

# 反吊式预制牛腿模板在藏木水电站中的应用

牟毅<sup>1</sup>, 王永平<sup>2</sup>

(中国人民武装警察部队 水电第八支队, 重庆 401320; 2. 中国人民武装警察部队 水电第三总队, 四川 成都 611130)

**摘要:**藏木水电站左岸大坝标1#、2#挡水坝段悬臂牛腿高5.5 m, 出挑长度为5.5 m, 坡比为1:1。施工过程中, 采用反吊预制装配式混凝土模板进行施工。该模板具有结构简单、吊装方便、一次性成型、无需拆除等特点。在实际应用中, 节省了工程造价, 缩短了施工工期, 降低了安全风险, 响应了业主高外观质量要求。

**关键词:**藏木水电站; 悬臂结构; 反吊式; 预制混凝土牛腿模板

中图分类号: TV7; TV544; TV52

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2015)04-0030-04

## 1 工程概述

藏木水电站位于西藏自治区加查县境内, 为雅鲁藏布江干流上的第一座水电站, 电站枢纽布置格局为重力坝+坝后式厂房, 由左、右岸挡水坝段、溢流坝段、厂房坝段、冲沙底孔坝段、坝后式地面厂房等组成。大坝共分19个坝段, 其中1#、2#为左岸挡水坝段, 3#~8#坝段为溢流坝段, 9#、16

#为左、右冲沙底孔坝段, 10#~15#坝段为厂房挡水坝段, 17#、19#为右岸挡水坝段。大坝建基面高程为3 198.00 m, 最大坝高116 m, 坝顶总长度为387.5 m。其中左岸大坝标包含左岸1#、2#挡水坝段及3#~8#溢流坝段(图1), 其中1#、2#坝段3 305.5~3 311 m高程为悬臂结构, 悬臂牛腿高度为5.5 m, 出挑长度为5.5 m, 坡比为1:1。

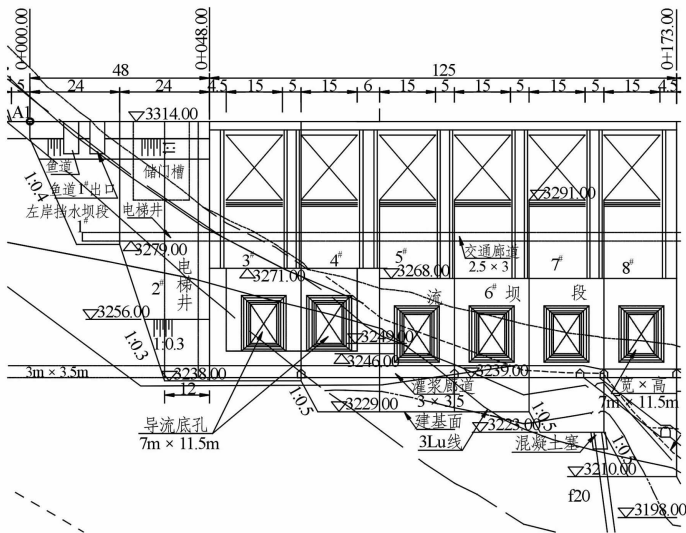


图1 左岸大坝标上立面图及1#、2#坝段三维图

在进行该部位施工时, 原方案采用的是装配式悬臂模板, 施工安全隐患大且混凝土养护成型后还需进行模板拆除及表面消缺处理, 施工程序繁琐、工期长、外观质量难以保证。而采用反吊式预制混凝土模板, 结合现代化机械吊装设备的应用, 能较高地加快施工效率, 降低安全风险, 缩短

工期, 确保工程质量。

## 2 预制模板设计

### 2.1 模板设计思路

结合现场实际使用需求, 1#、2#坝段3 305.5~3 311 m高程悬臂部位模板采用混凝土预制模板, 除满足正常模板工艺要求外, 在模板的设计规划中应遵循以下四个原则。

收稿日期: 2015-07-10

(1)模板分块标准应统一、规范,以便于大规模工厂化预制,降低预制难度;

(2)模板分块尺寸应充分考虑二次转运、吊运及安装需求,以简便为原则;

(3)模板应免拆除,一次性成型,混凝土成型外观质量要好;

(4)模板固定安装应简单便捷,充分考虑现场作业工人的施工能力及缩短工期进度要求。

### 2.2 预制模板规划

该工程牛腿部分长、宽均为 5.5 m,坡比为

1:1,1#、2#坝段整个预制牛腿模板区域长度为 48 m,宽度为 7.78 m,牛腿面积为 48 m × 7.78 m。因模板根部加固支撑需要,预制模板面积为 48 m × 8.01 m,模板分布及规划布置情况见图 2。综合考虑工程造价并结合现有运输及吊装设备能力,将模板尺寸划分为 A、B、C 及 F 四种类型。其中 A 型板尺寸为 2.24 m × 2.4 m, B 型板及 C 型板均是以 A 型板为基础的边坡部位拼合板, F 型板尺寸为 3.53 m × 2.4 m。板与板之间采用预埋钢板焊缝的连接方式牢固地将其连接为整体。

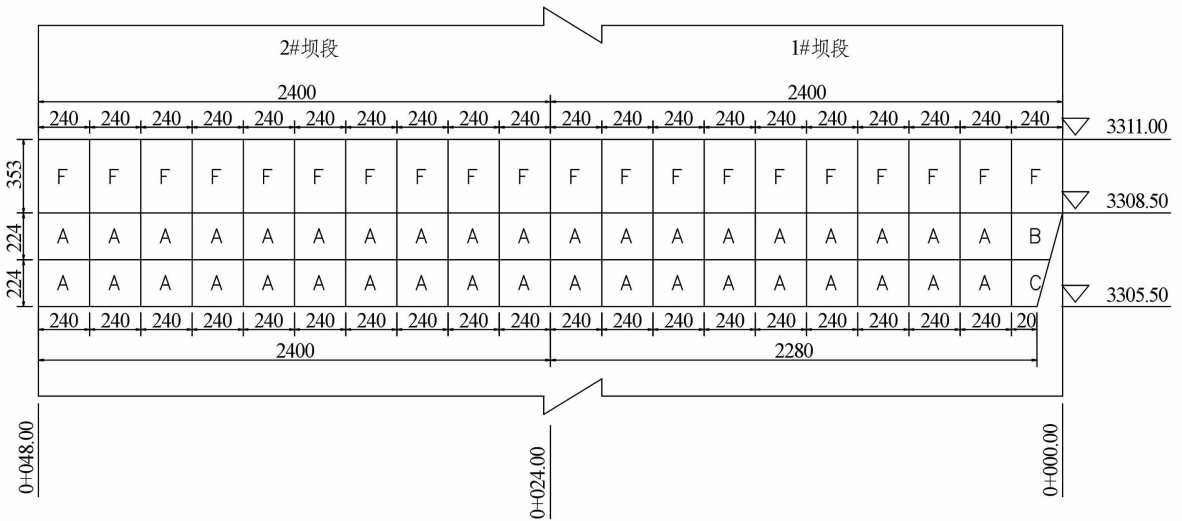


图2 预制混凝土模板规划布置图(图示尺寸除高程外,以 cm 计)

在预制模板上预留拉环,通过反吊拉条传力至立柱上。立柱采用 I14 工字型钢,锚入混凝土 0.5 m。反吊式预制混凝土模板传力方式为:施工荷载→反吊式混凝土预制模板→预埋吊环→反吊拉条→立柱承压(图 3)。

### 2.3 荷载分析

按照反吊式预制模板规划可知,浇筑悬臂结构混凝土分层厚度分别为 1.5 m、1.5 m 及 2.5 m。在进行模板配筋及加固计算时,主要考虑的恒载为混凝土侧压力及混凝土自重、预制混凝土模板自重及相应支撑加固系统自重,施工活荷载主要包含混凝土下料冲击荷载、混凝土振捣荷载、施工机具荷载、施工人员荷载等。混凝土侧压力  $F_c$  计算公式如下。

$$F_c = 0.22\gamma_c T_0 \beta_1 \beta_2 v^{0.5}$$

其中  $T_0 = 200 / (T + 15)$

式中  $\gamma_c$  为混凝土容重,取 24 kN/m<sup>3</sup>;  $T_0$  为混凝土初凝时间,取 6 h;  $T$  为混凝土浇筑温度;  $\beta_1$  为外加剂影响系数,该工程取 1.2;  $\beta_2$  为坍落度影响系数,该工程取 1;  $v$  为混凝土浇筑平均速度,取 0.1 m/h(即 3 h 上升 1 个坏层,胚层厚度为 30 cm)。

根据荷载组合原则,模板承受外荷载取最不利荷载组合进行配筋计算。

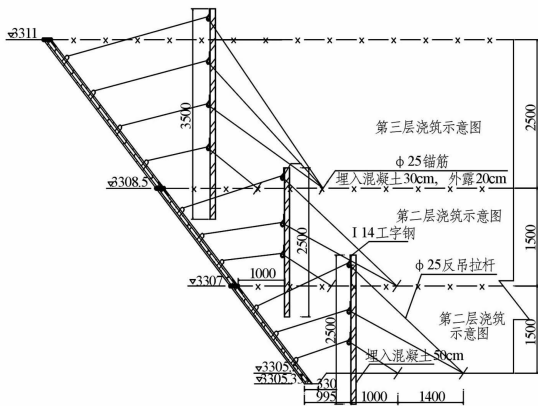


图3 反吊式预制混凝土模板施工示意图

## 2.4 预制模板配筋

反吊式预制混凝土模板结构计算以基于统计概率理论为基础的极限状态应力设计方法,按照承载能力极限状态和正常使用极限状态综合考虑进行配筋计算,以确保模板刚度、强度、稳定性均满足模板工艺要求。通过计算机模拟计算,预制混凝土模板采用C25混凝土(一级配),配筋采用双层双向配筋HRB335  $\phi 12 @ 200$ ,拉环采用HPB235  $\phi 20$ ,反吊拉条(拉杆)采用HPB235  $\phi 25$ 。立柱采用I14工字钢,锚入混凝土深度为0.5 m。

## 3 预制模板施工

### 3.1 模板预制及养护

反吊式预制混凝土模板采用预制场预制,加工场地的选用遵循就近的原则。

(1)钢筋混凝土预制模板在工地预制厂预制,其施工程序如下:

安装模板→测量模板安装精度(合格)→钢筋制作→钢筋安装→验收→混凝土浇筑→养护(等强)。

(2)模板安装前,先对地面进行平整,然后按照其结构形式进行支模。模板安装好后必须对模板进行抛光并涂刷模油,吊装时保证其自动脱模。

(3)模板安装好后,必须进行模板的测量检查,以保证其安装精度。

(4)模板通过检查后,方可进行钢筋绑扎并预埋锚筋、锚板及工作吊环。

(5)按照三检制进行检查验收,验收合格后进行混凝土浇筑,浇筑时必须振捣密实。

(6)浇筑完毕立即用麻袋覆盖并进行保温保湿处理,以保证混凝土内外温差不大,8~12 h后即可进行表面洒水养护,养护时间必须保证在14 d以上。

### 3.2 模板的转运及吊装

#### 3.2.1 预制混凝土模板水平转运

预制模板在预制厂制作成型并等强28 d后方可进入转运和吊装,在水平运输转场之前,安排人员对模板内侧进行毛面处理。使用16 t汽车将预制模板水平运输至转运吊装平台。为了防止面板发生裂缝和面板上预埋的拉环遭受损坏,在运输过程中,每层之间用两根10 cm×10 cm方木枕垫好。

#### 3.2.2 预制混凝土垂直运输

汽车运输预制混凝土模板到垂直吊运平台后,应先安排人员进行简单检查,查看在运输过程中模板有没有滑移,有无裂缝或损坏情况。在核对板型无误后,根据模板规划采用缆机进行垂直吊运,将预制模板吊运至仓内指定位置堆放,模板垂直堆叠高度不大于1 m,层间采用木方垫实。

#### 3.2.3 预制混凝土模板的安装

反吊式预制模板支撑采用反吊内拉法。即先在仓内距混凝土外轮廓边线90 cm位置预埋一排14#工字钢,间距90 cm,再用 $\phi 25$ 拉杆将斜面模板倒提反吊在工字钢上。拉杆上预装花蓝扣,以便工人能在仓号内调节模板。为增加14#工字钢的刚度和稳定性,采用 $\phi 48 \times 3.5$  mm钢管和 $\phi 25$ 钢筋对工字钢进行水平和斜向加固,图4为反吊式预制混凝土模板吊装示意图。

预制模板的安装利用16 t汽车吊将模板吊装到位,自上而下焊好拉条后,才能放松吊机大钩,然后用花篮调节杆调整模板的准确位置和坡度,同时将两块模板之间的钢板焊接成一个整体。为防止预制板缝隙在混凝土浇筑时漏浆而污染坝面,在混凝土浇筑前采用水泥砂浆进行勾缝处理,以确保坝面平整光洁。

## 4 牛腿部位混凝土浇筑

根据该工程特点,预制混凝土牛腿分为三层浇筑,层厚分别为1.5 m、1.5 m及2.5 m。为便于预制模板的安装固定,在进行牛腿悬臂部位施工前一仓混凝土时,预先埋设I14工字钢,工字钢埋入混凝土深度为0.5 m。

牛腿悬臂部位混凝土浇筑采用缆机吊6 m<sup>3</sup>吊罐入仓,卸下的混凝土料不得堆积过高并应及时振捣摊平,入仓过程中注意控制浇筑速度,振捣器不得直接在预制模板或拉条上振捣。在预制牛腿模板处倾倒混凝土时,要注意避开拉杆焊接点,防止混凝土骨料的碰撞脱焊或预制模板抖动。此外,为了减少混凝土卸料对模板产生冲击荷载,控制吊罐采用带状蛇形的方式进行均匀布料,铺料厚度不得超过50 cm,将浇筑振捣的密实厚度控制在30 cm以内。分层浇筑上升速度不宜过快,应控制3 h上升1坯层(30 cm厚)为宜,且保证在初凝前及时覆盖。

## 5 质量安全保证措施

为了确保反吊式预制牛腿模板施工质量和安

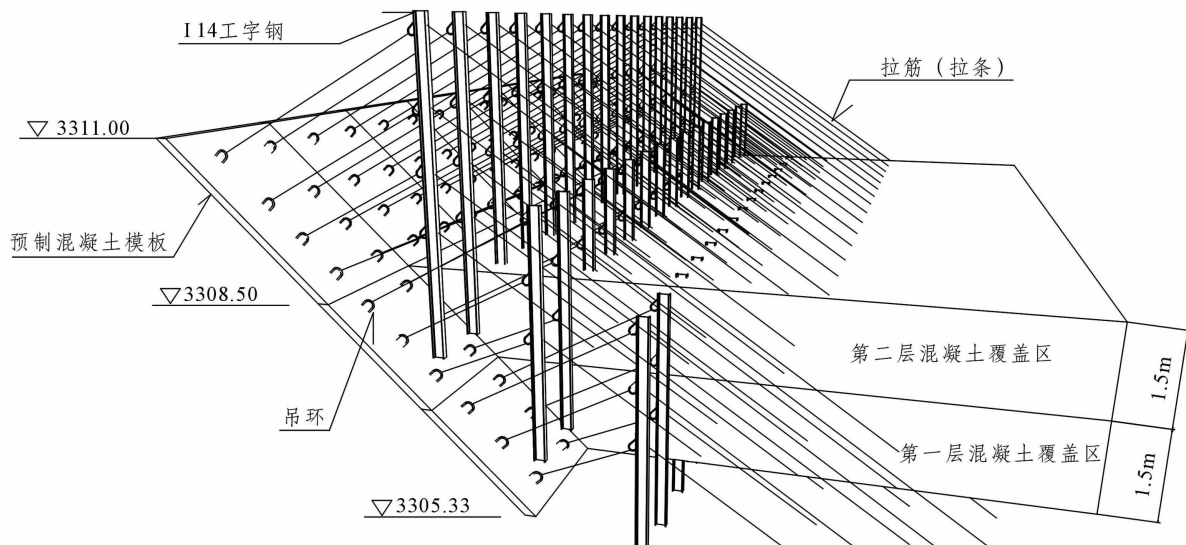


图4 反吊式预制混凝土模板吊装示意图

全,需制订《反吊式预制混凝土模板施工作业指导书》,同时严格遵循以下要求:

(1)强化质量过程控制,严格执行“三检”制(操作人员自检、施工班组交互检、专职检验人员专项检查),确保每一道工序的施工质量。

(2)每块预制混凝土模板在出厂前严格执行验收评定标准,待检验合格后方可水平转运及入仓吊装。

(3)仓面内模板安装完成后,经技术、质量、安全等部门联合验收合格后方可进行下一道工序施工。

(4)逐一核实检查各结构构件的焊缝和变形量,严格控制焊缝质量及变形指标,确保混凝土浇筑外观质量符合设计要求。

(5)在模板适当位置设置变形观测点,分别对每仓混凝土浇筑前、浇筑过程中、浇筑完成后进行变形测量数据监测并及时反馈监测成果,确保模板各项工作指标满足相关质量标准及要求。

## 6 结语

反吊式预制混凝土模板结构可靠,利用机械化施工程度高,成型混凝土外观质量好,模板在浇筑前后无变形或微变形,确保了大坝结构尺寸,缩短了施工工期。回顾反吊式预制混凝土模板施工过程具有以下几个特点:

(1)反吊式预制混凝土模板的结构形式,使

悬臂混凝土施工不受悬臂高度和坡比的限制,以此类推,可以适用于多种结构,具有推广价值。

(2)标准化、模块化的结构设计有助于实现工厂化大规模生产。

(3)反吊式预制混凝土模板与常规异型模板、组合钢模不同,使用机械化设备吊装,拼缝焊接成一个整体,无需搭设外脚手架,施工工期短,施工干扰小,浇筑完成后模板无需拆除。

(4)对牛腿悬臂部位混凝土浇筑厚度需严格控制,浇筑铺设层厚不得大于30 cm,悬臂部位拉杆拉条较多,不便于混凝土平仓振捣。

(5)反吊式预制混凝土模板根据现场实际需求需要提前预制,因为预制模板为混凝土结构,等强时间较长,应在实际应用过程中加以注意。

反吊式预制混凝土模板在实际应用过程中可充分弥补现有异型模板、组合钢模施工带来的费用高、施工干扰大、工期长、外观质量差等缺点,尤其是诸如以上模板施工附带的安全隐患和风险,具有显著的实用价值。

### 作者简介:

牟毅(1980-),男,四川宣汉人,高级工程师,学士,从事水利水电工程建设技术工作;

王永平(1968-),男,陕西甘泉人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)