

## 单曲重力拱坝坝体模板施工技术研究与应用

刘浩辉 马永畅 宁安鹏 罗继明 陈利波

中国电建市政建设集团有限公司, 山东 德州 253011

[摘要] 文章主要介绍了 54.8m 高单曲重力拱坝坝体模板制作及施工方法, 上游侧坝面将普通钢模板加工成翻转式工具模板进行施工; 下游侧坝面为斜曲面, 采用木模板配合三角架施工平台作业, 两侧横缝采用键槽模板及双排脚手架进行模板安拆作业。

[关键词] 单曲拱坝; 翻转; 工具模板; 木模板; 施工平台

DOI: 10.33142/aem.v1i5.1174

中图分类号: TV642.4

文献标识码: A

## Research and Application of Formwork Construction Technology for Single Curvature Gravity Arch Dam

LIU Haohui, MA Yongchang, NING Anpeng, LUO Jiming, CHEN Libo

STECOL CORPORATION, Dezhou, Shandong, 253011, China

**Abstract:** This paper mainly introduces fabrication and construction method of 54.8m high single curvature gravity arch dam formwork as follows: upstream side dam surface processes ordinary steel formwork into turnover tool formwork for construction; downstream side dam surface is inclined curved surface, which using wood formwork and tripod construction platform for operation; two side transverse joints use keyway formwork and double row scaffold for formwork installation and removal.

**Keywords:** single curvature arch dam; overturning; tool formwork; wood formwork; construction platform

### 1 工程概况

#### 1.1 工程简介

安徽省绩溪县扬溪源水库是以城市防洪、供水为主, 兼有改善生态环境、灌溉、发电、旅游等综合利用的水库, 水库总库容 1052.1 万  $m^3$ , 工程等别为 III 等。设计埋石混凝土拱坝为 3 级建筑物, 坝高 54.8m 下部设 1m 厚垫座, 高程 279.0~334.8m, 坝底最大厚度 23.53m, 坝顶长 187m, 宽 4m, 局部宽 10m。拱坝从左岸到右岸按 18m 设横缝(其中 5#坝段长 24m, 6#坝段长 19m), 共分 10 个坝段, 4#-6#坝段为溢流坝段。拱坝上、下游展视图及下游俯视图效果图见图 1-1~1-3。

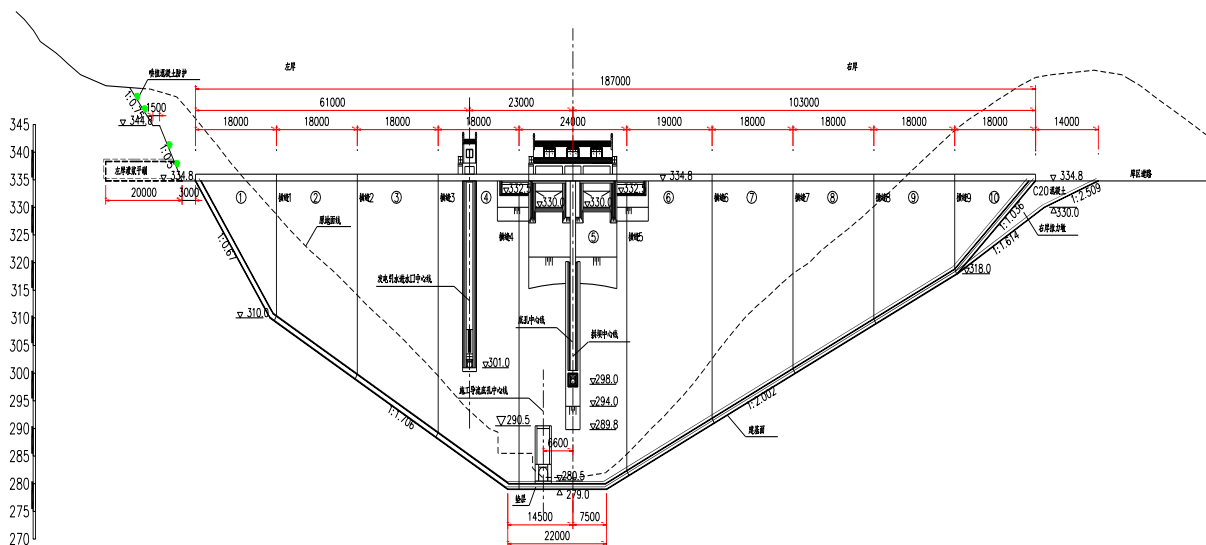


图 1-1 拱坝上游展视图

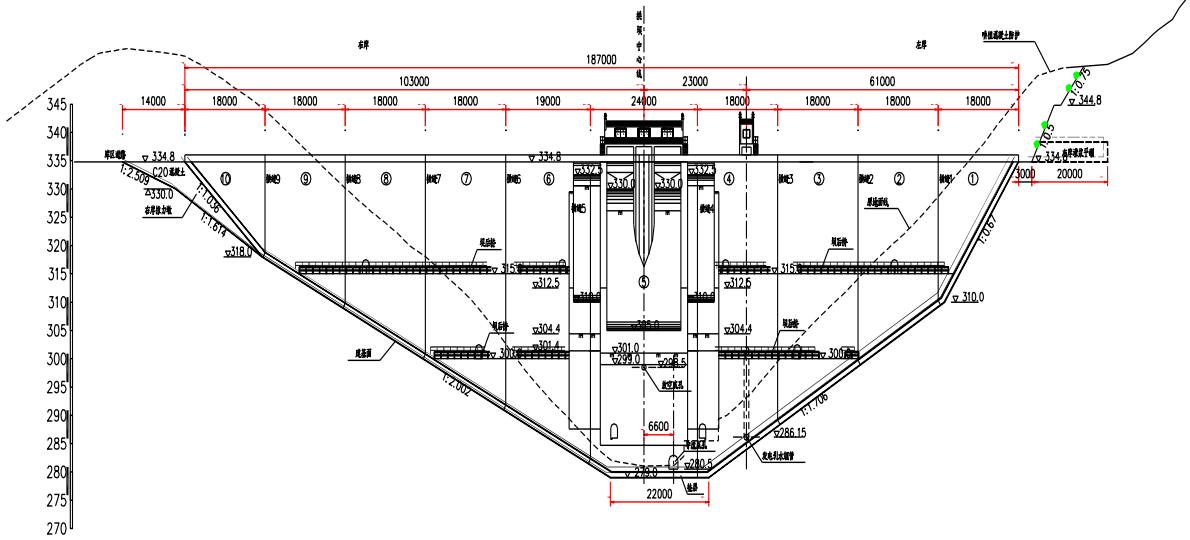


图 1-2 拱坝下游展视图



图 1-3 拱坝下游俯视效果图

## 1.2 施工规划

拱坝坝体混凝土总量为 8.2 万  $m^3$ ，坝基 1m 厚垫层采用 28d 龄期 C20 微膨胀混凝土；坝体采用 90d 龄期 C20 卵石混凝土，埋石率 20%。拱坝混凝土按坝段进行分仓浇筑，基础强约束区浇筑高度为 1.5m，上部坝段主体浇筑高度 3.0m，最大浇筑方量为 910 $m^3$ 。计划工期为 2018 年 11 月至 2020 年 6 月，总长 20 个月，施工期间横跨第二年 6 月主汛期，需进行防汛准备并控制施工进度确保第三年主汛前及时完成主体工程施工。

## 2 模板配置及使用规划

### 2.1 模板配置规格

拱坝混凝土施工优先采用钢模板，直立面部位采用大块钢模板；结构复杂的表面采用定型模板或加工拼装木模板。模板主要使用部位及规格尺寸见表 2-1。

表 2-1 拱坝模板配置规格表

部位	模板类型	模板尺寸 (m)	备注
拱坝上游	钢模板	2.25×1.5	采用 3 块 0.75×1.5m 钢模板及型钢加工拼装
拱坝下游	木模板	加工拼装	胶合板 1.22×2.44m
拱坝侧面横缝	键槽钢模板	1.0×1.5	定制模板，灌区端部封头，模板尺寸 0.75×1.5m

## 2.2 模板工程施工规划

(1) 依据工程结构形式和施工特点, 结合总体施工部署, 模板工程施工综合考虑以下因素:

- 1) 混凝土面达到规范要求质量标准;
- 2) 一次性投入资金少, 周转次数多;
- 3) 配置数量要满足周转和施工进度要求;
- 4) 模板体系的确定经过充分研究、计算, 遵循“经济、快捷、质优”的原则。

(2) 坝体模板垂直、水平运输

1) 坝体 279.0~298.0m 高程施工时, 在拱坝下游侧随混凝土浇筑高度逐级填筑施工平台至 292.0m 高程, 布置伸缩式皮带输送机输送混凝土入仓, 模板采用 25t 吊车进行各坝段仓面之间转运, 同坝段上下层模板采用小型起重机翻升, 垂直倒运。

2) 坝体 298.0~334.8m 高程施工时, 在拱坝左右岸下游各布置 1 台塔吊垂直运输, 模板采用塔吊进行各坝段仓面之间转运, 同坝段上下层模板采用小型起重机或塔吊翻升, 垂直倒运。

(3) 在拱坝下游设置木工厂进行模板加工、存储, 配备圆盘锯、刨床、电钻等主要设备, 用于模板的加工、拼装和方木的切割。模板加工完成后采用装载机运至施工位置, 吊车或塔吊转运至施工面。

(4) 木模板周转原则上按照坝段进行翻升, 按照工程质量要求, 周转次数不能过多, 超过规定的周转次数要进行处理。

(5) 模板使用规划

1) 拱坝上下游模板

本工程拱坝属于单曲重力拱坝, 坝体上游面纵向垂直, 水平拱圈半径 110m; 坝体下游面纵向倾斜按 1: 0.35 放坡, 底部水平拱圈半径 86.47m, 顶部水平拱圈半径 106m。坝体上游模板最大安装高度为 54.8m, 下游施工平台以上模板安装高度为 42.8m。根据拱坝结构特点, 上下游模板使用规划:

拱坝上游面模板采用加工成型的 2.25×1.5m (宽×高) 翻转式工具模板, 浇筑层坝面采用平面钢模板拼装成的折线代替曲面圆弧, 折线对应圆心角为 1.2°, 模板采用小型起重机或塔吊垂直翻升。

拱坝下游面为斜曲面, 纵、横向形状变化较大, 采用 1.22×2.44m 木模板加工拼装, 下部安装型钢三角架施工平台。施工时根据拱圈弧度及纵向坡比进行放线安装, 模板采用小型起重机或塔吊垂直翻升。

2) 拱坝横缝键槽钢模板

键槽钢模板为厂家定制, 尺寸 1.0×1.5m (宽×高), 灌区上下部端头模板定制尺寸为 0.75×1.5m, 根据设计横缝断面, 模板键槽深 15cm。通过在相邻坝段搭设双排脚手架作为模板施工平台, 模板采用小型起重机或塔吊垂直运输。

## 3 施工工艺技术

### 3.1 模板工程施工技术参数

- (1) 不承重侧面模板在混凝土强度达到 2.5MPa 以上时拆除, 承重模板及低温季节模板拆除期限符合规范要求。
- (2) 工具模板及外挂架安装时, 施工部位的混凝土强度必须达到 7.5MPa 以上, 架体之间水平连接应牢靠、稳定。
- (3) 坝体上下游模板施工平台承受施工荷载不得大于 3kN/m<sup>2</sup>。

### 3.2 坝体模板工程施工

#### 3.2.1 坝体上游模板施工

(1) 模板构造

拱坝上游侧采用 0.75×1.5m (宽×高) 钢模板支模, 每 3 块模板采用螺栓拼装成一体, 整体尺寸 2.25×1.5m (宽×高)。为保证模板安拆施工, 在模板背部安装矩形钢架施工平台, 组装成翻转式工具模板。施工平台主要由钢架、操作平台、防护栏杆及安全网组成, 主要结构构造如下:

1) 钢架由 L50×50×5mm 角钢焊接成整体, 与两侧模板背部 50×50×3mm 竖向方管板肋满焊组成一体, 每片组装模板上布置 2 品钢架, 模板及钢架总重 252kg (起吊重量增加 2 块总重 24kg 钢脚手板为 276kg)。

2) 操作平台宽 0.7m, 表面铺设 2 块钢脚手板, 并采用直径 3.2mm 镀锌铁丝与钢架横杆绑扎牢固。

3) 钢架上安装可拆卸式护栏, 护栏高 1.2m, 宽 2.2m, 采用 L30×30×3 角钢焊接成型, 护栏立杆承插在钢架内侧 20cm 高 Φ48mm 钢管内, 横杆水平布置 4 道, 外挂密目式安全网防护。钢架外侧安装可拆卸式钢管护栏, 护栏采用 Φ48mm 钢管, 长 1.9m, 水平布置 3 道, 与两侧钢架立柱采用扣件连接。

模板钢架施工平台布置见图 3-1、3-2。

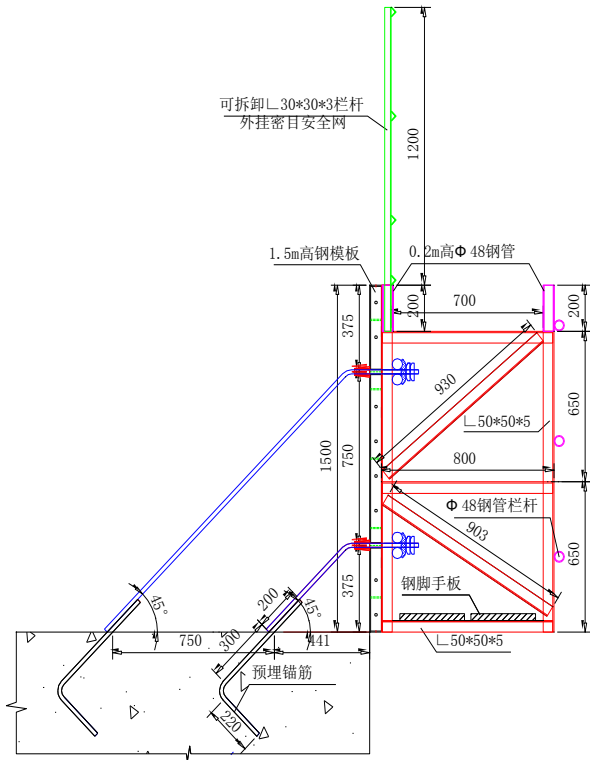


图 3-1 模板钢架施工平台布置侧立面图 (单位: mm)

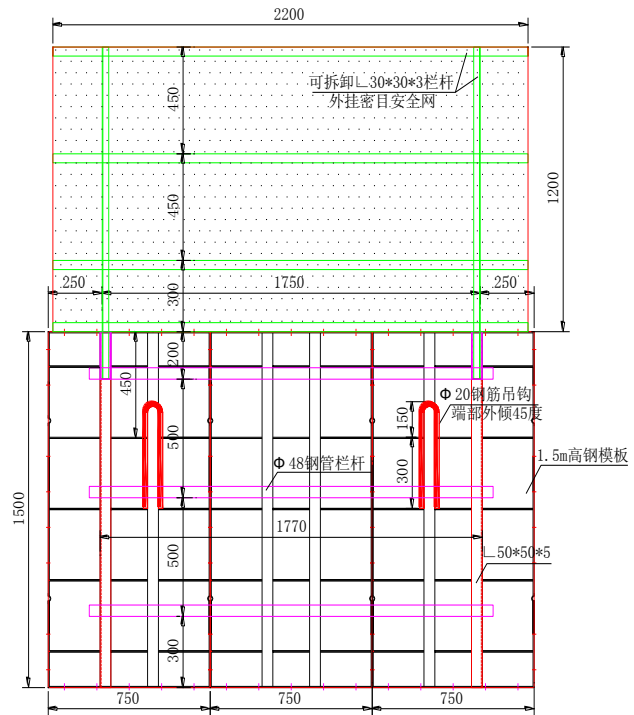


图 3-2 模板钢架施工平台布置正立面图 (单位: mm)

### (2) 钢脚手板

钢脚手板尺寸为 2.2×0.3m, 采用 L30×30×3 角钢焊接骨架, 表面焊接菱形钢板网, 钢板网厚度为 3mm, 网眼尺寸 24×60mm, 每块总重 12kg。脚手板样式见图 3-3。

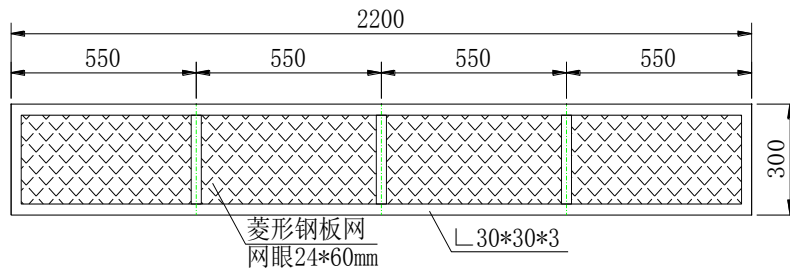


图 3-3 脚手板样式图

### (3) 上游模板安拆施工

拱坝上游采用 2.25×1.5m (宽×高) 翻转式工具模板支模, 模板在混凝土分层施工过程中交替上升, 确保施工面始终保留 2 层模板, 通过延长拆模时间, 有效保护混凝土外观, 确保螺栓锚固区混凝土强度满足要求。

模板采用混凝土仓内预埋 Φ14 钢筋 (预埋筋锚固长度 60cm, 外露 20cm) 拉结及下层模板支撑, 螺栓布置间距 0.75×0.75m。模板安装过程中, 人员站在下层模板钢架施工平台上进行作业。模板背面采用 Φ48 钢管作为竖向围檩, 间距 0.375m, 横向围檩采用两根并排的 Φ48 钢管, 横围檩间距 0.75m, 模板通过 M16 螺杆与仓内预埋锚筋焊接、模板

内侧螺杆安装锥母卡紧模板，外侧螺杆通过燕尾卡固定两根横向围檩，采用 2 个山形螺母拧紧。

上层混凝土浇筑完成且强度必须达到 7.5MPa 以上时，下层模板拆除施工步骤如下：

- 1) 工人记挂安全带并确认安全后拆除上层模板钢架平台上的脚手板及外侧护栏；
- 2) 人工将小型起重机或塔吊吊钩与下层待拆除模板 HPB300 级  $\Phi 20$  钢筋吊钩通过钢丝绳紧固连接；
- 3) 人工拆除下层模板背部螺母及围檩等紧固件，通过垂直爬梯返回施工面；
- 4) 利用机械将下层模板吊至上部施工面清理完成后进行安装。

模板安拆布置见图 3-4。

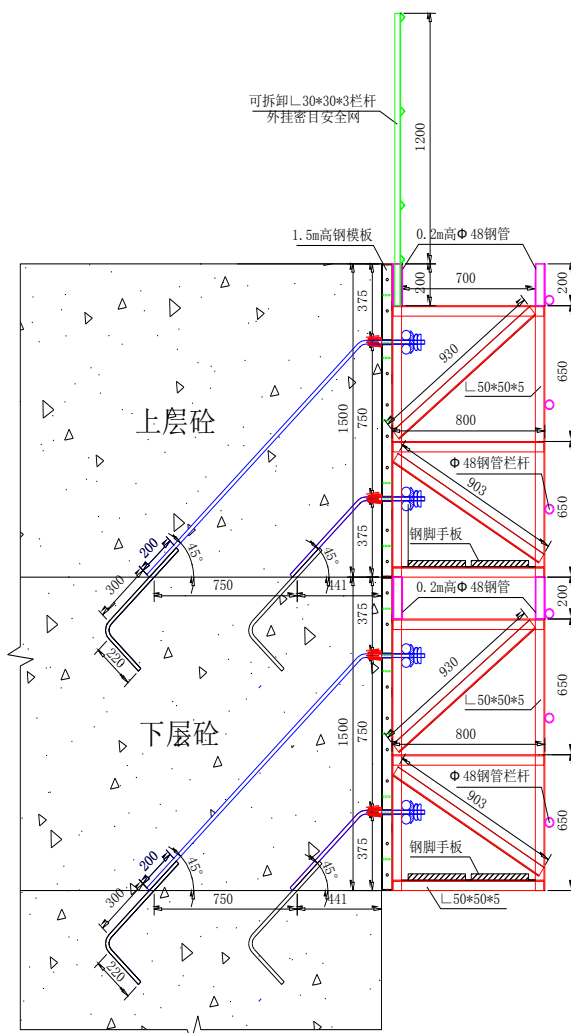


图 3-4 模板安拆布置图

### 3.2.2 坝体下游及横缝模板施工

#### (1) 下游模板施工平台

拱坝下游模板采用 1.22×2.44m 木模板现场加工拼装后支模。为保证模板安装施工，在模板底部已浇筑完成混凝土面安装外挂型钢三角架施工平台。三角架施工平台主要由型钢三角架、操作平台、防护栏杆及安全网组成，主要结构构造如下：

1) 型钢三角架由 L50×50×5 角钢焊接成整体，水平向间距 1.0m 布置一品，每 2.5m 布置 3 品采用横连杆拼装成 1 个单元，总重 40kg（起吊重量包含 2 块总重 26.6kg 钢脚手板为 66.6kg）。每品三角架临混凝土面立杆顶部预留螺栓孔与混凝土表面保留的 M16 模板加固螺杆采用垫片及双螺母孔紧紧连接。

2) 操作平台宽 0.7m，表面满铺钢脚手板，并采用直径 3.2mm 镀锌铁丝与三角架顶部横杆连接牢固。钢脚手板尺寸为 2.4×0.3m。

3) 三角架上部安装钢护栏, 护栏高 1.2m, 宽 2.4m, 采用 L30×30×3 角钢焊接成型, 护栏 3 根立杆承插固定在横杆端部 20cm 高 Φ48mm 钢管内, 横杆水平布置 3 道。

4) 在防护栏杆外侧满挂密目式安全网, 底部设 20cm 高挡板; 三角架下部安装防坠安全网, 固定在三角架两侧斜撑及上下部 2 根角钢横连杆上。

外挂三角架施工平台布置立面见图 3-5、3-6。

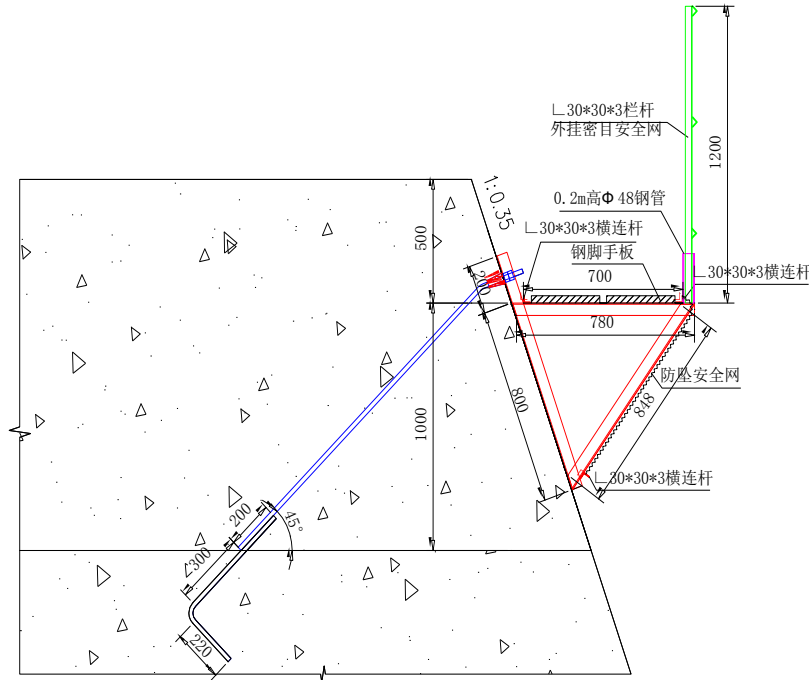


图 3-5 外挂三角架施工平台布置侧立面图

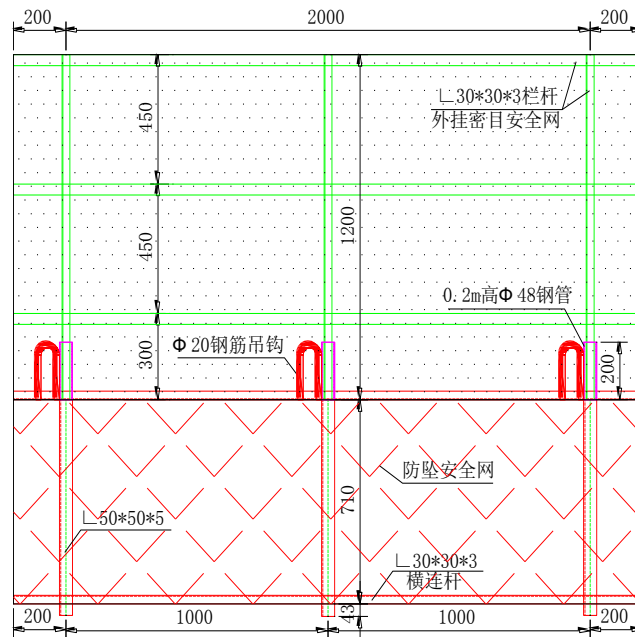


图 3-6 外挂三角架施工平台布置正立面图

### (2) 下游模板安拆施工

拱坝下游模板采用 1.22×2.44m 胶合板木模加工拼装后支模, 模板在混凝土分层施工过程中交替上升, 确保施工

面始终保留 2 层模板。通过延长拆模时间,有效保护混凝土外观,确保螺栓锚固区混凝土强度满足要求。

模板采用混凝土仓内预埋  $\Phi 12$  钢筋(预埋筋锚固长度 60cm,外露 20cm)拉结固定,螺栓布置间距  $0.5 \times 0.5\text{m}$ 。模板安装过程中,人员站在下层模板三角架施工平台上进行作业。模板背面采用  $5 \times 10\text{cm}$  方木作为竖向围檩,间距 0.25m,横向围檩采用两根并排的  $\Phi 48$  钢管,横围檩间距 0.5m。模板通过 M16 螺杆与仓内预埋  $\Phi 12$  钢筋焊接,模板内侧螺杆安装锥母卡紧模板,外侧螺杆通过燕尾卡固定两根横向围檩,采用 2 个山形螺母拧紧。

三角架施工平台上部混凝土模板拆除完成,且混凝土强度必须达到 7.5 MPa 以上时,钢架拆装施工步骤如下:

- 1) 工人记挂安全带并确认安全后通过爬梯下至模板下部操作平台;
- 2) 人工将小型起重机或塔吊吊钩与待拆除钢架 HPB300 级  $\Phi 20$  钢筋吊钩通过钢丝绳紧固连接;
- 3) 人工拆除钢架紧固件后返回施工面;
- 4) 利用机械将钢架提升至上部预定安装位置,人工系挂安全带辅助将三角架立杆顶部预留螺栓孔与混凝土表面 M16 螺杆采用垫片及双螺母紧固连接。

模板及施工平台安拆布置见图 3-7。

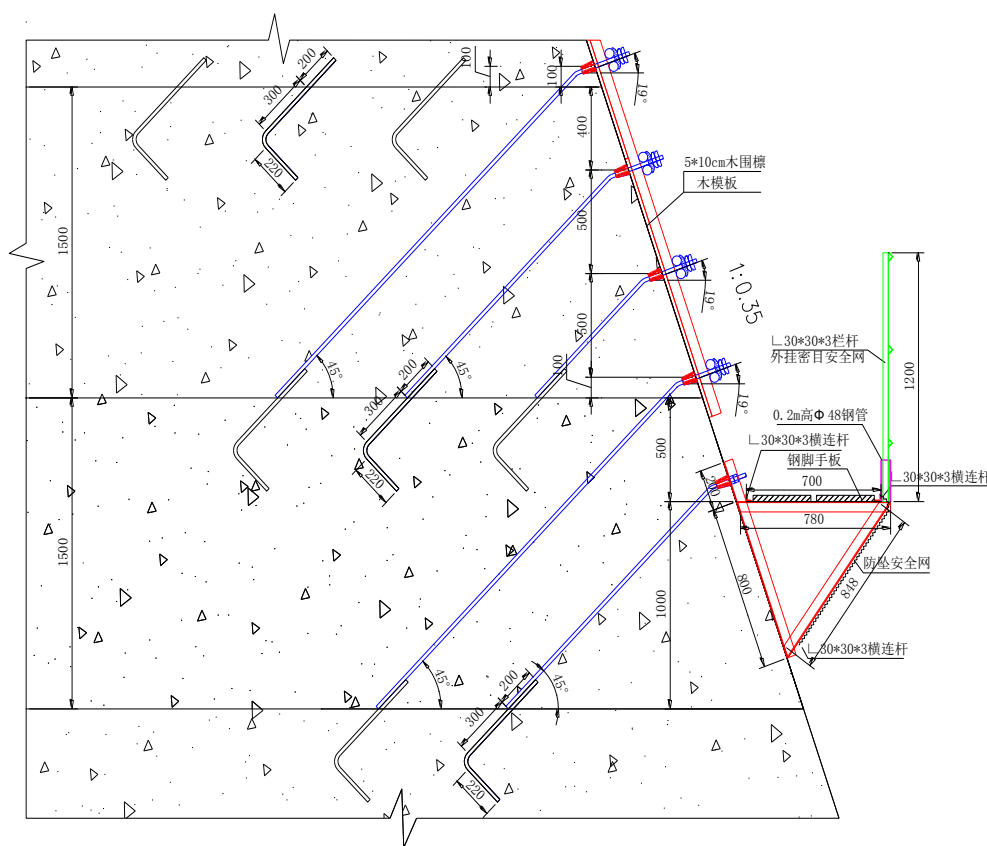


图 3-7 模板及施工平台安拆布置图

### (3) 拱坝横缝模板施工

拱坝横缝采用  $1.0 \times 1.5\text{m}$  (宽 $\times$ 高)键槽钢模板支模,灌区上下部端头采用  $0.75 \times 1.5\text{m}$  钢模板支设。每层混凝土浇筑完成后拆除下层模板进行上层模板支设。拱坝相邻坝段施工高差较小,横缝面支模及拆模时在相邻坝段支设双排脚手架施工平台进行作业。

模板采用混凝土仓内预埋  $\Phi 14$  钢筋(预埋筋锚固长度 60cm,外露 20cm)拉结固定,螺栓布置间距  $1.0 \times 0.75\text{m}$ 。模板背面采用  $\Phi 48$  钢管作为竖向围檩,间距 0.35m,横向围檩采用两根并排的  $\Phi 48$  钢管,横围檩间距 0.75m,模板通过 M16 螺杆与仓内预埋  $\Phi 14$  锚筋焊接,模板内侧螺杆安装锥母卡紧模板,外侧螺杆通过燕尾卡固定两根横向围檩,采用 2 个山形螺母拧紧。

### 3.3 模板施工技术要求

模板工程施工工艺流程：施工准备→定位放线→模板安装（布置围檩、紧固对拉螺栓）→模板验收→混凝土浇筑→模板拆除、翻升及清理→上层模板安装。主要施工技术要求如下：

#### （1）模板安装

- 1) 模板安装前，先进行测量放样并合理设置控制点，分层安装模板时逐层校正下层偏差，以利于控制结构整体尺寸。
- 2) 模板的钢拉杆应顺直，拉杆与锚固头焊接牢固，确保预埋钢筋锚固强度满足使用要求。
- 3) 模板与混凝土接触面涂刷脱模剂；模板间接缝应平整、密合，防止漏浆，保证结构外观质量。
- 4) 模板及支架上严禁堆放超过设计荷载的材料及设备。混凝土浇筑时，应控制浇筑顺序、速度及施工荷载。
- 5) 混凝土浇筑过程中，应设置专人负责模板的检查，发现变形、位移，应及时采取措施。

#### （2）模板拆除

- 1) 拆模时根据锚固情况，分批拆除锚固连接件，防止大片模板坠落。
- 2) 拆下的模板和支架及时清理、维修，并分类堆存，覆盖彩条布防雨、防锈。

#### （3）螺栓孔处理

拱坝混凝土拆模完成后，通过悬挂吊篮对外露墙面螺栓孔进行处理，取出混凝土螺栓孔内锥母，采用 1:2 干硬性水泥砂浆对螺栓孔进行封堵，砂浆表面抹平后采用塑料薄膜覆盖养护。

### 3.4 质量保证措施

（1）对混凝土仓内预埋锚筋拉拔力及进场 M16 螺杆原材进行检测：确保钢筋锚固力达到设计拉力值时不受破坏；螺杆为 Q235 钢，检测其抗拉强度标准值不低于 235MPa，截面面积不小于 167mm<sup>2</sup>。

（2）每天进行安全巡视检查，检查内容包括：上游翻转式工具模板、下游三角架施工平台焊接构件有无开焊；模板螺栓及钢筋焊接是否牢固；模板有无裂纹、变形；安全网有无破损，连接是否牢固；模板施工作业范围内是否设安全警戒线并悬挂警示牌等，并做好巡视记录。

#### （3）加强天气预报和温度监测

安排专人每日关注当地气象部门发布的天气预报，做好寒潮、气温骤降及雨雪天气预报。购置自动测温仪器对外界气温进行实时监测，每日对混凝土表面温度记录不少于 3 次，记录并整理监测数据，为模板拆除时间提供指导。

（4）大风、大雨过后对施工中的模板工程进行检查后方可施工，确保结构安装质量及施工安全。

#### （5）低温季节模板拆除要求：

- ①适当延长拆模时间，混凝土强度大于允许受冻临界强度；
- ②不在夜间和气温骤降期间（日平均气温在 2~3d 内连续下降累计 6℃ 以上的气温变化）拆模。拆模时间满足温控防裂要求：混凝土表面与大气温差大于 20℃ 或 2~3d 内混凝土表面温降不超过 6℃。

（6）根据当地气候，主汛期持续强降雨，不适宜进行拱坝大体积混凝土浇筑，暂停模板工程施工。现场施工木模板拆除后转移至木工厂集中存储，钢模板及脚手架结构根据结构特点采用防雨布覆盖保护，防止风雨侵蚀生锈。

## 4 结论

扬溪源水库单曲重力拱坝通过在现有 0.75×1.5m 钢模板基础上采用型钢加工、拼装成 2.25×1.5m 高翻转式工具模板保证了上游面模板支护，解决了高处支模无作业平台问题，在保证施工进度同时，节省了成品翻转模板采购费用；拱坝下游侧采用木模板支模，下部安装三角架施工平台，施工灵活、便捷，有效避免了在斜曲面上安装钢模板导致的尺寸偏差和接缝不严密问题。通过科学、合理配置拱坝模板，解决了 55.8m 高拱坝坝体模板施工，工程进度、质量及施工安全均得到保障，为整个工程项目按期履约奠定良好技术基础。

#### [参考文献]

- [1] 饶昌福. 大曲率双曲碾压混凝土拱坝翻转模板的研发[J]. 施工技术, 2005(03): 7-9.
- [2] 苏波, 周勤, 邓斌. 可调试翻转模板技术在薄壁拱坝施工中的应用[J]. 四川水利发电, 2006(25): 41-43.
- [3] 张乙. 三角架翻模技术在公路桥梁高墩施工中的应用[J]. 交通世界, 2017(10): 92-93.

作者简介：刘浩辉（1970-），男，高级工程师，中国电建市政建设集团山东工程有限公司总经理。