

73-76

大型框格结构滑模技术应用研究 Research on Application of the Large Sliding Formwork Technique of Gridiron Structure

张振淮
Zhang Zhenhuai

TU271.1
TV73

(广西水电工程局 南宁明秀东路1÷1号 530001)

(Guangxi Hydroelectric Construction Bureau, 1÷1 East Mingxiu Road, Nanning, Guangxi, 530001)

A 摘要 岩滩水电站升船机是目前国内最大的下水式垂直升船机,设计通航能力为250 t。塔柱是该升船机的承重本体,总高度为106 m,设计要求从165.1 m高程到237.6 m高程段框格薄墙体高72.5 m使用滑模施工。为今后龙滩水电站升船机的施工提供资料。

关键词 滑模 框格结构 塔柱施工 升船机

水电站

Abstract With 250 t navigation capacity of design, the ship lift of Yantan hydroelectric project is the largest vertical ship lift of entering the water at present in China. The tower column of total length 106 m is main body for bearing weight, and sliding formwork shall be required to be used in the 72.5 m long thin gridiron wall at the elevation of from 165.1 m to 237.6 m by design, the above requirement provides information and experience for the ship lift construction of Longtan Hydroelectric Project in the future.

Key words sliding formwork, gridiron structure, construction of tower column, ship lifter

岩滩水电站升船机塔柱设计规定要采用滑模施工,塔柱为框格薄墙结构。滑模施工混凝土总量为2.7万m³,钢筋制安1700 t。设计规定分4个单元施工。每个单元长22.65 m,宽7.75 m~12.75 m。从165.1 m高程到190.5 m高程浇筑面积为182 m²,从190.5 m高程到237.6 m高程浇筑面积为61 m²~68 m²,滑升施工高度为72.5 m,4个单元同期滑升。结构内廊道、圈梁、牛腿预埋、二期穿过模板插筋很多,施工工序非常复杂,下列几个主要技术问题突出:浇筑面积大,进料强度不足;与上闸首的边界线长7.75 m~12.75 m为已浇好的老混凝土边,框格的一边墙为单面模板,不平衡侧压力达19.4 t,滑模的水平作用力很大。194 m~234 m高程段为三边框格墙,纵向一条边长度20.5 m为圈梁连接,圈梁与滑模同时施工;新老混凝土垂直面的止浆;穿过模板插筋模板的细部构造等的研究。前二项与滑模施工原理相悖;如不解决,施工就会失败。后几项连接工

艺解决得好可使施工进度快,质量好,节省材料,提高效益。

1 优化框格体滑模结构设计

1.1 结构体系的确定

塔柱为三串联框格体,内框尺寸为两个长6.5 m,宽5.75 m联一个长3.5 m、宽5.75 m的框格。滑模模板结构体系一般有两种形式:其一为平面刚体系。平面刚体系是用平面桁架或者环形梁来承受侧压力,提升架作成“门”字形,提升架只起提升作用;其二为立面刚体系。立面刚体系是由提升架承受侧压力,提升架作成“开”字形,利用联系杆件形成空间几何稳定体系。该滑模尺寸很大,若只采用平面刚体系,外模桁架跨度为20.05 m,耗钢量太大。而且,上闸首混凝土已浇,不能形成封闭式,即纵向桁架上游端无支座,须做立面架来形成支座使耗钢量增加。若只采用立面刚体系,整体体系联系杆件耗钢量多。经研究决定,采用平面刚体与立面刚体混合体系:内模作成平面刚体系,外模作成立面刚体系。内模支架由围圈加斜撑形成平面刚体,外模支架由“开”字

1996-02-28 收稿,1996-05-29 修回。

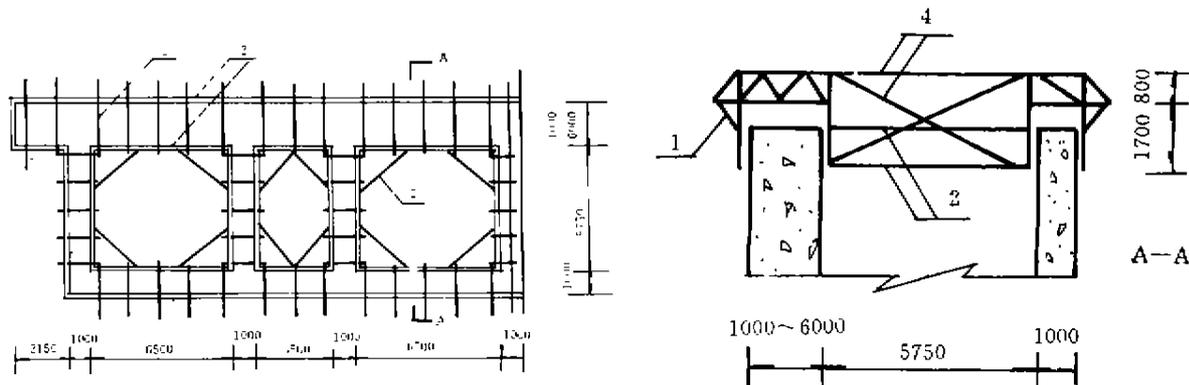


图1 滑模结构图 Fig.1 Sliding framework

1 提升架 Lifting frame; 2 围圈 Steel rack outside; 3 斜支撑 Lean support; 4 联系杆件 Connecting shaft.

型提升架依附于内刚体形成几何不变体系。这样，联系杆件大大减少，节约材料20%，结构布置见图1。

1.2 模板高度的选定

为了使模板有很高的回收价值，模板采用标准钢模。按混凝土出模强度 $1 \text{ kg/cm}^2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ ，时间为8 h左右，190.5 m 高程以上，浇筑面积为 68 m^2 ，8 h 浇筑高度为1.2 m。浇筑速度是由钢筋安装焊接来接决定的。按规范间歇时间，混凝土浇筑层厚以40 cm为适宜，模板高度为1.2 m。190.5 m 高程以下，浇筑面积为 182 m^2 ，浇筑速度由进料强度决定，每8小时浇筑高度为80 cm，按规范间歇时间，浇筑层厚以30 cm为适宜，模板高度应为0.9 m。但模板改制工作量太大，因此，模板高度统一采用1.2 m，采取高强滑升，以后再说明高强滑升措施。

1.3 内外模的安装斜度

模板安装斜度过大，施工时漏浆，表面粗糙；斜度不够，滑升阻力大，混凝土易拉裂。由于内框刚度很大，故内模应安装成1.5%的斜度导滑。外模由提升架承受侧压力，模底弹性变形位移在2 mm~3 mm，已大于模板高度的1.5%。故外模应安装成垂直或稍有一点负斜度为适宜。见图2。

1.4 提升架结构的确定

1.4.1 提升架结构 提升架结构见图3。

内模侧压力由平面刚架来承担，内立柱刚度较小，外模混凝土侧压力由提升架承担，外立柱刚度较大，提升架的杆件是由刚度条件来决定的，由承包技术要求（十三）之规定，提升架在使用荷载作用下，立柱下端弹性变形位移不大于3 mm。经刚度计算，该提升架能满足上述的刚度条件。

1.5 千斤顶数量及布局的选择

1.5.1 千斤顶数量

$$\text{按 } n = \frac{(\sum G + fA)K}{Q} \text{ 选择}$$

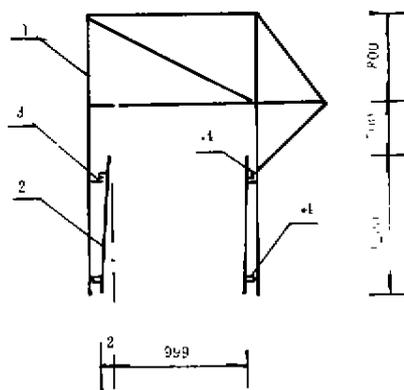


图2 模板安装斜度图

Fig.2 Sketch for formwork erection slant

1 提升架 Lifting frame; 2 模板 Formwork; 3 提升耳 Lifting ring; 4 围圈 Steel rack outside.

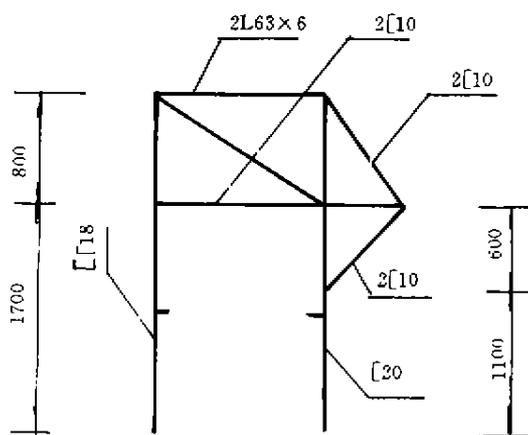


图3 提升架结构图

Fig.3 Structure of lifting frame

式中 $\sum G$ ——滑模结构、操作平台、吊脚手架平台全部自重，平台上堆放的材料设备，工作人员，辅助进料设施的集料斗、手推车、混凝土溜槽溜筒等的重量之和为78.8 t；

f ——每平方米模板滑升摩阻力 $f = 250$ kg/m²;

A ——滑模模板总面积 $A = 151.8$ m²;

K ——余量系数取 $K = 1.2$;

Q ——千斤顶工作起重量 $Q = 1.5$ t;

n ——千斤顶数量。

代入上式计算得千斤顶数量为 94 个。(长度为 20.5 m), 190.5 m 高程以下长度为 22.65 m, 千斤顶为 98 个。千斤顶最大起重量为 3 t, 它与工作起重量之间的起重能力用以调偏。

1.5.2 优化布置

千斤顶的布置原则为力学对称,即在滑升时力求使每个千斤顶承载力基本相等。在 194 m 高程以下,下游两单元为对称结构,提升架成对称布置,每个架安两个千斤顶,在图 1 中的上游墙与下游墙完全一样。上游两单元如图 1,上游墙为单面模板提升架为单立柱架;每个架只安一个千斤顶,再增加一个横向大跨度提升架安两个千斤顶分担操作平台上的重力,其余的各提升架均安两个千斤顶。即成了千斤顶承载力上下左右对称。由于结构整体刚度大,虽然提升架间距受结构尺寸限制不能全部相等。由于布置是对称的,再加上千斤顶是弹性力,所以滑升时承载力是基本相等的。纵墙提升架间距接近 1.6 m,横墙为 1.1 m。横墙上多余的千斤顶正好能承担操作平台传来的重力。到 194 m 高程以上一条纵墙用柱梁结构代替了。千斤顶全安装在柱内,数量仍与墙一样多,滑柱时关掉一部分千斤顶,滑梁时全部打开,使千斤顶承载力左右对称。

2 关键性工艺

2.1 新老混凝土垂直面的止浆工艺

上闸首为已浇的老混凝土,老混凝土边线凹凸不直,滑模沿老混凝土边滑升,交接面如无特种模板止浆,就会产生蜂窝麻面,质量低劣。由于新老混凝土边线互在 90°角,止浆模板也应作成 90°,其功能明显:边线能改变位置;能改变斜度。见图 4,止浆模板 1 与调节螺杆 2 尾端成旋转铰接。调节螺杆 2 设两条,上下间距为 1 m,活动它即可改变止浆模板 1 的位置和斜度,使之与老混凝土面密合。

2.2 圈梁头与柱衔接工艺

塔柱从 194 m 高程到 234 m 高程段为三面框格墙,顺水流向一边为圈梁连接,间隔为 4 m~5 m,共 6 层。梁头与柱侧相关模板的要求:施工柱段时,该模板应与柱模一起滑升;到梁底时,该模板应停止上升并能与柱模成相对滑动。见图 5,滑柱段时,用螺

栓 7 将顶拖角钢 6 固定在柱模上,则相关模板 4 即与

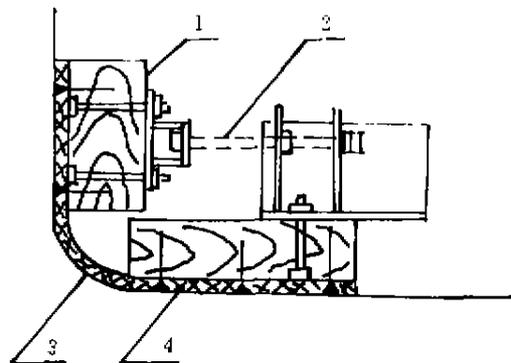


图 4 止浆模板示意图

Fig. 4 Sketch for mortar stop formwork

1 止浆模板 Mortar stop formwork; 2 调节螺杆 Adjust bolt; 3 耐磨橡胶 Wear rubber; 4 连接模板 Connecting formwork.

柱模一起滑升。到梁底时,将螺栓拆去,用拉筋将相关模板 4 连在柱主筋上,则模板 4 停止上升。滑升 40 cm 高,用木滑块 3 填入滑槽内并与模板 4 用马钉连接即可浇筑梁柱混凝土。梁施工完后,又将模板 4 插入滑槽内。使用非常方便,省工、省材,在梁柱框架结构滑模中有很大的使用价值。

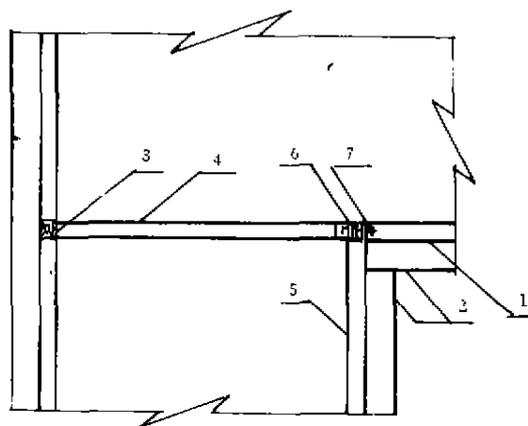


图 5 梁头与柱侧相关模板图

Fig. 5 Formwork adjacent beam terminal & column side
1 柱模板 Column formwork; 2 围圈 Steel rack outside; 3 木滑块 Sliding formwork; 4 梁柱相关模板 Formwork adjacent column & beam; 5 梁模板 Formwork for beam; 6 顶拖角钢 L-steel for drag on top; 7 螺栓 Bolt.

3 解决浇筑面积大,进料强度不足的措施

右塔柱从 165.1 m 到 190.5 m 高程 25.4 m 高段浇筑面积为 182 m²,只能用一台缆机进料,强度为 150 m³/台班,每台班只能浇 82 cm 高,每小时滑升速度为 10.25 cm/h。按正常滑升出模强度为 1 kg/cm³~3 kg/cm³,滑升速度应达到 20 cm/h~

30 cm/h, 滑升速度只有常规施工的一半。据估计, 出模强度达到 12 到 20 kg/cm², 这是反常规的高强滑升。研究制定如下措施: (1) 严格控制模板安装斜度; 如果模板斜度不够再加混凝土强度高, 12 个死角根本滑升不了。斜度过大, 出现麻面, 由于出模后的混凝土已到终凝之后, 麻面难以补救。合宜的模板安装斜度是高强滑升的关键; (2) 严格控制浇筑层厚。模板未浇满之前划线控制, 模板浇满后每层只提升 30 cm, 层厚自然得到了控制。为了使层间结合良好, 每层混凝土浇筑间歇时间必须符合规范要求, 每台班进料强度为 80 cm 高, 层厚控制在 30 cm, 每 3 h 一层, 混凝土加缓凝剂 4%, 能符合规范要求。再者, 层厚控制在 30 cm, 模内混凝土为四层, 上升速度慢, 侧压力只有设计的 1/3, 外模变形很小, 混凝土光滑, 不用处理表面, 正是高强滑升所必须的。(3) 每 90 min 松动一次模板, 松模提升千斤顶的两个行程, 减小摩阻力。由于采取了良好的措施, 滑出的混凝土表面质量比正常滑升的还好。表面基本上不用处理。取得了大面积超强滑升施工的经验。

4 一边为单面模板的框格结构的滑模中调偏

由于上闸首混凝土已浇到 200 m 高程, 塔柱上游墙为单面模板, 单面模板长 12.75 m, 高 1.2 m, 经过计算, 单面模板的混凝土侧压力达 19.4 t, 即滑模的水平作用力达 19.4 t, 对滑模的威胁很大, 必须克服。方法是采用 6 个液压千斤顶向上游施加水平力。利用老混凝土的模板拉筋与千斤顶连接, 并将千斤顶的行程卡调到适当位置以适合由于拉筋斜度在滑升时产生的水平松弛。因为施加水平力的千斤顶与滑模上升同步, 因此可以抵消单面模板侧压力产生的水平作用力。顶层混凝土振捣密实后才滑升, 滑升过程中侧压力比浇筑时小得多, 6 个千斤顶能施加 12 t 水平

力就足以阻止滑模在滑升时向下游偏移, 待千斤顶滑到与拉筋头成水平时, 将混凝土振捣完后, 再将拉筋前端移焊到上一层老混凝土模板拉筋上, 然后才提升进料, 如此反复即可连续施工。实践证明, 此法是行之有效的, 滑升了 38 m 高, 偏差能控制自如。

5 效果与推广

滑模技术大规模应用于岩滩水电站升船机大型塔柱薄墙框格结构, 在长 45.3 m, 宽 15.3 m, 高 72.5 m, 最大浇筑面积 182 m² 上进行四维或三面框格与梁同时进行滑模, 快速完成混凝土 2.7×10⁴ m³。据检索查新, 该项目技术在国内水利水电工程中, 未见有其它水电站应用大型塔柱薄墙框格结构并采用滑模施工技术报道。因此, 该项技术在国内水利水电工程中达到领先水平。

该研究成果, 滑模结构与施工工艺新颖独特, 解决了框格结构的大面积高强度混凝土滑模诸项技术: 大型框格结构滑模设计优化; 大面积滑模; 框格一边墙单面模板滑模; 梁柱连接与三面框格同时滑模; 遇穿模板插筋滑模等技术难题, 消除混凝土的错台、挂帘、胀肚、蜂窝、露筋等通病, 滑升变形均控制在设计规定的±30 mm 以内, 工程质量优良, 因此, 该项滑模技术具有创新新性。

大型框架结构滑模技术经济效益显著, 不仅获得建设方的工程进度质量奖 100 万和提前工期奖 22 万元, 即两度重奖 122 万元, 而且为本项目节约资金 202.61 万元, 并已迅速推广应用于广西贵港航运枢纽工程闸墩滑模施工, 计划 1996 年冬推广应用于广西大埔水电站闸墩混凝土施工, 同时为大型龙滩水电站升船机使用滑模施工提供了宝贵经验, 因此, 它具有广阔的推广前景。

(责任编辑: 邓大玉 蒋汉明)