

老挝南欧江二级水电站尾水流道模板的设计与研究

龙 波

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:老挝南欧江二级水电站采用 3 台、单机容量为 40 MW 的灯泡贯流式机组,尾水流道由矩形断面渐变为圆形,后又由圆变方,体态不规则,承重顶板支撑较为复杂,施工难度大。现场施工进行了钢桁架排架方案和钢管扣件排架方案的比较,最终决定采用两种方案结合的方式,既加快了进度,又节约了施工成本,同时保证了流道的成型质量。介绍了其设计过程。

关键词:尾水流道;钢桁架排架;节约施工成本;南欧江二级水电站

中图分类号:TV7;TV22

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)04-0031-05

Formwork Design and Study for the Tailrace Channel of Nam Ou 2 Hydropower Station in Laos

LONG Bo

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Three bulb tubular units with a capacity of 40 MW per unit are installed in Nam Ou 2 Hydropower Station in Laos. The tailrace channel has irregular shape which is gradually changed from rectangular section to circular section, and then from circular to square. The supporting of load-bearing roof is complex and difficult to construct. The comparison between steel truss bent scheme and steel tube fastener bent scheme is made at site construction, and finally, the combination of the two schemes is adopted, which not only speeds up the progress, but also saves the construction cost, and ensures the forming quality of the channel simultaneously. The design process is introduced.

Key words: tailrace channel; steel truss bent; save construction cost; Nam Ou 2 Hydropower Station

1 概 述

南欧江二级水电站位于老挝人民民主共和国中北部的琅勃拉邦省境内,电站厂房布置在右岸主河床中,为河床式厂房,内装 3 台、单机容量为 40 MW 的灯泡贯流式机组。

厂房进水口坝横 D.T.0+007.222~坝横 D.T.0+013.922 段胸墙底部为四分之一椭圆,流道底部高程 288.265 m,两侧墙之间的间距由宽变窄;坝横 D.T.0+013.922~坝横 D.T.0+015.776 段为矩形断面;坝横 D.T.0+015.776~坝横 D.T.0+020.52 段流道断面由方变圆;坝横 D.T.0+020.52~坝横 D.T.0+028.3 段为管型座及尾水管钢衬段,该段留有二期混凝土;坝横 D.T.0+028.3~坝横 D.T.0+056.38 段流道断面由圆变方,坝横 D.T.0+056.38~坝横 D.T.0+059.075 段流道断面为矩形标准断面。

尾水闸墩与尾水管流道相连,尾水流道断面

不规则,进口为喇叭口,继而流道断面由方变圆,中间部位为钢衬段,尾水管钢衬段下游流道断面由圆再变方,体态较不规则,承重顶板支撑较为复杂。据此,项目部进行了钢桁架排架方案和钢管扣件排架方案的比较:

(1)如果顶部采用定型钢桁架梁排架支撑,当钢桁架梁封顶时,安装及拆除均为高处悬空作业,施工难度大且在衬砌完成后,顶部钢桁架无法采用吊装设备拆除,只能由人工拆除,施工难度及安全风险较大。

(2)如果采用钢管扣件排架支撑,由于普通钢管为单管定位,能够较好地适应变断面的结构,安装及拆除施工方便。

经分析比较后,项目部决定采用钢桁架与钢管扣件排架相结合的方案,即底板圆弧段采用定型钢桁架结构,其余采用 $\varphi 48\times 3.5$ mm 的钢管扣件排架作为支撑。该方案具有以下几个优点:

(1)底部圆弧段采用定型钢桁架支撑模板,安装

时有吊装设备供使用,便于定位和安装,拆除时混凝土已浇筑完成,在地面操作施工难度相对较小。

(2)整体性较好,在设计荷载内,变形小;

(3)操作简单。由于该方案使用普遍,工人操作的熟练程度较高,质量能够得到保证;

(4)钢管和扣件的生产均有相关的国家标准,施工设计和施工作业均有相关的国家施工规范、规定可循;

(5)普通钢管排架在水工建筑物的施工中均运用的非常普遍。

2 模板设计

依据《水电水利工程模板施工规范》DL/T5110—2000(以下简称模板规范)^[1]和《建筑施工扣件或钢管脚手架安全技术规范》JGJ130—2001(以下简称脚手架规范)^[2]的有关内容,为保证混凝土浇筑质量、减小混凝土浇筑施工对排架的压力,厂房尾水流道封顶层浇筑层厚 2.15 m,实际超过尾水管顶高程 299.75 m 的混凝土厚度为 0.65 m,其荷载相对较小,与模板支撑体系相适应。排架立杆采用对接扣件连接,横杆与立杆之间采用十字扣件连接,剪刀撑与立杆采用旋转扣件连接。立杆的底脚支撑在已浇筑完成的底模或混凝土面上,立杆立在弧面上时,可以利用底部弧线段上的钢桁架及拉模筋进行固定。立杆底脚采用扫地杆连接,水平横杆与混凝土面之间加木楔顶紧。

流道模板两侧直线段及顶部直线段采用组合钢模板及 5 cm×10 cm 的木方拼装,两块 3015 模板之间夹一块 5 cm×10 cm 的木方,以便于开孔穿拉模筋,其余圆弧曲线不规则部分采用 5 cm×10 cm 的木方拼装^[3]。模板安装完成后,铺设一层 3 mm 厚的保丽板,以保证过流面的平整。

底板的圆弧曲线段采用定型模板制作,进水口流道圆弧段的定型模板长度为 1.52 m 和 1.525 m,尾水流道圆弧段的定型模板长度主要为 2 m,高度根据圆弧确定,流道底板直线段不关模板,人工收面。顶部圆弧曲线段模板采用 $\varphi 25$ 钢筋加工的圆弧支撑、现场拼装成型。木方拼装时,木方锯口,然后用铁丝将其绑扎在 $\varphi 25$ 钢筋上,固定一块木方后,在其余木方拼装时,用铁钉相互固定。3 mm 厚的保丽板均用铁钉固定在木方上,以保证混凝土浇筑时不跑位、不变形。为保证过

流面平整,在木方拼装前,刨平木方,拼装圆弧曲线时,对木方实施倒角,以保证两块木方之间接缝紧密。

模板固定的拉条按照 0.75 m 的间距、0.7 m 的排距布置,在适当的位置应根据实际情况增加拉条,以满足加固模板的需要。为保证过流面的质量要求,所有过流面拉条均设计为埋设钢管套筒,在钢管套筒上焊接拉模筋,待过流面浇筑完成、排架拆除后将套筒上部拉条的头卸掉,对过流面上的孔洞采用 M25 砂浆进行修补、表面抹光处理。

3 排架设计

通过对排架的受力情况进行分析得知:厂房各机组段的流道断面除钢衬段外,进水口及出口段流道底部均为平段,排架只受向下的压力。为了满足排架立杆的抗压稳定和排架的整体稳定性,并对施工中不确定因素进行了充分估计,将尾水流道排架的立杆顺流向间距确定为 0.9 m,横向 0.6 m,最大步距 1.2 m,立杆顶端伸出段长约 0.2 m,进水口方变圆段流道排架的立杆顺流向间距为 0.6 m,横向 0.6 m,最大步距 0.9 m,立杆顶端伸出段长约 0.2 m,左、右方向的横杆两端顶紧混凝土壁面或侧墙模板桁架。对于排架立柱在弧形部位的底部固定形式,在侧墙上按立柱布置位置预埋钢管,在钢管内上套螺杆伸出混凝土表面,以供侧墙模板拉条施工和排架立柱基础角钢的固定使用。套筒的结构形式与翻转大模板类似,立柱之间设置扫地杆,通过扣件将立柱连成整体(图 1)。

4 模板支撑脚手架的受力计算

4.1 尾水流道支撑脚手架的受力计算

(1)模板: $Q_1=0.5 \text{ kN/m}^2$;

(2)新浇混凝土自重为 25 kN/m^3 , 0.65 m 厚混凝土荷载标准值 $Q_2=16.25 \text{ kN/m}^2$;

(3)施工人员及设备荷载标准值 $Q_3=2.5 \text{ kN/m}^2$;

(4)浇筑和振捣混凝土时产生的荷载标准值 $Q_4=2 \text{ kN/m}^2$;

(5)纵横木楞自重: 7.5 kN/m^3 。

竖向荷载效应组合为:

$$N=1.2\sum N_{GK}+1.4\sum N_{QK}$$

式中 $\sum N_{GK}$ 为模板及新浇钢筋混凝土自重产

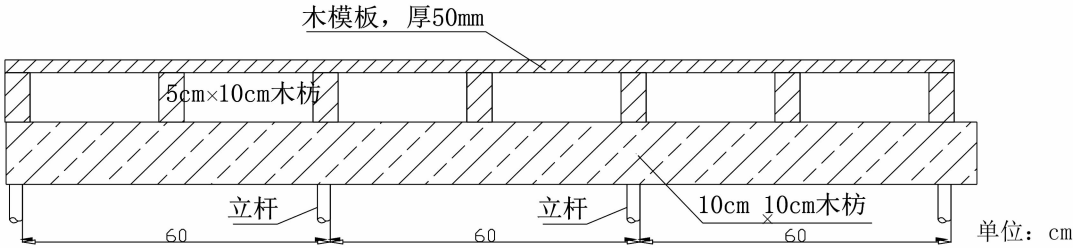


图 4 顶部模板示意图

以厚度为 1 m 的顶板为例进行了荷载组合分析。脚手架横向间距为 0.6 m, 纵向间距为 0.6 m, 布距为 0.9 m。

通过计算得知:底模强度、支撑模板的横向木方(次楞)及纵向方木(主楞)均满足要求,立杆受力 $\frac{N}{\varphi A}=173.6\text{ MPa}<f=205\text{ MPa}$,满足要求。所设计的满堂承重支撑脚手架满足进水口方变圆流道衬砌混凝土正常施工使用要求。

5 施工采用的吊装设备

主要考虑的因素是模板、钢筋等材料和部分混凝土吊运。厂房坝段采用的吊装设备为上下游门机,安装完成并已投入使用,满足吊装需求。

6 流道模板的加工及安装

根据厂房流道断面的实际情况将其分为 3 部分:第一部分为进水口段,包括上游胸腔和方变圆段;第二部分为钢衬段;第三部分尾水流道段为圆变方段。

圆变方及方变圆段的底部圆弧需加工定型模板。钢衬段因留有二期混凝土,故只需要平直模板,该方案中暂不考虑胸腔模板,胸腔施工措施另行编制。

根据各设计断面进行木模板的加工:

(1)原材料:定型模板的支撑采用钢桁架结构,流道断面圆弧采用 $\varphi 25$ 钢筋制作定型圆弧,其余支撑部分采用 $\varphi 48$ 钢管焊接。模板采用 5 cm×10 cm 的木方拼装,模板的面板采用 3 mm 厚的保丽板。

(2)现场拼装的异性模板主要为顶拱圆弧模板,顶拱圆弧模板仍采用木方拼装,但需要加工圆弧定型钢筋,圆弧钢筋的现场定位主要利用搭设的支撑脚手架。

(3)半成品:要求圆弧加工直径满足要求,钢

管、木材无裂缝、无变形。

(4)成品:各种尺寸满足设计要求,将面板定位尺寸误差控制在±4 mm 以内。

根据施工需要,为加快施工进度,流道底模需加工 2 台机组的流道底模模板,以满足施工需求。

6.1 流道桁架的下料与制作

先根据流道模板的设计图纸,按照各圆弧半径先加工出 $\varphi 25$ 圆弧钢筋,在模板加工厂按 1:1 的比例放出圆弧大样,并根据设计图纸进行 $\varphi 48$ 钢筋下料。对照图纸认真检查复核无误后,采用 $\varphi 48$ 钢管焊接圆弧,使圆弧钢筋尺寸定位,形成标准断面的桁架。

在模板加工场内放样,将桁架按设计间排距排列成型。先检查桁架的断面尺寸是否满足设计要求,检查无误后将模板的 4 榀桁架按照设计断面位置临时加固为整体成型,然后在桁架的圆弧钢筋上分出模板拼装的位置。面板采用抛光、取直的 5 cm×10 cm 的木方拼装,10 cm 宽度方向为面板,每块模板在安装前进行预拼装,对木方接缝进行处理并保证接缝紧密且两块木方接缝面平整、不错台^[5]。

第一块木方拼装时,采用 5 cm×0.5 cm 的扁铁做模板圆弧围檩,扁铁开孔与木方之间采用螺栓连接,在木方上开槽 0.5 cm,将扁铁压入木方内。对于木方面板穿螺栓的位置,将螺栓帽置于木方内并保证面板平整。第一块木方固定后,以后的拼装木方主要采用 8 cm 长的铁钉将相邻的两块木方固定在一起。每隔 1 m 用螺栓将木方与扁铁固定。扁铁和 $\varphi 25$ 钢筋围檩上分别焊接短角钢,角钢上穿孔,用螺栓连接,使模板与桁架结构形成一个整体,便于吊装与拆卸。

木方拼装完成后,检查整个大面平整度是否满足设计要求。待其满足设计要求后,面层铺装

一层 3 mm 厚的保丽板,用 5 cm 长的铁钉钉在木方上。

6.2 流道模板的运输及安装

(1)模板的运输。鉴于模板结构尺寸较大(单块宽度最大达 3.288 m,最大高度达 1.15 m),最终采用平板车运输。运输时的摆放方向为骨架方向平行汽车长度方向摆放,要求模板重心尽可能居中。同时,在模板起吊装车前,先在车箱底板放置方木,然后再用钢绳将模板与汽车拉紧固定。

(2)模板的安装。流道定型模板的安装主要采用门机吊装,门机将模板吊至安装工作面,在混凝土上设置支撑架,人工辅助门机将模板精确定位在支撑架上并确保模板稳固、不移位^[5]。模板安装完成后,用 $\varphi 48$ 钢管将两侧模板的桁架连接成为一个整体。在桁架内穿 $\varphi 48$ 钢管做钢管围枋,用拉模筋将模板固定。拉模筋的布置方式与翻转大模板类似。模板调整就位后,支撑要及时加固,抄楔要及时固定。

6.3 模板的拆除

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。拆模应使用专用工具,以减少混凝土及模板的损伤。对于拆下的模板、支架及配件应及时清理、维修并分类堆存,妥善保管。

7 模板质量的控制及保证措施

- (1)经验收合格的模板才能出厂。
- (2)进行运输、安装前,由现场施工管理人员进行技术交底,使现场安装人员熟知运输、安装要求并进行现场监控。
- (3)模板在运输到工地现场后,需由安装人员先检查模板在运输过程中是否出现连接件松动及运输损伤,如出现连接件松动及运输损伤应及时修复,然后进行翻面安装。
- (4)安装时,做到起重工、木工、测量人员等各

工种间的密切配合,确保安装的精度。

(5)模板就位后及时设置拉筋,防止滑动或倾倒。

(6)安装过程中要求测量人员密切配合,对模板在安装过程中的位置进行动态观察,模板安装过程中的位置调整可利用千斤顶或门机配合,待其位置符合设计要求后要及时固定支撑、抄楔等。

(7)模板安装完成后,要求测量队根据厂房流道单线图所提供的断面参数进行复核,复核合格后报请测量监理进行验收签证。

(8)钢筋接头分散布置,采用焊接连接,配置在同一截面的受力钢筋其焊接接头截面占受力钢筋总截面积的百分比不超过 50%。

(9)样架和模板必须经测量组验收合格后才能进行下一道工序的施工。

8 结 语

在南欧江二级水电站尾水闸墩及尾水流道施工中,采用定型钢桁架模板和排架满堂支撑配合施工工艺,在施工中取得了良好的效果。不仅可以节约人力、物力,而且解决了尾水流道断面不规则造成的施工困难,确保了流道流水面的施工质量。同时,采用定型钢桁架模板和排架满堂支撑施工工艺,提高了施工速度,为南欧江二级水电站提前四个月发电提供了有力的保证。

参考文献:

[1] DL/T5110—2000,水电水利工程模板施工规范[S].
[2] JGJ130—2001,建筑施工扣件或钢管脚手架安全技术规范[S].
[3] GB/T50214—2013,组合钢模板技术规范[S].
[4] SL677—2014,水工混凝土施工规范[S].
[5] GB 50204—2015,混凝土结构工程施工质量验收规范[S].

作者简介:
龙 波(1971-),男,重庆秀山人,高级工程师,一级建造师,从事水利水电工程施工技术与管理工。 (责任编辑:李燕辉)

云龙湾大桥建成通车

2019 年 7 月 1 日,由中国电建水电七局一分局承建的成都最大的自锚式悬索桥—云龙湾大桥建成通车。云龙湾大桥全长 1 119 m,是成都地区首座、也是目前为止规模最大的双塔自锚式悬索桥。其主跨跨度 205 m,桥面宽度为 48.5 m(为四川省同类型桥梁中跨度及宽度之最。其中车行道宽度为 30 m),桥塔高度为 67 m,“门”形结构,寓意“天府之门”。大桥施工过程中,项目部以严谨的“工匠”精神,勇于挑战大桥主塔截面变化多、塔型复杂、线条多、垂直度要求精度高、模板选型及施工难度大等技术难题并获得成功。

(水电七局一分局 供稿)