为 0.8 m,可做成的楔形尺寸为 68 cm 或 70 cm,经现场试验无法脱模,且该构件为全素混凝土结构,拆模后基本处于全破损状态,所以该方案被否决。

3) 预制采用钢制整体内模及钢制分离式外模,在混凝土初凝后立即整体抽拉出内模,强度

达到 2.5 MPa 后拆除外模,该方案内外模可以最快的速度投入后续预制,作业班组可实现连续施工,经现场试验,该方案具有可行性且可实现 2 次/d 翻模,具有支拆速度快、人员利用率高,综合成本低的优点。

综上比选分析,选择钢制整体内模及钢制分离式外模的方式进行构件预制^[9]。

3.2 安装方案

1) 安装采用传统的双吊钩自动脱钩装置,吊钩由型钢横梁、钢丝绳及挂钩组成,但这种方式在现场试验时存在构件触水或受水流影响立即脱钩的问题,安装后成品的破损率极高。

2) 安装采用剪刀式自动脱钩装置,吊钩由钢板剪刀加钢丝绳组成,但这种方式作业时水平分力过大,且设计要求安装并排摆放,因夹具的外形尺寸导致无法实现设计要求,方案不可行。

3) 安装采用内撑式自动脱钩装置(图 1),吊钩由钢板吊钩加圆钢吊杆组成,作业时夹具位于构件内侧,可按设计要求安装并排摆放,且夹具设置有平衡、限位等装置,能避免触水及水流影响下的自动脱钩现象,实现现场精准安装,可降低构件安装的破损率。

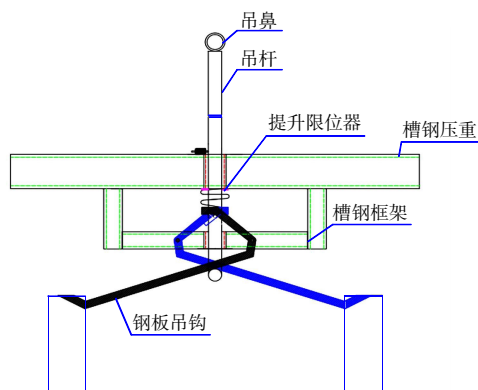


图 1 内撑式自动脱钩器

综上比选分析,选择内撑式自动脱钩吊具进行构件的安装。

4 方案实施

4.1 模板设计

原计划方案采用钢制外模+气囊内模的工艺,但模板方案气囊内模加工费用高,且支拆需要充气、放气,整体施工效率低。本工程预制构件数量多,模板循环次数多,在考虑经济性及实操性的情况下,最终采用刚度大、可循环使用次数多

的钢模具进行预制,同时加强施工过程中对钢模板的维护检查,以减少施工费用,提升施工效率,加快施工进度。

1) 侧压力计算

侧压力达到最大值的浇筑高度为混凝土的有效压头。通过理论和实践证明,可按下式计算,并取其最小值:

$$F_1 = 0.22\gamma t_0 \beta_1 \beta_2 \sqrt{V} = 34.56 \text{ kN/m}^2$$

$$F_1 = \gamma H = 21.6 \text{ kN/m}^2$$

式中: F_1 为新浇筑混凝土对模板的最大侧压力, kN/m^2 ; γ 为混凝土的重力密度,此处取 24 kN/m^3 ; t_0 为新浇混凝土的初凝时间, h ,可按实测确定,当缺乏试验资料时,可采用 $t_0 = 200 / (T + 15)$ 计算,假设混凝土入模温度为 25°C ,即 $t_0 = 5 \text{ h}$; V 为混凝土的浇筑速度,取 0.9 m/h ; β_1 为外加剂影响修正系数,不掺外加剂时取 1.1,掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2; β_2 为混凝土塌落度影响系数,当塌落度小于 30 mm 时取 0.85,范围在 $50 \sim 90 \text{ mm}$ 时取 1,范围在 $110 \sim 150 \text{ mm}$ 时取 1.15; H 为混凝土侧压力计算位置至新浇混凝土顶面的总高度,取 0.1 m 。

经计算,两者中的较小值为 21.6 kN/m^2 ,故混凝土侧压力为 21.6 kN/m^2 。

① 模板计算

模板浇筑高度为 0.9 m ,面板采用 4 mm 冷轧钢板。横竖肋采用 $\angle 5$ 角钢,间距为 900 mm ,并设置 4 道对拉螺栓,中间对拉,面板长度取板长 450 mm ,板宽 $b = 450 \text{ mm}$,面板为 4 mm 厚冷轧钢板。经计算,作用在面板上的应力 $\delta_1 = 205 \text{ N/mm}^2 \leq 215 \text{ N/mm}^2$,挠度 $f_1 = 0.26 \text{ mm} < 1.5 \text{ mm}$,满足要求。

② $\angle 5$ 角钢验算

$\angle 5$ 角钢作为横竖棱支撑在背面上,最大受力位置为底部横肋。经计算作用在角钢上的应力 $\delta_2 = 146.6 \text{ N/mm}^2 \leq 215 \text{ N/mm}^2$,挠度 $f_2 = 0.43 \text{ mm} < 1.8 \text{ mm}$,满足要求。

③ 对拉螺栓计算

对拉螺栓采用 D16 螺杆,纵向间距为 300 mm ,横向间距为 300 mm ;对拉螺栓经验公式为:

$$N \leq A_t f_t$$

式中: N 为对拉螺栓所承受的拉力设计值,一般为混凝土的侧压力; A_t 为对拉螺栓净截面面积,取 201 mm^2 ; f_t 为对拉螺栓抗拉强度设计值

(HPB300), 取 300 N/mm^2 。

经计算, 对拉螺栓所受拉力为 1.75 kN , 小于抗拉强度设计值 60.3 kN , 满足要求。

4.2 模板组装

底模及内外鱼巢砖模板均采用钢模板一次安装成形。首先底模涂刷脱模剂, 放入内模, 再通过螺栓将外模和底模、内模和外模进行连接, 安装完成后检查尺寸。

为防止底模处漏浆, 底模与侧模采用螺栓连接。在模板多次使用后, 底部接缝处容易出现变形、漏浆问题, 对此先采用弹簧压力剪进行连接, 若弹簧压力剪无法止浆, 可先进行模板的修整后增加双面胶的方式止浆。

4.3 混凝土浇筑

采用混凝土罐车将混凝土运输到预制场地, 人工控制入模, 分 2 层浇筑鱼巢砖, 分层位置位于鱼巢砖中部, 浇筑过程采用 $\phi 30 \text{ mm}$ 插入式振捣棒振捣密实, 浇筑完成后及时抹面。

因内外模板间距仅有 10 cm 宽, 混凝土无法直接入模, 对此采用加工塔型的入模辅助器, 将混凝土直接倾倒在塔顶, 通过自重自动顺着塔面流入模板内, 塔型辅助入模装置采用与模板同等材质的材料加工而成, 尺寸为 $72 \text{ cm} \times 72 \text{ cm}$ 。

4.4 养护及模板拆除

前期混凝土初凝后开始拆除内模, 在混凝土强度达到 2.5 MPa 后拆除外侧模板。传统工艺直接叉车拆除内模时因模板的加工及叉车的受力点不均衡, 导致鱼巢砖顶部破损。针对上述问题设计了自动化拆模装置, 该装置采用 5 t 电动葫芦为动力, 并设计三角横梁支架, 直接从单点起吊。

模板的吸附力为:

$$F_2 = f_1 A_2$$

式中: f_1 为脱模系数; A_2 为鱼巢砖内膜与混凝土接触面积, m^2 。

模板吸附力 $F_2 = 1.5 \times 0.7 \times 0.7 \times 5 = 3.68 \text{ kN} < 50 \text{ kN}$, 电动葫芦满足要求。

混凝土初凝后强度满足要求后再拆除外模, 拆模期间注意保护鱼巢砖构件棱角, 鱼巢砖成形后及时洒水养护, 养护时间不少于 14 d 。

4.5 构件运输

预制鱼巢砖混凝土强度达到设计强度 70% 后, 使用 12 t 汽车吊起吊, 转运至鱼巢砖存储区进行存放, 存放时叠放高度不高于 3 层。

4.6 吊索具设计

传统的吊索具一般采用剪刀式或单钩式, 此类吊索具在薄壁预制构件安装时容易因构件入水时受水的浮力而提前自动脱钩, 造成构件入水破损, 同时吊索具也容易阻碍构件的规则摆放, 因此传统的自动脱钩吊索具安装薄壁预制构件时破损率高、位置不精确。对此专门设计了薄壁预制构件内撑式自动脱钩安装夹具。

按照夹具采用 Q235、 2 cm 厚、 2 cm 宽计算吊索具受力, 鱼巢砖重量为 0.8 t , 单点受力 $F = 4 \text{ kN}$ 。

则吊索具所受应力 $\delta_3 = 120 \text{ N/mm}^2 \leq 235 \text{ N/mm}^2$ 。

吊具挠度 $f_3 = 0.015 \text{ mm} < 0.8 \text{ mm}$, 满足要求。

1) 非工作状态

吊具反提升限位器工作, 即反提升限位器卡入吊杆预留槽内, 此时拉杆与槽钢框架压重形成整体, 吊钩处于自由活动状态。

2) 工作状态

吊具反提升限位器不工作, 即反提升限位器拉出吊杆预留槽, 此时拉杆与槽钢框架压重分离, 通过钢丝绳拉动吊臂吊杆, 吊杆上升带动吊钩穿入预留孔内, 并持续拉动吊杆提升限位器与槽钢框架接触, 此时整套系统工作带动吊钩提升预制构件。

按照要求将构件吊运至安装位置开始下降, 此时构件入水受浮力影响会出现摆动现象, 槽钢框架采用十字结构限制构件左右摆动, 待构件下落至安装位置并触底, 下落吊臂吊杆起重设备不受力, 在吊杆自重及反力弹簧的作用下, 吊杆下落带动吊钩下落脱离预留孔, 同时反提升限位器卡入吊杆预留槽内, 起重设备提升吊臂吊杆移除构件, 完成构件安装, 具体步骤如下:

① 根据构件尺寸设计并加工制作薄壁预制构件内撑式自动脱钩安装夹具, 完成后将反提升限位器卡入拉杆预留槽内。

② 通过起重设备吊起吊索具, 并放入薄壁构架内部适当调整吊具位置, 使吊索具吊钩位于预留孔处, 此时人工拉动反提升限位器并提升吊杆。

③ 起重设备持续提升吊臂吊杆, 吊钩穿入预留孔内直至提升限位器与槽钢压重接触, 最终吊具提升薄壁预制构件, 吊具提升构件示意图如图 2 所示。

④ 将构件移动至安装位置, 并缓慢下降至构件触底, 持续下落吊臂吊杆此时保持起重设备不

受力，在吊杆自重及反力弹簧的作用下，吊杆下落带动吊钩下落脱离预留孔，同时反提升限位器卡入吊杆预留槽内。

⑤ 起重设备提升吊臂吊杆从构件内移除吊索具，完成构件安装，进行下一块安装。



图2 吊具提升构件示意图

薄壁预制构件内撑式自动脱钩安装夹具的优点为：1) 采用夹具内放，避免安装时夹具尺寸阻碍构件安装位置，有利于构件的精准安装；2) 采用十字槽钢框架压重，有效避免入水构件受水浮力的左右摆动而导致提前脱钩，避免构件安装存在安全风险，确保构件触底后才能脱钩；3) 采用夹具提升限位器，避免水平分力过大造成素混凝土薄壁构件的破损，保障构件安装的完整率；4) 采用反力弹簧装置和吊具自重脱钩的双重保护，避免安装后出现反提升构件；5) 采用反提升限位器解决脱钩后吊钩的自由状态，提升安装后的脱钩保障率。

4.7 构件安装

鱼巢砖^[4]安装区域水深较浅，采用挖机进行陆上鱼巢砖安装施工，疏浚土处置区水深较深的区域，鱼巢砖进行水下安装施工。安放鱼巢砖时，只有当鱼巢砖准确安放到指定位置后，才能脱钩。现场设置专职施工人员指挥挖机司机将鱼巢砖安

放于设计要求位置。

根据施工图纸，老君碛疏浚土处置区面积约为17.5万m²，处置区使用完后抛设鱼巢砖，根据设计文件要求，该区域按每2.5m×2.5m抛投1块鱼巢砖进行水下安装。

鱼巢砖安装采用专用薄壁预制构件内撑式自动脱钩安装夹具，保证鱼巢砖安装施工质量及施工进度要求。

5 结语

通过分析自主设计制作钢模具和内撑式自动脱钩安装夹具并应用于岷江(龙溪口枢纽至宜宾合江门)航道整治一期工程薄壁空腔构件预制和安装施工中，得到以下结论：

1) 自主设计鱼巢砖预制整体式内模及分离式外模及相关的内模拆除设备，提高了鱼巢砖预制施工成品的质量及施工进度，降低了鱼巢砖预制的报废率及施工成本。

2) 设计制作内撑式自动脱钩安装夹具，降低了鱼巢砖安装破损率，提高了鱼巢砖安装质量及安装效率，保证了鱼巢砖安装质量及安装工效。

3) 因地制宜，充分利用枯水期，采用挖机陆上作业的方式进行鱼巢砖安装，减少了起重设备上船作业安全施工风险，减少专用船机设备的投入以及调遣运输，降低施工成本，提高安装施工效率。

参考文献：

- [1] 王伟. 预制装配式建筑设计的要点分析[J]. 太原城市职业技术学院学报, 2018(9): 175-176.
- [2] 王一峰. 预制构件一体化拆模起吊工艺的研究[J]. 城市道桥与防洪, 2021(8): 230-233.
- [3] 李建沛. 预制装配式建筑结构体系与设计[J]. 工程技术研究, 2017(8): 199, 233.
- [4] 吴宗耀. 人工鱼巢在固化河堤河道中提升鱼的繁殖能力的作用[J]. 基层农技推广, 2014, 2(10): 17.