

# “金包银”低坍落度混凝土高倾斜面入仓施工工艺在桐子林水电站连续坎施工中的应用

刘付 刘亮

中国水电基础局有限公司 天津 武清 031700

**【摘要】**：雅砻江桐子林水电站泄洪消能系统技术改造工程明渠辅助消能工由连续坎和加固板组成，是明渠底板消能结构改变的重点区域。辅助消能工起始桩号左导 0+125.00~左导 0+185.00m，连续坎为“金包银”结构，“金”为 HFC40（二）混凝土，“银”为 C25（三）及富浆混凝土。连续坎起止桩号左导 0+125.00m~左导 0+140.00m，其结构布置在原有明渠底板 EL.982.00m 高程上，左岸与明渠左导墙“L”型底板及边墙相连、右岸与明渠右边墙混凝土相连，连续坎结构为内倾斜面，混凝土浇筑属高倾斜面混凝土入仓。

**【关键词】**：连续坎；“金包银”；低坍落度；高倾斜面；入仓工艺

## 前言

雅砻江桐子林水电站泄洪消能系统技术改造工程范围包括明渠辅助消能工、明渠底板基础加固、明渠结构缝处理、明渠左导墙基础淘刷区加固、明渠右边墙加高及明渠出口冲刷区加固、明渠混凝土缺陷处理等。

明渠辅助消能工由连续坎和加固板组成，其中连续坎高度 8.0m，顶宽 3.0m，底宽 15.0m，底部长度 59.8m，顶部长度 69.8m，上游坡比 1:0.5，下游坡比 1:1，连续坎结构分缝保持与原有明渠结构缝一致。连续坎结构示意图如图 1。

连续坎建基面原混凝土结构面进行凿毛、局部刻槽、安装铜止水后，再浇筑结构混凝土。底板刻槽区域回填 C25 富浆混凝土，过水面以下 50cm 范围内为 HFC40 抗冲磨混凝土，其余部位为 C25（三）及富浆混凝土，其中 HFC40（二）混凝土及 C25（三）混凝土坍落度为 70~90mm，富浆混凝土坍落度 140~180mm。



图 1 连续坎结构示意图

## 1 工艺比选

连续坎混凝土入仓施工可选用“塔吊+吊罐”“履带吊+吊罐”、布料机传输入仓等工艺。施工工艺的选择综合考虑场地布置、入仓强度、对现有建筑物影响及后期处理、安全风险等因素。

### 1.1 “塔吊+吊罐”施工工艺

塔吊施工工艺常见于高层、超高层民用建筑及重工业厂房施工，如电站主厂房结构和设备吊装、高炉设备吊装等。连续坎混凝土浇筑为明渠内施工，左导墙离连续坎地面高度 22m，右边墙 24m，塔吊安装场地受限；混凝土采用“塔吊+1.5m<sup>3</sup>吊罐”入仓，每罐吊装完成需 4 分钟，单台入仓强度 22.5m<sup>3</sup>/h，根据单仓入仓要求，至少安装 2 台塔吊。另外，塔吊安装需对现明渠底板处理，施工完成后进行修复，且塔吊机体庞大，拆装费时、费力，成本高，工期短的项目使用不经济，且高空交叉作业，安全风险高。

### 1.2 “履带吊+吊罐”施工工艺

履带吊体型庞大，不适合局限空间且工期短的工地内交叉作业，对工序频繁转换作业的场地布置挑战大；“履带吊+吊罐”工艺功效低、成本高，难以满足高强度入仓要求；履带吊在行走过程中因自重原因会对现明渠底板产生一定程度的破坏，加大后期修复工作和成本；多台履带吊交叉作业，安全风险高，管理难度大。

### 1.3 布料机施工工艺

TB110G 型轮胎式布料机为液压驱动传输，移位方便、行走灵活、入仓机动，通过无线遥控可向指定目标布料，对场地要求较低；轮胎式设备行走对结构无损伤，布料时，在支腿下铺设钢板，对底板无损坏；布料机主臂架最大仰角 30°，最大浇筑高度 18.36m，覆盖范围 31.25m，端部设缓降橡胶软管，降低坠落高度，每小时布料强度可达 60m<sup>3</sup>，效率高、操作灵活，同时，布料机入仓，无高空作业隐患，安全风险低。

综合上述几种施工工艺，桐子林辅助消能工连续坎混凝土入仓工艺选用2台布料机联合入仓最优。

## 2 工艺流程

### 2.1 施工原理

仓面验收合格，布设布料机、落实辅助工作，一切准备工作就绪后，启动混凝土浇筑。

浇筑原则按照分段分仓分层平铺法施工，层厚30cm，每层沿轴线方向分2-3个作业区，每个作业区长度约7-10m。优先浇筑刻槽富浆混凝土，其次分层分作业区浇筑中间C25（三）混凝土流水作业（在上下游两侧预留60cm条带），同层紧前作业区浇筑完成后在预留上下游条带内浇筑HFC40砼，依次连续浇筑至最后一层。详见工艺流程图2。

混凝土采用自卸车运输、布料机入仓，浇筑过程中分层摊铺、分层振捣，确保连续浇筑，防止出现冷缝。

### 2.2 施工流程

桐子林辅助消能工连续坎按轴线方向分4段，每段按高度方向分3仓，计12仓，每仓按高度方向分8-10层，每层层厚30cm，每层按照轴线方向分为2-3个作业区。

以连续坎K-1为例，简述连续坎混凝土入仓浇筑工艺流程，K-1分为3仓，第1仓分9层，第2仓分8层，第3仓分10层，每层分3个作业区。详见图2：

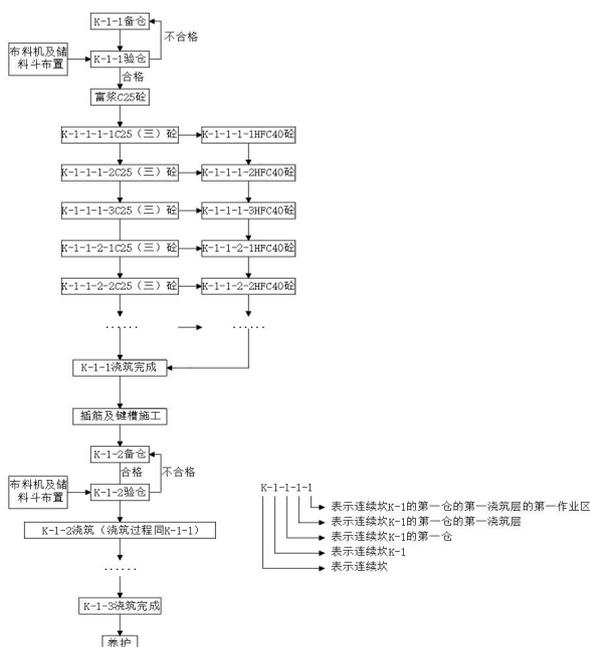


图2 连续坎混凝土浇筑流程图

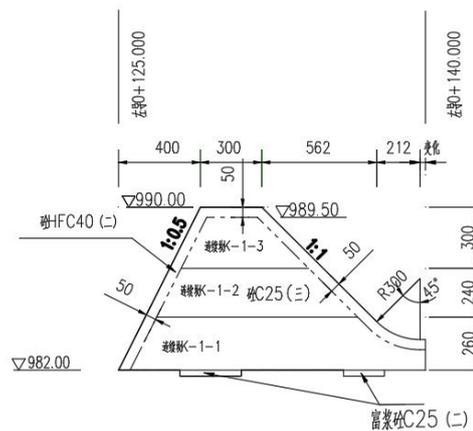
## 3 施工工艺

### 3.1 浇筑仓位划分

连续坎整体沿轴线方向按照K-1、K-2、K-3、K-4分4段进行浇筑，其中K-1底长21.0m，K-2底长16.8m，K-3底长18.0m，K-4底长4.0m，连续坎分块示意图详见图1。

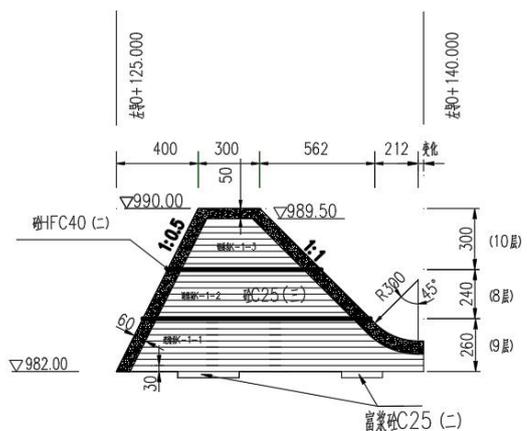
连续坎每段沿高度方向分3仓浇筑，第一仓2.6m，第二仓2.4m，第三仓3.0m，连续坎分仓示意图详见图3。

连续坎每仓按高度方向单次0.3m厚分层平铺进行浇筑，连续坎仓内分层示意图如图4；根据仓位长度可将每一层按7~10m划分为作业区，层内分区浇筑图见图5，先浇筑K-1-1-1-1C25（三），再同步进行K-1-1-1-2C25（三）砼及K-1-1-1-1HFC40砼浇筑，以此循环逐层进行浇筑。



说明：图中高程及桩号以m计，其余长度单位以cm计。

图3 连续坎混凝土浇筑分仓图



说明：图中高程及桩号以m计，其余长度单位以cm计，每层混凝土浇筑厚度30cm。

图4 连续坎浇筑仓内分层示意图

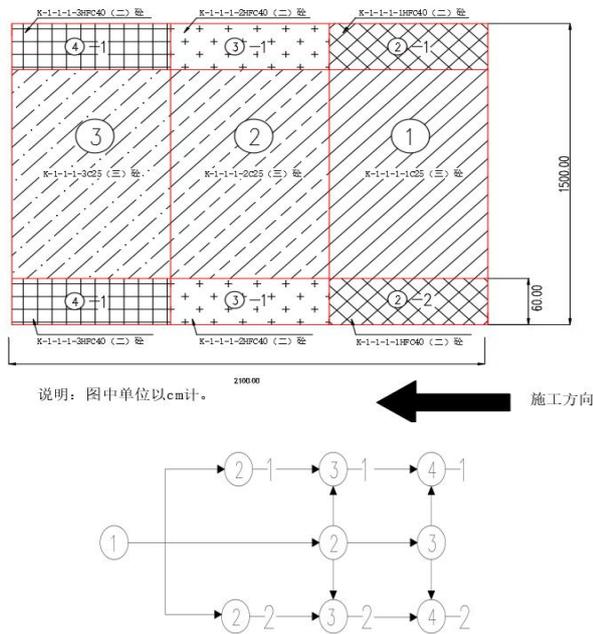


图5 连续坎 K-1-1 层内分区浇筑示意图

### 3.2 设备布置方式

根据场地现状、施工计划，连续坎施工顺序依次为 K-1、K-3、K-2、K-4。考虑场地局限、施工通道及交叉作业等情况，K-1、K-3 施工时在浇筑段连续坎上下游各布置 1 台布料机，1 台入仓 C25 砼，1 台入仓 HFC40 砼（根据强度需求，处理好布料机料口及皮带残留 HFC40 砼后配合 C25 砼入仓）；K-2 浇筑时在下流侧布置 2 台布料机入仓；K-4 因右岸靠近右边墙、长度偏小且下游加固板已施工完成未到期龄，在下流侧布置 2 台布料机接力入仓。

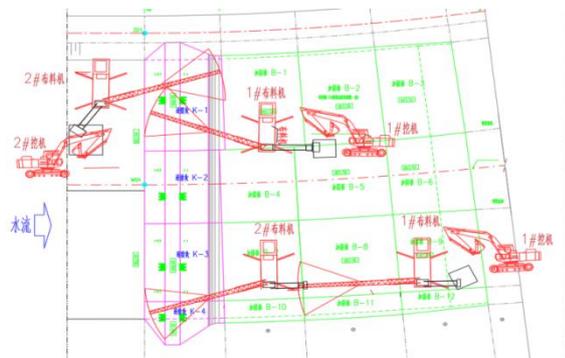


图6 连续坎 K-1、K-4 浇筑入仓设备布置图

### 3.3 入仓方式

(1) 水平运输：采用自卸车遮阳运输低塌落度砼、罐车运输 C25 富浆砼。配置 6 辆自卸车、3 辆罐车。通过布料机前端喂料架的反向马道料斗传输入仓。

(2) 垂直运输：混凝土抵达现场后，采用挖机配合布料机联合入仓，布料机端头设置防坠落软管，上下游边角部位辅以溜槽配合入仓。混凝土入仓时，模板两侧对称均衡铺料、均匀上升，避免对模板产生过大的侧向压力。细致平仓，加强振捣，严防骨料分离，重视层间结合，加强铜止水保护。浇筑过程中，模板工、钢筋工加强模板和预埋件的偏位检查，出现异常情况及时处理。

### 3.4 布料顺序及体型控制

连续坎为“金包银”结构，两种混凝土同时浇筑，要料布料顺序紧密结合现场确定。布料原则上由远端到近端、由低处往高处均匀下料，其中 C25（三）混凝土及 HFC40 混凝土需同步上升，每一层布料的方向应一致。布料过程中，根据设计要求及时进行冷却水管的布置，间排距为 1.0m。

C25（三）、HFC40（二）混凝土浇筑顺序：先浇筑中间 C25（三）混凝土 30cm 厚，在上下游两侧各预留 50~60cm 条带用于 HFC40（二）混凝土浇筑。上下游为内倾模板，HFC40（二）混凝土入仓采用溜槽辅助，保证“金”部分准确入仓及厚度。第一作业区两侧 HFC40 混凝土浇筑时同步进行第二作业区 C25（三）混凝土施工，流水作业，循环上升。振捣完成后，保障上下游连续坎过水面以下 HFC40（二）混凝土厚度不低于 50cm。连续坎砼入仓示意图详见图 7、图 8。



图7 连续坎“银”部分浇筑入仓图



图8 连续坎“金”部分浇筑入仓图

### 3.5 振捣及养护

#### 3.5.1 振捣

连续坎混凝土振捣主要采用 $\phi 80$ 软轴插入式振捣器,局部采用 $\phi 50$ 软轴插入式振捣器。在预埋件周边特别是止水片、止水带周围,应细致振捣。

C25(三)砼采用常规方式振捣,上下游两侧斜面模板“金”部分混凝土先采用 $\phi 50$ 振捣棒在钢筋与模板之间进行第一遍振捣,然后在远离模板侧采用 $\phi 80$ 振捣棒进行第二遍振捣,保障拆模后的表现质量。

#### 3.5.2 养护

(1) 通水冷却:混凝土浇筑完成后开始通水冷却。通天然河水,通水温度不超过 $18^{\circ}\text{C}$ ,冷却水流量前7天为 $2\sim 2.2\text{m}^3/\text{h}$ ,7天后为 $1.0\sim 1.2\text{m}^3/\text{h}$ ,通水时间21天;通水温度与混凝土温度温差不大于 $20^{\circ}\text{C}$ ,要求降温阶段最大日降温速率 $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{天}$ ,通水冷却过程中做好温度监测。

(2) 混凝土初凝后,采取洒水或喷雾等方式进行混凝土养护,保持混凝土表面湿润。对连续坎仓间接触面持续养护至下一仓混凝土浇筑前,其他部位养护时间不少于28天。抗冲耐磨混凝土抹面结束后及时进行喷雾养护,防止早期失水过快产生塑性裂缝,1~2天后覆盖并洒水养护,使其表面始终处于饱和水潮湿状态。拆模完成后,混凝土表面采用聚乙烯泡沫板覆盖并洒水养护不低于28天。

## 4 控制要点

### 4.1 技术质量控制点

(1) 采用低热水泥,优化混凝土配合比,减少水泥用量。粗骨料高温季节(3~9月)采取遮阳措施,细骨料常年采取遮雨措施。

(2) 同一段内相邻仓号间浇筑最大间歇期不超过3天,相邻仓号间层间结合面采取冲毛、设置键槽、插筋等措施保证相邻仓号层间有效紧密衔接。

(3) 采用冷却水拌和,必要时采取加冰措施,降低混凝土出机口温度,控制出机口温度不高于 $24^{\circ}\text{C}$ ;运输过程中采取遮阳覆盖措施,保证入仓浇筑温度不超过 $28^{\circ}\text{C}$ ,C25(三)及HFC40混凝土坍落度 $70\sim 90\text{mm}$ 。

(4) 选择夜间施工,避开高温时段,分层厚度 $30\text{cm}$ ,HFC40宽度不低于 $50\text{cm}$ ,且连续浇筑,不得中断。

(5) 加强振捣,快插慢拔、徐徐提出,振捣后,混凝土粗骨料不再显著下沉,不再出现气泡、表面开始泛浆为度。

(6) 浇筑完成后,及时通水冷却,加强水温监测,降温阶段最大日降温速率 $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{天}$ ,通水温度与混凝土温度温差不大于 $20^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.2 安全控制要点

(1) 连续坎混凝土浇筑为倾斜面高空作业,落实临边防护,加强过程监督,严防高空坠落。

(2) 做好电路规划,严格按照“一机一闸一漏一保”原则控制,严防触电伤人。

(3) 设置设备施工隔离作业区,严防非浇筑作业人员进入,严禁布料机输送皮带下方站人。

(4) 加强狭窄作业面运输路线指引,安排专人指挥调度,控制车速不超过 $15\text{km}/\text{h}$ ,保证车辆运输安全。

## 5 效益分析

### 5.1 经济效益

采用布料机施工“金包银”低坍落度混凝土、斜面入仓连续坎施工工艺效益显著,在受新冠肺炎疫情影响直线工期压缩近30天的紧张情况下,连续坎比要求工期提前7天完成施工任务。施工过程中,共投入2台TB110G型轮胎式布料机、4辆25t自卸汽车、2台 $18\text{m}^3$ 混凝土罐车、2台小型挖掘机,施工功效不低于每小时 $45\text{m}^3$ 的入仓强度要求,良好的设备匹配未出现现场积压混凝土和供料不足的情况,与常规“吊罐”入仓比较,施工灵活、安全风险低、效率较高、入仓成本较低。工期的提前,为项目节约成本约48万元。

### 5.2 社会效益

水电站技术改造工程是除险加固工程、是利国利民工程、是关系电站安全健康运行的核心工程,桐子林水电站新增辅助消能工连续坎施工是技改工程的重点,参建各方高度重视。“金包银”低坍落度混凝土斜面入仓是连续坎施工成败的关键技术,属国内罕见工艺,无可借鉴的类似经验。通过采取组织、技术、经济等措施,保证“金”的厚度,拆模观感质量检查,无麻面、蜂窝、空洞、裂缝等现象,实体质量优良,超声回弹检测满足设计要求,2020年汛期历经洪水考验,无质量缺陷,取得较好的社会效益。连续坎观感质量见图9。



图9 连续坎外观质量图

水的大体积混凝土结构体，高倾斜面入仓是施工难点，采用布料机通过传输带的伸缩、牵引出料口防坠落软管、局部设置溜槽辅助入仓的施工工艺，解决高倾面低塌落度入仓难题，大大减少了交叉作业，合理控制了施工风险，操作灵活、施工简单、效率较高、成本较低，适用于工期短、强度高、作业空间较小的抢工项目。“金包银”低塌落度混凝土斜面入仓施工工艺在桐子林连续坎施工中的成熟应用，为类似工程的施工提供可借鉴的经验。在类似工程的施工中，可以通过优化参数、工艺，实现经济、技术效益的最大化。

## 6 结束语

“金包银”低塌落度混凝土适用于水利工程要求表面过

### 参考文献：

- [1] 黄仁兴,冯是明.解析水利施工中混凝土施工[J].河南水利与南水北调,2015,20:6-7.
- [2] 江庆华.浅谈水利施工中的混凝土裂缝控制[J].江西建材,2016,23:118+117.

### 作者简介：

刘付（1983-），男，河北省保定人，高级工程师，主要从事水利水电工程施工技术管理工作；

刘亮（1991-），男，四川达州人，主要从事水利水电施工技术管理工作。